



BİR DAĞITIM TRANSFORMATÖRÜ BÖLGESİNDEKİ KAYIPLARIN İNCELENMESİ

Celal YAŞAR, Yılmaz ASLAN , Tarık BİÇER

Dumlupınar Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kütahya
cyasar@dpu.edu.tr, yaslan@dpu.edu.tr, t.bicer@hotmail.com

Geliş Tarihi: 25.01.2010 Kabul Tarihi: 07.04.2010

ÖZET

Elektrik enerjisi tüketim miktarı hem sanayileşme ve hem de ülkenin gelişmişlik göstergesi açısından çok önemlidir. Üretilen elektriğin tüketim birimlerine ulaştırılması esnasında sistemde kayıplar oluşmaktadır. Meydana gelen kayıplar büyük oranda dağıtım sistemlerinde oluşur. Çünkü dağıtım sistemlerinde gerilim seviyesi düşük ve akım yüksektir. Dağıtım sistemlerinin iyileştirilmesi güç kaybının azaltılmasında etkilidir. Ülkemizde kullanılan enerjinin içinde konut tüketicilerinin varlığının büyük olması ve kayıp-kaçakların en çok dağıtım sistemlerinde kaynaklanmasından dolayı bu çalışmada alternatif tasarımlar üzerinde durulmuştur. Tasarımların maliyetleri karşılaştırılmış ve güç faktörünün kayıplar üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Güç Faktörü, Enerji Kayıpları, Teknik kayıplar, Teknik olmayan kayıplar.*

INVESTIGATION OF POWER LOSSES IN A POWER DISTRIBUTION TRANSFORMER ZONE

ABSTRACT

The level of electric energy consumption is an important indicator for the development rate of a country and industrialization. During the transmission of the energy to the entities of consumption, there are some losses in the systems involved. The majority of the losses occur in the power distribution systems. This is due to the fact that in power distribution systems, the voltage is low and the current is high compared to transmission systems. Therefore, in the improvement of the power distribution feeders, the minimization of power losses is the factor. In this study, due to the large amount of consumption in residential areas and presence of significant amount of power losses in power distribution systems, alternative designs are suggested for such systems. The cost of proposed designs is compared and the effects of power factor, on power losses are analyzed.

Keywords: *Power factor, Energy losses, Technical losses, Non-technical losses.*

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi günlük hayatta en yaygın kullanılan enerji biçimidir. Elektrik enerjisi hem sanayinin temel ögesi olması hem de temel kaynakların (su ve fosil yakıtlar gibi) kısıtlılığı nedeniyle, sanayileşme ve ülkenin gelişmişlik göstergesi açısından önemlidir. Bu önem göz önüne alındığında elektrik enerjisi kayıplarını azaltacak önlemlerin alınması ülkenin gelişmesi, sanayileşmesi ve toplumsal huzuru açısından olumlu sonuçlar verecektir. Teknolojik gelişmelerin arttığı günlük yaşamda elektrik enerjisine olan talepte artmaktadır. Dünya enerji tüketiminin yaklaşık %90'nın karşılandığı fosil kaynaklarının gelecekte tükenerek olması gerçeği, ülkeleri yeni enerji kaynakları bulmaya ve mevcut enerji kaynaklarını da daha verimli kullanmaya zorlamaktadır.

Elektrik enerji sistemlerinde meydana gelen kayıplar, üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinde olmak üzere ayrı ayrı incelenebilir. Üretimden elde edilen elektrik iletim hatlarıyla transformatörlere taşınmaktadır. Burada talep edilen gerilim kademelerine dönüştürülerek müşterilerin kullanımına sunulmaktadır. Dünyada genel kabul

görmüş ortalama maliyetler göz önüne alındığında sistem maliyetlerinin %50'si üretimden, %20'si iletimden ve %30'u ise dağıtımdan kaynaklanmaktadır. Ancak kayıplara bakıldığında bu durum tam tersi olarak ortaya çıkmaktadır. Yani kayıpların büyük kısmı iletim ve dağıtım tesislerinde oluşmaktadır. Dağıtım sistemlerinde gerilim seviyesinin düşük ve akımın yüksek olmasından dolayı daha fazla kayıp meydana gelmektedir. Santrallerde üretilen enerjinin ortalama %6'sı iç kayıp ve iç tüketime harcanırken bu oran iletim tesislerinde Avrupa normlarına yakın seyretmekte olup yaklaşık %3 civarındadır. Dağıtım tesislerinde ise teknik kayıpların ve kayıp-kaçak oranının yüksek olmasından dolayı %20'nin üzerine çıkmaktadır. Bu oranlara bakıldığında toplam üretilen enerjinin %30'nun kayıpları karşıladığı ve dolayısıyla büyük bir enerji kaynağının yok olduğu görülmektedir [2].

İletim ve dağıtım hatlarındaki kayıplarla ilgili literatürde bazı çalışmalara rastlanmıştır. Dağıtım sistemlerinde kayıpların azaltılmasına yönelik olarak Ankara'da bir bölgede yapılan çalışma [3]'te, enerji dağıtım sistemlerinde kayıpların incelenmesine yönelik Oman Sultanlığı'nda yapılan bir çalışma [4]'te, enerji iletim hatlarındaki kayıpların genetik algoritmalar yöntemiyle azaltılması ve yakıt giderlerinin minimizasyonu ile ilgili bir çalışma [5]'te, dağıtım sistemlerindeki kayıplar ve dengesiz yükleme nedeniyle oluşan kayıplar ve kullanımda oluşan reaktif akımların oluşturduğu kayıpların azaltılmasına yönelik çalışma [6]'da, dağıtım şebekelerinde kompanzasyon yapılarak kayıpların azaltılabileceğini gösteren çalışma [7]'de, dağıtım sistemlerinde şebeke düzenlemesi ve güç faktörünün kontrolü ile ilgili bir çalışma [8]'de, orta gerilim tüketicilerinden kaynaklanan enerji kaybının sebeplerini araştıran bir çalışma [9]'da verilmiştir.

Türkiye'de 2008 yılında faturalı olarak tüketilen 138394950 *MWh*'lik enerjinin 39582667 *MWh*'lık kısmı konut tüketicileri tarafından harcanmış olup tüketilen enerjinin %28,6'sını oluşturmaktadır. Konut tüketicilerinin alçak gerilim sisteminde önemli bir değere sahip olması, bunlara bağlı oluşan kayıplarında büyük olmasına yol açmaktadır.

Konut tüketicilerinin kullandıkları sayaçların gerilim devresindeki güç kayıpları elektromekanik sayaçlarda 0,9-1,4 *W* arasında iken elektronik sayaçlarda bu değer 1-2 *W* arasında değişmektedir. Türkiye'de 2001 yılı sonu itibariyle konutlarda elektronik sayaçların kullanılması zorunlu hale getirilmiştir. 15.02.2001 tarihinde 24319 sayılı resmi gazetede yayınlanan Elektrikli Ölçüm Aletleri Düzenlemesi (Sanayi ve Ticaret Bakanlığı – 15 Şubat 2001) ile elektronik ölçüm aletlerinin standartları belirlenmiştir. Buna göre; gerilim devresindeki maksimum güç kaybı 2 *W* ya da 10 *VA*'dır. Sayaçların çalışma akımları 30 *A*'e kadar olanlar için akım devresindeki maksimum güç kaybı 2,5 *VA*, 30 *A* üzerinde ise maksimum güç kaybı 5 *VA*'dir [3].

