

# ÖZEL GÜÇ CİHAZLARININ ÇOKLU FİDERLİ SİSTEMLERDEKİ UYGULAMALARININ İNCELENMESİ

Tahsin Köroğlu<sup>1</sup>, Adnan Tan<sup>2</sup>, K. Çağatay Bayındır<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü  
<sup>2,3</sup>Çukurova Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

<sup>1</sup>tkoroglu@osmaniye.edu.tr, <sup>2</sup>atan@cu.edu.tr, <sup>3</sup>cbayindir@cu.edu.tr

## Özet

*Hassas yüklerin kullanımının her geçen gün artması, güç kalitesi problemlerinin çözümünü ve özel güç cihazlarının kullanımını gerekli hale getirmiştir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, özel güç cihazlarının daha verimli çalışmaları ve daha iyi performans göstermeleri için farklı fikirler sunulmuştur. Bu kapsamda, Esnek Alternatif Akım İletim Sistemlerinde güç kalitesini artırmaya yönelik geliştirilen çözümlerin dağıtım sistemlerindeki özel güç cihazlarına uyarlanması ile yeni nesil güç kalitesi cihazları geliştirilmiştir. Bu çalışmada, yeni bir konsept olan özel güç cihazlarının çoklu fiderli sistemlerdeki uygulamaları ile ilgili yapılan çalışmalar incelenmiş; bu çalışmalarda incelenen uygulamalara ait topolojiler, çalışma prensipleri, kontrolcü yapıları ve avantajları sunulmuştur. Yapılan bu çalışmanın araştırmacılara çalışmalarını bu yeni konsept etrafında yoğunlaştırmalarına yardımcı olması beklenmektedir.*

**Anahtar Kelimeler:** Güç kalitesi, Özel güç cihazları, Çoklu fiderli sistemler, Literatür taraması

## 1. Giriş

Son yıllarda, Güç Kalitesi konusu hem elektrik enerjisi sağlayıcıları hem de elektrik enerjisi müşterileri için önemli bir sorun haline gelmiştir. Güç kalitesi problemleri, müşteri cihazlarında çalışma hatasına veya bozulmaya sebep olan gerilim, akım ve frekans değişimler oluşturan güç problemleri olarak tanımlanabilir [1]. Güç kalitesi problemlerinin kaynakları; müşteri kaynaklı sorunlar ve elektrik enerjisi sağlayıcıları kaynaklı sorunlar olarak iki ayrı gruba ayrılabilir. Müşteri tarafında, lineer olmayan yükler ve büyük güç tüketen yüklerin devreye girip çıkması harmonikler, yük dengesizlikleri ve anlık gerilim düşümü ve yükselmesi gibi güç kalitesi problemlerine yol açar. Elektrik enerjisi sağlayıcıları tarafından bakıldığında ise, güç hatlarındaki çeşitli kısa devre hataları ve güç hatlarına yıldırım düşmesi gibi olaylar elektrik enerjisi kesintileri ve gerilim düşümü gibi güç kalitesi problemlerine yol açar. Diğer yandan, dijital elektronik/haberleşme ve proses kontrol'deki gelişmeler normal çalışmaları için ideal

sinüsoidal besleme gerilimine ihtiyaç duyan hassas yüklerin sayısını artırmıştır [2]. Daha fazla hassas yük kullanımı, güç kalitesini tüketiciler ve şebekeler için önemli bir sorun haline getirmiştir [3].

Özel güç, güç kalitesi iyileştirme fonksiyonlarını sağlayan cihazları kapsayan teknolojiye dayalı ürün ve hizmet çözümüdür [4]. Gerilim kaynaklı çevirgeçlere dayalı güç kalitesi cihazları dağıtım sistemlerinde aktif filtreleme, yük dengeleme, güç faktörü düzeltme ve gerilim regülasyonu gibi uygulamalar için kullanılır [5]. En çok bilinen özel güç cihazları Aktif Güç Filtresi (AGF), Dinamik Gerilim İyileştirici (DGİ), Statik Transfer Anahtarı (STA) ve Birleşik Güç Kalitesi Düzenleyicisi (BGKD)'dir.

