birlik haberleri
TEMMUZ - AĞUSTOS 2025 SAYI: 4

Orta Sayfa

Elektrikli Araçlarda Mevcut Durum Analizi Gökhan Yılmaz|**Elektrikli Araç Şarj Cihazı & Siber Güvenlik** Kaan Kahraman|**Lityum Bataryalar: Yapısı, Çalışma Prensibi ve Güvenlik Riskleri** Burak Cedetaş|**Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarında Yasal Metroloji** Görkem Özvural

DOSYA:

ELEKTRİKLİ OTOMOBİLLER; DÜNÜ, BUGÜNÜ VE YARINI

Elektrikli Otomobiller Dünü, Bugünü ve Yarını

Elektrikli otomobil, en kısa tanımı ile elektrik enerjisi ile çalışan otomobillere verilen isimdir. Sanıldığının aksine elektrikli otomobillerin tarihi çok eskilere hatta fosil yakıtlı otomobillerden de geriye gitmektedir. Tarihte bilinen ilk elektrikli motor ve araç, 1835 yılında Thomas Davenport tarafından Amerika Vermont'ta icat edilmiş, daha sonra hızla yayılmıştır. Elektrikli otomobillerde buhar veya benzinle ilgili sorunların hiçbiri yoktu. Sessizdiler, sürüşleri kolaydı ve zamanın diğer arabaları gibi kötü kokulu bir kirletici yaymıyorlardı. Böylece, elektrikli otomobiller, başta kadınlar olmak üzere şehirliler arasında hızla popüler hale geldi. Şehirde kısa geziler için mükemmeldiler. 1910'larda daha fazla insan elektriğe eriştikçe, elektrikli otomobilleri şarj etmek de kolaylaştı.

Teknolog ve tarihçi David Kirsch bir çalışmasında 1900'lerin başındaki durumu şöyle özetlemişti; "otomobillerin yüzde 38'i elektrikli, yüzde 20'si benzinli, kalan kısmı ise buhar teknolojisine sahipti."

Otomotiv endüstrisinde devrim yaratan Henry Ford da, o dönemde arkadaşı Thomas Edison ile düşük maliyetli bir elektrikli araba geliştirmeye çalışmış ancak Edison, elektrikli arabalara güç sağlamak için kullanılan ağır, hantal kurşun- asit pillere bir alternatif geliştirmeyi başaramayınca bu proje sessizce terk edilmiş, sonrasında Henry Ford, elektrikli otomobil yerine, dünyada sadece otomobil alanında değil, üretim sistemleri konusunda da çığır açan ilk seri üretim benzinle çalışan Model T'yi üreterek, o dönem elektrikli otomobil tercihini neredeyse tamamen bitirmiştir. 1908'de tanıtılan Model T, benzinle çalışan otomobilleri geniş çapta erişilebilir ve uygun fiyatlı hale getirmiştir. Öyle ki, 1912'de benzinli otomobil 650 dolarken, elektrikli bir otomobil 1.750 dolara satılıyordu ve 1920'lerde ABD'nin, şehirleri birbirine bağlayan ve otomobil ile yolculuğa uygun iyi bir yol sistemine sahip olması, Teksas'ta ham petrolün keşfiyle çok ucuzlayan benzin, içten yanmalı motor teknolojisindeki ilerlemeler gibi nedenlerle elektrikli otomobiller iyice gözden düşmüş ve 1935'te neredeyse tamamen ortadan kalkmıştır.

1960'lara gelindiğinde özellikle fabrikaların yoğun üretim yapması, otomobillerin sayısının çok hızla artması ve otomobillerde ve ısınmada kullanılan fosil yakıtlar nedeniyle Avrupa ve Amerika'da binlerce kişinin hayatına mal olan bir dizi hava kirliliği sorunu gibi olayların ardından 1970'lerde çevreye daha az zarar vermesi nedeniyle elektrikli araçlar yeniden gündeme gelmiştir.

1972 yılında BMW, 1602 E adında bir elektrikli araç modeli tasarlamış ve dönemin Olimpiyat Oyunları'nda sergilemiştir. Ancak model hiçbir zaman üretime geçmemiştir.

1970 ve 1980'lerdeki enerji krizleri elektrikli otomobillere kısa süreli bir ilgi oluşturmuş, fakat günümüzdeki gibi büyük kitlesel bir pazara ulaşılamamıştır. 2000'li yılların ortalarından beri batarya ve güç yönetimi teknolojilerindeki ilerlemeler, değişken petrol fiyatlarının sebep olduğu endişeler ve sera gazı azaltma gereksinimi elektrikli otomobilleri yeniden

güçlü bir şekilde gündeme getirmiştir. Buna bağlı olarak otomobil endüstrisinin devleri de bu konuyu hızla gündeme almışlardır. Örneğin 2021 itibarıyla dünyada en çok satan elektrikli araç Volkswagen ID.3 olmuştur. Ancak elektrikli otomobillerin tüm dünyada hızla benimsenmesinde Elon Musk'ın Tesla Motors şirketinin önemli etkisi bulunmaktadır. Tesla Motors'un 2008 yılında piyasaya sürdüğü ve Lityum iyon bataryaya sahip olan Roadster modeli, sürücüler tarafından tahmin edilenin de ötesinde talep görmüş ve elde ettiği başarıyla, otomotiv sektöründeki pek çok kuruluşu EV (Electric Vehicle) üretimi konusunda cesaretlendirmiştir.

Günümüzde elektrikli otomobil, kısaca bir veya daha fazla elektrik motoru kullanarak, bataryalardan ve diğer enerji depolama cihazlarında depoladığı elektriği kullanan ve elektrik motorları ile ani tork sağlayarak güçlü ve dengeli hızlanma ve sürüş sağlayan otomobiller olarak tanımlanmaktadır.

Elektrikli arabalar ve bu araçlarda kullanılan teknolojiler bazı gelişmekte olan ülkelere de otomobil üretimi konusunda fırsatlar yaratmıştır. Son yıllarda, Vietnam'da VinFast, Türkiye'de Togg ve Arjantin'de Tito gibi gelişmekte olan ükelerde birçok yeni elektrikli otomobil markası ortaya çıkmış ve bu markalar satışlarını her geçen yıl artırmaya ve üretimlerini ihraç etmeye başlamıştır. Örneğin Vietnam'lı VinFast yerele satışlara ilaveten 11 farklı ülkeye ihracat yapmaya başlamıştır. İhraç edilen ülkeler arasında yakındaki Endonezya (%44) ve Malezya (%22) gibi Güneydoğu Asya ülkeleri yanında Amerika Birleşik Devletleri'de (%22) vardır. Şirket, Vietnam'da yerli üretimi ikiye katlamanın yanı sıra Hindistan ve Endonezya'da üretimi genişletme planları olduğunu duyurmuştur.

Türkiye'de de, Togg elektrikli otomobil toplam üretimini bir önceki yıla göre %50 artırmış ve üretim hedefini 1 milyon araca çıkarmıştır. Tüm bu gelişmelerde ülke hükümetlerinin sağladığı destek ve teşviklerin büyük katkısı olmaktadır.

Dünyada Elektrikli otomobil satışları, 2024 yılında dünya çapında %25'ten fazla artarak 17 milyonu aşmıştır. 2023 yılına kıyasla 2024 yılında satılan 3,5 milyon ek otomobil, 2020 yılının tamamındaki toplam elektrikli otomobil satışlarından da fazladır. Çin, 11 milyonu aşan elektrikli otomobil satışlarıyla büyük pazarlar arasındaki liderliğini korumuştur ki bu miktar sadece iki yıl önce dünya çapında satılan otomobil sayısından daha fazladır.

Sonuç olarak; yakıt ve bakım maliyetlerinden sağlanan tasarruf, sessiz ve konforlu sürüş, hızlı ivmelenme, sıfır emisyon özelliğiyle çevre dostu olması gibi nedenlerle elektrikli otomobiller giderek daha fazla pazar payına sahip olmaktadır.

Bu otomobillerde önemli kısıtlar olarak görülen ve sürekli geliştirmeler yapılmaya çalışılan daha hızlı şarj, daha uzun menzil, daha çevreci malzemeler, daha fazla çeşit, araçların sürücü yönlendirmesine ihtiyaç duymadan ilerleyebilmesi olarak tanımlanabilecek otonom sürüşteki ve diğer konulardaki gelişmeler elektrikli otomobilleri daha da cazip kılacak gibi görünmektedir. Kaldı ki birçok hükümet ve otomobil üreticisi, elektrikli arabaları petrol kullanımını azaltmak, böylece küresel ısınmanın etkilerini azaltmak ve iklim değişikliğiyle mücadele etmek için kilit bir teknoloji olarak tanıtıyor. Uzmanlar, elektrikli araçların geleneksel araçlardan daha fazla çevre dostu bir seçenek olduğu konusunda hemfikir.