Dağıtım sistemlerinde kullanılan iletkenler tasarıma göre yer altı ve yer üstü dağıtım sistemi şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Yer altı sistemleri gömülü kanallar, koruyucu tuğlalar ve kablolardan oluşmaktadır. Yer üstü sistemleri, caddeler, ara sokaklar, ormanlar ve bahçeler boyunca uzanan ve müşterileri besleyen yer üstü dağıtım hatlarıdır. Yer üstü şebeke tipinin maliyetinin düşük ve arıza bulma süresinin daha kısa olmasına rağmen yer altı şebeke tipi güvenilirlik, enerji kaybı ve görsel karmaşa yönünden daha avantajlıdır [3].

TEDAŞ bünyesinde 2008 sonu itibariyle 157900 adet dağıtım tranformatörü, 52830 *MVA* kurulu güç, 309715 *km* orta gerilim ve 498890 *km* alçak gerilim dağıtım hattı mevcuttur [10,11]. Şebeke büyüklükleri bakımından değerlerin yüksek olması, iletim, dağıtım sistemleri ve tranformatörlerde meydana gelen kayıpların önemini de ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle çalışmada Türkiye'de faturalı olarak tüketilen enerjinin %28,6'sına karşılık düşen konut tüketicilerinin oluşturduğu kayıplar üzerinde durulmuştur.

Elektrik sistemlerindeki kayıpların tamamını ortadan kaldırmak mümkün değildir. Kayıpları minimum seviyelere indirmek için enerji sistemlerinde güç faktörünün düzeltilmesi, kablo kesitinin doğru seçilmesi ve kullanılacak tranformatör gücünün yeterli miktarda olması gibi çalışmalar yapılabilir.

2. ELEKTRİKSEL YÜK

Elektriksel yük terimi, bazı görevleri yerine getirebilmek ya da gücü başka enerji biçimlerine (ısı, ışık) çevirebilmek için sistemden güç çeken bir aletin elektrik talebi anlamına gelmektedir. Şebekede yükler konut, ticari ve endüstriyel yükler gibi tüketim amaçlarına göre sınıflandırılır. Konut yükleri evlerin toplam yükleridir.

Bunlar genel olarak aydınlatma, ısıtma ve ev içinde kullanılan motorlar (buzdolabı, çamaşır makinesi, bulaşık makinesi) şeklinde belirtilebilir. Ticari yükler; işyeri binalarını, alışveriş mağazalarını ve dükkânları içermektedir. Endüstriyel yükler; ticari yükler ile aynı türden olup ek olarak büyük motorlar, üretim donanımları gibi yükleri de kapsamaktadır [3,12].

Yükler sabit değildir, elektrikli cihazlar devreye girip çıktıkça değişmektedir. Bazı yükler, ısıtma ve havalandırma gibi mevsimseldir. Ampuller gibi bazı yükler ise gün ışığına bağlıdır. Yükler tek fazlı ya da çok fazlı olduğu gibi direnç ya da empedans şeklinde de modellenebilir. Yük dakikadan dakikaya, günden güne, mevsimden mevsime değişeceği için yüke bağlı olarak kayıplarda değişecektir. Zaman fonksiyonuna göre yük diyagramları yük eğrileri olarak adlandırılır. Yük eğrilerinin zaman periyotları 15, 30, 60 dakika veya daha fazla uzun süreli olabilir. Ancak ideal olan zaman periyotları 15 ve 30 dakikadır [12].

Her tüketici farklı elektrik kullanım alışkanlıklarına sahip olsa da her sınıftaki tüketicilerin kullanım modeli benzerlik göstermektedir. Bu nedenle, elektrik şirketleri bir sınıftaki tüketicinin yük kullanımını gösteren tipik günlük yük eğrisini kullanmaktadır. Bu eğriler tüketici başına düşen yük miktarının tepe noktasını, tepe noktasının zamanını, süresini ve toplam enerjiyi tarif etmektedirler. Elektrik şirketleri her bir sınıftaki tüketicinin ortalama davranışını göstermek için çoğunlukla 24 saatlik yük eğrilerini kullanmaktadır. Bu yaygın bir uygulamadır ve müşteri sınıfı kullanılan yük eğrileri ile belirlenir [12].

Her konut tüketicisi bu ortalama gösterim gibi bir yük eğrisine sahip değildir. Çünkü her konutta az da olsa farklı aletler bulunmaktadır. Tepe noktaları ve tepe noktalarının zamanları birbirinden farklıdır. Bu nedenle, bireysel tepe noktaları bağlayıcı değildir. Sonuç olarak, yük eğrisi ibreleri genellikle bu yük eğrileri eklendiğinde değişir. Bir grup konut tüketicisini temsil eden yük eğrisi daha düz bir eğri görünümüne almaya başlar [3].

3. KAYIPLAR

Enerji dağıtım sistemlerindeki kayıpları teknik ve teknik olmayan olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Teknik kayıplar, bir dağıtım şebekesinin elektrikle ilgili özelliklerine bağlıyken, teknik olmayan kayıplar gerçekte tüketilen elektrik ve ölçülen elektrik tüketimi ya da faturalama tutarı arasındaki fark olarak tanımlanabilir. Teknik kayıplar iletkenlerde dağıtılan enerjiden ve gücün dağıtımı için kullanılan donanımdan kaynaklanmaktadır [3,4,13].

3.1 Teknik Kayıplar

Teknik kayıplar, bir elektrik dağıtım sistemi içerisinde herhangi bir yerde ortaya çıkabilir. Elektrik akımı bir elektrik hattı aracılığıyla yönlendirildiğinde ısı olarak elektrik kaybına sebep olur. Tranformatörün çekirdeğinde ise elektromanyetik indüksiyondan dolayı bir kayıp ortaya çıkar. Elektrik devreleri içinde ortaya çıkan teknik kayıplar kesin olarak hesaplanabilir. Enerji dağıtım sistemlerinde meydana gelen teknik kayıplar elektrik devre elemanlarında akıma bağlı veya akımdan bağımsız meydana gelen kayıplar olarak ayrılabilir. Yük durumuna göre kayıplar ise yüke bağlı ve yüke bağlı olmayan diye ikiye ayrılmaktadır.

