

Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Gerçekleşen Kayıpların Durum Çalışması Işığında İncelenmesi; Kahramanmaraş Örneği

Investigation of Losses in Electricity Distribution Systems Under Case Study of Kahramanmaraş

Fatma AVLİ FIRIŞ¹, Mustafa ŞEKKELİ²

¹AKEDAŞ Elektrik Dağıtım A.Ş., Ar-Ge Merkezi
fatma.avlifiris@akedasdagitim.com.tr

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
msekkeli@ksu.edu.tr

Özet

Elektrik enerji sistemlerinde üretim, iletim ve dağıtım sistemleri olmak üzere farklı kademelerde güç kayıpları meydana gelmekte, bu kayıpların büyük çoğunluğunun ise dağıtım sistemlerinde olduğu bilinmektedir. Dağıtım sistemlerindeki kayıp kavramı, dağıtım sistemine giren enerji ile dağıtım sistemindeki tüketicilere tahakkuk ettirilen enerji miktarı arasındaki farkı oluşturan; teknik ve teknik olmayan kayıplar şeklinde ifade edilebilir. Bu çalışmada, dağıtım sistemlerindeki kayıplar hem teorik bazda hem de durum çalışması bazında ele alınmıştır. Bu kapsamda özellikle teknik kayıpların aktif elektrik dağıtım şebekesinde değişimlerinin daha iyi anlaşılabilmesi için çok sayıda dağıtım üretim santrallerinin dağıtım şebekesine entegre halde bulunduğu pilot bir bölge seçilerek çeşitli üretim ve tüketim koşulları üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında ele alınmış olan elektrik dağıtım şebekesindeki teknik kayıpların en aza indirgenebilmesi adına kurulacak üretim santrallerinin o lokasyon içerisindeki en uygun yerleşimi kritik önemde olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Güneş enerjisi, entegrasyon, güç sistemi, teknik kayıp.

Abstract

In electrical energy systems, power losses occur at different stages, including generation, transmission and distribution systems, and it is known that the majority of these losses occur in distribution systems. The concept of loss in distribution systems is the difference between the energy entering the distribution system and the amount of energy accrued to the consumers in the distribution system; can be expressed as technical and non-technical losses. In this study, losses in distribution systems are discussed both on a theoretical basis and on a case study basis. In this context, in order to better understand the changes in technical losses in the active electricity distribution grid, a pilot region where many

distributed generation plants are integrated into the distribution grid was selected and analyzes were carried out on various production and consumption conditions. In order to minimize the technical losses in the electricity distribution grid discussed in the study, it has been understood that the most appropriate location of the generation plants to be established in that location is of critical importance.

Keywords: Solar energy, integration, power system, technical loss.

1. Giriş

Enerji, ülkelerin refah düzeylerini ve kalkınmalarını önemli ölçüde etkileyen bir faktördür. Elektrik enerjisinin hem sosyoekonomik kalkınmanın hem sanayinin temel girdisi olması hem de elektrik enerjisi kullanımındaki kaynakların sınırlı olması, elektrik enerjisinin verimli kullanılmasını gerektirmektedir. Elektrik enerji sistemlerinde farklı kademelerde güç kayıpları meydana gelmektedir. Bu kayıpları üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinde oluşan kayıplar olmak üzere üç farklı alanda incelemek mümkündür [1]. Dünya çapında kabul görmüş maliyetler incelendiğinde; ortalama sistem maliyetlerinin yarısını üretim maliyetleri oluştururken diğer yarısının %40'unu iletim maliyetleri, %60'unu ise dağıtım maliyetleri oluşturmaktadır. Fakat kayıplar bu üretim maliyetleriyle karşılaştırılacak olursa tam tersi durum bir ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda kayıpların büyük çoğunluğunun dağıtım sistemlerinde olduğu görülmektedir [2]. Özellikle iletim sistemlerine kıyasla dağıtım sistemlerinde akım seviyesinin yüksek, gerilim seviyesinin düşük olması sebebiyle daha fazla kayıplar meydana gelmektedir [3]. Elektrik dağıtım sistemlerindeki kayıp kavramını, dağıtım sistemine giren enerji ile dağıtım sistemindeki tüketicilere tahakkuk ettirilen enerji miktarı arasındaki farkı oluşturan ve maliyeti etkileyen; teknik ve teknik olmayan kayıplar olarak şeklinde tanımlamak

