



ENERJİ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİNDEKİ SON GELİŞMELER



İşbu eserde yer alan veriler/bilgiler, yalnızca bilgi amaçlı olup, bu eserde bulunan veriler/bilgiler tavsiye, reklam ya da iş geliştirme amacına yönelik değildir. STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş. işbu eserde sunulan verilerin/ bilgilerin içeriği, güncelliği ya da doğruluğu konusunda herhangi bir taahhüde girmemekte, kullanıcı veya üçüncü kişilerin bu eserde yer alan verilere/bilgilere dayanarak gerçekleştirecekleri eylemlerden ötürü sorumluluk kabul etmemektedir. Bu eserde yer alan bilgilerin her türlü hakkı STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş.'ye aittir. Yazılı izin olmaksızın işbu eserde yer alan bilgi, yazı, ifadenin bir kısmı veya tamamı, herhangi bir ortamda hiçbir şekilde yayımlanamaz, çoğaltılamaz, işlenemez.



1. GİRİŞ

İki milyon yıl önce ateşin bulunmasından bu yana, keşfedilen birçok enerji kaynağı hayatın her alanında yerini alırken, enerjinin kullanımının yanı sıra depolanmasını gerektiren durumlar da önem kazanmıştır. Mevcut enerji kaynağı kalıcı veya geçici olarak kesildiğinde, yapılan işlemlerin kesintiye uğramadan devam etmesi ancak enerjinin depolanması ve ihtiyacın bu depodan karşılanmasıyla mümkündür.

Günümüzde insanoğlu gıda, temiz su, ulaşım, ısıtma, soğutma gibi temel gereksinimlerini temin etmek amacıyla enerjiye farklı formlarda ihtiyaç duymaktadır. Birleşmiş Milletler (BM) tarafından yapılan projeksiyonlar, 2040 yılında dünya nüfusunun 9,2 milyara yükseleceğini göstermektedir. Bu durum 1,9 milyar daha fazla insana enerji arzı sağlanması gerekliliğini ortaya koymaktadır^[1].

Dünyanın enerji kaynakları hızla tükenirken alternatif ve temiz enerji kaynaklarına yönelim de artmaktadır. Temiz enerjinin güncel teknolojik gelişmelerle verimli bir şekilde depolanması uzay çağından sonra içinde bulunduğumuz bilgi çağında daha da önem kazanmıştır.

Analizimizde enerji depolama ihtiyacının gerekliliğinin nedenlerine ve geleceği şekillendiren yeni enerji depolama teknolojilerine yakından bakılarak, kapasite ve kullanım alanlarına göre öne çıkan yöntemler detaylandırılacaktır. Ayrıca bu alanda büyüyen pazarın yapısı değerlendirilerek, artan yatırımlara da değinilecektir.

2. ENERJİ DEPOLAMA İHTİYACI NEREDEN GELİYOR?

Mevcut enerji kaynağının kesintiye uğraması durumunda oluşacak enerji ihtiyacını karşılamada, enerjinin depolanması hususu oldukça kritiktir.

Günümüzde bu konuda en büyük ihtiyaç elektrik enerjisinin depolanması üzerinedir. Bilgi çağında daha da önem kazanan yeni teknolojilerin hemen hemen hepsi elektrik enerjisine ihtiyaç duymaktadır. Akıllı telefonlardan, elektrikli çevre dostu araçlara, akıllı evlerden fabrikalara birçok alanda ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin depolanmaması durumunda kablosuz teknolojilerin neredeyse hiçbir işlevi kalmayacaktır. Kesintisiz enerji ise ancak depolanabilen enerjilerle mümkün kılınabilmektedir. Herhangi bir sektörde veya cihazda kullanılan enerjinin bir kısmının depolanması gerekmektedir.

Enerji kesintisi birçok nedenden kaynaklanabilir. Doğal afetler, sabotaj, uluslararası ilişkiler veya yetersiz planlama enerji kesintilerine neden olabilmektedir. Bu durumda işleyişin devam etmesinde en önemli rol depolanmış enerjiye düşmektedir. Depolanmış enerji tükenmeden mevcut kaynağın yerine konulması da önemlidir. Bu gibi durumların ve olasılıkların çok iyi hesaplanması, olası kesinti sürelerine göre depolama sistemlerinin kurulumu, işletmelerin veya cihazların kesintisiz faaliyet göstermesinin en önemli yoludur^[2].

Enerjiye talep her zaman aynı olmayabilir. Genelde düşük enerji ihtiyacı olan bölgelerde, belirli zamanlarda enerji talebinde ani artışlar ortaya çıktığında mevcut enerji kaynakları o an için yetersiz kalabilmektedir. Böyle durumlarda da depolanan enerjinin ihtiyacı artan bölgeye yönlendirilmesi, aktif enerji kaynağının kapasitesinin güncellenmesi için zaman kazandırmaktadır. Bu sayede enerji sağlayıcılar hizmetlerinde kesinti yaşanmadan faaliyete devam edebilmektedir^[3].

3. TARİHTE ENERJİ DEPOLAMA TEKNİKLERİ

Ateş bilinen en eski enerji kaynaklarından biridir. Sağladığı ısı enerjisi milyonlarca yıl önce insanlığın gelişiminde önemli bir rol oynamıştır. Tarih boyunca çok farklı enerji kaynakları ortaya çıkmış ve insanlığın gelişimine destek olmuştur. Ancak enerjinin kullanımının yanında depolanması ve gerektiğinde bu enerjiye ulaşılabilmesi de önemli bir konudur. Enerjinin depolanmasının tarihçesi oldukça eskilere dayanmaktadır.

Bilinen en eski yakıt hücresi tasarımlarından biri olan kil kaplara Irak'ın başkenti Bağdat yakınlarında rastlanmıştır. Bu kil kapların 2200 yıl önce hüküm sürmüş olan Pers İmparatorluğu döneminde kullanıldığı düşünülmektedir. Alman arkeologlar tarafından 1938 yılında yapılan çalışmalarda, 16 cm yüksekliğinde olan kapların asfalt benzeri kapakları olduğu ve içlerinde bakır sarıllı bir tüp bulunduğu keşfedilmiştir. Kil kabın en alt kısmına yerleştirilmiş olan demir bir disk ile bağlantılı bakır sarıllı tüpün fermente meyve suyu ile düşük akımlı elektrik ürettiği düşünülmektedir. Yapılan olasılık çalışmalarında kil kapların 1,5 ile 2 volt arası bir enerji üretebileceği düşünülmektedir. Ne yazık ki araştırmacılar bu kapların tam olarak neyin enerjisini karşılamak adına tasarlandığını belirleyememiştir ama bu kil kaplar bilinen en eski batarya tasarımı veya yakıt hücresi olarak tarihe geçmiştir.

Varsayımsal araştırmalar, bu bataryaların ağıryı tedavi amacıyla veya simyagerlerin gümüş ve altın üretmek için yaptıkları çalışmalarda kullanılmış olabileceğini öne sürmektedir.

Elektrokimyasal enerji depolama sistemleri açısından 1737-1798 yılları arasında yaşayan Luigi Galvani ve 1745-1827 Alessandro Conte di Volta'nın yaptığı çalışmalar ise günümüzde kullanılan Galvanik Parçalar ve Volt kavramlarını ortaya çıkarmıştır. Özellikle Volta'nın bakır ve çinko ile yaptığı çalışmalar, fotovoltik hücre modelinin oluşmasını sağlamıştır^[4].

Uzun yıllar boyunca elektrik enerjisinin depolanmasını sağlayan kurşun-asit aküler ise 1859 yılında keşfedilmiştir. İçten yanmalı motor teknolojisine sahip araçlarla birlikte daha birçok endüstriyel alanda kullanılan bu enerji depolama sistemi şarj edilebilir sistemlerin en eski örneklerinden biridir.

