

# AKILLI ŞEBEKE STANDARTLARINDA ENERJİ DEPOLAMA UYGULAMALARININ İNCELENMESİ

İsmail Murat Koç, Koray Erhan, Ahmet Aktaş, Engin Özdemir, Şule Özdemir

Enerji Sistemleri Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye  
ismailmuratkoc@gmail.com, korayerhan@gmail.com, ahmet\_aktas\_1987@hotmail.com,  
eozdemir@kocaeli.edu.tr, sozaslan@kocaeli.edu.tr

**Özet**—Bu çalışmada; akıllı şebeke ve dağıtık enerji kaynaklarının şebeke bağlantısı konularındaki IEEE standartları incelenmekte ve özetlenmektedir. Ayrıca geleceğin akıllı şebekelerinde yer alacak olan enerji depolama uygulamalarının önemi vurgulanmaktadır. Özellikle enerji depolama uygulamalarının talep tarafı yönetiminde sağlayabileceği faydalar incelenmekte ve son olarak güç sisteminde enerji depolama uygulamalarının geleceği hakkında bir değerlendirme sunulmaktadır.

**Anahtar kelimeler**—Akıllı şebekeler; dağıtık üretim; enerji depolama; IEEE standartları; talep tarafı yönetimi.

## 1. Giriş

Yenilenebilir enerji kaynaklarının (YEK) giderek yaygınlaşması beraberinde bir takım sorunlar getirmektedir. Bu sorunların aşılmasında önemli bir çözüm olarak enerji depolama sistemleri (EDS) gündeme gelmektedir. Bu uygulamalar birlikte ele alındığında “dağıtık enerji kaynakları” (DEK) olarak tanımlanırlar. DEK olarak tanımlanabilecek yeni teknolojiler uygulama aşamasına geçmekle beraber henüz gelişim sürecindedirler. DEK’e örnek olarak mikro-türbinler, yakıt hücreleri, fotovoltaik (FV) sistemler, rüzgar türbinleri, dizel jeneratörler, gaz türbini sistemleri sayılabilmektedir.

Yaşanan bu teknolojik gelişmelerle beraber, elektrik güç sistemi (EGS) bütünsel bir değişim geçirmektedir. Bu değişimin hedefleri; temiz ve yenilenebilir enerji potansiyelinin en yüksek oranda değerlendirilmesi, verimlilik sağlanması, tüketicilere daha güvenilir ve kaliteli enerji sağlanması, akıllı sistemlerin kullanılması ile ölçüm, denetim, işletme, bakım işlemlerinin daha başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi, sistemde yaşanan arızalar ve kesintilerin önlenmesi olarak sayılabilir.

Merkezi üretim, tek yönlü enerji iletimi ve talep kontrolüne dayalı geleneksel EGS; geleceğin DEK ihtiyaçlarının karşılanmasına ve yukarıda sayılan hedeflerin gerçekleştirilmesine uygun değildir. Bu ihtiyaçların karşılanması amacıyla çok yönlü güç ve

bilgi akışına imkân veren “akıllı şebeke” kavramı ortaya çıkmaktadır.

YEK’lerin şebekeye bağlı kurulum, işletilmesine yönelik yasal mevzuat ve yönetmelikler Türkiye’de son yıllarda düzenlenmiş ve buna bağlı olarak özellikle rüzgâr ve güneş kaynaklı yenilenebilir enerji santralleri hızla yaygınlaşmaktadır. Tüm bu gelişmelerle birlikte ulusal elektrik şebekesinin akıllı şebeke yapısına dönüştürülmesi konusu gündeme gelmektedir [1,2].

IEEE tarafından hazırlanmış IEEE 2030 ve IEEE 1547 serisi standartları akıllı şebeke, mikro şebeke konularını oldukça kapsamlı bir şekilde ele almakta ve bu alandaki planlama, uygulama ve işletmeye yönelik çalışmalara temel teşkil etmektedir.