mümkündür [4]. Temel anlamda teknik kayıplar, boşa kayıplar ve yükte kayıplar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Boşa kayıplar, şebeke gerilim altında bulunduğu süre zarfında şebeke yüklü olsa da olmasa da sürekli olarak oluşan kayıplardır [5]. Bu kayıplara örnek olarak transformatörlerin boşa kayıpları, gerilim transformatörlerinin primer sargılarındaki kayıplar, sayaç ve ölçü aletlerinin gerilim bobinlerindeki kayıplar yükten bağımsız kayıplar verilebilir [6]. Yüke bağlı kayıplar ise şebeke yüklenmesi meydana geldiğinde oluşan kayıplardır [7]. Örnek olarak transformatörlerdeki ve kablolardaki ısı kayıpları ile ölçü aletlerinin akım bobinlerindeki kayıplar verilebilir [8]. Teknik kayıplar ayrıca, değişkenlik durumuna göre sabit ve değişken teknik kayıplar olmak üzere iki başlık altında incelenebilmektedir. Sabit teknik kayıplar sistemdeki yük akışından bağımsızdır ve gerilimin karesiyle doğru orantılı olarak artmaktadır. Değişken teknik kayıplar ise ilgili bölümdeki direnç ile doğru orantılı olarak değişmektedir yük akımına bağlıdır. Ayrıca sabit ve değişken teknik kayıpların bağlı olduğu etkenlerin yanı sıra enerji üretim kaynağına olan uzaklık mesafesi de kayıpları etkileyen faktörlerden biridir [9]. Özellikle elektrik dağıtım sistemlerine entegrasyonu giderek artan dağıtık üretim santrallerinin entegrasyonu öncesi projelendirilme süreçlerinde mevcuttaki yönetmeliklere göre gerilim düşümü, kısa devre hesaplamaları ve kesit hesaplamalarının yapılması yeterli olmakta, dağıtık üretimlerin şebeke entegrasyonları neticesinde diğer tüketicilerde ve şebekenin tamamını etkileyecek olaylarda teknik kayıp hesapları yapılmamaktadır. Bu durum ise gün geçtikçe entegrasyonu daha da artan santrallerden kaynaklanacak teknik kayıpların artışında ivmeye neden olacaktır. Bu durumun göz önüne serilmesi ve gerekli önlemlerin alınmasını tetiklemesi anlamında faydalı olduğu düşünülen bu çalışmada, teknik kayıplar, gerçek bir elektrik dağıtım şebeke envanteri üzerinde incelenmiştir. Çalışmanın takip eden diğer bölümünde, teknik ve teknik olmayan kayıpların teorik bilgisi verilmiş, bir sonraki bölümde şebeke analiz işlemlerinin gerçekleştirildiği DIGSILENT Power Factory programı tanıtılarak analizlerin gerçekleşeceği şebeke bilgileri verilmiştir. Bir diğer bölümde ise analiz sonuçları paylaşılmıştır. Sonuç bölümünde ise genel itibarıyla dağıtım sistemindeki kayıplar ve şebeke etkilerinin incelendiği bilgiler yorumlanmıştır.

2. Elektrik Dağıtım Sistemlerindeki Kayıplar

Elektrik dağıtım sistemlerindeki kayıp kavramı, dağıtım sistemine giren enerji ile dağıtım sisteminde tüketicilere tahakkuk ettirilen enerji miktarı arasındaki farkı oluşturan ve maliyeti etkileyen; teknik ve teknik olmayan şekilde tanımlanabilir. Teknik olmayan kayıplar, genel itibarıyla ölçülemeyen ve faturalanamayan enerji olarak ifade edilebilmekte ve toplam kayıptan teknik kayıpların çıkartılmasıyla bulunabilmektedir [3]. Dağıtım sistemlerinde teknik olmayan kayıplar, elektrik enerjisinin ilgili tedarik şirketi tarafından başarılı bir şekilde dağıtılmasına rağmen son kullanıcılar tarafından enerji tüketim bedelinin ödenmemesi nedeniyle meydana gelmektedir.

Bu kayıpları en yaygın olarak; ölçüm cihazlarına kullanıcılar tarafından müdahale edilmesi suretiyle hiç tüketim gerçekleşmemiş gibi gösterilmesi ya da enerji tüketimlerinin göstergesi olan endekslerin kasıtlı olarak eksik gösterilmesi gibi kaçak kullanımlar meydana getirmektedir. Ayrıca bu kapsamda arızalı ölçüm cihazları sebebiyle tüketim endekslerinin hatalı olarak hesaplanması veya planlama ve denetimlerdeki eksiklikler nedeniyle alınamayıp hesaplanamamış olan tüketim endeksleri de yer almaktadır. En genel ifadeyle teknik olmayan kayıpları; gerçekte tüketilen enerji ile ölçülen enerji arasındaki fark olarak tanımlamak mümkündür. Teknik kayıplar kavramı ise; dağıtım hatlarında, dağıtım transformatörlerinde, koruma kumanda sisteminde ve alçak gerilim hatlarında oluşan kayıplar olarak sınıflandırılabilir. Teknik kayıplar, bu alt başlıklar halinde incelenmektedir.

2.1. Dağıtım Hatlarında Oluşan Teknik Kayıplar

Ülkemizdeki enerji iletim hatları beton, boyalı kaynaklı demir ve galvanizli cıvatalı demir direkli olarak projelendirilmektedir. Günümüzde özellikle yerleşim bölgelerinde imar bölgesi içinden geçmesi gereken enerji iletim hatları yeraltı kablolu olarak tesis edilmektedir. Elektrik dağıtım hatlarında ise Swallow (SW-3 AWG), Raven (1/0 AWG), Pigeon (3/0 AWG), Partridge (266,8 MCM) ve Hawk (477 MCM) çelik özlü alüminyum iletkenler kullanılmaktadır. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumunun 30/12/2004 tarih ve 414 nolu kurul kararı ile TEDAŞ dağıtım sistemindeki azami kayıp oranları belirlenmiştir. Orta Gerilim (6,3 kV, 10,5 kV, 15,8 kV, 33 kV) dağıtım sisteminde kullanılan iletkenlere göre hesaplanmış güç kayıpları Tablo 1'de gösterilmiştir (EPDK, 2004).

