

# AKILLI EVİRİCİLER İLE YENİLENEBİLİR ENERJİ TABANLI DAĞINIK ÜRETİM SİSTEMLERİNİN AKILLI ŞEBEKELERE ENTEGRASYONU

Mohammad BARGHI LATRAN, Ahmet TEKE, Kasım ZOR

Çukurova Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Adana  
m.b.latan@gmail.com, ahmetteke@cu.edu.tr, [kzor@adanabtu.edu.tr](mailto:kzor@adanabtu.edu.tr)

## ÖZET

*Yenilenebilir enerji tabanlı dağıtım üretim sistemlerinin sayısı ve kurulu gücü hızlı bir şekilde artmaktadır. Enerji güvenilirliği, verimliliği ve güç kalitesine olan ilginin ve zorlayıcı standartların artmasıyla birlikte, yakın gelecekte bu sistemlerin aktif enerji üretmelerinin yanı sıra şebekeye destek vermeleri ve yaşanan güç kalitesi problemlerini elemeleri de beklenmektedir. Hızla büyüyen ve genişleyen dağıtım şebekelerinin de daha akıllı bir şekilde yönetilmeleri gerekmektedir. Yeni nesil güç elektroniği tabanlı akıllı eviriciler ile hem aktif güç üretilmesi hem de güç kalitesi problemlerini azaltarak şebekeye destek verilmesi sağlanabilmektedir. Bu çalışmada yakın gelecekte akıllı şebekelerde kullanılması planlanan güç elektroniği cihazları ve bu cihazların en önemli birimini oluşturan akıllı eviriciler hakkında detaylı bilgiler sunulmuştur.*

Anahtar kelimeler: Akıllı şebeke, akıllı evirici, yenilenebilir enerji, dağıtım üretim, güç kalitesi