Bu çalışmada; akıllı şebekelere dair IEEE standartları ve kapsamaları özetlenmekte, akıllı şebekelerde EDS gereklilikleri ve talep tarafı yönetimi işlevleri ele alınmakta ve EDS için gelecek değerlendirmesi yapılarak yazar grubunun yürütmekte olduğu TÜBİTAK projesi hakkında kısaca bilgi verilmektedir.

## 2. IEEE Akıllı Şebeke Standartlarına Genel Bakış

IEEE tarafından hazırlanmış 2030 akıllı şebeke standartları ve 1547 serisi standartları bütün olarak ANSI (American National Standards Institute/Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü) tarafından onaylanmış ve kabul edilmiştir.

Bu standartlar ile özellikle DEK’lerin şebekeye entegrasyonu ve akıllı şebekelere geçiş sürecinde zaman kaybını engellemek, işleri kolaylaştırmak amaçlanmıştır [3-5].

### A. IEEE 2030 Serisi Standartları (Enerji Teknolojileri ve Haberleşme Teknolojilerinin Elektrik Güç Sistemi, Son kullanıcı Uygulamaları ve Yüklerin Akıllı Şebekelerle Birlikte İşletilebilirliği için Taslak Kılavuz)

Elektrik güç sistemi ve son kullanıcı yükleri ile akıllı şebeke sistemlerinin birlikte çalışabilirliğinin sağlanması için oluşturulmuştur. Bu standart aynı zamanda akıllı şebekelere dair teknik terimleri, karakteristiklerini, işlevsel performansını ve değerlendirme ölçütlerini ele alarak uygulamaya

Bu çalışma, “Fotovoltaik kaynaktan beslenen 3-fazlı 4-telli akıllı mikro şebeke yapısının batarya ve ultra-kapasitörden oluşan hibrit enerji depolama sistemi ile geliştirilmesi” isimli ve 113E143 no’lu TÜBİTAK projesi tarafından desteklenmektedir.

yönelik mühendislik ilkelerini belirler. Üç alt konu başlığında oluşturulmuştur.

IEEE 2030.1 (Elektrik Kaynaklı Ulaşım Altyapısı için Taslak Kılavuz); elektrikli taşıtlar konusunda üreticiler, şebeke işletmecileri, ulaşım sağlayıcıları ve altyapı sağlayıcılarına yönelik oluşturulmuştur.

IEEE 2030.2 (Elektrik Güç Sistemi ile Entegre Enerji Depolama Sistemlerinin Birlikte İşletilebilirliği için Taslak Kılavuz); son tüketici uygulamaları ve yükler dâhil olmak üzere şebeke bağlantılı çalışabilecek tekil veya hibrit enerji depolama sistemlerinin teknik karakteristiklerinin belirlenmesi ve bu sistemlerin şebeke ile uyum içinde işletilebilmesi amacıyla oluşturulmuştur.

IEEE 2030.3 (Enerji Depolama Ekipmanı ve Elektrik Güç Sistemi Uygulamalarının Test Prosedürleri için Standart); enerji depolama sistemlerinin güç sistemi ile birlikte kullanılması için gereklilikler ilgili diğer standartlarda belirtilmiştir. Bu kılavuz, enerji depolama sistem ve ekipmanlarının standartlara uygunluğunun denetlenmesi için test prosedürleri, devreye alma testleri, periyodik bakım testleri ve üretim testleri konularını içermektedir [4].

### **B. IEEE 1547 Serisi Standartları (Elektrik Güç Sistemi ile Bağlantılı Dağıtık Kaynaklar için Standart)**

Enterkonneksiyon standartları serisi olarak tanımlanan bu standartlar DEK'lerin şebeke entegrasyonu konusunda hazırlanmış olup aynı zamanda bu konuda uluslararası bir temel oluşturmuştur. Farklı ülkelerin kendi standart ve yönetmeliklerini oluşturmasında veya karşılaştırmasında bir referans model niteliği kazanmıştır.