Son yıllarda yapılan çalışmalarda, Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri (EAİS) için geliştirilen çözümlerin dağıtım sistemlerindeki özel güç cihazlarına uygulanması incelenmektedir [6]. [7]'de açıklanan Hatlararası Birleşik Güç Akış Kontrolcüsü (HBGAK) ve [8]'de açıklanan Genelleştirilmiş Birleşik Güç Akış Kontrolcüsü (GBGAK) gibi çok çevirgeçli ve birden fazla hattı kompanze edebilen EAİS cihaz konseptleri özel güç cihazlarına uyarlanmıştır. [9]-[14]'de anlatılan, çoklu fiderlerdeki gerilim düşümünü kompanze eden Hatlararası Dinamik Gerilim İyileştiricisi (HDGİ), [15]'de anlatılan Hatlararası Birleşik Güç Kalitesi Düzenleyicisi (HBGKD) ve [5]-[16]'da anlatılan Hatlararası Gerilim Kontrolcü (HGK), HBGAK'nin; [6] da anlatılan Çok Çevirgeçli Birleşik Güç Kalitesi Düzenleyicisi (ÇÇ-BGKD) ise GBGAK'nin dağıtım sistemlerindeki uygulamalarıdır.

Hatlar arası özel güç cihazları iki komşu fidere bağlanabilir. Bir hatlar arası özel güç cihazında, iki ya da daha fazla gerilim kaynaklı çevirgeç arka arkaya ve ortak bir dc kondansatörle iki komşu fidere bağlıdır. Bu cihazlar seri-seri, paralel-paralel veya seri-paralel bağlanabilir [16]. Birden fazla hattı kompanze eden özel güç cihazlarının en önemli avantajı, bir hatta herhangi bir güç kalitesi problemi görüldüğünde, cihazın bağlı olduğu diğer hat, güç kalitesi probleminin kompanzasyonu için bir hattan diğer hatta güç aktarımı sağlar. Bu yüzden çok fiderli özel güç cihazları, tek fiderli cihazlara göre daha iyi performans sağlar.

Bu çalışmada Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri için geliştirilen çok çevirgeçli ve birden fazla hattı kompanze edebilen cihaz konseptlerinin

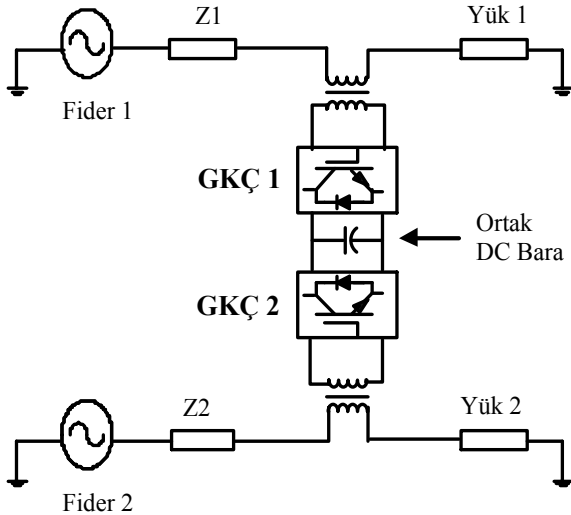
dağıtım sistemlerindeki özel güç cihazlarına uygulamaları incelenecektir. Her bir özel güç cihazı uygulaması ayrı ayrı ele alınacak; fonksiyonları, güç devreleri ve kontrolcü yapıları değerlendirilecektir.

## 2. Güç Devreleri

Çalışmanın bu kısmında çok fiderli sistemlerde kullanılabilirliği amacıyla geliştirilen özel güç cihaz konseptleri incelenecek, güç devreleri ve çalışma prensipleri ele alınacaktır.

### A. Hatlararası Dinamik Gerilim İyileştiricisi

Özel güç cihazlarının çoklu fiderli sistemlerde kullanımına ait ilk örnek [14]'de bahsedilen Hatlararası Dinamik Gerilim İyileştiricisi (HDGİ)'dir. HDGİ, iki farklı dağıtım fiderine seri bağlı ve aralarında ortak bir DC kondansatör (DC bara) bulunan iki gerilim kaynaklı çevirgeçten (GKÇ) oluşur. GKÇ'lerden bir tanesi gerilim düşümünü kompanse ederken diğeri bağlı olduğu fiderden aktif güç çekerek DC bara gerilimini istenen seviyede tutmaya çalışır.



