

# GERİLİM AZALMALARININ MODELLENEREK GERÇEK BİR SİSTEM ÜZERİNDE İNCELENMESİ

Bora ALBOYACI<sup>1</sup>

Elif İNAN<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Elektrik Mühendisliği Bölümü

Mühendislik Fakültesi

Kocaeli Üniversitesi, 41050, Veziroğlu Kampüsü, Kocaeli

<sup>1</sup>e-posta: alboyaci@kou.edu.tr <sup>2</sup>e-posta: einan@kou.edu.tr

*Anahtar sözcükler: Gerilim Azalması, Güç Kalitesi, Güç Kontrolü*

## ABSTRACT

*Utilities have been faced with rising numbers of complaints about the quality of power due to sags and interruptions. There are number of reasons for this, with the most important being that customers in all sectors (residential, commercial and industrial) have more sensitive loads. Thus an interruption has considerable economic impact.*

*During the year of 2001, 2002 and 2003, utility voltage events were recorded at the industrial process 34.5 kV bus. There were happened several voltage imbalance in this period. Some of them were being in transmission system and some of them distribution system Simulation studies are performed to show voltage sag events. These simulations are performed to ABB Simprow power analysis program.*

## 1. GİRİŞ

Güç frekansında gerilimin veya akımının efektif değerinde yarım periyot ile bir dakika arasında süren azalmalar gerilim azalmaları olarak tanımlanmaktadır. Gerilim azalmalarına dağıtım ve iletim şebekelerinde oluşabilecek her türlü kısa devre, aşırı yüklenme ve büyük güçlü motorların devreye girip yol alma anlarında ortaya çıkabilir.

Ayarlanabilir hız sürücüleri, kontrol cihazları ve bilgisayarlar meydana gelecek gerilim azalmalarından olumsuz etkilenirler. Gerilimin bir iki periyotluk süre içerisinde %10'dan daha az azalması durumunda yukarıda ele alınan cihazlar devre dışı kalabilmektedir. Şüphesizdir ki gerilim azalmaları endüstriyel işletmelere kısa veya uzun dönem enerji kesintileri kadar zarar vermemektedir. Ancak ekonomik açıdan incelendiğinde toplamdaki payı ihmal edilemeyecek kadar büyüktür.

Kısa dönemli kesintiler ve bir çok uzun dönemli enerji kesintileri yerel dağıtım şebekesinden

kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, cihaz uçlarında oluşacak gerilim azalmaları iletim şebekesinde yüzlerce kilometre uzakta ve farklı gerilim seviyelerinde oluşacak kısa devre arızalarından dolayı meydana gelebilir. Bu nedenle gerilim azalmaları enerji kesintilerine göre daha genel bir problemdir [1].

Özellikle lastik, kağıt ve elektronik sektörleri üretim bantlarında yerel dağıtım şebekesinde oluşan gerilim azalmalarından dolayı yılda milyarlarca liralık zarara uğramaktadırlar. Bu çalışmada İzmit bölgesindeki bir endüstri tesisinin 34.5 kV giriş barasından üç yıl boyunca alınan ölçümler değerlendirilir. Tesis 1999 senesinde 20 MW gücünde birleşik ısı güç santrali kurmuştur. Alınan ölçümlerle, kurulan sistemin simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır.

## 2. GERİLİM AZALMASI

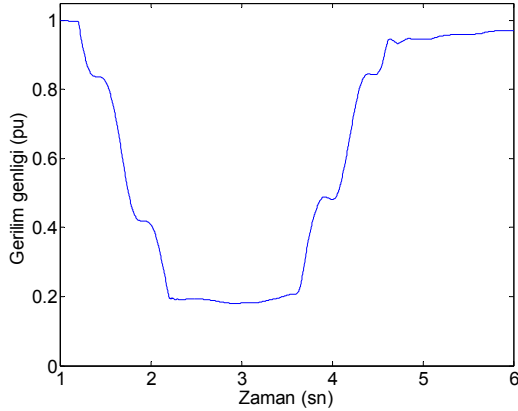
Güç sistemlerinde oluşacak gerilim azalmaları genlikleri ve oluşum aralıkları ile karakterize edilirler. Gerilim azalmasının genliğini belirlemede bir çok yöntem kullanılır. Bunlardan en çok kullanılanı ise efektif gerilim değerlerinden oluşturulan gerilim azalması genliği değeridir [2,4].