Günümüzde enerji depolama sistemleri, megavatlara varan ve kasabaları dahi aydınlatmaya yarayan dev sistemlerden küçük elektronik cihazlara enerji veren özel pil sistemlerine kadar çok büyük çeşitlilik göstermektedir.

Kimyasal yapılarına göre değişiklik gösteren küçük piller 1.0 ile 3.6 volt arasında enerji sağlarken, güneş enerjisi çiftlikleri veya evlere özel rüzgâr ve güneş enerjisi üretme sistemlerinden gelen enerjinin depolanması için de tasarlanan aküler bulunmaktadır^[5].

Enerjinin gerektiğinde elektrik enerjisi veya başka enerji çeşitlerine dönüşmesini sağlayan farklı enerji depolama teknolojileri de bulunmaktadır. Elektrik enerjisi depoları (Electrical Energy Storage -EES) adı ile oluşturulan karma sistemlerle ülkelerin gerektiğinde ihtiyaç duyacakları enerjiyi karşılaması hedeflenmektedir. İlk olarak 1929 yılında ABD'nin Connecticut eyaletinde bulunan Housatonic Nehri üzerine kurulmuş geniş kapsamlı enerji depolama tesisi olan Rocky Nehri Pompa istasyonu ile başlayan çalışmalar, 1970'lerde petrol krizi ile birlikte daha da artarak şarj edilebilir ve yeniden kullanılabilir enerji sistemlerinin önünü açmıştır^[6].

Çok çeşitli enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisinin depolanması ve kullanılması günümüzde hâlen önemle araştırılan ve geliştirilen bir alandır. Giderek küçülen elektronik cihazların daha uzun süre bağımsız çalışabilmesinin sağlanması geleceğin getireceği yeni teknolojilere de faydalı olacaktır.

4. MEVCUT ENERJİ DEPOLAMA TEKNOLJİLERİ

Dünyada çok çeşitli enerji kaynakları bulunmaktadır. Farklı kutupların birbirine yaklaşması veya uzaklaşmasıyla ortaya çıkan manyetik enerji, mıknatıslı sistemlerle ortaya çıkmaktadır. Termal enerji; bir objenin potansiyel ve kinetik enerjilerinin toplamından oluşan titreşimler sonucu, ısının ortaya çıkmasıyla sağlanabilmektedir. Kimyasal enerji de moleküller arası kimyasal bağlarla üretilmektedir.

Hareket eden objelerin ürettiği enerjiye hareket enerjisi denilirken; elektrostatik enerji, iten yüklerin birbirine yaklaşması veya çeken yüklerin birbirinden uzaklaşmasıyla oluşmaktadır. Esneme payı olan bir cisim esnetildiğinde veya sıkıştırıldığında da elastik potansiyel enerji ortaya çıkabilmektedir. Yüksekte bulunan objeler yerçekimi enerjisini sağlarken atomun çekirdeğinden elde edilen nükleer enerji ise muazzam bir kaynak sağlayabilmektedir.

Her çeşit enerji için farklı üretim sistemleri bulunmaktadır. Üretilen enerjinin verimli bir şekilde kullanılması için, kullanım sonrası artan enerjinin de depolanması ve daha sonra kullanılabilmesi önemlidir^[7].

Birçok farklı enerji çeşidi bulunsa da aslında bütün bu kaynaklar iki ana başlık altında toplanmaktadır: Kimyasal enerji, mekanik enerji, nükleer enerji ve yerçekimi enerjisi potansiyel enerjiler başlığı altında yer alırken; termal enerji, hareket enerjisi, titreşim enerjisi ve elektrik enerjisi kinetik enerjiler başlığı altında bulunmaktadır^[8].

Geçmişten günümüze fosil yakıtların da içinde olduğu çeşitli enerji kaynakları insanlığın hizmetine sunulmuştur. Ancak artan enerji tüketimini karşılamakta zorlanan dünya kaynaklarının korunabilmesi için üretilen

bütün enerjinin kullanılabilmesi veya depolanabilmesi önemlidir.

Son yıllarda önemi hızla artan ve fosil yakıt kullanımını durdurmayı hedefleyen elektrikli araçların enerji depolama sistemi olan bataryaları için birçok teknoloji geliştirilmektedir. Bu araçlarda mevcut olarak tercih edilen Lityum-iyon (Li-ion) bataryaların sürdürülebilirlikleri konusunda ise birçok tartışma yaşanmaktadır. Özellikle bu bataryaların üretimi için ihtiyaç duyulan nadir toprak elementlerine erişimde yaşanan sıkıntılar alternatif teknolojilerin gelişmesine destek olabilmektedir^[9].

4.1 Lityum İyon Bataryalar

Küresel ölçekte kurşun asit bataryalardan sonra en çok tercih edilen batarya teknolojisi Li-ion bataryalardır. Elektrokimyasal bileşeninde bulunan lityum atomlarının anot kısmında iyonize olarak elektronlarına ayrılması prensibiyle çalışan bataryalar akıllı telefonlardan elektrikli araçlara kadar hemen hemen her alanda kullanılmaktadır.

Li-ion bataryaların elektrot kısımları farklı materyallerden üretilmektedir. Lityum kobalt oksit katot ucu ve grafit anot ucu olan versiyonu en sık tercih edilen batarya modelidir.

Li-ion bataryalar şu anda pazarda bulunan en yoğun enerji depolama ürünleridir. Ayrıca eski batarya teknolojilerine göre üç kat daha fazla volt üretebilmektedir. Li-ion bataryalar ayrıca toksik olan kadmiyum gibi malzemeleri içermediğinden imhası Nikel Kadmiyum bataryalara göre daha kolaydır. Ancak aşırı ısınmaları ve yüksek voltajlarda zarar verme potansiyeli gibi olumsuz özellikleri de bulunmaktadır^[10].

4.2 Sodyum İyon (Na-ion) Bataryalar

Sodyum iyon bataryalar, Li-ion bataryaların yerini alması hedeflenen yeni nesil bir enerji depolama sistemidir. Ancak sodyumun ağır yapısı mevcut durumda Li-ion bataryaların yerini almasına engel teşkil etmektedir. Na-ion bataryaların araştırmaları yeni nesil katot materyallerinin oksidasyonlarının izlenmesi için de kullanılmaktadır^[11].

Yakın zamanda Washington Üniversitesinde ortaya çıkan yeni bir araştırma Li-ion bataryaların kapasitesinde bir Na-ion batarya olasılığını ortaya koymuştur. Bu araştırma, bataryalarla ilgilenen araştırmacılar tarafından heyecanla karşılanırsa da Na-ion bataryalarının anot ve katotları üzerine yapılan çalışmalara devam edilmesi ve Li-ion versiyonlarına göre daha ucuz ve zararsız olan bataryaların hızla pazara dahil edilmesi önemlidir. Na-ion batarya teknolojisi hâlen ticari kullanım için yeterli kapasiteleri sergileyememektedir^[12].

4.3 Nikel Kadmiyum (Ni-Cd) Bataryalar

Uzun yıllardır kullanılan bir batarya teknolojisi olan Ni-Cd bataryalar, 1.3 volta kadar enerji üretebilmektedir. Bu batarya teknolojisi 1990'larda elektrikli araçlarda kullanılmaya başlanmıştır. Ancak Ni-Cd bataryaların toksik özelliği çevre ve insanlar için risk yaratabilmektedir. Çinko üretiminin yan ürünü olan kadmiyumun

zehirli etkisi bu bataryaların imhası ve geri dönüşümünü zorlaştırmaktadır^[13].

