



TÜRKİYE TEKNOLOJİ GELİŞTİRME VAKFI



## ÖNCÜL PROJE YATIRIM PROGRAMI

YENİLENEBİLİR ENERJİNİN ÜLKEMİZ ENERJİ KARMASI İÇİNDEKİ MİKTARININ ARTIRILABİLMESİ İÇİN ŞEBEKE ÖLÇEĞİNDE UZUN SÜRELİ ELEKTROKİMYASAL

## ENERJİ DEPOLAMA

### DERİNLEMESİNE ANALİZ RAPORU

Aralık 2022

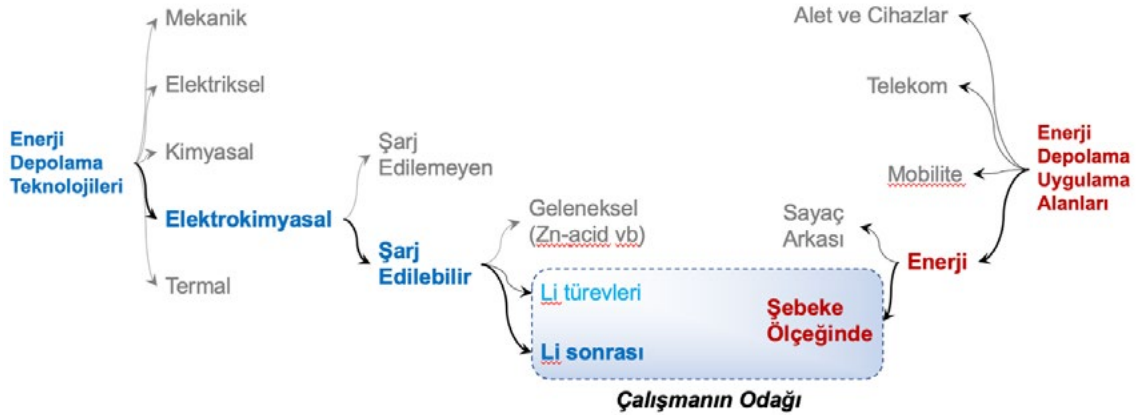


# GİRİŞ

İklim Değişikliğine yönelik faaliyetler, Yeşil Mutabakat ve sınırda karbon uygulaması gibi çeşitli küresel inisiyatif ve uygulamalar paralelinde artmakta ve sanayimizin uluslararası rekabetçiliğini besleyecek bir değişim fırsatı olarak öne çıkmaktadır. **İklim Teknolojileri**, iklim değişikliğinin, yavaşlatılması veya önlenmesine hizmet eden; etkilerine uyumu ve/veya dayanıklılığı arttıran; ya da sonuçlarının yönetilebilmesini destekleyen teknolojileri ifade etmektedir. Önümüzdeki dönem küresel ölçekte yılda 5 trilyon ABD \$'ı yatırım yapılacağı öngörülen İklim Teknolojileri, gelecek 20 yılın en önemli paradigma değişimi alanlarından biri olarak görülmektedir. TTGV olarak, önümüzdeki 5 yıl içinde (2023-2028) öncelikli odak noktamız olacak olan iklim teknolojileri konusunda, ülkemizde daha önce uygulanmamış, örneklem ve çarpan etkisi yüksek 'türünün ilk örneği' teknolojik bir çözümü sahada uygulayarak kanıtlamak; yerli kapasite geliştirme, pazara giriş ve ölçeklenme süreçlerine katkı sağlamak amacıyla Öncül Proje Yatırım Programı geliştirilmiştir.

Öncül Projelerin geliştirilmesine yönelik olarak proje fikrinin bulunmasından proje yatırımı ve ölçeklenme aşamasına kadar uzaman bir süreç oluşturularak, ilk/pilot konu olarak **"Yenilenebilir Enerjinin Ülkemiz Enerji Karması İçindeki Miktarının Artırılabilmesi İçin Şebeke Ölçeğinde Uzun Süreli Elektrokimyasal Enerji Depolama"** seçilmiştir.

Gerçekleştirilmiş olan Derinlemesine Analiz çalışmasının odağı aşağıdaki şekilde yer almaktadır.



