

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Elektrik Tesislerinde Harmoniklerin Aktif Filtre Kullanılarak Yok Edilmesi ve Simülasyonu**

Sabir RÜSTEMLİ<sup>\*1</sup>, M. Sait CENGİZ<sup>2</sup>, Furkan DİNÇER<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 13000, Bitlis

<sup>2</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 13000, Bitlis

<sup>3</sup>Mustafa Kemal Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 31600, Hatay

---

### **Özet**

Elektrik tesislerinin, güvenli ve arzu edilir bir biçimde çalışması için, tesisin tasarım ve işletim aşamasında bazı etkenlerin göz önüne alınması gerekir. Bu etkenlerden biri de güç kalitesini belirleyen parametrelerden olan nonlineer karakteristikli elemanların meydana getirdikleri harmoniklerdir. Harmonikler elektrik tesislerinde enerji kalitesini önemli ölçülerde etkilemektedir. Akım ve gerilim dalga şeklinin sinüs dalga şeklinden uzaklaşması olarak bilinen harmonikler, sinüsoidal bir kaynağın nonlineer elemana uygulanması veya sinüsoidal olmayan bir kaynaktan beslenen lineer ya da nonlineer elemanlar tarafından oluşturulmaktadır. Harmoniklerin azaltılması için en önemli yöntem aktif harmonik filtreler yardımıyla harmoniklerin süzülmesidir.

Bu çalışmada, Van ilindeki bir tesiste (fabrikada) ZERA MT 310 güç analizörü ile çeşitli ölçümler (anlık elektriksel değerler, harmonikler, akım ve gerilim dalga şekilleri vb.) yapılarak bazı güç kalitesizlikleri tespit edilmiş ve bu bulgulardan hareketle güç kalitesizliğine neden olan harmonikler incelenmiş ve harmoniklerin mevcut tesisler üzerindeki etkileri yorumlanarak aktif filtre çözümleri simülasyon çalışmalarıyla karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Güç kalitesi, Harmonikler, Aktif filtre

---

## **Harmonics Elimination and Simulation Using of Active Filters at Power Plants**

---

### **Abstract**

Some factors should be taken into consideration in desing and operation phase of the plant to work as safety and desirable operating of plant. One of these factors is harmonics created by nonlinear components that indicate power quality of the plant. Harmonics adversely and significantly affect power quality of the plants. Harmonics are known as non-sinusoidal current and voltage wave forms happen by sinusoidal source with nonlinear components or non-sinusoidal source with linear or nonlinear components. It is most important method for elimination of harmonics is using of active harmonic filters.

In this study, a power plant in city of Van that have low power quality is selected. After, some measurements (current electrical values, harmonics, current and voltage wave forms etc.) with ZERA MT310 power analyzer are obtained. These measurements are evaluated and applied on simulation study. Both of these results are compared and proposed solution is presented.

**Keywords:** Power quality, Harmonics, Active filter

---

---

\* Sorumlu yazar: [srustemli@beu.edu.tr](mailto:srustemli@beu.edu.tr)

## 1. Giriş

Elektrik tesislerinin, güvenli ve arzu edilebilir bir biçimde çalışması için, tesisin tasarım ve işletim aşamasında bazı etkenlerin göz önüne alınması gerekir. Bu etkenlerden biri de nonlineer karakteristikli elemanların meydana getirdikleri harmoniklerdir [1].

Harmonikler elektrik ile çalışan tesis elemanlarında kullanım süresi açısından kayıplara ve bazı durumlarda ise tesis elemanlarının tahribatlarına neden olmaktadır. Eğer;

- Elektrik tesisindeki kondansatörler sık sık arızalanıyorsa,
- Nedeni belli olmayan arızalar meydana geliyorsa,
- Fabrikalardaki ölçü cihazları doğru ölçüm yapmıyorsa,
- Sistem bağlantı noktası olan şalterler sebepsiz yere enerjiyi kesiyorsa,
- Sistemdeki elektronik cihazların yönettiği otomasyon sistemi hatalı çalışıyorsa,
- Sürekli elektronik kart arızalarıyla karşılaşılıyorsa,
- Nötr kablosunun çok yüklenmesi ve arızalanması söz konusu ise,
- Sistemdeki elektrikli elemanların izolasyonunda delinmeler sık sık görülüyorsa,
- Sistem makinelerinin ve sistem transformatörlerinin arızalanması veya gürültülü çalışması söz konusu ise

bu olayların tümü sistemde kabul edilebilir düzeyi aşan çok sayıda harmoniğin olduğunun göstergesidir [2].