IEEE 1547.1 (Elektrik Güç Sistemi ile Dağıtık Kaynakların Bağlantı Ekipmanları için Test Prosedürleri Uygunluk Standardı); DEK'lerin şebeke bağlantısı için IEEE1547 standardında belirlenmiş bağlantı şartlarının sağlanması gerekir. Bu standart, dağıtık kaynakların ara bağlantı fonksiyonu veya ekipmanlarının bu standarda uygun işlev yaptığını doğrulamak için gereken testleri tanımlar.

IEEE 1547.2 (IEEE 1547-Elektrik Güç Sistemi ile Bağlantılı Dağıtık Kaynaklar Standardı için Uygulama Kılavuzu); IEEE 1547 standardı hakkında detaylandırılmış uygulama kılavuzudur, teknik altyapı ve uygulama detaylarını içermektedir.

IEEE 1547.3 (Elektrik Güç Sistemi ile Bağlantılı Dağıtık Kaynakların Kontrolü, İzlenmesi ve Veri İletişimi için Kılavuz); elektrik güç sistemine bağlı bir veya daha fazla dağıtık kaynak bulunan sistemler için izleme, veri iletişimi ve kontrol işlemlerine yönelik metodoloji ve parametreleri kapsar.

IEEE 1547.4 (Dağıtık Kaynaklı Ada Sistemlerinin Tasarımı, İşletmesi ve Elektrik Güç Sistemi ile Bağlantısı için Kılavuz); DEK içeren ada sistemlerinin tasarımı, işletmesi ve elektrik güç sistemine bağlantısı konularında alternatif yaklaşımlar sunmaktadır.

DEK'lerin şebekeye bağlanması, şebekeden ayrılarak ada işletme moduna geçmesi konularını kapsar. Mikro şebeke standardı olarak da adlandırılabilir. Sistem tasarımcıları, işletmecileri, ekipman üreticilerinin dikkatine sunulmuştur.

IEEE 1547.5 (10MVA' dan Büyük Güç Kaynakların İletim Şebekesine Bağlantısı için Taslak Teknik Kılavuz); 10MVA üzeri güç kaynaklarının şebekeye bağlanmasına yönelik hazırlanmış bir teknik kılavuzdur.

IEEE 1547.6 (Dağıtık Kaynakların Dağıtım Şebekelerine Bağlantıları için Uygulama Önerisi); yerel elektrik dağıtım sistemlerine enerji aktaran sekonder elektrik dağıtım şebekesine bağlanan dağıtık üretim kaynaklarına yönelik hazırlanmıştır. Bağlantı şartları, testler, işletme ve güvenlik konularını kapsamaktadır.

IEEE 1547.7 (Dağıtık Kaynak Bağlantısının Dağıtım Sistemine Etkilerinin İncelenmesi için Taslak Kılavuz) dağıtık enerji kaynaklarının dağıtım sistemlerine etkilerinin incelenmesine yönelik mühendislik yaklaşımları sunmaktadır.

IEEE 1547.8 (IEEE 1547 Standardının Genişletilmiş Kullanımı için Ek Destek Sağlayan Metot ve Prosedürlerin Geliştirilmesine Yönelik Uygulama Önerileri) IEEE 1547 standartlarındaki kriterlerin uygulamalarında yenilikçi tasarımları, süreçleri, operasyonel prosedürlerin belirlenmesi yoluyla IEEE 1547 standartlarının yararlılığının ve kullanılabilirliğinin geliştirilmesi için öneriler sunmaktadır [5].

Bu standartların bütün olarak incelenmesi akıllı şebeke, mikro şebeke kavramlarının ve bu kavramların içerdiği tüm alt sistemlerin (DEK, EDS, YEK entegrasyonu, ölçüm, kontrol, haberleşme altyapısı gibi) anlaşılabilmesi, tasarım ve işletmeye yönelik doğru bir bakış açısı oluşturulabilmesi bakımından önemlidir.

### **3. Enerji Depolama Uygulamalarının Gerekliliği**

Enerji depolama uygulamaları geleneksel şebeke yapısı içerisinde nispeten az rol alırken DEK'in şebeke bağlantısında ve geleceğin akıllı şebeke yapısı içerisindeki yeri anahtar uygulama niteliğinde önem arz etmektedir.