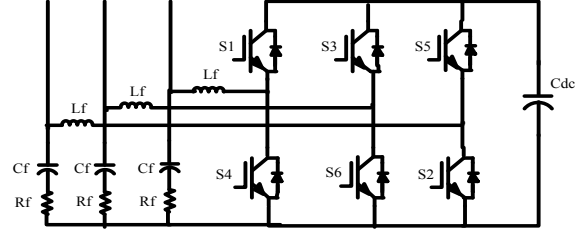
Şekil 1. HDGİ tek hat genel güç devresi

Hatlararası Dinamik Gerilim İyileştiricisi'ne ait tek hat genel güç devre topolojisi Şekil 1'de görülmektedir. Aralarında DC bara bulunan iki farklı GKÇ iki komşu fidere enjeksiyon trafosu ile seri olarak bağlanmıştır. Bu fiderler aynı ya da farklı gerilim seviyelerinde olabilir. Bu topoloji, müşteri yüklerinin genellikle iki farklı fiderden beslendiği durumlarda oldukça avantaj sağlamaktadır.

Hata meydana gelen fiderde yer alan GKÇ, bulunduğu fiderdeki hatayı kompanse ederken; komşu fiderde yer alan GKÇ ise bulunduğu fiderden aktif güç çekerek bağlı oldukları ve ortak kullandıkları DC bara gerilimini belli seviyede tutmaya çalışır. Bu sayede komşu fiderdeki GKÇ, hata meydana gelen fiderde güç aktarımı sağlamış olur.

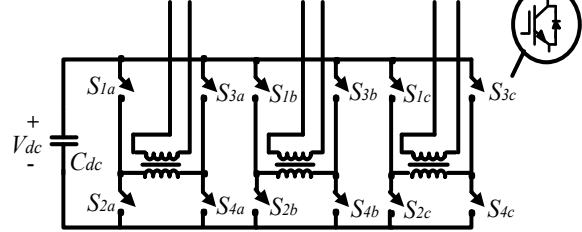
Genel güç topolojisinde yer alan her bir GKÇ, dengeli ve dengesiz gerilim düşümünü kompanse edebilmelerine göre Şekil 2'de gösterilen 3 faz 3 telli, Şekil 3'de gösterilen 3 faz 4 telli ve H-köprü gibi farklı şekillerde tasarlanabilirler.

### Dağıtım Fideri



Şekil 2. GKÇ 3 faz 3 telli tasarımı

### Dağıtım Fideri

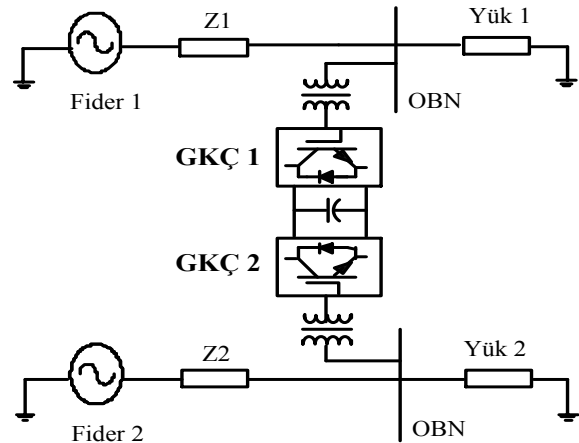


Şekil 3. GKÇ H-köprü tasarımı

Ayrıca çevirgeçlerin anahtarlama frekanslarından tarafından meydana gelen harmonikleri elemek amacıyla çıkış filtresi kullanılır. Çıkış filtresi sadece bobin (L), bobin ve kondansatörden (LC ya da LCL) oluşabilir; çevirgeç ya da şebeke tarafında yer alabilir.

### B. Hatlararası Gerilim Kontrolcü

HDGİ mantığını kullanarak yazarlar çoklu fiderde işlev gören farklı konseptte cihazlar geliştirmişlerdir; bunlardan bir tanesi de [16-17]'de anlatıldığı üzere Hatlararası Gerilim Kontrolcü (HGK)'dir. HGK, iki komşu fidere paralel bağlı iki GKÇ'den oluşur.



