

Akıllı Elektrik Şebekeleri ve Veri İletişimi

Smart Grid and Data Communications

Ömer Usta ve Kahraman Yumak

İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi

ustao@itu.edu.tr

Özet: Mevcut elektrik şebekelerinin yapısının yüz yıl önce işletmeye alınan şebekelerin yapısından çok farklı olduğu söylenemez. Elektrik şebekeleri, hale fosil yakıtlara dayalı merkeziyetçi bir elektrik üretim şekline, geleneksel donanıma, sınırlı fonksiyonel esnekliğe ve düşük verimliliğe sahip olup, çevreye duyarısız, gelecekteki talep artışlarını karşılamada zorlanacak, tıkanmalara ve çökmelere meyilli bir konumdadır.

Diğer yandan malzeme, bilgisayar ve veri iletişimi, yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili teknolojilerdeki gelişmeler ve serbest piyasa kavramları elektrik şebekelerinin yapısına ve işletilmesine hala yeterince yansıtılmış değildir. Şebeke yöneticilerinin finans sağlama ve yatırımların geri dönüşüne yönelik bazı endişeleri olsa da, söz konusu yeni teknolojilerin mevcut şebekeye entegrasyonunun akıllı şebekeler çerçevesinde yapılması planlanmakta olup, adım adım ve uzun bir zaman diliminde hayata geçirilmesi beklenmektedir.

Bu makalede; mevcut şebekelerin akıllı elektrik şebekelerine dönüştürülmesini zorlayan sebepler, akıllı şebekelerin temel nitelikleri, akıllı şebekelerden beklenenler, akıllı şebekeler için anahtar olan elektrik güç ve bilişim teknolojileri ile gerekli stratejiler ele alınacaktır.

1. Giriş

Elektriğin ticari olarak ilk defa kullanılması 1870'li yılların sonuna doğru ark lambaları yardımıyla sokak ve evlerin aydınlatmasıyla başlamıştır. İlk elektrik şebekesi diyebileceğimiz sistem, Thomas Edison tarafından Newyork'ta 1882 yılında devreye alınmıştır. Bu ilk şebeke, buhar türbini tarafından sürülen bir dc generatör, elektrik iletimi için kablolar, koruma için sigortalar, elektromekanik ölçüm cihazları ve 59 müşteriden oluşmakta idi. İzleyen yıllarda benzer elektrik şebekeleri dünyanın çeşitli şehirlerinde devreye alınmaya başlandı. İlk alternatif akım elektrik şebekesi ise, Amerika'da 1889 yılında hizmete alınmıştır. Tek faz ve 4kV'luk bu şebeke 21 km mesafeye elektrik taşıyordu. İlk 3-fazlı 2.3 kV'luk şebekesi ise, 1893 yılında yine Amerika'da hizmete alınmıştır. Tüketicilerin artması ve uzak noktalara büyük miktarlarda elektrik iletim ihtiyacı yüksek gerilim elektrik iletim sistemlerinin kurulmasına neden olmuştur. İlerleyen yıllarda müşterilere daha kaliteli bir elektrik sağlamak için elektrik şebekeleri birleştirilerek merkezi yapıdaki enterkonnekte elektrik şebekeleri oluşturulmuştur.

Bu gün baktığımızda, mevcut elektrik şebekelerinin yapısının yüz yıl önce işletmeye alınan şebekelerin yapısından çok farklı

olmadığı görülür[1-7]. Önemli sayılabilecek gelişmeler genellikle transformatör, hat, direk ve yalıtım sistemleri malzemelerinde ve tasarımlarında olmuştur. Ölçme, izleme, koruma ve kontrol donanımı açısından bakıldığında elektromekanik sistemlerin baskın olduğu enterkonnekte sistemlerde, son iki on yıllık dönemde mikroişlemci donanımlı sistemlerin kullanımına doğru bir yöneliş olduğu görülmektedir[8-10]. Bu yönelişle birlikte, sözü edilen fonksiyonların yerine getirilmesinde geliştirilmiş algoritmaların ve teknolojilerin kullanılmaya başlanması şebekelerde kalite ve güvenilirlik açısından ilerlemelere yol açmıştır.

Bütün bu gelişmelere rağmen, elektrik şebekeleri hale fosil yakıda dayalı bir elektrik üretimi şekline, eski mirasımı yapıya ve sınırlı fonksiyonel esnekliğe sahip olup, tıkanmalara ve çökmelere meyilli bir durumdadır. Malzeme, bilgisayar ve iletişim ağları, yenilenebilir enerji kaynakları ve ilgili teknolojilerdeki gelişmeler hala elektrik şebekelerinin yapısına ve işletilmesine yeterince yansıtılmış değildir. Bu yansıtma, işlemleri akıllı elektrik şebekeler çerçevesinde planlanmakta olup, adım adım ve uzun bir zaman diliminde hayata geçirilmesi beklenmektedir.

