



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Türkiye elektrik iletim ve dağıtım şebekesinin enerji verimliliğinin değerlendirilmesi ve 2023 projeksiyonları

An assessment of transmission and distribution grid efficiency in turkey with projections to 2023

Yazar (Author): Bilal DÜZGÜN

ORCID: 0000-0001-9806-3373

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Düzgün B., “Türkiye elektrik iletim ve dağıtım şebekesinin enerji verimliliğinin değerlendirilmesi ve 2023 projeksiyonları”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 621-632, (2018).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.389604

Türkiye Elektrik İletim ve Dağıtım Şebekesinin Enerji Verimliliğinin Değerlendirilmesi ve 2023 Projeksiyonları

Araştırma Makalesi / Research Article

Bilal DÜZGÜN*

Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı (Teknoloji Fakültesi), Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 25.05.2017 ; Kabul/Accepted : 27.07.2017)

ÖZ

Ülkelerin ekonomik gelişmişlik düzeyi ile elektrik tüketimleri arasında genellikle doğru bir nedensellik ilişkisi olduğu kabul edilir. Fakat elektrik tüketiminin yüksek olmasına rağmen iletim ve dağıtım şebekesinde yüksek kayıp oranlarının bulunması birtakım sorunların varlığını da göstermektedir. Türkiye'nin 2016 yılında 278.3 milyar kWh'a yükselen brüt elektrik tüketiminin 2023 yılı için düşük talep senaryosuna göre 367.9 milyar kWh'e veya yüksek talep senaryosuna göre 407.9 milyar kWh'e ulaşması beklenmektedir. Bununla birlikte, Türkiye'nin iletim ve dağıtım şebekesinin toplam teknik ve teknik olmayan kayıp oranları OECD ortalamasının iki katından fazla olup 2015 yılında toplam tüketimin %14.2'sini oluşturmuştur. Bu çalışmada şebekedeki teknik ve teknik olmayan kayıpların azaltılarak enerji verimliliğinin artırılmasında dağıtık üretimin ve akıllı sayaçların rolü tartışılmış ve dağıtım şirketlerinin teknik etkinliklerinin hesaplanmasına yönelik veri zarflama analizi kullanılarak akıllı sayaç yatırımlarında önceliklendirilecek dağıtım bölgeleri belirlenmiştir. Yapılan analizler 2023 yılına kadar yapılacak yaklaşık 2.2 milyar Dolar yatırım sonucunda kayıp oranlarının %12.38 seviyesine düşürülebileceğini ve kayıp oranlarında Türkiye'nin OECD ortalamasına ancak 2030 sonrasında ulaşmasının mümkün olabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Enerji verimliliği, 2023 projeksiyonu, veri zarflama analizi, elektrik dağıtım şirketleri, dağıtık üretim.

An Assessment of Transmission and Distribution Grid Efficiency in Turkey with Projections to 2023

ABSTRACT

Although energy consumptions of countries can be considered as one of the basic indicators showing their development levels, having high level of electric power transmission and distribution (T&D) losses means serious problems exist both technically and non-technically in their power grids. Turkey's gross electricity consumption reached 278.3 billion kWh in 2016 and electricity demand is projected to increase 367.9 billion kWh in low-demand scenario or 407.9 billion kWh in high-demand scenario by 2023. However, T&D losses in Turkish electricity grid were 14.2% in 2015 which was more than twofold of OECD average. This paper provides an overview of the T&D losses in Turkey, highlights the growing role of the distributed generation and smart meters and prioritize distribution regions where smart meters can be implemented. The paper finds that T&D losses can be decreased from current level to 12.38% in 2023 by investing nearly 2.2 billion Dollars. Though reaching OECD level is very difficult task to achieve and apparently Turkey won't get OECD level before 2030, increasing the penetration of distributed generation and implementation of smart meters to decrease technical and non-technical losses can be the key solutions for increasing energy efficiency in the Turkish power grid.

Keywords: Energy efficiency, projections to 2023, data envelopment analysis, electricity distribution companies, distributed generation

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ülkelerin elektrik tüketimleri ekonomik büyümelerini belirleyen unsurlardan biri olarak kabul edilir. Bununla birlikte, elektrik iletim ve dağıtım şebekesinde yüksek kayıp oranlarına sahip olunması da şebekelerde teknik ve teknik olmayan birtakım önemli sorunlar olduğunu göstermektedir.

Elektrik şebekesindeki toplam kayıp miktarı şebekeye verilen enerji ile tahakkuk edilen enerji arasındaki farktan hesaplanmaktadır. "Kayıp" olarak ifade edilen

teknik kayıplar enerjinin aktarımı sonucu oluşan doğal bir durumdur ve asgari seviyelerde tutulması istenir. "Kaçak" olarak belirtilen teknik olmayan kayıplar ise sosyal, ekonomik, bölgesel, yönetsel, politik, altyapısal, güç kalitesi, güvenlik vb. birçok farklı parametreye bağlı karmaşık bir problemdir. Kayıp ve kaçak enerji miktarları birbirinden ayrıştırılmadığından genellikle birlikte kullanılırlar.

Elektrik iletim ve dağıtım şebekesindeki kayıpların azaltılmasına yönelik literatürde farklı çalışmalar yer almaktadır. Suriyamongkol (2002) ve Piercy ve Cress (2007) çalışmalarında iletim ve dağıtım şebekesindeki teknik kayıpları bir sınıflandırma içerisinde sunmuştur.

Sorumlu Yazar (Corresponding author)
e-posta : bilalduzgun@gmail.com

[1,2]. IEC (2007) teknik kayıpların azaltılmasına yönelik ekipman temelinde yayımladıkları teknik standartlara uyulmasının önemine dikkat çekmiştir [3]. Neme ve Sedano (2012) şebekedeki teknik kayıpların azaltılmasına yönelik ABD deneyimlerinden elde ettikleri bulgularında coğrafi koşulların verimlilik artırıcı çalışma maliyetlerine doğrudan etki ettiğini, verimli bir işletme açısından uzun dönemli planlama yapılması ve verimlilik çalışmalarının talep tarafı yönetimi ve dağıtık üretim ile birlikte ele alınması gerektiği sonucuna varmıştır [4].

Elektrik şebekesindeki teknik olmayan kayıplara bakıldığında, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelere kaçak elektrik kullanımının farklı nedenlere dayandığı görülmektedir. Örneğin, ABD ve Kanada'da yüksek enerji tüketen hint keneviri üretiminin gizlenmesi adına yetiştiricilerin elektriği kaçak olarak kullanma yoluna gittikleri bildirilmektedir [5]. Hindistan'da ise düşük gelir düzeyine sahip hanelerin elektrik hırsızlığı yapan mafyalara başvurarak mevcut elektrik tarifesine göre daha cüzi olan aylık sabit bir ücret ödeme karşılığında kaçak elektriği kullanmayı tercih ettikleri ortaya çıkmıştır [6]. Jimenez, Serebrisky ve Mercado (2014) çalışmalarında Latin Amerika bölgesinde her yıl toplam üretilen elektriğin %17'sinin kayıp ve kaçağa gittiğini belirtmektedir [7]. Dünya genelinde ise sadece kaçak elektrik kullanımından dolayı yıllık 25 milyar Dolar zarar edildiği tahmin edilmektedir [8].

Teknik olmayan kayıpların azaltılmasına yönelik uygulanan konvansiyonel tedbirlerin yanı sıra literatürde bazı radikal öneriler de yer almaktadır. Örneğin, Depuru, Wand ve Devabhaktuni (2011) tasarladıkları sistem ile elektriği kaçak olarak kullananların elektrikli ev aletlerine harmonik bileşenler üretilerek zarar verilmesini önermektedir. Tasarladıkları sistem şu şekilde çalışmaktadır; öncelikle aboneleri akıllı sayaçla donatılan dağıtım şebekesinin planlı olarak elektriği kesilmektedir, ardından kaçak elektrik kullananların elektrikli ev aletlerini bozmaya yönelik ilgili şebeke bir harmonik generatörüyle beslenilmekte ve böylelikle dağıtım hattında istenmeyen harmonik bileşenler üretilmektedir. Bu bileşenler de elektriği kaçak olarak kullanan tüketicilerin ekipmanlarına zarar verilmesini sağlamaktadır [8].

Türkiye'nin kayıp ve kaçak ile mücadelesi Sanlı (2016) tarafından 1960'lı yıllardan günümüze kadar olan süreçte ele alınmış ve kamu hizmetlerine ilişkin mevzuat ve işleyişin şekillendirilmesinde hangi ekonomik modelin seçilmesi gerektiği sorusuna cevap aramıştır [9]. Adak (t.y.) kaçak kullanma yöntemlerini irdeleyerek kaçak elektrik kullanımının önüne geçilmesine yönelik sayaçların direklerle monte edilmesinden dağıtık üretimin teşvik edilmesine kadar bir dizi öneri getirmiştir [10]. Yaşar, Aslan ve Biçer (2010) çalışmalarında teknik kayıplara odaklanarak bir dağıtım transformatörü bölgesindeki kayıpları yer üstü ve yer altı sistemlerin fizibilitesini yaparak ortaya koymuş, kaçak elektriğin önlenmesi ve görüntü kirliliğinin önüne geçilmesi için yer altı sistemlerinin uygulanmasını önermiştir [11].