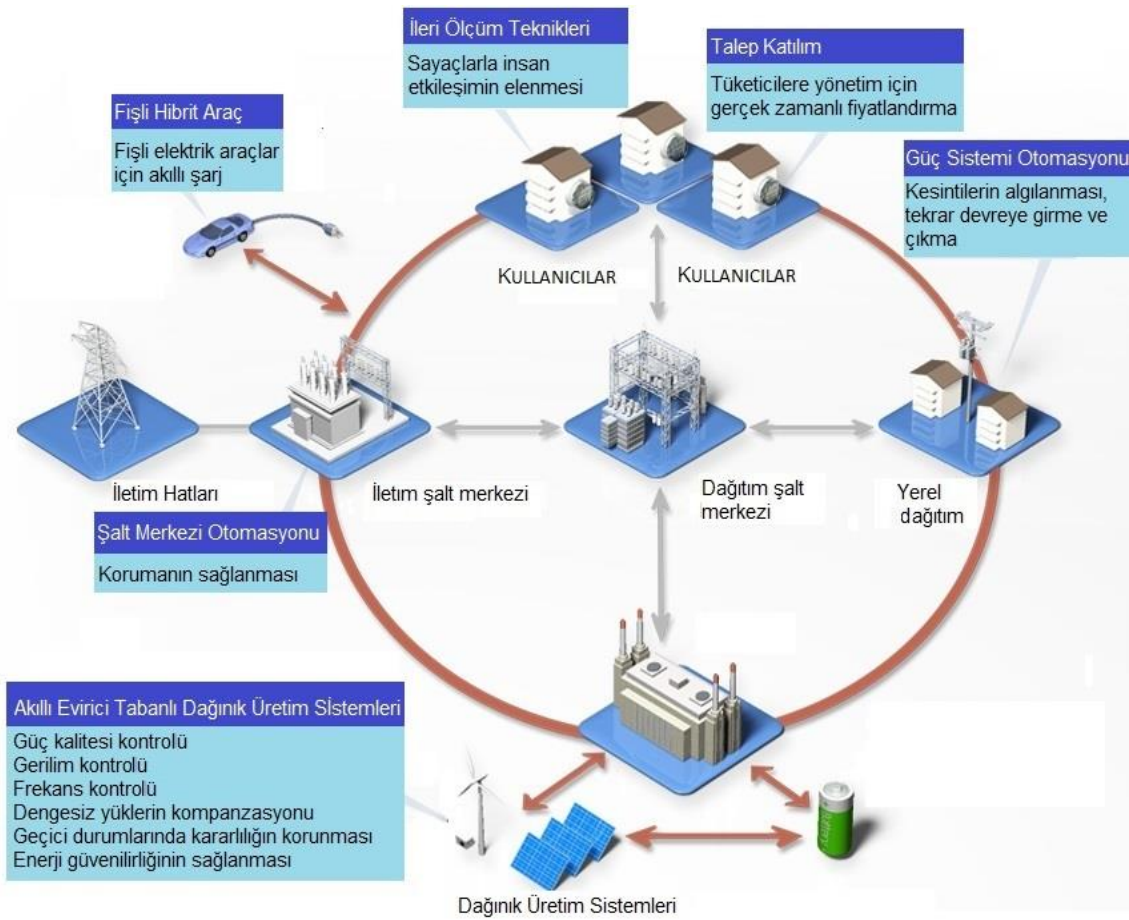
## 1. GİRİŞ

Elektrik güç şebekeleri, modern toplumlarda altyapı sistemlerinin oluşturulmasında önemli bir röle sahiptir. Son yıllarda akıllı ölçüm cihazları, iletişim teknolojileri ve kontrol yöntemlerindeki gelişmelerle birlikte güç şebekelerine ait izleme ve işletme sistemleri de hızlı bir değişim göstermektedir. Dağıtım sisteminde şebeke gerilimi ve güç faktörü değerlerini kabul edilebilir sınırlarda tutmak için Volt-VAr Kontrolü (VVK) yöntemi kullanmakta olan Dağıtım Sistemi Otomasyonu çözümleri, “Akıllı Şebeke” terimi altında şebekelerin daha akıllı izlenmesini, işletilmesini ve kontrolünü sağlamaktadır. İleri teknoloji akıllı şebeke sistemleri VVK’ya ek olarak yüklerin performansını koruyacak şekilde yük gerilimini anma değerinin altında ve standartlarda kabul edilebilir sınırlar içinde tutarak enerji tasarrufu yapmakta olup, şebekede Volt-VAr-Vat kontrolü (VVVK) işlevlerini de yerine getirdiğinden şebekenin verimliliğini ve güvenilirliğini arttırmaktadır [1]-[4]. Bu gelişmelerin yanı sıra, yaşanan elektrik kesintilerini önlemek, karbondioksit salınımını azaltarak çevresel etkileri en aza indirmek ve enerji verimliliğini arttırmak tüm dünyada öncelikli

bir konu haline gelmiştir. Belirtilen önceliklerin yanı sıra yenilenebilir enerji tabanlı dağıtım üretim sistemlerindeki (YETDÜS) gelişmelerle birlikte, bu sistemlerin kurulu gücü ve sayısı hızlı bir şekilde artmaktadır. YETDÜS’lerin sayısının artmasıyla birlikte, akıllı şebekelerde yük ve enerjinin gerilimle ilişkilendirilmesi daha karmaşık bir hale gelmiştir. Ayrıca, elektrik güç sistemlerindeki müşteri güvenilirlik sorunlarının yaklaşık %80-%90’ı dağıtım sistemlerinden kaynaklanmaktadır. Bu problemler, dağıtım şebekesi yönetiminin uygun bir kontrol ve işletmeyi sağlamak için yeni değişimlere hazır olması gerektiği anlamına gelmektedir [5]-[7]. Bunların yanı sıra, şebekedeki dengesizlikler şebekede güç akışı analizlerinin hatalı yapılmasına ve akıllı şebeke yönetimi tarafından yanlış stratejilerin seçilmesine neden olmaktadır. Ayrıca, şebekede var olan harmonikler, iletişim için kullanılan cihazlarda veri kaybına ve akıllı ölçüm cihazlarının, rölelerin ve kesicilerin yanlış çalışmasına neden olmaktadır. Şebekede hem VVVK’nın sağlanması hem de YETDÜS’ler tarafından kaynaklanan ve sistemde var olan güç kalitesi (GK) sorunlarının etkin bir şekilde giderilmesi için ileri teknoloji aktif

güç kalitesi koşullandırıcılar (AGKK) kullanılmaktadır. Ancak AGKK'ların YETDÜS'ler ile aynı şebekeye bağlanması, uygulamada bu iki cihazın koordinasyonunun sağlanması ve optimum yerleşim yerinin belirlenmesi gibi zorluklara yol açmaktadır. AGKK'ların evirici bölümüyle YETDÜS'lerin evirici bölümü benzer güç elektroniği topolojisindedir [5]. Bu yapısal benzerlik kullanılarak tek bir eviriciyle YETDÜS tarafından üretilen enerjinin şebekeye enjekte edilmesi, oluşan GK problemlerinin giderilmesi ve VVVK

aynı anda sağlanabilir. Bu özelliği kullanmak için eviricinin geleneksel kontrol yönteminin geliştirilmesi ve çok-fonksiyonlu olarak (aktif güç enjeksiyonu ve GK kompanzasyonu) çalıştırılmasının sağlanması gerekmektedir. Böylece, bu akıllı eviriciler (AE) sayesinde şebekedeki kararlılığın artması, ek yatırımların ve bakım maliyetlerinin azalması ve şebeke kontrolünün kolaylaştırılması sağlanacaktır [8], [9]. Akıllı evirici tabanlı akıllı şebeke topolojisi Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Akıllı evirici tabanlı akıllı şebeke topolojisi [10]

## 2. AKILLI ŞEBEKELER

Elektrik kesintilerini önlemek, karbondioksit salınımını azaltarak çevresel etkileri en aza indirmek ve enerji verimliliğini artırmak tüm dünyada giderek daha öncelikli bir konu haline gelmektedir. Bu öncelik nedeniyle, yenilenebilir enerji

kaynaklarının daha iyi entegrasyonunu ve tüm enerji şebekesi üzerinde daha verimli enerji iletimini ve dağıtımını sağlayan "Akıllı Şebeke" çözümleri ön plana çıkmaktadır. Şebekeler; yeni nesil ve temiz enerji kaynaklarını entegre edebilecek, elektrik akışı için daha fazla emniyet sağlayabilecek, enerji kaynaklarının maliyetlerini ve çevreye olan etkisini azaltıp

enerji verimliliğini optimum hale getirebilecek altyapı sistemleri olarak da tanımlanabilen “Akıllı Şebekeler”e dönüşmektedir. Akıllı Şebekeler, yenilenebilir enerji üretim birimleri (güneş enerjisi, rüzgâr santralleri vb.), elektrikli araçlar ve enerji depolama gibi tüm geleneksel ve yeni aktörleri bir araya getirebilme kapasitesine sahiptir [11].

Akıllı şebekelerde bu aktörlerin bir araya getirilmesi ve dağıtım sistemlerinin işletiminin ve kontrolünün gerçekleştirilebilmesi için merkezi veya yerel kontrol yöntemi kullanılmaktadır. Merkezi kontrol yöntemi daha etkin bir çözüm olarak belirtilmekle birlikte, bu kontrol yöntemi çok yoğun veri alışverişi yaptığından ve merkezi analizden dolayı ani değişimlerde oldukça yetersiz kalmaktadır. Ayrıca çok sayıda veri alışverişiyle işlem yapılması sistem analizini daha karmaşık bir hale getirmekte olup, bu durum şebekenin siber saldırılara daha açık olmasına yol açabilmektedir. Buna karşılık yerel kontrol yöntemi daha az veri alışverişi yaparak ani değişimlere hızlı tepki gösterebilmektedir. Fakat yerel yönetim sistemini optimum çalışma noktasının belirlenmesinde merkezi kontrol yöntemine göre yetersiz kalabilmektedir [12].

