

YARININ DÜNYASINDA ELEKTRİKLİ ARAÇLAR: SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞIMIN GELECEĞİ VE ÇEVRESEL DÖNÜŞÜM

Dr. Gökhan Yüksek

Batman Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi

Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

gokhan.yuksekk@batman.edu.tr

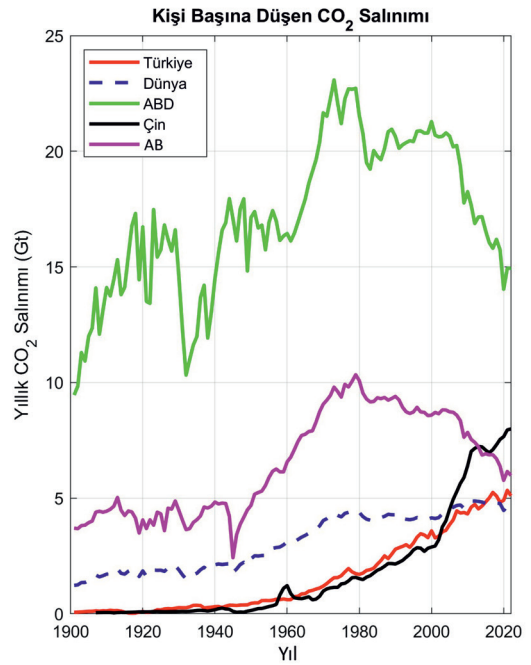
Yarının dünyasında elektrikli araçlar yalnızca bir ulaşım aracı olmanın ötesinde, çevresel sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği açısından büyük bir dönüşümün öncüsü olacaktır. Fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltarak karbon emisyonlarını tamamen ortadan kaldıracak olan bu araçların, şehirlerin hava kalitesini iyileştirirken aynı zamanda enerji tüketim alışkanlıklarını da yeniden şekillendirmesi beklenmektedir.

İklim Değişikliği ve Küresel Isınma

Geleceğin dünyasında çözmemiz gereken problemlerin başında iklim değişikliği ve küresel ısınma sorunu gelmektedir. Sanayi devrimiyle başlattığımız enerji üretimine bağlı sera gazı emisyonlarının

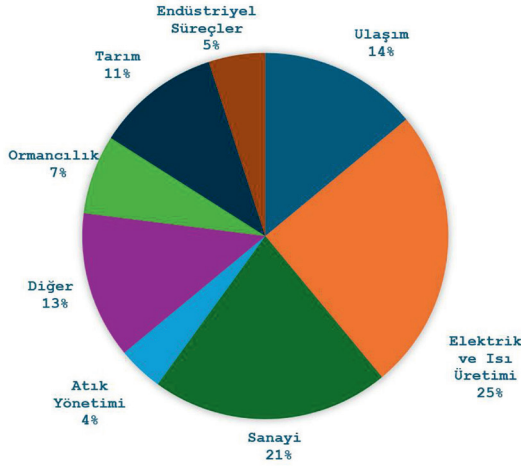
yoğunluğu, değiştiremediğimiz alışkanlıklarımız yüzünden günümüze kadar artarak devam etmiştir. 20. yüzyılın başında atmosfere saldıığımız CO₂ yaklaşık 2 milyar ton iken günümüzde 40 milyar ton sınırına dayanmış ve artarak devam

etmektedir. Aşağıda yıllık CO₂ salınımları ve dünya ortalaması verilmiştir [1]. Gelişmiş ülkeler olarak kabul edilen ABD ve Avrupa Birliği ülkelerinde 1980'lere kadar sürekli yükseliş halinde olan CO₂ salınımı bu tarihten sonra alınan önlemler ve izlenen politikalarla sürekli bir düşüşe başlamıştır.



