

Enerji Verimliliği ve Tasarrufu açısından Kompanzasyon ve Enerji Kalitesi Çalışmaları

Prof. Dr. Adnan Kaypmaz, İTÜ Elektrik- Elektronik Fakültesi, kaypmaz@itu.edu.tr
Barış Engin, Elk. Y. Müh., İskenderun Demir ve Çelik AŞ, enbaris80@hotmail.com

Özet

Enerji verimliliği ve tasarrufu konularının gittikçe artan bir şekilde önem kazanmasıyla, bu amaca yönelik çalışmalardan, enerji kalitesini yükseltmek için yapılan çalışmalar da her geçen gün artmaktadır. Tüketicie sunulan elektrik enerjisinin ucuz ve kesintisiz sağlanması, gerilim, frekans ve güç faktörü gibi büyüklüklerin de istenen sınırlar içerisinde olması şeklinde tanımlanabilecek enerji kalitesi kavramı, uzun süredir elektrik mühendislerinin başlıca uğraşı alanları arasında yer almaktadır. Bu amaçla genellikle gerilimdeki dalgalanmalar, çökmeler ya da kesintiler ve geçici olaylar üzerinde çalışılmakla birlikte, hiç şüphesiz, en çok reaktif güç kompanzasyonu ve harmoniklerin azaltılması çalışmaları da yapılarak enerji kalitesi ile birlikte verim artırılmakta ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

Elektrik dağıtım sistemlerinde işletmeyi kolaylaştırmanın, verimi arttırmanın ve enerji tasarrufu sağlamanın en etkin ve en kolay yöntemlerinden biri reaktif güç kompanzasyonudur. Bu çalışmada, elektrik dağıtım sistemlerinde reaktif güç ve harmoniklere bağlı olarak ortaya çıkan enerji kalitesi problemleri ve bunların çözüm yöntemleri incelenmiştir. Bir sanayi tesisine ait tek hat şeması ve şebeke bilgileri kullanılarak benzetim çalışmaları yapılmıştır. Bu bilgisayar analizleri için ETAP PowerStation programı kullanılarak, tesise ilişkin, model bir dağıtım sistemi oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Enerji kalitesi, reaktif güç, harmonik, verimlilik.

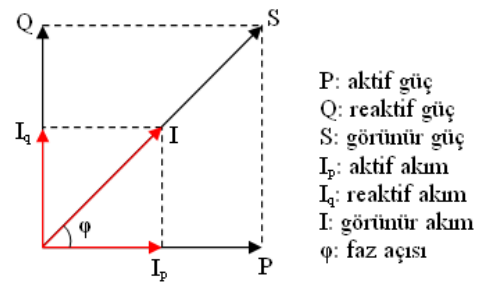
1. Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu

Bilindiği gibi, elektrik dağıtım sistemine bağlanan cihazların büyük bir kısmı şebekeden aktif güç yanında bir miktar da reaktif güç çekmektedir. Bu reaktif güç, endüksiyon prensibine göre çalışan cihazların çalışabilmesi için ihtiyaç duyulan manyetik alanların oluşturulması için gereklidir. Aktif gücün elektrik santrallerinde üretilmesi gerektiği halde, reaktif güç için böyle bir zorunluluk yoktur. Reaktif güç üretimi yükün yanında kurulacak yardımcı sistemler aracılığıyla tüketici tarafından da yapılabilir. Basitçe yüke paralel olarak bağlanan kondansatörler yardımıyla reaktif güç üretimi yapılması, işletmenin reaktif enerji için ceza ödemesini de engeller. Bunun yapılması da teşvik edilmektedir, çünkü ihtiyaç

duyulan reaktif enerji şebekeden çekilecek olursa, şebeke elemanları bu reaktif güç ile gereksiz yere yüklenip, hat kapasitelerini azaltacağı gibi işletmenin elektrik faturasını da arttıracaktır.