Her ne kadar bugüne kadar yapılan çalışmalar kayıp ve kaçağın azaltılmasına yönelik yapılabilecekleri detaylı bir biçimde inceliyor olsa da geleceğe yönelik politika kuruculara yön gösterecek bir projeksiyon çalışması literatürde rastlanamamıştır. Bu kapsamda, çalışmanın ikinci bölümünde teknik ve teknik olmayan kayıpların nedenleri irdelenmiş, üçüncü bölümünde Türkiye'nin genel durumu ortaya koyularak değerlendirmelere yer verilmiş ve dördüncü bölümde Türkiye'nin 2023 yılı hedefleri doğrultusunda elektrik dağıtım ve iletim şebekesindeki kayıp ve kaçak oranlarının azaltılmasına yönelik üç farklı senaryo ile analizler yapılarak sonuçları tartışılmıştır. Beşinci bölümde ise 21 dağıtım şirketinin 2015 yılı verileri kullanılarak Veri Zarflama Analizi ile etkinlik değerleri hesaplanmış ve öncelikle yatırım yapılması gereken dağıtım bölgeleri belirlenmiştir.

2. ELEKTRİK ŞEBEKESİNDEKİ TEKNİK VE TEKNİK OLMAYAN KAYIPLAR (TECNICAL AND NON-TECHNICAL LOSSES IN POWER GRID)

Elektrik iletim ve dağıtım şebekesinin enerji verimliliğini teknik ve teknik olmayan kayıplar belirlemektedir. Sistemin teknik kayıpları, sabit ve değişken olarak iki başlık altında incelenebilir. Transformatörlerin nüvelerinde oluşan histerezis ve fuko kayıpları, havai hattı izolatörlerindeki kaçak akım kayıpları, iletkenlerdeki korona kayıpları ve kablolardaki dielektrik kayıpları sabit teknik kayıplar olup sistemin kalitesine bağlıdır ve yük akışından bağımsız olarak gerilimin karesi ile orantılı olarak artmaktadır. Değişken teknik kayıplar ise yük akımına bağlı olarak ilgili bölümün direnci ile orantılı olan kayıplardır. Ayrıca üretim kaynağına olan uzaklık ve demografik yapı da maliyetleri ve kayıpları artıran diğer bir önemli unsurdur.

Teknik olmayan kayıplar, elektriğin tedarikçi tarafından etkin olarak dağıtılmasına rağmen nihai kullanıcılar tarafından ödenmemesi ile oluşur. Bu kayıplar; kaçak elektrik kullanımı, ölçüm cihazlarında oynama yapılarak endeksin kasten yanlış gösterilmesi, denetim eksikliği sonucu alınmayan endeks ve endeksin yanlış ya da hatalı hesaplanması gibi unsurları içermektedir.

2.1 Teknik Kayıplar (Technical Losses)

Elektrik üretim tesisinden nihai kullanıcıya kadar olan elektrik enerjisinin aktarıldığı süreç içerisinde üretim tesisi ile yükseltici şalt sahası arasındaki mesafenin kısa olmasından dolayı -iletken uzunluğu da az olacağından- enerji kayıpları nispeten düşük olmaktadır. Fakat bu durum, kilometrelerce uzunluğa sahip orta ve alçak gerilim hatlarını barındıran ve indirici şalt sahaları ile nihai kullanıcıları kapsayan dağıtım şebekesi için geçerli değildir.

Kabul edilebilir toplam iletim hattı kaybı 50 kW/km olup genellikle omik kayıplardan kaynaklanmaktadır. Özellikle gerilimdeki dalgalanmalarla birlikte artan korona kayıpları ise 0-20 kW/km aralığındadır. Bu kayıplar yıl boyunca iletim hattında iletilen elektrik enerjisinin %2-3 oranında harcanmasına neden olur [12].

Dağıtım hattı kayıpları ise 0.4 kV için yer üstü hatlarda 26.1-86.4 kW/km ve yer altı hatlarda 42.8-75.7 kW/km mertebelerindedir [12]. Yüksek sıcaklıkta çalışan süper iletkenlerin kullanımı ile iletken kayıplarının minimize edilebileceği yakın gelecekte öngörülmektedir. Henüz günümüzde süper iletkenler en sıcak -135°C'de çalıştırılabilmektedir.

Elektrik iletim ve dağıtım şebekesindeki en önemli ikinci teknik kayıplar transformatörlerde oluşmaktadır. Malzeme bilimindeki gelişmelerle birlikte geçtiğimiz yüzyılda önemli ilerlemeler kaydedilerek transformatör nüvesindeki (50 Hz'de) demir kayıpları 1895 yılındaki 6.00 W/kg değerinden günümüzde (amorf HB1 kullanımı ile) 0.20 W/kg'a kadar düşürülmüştür [13].

Yükseltici ve indirici şalt sahalarındaki güç transformatörlerinin verimi transformatörün yüklenme oranına göre değişmekle birlikte %99 mertebelerine kadar ulaşabilmektedir. Orta ve alçak gerilim transformatörleri farklı türlerde imal edilmekte ve yine yüklenme oranına bağlı olarak verimlilikleri %90-98 oranı arasında değişmektedir. Elektrik iletim ve dağıtım şebekesi işletmecilerinin transformatörlerde belirlenecek asgari performans kriterlerine bağlı olarak satın almalarını yapmaları uzun dönemde önemli oranda enerji tasarrufu vaat etmektedir.

Ayrıca, transformatörlerin düşük veya aşırı yüklenmeleri ve şebekedeki akım ve gerilim harmonikleri enerji kayıplarının artmasına neden olmaktadır. Elektrik iletim ve dağıtım şebekesinde yer alan diğer ekipmanlar kaynaklı enerji kayıpları Çizelge 1'de listelenmektedir.

2.2 Teknik Olmayan Kayıplar (Non-Technical Losses)

Teknik olmayan kayıpların elektriğin tarihi kadar eski bir konu olduğunu yüzyıl önce Edison Aydınlatma Şirketleri Birliği'nin sayacın iç mekanizması ile oynanmaması için önerdiği yöntemlerden anlaşılmaktadır [9].

Başlıca kaçak elektrik kullanımı; dağıtım fiderinden kablo çekilmesi, sayacın tahrif edilmesi veya müdahale

dönüştürme oranını gösteren etiketi tahrif etmeleri ve tarımsal sulama amaçlı pompaların işletilmesinde elektrik hırsızlığı yapacakların -kendi getirdikleri transformatörlerin beslenmesi için- dağıtım hattına çengel atmaları gibi yöntemlerle de elektrik kaçak olarak kullanılabilirlerdir.

Depuru, Wand ve Devabhaktuni (2011) kaçak elektrik kullanımının altında yatan sebepleri şu tespitleriyle sıralamaktadır; komşudan bir şey çalınmasının günah, fakat devletten/özel sektörden çalınmasının mubah karşılanması, işsizlik oranının artması, tüketicilerin ekonomik yönden güçlü bir durumda olmamaları, okuma-yazma oranının düşük olması nedeniyle kanuni yükümlülük ve cezai yaptırımlardan bilgi sahibi olunmaması, mevcut cezai yaptırımların yeterli olmaması, elektrik tarifelerinin yüksek olması, kaçağa karşı mücadelenin diğer bazı politik sebepler nedeniyle azaltılması, sayaç okuyanların yozlaşması vb. [8].

Kaçak elektrik kullanımı sonucunda dağıtım hatlarında aşırı yüklenme ve gerilim yükselmeleri görülebilmekte, puant zamanlarda kesintiler oluşabilmektedir. Gerilim seviyesinin yükselmesi, dağıtım şebekesine bağlı tüm tüketicilerin elektrikli ev aletleri gibi hassas ekipmanlarının zarar görmesine neden olabilmektedir. Normalde dağıtım hattı boyunca gerilim seviyesinin istenilen aralıklarda kalmasının sağlanması ve güç faktörünün düzeltilmesi amacıyla reaktif güç kontrolü gerekebileceği durumlar hasıl olabilir, fakat kaçağın boyutu ve güç akışının ne yönde olacağı bilinemeyeceğinden kompanzasyon seviyesinin tespiti de mümkün olmayacaktır.