2. Akıllı Şebekelere Yönelişin Nedenleri

Akıllı elektrik şebekelerine ilişkin alt-yapının oluşturulmasına dijital bilgisayar ve iletişim teknolojilerindeki hızlı gelişmeler[8,9] ile elektrik piyasasındaki serbestleşmeye yönelik adımlar rol oynarken, aşağıda açıklanacak nedenler akıllı elektrik şebekelerine geçişin tetikleyici etkenleridir[1].

- Elektrik şebekeleri mevcut alt yapısı ve işletme yöntemleriyle toplumun ihtiyaçlarını uzun vadede tam olarak karşılayabilecek durumda değildir. Elektrik üretiminde fosil yakıtlara bağımlı kalınması, bu bağımlılığın giderek artması ve merkezi yapıda kalınması hem şebekenin gelişmesini ve hem de artan elektrik talebinin karşılanmasını zorlaştırmaktadır.
- Dünya nüfusunun sürekli artması ve özellikle gelişmekte olan ülkelerde sanayinin hızlı ve sürekli olarak gelişmesi nedeniyle artan elektrik talebinin ileriki yıllarda kontrol altına alınması çok kolay olmayacaktır. Bu kontrolün sağlanmasında tüketicinin eğitilmesi, sürekli bilgilendirilmesi ve desteğinin alınması gerekmektedir.
- Bu gün elektrik üretiminin yaklaşık %80'i fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Önceleri fosil yakıtların yakılmasıyla elektrik üretiminde çevresel kaygılar düşünülmemekte idi. Ancak bu gün çevresel kaygılar ve

iklim değişikliği toplumun duyarlı olduğu birincil konular haline gelmiştir.

- Şebekelerin yaşlanmış alt-yapısı ve merkezietçi elektrik üretimi sisteminin işletilmesini uzun dönemde zor bir duruma sokabilir. Puant saatlerde frekansın tutulmaması ve elektrik kesintileri gibi durumlar artabilir. Aşırı enerji taleplerinde şebekeyi çalışır durumda tutmak mümkün olmayabilir.
- Mevcut alt-yapı ve işletme şekli, serbest piyasa koşullarının uygulanmasından tüketiciler lehine doğabilecek faydaların kullanılmasını sınırlamaktadır. Esnek tarife, iki yönlü güç akışı, iki yönlü bilgi akışı vs.
- Enerji kaynakları üzerine yapılan manipülasyonlar ve bu alandaki rekabet toplulukları ithal enerjiye olan bağımlılığın kendileri için neye mal olduğunu yeniden düşünmeye zorlamaktadır.
- Mevcut elektrik şebekelerinin güvenilirliğinin %99.97 olduğu söylenmesine rağmen halen, planlı ve plansız elektrik kesintileri yapılmaktadır. Fosil yakıt fiyatlarının sürekli yükselmesi ve elektrige olan talebin sürekli artması nedeniyle güvenilirliğin artırılması ve hatta bu düzeyde tutulması daha zor olacaktır.
- Elektrik şebekelerini oluşturan elemanların ve şebekeye bağlı yüklerin verimlilik seviyelerinde uzun bir dönemdir önemli bir değişikli olmaması bu elemanların ve yüklerin yapım malzemelerinin yeniden gözden geçirilmesini gerektirmektedir.

Akıllı şebekelere yönelmeye önyak olan yukarıda açıklanan tetikleyici nedenlere rağmen, şebeke yöneticilerinin finans sağlama ve yatırımların geri dönüşüne yönelik endişeleri akıllı şebekelerle ilgili teknoloji seçimini ve yatırımların başlamasını geciktirmektedir. Daha fazla yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılacak olması, çevresel kaygıların artması, daha fazla embedded üretim sistemlerinin ve enerji depolama cihazlarının devreye alınacak olması, şebekede bulunan cihazların akıllı elektrik cihazları (AEC) olacak olması, şebekeye bilgisayar ve iletişim teknolojilerinin entegre edilmesi gibi nedenler; hükümet, şebeke işletmecileri, yerel yönetimler ve tüketiciler gibi anahtar oyuncuların desteğinin alınmasını kolaylaştırıcaktır.