Akıllı şebeke merkezi veya yerel kontrol yöntemlerini kullanarak şebeke verimliliğini ve güvenilirliğini korumasının yanı sıra şebekenin optimum bir şekilde çalışmasının sağlanması için Volt-VAr kontrolü (VVK) yöntemini kullanmaktadır. Ayrıca akıllı şebeke yüklerin performansını koruyacak şekilde yük gerilimini anma değerinin altında ve standartlarda kabul edilebilir sınırlar içinde tutarak enerji tasarrufu yapabilmektedir. Bu özelliklerle akıllı şebekeler VVVK işlevlerini yerine getirerek şebeke verimliliğini ve güvenilirliğini uygun bir şekilde korumaktadır. Akıllı şebeke optimum gerilim, aktif ve reaktif güç akışının belirlenmesi için farklı optimizasyon yöntemlerini kullanmaktadır [13], [14].

Akıllı şebeke yönetim sistemi şebekede VVVK işlevini yerine getirmek için genellikle kondansatör gruplarını, gerilim düzenleyicileri ve kademe değiştirici trafoları kontrol etmektedir. Ancak bu cihazların çalışma sınırlarından dolayı etkin bir kontrol sağlanamamaktadır. Örneğin dağıtım şebekesinde kullanılan kondansatör grupları şebekenin endüktif reaktif gücü kondansatör grupların güçlerinin %60'ından büyük olduğunda devreye alınır ve şebekenin kapasitif reaktif gücü kondansatör gruplarının güçlerinin %40'ından fazla olduğunda ise devreden çıkartılır. Bu çalışma sınırları kondansatör gruplarının ömrünün kısılmasının önlenmesi için yapılmaktadır. Dolayısıyla eğer kondansatör grupları güç trafosunun sekonder tarafındaysa bir gün içinde 6 defa ve eğer fiderler üzerindeyse 2 defa anahtarlamasına izin verilmektedir. Kademe değiştirici trafoların ise bir gün içinde en fazla 30 defa kademelerinin değiştirilmesine izin verilir. Gerilim düzenleyiciler ise sınırlı aralıklarda (genelde  $\pm 10$ ) şebeke gerilimini kontrol etmektedir [7], [15].

Dağınık üretim sistemleri genelde dağıtım şebekesine bağlanmaktadır. Özellikle yenilenebilir enerji tabanlı dağınık üretim sistemleri hava koşullarına ve çevre etkilerine bağlı olduklarından, şebekeye enjekte ettikleri enerji sürekli olarak değişmektedir. Ayrıca bu enerji üretim sistemleri hata sırasında devre dışı bırakılıp ada modunda çalışmaktadır. Bir anda devre dışı bırakılan bu sistemler şebekenin bir anda ağır yüklenmesine veya çökmesine yol açabilir. Bu olumsuz etkiler, akıllı şebekelerde sistem analizi ve yönetimini zorlaştırmakta olup bazı durumlarda etkisiz hala getirmektedir.

Ayrıca, şebekede var olan dengesizlikler (yük ve gerilim dengesizlikleri) şebekede güç akış analizlerinin hatalı yapılmasına ve şebeke yönetimi için akıllı şebeke tarafından yanlış stratejilerin seçilmesine neden olmaktadır. Akıllı şebeke yönetimi tarafından seçilen hatalı stratejiler şebekede güç kaybına, şebekenin kararlılığının ve

güvenirliğinin yitirilmesine neden olabilmektedir. Bu olumsuzluklara ek olarak şebekede var olan harmonikler, iletişim için kullanılan cihazlarda veri kayıplarına ve akıllı ölçüm cihazların, rölelerin ve kesicilerin yanlış çalışmasına neden olmaktadır. Akıllı şebekede doğru ve sürekli çalışmanın sağlanabilmesi için belirtilen bu problemlerin giderilmesi gerekmektedir [16], [17].

### 3. EVİRİCİ TABANLI YENİLEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ

Son yıllarda, güç dağıtım şebekelerine bağlı yenilenebilir enerji tabanlı kaynakların kurulu gücü hızlı bir şekilde artmaktadır. Çevresel faktörler, elektrik güç şebekesinin yeniden yapılandırılması, küçük ölçekli enerji üretim teknolojilerindeki hızlı ilerlemeler ve mikro şebeke tabanlı cihaz ve sistemlerin geliştirilmesi bu artışın birçok nedenini açıklayabilir. Güneş ve rüzgâr enerjisi en geçerli yenilenebilir enerji kaynakları olup kurulu güç kapasiteleri sürekli olarak artmaktadır [18]. Yenilenebilir enerji sistemleri şebeke bağlantılı veya şebeke bağlantısız olarak kurulabilir. Şebeke bağlantısız sistemler genellikle şebeke hattının olmadığı yerlerde ve yerel yükler için tercih edilmektedir. Şebeke bağlantılı sistemler ise şebekeye paralel bağlanarak şebeke üzerindeki yükleri beslemek için kullanılır. Dünyada enerji tüketiminin artmasıyla, şebeke bağlantılı büyük ölçekli YETDÜS'ler şebeke bağlantısız sistemlere göre daha fazla uygulanmaktadır. Eviriciler şebeke bağlantılı yenilenebilir enerji sistemlerinin şebekeye entegrasyonunu sağlayan en önemli arabirim cihazı olup, yenilenebilir enerji sistemleri tarafından üretilen DA/AA gerilimi AA gerilime dönüştürmek için kullanılır. Yenilenebilir enerji sistemlerde kullanılan eviricilerin doğru bir şekilde kontrol edilmesiyle, güç sistemlerinin kararlılığı ve performansı negatif yönde etkilenmeyecek ve akıllı şebekelerin işletimi ve yönetimi daha da kolaylaşacaktır [8], [9]. Ancak eviricilerin şebeke ile entegrasyonunda dikkat edilmesi gereken