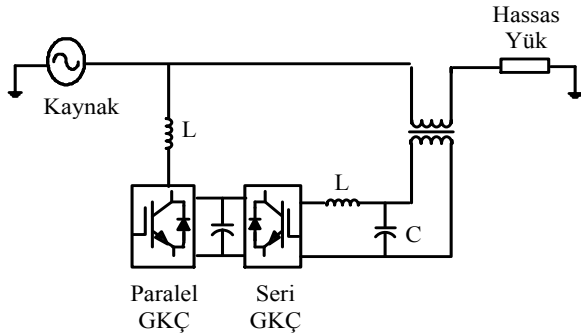
Şekil 4. HGK tek hat genel güç devresi

Hatlararası Gerilim Kontrolcünün tek hat genel güç devre topolojisi Şekil 4’de görülmektedir. Aralarında ortak kullandıkları DC kondansatör bulunan iki GKÇ iki komşu fidere paralel bağlıdır. HGK topolojisindeki ana amaç, iki ayrı fiderde yer alan ortak bağlantı noktalarındaki (OBN) bara gerilimini önceden belirlenen seviyede tutmaktır. [5]’te açıklandığı üzere HGK, gerilim düşümü meydana gelen fiderdeki (fider 2) gerilimi sabit tutmak amacıyla diğer fiderden (fider 1) güç çeker. Ortak DC bağ kondansatörü kullanılarak bir fiderden diğer yüke güç aktarımı yapılarak (ya da tam tersi) iki fider arasında iki yönlü güç akışı sağlanması da mümkün olabilmektedir.

HGK konsepti yalnızca iki çalışmada [16-17] ele alınırken gerilim kaynaklı çevirgeçler için 3 faz 4 telli bir sistemde H-köprü topolojisi tercih edilmiş ve tasarlanmıştır.

### C. Hatlararası Birleşik Güç Kalitesi Düzenleyicisi

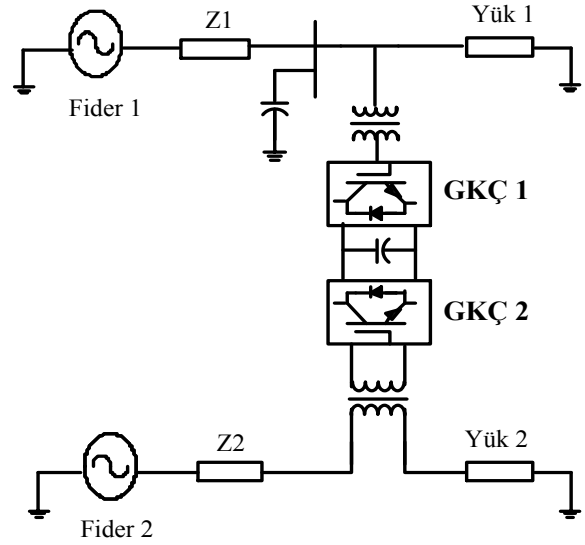
HDGİ ve HGK konseptlerinde hakim olan fikri kullanarak, [15]’de Hatlararası Birleşik Güç Kalitesi Düzenleyicisi (HBGKD) isimli yeni bir konsept sunulmuştur. Bu konsept bilinen Birleşik Güç Kalitesi Düzenleyicisi (BGKD) yapısının iki farklı fiderde uygulanması gibi düşünülebilir. Şekil 5’te görülen sıradan BGKD topolojisinde iki gerilim kaynaklı çevirgeç yer almakta bunlardan bir tanesi tek bir fidere paralel bağlı iken diğeri seri bağlıdır. Yeni geliştirilen konseptte ise tek fider yerine iki bağımsız fider yer almaktadır. GKÇ’lerden bir tanesi bir fidere paralel bağlı ve bu fiderdeki gerilimi düzenlemektedir. Diğer GKÇ ise komşu fidere seri bağlı ve bu fidere bağlı hassas yük gerilimini kompanze etmektedir.



Şekil 5. Bilinen BGKD tek hat güç devresi

HBGKD konseptine ait tek hat genel güç devre topolojisi Şekil 6’da görülmektedir. Şekilden de anlaşıldığı üzere iki GKÇ arka arkaya aralarında DC bağ kondansatörü yer alacak şekilde bağlanmıştır. Bu topolojide amaç fider 2’ye bağlı olan hassas yükü (Yük 2) anlık gerilim bozulmalarına karşı korumak, fider 1 gerilimini de regüle etmektir. HBGKD, fider 1’den güç çekerek hassas yük tarafında meydana gelebilecek gerilim düşümünü kompanze edebilir. Bu olay, her iki GKÇ’nin ortak DC bağ kondansatörü kullanmasıyla mümkün olabilmektedir.

