

ÇEŞİTLİ YÜK TIPLERİ İÇİN HARMONİK ÜRETEK YÜK MODELLERİNİN HASSASİYET ANALİZİ. KISIM I: FARKLI GERİLİM SEVİYELERİNDE ANALİZ

¹M. Erhan BALCI

¹mbalci@balikesir.edu.tr

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Balıkesir Üniversitesi

²Özgür KARACASU

²karacasu@gyte.edu.tr

³M. Hakan HOCAOĞLU

³hocaoglu@gyte.edu.tr

^{2,3}Elektronik Mühendisliği Bölümü
Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü

ÖZET

Harmonik üreten yüklerin modellenmesi, yapılacak harmonik analizlerinden yüksek hassasiyette sonuçların elde edilmesi bakımından önemlidir. Literatürde yaygın olarak kullanılan harmonik üreten yük modelleri pratik kullanım amacıyla oluşturulmuş deneysel sonuçlara dayanan modellerdir. Bu sebeple modellerin hassasiyeti üzerine yapılan ölçüm temelli istatistiksel analizler önemini korumaktadır. İki kısımdan oluşan bu çalışmanın birinci kısmında çeşitli yük tipleri için; harmonik üreten yüklerle ait modellerin oluşturuldukları gerilimden farklı seviyelerde olan besleme gerilimindeki hassasiyeti gerçek ölçümler yardımıyla analiz edilmiştir. İkinci kısımda ise gerilim dalga şeklinin modellerin hassasiyetine etkisi incelenecektir.

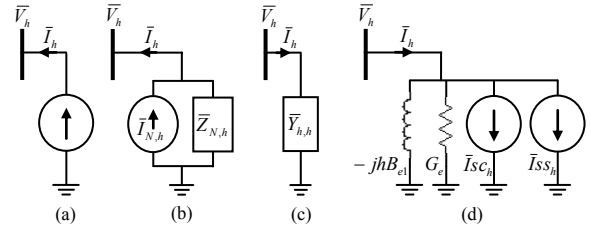
Anahtar Kelimeler: Harmonik üreten yük modelleri, harmonik analizleri, hassasiyet.

1. Giriş

Literatürde, çeşitli harmonik analiz metotları bulunmakta olup bu metotlar Frekans Tarama [1], Harmonik İterasyon [2]-[5] ve Zaman domayninde [1], [6], [7] analiz olmak üzere üç ana başlık altında toplanabilir. Zaman domayninde analizler frekans domayninde analizlere göre daha hassas sonuçlar vermelerine rağmen daha fazla hesap süresi gerektirirler. Bu sebeple harmonik analizleri genellikle frekans domayninde gerçekleştirilmekte olup bu analizlerde yaygın olarak kullanılan modeller, ölçüm sonuçlarıyla elde edilen Sabit Akım Kaynağı (SAK) [1], Norton (N) [8] ve Çapraz Frekans Admittans Matris (ÇFAM) [9], [10] modelleridir. Diğer taraftan son yıllarda, harmonik analizlerinde ağırlıklı olarak kaynak-yük harmonik sorumluluk paylaşımı dikkate alınmaya başlanmıştır [11]-[14]. Bu durum yük admittansındaki frekansa bağlı lineer olmayan değişimi dikkate alan, böylece kaynak ve yük arasındaki harmonik sorumluluğunun paylaşılmasında kullanılmaya uygun olan, Güç Bileşenleri Temelli (GBT) modelin tanımlanmasına motivasyon olmuştur [15].

Yukarıda bahsedilen modellerden en basiti olan SAK modelinin gösterimi Şekil 1 (a)'da verilmiştir. SAK modeli oluşturulurken yükün sinüzoidal nominal gerilim altında çektiği akım harmonik domayninde ölçülür ve bu ölçümlere göre yük her bir harmonik numarası için sabit etkin değer ile faz açısına sahip olan akım kaynağı biçiminde ifade edilir. SAK modeli

her hangi bir hesap gerektirmeden elde edilen bir model olmakla birlikte bu modelin yük-sistem harmonik etkileşiminin analiz edilmesine kafi gelmediği açıktır.