Günümüz şartlarında harmonik filtreleme olayı başlıca iki düzenek kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu düzenekler; pasif filtreler ve aktif güç filtreleridir. RLC pasif devre elemanlarının çeşitli bağlantı türlerinden oluşan pasif filtreler uzun yıllar kullanılmış olup, günümüzde de ekonomik olmaları sebebiyle tercih edilmektedir. Pasif filtreler ile akım harmoniklerine düşük empedanslı bir yol oluşturulup, kaynağa dönmek yerine, paralel filtre üzerinden akması sağlanır. Özellikle reaktif güç ihtiyacının çok hızlı ve düzensiz değişimi karşısında geleneksel kompanzasyon yöntemleri yetersiz kalmaktadır [3, 4]. Ayrıca harmonikleri filtrelemek ve yükün güç faktörünü artırmak için kullanılan pasif LC filtreler, bağlandıkları şebeke ile rezonans riski taşımaları, rezonansa bağlı olarak sistemdeki harmoniklerin aşırı yükselmesi, çok yer kaplamaları gibi dezavantajlara sahiptir [4, 5]. Bu sebeple endüstride oluşan harmoniklerin bastırılması ve aynı anda reaktif güç isteğinin çok hızlı karşılanması amacıyla aktif güç filtresi tasarımı ve uygulamaları oldukça önem kazanmıştır [5, 6]. Genel olarak bir aktif güç filtresi, yüke seri bağlı bir gerilim kaynağı (paralel aktif güç filtresi) gibi düşünülmektedir. Paralel aktif filtreler akım dengesizliklerini, yüksek ve düşük dereceli harmonikleri, nötr akımlarını ve reaktif gücü bastırmak için kullanılmaktadır. Diğer taraftan gerilim iniş ve çıkışları, gerilim dengesizlikleri ve gerilim harmonikleri gibi şebeke ve yük üzerindeki bozulmalar da seri aktif filtreler kullanılarak ortadan kaldırılabilmektedir [7, 8, 9].

Yapılan çalışmada sanayi tesislerine yönelik olarak harmonik analizör cihazı ile ölçüm yapılarak harmoniklere dair veriler elde edilmiştir. Ölçüm noktası olarak tesisin şebekeye bağlandığı nokta seçilmiştir. Sistemden çekilen yük miktarı çıkış direnci olarak hesaplanmıştır. Buna göre doğrusal olmayan yük simülasyonda çıkış direnci yerine konmuştur. Dağıtım sisteminde kabul edilebilir düzeyi aşan harmoniklerin mevcut olduğu görülmüş olup, Simplorer 6.0 simülasyon programında aktif filtre tasarımı yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Harmonikler ve Harmonik Analizör Donanımı

Elektrik tesislerinde normal olarak gerilimin 50 Hz frekanslı tam sinüs eğrisi şeklinde üretilmesi, iletilmesi, dağıtılması ve tüketime sunulması, elektrik güç sisteminin ve elektrikle çalıştırılan her türlü cihazın doğru, düzenli, verimli ve sorunsuz çalıştırılması açısından önemlidir. Ancak tesisat elemanlarının bazılarında ya da sisteme bağlı tüketicilerden kaynaklanan yan etkiler, bozucu olaylar yüzünden akı, akım ve gerilim gibi temel elektrikselsel büyüklüklerin sinüsoidal dalga şekli bozularak temel frekans olan 50 Hz'in tam sayı katlarıyla orantılı, harmonik ihtiva eden istenmeyen dalga şekillerine dönüşür [2, 10].

Harmoniklerin seviyesini belirli limitlerde tutmak amacıyla çeşitli standart kuruluşlar tarafından bazı önlemler, sınırlamalar getirilmiştir. Harmonik büyüklüklerin sınırlandırılması amaçlayan standartlarda çok yaygın olarak kullanılan Toplam Harmonik Distorsiyonu (THD) gerilim ve akım için;

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (V_n)^2}}{V_1} ; THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (I_n)^2}}{I_1} \quad (1)$$

ifadelerinden yararlanılarak bulunur [2, 10].

(1) ifadesinden görüldüğü gibi THD, harmonik bileşenlerin efektif değerlerinin, temel bileşen efektif değerine oranıdır. THD genellikle yüzde olarak ifade edilir. IEC standartlarına göre THD'ü gerilimler için %3, akımlar için ise %6'dır [10].

THD harmonikleri içeren periyodik dalga şeklinin, tam bir sinüs dalga şeklinden sapmasını tespit için kullanılır. Sadece temel frekanstan oluşan tam bir sinüs dalga şekli için THD sıfırdır.

Yapılan çalışmada ZERA MT 310 harmonik analizörü kullanılmıştır. ZERA MT 310 harmonik analizörünün ön görünümü Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. ZERA MT 310 harmonik analizörünün ön görünümü

Ölçüm için kullanılan test cihazının geçerli akım ölçüm aralığı 1 mA ile 12 A arasında olup, doğruluk oranında %0.1 hassasiyete sahiptir. 4 telli, 3 telli, 2 telli devrelerde ölçüm yapabilen bir harmonik analizördür. Klemp ile yapılacak ölçümlerde 5 mA ile 120A arasındaki akım değerlerini de ölçecek şekilde tasarlanmıştır. Dâhili belleğe sahip ve 150 ölçüme kadar hafızasındaki bilgileri saklama yeteneği olan bu cihaz, bilgisayar üzerinden veri yönetimine izin veren bir yapıya sahiptir.

Aktif, reaktif ve görünür gücü ölçebilen aynı zamanda frekans, faz açısı ve güç faktörünü ölçen, harmonik dalga analizörü olarak çalıştırılırken 40. harmoniğe kadar hafızasına verileri kaydeden bozulma faktörü ölçümü, vektör diyagramlarını gösteren ve bu bilgileri yazıcılara aktarabilen bir analizördür.