**Şekil:** Deep-Dive Çalışmasının Odağı

Ülkemizde yenilikçi enerji depolama teknolojileri konusunda farkındalığın artırılması, ülkemizin yüksek teknoloji kapasitesinin geliştirmesi ve daha fazla yenilenebilir enerji kaynaklı üretimin elektrik şebekesine entegre olması sağlanarak ülkenin enerji ithalatını azaltmasına katkıda bulunulması amaçlarına yönelik olarak Eylül-Aralık 2022 döneminde seçilen konu üzerinde mevcut durum analizi ve potansiyel proje senaryolarının oluşturulması hedefiyle Derinlemesine Analiz (İng. **Deep Dive**) çalışması yürütülmüştür. Bu çalışmada teknolojik ve mevzuat yönünden kapsamlı incelemeler gerçekleştirilmiş, bunun yanında yurt içinden ve dışından çok sayıda kuruluş ve uzman ile temas edilerek bilgi alışverişinde bulunulmuştur. Aşağıda bu çalışmada elde edilen bulgular ve sonuçlara dair özet bir değerlendirme yer almaktadır.

1. Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de enerji talebi ve dolayısıyla enerji üretimi gün geçtikçe artmaktadır. Ülkemiz, petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıt içerikli enerji kaynakları açısından net ithalatçı konumundadır ve bu dış kaynaklara bağımlılık, cari açığın artmasına neden olmaktadır.
2. Türkiye, yenilenebilir enerji alanında özellikle güneş ve rüzgarla enerji talebini

karşılayabilecek büyük bir potansiyele sahiptir. Öte yanda yenilenebilir enerji kaynakları doğaları gereği her an sürekli ve istikrarlı bir enerji arzı sağlayamamaktadır. Bu kaynaklardan daha fazla, daha etkili ve daha verimli şekilde faydalanılabilmesi için gelişmekte olan enerji depolama teknolojileri önemli bir fırsat sunmaktadır.

## Pil/Batarya Teknolojileri ve Enerji Depolama Sistemleri

3. Genel olarak mekanik, elektriksel, kimyasal, termal ve elektrokimyasal enerji depolama teknolojileri uzun yıllardır farklı uygulama alanları için kullanılmakta ve geliştirilmeye devam etmektedir. Elektrokimyasal enerji depolama teknolojileri ise çalışma prensipleri bakımından dört ana başlık altında toplanabilir: konvansiyonel bataryalar (örnek: kurşun asit, nikel kadmiyum, Lityum-iyon, Sodyum-ion), yüksek sıcaklık bataryaları (örnek: Sodyum sülfür (NaS), Sodyum nikel klorür (Na-NiCl<sub>2</sub>)), akış bataryaları (örnek: Vanadium redox, çinko brom, demir krom), metal-hava bataryaları (örnek: Lityum-hava, çinko-hava, demir hava)
4. Elektrokimyasal enerji depolamanın en önemli bileşeni olan pil (ya da hücre) teknolojisi zor, multi-disipliner ve güvenilir sonuçlar alabilmek için üzerinde uzun yıllar boyunca çalışmayı gerektiren bir konudur. Laboratuvar ölçeğindeki teknik başarı her zaman sinai ölçekteki başarıyı garanti etmemektedir.
5. Sağlıklı bir pil/batarya sanayi ve teknoloji ekosistemi oluşumu için göz önünde bulundurulması gereken çeşitli tamamlayıcı hususlar da şunlardır:
  - a. Pil (hücre), batarya ve elektrokimyasal enerji depolamada **yüksek nitelikli insan kaynağının** yetiştirilmesi, elde tutulması, sanayi ekosistemi oluşumu ve malzeme/ bileşenlerin temin edilebilirliği/ yerleştirilmesi gelecek için en kritik konulardır.
  - b. Pil/batarya teknolojilerinde **malzeme**, madencilik ve ger dönüşüm konuları kritik hale gelmektedir.
  - c. Sadece nihai ürün olarak pil ve batarya değil, bunların test **altyapı ve test bilgi birikiminin** kazanılmasına ihtiyaç bulunmaktadır.
6. **Pil/hücre tasarımı ve kimyası, malzeme seçimi, üretimi, pillerin enerji depolama sistemine dönüşümü vb** hepsi aralarında sıkı ilişkileri olan ayrı birer uzmanlık alanıdır.

