

## YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ ŞEBEKEYE ENTEGRASYONU INTEGRATION OF RENEWABLES TO THE GRID

Hasan Basri ÇETİNKAYA<sup>1</sup>

1. SIEMENS A.Ş.  
Altyapı ve Şehirler / Akıllı Şebekeler  
hasan.cetinkaya@siemens.com

### ÖZETÇE

*Değişken kaynağa sahip yenilenebilir enerji üretim tesislerinin şebekeye entegrasyonu, geleceğin şebekesinde oldukça önemli etkilere sahip olacaktır. Günümüzde iletim sistemi entegrasyonları oldukça hız kazanmıştır. Dağıtım sisteminden gerçekleştirilecek entegrasyonlar da önümüzdeki yıllarda oldukça hız kazanacaktır. Enerji dağıtım sisteminin üretim entegrasyonları düşünülerek dizayn edilmediği bilinmektedir. Bu nedenle bu üretim entegrasyonlarının enerji yapısında sessiz bir devrim oluşturacağı söylenebilir. Bu nedenle gelecekte elektrik enerjisinin arz güvenliği, mevcut yapının ne kadar aklandırılıp, entegrasyonlara uygun bir şekilde getirileceği ile doğrudan ilgilidir. Elektrik enerjisinin yaşamımızın her alanına girdiği bir dünyada, hiç kimse, kesintilerin sıklığının artmasını, kesinti olmasa bile tükettiği enerjinin kalitesinin düşmesini istemeyecektir. Üretim entegrasyonlarında özellikle kaynak tipi ve üretim miktarının, ilgili lokasyondaki iletim ve/veya dağıtım sistemine uygun tasarlanması, gerekli koruma ve kontrol önlemlerinin alınması kaçınılmazdır. Dağıtım bir enerji üretim sisteminde enerji üretiminin optimizasyonu ve verimliliği de önem kazanacaktır. Bu çalışmanın amacı, ülkemizde oluşan yenilenebilir enerji entegrasyonunun olası etkilerini tanımlamak, geleceğin enerji yapısına ilişkin bir resim ortaya koymaktır.*

### ABSTRACT

*The grid integration of renewables which have variable energy sources, will have a significant impact on the future network. Nowadays, the transmission system integration has gained quite a pace. The integration of generation from distribution system will accelerate in the coming years. Today's distribution grids were not designed according to integration of generation. Therefore, the integration of this generation can be said to create a quiet revolution in the energy structure. The future security of supply will depend on how much of the existing structure become smart which will be consistent with this supply integration. Today the electricity enters in our lives in every field and no one will accept the increasing frequency of energy cuts as well as the decreasing quality of the supply. For the integration of generation, it is very important to design the system regarding to the type of generation and the location in the grid with taking necessary controlling and protection measures. In such kind of system the optimization and efficiency of energy production will also gain importance. The aim of this study is to identify the potential impact of the integration of renewable energy in our country, and reveal a picture of future energy structure.*

### 1. GİRİŞ

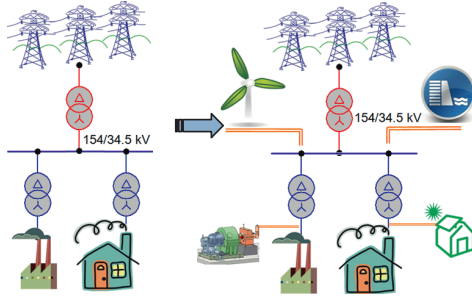
Yenilenebilir enerji kaynaklarına ait teknolojinin günümüzde geldiği seviye, bu kaynaklardan üretilen enerji maliyetini, klasik üretimlerle yarışabilir düzeye getirmiştir. Bununla birlikte klasik enerji üretim kaynaklarının kullandığı yakıtın azalmaya başlaması, ekonomik sebepler ve çevresel faktörler, herhangi bir dış kaynağa bağlı olmadan, dünya döndükçe varlığını koruyacak sürdürülebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyacı ortaya koymuştur. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynakları çok hızlı bir şekilde enerji sistemimize entegre olmaya başlamaktadır. Bu entegrasyon özellikle batı bölgelerimizde gözle görünür duruma geçmiştir.