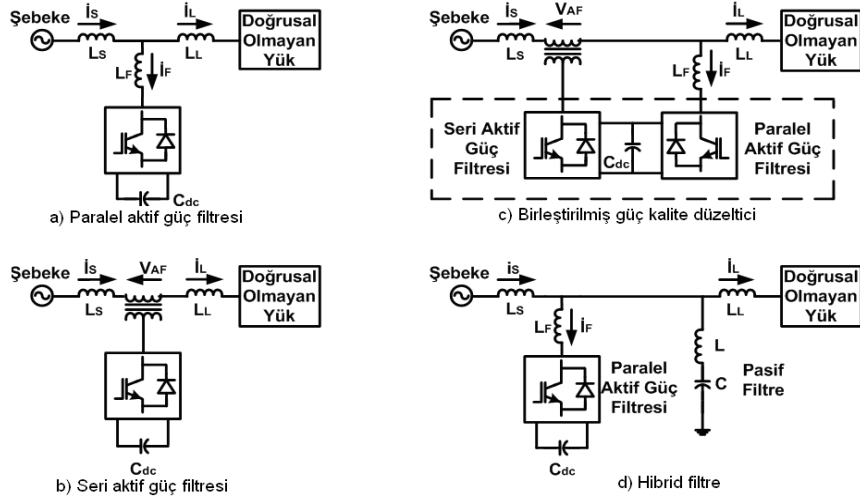
## 2.2. Aktif Filtreler

Aktif filtrelerin görevi yük tarafından tüketilen harmoniklerin analiz edilmesiyle yükün yaydığı harmonikleri nötr hale getirmekten ve aynı harmonik akımını uygun fazla yeniden eski durumuna getirmekten ibarettir. Temel olarak çalışma mantığı; aktif filtre devreye bağlandığı noktadaki akımı ölçerek, içeriğindeki güç elektroniği devresi ile tespit ettiği harmoniğin tam ters işaretlisini kendi tetikleme devresi ile üreterek sisteme enjekte eder.

Bunu yapabilmek için, güç elektroniği anahtarlama elemanlarını ve sistemdeki harmonikleri belirleyerek anahtarlama elemanını sürebilmek için çeşitli kontrol düzenleri kullanır [11].

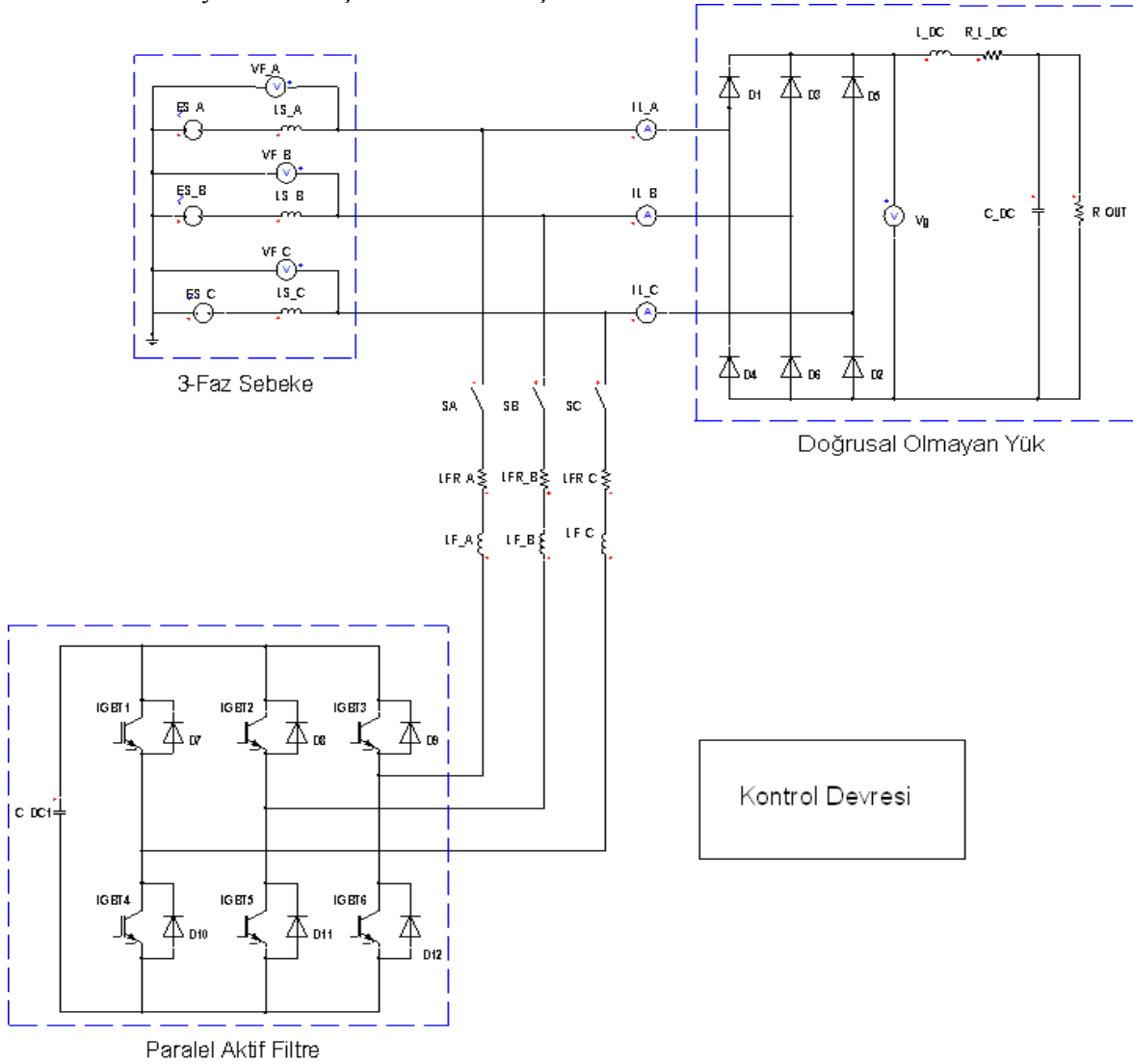
Aktif güç filtreleri sistemdeki harmonikleri yok etmek için kullanılmasının yanında, reaktif güç kompanzasyonu, gerilim ve akım dengesizlikleri, nötr akımı kompanzasyonu ve şebeke geriliminin regülasyonu içinde kullanılırlar.