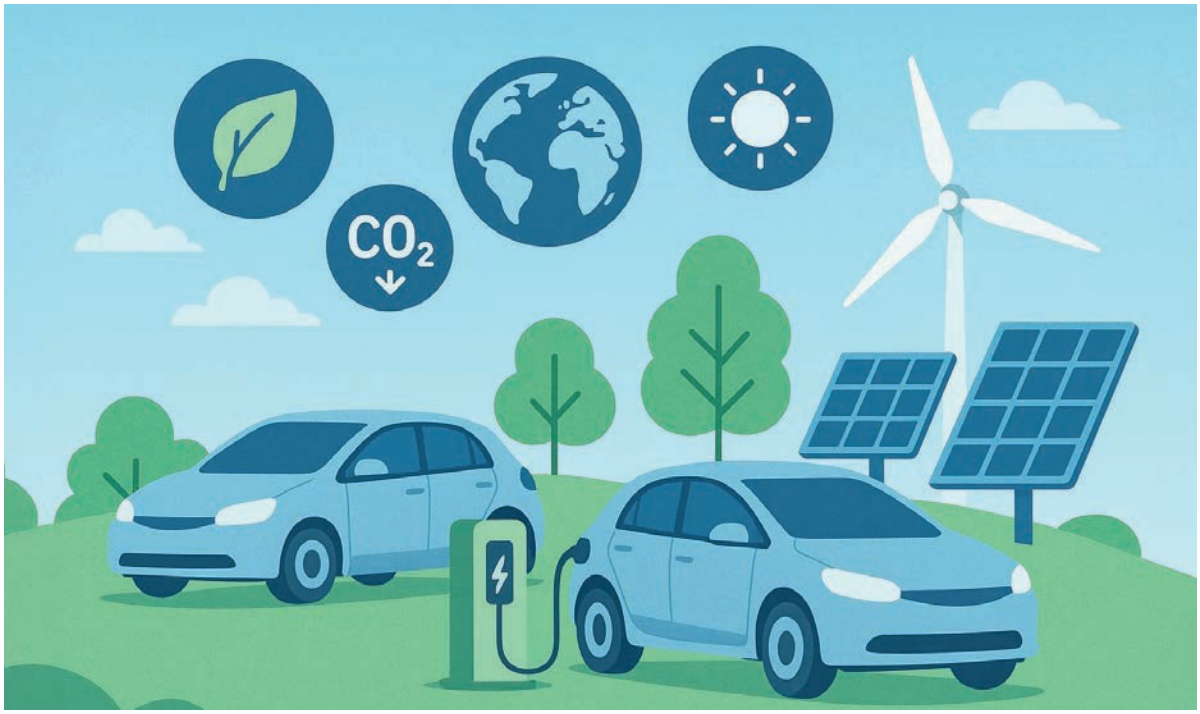
Ancak bazı uzmanlar araçlardaki pillerin nasıl şarj edildiklerine ve üretildiklerine bağlı olarak, bu teknolojinin de çevreye zararlı etkileri olabileceğinin altını çiziyorlar. Bu çerçevede en önemli sorunlardan biri de araçlara sağlanan elektriğin elde edilme biçimi olarak gösteriliyor. Elektrikli araçları şarj etmek için kullanılacak elektriğin üretilmesi esnasında ne kadar kömürün ya da fosil yakıtın kullanılacağı konusu bu sorunun temelini oluşturuyor.

Ayrıca, çoğu elektrikli taşıtın sahip olduğu lityum iyon pillerin üretiminde, kobalt, lityum ve bazı nadir toprak elementleri gibi çeşitli hammaddeler kullanılıyor. Kobalt üretimi esnasında çevreye sızabilecek tehlikeli atıklar ve cüruflar ortaya çıkıyor ve bu atıklar doğanın ve madenin yakınlarında yaşayan insanların zararlı metallere yüksek oranda maruz kalmalarına neden oluyor.

Lityum ise büyük miktarda yeraltı suyu kullanılan operasyonlarla çıkarılıyor. Pil üretmek için gereken su, üretilen elektrikli araçların geleneksel araçlara göre yaklaşık yüzde 50 daha fazla su kullandığı anlamına geliyor. Günümüzün elektrikli araçlarının çoğuna kullanılan bu lityum-iyon piller kurşun-asitli pil teknolojisine göre daha fazla enerji saklayabilmekteyken geri dönüşüm bakımından sorunlu görülüyor. Kurşun-asitli pillerin yüzde 99'u geri dönüştürülebilirken, lityum-iyon piller için geri dönüşüm oranları yaklaşık yüzde 5 civarında kalıyor.

Özetle hidrojen ya da biyo esaslı yakıtlardaki gelişmeler yeni alternatifler yaratacak mı? Ya da elektrikli araçların kalbi sayılan lityum iyon bataryaların ömrünün zamanla azalması, bu bataryalar için gerekli nadir metallerin eldesi esnasında yukarıda değinilen zararlı etkiler ve kullanım sonrası meydana çıkacak atıklar, dünya lityum rezervinin ne kadar yeteceği gibi sorular ve sorunlar zaman içinde elektrikli araçların da geleceğini belirleyecek gibi görünmektedir.

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA MEVCUT DURUM ANALİZİ



GİRİŞ

Dünya genelinde enerji politikalarının yeniden şekillendiği, iklim değişikliğinin küresel bir tehdit olarak algılandığı ve sürdürülebilirlik hedeflerinin artık yalnızca çevresel değil ekonomik zorunluluk haline geldiği bir dönemde, elektrikli araçlar (EA) otomotiv endüstrisinin en stratejik dönüşüm alanı olarak karşımıza çıkmaktadır. İçten yanmalı motorlu araçlar, karbon emisyonlarının en büyük kaynaklarından birini oluşturmaktadır. Özellikle şehirleşmenin yoğunlaştığı bölgelerde, ulaşım kaynaklı emisyonlar hava kirliliğini ve sera gazı etkisini dramatik biçimde artırmaktadır. Elektrikli araçlar bu noktada yalnızca çevreci bir alternatif değil, aynı zamanda enerji arz güvenliği, ekonomik rekabetçilik ve teknolojik inovasyon açısından da kritik bir rol üstlenmektedir.

Bu raporun amacı, elektrikli araçlarda mevcut durumu çok yönlü bir şekilde analiz etmektir. Batarya teknolojilerinden şarj altyapısına, sürüş performansından enerji verimliliğine, maliyet ve teşviklerden pazar ve regülasyonlara kadar geniş bir perspektifte güncel veriler, teknik detaylar ve sektörel yorumlar aktarılacaktır. Böylelikle hem sektör profesyonellerine hem de yatırımcılara kapsamlı bir yol haritası sunulması hedeflenmektedir.

1. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

Elektrikli araba, enerji kaynağı olarak fosil yakıt yerine bataryalarda depolanan elektriği kullanan bir taşıttır. Klasik içten yanmalı motorlu araçlarda enerji, benzin veya dizelin yanmasıyla elde edilirken elektrikli araçlarda elektrik motorları sayesinde bu enerji doğrudan bataryadan çekilerek tekerleklere iletilir. Bu sayede yakıt deposu, egzoz sistemi, yakıt pompası gibi parçalar ortadan kalkar; yerine lityum iyon veya lityum demir fosfat gibi teknolojilerle üretilmiş batarya paketleri, inverterler ve elektrik motorları bulunur.

Çalışma prensibi oldukça basittir: Şarj istasyonundan veya ev prizinden alınan elektrik, aracın bataryasında depolanır. Sürücü gaz pedalına bastığında inverter adı verilen elektronik birim, bataryadaki doğru akımı elektrik motorunun ihtiyacı olan alternatif akıma çevirir. Motor bu enerjiyi mekanik harekete dönüştürerek tekerlekleri döndürür. Frenleme sırasında ise tersine bir süreç işler; tekerleklerin kinetik enerjisi jeneratör etkisiyle tekrar elektrik enerjisine çevrilip bataryaya geri kazandırılır. Bu sisteme rejeneratif frenleme denir ve elektrikli araçların verimliliğini ciddi oranda artırır.

Diğer otomobillerden temel farkları birkaç noktada öne çıkar. Öncelikle içten yanmalı motora sahip araçlarda birçok hareketli parça bulunurken elektrik motorunda bu sayı çok daha azdır; bu da daha az bakım ihtiyacı, daha sessiz ve titreşimsiz bir sürüş anlamına gelir. Bir başka fark enerji dönüşüm verimliliğidir; benzinli bir araç aldığı enerjinin büyük kısmını ısıya kaybederken elektrikli araçlar %80'e varan verimlilikle hareket enerjisi üretir. Yakıt yerine şarj edilmesi de kullanım alışkanlıklarını değiştirir; sürücüler bir akaryakıt istasyonuna gitmek yerine evlerinde veya yol üzerindeki şarj noktalarında bataryalarını doldururlar.

Elektrikli araçların çevresel etkisi de farklıdır. Egzoz gazı çıkarmadıkları için şehir içinde hava kalitesine katkı sağlarlar ve gürültü kirliliğini azaltırlar. Ancak batarya üretimi ve elektrik üretiminde kullanılan enerji kaynağı da toplam karbon ayak izini belirler. Buna rağmen uzun vadede özellikle yenilenebilir enerjiyle şarj edildiğinde, klasik araçlara göre çok daha düşük çevresel etki oluştururlar.

1.2. ELEKTRİKLİ ARAÇ BATARYA TEKNOLOJİSİ

Elektrikli araçlarda batarya teknolojisi, aracın performansını, menzilini, şarj süresini ve ömrünü doğrudan belirleyen en kritik unsurdur. Bugün kullanılan bataryalar temelde yüksek enerji yoğunluğuna sahip lityum tabanlı hücrelerden oluşur ve gelişen teknoloji ile birlikte hem kapasite hem de güvenlik açısından önemli ilerlemeler kaydedilmektedir.

Batarya kapasitesi, elektrikli bir aracın tek şarjla ne kadar yol gidebileceğini belirleyen temel değerdir. Kapasite birimi kilovat-saat (kWh) olup, bataryanın depolayabildiği toplam enerji miktarını gösterir. Küçük şehir içi kullanım için tasarlanmış araçlarda 30–50 kWh kapasite yaygınken, uzun menzil hedefleyen modellerde 80–120 kWh bataryalar kullanılmaktadır. Kapasite arttıkça menzil yükselir ancak bataryanın ağırlığı ve maliyeti de artar.

Şarj süresi, batarya teknolojisinin kullanıcı deneyimindeki en önemli faktörlerinden biridir. Normal ev prizinden yapılan AC şarj, düşük akım nedeniyle saatler sürebilirken, hızlı DC şarj istasyonları sayesinde yüksek akım ve voltajla batarya çok daha kısa sürede doldurulabilir. Modern elektrikli araçlarda 800 V mimari sayesinde 20–30 dakikada %80 doluluk seviyelerine ulaşmak mümkün hale gelmiştir. Ayrıca bataryaların şarj eğrisi doğrusal değildir; yüksek doluluk seviyelerine yaklaştıkça şarj hızı düşer.

Batarya ömrü, hücrelerin kaç kez tam şarj-deşarj döngüsü yapabileceğine bağlıdır. Günümüzde kullanılan lityum iyon bataryalar genellikle 1.500–3.000 döngü arasında dayanıklılık göstermektedir. Bu da ortalama bir kullanıcı için 8–12 yıl arasında batarya değişimi gerektirmeyen bir kullanım süresi anlamına gelir. Ancak şarj alışkanlıkları, sıcaklık koşulları ve hızlı şarj kullanım sıklığı batarya ömrünü doğrudan etkiler.