3.1.1 Akımdan bağımsız kayıplar

Şebeke geriliminin etkisiyle meydana gelen bu kayıplar, dielektrik kayıpları ve kaçak akım kayıpları olmak üzere iki alt grupta değerlendirilmekte olup şebeke gerilim altında olduğu sürece sistemde mevcuttur. Dielektrik kayıpları, enerji dağıtım sisteminin şebeke gerilimi altında bulunmasıyla ortaya çıkan kayıplardır. Bu kayıplar alçak ve orta gerilim tesislerinde güç faktörünü iyileştirmek amacıyla sıkça kullanılan kondansatörlerde belki ihmal edilemez, fakat kabloların dielektrik kayıpları tamamen ihmal edilebilecek düzeydedir. Kaçak akım kayıpları, kablolardan akan yük akımından bağımsız olarak meydana gelir. Bu kayıpların gerilimle orantılı olduğunu ve kayıp açısının (tan ϕ) bu kayıpları doğru orantılı olarak etkilediği bilinmelidir.

3.1.2 Akıma bağlı kayıplar

Bu kayıplar akımın karesine bağlı olarak değişen kayıplar olup ısı enerjisi olarak ortaya çıkarlar. Enerji dağıtım sisteminde meydana gelen kayıpların büyük bir çoğunluğunu oluştururlar. Bu kayıplardan kablo bağlantı klemenslerinde meydana gelen kayıplar, kablolarda zırh, siper kayıpları ile karşılıklı reaktanstan dolayı oluşan kayıplar akıma bağlı kayıplar sınıfındadır.

3.1.3 Yüke bağlı kayıplar

Yüke bağlı kayıplar, şebeke yüklendiği zaman meydana gelirler ve yükün büyüklüğüne göre değişmektedirler. Bu kayıplara transformatörlerdeki ve kablolardaki kayıplar (bakır kayıpları) dahildir. Yüke bağlı kayıplar, çoğunlukla hatlarda, kablolarda, transformatörlerin bakır bölümlerinde oluşmakta ve gerekli donanım aracılığı ile taşınan elektriğin miktarına göre değişiklik göstermektedir. Bu kayıplar akımın karesi ile orantılıdır.

3.1.4 Yüke bağlı olmayan kayıplar

Yüke bağlı olmayan kayıplar çoğunlukla transformatör çekirdeklerinde oluşmaktadır ve elektrik akımına göre değişiklik göstermezler. Bu tür kayıplar şebeke gerilim altında olduğu müddetçe şebeke yüklü olsun ya da olmasın daima meydana gelirler. Büyüklükleri şebeke yükünden tamamen bağımsızdır.

3.2 Teknik Olmayan Kayıplar

Dağıtımda teknik olmayan kayıplar daha çok tüketicilerle ilgili bir kavram olup kasıtlı (kaçak) veya kasıtsız (bilinçsiz) olarak enerji kullanımları sonucunda ortaya çıkmaktadır. Günümüzde kayıplarla ilgili çalışma yapıldığında teknik olmayan kayıpların toplam dağıtım kayıpları içindeki oranı tam olarak kestirilememekle birlikte yaklaşık %5 olarak öngörülmektedir. Teknik olmayan kayıplar, teknik kayıpların toplam kayıplardan çıkarılmasıyla belirlenir. Bu miktarlar teslim edilen ve tüketilen ama bazı sebeplerden dolayı satış olarak kaydedilmeyen değerleri de kapsamaktadır [2,4,13].

Teknik olmayan kayıpların temel nedenleri kaçak elektrik kullanımı, eksik ölçümler ve hatalı sayaç okuma ya da faturalandırmada yapılan hatalar olarak sayılabilir. Kaçak elektrik kullanımı elektrik şirketlerinin karşılaştığı ortak problemdir. Gelişmekte olan ülkelerde kaçak elektrik kullanımı gelişmiş ülkelere daha fazladır. Kaçak elektrik kullanımı esnasında elektrik çarpmaları nedeniyle ölümler meydana gelmektedir. İnsanları bu tür tehlikelerden uzak tutmak için sayaç mühürleri, güvenlik halkaları, elektronik aletlerle kontrol, sağlam sayaç kutuları ve bilgisayar programları gibi çeşitli araç gereçler kullanılabilir. Bunlara ek olarak, basın yayın araçları kullanılarak insanlara elektrikli aletlere yapılan müdahalenin tehlikesi hakkında bilgi vermek ve kaçak elektrik kullanımı için fazladan ücret talep etmek de etkili bir yol olabilir [3,13].

Teknik olmayan kayıpların sebepleri Çizelge 1’de özetlenmiştir. Çizelge’de görüldüğü gibi izinsiz bağlantılar, ölçüm cihazları ile oynamak ve ödenmeyen faturaların kötü yönetilmesi teknik olmayan kayıpların sebeplerinden en önemlileri arasında sayılabilir. Sayaçların elektromekanik olmasından kaynaklanan kayıplarda teknik olmayan kayıplar arasına girmektedir [13].

Çizelge 1. Teknik olmayan kayıpların sebepleri [13].

Ölçülemeyen enerji	Faturalanamayan Enerji	
Tüketim kayıpları	Fatura hataları	Ödeme kayıpları
1) Yasadışı (izinsiz) bağlantılar	A) Yanlış müşteri dosyaları	A) Ödenmeyen faturalar
2) Ölçüm donanımlarının montajında gecikme	1) Sözleşme bilgilerinin yetersizliği	1) Dağıtılamayan faturalar
3) Ölçüm cihazlarıyla oynamak	2) Uygun olmayan ölçme katsayıları	2) Müşterilerin ödeme zorlukları
4) Hatalı ölçümler	3) Dosya güncelleme hataları	3) Uygun olmayan toplama prosedürleri
5) Etkin tüketimlerin çok düşük tahmin edilmesi	B) Yanlış fatura	4) Ödenmeyen faturaların kötü yönetilmesi
6) Hatalı bağlantılar	1) Yetersiz bilgiden ve takipsizlikten kaynaklanan ücretlendirilmemiş müşteriler	B) Ödeme yönetimi
7) Ölçüm cihazlarının uyumsuzluğu	2) Özel tarifleri yada tarifersiz olan müşterilerin takipsizliği	
8) Hesaba katılmayan müşteriler	3) Faturalamada raporlamanın ve takibin eksik olması	1) Ödemelerin uygun olmaması
9) Endeks okuma hataları	4) Düzeltilmiş faturaların kontrolünün yapılmaması	2) Ödeme kayıpları

3.3 Türkiye'nin Dağıtım Sistemindeki Kayıpları

Türkiye'de üretilen toplam enerji TEDAŞ ve özel şirketler vasıtasıyla tüketime sunulmakta olup bunun %97,2'si TEDAŞ tarafından servis yapılmaktadır. Türkiye elektrik dağıtım bölgesi olarak 01.03.2005 tarihinden itibaren 21 bölgeye ayrılmıştır. 2008 yılı sonu itibariyle Aydın, Denizli, Muğla'yı içeren Aydem Edaş ve Kayseri Elektrik şirketleri özelleştirilmiş olup diğer 19 bölge TEDAŞ bünyesinde faaliyet göstermektedir.