Çin'de ise gelişen endüstri ve artan nüfus ile sürekli artışını sürdüren CO₂ salınımı son yıllarda Avrupa Birliği ortalamasını aşarak ABD'den sonra en yüksek kişi başına CO₂ salınımı gerçekleştiren ülke konumuna gelmiştir. Son olarak ülkemizi incelediğimizde ise Çin'e benzer bir profil görülmektedir. Ayrıca 2016 yılı itibarıyla ülkemizdeki CO₂ salınımı dünya ortalamasını aşmıştır. Gerekli önlemler alınmadığı takdirde yakın zamanda Avrupa Birliği ortalamasının da üzerine çıkacağı öngörülmektedir.

Aşağıdaki şekilden de görüleceği üzere ulaşım sektöründen kaynaklanan CO₂ salınımı tüm emisyonların yüzde 14'ünü oluşturmaktadır [2]. Bu emisyonların çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak, sadece devlet politikalarıyla değil, aynı zamanda bireylerin ve toplumun kolektif çabalarıyla mümkün olacaktır. Fosil yakıtlarla çalışan araçlar ulaşım sektöründe en büyük karbon emisyonu kaynağıdır ve bireylerin bu araçlara olan bağımlılığı azaltılmadan, bu alandaki emisyonların düşürülmesi mümkün olmayacaktır.



Yeşil Dönüşüm

Günümüzde elektrikli araçlar, şehirlerin hava kalitesini iyileştirmek ve karbon ayak izini azaltmak için güçlü bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Elektrikli araçların yaygınlaşması, bu noktada önemli bir çözüm sunmaktadır. Sıfır emisyonlu elektrikli araçlar, karbon salınımını büyük ölçüde azaltırken, aynı zamanda enerji verimliliğini de artırmaktadır.

Trafiğe çıkan elektrikli araç sayısındaki değişim aşağıdaki tabloda verilmiştir [3]. Çin Halk Cumhuriyeti (ÇHC) 2023 yılında satılan dünyadaki tüm elektrikli araçların yüzde 54.5'ini barındırmaktadır. Dünyanın en kapsamlı elektrikli araç teşvik programını uygulayan ülkede, vatandaşların bu araçları benimsemesi ve yaygın olarak kullanması için sıkı bir sübvansiyon ve reklam politikası izlenmektedir. Ayrıca araç üreticilerine de belirli kota sınırları içerisinde yeni enerji araçları olarak adlandırdıkları tamamen elektrikli araç, hibrit elektrikli araç ve yakıt hücresi araçlar üretme zorunluluğu getirilmiştir. Ayrıca dünyanın en büyük 10 batarya üretim firmasının altısına sahip olan ÇHC batarya üretimi pazarının yüzde 62.9'unu elinde tutmaktadır [4].

Avrupa Birliği (AB) ise 2050 yılına kadar karbon nötr bir kıta olma politikası ile düzenlemeler ve çalışmalar yapmaya devam etmektedir [5]. Otomotiv sektörüne getirilen katı emisyon kuralları ile 2030 yılına kadar emisyonları yüzde 55 oranında azaltmayı hedefle-

mektedir. 2023 yılında trafiğe çıkan elektrikli araçların yüzde 20.25'i AB üye ülkelerinde bulunmaktadır. 2019'da AB üye ülkelerinin kabul ettiği Yeşil Mütakat ile sürdürülebilir ulaşımın yaygınlaştırılması ve elektrikli araçların teşvik edilmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda 2020'de kabul edilen AB İyileştirme Planı ile yeşil ulaşım altyapısına yönelik finansman artırılmış ve üye devletlere bu alanda yatırım yapmaları için teşvikler sağlanmıştır [6]. Bu sayede 2020 yılında 250 bin olan şarj istasyonu sayısı 2024 itibarıyla 500 bini aşmıştır. Ayrıca AB 2020-2027 döneminde Horizon Europe programı kapsamında elektrikli araçlar ve ilgili teknolojiler için yaklaşık 95.5 milyar Euro bir bütçe ayrılmıştır. Bu bütçenin verimli kullanılması ile yüzde 10 olan batarya üretim pazar payının yüzde 20'ye çıkarılması ve elektrikli araç başına 6 bin Euro'ya varan teşviklerle kullanıcıların elektrikli araç alımına yönlendirilmesi amaçlanmaktadır [7], [8].