Kaçığın tahmin edilmesine yönelik; dağıtım transformatörlerinin sekonder tarafına gözlem sayaçları konularak okunan toplam elektrik tüketimi ile kıyaslanması, hat empedansı yöntemi ile yük empedansındaki değişimden kaçak elektrik kullananların tespiti, Genetik Algoritma Destek Vektör Makineleri yöntemi ile tüketicilerin yük profilleri toplanarak

Çizelge 1. Elektrik Şebeke Elemanlarındaki Enerji Kayıpları [12] (Energy Losses in Miscellaneous Grid Elements)

Elektrik Şebeke Elemanları	Enerji Kaybı [İletilen/Dağıtılan Elektriğin % Oranı Olarak]
Şalt Tesisleri: 132 kV ve Üstü	0.001 – 0.008
Şalt Tesisleri: 33 kV - 66 kV	0.005 – 0.020
Şalt Tesisleri: Alçak Gerilim	0.130 – 0.340
Alçak Gerilim ve Orta Gerilim Sayaçları	0.300 – 0.600
Kesiciler	0.003 – 0.030
Alçak Gerilim Baraları	0.050 – 0.500
Alçak Gerilim Demir Bağlantı Elemanları	0.00009 – 0.0014
Alçak Gerilim Alüminyum Bağlantı Elemanları	0.00004 – 0.0008

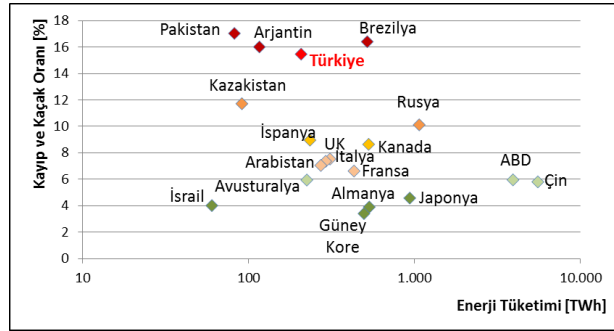
edilerek yazmasının engellenmesi, ölçü devrelerine müdahale edilerek sayacın eksik veya hiç yazmaması gibi yöntemlerle yapılmaktadır. Enerji tüketimi yüksek olan birtakım işletmecilerin akım transformatörlerindeki

tüketicilerin enerji tüketimlerine göre gruplandırılması ve yük eğrisindeki anomaliliklerin tespit edilmesi gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır.

3. TÜRKİYE’NİN ELEKTRİK İLETİM VE DAĞITIM ŞEBEKESİNİN ENERJİ VERİMLİLİĞİ (ENERGY EFFICIENCY OF TURKEY’S TRANSMISSION AND DISTRIBUTION GRID)

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) tarafından işletilen elektrik iletim sistemi 58.002,8 km enerji iletim hattı uzunluğuna, 708 iletim merkezine, 142.649 MVA trafo gücüne ve komşu ülkelerle toplam 12 adet enterkoneksiyon hattına sahiptir [14]. Elektrik dağıtım sistemi ise 142.351 MVA transformatörü kurulu gücü ve 1.100.000 km aşan dağıtım hattı uzunluğu ile Avrupa’nın en büyük üçüncü şebekesi konumundadır [15,16].

Türkiye’nin 2016 yılında 278.3 milyar kWh’a erişen brüt elektrik tüketiminin 2023 ve 2030 yıllarında sırasıyla düşük durum senaryosuna göre 367.9 ve 468.4 milyar kWh’e ve yüksek durum senaryosuna göre 407.9 ve 592.8 milyar kWh’e ulaşacağı öngörülmektedir [17]. Bununla birlikte, 2015 yılında elektrik şebekesindeki kayıplar toplam üretimin %14.2’si olarak gerçekleşmiştir. Bu oran OECD ortalaması olan %6.4’ten ve Şekil 1’den de görülebileceği üzere seçilmiş ülkelerden önemli oranda yüksektir.



Şekil 1. Seçilmiş Ülkelerin İletim ve Dağıtım Şebekelerindeki Kayıp ve Kaçak Oranları* (Theft and Loss Ratio in T&D Grids in Selected Countries)

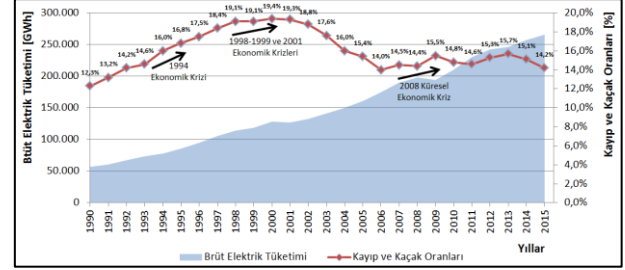
* Dünya Bankası veri tabanındaki mevcut güncel veriler kullanılarak oluşturulmuştur. Veri setleri 2013 ve 2014 yıllarına aittir.

- Okuma kolaylığı açısından “y” eksenini logaritmik olarak düzenlenmiştir.

Yıllara göre arz ve talep dengesine bağlı olarak değişim gösteren ve 2015 yılında %2.1 olarak gerçekleşen iletim şebekesi kayıplarının enerji üretim kaynakları ile enerji yoğun bölgeler arasındaki mesafe ve uluslararası normlar olan %2-3 seviyeleri göz önüne alındığında gelişmiş ülkeler düzeyinde olduğu görülmektedir. Elektrik dağıtım şebekesinin kayıpları ise elektrik tüketiminin %12.1’i olarak gerçekleşmiştir.

Elektrik dağıtım şebekesindeki kayıp ve kaçak oranlarının azaltılmasına yönelik hedefler ilk kez 2006-2010 yıllarını kapsayan 5 yıllık dönem için -o zamanlar Kayseri Elektrik Dağıtım haricindeki kamuya ait olan 20 bölgeyi kapsayacak biçimde- belirlenmiştir. 2010 yılında %10.88 olması öngörülen kayıp ve kaçak oranı %15.68 olarak, 2011-2015 yıllarını kapsayan ikinci uygulama dönemi sonunda ise %10 olması hedeflenen kayıp ve

kaçak oranı %14.20 olarak gerçekleşmiştir. Şekil 2’den de görülebileceği üzere kayıp ve kaçak oranları 1994, 1998-1999 ve 2001 krizlerinde önemli yükselişler göstermiş ve son 25 yıllık dönem içerisinde 2000 yılında %19.4 ile zirve yapmıştır.



Şekil 2. 1990-2015 Yılları Arası Türkiye’nin Brüt Elektrik Tüketimi ve Kayıp ve Kaçak Oranları* (Turkey’s Gross Electricity Consumption and Theft & Loss Ratio for 1990-2015)

*TEİAŞ istatistiklerinden derlenerek hazırlanmıştır.

26 Kasım 2015 tarihli EPDK Kurul Kararı ile "Elektrik Dağıtım Şirketlerinin Hedef Kayıp Oranlarının Belirlenmesine İlişkin Usul ve Esaslar" yayımlanmış, dağıtım bölgelerinin kayıp ve kaçak oranları son üç yıllık dönemlerine ait ağırlıklı ortalamalarına ve Kurul tarafından belirlenen eşik değere bağlı bir formülasyonla düzenlenmiştir.

Dağıtım şebekesindeki kayıp oranları alınan tedbirlere rağmen hedeflenen düzeylere erişememiştir. Özellikle bazı dağıtım bölgelerinde kayıp ve kaçak oranları Çizelge 2’de de gösterilmekte olduğu üzere yüksek düzeylerde seyretmektedir.

2015 yılı için kaçak elektrik kullanımının Türkiye’ye maliyeti brüt elektrik tüketiminden faturalandırılan elektrik tüketim miktarı (EPDK tarafından yayımlanan Elektrik Piyasası 2015 Yılı Piyasa Gelişim Raporunda 193,427 GWh olarak verilmektedir) çıkartılarak bulunabilir. Bununla birlikte, kaçak elektrik tüketim miktarı kayıptan ayrıştırılmadığından toplam kayıp ve kaçak oranı içerisindeki kayıp oranının %5 ila 7 arasında olduğu varsayımı ile -2015 yılı ortalama Piyasa Takas Fiyatı (PTF) 144 TL/MWh dikkate alınarak- kaçak elektrik kullanımı sonucu Türkiye’nin yıllık 3.5 ila 5.1 milyar TL arasında parasal kaybı olduğu tahmin edilmektedir. Buna dağıtım sistemi kullanımına ilişkin bedeller, vergi ve fonlar ilave edildiğinde ise 5.8 ila 8.5 milyar TL arasında bir parasal kaybın olduğu görülmektedir. Kaçak elektrik maliyeti 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile 2020 yılı sonuna kadar ulusal tarife uygulaması yapılarak fiyat eşitleme mekanizması uygulanması hükmü altında faturalarını ödeyen tüketiciler üzerinden tahsil edilmektedir.

Dağıtım şebekesinde kaçak oranının asgariye indirilmesi amacıyla şebekenin gerçek zamanlı olarak izlenmesini ve kumanda edilmesini sağlayan ve yük analizi, yük tahmini ve akışı, kısa devre etüdü, gerilim düşümü, güç kaybı hesapları ve bakım yönetimini sağlayarak sistemin etkin biçimde işletilmesi ile şebeke kapasitesinin etkin

kullanımını, bakım sürelerinin ve arızaya müdahalenin kısaltılmasını sağlayarak kayıpların azaltılmasını sağlayan SCADA/DMS (Denetimsel Veri Kontrol ve Toplama/Dağıtım Yönetim Sistemi; Supervisory Control and Data Acquisition) ve abonelik işlemlerini, kaçak işlem takibi, GPRS üzerinden endeks okuma, açma ve kesme gibi mevcut durumda farklı çalışmalar yürütülmektedir.