Günümüzde özellikle lisanssız üretim yönetmeliğinin de etkisi ile, dağıtım sisteminden oldukça önemli miktarda üretim entegrasyonu talebi bulunmaktadır. Enerji sisteminin orta gerilim ve alçak gerilim seviyesinden gerçekleştirilecek bu entegrasyonlar her geçen gün miktar olarak artacaktır. Bu sistemlerin kaynak yapısının, rüzgar, güneş, dalga vb gibi çok çeşitli yapılarda olabileceği bilinmektedir. Kaynak yapısının çeşitliliği, elde edilecek güç eğrisinin daha pürüzsüz olmasını sağlayacaktır [1]. Bununla birlikte kaynak yapısının değişken olması ve homojen dağılamaması, sistem güvenilirliğini ve sürekliliğini sağlamak adına, belirlenen gücün bazı durumlarda kontrol edilerek dengelenmesi gerekebilecektir. Akıllı şebekeler olarak tanımlanan yapıda bu dengeleme gerçek zamanlı dinamik olarak yapılabilmektedir [2].

### 2. YENİ ENERJİ YAPISI ve OLASI ETKİLERİ

#### 2.1. Yeni Enerji Yapısı

Enerji kaynaklarının, özellikle dağıtım sistemi üzerinden bu ölçekte entegrasyonu sadece ülkemizde değil, dünyada da daha önceden tecrübe edilmiş bir yapı değildir. Entegre edilecek üretimin mevcut yapı ile uyumu için, ilave edilebilecek üretim miktarına teknik uygunluğa göre karar verilmesi ve sistem konfigürasyonundaki olası değişimlerde sorun oluşturulmaması için dağıtım sisteminin esnek bir yapıya kavuşması gerekmektedir. Sistemin, üretim entegrasyonlarına izin verecek, izleyecek ve karar alacak akıllı bir yapıda olması önemlidir.



Şekil 1: Mevcut ve gerçekleşecek yeni enerji yapısı

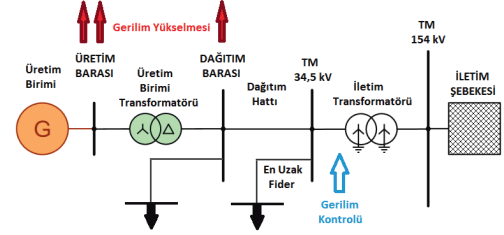
Teknik uygunluğa bakılmadan gerçekleşecek entegrasyonlarda, ciddi enerji kalite problemleriyle karşılaşabilmektedir [3]. Burada tanımlanan konulara verilecek önem, geleceğin enerji sisteminin güvenilirliği ve kalitesini belirleyecek unsurlardır. Bu iki konuya uyulmadığı takdirde enerji kalitesizliği ve süreksizliği durumu ile karşı karşıya kalılabilecektir.

## 2.2. Yenilenebilir Enerji Entegrasyonlarının Olası Etkileri

Ülkemizde iletim seviyesinden gerçekleşen önemli rüzgar enerjisi entegrasyonları bulunmaktadır. İletim sistemi, yapısı gereği, gücün farklı noktalardan entegrasyonuna esnekler. İletim sisteminden gerçekleştirilen bu tür entegrasyonlarda daha çok frekans ve gerilim kararlılığı sorgulanmaktadır [4]. Ancak dağıtım şebekesinden gerçekleşecek üretim entegrasyonlarında durum farklı olacaktır. Dağıtım sisteminde, yenilenebilir enerji entegrasyonları sonucu değişen enerji yapısında, yük akışı, kısa devre ve koruma koordinasyonu yapılarının da değişmesi söz konusudur. Bu değişimin miktarının yüksek olması, enerji sisteminde ciddi gerilim ve güç dalgalanmaları ve enerji adalaşmalarında ise ciddi frekans ve gerilim dalgalanmaları oluşturabilecektir.