Soğutma sistemleri, bataryaların güvenliği ve verimliliği için kritik öneme sahiptir. Şarj sırasında veya yoğun kullanımda hücrelerde ciddi ısı oluşur. Eğer bu ısı kontrol edilmezse performans kaybı, ömür kısalması veya termal kaçak (thermal runaway) riski oluşabilir. Günümüzde sıvı soğutmalı batarya paketleri yaygın olarak tercih edilmekte, bazı üreticiler ise gelişmiş ısı pompası ve termal yönetim sistemleri kullanmaktadır. Bu sayede hücreler belirli bir sıcaklık aralığında tutularak daha güvenli ve verimli çalışır.

Batarya kimyası, elektrikli araç bataryalarının karakterini belirleyen bir başka unsurdur. En yaygın kullanılan tür lityum iyon (Li-ion) bataryalardır; bunlar yüksek enerji yoğunluğu ve uzun ömür avantajıyla öne çıkar. Alt türler arasında:

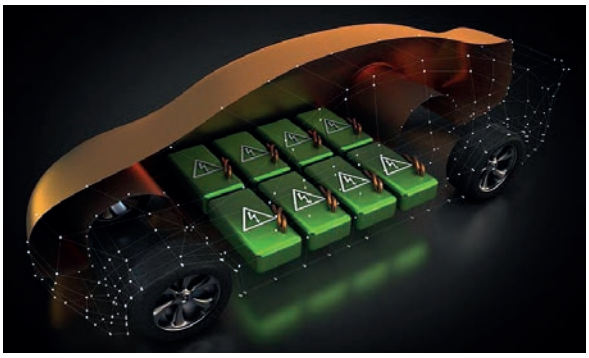
• LFP (Lityum Demir Fosfat): Daha düşük enerji yoğunluğuna sahip olsa da uzun ömürlü, güvenli ve daha uygun maliyetlidir. Özellikle şehir içi araçlarda ve ticari filolarda tercih edilir.

• NMC (Nikel-Mangan-Kobalt): Yüksek enerji yoğunluğu sayesinde daha uzun menzil sunar. Ancak kobalt kullanımı maliyeti artırır ve tedarik zinciri sorunları yaratır.

• NCA (Nikel-Kobalt-Alüminyum): Yüksek performanslı araçlarda kullanılan, uzun menzil ve güçlü hızlanma sağlayan bir türdür; Tesla bazı modellerinde bu kimyayı tercih etmektedir.

Gelecek yıllarda katı hal (solid-state) bataryalar önemli bir dönüşüm yaratması beklenen teknolojilerden biridir. Sıvı elektrolit yerine katı bir malzeme kullanarak daha yüksek enerji yoğunluğu, daha kısa şarj süresi ve daha yüksek güvenlik vadederler. Henüz ticari anlamda yaygınlaşmamış olsalar da 2030'a kadar piyasada görülmesi öngörülmektedir.

Özetle, elektrikli araç batarya teknolojisi kapasite, şarj süresi, ömür, soğutma sistemi ve kimyasal yapı unsurlarının uyumlu çalışmasıyla şekillenmektedir. Bu unsurların her biri aracın kullanım kolaylığını, maliyetini ve güvenliğini doğrudan etkiler. Bugün gelinen noktada



batarya teknolojisi hızla gelişmekte, enerji yoğunluğu artarken maliyetler düşmekte ve kullanıcı deneyimi her geçen yıl daha iyi hale gelmektedir.

1.3. ELEKTRİKLİ ARAÇ SÜRÜŞ PERFORMANSI

Elektrikli araçların sürüş performansını değerlendirmek için yalnızca hızlanma değil, güç aktarımı, ağırlık merkezi, sürüş dinamikleri ve enerji geri kazanım sistemlerini de teknik açıdan analiz etmek gerekir.

İçten yanmalı motorlu araçlar, güçlerini krank mili üzerinden şanzıman aracılığıyla tekerleklere iletir. Bu motorlar yanma odasında gerçekleşen termodinamik çevrimlerle çalıştığından maksimum tork genellikle 3.000–6.000 devir/dakika aralığında elde edilir. Bu nedenle hızlanma için motorun yüksek

devirlere çıkması gerekir, bu da tork eğrisinin dalgalı olmasına ve sürüş sırasında vites değişimlerine ihtiyaç duyulmasına yol açar. Elektrik motorları ise elektromanyetik prensiplere dayalı olarak çalıştığından sıfır devirden itibaren maksimum tork üretebilir. Örneğin bir PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor) veya AC indüksiyon motoru, manyetik alan etkileşimiyle anında yüksek çekiş kuvveti sağlar. Bu özellik, elektrikli araçların düşük hızlardan itibaren güçlü ivmelenme göstermesini mümkün kılar. Bu nedenle ortalama bir elektrikli aracın 0–100 km/s hızlanma süresi 5–8 saniye seviyesindeyken, yüksek performanslı spor segmentinde kullanılan çift motorlu AWD (All-Wheel Drive) konfigürasyonlarla bu süre 2–3 saniyenin altına inmektedir. Bu, içten yanmalı araçlarda turbo gecikmesi, vites geçişleri ve tork eğrisi sınırlamaları nedeniyle daha zor elde edilebilen bir performanstır.

Performansın yalnızca hızlanma ile sınırlı olmadığı noktalardan biri ağırlık merkezi ve şasi dengesidir. Elektrikli araçlarda batarya paketi genellikle taban boyunca yerleştirilir. Bu tasarım, aracın ağırlık merkezini yere yakınlaştırır ve kütlenin araç boyunca eşit dağılmasını sağlar. Sonuç olarak viraj alma kabiliyeti artar, gövde salınımları azalır ve yol tutuş önemli ölçüde iyileşir. Buna ek olarak elektrik motorlarının kompakt yapısı, tasarımcılara ön ve arka akslarda bağımsız motor konfigürasyonları kullanma imkânı verir. Böylece elektronik diferansiyel işlevi gören yazılımlar sayesinde tork vektörleme yapılabilir, yani virajlarda tekerlekler arasında tork dağılımı optimize edilerek sürüş dinamiği üst seviyeye taşınır.

Konfor açısından elektrikli araçların avantajı NVH (Noise, Vibration, Harshness) seviyesinin düşük olmasıdır. İçten yanmalı motorlarda piston hareketleri, yanma patlamaları ve egzoz gazı çıkışı kaynaklı titreşim ve gürültü oluşurken, elektrik motorlarında hareketli parça sayısı az olduğundan titreşim minimaldir. Ayrıca motor sesi olmadığı için sürücüler yalnızca lastik ve yol sesini duyar. Bu da uzun yolculuklarda yorgunluğu azaltır. Ancak sessizlik bazı durumlarda güvenlik riski oluşturabileceğinden düşük hızlarda yapay ses üreten AVAS (Acoustic Vehicle Alerting System) sistemleri zorunlu hale gelmiştir.

Enerji verimliliği açısından en kritik sistemlerden biri rejeneratif frenlemedir. Geleneksel araçlarda frenleme sırasında kinetik enerji ısıya dönüşüp kaybolurken, elektrikli araçlarda motor ters yönde çalışarak jeneratör gibi davranır ve kinetik enerjiyi elektrik enerjisine çevirip bataryaya geri gönderir. Bu teknoloji bataryaya %10–15 oranında ek enerji kazandırabilmekte ve özellikle şehir içi dur-kalk trafikte menzil avantajı sağlamaktadır. Gelişmiş araçlarda rejeneratif frenleme seviyesi sürücü tarafından ayarlanabilir; tek pedal sürüş (one-pedal driving) adı verilen modda sürücü yalnızca gaz pedalını kullanarak hızlanma ve yavaşlamayı yönetebilir. Bu, hem verimliliği artırır hem de sürüşü daha akıcı hale getirir.

Sonuç olarak elektrikli araçların sürüş performansı, anlık tork üretimiyle üstün hızlanma, düşük ağırlık merkezi ve tork vektörleme ile gelişmiş yol tutuş, NVH avantajı ile konforlu sürüş ve rejeneratif frenleme ile enerji verimliliği gibi çok boyutlu avantajlarla açıklanabilir. Bu unsurlar birlikte değerlendirildiğinde, elektrikli araçların sürüş karakteristiği yalnızca çevreci bir alternatif değil, aynı zamanda yüksek performanslı bir mühendislik çözümü olarak öne çıkmaktadır.

2. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARI

2.1. Elektrikli Araç Şarj İstasyonları ile İlgili Genel Bilgiler

Bugün küresel ölçekte elektrikli araç şarj altyapıları temelde iki kategoriye ayrılmaktadır: AC (Alternatif Akım) şarj sistemleri ve DC (Doğru Akım) hızlı şarj sistemleri. AC şarj sistemleri genellikle 3,7 kW ile 22 kW arasında güç sağlayabilmekte olup, ev tipi kullanım ve günlük rutin ihtiyaçlara hizmet etmektedir. Bu tür sistemler düşük maliyetli olmaları nedeniyle bireysel kullanıcılar için cazip bir çözümdür. Ancak uzun yolculuklarda veya ticari filolarda zaman kaybına yol açmaktadır. Buna karşılık DC hızlı şarj istasyonları, 20 kW'tan başlayıp 300 kW, hatta en yeni ultra hızlı teknolojilerle 480 kW seviyelerine ulaşabilmekte; bu sayede bataryaların

%80 oranında dolması 15–30 dakika gibi kısa sürelerde mümkün olmaktadır. Bu hızlı şarj teknolojileri, elektrikli araçların benzinli veya dizel araçlarla rekabet edebilmesi açısından kilit bir rol oynamaktadır.