4.4 Kurşun Asit (Lead Acid) Bataryalar (Aküler)

Fotovoltaik sistemlerde en çok tercih edilen batarya modeli, kurşun asit bataryalardır. Düşük enerji yoğunluğu ve yüksek bakım maliyetleri gibi olumsuz etkileri olsa da uzun ömürlü ve düşük üretim maliyetli olmaları genel tercih sebebidir. Kurşun asit bataryalar ağırlıklı olarak araçların ilk çalıştırma aşamasında gereken enerji ihtiyacının karşılanması için tercih edilmektedir.

Kurşun asit bataryalarda kullanılan sülfürik asit içeriği genel olarak tehlike yaratmaktadır. Bu bataryalar aynı zamanda yüksek akım yaratma kapasitesi göstermektedir. İki iletken uç arasına bir metal obje gelmesi durumunda bu objeyi fırlatarak yaralanmalara da neden olabilen kurşun asit bataryaların aşırı şarj durumlarında patlama riski de bulunmaktadır^[14].

4.5 Hidrojen Yakıt Hücreleri

Li-ion bataryaların yerini almayı vadeden hidrojen yakıt hücreleri, geleceğin önemli enerji depolama sistemlerinden biri olarak görülmektedir. Hidrojenin depolanan enerji kaynağı olarak kullanılmasıyla ortaya çıkan tek yan unsur olan suyun, çevre için de bir zarara neden olmaması bu teknolojinin önemini daha da artırmaktadır. Toyota hâlihazırda hidrojen yakıt hücrelerinin araçlarına uyarlanması için çalışmalar yürütmektedir. Günümüzde bu hücrelerin kullanımına en büyük engel olarak aşırı dercede büyük olmaları gösterilmektedir^[15].

Mevcut teknolojilerle üretilen hidrojen yakıt hücreleri yeterince verimli çalışmamaktadır. İhtiyaç duyulan enerji için gerekli depolama sisteminin çok fazla yer kaplaması ve enerji çıkış oranlarının yavaş olması, bu teknolojinin daha fazla gelişmeye ihtiyaç duyduğunu göstermektedir^[16].

Ancak sudan elde edilebilen hidrojenin dünya kaynakları değerlendirildiğinde kolaylıkla temin edilebilme olasılığı, karbon emisyon oranlarının sıfır olması, fosil yakıtlara göre daha güçlü olması, gürültü kirliliği yaratmaması ve uzun yıllar kullanılabilme potansiyeli hidrojen yakıt hücrelerini araştırılmaya değer kılmaktadır^[17].

4.6 Lityum-Sülfür Teknolojisi

Li-ion pillerin yerini alması beklenen ve yüzde 40 daha yüksek kapasiteyle çalışmayı vadeden lityum-sülfür (Li-S) batarya teknolojisi yakın gelecekte aktif olarak kullanıma sunulacak gibi görünmektedir. Sony gibi teknoloji devi firmaların üzerinde araştırma yaptığı teknolojinin endüstriyel kullanımda çabuk tükenmesi, şimdilik en büyük zorluğunu oluşturmaktadır^[18].

Li-S bataryalar hafif ve yüksek kapasiteli yapılarıyla geleceğin elektronik cihazlarına fayda sağlama potansiyeli gösterirken, türevlerine göre daha kısa sürede kullanılmaz hâle gelmesi en büyük sorununu oluşturmaktadır. Li-S bataryaların tepkime sistemi zamanla lityum sülfat ve sıvı lityum polisülfata dönüşerek bataryanın eksi yükü olan sülfür katodunun korozyona uğramasına neden olmaktadır. Bilim insanları bu tepkimeyi azaltmak veya ortadan kaldırmak için yeni katalistler araştırmaktadır.

Yakın zamanda Kore’de bulunan Gwangju Bilim ve Teknoloji Enstitüsü (Gwangju Institute of Science and Technology -GIST) araştırmacıları Li-S bataryaların ömrünü ciddi oranda uzatmak için yeni bir katalist bulduklarını açıklamışlardır. Bu araştırma Li-S bataryaların endüstriyel kullanımının önünü açmaktadır.

ChemSusChem bilimsel araştırma dergisinde yakın zamanda yayınlanan bir makalede, Li-S katalistleri konusunda yapılan yeni keşfin kobalt oksalit ile gerçekleştiği ve bu gelişmenin Li-S batarya teknolojisinin endüstriyel kullanımına imkân verecek kadar dayanıklılık gösterdiğini açıklamaktadır^[18].

4.7 NanoBolt Lityum Tungsten Bataryalar

Yeni anot materyallerinde yapılan çalışmalar, bakırın bağlanmasında tungsten ve karbon kaplı çoklu tabakalama teknolojisiyle oluşturulan nano tüplerin yeni nesil bir batarya olasılığını ortaya çıkardığını göstermektedir. İyonların bağlanması için daha geniş bir yüzey yaratan bu teknoloji, bataryaların daha hızlı şarj olmasına ve daha fazla enerji depolamasına imkân vermektedir^[19].

4.8 Grafen Süperkapasitörleri

Nanoteknoloji günümüzde bataryaların tamamen ortadan kalkmasını sağlayacak yeni enerji depolama teknolojilerine imkân verme potansiyelindedir. Grafen süperkapasitörler bunu gerçekleştirme yolunda önemli bir adımdır.

Süperkapasitörler, bataryalarla kıyaslandığında çok daha verimli bir şekilde şarj ve deşarj olabilmektedir. Grafen kullanılarak yapılacak süperkapasitörler çok daha hafif ve kullanışlı olabilecektir. Grafen süperkapasitörlerin ticari boyutlarda üretilmesi mümkün olduğunda enerji depolama sistemlerinde devrim yaşanması muhtemel olarak değerlendirilmektedir^[15].

Grafen, aslında saf karbonun ince bir tabaka hâline getirilmesinden oluşmaktadır. Grafen, bilinen en ince bileşim ve iletkenidir. Grafen aynı zamanda çok dayanıklı, ışık emme özelliği gösteren ve çevre dostu bir üründür. Mevcut karbon süperkapasitörlerin yerine geçmesi düşünülen grafenin, yüzey alanı genişledikçe elektrostatik şarj kapasitesi de artmaktadır. Grafen süperkapasitörler Li-ion bataryalarla neredeyse aynı enerji depolama kapasitesinde olup on binlerce kez şarj olabileme özelliğindedir^[20].

4.9 Redox Akım Bataryaları (Redox Flow Batteries -RFB)

ABD’nin Enerji Bakanlığı Pasifik Kuzeybatı Ulusal Laboratuvarına göre, geleceğin bataryaları olarak değerlendirilen redox akım bataryaları için yapılan araştırmalar yeni nesil enerji depolama sistemlerini yeniden şekillendirme potansiyelindedir.

Araştırmacıların yaptığı çalışmalarda redox akım bataryaları, içine eklenen hidroklorik ve sülfürik asit ile prototip bataryalarda Li-ion türevlerine göre yüzde 70 daha yüksek yoğunluk gözlemlenmiştir. Bu batarya tipleri, güneş ve rüzgâr enerji panellerinden sağlanan enerjinin depolanması hedefiyle tasarlanmıştır. Elektrikli araçlara

uygulanma durumunda tek bir şarjla 1.600 km sürüş imkânı sunan redox akım bataryaları, daha hafif ve yüksek kapasiteli enerji depolama sistemlerini vadetmektedir^[15].

Redox akım bataryaları aslında bir çeşit elektrokimyasal enerji depolama sistemi olarak öne çıkmaktadır. İçinde bulunan sıvıların indirgenmesi ve oksidasyonu ile kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürebilen bu sistemler, gelecek için daha verimli ve ekonomik bir enerji depolama çözümü sunabilir^[21].

Akım bataryalarının geneli değerlendirildiğinde en gelişmiş sistemlerden biri de vanadyum redox akım bataryalarıdır. Ancak bu sistemlerin bütçesi oldukça yüksek olduğundan, çok sıklıkla tercih edilememektedir^[22].