Yıl	Çin	Avrupa Birliği	Türkiye	ABD	Dünya
2010	1940	4940	0	0	20400
2011	6960	12430	0	22000	67500
2012	16920	30900	0	75000	190000
2013	32600	77000	0	172000	390000
2014	85000	132000	0	290000	710000
2015	297000	250000	0	400000	1250000
2016	630000	360000	630	570000	2010000
2017	1210000	540000	740	760000	3100000
2018	2240000	760000	930	1120000	5200000
2019	3370000	1110000	1840	1450000	7200000
2020	4490000	2090000	3900	1740000	10200000
2021	7800000	3900000	8600	2220000	16300000
2022	14100000	5600000	16300	3010000	26000000
2023	21800000	8100000	81900	4800000	40000000

Elektrikli araç satışı sıralamasında yüzde 12'lik pay ile üçüncü sırada bulunan Amerika Birleşik Devletleri (ABD), bu oranı artırmak için çok sayıda yasal düzenleme gerçekleştirmiştir. Ulusal Elektrikli Araç Altyapı Programı ile şarj istasyonlarının eyaletler arası otoyollarda her 80 km'de bir olacak şekilde kurulması amacıyla 5 milyar dolarlık fon ayrılmıştır. Ek olarak Şarj ve Yakıt Altyapısı Hibe Programı ile de kırsal alanlara şarj istasyonlarının kurulması amacıyla 2.5 milyar ABD Doları ayrılmıştır [9]. ABD'de sadece federal düzeyde değil eyaletler bazında da yönetmelikler hayata geçirilmiştir. Örneğin Kaliforniya eyaletinde başlatılan ve ardından 15 eyalet tarafından da kabul edilen Sıfır Emisyonlu Araç programı kapsamında firmalar yeni araç satışlarının yüzde 12'sini sıfır emisyonlu araç olarak gerçekleştirmek zorundadır. Bu oran 2025 yılında yüzde 22 olarak revize edilecektir [10]. Bu program sayesinde ABD'de



bugüne kadar satılan tüm elektrikli araçların yüzde 40'ı Kaliforniya'da satılmıştır [11]. Son olarak hem federal hem de eyalet düzeyinde yürütülen "Drive Electric" kampanyaları ile insanlar elektrikli araçlar konusunda bilinçlendirilmekte ve elektrikli araç kullanmaya yönlendirilmektedir.

Ülkemizde ise elektrikli araçlara yönelik atılan en önemli adım TOGG projesidir. Proje ve beraberinde yürütülen tanıtım ve reklam çalışmaları ile insanlar elektrikli araçlar ile ilgili bilgilendirilmiş ve yönlendirilmeye çalışılmıştır. Ayrıca elektrikli araçlar için vergi istisnaları öngören yönetmelikler oluşturulmuştur. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, şarj istasyonlarının kurulumu ve işletilmesine ilişkin düzenlemeler yaparak altyapının hızla yaygınlaşmasını amaçlamaktadır [12]. 2023 yılında 1719 olan şarj istasyonu sayısı 2024'te 6 bin 58'e yükselmiştir. 2025 yılına kadar 10 bin şarj istasyonuna ulaşılması hedeflenmektedir. Paris İklim Anlaşması taahhütleri uyarınca, ülkemizde 2053 yılına kadar karbon nötr olma hedefine yönelik çalışmalar sürmektedir [13].