Aktif güç filtreleri, kullanılan bağlantı şekline göre; seri, paralel, birleştirilmiş güç kalitesi düzeltici ve hibrid filtreler olarak adlandırılabilir. Birleştirilmiş güç kalitesi düzeltici, seri ve paralel aktif güç filtrelerinin birlikte kullanılmasıdır. Hibrid filtrelerde ise pasif filtreler ve aktif güç filtreleri bir arada kullanılır. Şekil 2'de bağlantı şekillerine göre sınıflandırılmış aktif güç filtrelerinin basitleştirilmiş devre şemaları görülmektedir.



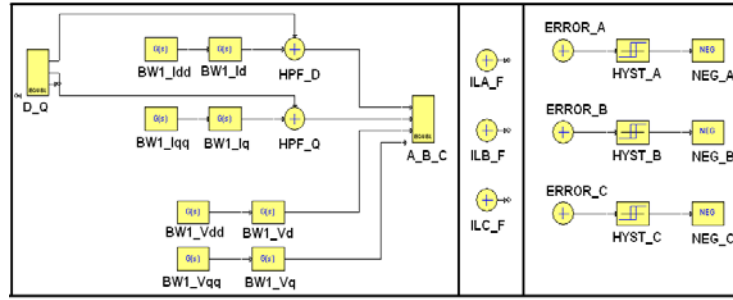
Şekil 2. Bağlantı şekillerine göre sınıflandırılmış aktif güç filtrelerinin devre şemaları [12].

Yapılan çalışmada kullanılan paralel aktif güç filtresi için Simplerer 6.0 programında tasarlanan simülasyon devresi Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. Paralel aktif güç filtresi için Simplerer 6.0 programında tasarlanan simülasyon devresi

Şekil 3'te tasarımı yapılan paralel aktif güç filtresine ait kontrol ünitesinin çalışma mantığını gösteren blok diyagram Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Paralel aktif güç filtresi için kontrol ünitesinin blok diyagramı

Şekil 4'te verilen blok diyagrama bakıldığında ilk hücrede şebekeden alınan AC yük akımlarının clarke dönüşümü ve park dönüşümüne tabi tutulduğu görülmektedir. Daha sonra yüksek geçirgen filtreden geçirilen akımların, doğru akıma dönüştürüldüğü ve ters park ile ters clarke dönüşümlerini yaptığı blok diyagramlar görülmektedir. Ayrıca doğru akım bağ denetim işlevi gören gerilim bloklarının da yine aynı kontrol ünitesine dahil olduğu görülmektedir. Bu sayede filtre akımları için gerekli olan inverter referans akımları ( $I_{ah}$ ,  $I_{bh}$ ,  $I_{ch}$ ) bulunur. İkinci hücre ise elde edilen akımların filtre akımları ile karşılaştırılarak histerisize konulmasını sağlar. Üçüncü hücrede ise histerisiz bloğunun çalışması ifade edilmektedir.

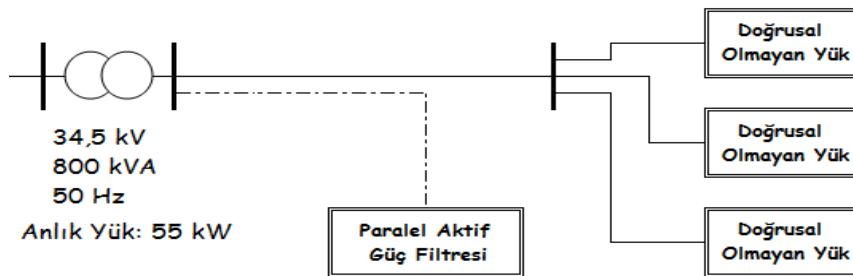
### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde, örnek olarak alınan elektrik tesisi üzerine aktif filtre simülasyonu uygulanarak sistemin bu filtreye karşı cevabı incelenmiştir. Bu değerlendirme; sistemin akıma ve gerilime ait değerleri üzerinde Simplorer Simulation Center 6.0 benzetim programı kullanılarak yapılmıştır.