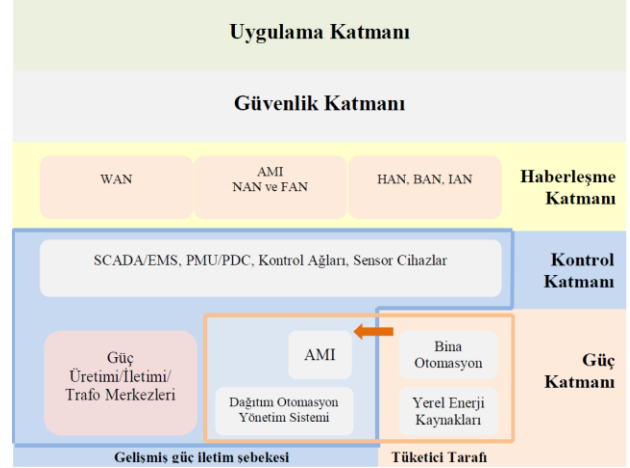
3. Yarının Akıllı Elektrik Şebekeleri

Geleceğin elektrik şebekeleri, bilgisayar ve veri iletişim ağları teknolojilerini kullanarak ölçme, uzaktan okuma ve izleme, kontrol ve koruma yapabilen, kendi kendini iyileştirebilen, fiziksel ve siber saldırılara karşı dayanıklı olan, daha çok günlük elektrik üretim ve depolama ünitelerini içeren, tüketici odaklı, daha yeşil ve temiz bir çevre yaratmayı destekleyen, daha esnek-güvenli-güvenilir ve verimli bir işletme ortamı sağlayan akıllı elektrik şebekeleri olacaklardır.

Böyle bir şebekeye ilişkin yapısal katmaları gösteren model[1,6] Şekil-1 de görülmekte olup, 5 farklı katmandan oluşmuştur.

- Güç Katmanı:** Güç üretimini, iletimini, dağıtımını, depolanmasını ve tüketimi ile ilgili olan katmandır.
- Kontrol Katmanı:** Veri toplamak ve aktarmak için gerekli akıllı sensör, ölçme ve sürücü sistemleri içerir.
- Veri İletişim Katmanı:** Doğru ve efektif bir veri iletişimi sağlamak için gerekli yapıyı kapsar.

- Güvenlik Katmanı:** Veri gizliliği, veri güvenliği, veri doğruluğu ve veri şifrelenmesi gibi fonksiyonları yerine getirir.
- Uygulama Katmanı:** Çeşitli güç ve enerji uygulamaları için bilgi teknolojilerine dayanan kararların alınmasına destekleyen katmandır.



Şekil-1. Akıllı şebekeyi modelleyen katmanlar[1]

3.1. Akıllı Şebekelerden Beklenenler

Akıllı şebekelere yönelişi teşvik eden ve akıllı şebekelerin sağlanması düşünülen bazı önemli nitelikler şöyle açıklanabilir[1, 2, 3, 9,11-14].

- Akıllı elektrik şebekelerinin, öz-koordinasyon sağlama, değişiklikleri algılama, yeniden yapılanma, kendi kendini düzeltme/iyileştirme vs özelliklere sahip olması beklenmektedir.
- Fosil yakıtların kullanılmasıyla üretilen elektriğin daha ucuz olmasına rağmen, küresel ısınma, iklim değişikliği, hava kirliliği gibi nedenlerden dolayı, akıllı şebekeler daha temiz ve daha yeşil bir dünyayı desteklemelidir. Bu daha faz yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretiminde kullanılmasıyla ve şebeke veriminin artırılmasıyla sağlanabilir. Bu nedenle, akıllı şebekelerinin yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırmasını ve şebeke verimini artırmayı sağlayan teknolojileri içermesi beklenmektedir. Bu verim artışı teknolojileri üretim, iletim, dağıtım ve kullanıcı aşamalarını kapsamalıdır.
- Bazı saatlerde elektrik talebinin aşırı olması hem şebekeyi zorlamakta ve hem karşılanması zor bir talep olmaktadır. Bu durum anlık elektrik kesintileri ile aşılabilir. Uzun vadede ise ilave yatırımları gerektirir. Bu nedenle, tüketicilerin bilinçlendirilmesiyle ve dinamik fiyat uygulamasıyla talep kaydırma yapılabilir. Mikro düzeyde talep kaydırmayla dakikalar aralığında düz bir talep eğrisi elde edilebilir. Bütün bunları hayata geçirebilmek için akıllı şebekeler, talep kardıma ve müşteriye has talep eğrisi sağlamayı destekleyecek fonksiyonları içermelidir.
- Nüfus artışı ve sanayileşme elektrik tüketimini sürekli bir şekilde artırmaktadır. Belli bir dönem sonra bu artış karşılanamayabilir. Akıllı elektrik şebekeleri bu artışı yavaşlatmaya yönelik altyapıyı içermelidir. Verimliliği artırma, tüketicilerin eğitimi, otomatik sayaç okuma, bina otomasyonu, dinamik fiyatlandırma ve tüketimi izleme

gibi adımlar bu işe yardımcı olabilir. Kayıpların azaltılmasına yönelik, ko-generasyon üretim ünitelerini teşvik etmek, enerji-verimli ürünlerin tercih edilmesini sağlamak ve her seviyede gelişmiş teknolojiler kullanmak gibi adımlar atılabilir.