Şekil 1: (a) SAK, (b) N, (c) ÇFAM ve (d) GBT modellerinin devre eşdeğerleri.

Yük-sistem harmonik etkileşimini dikkate alan ve sistem geriliminin ideal olmayan durumlarında da hassas sonuçlar veren bir model oluşturmak amacıyla; gösterimi Şekil 1 (b)'de verilen N model tanımlanmıştır. N modelinde; baraya bağlı yükler her bir harmonikte sabit akım kaynağı ve buna paralel empedans biçiminde kabul edilir. Modeldeki Norton Akım kaynağı ve Norton Eşdeğer Empedansının değerleri, sistemdeki iki farklı besleme geriliminin fazör değerleri ($\bar{V}_{1,h}$, $\bar{V}_{2,h}$) ve bu gerilimler altında yükün çektiği akımların fazör değerleri ($\bar{I}_{1,h}$, $\bar{I}_{2,h}$) kullanılarak;

$$\bar{Z}_{N,h} = \frac{\bar{V}_{1,h} - \bar{V}_{2,h}}{\bar{I}_{2,h} - \bar{I}_{1,h}}, \quad \bar{I}_{N,h} = \bar{I}_{1,h} + \frac{\bar{V}_{1,h}}{\bar{Z}_{N,h}} = \bar{I}_{2,h} + \frac{\bar{V}_{2,h}}{\bar{Z}_{N,h}} \quad (1)$$

ifadeleriyle hesaplanır. Ölçümler farklı devre durumlarında yapıldığı için akım ve gerilimlerin faz açılarının aynı referansa göre ölçülmesi gerekir. Bu referans iki farklı durumda da faz açısı değişmeyen bara gerilimi olabilir. Fakat gerçekte bu durum her şart altında mümkün olmayacağından kaynak tarafının Thevenin eşdeğer devre geriliminin temel harmonik bileşeni referans bara gerilimi olarak dikkate alınır.

Denklem (1)'den N modelin farklı harmonikler arası etkileşimi dikkate almadığı görülmektedir. Bu eksiklik ÇFAM modelinde ele alınmıştır. ÇFAM modelde yük aynı harmonik numarasına sahip gerilim ve akım harmonikleri arasındaki ilişkinin yanında farklı harmonik numaralarına sahip gerilim ve akımlar arasındaki ilişkiyi de veren admittans matrisi biçiminde ifade edilmiştir (Şekil 1 (c)). ÇFAM modelinin matris formunda yazılışı ve bu modele göre gerilim harmonikleri ile yük akımı harmonikleri arasındaki ilişki denklem 2'de verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \\ \vdots \\ \bar{I}_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_{1,1} & \bar{Y}_{1,2} & \cdots & \bar{Y}_{1,M} \\ \bar{Y}_{2,1} & \bar{Y}_{2,2} & \cdots & \bar{Y}_{2,M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{Y}_{M,1} & \bar{Y}_{M,2} & \cdots & \bar{Y}_{M,M} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_1 \\ \bar{V}_2 \\ \vdots \\ \bar{V}_M \end{bmatrix} \quad (2)$$

Yük Akımı Yük Modeli Bara Gerilimi

ÇFAM modeli gerçek test ölçümleri kullanılarak aşağıda verilen iki adımda elde edilir:

- İlk adımda yük sinüzoidal gerilimle beslenirken ölçülen akım harmoniklerinin ve temel harmonik geriliminin fazör değerleri kullanılarak matrisin ilk sütununa ait elemanlar (3)'den hesaplanır:

$$\bar{Y}_{k1} = \frac{\bar{I}_k}{\bar{V}_1} \quad (k=1 \dots M) \quad (3)$$

- İkinci adımda her bir durum için sadece temel harmonik ve temel olmayan bir harmonik içeren $M \times (M-1)$ adet besleme gerilimi yüke uygulanır. Böylece matrisin birinci adımdan sonra geriye kalan elemanları (4)'den hesaplanır:

$$\bar{Y}_{kj} = \frac{\bar{I}_k - \bar{Y}_{k1}\bar{V}_1}{\bar{V}_j} \quad (j=2 \dots M) \quad (4)$$