Geleceğin Ulaşımı: Elektrikli Araçlar

Günümüzde elektrikli araçların yaygınlaşmasının önündeki en büyük engel menzil sorunudur. Bu sorunu çözmek için araştırmacılar batarya teknolojisi ve batarya yönetim sistemlerinin geliştirilmesi üzerine çalışmalar yürütmektedir [14], [15], [16], [17], [18]. Yakın gelecekte daha kısa şarj süreleri ile daha uzun mesafeler alınacağına ve bu sorunun çözüleceğine kesin gözüyle bakılmaktadır.

Bugünün penceresinden baktığımızda elektrikli araçlar sadece bir ulaşım aracı olarak görülmektedir. Fakat yakın gelecekte enerji tüketim davranışlarının baştan aşağı değiştirilmesinin en önemli faktörlerinden birisi olacaktır. Elektrikli araçlar sadece enerji tüketicisi değil, aynı zamanda enerji depolayıp geri besleyebilen (Vehicle-to-Grid, V2G) birimler haline gelecektir. V2G teknolojisi ile elektrikli araçların enerji yönetiminde oynadığı rolü genişleyecek ve sadece enerji tüketicisi değil, aynı zamanda depolayıcısı olarak kullanılmasını sağlayacaktır [19], [20]. Bu teknoloji elektrikli araçların bataryalarında depolanan enerjiyi şebekeye geri verebilmesini ve

şebekenin ihtiyaç duyduğu anlarda bu enerjinin kullanılmasını mümkün kılacaktır. Ekonomik açıdan bakıldığında ise V2G teknolojisi, elektrikli araç sahiplerinin enerji geri beslemesi yaparak gelir elde etmelerine olanak tanıyabilecektir. Araç sahipleri, araçlarının bataryalarındaki enerjiyi şebekeye sağladıklarında, şebeke operatörlerinden ödeme alabilecek ve bu durum enerji

maliyetlerini düşürmenin yanı sıra elektrikli araçların yaygınlaşmasına da katkı sağlayacaktır.

Elektrikli araçların yaygınlaşması, çevresel etkilerin yanı sıra ekonomik anlamda da büyük değişimlere yol açacaktır. Fosil yakıtların azalması nedeniyle, elektrikli araçlar enerji güvenliğini sağlamakta önemli rol oynayacaktır. Ayrıca, bu araçların üretimi ve altyapısındaki gelişmeler, yeni iş alanlarının ortaya çıkmasına ve ekonomik büyümeye katkı sağlayacaktır.

Elektrikli araçlar, şehir planlamasında da büyük değişikliklere neden olacaktır. Geleneksel benzin istasyonları yerini elektrikli şarj istasyonlarına bırakacak ve bu istasyonlar şehirlerin ve şehirlerarası yolların stratejik noktalarına yerleştirilecektir. Bu şarj istasyonları ise akıllı enerji yönetim sistemleriyle V2G teknolojisine entegre edilerek enerji talep ve arzını dengeleyecektir.

Otonom elektrikli araçların yaygınlaşmasıyla birlikte, trafik yönetimi ve yol altyapısında otomasyon ve dijitalleşme artacak, bu da trafik sıkışıklığının azalmasına ve yol güvenliğinin artmasına katkı sağlayacaktır. Trafik kazalarının oluşumunda sürücü olarak insanın payı yüzde 56 iken, yaya ve yolcuların payı ise yüzde 43 düzeyindedir. Günümüzde kazaların yalnızca yüzde 0.9'u teknik sebeplerden kaynaklanmaktadır [21], [22]. Otonom sürüş sayesinde insan hatası en aza indirgenecek ve trafik kazalarının büyük ölçüde azalması sağlanacaktır. Bu araçlar sürekli dikkatli ve trafik kurallarının tamamına uymak zorunda olan sensörlerle donatılacağından trafikte insan güvenliği en üst seviyeye çıkarılacaktır.