Elektrik Piyasası Müşteri Hizmetleri Yönetmeliği'ne göre reaktif enerji miktarını ölçmek üzere gerekli ölçme düzeneği, ilgili mevzuata göre reaktif enerji tarifesi uygulanmayacak aboneler dışında kalan tüketiciler (müşteriler) tarafından tesis edilir. Bu müşterilerden, kurulu gücü 50 kVA'nın altında olanlar, çektikleri aktif enerji miktarının yüzde otuz üçünü aşan şekilde endüktif reaktif enerji tüketmeleri veya aktif enerji miktarının yüzde yirmisini aşan şekilde kapasitif reaktif enerji tüketmeleri halinde; kurulu gücü 50 kVA ve üstünde olanlar ise, çektikleri aktif enerji miktarının yüzde yirmisini aşan şekilde endüktif reaktif enerji tüketmeleri veya aktif enerji miktarının yüzde on beşini aşan şekilde sisteme kapasitif reaktif enerji vermeleri halinde, reaktif enerji tüketim bedeli ödemekle yükümlüdür [1].

Reaktif enerjinin istenen yerde ve istenen miktarda üretilmesi suretiyle elektrikli cihazların şebekeden çektiği reaktif gücün azaltılmasına reaktif güç kompanzasyonu denir. Böylece güç faktörü olarak tanımlanan $\cos\phi$ 1,0'a yaklaştırılmış olur. Şekil 1.1'de dağıtım sistemindeki aktif ve reaktif bileşenler verilmiştir.



Şekil 1.1: Elektrik dağıtım sistemindeki aktif ve reaktif bileşenler ve birbirlerine göre durumları

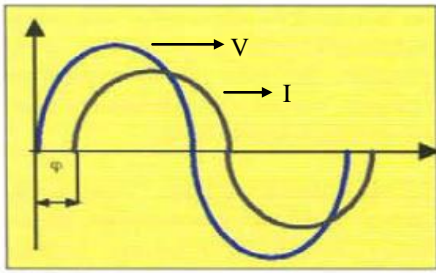
Sistemde güç faktörü örneğin 0,80 ise görünür gücün % 80'i faydalı güce dönüşüyor demektir[2]. Bu değer 1,0'a mümkün olduğu kadar yakın olması istenir. Bunun sebebi, reaktif enerjinin sınırlandırılması ve elektrik sistemi elemanlarının fazla yüklenmekten kurtarılmasıdır. Bu sayede gerilim düşümleri ve kayıplar azalırken sistem elemanlarının ömrü artar ve maliyetleri düşer.

Elektrik dağıtım Sistemlerinde reaktif güç kompanzasyonu, senkron motorlarla (dinamik faz kaydırıcılar) ve kondansatörlerle (statik faz kaydırıcılar) olmak üzere iki şekilde yapılabilir. Senkron motorların uyarma akımlarının değiştirilmesi ile motorun kapasitif veya endüktif olarak çalışması sağlanabilmektedir. Ancak günümüzde ekonomik olması, bakım gerektirmemesi ve kayıplarının çok düşük olması nedeniyle kompanzasyon sistemlerinde çoğunlukla kondansatörler kullanılmaktadır. (Şekil 1.2)



Şekil 1.2: Reaktif güç kondansatörleri

Kondansatördeki kapasitif reaktif güç ile yükün endüktif reaktif gücü vektörel olarak aynı doğrultuda fakat ters yöndedir. Böylece birlikte kullanıldığında kapasitif güç, endüktif gücü azaltarak kompanzasyon etkisi yapar ve akım ile gerilim arasındaki faz farkı azaltılmış olur. (Şekil 1.3)



Şekil 1.3: Akım ve gerilim arasındaki faz farkı[6]

Hem dağıtım şirketinin hem de tüketicinin sistemdeki reaktif gücü azaltmakla sağlayacağı faydalardan en önemlileri sistemin kapasitesinin artması ve ısı kayıpları ile gerilim düşümünün azalmasıdır. Ayrıca kompanzasyon ile sistem elemanları fazla yüklenmekten kurtulacağı için sistemin boyutları küçültülebilir.

Bir tüketicinin veya bir elektrik tesisinin ihtiyaç duyduğu reaktif enerjinin belirlenmesi için öncelikle o tüketici veya tesisin şebekeden çektiği görünür gücün ve güç katsayısının ($\cos\phi_1$) bilinmesi gerekir; bunlarla birlikte güç katsayısının artırılmak istendiği değer ($\cos\phi_2$) de belirtilmelidir. Ardından bağlanması

gereken reaktif gücü belirlemek için iki yöntem vardır; bunlar aktif gücün veya görünür gücün sabit tutulması halleridir.