Üretim entegrasyonları esnasında izlenecek ilk problem, üretim noktasında ve yakınındaki dağıtım baralarında oluşacak gerilim yükselmesidir. Bunun asıl nedeni, gerilim kontrolünün genelde TEİAŞ trafo merkezlerinde sekonder geriliminin, trafo kademe dönüştürücüler ile kontrol ediliyor olmasıdır. Trafo merkezlerinin orta gerilim barasındaki gerilim değeri, en uçtaki fiderde oluşan gerilim düşümüne göre ayarlanmaktadır ve genelde gerilim düşümünü kompanse edebilmek adına nominal gerilimin belirli bir miktar üzerinde tutulmaktadır. Uzak bir noktada gerçekleşen büyük bir üretim entegrasyonunda, trafo merkezinde gerilimin bu değerde tutulması, aktarılan güç miktarına bağlı olarak üretim kaynağı noktasındaki gerilimin artmasına neden olmaktadır. Bir başka deyişle gerilim düşümü hesabı yapıldığında elde edilen değer, üretim barasında kendisini gerilim yükselmesi olarak göstermektedir. Bu gerilim yükselmesinin oluşması, yakın dağıtım baralarında gerilimin çok değişken olmasına, tehlikeli gerilimler oluşmasına ve en kötü durumda üretilen gücün kısılmak zorunda kalınmasına neden olabilecektir. Üretim santrali barasında oluşacak gerilim yükselmesinin, dağıtım

sistemine bağlantı noktasında oluşacak gerilim yükselmesinden daha fazla olacağı bilinmelidir. Bu nedenle daha tasarım aşamasında oluşabilecek gerilim yükselmeleri bilinmeli ve düzenleyici önlemler alınmalıdır.



Şekil 2: Üretim entegrasyonları sonucu oluşabilecek gerilim yükselmesinin resmedilmesi

Gerilim yükselmelerinin önüne geçmenin en etkin yolu, üretimin entegre olduğu noktada bu üretimin tüketilebileceği yükün olduğundan emin olmaktır. Ancak üretim kaynağının olduğu noktada her zaman böyle bir tüketim bulunmayabilir. Bu nedenle gerilim yükselmesinin önüne geçebilmek için hattı elektriksel olarak kısaltmak gerekir. Hattın elektriksel olarak kısaltılması, kesitinin büyütülerek ya da paralel devre oluşturarak reaktansının küçültülmesi ile mümkündür. Hattın elektriksel olarak kısaltılması reaktansı düşürdüğü için ayrıca kayıplarda da ciddi avantaj sağlamaktadır. Aşağıda tabloda farklı güç değerlerinin, farklı hatlarla, farklı mesafelere taşınması durumunda oluşan gerilim değişimleri ve kayıplar gösterilmiştir.

Tablo 1: Hattın, mesafenin ve gücün oluşan gerilim yükselmesine etkisi

Güç (MW)	İletken Kesiti	Mesafe (km)	Paralel Devre Adedi	Gerilim Artışı (%)	Güç Kaybı (MW)
10	3.0 AWG	30	1	8,38	0,883
	3.0 AWG	30	2	4,51	0,474
	3.0 AWG	20	1	5,82	0,617
	3.0 AWG	20	2	3,07	0,324
	477 MCM	20	1	1,78	0,236
	477 MCM	20	2	0,96	0,120
	3.0 AWG	10	1	3,05	0,325
	3.0 AWG	10	2	1,56	0,168
	477 MCM	10	1	0,94	0,120
5	3.0 AWG	20	1	3,11	0,162
	3.0 AWG	20	2	1,60	0,084
1	3.0 AWG	30	1	1,00	0,010

Tablo 1'den izlenebileceği gibi güç miktarı arttıkça ve/veya gücün iletilmesi gereken mesafe arttıkça, oluşan gerilim yükselmesi artmaktadır. Bununla birlikte elektriksel kayıplar da ciddi miktarda artmaktadır. Bu kayıplar sürekli kayıplardır, tesisin işletimi süresince var olacaklardır. Kullanılan hattın

kesitinin yükseltilmesi ve/veya paralel devre oluşturulması, gerilim yükselmesini ve kayıpları ciddi biçimde düşürmektedir. Gerilim yükselmesinin çok oluşmadığı durumlarda bile, özellikle kaynağı yenilenebilir enerji olan üretimlerdeki değişken güç çıkışlarında hattın elektriksel olarak kısaltılması, daha az dalgalı bir gerilim sağlayacaktır. Yük akışı analizleri ile sadece gerilim yükselmesi değil, farklı yüklenme durumlarında gücün yön değiştirme durumları, kablo ve hatlarda oluşan yüklenmeler de kontrol edilebilir.