Vanadyum redox akım bataryalarının yanında demir-krom ve çinko-brom redox akım batarya modelleri de bulunmaktadır^[23].

4.10 Alüminyum Grafit Bataryalar

Alüminyum grafit bataryalar olağanüstü yüksek hızlarda şarj olma imkânı sunmaktadır. Stanford Üniversitesi araştırmacılarının geliştirdiği bataryaların akıllı telefonlarda kullanılması durumunda, 60 saniyede telefonun şarj edilebileceği veya elektrikli araçların dakikalar içinde şarj olabileceğini göstermektedir. Ancak şimdilik üretilen prototiplerde 1.5 volt kadar bir enerji çıkışı sağlanmaktadır. Bu durum mevcut elektronik cihazlar için yetersiz kalmaktadır. Alüminyum grafit bataryalar daha efektif bir kullanım şekli bulunması durumunda daha hafif, güvenli ve yoğun enerji kapasiteli olacaktır^[15].

Avustralya merkezli bir firma olan GMG’de alüminyum grafit bataryaların araştırılması ve üretimi için çalışma başlatmıştır. Queensland Üniversitesi ile birlikte yürütülen çalışmalar alüminyum grafit-ion batarya teknolojisi üzerine yoğunlaşmaktadır.

Yeni nesil bataryaların içeriğinde alüminyum folyo, alüminyum klorür, iyonik sıvılar ve üre bulunmaktadır. Li-ion bataryalar şarj işlemlerinde her seferinde tek bir elektron geçişine izin veren bir sistemle kurgulanmışken, alüminyum grafit bataryalar bu sayıyı üçe katlamaktadır. Bu sayede çok daha hızlı şarj olabilen bataryalar aynı zamanda bir amper üst limitine tabi olmadığından ısınma gibi problemler de yaratmamaktadır. Alüminyumun çevreye zararlı bileşenler içermemesi de bir diğer olumlu yan olarak değerlendirilmektedir. Son olarak alüminyum, lityuma kıyasla çok daha ekonomiktir. 2005 yılında 1.460 dolar olan lityumun ton fiyatı günümüzde 13.000 doları geçmiştir. Alüminyum ise aynı dönemlerde 1.730 dolardan 2.078 dolara yükselmiştir. Bu durum elektronik cihaz pazarında ciddi fiyat düşüşlerine yardımcı olabilir.

GMG gibi firmaların üzerinde ciddi çalışmalar gerçekleştirdiği alüminyum grafit bataryaların 2021 sonu ile 2022 başlarında pazarda yer edinebileceği ve otomotiv sektörüne uygun versiyonlarının da 2024 yılına kadar geliştirilebileceği düşünülmektedir^[24].

4.11 Biyoelektrokimyasal Bataryalar

Biyoelektrokimyasal bataryalar, anaerobik bakteriler yardımıyla asetik asit üreterek indirgeme/oksidasyon yöntemini kullanmaktadır. Hollanda’da araştırmacılarca

çalışmaları devam eden bu teknoloji henüz çok erken aşamalarda. Gelecekte yeni teknolojiler ve araştırmalarla yeterince ilerlediğinde güneş enerji panellerinde kullanılacak yeni nesil depolama sistemi olarak tercih edilmelerine muhtemel olarak bakılmaktadır.

Biyoelektrokimyasal batarya teknolojisinin en büyük avantajı içeriğinde bulunan bakterinin sürekli olarak kendini üreterek yenilenmesi ve sonsuz ömre sahip olmasıdır^[15].

Biyoelektrokimyasal batarya teknolojisi ile üretilebilecek Mikrobiyal Yakıt Hücreleri (Microbial Fuel Cells -MFC) geleceğin tükenmeyen bataryalarının yolunu açma potansiyelindedir^[25].

4.12 Organosilikon Elektrolit Bataryalar

Li-ion bataryalarda elektrotların ateş alması ve patlamasına neden olan riski ortadan kaldırmak için araştırmalar organosilikon (OS) bazlı solventlerin bataryalarda kullanım olasılığını ortaya çıkarmıştır. Bu teknoloji henüz araştırma aşamasında olmakla beraber endüstriyel, askeri ve genel tüketicilerin kullanımına sunulması için çalışmalar hızlandırılmıştır^[19].

4.13 Katı Hâl Bataryaları (Solid State Batteries -SSDB)

Katı hâl sürücüler (Solid State Drive -SSD) veri depolama teknolojilerinde devrim yaratarak güvenli ve hızlı veri depolama ve erişimin önünü açmıştır. Benzer şekilde enerji depolama için de kullanımı düşünülen SSD teknolojisi, bataryalar dünyasında ciddi değişimler vadetmektedir. SSD bataryalarla ısınma ve yangın riski sifıra inmektedir. Aynı zamanda hiç performans kaybı yaşamadan ömür boyu kullanım olasılığı sunan teknoloji, Massachusetts Institute of Technology (MIT) ve Samsung araştırmacılarıncaya geliştirilmektedir^[15].

Samsung İleri Teknoloji Enstitüsü (Samsung Advanced Institute of Technology -SAIT) araştırmacıları SSD batarya teknolojisinde elde ettikleri gelişmeler ışığında mevcut elektrikli araçların menzillerini iki katına çıkarmayı vadetmektedir. Modern elektrikli araçlarda bataryaların elektrolit yönteminin sıvı kökenli olması nedeniyle yaşanan sorunları katı elektrolitlerle aşan Samsung araştırmacıları, daha yoğun ve güvenli bir enerji depolama teknolojisi sunmaktadır.

Seramik, cam, sülfat veya katı polimer bileşenlerden oluşabilen katı hâl bataryaları; gelecekte Li-ion türevlerine göre 2 ila 10 kata kadar daha yoğun enerji sağlama potansiyelindedir^[26].

4.14 Altın Nanokablolu Jel Elektrolit Bataryalar

Li-ion bataryaların risklerinin bertaraf edilmesi için yapılan bir diğer araştırma da Kaliforniya Üniversitesi tarafından yürütülmektedir. Altın nanokablolari mangan dioksit ile kaplayarak daha sonra elektrolit jel içerisine koyan araştırmacılar, yaptıkları testlerde bataryanın herhangi bir aşınmaya uğramadan 200.000 kez şarj olabildiğini gözlemlemiştir. Konvansiyonel bataryaların 6.000 şarj olma sınırıyla kıyaslandığında yeni batarya tasarımı oldukça umut vericidir^[19].

5. FARKLI ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ

İhtiyaç duyulduğunda kullanılmak üzere, bataryalar dışında, farklı enerji depolama sistemlerinde de enerji depolanabilmektedir.

5.1 Pompaj Hidroelektrik Enerji Depolama Sistemleri

Pompaj Hidroelektrik Depolama (Pumped Hydroelectric Storage -PHS) sistemleri alçak bir seviyeden yüksek bir seviyeye suyu pompalayarak elektrik ihtiyacı olduğunda bu suyun türbinlere salınmasıyla çalışmaktadır. Suyun akış enerjisinin elektrik enerjisine çevrilmesiyle çalışan sistem, farklı bir enerji depolama dönüşüm mekanizması oluşturmaktadır. Küresel ölçekte bilinen genel enerji depolama sistemlerinin yüzde 96'sı PHS sistemlerinden oluşmaktadır. 50-60 yıl arasında ömrü olan bu sistemler şehir veya sanayi seviyesinde enerji depolanmasında tercih edilmektedir^[6].

PHS sistemleri kapalı döngü veya açık döngü olarak kurgulanabilmektedir. Kapalı döngü sistemler bir göletten yüksek bir rezervuara suyun aktarılması ve depolanması prensibiyle çalışmaktayken, açık döngü sistemler akarsulardan temin ettiği suyu yüksek bir rezervuara aktarmaktadır. Açık sistemlerde su akış hızı daha fazla olduğundan daha güçlü bir depolama sistemi kurgulanabilmektedir^[27].