Aktif gücün sabit tutulması halinde $\cos\phi_1$ güç katsayısı altında çekilen P aktif gücü sabit tutularak S_1 görünür gücü S_2 gibi daha düşük bir değere geriler. Bu duruma ait kompanzasyon gücü aşağıdaki formül yardımıyla bulunabilir:

$$Q_C = Q_1 - Q_2 = P(\tan\phi_1 - \tan\phi_2) \quad (1.1)$$

Görünür güç sabit tutularak ise benzer şekilde sistemden çekilebilecek aktif güç artırılabilir. Bu durumda gereken kompanzasyon gücü aşağıdaki formül ile bulunur:

$$Q_C = Q_1 - Q_2 = S(\sin\phi_1 - \sin\phi_2) \quad (1.2)$$

Kompanzasyondan en büyük faydayı sağlamak amacıyla tesis yerinin ve bağlama şeklinin amaca en uygun şekilde yapılması gerekir. Kompanzasyon tesisleri, ihtiyaca ve yüklerin durumuna göre belirlenerek her bir yükte bireysel olarak, benzer yükleri gruplayarak veya tesisin genelinde uygulanan merkezi kompanzasyon olmak üzere üç farklı şekilde oluşturulabilir.

Şekil 1.4'te bir sanayi tesisindeki aydınlatma sisteminde, mevcut kondansatörün uygunsuzluğu nedeniyle yüksek akım çeken ve yanan bir ekipman görülmektedir. Bu ekipmanda ve aynı hattaki diğer yüklerde uygun kondansatörler kullanılarak hattın fazla akım çekilmesi önlenmiştir.



Şekil 1.4: Aşırı akım nedeniyle yanan bir ekipman

Genel olarak bir tesiste kurulacak kompanzasyon sisteminin tipi sistemdeki yüklerin dağılımına, reaktif güç ihtiyacının değişimine ve tesisteki harmoniklerin miktarına bağlıdır.

2. Harmonikli Durumda Kompanzasyon

Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliği'nde harmoniklerin tanımı şu şekilde verilmektedir: Doğrusal olmayan yükler veya gerilim dalga şekli ideal olmayan jeneratörlerden dolayı bozulmaya

uğramış bir alternatif akım veya gerilimde ana bileşen frekansının tam katları frekanslarda oluşan sinüzoidal bileşenlerin her biridir[3].

Alternatif akım tesislerinde akım ve gerilim dalga şekillerinin tam sinüs fonksiyonu şeklinde olması istenir. Bu koşul, elektrik enerjisinin kalitesini belirleyen ana faktörlerden biridir. Bunun için sistem, sinüzoidal bir kaynakla beslenmeli ve doğrusal yüklerle yüklenmelidir. Ancak sisteme bağlanan ve sayıları gün geçtikçe artan doğrusal olmayan yükler, sistemde 50 Hz'ten farklı frekanslardaki büyüklüklerin doğmasına neden olur. Buna harmonik bozunma adı verilir. Bir sanayi tesisindeki cıva buharlı lambaların beslediği aydınlatma panosunda yapılan ölçümde akımdaki harmonikler rahatlıkla görülmektedir (Şekil 2.1).

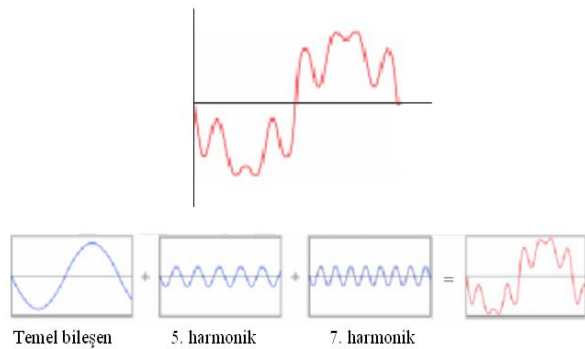


Şekil 2.1: Cıva buharlı lambaların sebep olduğu harmonik akımları

Harmonik nedeniyle bozulan periyodik bir dalgayı ifade etmek için Fourier serisinden faydalanarak aşağıdaki denklem yazılabilir:

$$v(t) = V_0 + V_1 \sin(\omega t) + V_2 \sin(2\omega t) + \dots \quad (2.1)$$

Buna göre sinüzoidal olmayan bir gerilim veya akımın elektrik sistemine olan etkilerini incelemek için, her bir harmoniğin etkilerini tek tek incelemek sonra da bunları vektörel olarak toplamak yeterlidir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: Harmonikli bir dalga bileşenleri