önemli problemler bulunmaktadır. Bu problemler özetle;

i. Şebeke geriliminin bozuk olduğu durumlarda, evirici tarafından şebekeye enjekte edilen enerjinin kalitesinin nasıl korunacağı ve evirici tarafından şebeke geriliminin büyüklüğü ve faz açısı gibi referans değerleri doğru bir şekilde nasıl tespit edileceği;

ii. Dengesiz yüklerin şebekede olduğu durumlarda dengeli bir nötr noktasının nasıl elde edileceği;

iii. Farklı çalışma şartlarında evirici ile şebekenin arasında nasıl bir senkronizasyonun sağlanacağı;

iv. Eviricinin şebekeye giriş ve çıkışlarda oluşturabileceği geçici dinamik durumların nasıl minimize edileceği;

v. Paralel bağlı eviricilerin birbirlerine ve sisteme zarar vermeden güç dağılımını etiket değerleriyle doğru orantılı olarak paylaşmalarının nasıl sağlanacağı şeklindedir [19].

Bu problemlerin yanı sıra, pratikte yenilenebilir enerji sistemlerinin aktif güç çıkışı dengeli değildir. Ayrıca dağıtım sisteminde kurulan YETDÜS'lerin sayısının ve kapasitesinin artması şebekede birçok güç kalitesi problemlerine yol açmaktadır. Bu nedenle, şebeke bağlantılı yeni YETDÜS'lerin doğru çalışması, yönetimi, sistem kalitesinin ve güvenilirliğinin sağlanması ve devam ettirilmesi için yeni kontrol yöntemlerinin ve topolojilerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu sebeple, güç kalitesi standartlarının, elektromanyetik uyumluluğun, akustik gürültü sınırlarının, güvenlik ve koruma ihtiyaçlarının sağlanması YETDÜS'lerin önemli gereksinimleridir. YETDÜS'lerin şebekeye bağlantısında üretici şirketler tarafından yayınlanan çeşitli standartların sağlanması gerekmektedir. Mevcut durumda, EN61000-3-2, IEEE1547, ABD Ulusal Elektrik Yasası (NEC) 690 ve düşünülen uluslararası standartlar IEC61727

yürürlüktedir. Bu standartlar, güç kalitesi, ada modu tespiti ve topraklama konularıyla ilgilidir.

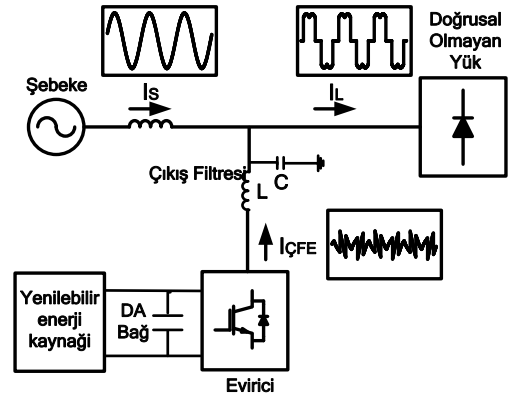
YETDÜS'ler tarafından şebekeye enjekte edilen gücün kalitesi şebeke bağlantılı eviricilerin (ŞBE) kararlı ve verimli çalışmasında önemli bir role sahiptir. Diğer yandan, ortak bağlantı noktasına (OBN) bağlı çok sayıdaki güç elektroniği elemanı, lineer olmayan, dengesiz ve reaktif yükler yüzünden oluşan güç kalitesizliği ŞBE'nin kararlılığını ciddi şekilde etkilemektedir. Lineer olmayan yükler OBN'deki gerilimin bozulmasına neden olmaktadır. Bu bozuk gerilim, ŞBE'nin akım ve gerilim kontrol döngülerinin yanlış çalışmasına ve OBN'ye enjekte edilen akımın kalitesinin bozulmasına neden olabilmektedir. Düşük güç kalitesi, ekipmanlarda aşırı ısınmaya, kayıplara, titreşimlere, hatalara vb. sorunlara neden olabilir. Bazı durumlarda, bu bozukluk ŞBE'lerde plansız devre dışı kalmalara neden olmaktadır. Bu problemlerin giderilmesi için OBN'deki güç kalitesi seviyesinin standart limitler çerçevesinde tutulması gerekmektedir[7],[15], [16], [20]-[23].

#### 4. AKTİF GÜÇ KALİTESİ KOŞULLANDIRICILAR

YETDÜS'ler tarafından şebekeye enjekte edilen düşük kaliteli enerji, OBN'ye bağlı lineer olmayan ve dengesiz yüklerin karakteristiği veya beklenmedik olaylardan kaynaklanan güç kalitesi problemlerinin giderilmesi ve şebekede VVVK'nın sağlanması için, iki müdahale stratejisi bulunmaktadır. Bu stratejilerden ilki, ŞBE'lerin düşük güç kalitesine karşı tasarımının yapılmasıdır. Örneğin, gerilim dalga formunun bozuk ve dengesiz olduğu durumlarda şebekenin güç kalitesini artırmak için ŞBE'lerin çalışma stratejisi ve anma değerleri bu problemlerin azaltılması yönünde tasarlanmalıdır. Bu müdahale stratejisi pasif bir çözümdür ve YETDÜS'lerin düşük güç kalitesinin düzeltilmesinde yetersiz kalmaktadır [6].