- Elektrik şebekeleri planlanmış siber ve fiziksel saldırılara, kötü hava koşullarının yarattığı mekanik zorlamalara, insan ve makina hatalarının yarattığı beklenmedik tehlikelere maruz kalabilir. Akıllı elektrik şebekeleri belki bunların bazılarını karşı dayanıklı olmaya bilir, ama şebekeyi kabul edilebilir bir sürede devreye alacak hızlı ve etkin bir toparlama işlemi/prosedür oluşturulabilir.

4. Akıllı Şebekeler için İletişim Teknolojileri

Akıllı elektrik şebekeleri veri algılama, toplama, iletme, değerlendirme ve depolama işlemlerini gerektirir. Çok sayıda duyurucu donanımlı cihazlar ile akıllı elektronik sistemler elektrik şebekelerinde çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Bu cihazlardan alınan veriler önce veri toplama merkezlerinde toplanırlar ve daha sonra işlenmek ve değerlendirilmek üzere kontrol/ana merkezlere aktarırlar. Bu nedenle, akıllı şebekeler için tesis edilen iletişim ağları[1,8,9,15-17] bu veri yükünü ve trafiğini kaldıracak şekilde tasarlanmalıdır. Elektrik şebekeleri için tesis edilen iletişim ağları temel olarak 4 farklı seviyeden oluştuğu düşünülebilir. Bunlar:

- (a) İlk seviye (çekirdek iletişim) ağları:** Bu ağlar çeşitli şalt tesisleri ile şebeke kontrol merkezleri arasındaki veri akışı bağlantısını sağlayan geniş alan iletişim ağlarıdır[WAN]. Büyük oranlarda veri akışını sağlamak için yüksek kapasiteli ve büyük bant genişliğine sahip olmaları gerekmektedir. Bu yüzden genel olarak fiber optik kablolarla tesis edilirler. Bu kademedeki ağlar, SONET/SDH (Senkron Optik Ağlar), Ethernet, IP/MPLS veya uydu teknolojilerden yararlanarak oluştururlar.
- (b) İkinci seviye (middle-mile) iletişim ağları:** Uzaktan sayaç okuma (USO) için trafo merkezlerine yerleştirilen veri toplama üniteleri ile ana ve kontrol merkezleri arasındaki veri iletişimini sağlayan haberleşme ağlarıdır. Geniş bant iletişim teknolojileri gerektiren söz konusu ağlar güvenilir ve aynı zamanda mümkün olduğunca düşük maliyetli olmaları gerekmektedir. WiMAX, 3G, BPL ve 4G LTE teknolojiler bu amaç için kullanılabilir.
- (c) Üçüncü seviye (müşteri iletişim) ağları:** Trafo merkezlerinde bulunan veri toplama üniteleri ile akıllı sayaçlarla arasında veri iletişimini sağlayan ağlardır. Kablolu ve kablosuz birçok teknoloji bu ağlar için mevcut durumdadır. WiMAX, GSP/GPRS, 3G, BPL/PLC ve LTE teknolojilerinden yararlanılabilir. Wi-Fi, Semt Alan Ağları (NAN) ve Saha Alan Ağları (FAN) alt ağlar olarak kullanılabilir.
- (d) Uç seviye (Ev iletişim) ağları:** Akıllı şebeke iletişim ağlarının son halkasını oluştururlar. Bu ağlar, Ev Alan Ağları olarak adlandırılırlar (HAN) ve IEEE 802.11, IEEE 802.15.4 (Zigbee, WiFi) ile PLC standartları üzerine inşa edilen teknolojilerdir. HAN teknolojileri ile oluşturulmuş enerji yönetim sistemi, akıllı ev/binalar, HVAC, akıllı ev aletleri, aydınlatma kontrolü ve

elektrikli araçları yönetebilecek özelliklere sahip olacaktır.

Akıllı elektrik şebekeleri açısından bakıldığında ön plana çıkan fiziksel veri iletişim ortamları, fiber, PLC ve radyo/mikrodalga kanallarıdır. Fiber optik, elektro-magnetik girişim yaratmaması ve girişime maruz kalmaması ve ayrıca uzun mesafelere yüksek bant genişliğinde iletişim sağlaması nedeniyle ilk seçenektir. Buna rağmen radyo-/mikro-dalga iletişim sistemleri ilk yatırım ile işletme maliyetlerinin düşük olması ve hızlı tesis edilmeleri nedeniyle iyi bir alternatif oluştururlar. Akıllı elektrik şebekeleri için kullanılacak veri iletişim linkleri ve ilgili teknolojiler[1,18-32] tablo-1de özetlenmiştir.