Çizelge 2. Elektrik Dağıtım Bölgeleri İçin Belirlenen Kayıp ve Kaçak Hedefleri ve Gerçekleşme Durumları (Theft & Loss Targets and Realization Rates for Distribution Companies)

Elektrik Dağıtım Şirketi	2010		2015		2016
	Hedef	Gerçek	Hedef	Gerçek	Hedef
Dicle	36.83	65.25	72.52	72.12	71.62
Vangözü	35.35	57.15	59.68	59.70	60.16
Aras	17.95	25.62	25.63	26.60	31.68
Çoruh	11.70	11.96	10.15	9.28	9.35
Fırat	10.95	12.58	10.09	10.44	9.74
Çamlıbel	8.74	7.01	6.92	7.06	7.93
Toroslar	9.06	7.90	11.71	12.5	13.59
Meram	8.43	9.50	8.28	7.30	7.90
Başkent	8.23	8.22	7.88	7.00	8.00
Akdeniz	7.84	9.94	8.02	7.02	9.66
GDZ	7.80	7.49	7.00	7.36	8.47
Uludağ	6.10	6.39	6.90	6.94	7.55
Trakya	6.24	6.85	7.70	7.39	7.15
Ayedaş	6.57	6.92	6.61	7.00	7.61
Sakarya	6.54	6.81	6.33	6.68	7.42
Osmangazi	6.48	6.92	7.21	7.62	7.77
Boğaziçi	10.57	10.89	9.78	9.44	9.60
KCETAŞ	10.05	7.04	10.01	5.25	7.44
ADM (Menderes)	7.49	8.65	8.09	7.03	7.92
Akedaş (Göksu)	11.76	7.31	10.03	4.98	7.46
Yeşilirmak	10.59	13.54	8.78	7.90	8.50
TÜRKİYE TOPLAM	10.88	15.68	10.00	14.20	

[18]'den derlenerek hazırlanmıştır.

- Verilen rakamlar yüzde cinsinden olup, boyalılarından mavi olanlar EPDK tarafından hedeflerin yıllar içerisinde revize edildiğini, kırmızı olanlar hedeflere ulaşamadığını, yeşil olanlar ise hedeflerin başarıldığını göstermektedir.

Elektrik iletim ve dağıtım şebekesindeki teknik kayıpların azaltılarak enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik üretim tesislerinin performans şartları, jeneratör kontrol düzenekleri, kompanzasyon sistemleri ve talep kontrolü gibi hususlar Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliği ile ve güç kalitesine etki eden gerilim, frekans, harmonik, fliker şiddeti, reaktif ve aktif güç oranları, devre dışı olma ve N-1 gibi hususlar ise Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği ile düzenlenmiştir.

İlaveten, yük eğrisinde puant güç talebinin zamana bağlı olarak kaydırılarak iletim ve dağıtım sistemlerindeki kayıpların azaltılmasına yönelik “çok zamanlı elektrik tarifesi” uygulanmaktadır. Bunun dışında, mevcut durumda sadece Yunanistan ve Bulgaristan ile olan senkron paralel çalışmanın gerek kapasitesinin artırılması gerekse diğer bölgelerle olan ithalat ve

ihracatın artırılması yük eğrisindeki puant noktaların kontrol edilmesine imkan sağlayacaktır. Talep tarafı yönetimi uygulamaları ile de talebin azaltılarak veya talebin zamana bağlı kaydırılması sayesinde hem kaynakların etkin bir biçimde kullanılması hem de tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi sağlanacaktır.

4. İLETİM VE DAĞITIM ŞEBEKESİNDE KAYIP VE KAÇAK ORANLARINA YÖNELİK 2023 PROJEKSİYONLARI (PROJECTIONS TO 2023 FOR TRANSMISSION AND DISTRIBUTION LOSSES)

2023 yılına gelindiğinde elektrik iletim ve dağıtım şebekesindeki kayıp ve kaçak oranlarının seyrini görebilmek adına düşük (mevcut durumun devamı), orta ve yüksek senaryo olmak üzere 3 farklı senaryo geliştirilmiş, gerekli mevzuat çalışmalarının 2018 yılında bitirilerek yatırımların 2019 yılı itibarıyla yapılmaya başlanacağı varsayılmıştır. Geçmiş deneyimler dağıtım şirketlerinin EPDK tarafından belirlenen hedeflerin gerisinde kaldığını gösterdiğinden, mevcut durumunun devamı senaryosu için dağıtım şirketlerine yönelik belirlenen hedefler üzerinden gidilmesinin yanı sıra sonuçlar verebileceği düşünülerek sadece dağıtık üretim kapsamında sağlanabilecek ilerlemeler hesaplamalara dahil edilmiştir. Orta durum ve yüksek durum senaryolarında mevzuat düzenlemeleri ile dağıtık üretimin teşvik edileceği ve geniş çaplı akıllı sayaç yatırımlarının yapılacağı varsayılmıştır.

Teknik kayıpların azaltılmasına yönelik yapılan analizlerde içinde üretimin teşvik edildiği lisanssız elektrik üretimi dikkate alınmıştır. Rüzgâr, jeotermal ve biyokütle enerji kaynakları Türkiye’de genellikle lisanslı elektrik üretimi kapsamında kullanıldığından, dağıtık üretimin yaygınlaştırılmasında kojenerasyon ve çatı uygulamalarını kapsayan güneş santralleri yatırımlarının gelişimleri hesaplamalara dâhil edilmiştir. Mevcut iletim ve dağıtım hatlarının yeniden tasarımının yapılmasının ve transformatörlerde yüklenme analizlerinin ve verimlilik değerlerinin tespitinin yapılarak bir yatırım programına dahil edilmesinin, 2023 yılına kadar olan döneme kadar -iletim ve dağıtım kayıplarının minimize edildiği- dağıtık üretimin sağlayacağı faydanın yanında sınırlı bir etkiye sahip olacağı değerlendirildiğinden hat, transformatör vb. yatırımlar analiz kapsamı dışında bırakılmıştır.

Dağıtık üretimin yaygınlaşmadığı bir ortamda artan enerji talebinin karşılanması için yeni kurulacak üretim santrallerinin tüketimin yoğun olduğu bölgeler yerine enerji kaynağına yakın olan ve muhtemelen de tüketim noktasına uzak bölgelere kurulması tercih edileceği söylenebilir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın 2017-2037 elektrik tüketimi projeksiyonları dikkate alınarak ülkenin artan enerji ihtiyacının temsili uzakta yer alan bir kombine çevrim elektrik üretim santralinden karşılanacağı varsayılmış ve enerjinin tüketim yoğun bölgelerden uzakta üretilmesi durumunda gerekecek enerji ihtiyacı ile dağıtık üretimden sağlanacak elektrik

üretimi arasındaki farktan engellenebilecek teknik kayıp miktarları hesaplanmıştır.

Dağıtık üretim kapsamında güneş enerjisi kurulu gücü tahmini yapılırken Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planında belirtilen 2023 yılında 5 GW'lık güneş enerjisine erişilmesi hedefi referans alınmıştır. Bu hedefin 2 GW'lık bölümünün yerinde üretim amacıyla yapılacağı kabul edilmiş ve bu durum yüksek durum senaryosu olarak adlandırılmıştır. Lisansız güneşten elektrik üretiminde önemli bir maliyet kalemi olan statik proje ile ilgili yasal prosedürlerin esnetilmesi, apartman veya site karar defterlerinin güneş enerjisine dayalı üretim tesisi kurulabileceğine dair karar ile başvuru yapabilesinin önünün açılması ve kur dalgalanmalarından etkilenmeyi azaltacak aylık bazda kWh üzerinden mahsuplaşmanın uygulanması gibi piyasadaki mevcut engellerin ortadan kaldırılacağı düşünülmüş ve bunun sonucunda yapılacak düzenlemelerle birlikte yıllık ortalama 5 bin ila 40 bin bina eşdeğerinin güneş çatı uygulamalarına yatırım yapacağı değerlendirilerek senaryolar tasarlanmıştır. Ayrıca, dağıtık üretimin enerji tüketiminin yüksek olduğu İstanbul, İzmir, Kocaeli, Ankara ve Bursa gibi şehirlerde öncelikle uygulanacağı varsayılarak güneşten elektrik üretiminde kapasite faktörü 0.165 alınmıştır.