Diğer bir strateji ise, OBN'de düşük güç kalitesini düzeltmek için aktif ve/veya pasif güç kalitesi koşullandırıcı cihazların kullanılmasıdır. Örneğin, pasif harmonik filtre ve sabit kondansatör kompanzasyonu tipik pasif çözümler olup, düşük maliyet ve kolay bakım avantajları nedeniyle doğru bir tercih olarak görülebilir. Ancak aktif güç filtresi, statik senkron kompanzator ve birleşik güç kalitesi düzenleyiciler gibi, AGKK esneklik ve yüksek performansları sayesinde uygulamada daha çok tercih edilmektedir. Aktif güç kalitesi koşullandırıcılar, YETDÜS'lerin doğru çalışmalarını sağlamak ve bu sistemlerden kaynaklanan güç kalitesi problemlerini gidermek yanı sıra akıllı şebekelerde VVVK için kullanıldıklarında ek yatırımlara neden olmaktadır [8], [9].

Bu cihazların, yenilenebilir enerji tabanlı dağınık üretim sistemleri ile aynı şebekeye bağlanması birçok zorluluklara yol açmaktadır. Bu zorlukların başında bu iki cihazın koordinasyonunun sağlanması ve optimum yerleşim yerinin belirlenmesi gelmektedir. Doğru bir koordinasyonun sağlanamaması artan sirkülasyon akımı gibi problemlere yol açabilmektedir. Yenilenebilir enerji tabanlı dağınık üretim sistemi tarafından şebekeye enjekte edilen gücün sürekli değiştiği durumlarda böyle bir koordinasyonun sağlanması oldukça zorlaşmaktadır. Ayrıca, bu koşullandırıcılar yer sorunu, bakım maliyetleri, çalışma saatleri ve kararlılık gibi problemlere yol açabilmektedir [5].



Şekil 2. Akıllı eviricinin tek hat şeması ve temel çalışma prensibi

## 5. ŞEBEKE BAĞLANTILI AKILLI EVİRİCİLER

Şekil 2’de görüldüğü gibi, aktif güç kalitesi koşullandırıcıların evirici bölümüyle YETDÜS’lerin evirici bölümü benzer güç elektroniği topolojisine sahiptir. Bu yapısal benzerlik sayesinde, tek bir evirici kullanarak yenilenebilir enerji tabanlı dağıtık üretim sistemi tarafından üretilen enerjinin şebekeye enjekte edilmesi, oluşan güç kalitesi problemlerinin giderilmesi ve VVVK aynı anda gerçekleştirilebilir. Bu özelliği kullanmak için eviricinin geleneksel kontrol yönteminin geliştirilmesi ve çok-fonksiyonlu olarak çalışmasının sağlanması gerekmektedir. Bu durum, şebekedeki kararlılığın artmasını, ek yatırımların ve bakım maliyetlerinin azalmasını ve şebekenin işletiminin kolaylaştırılmasını sağlayacaktır [8], [9].

Akıllı eviriciler farklı kriterlere göre birçok kategoriye ayrılabilir.

1) Çizelge I’de görüldüğü gibi AE’ler güç kalitesi problemlerinin giderilmesinde farklı fonksiyonlara ve işlemlere sahiptir [24]-[39].

2) Kompanzasyon sinyallerinin tespit edilmesi yöntemleri AE’lerin kontrol stratejilerinin çok önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu yöntemler farklı koşullarda AE uygulamaları için uygundur. Mevcut yöntemler, frekans ve zaman ortamı yöntemleri olarak 2 kategoride sınıflandırılabilir. Ayrık zamanlı fourier dönüşümü tabanlı algoritmalar tipik bir frekans ortamı yöntemidir fakat bu tür yöntemler dinamik cevapta yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle zaman ortamı tespit yöntemleri giderek daha fazla

kullanılmaktadır. Literatürde AE’ler için anlık güç teorisi yöntemi [23], d-q yöntemi [24], adaptif filtre yöntemi [40], Kalman filtre yöntemi [41] gibi farklı kontrol yöntemleri için kullanılmıştır. AE’lerde özellikle yükün reaktif akımını ve harmoniğini tespit etmek için anlık güç teorisi yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır. Çünkü belirgin bir fiziksel anlama sahiptir ve DSP üzerinde kolaylıkla uygulanabilir.

3) AE’lerin kontrol stratejileri doğrudan akım kontrolü ve dolaylı akım kontrolü olmak üzere ikiye ayrılabilir. Dolaylı akım kontrolü gerilim kontrolü aracılığıyla şebekeye bağlı akımı kontrol edebilir. Dolaylı akım kontrolü yönteminin dinamik tepkisi çok hızlıdır, fakat sistem parametreleri hassastır ve kontrol parametreleri esnek değildir. Bu yüzden doğrudan akım kontrolü daha çok ilgi çekmektedir. Referans akım üretim algoritmasını kolaylaştırmak için AE’ler doğrudan akım kontrolünü esas alır. Modülasyon çeşitleri arasında histerezis modülasyonu değişen anahtarlama frekansa sahip olduğu için büyük akım TTB’lere sebep olabilmektedir. Ayrıca, uzay vektör darbe genişlik modülasyonu DA bağ geriliminin etkili bir şekilde kontrol edebilir, ancak buda denetleyicide bazı problemlere yol açabilmektedir.

4) AE’lerde hem aktif gücün kontrolü hem de güç kalitesi problemlerinin kompanzasyonu için uzaysal tekrarlamalı, [42], sinir ağı-bulanık mantık [43], uyarlamalı histerezis bant [44], kayan kip [45], histerezis akım kontrollü bulanık mantık [46] gibi farklı kontrolcüler kullanılmıştır.