4.1 Kablolu Teknolojiler

Elektrik şebekeleri uygulamaları için fiber optik ve iletim/dağıtım hatları, veri iletişimi için en uygun ortamlardır. Senkron Optik Ağlar (SONET) ve Senkron Dijital Hiyerarşi (SDH) gibi gelecek kuşak fiber optik teknolojiler çekirdek iletişim seviyesinde çeşitli veri oranlarında veri iletişimi için kullanılabilirler. Bu teknolojiler, IP ve Ethernet uygulamaları için çok servisli platformlar sağlayabilir. Ethernet'in basit ve uygun maliyette olması ve ayrıca SONET/SDH teknolojisi ile "Taşıyıcı Ethernet" oluşturulması akıllı şebekelerdeki kritik uygulamalar için güvenilir, güvenli ve kaliteli bir veri transferi ortamı oluştururlar. Ethernet bu uygulamalar için, 1-10 Gbps aralığında veri oranı sağlayabilir. Hatta özel durumlarda bu oran 100 Gbps'e kadar çıkarılabilir. Yavaş kurulum ve yüksek kuruluş maliyeti bu sistemin negatif yanlarıdır.

PLC teknolojisi ile iletim/dağıtım hatları, elektrik şebekelerinde uzaktan okuma, yük kontrolü ve koruma sinyalizasyonu gibi uygulamalar için veri iletişimi ortamı olarak kullanılmaktadır. Sinyalizasyon yüksek gerilim hatlarında kullanılırken, veri iletişimi orta ve alçak gerilim hatları üzerinden yapılmaktadır. PLC teknolojisi dar-bant (DB-PLC) iletişim (kHz frekanslarında) ve BPLC geniş-bant (GB-PLC) veri iletişimi (MHz frekanslarında) sağlanmaktadır. Bu teknolojinin avantajı, mevcut elektrik hatlarını kullanması ve bu hatlara bağlı olan cihazlarla iletişime geçecek olmasıdır. PLC genellikle OG ve AG şebekelerinde kullanılırken, BPLC daha çok ev ve bina içi uygulamalarda kullanılmaktadır. 100 MHz ve 10GHz frekans bantları arasında 10 Gbps veri iletişim hızı sağlamaktadır. Bütün bu olumlu yanlarına rağmen, haberleşme empedansı ve kanal koşullarının sürekli değişmesi, büyük binalarda uygulama zorluğu, şebekedeki aşırı anahtar sayısı, işaret zayıflaması, girişim yaratması ve girişime maruz kalması gibi aşılması gereken teknik zorluklar söz konusudur.

4.2 Kablosuz Teknolojiler

Akıllı şebekelerde kullanılacak kablosuz iletişim teknolojileri üç ayrı grup altında ele alınabilir. Bunlar; GSM/Mobil iletişim ağları, IEEE 802.11.a/b/c/g/n ve IEEE 802.16 standartları üzerine geliştirilmiş Wi-Fi ve WiMAX teknolojileri ve IEEE 802.11ve IEEE 802.15.4 standartları üzerine kurulmuş "Kablosuz Meş Ağlar (WMN)" ve "Kablosuz Sensör Ağları (WSN)".

Hücre mobil ağlar 2G ve 3G teknolojili ağlar olup, ses iletişimi için tasarlanmışlardır. GSM şebeke erişimi için TDMA erişim tekniği kullanan 2G teknolojisidir. Bunun yeni

güncellenmiş sürümü "Genel Paketli Radyo Servisi GPRS" olup paketlenmiş veri taşımak için tasarlanmıştır. Bundan sonra geliştirilmiş olanlar, EDGE, 3GPP ve 3G geniş-bant GSM teknolojisidir. 3G ağlar 5 MHz de yüksek hızlı veri iletişimi, iyi ses kalitesi ve paket uygulamaları için internet erişimi sağlamaktadır. Daha sonra geliştirilen 4G LTE teknolojisi hız ve veri iletişim kapasitesini artırmak için tasarlanmış olup, elektrik şebekeleri için daha çekicidir ve 3G üzerine geliştirildiğinden daha uygun fiyatta tesis edilebilir. Uzaktan okuma, uzaktan izleme ve kontrol uygulamaları için çok uygun bir seçenektir.