Bu topoloji iki komşu fider arasında güç aktarımı sağladığından dolayı tek fiderli BGKD’ye göre oldukça avantajlıdır.



Şekil 6. HBGKD tek hat genel güç devresi

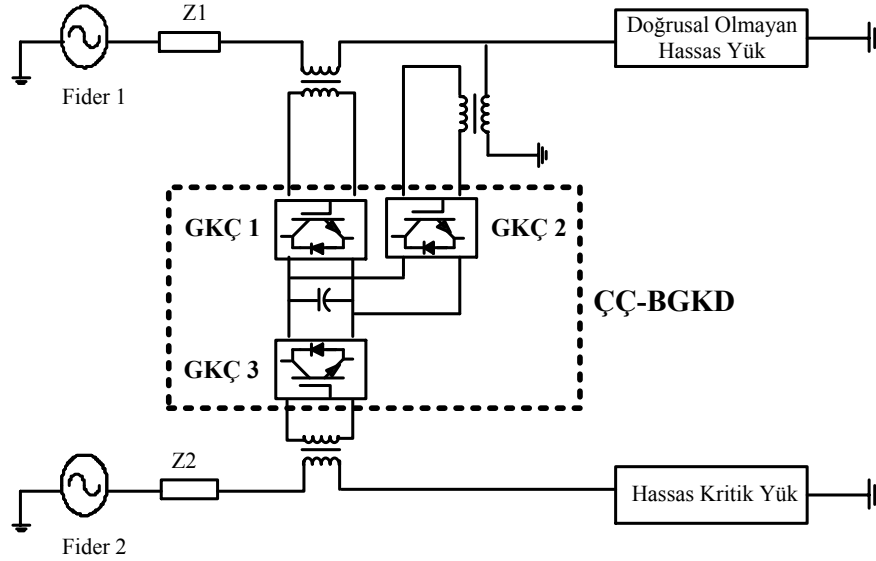
HBGKD konseptini ele alan çalışmalarda [15], GKÇ için genel güç topolojisinde 3 faz 4 telli bir sistemde H-köprü topolojisi tercih edilmiş ve tasarlanmıştır. GKÇ için tercih edilen bu topoloji dengesiz gerilim bozulmalarını da kompanze etmekte oldukça avantajlı bir tasarım olarak ön plana çıkmaktadır.

### D. Çok Çevirgeçli Birleşik Güç Kalitesi Düzenleyicisi

Çok Çevirgeçli Birleşik Güç Kalitesi Düzenleyicisi (ÇÇ-BGKD), çoklu fiderli sistemler için geliştirilen en son konsepttir [6]. Bir tanesi paralel diğer iki tanesi seri GKÇ olmak üzere toplam üç GKÇ’den oluşan topoloji, hem besleme gerilimini kompanze edebilir hem de yük akımında meydana gelen bozulmaları düzenleyebilir. Şekil 7’de görüldüğü gibi, bir seri GKÇ ve bir paralel GKÇ bir fidere, diğer seri GKÇ diğer fidere bağlı şeklindedir ve tüm çevirgeçler aynı DC bağ kondansatöründen beslenmektedir. Şekil 7’de ÇÇ-BGKD tek hat genel güç devresinde gösterilen her bir GKÇ için 3 faz 3 telli bir tasarım tercih edilmiştir. Sistem bir fiderde kaynak gerilimindeki ve yük akımındaki problemleri kompanze ederken diğer fiderde sadece kaynak gerilimindeki sorunları kompanze etmektedir.

ÇÇ-BGKD’nin avantajları [6]’da aşağıdaki gibi belirtilmiştir;

- 1) Gerilim ve akımda herhangi bir güç kalitesi problemi durumunda iki fider arasında güç transferi sağlamaktadır.
- 2) Akü depolama sistemi gerekliliği ve depolama kapasitesi limiti olmadan gerilim kesintilerini kompanze edebilmektedir.