Türkiye'de ilk kez Enerji İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğünce PHS etüt çalışması yapılmış, artan enerji ihtiyacı ve en yüksek güç talebi göz önüne alınarak PHS'lerin diğer sistemlerle de birlikte çalıştırılması ve ülke çapında yaygınlaştırılması hedeflenmiştir. PHS'lerin Türkiye'deki yeri ve gelecekteki potansiyeli üzerine yapılan araştırmalar ihtiyaç karşısında çeşitli hibrid sistemler çözüm olarak değerlendirilirken mevcut bir PHS çalışması bulunmamaktadır. Ancak Yahyalı (Kayseri) Hibrid Projesi kapsamında rüzgâr enerjisi ile PHS sistemleri entegrasyonu değerlendirilmektedir^[28].

5.2 Basıncılı Hava Enerji Depolama Sistemleri

Basıncılı Hava Enerji Depolama (Compressed Air Energy Storage -CAES) sistemleri havanın bir yeraltı mağarası veya deposunda sıkıştırılarak saklanması prensibiyle çalışmaktadır. İhtiyaç duyulduğunda bir doğal gaz yanma türbinine aktarılan hava elektrik enerjisine dönüşebilmektedir.

5.3 Gelişmiş Batarya Enerji Depolama Sistemleri

Gelişmiş Batarya Enerji Depolama (Advanced Battery Energy Storage -ABES) kimyasal enerji sistemlerinden oluşmaktadır. Farklı tip bataryalardan oluşabilen sistemler kurşun asit, li-ion, nikel, sodyum veya akım modeli yapılarla kurgulanmaktadır.

5.4 Çark Enerji Depolama Sistemleri

Çark Enerji Depolama (Flywheel Energy Storage -FES) sistemleri aslında uzun dönem enerji depolanmasından

çok enerji yönetim sistemlerinde tercih edilmektedir. Kinetik enerjinin dönme işlemini gerçekleştiren bir motorca oluşturulmasıyla çalışan sistem istenildiğinde yeterli enerji üretme potansiyelindedir. FES iki kategoride incelenmektedir. Düşük hız ve yüksek hız olarak adlandırılan bu kategoriler dakikada 10.000 ve 100.000 dönüş hızına sahiptir^[6].

5.5 Buzda Enerji Depolama

Buzda düşük sıcaklıkta ısı enerji depolama ya da kısa adıyla buzda enerji depolama (BED) binaların soğutma yükünün, su/buz faz değişimi sırasında açığa çıkan gizli ısı enerjiden yararlanılarak daha sonra kullanılmak üzere depolanmasıdır. BED sistemlerinin temel amacı kapalı hacimlerin serinletilmesinde kullanılan klima sistemlerinin enerji tüketim maliyetlerini düşürmektir.

BED sistemlerinde, buzun elde edilme şekline göre statik ve dinamik BED sistemleri bulunmaktadır. Statik sistemde buz, depolama tankında üretilip depolanırken; dinamik sistemlerde buz, depolama tankının dışında üretilip daha sonra tanka gönderilmektedir. Dinamik BED sistemleri, statik BED sistemlerine göre daha yüksek enerji depolama yoğunluğuna ve ısı performansına sahip olmasına karşın daha karmaşık sistem yapısına sahiptir^[28].

Enerjinin depolanması her zaman önemli bir konu olmuştur. Artan teknolojik gelişmeler ve kablosuz teknolojiler özellikle elektrik enerjisinin depolanmasında kullanılan yeni teknolojilerin hayatı kolaylaştırmasının yanında çevre dostu yapılarıyla dünyanın daha yaşanılır hâle gelmesinde fayda sağlayabilecektir.

6. FARKLI ENERJİ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ BİR ARADA KULLANILABİLİR Mİ?

Enerji depolama sistemleri çok çeşitli yapılarda olabilmektedir. Bu sistemler genellikle tek başlarına tercih edilse de bazı durumlarda birbirlerini yedekler nitelikte bir arada da kullanılabilmektedir.

ABD’de gerçekleştirilen bir çalışma, ülke genelinde enerji depolama sistemlerinin enerji hatlarına entegrasyonunun olası kesintilerde ne kadar faydalı olabileceğini göstermiştir. Elektrik Enerjisi Depoları (Electrical Energy Storage -EES) adı verilen sistemde, birden çok enerji depolama sistemi enerji hatlarına bağlanarak birbirini güçlendiren bir yapı oluşturulmuştur.

EES içinde pompa hidroelektrik depolama sistemleri, basınçlı hava enerji depoları, gelişmiş batarya enerji depoları, çark enerji depolama sistemleri çeşitli batarya modelleri, akım bataryaları ve erimiş tuz enerji depoları gibi birçok teknoloji bir arada kullanılmaktadır. ABD’de 2020 yılında 24 gigawatt enerji depolanabilirken üretimin 4.124 gigawatt olduğu gözlemlenmektedir. Küresel enerji depolama kapasitesinin ise 173,7 gigawatt olduğu bilinmektedir.

2021 yılında ise küresel ölçekte 1.363 enerji depolama projesinin faaliyette olduğu ve 11 projenin ise inşa

aşamasında bulunduğu bildirilmiştir. Faaliyette olan projelerin yüzde 40’ı ABD’de bulunmaktadır^[6].

Bir arada kullanılabilen farklı enerji depolama sistemleri hibrid enerji depolama sistemleri (Hybrid Energy Storage Systems -HESS) olarak da adlandırılmaktadır. Büyük ölçekli enerji ihtiyacı olan alanlarda tek tip enerji depolama sistemi yetersiz kalabilmektedir. Bu noktada depolama sistemlerinin birbirini yedekler veya güçlendirir şekilde bir arada kullanımı fayda sağlamaktadır.

Almanya’nın Bremen kentinde uygulanan bir kamu hizmetinde; AEG Power Solutions şirketine tasarlatılan 20 megawatt gücünde olan hibrid batarya/ısı enerjisi sistemi özellikle enerji dalgalanmalarıyla mücadelede fayda sağlamaktadır. Enerjinin ısı olarak depolanması kimyasal türevlerine göre hem daha ekonomik hem de daha verimlidir.

İngiltere’nin vanadyum akım bataryaları üreticisi RedT li-ion ve vanadyum redox akım bataryalarının kombinasyonundan oluşan bir sistemin bir megawatt enerji üretebileceğini göstermiştir.

Ultrakapasitör, süperkapasitör ve batarya kombinasyonları da daha verimli ve stabil enerji depolama yöntemleri sunmaktadır. 2016 yılında ABD’de hizmet veren Duke Enerji, 100 kilowatt/300 kilowatt saat enerji kapasitesine sahip ultrakapasitör/batarya hibrid sisteminin çalışmalarını başlatmıştır^[29].

Uzun yıllardır kullanılan pompa hidroelektrik depolama teknolojisi ile jeotermal enerjinin kombinasyonu da verimli bir enerji depolama sisteminin oluşmasına imkân verebilmektedir. Sıcak-su pompa deposu hidroelektrik santrali adı verilen sistemde sıcak yeraltı sularının basıncından da faydalanılarak enerjinin depolanması amacıyla pompalama için gereken elektrik enerjisi de üretilebilmektedir^[30].

7. YENİ ENERJİ DEPOLAMA TEKNİKLERİ GELECEĞİ ŞEKİLLENDİRİYOR

Teknolojinin artan kullanımı ve kablosuz teknolojilere artan ihtiyaç; enerjinin daha çok depolanması, daha uzun süre ve güvenle kullanılması konusunda da talep yaratmaktadır. Araştırmacıların üzerinde çalıştığı çeşitli enerji depolama teknolojileri insanlığın geleceğinde ciddi etkiler yaratma potansiyelindedir.