Üretim entegrasyonları esnasında izlenecek ikinci konu ise, üretim kaynaklarından oluşacak kısa devre katkılarıdır. Dağıtım sisteminde oluşabilecek bir arıza durumunda, her bir üretim kaynağı, bağlandığı noktada bir kısa devre katkısı oluşturmaktadır. Bu kısa devre katkısının değeri, üretim santralının tipine, kullandığı teknolojiye ve gücünün büyüklüğüne bağlı olmaktadır. Örneğin rüzgar türbinlerinde çift beslemeli endüksiyon generatörü kullanımında (DFIG), tam ölçekte frekans konverteri kullanan (FC) yapılara göre 4 kat daha fazla kısa devre katkısı oluşmaktadır. Klasik üretim yapısını kullanan hidroelektrik santrallerde ise bu katkı, nominal akımın 6 katını bulabilmektedir. Yükselen kısa devre akımları, bara, fider dizayn değerlerinin aşılmasına ve koruma sistemlerine ait koordinasyonun bozulmasına neden olabilir. Yenilenebilir enerjinin dağıtım şebekesine entegrasyonunda, kısa devre ile ilgili olumsuz durumlar, dizayn aşamasında engellenebilir.

Üretim kaynakları entegrasyonlarında diğer izlenebilecek bir durum da sistemdeki harmonik bozunumun artması durumudur. Ancak uygun konverter sistemleri kullanıldığında ve üretim kaynakları tarafında gerekli aktif/pasif önlemler alındığında, harmonik bozunum konusunun, düşünüldüğü gibi büyük bir problem oluşturması beklenmemektedir. Ancak güç kalitesinin diğer bir parametresini oluşturan “flikler” yani enerjideki kırışma etkisi, özellikle kaynak değişkenliği düşünüldüğünde, üretim birimine yakın lokasyonlarda daha çok hissedilebilecektir. Bu durumun önüne geçebilmek adına, üretim biriminin mümkün olduğu kadar trafo merkezine yakın noktadan bağlanması tavsiye edilmektedir. Böylece güç değişimindeki gerilim değişimi azalmakta ve daha az gerilim flikeri oluşmaktadır. Flikler problemi özellikle aydınlatma seviyelerinin sürekli oynamasına ve ışık renklerinin değişimine neden olabilmektedir.

Üretim sistemlerinin dizaynından sonra işletimi esnasında izlenebilecek en önemli problemlerden biri de, üretim sistemlerinin belirli bir yük bölgesi ile adalaşma riskleridir. Adalaşma durumunda, enerjinin kalitesini kontrol edecek tek yapı ada içinde kalan üretim birimleridir. Günümüzdeki yönetmelikler, dağıtım sisteminden gerçekleşecek küçük ölçekli yenilenebilir enerji entegrasyonlarından, enerji kalitesinin ana unsurlarını oluşturan gerilim ve frekans kontrol etmesini beklememektedir. Adalaşma yapıda bu nedenle tehlikeli enerji salınımının oluşması muhtemeldir. Bu nedenle günümüzdeki yönetmelikler, olası bir adalaşma durumunda, üretim sisteminin tamamen devre dışı bırakılmasını beklemektedir. Ancak gelecekte üretim entegrasyonları

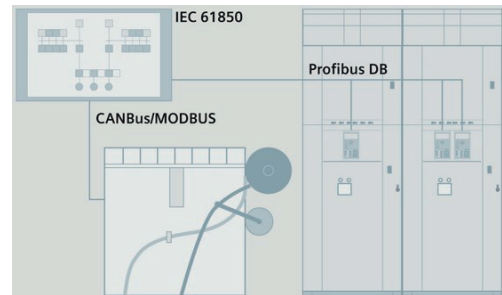
arttıkça, lokal kontrolün üretim kaynaklarınca yapılması gerekecektir. Lokal kontrol üretim santrallerinde olduğunda ise “Microgrid” olarak adlandırılan ve mikro ölçekte şebeke anlamına gelen enerji adaları oluşacaktır. Bu yapılarda enerji kalitesinin çok hızlı ve çok detaylı, sürekli bir kontrole sahip olması gerekmektedir. Ayrıca arıza sonrası oluşabilecek adalaşmanın boyutu her zaman tahmin edilemeyeceği için, oluşun yapıyı okuyup, bu yapıya uygun kontrol ve kumanda önlemleri alan akıllı yapılara da ihtiyaç olacaktır. “Microgrid” yapılarının oluşabilmesi için ayrıca depolama teknolojilerinin gelişimine de ihtiyaç bulunmaktadır. Günümüzde bu nedenle enerji depolama teknolojilerinin gelişimi ile ilgili verilen destekler artmış durumdadır. Sorunsuz adalaşabilen ve ada içinde enerjisini sürdürebilen yapılar oluştuğunda da enerji dağıtım sisteminin kendi içindeki sessiz devrimi tamamlanmış olacaktır.