Tablo 1. Orta gerilimde azami güç kayıpları (%)

İletken Tipi	Hat Kayıpları (km başına %)			
	Gerilim (kV)			
	6,3	10,5	15,8	3,3
Swallow (SW-3AWG)	3,63	2,18	1,45	0,69
Raven (1/0 AWG)	2,82	1,69	1,12	0,54
Pigeon (3/0 AWG)	2,28	1,37	0,91	0,43
Partridge (266,8 MCM)	2,05	1,23	0,82	0,39
Hawk (477 MCM)	1,66	1	0,66	0,32

2.2. Dağıtım Transformatörlerinde Oluşan Teknik Kayıplar

Elektrik dağıtım sistemlerinde kullanılan transformatörler; kuru tip, hermetik ve yağ genleşmeli olmak üzere 3 çeşittir. Transformatörlerde en önemli yaşlanma, işletme esnasında ısınmanın etkisiyle transformatörün kayıplarından meydana gelen oluşan oksitlenme ile olmaktadır. Oksitlenme yoluyla yaşlanmayı önlemenin en iyi yolu transformatör içindeki katı yalıtım malzemelerinin ve yağın oksijen ile temasını kesmektir. Bu amaçla yağın hava ile temas etmediği hermetik tip transformatörler geliştirilmiştir. Dağıtım sistemlerinde daha çok kullanılan hermetik transformatörler genleşmeli transformatörlere oranla

daha uzun ömürlü olabilmektedir. Transformatör kayıpları (1) eşitliği ile hesaplanabilmekte, EPDK kararına göre azami transformatör kayıp oranları Tablo 2’de belirtilmektedir (EPDK, 2004).

$$Trafo\ Kaybı = \frac{Boşta\ Kayıplar + (Yükte\ Kayıplar \times Yük\ Faktörü)}{Transformatör\ Gücü \times Güç\ Faktörü \times Yük\ Faktörü} \quad (1)$$

Tablo 2. Genleşmeli ve hermetik tip transformatör kayıp oranları

Nominal Trafo Gücü	İşletme Gerilimi	Boşta Kayıplar	Yükte Kayıplar
kVA	kV	kW	kW
50	15	0,19	1,1
	33	0,23	1,25
100	15	0,32	1,75
	33	0,38	1,95
160	15	0,46	2,35
	33	0,52	2,55
250	15	0,65	3,25
	33	0,78	3,5
400	15	0,93	4,6
	33	1,12	4,9
630	15	1,3	6,5
	33	1,45	6,65
800	15	1,5	8,5
	33	1,75	8,7
1000	15	1,7	10,5
	33	2	10,5
1250	15	2,1	13
	33	2,25	13
1600	15	2,6	17
	33	2,8	17

Transformatörlerde yük arttıkça kayıplar artmaktadır. Bu sebeple transformatörlerde yük faktörünün %65 ila %70 düzeylerini geçmemesi gerekmektedir. Transformatörlerdeki enerji kayıpları yüke bağlı olmayan ve yüke bağlı olan olmak üzere iki şekilde oluşur. Yüke bağlı olmayan kayıplar transformatörün çekirdeğindeki histerezis ve girdap akımlarının neden olduğu boştaki kayıplardır. Yüke bağlı olan kayıplar ise bobinlerin ısınmasıyla oluşan kayıplardır. Gerilimin belli değerlerinde boştaki kayıpları sabittir. Ancak genel olarak transformatörün bakır kayıpları nominal değerine ait bakır kayıplarına eşit olmayıp transformatörden geçen akıma bağlı olarak değişmektedir. Bakır kayıpları gücün karesiyle orantılı olduğu için transformatörün gerçek güç kayıpları Eşitlik (2) ile hesaplanabilmektedir.

$$P_{Cu} = P_{Cunom} \times \frac{S_{tr}^2}{S_{trnom}^2} \quad (2)$$

Bu eşitlikte P_{Cu} transformatörden geçen güce göre oluşacak bakır kaybını, S_{tr} transformatörden geçen gücün gerçek değerini, P_{Cunom} transformatörün nominal bakır kaybını, S_{trnom} ise transformatörün nominal gücünü göstermektedir.

2.3. Koruma Kumanda Sistemlerinde Oluşan Teknik Kayıplar

Elektrik kuvvetli akım tesisleri yönetmeliği doğrultusunda 30.11.2002 tarihi itibarıyla, yeni yapılacak olan elektrik dağıtım sistemlerinde bina tipi trafolarda koruma kumanda sistemi olarak hava ve gaz yalıtımlı olmak üzere iki çeşit olan metal muhafazalı modüler hücrelerin kullanılması gereklidir. Hava yalıtımlı modüler hücrelerde bara bağlantı bölümü hava yalıtımlıdır. Gaz yalıtımlı hücrelerde ise anahtarlama elemanlarının ve topraklama ayırıcılarının gerilim altındaki aktif bölümleri ve baraları SF6 gazı ile yalıtılmıştır. Elektrik dağıtım sistemlerinde genel olarak yük ayırıcılı giriş-çıkış, kesicili giriş-çıkış ve sigortalı yük ayırıcılı trafo koruma hücreleri kullanılmaktadır. Bu hücrelerde ayırıcı ve kesicilerin motor ve açma-kapama bobinlerinde güç tüketimi bulunmaktadır. Tablo 3’te bu güç tüketimine ait belirtilen (yük ayırıcısı, ayırıcı ve kesici için) örnek değerler verilmiştir (Schneider Electric, 2019). Ayrıca iç dirençleri dolayısıyla küçük seviyede güç kaybı meydana gelmektedir. Bahsedilen bu güç kayıpları düşük değerlerde olduğundan güç kaybı hesaplamalarında ihmal edilmektedir.

