



Araştırma Makalesi / Research Article

HİBRİD, TAM ELEKTRİKLİ VE YAKIT HÜCRELİ ARAÇLAR TRENDİ VE EMNİYET YÜKÜMLÜLÜKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

HYBRID, BATTERY ELECTRIC AND FUEL-CELL VEHICLES TREND AND ASSESSMENT OF SAFETY OBLIGATIONS

Abdullah DEMİR¹

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1096211>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
ademir@marmara.edu.tr

Geliş Tarihi / Received
31.03.2022

Kabul Tarihi / Accepted
23.06.2022

Öz

TÜİK 2022 yılı Ocak ayı verilerine göre ülkemizdeki otomotiv pazarındaki toplam 25.321.937 adet taşıtın, %54,3'ü yani 13.747.672 adeti otomobil, onun yaklaşık %37,6'sı dizel, %25,6'sı benzinli, %35,8'i LPG'li, %0,7'si yani 96.830 adedi hibrid ve tam elektrikli araçlardan oluşmaktadır. Araçların teknik ömürlerinin %90-95'lik kısmını otoparklarda geçirdiği dikkate alındığında, konunun güvenlik kısmı çok önemli olmaktadır. Bu bağlamda hibrid ve tam elektrikli araçların güvenlik gereksinimi ile kapalı alanlarda ve katlı parklarda park etme yasağı bulunmamaktadır. Henüz ülkemizde satışa sunulmamış olan ancak dünyada kullanımı gittikçe yaygınlaşan yakıt hücreli araçlarla ilgili emniyet gereksinimlerine yönelik belirgin prosedürler oluşturulmamıştır. Bu çalışmada dünyada ve ülkemizde; hibrid ve tam elektrikli araçlar ile hidrojen yakıtlı ve yakıt hücreli araçların gelişim seyri, yapılmakta olan çalışmalar ve düzenlemeler incelenmiş; emniyet açısından riskler ve bu risklerin giderilmesine/azaltılmasına yönelik öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Emniyet gereksinimleri, hibrid araçlar, otoparklar, tam elektrikli araçlar, yakıt hücreli araçlar.

Abstract

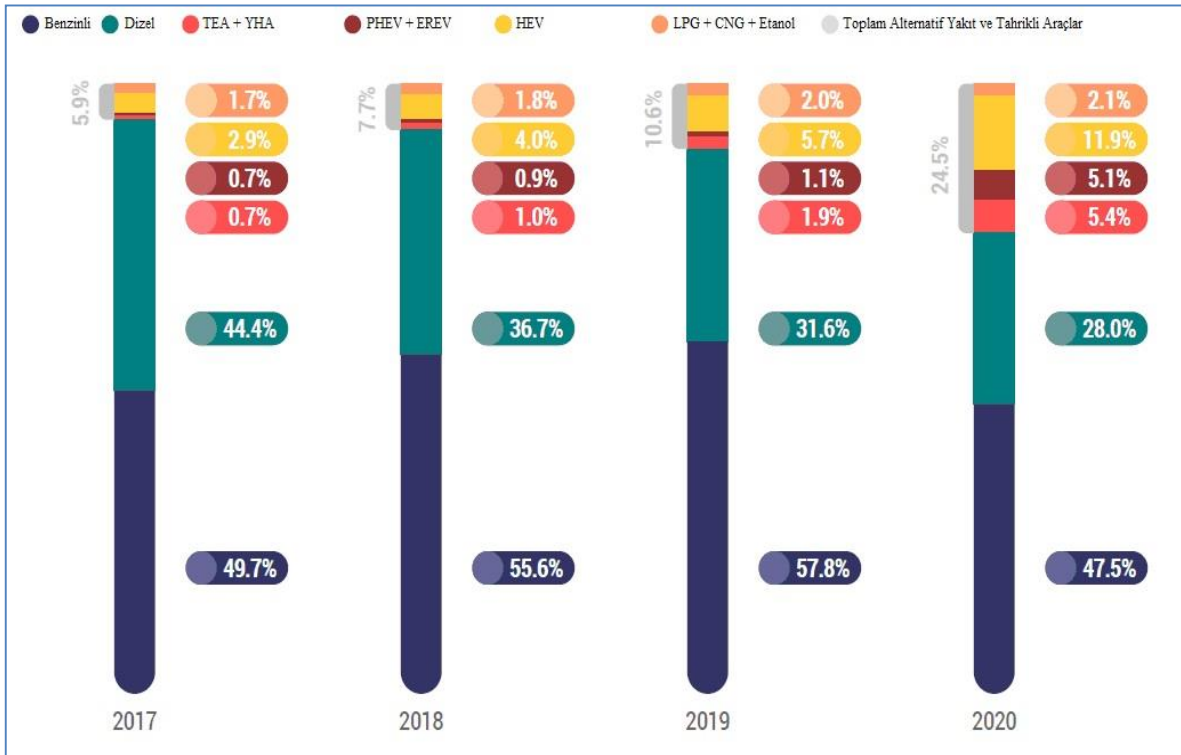
According to data of The Turkish Statistical Institute, January 2022, about 13,7 million of the total 25,3 million vehicles in Turkey, about 37,6% of diesel, 25,6% gasoline, 37,6% LPG, and 25,6% hybrid and battery electric vehicles. Considering that vehicles spend 90-95% of their technical life in parking facility, the safety part of the issue becomes very important. In this context, there is no ban in parking facility due to the safety requirement of hybrid and battery electric vehicles. Specific procedures have not yet been established for the safety requirements of fuel cell vehicles, which have not been offered for sale in our country. In this study, in the world and in our country; the development progress of hybrid and battery electric vehicles, fuel cell vehicles, ongoing studies and regulations are examined; risks in terms of safety and suggestions for eliminating/reducing these risks are presented.

Keywords: Battery electric vehicles, car-parking facility, fuel cell vehicles, hybrid vehicles, safety requirements.

¹Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Maltepe, İstanbul, Türkiye.
ademir@marmara.edu.tr, Orcid.org/0000-0003-4042-7626.

1. GİRİŞ

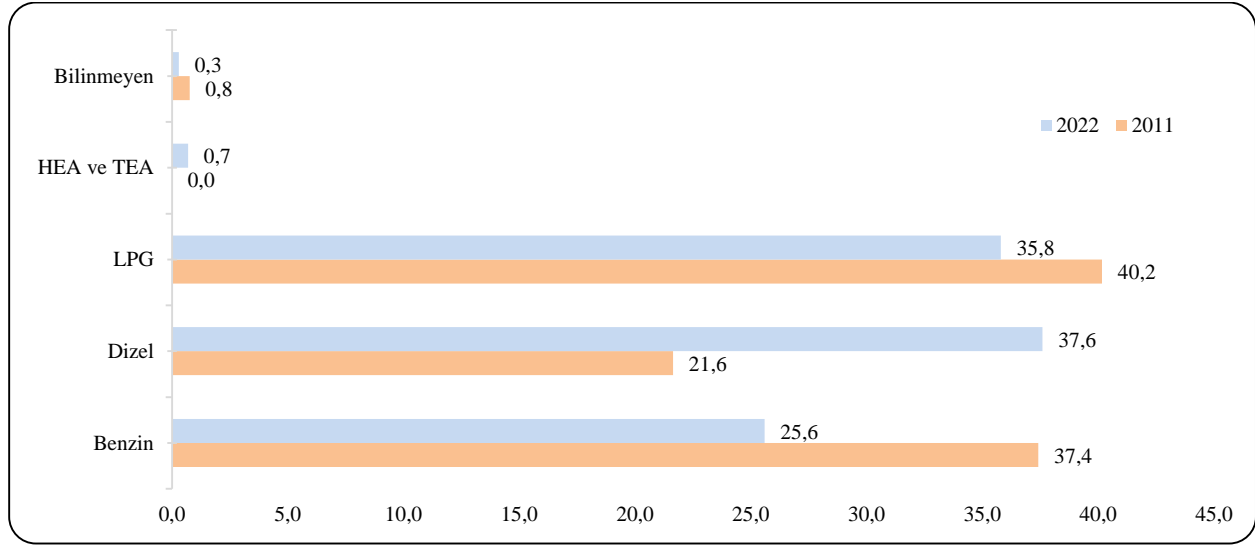
Nüfus ve aktivitelerin artması, teknolojik ilerlemelerin etkisi ile birlikte ulaşım türleri gelişerek çeşitlenmiş ve insanların seyahatleri daha hızlı, konforlu ve güvenli hale gelmiştir. Ulaşım türlerinin çeşitliliğinin artması aynı zamanda kişilerin ihtiyaçlarına göre ulaşım türlerinin tercih edilebilir hale gelmesini de sağlamıştır (Yiğit & Suri, 2020). Artan araç sayısına bağlı olarak, araç bazlı atmosfere salınan zararlı gaz miktarı da hızla artış göstermiştir. İklim değişikliği sorunlarına neden olan bu gazlar, alternatif yakıtların ve tahrik sistemlerinin kullanılmasını gündeme getirmiştir. Ancak bu tür araçların başarısında; taşıtlar için yüksek ilk yatırım maliyeti, sınırlı yakıt depolama durumları ya da sınırlı menzil gibi sorunlar kısıt olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, emniyet ve yükümlülük konuları, yüksek yakıt dolm maliyetleri, sınırlı dolun/şarj istasyonları, mevcut trendlerdeki gelişmeler gibi aşılması gereken sorunların da olduğu göz ardı edilmemelidir (Romm, 2006). Günümüzde otomobillerde konvansiyonel benzin ve dizel motorlara ek olarak hibrid (HEA) ve tam elektrikli araçlar (TEA) da gittikçe yaygınlaşmaktadır. Yakın gelecekte hidrojenli (HA) ve yakıt hücreli taşıtlar (YHA) iç pazara giriş yapacaktır. Bu bağlamda konunun sağlıklı değerlendirilmesinde son yıllarda hem nüfus hem de karayolu taşıtlarındaki değişimlerin iyi incelenmesi gerekmektedir. 2016 yılı itibariyle dünya nüfusu 7,5 milyar (Anonymous, 2017) iken, 2022 Mart verilerine göre 7,935 milyara ulaşmıştır (Worldometer, 2022). 2040 yılında ise nüfusun 9,2 milyar olacağı öngörülmektedir (IEA, 2016/a). Dünyadaki toplam taşıt miktarı 2014 yılı verilerine göre 1,2 milyar (Voelcker, 2014) iken, 2022 itibariyle yaklaşık 1,446 milyara ulaşmıştır. Bu araçların yaklaşık %19'u Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunmaktadır (Hedgescompany.com, 2021). 2020 yılında Avrupa'da satılan tüm araçların yaklaşık %22,4'ü hibrid, tam elektrikli ve yakıt hücreli araçlardan oluşmuştur. Malta ve Bulgaristan hariç Avrupa ülkelerinde 2017-2021 yılları arasında yeni satılan araçların yakıt/tahrik tiplerine göre dağılımı Şekil 1'de verilmiştir. Bu görünüm hafif ticarilerde %2,9'dur (ACEA, 2021).