Pil/hücre teknolojisi çok kritik olmakla birlikte **enerji depolama sistemi pilden daha fazlasıdır**. Enerji depolama sistemi bir sistem entegrasyonu konusu olup batarya paketlerinin yönetimi, güç yönetimi, enerji yönetimi, iklimlendirme, uzaktan izleme ve yönetim, siber güvenlik vb çok sayıda farklı alt sistemin entegrasyonunu gerektirir.

## Bataryalar hangi sorunun çözümü?

7. Bugün için büyük oranda kurşun asit ve ikinci sırada da Lityum-iyon teknolojileri elektrokimyasal enerji depolama pazarını domine etmektedir. Buna karşın gelecekte hangi yeni teknolojinin öne çıkacağı da halen netlik kazanmış değildir. Karbon emisyonlarına yönelik tedbirler ve elektrifikasyonun artışı ile tüm depolama teknolojilerinin kendisine “bir uygulama alanı bulma potansiyeli”nin olduğu ve her teknolojiye farklı oranlarda ihtiyaç olacağı değerlendirilmektedir. **Her senaryoya uygun ve tüm performans kriterlerinde başarılı olabilen tek bir batarya tipi bulunmamaktadır**. Aynı uygulama alanı için bile farklı şartlar farklı teknolojileri ekonomik yönden öne çıkartabilmektedir. Bundan dolayı optimum batarya kimyası ve depolama teknolojisi seçiminde bataryanın hangi uygulama/senaryolar için ve hangi şartlar altında kullanılacağı önem kazanmaktadır.
8. Örnek vermek gerekirse, mobilite uygulamalarında bile şehir içi yoğun kullanım ile şehirler arası yoğun kullanım arasında teknoloji seçiminde farklılıklar olabileceği değerlendirilmektedir. Mobilitede yoğun titreşime maruz kalan batarya ile (aynı batarya teknolojisi için) sabit uygulamalarda kullanılan arasında da önemli yaşam döngüsü yönetimi farklılıkları bulunmaktadır. Şebeke ölçeğinde ise dağıtım ya da üretim tarafında kullanılması, hangi tür yenilenebilir enerji kaynağı ile entegre edildiği (güneş / rüzgar vb), soğuk/ılıman iklim, yüksek / düşük kalitede şebeke (ya da başka bir deyişle az ve sık kesinti), voltaj stabilitesi vb. hususlar tercih edilecek teknolojiyi değiştirebilecektir. Farklı kullanım senaryoları farklı depolama ekonomisini gerektirmektedir çünkü farklı teknolojiler bakım ve işletmede de farklılıklar gerektirecektir. Özetle **optimum batarya kimyası ve depolama teknolojisi seçiminde kullanım gereksinimleri ve çevre/kullanım şartlarının da göz önünde bulundurulması şarttır**.