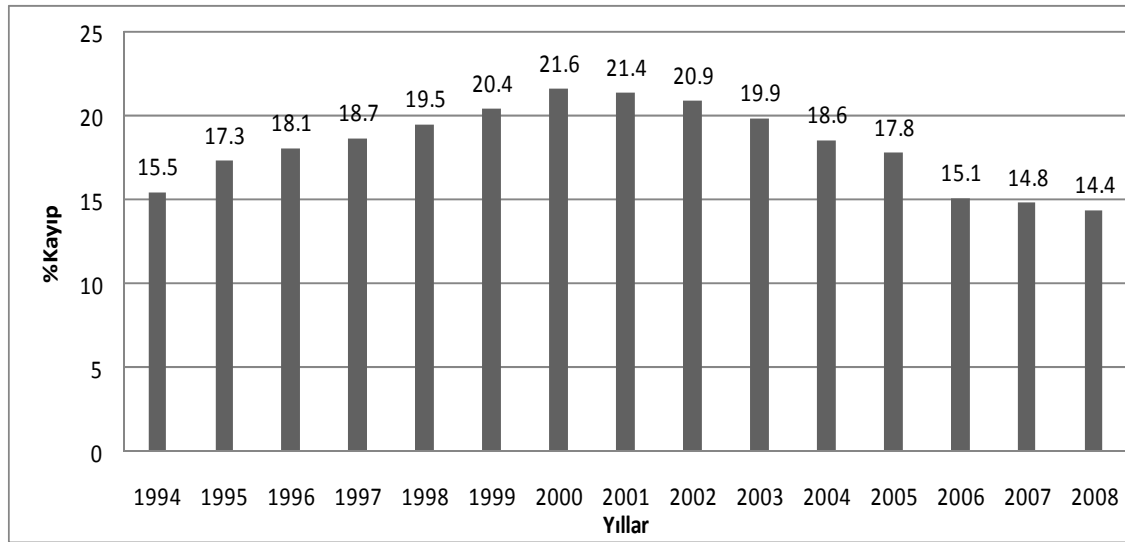
Detayları Çizelge 2'de verilen Türkiye'nin dağıtım sistemine 2008 yılı sonu itibariyle toplam 161488056 MWh'lik elektrik enerjisi iletim sistemi üzerinden aktarılmış, bu enerjinin ancak 138394950 MWh'i faturalandırılabilmiştir. Konut tüketicileri ise 39582667 MWh'lik enerji kullanmıştır. Bu durumda toplam tüketim içindeki konut tüketicilerinin payı %28,6 civarındadır. Sistemdeki kayıp-kaçak miktarı ise 23093106 MWh olarak ortaya çıkmıştır. Toplam tüketim içinde kayıp-kaçak oranı %14,3 civarındadır. TEDAŞ'a ait dağıtım sistemlerine toplam 156901365 MWh'lik elektrik enerjisi aktarılmasına karşılık ancak 134359839 MWh'i faturalandırılabilmiştir. TEDAŞ'a ait dağıtım sistemlerindeki kayıp-kaçak miktarı 22541526 MWh olup toplam tüketim içinde kayıp-kaçak oranı ise %14,4 civarındadır [10,11].

Türkiye'de 2008 yılı itibariyle kayıp-kaçak açısından en iyi performansa sahip bölgeler arasında %1,3 ile Denizli ve %2,1 ile Karabük gelmektedir. Çok yüksek kayıp-kaçak oranına sahip olanlar arasında ise %72,7 ile Mardin ve %70,9 ile Şırnak sayılabilir. Kaybolan enerji Türkiye ortalamasında tüketime sunulan enerjinin %14,38'üne, tüketilen enerjinin ise %16,6'sına karşılık gelmektedir. Bu oran %7,3 ortalamaya sahip Ekonomik kalkınma ve işbirliği örgütü (OECD) ülkelerinden çok yüksektir. Çalışmanın yapıldığı uygulama bölgesinin bulunduğu il olan Afyonkarahisar'ın kayıp-kaçak oranı ise %6,2 ile OECD ülkelerine yakındır [10,11].

Yıllar itibariyle Türkiye'de TEDAŞ'a ait yüzde kayıp-kaçak oranı Şekil 1'de verilmiştir. Yıl bazında TEDAŞ'ın kayıp-kaçak oranına bakıldığında, 1994 yılında %15,5 olan kayıp-kaçak oranı 2000 yılında %21,6'ya kadar artmış, 2000 yılından sonra dağıtım tesislerinde yapılan iyileştirmeler, özelleştirmenin etkisi ve sıkı bir şekilde uygulanan kayıp-kaçak denetimi sonucu sürekli azalan bir eğilim göstermiştir. Bu azalma eğilimi 2008 yılı itibariyle %14,4 ile en düşük değerine inmiştir [11].

Çizelge 2. Türkiye'nin 2008 yılı enerji durumu [11].

Ölçülen Değerler	TEDAŞ (MWh)	Özel Kuruluşlar (MWh)	Türkiye Toplamı (MWh)
Temin Edilen Enerji Miktarı	156 901 365	4 586 691	161 488 056
Fatura Edilen Satış Miktarı	134 359 839	4 035 111	138 394 950
Mesken	38 553 144	1 029 523	39 582 667
Ticaret	22 207 653	631 939	22 839 592
Kayıp-Kaçak Miktarı	22 541 526	551 580	23 093 106
Net Tüketim	134 359 839	4 035 111	138 394 950
Kayıp-Kaçak Oranı (%)	14,4	12,2	14,3



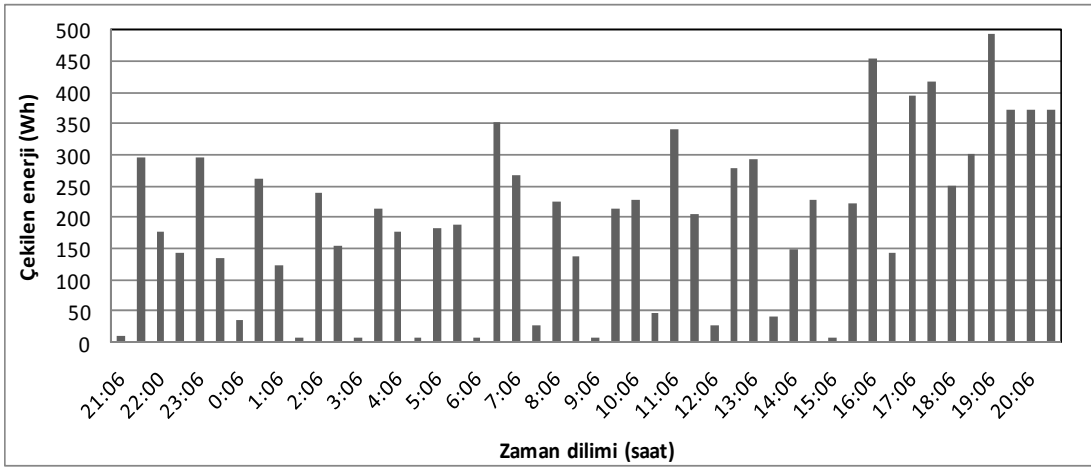
Şekil 1. Yıllar itibariyle TEDAŞ kayıp-kaçak oranları [11]