Gerilim azalmaları öncelikle zaman domeninde örneklenecek kayıt edilir. Kayıt edilen değerlerden Denklem (1) yardımıyla gerilim azalmasının efektif değeri hesaplanır.

$$V_{eff} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^2} \quad (1)$$

Bu ifadeye N bir periyottaki örnek sayısını,  $v_i$  örnekleme alınan noktada gerilimin aldığı değeri,  $V_{eff}$  bir periyottaki gerilimin efektif değerini göstermektedir. Bazı uygulamalarda örnekleme yarım periyotta bazı uygulamalarda ise tam periyotta yapılmaktadır. Denklem 1 kullanılarak tam periyotta

yapılan, gerilimin efektif değerinin bulunduğu bir örnek Şekil 1 de verilmiştir.



**Şekil 1.** Gerilim azalmasının efektif değerinin hesaplanması

Ölçümler alınırken LEM NORMA'nın üretmiş olduğu enerji analizörü kullanılmıştır. Analizörün hesaplama yöntemi de yukarıda ele alınan tam periyot örneklemedir. Simülasyonlar için kullanılan ABB Simpow programı da gerilim efektif değerini aynı yöntemle göre hesaplamaktadır. Bu nedenle simülasyon sonuçlarıyla, ölçüm değerlerinin karşılaştırılmasında başka bir işlem yapmaya gerek kalmamıştır.

### 3. GÜÇ SİSTEMİNİN MODELİNİN OLUŞTURULMASI

İncelenen tesis 154/34.5 kV Köseköy indirici merkezi üzerinden beslenerek enterkonnekte şebekeye bağlanmaktadır. Köseköy 154/34.5 kV indirici merkezi Yalova indirici merkezi, Nuh Çimento indirici merkezi ve Adapazarı indirici merkezi olarak üç ayrı noktadan beslenmektedir. Adapazarı şalt sahasından 154/380 kV transformatörlerle enterkonnekte şebekeye bağlanmaktadır.

İletim sistemine ait veriler TEİAŞ' tan alınarak tüm Türkiye sisteminin yük akışı öncelikle Simpow programında gerçekleştirilmiştir [3]. Daha sonra baralardaki kısa devre akımları bulunarak, bulunan akımlardan bara güçleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada inceleme kolaylığı açısından bu bütünün içinden sadece bir kısmı alınmıştır. Ele alınan sistem şekil 2'de gösterilmiştir.

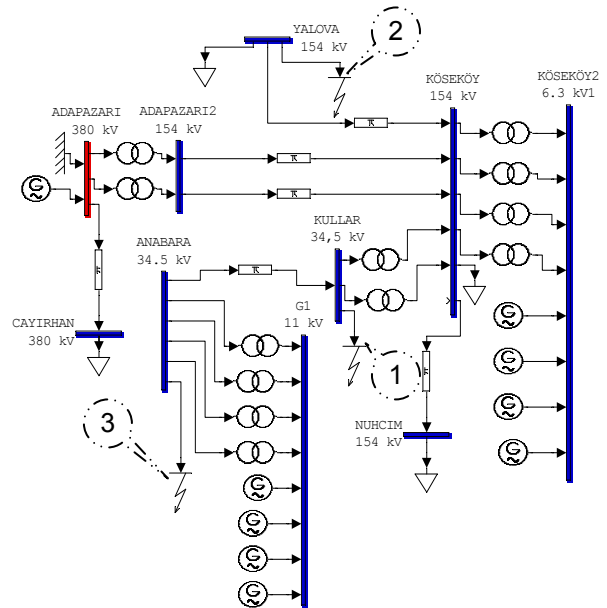
Simülasyonlar gerçekleştirilirken sistemi izole edebilmek için baraların üç ve tek faz kısa devre akımları hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Tablo 1'de verilmiştir. Hesaplamalarda 2003 yılı puant yük akışı sonuçları kullanılmıştır. Hesaplamalarda baz gücü olarak 100 MVA değeri kullanılmıştır. Çalışmada 380 kV'luk Adapazarı barası, salınım barası olarak alınmıştır. Bu ve diğer noktalardan enterkonnekte şebekeye bağlanan yüklerin tamamı baralara indirgenerek tamamı aktif ve reaktif yük olarak gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Sistemdeki baraların üç ve tek faz kısa devre akımları

Bara Adı	Bara Gerilimi (kV)	3 Fazlı Kısa Devre Gücü (MVA)	1 Fazlı Kısa Devre Gücü (MVA)
Adapazarı	380	18939	15755
Çayırhan	380	9056	9087
Adapazarı2	154	7645	6699
Köseköy	154	4109	3162
Nuhçimento	154	1825	1425
Yalova	154	1852	1508