Not: Grafikte yakıt hücreli araçlar (YHA) elektrikli araçlara; harici kaynaktan şarj edilebilir hibrid araçlara (PHEV- Plug-in Hybrid Electric Vehicle) menzili arttırılmış elektrikli araçlar (EREV-Extended Range Electric Vehicle) dahil edilmiştir. Alternatif yakıtlar olarak; CNG, LPG ve etonal yakıtlı araçlar dikkate alınmıştır.

Şekil 1. EU Ülkelerinde 2017-2021 Yılları Arasında Yeni Satılan Araçların Dağılımı (ACEA, 2021)

Ülkemizdeki durum ise 2022 yılı Ocak ayı verilerine göre toplam pazardaki 25.321.937 adet taşıtın, %54,3'ü yani 13.747.672 adeti otomobil, onun yaklaşık %37,6'sı dizel ve %25,6'sı benzinli, %35,8'i LPG'li, %0,7'si hibrid ve tam elektrikli araçlardan oluşmaktadır. 2011 ve 2022 yılındaki otomobil pazarındaki değişim durumu ise Şekil 2'de verilmiştir. 2011 yılında 47 adet HEA ve TEA satışı gerçekleşirken; 2022'nin Ocak ayı itibariyle toplam 96.830 adet satış gerçekleşmiştir (TÜİK, 2022). Ayrıca ülkemizdeki e-mobilite dönüşümüne de kısaca değinmek gerekir. E-mobilite dönüşümünün en temel bileşenleri; kamu, özel sektör ve akademinin etkin işbirliğine bağlıdır. Bu dönüşümde gelişim alanları ve fırsatlar Şekil 3'te verilmiştir. Ancak şekilde ve dokümanda gerekli mevzuatlar ve güvenlik gereksinimlerine yeterince dikkat çekilmediği tespit edilmiştir (IICEC, 2021). Kuvvetle muhtemel bu gelişim alanları ve fırsatların iyi yönetilmesi ile "Çevre ve Şehircilik Bakanlığının Otopark Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik"te PHEV ve TEA'ların şarj edilebilmelerine yönelik düzenlemeler TOGG'un pazar penetrasyonunu hızlandıracaktır.



Şekil 2. 2011 ve 2022 Yılındaki Otomobil Pazarındaki % Değişim Durumu (TÜİK, 2022)



Şekil 3. Ülkemizde E-Mobilite Dönüşümde Gelişim Alanları ve Fırsatlar (IICEC, 2021)

Araçların teknik ömürlerinin %90-95'lik bölümünün yol kenarı ve yol dışı otoparklarda geçtiğini dikkate aldığımızda (Litman, 2006; Yardım, 2009; Demir, 2019) konunun güvenlik kısmı çok önemli olmaktadır. Sürdürülebilir ve yaşanabilir bir şehir için uzun süre mekan bağlılığına sahip olan araçların otoparklara park etmesi; yönetim, çevre, emniyet, teknolojik (Demir, 2019) ve çalışanlar için sağlıklı çalışma ortamı sağlayacak düzenlemelerle/enstrümanlarla donatılmalıdır. Bu çalışmada dünyada ve ülkemizde; HEA, TEA, HA ve YHA'ların gelişim seyri, güvenli park etmeye yönelik yapılan ve yapılmakta olan çalışmalar ve düzenlemeler incelenmiş; emniyet açısından riskler ve bu risklerin giderilmesine/azaltılmasına yönelik öneriler sunulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2020 Ulusal Elektrikli Mobilite Misyona Planında (The National Electric Mobility Mission Plan 2020), 2020 yılına kadar her yıl 6-7 milyon hibrid ve tam elektrikli araç satışının gerçekleştirilmesi hedefi koyulmuştur (IEA, 2016/b). 2030 yılına kadar dünyada 1,5 °C'lik sıcaklık artış hedefine gidecek yolda ilerlenmesi için temiz enerji projelerine ve altyapısına yapılan yıllık yatırımların yaklaşık 4 trilyon dolara yükselmesi gerekmektedir (World Energy Outlook, 2021). Net sıfır emisyon (Net zero emissions - NZE) gibi dönüştürücü enerji sistemlerinde, verimlilik iyileştirmeleri, mobilite için elektrige geçiş (tam elektrikli araçlar) ve ısıtma için fosil yakıtlarla çalışan kazanların tasfiyesi sayesinde hanelerin enerji ihtiyaçlarını karşılamak için petrol ve gazı daha az bağımlı hale getirilmesi hedeflenmiştir (Dunyaenerji, 2021). Bu bağlamda dünya genelinde NZE'de, PHEV ve TEA'ların satış değerleri, 2020'deki toplam otomobil satışlarının %4,6'sından 2030 yılına kadar yaklaşık %60 düzeylerine yükseltilmesi gerekmektedir. Tam elektrikli araçların ekonomik potansiyeli farklı karayolu taşıtı segmentlerinde bölgesel düzeyde değerlendirilmiştir. Ekonomik olmayan engeller göz ardı edilirse, küresel elektrikli otomobil pazarının maliyet etkin bir şekilde 2030 yılına kadar 250 milyonu aşacağı öngörülmektedir. Bu değer açıklanan taahhüt senaryosu (Announced Pledges Scenario-APS)'ndan yaklaşık %30 daha yüksek ve NZE'den ise yaklaşık %15 daha düşüktür (World Energy Outlook, 2021). Ulaşım sektöründe 2050 net sıfır emisyon senaryosundaki CO₂ hedefleri 10'ar yıllık aralıklarla Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. 2050 Net Sıfır Emisyon Senaryosunda Ulaşım Sektörü (World Energy Outlook, 2021)

Ulaşım Sektöründeki Hedefler	2010	2020	2030	2040	2050
Otomobillerin CO ₂ emisyon miktarı (g/km)	231	200	106	34	4
Ağır vasıta araçların CO ₂ emisyon miktarı (g/km)	984	898	589	273	54
Havacılık ve denizcilikte düşük karbonlu yakıt kullanımının payı (%)	0	0	17	51	81
PHEV, TEA ve YHA'nın toplam otomobil satışları içindeki payı (%)	0	5	64	100	100
PHEV, TEA ve YHA'nın toplam ağır vasıta satışlarındaki payı (%)	0	0	30	84	99

Türkiye'de Elektrikli ve Hibrid Araçlar Platformu (TEHAD) raporuna göre 2021 yılında en çok satılan tam elektrikli araç Renault ZOE olurken; hibrid otomobil pazarında ise Toyota Corolla Hibrid toplam pazarın büyük bir bölümüne sahip olmuştur. Özellikle C ve üstü premium segmentte satış rakamlarındaki artışın dikkate değer olduğu gözlemlenmektedir. HEA tarafında ise Toyota pazarın %94'ünü elinde bulundurmaktadır. Toyota'nın bu anlamda ülkemizdeki elektrikli dönüşümü hızlandırdığı söylenebilir (TEHAD, 2022). Son 12 yıl¹ içerisinde ülkemizde HEA ve

¹ TÜİK, hibrid ve tam elektrikli araçlar satış değerlerini 2011 yılından itibaren tutmaya başlamıştır.

TEA'ların satış değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Toplam pazardaki payı küçük olmasına rağmen, son 3 yıldaki artışlar belirgin düzeylere erişmeye başlamıştır. Sabancı Üniversitesi tarafından hazırlanan raporda “Türkiye Elektrikli Araçlar Görünümü 2021” raporunda “2053 net-sıfır emisyon hedefi ve temiz enerji dönüşümü ekseninde, somut, gerçekçi ve ulaşılabilir politika hedeflerinin belirlenmesi, yönlendirici ve destekleyici mekanizmaların uygulanması” önerisine “2030 yılında en az 2 milyon elektrikli araç ve 200.000'in üzerinde kamuya açık şarj soketine ulaşacak yol haritasının hayata geçirilmesi” gerektiği belirtilmiştir (IICEC, 2021). Ancak sektörün görünümü dikkate alındığında gerçekleşmesi güç bir hedef gibi durmaktadır.

Tablo 2. Trafiğe Kayıtlı Otomobillerin Yakıt Cinsine Göre Dağılımı, 2004 – 2022 (TÜİK, 2022)

Yıl	Toplam	Benzin	(%)	Dizel	(%)	LPG	(%)	Hibrit-TEA	(%)	Bilinmeyen	(%)
2004	5 400 440	4 062 486	75,2	252 629	4,7	793 081	14,7	-	-	292 244	5,4
2005	5 772 745	3 883 101	67,3	394 617	6,8	1 259 327	21,8	-	-	235 700	4,1
2006	6 140 992	3 838 598	62,5	583 794	9,5	1 522 790	24,8	-	-	195 810	3,2
2007	6 472 156	3 714 973	57,4	763 946	11,8	1 826 126	28,2	-	-	167 111	2,6
2008	6 796 629	3 531 763	52,0	947 727	13,9	2 214 661	32,6	-	-	102 478	1,5
2009	7 093 964	3 373 875	47,6	1 111 822	15,7	2 525 449	35,6	-	-	82 818	1,2
2010	7 544 871	3 191 964	42,3	1 381 631	18,3	2 900 034	38,4	-	-	71 242	0,9
2011	8 113 111	3 036 129	37,4	1 756 034	21,6	3 259 288	40,2	47	0,0	61 613	0,8
2012	8 648 875	2 929 216	33,9	2 101 206	24,3	3 569 143	41,3	228	0,0	49 082	0,6
2013	9 283 923	2 888 610	31,1	2 497 209	26,9	3 852 336	41,5	436	0,0	45 332	0,5
2014	9 857 915	2 855 078	29,0	2 882 885	29,2	4 076 730	41,4	525	0,0	42 697	0,4
2015	10 589 337	2 927 720	27,6	3 345 951	31,6	4 272 044	40,3	889	0,0	42 733	0,4
2016	11 317 998	3 031 744	26,8	3 803 772	33,6	4 439 631	39,2	1 160	0,0	41 691	0,4
2017	12 035 978	3 120 407	25,9	4 256 305	35,4	4 616 842	38,4	1 685	0,0	40 739	0,3
2018	12 398 190	3 089 626	24,9	4 568 665	36,8	4 695 717	37,9	5 367	0,0	38 815	0,3
2019	12 503 049	3 020 017	24,2	4 769 714	38,1	4 661 707	37,3	15 053	0,1	36 558	0,3
2020	13 099 041	3 201 894	24,4	5 014 356	38,3	4 810 018	36,7	36 487	0,3	36 286	0,3
2021	13 706 065	3 495 172	25,5	5 158 803	37,6	4 923 275	35,9	92 949	0,7	35 866	0,3
2022	13 747 672	3 522 102	25,6	5 166 289	37,6	4 926 618	35,8	96 830	0,7	35 833	0,3