Hesaplamalar sırasında gerilim ve akımların faz açılarının aynı referansa göre düzenlenmesi ÇFAM'nin doğru bir şekilde elde edilmesi bakımından önemlidir.

Son olarak GBT modeli yükü aktif güç (P) çeken eşdeğer iletkenlik (G_e),

$$G_e = \frac{P}{V^2} = \frac{V_0 I_0 + \sum_{h \in N^+} V_h I_h \cos(\theta_h - \delta_h)}{\sum_{h \in N} V_h^2} \quad (5)$$

basit kondansatörle kompanze edilebilir reaktif güç (Q_r) çeken h. harmonik eşdeğer suseptansı ($B_{e,h}$),

$$B_{e,h} = hB_{e,1} = \frac{h \sum_{h \in N^+} h V_h I_h \sin(\theta_h - \delta_h)}{\sum_{h \in N^+} h^2 V_h^2} \quad (h \in N^+) \quad (6)$$

h. harmonik iletkenliği (G_h) ile eşdeğer iletkenlik (G_e) arasındaki farktan dolayı çekilen kaydırılmış iletkenlik akımı ($\bar{I}_{sc,h}$),

$$\bar{I}_{sc,h} = (G_h - G_e) \bar{V}_h \quad (h \in N) \quad (7)$$

ve h. harmonik suseptansı (B_h) ile h. harmonik eşdeğer suseptansı ($B_{e,h}$) arasındaki farktan dolayı çekilen kaydırılmış suseptans akımı ($\bar{I}_{ss,h}$),

$$\bar{I}_{ss,h} = -j(B_h - B_{e,h}) \bar{V}_h \quad (h \in N^+) \quad (8)$$

biçiminde ifade etmiştir. Bu parametrelere göre GBT modelinin gösterimi Şekil 1 (d)'de verilmiştir. Diğer taraftan modellenen yükün çektiği reaktif güç (Q_r),

$$Q_r = V \sqrt{\sum_{h \in N^+} (B_{e,h} V_h)^2} \quad (9)$$

kaydırılmış iletkenlik gücü (D_{sc}),

$$D_{sc} = V \sqrt{\sum_{h \in N} (G_h - G_e)^2 V_h^2} \quad (10)$$

ve kaydırılmış suseptans gücü (D_{ss}),

$$D_{ss} = V \sqrt{\sum_{h \in N^+} (B_h - B_{e,h})^2 V_h^2} \quad (11)$$

biçiminde hesaplanabilir olup görünür güç ($S=VI$); aktif güç ile bu tanımlanan güç bileşenlerinin vektör toplamıdır:

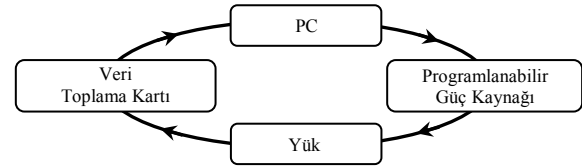
$$S^2 = P^2 + Q_r^2 + D_{sc}^2 + D_{ss}^2 \quad (12)$$

Yukarıda özetlenen modellerin aynı etkin değere sahip farklı harmonik bileşenler içeren gerilim dalga şekilleri altında analizleri literatürde mevcuttur [15], [16].

Bu çalışmada ise harmonik üreten yüklere ait SAK, N, ÇFAM ve GBT modellerinin hassasiyeti; çeşitli yük tipleri için farklı gerilim seviyelerinde test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar harmonik analizi çalışmalarında test edilen yükler için model seçiminde bir yol gösterici olacak biçimde yorumlanmıştır.