Tablo 3. Ayırıcı ve Kesici için Motor ve Bobin Güçleri

	Ayırıcı için Motor ve Bobin Güçleri	Kesici için Motor ve Bobin Güçleri
Güç Devresi (V)	230	230
Motor (VA)	200	700
Açma Bobini (VA)	600	550
Kapama Bobini (VA)	60	180

2.4. Alçak Gerilim Hatlarında Oluşan Teknik Kayıplar

Elektrik dağıtım sistemleri kapsamında şehir şebekelerinde alçak gerilim hatları, havai hatlı ve yeraltı kablolu olmak üzere iki şekilde tesis edilmektedir. Alçak gerilim havai hat şebekesinde rose, pansy, aster alüminyum ile beton ve demir direkler kullanılmaktadır. Yeraltı kablolu hatlar ise bakır (NYY) ve alüminyum (NAYY) kablolu olarak projelendirilmektedir. Şehir şebekelerinin büyük çoğunluğunu havai hatlar oluşturmaktadır. Bunun sebebi, havai hat tesis maliyetinin daha düşük olması, bakım ve onarımların daha hızlı yapılması ve ek değişikliklerin daha kolaylıkla gerçekleştirilmesidir. Son yıllarda yüksek enerji tüketimi, nüfus yoğunluğu, havai hattın gerek kapasite olarak yetersiz olması gerekse de güvenlik ve çevre görünümü açısından sakıncalı olacağı gibi sebeplerden ötürü havai hatlar yeraltı kablolu hatlara dönüştürülmektedir. Yeraltı tesislerinin başlıca avantajları; uzun ömürlü olması, yerleşim merkezinin estetik görünümünü olumsuz etkilememesi, hava şartlarından etkilenmemesi ve işletim-bakım işlemlerinin kolay olmasıdır. Ancak yine de bu avantajların karşılığında tesis maliyeti havai hatlı

şebekeye göre daha yüksektir. Ayrıca bakım maliyetleri düşük olmasına karşın, arıza meydana gelmesi durumunda yüksek onarım maliyetleri gerektirmektedir. TEDAŞ Alçak Gerilim (0,4 kV) dağıtım sisteminde kullanılan iletkenler için kilometre başına % 3,63 kayıp oranı olarak belirlenmiştir (EPDK, 2004). Yeraltı kablolarının kesiti yük artışlarına müsaade edecek derecede büyük seçilmelidir. Kablo ve iletkenlerdeki kayıplar kablo iletkenin direnci ve yük akımının karesi ile orantılıdır. Enerji kaybı tek fazlı kabloda Eşitlik (3) ile üç fazlı kabloda ise Eşitlik (4) ile hesaplanabilmektedir.

$$P = 2 \times R \times I^2 \quad (3)$$

$$P = 3 \times R \times I^2 \quad (4)$$

2.5. Elektrik Sayaçlarında Oluşan Teknik Kayıplar

Elektrik enerjisinin ölçülmesi; üretilen ve tüketilen elektrik enerjisinin bilinerek enerji maliyetinin hesaplanabilmesi ve kayıpların bulunabilmesi için kritik önemdedir. Elektrik sayaçları, elektrik devresinden çekilen güçlerin sabit değerini veya değişken değerlerini zaman ekseninde toplayıp kilowattsaat (kWh) cinsinden (genellikle) kaydeden ölçü elemanıdır. Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliğine göre 08.12.2001 tarihinden itibaren ilk kez enerji alacak yeni abonelerde elektronik sayaç zorunluluğu getirilmiştir.

Elektrik sayaçlarının akım devrelerinde ve gerilim devrelerinde de kayıplar meydana gelmektedir. Elektronik sayaçlarda gerilim devresinde 2 Watt, 10 Volt-Amper'den, akım devresinde ise 4 Volt-Amper'den daha küçük güç harcanmaktadır. Elektromekanik sayaçların gerilim devresinde 1.4 Watt, akım devresinde 1 Volt-Amper güç harcanmaktadır. Akım devresindeki güç kayıpları yük akımıyla değişmektedir. Akım devresindeki elektrik enerjisinin kayıp değerleri hesaplanırken günlük yük eğrisi kullanılmaktadır. Sayaçlar için verilen kayıp değerleri 10 Amper anma akımındadır. Güç kayıplarındaki değişim, akımdaki değişimin karesi ile orantılıdır. Güç faktörü elektromekanik sayaçlarda 0,85, elektronik sayaçlarda ise 0,98 alınmaktadır.

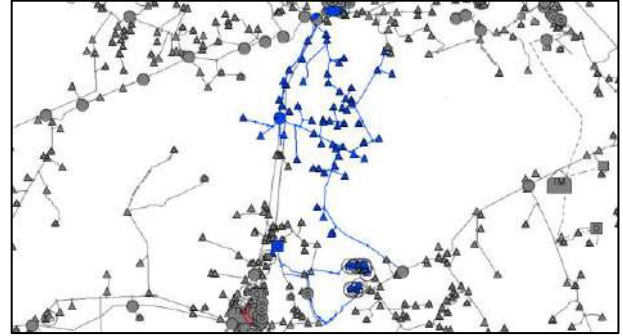
3. Gerçek Bir Elektrik Dağıtım Şebekesinde Teknik Kayıpların Analizi

3.1. Simülasyon Çalışması

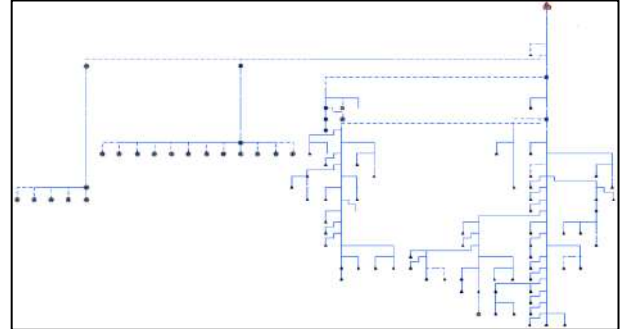
DIgSILENT "Digital Simulation of Electrical Networks" kelimesinin kısaltılmış hali olup iletim, dağıtım ve endüstriyel elektrik sistemlerinin analizinde, planlanmasında ve işletilmesinde optimizasyon hedeflerine ulaşmak için kullanılan ve "Digital Simulation of Electrical Networks" kelimesinin kısaltılmış hali olarak isimlendirilen bir programdır [10]. Bu program vasıtasıyla edinilen sonuçların geçerliliği ve doğruluğu dünya genelinde güç sistemlerinin planlanması ve işletilmesiyle alakalı kurum ve kuruluşlar tarafından onaylanmıştır [11][12].