Otomobillerde kullanılan bir diğer seçenekte hidrojenidir. Hidrojen sıvı ya da gaz olarak araçlarda doğrudan kullanılabilirliği gibi, yakıt hücresinde de kullanılabilir. Hidrojen; gaz fazında 350-700 bar basınç mertebelerinde ya da sıvı fazda -253 °C'de karyojenik (aşırı soğutulmuş) tanklarda depolanabilmektedir (Anonymous, 2002). 2035'li yıllara kadar tüm yeni ulaşım araçlarının %5'inde hidrojen kullanılacağı öngörülmektedir (Beiker, 2010). Bu bağlamda hidrojen yakıt hücreli araçlar (HYHA) ile polimer elektrolit membranlı yakıt hücresi (PEMFC) kullanılarak gerçek dünya koşullarında 20 milyon kilometreden fazla yol kat edilmiştir. Yakıt hücresi maliyetleri 2002'den 2019 yılına kadar %80 oranında azalırken, dayanıklılıkta ise dört kat artışla 120.000 milin (193.000 km) üzerine çıkmıştır. Bu gelişmeler günümüzde otomotiv şirketlerinin HYHA kiralamasının yolunu açmış, küresel HYHA satış miktarı ise 2018 yılında 11.200 adede ulaşmıştır (Üçok, 2019). Information Trends'e göre, tüm zamanların en yüksek seviyesine 2021 yılında satılan 16.000 HYHA miktarı ile ulaşılmıştır (Prnewswire, 2022). HYHA ve hidrojen dolmuş istasyonu (HDİ) kurulumunu yaygınlaştırmak için bazı ülkelerde; halka açık otoparklardan ücretsiz yararlanma ve yol ücreti muafiyeti gibi teşvikler getirilmiştir. 2030 hedefi ise dolmuş istasyonu sayısının 1000'e çıkarılmasıdır (Üçok, 2019). Ayrıca bazı ülkelerin açıkladıkları HYHA pazar hedefleri Tablo 3'de verilmiştir. Otomotiv yakıt hücresi pazarının 2021 yılında 20.168 adet ve %62,2'lik bir bileşik yıllık büyüme hızı ile 2021'den 2028 yılına kadar 596.225 adede ulaşacağı tahmin edilmektedir. Pazar için temel büyüme faktörleri, benzin ve dizelden daha yüksek

verimlilik, rekabetçi menzil sunmaları, hızlı yakıt ikmali, teşvikler ve yakıt hücresi teknolojisinin geliştirilmesine yönelik yatırımlar ve ulaşım sektöründe yakıt hücresi kullanımının artma eğiliminde olmasıdır (Global Forecast, 2028).

Tablo 3. Bazı Ülkelerin Açıkladıkları HYHA Pazar Hedefleri (Üçok, 2019)

	2020	2023	2025	2028	2030
ABD	13.000	40.000			
Japonya	40.000		200.000		800.000
Fransa		5.000		20.00-50.000	
Çin	5.000		50.000		1.000.000
Hollanda	5.000				
Kore	10.000		100.000		630.000

Halihazırda HEA ve TEA'ların kapalı yer altı otoparklarını kullanmaları hususunda dünyada herhangi bir yasak bulunmamaktadır. Ancak bazı çalışmalarda yangın durumlarındaki güvenlik gereksinimleri incelenmiştir. Matsumura ve ark. (2012) tarafından yapılan bir çalışmada yüksek sıcaklık ortamındaki lityum-iyon hücrelerin, duman veya parlama yayan termal kaçaklara neden olabileceği belirtilmiştir. Bu bağlamda bir araçtaki lityum-iyon batarya sıcaklık girdisini araştırmak için hibrid bir elektrikli araç yangınının durumu ve sıcaklık özellikleri incelenmiştir. Başka bir araçtan sızan benzinin bir aracın altına yayılıp tutuşacağı varsayılan bir kaza senaryosu tasarlanmıştır. Araç yangın testinde, tahrik batarya (traction battery) grubu olmayan lityum-iyon bataryalı hibrid bir aracın altına yayılıp tutuşturulmuştur. Taşıtın içine ve altına termokapl yerleştirilerek ölçümler yapılmıştır. Bu testte araç yangını fotoğraf ve videolarla kaydedilmiştir. Bu yangın testindeki bazı kriterlere göre; erişim zamanı, devam etme süresi ve en yüksek sıcaklıklar ölçülmüştür. Sun ve ark. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada ise lityum-iyon gibi yüksek enerjili bataryaların yangınlarda, hibrid ve tam elektrikli araçlar için büyük bir güvenlik riski oluşturabileceği belirtilmiştir. Çalışmada, lityum-iyon pillerdeki termal kaçak ve yangınla ilgili en son yangın güvenliği sorunlarına odaklanılmış ve araçlardaki batarya yangınları incelenmiştir. Araçtaki batarya grubu bir kez yangına karıştığında, araç yangınlarını söndürmek güçleşebilmektedir. Yangının söndürülmesinde batarya grubunu soğutmak, yangını söndürmek ve yeniden tutuşmayı önlemek için aşırı miktarda yangın söndürücü maddeye ihtiyaç duyulabileceğine dikkat çekilmiştir.

Bir diğer hususta HYHA'lar için bazı emniyet konularının açıklığa kavuşturulmasıdır. Swain (2001) tarafından yürütülen bir çalışmada hidrojen ve benzin yakıtlı araçlarda kasti olarak sızıntı meydana getirilerek yakıtlar tutuşturulmuştur. Tutuşmadan 60 s sonra hidrojen yakıtlı araçtaki alev azalırken, benzinli araçtaki yangın daha da şiddetlenmiştir. 100 s sonra ise hidrojen tamamen bitmiş ve aracın içerisi zarar görmemiştir. Benzin birkaç dakika daha yanmaya devam etmiş ve araç tamamen zarar görmüştür. Spoelstra (2021) tarafından yapılan bir çalışmada hidrojenin; tankın ani arızalanması, tahliye vanasından sürekli sızıntı veya küçük bir açıklıktan/çatlaktan sürekli salınma yoluyla sızıntı yapabileceğine dikkat çekilmiş; bu sızıntılara; çarpışma, yangın veya mikro çatlakların neden olabileceği belirtilmiştir. Bu bağlamda; *“Otoparklardaki hidrojen yakıtlı araçları içeren olay senaryoları (yangına karışma dahil) ne ölçüde hidrojen salınımına neden olur ve bunun muhtemel sonuçları”, “Etkilerin niteliği ve kapsamı için belirleyici koşulların neler olduğu” ve “Bir otoparkta hidrojen salınma olasılığı ve salınan hidrojenin tutuşma olasılığı hakkında bilinenlerin neler olması gerektiği”* gibi sorular önemlidir (Spoelstra, 2021). Bu minvalde bazı yaklaşımlar sunulmuştur. Winkel ve ark. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada yakıt hücrelerinin dayanıklılık ve emniyetlilik gerekleri açısından konvansiyonel araçların yaklaşık 14 yıllık teknik ömrüyle karşılaştırılabilmesi gerektiği belirtilmiştir. Khayyat ve Unnasch (2005) tarafından yapılan bir çalışmada HYHA'ların, hidrojen depolama ve yapı geliştirme

çalışmaları için hazırlık mahiyetinde iyi neticeler verdiği tespit edilmiştir. Hidrojenli yakıt hücresi uygulamalarına yönelik teknolojinin gelişimi esnasında, otomotiv taşıt emniyetini de içeren bütün fonksiyonel yönlerin düşünülmesi gerektiği belirtilmiş, hidrojen yakıt hücre sisteminin performansını optimize etmek ve emniyet konseptini genişletmek için sisteme hidrojen sensörleri monte edilmesi gerektiğine dikkat çekilmiştir. Venturi ve ark. (2012) tarafından yapılan bir çalışmada ise gerçek taşıt verilerine dayalı olarak sensörlerin optimizasyonu, yenilikçi test ve geliştirme metotları üzerinde durulmuştur.

Ülkemizde hâlihazırda HEA ve TEA'ların kapalı yeraltı otoparkları kullanmaları hususunda herhangi bir yasak bulunmamaktadır. Ancak konvansiyonel araçlardan yapılacak hibrid ve tam elektrikli dönüşümlerde kullanılacak batarya teknolojileri önemli olacaktır. Ancak bu durumda daha farklı bir sorun ortaya çıkaracaktır, oda bu araçların takibinin nasıl yapılacağı hususudur. Henüz HYHA'lar ülkemizde satışa sunulmadığından yapılan araştırmalarda belirgin bir düzenlemeye rastlanılamamıştır. Ancak sürecin sağlıklı ve hızlı yürütülebilmesi için gerekli düzenlemelerin acilen yapılması gerekmektedir.

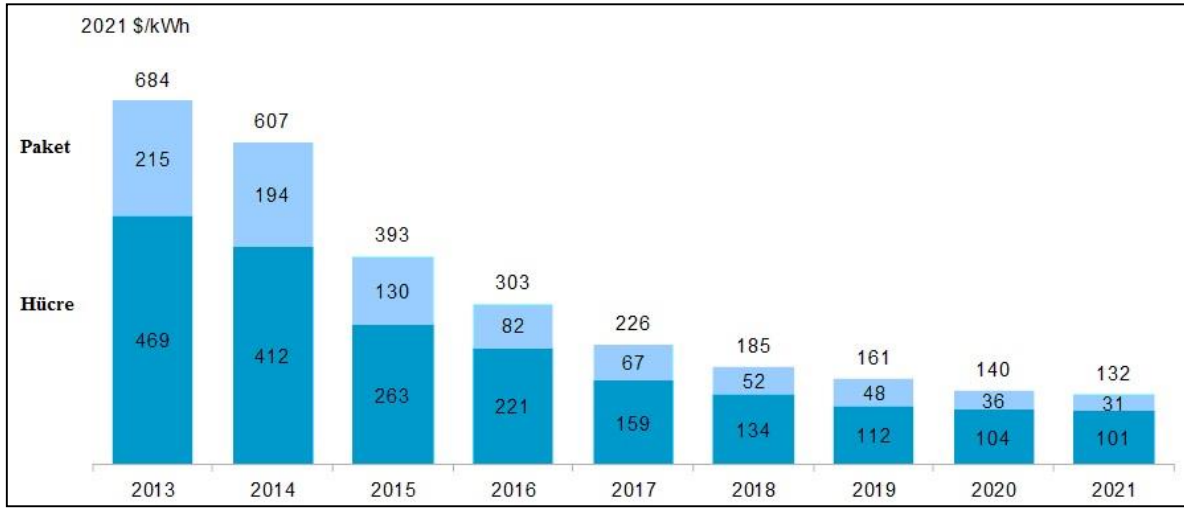
3. HİBRİD, TAM ELEKTRİKLİ VE YAKIT HÜCRELİ ARAÇLARA YÖNELİK DÜZENLEMELER VE EMNİYET YÜKÜMLÜLÜKLERİ

HEA, TEA, HYA ve YHA'lar otomotiv firmalarının özellikle düşük ya da sıfır emisyonlu araçlar pazarına yönelik stratejilerinde önemli bir rol oynamaktadır. Karayolu taşıtlarındaki alternatif enerji ve tahrik sistemleri aynı zamanda araç trendlerinin de belirleyicisi hükmündedir. Tablo 4'de alternatif yakıt ve tahrik sistemine sahip olan araçların kapalı otoparkları kullanabilmelerine yönelik kaygılar ve emniyet yükümlülüklerine yer verilmiştir.