2. Test Sistemi ve Analiz Sonuçları

Modellerin oluşturulması ve test edilmesi sırasında kullanılan sistem Şekil 2'de verilmiştir.



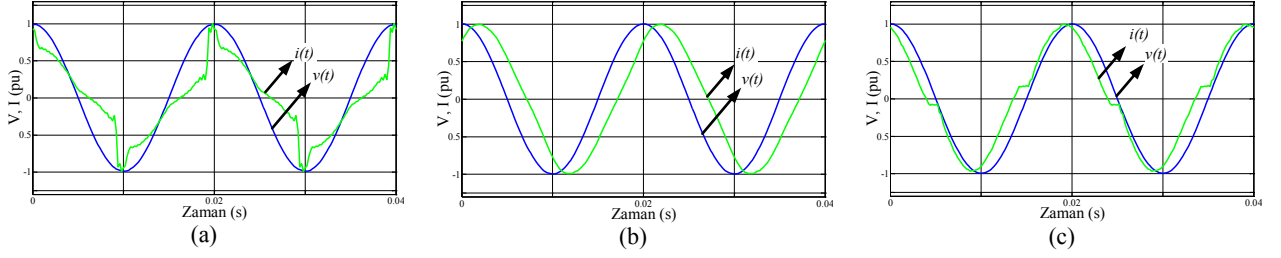
Şekil 2: Test sistemi (Ok yönleri bilgi akış yönünü göstermektedir).

Şekil 2'de verilen test sistemini oluşturan parçalar; çeşitli gerilim dalga şekillerinde yükü besleyebilen programlanabilir güç kaynağı, gerilim ve akım verisini yüksek örnekleme sayısında toplayabilen veri toplama kartı, programlanabilir güç kaynağını kontrol etmekle beraber toplanan veriyi işleyen bilgisayar ile modellenen yük gruplarıdır. Bu yük gruplarının tipi Tablo 1'de verilmiştir.

Grup 1 pasif R-L empedans, monitör, dimmer kontrollü resistans (R) ve kompakt floresan (KF) lambadan oluşmaktadır. Bu yük grubunda toplam gücün % 40'lık kısmı RL empedans tarafından, geri kalan % 60'lık kısım ise monitör, dimmer kontrollü resistans ve KF lamba tarafından çekilmektedir.

Tablo 1: Test edilen yük grupları ve bu yük gruplarında kullanılan yüklerin toplam güç içinde yüzde payları.

Yük Tipi	Pasif R-L Empedans	Monitör + Dimmer Kontrollü Resistans + KF Lamba	a.a./d.a/a.a Dönüştürücü	Asenkron Motor
Grup 1	% 40	% 60	-	-
Grup 2	-	-	% 100	-
Grup 3	-	-	-	% 100 Sabit Devir
Grup 4	-	-	-	% 100 Sabit Tork



Şekil 3: Yüklere uygulanan sinüzoidal besleme gerilimi ve bu besleme durumunda yüklerin çektiği akımlar: (a) Grup 1, (b) Grup 2 ve (c) Grup 3 ve Grup 4.

Grup 2’de yük sabit aktif güç besleyen a.a./d.a./a.a. dönüştürücüdür. Grup 3 ve Grup 4 ise asenkron motorun sırasıyla tam yüklenmede sabit devirle ve sabit torkta çalıştığı yüklerdir. Şekil 3 (a)’da verilen gerilim ve akım dalga şekillerinden, sinüzoidal gerilim şartlarında Grup 1’in çektiği akımın yüksek derecede harmonik bozulmaya sahip olduğu görülmektedir. Grup 1’in çektiği bu akımın bozulma miktarı (THD_i) % 32.2’dir. Şekil 3 (b)’de verilen gerilim ve akım dalga şekillerinden Grup 2’nin sinüzoidal gerilim şartlarında çektiği akımın bozulmaya sahip olduğu görülmektedir. Bu bozulmanın miktarı (THD_i) % 12.5’dir. Şekil 3 (c)’de verilen gerilim ve akım dalga şekillerinden Grup 3 ve Grup 4 (asekron motor)’un sinüzoidal gerilim şartlarında çektiği akımın manyetik doymadan dolayı bozulmaya sahip olduğu görülmektedir. Bu bozulmanın miktarı (THD_i) % 7.2’dir.