Mevzuat ve standartlar açısından bakıldığında, şarj altyapılarının gelişimi yalnızca teknik değil aynı zamanda hukuki düzenlemelerle de şekillenmektedir. Avrupa Birliği ülkelerinde CCS (Combined Charging System) standardı yaygın olarak kabul görmüşken, Asya pazarında CHAdeMO ve son dönemde Çin merkezli GB/T standardı etkinlik kazanmıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nde ise Tesla'nın NACS (North American Charging Standard) girişimi giderek daha fazla üretici tarafından benimsenmektedir. Bu farklılıklar, küresel pazarın entegrasyonunu zorlaştırmakta; kullanıcıların seyahat özgürlüğünü sınırlayabilmektedir. Bu nedenle uzun vadede evrensel standartların oluşturulması, sektör için stratejik bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır.

2.2. Türkiye'de ki Elektrikli Araç Şarj İstasyonları ile İlgili Güncel Durum

Türkiye özelinde sektör incelendiğinde, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından çıkarılan mevzuatlar doğrultusunda şarj ağı işletmeciliği lisansına sahip firmalar hızla artış göstermektedir. 2022 yılında yürürlüğe giren düzenlemelerle birlikte, şarj istasyonu kurulumunda lisans zorunluluğu getirilmiş, ayrıca istasyonların belirli teknik ve güvenlik standartlarına uygun olması şart koşulmuştur. Bu düzenlemeler, bir yandan sektörde kalite ve güvenliği artırırken diğer yandan yatırımcılar için daha öngörülebilir bir piyasa ortamı oluşturmuştur. Ayrıca Türkiye'de kamuya açık şarj noktalarının sayısı son iki yıl içinde katlanarak artmış; özellikle büyük şehirler ve otoyollar üzerinde hızlı şarj istasyonlarının yaygınlaştırılmasına yönelik teşvikler hayata geçirilmiştir.

Şarj altyapılarının finansmanı ve iş modelleri de bu alanda belirleyici unsurlardır. Geleneksel "kullanıcı öder" modeli hâlâ baskın olmakla birlikte, bazı ülkelerde devlet sübvansiyonları, belediye destekleri veya enerji şirketleriyle yapılan ortaklık modelleri şarj altyapısının yaygınlaşmasında kritik rol oynamaktadır. Ayrıca "akıllı şebeke" entegrasyonları sayesinde elektrikli araçların şarj edilme saatleri enerji talebine göre optimize edilmekte, bu da hem kullanıcı maliyetlerini azaltmakta hem de enerji arz güvenliğini desteklemektedir. Gelecekte V2G (Vehicle-to-Grid) teknolojisinin gelişmesiyle birlikte araçların sadece enerji tüketicisi değil aynı zamanda enerji sağlayıcısı haline gelmesi beklenmektedir.

Bu durum, elektrikli araçların enerji piyasasının aktif bir parçası olmasını sağlayarak yeni ekonomik modellerin önünü açacaktır.

2.3. Türkiye'de ki Elektrikli Araç Şarj İstasyonları Mevzuat Yapısı

Türkiye'de elektrikli araç şarj hizmetlerinin kurulum ve işletimi, 2 Nisan 2022 tarihli "Şarj Hizmeti Yönetmeliği" ile çerçevelendirilmiştir. Bu yönetmelik, 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'na dayanarak, şarj istasyonu kurulumu, şarj ağı işletmeciliği ve lisanslandırma süreçlerini düzenlemektedir. Bir şarj ağı işletmecisi, lisans aldıktan sonra 6 ay içinde en az 50 şarj ünitesi kurmalı ve bu üniteleri en az 5 farklı ilçeye yaymalıdır. Ayrıca, tüm şarj ağının en az %5'i DC hızlı şarj (50 kW ve üzeri), otoyollardaki istasyonların ise en az %50'si bu kapasiteye sahip olmalıdır. Aynı şekilde, her istasyonda elektrikli araçlara uyumlu Tip-2 (AC) ve Combo-2 (DC) soketlerinin bulunması teknik zorunluluk olarak getirilmiştir.

Yönetmeliğin öngördüğü bir diğer önemli husus da "serbest erişim platformu" oluşturulmasıdır: Burada, tüm şarj istasyonlarının konumu ve anlık durumu, kullanıcıların erişimine açık şekilde sunulmak zorundadır

Türkiye'de elektrikli araç altyapısı, hem araç sayısında hem de şarj istasyonlarıyla hızlı bir büyüme içinde. Ancak araç sayısındaki artışı, yeterli sayıda hızlı şarj altyapısı henüz tam anlamıyla karşılayamıyor. Şu an itibarıyla, her 8 elektrikli araç için yaklaşık 1 şarj soketi var. Bu oran, henüz ihtiyaçları tam karşılayacak seviyede değil. Mevzuat tarafında ise, EPDK tarafından belirlenen kapsamlı lisans ve teknik standartlar (Tip-2 / Combo-2, DC hızlı şarj yüzdesi, serbest erişim platformu gibi) altyapının güçlü ve sürdürülebilir bir şekilde gelişmesinin önünü açıyor. Yapı ve düzenlemelerdeki bu sağlam temeller, önümüzdeki dönemde altyapının hem daha yaygın hale gelmesini hem de kullanıcı dostu ve erişilebilir bir sistem olarak şekillenmesini sağlayacaktır.

3. SEKTÖR İLE İLGİLİ ANALİZLER

3.1. Şarj Hizmeti Piyasası Aylık İstatistikleri

EPDK her ay düzenli olarak Elektrikli araçlar ile ilgili sektör raporu yayınlamaktadır. Bu sektör raporunda aylık satılan araç miktarı, yıllık satılan araç miktarı, şarj istasyonları sayıları, toplam şarj işlem sayıları satılan elektrik miktarı gibi sektörü net özetleyen bilgiler kamuoyunun bilgisine sunulmaktadır. EPDK'nın Temmuz ayı verileri incelendiğinde sektörle ilgili öngörülerin

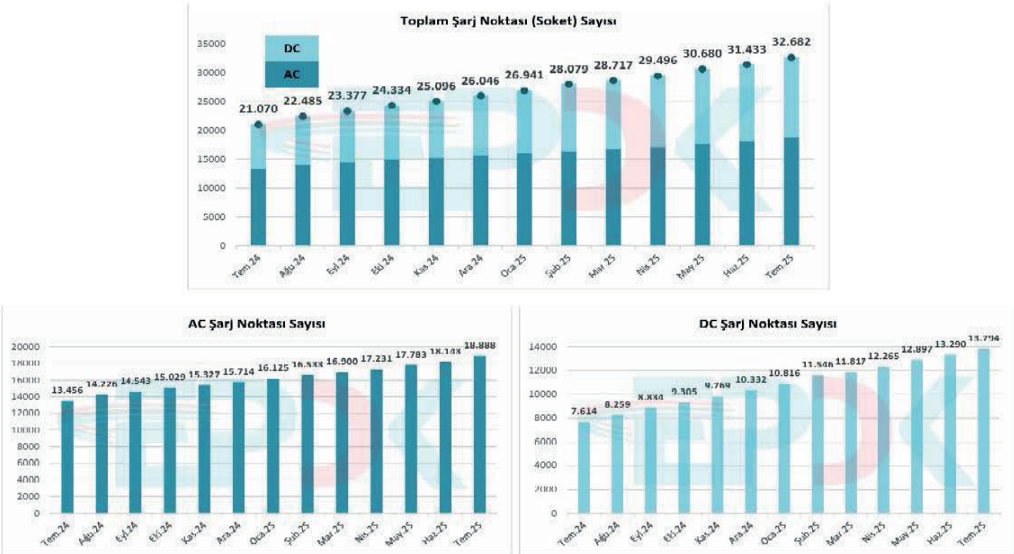
karşılanması gelecekte karşılaşılacak durumları çok rahat gözlemleme imkanını beraberinde getirmiştir. Sektör ile ilgili verilerin bir kısmı şu şekildedir;

• Şarj Noktası Sayısı: Ticari faaliyet gösteren şarj soketleri Temmuz 2025 itibarıyla 32.682 adet (18.888 AC, 13.794 DC)

• Elektrikli Araç Sayısı: Yaklaşık 291.775 araç trafiğe kayıtlı durumda

• Enerji Tüketimi: Temmuz'da şarj işlemlerinde toplam 45,6 milyon kWh enerji kullanıldı; İstanbul, Ankara ve İzmir en yüksek tüketimi gerçekleştiren iller

Resim- 1



Resim- 2

3.2. EPDK Projeksiyonları — Düşük, Orta, Yüksek Senaryolar

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun (EPDK) 2024 yılında yapmış olduğu çalışmalar sonucunda elektrikli araç ve şarj noktası (soket) sayısı tahminlerini içeren düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç temel senaryo oluşturmuştur. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu'nun 4/4/2024 tarihli ve 12551 sayılı Kurul Kararı ile onaylanan, ülkemizdeki elektrikli araç kullanımı, gelişimi ve şarj altyapısı ihtiyacına yönelik olarak oluşturulan elektrikli araç ve şarj noktası sayısı tahminleri aşağıda yer almaktadır:

Elektrikli Araç Projeksiyonu

Yıl	Elektrikli Araç Sayısı		
	Düşük Senaryo	Orta Senaryo	Yüksek Senaryo
2025	202.030	269.154	361.893
2030	776.362	1.321.932	1.679.600
2035	1.779.488	3.307.577	4.214.273

Şarj Noktası (Soketi) Projeksiyonu

Yıl	Şarj Noktası Sayısı (AC)			Şarj Noktası Sayısı (DC)			Şarj Noktası Sayısı (Toplam)		
	Düşük Senaryo	Orta Senaryo	Yüksek Senaryo	Düşük Senaryo	Orta Senaryo	Yüksek Senaryo	Düşük Senaryo	Orta Senaryo	Yüksek Senaryo
2025	24.983	33.476	44.988	9.295	12.594	16.909	34.278	46.070	61.897
2030	58.717	100.187	127.224	24.826	42.637	54.050	83.543	142.824	181.274
2035	100.150	186.152	237.181	46.766	86.924	110.753	146.916	273.076	347.934

En düşük senaryoda bile önemli büyüme sergileniyor; altyapı ve araç sayısında ciddi bir dönüşüm öngörülüyor.