## Çeşitli Pil Teknolojileri

9. Çok kısaca alternatif pil teknolojilerini ele alırsak, son dönemlerde başta mobilite (özellikle de elektrikli araçlar) ve elektronik cihaz sektörleri olmak üzere elektrokimyasal enerji depolama (özellikle de Lityum-iyon temelli) teknolojileri önemli gelişmeler kaydetmiştir. Yüksek TRL (İng. Technology Readiness Level – Teknoloji Hazırlık Seviyesi) seviyesi ve yüksek enerji yoğunluğu yanında, hızlı tepki süresi ve anlık yüksek enerji gereksinimlerini karşılamada Lityum-iyon (düşük sıcaklık performansı ve çeşitli emniyet ve çevresel sorunlar, pazardaki Asya dominasyonu, ham madde bulunabilirliği, dalgalı ve yüksek ham madde maliyetleri vb hususlara rağmen) öne çıkmakta ve bu teknoloji geliştirilmeye devam etmektedir. Ülkemizde de bu konuda çeşitli yatırımlar (teknoloji transferi ile yurt içinde üretim) mevcuttur ve yatırım yapılmaya da devam edilmektedir.
10. Halen geliştirme aşamasında ve bazıları sahada kullanıma geçmeye başlamış olan yeni teknolojiler de (Li-iyon bataryalar dışında kalan – akış, sodyum-iyon, metal hava vb. teknolojiler) gelecek vaat etmektedir. Başta yüksek enerji kapasitesi, uzun süreli depolama, uzun deşarj süreleri ve yüksek çevrim sayıları ile yakın bir geçmişte sahada kullanılmaya başlanmış olan akış bataryalarını (görelî daha düşük enerji verimliliğine karşın) öne çıkartmaktadır. Ayrıca henüz Lityum-iyon kadar yüksek enerji yoğunluklarına ulaşmamış olan Sodyum-iyon, Lityum-iyon’un sahip olduğu pek çok handikapı ortadan kaldırma potansiyeline sahipken mevcut enerji yoğunlukları ilk etapta durağan uygulama alanlarını işaret etmektedir. Bunlara ek olarak TRL seviyesi nispeten düşük olan metal hava batarya teknolojisi de yüksek performans ve uzun süreli enerji depolama için seçenek olma potansiyeli taşımaktadır. Tüm bu farklı teknolojiler dünyada TRL 4-9 arası çalışılmakla birlikte ülkemizde de laboratuvar ölçeğinde (TRL 3-5 arası) çok çeşitli çalışmalar mevcuttur.
11. En yaygın seçenek olan Lityum-iyon bataryalar yüksek performans ve enerji verimliliğine sahiptirler. Mobilite için Lityum-iyon kullanımı artmaktaysa da şebeke ölçeğinde kullanım için halen yeterince “ucuzlamış” olduğu tartışmalıdır. Lityum-iyon dışında ise akış bataryaların sabit depolama ihtiyaçları için ticari uygulamaları sahada görülmeye başlanmıştır. Sodyum-iyon bataryaları ve demir-hava bataryaların da (henüz Ar-Ge’leri tam bitmiş denemez) orta ve uzun vadede güçlü alternatifler olma potansiyelleri yüksektir. Ayrıca uygulamanın gerekliliklerine göre farklı enerji depolama

sistemlerinin hibrit olarak birlikte kullanımının da maliyet etkin çözümler oluşturmak için yaygınlaşması beklenmektedir. Bunlara ek olarak uzun süreli depolama için **elektrokimyasal dışı teknolojilerin** de araştırılmasına ihtiyaç olacaktır.

## Uygulama Alanı ve Senaryolar

12. Uygulama alanı yönünden bakıldığında **şebeke ölçeğinde enerji depolama** sistemi kullanımında çok farklı ihtiyaçlar ve senaryolar mevcuttur. Derinlemesine Analiz çalışmasında bu senaryoların büyük bölümü birbirinden oldukça farklı enerji depolama sistem gereksinimi olan iki ana senaryo grubu altında ele alınmıştır.
13. **Senaryolardan ilki**, kısaca “yan hizmetler” olarak da ifade edilen ve şebekeyi sürekli hazır ve kaliteli tutmayı hedefleyen senaryo grubudur. Bu senaryoda amaç enerji depolama sisteminde tutulan emre amade güç ile en hızlı şekilde şebekeye girerek sorunu çözmektir. Bu senaryoyu destekleyecek olan enerji depolama sisteminin temel istekleri ise çok hızlı tepki süresi, yüksek güç yoğunluğu ve göreceli olarak kısa deşarj süresidir. Kritik bir not olarak bu amaca yönelik bazı senaryolar ve gereksinimler ülkemizde 2020-2021 döneminde hazır pil çözümü olan Lityum-iyon teknolojisi kullanılarak KEDEP Projesi ile denenmiştir. Söz konusu proje ile elde edilen sonuçlar bugünkü mevcut ve oluşmakta olan stratejilere ve düzenlemelere yön vermiş ve vermeye devam etmektedir.
14. **Senaryolardan ikincisi** ise kısaca “yenilenebilir enerji entegrasyonu” olarak ifade edilebilen ve başta yüksek potansiyele sahip güneş ve rüzgar enerjisi olmak üzere, arzi düzensiz kaynaklardan elde edilen enerjinin, prensip olarak üretim saatlerinde depolanması ve üretim yapılamayan zamanlarda kullanıma sunulması senaryosudur. Yenilenebilir enerjinin, enerji karması içindeki oranının artışı için düzensiz ya da kesintili olarak üretilen güneş ve rüzgar kaynaklı enerjinin bir nevi “baz yük” olarak da kullanımının mümkün kılınması ve bunun için de büyük ölçekli (şebeke ölçeğinde) ve uzun deşarj sürelerine sahip enerji depolama ile entegrasyonun sağlanması gerekmektedir. Bu senaryoyu destekleyecek olan enerji depolama sisteminin temel gereksinimlerin öncelikle yüksek enerji yoğunluğu, uzun deşarj süresi ve göreceli olarak yüksek çevrim sayısıdır. Bu gereksinimler mevcut şartlar altında Lityum-iyon teknolojisini **enerji sisteminin tüm yaşam döngüsü de göz önünden bulundurulduğunda** “maliyet