Depolama birimleri üretim noktasında, iletim seviyesinde veya tüketim birimlerinde olmak üzere çok farklı noktalardan güç sistemine bağlanabilmektedir.

Büyük ölçekli EDS'lerin şebekeye entegrasyonu konusunda henüz genel olarak kabul görmüş bir standart geliştirilmemiştir. Bununla birlikte IEEE 1547-2003 standardı DEK ve enerji depolama birimlerinin şebeke bağlantıları hakkında bir kılavuz niteliğindedir [6,7].

## A. Enerji Depolama Sistemlerinin Teknik Faydaları

YEK'lerin yüksek oranda yaygınlaşmasının önündeki en büyük engel, dalgali güç çıkış karakteristikleridir. YEK'lerin çoğu sürekli ve kararlı enerji kaynağı sağlayamamaktadır, dolayısıyla yük talebi ve enerji kaynakları arasında potansiyel bir dengesizlik durumu meydana gelebilmektedir. YEK'lerin bu olumsuz etkilerinin giderilmesi, şebeke gerilim ve frekans değerlerinin kabul edilebilir sınırlar içerisinde tutulması konusunda EDS'ler etkin bir çözüm olmaktadır.

Enerji kesintilerinin önlenmesi ile enerji sürekliliği sağlanması amacıyla EDS'ler kesintisiz güç kaynağı olarak kullanılabilir. Benzer şekilde şebekedeki gerilim düşme veya yükselmeleri, kesintiler, arızalar gibi bozucu etkilere karşı yüklerin korunması amacıyla bu etkilerin olduğu sırada EDS'ler yükleri destekleyerek bu dönemin atlatılması sağlanmaktadır [6,7].

EDS'ler bağımsız tek fazlı dengesiz yüklere güç aktarabilir veya sistemdeki dengesiz güçleri depolama ile absorbe edebilir, böylece yük dengesizliklerinin kompanzasyonu amacıyla kullanılabilir. EDS ile güç dengeleme uygulaması için EDS dört telli bir evirici ile kullanılmalıdır [6].

## B. Enerji Depolama Sistemlerinin Mali Faydaları

EDS'nin şebeke uygulamaları önündeki en büyük engel maliyetleri olarak görülmekle beraber aşağıda kısaca açıklandığı gibi bir takım mali faydalar da sağlamaktadırlar.

EDS'nin en etkin kazanç sağladığı uygulama "ara kazanç" (arbitraj) olarak adlandırılan uygulamadır. Bu uygulama ile tarifenin ucuz olduğu zaman aralığında şebekeden veya YEK' ten enerji depolanmakta ve tarifenin daha pahalı olduğu zaman aralığında depolanan bu enerji yüklerin beslenmesi için kullanılmakta veya şebekeye satılabilmektedir. Böylece tarife farkından yararlanılarak mali kazanç sağlanabilmektedir.

EDS'lerin talep tarafı yönetim uygulamaları ile tepe güç talep değerleri depolama sistemleri ile karşılanabilmekte dolayısıyla üretim birimleri, iletim ve dağıtım birimlerinin kapasite aşımı önlenmekte ve ek yatırım maliyetleri ertelenirken aynı zamanda da iletim dağıtım kayıplarının azaltılmasına katkı sağlanmaktadır [6].

## C. Enerji Depolama Sistemlerinin Çevresel Faydaları

EDS ile YEK'lerin ürettiği enerjinin kullanımı için erteleme uygulanabilir böylece yük talebi düşükken tüketilemeyen YEK üretimi daha sonra ihtiyaç duyulduğunda tüketilebilir, bu şekilde YEK'lerden faydalanma oranı yükseltilmiş olur. YEK'lerin faydalılık oranının artması geleneksel santrallerden sağlanan enerjinin azalması anlamına gelmektedir. Bu sayede sera gazı salımının azaltılmasına katkı sağlanmaktadır [6].