Adalaşma durumlarında, özellikle dahilide yaşanan bir faz toprak arızası sonucu işletme toprağının TEİAŞ trafosu ile beraber ayrıldığı durumlarda, içeride kalan üretim kaynaklarından dolayı devam eden kısa devrenin arızasız fazlarda oluşturacağı gerilim yükselmesi muhakkak kontrol edilmelidir. Bunun için gerilime bağlı hızlı koruma ile birlikte, TEİAŞ kesicisi ile ayrı bir zaman koordinasyonu oluşturularak, içeride yer alan üretim birimlerinin adalaşma olmadan açılması gerekebilecektir.

### 3. DÜZENLEYİCİ “AKILLI” YAPILAR

Yukarıdaki bölümde tanımlanan nedenlerden dolayı iletim ve özellikle dağıtım sisteminin uygun kontrol ve kumanda önlemleri alan akıllı bir yapı formatında olması gerekmektedir.

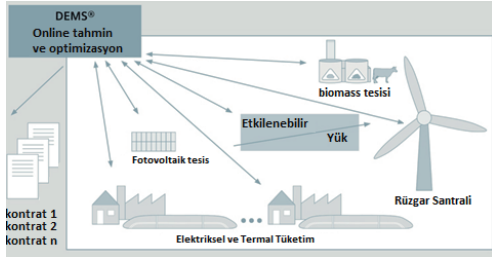
Akıllı bir enerji yapısında, tüm sistemi izleyebilen, koşullara göre kendi kendine karar alabilen ve anahtarlama yapabilmek için çok hızlı iletişim kurabilen yapılar bulunmaktadır. Akıllı şalt merkezleri otomasyonu, enerji kesintisini önleme, arıza sonrası hızlı toparlanabilme, üretim entegrasyonlarına akıllı uyum, akıllı bir sistemin en büyük özelliklerindedir.



Şekil 3: IEC 61850 haberleşme sistemi ile donatılmış, programlanabilir, izleme kabiliyetine sahip hücreler

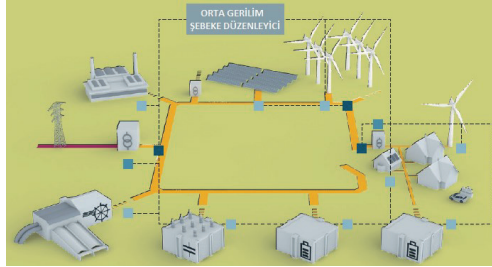
Dağıtım bir enerji üretim sisteminde sistem güvenilirliği en önemli konudur. Sistem güvenilirliği sağlandıktan sonra ise enerji üretiminin optimizasyonu ve verimliliği söz konusu olacaktır [5]. Bu optimizasyonu ve verimliliği sağlayacak

yapıların temelleri günümüzde atılmaktadır. Bu anlamda geleceğin enerji yapısında, sanal enerji santralleri olarak ifade edilen, aslında birçok küçük santrali tek bir santral gibi tanımlayan ve yöneten yapıların da bulunması beklenmektedir (DEMS-Distributed Energy Management System). Bu sistemler enerji piyasası koşullarına ve sistem yapısında oluşabilecek olumsuz koşullarda kendine bağlı sistemleri düzenleyerek, enerjinin kesintisiz, kaliteli ve ekonomik olmasını sağlayabilmektedir [6].