#### 3.1. Dağıtım Sistemi Örneği

Bu bölümde uygulanan aktif filtre simülasyonu tek hat şeması ve elektriksel büyüklükleri verilen örneğin dağıtım sistemine bağlandığı noktada sistemden çektiği güçler baz alınarak yük hesaplanmış ve buna uygun simülasyonlar yapılmıştır. 40. harmoniğe kadar ölçüm yapılmış olmasına rağmen sistemde 3., 5., 7., 9. ve 11. harmoniklerin olduğu tespit edilmiş olup, bu doğrultuda simülasyon hazırlanmıştır.

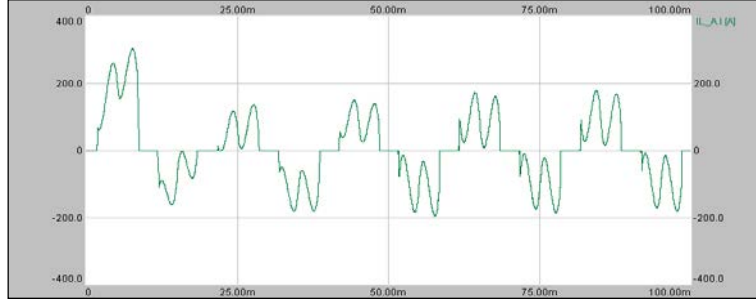
Ayrıca örnek alınan elektrik tesisinde yüklerin dengeli olarak üç faz'a dağıtıldığı kabul edilmiştir. Örnek elektrik tesisine (Van et kombinasına) ait gerilim düzeyi, kurulu güç değeri ve paralel aktif filtrenin bağlantı şeklini gösteren hat şeması Şekil 5'te gösterilmiştir. Aktif güç üzerinden hesaplama ile elde edilen model yükün THD oranı için simülasyon filtresiz olarak çalıştırılmış ve filtresiz ortamda Van et kombinası için THD oranı simülasyon devresinden elde edilmiştir. Buna göre filtresiz durumda mevcut simülasyon devresinde Van et kombinası için %51.35 oranında THD'ye rastlanmıştır.



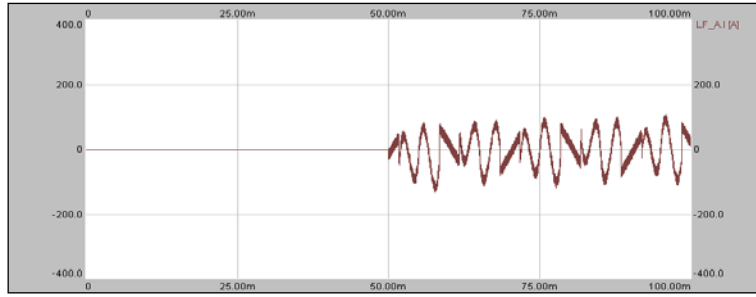
Şekil 5. Paralel aktif filtrenin bağlantı şeklini gösteren hat şeması

### 3.2. Simülasyon Sonuçları

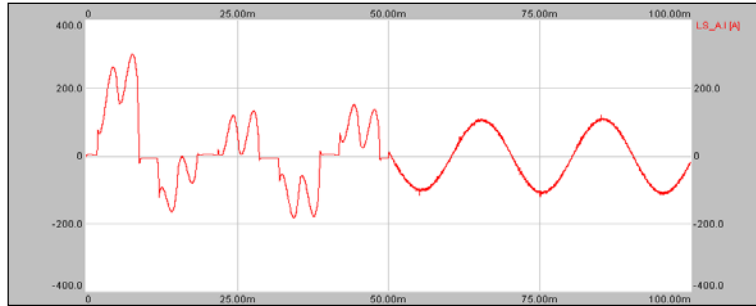
Van et kombinası için harmonikli yük akımı Şekil 6’da, filtre akımı Şekil 7’de, şebeke akımının aktif filtre sonrası düzelmiş hali Şekil 8’de, aktif filtre sonrası filtreden elde edilen gerilimin değişimi Şekil 9’da ve aktif filtre çıkış akımı ile çıkış gerilimi Şekil 10’da verilmiştir.