3.1. HEA ve TEA'lar

HEA'lar, tahrik amacıyla, depolanmış enerjiyi/gücü araç üzerindeki tüketilebilir yakıttan ve/ya bataryadan, kapasitör, volan/dinamo veya diğer elektrikli enerji/güç depolama ünitelerinden çeken araçlardır (Anonim, 2009). Uluslararası Elektroteknik Komisyonunun Teknik Komitesi tarafından verilen tanıma göre; HEA'lar, enerjinin iki ya da daha fazla enerji deposundan sağlandığı ve bu enerji depolarından en az bir tanesinin elektrik enerjisi verdiği bir araç olarak tanımlanmıştır. Diğer bir tanıma göre HEA, daha çok hem içten yanmalı motor (İYM) hem de elektrikli motorun kullanıldığı araç olarak kabul edilmektedir. TEA'lar ise, depolanan ya da üretilen tüm itici gücü elektrik olarak kullanmaktadır. Bu tip araçlarda ana güç kaynağına ek olarak yardımcı güç kaynakları da bulunmaktadır. Elektrik motorunun dönmesi için gerekli olan elektriksel enerji bataryalardan elde edilmektedir. TEA'ların şarj edilebilir bataryalarında depolanmış bulunan elektrik enerjisi motor kontrolörüne güç sağlamaktadır. Motor kontrolörü gaz pedalının pozisyonuna bağlı olarak elektrik motoruna gidecek gücün miktarını ayarlamaktadır (Anonymous, 2009).

Hem HEA hem de TEA'lar, düşük emisyon düzeylerinin yanısıra; yakıt tüketimi, sürüş konforundaki iyileşme ile bugün ve yarının taşıt performans gereksinmelerini sağlayacak potansiyele sahiptirler (Christiaens ve ark., 2012). Bu araçların en kritik bileşeni tabii ki batarya teknolojisidir. Son yıllarda batarya teknolojisinde kat edilen teknolojik ilerlemeler incelendiğinde çok büyük mesafeler kat edildiği görülmektedir. 2010 yılında kWh başına 1.200 \$'ın üzerinde olan lityum-iyon batarya paketi fiyatları, 2021 yılında 132 \$/kWh'ye gerilemiştir (BloombergNEF, 2021).



Şekil 4. Lityum-iyon Bataryaların Hücre ve Paket Fiyatlarındaki Değişim (BloombergNEF, 2021).

Ni-MH ve lityum-iyon gibi yüksek kapasiteli çekiş bataryaları kullanılan araçlarda, trafik kazası ya da kundaklama neticesinde meydana gelecek bir yangında oluşabilecek zararlarda kısmen belirsizlikler bulunmaktadır. Özellikle yüksek sıcaklık ortamlarında lityum-iyon hücreler, duman yahut birden alev alabilecek bir termal kaçağa neden olabilir. Bununla birlikte lityum-iyon bataryalı bir taşıtın yangına maruz kalması durumunda ne tür bir olayın meydana gelebileceği literatürde değişik senaryolarla incelenmiştir. Bir diğer hususta çarpışma testleridir. Elektrikli taşıt çarpışma testleri (E-Vehicle crash testing); araç üreticisi için aracın fabrikadan distribütörlere kadar nakli, çarpışma öncesi ve sonrası aracın kullanımı, depolanması ve işletilmesindeki risklerin anlaşılmasına ve giderilmesine yönelik önem arz etmektedir (SAE J3040 - 201512, 2015).

3.2. Sıvı Hidrojenli Araçlar (SHA)

Hidrojen gazı kokusuz, renksiz ve tatsızdır. Bundan dolayı H_2 kaçaqlarını, insanın algılaması mümkün değildir. CNG ve LPG'nin aksine kokulandırılmaz. Ayrıca mevcut kokular yakıt hücrelerinde kirliliğe ve arızalara da yol açabilmektedir (Winkel ve ark., 2016). Ayrıca hidrojen hem doğrudan İYM'lerde hem de YHA'larda kullanılabilme potansiyeli yüksek olan bir yakıttır (Uğurlu ve Öztuna, 2015). Günde depodaki miktarın %1 ile 3'ü düzeyinde sızıntı olabilmektedir. Ancak katalizörler veya oksidasyon ile kontrolü mümkün olduğu için sızıntı kontrol edilebilmektedir. Herhangi bir sebepten dolayı sıvı hidrojen (LH_2) tankı çatlırsa/yarılırsa, sıvının aşırı düşük sıcaklığından dolayı hem insanlar zarar görür hem de çevrede çok yüksek seviyede hidrojen konsantrasyonuna neden olur. Bu durum kapalı alanlarda çok ciddi risk oluşturabilir. Sıvı hidrojen tanklarında oksitlenme ya da kontrollü bir sıcaklık kesme düzenlemesi yapılmadıkça kısmen hidrojen kaybı olabilmektedir. Ayrıca hidrojenin yüksek difüzyon karakterinden dolayı küçük sızıntılar garajlarda güvenlik riskleri oluşturabilecektir. Doğal olarak hidrojen yakıtlı araçlar arttıkça garajlarda emniyet yaklaşımları da arttırılacaktır (DPS, 2017). Bu araçların park edeceği kapalı otoparklarda hidrojen dedektörleri/algılayıcıları (hydrogen detectors) ve bu dedektörlerle entegre çalışan performanslı cebri havalandırma sistemleri kullanılmalıdır.

BMW'nin sıvı hidrojenli araçlara (SHA) uygulamış olduğu çarpışma testleri, pozitif sonuçlar vermiştir. Hem konvansiyonel hem de sıvı hidrojenli aracın, uygulanan çarpışma testleri esnasında ve sonrasında sızıntı göstermediği tespit edilmiştir. BMW'nin gelecekteki amaçlarından/araştırmalarından biri de, hidrojen yakıtlı araçların kapalı alanlardaki ve katlı otoparklardaki emniyet beklentilerini karşılayacak teknik çözümleri geliştirmektir (Müller ve ark., 2007). Bu bağlamda yapılan çalışmalarda araç 17 saat park edildiğinde herhangi bir hidrojen kaybının olmadığı tespit edilmiştir. Tanktaki 5,1 barlık artışın ötesinde tahliye valfi (boil-off

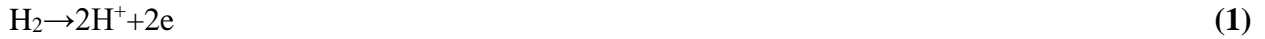
valve) otomatik olarak açılmakta ve tanktaki basınç artışı elimine edilmektedir (Anonymous, 2006).

Araç yangınları bağlamında Japonya Otomobil Araştırma Enstitüsü (JARI-Japan Automobile Research Institute) tarafından yapılan çalışmalarda sıkıştırılmış hidrojen kullanan taşıtların, CNG ya da benzinli araçlardan daha tehlikeli olmadığı tespit edilmiştir (Anonymous, 2010/b).

SHA'lara ev sahipliği yapan ilk bina tasarımlarında, hidrojen algılama sistemi ve riskleri minimize etmek amacıyla birçok tedbir alınmıştır. Bu tedbirler arasında; hidrojen algılayıcılar, yüksek havalandırma oranı, statik-elektrik koruyuculu taban ve duvarlar (static-free floors and walls), explosion proof tertibatlar (explosion proof devices), özel taşıt topraklaması ve muhtemel hidrojen sızıntılarına yönelik diğer tedbirler bulunmaktadır.

3.3. Yakıt Hücreli Araçlar (YHA)

Yakıt hücreleri/pilleri (Fuel cell), kimyasal enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren elemanlardır. Yakıt hücresi, fosil yakıtlarının yakılması yerine, yakıt ile oksijenin elektrokimyasal reaksiyonu sonucunda enerji üreten bir tür bataryadır (TÜBİTAK, 2003). Yakıt hücrelerinde yakıt olarak; metanol, etanol, doğalgaz, LPG ya da hidrojen kullanılabilir. Ama tüm bu yakıtlar arasında enerji verimi en yüksek olanı hidrojendir. Ayrıca hidrojen, yan ürün olarak yalnızca su buharı çıkartmaktadır. Öteki yakıtlarsa, az da olsa zararlı ya da sera etkisine yol açan gazlar salmaktadır (Demir, 2011/a). Hidrojen, yakıt hücresinin anot kısmına; oksijen ise katot kısmına giriş yapmaktadır. Katalizörün etkisiyle hidrojen atomları proton ve elektronlarına ayrılmaktadır.



Ayrılan elektronlar bir elektrik devresinin içerisinde geçerek elektrik akımı oluşturmaktadır. Protonlar ise, elektrolit arasından katoda doğru hareket etmektedirler. Devresini tamamlayan elektronlar tekrar hidrojenin protonuna bağlanır ve oksijenle birleşerek saf su buharı ve ısı meydana getirirler (Alkaya ve ark., 2008).