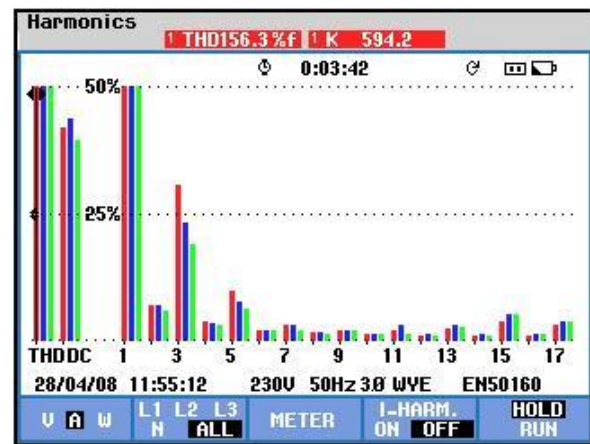
Harmoniklerin sınırlandırılmasını amaçlayan standartlarda çok yaygın olarak kullanılan toplam harmonik distorsiyonu, gerilim ve akım için sırasıyla

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1}, \quad THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (2.2)$$

formülleri ile tanımlanmıştır. Görüldüğü gibi THD, alternatif akım veya gerilimdeki harmoniklerin etkin değerleri kareleri toplamının karekökünü, ana bileşenin etkin değerine oranı olup dalga şeklindeki bozulmayı ifade eden değerdir ve genellikle % olarak ifade edilir. Bu değer, harmonikleri içeren periyodik dalga şeklinin, tam bir sinüs dalga şeklinden sapmasını belirlemek için kullanılır. IEEE 519 numaralı standarda göre sistemdeki tekil harmonikler en fazla % 3, THD ise en fazla % 5 olabilir[4].

Bir gerilim veya akım fonksiyonunun pozitif ve negatif kısımları benzer özellikteyse (noktasal simetri varsa), o fonksiyonun yalnızca tek sayılı harmonikleri oluşabilir. Bu nedenle elektrik dağıtım sistemlerinde çift sayılı harmoniklere pek rastlanmaz; genellikle tek sayılı harmonikler görülür.

Harmonik akımlar, yalnızca yüklerin dalga şeklini bozmakla kalmaz aynı zamanda sistemde ve sisteme bağlanan elemanlar üzerinde de pek çok olumsuz etkiler meydana getirir. Harmonikler; motorlar, generatörler, kondansatörler, transformatörler ve iletim hatlarında ilave kayıplara neden olurlar. Bazı durumlarda harmonikler, sistem elemanlarının zarar görmesine veya devre dışı kalmasına yol açabilirler. Şekil 2.3'te bir sanayi tesisindeki UPS'in yanarak bozulmasına sebep olan harmonikler görülmektedir.

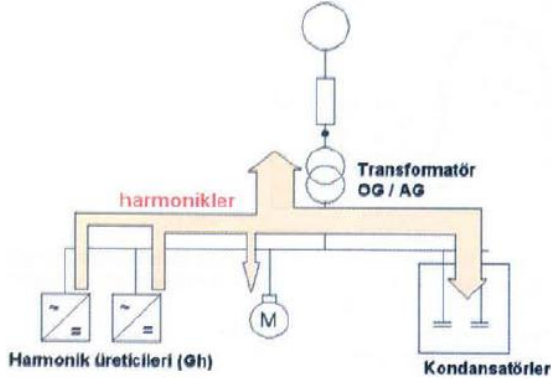


Şekil 2.3: UPS cihazının yanmasına sebep olan harmonikler

Tüketicilerden sisteme verilen harmonik akımları, filtrelerle (süzgeçlerle) sınırlandırılmış olsa bile sistemde önemli oranda gerilim bozunumunun oluştuğu durumlarla karşılaşılabılır. Bunun sebebi,

harmonik frekanslarından birinin sistemin rezonans frekansına yakın bir değerde olmasıdır. En yüksek gerilim bozunumu genellikle rezonansa sebep olan kondansatörde meydana gelir ki bu kondansatörler harmonik kaynağından uzakta da olabilir[5].