4. FARKLI DAĞITIM ŞEBEKESİ UYGULAMALARI

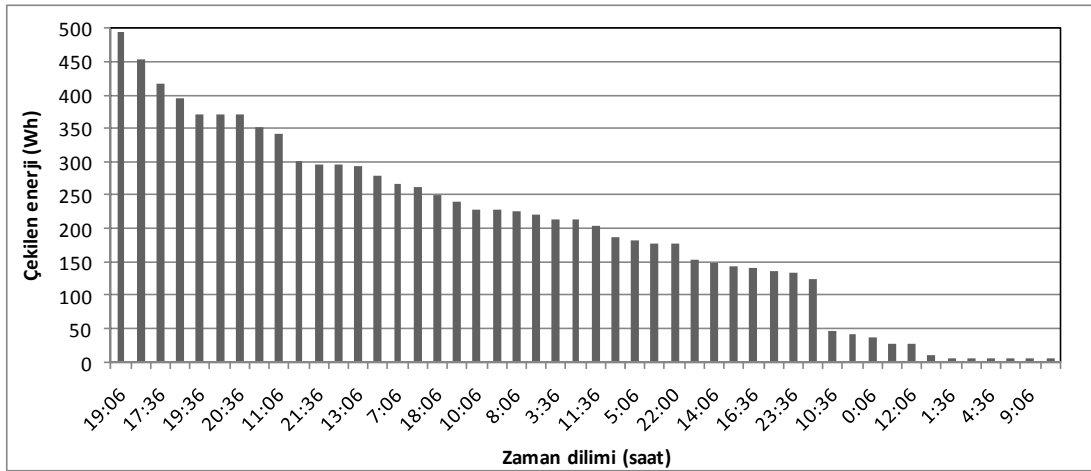
Bu çalışmada sadece konutlardan oluşan Afyonkarahisar ilinde Zafer Sitesi yerleşim alanı uygulama bölgesi olarak seçilmiştir. Sitede bir transformatörden beslenen toplam 54 Blok, 494 abone bulunmaktadır. 494 aboneden 03.01.2008 tarihinden başlamak üzere ayda iki kez endeksler alınmıştır. 494 abonenin içinde abone açtırıp daha sonra iptal ettiren ya da kullanılmayan 8 abone, hesaplamalar yapılırken dikkate alınmamıştır. Dolayısıyla hesaplamalar toplam 486 abone üzerinden yapılmıştır. Ayrıca bu değerlere göre belirlenen ortalama bir dairenin bir günlük (24 saat) yükü yarım saatlik periyotlarla analizörle kaydedilmiştir. Abonenin günlük analizöre kaydedilen enerji miktarı Şekil 2’de gösterilmiş olup en fazla enerji çekilen zaman dilimi 19:06 – 19:36 arasındadır. Bu zaman dilimindeki çekilen enerjiye günlük puant enerji denilmektedir. Günlük yük eğrisinin en büyük değerinden en küçük değerine doğru sıralanmış şekline *düzenlenmiş günlük yük eğrisi* denilir. Daireye ait günlük yük eğrisinin düzenlenmiş hali Şekil 3’te verilmiştir.

Daireye analizör bağlandığı aynı gün siteyi besleyen transformatörün alçak gerilim çıkışına da bir analizör bağlanarak sitenin çektiği toplam enerjinin yarım saatlik periyotlarla bir günlük değer kaydı yapılmıştır. Sitenin transformatöründeki analizöre kaydedilen günlük enerji miktarı Şekil 4’te gösterilmiş olup en fazla enerji çekilen zaman dilimi 20:06-20:36 saatleri arasındadır.

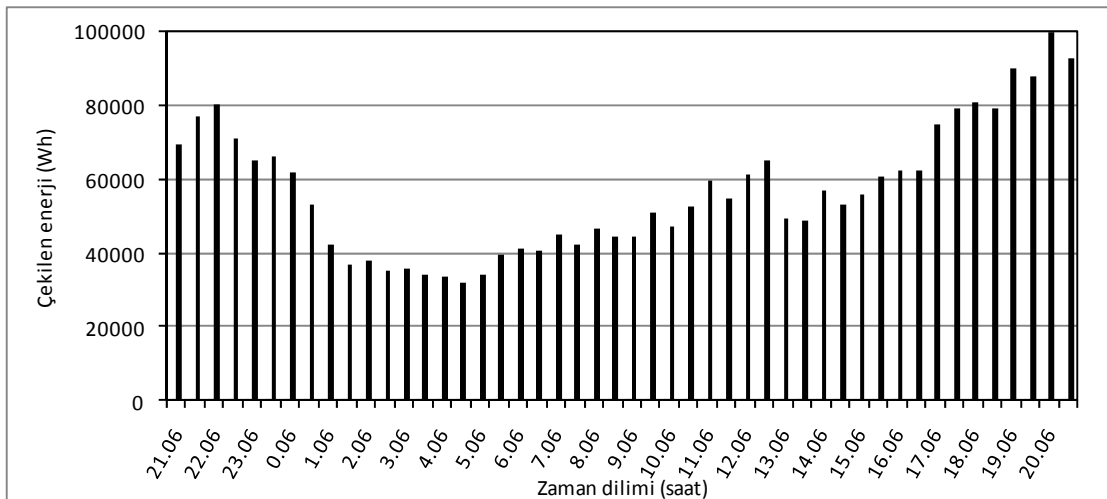
Zafer sitesi 2001 yılı öncesi inşa edildiği için tüm abonelerde elektromekanik sayaçlar kullanılmaktadır. Bu durumda Şekil 3’te verilen günlük yük eğrisine göre hesap yapıldığında abonelerin elektromekanik sayaçlarında meydana gelen toplam günlük kayıp 21,97 Wh olarak ortaya çıkmaktadır. Eğer bu abonelerin tamamında elektronik sayaç kullanılmış olsaydı günlük kayıp enerji 24,31 Wh olacaktı. Sonuç olarak elektronik sayaçlarda elektromekanik sayaçlara göre %10,6 daha fazla kayıp olmaktadır. Her ne kadar elektromekanik sayaçlarda elektroniklere göre daha az kayıp olduğu görülse de elektronik sayaçların kullanımının zorunlu hale getirilmesi sayaçlara müdahale ve okuma hatalarının ortadan kalkmasını sağlamıştır [1].



Şekil 2. Dairenin günlük yük eğrisi



Şekil 3. Dairenin düzenlenmiş günlük yük eğrisi



Şekil 4. Transformatörün alçak gerilim tarafından ölçülen sitenin günlük yük eğrisi

Bütün bloklarda, binalara ait ana panolar blokların girişlerine yerleştirildiğinden dairelere ait sayaçlarda binaların girişlerinde bulunmaktadır. Tüm tasarımlarda sayaçlarla dairelerdeki tali panolar arasında (2x6)'lık kablo kullanılmıştır.