## 4. Elektrik Şebekelerinde Depolama Uygulamaları İle Talep Tarafı Yönetimi

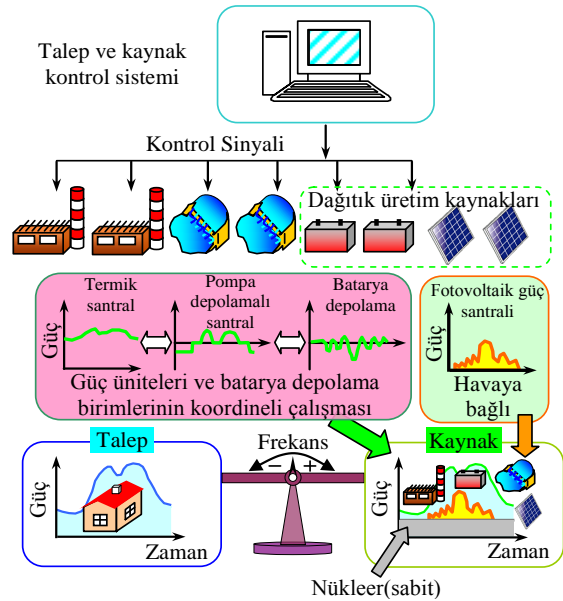
Talep tarafı yönetimi (TTY) ve enerji verimliliği ayarlamaları; pahalı jeneratör işletme giderleri ve ilave kapasite masraflarını azaltmak üzere tüketici taleplerinin etkin bir şekilde düzenlenmesi için geliştirilmiştir. Böylece enerji üretiminde yakıt tasarrufu ve üretim işletme güvenliği sağlanmaktadır. Şebeke işletmecileri sabit gerilim ve frekans değerleri sağlayabilmek için enerji arzı ve talebi arasında denge kurmakla sorumludurlar. Geleneksel yapıda bu ayarlamalar üretim tarafında termik ve hidroelektrik santrallerin çıkış güçlerinin ayarlanması ile (üretim tarafı yönetimi) gerçekleştirilirken talep tarafında ise pek de etkili olmayan çok zamanlı tarife uygulamaları ile yük yönetimi yapılmaktadır. TTY temel olarak iki amaçla uygulanmaktadır [8].

**Yük yönetimi;** yük kaydırma uygulamaları ile yük eğrisinin düzenlenmesi temeline dayanmaktadır.

**Enerji verimliliği;** enerjinin üretimi, iletimi dağıtımı dahil tüm aşamalarda ve kullanılan tüm cihazlarda enerji verimliliği sağlanarak genel olarak tüm yük eğrisini aşağı çekme, tasarruf sağlama temeline dayanmaktadır.

Enerji depolama uygulamaları ile enerji tüketiminin düşük olduğu aralıklarda farklı YEK'lerden üretilen enerjinin büyük bir kısmı depolanabilmekte ve enerji talebinin yükseldiği zaman aralıklarında kullanılmak üzere şebekeye geri verilebilmektedir. Bu şekilde depolama uygulamaları aracılığıyla sevkedilebilir özellikle olmayan enerji kaynakları sevkedilebilir özellik kazanmaktadır. Aynı zamanda çok daha etkin bir yük yönetimi gerçekleştirilebilmektedir.

Şekil 1 şebeke operatör şirketleri için gelişmiş bir arz-talep planlama ve yönetim sistemini temsil etmektedir.



Şekil 1. Elektrik şebekesi işletmecileri için enerji arz-talep planlama ve kontrol sistemi şeması [6].

Aşağıda EDS ile gerçekleştirilebilecek yük yönetim uygulamaları tanımlanmaktadır [8,10];

**Tepe yük kesme (peak shaving);** EDS ile düşük talep değerleri sırasında DEK' in fazla üretiminden veya şebekeden depolanan enerji, tepe güç talebinin karşılanmasında kullanılabilmekte böylece şebekeden çekilen güç değerlerinin mümkün olduğunca düz bir eğride kalması sağlanmaktadır.