SAE FCV (Fuel Cell Vehicle) Güvenlik Çalışma Grubu, SAE J2579 standardını iyileştirme çalışmaları kapsamında; sıkıştırılmış hidrojen depolama sistemlerinin (Compressed Hydrogen Storage Systems - CHSSs) doğrulaması için test metodolojileri ve basınç tahliye tertibatı/valfi (Pressure Relief Device - PRD) aktive olmadan ve emniyetli şekilde tankta depolanmış olan sıkıştırılmış hidrojenin tahliye edilmesinden önce, sıkıştırılmış hidrojen depolama sistemlerindeki tankın zarar görebileceği ve bir patlamaya sebebiyet verebilecek küçük veya lokal yangınlara odaklanılmıştır. Yapılan çalışmalarda YHA veya hidrojenli taşıtlardaki CHSS'nin lokal yangınlardan kaynaklanan hiçbir başarısızlığı olmamasına karşın, bir kısım CNG'li araçlarda patlama olmuştur. Çalışma grubu; belirli yangın koşullarında CHSS'nin performansını kanıtlayacak bir test metodu önermiştir. Önerilen test koşulları, hem JARI hem de US Otomotiv Üreticileri (US Automobile Manufacturers) tarafından yürütülmüş olan gerçek taşıt yangın testlerinden türetilmiş bilgilere dayandırılmıştır (Scheffler ve ark., 2011). PRD'nin aktivasyonu tarafından neden olunan bir hidrojen jet difüzyon alevinin (hydrogen jet diffusion flame) söndürülüp söndürülemediği ve karbon fiber takviyeli hidrojen depolama silindiri (carbon fiber reinforced plastic hydrogen storage cylinders) ile PRD'ye püskürtülen suyun alevlenmeyi nasıl etkileyeceğinin incelenmesi üzerine yapılan çalışmalarda; deneyler, hidrojen jet alevinin su ya da kuru kimyevi yangın söndürücülerle kolayca söndürülemediğini ve PRD'nin aktivasyonu esnasında püskürtülen suyun PRD'nin kapanması ile neticelenebileceğini fakat taşıtlar için CFRP kompozit silindirlerin dayanımının pozitif olduğu tespit edilmiştir (Tamura ve ark., 2010).

Vancouver YHA programı (Vancouver Fuel Cell Vehicle Program), YHA'ların park etmesine yönelik olarak yetkililerden 2 aşamalı onay yaklaşımı talep etmektedir. Bu taleplerden ilki gökdelenleri ve alışveriş merkezlerini temsil edecek şekilde seçilmiş iki adet yer altı katlı otoparkta park etmeye izin verilmesi. İkinci olarak ta, 3-6 ay içinde Vancouver bölgesindeki tüm otoparklara uygulamanın genişletilmesinin değerlendirilmesi. Yapılan çalışmalarda otoparkın havalandırılması için CFD modeli ile iki senaryo gerçekleştirilmiştir. Bunlar kesintili devreye giren gerçek mekanik havalandırma ile SAE J7528 standardına göre mekanik olmayan havalandırma (saatte 0,18 hava değişimi)'dir (Rothwell, 2006).

Hidrojen yakıtlı araçlar için yangın, çarpışma ve sızıntı durumlarına yönelik olarak olay ağaçları, jet alevi, patlama veya etki olmaması gibi üç olasılıktan birine yol açan durumlar ve olaylar biçiminde tanımlanmıştır. Olay ağaçları, bir jet alevi veya patlamanın ne ölçüde meydana gelebileceğini göstermez. Bir jet alevinin veya bir patlamanın ölçeğini belirleyen temel faktörler, HYA'ların bulunduğu ortam ve hidrojenin sızıntı yaptığı koşullardır:

- Katlı otoparklarda, jet alevi veya patlamanın etkileri açık otoparklara göre daha büyüktür. Bununla birlikte, havalandırmanın varlığı ve seviyesi, hidrojen sızıntısı durumunda alev alabilirlik alt sınırına (LFL - Lower Flammability Limit) ulaşılmasını önleyebilir.
- Sızıntı yapan hidrojen miktarı, hidrojen basıncı, çıkış/sızıntı açıklığının boyutu ve çıkış yönü gibi koşullar, jet alevinin boyutu ve yönünü veya hidrojen bulutunu ve buluttaki hidrojen konsantrasyonunu önemli ölçüde belirlemektedir. Güvenli çalışan bir hidrojen sistemi tasarımında bu faktörler dikkate alınmalıdır. Araştırmalar, hidrojen tankının ısı direncini artırmakla birlikte termal olarak aktive edilen basınç tertibatının (TPRD - Thermally Activated Pressure Device) çapı daraltılarak veya bir yangın durumunda kontrollü olarak küçük miktarlarda hidrojen sızıntısını imkan veren bir hidrojen tankının geliştirilmesiyle güvenlik kazanımlarının elde edilebileceği tespit edilmiştir (Spoelstra, 2021).

4. HİBRİD, TAM ELEKTRİKLİ VE YAKIT HÜCRELİ ARAÇLARA YÖNELİK KAPALI OTOPARKLARDAKİ ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Ülkemizde kısa bir süre önce LPG'li araçların AVM otoparklarını kullanma yasağı kaldırılmışken; HEA ve TEA'ların güvenlik gereksinimi ile ilgili kapalı alanlarda ve katlı parklarda park etme yasağı bulunmamaktadır. Ancak şarj edilebilir hibridler ve tam elektrikli araçların şarj ünitelerine yönelik belli güvenlik yaklaşımları vardır. Ülkemizde henüz satışa sunulmamış olan HYA ve YHA'ların kapalı otoparkları kullanabilmelerine yönelik net bir durum/yaklaşım yoktur. Konunun sağlıklı değerlendirilmesine yönelik olarak; ekolojik ve ekonomik faktörler, emniyetli yaşam, algılanış biçimi, taşıtlar, kullanıcılar, yönetmelikler, denetimler ile birlikte otoparkların tasarım, yapım, işletme ve kontrolü bağlamında değerlendirilmeler yapılmıştır.

4.1. Ekolojik ve Ekonomik Faktörler

Kapalı otoparklardan yararlanamayan alternatif enerji kaynaklarına sahip taşıtlar, uygun park yeri bulmak için uzun arama sürelerine maruz kalmakta, yol kenarlarında ve kaldırımlarda otopark probleminin büyümesine ve tıkanıklık etkisinin artmasına sebep olabilmektedirler. Kapalı otoparklara park edememe konusunun çözüme kavuşturulması hem ekonomik hem de ekolojik açıdan sürdürülebilir bir şehir hayatına da önemli katkılar sağlayacaktır. Bu konuya Türkiye özelinde LPG'li araçlar örnek verilebilir (Demir ve Yardım, 2013). Mevcut otopark altyapıları ile yola devam edildiğinde benzer durum HYA ve YHA'lar içinde sorun olmaya devam edecektir.

4.2. Algılanış Biçimine ve Emniyetli Yaşama Yönelik Öneriler

Ülkemizde halihazırda HEA ve TEA'lar ile ilgili menzil, şarj altyapısı ve satın alma fiyatı haricinde belirgin bir algı sorunu bulunmamaktadır. HYA ve YHA'lar henüz satışa sunulmadığından bu araçlara yönelik belirgin bir algı söz konusu değildir. Ancak LPG'li araçlarla ilgili yaşanan süreçten öğretici derslerin alınarak sürecin yönetilmesi gerekir.

4.3. Taşıtlara ve Kullanıcılara Yönelik Öneriler

HEA ve TEA'ların kullanıcılar için en büyük risk faktörü yüksek voltajdır. Buna yönelik gerekli uyarılar aracın ilgili kısımlarında belirtilmiş ve önlemler alınmıştır. SHA, HYA ve YHA'larda olan ve olması gereken emniyet ve güvenlik gereksinimleriyle ilgili bazı açıklamalar Tablo 4'de verilmiştir.

4.4. Otoparklara Yönelik Öneriler

Kapalı otoparkları kullanabilme belirsizliği olan araçlara yönelik olarak otoparklarda yangın algılama, yangın söndürme, gaz algılama ve cebri havalandırma sistemleri bütünlük düşünülerek tasarım-projelendirme kriterleri belirlenmeli ve ayrıca bu sistemlerin periyodik olarak performans gerekliliklerini sağladığının kontrolleri yapılmalıdır (Anonim, 2013). Havalandırma ya geleneksel hacimsel hava değişim oranıyla ya da CO ve LPG algılama ve uyarı sistemlerinin kullanılmasıyla tasarlanabilmektedir. LPG, CNG ve HYA'ların kullanımına yönelik olarak tasarlanacak/düzenlenecek kapalı otoparklarda;

- Havalandırma ve iklimlendirme ile mekanik duman tahliye sistemine yönelik olarak gerekli hava akış kesitleri ve vantilatör hacimleri en başından itibaren yapı kütlelerinde yer almalıdır. Ayrıca az park hareketi içeren kapalı otoparklarda, örneğin konut sakinleri tarafından bir kullanım söz konusu ise havalandırma ve iklimlendirme boyutlandırılmalarında mekanik havalandırma sistemlerinin debisi en az 6 m³/h olabilmektedir. Onun dışında ise 12 m³/h gereklidir (Irmscher, 2015).
- Hidrojen yakıtlı araçlar için bir öngörü olarak görevli personeli olmayan park yeri girişlerinde, kontrol amacı ile hologramlı sticker veya tanımlayıcı otomatik kontrol sistemi uygulaması düşünülebilir.
- Otopark tipi ve büyüklüğüne göre standart proje gereklilikleri, güvenlik öncelikli olarak tanımlanmalıdır. Ayrıca otoparklardaki yangın tertibatlarının ve havalandırma sistemlerinin her zaman etkin çalışır durumda bulundurulması gerekir. Bu amaca yönelik olarak gerekli bakım ve performans gereksinimlerine özel önem verilmelidir.
- HYA'ların park edebileceği alanlarda gaz algılama sistemi havalandırma sistemini otomatik olarak devreye alacak şekilde düzenlenmelidir (Tablo 4). Ayrıca bu alanlarda m²'ye bakılmaksızın gaz algılama sistemi ve otomatik olarak devreye giren havalandırma sistemi bulundurulmalıdır. Algılama sistemlerinde kullanılacak dedektörler hava akımı, araçların giriş çıkış yönü dikkate alınarak yapılan risk değerlendirmesi sonucu yeterli sayıda ve uygun konumda yerleştirilmelidir.
- Hidrojen yakıtlı araçların park edebildiği kapalı park yerlerinde görülebilir boyutta "SİĞARA İÇİLMEZ" tabelası bulundurulmalıdır.
- Özellikle katlı otoparklarda LPG'li ve yakın gelecekte ülkemizde görebileceğimiz HYA'lara yönelik çıkışa yakın bir alanın özel düzenlemelerle ayarlanması gerekir.