Analiz: Model performanslarını etkileyen en önemli faktör, modellerin oluşturuldukları gerilim seviyesinden farklı bir gerilim seviyesinde kullanılmalarıdır. Bu kısımda farklı gerilim seviyelerinde model performanslarını analiz etmek için;

- 220V seviyesinde oluşturulmuş modellerin, çeşitli gerilim seviyelerinde 100 farklı gerilim dalga şekli altında yaptıkları etkin değer hatası (EDH),

$$EDH = \left(\frac{I_{Ölçülen} - I_{Hesaplanan}}{I_{Ölçülen}} \right) * 100 \quad (13)$$

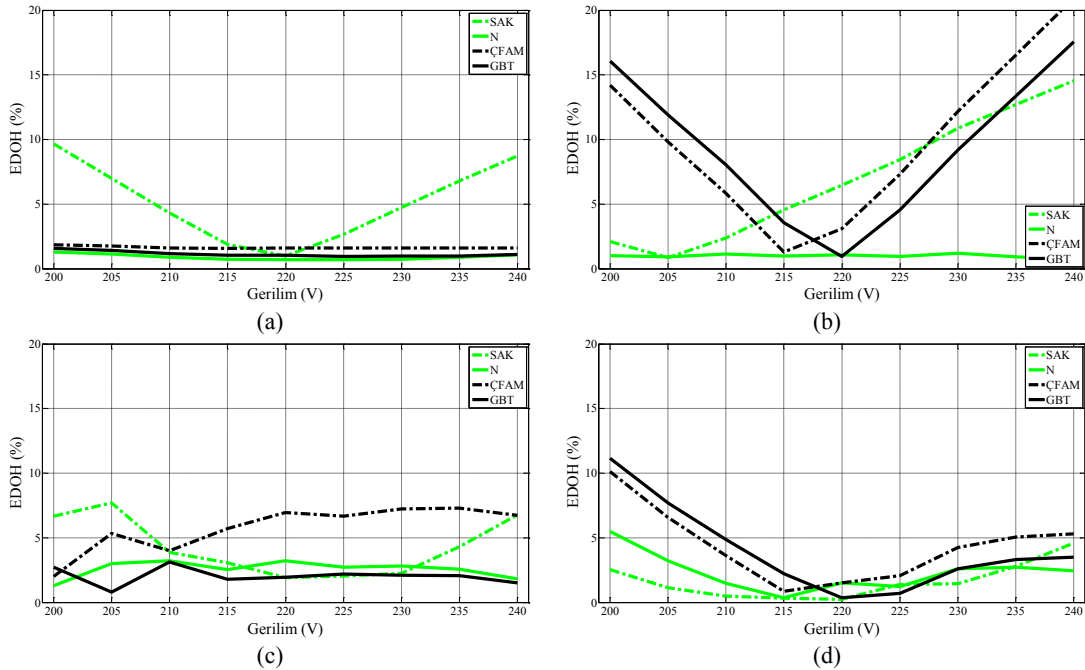
ve şekil faktörü hatası (ŞFH),

$$ŞFH = \left(\frac{\int_0^{2\pi} (i_{Ölçülen}(t) - i_{Hesaplanan}(t))^2 dt}{\int_0^{2\pi} (i_{Ölçülen}(t))^2 dt} \right) * 100 \quad (14)$$