2025 EPDK verilerine göre araç sayısındaki tahmin orta yüksek tahmin aralığına denk geldiği gibi şarj istasyonlarındaki sayı düşük tahminin altındadır. Şarj istasyonlarındaki düşük artışın sebebi enerji izinlerinin ilgili dağıtım şirketi süreçlerinde yavaş ilerlemesinden kaynaklıdır. Bu doğrultuda bakıldığında 2035 yılında en düşük senaryo gerçekleşmesi durumunda bile trafikte kayıtlı yaklaşık 1,8 milyon EA ve aktif olarak faaliyet gösteren yaklaşık 147 bin şarj noktası olması hedeflenmektedir.

3.3. Elektrik Tüketimi ve Enerji Sistemi Yükü

EPDK projeksiyonlarına göre:

• 2030: EA'ların elektrik tüketimi 1,69–3,56 TWh, bu, toplam üretimin sadece %1'i.

• 2035: Tüketim 3,98–9,39 TWh, toplam üretimin %2 seviyesini geçmiyor.

Bu durum, altyapının sürdürülebilirliği açısından olumlu bir tablo olduğu anlamına gelmektedir. Bu süre zarfında ilave altyapı yatırımlarının yapılacağı da ön görülürse rahatlıkla altyapıya zarar vermeden faaliyet gösterileceği düşünülebilir.

Altyapı konusunda ise en büyük risk dağıtım şirketi onayı alınmadan kullanılan şarj istasyonlarında olacaktır. Planlı olarak proje çizilip enerji talebi yapıldığında dağıtım şirketi planlamalarını bu doğrultuda yapabilecekken özellikle bireysel kullanımlarda dağıtım şirketi onayı alınmaması veya proje çizilip onaylatılmaması dağıtım şirketinin planlamadığı yükler şebekeden çekilmesine neden olacaktır. Dolayısıyla planda olmayan bu yükler özellikle trafo kapasitelerini aşması durumunda trafo yangınlarına ve altyapıda mevcut olan bağlantı hattı kablolarında aşırı ısınmadan kaynaklı kablo yangınlarına neden olacaktır. Bu durumun yaşanmaması adına hem dağıtım şirketleri iç yönetmelikler hazırlamakta hem de EPDK konuyla ilgili yönetmelikler hazırlamaktadır.

Gökhan Yılmaz
Elektrik ve Elektronik Mühendisi

4. KAYNAKÇA

1. EPDK Elektrikli Araç ve Şarj Altyapısı Projeksiyonu (2025–2035 senaryoları) https://www.epdk.gov.tr/Detay/DownloadDocument?id=jvDGtVdWM9A=

2. Elektrikli araç, şarj noktası artışı ve nüfuslu şehir tüketimleri (AA/EPDK verileri)

3. Elektrik tüketimi ve alt yapının yük tahminleri

4. Mevzuat ve teknolojik standartlar: OCPP 2.0.1, akıllı şarj zorunlulukları

5. Bina uygulamaları ve kentsel dönüşüm düzenlemeleri (TEDAŞ, akıllı yük)

6. Şarj Hizmeti Piyasası Aylık İstatistikleri Temmuz 2025 https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/4-16153/sarj-hizmeti-piyasasi-aylik-istatistikleri-temmuz

ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ CİHAZI (EVC) & SİBER GÜVENLİK

Elektrikli Araç Şarj Cihazı ve Siber Güvenlik: Enerji Dönüşümünün Görünmeyen Yüzü

Elektrikli araçların hızla yaygınlaşması, yalnızca otomotiv sektöründe değil enerji altyapılarında da köklü bir dönüşümü beraberinde getirmektedir. Ancak bu dönüşüm, enerji güvenliği ile siber güvenliğin kesişim noktasında yeni risk alanları yaratmaktadır. Şarj üniteleri, dijital ağlar üzerinden kimlik doğrulama, ödeme sistemleri ve uzaktan güncellemelerle çalışırken, aynı zamanda enerji şebekesinin kritik parçalarıdır. Bu yazı, elektrikli araç şarj altyapısının karşılaştığı siber tehditleri, Avrupa'daki güvenlik standartlarını, enerji savaşları bağlamındaki jeopolitik riskleri ve kullanıcı farkındalığının gelecekteki önemini tartışmayı amaçlamaktadır.

E-Mobility ve Siber Güvenlik Paradigması

Son yıllarda küresel ölçekte yaşanan enerji dönüşümü, otomotiv sektörünü yeniden tanımlamaktadır. 2030'a kadar dünya genelinde 150 milyonun üzerinde elektrikli araç yollarda olacak. Türkiye'de de hızla büyüyen pazar, altyapıya olan talebi artırırken, güvenlik konusunu daha kritik hale getirmektedir.

Elektrikli araç şarj üniteleri artık yalnızca enerji aktarım noktası değil; internete bağlı akıllı cihazlar konumundadır. Bu durum onları yalnızca teknik bakım gerektiren bir donanım olmaktan çıkarıp, siber saldırıların hedefi haline getirmektedir.

Altyapıda Görülen Siber Tehditler

EVC'ler farklı tipte saldırılarla karşı karşıya kalabilir:

- Kimlik doğrulama zafiyetleri (yetkisiz erişim),
- Man-in-the-Middle saldırıları (iletişimin manipüle edilmesi),
- İletişim güvenliğinde yetersiz şifreleme,
- Hizmet dışı bırakma (DoS/DDoS) saldırıları,
- Zararlı yazılım yüklü güncellemeler.

Bu tehditler, yalnızca bireysel kullanıcıların değil, ulusal enerji şebekelerinin de güvenliğini tehlikeye atabilecek boyuttadır.

Avrupa ve İngiltere'den Güvenlik Yaklaşımları

Avrupa'da elektrikli araç şarj altyapısının güvenliği yalnızca gönüllü standartlarla değil, bağlayıcı yasal düzenlemelerle de desteklenmektedir. Avrupa Birliği'nin yeni düzenlemeleri, cihazların kablosuz iletişim güvenliği, kullanıcı verilerinin korunması ve ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca yazılım güncellemeleri ile desteklenmesini zorunlu hale getirmiştir. AB'nin Radyo Ekipmanları Direktifi (RED) kapsamındaki güvenlik hükümleri, bu alanda gizlilik ve siber güvenlik şartlarını tanımlarken, Siber Dayanıklılık Yasası (Cyber Resilience Act – CRA) üreticilere uzun vadeli güncelleme yükümlülüğü getirmektedir.

Buna paralel olarak İngiltere'de yürürlüğe giren UK Smart Charging Regulations, doğrudan elektrikli araç şarj cihazlarına odaklanmaktadır. Bu düzenleme ile varsayılan şifre kullanımı yasaklanmış, her cihaz için benzersiz güvenlik kimliği şart koşulmuş ve üreticilere yazılım desteğini uzun vadeli sürdürme sorumluluğu yüklenmiştir.

Bu yaklaşım, teknik uyumun ötesinde, kullanıcı güvenini artırmayı ve pazarda sürdürülebilir bir güvenlik kültürü oluşturmayı hedeflemektedir.

Jeopolitik Bağlam: Siber Savaşlar ve Enerji Güvenliği

Enerji altyapısı, artık yalnızca teknik bir mesele değil, aynı zamanda jeopolitik bir güvenlik alanıdır.

• Ukrayna – Rusya savaşında enerji altyapısına yönelik saldırılar, milyonlarca kişiyi etkilemiştir.

• İran – İsrail arasındaki siber çatışmalar, enerji şebekelerinin IoT tabanlı saldırılara açık olduğunu göstermektedir.

• Mira Botnet gibi örnekler, sıradan cihazların bile küresel ölçekte hizmet dışı bırakma saldırılarında kullanılabileceğini kanıtlamıştır.

Bu tablo, elektrikli araç şarj istasyonlarının da benzer şekilde stratejik riskler taşıdığını ortaya koymaktadır.

Kullanıcı Farkındalığı ve Güvenlik Kültürü

Teknik çözümler tek başına yeterli değildir. Siber güvenliğin en zayıf halkası çoğu zaman kullanıcı davranışıdır. Bu nedenle güvenlik kültürü geliştirmek kritik önem taşımaktadır.

Kullanıcılara Öneriler

• Güçlü ve özgün parolalar kullanın. Tekrar eden ya da kolay tahmin edilebilir parolalardan kaçının.

• RFID kartınızı fiziksel olarak koruyun; kaybolması veya çalınması halinde vakit kaybetmeden operatörünüze bildirin.

• Sadece güvenli ve izole ağlarda bağlantı kurun. Ortak Wi-Fi ağlarından uzak durun; mümkünse güvenli Wi-Fi ya da mobil operatörlerin sunduğu özel/izole APN SIM çözümlerini tercih edin.

• Cihaz ve yazılımlarınızı güncel tutun; düzenli güncellemeler bilinen güvenlik açıklarına karşı en güçlü korumadır.

Dijital Güvenlikle Güçlenen Enerji Dönüşümü

E-mobilite, enerji dönüşümünün merkezinde yer alırken, siber güvenlik bu dönüşümün görünmeyen cephesidir. Avrupa'da geliştirilen standartlar, üreticiler ve operatörler için önemli bir yol haritası sunarken, kullanıcı farkındalığı da bu zincirin tamamlayıcı halkasıdır.

Siber tehditlere karşı dirençli bir şarj altyapısı oluşturmak, yalnızca teknik bir gereklilik değil; aynı zamanda sürdürülebilir ulaşım ve enerji güvenliği için stratejik bir zorunluluktur. Türkiye'nin de bu alandaki uluslararası deneyimlerden faydalanarak kendi güvenlik modelini geliştirmesi, geleceğin enerji ekosisteminde kritik bir adım olacaktır.

Hazırlayan: Kaan KAHRAMAN

Tasarım Doğrulama ve Test Mühendisi

KAYNAKÇA:

European Commission, Cyber Resilience Act (CRA), 2023.

ETSI EN 303 645, Cyber Security for Consumer IoT, European Telecommunications Standards Institute, 2020.

ISO 15118, Road Vehicles – Vehicle to Grid Communication Interface, International Organization for Standardization, 2018.