**Tablo 2.** Sistemdeki hat ve transformatör bilgileri

BARA1	BARA2	HATTIN NİTELİĞİ	HATTIN GERİLİMİ	
Adapazarı	Çayırhan	2x954 MCM/136km	380 kV	
Adapazarı2	Köseköy	795 MCM/36km	154 kV	
Köseköy	Yalova	477 MCM/150km	154 kV	
Köseköy	Nuhçim	477 MCM/60km	154 kV	
Kullar	Anabara	477 MCM/3km	34.5 kV	
BARA1	BARA2	TRAFÖ GÜCÜ	% U <sub>k</sub>	Bağlantı
Adapazarı	Adapazarı2	2x250 MVA	0.12	Y-Y
Köseköy	Kullar	2x100 MVA	0.11	Δ-Yt
Köseköy	Köseköy2	4x45 MVA	0.10	Y-Δ
Anabara	G1	4x6.3 MVA	0.08	Yd-Δ



**Şekil 2.** Ölçümü ve simülasyonu yapılan iletim sisteminin tek hat şeması.

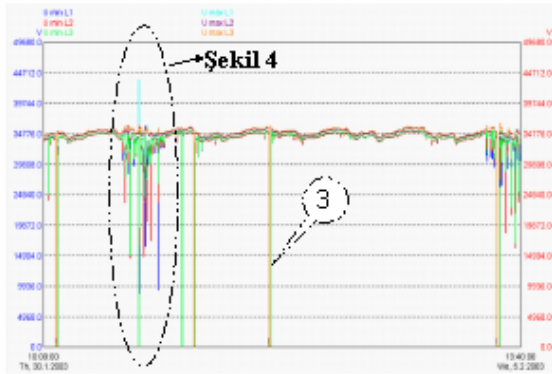
Yukarıda verilen bilgiler ışığı altında sistemin tek hat şeması oluşturulmuştur. Oluşturulan sistem de 380, 154 ve 34,5 kV'luk baralarda kısa devre oluşturulmuş ve ölçüm değerleriyle karşılaştırılmıştır. Tek hat şemasında Köseköy-Kullar arasında bulunan transformatörlerin yıldız noktaları  $20\Omega$ 'luk direnç üzerinden topraklanarak, faz-toprak arıza akımının değeri sınırlandırılmıştır.

#### 4. ÖLÇÜM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmada değerlendirme kolaylığı sağlamak için sadece Anabara'daki bir haftalık ölçümler Şekil 3'te gösterilmiştir. Diğer günlerin kayıtları da bu bilgilere paralellik göstermektedir. Ele alınan konunun önemini vurgulamak için üç yıllık ölçümlerden gerilim azalmasının en çok meydana geldiği hafta örnek olarak seçilmiştir. Buna göre meydana gelen olaylar ve oluşum aralıkları sırasıyla Tablo 3'de ve Şekil 3'te verilmiştir.

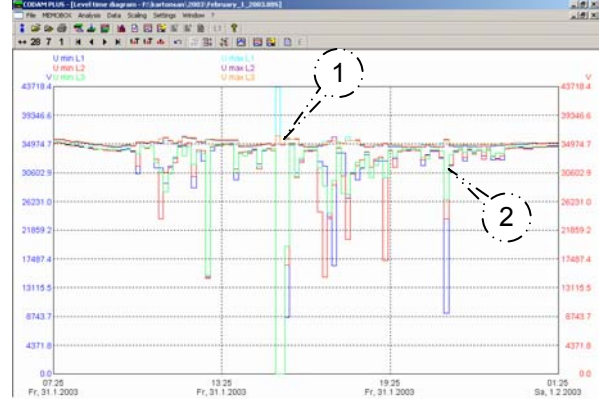
**Tablo 3.** Anabara geriliminde oluşan bir haftadaki değişim

Fazlar 1,2,3	<20 ms	20..<100 ms	100..<500 ms	0.5..<1 s	1..<3 s	3..<20 s	20..<60 s	>=1 dak.
Artma >%10	621	8	23	3				
Azalma <%10								
%10..<15	60	17	5	1				
%15..<30	9	14	8					
%30..<60		14	12					
%60..<99		2						
Kesinti								18



**Şekil 3.** Gerilimin efektif değerinin değişimi

Şekil 3'de bir haftalık gerilimin efektif değerinin değişimi gösterilmiştir. Simülasyon sonuçları ile daha kolay karşılaştırma yapabilmek için kesikli çizgi ile elips içine alınan aralık Şekil 4'te daha geniş olarak verilmiştir. Bu aralıkta bir çok olay meydana gelmiştir. Simülasyonlarda 1 ve 2 noktaları ele alınarak incelemeler yapılmıştır. Ancak Şekil 4'ten de görüldüğü üzere gün içerisinde, bu değişimler gibi daha bir çok değişim daha mevcuttur. Oluşan bu azalmalar iletim sisteminin herhangi bir noktasında oluşan arıza veya yük değişimlerinden kaynaklanmaktadır.