Çizelge I. Kompanzasyon bileşenlerinin tespiti için kullanılan farklı yöntemler

Kompanze edilen güç kalitesi problemleri	Referans numarası
Reaktif güç kompanzasyonu	24
Reaktif güç ve akım harmoniklerinin kompanzasyonu	25
Reaktif güç ve gerilim harmoniklerinin kompanzasyonu	26
Reaktif güç, gerilim ve akım harmoniklerinin kompanzasyonu	27
Reaktif güç, akım harmonikleri ve dengesiz akımların kompanzasyonu	28
Reaktif güç, akım harmonikleri, akım dengeleme ve nötr akımının kompanzasyonu	29
Reaktif güç, gerilim dengesizliği, kırışması ve harmoniklerinin kompanzasyonu	30
Reaktif güç, gerilim çukuru ve akım harmoniklerinin kompanzasyonu	31
Reaktif güç ve gerilim regülasyonu	32
Reaktif güç, gerilim çukuru ve gerilim regülasyonu	33
Reaktif güç, gerilim çukuru veya tepesi kompanzasyonu	34
Reaktif güç kompanzasyonu ve gerilim kontrolü	35
Reaktif güç kompanzasyonu, gerilim kararlılığı ve frekans kontrolü	36
Reaktif güç, gerilim çukuru ve harmoniklerinin kompanzasyonu	37
Hata sırasında kararlılığı korumak için reaktif güç kompanzasyonu	38
Reaktif güç, gerilim regülasyonu ve dengesiz yüklerin kompanzasyonu	39

Çizelge II’de farklı güçlerde kurulmuş olan AGF sistemleri ve kurulu güçleri gösterilmiştir.

Çizelge II. AE’lerin kurulu güç kapasiteleri

Güç Kaynağı	Referans	Kapasite	Uygulama
3-faz	[47]	1.2 kW	Yakıt pili
	[48]	2.5 kW	Rüzgâr
	[49]	2.5 kW	Rüzgâr
	[50]	3 kW	Rüzgâr
	[51]	3 kW	PV
	[52]	3.7 kW	Rüzgâr
	[53]	11 kW	Rüzgâr
	[54]	20 kW	PV
	[55]	30 kVA	Rüzgâr
	[56]	400 kVA	Mikro-kaynak

## 6. SONUÇLAR

Bu bildiri akıllı şebekelerde akıllı eviricilerin işleyişleri üzerine hazırlanmıştır. Akıllı şebekelerde kullanılan VVVK yöntemi, güç talebinin karşılaşmasında ve kullanıcılara sunulan elektrik enerjisinin kalitesi, güvenilirliği ve kararlılığının korunmasında önemli bir role sahiptir. Ayrıca dağıtım sistemine bağlanan dağınık üretim sistemlerinin sayısının artmasıyla durum tahmin analizleri, dolayısıyla VVVK önemli bir konu haline gelmiştir. Bunun yanı sıra yakın bir gelecekte şebekeye satılan elektrik enerjisinin fiyatı, üretilen elektriğin

kalitesiyle orantılı olarak belirlenecektir. Dolayısıyla, dağınık üretim sistemlerin tarafından üretilen enerjinin kalitesi satılan elektriğin fiyatını doğrudan etkileyebilecektir. Akıllı eviriciler hem merkezi hem de yerel olarak kontrol edilip ortak bağlantı noktasında VVVK işlevini gerçekleştirmektedir. Bu özelliğe ek olarak güç kalitesi kompanzatorü görevini de yerine getirebilen “Akıllı Eviriciler”, şebekeye kaliteli enerji enjekte edebilen bir çözüm olarak görülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] A. Ipakchi, F. Albuyeh, “Grid of the future,” *IEEE power and energy magazine*, Cilt 7, 2, 52–62, Mart-Nisan 2009.
- [2] A. Teixeira, G. Dan, H. Sandberg, R. Berthier, R.B. Bobba, A. Valdes, “Security of smart distribution grids: data integrity attacks on integrated Volt/VAr control and counter measures”, *American conf. on control*, Portland, Haziran 2014, 4372 – 4378.
- [3] E.T. Jauch, “Smart grid Volt/Var management: challenges of integrating distribution DG”, *Innovative smart grid technologies*, Washington, 16-20 Ocak 2012, 1 – 5.