İsveç’in Chalmers Üniversitesi araştırmacıları daha önceki yapılarla kıyaslandığında 10 kat daha fazla enerji depolayabilen bir çimento batarya üzerinde çalışmaktadır. Geleceğin evlerini dev bir bataryaya dönüştürme potansiyeli olan bu teknoloji çimento bazlı bir karışıma kısa karbon fiberler yerleştirilmesiyle çalışmaktadır. Metal kaplı karbon fiber ağdan oluşan yapıda anot taraf için demir, katot taraf için nikel kullanılmaktadır. Henüz çok erken evrelerinde olan araştırma, çimento batarya teknolojisinin şu aşamada yeterli enerji depolayamadığını gösterse de, bu konuda araştırmalar devam etmektedir. Gelecekte evlere uygulanabilecek bu teknoloji, enerji depolama anlayışını kökten değiştirebilir^[31].

Çimento batarya teknolojisinin karşılaştığı bir diğer zorluk ise çimentonun uzun ömrüdür. Çimento temelli binaların 80 ila 100 yıl dayanıklı olması planlanarak inşa edilmesi batarya teknolojisinin de benzer sürelerde dayanıklı tasarlanmasını gerektirmektedir. Aynı zamanda bataryaların ömrünü tamamladığında geri dönüştürülebilir olması da çevre için önemli bir konudur. Araştırmacılar bu konuları da dikkate alarak araştırmalarına yön vermeye çalışmaktadır^[32].

Günümüzde dahi, akıllı ev kavramı hızla gelişirken geleceğin evlerinin veya işyerlerinin daha teknolojik ve enerji ihtiyacı olan yerler olması beklenmektedir. Bu noktada yeni teknolojilerle desteklenerek gelecekte çimento batarya teknolojisi uzun vadede yapısal enerji depolama sorunlarına bir çözüm yolu üretebilir^[33].

Çimento batarya, evlerde ve işyerlerinde kendi elektriğini üreten sistemler içinde oldukça faydalı olacaktır. Üretilen elektriğin artanı satılmadığında veya kullanılmadığında boşa gitmektedir. Ancak yapısal olarak kullanılan çimentonun batarya görevi görmesiyle bu enerji depolanabilir ve daha sonra kullanılabilir^[34].

Bataryalar ve diğer enerji depolama sistemleri üretiminde belirli maddelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu maddelerin en zor bulunanları ise nadir toprak elementleridir (NTE). Ayrıca kobalt da bataryalarda oldukça fazla ihtiyaç duyulan elementlerden biri hâline gelmiştir. Jeopolitik ve siyasi sebeplerden kaynaklı yaşanan element tedarik sıkıntılarını aşmak için çeşitli yollar aranmaktadır.

STM ThinkTech'in 2020 tarihli analizinde belirtildiği üzere; ilk nadir toprak elementi olan İtiryum'un (Y) 1794'teki keşfinden bu yana 17 farklı nadir element periyodik tabloda yerini almıştır. 1980'lerin sonlarında ise Çin'in bu elementleri çok düşük fiyatlarla satması yeni bir ticari savaş alanının habercisi olmuştur. Pazarda düşen fiyatlar sebebiyle ABD'nin kâr edemeyen madenlerini kapatması sonrasında, 2010 yılında Çin'in ithalatını durdurması ise NTE fiyatlarının hızla artmasına yol açmıştır. Bu gelişme içlerinde ABD, Avustralya, Rusya, Tayland ve Malezya'nın bulunduğu diğer ülkelerin yeniden NTE üretimine geçmelerini motive etmiştir. Alkali bataryalarda kullanılan Skandiyum (Sc), elektrik araç bataryalarında kullanılan Lantanyum (La) ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı yapısı ile yakıt hücrelerinde kullanılan Terbiyum (Tb) NTE'ler içinde enerji depolama teknolojilerinde kullanım alanı bulan elementlerdir^[35].

Dünya Bankasının yaptığı bir araştırmaya göre 2050 yılına kadar gerekli kobalt ihtiyacının karşılanması için kobalt üretiminin yüzde 450 artması gerekmektedir. Bu durum ayrıca küresel olarak iki derecelik bir ısınmaya neden olacaktır. Derin deniz mineralleri bataryalarda yaşanan element sıkıntılarını aşmada bir çözüm yolu vadedilmektedir. Kobaltın derin deniz minerallerinden elde edilmesi mümkünken derin denizlerle ilgili bilgilerin yetersiz olması ve derin deniz ekosisteminin nasıl etkileneceğinin bilinmemesi bu araştırmalarda soru işaretlerini artırmaktadır. Çevre açısından kontrolün sağlanabilmesi için benzer araştırmaların yürütülmesi sırasında uyulacak kurallar Uluslararası Deniz Tabanı Otoritesi tarafından belirlenmekte ve uygulanmaktadır.

Japonya 2017'de başlattığı derin deniz tabanı mineral çıkarma operasyonları ile dışa bağımlılığı düşürmeyi hedeflemektedir. Cook Adaları da devlet olarak 2021 yılında yaptığı maden arama başvurusu ile turizm ekonomisinden elde ettiği gelirin yanına katkı sağlayarak küresel element ihtiyacını karşılayacak çözümler aramaktadır^[36].

Çevre duyarlılığı açısından değerlendirildiğinde mevcut Li-ion bataryalar hâlihazırda ciddi bir sorun oluşturmaktadır. Li-ion bataryaların sadece çok az bir kısmı geri dönüşüme girmekte ve üretimi için ihtiyaç duyulan kobalt da içlerinde çocuk işçilerin de bulunduğu ciddi çalışma problemleri yaratmaktadır. Araştırmacılar mevcut tedarik zincirlerini iyileştirmek için çalışmalar yaparsun bazı başka araştırmacılar da tamamen metallsiz bataryalar üzerinde araştırmalar yapmaktadır.

Nature dergisinde yayınlanan bir makale, kobalttan uzaklaşarak polipeptit organik radikallerle yeni bir batarya teknolojisinin ortaya çıkabileceğini göstermiştir. Proteinlerin bileşeni olan peptitlerin bataryalarda kullanımının mümkün kılınması hâlinde bu sektörde yaşanan aşırı maden aramaları gibi çevreye zararlı birçok uygulamanın da son bulması olasıdır. Araştırmaları devam eden bu teknolojinin geri dönüşüm dostu, zararsız ve oldukça güvenli olduğu düşünülmektedir^[37].

Dünyanın genel enerji depolama sorununu çözebilme ve mevcut durumun daha iyi yönetilmesini sağlamak amacıyla çeşitli organizasyonlar çalışmalar yapmaktadır. Küresel Batarya İttifakı (Global Battery Alliance -GBA) 70'ten fazla devlet, akademik kuruluş ve bağımsız organizasyonun bir araya gelmesiyle oluşturulmuş ve batarya araştırma çalışmalarını desteklemek amacıyla hareket eden kamu-özel ortaklığıdır. GBA batarya çalışmalarını ve üretimlerini izlemek amacıyla batarya pasaportu gibi bütün tedarik ve üretim süreçlerinin izlendiği uygulamalar yapmaktadır.

GBA'nın yaptığı bir diğer çalışma da kobalt madencililiği aşamasında çocuk işçilerin çalıştırılmasının engellenmesi için denetimler sağlamaktır. İyileştirme ve araştırma çalışmalarında her yıl yeni girişimler yapan organizasyonun 2022 yılında daha da yapıcı adımlar atması beklenmektedir^[38].