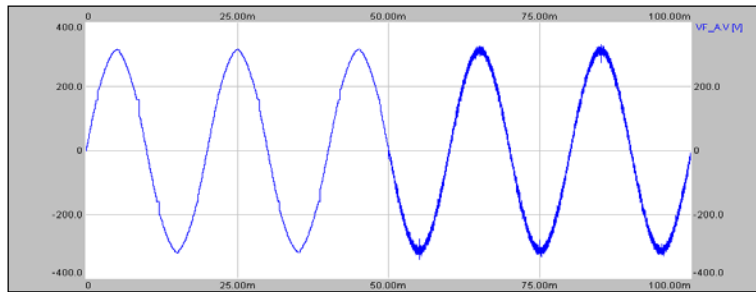
Şekil 6. Van et kombinası için yük akımının değişimi (PAGF 50ms'den sonra devrede)



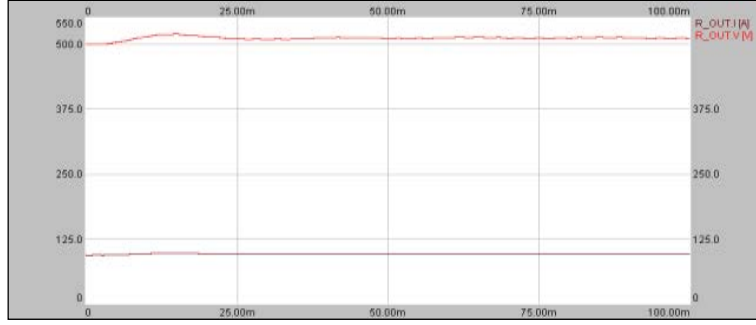
Şekil 7. Van et kombinası için PAGF tarafından sisteme verilen filtre akımının değişimi (50ms'de devrede)



Şekil 8. Van et kombinası için PAGF devredeyken şebeke akımının dalga formu (PAGF 50ms'den sonra devrede)

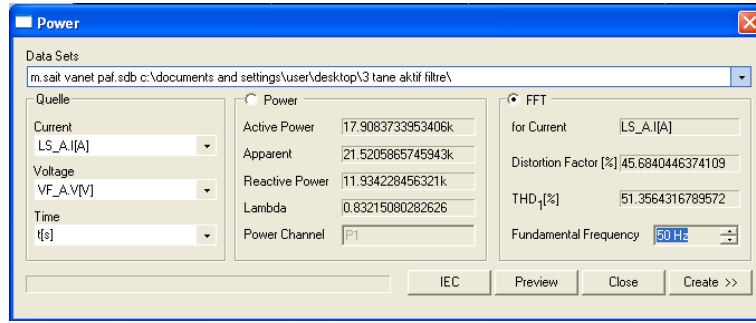


Şekil 9. Van et kombinası için PAGF devreye girmesiyle gerilim değişimi (50ms'den sonra devrede)

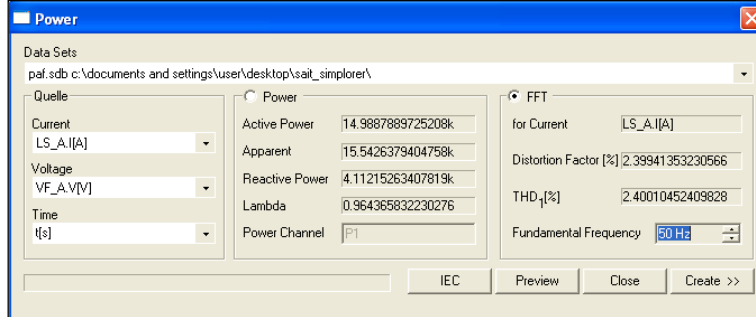


Şekil 10. Van et kombinasyonu için PAGF devreyken çıkış akımı ve çıkış gerilimi görünümleri

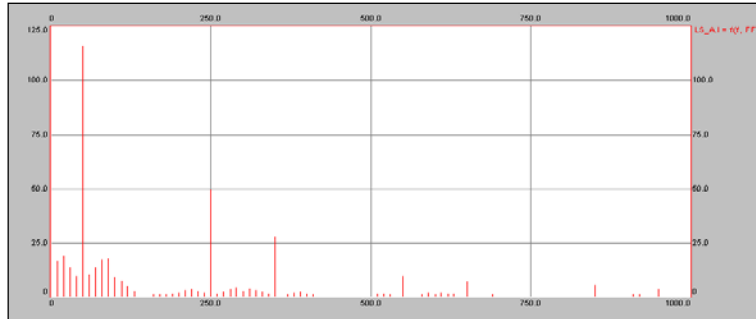
Van et kombinasyonu için fitesiz olarak çalıştırılan simülasyondan elde edilen THD oranı Şekil 11’de, aktif filtrenin devreye girmesiyle ulaşılan THD oranı Şekil 12’de, filtreleme öncesi sistemin akım genlik spektrumu Şekil 13’te ve aktif filtre devreyken sistemin akım genlik spektrumu Şekil 14’te verilmiştir.