- [4] N.Markushevich, A. Berman, “New aspects of IVVO in active distribution networks”, *Conference and exposition on transmission and distribution*, Orlando, 7-10 Mayıs 2012, 1 – 5.
- [5] B. Singh, V. Mukherjee, P. Tiwari, “A survey on impact assessment of DG and FACTS controller sin power systems”, *Renew. and sustain.energy reviews*, Cilt 42, 846–882, Şubat 2015.
- [6] M.Barghi Latran, A. Teke, “Güç kalitesi problemlerini düzelten dağıtım sistemine paralel bağlı evirici tabanlı kompanzatorlerin incelenmesi”, *Journal of the faculty of engineering and architecture of Gazi University*, Cilt 29, 4, 793-805, 2014.
- [7] J. Bhatt, V. Shah, O.Jani, “An instrumentation engineer’s review on smart grid: Critical applications and parameters”, *Renew. and Sust. Energy Reviews*, Cilt 40, 1217-1239, Aralık 2014.
- [8] A. Teke, M. Barghi Latran, “Review of multifunctional inverter topologies and control schemes used in distributed generation systems”, *Journal of Power Electro.*, Cilt 14, 2, 324-340, Mart 2014.
- [9] M.Barghi Latran, A. Teke, “Investigation of multilevel multifunctional grid connected inverter topologies and control strategies used in photovoltaic systems”, *Renewable & sustainable energy reviews*, Cilt 42, 361-376, Şubat 2015.
- [10] [http://www.moxa.com/Solutions/Smart\\_Grid/](http://www.moxa.com/Solutions/Smart_Grid/)
- [11] <http://www.alstom.com/tr/turkey>.
- [12] V. Calderaro, G. Conio, V.Galdi, G.Massa, A.Piccolo, “Optimal decentralized voltage control for distribution systems with inverter-based distributed generators”, *IEEE Transactions on power systems*, Cilt 29, 1, 230-241, Ocak 2014.
- [13] J.W. Smith, W. Sunderman, R. Dugan, B. Seal, “Smart inverter Volt/Var control functions for high penetration of PV on distribution systems”, *Conf. and exposition on power systems*, Phoenix, Mart 2011, pp. 1-6.
- [14] M. Nasri, H. Farhangi, A. Palizban, M. Moallem, “Multi-Agent control system for real-time adaptive VVO/CVR in smart substation”, *Conference on Electrical power and energy*, London, 10-12 Ekim 2012, 1–7.
- [15] S. Chanda, F. Shariatzadeh, A. Srivastava, E. Lee, W. Stone, J. Ham, “Implementation of non-intrusive energy saving estimation for Volt/VAr control of smart distribution system”, *EPSR*, Cilt 120, 39–46, Mart 2015.
- [16] M.E. Baran, H. Hooshyar, Z. Shen, A. Huang, “Accommodating high PV penetration on distribution feeders”, *IEEE transactions on smart grid*, Cilt 3, 2, 1039 – 1046, Haziran 2012.
- [17] A. Hariri, M.O. Faruque, “Impacts of distributed generation on power quality”, *North American power symposium*, Pullman, Eylül 2014, 1-6.
- [18] M.J. Krok, S. Gene, “A coordinated optimization approach to Volt/VAr control for large power distribution networks”, *American control conference*, San Francisco, Haziran-Temmuz 2011, 1145 – 1150.
- [19] Q.C.Zhong, T.Hornik, “Control of power inverters in renewable energy and smart grid integration”, *Wiley-IEEE Press*, Ocak 2013.
- [20] S. Ruiz-Romero, A.Colmenar-Santos, F. Mur-Pérez, Á. López-Rey “Integration of distributed generation in the power distribution network: The need for smart grid control systems, communication and equipment for a smart city — Use cases” *Renewable and sustainable energy reviews*, Cilt 38, 223–234, Ekim 2014.
- [21] R. Caldon, M. Coppo, R. Turri, “Distributed voltage control strategy for LV networks with inverter-interfaced generators”, *Electric power systems research*, Cilt 107, 85–92, Şubat 2014.
- [22] P. Zhanga, W. Li, S. Li, Y. Wanga, W. Xiao, “Reliability assessment of photovoltaic power systems: Review of current status and future perspectives”, *Applied energy*, Cilt 104, 822–833, Nisan 2013.
- [23] S.Jashfara, S.Esmaeili, “Volt/var/THD control in distribution networks considering reactive power capability of solar energy



conversion”, *International journal of electrical power & energy systems*, Cilt 60, 221–233, Eylül 2014.

[24] Tsengenes, G., Adamidis, G., “Investigation of the behavior of a three phase grid-connected photovoltaic system to control active and reactive power,” *Elec. power sys. Res.*, Cilt 81, 1, 177-184, Ocak 2011.

[25] Dasgupta, S., Mohan, S.N., Sahoo, S.K., Panda, S.K., “Lyapunov function-based current controller to control active and reactive power flow from a renewable energy source to a generalized three-phase microgrid system,” *IEEE tran. ind.elect.*, Cilt 60, 2, 799-813, Şubat 2013.

[26] Gajanayake, C.J., Vilathgamuwa, D.M., Loh, P.C., Teodorescu, R., Blaabjerg, F., “Z-source-inverter-based flexible distributed generation system solution for grid power quality improvement,” *IEEE trans. energy conv.*, Cilt 24, 3, 695-704, Eylül 2009.

[27] Agamy, A.G., Alaboudy, A.H.K., Mostafa, H.E., Fekry, M.Y., “Bacterial foraging-based PI controller of inverter based distributed generators,” *IEEE conf. power tech*, Trondheim, 19-23 Haziran 2011, 1-7.

[28] Tang, X., Tsang, K.M., Chan, W.L., “A power quality compensator with DG interface capability using repetitive control,” *IEEE tran. energy conv.*, Cilt 27, 2, 213-219, Jun. 2012.

[29] Wang, F., Duarte, J.L., Hendrix, M.A.M., “Pliant active and reactive power control for grid-interactive converters under unbalanced voltage dips,” *IEEE trans. power electr.*, Cilt 26, 5, 1511-1521, Mayıs 2011.

[30] Marei, M.I., El-Saadany, E.F., Salama, M.M.A., “A flexible DG interface based on a new RLS algorithm for power quality improvement,” *IEEE sys. jour.*, Cilt 6, 1, 68-75, Mart 2012.

[31] Alatrash, H., Mensah, A., Mark, E., Haddad, G., Enslin, J., “Generator emulation controls for photovoltaic inverters,” *IEEE trans. smart grid*, Cilt 3, 2, 996-1011, Jun. 2012.

[32] Jain, S., Jiang, J., Huang, X., Stevandic, S., “Modeling of fuel-cell-based power supply system for grid interface,” *IEEE trans. indus. appl.*, Cilt 48, 4, 1142-1153, Ağustos 2012.

[33] Camacho, A., Castilla, M., Miret, J., Vasquez, J.C., Alarcón-Gallo, E., “Flexible voltage support control for three-phase distributed generation inverters under grid fault,” *IEEE trans. ind.elect.*, Cilt 60, 4, 1429-1441, Nisan 2013.

[34] Goyal, S., Ghosh, A., Ledwich, G., “Active power flow control in a distribution system using discontinuous voltage controller,” *Electric power sys. res.*, Cilt 79, 255–264, Ocak 2009.