Kojenerasyon sistemlerinin ise yüksek verimli kojenerasyon olarak çalışacağı öngörüsü ile

"Kojenerasyon ve Mikrokojenerasyon Tesislerinin Verimliliğinin Hesaplanmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Tebliğ" de belirtilen en az 6,000 saatlik üretim şartı dikkate alınmıştır. Mevcut durumun devamı senaryosunda "yüksek verimli kojenerasyon belgesi" alan işletmelerin yıllık toplam kurulu güçleri dikkate alınmış ve gelecek yıllarda da aynı yönelimin devam edeceği varsayılmıştır.

Artan enerji talebinin karşılamasında dağıtık üretim yerine temsili uzakta kurulacak santralin yıllık çalışma süresi olarak Düzgün (2015) tarafından Türkiye'deki kurulu gücü 100 MW ve üzeri 64 termik santralde yapılan çalışmada hesaplanan 6.588 saat referans alınmıştır [19].

Yatırım maliyeti hesabı yapılırken yerinde üretimde kullanılacak güneş ve kojenerasyon ile temsili uzaktan üretim yapacak termik santral için sırasıyla 1.20 milyon ABD Doları/MW, 0.84 milyon ABD Doları/MW ve 1.00 milyon ABD Doları/MW yatırım ihtiyacı olacağı varsayılmıştır. Elde edilecek tasarrufun parasal değerinin hesaplanmasında ise 2015 yılı ortalama PTF kullanılmıştır. Teknik kayıpların hesaplanmasında yüksek, orta ve düşük durum senaryolarında kullanılan varsayımlar Çizelge 3'te özetlenmektedir.

Çizelge 3. İletim ve Dağıtım Şebekesindeki Teknik Kayıpların Azaltılmasına Yönelik Dağıtık Üretimin Yaygınlaştırılması ile Sağlanacak Tasarrufun Hesaplanmasında Kullanılan Varsayımlar
(Assumptions for Calculation of Monetary and Energy Savings by Extending Distributed Generation to Decrease Technical Losses in the T&D Grid)

	Yıllar	Kurulacak Güneş [MW]	Kurulacak Kojen. [MW]	Öngörülen Toplam Dağıtık Üretim [MWh]	Şebeke Kayıplarında Hesaplanan Azaltım Oranı [%]	Güneş Yatırımı [mil. Dolar]	Kojen. Yatırımı [mil. Dolar]	Uzakta Üretim Yatırımı [mil. Dolar]
YÜKSEK DURUM SENARYOSU	2019	400	200	1,804,560	0.0498%	479.12	167.48	298.06
	2020	400	200	1,804,560	0.0472%	479.12	167.48	297.91
	2021	400	200	1,804,560	0.0448%	479.12	167.48	297.77
	2022	400	200	1,804,560	0.0425%	479.12	167.48	297.62
	2023	400	200	1,804,560	0.0404%	479.12	167.48	297.48
ORTA DURUM SENARYOSU	2019	250	150	1,281,150	0.0353%	299.45	125.61	211.61
	2020	250	150	1,281,150	0.0336%	299.45	125.61	211.53
	2021	250	150	1,281,150	0.0319%	299.45	125.61	211.46
	2022	250	150	1,281,150	0.0304%	299.45	125.61	211.39
	2023	250	150	1,281,150	0.0289%	299.45	125.61	211.31
DÜŞÜK DURUM SENARYOSU	2019	50	100	685,470	0.0189%	59.89	83.74	113.22
	2020	60	100	699,924	0.0184%	71.87	83.74	115.58
	2021	70	100	714,378	0.0179%	83.85	83.74	117.95
	2022	80	100	728,832	0.0174%	95.82	83.74	120.31
	2023	90	100	743,286	0.0169%	107.80	83.74	122.67

Teknik olmayan kayıpların azaltılmasında ise temel uygulama aracı olarak akıllı sayaç yatırımları ele alınmıştır. Akıllı sayaçlar, bilgi ve iletişim teknolojileri ile sensörler gibi elemanlara ihtiyaç duyan ve akım akışının izlenmesini ve kontrolünü sağlayan ekipmanlardır. Akıllı sayaç yatırımları elektrik tüketimini daha görünür hale getirdiğinden ve kontrol imkânı sağladığından enerji tasarrufunun sağlanmasına yardımcı olmakta, kesinti sonrası sistemin daha hızlı toparlanmasına, teknik ve teknik olmayan kayıpların azaltılmasına, faturalandırmalardaki hataların en aza indirilmesine yardımcı olmakta ve işçilik masraflarının aşağı çekilmesine olanak sağlamaktadır.

Bir dağıtım işletmecisi ile yapılan kişisel görüşmede kaçığın engellenmesine yönelik uygulanan konvansiyonel tedbirlerin maliyeti ile akıllı sayaç yatırımının maliyetinin birbirine yaklaşık olacağı değerlendirilmiştir. Kaçığın önlenmesine yönelik yaptıkları bir çalışmada 4 milyon TL'lik yatırım karşılığında pilot bölgedeki kullanılan kaçak elektriğin %60'ının tahakkuka dönüştüğü bilgisi alınmıştır. Buradan hareketle, kaçak elektrik kullanımını bırakarak fatura ödemeye başlayan tüketicilerin enerji tüketimlerini %40 oranında düşürdükleri görülmüştür. Analizlerde daha tutucu bir yaklaşım ele alınarak elektriği kaçak olarak kullananlara akıllı sayaç takıldığında %30 enerji tasarrufu sağlayacakları varsayılmış ve kaçak kullanım durumunda tüketici başına ortalama yıllık 3,000 kWh elektrik tüketeceği kabul edilmiştir. Söz konusu kabulde, Ediger ve ark. (2016) yaptıkları anket çalışmasında katılımcıların %78'inin aylık 50-150 TL elektrik faturası ödedikleri bilgisi dikkate alınmıştır [20]. Diğer taraftan bu değer belirlenmesinde, elektriği kaçak kullananların düşük gelir grubuna sahip olmalarından dolayı buzdolaplarının 1990'lı yıllarda imal edildiği, buzdolabı başına yıllık 1,000 kWh enerji tüketileceği ve buzdolabının da bir evde kullanılan elektrik enerjisinin ortalama üçte birinden sorumlu olacağı kabulleri göz önünde bulundurulmuştur.

Yüksek ve orta durum senaryolarında yatırım planına dâhil edilecek sayaç miktarı hesaplanırken dağıtım bölgelerinde tahmini kaçak abone sayıları hesaplanmış ve sayaç yatırımının Dicle, Vangölü ve Aras gibi kaçak tüketici oranı yüksek dağıtım bölgelerinde yıllara göre artan bir yatırım planı dâhilinde yapılacağı varsayılmıştır. Akıllı sayaç maliyeti ise haberleşme altyapısı ve yazılım dâhil 225 Dolar olarak kabul edilmiştir. Mevcut durumun devamı senaryosu için akıllı sayaçların yaygınlaştırılmasına yönelik yapılacak fayda-maliyet analizinin negatif çıkması veya yatırım programının diğer başka sebepler nedeniyle uygulamaya geçirilemeyeceği varsayılarak 2023 yılına kadar yatırım yapılması öngörülmemiştir. Bu nedenle dağıtım şebekesindeki teknik olmayan kayıpların azaltılmasına yönelik akıllı sayaçların yaygınlaştırılması sayesinde sağlanacak tasarrufun hesaplanmasında kullanılan varsayımlar verilirken herhangi bir yatırım yapılması öngörülmeden düşük durum senaryosuna Çizelge 4'te yer verilmemiştir.

Çizelge 4. İletim ve Dağıtım Şebekesindeki Teknik Olmayan Kayıpların Azaltılmasına Yönelik Akıllı Sayaçların Yaygınlaştırılması Sayesinde Sağlanacak Tasarrufun Hesaplanmasında Kullanılan Varsayımlar (Assumptions for Calculation of Monetary and Energy Savings by Implementing Smart Meters to Decrease Non-Technical Losses in the T&D Grid)

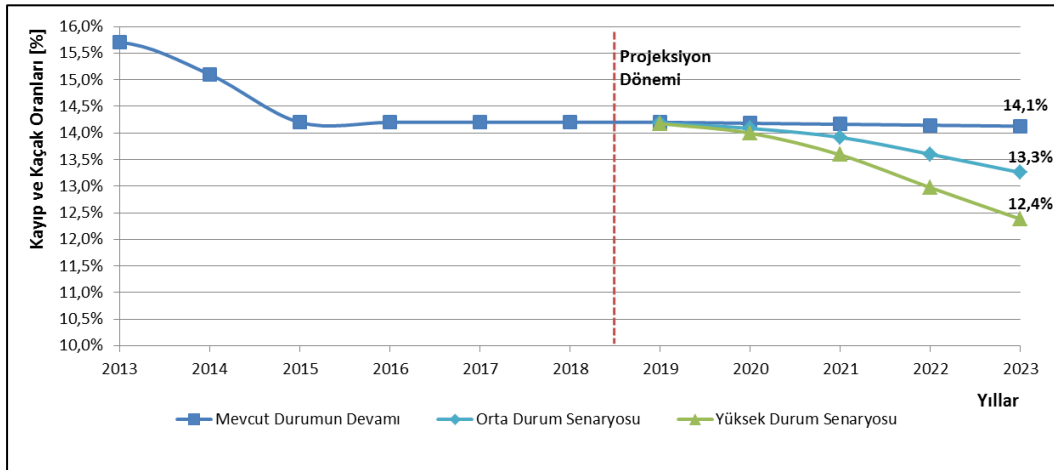
	Yıllar	Kurulması Planlanan Akıllı Sayaç Sayısı	Akıllı Sayaçlar Sayesinde Tahakkuk Edilebilecek Enerji [MWh]	Akıllı Sayaç Maliyeti [milyon Dolar]
YÜKSEK DURUM SENARYOSU	2019	25,000	75,000	5.63
	2020	150,000	450,000	33.75
	2021	425,000	1,275,000	95.63
	2022	700,000	2,100,000	157.50
	2023	700,000	2,100,000	157.50
ORTA DURUM SENARYOSU	2019	15,000	45,000	3.38
	2020	75,000	225,000	16.88
	2021	160,000	480,000	36.00
	2022	350,000	1,050,000	78.75
	2023	400,000	1,200,000	90.00