Sıvı hidrojen tanklarında oksitlenme ya da kontrollü bir sıcaklık kesme düzenlemesi yapılmadıkça bir miktar hidrojen kaybı olabilmektedir. Ayrıca hidrojenin yüksek difüzyon karakterinden dolayı küçük sızıntılar katlı otoparklarda risklerin oluşmasına sebep olabilecektir. Doğal olarak hidrojen

yakıtlı araçlar arttıkça garajlarda emniyet yaklaşımları da arttırılacaktır (DPS, 2017). Sıvı hidrojen yakıtlı araç park edildiğine, artık ısıdan dolayı emniyet valfinden günde %2 düzeyinde hidrojen kaybı olabilmektedir (Anonymous, 2002). Bunların haricinde kapalı otoparkların varsa başka teknik yetersizlikler de giderilmelidir. Giriş-çıkış düzenlemeleri, plaka ya da otomatik tanıma sistemleri gibi uygulamalar ile gerekli yönlendirmelerin sağlanması üzerinde çalışılacak diğer konulardır.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığının Otopark Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik'te; *“Zorunlu otopark adedi 20 ve üzeri olan yeni yapılacak yapılara ilişkin yapı ruhsatı başvurularında zorunlu otopark alanlarının 1 adetten az olmamak üzere en az %5'inin, ilgili standartlara göre şarj ünitesi dâhil elektrikli araçlara uygun olarak düzenlenmesi şartı aranır.”* ile *“Yeni yapılacak olan bölge ve genel otoparklar ile AVM'lere ait otoparklarda en az %10 oranında otopark yerinin ilgili standartlara göre elektrikli araçlara uygun olarak (şarj ünitesi dâhil) düzenlenmesi şartı aranır. Otuzbin metrekareden büyük AVM'lerde kurulacak şarj ünitelerinden en az birinin, yetmişbin metrekareden büyük AVM'lerde ise en az ikisinin ilgili standartlara göre hızlı şarj kapasitesine sahip olması gerekir. İhtiyaca göre elektrikli araç otopark yeri sayısının artırılması hususunda idarelerce karar alınabilir.”* ifadelerine yer verilmiştir (Yönetmelik, 2021). PHEV ve TEA'lar için şarj istasyonu yerleştirilmiş otoparklarda, bu araçların şarjlarının yapılabilmesi için hem kullanılan batarya teknolojisine hem de şarj tipine bağlı olarak belli bir süreye gereksinim duyulmaktadır. Çünkü mevcut teknolojiye göre bataryaların şarj süreleri oldukça uzundur. Şarj işlemi esnasında çekilen elektrik gücü de diğer önemli bir konudur. Yakın bir gelecekte aynı anda park alanında belki 100 aracın şarj edilmesi gibi senaryolar kaçınılmaz olacaktır. Ayrıca hem araçların uzun şarj süresi hem de 32 Amper'lik bir elektrik prizinden ise ancak 20 kW'lık bir elektrik gücü çekilebiliyor olması aşılması gereken altyapısal konulardandır. Elektrikli araçlar için öncelikle yaygın şarj istasyon ağları kurulmalıdır. Bu gerçekleştirilene kadar sürücüler doğru rota, enerji ve zaman yönetimini birlikte yapmak zorunda kalacaklardır (Demir, 2011/b).

HEA ve TEA'ların geleceğini etkileyen en önemli konulardan biri ücretli ya da ücretsiz otoparkların yeterliliklerinin bu araçların şarj ihtiyaçlarını karşılayacak düzeye çıkartılmasıdır. Bu amaçla otoparklarda yapılacak düzenlemelerde;

- Tahsisli yer ayrılması,
- Montaj için minimum yaya trafiğinin olacağı uygun bölgenin seçilmesi,
- Engelli sürücülerin bu üniteleri kullanabilmesi için gerekli düzenlemelerin yapılması (Bu amaçla elektrikli araç bağlantı ekipmanları otopark yüzeyinden 120 cm'den daha yüksek ve 60 cm'den daha alçak olarak konuşlandırılmamalıdır) (Anonymous, 2009),
- Şarj ünitelerinin yağmur, sel ve doğal afetlerden korunma tedbirlerinin alınması,
- Ünitelerin yerleştirildiği bölgenin aydınlatılması,
- Ünitelerin korunması için banket uygulaması,
- En kısa çalışma mesafesinin sağlanması,
- Hem ergonomik ve kullanımı kolaylaştıracak hem de gerektiğinde havalandırma gereksinimlerini karşılayacak önlemlerin alınması,
- Açık otoparklarda soğuktan etkilenme ve donmaya karşı tedbirlerin uygulanması,
- Vandalizm tehdidine yönelik gerekli önlemlerin alınması,

gibi konular ve hizmetler yerine getirilmelidir (Gurbetci ve ark., 2014).

4.5. Otoparklarda Çalışanlara Yönelik Öneriler

- Otoparklarda çalışan/çalışacak olan personeller, alternatif yakıt ve tahrik sistemlerin sahip araçlara yönelik güvenlik konusunda yetkilendirilmiş eğitim kurumlarından eğitim almalı ve sertifikalandırılmalıdır.
- Otoparkta çalışanlar işçi sağlığı ve iş güvenliği ile ilgili eğitimleri almış olmalı, eğitimlere ait belgeler çalışanların dosyalarında muhafaza edilmelidir.
- Otoparkta, acil durumlarda (gaz/sıvı sızıntısı, çarpışma, boğulma, elektrik kaçağı, vb.) yapılması gerekenler yürürlükteki mevzuatlara uygun olarak hazırlanan acil durum eylem planları çerçevesinde yönetilmelidir. Bu planların kolay erişilebilir olmasının yanı sıra, planlarda yer alan acil durum iletişim telefon numaraları çalışanların görebileceği yerlere asılmalı ve çalışanlar acil durumlarda yapılacaklar hakkında eğitilmelidir.
- Olası bazı senaryolara yönelik olarak otoparklarda belli periyotlarda bazı tatbikatların gerçekleştirilmesi gerekir.
- Otoparkların hizmetin şekli, müşteri ilişkileri ve müşteri hakları ile ilgili hususlar “TS 13346:2015 İşyerleri - Genel kurallar” standardına uygun olmalıdır.

Tablo 4. Alternatif Enerji Kaynaklarına Sahip Araçlar Kapalı Otoparkları Kullanabilmelerine Yönelik Emniyet Yükümlülükleri

Yakıt / Enerji Kaynağı	Kapalı Otoparkları Kullanabilmeleri	Araçtan Kaynaklanabilecek Risklere Yönelik Alınan Güvenlik Önlemleri	Otoparkın Havalandırılması	Açıklamalar
HEA	Serbest	En büyük risk faktörü aracın voltaj düzeyinin hibridleşme oranıyla artış göstermesi. Buna yönelik gerekli uyarılar aracın ilgili kısımlarında belirtilmiş ve önlemler alınmıştır.	-	Türkiye’de her hangi bir düzenleme bulunmamaktadır. Yüksek voltaj temas durumlarında, sok ve ölümlere sebep olabilir.
TEA	Serbest	En büyük risk faktörü aracın voltaj düzeyinin yüksek olması. Buna yönelik gerekli uyarılar aracın ilgili kısımlarında belirtilmiş ve önlemler alınmıştır.	-	Türkiye’de her hangi bir düzenleme bulunmamaktadır. Yüksek voltaj temas durumlarında, sok ve ölümlere sebep olabilir.
SHA	Belirsiz	Günde depodaki miktarın %1 ile 3’ü düzeyinde sızıntı olabilmektedir. Ancak değişik yöntemlerle bu sızıntı kontrol edilebilmektedir.	Hidrojen detektörü ile otomatik çalışan havalandırma sistemi	Türkiye’de halihazırda karayolunda her hangi bir araç bulunmamaktadır. Bundan dolayı da herhangi bir düzenleme yoktur. 2000’li yıllarda BMW’nin yaptığı testlerde araç park edildiğinde, artık ısıdan dolayı emniyet valfinden günde %2 düzeyinde hidrojen kaybı olabileceği (Anonymous, 2002) ve daha sonra yapılan geliştirme faaliyetleriyle bu oranın düşürüldüğü belirtilmektedir (Anonymous, 2006).
HYA	Belirsiz	<ul style="list-style-type: none"> • Yüksek havalandırma oranı • Statik-elektrik koruyuculu taban ve duvarlar • Ex-proof tertibatlar • Özel taşıt topraklaması • Basınç tahliye tertibatı 	Hidrojen dedektörü ile otomatik çalışan havalandırma sistemi	Türkiye’de henüz hem araç hem de otopark düzenlemesi bulunmamaktadır. HYA ve YHA’ların performansını optimize etmek ve emniyet konseptini genişletmek için sisteme hidrojen sensörleri monte edilmiştir.

4.6. Yönetmeliklere Yönelik Öneriler

HEA, TEA, HYA ve YHA'lara yönelik kapsamlı mevzuat hazırlıkları yapılmalıdır. Bu çalışmalar yürütülürken; Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), Emniyet Genel Müdürlüğü, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği (TMMOB), sertifikasyon hizmeti veren TÜV, TSE, Türkiye Sigorta Birliği, yerel yönetimlerin ilgili birimleri, üniversitelerden ilgili akademisyen ve uzmanlar, ilgili STK'ler, otopark işletmecileri, ilgili dönüşüm firmaları ve kit imalatçıları gibi tüm paydaşlar, söz konusu mevzuatların uygun hale getirilmesi konusunda kapsamlı bir işbirliği içine girmelidir. Oluşturulacak birliktelik ve sinerji ile yasal düzenleme süreçlerine katılım ve sonuç alma imkanları artırılmış olacaktır.

4.7. Denetimlere Yönelik Öneriler

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik ile "AVM'lerdeki kapalı otoparklara LPG'li araçların girebilmesi için Türk Standartları Enstitüsü'nden (TSE) hizmet yeterlik belgesi ve mahallin itfaiye teşkilatından uygun görüşü alınacağı belirtilerek yasak kaldırılmıştır. LPG'li araçların alınabileceği kapalı otopark alanları, birinci bodrum katlardan daha aşağıdaki katlarda konumlandırılmayacak ve diğer araçların alınacağı otoparklar ile LPG'li araçların giriş ve çıkışları birbirinden ayrı olarak düzenleneceği; bu bağlamda otoparkların havalandırma ve elektrik tesisatının yeniden düzenleneceği; otoparkları, tescil belgesinde LPG'li olduğu belirtilen ve geçerli muayenesi bulunan araçların kullanabileceği, gerekli koşulları sağlamayan araçların otoparklara alınmayacağı" belirtilmiştir (Yönetmelik, 2020). Bu süreç henüz ülkemizde satışa sunulmamış olan HYA ve YHA'ların katlı otoparkları kullanabilmelerine yönelik olumlu ve belirli düzeyde hazırlayıcı bir gelişmedir.