[35] Vandoorn, T.L., Ionescu, C.M., De Kooning, J.D.M., Keyser, R.D., Vandeveld, L., “Theoretical analysis and experimental validation of single-phase direct versus cascade voltage control in islanded microgrids,” *IEEE trans. ind. elec.*, Cilt 60, 2, 789-798, Şubat 2013.

[36] Abbes, M., Belhadj, J., “New control method of a robust NPC converter for renewable energy sources grid connection,” *Electric power systems res.*, Cilt 88, 52-63, Temmuz 2012.

[37] Kazmierkowski, M.P., Jasinski, M., Bobrowska Rafal, M., “AC-DC-AC converter with grid voltage dips mitigation,” *14th int. conf. power electr. moti. Con.*, Ohrid, 6-8 Eylül 2010, 69-74.

[38] Popat, M., Wu, B., Zargari, N.R., “Fault Ride-Through Capability of cascaded current-source converter-based offshore wind farm,” *IEEE trans. sust. energy*, Cilt 4, 2, Nisan 2013.

[39] Elmitwally, A., Rashed, M., “Flexible operation strategy for an isolated PV-Diesel microgrid without energy storage,” *IEEE trans. energy conv.*, Cilt 26, 1, 235-244, Mart 2011.

[40] Singh, M., Khadkikar, V., Chandra, A., “Grid synchronization with harmonics and reactive power compensation capability of a permanent magnet synchronous generator-based variable speed wind energy conversion system,” *IET power electr.*, Cilt 4, 1, 122-130, Ocak 2011.

- [41] Mosazadeh, Y., Fathi, H., Sheykhosslami, A.R., Hajizadeh, M., "Adaptive hysteresis band controlled grid connected PV system with active filter function," *IEEE conf. power eng.ren. energy*, Bali, Indonesia, 3-5 Temmuz 2012, 1-6.
- [42] Fuchs, H.D., "Development and implementation of a 1.5 MW inverter and active power filter system for the injection of regenerated energy in a spornet traction substation", *Yüksek lisans tezi*, Stellenbosch Üniv., 2005.
- [43] Ma, Y., Ellinger, T., Petzoldt, J., "Implementation of harmonic control for a 3-phase 4-wire inverter with harmonic-loaded neutral," *14th europ. conf. power electr. appl*, Birmingham, Ağustos 30-Eylül 1 2011, 1-10.
- [44] Babu, B.C., Mohapatra, M., Jena, S., Naik, A., "Dynamic performance of adaptive hysteresis current controller for mains-connected inverter system," *IEEE int. conf. ind.electr., cont. rob.*, Orissa, 27-29 Aralık 2010, 95-100.
- [45] Xiao, L., Huang, S., Zheng, L., Xu, Q., Huang, K., "Sliding mode SVM-DPC for grid-side converter of D-PMSG under asymmetrical faults," *IEEE int. conf. electr. mach. sys.*, Beijing, Ağustos 2011, 1-6.
- [46] Jena, S., Babu, B.C., "Power quality improvement of 1- $\Phi$  grid-connected PWM inverter using fuzzy with hysteresis current controller," *IEEE 10th int. conf. env. elec. eng.*, Rome, 8-11 Mayıs 2011, 1-4.
- [47] He, C., Xie, X., Yan, H., Xie, C., Chen, G., "A novel grid-connected converter with active power filtering function," *Energy proc.*, Cilt 12, 348-354, 2011.
- [48] M., Singh, A., Chandra, "Application of adaptive network-based fuzzy inference system for sensorless control of PMSG-based wind turbine with nonlinear-load-compensation capabilities," *IEEE trans. power electr.*, Cilt 26, 1, 165-175, Ocak 2011.
- [49] M.M.N., Amin, O.A., Mohammed, "Power quality improvement of grid-connected wind energy conversion system for optimum utilization of variable speed wind turbines", *36<sup>th</sup> IEEE conf. ind. electr. soc.*, 3287-3292, 7-10 Kasım 2010.
- [50] Chinchilla, M., Arnalte, S., Burgos, J.C., Rodri'guez, J.L., "Power limits of grid-connected modern wind energy systems," *Ren. energy*, Cilt 31, 9, 1455-1470, Temmuz 2006.
- [51] Y.S., Lim, J.H., Tang, "Experimental study on flicker emissions by photovoltaic systems on highly cloudy region: A case study in Malaysia", *Renewable energy*, Cilt 64, 61-70, Nisan 2014.
- [52] B., Singh, S., Sharma, "Design and implementation of four-leg voltage source converter-based VFC for autonomous wind energy conversion system," *IEEE trans. ind.electr.*, Cilt 59, 12, 4694-4703, Aralık 2012.
- [53] R., Teodorescu, F., Blaabjerg, "Flexible control of small wind turbines with grid failure detection operating in stand-alone and grid connected mode," *IEEE tran. power elect.*, Cilt 19, 5, 1323-1332, Eylül 2004.
- [54] A.B.R., Boué, R.G., Valverde, F.A.R., Vila, J.M.T., Ponce, "An integrative approach to the design methodology for 3-phase power conditioners in photovoltaic grid-connected systems", *Energy conv. and manag.*, Cilt 56, 80-95, Nisan 2012.
- [55] B., Han, B., Bae, H., Kim, S., Baek, "Combined operation of unified power-quality conditioner with distributed generation", *IEEE trans. power del.*, Cilt 21, 330-338, Ocak 2006.
- [56] Z., Lv, A., Luo, C., Wu, Z., Shuai, Z. Kang, "A research of microgrid energy supply and filtering system based on inverter multiplexing", *IEEE int. conf. on sust. power gen. supply*, 1-7, Nisan 2009.