Enerji depolama sistemleri ve özellikle bataryalar günlük hayatımızı her geçen gün daha da kolaylaştırmayı hedeflemektedir. Akıllı saatlerden telefonlara, dizüstü bilgisayarlardan araçlara birçok yeni cihaz enerji depolama sistemlerine ihtiyaç duymaktadır. Bataryalar ülkelerin gelecek yıllar için koyduğu karbon sıfır hedefleri içinde önemli bir rol oynamaktadır. Avrupa Birliği 2030 hedeflerinde sera gazı emisyonlarının yüzde 55 azaltılması hedeflenmektedir. Bunun için de fosil yakıtlardan uzaklaşıp batarya teknolojisine geçilerek akıllı elektrikli araçların sayısının artması gereklidir.

Yakın zamana kadar Avrupa'da Fransız Saft firması ve Almanya'da VARTA firması dışında ciddi büyüklükte Li-ion batarya üreticisi ortaya çıkmamıştır. Ancak hızla artan batarya pazarında yeni firmalar da ortaya çıkmaya başlamıştır. Avrupa kökenli Northvolt en büyük Li-ion üretim tesisi olacak bir giga fabrikayı İsveç'te inşa etmektedir. Devamında da Almanya'da başka bir giga

fabrika inşasına başlanması beklenmektedir. Peugeot, Citroen, DS, Opel, Vauxhall ortaklığı ile oluşturulmuş PSA otomotiv üretim grubu ve Total arasında gerçekleşen bir anlaşma da Fransa ve Almanya'da batarya üretim tesisleri kurmayı hedeflemektedir. VARTA da Almanya ve başka ülkelerde batarya üretimini artırmayı ve genişletmeyi planlamaktadır. Bütün bu çalışmalar elektrik depolama teknolojilerine verilen önemi ve bu teknolojilerin gelecekte daha da önem kazanacağı gerçeğini öne çıkarmaktadır^[39].

8. KÜRESEL ENERJİ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ PAZARI VE YATIRIMLARI

Enerji depolama teknolojileri pazarı mevcut talepler ışığında hızla büyümektedir. Özellikle ülkelerin karbon sıfır hedeflerine ulaşmalarında büyük fayda sağlayacak elektrikli araçların sayısının 2030 yılına kadar yıllık yüzde 36 artışla 245 milyonu geçmesi beklenmektedir. Bu durum batarya pazarının da ciddi şekilde hareketlenmesini sağlamaktadır^[9].

Son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmeler sayesinde ise küresel batarya pazarının 2027 yılına kadar 310,8 milyar doları bulması beklenmektedir. Kurşun-asit, Li-ion ve Nikel tabanlı bataryalar pazarın yüzde 95'lik bir kısmını oluşturmaktadır. Pazar içerisinde Li-ion bataryaların payı 2020 yılında 44,2 milyar dolarken 2025 yılına kadar bu payın 94,4 milyar doları bulacağı beklenmektedir.

Pazarın genelinde beklenen yıllık yüzde 14,1'lik artışın yanında Li-ion pazarının yıllık yüzde 16,4 büyümesi Li-ion bataryalara olan ilginin bir göstergesidir. Research & Market araştırma ajansının bir çalışmasına göre ise Li-ion pazarı 2033 yılına kadar 116,6 milyar dolara ulaşacaktır^[40].

Li-ion bataryaların yerini alması beklenen Li-S bataryaların küresel pazarı da 2019 yılında 696,1 milyar dolarken, 2028 yılında 6,68 milyar dolara yükselmesi beklenmektedir. Li-S bataryaların öngörülen hızlı yükselişi daha dayanıklı teknolojilere olan ilginin bir göstergesidir^[41].

Grafen batarya teknolojilerine de ciddi yatırımlar yapılmaktadır. Taiwan kökenli Fubon Financial Holding yakın zamanda ABD'li batarya üreticisi Nanotech Energy firmasına 64 milyon dolarlık bir yatırım yapmıştır. Bu yatırımla grafen batarya teknolojisinin araştırılması ve üretim aşamasına getirilmesi hedeflenmektedir^[42].

Küresel grafen batarya pazarının 2019 yılındaki 48,8 milyon dolar seviyesinden, 2027 yılına kadar yılda

yüzde 31,2'lik bir artışla 398,6 milyon dolara ulaşması beklenmektedir. Pazarın özellikle daha ekonomik ve dayanıklı bir ürün olan grafenin bataryalarda tercih edilmesinin yaygınlaşmasıyla daha da değişmesi olasıdır^[43].

9. SONUÇ

Enerji insanlık için vazgeçilmez bir unsurdur. Enerji çeşitleri içinde de elektrik enerjisi depolanabilme ve daha sonra ihtiyaç duyulduğunda kullanılabilme özelliği ile günlük hayatımızın vazgeçilmez bir parçası hâline gelmiştir. Enerjinin kullanımı ve depolanması pratikleştikçe gelişen teknolojiler insanların hayatını benzeri görülmemiş şekilde değiştirmeyi vadetmektedir.

Bataryaların giderek küçülen teknolojilere adapte olması ve daha uzun süre kullanıma imkân verecek depolama kapasitelerine ulaşması için yürütülen çalışmalar hemen hemen her teknolojinin kullanışlı hâle gelmesine katkı sağlamaktadır.

Yeni nesil batarya ve enerji depolama sistemlerinin kapasiteleri yanında, güvenli olması ve çevre dostu tasarımları da sürdürülebilirliklerini artıracaktır. Bu alanda özellikle nadir toprak elementleri gibi sınırlı üretim imkânı olan hammaddelerin yerine geçebilecek alternatif ve güvenli çözümler, gelişen enerji depolama ürünleri pazarında maliyetleri herkesin ulaşabileceği seviyelere çekmeyi hedeflemelidir.

Saniyeler içinde şarj olabilen, çevreye bir zararı olmadan geri dönüşüme girebilen ve hatta ömür boyu kullanım imkânı sunan yeni nesil enerji depolama teknolojilerinin bir kısmı küresel pazarda yerini almış durumdadır. Ancak hâlen birçok yeni teknolojinin dikkatle araştırılması ve testlerinin titizlikle yapılması gerekmektedir.

Enerji depolama sistemleri elektrikli araçlardan uçaklara, akıllı evlerden şehirlere, cep telefonlarından bilgisayarlara her alanda hatta büyük endüstriyel uygulamalarda dahi yer almaktadır. Enerji tasarrufu da üretilen enerjinin kullanılmayan kısmının depolanması ve gerektiğinde tekrar kullanılmasıyla mümkündür.

Enerjisiz bir gelecek düşünülemez gibi kablosuz teknolojilerin depolanan enerjiye duyduğu ihtiyaç da yeni nesil teknolojilerin ortaya çıkardığı önemli bir konudur. Hayatımızın her alanında yer alan batarya ve benzeri enerji depolama sistemleri, teknolojilerin geleceğini sağlamlaştıran bir araştırma konusu olarak gelişime en açık alanlardan biridir.