DIgSILENT programı ile özellikle elektrik iletim ve dağıtım sistemleri üzerindeki gerçekleştirilmesi karmaşık olan çok sayıda analizin ve kontrolün sağlanması da kolaylaşmaktadır. Bunlar; yük akışı analizi, kararlılık analizi, güvenilirlik analizi, dağıtım sistemleri analizi, mesafe ve aşırı akım zaman koruma, kısa devre hesaplamaları, harmonik hesaplamaları ve teknik kayıp hesaplamaları olarak sıralanabilmektedir [13].

Kahramanmaraş ilinin elektrik dağıtım hizmetini üstlenen AKEDAŞ Elektrik Dağıtım Şirketi'nin coğrafi bilgi sistemi, Python ve DIgSILENT Programlama Dili (DPL) kodları yardımıyla DIgSILENT PowerFactory programında oluşturulmuş olan AKEDAŞ elektrik dağıtım orta gerilim şebekesinin modeli, bu çalışma kapsamında seçilen bir fider bazında ele alınmıştır. DIgSILENT PowerFactory programında oluşturulmuş bu fiderin coğrafi modeli Şekil 1'de, tek hat şeması ise Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 1. Pilot fiderin coğrafi model görünümü



Şekil 2. Pilot fiderin tek hat şeması görünümü

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen teknik kayıp analizleri; Kahramanmaraş bölgesinde yer alan elektrik dağıtım şebekesine bağlı bir pilot fider üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu pilot fider, 85.494 kilometre uzunluğunda olup 69 adet 6.844 MW kurulu güçte yük trafosuna ve 18 adet 17.033 MW kurulu güçte güneş enerjisi santrali trafosuna sahiptir. Fider üzerinde bulunan ve dolayısıyla dağıtım şebekesine entegre halde bulunan güneş enerjisi santrallerinin günün her saatinde farklı seviyelerde üretim yapmasının yanı sıra aynı zamanda mevsimsel olarak da üretim seviyesinin farklılıklar göstermesinden dolayı teknik kayıp hesaplamaları farklı senaryolar altında gerçekleştirilmiştir. Bu senaryolar;

- Yalnızca üretimlerin gerçekleştiğinin varsayıldığı durum
- Üretimlerin ve tüketimlerin tam kapasiteyle gerçekleştiğinin varsayıldığı durum
- Üretimlerin ve tüketimlerin yarı kapasiteyle gerçekleştiğinin varsayıldığı durum
- Yalnızca tüketimlerin (tam kapasiteyle) gerçekleştiğinin varsayıldığı durum
- Yalnızca tüketimlerin (yarı kapasiteyle) gerçekleştiğinin varsayıldığı durum

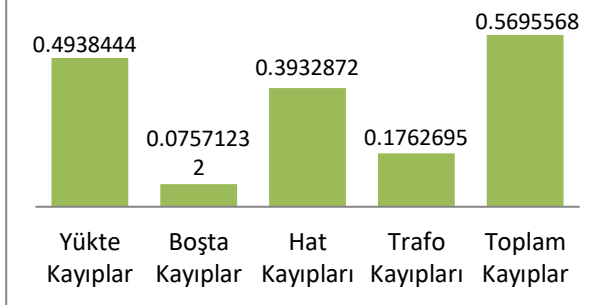
Şeklinde 4 farklı başlıkta ele alınmıştır.

3.2. Simülasyon Sonuçları

Bölgede yer alan elektrik dağıtım şebekesine ait bir fider üzerinden şebekeye entegre haldeki dağıtık üretim santrallerinin şebekede meydana gelen teknik kayıplara etkisinin ele alındığı bu çalışmada teknik kayıp hesaplamaları, DIGSILENT programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda ulaşılan sonuçlar alt başlıklar halinde aşağıda özetlenmiştir.

3.2.1. Yalnızca üretimlerin gerçekleştiği durum

Bu analizde; güneş enerji santrallerinin yaz aylarına ve gün ortasına denk gelen bir vakitte üretim yaptığı düşünülerek tam kapasite çalıştığı, buna karşılık bölgede hiç tüketim yapılmadığı varsayılmıştır. Şekil 3'te, bu senaryo dâhilinde fider üzerinde meydana gelen teknik kayıpların türlerine göre dağılımları verilmiştir.



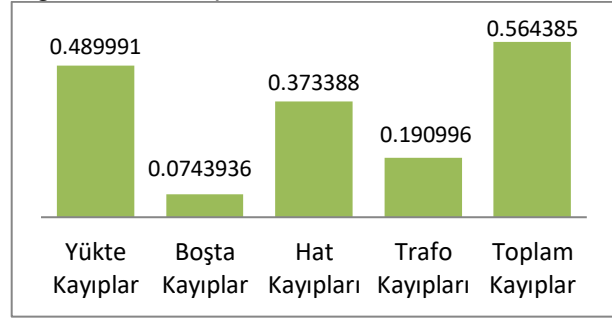
Şekil 3. Yalnızca üretimler gerçekleştiğinde teknik kayıpların dağılımı

Grafik incelendiğinde, toplam kayıpların 0.569 MW olduğu görülmektedir. Bu toplamda yer alan yükte kayıplar 0.493 MW olurken boşta kayıplar 0.075 MW'lık kısmı oluşturmaktadır. Aynı kapsamda; transformatör kayıpları 0.176 MW iken hat kayıpları 0.393 MW olarak görülmüştür. Bu senaryoda bölgede üretilen enerjinin hiç tüketilememesi sebebiyle kayıplar oldukça yüksek olmuştur.