5. SONUÇ

HEA, TEA, HYA ve YHA'ların kullanacağı otoparkların tasarım koşulları, yeterliliklerinin tespiti, uygun düzenlemelerin yapılarak, gerekli önlemlerin alınması, sistemlerin kurulması ve takip sistematığının çıkarılması; bunları destekleyecek yasal düzenlemelerin yapılması, ülkemiz şartlarında aciliyeti ve gerekliliği olan bir konudur. 2020 yılında AVM otoparklarını kullanma yasağı kaldırılan LPG'li araçlardaki süreç dikkate alındığında ülkemizde henüz satışa sunulmamış olan HYA ve YHA'lara yönelik belli bir süre katlı otoparkları kullanma yasakları uygulanabileceği öngörüsünden hareketle, bu araçların uygun park yeri bulmak için uzun arama sürelerine maruz kalmaları, yol kenarlarında ve kaldırımlarda kontrolsüz park etmeleri otopark probleminin büyümesine ve tıkanıklık etkisinin artmasına sebep olabilecektir. Bu ve benzer sorunların çözüme kavuşturulması hem ekonomik ve ekolojik hem de sürdürülebilir bir şehir hayatına önemli katkılar sağlayacaktır. Sektör bileşenlerinin de katkı ve desteğiyle alternatif yakıt ve tahrikli araçların kapalı alanları/otoparkları kullanabilmesinin olanakları aranmalıdır. Bu çalışmadan çıkarılacak sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- Alternatif yakıt ve tahrikli araçların kapalı otoparklara park edebilmesi hem ekonomik ve ekolojik hem de daha yaşanılabilir bir şehir hayatına katkılar sağlayacaktır.
- Havalandırma ve iklimlendirme ile mekanik duman tahliye sistemine yönelik olarak gerekli hava akış kesitleri ve vantilatör hacimleri otoparkların yapım aşamasında yapı kütlesinde yer almalıdır.
- Otopark tipi ve büyüklüğüne göre standart proje gereklilikleri, güvenlik öncelikli olarak tanımlanmalıdır. Ayrıca otoparklardaki yangın tertibatlarının ve havalandırma

sistemlerinin her zaman etkin çalışır durumda bulundurulması, gerekli bakım ve performans gereksinmelerine yönelik özel önem verilmesi gerekir.

- Kapalı otoparklarda alttan emişli mekanik havalandırma sistemi kullanılmalıdır. Ayrıca CNG, LPG, HYA ve YHA'ların park edebileceği alanlarda ilgili gaz algılama sistemi havalandırma sistemini otomatik olarak devreye alacak şekilde düzenlenmelidir. Ayrıca bu alanlarda m²'ye bakılmaksızın gaz algılama sistemi ve otomatik olarak devreye giren havalandırma sistemi bulundurulmalıdır.
- Kapalı otoparklarda kullanılacak algılama sistemlerinde kullanılacak dedektörler hava akımı, araçların giriş çıkış yönü dikkate alınarak yapılan risk değerlendirmesi sonucu yeterli sayıda ve uygun konumda yerleştirilmelidir.
- CNG'li araçlar ile HYA ve YHA'lar kaza yaptığında veya yangına maruz kaldığında; mutlaka yakıt tankları incelenmelidir. Ayrıca belirlenmiş değiştirme sürelerine azami dikkat gösterilmelidir
- Halihazırda HEV ve TEA'ların kapalı otoparkları kullanmaları hususunda dünya ve Türkiye özelinde bir yasak bulunmamaktadır. Ancak konvansiyonel araçlardan yapılacak dönüşümlerde kullanılacak batarya teknolojileri otopark emniyet kısıtlarını da beraberinde getirebilir. Ancak bu durumda daha farklı bir sorunda bu araçların takibi hususunda yaşanacaktır. Ülkemizde LPG'li araç sektöründe yaşanan mevcut sorunlar bu araçlar için önemli bir yaklaşım sunmaktadır.
- Ülkemizde kapalı otoparklara giriş-çıkışta ağırlıklı olarak otopark görevlisine dayalı sistemlerin kullanılıyor olması alternatif yakıt ve tahrikli araçlar için bir güvenlik sorununa sebebiyet vermektedir.
- Görevli personeli olmayan park yeri girişlerinde, LPG, CNG, HYA ve YHA'lar için kontrol amacı ile hologramlı sticker veya tanımlayıcı otomatik kontrol sistemi uygulaması getirilmelidir.
- LPG, CNG, HYA ve YHA'ların park edebildiği kapalı park yerlerinde görülebilir boyutta "SİGARA İÇİLMEZ" tabelası bulundurulmalıdır.
- Araç yangınları bağlamında yapılan bazı çalışmalarda sıkıştırılmış HYA araçların, CNG ya da benzinli araçlardan daha tehlikeli olmadığı tespit edilmiştir.
- Alternatif yakıt ve tahrikli araçlara yönelik tasarlanacak kapalı otoparklarda çalışan/çalıştırılacak olan personeller, güvenlik konusunda yetkilendirilmiş kurumlardan eğitim almalı ve sertifikalandırılmalıdır.
- Otoparkta çalışanlar işçi sağlığı ve iş güvenliği ile ilgili eğitimleri almalı, eğitimlere ait belgeler çalışanların dosyalarında muhafaza edilmelidir.
- Otoparklardaki gaz/sıvı sızıntıları, çarpışma, boğulma, elektrik kaçağı, vb. gibi acil durumlarda yapılması gerekenler yürürlükteki mevzuatlara uygun olarak hazırlanan acil durum planları çerçevesinde yönetilmelidir. Bu planların kolay erişilebilir olmasının yanı sıra, planlarda yer alan acil durum iletişim numaraları çalışanların görebileceği yerlere asılmalı ve çalışanlar acil durumlarda yapılacaklar hakkında eğitilmelidir.
- Otoparkların hizmet şekli, müşteri ilişkileri ve müşteri hakları ile ilgili hususlar TS 13346:2015 İşyerleri - Genel kurallar standardına uygun olmalıdır.

Bu çalışmaların daha kapsayıcı yönetilmesi için şu öneriler dikkate alınmalıdır:

- Yasağa konu olan/olabilecek araçların kabul edileceği kapalı otoparklara ilişkin yangın algılama, yangın söndürme, gaz algılama ve cebri havalandırma sistemleri bütünlük düşünülerek tasarım-projelendirme kriterleri belirlenmeli ve ayrıca bu sistemlerin periyodik olarak performans gerekliliklerini sağladıklarının kontrolleri yapılmalıdır.
- Yasağa konu olan/olabilecek araçların elektronik kimlik sistemiyle donatılması ve otoparklarda bu sistemlerin gerekliliklerinin yerine getirilmesi sağlanmalıdır.
- Alternatif yakıt ve tahrikli araçlar için katlı otoparklarda kolay havalandırılabilir yada kaçak izleme sistemleri gibi önlemler alınmış, özel tahsisli alanlar oluşturulmalıdır. Bu

alanların, mümkün mertebe, otopark çıkışına yakın mekânlarda tasarlanması acil durumlarda müdahaleyi de kolaylaştıracaktır. Park yerlerinin zemini temiz tutulmalı ve zeminde yanıcı, parlayıcı, patlayıcı malzeme bulundurulmamalıdır. Ayrıca zemin kıvılcım oluşturabilecek özellikte malzemeden yapılmamalıdır.

- Mümkün mertebe gaz yakıtlı taşıtların açık alanlara ve tabii havalandırılmalı yer üstü kat otoparklarına park etmeleri tercih edilmelidir.
- Alternatif yakıt ve tahrikli araçların yeterli havalandırma olanağı olmayan çok küçük katlı otoparklara park etmesi sakıncalıdır.
- Yüksek basınçlı tankların kullanıldığı alternatif enerji kaynaklarına sahip araçlar kaza yaptığında veya yangına maruz kaldığında mutlaka yakıt tankları dikkatle incelenmelidir.
- Elektrikli taşıt çarpışma testleri, aracın kullanımı, depolanması ve işletilmesindeki risklerin anlaşılması ve tanımlaması için önemli bir uygulamadır.
- Mevcut otopark altyapıları ile devam edildiğinde LPG yakıtı kullanan araçların yaşamış olduğu sürecin bir benzeri kuvvetle muhtemel HYA ve YHA'lar içinde söz konusu olacaktır.
- Yakıt hücreli araçların, dayanıklılık ve emniyetlilik açısından konvansiyonel araçların yaklaşık 14 yıllık teknik ömrüyle karşılaştırılabilmesi gerekir.
- Konuyla ilgili mevzuatlar arası uyumun sağlanması amacıyla düzenlemeler yapılması gerekir.
- Gelecekte artan refah seviyesinin gelişmekte olan ülkelerdeki araç sahipliğini artıracığı ve verimlilik hedefleriyle düşen batarya maliyetlerinin tam elektrikli araca geçişi teşvik edeceği öngörülmelidir. TOGG bu sürecin belli düzeyde katalizörü olabilir.
- LPG, CNG, HYA ve YHA'lara ev sahipliği yapacak kapalı otoparkların varsa başka teknik yetersizlikleri giderilmelidir. Plaka ya da otomatik tanıma sistemleri gibi giriş-çıkış düzenlemeleri yapılmalıdır.

LPG, CNG, HYA ve YHA'ların kullanımı ile ilgili temel kaygılar, kapalı alanlarda ve otoparklarda emniyetli park etme noktasında yoğunlaşmaktadır. Alternatif yakıt ve tahrikli araç kullanıcıları, araçlarını park ederken ülkemizin mevcut şartları dikkate alındığında özellikle açık alanları ve tabii havalandırılmalı katlı otoparkları tercih etmelidir. Ancak bu çalışmada belirtilmiş olan tespitlerin ve çalışmaların gerekleri yerine getirildiği takdirde bu ve benzeri araçların kapalı otoparkları kullanması ve araç feribotlarına alınmasında bir sakınca olmayacaktır.

SİMGELER

APS	: Açıklanan Taahhüt Senaryosu (Announced Pledges Scenario)
CFRP	: Karbon Fiberle Güçlendirilmiş Plastik (Carbon Fiber Reinforced Plastic - CFRP)
CHSS	: Sıkıştırılmış Hidrojen Depolama Sistemleri (Compressed Hydrogen Storage Systems)
CNG	: Compressed Natural Gas (Sıkıştırılmış Doğal Gaz)
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EREV	: Menzili Arttırılmış Elektrikli Araçlar (Extended Range Electric Vehicle)
FCV	: Yakıt Hücreli Taşıtlar (Fuel Cell Vehicle)
HEA	: Hibrid Elektrikli Araç
HYA	: Hidrojenli Yakıtlı Araç
HYHA	: Hidrojen Yakıt Hücreli Araç (Hydrogen Fuel Cell Vehicle - HFCV)
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency)
İYM	: İçten Yanmalı Motor
JARI	: Japonya Otomobil Araştırma Enstitüsü (Japan Automobile Research Institute)
LFL	: Alev Alabilirlik Alt Sınırı (Lower Flammability Limit)
LNG	: Sıvılaştırılmış Doğal Gaz

LPG	: Sıvılaştırılmış/Likit Petrol Gazı (Liquified Petroleum Gas)
Ni-MH	: Nikel Metal Hidrit
NZE	: Net Sıfır Emisyon (Net Zero Emissions)
PHEV	: Şarj Edilebilir Hibrid Araçlar (Plug-in Hybrid Electric Vehicle)
PRD	: Basınç Tahliye Tertibatı (Pressure Relief Device)
SAE	: Amerikan Otomotiv Mühendisleri Derneği (American Society of Automotive Engineers)
SHA	: Sıkıştırılmış Hidrojenli Araç (Compressed Hydrogen Vehicle)
STK	: Sivil Toplum Kuruluşu/Örgütü
TEA	: Tam Elektrikli Araç
TEHAD	: Türkiye Elektrikli ve Hibrid Araçlar Platformu
TMMOB	: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
TPRD	: Termal Olarak Aktive Edilen Basınç Tertibatı (TPRD - Thermally Activated Pressure Device)
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TÜV	: Teknik Muayene Birliği (Technischer Überprüfungsverein)
YHA	: Yakıt Hücreli Araç

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

ACEA, (2021). The automobile industry. Pocket Guide 2021/2022. *Acea*.