Çalışmada şebeke üzerinde Tasarım-1 ve 2 olmak üzere iki farklı şebeke tasarımı öngörülmüştür. Tasarım-1 yer altı, Tasarım-2 ise mevcut durumdaki yer üstü şebekesidir. Afyonkarahisar Zafer sitesinde Tasarım-1'e ait proje Şekil 5'te, Tasarım-2'ye ait proje ise Şekil 6'da verilmiştir. Tasarımlarda aşağıda verilen kriterler uygulanmıştır [1].

1. Zafer sitesi bir tranformatör bölgesi olup tranformatör gücü 630 kVA 'dır.
2. Dağıtım kutularından (DK) bloklara giden besleme kabloları en fazla 8 adet alınmıştır.
3. Tranformatörlerden DK'ları arasında izin verilen maksimum gerilim düşümü %5 olarak belirlenmiştir.
4. Tranformatör ile DK'lar arasındaki kablolar, gerilim düşümü ve akım taşıma kapasitesine uygun olarak seçilmiştir.
5. Seçilen kabloların kesiti en fazla 185 mm^2 'dir.
6. Konut tüketicilerinin güç faktörü 0.95 olarak alınmıştır.
7. Tasarımlardaki kablolar seçilirken mevcut projedeki talep gücü baz olarak alınmıştır.
8. Bütün tasarımlarda Şekil 3'teki günlük analizör verisi dikkate alınarak kayıp hesapları yapılmıştır.
9. Bloklar 9 daireden oluştuğu için Şekil 3'te verilen bir dairenin çektiği gücün 9 katı alınarak blokların çektikleri güç ve akım değerleri hesaplanmıştır.

4.1 Tasarım-1 İçin Hesaplamalar

Tasarım-1'in projelerinde tranformatörden dağıtım kutularına kadar olan kısımda farklı kablo, DK ile bloklar arasında ise farklı kablo seçilmiştir. Tranformatörden DK'ya kadar giden dört adet tekli kablo seçilmiş olup kesitleri hem gerilim düşümü hem de akım taşıma kapasitesi açısından değerlendirilmiştir.

Hesaplamalar tranformatörden DK'lara ve DK'lardan bloklara şeklinde iki aşamalı olarak yapılmıştır. Bu tasarımda toplam 8 adet DK bulunmaktadır. Şekil 5'ten görüleceği gibi 1. bloktan 8. bloğa kadar olan binalar DK-1'den, 9. bloktan 16. bloğa kadar olan binalar DK-2'den, 17. bloktan 24. bloğa kadar olan binalar DK-3'den, 25. bloktan 32. bloğa kadar olan binalar DK-4'ten beslenmiştir. Akım taşıma kapasitesi ve gerilim düşümü birlikte değerlendirilerek yapılan hesaplamalarda tranformatör ile DK-1, 2, 3, 4 arasında $3(1 \times 185) + (1 \times 95)$ 'lik kablo seçilmiştir. 33. bloktan 38. bloğa kadar olan binalar DK-5'den, 39. bloktan 43. bloğa kadar olan binalar DK-6'dan, 44. bloktan 48. bloğa kadar olan binalar DK-7'den ve 49. bloktan 54. bloğa kadar olan binalar DK-8'den beslenmiştir. Tranformatör ile DK-5, 8 arasında $3(1 \times 120) + (1 \times 70)$ 'lik tranformatör ile DK-6, 7 arasında ise $3(1 \times 95) + (1 \times 50)$ 'lik kablolar kullanılmıştır. DK'lardan bloklara giden hatlarda yapılan hesaplara göre DK ile tüm bloklar arasında (B-25 nolu blok hariç) $(3 \times 25 + 16)$ 'lık kablo kullanılmıştır. DK ile B-25 nolu blok arasında kullanılan kablo ise $(3 \times 35 + 16)$ 'dır. Dağıtım kutuları ile bloklar arasında $(3 \times 25 + 16)$ 'lık kablo kullanılmıştır. Sadece DK ile Blok-25 arasında gerilim düşümü ve akım taşıma kapasitesi açısından $(3 \times 35 + 16)$ 'lık kablo seçilmiştir.

Bu tasarımda tranformatör ile DK'lar arasında oluşan toplam kayıp 4,34 kWh , DK ile bloklar arasında ise 1,34 kWh hesaplanmıştır [1].

4.2 Tasarım-2 İçin Hesaplamalar

Tasarım-2'de ise mevcut şebekedeki çıplak alüminyum iletkenler dikkate alınmıştır. Yer üstü şebekede 66 direk mevcut olup her direkte 150 W gücünde civa buharlı çevre aydınlatma armatürü bulunmaktadır.

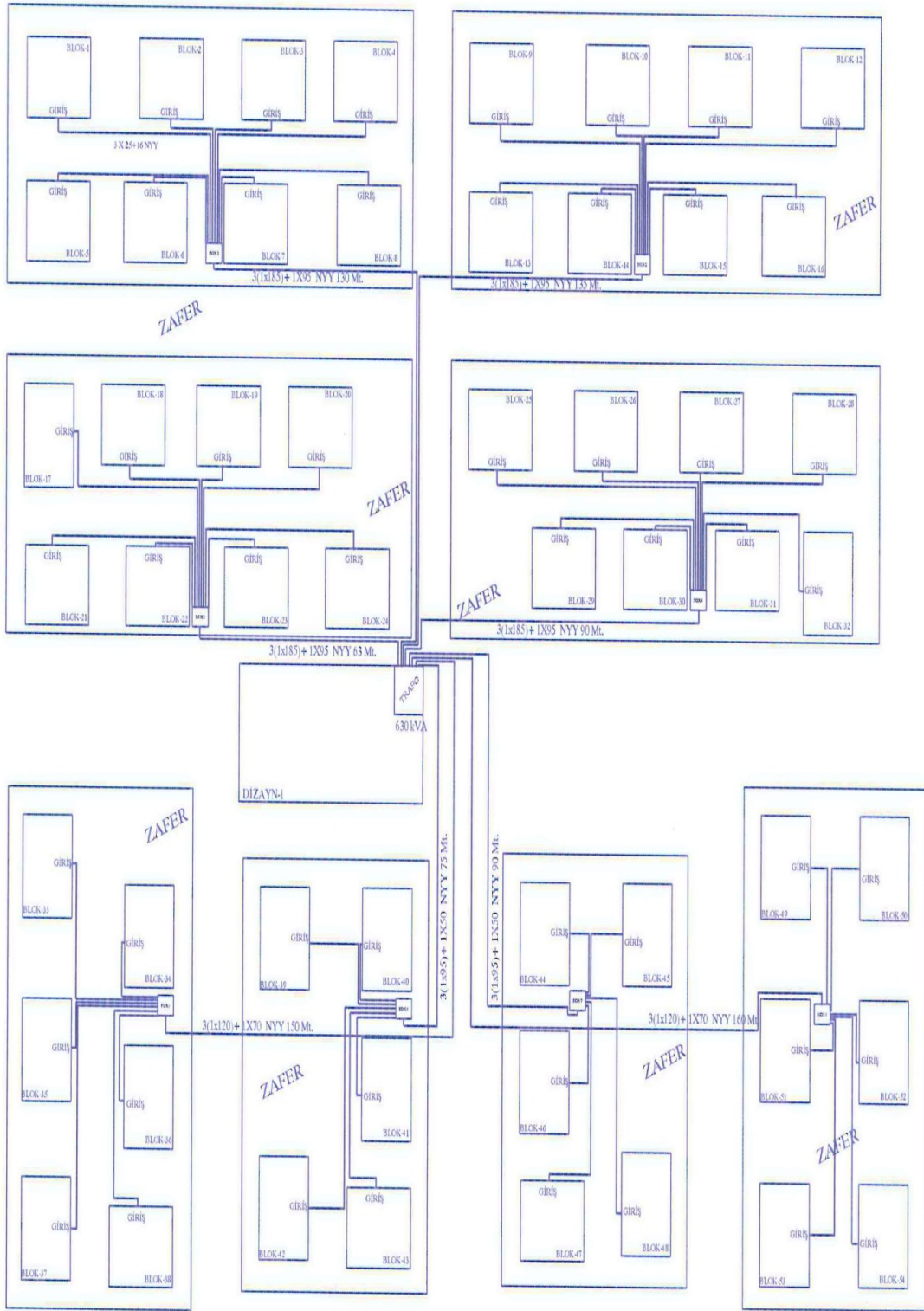
Bu tasarımda hesaplamalar tranformatörden direklere ve direklerden bloklara şeklinde iki aşamalı olarak yapılmıştır. Tasarım-2, mevcut durumdaki havai hat şebekesi olduğundan hat uzunluğu olarak tranformatör ile blokların enerji aldıkları direkler arası mesafeler alınmıştır. Detayları Şekil 6'da verilen şebeke tranformatör çıkışında 6 kola ayrılmaktadır. A, B ve E kollarından $3 \times 50 + 25NYY + 2 \times 10 Cu$ ile çıkan enerji, 3Aster+Pansy/Rose şeklinde iletken grubuyla 8'er bloku beslemektedirler. C kolundan $3 \times 50 + 25NYY + 2 \times 10 Cu$ ile çıkan enerji, 3Aster+Pansy/Rose ile 10 bloku, aynı iletken grubuyla D kolundan 12 bloku, F kolundan ise 7