3.2.2. Üretimlerin ve tüketimlerin tam kapasite gerçekleştiği durum

Bu senaryoda; güneş enerji santrallerinin yaz aylarına ve gün ortasına denk gelen bir vakitte üretim yaptığı düşünülerek tam kapasite çalıştığı, tüketimlerin ise mevcut trafo kapasitesinin tümüyle gerçekleştirildiği varsayılmıştır. Şekil 4'te, bu senaryo dâhilinde fider

üzerinde meydana gelen teknik kayıpların türlerine göre dağılımları verilmiştir.

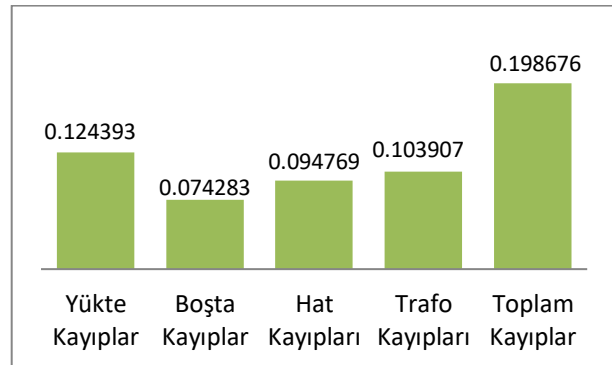


Şekil 4. Üretimler ve tüketimler tam kapasite iken teknik kayıpların dağılımı

Grafik incelendiğinde, toplam kayıpların 0.564 MW olduğu görülmektedir. Bu toplamda yer alan yükte kayıplar 0.489 MW olurken boşta kayıplar 0.074 MW'lık kısmı oluşturmaktadır. Aynı kapsamda; transformatör kayıpları 0.190 MW iken hat kayıpları 0.373 MW olarak görülmüştür. Üretim santrallerinin gücü, bölgedeki toplam gücün yaklaşık olarak 3 katı olduğundan dolayı hem üretimin hem tüketimin tam kapasite gerçekleşmesi, bölgede üretilen fazla enerjinin tüketilemeden transformatör merkezine gönderilmesine neden olmaktadır. Bu durumda aktif güç kaybı $P = 3 * I^2 * R$ eşitliğine göre hattın akan akımın karesiyle ve hattın empedans büyüklüğüyle orantılı olarak artmaktadır. Dolayısıyla hattın akan akımla orantılı olarak kayıplar yüksek olmaktadır.

3.2.3. Üretimlerin ve tüketimlerin yarı kapasite gerçekleştiği durum

Bu analizde; güneş enerji santrallerinin yaz aylarında gün ortası dışında ya da yaz ayları dışındaki bir günde gün ortasına denk gelen bir vakitte üretim yaptığı düşünülerek yarı kapasite çalıştığı, tüketimlerin ise mevcut trafo kapasitesinin yarısıyla gerçekleştirildiği varsayılmıştır. Şekil 5'te, bu senaryo dâhilinde fider üzerinde meydana gelen teknik kayıpların türlerine göre dağılımları verilmiştir.



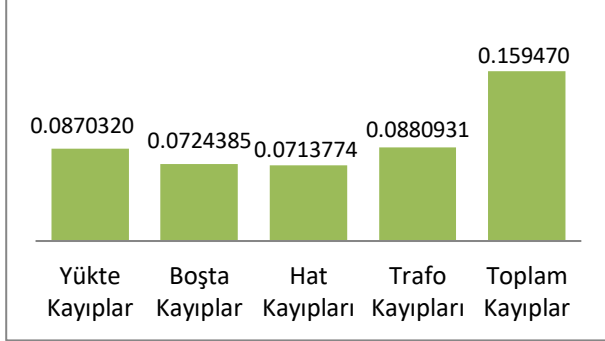
Şekil 5. Üretimler ve tüketimler yarı kapasite iken teknik kayıpların dağılımı

Grafik incelendiğinde, toplam kayıpların 0.198 MW olduğu görülmektedir. Bu toplamda yer alan yükte kayıplar 0.124 MW olurken boşta kayıplar 0.074 MW'lık kısmı oluşturmaktadır. Aynı kapsamda; transformatör kayıpları 0.103 MW iken hat kayıpları 0.094 MW olarak görülmüştür. Bölgede yer alan üretim

santrallerinin gücünün bölgedeki yükün gücünden fazla olmasına rağmen üretim kapasitesinin yarıya düşmüş olması, trafolarla ve özellikle santral çıkışlarındaki hatlarda yüklenmenin nispeten az olmasını sağlamıştır.

3.2.4. Yalnızca tüketimlerin tam kapasite gerçekleştiği durum

Bu analizde; güneş enerji santrallerinin devrede olmayıp tüketimlerin ise mevcut trafo kapasitesinin tümüyle gerçekleştirildiği varsayılmıştır. Şekil 6'da, bu senaryo dâhilinde fider üzerinde meydana gelen teknik kayıpların türlerine göre dağılımları verilmiştir.