Teknik ve teknik olmayan kayıpların azaltılmasına yönelik yapılan varsayımlar eşliğinde elde edilen sonuçlar Çizelge 5'te özetlenmektedir. Kayıp ve kaçak oranlarındaki iyileştirmeyi sağlamak amacıyla 2019-2023 dönemi boyunca öngörülen toplam yatırım miktarları düşük, orta ve yüksek durum senaryolarına için sırasıyla 0.249, 1.293 ve 2.194 milyar Dolar olarak hesaplanmıştır. Elde edilecek kümülatif parasal tasarruf miktarları ise sırasıyla 35, 143 ve 251 milyon Dolar'dır. Dağıtık üretim ve akıllı sayaçların birlikte uygulandığı senaryolarda basit geri ödeme süresi yaklaşık 16 yıl olarak hesaplanırken akıllı sayaçların uygulanmadığı düşük durum senaryosunda söz konusu süre 26 yıl olarak hesaplanmıştır. Anılan geri ödeme sürelerinin göreceli olarak yüksek çıkmasında akıllı sayaç uygulaması haricindeki dağıtık üretime yönelik yürütülen faaliyetlerin doğrudan enerji verimliliği yatırımı olmadığı ve yenilenebilir enerji kaynaklarının teşviki kapsamında ele alınması gerektiği göz önünde bulundurulmalıdır.

2023 yılına gelindiğinde dağıtık üretim ve akıllı sayaç yatırımları sonucu iletim ve dağıtım şebekesindeki kayıp ve kaçak oranlarının değişimi Şekil 3'te sunulmaktadır. Kayıp ve kaçak oranlarının düşük, orta ve yüksek durum senaryolarına göre sırasıyla 14.13%, 13.26% ve 12.38% olacağı hesaplanmıştır. Yapılan analizlerde MWh olarak kaçak elektrik miktarının sadece yüksek durum senaryosunda azalacağı, diğer senaryolarda ise şebekede sağlanacak iyileşme sayesinde kaçak elektrik kullanımında oransal bir azalma görülmesine rağmen artan enerji talebinden dolayı MWh olarak bir yükseliş kaydedileceği tahmin edilmektedir.

Çizelge 5. Yüksek, Orta ve Düşük Durum Senaryolarına Göre 2023 Yılı Projeksiyonları (High-Medium and Low Case Scenarios for Theft & Loss Ratios)

Yıllar	Dağıtık Üretimden Elde Edilecek Tasarruf [MWh]	Dağıtık Üretimden Elde Edilecek Parasal Tasarruf [mil. Dolar/ yıl]	Dağıtık Üretimden Elde Edilecek Parasal Tasarruf [mil. Dolar, kümülatif]	Akıllı Sayaçtan Elde Edilecek Tasarruf [MWh]	Akıllı Sayaçtan Edilecek Parasal Tasarruf [mil. Dolar/ yıl]	Akıllı Sayaçtan Edilecek Parasal Tasarruf [mil. Dolar, kümülatif]	Akıllı Sayaçtan Edilecek Parasal Tasarruf [mil. Dolar, kümülatif]	Toplam Tasarruf Miktarı [mil. Dolar, kümülatif]	Toplam Yatırım Miktarı [mil. Dolar]	Tahmin Edilen Kaçak Miktarı [MWh]	Öngörülen Kayıp ve Kaçak Oranları [%]
2019	159.053	6,59	6,59	22.500	0,93	0,93	0,93	7,52	354,17	19.412.060	14,18%
YÜKSEK											
2020	158.092	6,55	13,14	135.000	5,59	6,53	6,53	19,66	382,44	19.905.136	14,00%
DURUM											
2021	157.131	6,51	19,65	382.500	15,85	22,37	22,37	42,02	444,46	19.564.248	13,59%
SENARYOSU											
2022	156.172	6,47	26,12	630.000	26,10	48,47	48,47	74,59	506,48	18.388.069	12,97%
2023	155.214	6,43	32,55	630.000	26,10	74,57	74,57	107,12	506,62	17.158.255	12,38%
2019	112.920	4,68	4,68	13.500	0,56	0,56	0,56	5,24	216,83	19.442.060	14,19%
ORTA											
2020	112.434	4,66	9,34	67.500	2,80	3,36	3,36	12,69	230,40	20.161.594	14,09%
DURUM											
2021	111.949	4,64	13,97	144.000	5,97	9,32	9,32	23,30	249,60	20.627.741	13,92%
SENARYOSU											
2022	111.465	4,62	18,59	315.000	13,05	22,37	22,37	40,96	292,42	20.551.779	13,60%
2023	110.981	4,60	23,19	360.000	14,91	37,29	37,29	60,48	303,75	20.324.360	13,26%
2019	60.417	2,50	2,50	-	-	-	-	2,50	30,41	19.487.060	14,20%
DÜŞÜK											
2020	61.542	2,55	5,05	-	-	-	-	5,05	40,02	20.433.780	14,18%
DURUM											
2021	62.660	2,60	7,65	-	-	-	-	7,65	49,64	21.392.700	14,16%
SENARYOSU											
2022	63.773	2,64	10,29	-	-	-	-	10,29	59,25	22.402.860	14,15%
2023	64.880	2,69	12,98	-	-	-	-	12,98	68,87	23.463.040	14,13%



Şekil 3. Yüksek, Orta ve Düşük Durum Senaryolarına Göre 2023 Yılına Yönelik Elektrik İletim ve Dağıtım Şebekesindeki Kayıp ve Kaçak Oranları Tahminleri (High-Medium and Low Case Scenarios for the Projections of Theft & Loss Ratios to 2023)

Türkiye'nin kayıp ve kaçak oranlarında OECD seviyesini yakalaması yüksek durum senaryosunun takibi ve yerinde üretimin bu çalışmada planlanandan daha da fazla yaygınlaşması durumunda ancak 2030 yılı sonrasında mümkün olabileceği öngörülmektedir. Bununla birlikte, Almanya, Japonya ve Güney Kore'nin sahip olduğu oranlara erişilmesi için mevcut şebeke planlamasında yüksek durum senaryosunun takibinin dahi yeterli olmayacağı ve bir paradigma değişimiyle enerji talebi artışının karşılanmasında üretim santrallerinin sadece tüketim noktası yakınlarında kurulmasına izin verilmesi ve şebeke elemanlarının yenilenmesinde en verimli ekipmanların tercih edilmesinin gerekeceği değerlendirilmektedir.

5. AKILLI SAYAÇ YATIRIMLARINDA VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE DAĞITIM BÖLGELERİNİN ÖNCELİKLENDİRİLMESİ (PRIORITIZING OF DISTRIBUTION REGIONS FOR SMART METER INVESTMENTS BY DATA ENVELOPMENT ANALYSIS)

Akıllı sayaçların ülke genelinde kaçak elektrik kullanımının önüne geçmek amacıyla yaygınlaştırılmasında gerekli yatırım miktarı Bölüm 4'te anılan varsayımlar eşliğinde orta ve yüksek durum senaryoları için sırasıyla 225 ve 450 milyon Dolar olarak hesaplanmıştır. Mer'i mevzuat gereği dağıtım şirketlerinin yaptıkları yatırımlar EPDK onayı ile işletme gideri olarak yer almakta ve tarifeler yoluyla nihai kullanıcılar üzerinden finanse edilmektedir.

Akıllı sayaçların dağıtım bölgelerinde uygulanması kayıp ve kaçak oranları yüksek olandan düşük olana doğru bir sıralama yapılarak bir plan dâhilinde gerçekleştirilebilir. Fakat burada tahakkuk edilen enerji üzerinden bir plan yapılmış ve dağıtım bölgelerinin coğrafi koşulları, transformatör kapasiteleri ve toplam enerji tüketim değerleri gibi teknik verimliliğe etki eden parametreleri de

göz ardı edilmiş olacaktır. Bu nedenle, dağıtım bölgelerinin teknik verimliliğine etki edecek farklı parametreleri de göz önünde bulunduran Veri Zarflama Analizi (VZA, Data Envelopment Analysis, DEA) ile dağıtım şirketlerinin 2015 yılına ait teknik etkinlikleri kıyaslanmış ve akıllı sayaç yatırımlarında önceliklendirilecek dağıtım şirketleri belirlenmiştir.