ENISA, Threat Landscape for Smart Infrastructure, European Union Agency for Cybersecurity, 2022.

ENCS & ElaadNL, EV Charging Security Requirements, European Network for Cyber Security, 2021.

Symantec, The Mirai Botnet Explained: IoT under Siege, 2017.

BBC News, Ukraine power grid cyberattack: Security concerns, 2016.

The Times of Israel, Iran-Israel cyber clashes highlight vulnerabilities in critical infrastructure, 2021.

IEA, Global EV Outlook 2024, International Energy Agency, 2024.

OWASP, IoT Top 10 Security Issues, OWASP Foundation, 2022.

LİTYUM BATARYALAR: YAPISI, ÇALIŞMA PRENSİBİ VE GÜVENLİK RİSKLERİ

Uzun ömrü, hafif yapısı ve yüksek enerji yoğunluğuna sahip olma avantajları nedeniyle günlük yaşamımızın birçok noktasında lityum bataryalar tercih edilmektedir. Bu bataryalar cep telefonları gibi modern taşınabilir cihazların, günümüzde sayısı artmakta olan elektrikli araçların, enerji depolama sistemlerinin, farklı el aletlerinin ve medikal cihazların temel enerji kaynağını oluşturur. Lityum bataryaların bilinçli kullanımı son derece önemlidir; çünkü bu bataryalar doğru kullanılmadıkları takdirde hem cihazların verimli çalışması hem de kullanıcı güvenliği açısından ciddi güvenlik riskleri doğurabilirler.

Yapısı ve Temel Bileşenleri

Lityum bataryalar, bataryanın güvenli ve verimli çalışmasında kritik rol oynayan dört ana bileşenden oluşur: anot, katot, elektrolit ve ayırıcı (separator).

Anot: Genellikle grafit gibi karbon bazlı malzemelerden yapılır. Şarj sırasında lityum iyonlarını depolar ve bataryanın enerji depolama kapasitesini belirler.

Katot: Lityum metal oksitlerden oluşur ve deşarj sırasında iyonların kaynağıdır. Katot malzemesi, bataryanın voltaj ve enerji yoğunluğunu doğrudan etkiler

Elektrolit: Anot ile katot arasındaki iyon transferini sağlayan iletken sıvıdır. Organik çözücüler içerdiği için yanıcıdır ve yüksek sıcaklıklarda bozulabilir.

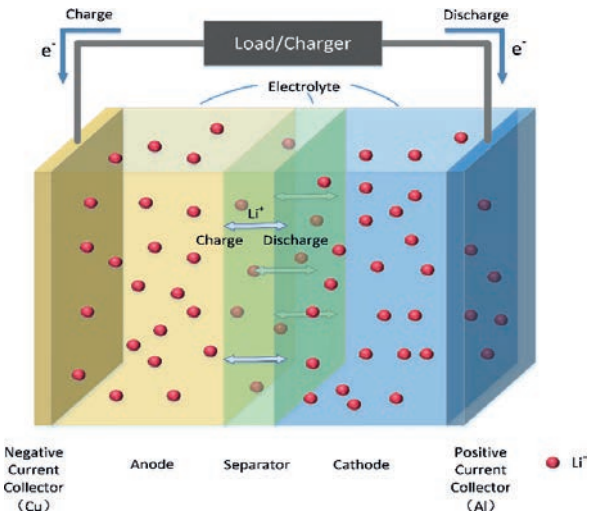
Ayırıcı (separator) : Anot ve katodu fiziksel olarak ayıran ince bir tabakadır. Kısa devre riskini önler ve bataryanın güvenli çalışmasına katkıda bulunur.

Bu dört ana bileşen sayesinde lityum bataryalar, küçük boyutlarına rağmen yüksek miktarda enerji depolayabilir. Öte yandan bataryanın verimliliğini ve güvenliğini büyük ölçüde bu bileşenlerin uyumu ve kalitesi belirler.

Çalışma Prensibi

Lityum bataryaların çalışma prensibi, iyon hareketine dayanır. Şarj sırasında lityum iyonları katottan anoda doğru hareket eder ve burada depolanır. Deşarj sırasında ise bu iyonlar anottan katoda geri döner ve bu süreç sırasında elektrik akımı oluşur. Elektrolit, bu iyon hareketini kolaylaştırırken ayırıcı, batarya içinde güvenli bir iyon yolu sağlar.

Lityum bataryaların özel bir türü olan Lityum Demir Fosfat ($LiFePO_4$) bataryalar, aynı iyon hareketi prensibine dayansa da katot materyali olarak demir fosfat kullanılır. Bu kimyasal yapı sayesinde Lityum Demir Fosfat bataryalar, geleneksel Lityum-iyon bataryalara kıyasla daha yüksek güvenlik seviyesi, daha uzun ömür ve termal stabilite sunar.



Güvenlik Riskleri ve Termal Kaçak

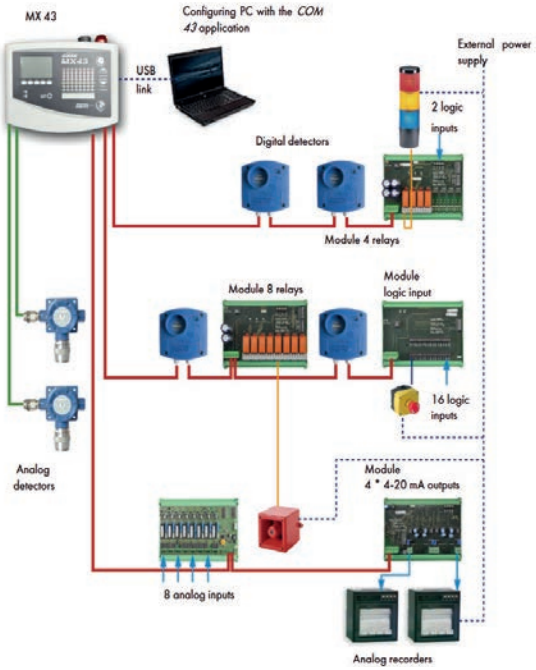
Lityum bataryalar, yararlarının yanı sıra bulundurdukları riskler nedeniyle dikkatli kullanılması gereken ürünlerdir. Hasar gördüklerinde, aşırı ısındıklarında ya da uygunsuz şarj edildiklerinde, termal kaçak adı verilen tehlikeli bir süreç başlayabilir. Termal kaçak sırasında batarya içinde sıcaklık hızla yükselir, elektrolit bozulur ve başlıca karbon monoksit (CO), karbondioksit (CO_2), hidrojen (H_2), metan (CH_4), hidroklorik asit (HCl) gibi bazıları zehirli bazıları ise son derece yanıcı gazlar açığa çıkar. Lityum bataryaların yanma riski en önemli güvenlik sorunlarından biridir. Açığa çıkan gazlar oksijenle tepkimeye girerek yangına ve patlamalara yol açabilirler.

Alınabilecek Önlemler ve Algılama Sistemleri

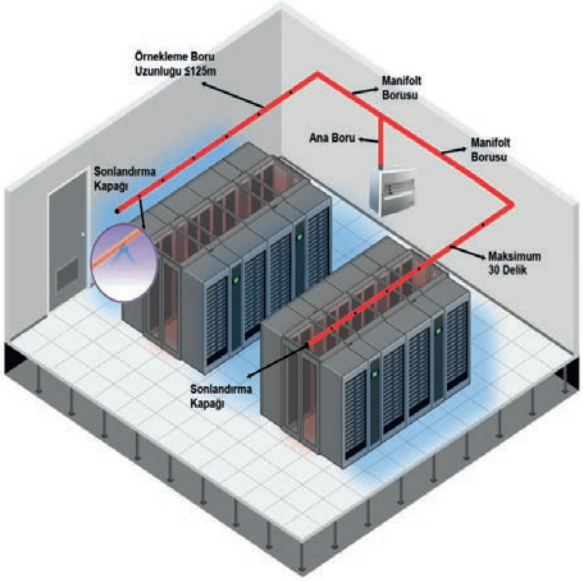
Bu riskleri minimize etmek için lityum bataryalardan açığa çıkan gazlar, uygun detektörler ve alarm sistemleri ile erken aşamada tespit edilebilir. Çeşitli algılama yöntemleri sisteme entegre edilmelidir:

• Sabit gaz algılama sistemleri: Stratejik noktalarda konumlandırılan sensörler aracılığıyla kritik alanları noktasal olarak izler ve havada biriken gazları sürekli monitör eder. Bu sistemler elektrokimyasal, kızılötesi veya katalitik sensör teknolojilerini kullanarak CO, H_2, CH_4, HCl gibi tehlikeli gazları algılar. Yüksek hassasiyetle çalışan bu sensörler, önceden tanımlanmış alarm seviyelerine ulaşıldığında anında uyarı vererek personel güvenliğini ve hızlı müdahaleyi sağlar. ATEX, IECEx ve SIL sertifikasyonlarına sahip olmalı ve özellikle batarya ünitelerinin yakınında ve kapalı alanlarda kritik öneme sahiptir.

• Hava örnekleme sistemleri: Çevresel havayı sürekli ABS veya PVC borular ile hava örnekleme üniteye çekerek gaz kaçaklarını ve potansiyel tehlikeleri



erken aşamada algılar. Havadaki çok düşük konsantrasyonlardaki gazları bile tespit edebilir ve çoklu örnekleme noktaları sayesinde büyük tesislerde homojen koruma sağlar. Erken uyarı kapasitesi diğer sistemlere göre daha yüksektir ve özellikle büyük enerji depolama tesislerinde ve veri merkezlerinde tercih edilir. ATEX, IECEx, UL, FM, SIL ve EN 54 serisi sertifikalarına sahip olmalıdır.



• Alev algılama sistemleri: Kızıl Ötesi (IR) ve/veya Ultraviyole (UV) ışınları kullanarak ışık spektrum analizi yapar ve alevlenme sinyallerini milisaniyeler içinde tespit eder. 3R (üçlü IR) teknolojisi ile atmosferik koşullardan etkilenmeden güvenilir tespit sağlar ve

sıcaklık artışlarını izleyebilir. Bu sistemler hidrojen alevleri gibi görünmez alevleri bile algılayabilir, yanlış alarm oranları son derece düşüktür ve yangın başlamadan önce oluşan küçük alevlenmeleri tespit edebilir. ATEX, IECEx, UL, FM, SIL ve EN 54 serisi sertifikalarına sahip olmalı ve özellikle patlama riski taşıyan ortamlarda kritik koruma sunar.