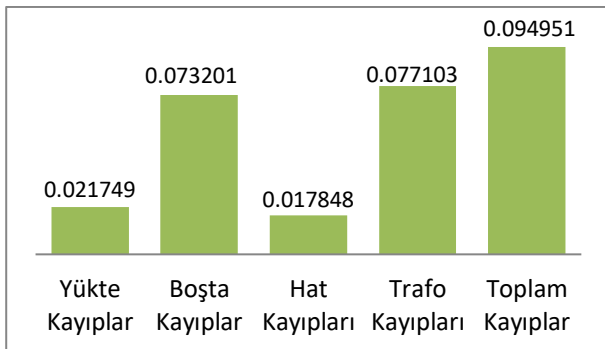


Şekil 6. Yalnızca tüketimler tam kapasite iken teknik kayıpların dağılımı

Grafik incelendiğinde, toplam kayıpların 0.159 MW olduğu görülmektedir. Bu toplamda yer alan yükte kayıplar 0.087 MW olurken boşta kayıplar 0.072 MW'lık kısmı oluşturmaktadır. Aynı kapsamda; transformatör kayıpları 0.088 MW iken hat kayıpları 0.071 MW olarak görülmüştür. Bölgede hiç üretim santralinin bulunmamasının yanı sıra tüketimlerin tam kapasite olarak devam ediyor olması sebebiyle hattan nispeten daha az akım geçtiği için transformatör ve hat kayıpları azalmıştır.

3.2.5. Yalnızca tüketimlerin yarı kapasite gerçekleştiği durum

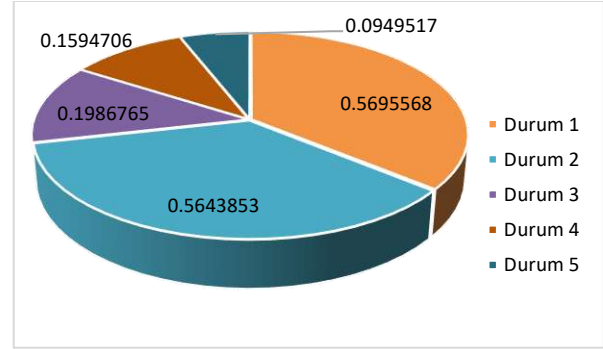
Bu analizde; güneş enerji santrallerinin devrede olmayıp tüketimlerin ise mevcut trafo kapasitesinin yarısıyla gerçekleştirildiği varsayılmıştır. Şekil 7'de, bu senaryo dâhilinde fider üzerinde meydana gelen teknik kayıpların türlerine göre dağılımları verilmiştir.



Şekil 7. Yalnızca tüketimler yarı kapasite iken teknik kayıpların dağılımı

Grafik incelendiğinde, toplam kayıpların 0.094 MW olduğu görülmektedir. Bu toplamda yer alan yükte

kayıplar 0.021 MW olurken boşta kayıplar 0.073 MW'lık kısmı oluşturmaktadır. Aynı kapsamda; transformatör kayıpları 0.077 MW iken hat kayıpları 0.017 MW olarak görülmüştür. Bölgede üretim hiç olmaması ve üretim fazlası enerjinin tüketilemeden dönüp kayıpları arttığı duruma engel olmuş ve hat kayıplarını azaltmıştır. Aynı şekilde tüketimin de yarı kapasitede olması transformatör kayıplarını azaltmıştır. Toplamda ise diğer tüm koşullara nazaran en az teknik kayıpların yaşandığı durum gözlenmiştir.



Şekil 8. Toplam teknik kayıpların tüm durumlara göre dağılımları

Üretim santrallerinin ve tüketimlerin çeşitli kapasitelerde gerçekleştiğinin varsayıldığı tüm durumlarda gözlemlenen teknik kayıplar Şekil 8'de görülmektedir. Gerçekleştirilen çeşitli analizlerden ve analizlerin verildiği grafiklerden de anlaşılacağı üzere; bölgede üretilen enerjinin harcanacağı tüketim gücü yeterince bulunmadığında, tüketilen enerji aynı hat üzerinden yeniden transformatör merkezine döneceğinden teknik kayıplar fazla olmaktadır. Tüketilemeyip geri dönen enerjinin miktarı arttıkça kayıplar daha da çok artacaktır. Aynı mantıkta, tüketilemeyip geri dönen enerjinin miktarı azaldıkça kayıplar azalacaktır.

4. Sonuçlar

Enerji dağıtım sistemlerindeki teknik kayıpların, sistemde kullanılan teçhizatlardan kaynaklı olarak meydana geldiğini söylemek mümkündür. Elektrik enerjisi üretim santralinden son kullanıcıya kadar uzanan enerji akış prosesinde üretim santrali ile yükseltici şalt sahası arasındaki uzaklığın az olması ve dolayısıyla kullanılmakta olan iletkenin uzunluğunun da az olması nedeniyle bu kısımdaki kayıplar dağıtım sistemlerine nazaran düşük olmaktadır. Fakat hem son kullanıcıları kapsamı hem de mesafe açısından çok uzun alçak gerilim ve orta gerilim hatlarını bulundurma sebebiyle dağıtım sistemlerindeki kayıplar çok büyük rakamlarda olmaktadır [14]. Bu çalışmada, Kahramanmaraş bölgesinde yer alan güneş enerji santrallerinin teknik kayıp hesaplamaları yapılmaksızın plansız bir şekilde bu bölgedeki elektrik dağıtım şebekesine entegrasyonu yapılması durumunda oluşacak; şebekenin teknik kayıp değerleri incelenmiştir. Çalışmada, üzerinde çok sayıda güneş enerji santralinin bağlı olduğu bir pilot fider üzerinden

şebekenin teknik kaybının analizi, şebeke analiz programı olan Digsilent Power Factory programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda öncelikle seçilen pilot fiderin modellemesi yapılmış, oluşturulan bu model üzerinden farklı üretim koşullarında görülebilecek transformatör ve hat kayıplarına ait rakamlar gözlenmiştir.