**Yük bastırma/ kesme (curtailment);** bazı şebeke işletmecileri büyük tüketicilerin tepe talep değerleri oluşan zaman aralıkları için bu tüketicilerin şebekeden güç çekmesini mali yaptırımlarla engelleyebilmektedir. Bu durumdaki tüketici yüklerini farklı zaman aralıklarına kaydırmalı veya yerel DEK ve EDS ile kendi ihtiyacını karşılamalıdır. Böylece şebeke için tepe talep değerleri oluşan aralıklarda bu tüketici ihtiyacını DEK ve EDS ile karşılayarak şebekeden enerji çekmemekte veya kısmen çekmektedir [10].

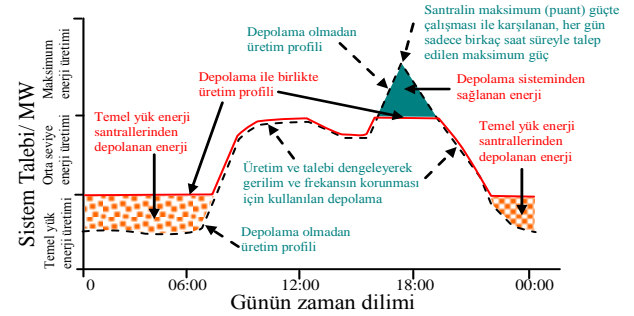
FV ve rüzgar kaynaklı güç üretiminin şebekede yüksek oranlara ulaşması ile güç değeri hava şartlarına bağlı olarak dalgalılık gösterecektir. Güç kaynağının dalgalı yapısı ile talep güç arasında dengeli bir işletme sağlanamazsa güç sisteminde frekans dalgalanması meydana gelmekte, bu durum tüketicileri olumsuz etkilemekte hatta en kötü senaryo durumunda sistemde büyük çaplı kesintiler yaşanabilmektedir. Bu sorunu çözerek güç kaynağı ve talep arası dengeli işletme sağlanabilmesi için EDS ile üretim kaynakları birlikte kontrol edilmelidir.

Şekil 2' de talep yönetimi için kullanılan bir enerji depolama uygulamasının günlük yük eğrisine etkisi gösterilmektedir. Grafikte görüldüğü gibi siyah çizgi ile gösterilen eğri yük eğrisidir. Kabaca 16:00-20:00 aralığında tepe değerlere ulaşmaktadır. Buna göre her gün bu tepe değeri karşılamak için üretim birimlerinin tam kapasite ve hatta bazen kapasite aşımı ile dört saat civarı çalıştırılması gerekmektedir. Bunun dışındaki zaman aralıklarında üretim kapasitesinin büyük bir kısmı kullanılmamaktadır.

YEK'lerin yüksek üretim değerlerine ulaştığı zaman aralıkları da (özellikle güneş enerjisi için) çoğu zaman bu tepe talep ile aynı aralığa gelmemektedir. Rüzgar hızı bölgesel olarak değişmekle birlikte güneş enerjisinin tepe üretim değerlerine ulaştığı 11:00-14:00 aralığında talep değerinin orta seviyede olduğu ve talebin tepe değerleri için güneş enerjisinin ulaşılabilir olmadığı görülmektedir.

Yüklerin doğrudan farklı zaman aralıklarına kaydırılması yöntemi oldukça zor ve pek etkin olmayan bir yöntemdir. Ancak DEK ve EDS'nin yaygınlaşması ile grafikte görülen düşük talep aralığında üretim birimleri talep değerinin üzerinde çalıştırılarak fazla enerji daha sonra tepe değerlerin karşılanmasında kullanılacak üzere depolanabilmektedir. Böylece geleneksel üretim birimlerinin kapasiteleri zorlanmamakta, enerji ihtiyacının karşılanmasında YEK desteği artırılmaktadır. Özetle şebeke yük eğrisinde tepe yük tıraşlanması ve çukur bölgelerin doldurulması işlemleri ile yük eğrisi mümkün olduğunca

düzgünleştirilmektedir. Sonuç olarak üretim, iletim ve dağıtım seviyelerinde enerji verimliliği sağlanmakta, işletme ömrü uzatılmakta ve kapasite artış ihtiyacı ertelenmektedir.