Geleceğin dünyasında değişim beklenen bir diğer konu ise araç sahipliğidir. İnsanların araçları satın almak yerine ulaşımı satın alması beklenmektedir. Araç paylaşımı ile kişisel araçların getirdiği bakım, sigorta ve yakıt gibi maliyetler ortadan kalkarak ekonomiye en alt düzeyden itibaren katkı sağlayacaktır. Trafikte araç başına daha fazla yolcunun taşınabileceği bu sistem ile ulaşım kaynaklı CO2 salınımı da büyük ölçüde azaltılacaktır. Bireysel araç sahipliğinin azalmasının diğer bir faydası ise park alanlarına duyulan ihtiyacın azalması olacaktır. İhtiyaç fazlası olan

park alanları doğru yönlendirme ve kentsel dönüşüm projeleriyle yeşil alanlara dönüştürülebilecek ve topluma temiz bir çevre sunulabilecektir.

Günümüz metropollerinin en büyük sorunlarından birisi de trafik sıkışıklığıdır. Birbiri ile sürekli haberleşme halinde olacak olan otonom araçlar, trafik sıkışıklığı ihtimalini öngörerek farklı rotalar oluşturabilecek ve sadece kendisinin değil, diğer otonom araçların da sıkışıklığa sebep olmasını önleyebilecektir. Yapay zeka ve optimizasyon teknikleri otonom araçların en önemli parçaları olacaktır. Bu teknikler, aracın boştaki kalma süresini minimize etmek, en uygun zamanda ve yolcu sayısının az olduğu saatlerde şarj döngülerini tamamlamak ve mesafeleri en uygun yollardan giderek azaltmak amacıyla kullanılabilir. Ayrıca günümüzde park alanı olarak kullanılan yol kenarları da otonom araçların ihtiyacı olmayacağından dolayı boş kalacak ve trafik sıkışıklığının sebeplerinden birisi daha ortadan kalkmış olacaktır.

Sonuç olarak elektrikli araçlar gelecekte şehirlerin daha sürdürülebilir, yaşanabilir ve çevre dostu olmasında önemli rol oynayacaktır. Şehir planlamasından enerji yönetimine, çevresel sürdürülebilirlikten ekonomik kalkınmaya kadar pek çok alanda elektrikli araçların entegre kullanımı, toplumların gelecekteki ihtiyaçlarına yanıt verebilecek bir altyapının oluşmasına katkıda bulunacaktır. Bu teknolojinin evrimi ve benimsenmesi, gelecekteki şehirler ve yaşam tarzlarını şekillendirecek; elektrikli araçların yaygınlaşması, sürdürülebilirlik, ekonomik dönüşüm ve enerji güvenliği açısından küresel bir zorunluluk haline gelecektir.