Wi-Fi iletişim ağları ise, ses ve veri iletişimi için geliştirilmiş olup, 2.4-5 GHz frekans bandını kullanarak 1Mbps ve 54 Mbps veri iletişim hızı sağlamaktadır. IEEE 802.11n standardı üzerine kurulan Wi-Fi 20-40MHz bandında çalışmakta olup 600 Mbps veri oranında iletişim yapmaktadır. Müşteri iletişim ağları seviyesinde yakın mesafe sayaçların okunmasında kullanılmaktadır. 4G WiMAX ağları, IEEE 802.16 standardını kullanan kablosuz metropolitan ağlardır. Akıllı şebekeler gibi kritik alt yapıya sahip uygulamalarda daha iyi bir servis kalitesi sağlayacaktır. Müşteri (3.seviye) iletişim ağları olarak kablolarla alternatif olarak geniş-bant iletişim için kullanılır ve sayaç okumada daha kararlı ve daha güvenilir bir iletişim ortamı sağlar.

"Kablosuz Meş Ağlar WMN", IEEE 802.11 baz alınarak geliştirilen iletişim ağlarıdır. Düşük güçlü ve düşük veri iletişim oranına sahiptir. Düşük maliyette ve kolay kurulurlar. Esneklik ve güvenilirlikleri yüksektir. IEEE 802.15.4 standardına göre geliştirilen "Kablosuz Sensör Ağlar (WSN)" ve "Kablosuz Kişisel Ağlar (WPAN)" olarak adlandırılırlar. Ev, ofis ve enerji otomasyonu için kullanılabilirler. Ayrıca embedded elektrik üretim sistemlerinde, endüstriyel uygulamalarda, şalt tesisi otomasyonunda, algılamada ve izlemede kullanılırlar.

5. Sonuçlar

Mevcut elektrik şebekelerinin yetersizlikleri, çevreye duyarlılık ve akıllı şebekelerin sağlayacağı yararlar düşünüldüğünde, geleceğin şebekelerinin akıllı elektrik şebekeleri olması kaçınılmaz bir durumdur. Mevcut durumdan geleceğin elektrik şebekelerine geçiş uzun bir zaman diliminde ve aşama aşama olacaktır. Bu geçiş; yeni kuşak malzeme, elektrik güç ve veri iletişim teknolojileri ve ilgili kavramların mevcut şebekeleri yapısına ve işletilmesine entegre edilmesiyle sağlanacaktır.

Bu durum, daha çok nitelikli iş yaratmaya, yeni kavramlar geliştirmeye, yeni araştırma alanları oluşturmaya ve teknolojik gelişmelere yol açacaktır. Akıllı şebekelerin yerine getireceği fonksiyonların ve işletilmesini yönelik altyapının bilgi yoğun teknoloji üzerine kurulacak olması şebekelerin fiziksel güvenliği kadar siber güvenliği ile ilgili konuların ön plana çıkmasını zorunlu kılacaktır.

Dağıtım sistemleri yönetimi ve otomasyonu, uzaktan okuma ve izleme, embedded ve yenilenebilir kaynaklı elektrik üretimi ve bu tesislerin şebekeye entegrasyonu, akıllı koruma ve kontrol sistemleri ve bina enerji yönetim sistemleri geleceğin

araştırma ve teknolojik inovasyon alanları olacaktır. Bunlara ek olarak, şebekeleri oluşturan elamanların malzeme yapılarına ve tasarımlarına yönelik alanlarda gelişmeler beklenmektedir. Ayrıca söz konusu elemanların verimli bir çalışma için şebeke işletme koşullarına uyumu ile ilgili bilgi yoğun teknoloji geliştirilmesine yönelik çalışmaların ön plana çıkması kaçınılmaz olacaktır.

Gelişmeler sonunda geleceğin elektrik şebekeleri; daha fazla oranda bilgi yoğun teknoloji içeren, daha çok dağıtık elektrik üretim ve depolama ünitelerini bulunduran, daha yeşil ve çevreci olan, daha verimli-esnek-güvenli-güvenilir bir işletme ortamı sağlayan, fiziksel ve siber saldırılara karşı daha dayanıklı, kendini kendini iyileştiren ve organize eden şebekeler olacaktır.