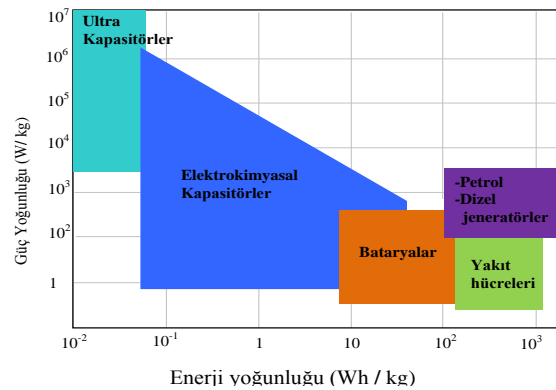


Şekil 2. Yük kaydırma prensibi ile işletilen depolama sisteminin şebekeye etkisinin günlük elektriksel güç-zaman dağılım grafiği [9].

Enerji depolama teknolojilerinin sınıflandırılması ve ihtiyaca uygun teknolojinin belirlenmesi için enerji ve güç yoğunlukları, cevap süresi, maliyet, işletme ömrü ve verimlilik kavramları dikkate alınmaktadır.

Şekil 1' deki gibi örnek bir şebeke yönetim sistemi için güç üretim tesislerinin karakteristiklerine bağlı işlem koordinasyonu aşağıdaki gibi farklı ihtiyaçlara uygun farklı depolama teknolojileri kullanılmasını gerektirmektedir. Şekil 3' de bazı farklı enerji depolama teknolojilerinin enerji ve güç yoğunluklarına göre grafik üzerinde karşılaştırmaları gösterilmektedir.

Buna göre orta ve uzun süreli enerji ihtiyacı için yüksek güç ve enerji yoğunluğuna sahip uzun süre enerji sağlayabilecek enerji depolama uygulamaları tercih edilirken, kısa süreli ihtiyaçlar için batarya veya kapasitör uygulamaları gibi görece düşük enerji yoğunluğuna sahip depolama uygulamaları tercih edilmektedir [9,11].



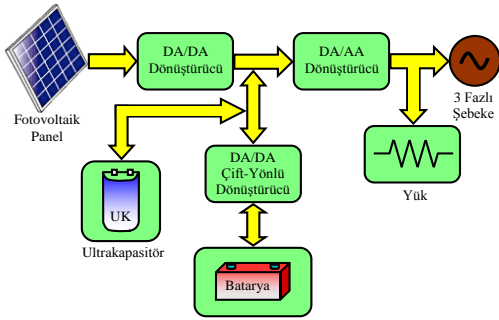
Şekil 3. Farklı enerji depolama teknolojilerinin güç-enerji yoğunluğu özelliklerine göre grafik üzerinde karşılaştırılması [9].

## 5. Enerji Depolama Uygulamalarının Geleceği

Geleceğin güç sistemleri içerisinde vazgeçilmez öneme sahip EDS'ler için özellikle maliyetlerin düşürülmesi konusunda çalışmalar sürmektedir.

Çalışmaların yoğunluk kazandığı bir diğer konu ise hibrit enerji depolama sistemleridir (HEDS). Bu konuda özellikle performans/maliyet avantajıyla batarya ve ultra-kapasitörden oluşan HEDS'leri öne çıkmaktadır. Bu tarz bir HEDS ile ani, yüksek güç talepleri kapasitör tarafından karşılanırken uzun süreli güç talebi bataryadan karşılanabilmekte böylece batarya işletme ömrü ve sistem performansı yükseltilmiş olmaktadır [11-13].

Yürütülmekte olan 113E143 nolu TÜBİTAK projesi kapsamında, gelecekteki akıllı şebeke uygulamalarına bir örnek olmak üzere FV elektrik üretim sisteminin ultra-kapasitör ve batarya birleşiminden oluşan bir HEDS ile, 3-fazlı 4-telli elektrik şebekesine bağlantısı 4-kollu bir evirici üzerinden gerçekleştirilmektedir. Şekil 4' te projeye ait genel sistem şeması gösterilmektedir.