Şekil 4: Dağıtık Üretim Yönetim Sistemi (DEMS)

Dağıtım şebekesinden gerçekleşen yenilenebilir enerji üretim entegrasyonlarının oluşturduğu yük akışı ve gerilim dalgalanmalarının kontrolü, üretim miktarı arttıkça zorlaşacaktır. Kontrol edilemeyen yapılarda da enerji kalitesindeki bu dalgalanma, sistemin kendisinde ve tüketici ürünlerinde zararlar oluşturabilecektir. Bu nedenle dağıtım şebekelerinin sürekli izlenmesi ve kritik durumların oluşma riski görüldüğünde gerekli kontrol ve kumanda önlemlerinin alınması gerekecektir. Bununla ilgili, "Orta Gerilim Şebeke Düzenleyici" yapıların da dağıtım şebekesinde kullanımı söz konusu olacaktır.



Şekil 5: Orta Gerilim Şebekesi Düzenleyicisi (MVGO)

Bu düzenleyici yapılar şebekeyi izleyerek, manuel ya da otomatik olarak gerilimi, aktif gücü ve reaktif gücü kontrol edebilmektedir. Bu kontrolü sağlarken, üretim sistemlerini, transformatör yapılarını ve kapasitörleri kullanmaktadır. Bu tür yapılar ile güç akışı miktarı ve yönleri izlenebilmekte, sınır aşmaları hızlı ve doğru olarak tespit edilebilmektedir. Bu tespitlerin yardımı ile şebeke kararlılığının korunması için gerekli önlemler alınabilmektedir. Ayrıca izlenen sonuçlar şebeke kayıpları açısından da değerlendirilmektedir.

#### 4. SONUÇ

Günümüzde gerçekleştirilen yenilenebilir enerji entegrasyonları ve Türkiye'nin 2023 yılına ait strateji belgesi düşünüldüğünde, geleceğin enerji yapısının bugünden farklı olacağı açıktır. Günümüzde hemen hemen herşeyi enerjiye bağımlı olduğu düşünüldüğünde, mevcut sistemde sağlanan güvenilirlik ve sürdürülebilirliğin, gelecek enerji yapısında da devam ettirilmesi gerektiği çok açıktır. Özellikle dağıtım sisteminden gerçekleşecek üretim entegrasyonları enerji yapısında çok önemli değişimleri oluşturacaktır. Bu sistemlerin dizaynı, kurulundan sonra izlenmesi ve kontrolü, enerjinin kalitesi ve sürdürülebilirliği açısından oldukça önemli olacaktır. Bunu başaracak teknoloji günümüzde mevcuttur. Önemli olan hangi teknolojinin, hangi noktada, hangi yapılara uygulanması gerektiğini iyi pojeledebilmek ve bazı pilot projeler ile bunu test edebilmektir.

#### 5. KAYNAKÇA

- [1] Çetinkaya H.B. Teknik Panel; *Rüzgar ve Güneş Santrallerinin Şebeke Bağlantısı, Teknik ve Ekonomik Sorunlar – "Akıllı Şebekeler"*, ODTU, Ankara, 2009.
- [2] Çetinkaya H.B. "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Entegrasyonunda ve Uluslararası Enerji Bağlantılarında Akıllı Şebekeye Duyulacak İhtiyaç", 3E, Kasım 2009.
- [3] Çetinkaya H.B., Dumlu F. "Dağıtık Üretim Tesislerinin Şebeke Entegrasyonunda Yaşanabilecek Olası Problemler ve Entegrasyon Analizleri", Akıllı Şebekeler ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu, Ankara, 2013.
- [4] Çetinkaya H.B. "Rüzgar Enerjisi Bağlantısının Mevcut Sisteme Etkisi, Rüzgar Yönetmeliği Ek-18'in Yaptırımları", Uluslararası Enerji Kongresi ENERKON, Ankara, 2010
- [5] Çetinkaya H.B. "Enerji Yönetimi ve Enerji Verimliliği Açısından, Akıllı Şebekeler & SCADA Uygulamaları", 3. Ulusal Enerji Verimliliği Forumu ve Fuarı, İstanbul, 2012
- [6] Taşpınar M. "Akıllı Şebekeler" Sunum, SIEMENS, 2010