Analiz sonuçlarına göre; üretim santrallerinin bölgede tüketilen enerjiden daha çok seviyede üretim yapması durumunda, üretilen enerji tüketilemeden trafo merkezine gönderildiğinden teknik kayıplarda artış görülmüş, üretim seviyesinin bölgede tüketilen enerji seviyesine yaklaşması durumunda ise kayıplarda azalma olduğu görülmüştür. Bölgede hiç üretim santralinin kurulmamış olduğunun varsayıldığı durumda teknik kaybın az olduğu, tüketimin hiç olmadığı bölgeye üretim santrali kurulması durumunda ise en yüksek teknik kayıpların olduğu görülmüştür.

Güneş enerjisine dayalı elektrik üretim santrallerinin şebekeye entegrasyonlarında, üretim tesisi ve bölgedeki yük durumu, önemli bir rol oynamaktadır. Çalışma kapsamında da ele alınan teknik kayıpların en aza indirgenbilmesi adına kurulacak üretim santrallerinin o lokasyon içerisindeki en uygun yerleşimi kritik önemdedir. Bölgedeki tüketim seviyesinin düşük olduğu yerlere küçük güçlerde ve az sayıda üretim tesisi entegrasyonunun gerçekleştirilmesi, tüketim seviyesinin yüksek olduğu yerlerde ise bu tüketim seviyesine yakın kapasitelerde üretim tesisi entegrasyonunun gerçekleştirilmesi önem arz etmektedir. Böylece çok sayıda üretim santralleri tarafından üretilen yüksek seviyelerdeki enerjinin şebekeye bir noktadan verilmesi yerine aynı gücün dağıtılarak uygulanması sağlanabilecek ve bu durumda şebekenin teknik kayıplarında önemli ölçüde iyileşmeler görülebilecektir.

Kaynaklar

- [1] P. Antmann, "Reducing Technical and Non-Technical Losses World Bank.pdf," no. July 2009, pp. 1–35, 2009, [Online]. Available: openknowledge.worldbank.org.
- [2] C. Marmara, D. Dani, and M. A. N. Y. R. D. Do, "Üret İ Mden Tüket İ Me Elektr İ K Enerj İ S İ Stemler İ Nde Meydana Gelen Kayıplar Ve G İ Der İ Lmes İ Ne Yönel İ K Çali Ş Malar."
- [3] C. Yaşar, Y. Aslan, and T. Biçer, "Bir dağıtım transformatörü bölgesindeki kayıpların incelenmesi," *DPÜ Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, vol. 22, pp. 9–22, 2010.
- [4] A. D. Suhendra, R. D. Asworowati, and T. Ismawati, "No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析 Title," *Akrab Juara*, vol. 5, no. 1, pp. 43–54, 2020, [Online]. Available: <http://www.akrabjuara.com/index.php/akrabjuara/article/view/919>.
- [5] M. Ahmadi, O. B. Adewuyi, M. S. S. Danish, P. Mandal, A. Yona, and T. Senjyu, "Optimum

coordination of centralized and distributed renewable power generation incorporating battery storage system into the electric distribution network," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 125, no. August 2020, p. 106458, 2021, doi: 10.1016/j.ijepes.2020.106458.

- [6] J. Martins, S. Spataru, D. Sera, D. I. Stroe, and A. Lashab, "Comparative study of ramp-rate control algorithms for PV with energy storage systems," *Energies*, vol. 12, no. 7, 2019, doi: 10.3390/en12071342.
- [7] C. K. Das, O. Bass, G. Kothapalli, T. S. Mahmoud, and D. Habibi, "Overview of energy storage systems in distribution networks: Placement, sizing, operation, and power quality," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 91, no. November 2016, pp. 1205–1230, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.03.068.
- [8] M. Sekkeli and S. Erol, "Power Quality Analysis and Evaluation at Water Pumping Station Supplied by Medium Voltage," *Acad. Platf. J. Eng. Sci.*, vol. 2, no. 1, pp. 41–47, 2014, doi: 10.5505/apjes.2014.91300.
- [9] B. Düzgün, "Türkiye Elektrik İletim ve Dağıtım Şebekesinin Enerji Verimliliğinin Değerlendirilmesi ve 2023 Projeksiyonları," *J. Polytech.*, vol. 0900, no. 3, pp. 621–632, 2018, doi: 10.2339/politeknik.389604.
- [10] F. Gonzalez-Longatt and J. Rueda, *PowerFactory Applications for Power System Analysis*. 2014.
- [11] M. Saygılı and S. S. Tezcan, "Enerji İletim Hattı Koruma Modellemesi ve Analizi ile Ankara Bölge Uygulaması," *Gazi Üniversitesi Fen Bilim. Derg. Part C Tasarım ve Teknol.*, vol. 7, no. 2, pp. 303–316, 2019, doi: 10.29109/gujsc.498867.
- [12] Y. Zhu, C. Liu, K. Sun, D. Shi, and Z. Wang, "Optimization of battery energy storage to improve power system oscillation damping," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 10, no. 3, pp. 1015–1024, 2019, doi: 10.1109/TSTE.2018.2858262.
- [13] Y. Sarıkaya, "DAĞITILMIŞ ÜRETİM KAYNAKLARININ ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMLERİNE ETKİLERİNİN DİGSİLENT POWERFACTORY PROGRAMI İLE ANALİZİ," no. 2000, pp. 163–165, 2007.
- [14] M. S. Bhatt, "Energy efficiency improvement of electrical transmission distribution networks," *J. Sci. Ind. Res. (India)*, vol. 62, no. 5, pp. 473–490, 2003.