Wrisklerine karşı katmanlı güvenlik yaklaşımı oluşturarak hem önleyici hem de reaktif koruma sağlar. Her sistem farklı aşamalarda devreye girerek kapsamlı bir güvenlik ağı oluşturur.

Burak Cedetaş
Elektrik Yüksek Mühendisi

KAYNAKÇA

•Armand, Michel & Tarascon, J.-M. (2008). Building Better Batteries. Nature. 451. 652-7. 10.1038/451652a.

•Bandhauer, T. M., Garimella, S., & Fuller, T. F. (2011). A critical review of thermal issues in lithium-ion batteries. Journal of the Electrochemical Society, 158(3), R1–R25. https://doi.org/10.1149/1.3515880

•Dunn, B., Kamath, H., & Tarascon, J. M. (2011). Electrical energy storage for the grid: A battery of choices. Science, 334(6058), 928–935. https://doi.org/10.1126/science.1212741

•Wang, Q., Ping, P., Zhao, X., Chu, G., Sun, J., & Chen, C. (2012). Thermal runaway caused fire and explosion of lithium-ion battery. Journal of Power Sources, 208, 210–224. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.02.038

•Zubi, G., Dufo-López, R., Carvalho, M., & Pasaoglu, G. (2018). The lithium-ion battery: State of the art and future perspectives. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 89, 292–308. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.002

ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARINDA YASAL METROLOJİ

Özet

Dünya, küresel iklim değişikliği hedeflerine ulaşmak için fosil yakıtlı araçlardan daha düşük emisyonlu elektrikli araçlara doğru bir geçiş sürecindedir. Bu dönüşümle birlikte, günlük mobilite için harcanan enerjinin kaynağı akaryakıtlardan elektrik enerjisine kaymaktadır. Bu dönüşümün en önemli unsurlarından biri olan halka açık şarj istasyonlarında, adil bir ticaretin ve doğru vergilendirmenin tesisi için yasal metroloji kavramı hayati bir önem taşımaktadır. Bu makalede; şarj istasyonlarında yasal metroloji kavramı, ilgili teknik detaylar ve farklı ülkelerdeki uygulamalar incelenmektedir. Ayrıca, Türkiye'deki elektrikli araç şarj istasyonlarında yasal metroloji açısından piyasa durumu ve denetim eksikliğinin yarattığı potansiyel risklere değinilerek, uluslararası örneklere benzer kademeli bir yasal metroloji regülasyon geçiş süreci önerilmektedir.

Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarında Yasal Metrolojiye Neden İhtiyaç Var?

Sanayi devriminden günümüze kadar, ticaretin temel taşlarından biri olan ölçüm güvenilirliği, ulusal ve uluslararası metroloji kuruluşlarının sürekli gözetimi ve denetimi altında olmuştur. Akaryakıt pompaları, su sayaçları, elektrik sayaçları, taksimetreler ve benzeri ticari ölçüm cihazları, yalnızca teknik işlevleriyle değil, aynı zamanda tüketici haklarını ve piyasa düzenini doğrudan etkileyen araçlar olmaları nedeniyle "yasal metroloji" kapsamında denetime tabi tutulmaktadır. Bu denetimler sayesinde, tüketici ödediği ücret karşılığında eksiksiz ve doğru miktarda ürün ya da hizmet aldığından emin olurken, işletmeler arasında da haksız kazançların önüne geçilerek adil bir rekabet ortamı tesis edilmekte, doğru vergilendirme sağlanmaktadır.

Elektrikli araç şarj istasyonları, elektrik mobilitenin hızla yaygınlaştığı günümüzde yeni nesil ölçüm cihazları olarak öne çıkmaktadır. Bu istasyonlar; farklı kullanıcıların aynı noktadan, farklı zamanlarda elektrik enerjisi satın aldığı yapılar olup; ölçüm, veri güvenliği ve faturalandırma boyutlarıyla klasik sayaçlardan daha karmaşık ölçüm sistemleri haline gelmiştir.

Yasal metroloji açısından bir şarj istasyonunun;

• Araca enerji aktardığı doğru zaman aralığında ölçüm gerçekleştirmesi,

• Birden fazla şarj çıkışı var ise çıkışlar arasında ölçüm ve veri karışıklığına mahal vermemesi,

• İstasyonun kendi üzerinde harcadığı enerjiden bağımsız olarak, yalnızca hizmet noktasında araca aktardığı elektrik enerjisini yüksek doğrulukla ölçmesi,

• Bu ölçüm sonuçlarını manipülasyona kapalı ve güvenli bir biçimde kayıt altına alması,

• Metrolojik veriyi, faturalamadan sorumlu taraflara güvenli bir iletişim kanalı üzerinden iletmesi,

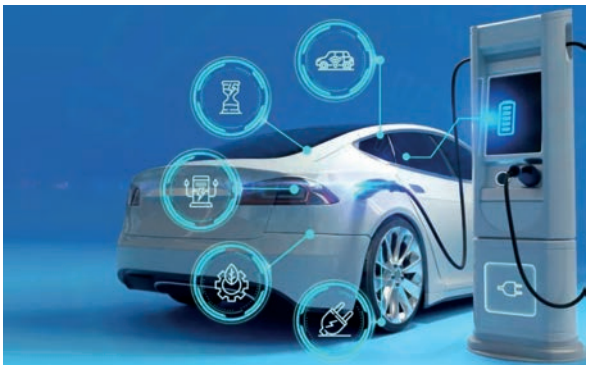
• Kullanıcıya şeffaf ve doğrulanabilir bir tüketim bilgisi sunması,

tartışılmaz bir gerekliliktir.

Bu gereklilikler genel olarak teknik açıdan kabul görmüş olsa da, elektrikli araç şarj istasyonları için tüm gereklilikleri kapsayan ve evrensel olarak kabul görmüş bir yasal metroloji standardı henüz mevcut değildir. Bu durum, küresel düzeyde ortak bir çerçeve oluşturmaya çalışan uluslararası kuruluşlar ve bölgesel otoritelerin karşılaştığı en büyük zorluklardan biridir. Örneğin, Avrupa Birliği'nde şarj istasyonlarının Ölçü Aletleri Direktifi (MID) kapsamına alınması hala gündemdedir; ancak bu direktifin teknik gerekliliklerini belirleyecek harmonize standartların henüz netleşmemesi, ortak bir regülasyonun yürürlüğe girmesini geciktirmektedir. Standardizasyondaki bu belirsizlikler, ulusal metroloji otoritelerini harekete geçmeye yöneltmiştir. Pazarın hızla büyümesi ve denetimsizliğin getirdiği riskler, farklı ülkelerin metroloji kuruluşlarının kendi kurallarını oluşturmasına ve kendi yol haritalarını çizmesine zemin hazırlamıştır. Bu ulusal regülasyonlar, gelecekte yaşanabilecek maliyetli geri çağırma ve sahada dönüşüm süreçlerini en aza indirmeyi ve daha adil bir pazar ortamı yaratmayı hedeflemektedir.

Bu noktada özellikle Almanya'daki Eichrecht düzenlemesi, diğer adıyla Alman Kalibrasyon Kanunu, sektördeki ilk uygulamalardan biri olması dolayısıyla ve Almanya-Avusturya-İsviçre (DACH) bölgesinde uzun bir süredir uygulamada olması sebebiyle önemli bir örnek olarak dikkat çekmektedir. Alman Kalibrasyon Kanunu; elektrikli araç şarj istasyonlarında kullanılan sayaçların veya diğer adıyla ölçüm kapsüllerinin ölçüm güvenliği açısından mühürlenmesi de dahil olmak üzere yalnızca doğruluk yönünden değil, aynı zamanda şeffaflık ve veri güvenliği açısından da belirli kriterleri karşılamasını zorunlu kılmaktadır. Bu kanun çerçevesinde Almanya'da yaygın olarak uygulanmakta olan bir yöntemde; her şarj işlemi için ölçüm verisi, dijital bir imza ile elektronik olarak güvence altına alınmaktadır. Bu imza, verinin manipüle edilemez ve geriye dönük olarak doğrulanabilir olmasını sağlar. Belirlenmiş olan teknik gerekliliklerle, şarj verisinin nasıl imzalanacağı, şeffaf bir şekilde kullanıcıya nasıl gösterileceği ve şarj yönetim ve faturalama yazılımları gibi bulut sistemlerine nasıl güvenli bir şekilde aktarılacağı gibi konulara açıklık getirilmiştir. Şarj istasyonlarında bulunan QR kodları aracılığıyla kullanıcıya doğrudan gösterilen ve üçüncü taraflarca da doğrulanabilen imzalı ölçüm verileri, tüketiciye güvence sağlarken piyasanın güvenilirliğini artırmaktadır.

Amerika'nın Kaliforniya Eyaleti'ndeki uygulamalara baktığımızda; Amerikan yasal metroloji standartlarının



temel taşı olan Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST) El Kitabı 44 gereklilikleri, Kaliforniya'da elektrikli araç şarj istasyonları (EVSE) için zorunlu kılınmıştır. Bu standartlara göre, ticari şarj istasyonlarının doğru ölçüm yapması, işlemleri şeffaf bir şekilde kaydetmesi ve tüketiciye güvenilir bilgi sunması esastır. Teknik açıdan, cihazlar araca veya araçtan aktarılan enerjiyi kWh cinsinden açıkça göstermeli ve işlem başlangıcında göstergeler zorunlu olarak sıfırlanmalıdır. Olası bir elektrik kesintisinde dahi, hem kayıtlı veriler hem de devam eden işlemin durumu korunmalıdır. Hassasiyet gereklilikleri, hem alternatif akım (AC) hem de doğru akım (DC) sistemleri için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Bu standarttaki düzenlemeler, yalnızca doğru ölçüm ve faturalandırmayı güvence altına almakla kalmaz, aynı zamanda ölçüm elemanlarının yetkisiz müdahaleye karşı mühürlenebilir olması gibi özelliklerle sistemin bütünlüğünü korur.