Şekil 6. ÇÇ-BGKD tek hat genel güç devre topolojisi

- 3) Birbirine bağlı olmayan fiderler arasında güç kompanzasyon kapasitesini paylaşmaktadır.
- 4) ÇÇ-BGKD topolojisi gerilim kaynaklı konvertörler eklenerek çoklu fiderli sistemlerde genişletilebilir.

Yukarıda avantajları belirtilen ÇÇ-BGKD konsepti tek başına çok karşılaşılan güç kalitesi problemlerini kompanze edebilen çok amaçlı bir özel güç kalitesi cihazıdır. Bu özellikleriyle ÇÇ-BGKD, müşterilere yüksek kaliteli elektrik enerjisi sağlamak için kullanılabilir.

### 3. Kontrolcü Yapıları

Kontrolcü yapıları çalışmanın bir önceki bölümünde ele alınan yeni özel güç cihaz konseptleri için en önemli kısımlardan biridir. Kontrolcü yapılarında akım ya da gerilimde meydana gelen bozulmayı hızlı ve doğru tespit etmek, istenilen kompanzasyon için doğru ve hızlı referans sinyali üretmek ana gereksinimdir [17].

Çalışmanın bir önceki kısmında tanıtılan konseptler incelendiğinde her konseptte seri ya da paralel bir GKÇ bulunduğu görülmekte olup bunların içerdikleri kontrol üniteleri aşağıda sıralanmaktadır.

- Seri GKÇ Kontrol: Gerilim düşümünü sezme, gerilim referansı üretme ve uygun anahtarlama sinyali oluşturma, gerilim enjekte stratejisi.
- Paralel GKÇ Kontrol: Akım referansı üretme ve uygun anahtarlama sinyali oluşturma, DC bara gerilim kontrolü

#### A. Gerilim Düşümünü Sezme

3 fazlı sistemlerde gerilim düşümünün hızlı bir biçimde sezilmesi ve en az hata operasyonu ile düzeltilmesi gerekmektedir. Gerilim düşümünü izlemede ve tespit etmede en kolay method abc-dq

olarak da bilinen Senkron Referans Düzlem (SRF) methodudur [6], [13]. Çalışmalarda kullanılan diğer methodlar ise Kutup Kaydırma [5], [15], [16]; Sınır kontrolü [10]; Hızlı Fourier Dönüşümü ya da Kalman Filtre [12], [14] methodlarıdır.

#### B. Referans Sinyal Üretme

İncelenen çalışmalarda Paralel ve Seri GKÇ için referans üretmede en çok kullanılan yöntemler Senkron Referans Düzlem, Anlık Güç Teoremi ve Kutup Kaydırma yöntemleridir.

DC bara geriliminin kontrolü ise geleneksel DC gerilim geri-besleme methodu ya da oransal integral kontrolcü yöntemleriyle gerçekleştirilebilir.

#### C. Anahtarlama Sinyali Oluşturma

Kontrol ünitesinin çıkışı, gerilim kaynaklı çevirgeçlerde kullanılan anahtarlama elemanları için anahtarlama sinyali üretmede kullanılır. Anahtarlama elemanları üretilen anahtarlama sinyallerine göre çalışır. Anahtarlama sinyali üretmek için histerizis kontrol, darbe genişlik modülasyon tekniği ve uzay vektör kontrol tekniği hem seri hem de paralel GKÇ için tercih edilen yöntemlerdir.

### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Esnek Alternatif İletim Sistemlerinde güç kalitesini artırmaya yönelik geliştirilen ve dağıtım sistemlerinde kullanılan özel güç cihazlarına uyarlanan çok çevirgeçli ve çoklu fiderli yeni konseptler incelenmiş ve tanıtılmıştır. Geliştirilen her özel güç cihazı ayrı ayrı ele alınmış, işlevi ve güç devre topolojisi açıklanmıştır. Ayrıca bu cihazlarda kullanılan kontrolcü yapıları sunulmuştur.

İncelenen çalışmaların büyük çoğunluğu [5], [6], [13], [15], [16] simülasyon çalışması ve simülasyon için PSCAD/EMTDC programı kullanılmıştır. Az sayıda çalışmada [10], [12] deneysel uygulama gerçekleştirilmiştir. Tanıtılan yeni konseptler üzerinde daha fazla çalışma yapılmalı, farklı tasarımlar ve kontrolcüler denenmeli, deneysel uygulamalar gerçekleştirilmelidir. Gerçekleştirilen yeni konseptteki özel güç cihazların güç kapasiteleri ele alınmalı ve ekonomik yönden tartışılmalıdır.