6. Kaynaklar

- [1] Chun-Hao Lo and Nirwan Ansari, "The Progressive Smart Grid System from Both Power and Communications Aspects", IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 14, No. 3, 2012.
- [2] T. L. Friedman, *Hot, Flat, and Crowded: Why We Need a Green Revolution and How It Can Renew America*. New York: Farrar, Straus and Giroux, 2008.
- [3] S. Collier, "Ten steps to a smarter grid," *IEEE Ind. Appl. Mag.*, vol. 16, no. 2, pp. 62-68, Mar.-Apr. 2010.
- [4] L. Freris and D. Infield, "Renewable Energy In Power Systems". UK, Wiley, 2008.
- [5] "The Smart Grid: An introduction," Book publication, U.S. Department of Energy (DOE), 2008.
- [6] C. Lima. (2010) Smart Grid communications: Enabling a smarter grid. IEEE SCV ComSoc Monthly Meeting. [Online].
- [7] J. See, W. Carr, and S. Collier, "Real time distribution analysis for electric utilities," in Proc. IEEE Rural Electric Power Conference, North Charleston, SC, 27-29 Apr. 2008, pp. B5-B5-8.
- [8] Ömer Usta, Kıvanç Sonsuz ve Süleyman Ekşi, "Akıllı Sayaç Okunma Sistemleri için Alternatif İletişim Ağlarının Değerlendirilmesi" 13. Ulusal Elektrik-Elektronik- Bilgisayar Kongresi, Ankara, 2008.
- [9] Ö Usta, K Sonsuz, Y Özmen ve S Ekşi, "Elektrik Dağıtım Şirketleri İle Tüketiciler Arasında İki Yönlü Bilgi İletişimi", 12. Ulusal Elektrik-Elektronik- Bilgisayar Kong., Eskişehir, Kasım 2007.
- [10] Ö. Usta ve Diğerleri, "Data Communications for Power System Relaying", IEEE 7803-3879/98.
- [11] E. W. Gunther. (2009, 21-24 Sep.) Standards: Help or hindrance in Smart Grid deployments. Grid-Week Conference in Washington.
- [12] U.S. Energy Information Administration (EIA) - Independent Statistics and Analysis.
- [13] F. Cleveland, "Cyber security issues for advanced metering infrastructure(AMI)," in Proc. IEEE Power and Energy Society General Meeting- Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, Pittsburgh, PA, 20-24 July 2008, pp. 1-5.
- [14] T. G. Lewis, *Critical Infrastructure Protection in Homeland Security: Defending a Networked Nation*. Hoboken, NJ: Wiley, 2006.
- [15] J. G. Cupp and M. E. Beehler, "Implementing Smart Grid communications," *Burns & McDonnell TechBriefs*, no.4, 2008.
- [16] H. Khan, Z. Xu, H. Lu, and V. Sreeram, "Review of technologies and implementation strategies in the area of Smart Grid," in Proc. 19th Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC), Adelaide, Australia, 27-30 Sept. 2009, pp. 1-6.
- [17] A. Clark and C. J. Pavlovski, "Wireless networks for the smart energy grid: Application aware networks," in Proc. International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists (IMECS), 17-19 Mar.2010, pp. 1243-1248.
- [18] J. Zhang, N. Ansari, Y. Luo, F. Effenberger, and F. Ye, "Next generation PONs", IEEE Communications Magazine, vol. 47, no. 8, pp. 49-57, Aug. 2009.

Tablo-1. Akıllı elektrik şebekeleri uygulamaları için potansiyel iletişim teknolojileri[1]

TEKNOLOJİ	VERİ İLETİŞİMİ	AMAÇ & TANIM	İYİ YÖNLER	ZAYIFLIKLAR & SORUNLAR
Kablosuz Teknolojiler	Hüresel (GPRS/3G/4G) ve LTE	Ses iletişimi için geliştirilmiştir, yerel enerji kaynakları ve trafo merkezleri için uzaktan izleme ve kontrol (SCADA) amacıyla kullanılabilir, basit metin mesajlaşmasını destekler.	Var olan şebeke altyapısının kullanılmasıyla düşük uygulama, işletme ve bakım maliyeti; Geniş kapsama alanı; Daha iyi hareket yeteneği	Kule/baz istasyonu ihtiyacı, büyük ölçekli uygulamalarda ekonomik olmayışı, merkezden uzak bölgelerde kapsama alanı sorunu, güvenlik zafiyeti.
	Wi-Fi (IEEE 802.11)	Ses (ve görüntü) iletişimi için geliştirilmiştir; ev enerji ara-yüzü sağlar; bilgisayarlar, elektronik cihazlar ve akıllı ölçme sistemleri arasında bağlantı oluşturur.	Hızlı tesis etme, yüksek esneklik, şehir tipi yoğun bölgelerde uygulanabilir.	Yüksek girişime hassas, dar kapsama alanı; yüksek güç tüketimi, küçük ölçeklerde ekonomik olmayışı, güvenlik zafiyeti.
	WiMAX (IEEE 802.16)	3.seviye iletişim ağları için kablosuz ağlara alternatif, akıllı sayaç okuma sistemleri alt yapında kullanılır.	Kablolu çözümlere göre hızlı kurulum, uzun menzilli, gerçek-zaman uygulamaları ve erken cevap için yeterli hız.	Kule/baz istasyonu ihtiyacı, yüksek güç tüketimi, güvenlik zafiyeti.
Kablolu Teknolojiler	SONET/SDH ve E/GPON	Fiber optik ortam, Geniş-bantlı çözümler.	Yüksek bant genişliği ve kapasite; hızlı iletişim, sıfır girişim.	Kurulum hızı yavaş ve yüksek maliyetli (altyapısı olmayan yerlerde)
	PLC (NB ve BB) ve BPL	Güç iletim hatlarıdır, iletişim OG ve AG hatları üzerinden yapılır, kablo ve DSL'e alternatif bir geniş-bantlı erişim ortamı (BPL).	Bina içi kolay kurulum, son kullanıcı cihazlarına yönelik yüksek esneklik ve hareket yeteneği, Kırsal bölgeler için iyi bir çözüm.	Büyük binalar için uygulama zorluğu, fşzlca anahtarlama sorunu, işaret zayıflaması ve yükselticilerin yüksek maliyeti, girişim maruz kalma ve girişim yaratma.
Ağ Tipleri	WMN	Ağ tipi şebeke; birçok uygulama gerçekleştiren süper ağ yönlendiricileri	Kolay ve uygun maliyetli kurulum; Yüksek güvenilirlik ve esneklik;	Veri yönetimi zor; lisanssız bantlarda düşük denetlenebilirlik; Standart yetersizliği; Sabit giderler
	WSN ve WPAN (IEEE 802.15.4)	Küçük çaplı uygulamalar; Ev, ofis ve akıllı enerji otomasyonu; Trafo merkezlerinde, endüstriyel tesislerde ve yerel üretim birimlerinde algılama ve izleme.	Kolay ve hızlı yayılım; Düşük maliyet; Yüksek taşınabilirlik; Kolay yapılandırma	Güç ve bellek kısıtları; Düşük veri hızı; Yüksek veri kaybı; Çok küçük kapsama alanı