VZA'da gerek enerji ile ilgili gerekse enerji dışı değişkenler hesaplamalara katılarak belirli bir çıktının en etkin şekilde üretmesi için en uygun girdi bileşeni aranmakta veya belirli bir girdiyle en fazla çıktı elde edilmeye çalışılmaktadır [21].

Birden fazla girdi ve çıktı olması durumunda etkinlik değeri şu şekilde hesaplanmaktadır;

Etkinlik Değeri = Ağırlıklı Toplam Çıktı / Ağırlıklı Toplam Girdi =

$$\frac{u_1 y_1 + u_2 y_2 + \dots + u_j y_j}{v_1 x_1 + v_2 x_2 + \dots + v_j x_j} = \frac{\sum_{j=1}^J u_j y_j}{\sum_{i=1}^I v_i x_i} \quad (1)$$

Burada J, çıktı sayısını; I, girdi sayısını; u_j , j. çıktının ağırlığını, y_j , j. çıktının miktarını; v_i , m. girdinin ağırlığını ve x_i , m. girdinin miktarını ifade etmektedir.

VZA'da temel olarak ölçeğe göre sabit getiri (constant returns to scale (CRS)) varsayımı ile Charnes-Cooper-Rhodes (CCR), ölçeğe göre değişken getiri varsayımı ile Banker-Charnes-Cooper (BCC) ve girdi fazlasını (+) ve çıktı eksikliğini (-) bir arada değerlendirerek etkisiz karar verme birimine en uzakta kalan noktaya ulaşmayı amaçlayan Toplamsal Yöntemleri kullanılmaktadır [22, 23].

$$E_k = \min \alpha - \varepsilon \sum_{i=1}^m s_i^- - \varepsilon \sum_{r=1}^t s_r^+ \quad (2)$$

ve kısıtlar;

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- - \alpha x_{ik} = 0 \quad (3)$$

$j = 1, \dots, n; \quad i = 1, \dots, m$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_i^+ - y_{rk} = 0 \quad (4)$$

$r = 1, \dots, p$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad (5)$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_i^+ \geq 0 \quad (6)$$

α : büzülme katsayısı,

s_i^- : k. karar biriminin i. değerine ait çıktı eksikliği

s_i^+ : k. karar biriminin r. değerine ait girdi fazlası

ε : yeterince küçük pozitif bir sayı

λ : etkin girdi çıktı modeli oluşturmak için verilen yoğunluk değeridir.

Eğer karar birimi etkin ise $E_k=1$, $\alpha=1$, $s_i^- = 0$, $s_i^+ = 0$ ve $\lambda_k=1$; etkin değilse α büzülme katsayısı 1'den küçük olacaktır [21].

Çalışma kapsamında 21 dağıtım şirketine yönelik girdi olarak salt dağıtım bölgesinde tüketilen enerji miktarı, toplam transformatör kapasitesi ve hat uzunluğunun nüfus yoğunluğuna oranı kullanılmıştır. Çıktı olarak ise tahakkuk edilen enerji miktarı ile kesinti süresinin minimize edilmesini amaçlayan bir parametre kullanılmıştır.

Dağıtım bölgelerinin etkinliğinin hesaplanmasında girdi olarak dağıtım hattı uzunluğunun alınması yanıltıcı sonuçlar verebileceğinden coğrafi koşulları da göz önünde bulunduran nüfus yoğunluğu değerleri hesaplanmış ve toplam hat uzunlukları nüfus yoğunluğuna bölünerek girdi parametresi olarak analize dâhil edilmiştir. Dağıtım şirketlerinin verilerini koruma amaçlı tüketilen toplam enerji, tahakkuk edilen enerji, transformatör kapasitesi ve kesinti süreleri gerçek değerlerini temsil edecek biçimde -veri setlerini bozmadan- sanallaştırılarak Çizelge 6'da sunulmaktadır.

Analiz sonucunda en etkin dağıtım şirketleri olarak Trakya, Boğaziçi, Ayedaş, Sakarya, Kayseri ve Göksu Dağıtım Şirketleri belirlenmiştir. Kayıp ve kaçak oranlarının yüksek olduğu Dicle, Vangölü ve Aras Dağıtım Şirketlerinin de etkinlik düzeyleri beklendiği üzere en düşük çıkmıştır.

Coğrafi koşulların dağıtım hattı uzunluğunu belirlemesi ve kayıpların hat uzunluğu ile doğru orantılı olarak artması nedeniyle nüfus yoğunluğu az olan dağıtım bölgelerinin çok olan bölgelere göre etkinlik düzeylerinin daha düşük olması beklenir. Bu durumu destekler nitelikte, Boğaziçi dağıtım bölgesinin kayıp ve kaçak oranı Çoruh dağıtım bölgesine göre daha yüksek olmasından dolayı daha az dağıtım hattı -ve dolayısıyla daha az hat kaybı- ihtiyacı duyduğundan etkinlik değeri de Çoruh dağıtım bölgesine göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun sonucu olarak da akıllı sayaç yatırımlarında kayıp ve kaçak oranlarına göre sıralama yapılırken Boğaziçi önceliklendirilmesi gerekirken yapılan analiz sonucunda Çoruh'un önceliklendirilmesinin daha fazla fayda sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Önceliklendirme yapılacak dağıtım bölgelerinin belirlenmesi amacıyla analiz sonucu elde edilen etkinlik düzeylerine göre Çizelge 7'deki sınıflandırma yapılmıştır. Buna göre öncelikle birinci bölümde yer alan dağıtım şirketlerinin, sonrasında ikinci ve en sonunda üçüncü bölümde yer alana dağıtım şirketlerinin akıllı sayaç yatırım programına alınması önerilmektedir.

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Kaçak kullanımın maliyeti Türkiye'nin yıllık iletim ve dağıtım yatırımlarının yaklaşık 1.7 katına kadar ulaşmış olduğundan bahsedilmektedir [24]. Bu çalışmada yapılan değerlendirmede ise kaçak elektrik kullanımı nedeniyle Türkiye'nin yıllık 3.5 ila 5.1 milyar TL arasında bir parasal kayıp ile karşı karşıya olduğu hesaplanmıştır. Sistem kullanım bedelleri, vergi ve fonlar dâhil edildiğinde 5.8 ila 8.5 milyar TL arasında bir parasal kaybın olduğu tahmin edilmektedir.

Yürütülen çalışmalara rağmen kayıp ve kaçak oranları OECD ortalamasının çok üzerindedir. Teknik kayıpların azaltılmasında dağıtım üretimin teşvik edileceği ve teknik olmayan kayıpların (kaçak) düşürülmesinde akıllı sayaç yatırımları yapılacağı varsayılarak 2023 yılına yönelik düşük, orta ve yüksek durum senaryoları geliştirilmiştir. Yapılan analizlerde orta vadede iletim ve dağıtım şebekesindeki kayıpların her %1 oranında azaltılması için dağıtım üretim ve akıllı sayaçlara 1 milyar Dolar'dan fazla yatırım yapılması gerekeceği ve OECD ortalamasına yüksek durum senaryosunun takibinin yanı sıra yerinde üretimin öngörülenden daha fazla teşvik edilmesi halinde ancak 2030 yılı sonrasında ulaşabileceği öngörülmüştür. Bununla birlikte, gerçekleştirilecek yatırımların tamamının doğrudan enerji verimliliği yatırımı kapsamında olmayacağı, elde edilecek verimlilik kazanımının dağıtım üretimin teşvik edilmesinin sağlayacağı dolaylı bir etki olacağı da göz önünde bulundurulmalıdır.