**Şekil 4.** Bir günlük gerilimin efektif değerinin değişimi

#### 5. SİMÜLASYON SONUÇLARI VE ÖLÇÜM DEĞERLERİYLE KARŞILAŞTIRILMASI

Ulusal elektrik enerjisi iletim ve dağıtım şebekesinde oluşacak kısa devre arızalarının sisteme bağlı olan elemanlara etkisini önceden belirleyebilmek için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Şekil 2'de verilen sistem ABB SIMPOW programında oluşturularak analizler yapılmıştır.

SIMPOW programı elektrik güç sistemlerinde dijital simülasyon ve analiz yapan ABB tarafından geliştirilen ve daha sonra STRI grubuna geçen bir güç sistemleri analiz programıdır. Simülasyon sonuçlarının çok fazla yer tutmaması için sistemde iki olay arka arkaya oluşturulmuştur.

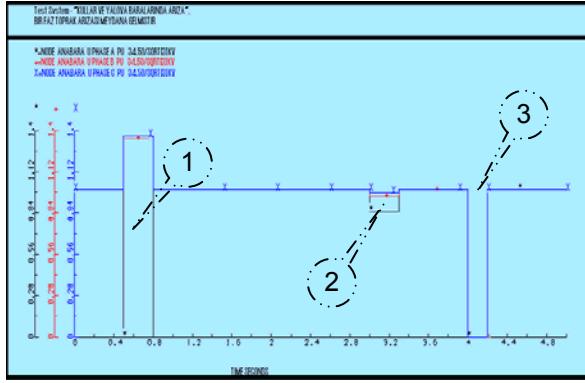
Öncelikle Şekil 5'te 1 numara ile gösterilen gerilim azalması ve artması incelenmiştir. Burada fazlardan bir tanesinin gerilimi azalırken diğer fazların gerilimi artmıştır. Böyle bir durum transformatörlerin yıldız noktasının bir direnç üzerinden topraklanması durumunda sistemde bir faz toprak arızası meydana gelmesi durumunda oluşmaktadır. Bu nedenle Kullar barasında bir faz toprak arızası oluşturulmuştur. Bu Şekil 5'te 1 simgesiyle gösterilmiştir. Arıza 0,5 saniyede başlamış 0,3 saniye sürdükten sonra ortadan kalkmıştır. Arıza olmayan fazdaki gerilim değeri ölçüm sonuçlarında 42 kV olarak ölçülmüştür. Simülasyon sonuçlarında 1.21 pu bulunmuştur. Anabara'daki gerilimin temel değeri ile bu değer çarpıldığında 41.75 kV değeri bulunmuş olur.

Transformatörlerin yıldız noktalarının topraklanmaları kısa devre akımlarının sınırlandırılmaları açısından çok önemlidir. Ancak burada ölçüldüğü gibi tek faz toprak arızaları esnasında arıza olmayan fazlarda gerilimin yükselmesine neden olarak izolasyonların bozulmasına neden olmaktadır. Nötr noktasına konulacak direnç belirlenirken bu kriter göz önüne alınarak uygun çözümler bulunmalıdır.

Şekil 4'te 2 simgesiyle gösterilen arıza ise bir fazda fazla, diğer iki fazda nispeten buna göre daha az iki

azalma oluşturur. Bu arıza Köseköy-Kullar arasında bulunan 154/34.5 kV transformatörlerin 154 kV tarafında herhangi bir yer meydana gelmiş olabilir. Bu nedenle oluşan arızanın Yalova barasında meydana geldiği farz edilmiştir. Bu arıza da bir faz toprak arızasıdır. Her ne kadar bir faz toprak arızası da olsa transformatör bağlantıları ve ölçüm alınan noktaya olan uzaklıklar nedeniyle bu şekilde ölçülmüştür. Arıza 3. saniyede başlatılmış ve 0,3 saniye sonra ortadan kaldırılmıştır.

Şekil 3'te 3 simgesiyle gösterilen arıza üç faz toprak arızasıdır. Şebekede kısa süreli kesinti oluşmuştur. Her üç faz sıfıra düşmüştür. Bu durumda 4. saniyede başlatılmış ve 0,2 saniye sürdürülmüştür. Şekil 2'deki tek hat şemasında arıza noktaları aynı 1, 2 ve 3 numaraları ile gösterilmiştir.