[19] *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, IEEE Std. 802.11TM, 2007.

[20] J. Yick, B. Mukherjee, and D. Ghosal, "Wireless sensor network survey," *Computer Networks*, vol. 52, no. 12, 2008.

[21] K. Fowler, "The future of sensors and sensor networks survey results projecting the next 5 years," *Proc. IEEE Sensors Applications Symposium (SAS)*, New Orleans, LA, 17-19 Feb. 2009.

[22] B. Sundararaman, U. Buy, and A. D. Kshemkalyani, "Clock synchronization for wireless sensor networks: a survey," *Ad Hoc Networks*, vol. 3, no. 3, pp. 281-323, 2005.

[23] G. Anastasi, M. Conti, M. D. Francesco, and A. Passarella, "Energy conservation in wireless sensor networks: A survey," *Ad Hoc Networks*, vol. 7, no. 3, pp. 537-568, 2009.

[24] I. Demirkol, C. Ersoy, and F. Alagoz, "MAC protocols for wireless sensor networks: a survey," *IEEE Communications, Mag.*, vol. 44, no. 4, pp.115-121, Apr. 2006.

[25] M. Ali, A. Bohm, and M. Jonsson, "Wireless sensor networks for surveillance applications - a comparative survey of MAC protocols," *Proc. 4th IEEE International Conf. on Wireless and Mobile Communications*, Athens, 27 Jul/Aug. 2008, pp.399-403.

[26] H. Luo, Y. Liu, and S. Das, "Routing correlated data in wireless sensor networks: A survey," *IEEE Network*, vol. 21, no. 6, pp. 40-47, Nov.-Dec. 2007.

[27] E. Fasolo, M. Rossi, J. Widmer, and M. Zorzi, "In-network aggregation techniques for wireless sensor networks: a survey," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 14, no. 2, pp. 70-87, Apr. 2007.

[28] M. Kobayashi, H. Nakayama, N. Ansari, and N. Kato, "Reliable application layer multicast over combined wired and wireless networks," *IEEE Trans. Multimedia*, vol. 11, no. 8, pp. 1466-1477, Dec. 2009.

[29] P. Sakarindr and N. Ansari, "Security services in group communications over wireless infrastructure, mobile ad hoc, and wireless sensor networks," *IEEE Wireless Communications*, vol. 14, no. 5, pp. 8-20, Oct.2007.

[30] P. Baronti, P. Pillai, V. W. Chook, S. Chessa, A. Gotta, and Y. F. Hu, "Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards," *Computer Communications*, vol. 30 no. 7, pp. 1655-1695, 2007, wired/Wireless Internet Communications.

[31] J. Song, S. Han, A. Mok, D. Chen, M. Lucas, and M. Nixon, "Wireless HART: Applying wireless technology," *Proc. IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium (RTAS)*, St. Louis, MO, 22-24 Apr. 2008, pp. 377-386.

[32] V. Gungor and G. Hancke, "Industrial wireless sensor networks," *IEEE Trans. Ind. Electronic*, vol. 56, no. 10, pp. 4258-4265, Oct. 2009.