KAYNAKÇA

- [1] *Worldometers*, "World Population Projections", <https://www.worldometers.info/world-population/world-population-projections/>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [2] Whittingham, M. Stanley; (2012), "History, Evolution, and Future Status of Energy Storage", *IEEE Explore*, (13 Mayıs 2012), <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6184265>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [3] *United Concerned Scientists*, (2015), "Energy Storage", (19 Şubat 2015), <https://www.ucsusa.org/resources/how-energy-storage-works>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [4] Danila, Elena; (2010), "HISTORY OF THE FIRST ENERGY STORAGE SYSTEMS", *Research Gate*, (Ekim 2010), https://www.researchgate.net/publication/271371039_HISTORY_OF_THE_FIRST_ENERGY_STORAGE_SYSTEMS. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [5] Alarco, Jose; Talbot, Peter; (2015), "The history and development of batteries", *Phys*, (30 Nisan 2015), <https://phys.org/news/2015-04-history-batteries.html>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [6] *Center for Sustainable Systems*, (2021), "U.S. GRID ENERGY STORAGE FACTSHEET", <https://css.umich.edu/factsheets/us-grid-energy-storage-factsheet>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [7] *BBC*, "Changes in energy stores", <https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/z8hsrwx/revision/1>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [8] *U.S. Energy Information Administration*, "Changes in energy stores", <https://www.eia.gov/energyexplained/what-is-energy/forms-of-energy.php>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [9] Marchant, Natalie; (2021), "5 innovators making the electric vehicle battery more sustainable", *World Economic Forum*, (3 Mayıs 2021), <https://www.weforum.org/agenda/2021/05/electric-vehicle-battery-recycling-circular-economy>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [10] *Clean Energy Institute*, "What is a lithium-ion battery and how does it work?", <https://www.cei.washington.edu/education/science-of-solar-battery-technology/>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [11] *Science Direct*, (2021), "Sodium Ion Battery", <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/sodium-ion-battery>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [12] Abraham, K. M.; (2020), "How Comparable Are Sodium-Ion Batteries to Lithium-Ion Counterparts?", *ACS Publications*, (23 Ekim 2020), <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acseenergylett.0c02181>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [13] *Science Direct*, (2021), "Nickel Cadmium Battery", <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/nickel-cadmium-battery>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [14] *PV Education*, "Lead Acid Batteries", <https://www.pveducation.org/pvcdrom/batteries/lead-acid-batteries>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [15] Petrovan, Bogdan; (2021), "10 alternatives to lithium-ion batteries: Which new tech will power the future?", *Green Authority*, (28 Nisan 2021), <https://greenauthority.com/10-alternatives-to-lithium-ion-batteries-79/>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [16] Shahan, Zachary; (2016), "Why hydrogen fuel cell cars are not competitive – from a hydrogen fuel cell expert", *Energy Post*, (17 Haziran 2016), <https://energypost.eu/hydrogen-fuel-cell-cars-competitive-hydrogen-fuel-cell-expert/>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [17] *TWI*, "WHAT ARE THE PROS AND CONS OF HYDROGEN FUEL CELLS?", <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-are-the-pros-and-cons-of-hydrogen-fuel-cells>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [18] Lewis, Michelle; (2021), "This breakthrough may revolutionize lithium-sulfur batteries", *electrec*, (24 Şubat 2021), <https://electrek.co/2021/02/24/breakthrough-lithium-sulfur-batteries/>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [19] *Gray*, "5 New Battery Technologies That Will Change the Future", <https://www.gray.com/insights/5-new-battery-technologies-that-will-change-the-future/>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [20] *Graphene-Info*, (2020), "Graphene Supercapacitors: Introduction and News", (21 Mayıs 2020), <https://www.graphene-info.com/graphene-supercapacitors>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [21] Chen, Ruiyong; Kim, Sangwon; Chang, Zhenjun; (2016), "Redox Flow Batteries: Fundamentals and Applications", *Intechopen*, (26 Ekim 2016), <https://www.intechopen.com/chapters/55442>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [22] *Science Direct*, (2015), "Vanadium Redox Flow Battery", <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/vanadium-redox-flow-battery>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [23] *Flow Battery Flow*, "What is a flow battery?", <https://flowbatteryforum.com/what-is-a-flow-battery/>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [24] Pilkington, Ben; (2021), "Introducing an Aluminum-Ion Battery that Charges 60 Times Faster than Lithium-Ion", *Azo Nano*, (4 Haziran 2021), <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=5753>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [25] *Science Direct*, (2016), "Microbial Fuel Cell", <https://www.sciencedirect.com/topics/biochemistry-genetics-and-molecular-biology/microbial-fuel-cell>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [26] Moore-Coyler, Roland; "Samsung solid-state battery breakthrough could double EV range", *Car Magazine*, (2020), (11 Mayıs 2020), <https://www.carmagazine.co.uk/electric/solid-state-battery-ev/>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [27] *Energy.gov*, "WHAT IS PUMPED STORAGE HYDROPOWER?", <https://www.energy.gov/eere/water/pumped-storage-hydropower>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [28] Dinçer, İbrahim; Ezan, Mehmet Akif; (2020), "TÜBA-ENERJİ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ RAPORU", *Türkiye Bilimler Akademisi*, <http://www.tuba.gov.tr/files/yayinlar/raporlar/T%C3%9CBA-Enerji%20Depolama%20Teknolojileri%20Raporu.pdf>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [29] *Energy Storage World Forum*, "HYBRID ENERGY STORAGE: ARE COMBINED SOLUTIONS GAINING GROUND?", <https://energystorageforum.com/news/energy-storage/hybrid-energy-storage-combined-solutions-gaining-ground>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [30] *EurekaAlert*, (2018), "The future of energy supply: Combined energy storage as a key technology", (28 Ekim 2018), <https://www.eurekaalert.org/news-releases/505765>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [31] Charlton, Emma; (2021), "Your house could become a rechargeable cement battery. Here's how", *World Economic Forum*, (18 Ağustos 2021), <https://www.weforum.org/agenda/2021/08/rechargeable-cement-battery-house-renewables/>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [32] *Chalmers*, "World first rechargeable cement-based batteries", <https://www.chalmers.se/en/departments/ace/news/Pages/World-first-concept-for-rechargeable-cement-based-batteries.aspx>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [33] Zhang, Emma Qingnan; (2021), "Rechargeable Concrete Battery", *MDPI*, (9 Mart 2021), <https://www.mdpi.com/2075-5309/11/3/103>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [34] Tunçer, Can; (2021), "Betondan pil ile gelecekte binalar kendi elektriğini depolayabilir", *LOG*, (18 Mayıs 2021), <https://www.log.com.tr/betondan-pil-ile-gelecekte-binalar-kendi-elektrigini-depolayabilir/>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [35] *STM ThinkTech*, (2020), "Nadir Toprak Elementleri", (16 Eylül 2020), <https://thinktech.stm.com.tr/tr/nadir-toprak-elementleri>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [36] Yeh, Winnie; (2020), "Deep-sea minerals could meet the demands of battery supply chains – but should they?", *World Economic Forum*, (3 Ağustos 2020), <https://www.weforum.org/agenda/2020/08/deep-sea-minerals-could-meet-the-demands-of-battery-supply-chains-but-should-they>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [37] Thompson, Drew; (2021), "Metal-free batteries could make the industry more ethical and sustainable", *World Economic Forum*, (18 Mayıs 2021), <https://www.weforum.org/agenda/2021/05/scientists-are-developing-a-new-metal-free-battery-which-is-more-ethical-and-environmentally-friendly>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [38] *Global Battery*, <https://www.globalbattery.org/>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [39] *European Commission*, (2021), "In focus: Batteries – a key enabler of a low-carbon economy", https://ec.europa.eu/info/news/focus-batteries-key-enabler-low-carbon-economy-2021-mar-15_en. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [40] Springfield, Cary; (2021), "THE OUTLOOK FOR THE GLOBAL BATTERY MARKET", *International Banker*, (5 Ekim 2021), <https://internationalbanker.com/brokerage/the-outlook-for-the-global-battery-market/>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [41] *GlobeNewswire*, (2020), "Lithium-Sulfur (Li-S) Battery Market To Reach USD 6,686.2 Million By 2028; Quince Market Insights", (21 Temmuz 2020), <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2020/07/21/2064758/0/en/Lithium-Sulfur-Li-S-Battery-Market-To-Rach-USD-6-686-2-Million-By-2028-Quince-Market-Insights.html>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)
- [42] Peleg, Roni; (2021), "Taiwan's Fubon leads \$64 million investment round in Nanotech Energy", *Graphene-Info*, <https://www.graphene-info.com/taiwans-fubon-leads-64-million-investment-round-nanotech-energy>. (Erişim Tarihi: 3 Aralık 2021)



thinktech
STM Teknolojik Düşünce Merkezi
<http://thinktech.stm.com.tr>