Çizelge 6. BCC Modeline Göre Hesaplanan Dağıtım Şirketlerinin Etkinlik Düzeyleri (Technical Efficiency Scores of Distribution Companies according to BCC Model)

DAĞITIM ŞİRKETLERİ	GİRDİLER			ÇIKTILAR		2015 TEKNİK KAYIP [%]	ETKİNLİK DÜZEYLERİ [%]
	Temsili Toplam Tüketim [MWh]	Temsili Trafo Kurulu Gücü [MVA]	Hat uzunluğu / Nüfus Yoğunluğu	Temsili Tahakkuk Edilen Enerji [MWh]	Kesinti Süresi Minimizasyonu*		
Akdeniz	0,425	0,354	615,666	0,395	8,292	7,0	98,4
Aras	0,138	0,136	1.678,881	0,102	8,437	25,8	79,5
Aydem	0,407	0,352	797,441	0,385	8,302	5,3	99,6
Ayedaş	0,580	0,366	68,704	0,539	7,722	7,0	100
Başkent	0,749	0,656	959,517	0,696	7,250	7,0	98,5
Boğaziçi	1,265	0,811	11,859	1,146	6,466	9,4	100
Çamlıbel	0,122	0,116	1.361,468	0,113	8,644	7,1	99,2
Çoruh	0,179	0,140	892,335	0,163	7,629	9,3	96,1
Dicle	1,053	0,589	445,103	0,281	9,079	73,3	42,0
Fırat	0,128	0,118	977,145	0,115	5,463	10,4	94,4
Gediz	0,714	0,657	230,162	0,662	8,014	7,4	99,4
Göksu (Akedaş)	0,191	0,150	343,112	0,181	8,682	5,0	100
Kayseri	0,110	0,113	260,246	0,105	8,946	5,4	100
Meram	0,404	0,424	1.676,801	0,375	8,158	7,3	97,2
Osmangazi	0,310	0,268	795,862	0,286	8,841	7,6	97,1
Sakarya	0,455	0,327	172,824	0,425	8,443	6,7	100
Toroslar	0,786	0,601	356,225	0,688	8,050	12,5	93,6
Trakya	0,324	0,207	216,539	0,300	7,755	7,4	100
Uludağ	0,558	0,435	442,794	0,520	5,823	6,9	99,3
Vangölü	0,193	0,131	802,946	0,078	7,670	59,7	74,0
Yeşilırmak	0,266	0,209	1.027,332	0,245	7,358	8,0	97,2

* Çıktılardan biri olarak kesinti süresinin minimize edilmesi amaçlanmış ve kesinti süresi ile ters orantılı olacak biçimde bir fonksiyon tanımlanmıştır. Minimizasyon değeri 10'a yaklaştıkça yıllık kesinti süresi sifira yakınsamaktadır.

Çizelge 7. Akıllı Sayaç Yatırımlarında Dağıtım Şirketlerinin Önceliklendirilmesi (Prioritizing of Distribution Companies for Smart Meter Investments)

	Birinci Yatırım Programında Yer Alacak Dağıtım Şirketleri	İkinci Yatırım Programında Yer Alacak Dağıtım Şirketleri	Üçüncü Yatırım Programında Yer Alacak Dağıtım Şirketleri
Kayıp ve Kaçak Oranlarına Göre	Dicle – Van Gölü – Aras – Toroslar – Fırat – Boğaziçi	Çoruh – Yeşilırmak – Osmangazi – Gediz – Trakya – Meram	Çamlıbel – Akdeniz – Ayedaş – Başkent – Uludağ – Sakarya – Kayseri – Aydem – Göksu
VZA BBC Modeline Göre Hesaplanan Etkinlik Düzeylerine Göre	Dicle – Van Gölü – Aras – Toroslar – Fırat – Çoruh	Osmangazi – Yeşilırmak – Meram – Akdeniz – Başkent Çamlıbel – Uludağ – Gediz – Aydem	Trakya – Boğaziçi – Ayedaş – Sakarya – Kayseri – Göksu

Ülke çapında akıllı sayaç uygulaması planlandığında toplam kayıp oranları yüksek olan dağıtım bölgelerinden başlanması yerine dağıtım bölgelerinin coğrafi koşullarını ve teknik kapasitelerini de göz önünde bulunduran VZA sonuçlarına göre etkinlik değeri en düşük olan bölgelerden başlanması, elde edilecek faydayı maksimize edeceği değerlendirilmektedir.

Şebekedeki teknik kayıpların azaltılmasında işletme geriliminin yükseltilmesi, hatların boşa bekletilmemesi, iletim hatlarında uygun malzeme kullanılması, kablo ve kondansatör yalıtkanlarının uygun seçilmesi, reaktif güç kompanzasyonu, çift devreli hatların eşit olarak yüklenmesi, transformatörlerin ihtiyaca uygun olarak seçilmesi ve "EU 548/2014 Küçük, Orta ve Büyük Güçlü Transformatörlerin Çevreye Duyarlı Tasarımına İlişkin Tebliğ"de yer verilen transformatörler için asgari verimlilik değerlerinin Türkiye'ye uyarlanması alınabilecek diğer tedbirlerdir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmada kaçak elektrik kullanımına yönelik yapılan mücadeleleri anlatan ilgili dağıtım işletmecisi uzmanlarına teşekkürü bir borç bilirim. Burada yer alan görüş ve yorumlar yazarın kendisine ait olup ilgili olduğu kurumların düşüncelerini yansıtmamaktadır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Suriyamongkol D., "Non-technical losses in electrical power systems", Ohio University, *M.Sc. Thesis*, (2002).
- [2] Piercy R. and Cress S. L., "Recalculation of distribution system energy losses at Hydro One", *Kinectrics Inc.*, (2007).
- [3] IEC (International Electrotechnical Commission), "Efficient electrical energy transmission and distribution", Geneva, (2007).
- [4] Neme C. and Sedano R., "US experience with efficiency as a transmission and distribution system resource", *The Regulatory Assistance Project (RAP)*, (2012). <http://www.raponline.org/wp-content/uploads/2016/05/rap-neme-efficiencyasatanddresource-2012-feb-14.pdf>
- [5] Katherine T., "Pot growers costing Canada \$500 million in power theft", *Greentech Media*, (2013). <http://www.greentechmedia.com/articles/read/pot-growers-costing-canada-500-million-in-power-theft>
- [6] Mumbai Mirror, "Mumbai's got a finger on the illegal switch". <http://mumbaimirror.indiatimes.com/mumbai/cover-story/articleshow/15994400.cms?>
- [7] Jimenez R., Serebrisky T. and Mercado J., "Sizing electricity losses in transmission and distribution systems in Latin America and the Caribbean", *Inter-American Development Bank*, Washington, (2014).
- [8] Depuru S., Wang L. and Devabhaktuni V., "Electricity theft: overview, issues, prevention and a smart meter based approach to control theft", *Energy Policy* 39: 1007-1015, (2011)
- [9] Sanlı B., "Kayıp-Kaçak: "Farklı kaynaklardan bir inceleme", (2016). <http://www.barissanli.com/calismalar/2016/20160719-bsanli-kk.pdf>
- [10] Adak S., "Durdurun bu vahşeti", *TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası*, (t.y.). http://www.emo.org.tr/ekler/96ffc299200f517_ek.pdf?tipi=46&turu=X&sube=0
- [11] Yaşar C., Aslan Y. ve Biçer, T., "Bir dağıtım transformatörü bölgesindeki kayıpların incelenmesi", *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22: 9-22, (2010).
- [12] Bhatt M. S., "Energy efficiency improvement of electrical transmission distribution networks", *Journal of Scientific & Industrial Research*, 62: 473-490, (2003).
- [13] Sumper A. and Baggini A., "Electrical energy efficiency", *Wiley*, 48, (2012).
- [14] <http://www.teias.gov.tr/Hakkimizda.aspx>
- [15] <http://www.haberler.com/berat-albayrak-elektrik-dagitim-sebekesinde-dunya-8141356-haberi/>
- [16] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "2017 yılı bütçe sunumu: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanı Sayın Dr. Berat ALBAYRAK'ın 2017 Yılı Bütçesini TBMM Plan ve Bütçe Komisyonu'na Sunuş Metni", Ankara, 28, (2016).
- [17] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "Türkiye elektrik enerjisi talep projeksiyonu raporu", Ankara, (2016).
- [18] Türkyılmaz ve ark., "Türkiye enerji görünümü", *TMMOB Makine Mühendisleri Odası Enerji Çalışma Grubu ve ODTÜ MD Enerji Komisyonu*, Ankara, (2017).
- [19] Düzgün B., "Fosil yakıtlı termik santrallerde mevcut durum değerlendirmesi ve enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik bir alan araştırması", *Enerji ve Tabii Kaynaklar Uzmanlık Tezi*, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara, (2015).
- [20] Ediger ve ark., "Türkiye toplumunun enerji tercihleri", *Enerji ve Sürdürülebilir Kalkınma Merkezi*, Kadir Has Üniversitesi, (2017).
- [21] Düzgün B., "Türkiye'nin enerji verimliliğinin değerlendirilmesi: beyaz sertifikalar sisteminin Türkiye'ye uygulanabilirliğinin incelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 32, (2014).
- [22] Dinçer E., "Veri Zarflama Analizinde Malmquist Endeksiyle toplam faktör verimliliği değişiminin incelenmesi ve İMKB üzerine bir uygulama", *Marmara Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, XXV (2), (2008).
- [23] Gedik H., "Demir çelik ve demir alaşımları imalatı sektöründe stokastik veri zarflama analizi ile etkinlik ölçümü", *Doktora Tezi*, Endüstriyel Teknoloji Eğitimi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2010).
- [24] Onat N., "Transmission and distribution losses of Turkey's power system", *4th WSEAS International Conference on Energy Planning, Energy Saving Environmental Education (EPESE'10)*, Sousse, Tunisia, 170-175, (2010).