Alkaya, L., Behçet, R. & İlkılıç, C. (2008). Yakıt pilleri ve uygulama alanları. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*. 6(3), 67-71.

Anonim, (2009). Hafif yolcu ve ticari araçlardan çıkan emisyonlar (Euro 5 ve Euro 6) bakımından ve araç tamir ve bakım bilgilerine erişim konusunda motorlu araçların tip onayı ile ilgili uygulama usul ve esaslarına ilişkin tebliğ, (Tebliğ No: SGM-2009/22), Resmî Gazete, Sayı: 27445.

Anonim, (2013, Mayıs, 27-28), Oto gaz kullanan araçlar ve kapalı otoparklar için yeni standartlar çalıştayı. <http://www1.mmo.org.tr> adresinden 30 Mart 2022 tarihinde alınmıştır.

Anonymous, (2002). Bosch Automotive Handbook, Bosch GmbH, 5th Edition. *Wiley-Blackwell*. New York.

Anonymous, (2006). BMW Hydrogen 7, BMW Media Information. *Wired*. Kaliforniya

Anonymous, (2009). Electric vehicle charging infrastructure deployment guidelines. http://www.afdc.energy.gov/afdc/vehicles/electric_research.html adresinden 30 Mart 2022 tarihinde alınmıştır.

Anonymous, (2017). Current world population. <http://www.worldometers.info/world-population> adresinden 30 Mart 2022 tarihinde alınmıştır.

- Beiker, S. A. (2010). Between old economy and the next big thing the automobile on its way to the future. [www.stanford.edu/class/me302 /.../Future%20Automobile%202010-09-21.Pdf](http://www.stanford.edu/class/me302/.../Future%20Automobile%202010-09-21.Pdf) adresinden 30 Mart 2022 tarihinde alınmıştır.
- BloombergNEF, (2021). Battery pack prices fall to an average of \$132/kWh, but rising commodity prices start to bite. <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-fall-to-an-average-of-132-kwh-but-rising-commodity-prices-start-to-bite/> adresinden 23 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.
- Christiaens, S., Ogrzewalla, J. & Pischinger, S. (2012). Functional safety for hybrid and electric vehicles. *SAE Technical Paper*. 1-12.
- Demir, A. (2011/a, Mayıs, 25). *Güncel ve gelecekteki otomobil ve otopark trendleri*. Uluslararası Otopark Politikaları ve Uygulamaları Sempozyumu. İstanbul.
- Demir, A. (2011b, Aralık, 1-2). *Elektrikli araçların otoparklarla birlikteliği*. 2. Toplu Ulaşım Haftası – Transist 2011 - IV. Ulaşım Sempozyumu ve Sergisi. İstanbul.
- Demir, A. (2019). *İstanbul'da otopark işletmeciliğine ilişkin temel sorunlar ve çözüm önerileri*. International Academic Studies on Social and Education Sciences (Mehmet Dalkılıç Edt.) *Gece Kitaplığı*. Ankara.170-187.
- Demir, A. & Yardım, M.S. (2013, Kasım, 14-15). *Kapalı otoparklarda LPG yakıtlı taşıt parkı düzenlemesi*. Yangın ve Güvenlik Sempozyumu ve Sergisi, TÜYAK. İstanbul.
- DPS, (2017). Safety issues regarding fuel cell vehicles and hydrogen fueled vehicles. Minnesota Department of Public Safety, <https://dps.mn.gov> adresinden 24 Mart 2022 tarihinde alınmıştır.
- Dunyaenerji, (2021). 2021 Dünya enerji görünümü raporu özeti. <https://www.dunyaenerji.org.tr/dek-atolye-ankara-kayitlari/> adresinden 22 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.
- Gurbetci, K., Demir, A. & Karaahmet, A., (2014). Otopark uygulamalarında teknoloji, çevre ve emniyet faktörleri. *İlke Yayıncılık*. İstanbul.
- Hao, H., Geng, Y. & Sarkis, J., (2016). Carbon footprint of global passenger cars: Scenarios through 2050. *Energy*. 101, 121-131.
- Hedgescompany. (2021). How many cars are there in the world in 2022? hedgescompany.com/blog/2021/06/how-many-cars-are-there-in-the-world/ adresinden 24 Mart 2022 tarihinde alınmıştır.
- IEA. (2016/a). World energy outlook 2016. *International Energy Agency*. France.
- IEA. (2016/b). Energy and air pollution. World energy outlook special report. *International Energy Agency*. France.
- IEA. (2021). World energy outlook 2021.18. 112-144. www.iea.org/weo adresinden 15 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.

- IICEC. (2021). Sabancı Üniversitesi, Türkiye elektrikli araçlar görünümü lansman slaytları. https://iicec.sabanciuniv.edu/sites/iicec.sabanciuniv.edu/files/inline-files/IICEC__Türkiye__Elektrikli__Araçlar_Görünümü_28_Aralık_2021__1.pdf adresinden 15 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.
- Irmscher, I. (2015). Otopark tasarımı, planlama ilkeleri, projeler ve yapılar. *YEM Yayın*. İstanbul.
- Khayyat, Y. & Unnasch, S. (2005). Hydrogen fuel cell vehicle safety in buildings. *SAE Technical Paper*, 1, 1889-2005. <https://doi.org/10.4271/2005-01-1889>.
- Litman, T. (2006). Parking management best practices. Victoria Transport Policy Institute. Canada.
- Matsumura, H., Itoh, S., Matsushima, K. & Okada, T. (2012). Temperature characteristics of a hybrid electric vehicle fire. *SAE Int. J. Alt. Power*. 1(1), 195-207. <https://doi.org/10.4271/2012-01-0982>.
- Prnewswire, (2022). Hydrogen fuel cell passenger vehicles have all-time high sales in 2021, Says Information Trends. <https://www.prnewswire.com/news-releases/hydrogen-fuel-cell-passenger-vehicles-have-all-time-high-sales-in-2021-says-information-trends-301482623.html> adresinden 15 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.
- Romm, J. (2006). The car and fuel of the future. *Energy Policy*. 34, 2609–2614.
- Rothwell, B.R. (2006). The Vancouver fuel cell vehicle program. *World Hydrogen Energy Conference*. France.
- SAE J3040-201512, (2015), Electric vehicle (e-vehicle) crash test lab safety guidelines. 2015-12-17.
- Scheffler, G., McClory, M., Veenstra, M., Kinoshita, N. et al., (2011). Establishing localized fire test methods and progressing safety standards for FCVs and hydrogen vehicles. *SAE Technical Paper*. 2011-01-0251, <https://doi.org/10.4271/2011-01-0251>.
- Spoelstra, M.B. (2021). Hydrogen cars in parking garages-Part I, Institute of Physical Safety. <https://www.ifv.nl/kennisplein/Documents/20210209-IFV-Hydrogen-cars-in-parking-garages.pdf> adresinden 15 Mart 2022 tarihinde alınmıştır.
- Sun, P., Bisschop, R., Niu, H. & Huang, X. (2020). A review of battery fires in electric vehicles. *Fire Technology*. 1-50.
- Swain, M.R. (2001, Nisan, 17-19). Fuel leak simulation. *Proceedings of the 2001 DOE Hydrogen Program Review*. Maryland.
- Tamura, Y., Takabayashi, M., Tomioka, J., Suzuki, J. et al., (2010). An experimental study on the fire response of vehicles with compressed hydrogen cylinders. *SAE Int. J. Passeng. Cars – Mech. Syst.* 3(1), 301-307, <https://doi.org/10.4271/2010-01-0134>.
- TEHAD, (2022). 2021 yılı elektrikli ve hibrid satış rakamları belli oldu. <https://www.tehad.org/2022/01/16/2021-yili-elektrikli-ve-hibrid-satis-rakamlari-belli-oldu/> adresinden 10 Mart 2022 tarihinde alınmıştır.

- TÜBİTAK, (2003). Elektrikli araçlar. *TÜBİTAK – Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü*. Kocaeli.
- TÜİK, (2022). Motorlu kara taşıtları. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Ocak-2022-45704> adresinden 15 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.
- Ugurlu, A. & Öztuna, S. (2015). A comparative analysis study of alternative energy sources for automobiles. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(34), 11178-11188.
- Üçok, M. (2019). Hydrogen fuel cell vehicles. *Sabancı University Istanbul International Center for Energy and Climate*. İstanbul
- Venturi, M., Fischer, R. & Henkel, F. (2013). Hydrogen sensors for automotive fuel cell applications, *SAE Technical Paper 2013-01-0497*, <https://doi.org/10.4271/2013-01-0497>.
- Voelcker, J. (2014). 1.2 billion vehicles on world's roads now, 2 billion by 2035: Report, http://www.greencarreports.com/news/1093560_1-2-billion-vehicles-on-worlds-roads-now-2-billion-by-2035-report adresinden 15 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.
- Winkel, R., Hamelinck, C., Bardout, M., Bucquet, C., Ping, S. & Cuijpers, M. (2016). Alternative fuels and infrastructure in seven non-EU markets - Final report; Contract: MOVE/C1/SER/2014-268. *European Commission*, Brussels.
- Worldometers. (2022). Dünya nüfusu. <https://www.worldometers.info/tr/> adresinden 23 Mart 2022 tarihinde alınmıştır.
- Yardım, M.S. (2009, Mayıs, 2-8). Bölgesel otopark yönetimi, *1. Kentiçi Ulaşımında Otopark Politikaları ve Uygulamaları Konferansı*. İstanbul.
- Yiğit, S. & Suri, L. (2020). Kent içi ulaşımda aktarma merkezlerinin rolü ve Yenibosna aktarma merkezi projesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 19(37), 11-21.
- Yönetmelik, (2020), Binaların yangından korunması hakkında yönetmelikte değişiklik yapılmasına dair yönetmelik, Resmi Gazete Sayı: 31294.
- Yönetmelik, (2021). Otopark yönetmeliğinde değişiklik yapılmasına dair yönetmelik, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Resmi Gazete, Sayı: 31434.