Bilindiği gibi frekans arttıkça kapasitif direnç küçülür. Bu yüzden harmoniksiz durumda X_C değerinde olan kapasitif bir direnç, n. harmonik derecesindeki bir akımda X_C/n değerini alır. Bu nedenle büyük harmonik frekanslarında kondansatörler daha büyük akım çekerler ve aşırı yüklenirler (Şekil 2.4).



Şekil 2.4: Harmoniklerin kondansatörlere etkisi[6]

Kondansatörlerin ve bunlara bağlı anahtarlama elemanlarının harmoniklerden olumsuz etkilenmesini önlemek için harmonik filtreli kompanzasyon sistemleri kullanılmalıdır. Böylece tehlikeli olabilecek harmonik akımları önlenirken sistemin reaktif güç ihtiyacı da karşılanmış olur (Şekil 2.5).

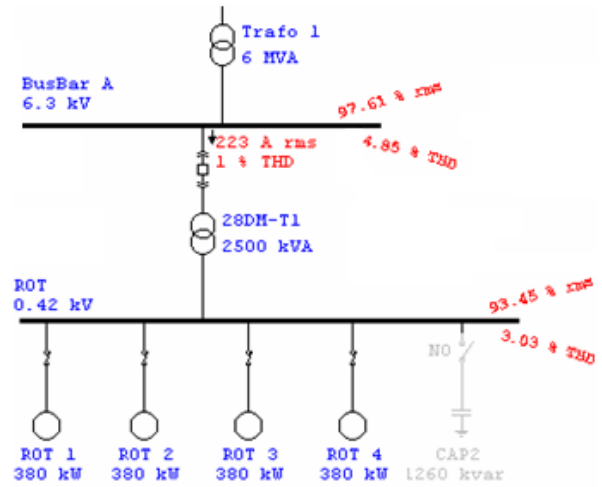


Şekil 2.5: Modüler yapıdaki harmonik filtreli kompanzasyon paneli

3. Bilgisayar Analizi

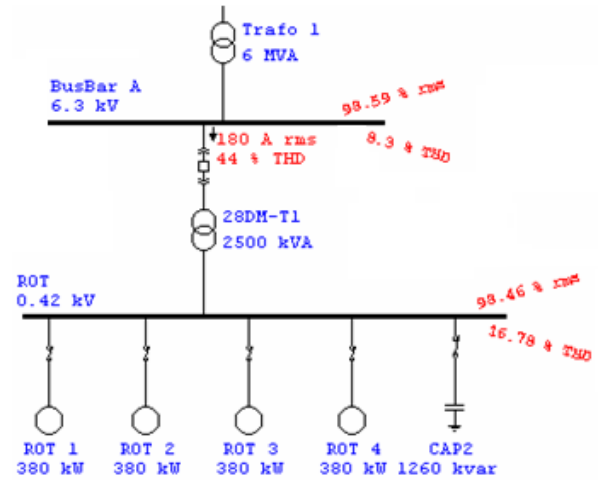
Reaktif güç kompanzasyonu amacıyla kullanılan kondansatörlerin rezonans sebebiyle harmonikleri arttırdığını gözlemlemek için, 420 Volt gerilimindeki bir baraya bağlı olan 4 adet 380 kW gücündeki motoru ve bu barayı besleyen 6,3/0,42 kV'luk 2500 kVA

gücündeki transformatörün çalışmasını göz önüne alalım. Kompanzasyon öncesi durum Şekil 3.1'de görülmektedir.



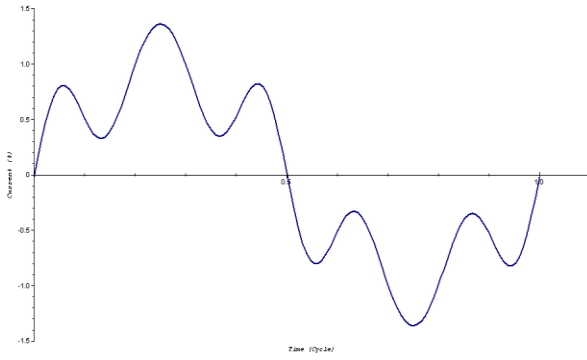
Şekil 3.1: Kondansatör bağlanmadan önceki durum

Baradaki reaktif güç ihtiyacı için 1260 kVAR gücündeki kondansatörler devreye alındıktan sonra yapılan analize göre hem motorların bağlı olduğu barada hem de bir üst barada THD oranları artmıştır (Şekil 3.2).