bloku beslemektedir. Ayrıca F kolundaki direkler vasıtasıyla 630 kVA 'lık tranformatörün beslemesi 3xSwallow ile yapılmaktadır. Tasarımda direkler ile blok girişleri arasında (4x16)'lık kablolar kullanılmıştır.

Bu tasarımda tranformatör ile direkler arasında oluşan toplam kayıp 15,87 kWh , direkler ile bloklar arasında ise 1,59 kWh hesaplanmıştır [1].

4.3 Kayıplar Üzerinde Güç Faktörünün Etkisi

Türkiye'deki konut tüketicilerinin güç faktörü yaklaşık 0,8 civarındadır. Ölçüm alınan dairenin farklı zaman dilimlerindeki güç faktörü ise en az 0,08 ile en çok 0,98 değerleri arasında değişmektedir. Güç faktörünün kayıplar üzerindeki etkisi Çizelge 3'te özetlenmiştir.



Şekil 5. Tasarım-1'e ait yer altı kablo şebeke düzenlemesi



Şekil 6. Tasarım-2'ye ait mevcut yer üstü şebeke düzenlemesi

Çizelgeden görüleceği üzere güç faktörü 0,95 alındığında Tasarım-1’de günlük toplam kayıp 16,35 *kWh* iken güç faktörü 0,85 alındığında 17,77 *kWh* ve 0,5 alındığında ise 31,58 *kWh* olmaktadır. Tasarım-1’de alınan güç faktörleri olan 0,95 ile 0,5 arasındaki günlük enerji kayıpları arasındaki fark 15,22 *kWh* olup yüzde olarak değeri % 93,10 olarak hesaplanmıştır. Bu fark güç faktöründeki değişimin kayıplar üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Benzer değerlendirmeler Tasarım-2 içinde yapılabilir.

Kayıplar üzerinde etkisi nedeniyle müşterilerin güç faktörlerinin 1’e yakın değerler olması tercih edilir. Nitekim TEDAŞ, talep gücü 9 *kW*’nın üzerindeki bütün müşterilerinden mutlaka kompanzasyon sistemini kurarak güç faktörlerini iyileştirmelerini istemektedir.

Çizelge 3. Günlük kayıplar üzerinde güç faktörünün etkisi

Güç Faktörü	Kayıpların olduğu Alan	Tasarım-1 (<i>kWh</i>)	Tasarım-2 (<i>kWh</i>)
0,5	TR-DK	15,60	57,10
	DK-Blok	4,83	5,73
	Sayaçlar	11,15	11,16
	Toplam	31,58	73,99
0,85	TR-DK	5,38	19,76
	DK-Blok	1,67	1,98
	Sayaçlar	10,72	10,72
	Toplam	17,77	32,46
0,95	TR-DK	4,34	15,87
	DK-Blok	1,34	1,59
	Sayaçlar	10,68	10,68
	Toplam	16,36	28,14

4.4 Tasarımlar Arası Kayıp ve Maliyet Analizi

Örnek dairedaki abonenin günlük analizör sonucuna göre harcadığı enerji 4,76 *kWh* olarak ölçülmüştür (Şekil 3). Bu dairede bir günlük, sitede ise toplamda onüç ay yedi günlük ölçüm alınmıştır. Sitedeki 486 aboneye ait çekilen onüç ay yedi günlük enerjinin günlük ortalaması 2477,13 *kWh* hesaplanmıştır. Siteye ait yaklaşık onüç aylık verinin günlük ortalaması ile daireye ait verinin arasındaki fark değerlendirme hatası olarak belirlenmiştir. Bu durumda örnek dairenin genel ortalamaya göre değerlendirme hatası %6,55 olarak bulunmuştur. Bu değerlendirme hatası işleme katıldığında 486 daire tarafından çekilen günlük toplam enerji 2466,44 *kWh* olarak hesaplanır. Şekil 4’te verilen Şubat-2009’da tranformatörün alçak gerilim tarafında alınan günlük analizör verisine göre sitenin çektiği günlük toplam enerji 2728,48 *kWh*’tir. Güç faktörü 0,93 ile 0,71 arasında değişmekte olup ortalaması 0,877’dir. Tranformatörün alçak gerilim çıkışından alınan analizör verilerine abonelerin çektikleri, hat kayıpları ve sokak aydınlatmasında kullanılan enerji dahildir. Sokak aydınlatmasına harcanan enerji bir günlük olarak tranformatörün alçak gerilim panosundaki sayaçtan okunmuştur. Şubat 2009’da sokak aydınlatması için saat 18:00 - 07:00 arası 13 saatlik zamanda 174,18 *kWh*’lik enerji harcadığı görülmüştür. Sokak aydınlatması için harcanan bu enerji sitenin çektiği günlük toplam harcanan 2728,48 *kWh*’lik enerjiden çıkartılırsa 2554,3 *kWh* kalır. Bu miktara kayıp ve aboneler tarafından harcanan enerji dahildir. Hatlardaki kayıp-kaçak ise 2554,3 *kWh*’den 2466,44 *kWh* çıkartıldığında 87,85 *kWh* olarak bulunur. Bu değer yüzde olarak ifadesi %3,43 olarak hesaplanır. Hesaplamalar sonucunda ise Tasarım-2’deki kayıplar güç faktörü 0,5 alındığında 73,99 *kWh*, 0,85 alındığında 32,46 *kWh* ve 0,95 alındığında ise 28,08 *kWh* olarak bulunmuştur. Ölçme ve hesaplama sonucunda bulunan değerler arasında minimum fark (87,85-73,99=13,86)13,86 *kWh* olup, bu da abonelerin daha düşük güç faktörlerine sahip olduklarını göstermektedir. Nitekim örnek daire’ye ait bir günlük ölçülen güç faktörünün ortalaması 0,48’dir.