Kaynakça

- [1] H. Ritchie, P. Rosado, and M. Roser, "CO₂ and Greenhouse Gas Emissions". Data adapted from Global Carbon Project," <https://ourworldindata.org/grapher/annual-co2-emissions-per-country>.
- [2] S. Fominova, "Top 5 Carbon Emitters by Country," <https://net0.com/blog/top-five-carbon-emitters-by-country>.
- [3] H. Ritchie, "Tracking global data on electric vehicles," <https://ourworldindata.org/electric-car-sales>.
- [4] S. O. Altıparmak, "China and Lithium Geopolitics in a Changing Global Market," *Chinese Political Science Review*, vol. 8, no. 3, pp. 487–506, 2023, doi: 10.1007/s41111-022-00227-3.
- [5] D. Vela Almeida et al., "The 'Greening' of Empire: The European Green Deal as the EU first agenda," *Polit Geogr*, vol. 105, p. 102925, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2023.102925>.
- [6] European Commission: Directorate-General for Budget, The EU budget powering the recovery plan for Europe. Publications Office, 2020. doi: [doi:10.2761/712137](https://doi.org/10.2761/712137).
- [7] F. Zubaşcu, "Parliament votes through €95.5B Horizon Europe budget," <https://sciencebusiness.net/news/parliament-votes-through-eu955b-horizon-europe-budget>.
- [8] European Commission: Directorate-General for Research and Innovation, Horizon Europe, budget – Horizon Europe – the most ambitious EU research & innovation programme ever. Publications Office of the European Union, 2021. doi: [doi:10.2777/202859](https://doi.org/10.2777/202859).
- [9] Department of Energy, "Joint Energy and Transportation Office and DriveElectric.gov Available to Assist States with Electric Vehicle Infrastructure Deployment Plans," <https://www.energy.gov/articles/president-biden-doe-and-dot-announce-5-billion-over-five-years-national-ev-charging>.
- [10] California Office of Administrative Law, "Zero Emission Vehicle (ZEV) Production Requirements," <https://afdc.energy.gov/laws/4249>.
- [11] G. Nevson, "California Surpasses 1.5 Million ZEVs Goal Two Years Ahead of Schedule," <https://www.gov.ca.gov/2023/04/21/california-surpasses-1-5-million-zevs-goal-two-years-ahead-of-schedule/>.
- [12] T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, "Elektrikli Araç ve Şarj Altyapısı Projesi," 2024.
- [13] J. Lo and C. Farand, "Turkey ratifies the Paris Agreement after approving a 2053 net zero goal," <https://www.climatechange-news.com/2021/10/06/turkey-ratifies-paris-agreement-approving-2053-net-zero-goal/>, 2021.
- [14] G. Yüksek and A. Alkaya, "An Adaptive Energy Management Approach for Battery-Supercapacitor Hybrid Energy Storage System," *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, pp. e150203–e150203, doi: 10.24425/bpasts.2024.150203.
- [15] G. Yüksek and A. Alkaya, "A Novel Approach To Extend The Battery Life By State Of Health Management Considering The Cell Temperature," in 3. International World Energy Conference, Kayseri, Dec. 2023, pp. 479–485.
- [16] Y. Muratoğlu and A. Alkaya, "A novel temperature-effective modeling and state of charge estimation based on sigma-point Kalman filter for lithium titanate oxide battery," *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, pp. 150809–150809, Jun. 2024, doi: 10.24425/bpasts.2024.150809.
- [17] G. Yüksek and T. Lale, "An Improved Thermal Management of Lithium Based Batteries Employing Genetic Algorithm Optimization," *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, pp. 151378–151378, Aug. 2024, doi: 10.24425/bpasts.2024.151378.
- [18] C. Kök and A. Alkaya, "Investigation of Thermal Behavior of Lithium-Ion Batteries under Different Loads," *European Mechanical Science*, vol. 4, no. 3, pp. 96–102, 2020, doi: 10.26701/ems.635707.
- [19] M. İnci, M. M. Savrun, and Ö. Çelik, "Integrating electric vehicles as virtual power plants: A comprehensive review on vehicle-to-grid (V2G) concepts, interface topologies, marketing and future prospects," *J Energy Storage*, vol. 55, p. 105579, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105579>.
- [20] Md. R. H. Mojumder, F. Ahmed Antara, Md. Hasanuzzaman, B. Alamri, and M. Alsharef, "Electric Vehicle-to-Grid (V2G) Technologies: Impact on the Power Grid and Battery," *Sustainability*, vol. 14, no. 21, 2022, doi: 10.3390/su142113856.
- [21] I. Ashraf, S. Hur, M. Shafiq, and Y. Park, "Catastrophic factors involved in road accidents: Underlying causes and descriptive analysis," *PLoS One*, vol. 14, no. 10, p. e0223473, Oct. 2019, doi: 10.1371/journal.pone.0223473.
- [22] İ. Sungur, R. Akdur, and B. Piyal, "Türkiye'deki Trafik Kazalarının Analizi," *Ankara Medikal Journal*, vol. 14, no. 3, pp. 114–124, 2014.