Şekil 5. Simülasyon sonuçları

Simülasyon sonuçları incelendiğinde oluşan eğrilerde Şekil 1'de verildiği gibi bir dalgalılığın oluşmadığı daha sert kıvrımların olduğu görülür. Bunun nedeni sistemdeki jeneratör ve motorların en basit modellerinin kullanılmasıdır. Ayrıca jeneratör birimlerinde stabilizörler ve hız ayar regülatör modelleri, gerilim azalmasını vurgulayabilmek için kullanılmamıştır.

## 6. GERİLİM AZALMASINI ÖNLEME YÖNTEMLERİ

5-6 yıl önceye kadar enerji kesintilerinden rahatsız olan endüstri kuruluşları, bu olumsuz durumu ortadan kaldırmak için kendi oto prodüktör tesislerini kurmuşlardır. Kurulan tesisler oluşan problemlerinin bir kısmının çözümüne yardımcı olmuştur. Ancak daha genel bir problem olan gerilim azalmaları ve artmalarının önüne geçememiştir.

İletim ve dağıtım şebekesinde meydana gelen bir çok arıza tüketici uçlarında gerilim düşmelerine neden olmakta ve bu durum gerilime çok duyarlı olan güç elektroniği elemanları ile çalışan cihazların devre dışı kalmasına yol açmaktadır. Şu an dünyada oluşan problemleri ortadan kaldırabilecek bir çok teknoloji bulunmaktadır. Bu teknolojiler ve yaklaşık birim güç

başına ve yıllık bakım işletim maliyetleri Tablo 4'te sıralanmıştır. Hangi teknolojinin hangi tesiste uygun olarak kullanılacağı yapılacak uzun dönem izleme ve ölçümler sonucunda belirlenmelidir.

**Tablo 4.** Gerilim azalmalarına karşı alınabilecek önlemler

Cihaz Cinsi	İlk Yatırım Maliyeti(\$)	Yıllık Bakım Maliyeti *
Kontrol Koruması (<5kVA)		
Sabit Gerilim Trafoları	1000/kVA	%10
UPS	500/kVA	%25
Dinamik gerilim düzenleyici	250/kVA	%5
Makine Koruması (10-300kVA)		
UPS	500/kVA	%15
Dinamik gerilim düzenleyici	200/kVA	%5
Sistem Koruması (2-10MVA)		
UPS	500/kVA	%15
Dinamik gerilim düzenleyici	300/kVA	%5
Statik anahtar (10 MVA)	\$600.000	%5
Hızlı transfer anahtarı (10 MVA)	\$150.000	%5

\*Tesisin ilk yatırım maliyetinin %'si olarak verilmiştir.

## 7. SONUÇLAR

Kısa dönemli gerilim azalmalarından dolayı tüketicilerin uğradıkları zararlar hızla artmaktadır. Bu kayıpların önüne geçebilmek için sistemin güç kalitesi değerlendirme ölçümleri öncelikle yapılmalıdır. Daha sonra gerilim azalmalarından dolayı oluşacak kayıplar (işçilik, cihaz ve personel masrafları gibi) hesap edilmelidir. Daha sonra 5. bölümde ele alınan sistemlerden en uygunu seçilmeli ve sisteme adapte edilmelidir. Araştırmalar bu tür yatırımlarının gerilime duyarlı işletmelerde bir iki yıl içerisinde geri ödediklerini göstermektedir.

Tablo 3'den de anlaşılacağı üzere dağıtım şebekesinde 1 haftalık içerisinde süresi 1 dakikayı geçen 18 adet kesinti olmuştur. Yerel dağıtım şebekesinin güvenilirliğinin acilen artırılması gerekliliği de gözden kaçırılmamalıdır.

## KAYNAKLAR

- [1] Dugan Roger C, Electrical Power Systems Quality, Mc Graw Hill, 2002.
- [2] Math H. J. Bollen, Understanding Power Quality Problems, IEEE Press, 2000.
- [3] TEİAŞ Yük Tevzi Daire Başkanlığı, 2003 Punat Yük Şartlarında Yük Akışı, Üç Faz ve Faz Toprak Kısa Devre Etüdü, 2004.
- [4] Review of Semiconductor Controlled Phase Shifters for Power System Applications, IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, Vol. 9, No.4, Nov. 1994.
- [5] SIMPOW, Power System Simulation & Analysis Software, 2003.