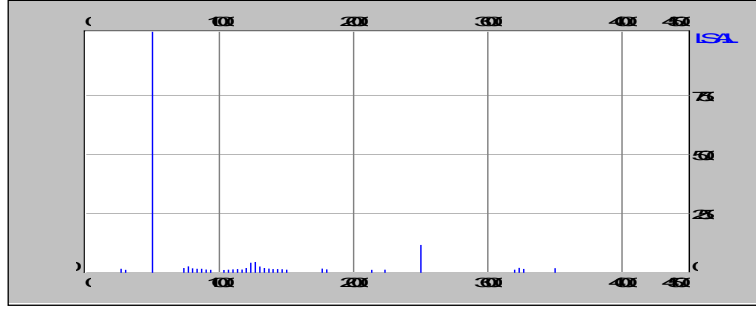
Şekil 11. Van et kombinasyonu için filtreleme öncesi sistemin THD oranı



Şekil 12. Van et kombinasyonu için PAGF devreye girmesi ile ölçülen THD oranı (Filtre 0 ms’de devrede)



Şekil 13. Van et kombinasyonu için filtreleme öncesi sistemin akım genlik spektrumu



Şekil 14. Van et kombinasyonu için PAGF devredeyken akım genlik spektrumu (0 ms'de devrede)

Simülasyonda yarı iletken anahtarların kullanılması nedeniyle gerilim ve akım sinüsoidal dalga şekillerinde dalgacıklar (ripple) ile karşılaşmaktadır. Simülasyon sonuçlarında aktif filtrenin devreye girmesinden sonra IGBT anahtarlama elemanları gerçek paralel aktif filtreler gibi regüle yaparken aynı zamanda temel sinüsü bozmayacak düzeyde harmonik üretmektedir. Bu da kayıpların meydana gelmesine neden olmaktadır. Van et kombinasyonu örneğinde teorik olarak hesaplanan çıkış geriliminin 538.8 V ve çıkış akımının 102 A olması gerekirken simülasyon sonuçlarında aktif filtre çıkış gerilimi yaklaşık olarak 520 V ve çıkış akımı da yaklaşık 102 A (Şekil 10) olarak görülmüştür. Paralel aktif filtrenin yarı iletken anahtarlama elemanları (IGBT'ler gibi) gerilim düşümlerine neden olmaktadır. Yine gerilim ve akım dalga şekilleri incelendiğinde IGBT yarı iletken anahtarların devreye girdiği anlarda sinüs formlarında dalgacıklara rastlanmıştır. Eğer filtre çıkışındaki endüktansların değeri optimum seçilebilirse ripple dalgacıklar azalacaktır. Aynı zamanda optimum endüktans değerinin seçimiyle gerilim formundaki koyu çizgiler ile görülen hareketli kısımdaki dalgacıklar (Şekil 9) minimum düzeye çekilecektir. Akım formundaki sinüs dalga çukuru ve tepe noktalarındaki (Şekil 8) dalgacıkların (ripple) sebebi ise IGBT yarı iletken elemanların devre üzerindeki etkisindedir.

#### 4. Sonuç

Gerek projelendirme aşamasında gerekse teknik şartnamelerin hazırlanması aşamasında ulusal veya uluslararası standartlara uygun cihazların kullanılması teşvik edilmelidir. Tüm cihazların plaka etiket değerlerine, akım, gerilim vb. değerleri yanında THD ve benzeri harmonikleri tanımlayıcı değerlerin de yazılması kanunlarla zorunlu hale getirilmelidir. Bu da cihaz seçiminde belirleyici bir etken olarak göz önüne çıkacaktır. Böylelikle kamuya malzeme alımlarında harmonik değerlere dikkat edildiği takdirde cihaz üreticilerinin harmonik hususuna daha duyarlı olmaları sağlanacaktır.

Yüksek oranda harmonik üreten tesislerin ölçümleri sık sık yapılmalı bunlardan THD değeri yüksek olan işletmelere denetleyici kurumca daha yüksek tarifeden enerji satışı yapılmalıdır. Böylece yeni tarife uygulaması harmoniklerin azaltılması açısından önemli bir caydırıcı neden olacaktır.

Otomasyon sistemleri tasarlanırken güç kalitesinin de izlenebileceği sistemler kurularak doğrusal olmayan yük taşıyan fabrika, hastane vb. büyük güç tüketicilerinin harmonik yönünden incelenmesi gerekmektedir. Böylece harmonikleri önleyici tedbirler alınabilecektir.

Filtreleme performansı olarak en iyi sonucu veren aktif filtrenin en büyük dezavantajı kuruluş aşamasındaki maliyetinin yüksek olmasıdır. Aktif filtrenin bundan başka herhangi olumsuzluğu ile karşılaşmayız. Aktif filtrenin olumlu yanları ise; sistemdeki bütün harmonik dereceleri için etkili olması, sistemle rezonansa girmemesi, reaktif güç ayarlama işlevi görmesi ve gerilim regülasyonu yapmasıdır.

Sistem üzerindeki doğrusal olmayan yüklerin olabildiğince dar bir alanda olabildiğince merkezi noktalara toplanmasına çalışılmalıdır. Çünkü yapılan tüm ölçümlerde sistemde bolca harmonik olduğu görülmüş ancak her noktaya aktif filtre takılamayacağı düşünüldüğünde harmonikleri bölgesel olarak hapsedip mümkün olduğunca adet bazında daha az aktif filtrenin kullanılması yüksek maliyetten kaynaklanan dezavantajı en düşük seviyelere çekecektir.