Benzer şekilde, uluslararası alanda yasal metroloji standartlarını belirleyen en önemli kuruluşlardan biri olan Uluslararası Yasal Metroloji Teşkilatı (OIML), 2022 yılında yayımladığı OIML G22: Elektrikli Araç Besleme Donanımı, Metrolojik ve Teknik Gereklilikler, Metrolojik Kontrol ve Performans Testleri rehberiyle elektrikli araç şarj istasyonlarında yasal metroloji için yol gösterici bir kılavuz sunmuştur. OIML G22; bir şarj istasyonunun metrolojik ve teknik gereksinimlerini ayrıntılı olarak ele almakta, ölçüm noktasının belirlenmesi, uygulanması gereken mühürlemenin kapsamı, doğruluk sınıfları, ölçüm doğruluğu ve performans testleri, elektromanyetik bağışıklık testleri ve yazılım güvenliği gibi konuları kapsamakta, ulusal metroloji kuruluşlarının kendi mevzuatlarını hazırlarken referans alabileceği temel bir çerçeve sunmaktadır. OIML G22 rehberinin yayınlanmasından kısa bir süre sonra Metroloji ve Sanayi Ürünleri Güvenliği Genel Müdürlüğü, Türk Standartları Enstitüsü, Ulusal Metroloji Enstitüsü ve özel sektör paydaşlarından oluşan bir komisyonda; Türkiye'de şarj istasyonlarında yasal metroloji konusundaki boşluğu doldurmak amacıyla TSE K 643:2022 Elektrikli Araç Besleme Donanımları - Metrolojik ve Teknik Gerekler ile Metrolojik Kontroller ve Performans Deneyleri belgelendirme kriteri hazırlanmıştır. Bu çalışma ülkemizin birçok Avrupa ülkesinden erken davranıp çok kısa bir sürede hazırlamış olduğu sektör paydaşlarıyla birlikte akıl koyulan kapsayıcı bir çalışmadır. TSE K 643, OIML G22'yi temel alarak hazırlanmış olup, ülkemizin ihtiyaçları doğrultusunda bazı ek maddeler ve düzenlemeler içermektedir. Bu kriter, şarj istasyonlarının, mühürlenebilir bir yapıya sahip olması, kablo kaybı kompanzasyonu yapması, ölçüm verisini güvenli bir şekilde sunucuya aktarması, tüketiciye şarj sırasında tüketilen enerjinin şeffaf bir şekilde gösterimi gibi temel gereksinimleri de tanımlar. Ayrıca, yazılımın güvenliğini sağlamak için özel denetim mekanizmalarının varlığını ve doğrulanma yöntemlerini de belirlemektedir.

Gelinen noktada 2022 yılında çalışması tamamlanmış ve yayınlanmış olan bu kritere ve Türkiye'de Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun Resmi Gazete'de yayınlamış olduğu Şarj Hizmeti Yönetmeliği'nde, "Şarj hizmeti sunulan şarj ünitelerinde elektrikli araçlara aktarılan elektrik enerjisi miktarının ölçülmesi ve kullanıcı tarafından görülebilmesi için 11/1/1989 tarihli ve 3516 sayılı Ölçüler ve Ayar Kanununa uygun ölçüm aletleri kullanılır." şartı yer almasına rağmen bu gereklilikler piyasada tam olarak uygulanmamakta ve denetlenmemektedir.

Mevcut durumda, piyasaya sürülen ve halihazırda kullanılmakta olan şarj istasyonlarının;

• **Doğruluk ve Kontrol Edilebilirlik:** Tüketiciye satılan enerjiyi doğru ölçen ve bu ölçümün güvenilirliğini garanti eden bir mekanizmayla donatılıp donatılmadığı

• **Ölçümün Doğru Zaman Aralığında Yapılması:** Araca enerji aktarımı için gerçekleştirilen anahtarlama ile metrolojik ölçümün koordineli bir şekilde sağlanıp sağlanmadığı

• **Kablo Kaybı Kompanzasyonu:** Özellikle yüksek güçlü DC şarj cihazlarında, şarj kablosunun iç direncinden kaynaklanan kayıpların ölçüm sırasında doğru şekilde kompanse edilip edilmediği

• **Güvenli Veri Aktarımı ve Faturalama:** Ölçülen metrolojik verinin (kWh), istasyondan faturalama sunucusuna doğru ve güvenli bir şekilde iletilip iletilmediği ve manipülasyona açık olup olmadığı

• **Ölçümün Kullanıcıya Şeffaf Şekilde Gösterimi:** Şarj sonunda tüketilen enerjinin kullanıcıya şeffaf ve doğrulanabilir bir şekilde gösterilip gösterilmediği

gibi yönlerden değerlendirilmemesi ve denetime tabi tutulmaması dolayısıyla, şarj hizmeti ticaretinin adil şekilde sürdürülüp sürdürülemediği de

belirlenememekte, tüketicilerin ve şarj operatörlerinin karşılaşabileceği riskler de öngörülememektedir. Ayrıca gelecekte yapılacak olası regülasyon değişiklikleri ve buna bağlı denetimler, sahadaki şarj istasyonlarının toplu şekilde yenileme veya dönüşüm süreçlerini zorunlu kılarak firmaları yatırım bütçeleri dışında büyük bir maddi külfetle karşı karşıya bırakma ve halihazırda yapılan yatırımın boşa harcanması veya bu yatırıma ek maliyetler getirme riskini de beraberinde getirmektedir.

Türkiye İçin Yol Haritası ve Öneriler

Bu tip regülatif geçişleri yönetmek için şarj hizmeti piyasasında karşılaşılabilecek mevcut riskler değerlendirilirken uluslararası örnekler de incelenmeli ve sektördeki gelişimi sekteye uğratmayacak bir geçiş süreci belirlenmelidir. Uluslararası örnekler açısından Almanya ve Kaliforniya, şarj istasyonlarında yasal metrolojiyi zorunlu kılan ilk bölgelerden olması sebebiyle incelenmeye değerdir.

Almanya'da yasal metroloji kanunu, elektrikli araç şarj istasyonları için 2017 yılında yürürlüğe girmiştir. Ancak, şarj istasyonlarının bu yasalara tam uyumu için sektörün hazırlanması amacıyla kademeli bir geçiş süreci belirlenmiştir.

• 1 Nisan 2019'dan itibaren yeni kurulan tüm halka açık AC şarj istasyonları, kalibrasyon kanununa uyumlu olmak zorundadır. Daha önce kurulan istasyonlar için ise 31 Mart 2023'e kadar uyum sağlama zorunluluğu getirilmiştir.

• Yeni kurulan DC hızlı şarj istasyonları için kalibrasyon kanununa uyum zorunluluğu 1 Nisan 2021'de başlamıştır. Mevcut DC şarj istasyonlarının bu tarihe kadar uyum sağlaması için bir geçiş dönemi tanınmıştır.

Amerika'nın Kaliforniya eyaletinde yasal metroloji kanunu ise, Almanya'daki kalibrasyon kanununa benzer şekilde, elektrikli araç şarj istasyonları için kademeli bir uyum süreci belirlemiştir.

• 1 Ocak 2021 tarihinden itibaren yeni kurulan tüm AC şarj istasyonlarının yasal metrolojiye uyumlu olması zorunludur.

• 1 Ocak 2023 tarihinden itibaren yeni kurulan DC hızlı şarj istasyonları için aynı zorunluluk getirilmiştir.

• Hem AC hem de DC şarj istasyonları için, bu tarihlerden önce kurulan mevcut istasyonların yasal metroloji gerekliliklerine uyum sağlaması için belirlenen son tarih 1 Ocak 2031'dir.

Türkiye'deki tüm piyasa paydaşları ve düzenleyici otoritelerin de ortak görüşüyle, benzer bir geçiş sürecinin ivedilikle tanımlanması elzemdir. Aksi takdirde, pazarın mevcut hızda büyümesiyle oluşacak standart dışı ve denetimsiz altyapı, gelecekte çok daha büyük değişim ve dönüşüm maliyetlerine ve tüketici güvenini zedeleyen sorunlara yol açabilir. Bu geçiş sürecinin şeffaf ve kademeli bir şekilde belirlenmesi, bir yandan yeni yatırımları teşvik ederken, diğer yandan mevcut operatörlerin sistemlerini güncellemeleri için makul bir süre tanıyacaktır. Bu sayede, hem yatırımcıların sermayesi korunacak hem de adil rekabet koşulları sağlanacaktır. Bu makale, Türkiye'nin elektrikli araç şarj ekosisteminde kalıcı bir güven ve adalet ortamı yaratabilmesi için yasal metrolojiye hak ettiği önemi vermeye ve geleceğin altyapısını bugünden sağlam temeller üzerine kurmaya yönelik somut adımlar atılmasına bir çağrı niteliğindedir.

Görkem ÖZVURAL
Elektrik-Elektronik Yüksek Mühendisi
EMO İzmir Şubesi Elektrikli Araçlar ve Depolama Sistemleri Komisyonu Başkanı

KAYNAKÇA

[1] OIML. (2022). OIML G 22: Electric Vehicle Supply Equipment (EVSE) - Metrological and technical requirements, metrological controls and performance tests. OIML.

[2] TSE. (2022). TSE K 643: Elektrikli araç besleme donanımları - Metrolojik ve teknik gerekler ile metrolojik kontroller ve performans deneyleri. Türk Standardları Enstitüsü.

[3] European Commission. Measuring Instruments Directive (MID) 2014/32/EU.

[4] Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB). Charging Infrastructure for Electric Vehicles (Eichrecht).

[5] California Department of Food and Agriculture. (2021). EV Charging Station Regulations.

[6] The National Institute of Standards and Technology (NIST). NIST Handbook 44: Specifications, Tolerances, and Other Technical Requirements for Weighing and Measuring Devices

birlik haberleri

TEMMUZ - AĞUSTOS 2025 SAYI: 4

Orta Sayfa