Şekil 4. 113E143 no'lu TÜBİTAK projesi blok diyagramı.

Akıllı bir kontrol sistemi ile FV kaynak, HEDS ve şebeke parametreleri sürekli izlenmekte ve değişen şartlara uygun olarak farklı işletme senaryoları otomatik olarak uygulanmaktadır. Özetle, YEK ve EDS'lerin akıllı şebeke işlevsellikleri sağlanarak EDS ile entegrasyonlarının gerçekleştirilmesi ve geliştirilen HEDS ile sağlanabilecek performans artışı incelenmektedir.

## 6. Sonuç

Bu çalışmada; akıllı şebeke ve dağıtık enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonu konularındaki IEEE standartlarına genel bir bakış sunulmakta ve kapsamaları özetlenmektedir. Geleceğin akıllı şebekelerinde enerji depolama uygulamalarının rolü ele alınmakta ve özellikle enerji depolama uygulamalarının talep tarafı yönetimi işlevleri üzerinde durulmaktadır.

Enerji depolama uygulamaları şebekeye büyük oranda YEK entegrasyonu sağlanabilmesi için anahtar uygulama konumundadır.

Ayrıca etkin bir talep tarafı yönetimi gerçekleştirilmesinin tek yolunun DEK'ler ile birlikte EDS'ler olduğu söylenebilir.

Enerji depolama uygulamalarının geleceğin akıllı şebeke hedeflerinin gerçekleştirilmesinde oldukça önemli görevler üstlenen sistemin vazgeçilmez bileşenleri olacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Stratejik Planı (2010-2014).
- [2] Enerji Verimliliği Strateji Belgesi (2010-2023).
- [3] IEEE SCC21 Standards Coordinating Committee on Fuel Cells, Photovoltaics, Dispersed Generation, and Energy Storage. <http://grouper.ieee.org/groups/scc21/index.html>
- [4] IEEE 2030 Smart Grid Interoperability Series of Standards. [http://grouper.ieee.org/groups/scc21/2030/2030\\_index.html](http://grouper.ieee.org/groups/scc21/2030/2030_index.html)
- [5] IEEE 1547 Series of Interconnection Standards. [http://grouper.ieee.org/groups/scc21/1547\\_series/1547\\_series\\_index.html](http://grouper.ieee.org/groups/scc21/1547_series/1547_series_index.html)
- [6] Shawkat, Ali, A.B.M, "Smart Grids, Opportunities, Developments and Trends", Springer, 2013.
- [7] Du, P., Lu, N., "Energy Storage for Smart Grids Planning and Optimization for Renewable and Variable Energy Resources", Elsevier, 2015.
- [8] Damjanovic, N., "Smart Grid Functionality of a PV- Energy Storage System", (MSc Thesis), University of South Florida, Electrical Engineering, 2011.
- [9] Whittingham, M. S., History, "Evolution, and Future Status of Energy Storage", *Proceedings of the IEEE, Issue Special Centennial, Vol. 100, 2012, p 1518-1534.*
- [10] Moore, A.T., "Design, Implementation and Evaluation of A Microgrid In Island and Grid Connected Modes With A Fuel Cell Power Source", (MSc Thesis), The University of Western Ontario, Electrical and Computer Engineering, 2012.
- [11] Manz, D., Piwko, R., Miller, N., "The Role of Energy Storage in the Grid", *IEEE Power&Energy Magazine, July/August 2012, p 1540-7977.*
- [12] Zhou, H., Bhattacharya, T., Tran, D., Siew, T.S.T., Khambadkone, A.M., "Composite Energy Storage System Involving Battery and Ultracapacitor With Dynamic Energy Management in Microgrid Applications", *IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 26, 2011, p 923-930.*
- [13] Zhang, Y., Jiang, Z.H., Yu, X.W., "Control Strategies for Battery/Supercapacitor Hybrid Energy Storage Systems," *IEEE Energy 2030 Conference, 2008, p 273-278.*