Standartlarda belirtilen sınırları aşan miktarlar da harmonik üreten bazı tüketicilerin aynı sisteme bağlı diğer tüketicilere zarar vermesi sonucu tüketici ile dağıtım şirketlerinin yakın zaman içinde hukuki olarak karşı karşıya geleceği açıkça görülmektedir. Bu şekilde harmonik kirlenme devam ettiği takdirde aktif filtre takılmayarak tasarruf edilmesi düşünülen parasal tutarların çok daha fazlası tazminat olarak dağıtım şirketlerinden tahsil edilecektir.



Bu çalışmada yarıiletken teknolojisindeki gelişmeler sayesinde harmonikleri yok etmede başarılı bir filtreleme sağlayan, paralel aktif güç filtresinin Simplorer 6.0 programıyla simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

Yapılan ölçümlerde gerilim harmoniklerinin tolerans sınırlarının altında kaldığı ancak akım harmoniklerinin tolerans sınırlarının çok üstünde olduğu gözlemlenmiştir. Doğrusal olmayan yüklerin her geçen gün kontrolsüz olarak sisteme dâhil edilmesi ve buna ilişkin tedbirlerin alınmaması nedeniyle sisteme eklenen her bozucu etkiye sahip yük sistemi biraz daha zorlamakta ve elektriksel elemanların ömrünü kısaltmaktadır. Bu da işletim maliyetlerini artırmakta, elektrikli cihazların ömürlerini kısaltmakta, iş verimini düşürerek işletme ve ülke ekonomisine zarar vermektedir.

Klasik yoldan analizi oldukça maliyetli olan aktif filtrenin Simplorer Simulation Center 6.0 programı ortamında simülasyonu gerçekleştirilmiş ve bu şekilde maliyet, zaman ve işgücünden tasarruf sağlanmıştır. Bir elektrik tesisinde değişiklik yapılması söz konusu ise, sistemin değişik varyasyonlar karşısında cevabı, tasarlanan simülasyon ile incelenmelidir.

Aktif filtrenin devreye girmesiyle standartlardaki harmonik sınırlarının altında THD oranlarına ulaşılmıştır. Böylece sistem akım ve gerilim şeklinin ideal sinüs dalgası formuna yaklaştığı görülmektedir. Tasarlanan paralel aktif filtreye ait sonuçlar incelendiğinde faz kaymalarının olmadığı ve genlik değerlerinin başarılı bir şekilde korunduğu görülmüştür.

Yapılan çalışmada PAGF ile güç kalitesinin iyileştirilmesi yönteminin diğer pasif filtre gibi yöntemlere göre daha etkin bir çözüm olduğu saptanmıştır. PAGF ile hem giriş hem de doğrultucu harmoniklerinin sisteme etkisi minimum düzeye çekilmiştir.

PAGF ile yapılan simülasyon sunucunda harmonikler önemli ölçüde azaltılarak akım dalga şekilleri sinüsoidale yakın duruma getirilmiştir.

## Kaynaklar

1. Yacamini R. 1994. Power System Harmonics, IEEE Power Engineering Journal, 8(4): 193-198.
2. Kocatepe C., Uzunoğlu M., Yumurtacı R., Karakaş A., Arıkan O. 2003. Elektrik Tesislerinde Harmonikler, Birsen Yayınevi, İstanbul.
3. Ana-Maria Dumitrescu, Giovanni Griva, Radu Bojoi, Valeriu Bostan, Razvan Magureanu, 2009. Current controllers design using Naslin polynomial method for Active Power Filters, Rev. Roum. Sci. Techn. – Électrotechn. et Énerg., 54(1), p. 115–124, Bucarest.
4. Salmeron P., Litran S.P. 2010. Improvement of the electric power quality using series active and shunt passive filters, IEEE Trans. Power Del., 25(2), pp. 1058-1067.
5. Gonzalez S. A., Garcia-Retegui R., Benedetti M. 2007. Harmonic computation technique suitable for active power filters, IEEE Trans. Ind. Electron., 54(5), pp. 2791-2796.
6. Freijedo F., Doval-Gandoy J., Lopez O., Fernandez-Comesana P., Martinez-Penalver C. 2009. A signal-processing adaptive algorithm for selective current harmonic cancellation in active power filters, IEEE Trans. Ind. Electron., 56(8), pp. 2829–2840.
7. Chen L., Jia Z. 2010. Three-phase four-wire shunt active power filter based on DSP, 5th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications.
8. Babaei E., Yavari M., Hossieni S. H. 2011. A new control method for shunt active filters based on sinusoidal signal integrators, Accepted and will present in Proc. EPEC, Canada.
9. De Araujo Ribeiro R., De Azevedo C., De Sousa R. 2012. A robust adaptive control strategy of active power filters for power-factor correction, harmonic compensation, and balancing of nonlinear loads, Power Electronics, IEEE Trans on, 27(2), pp. 718 –730.
10. Küçük S. 2005. Elektrik Tesislerinde Arızalar, TÜPRAŞ Türkiye Petrol Rafinerileri, İzmit.
11. Sucu M. 2003. Elektrik Enerji Sistemlerinde Oluşan Harmoniklerin Filtrelenmesinin Bilgisayar Destekli Modellenmesi ve Simülasyonu. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
12. Avcı T. 2008. Akım Kaynaklı Aktif Güç Filtresi İçin Çeşitli Kontrol Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.