Farklı tasarımlara ait yıllık kayıp ve maliyet değerleri Çizelge 4’de özetlenmiştir. Bu çizelgede sokak aydınlatmasının yarattığı ilk yatırım maliyetleri dikkate alınmamıştır. İlk yatırım maliyeti olarak blokları besleyen kablolar ve bunlarla ilgili yapılan işçilik fiyatları TEDAŞ 2008 birim fiyatlarına göre yapılmıştır. Tasarım-1’in maliyeti Tasarım-2’nin maliyetinin yaklaşık üç katı olarak ortaya çıkmıştır. Üç farklı güç faktöründe de enerji kaybı açısından değerlendirildiğinde ise Tasarım-2’nin enerji kaybı, Tasarım-1’in yaklaşık iki katı olmaktadır.

Çizelgeye göre, mevcut şebekenin maliyet yönünden elverişli fakat kayıp yönünden elverişsiz olduğu görülmektedir. Yer üstü sistemlerde, hırsızlığın daha fazla olması ve bu nedenden dolayı müşterilerin can güvenliklerinin tehlikeye girmesi, yer üstü sistemlerde çarpılma riskinin daha fazla olmasından dolayı yer altı sistemleri tercih edilmelidir. Ayrıca yer üstü sistemleri görüntü kirliliğine neden olmaktadır.

Çizelge 4. Tasarımlara ait yıllık analizler

Analizler		Tasarım-1	Tasarım-2
Yıllık enerji kaybı (<i>kWh</i>)	$\text{Cos}\varnothing = 0,5$	11 525,97	27 004,53
	$\text{Cos}\varnothing = 0,85$	6 486,45	11 848,96
	$\text{Cos}\varnothing = 0,95$	5 957,31	10 250,08
(%) farkı	$\text{Cos}\varnothing = 0,85$ ile $\text{Cos}\varnothing = 0,95$ arası	8,67	15,38
	$\text{Cos}\varnothing = 0,5$ ile $\text{Cos}\varnothing = 0,95$ arası	93,09	162,95
Yatırım maliyeti (TL)		227 677,73	76 444,08

5. SONUÇ

Ülkeler genelinde meydana gelen enerji kayıpları ve takibi gün geçtikçe daha önemli bir konu haline gelmektedir. Bir anlamda enerji kayıplarının azaltılmasına yönelik çalışmalar, enerjinin üretilmesine yönelik çalışmalarla eşdeğer sayılmaktadır.

Yer üstü sistem olan Tasarım-2'nin yer altı sistemi olan Tasarım-1'e göre maliyet yönünden daha avantajlı olduğu fakat yer altı sistemine göre yıllık bazda yaklaşık 3 kat daha fazla kayıp olduğu görülmektedir. Yer üstü sisteminin kurulmasının daha kolay ve hesaplı olmasına rağmen yer altı sistemine göre daha tehlikeli olduğu bilinmektedir. Yer üstü sistemlerden kaçak olarak enerji çekilmesinin tehlikeli olması, daha fazla kayıp oluşması ve görüntü kirliliğinden dolayı yer altı sistemlerin kurulması tercih edilmelidir. Böylece insanların enerjiyi kaçak olarak kullanmalarının kısmen önüne geçilmiş olacaktır.

Elektromekanik sayaçlar yerine elektronik sayaçların kullanımının zorunlu hale getirilmesiyle birçok avantajının yanında sayaçlardaki bir günlük enerji kaybının fazla olması dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle elektronik sayaçların tasarımları daha uygun devre elemanlarıyla yapılarak bu kayıplar azaltılmalıdır.

Güç faktörünün bire yakın değerde olması enerji kayıplarının azalmasını sağladığından abonelerin güç faktörlerinin bu değer civarında olması istenmeli ve bununla ilgili yapılacak kompanzasyon sistemlerinin kontrolleri daha özenli yapılmalıdır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada her türlü teknik imkanla birlikte gerekli verileri sağlayan Afyonkarahisar TEDAŞ yetkililerine teşekkürü bir borç biliriz.

KAYNAKÇA

- [1] Biçer T., "Elektrik güç sistemleri ve kayıpları", Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 52 s.,2009 (yayımlanmamış).
- [2] Sargın Ş., "Üretimden Tüketime Elektrik Enerjisi Sistemlerinde Meydana Gelen Kayıplar ve Giderilmesine Yönelik Çalışmalar", Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 241.s, 2006.
- [3] Özel K., "Losses in Electric Distribution Systems", M.Sc. Thesis, METU, 108.p, 2006.
- [4] Al Batrani J.A., "Distribution System Loss Optimization for Dakhliah Region MHEW-OMAN", M.Sc. Thesis, Curtin University of Technology, 123.p, 2004.

-
- [5] Şenel S., “Genetik algoritmalar ile enerji iletim kayıpları ve saatlik yakıt giderleri optimizasyonu”, Yüksek lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 63.s, 2006.
- [6] Kurt M., “Enerji Şebekelerinde Güç ve Enerji Kayıplarının Azaltılması Metotları”, Yüksek lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, 94.s, 2001.
- [7] Glamocanin V., “Optimal Loss Reduction of Distribution Networks”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol.5 No.3 Aug.1990 s. 774-782
- [8] Zhengcai F., Liuchun Z., “Joint Optimization for Power Loss Reduction in Distribution Systems”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol.23, No.1, 2008.
- [9] Savier Y.S., and Das D., “Energy Loss Allocation in Radial Distribution Systems: A Comparison of Practical”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.24, No.1, 2009, p.260-267.
- [10] TEDAŞ 2007 Faaliyet Raporu. <http://www.tedas.gov.tr/5.html>, Şubat,2009.
- [11] 2008 Türkiye Elektrik dağıtım ve Tüketim İstatistikleri, <http://www.oib.gov.tr/tedas/tedas.htm>, Şubat,2009.
- [12] Gönen T., “Electric Power Distribution System Engineering”, New York, McGraw-Hill.Inc, 1986.
- [13] Ibrahim E.S., “Management of loss reduction projects for power distribution systems”, Electric Power Systems Research, Vol.55, p.49-56, 1999.