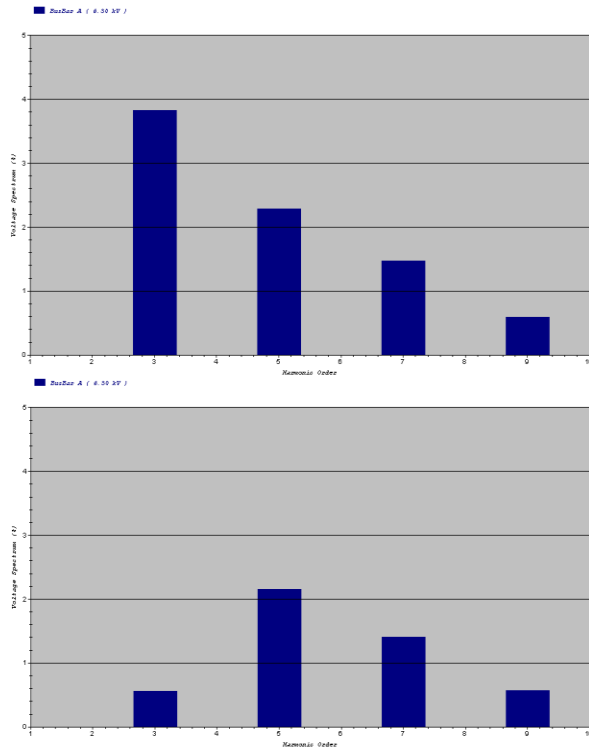
Şekil 3.2: Kondansatörlerin devrede olması durumu

Kondansatörlerin 5. harmonik yakınlarında rezonansa sebep olduğu ve THD oranını yükselttiği harmonik analizi ile transformatör akımındaki bozulmadan da rahatlıkla görülmektedir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3: Transformator akımı

Sistemde kompanzasyon yaparken yalnızca kondansatör kullanmak yerine harmonik filtrelili kompanzasyon sistemi kurulursa aynı anda hem sistemdeki reaktif güç azaltılmış hem de harmonik rezonansın önüne geçilmiş olur (Şekil 3.4).



Şekil 3.4: Ayarlı harmonik filtrenin devreye alınması ile A barasındaki 3. harmoniğin azaltılması durumu

Şekil 3.5'te bir sanayi tesisinde kullanılan harmonik filtrelili kompanzasyon sistemi görülmektedir.



Şekil 3.5: 55 MVAr gücünde harmonik filtrelili kompanzasyon tesisi

4. Sonuç

Yapılan benzetimlerle bir sanayi tesisindeki kompanzasyon sistemi örnek olarak alınmış ve sadece kondansatör ile yapılan kompanzasyon ile harmonikleri de bastırmayı hedefleyen filtrelili kompanzasyon karşılaştırılması yapılmıştır. Her iki durum için harmonik distorsiyonları ve harmonik miktarları verilerek, enerji verimliliği ve tasarrufu açısından kompanzasyonun faydaları açıklanmıştır.

Enerji kalitesi ve verimliliğin sağlanması için bir sanayi tesisinde yapılan çalışmalardan örnekler verilerek elde edilen sonuçlar açıklanmıştır. Buna göre sistemdeki harmonik akımlarının ve reaktif gücün azaltılmasıyla önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanabileceği görülmüştür. Ayrıca bu sayede kullanılan malzemeler daha düşük değerli seçilebileceği için malzeme maliyeti de düşecektir.

Kaynaklar

- [1] Elektrik Piyasası Müşteri Hizmetleri Yönetmeliği, 2008, EPDK, Ankara.
- [2] Sankaran, C., 2002. Power Quality, CRC Press, New York.
- [3] Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliği, 2008, EPDK, Ankara.
- [4] IEEE Std 519-1992, 1992, IEEE Recommended Practices and Requirements For Harmonic Control in Electrical Power Systems, IEEE, ABD.
- [5] Dugan, R., McGranaghan, M., Santoso, S., Beaty, W., 2002. Electrical Power Systems Quality, McGraw Hill, New York.
- [6] Teknik Doküman, Schneider Electric.