etkin” olmaktan zaman içinde uzaklaştırarak bunun yerine uzun süreli depolamaya daha uygun diğer teknolojik çözümleri amaca uygun teknolojiler olarak öne çıkartmaktadır.

15. İkinci senaryoya dair denemeler ülkemizde henüz yapılmamıştır. Büyük ölçekli denemelerin yapılması ve ayrıca bu amaçla gerçekleştirilecek olan bir gösterim projesi/projeleri paralelinde bir farkındalık, uygulama ve teknik kapasite geliştirme, politika seti geliştirme ve akabinde mevzuat oluşturma çalışmalarına ihtiyaç olabileceği değerlendirilmektedir.
16. Bu Derinlemesine Analiz aşamasında şebeke ölçeğinde elektrokimyasal enerji depolamaya yönelik olarak çeşitli proje kurguları da çalışılmıştır. TTGV, proje kurguları çerçevesinde gösterim projesi planlama/geliştirme ve yapılabirlik çalışmalarını sürdürmektedir.





# SONUÇ

Küresel iklim değişikliğinin etkilerinin her geçen gün hissedilir hale gelmesi bir yandan mevcut iklim teknolojilerine yapılan yatırımları artırırken, bir yandan da yenilikçi çözüm arayışlarını ve yeni teknolojileri gündeme getirmektedir. Gelecekte yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi, enerji depolama, karbon yakalama, hidrojen vb iklim teknolojileri karbonsuzlaşma, enerji bağımsızlığı, ekonomik gelişim ve kalkınmaya yönelik hayati öneme sahip bileşenler olacaktır. Elektrokimyasal enerji depolama teknolojilerinin de karbonsuzlaşma ve net sıfır hedeflerine erişimi için gerekli olan kapsamlı dönüşümde her düzeyde ve ölçekte (ulusal, bölgesel, organizasyon/kuruluş/işletme, şebeke, hane, vb) enerji sistemleri içinde önemli bir yere sahip olacağını söylemek yanlış olmaz.

# ÖNCÜL PROJE YATIRIM PROGRAMI

YENİLENEBİLİR ENERJİNİN ÜLKEMİZ ENERJİ KARMASI İÇİNDEKİ MİKTARININ ARTIRILABİLMESİ İÇİN ŞEBEKE ÖLÇEĞİNDE UZUN SÜRELİ ELEKTROKİMYASAL

## ENERJİ DEPOLAMA

### DERİNLEMESİNE ANALİZ RAPORU

Aralık 2022



TÜRKİYE TEKNOLOJİ GELİŞTİRME VAKFI



[ttgv.org.tr](http://ttgv.org.tr)

#### TTGV Merkez

Cyberpark B Blok Kat: 5-6, Bilkent  
Ankara  
0312 265 02 72

#### TTGV İstanbul Temsilciliği

İTÜ Ayazağa Yerleşkesi Arı Teknokent  
Arı II Binası Koruyolu A Blok Kat:7  
Maslak-Sarıyer  
0212 276 75 60

#### İletişim için:

[ekouretim@ttgv.org.tr](mailto:ekouretim@ttgv.org.tr)



#TeknolojiÜretenTürkiye  
#İklimÖncüsü