Çok fiderli sistemlerde uygulanan çok çevirgeçli özel güç cihazları günümüzde gittikçe önem taşıyan özel güç konseptine uygun olarak yüksek kalitede güç isteyen müşteriler için kullanılabilir. Bu yüzden üzerinde çalışılmalı ve bu konsept geliştirilmelidir. Bu çalışma, araştırmacılara çalışmalarını bu yeni konsept etrafında yoğunlaştırmalarına yardımcı olacaktır.

## 5. Referanslar

- [1] Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan Surya Santoso, H.Wayne Beaty "Electric Power System Quality" Second Edition, 2004.
- [2] Dusan Graovac, Vladimir A. Katic and Alfred Rufer, "Power Quality Problems Compensation with Universal Power Quality Conditioning System," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 22, No:2, April 2007.
- [3] Han B., Bae B., Baek S., Jang G., "New Configuration of UPQC for Medium Voltage Application," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 21, No: 3, July 2006.
- [4] Mahinda D. Wilatgamuwa, Wijekon D., Choi S., "A Novel Technique to Compensate Voltage Sags in Multiline Distribution System - The Interline Dynamic Voltage Restorer," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 53, No:5, October 2006.
- [5] Jindal Amit Kumar, Ghosh Arindam and Joshi, Avinash, "Power Quality Improvement Using Interline Voltage Controller," Generation, Transmission and Distribution, IET, Vol. 1, Issue: 2, May 2007.
- [6] Mohammadi H. R., Varjani A. Y., Mokhtari H., "Multiconverter Unified Power - Quality Conditioning System: MC-UPQC," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 24, No: 3, July 2009.
- [7] L. Gyugyi, K. K. Sen, and C. D. Schauder, "The Interline Power Flow Controller Concept: A new Approach to Power Flow Management in transmission systems," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 14, No: 3, July 1999.
- [8] B. Fardanesh, B. Shperling, E.Uzunovic, and S. Zelingher, "Multi-converter FACTS Devices: The Generalized Unified Power Flow Controller (GUPFC)," in Proc. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Vol. 4, July 2000.
- [9] Moradlou Majid and Karshenas Hamid R., "Design Strategy for Optimum Rating Selection of Interline DVR," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 26, No: 1, January 2011.
- [10] Ho Carl Ngai-Man and Chung Henry Shu-Hung Chung, "Implementation and Performance Evaluation of a Fast Dynamic Control Scheme for Capacitor-Supported Interline DVR," IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 25, No: 8, August 2010.
- [11] Karshenas H. R., Moradlou M., "Design Strategy for Optimum Rating Selection in Interline DVR," IEEE, Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, May 2008.
- [12] Vilathgamuwa, D. M., Wijekoon, H. M., Choi, S. S., "A Novel Technique to Compensate Voltage Sags in Multiline Distribution System - The Interline Dynamic Voltage Restorer" IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 53, Issue: 5, Oct. 2006.
- [13] Banaei M.R., Hosseini S.H., Gharehpetian G.B., "Inter-line Dynamic Voltage Restorer Control Using a Novel Optimum Energy Consumption Strategy," Elsevier, Simulation Modelling Practice and Theory, Vol. 14, 2006.
- [14] Vilathgamuwa, D. M., Wijekoon, H. M., Choi, S. S., "Interline Dynamic Voltage Restorer: A Novel and Economical Approach for Multiline Power Quality Compensation," IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 40, No: 6, December 2004.
- [15] Jindal Amit Kumar, Ghosh Arindam and Joshi Avinash, "Interline Unified Power Quality Conditioner," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 22, No: 1, Jan. 2007.
- [16] Jindal Amit Kumar, Ghosh Arindam, Joshi Avinash and Gole A. M., "Voltage Regulation in Parallel Distribution Feeders Using IVOLCON," Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, IEEE. 20-24 July 2008.
- [17] Rezaeipour R. And Kazemi A., "Review of Novel Control Strategies for UPQC," International Journal of Electrical and Power Engineering, 2 (4): 241-247, 2008.