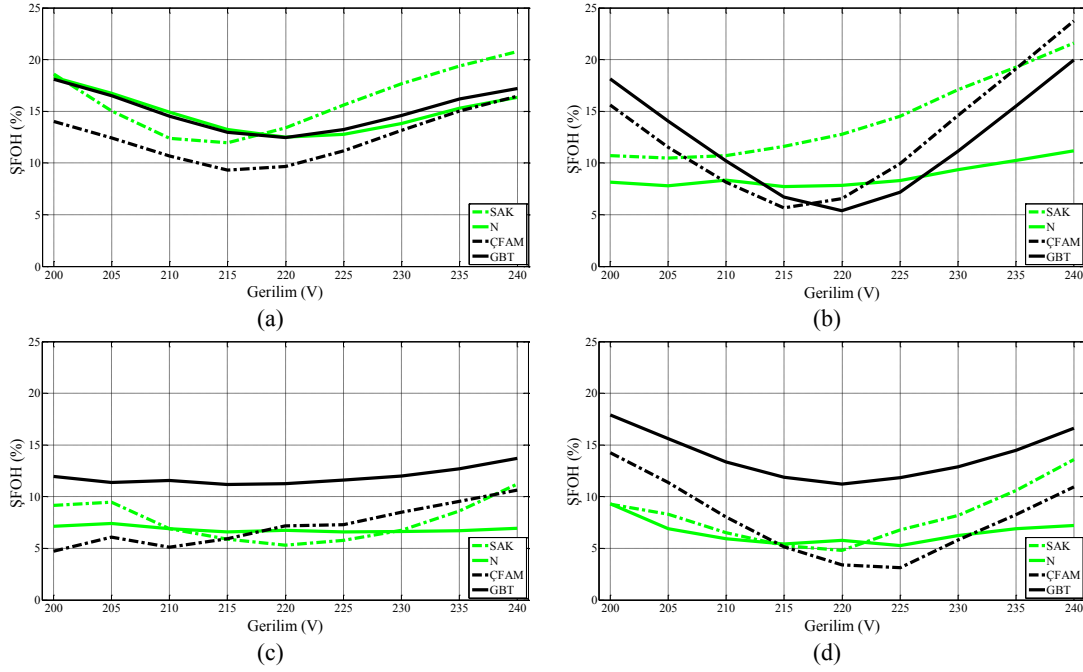
hesaplanmış,

- Her gerilim seviyesinde farklı dalga şekilleri için hesaplanan hata değerlerinin ortalamaları alınarak etkin değer ortalama hatası (EDOH) ve şekil faktörü ortalama hatası (ŞFOH) bulunmuştur.

Güç sistemlerinde meydana gelen gerilim seviyesi değişimlerinde çoğunlukla harmonik içeriğinde değişmesi sebebiyle analiz sırasında her bir gerilim seviyesinde çok sayıda dalga şekli için test yapıp ölçümlerin ortalaması alınmıştır. Test edilen yük grupları için modellerin EDOH ve ŞFOH eğrileri sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 4: Modellere ait EDOH’ların gerilim seviyesiyle değişimi: (a) Grup 1, (b) Grup 2, (c) Grup 3 ve (d) Grup 4 yükleri.



Şekil 5: Modellerin ortalama ŞFOH'larının gerilim seviyesiyle değişimi (a) Grup 1, (b) Grup 2, (c) Grup 3 ve (d) Grup 4 yükleri.

Tablo 2: Modellerin ortalama hata-gerilim seviyesi eğrilerine ait karakteristikleri gösteren tablo.

	Grup 1 Yüğü		Grup 2 Yüğü		Grup 3 Yüğü		Grup 4 Yüğü	
	EDOH	ŞFOH	EDOH	ŞFOH	EDOH	ŞFOH	EDOH	ŞFOH
SAK	Parabolik	Parabolik	Parabolik	Parabolik	Düzensiz	Düzensiz	Parabolik	Parabolik
N	Sabit kabul edilebilir	Parabolik	Sabit kabul edilebilir	Düzensiz	Düzensiz	Sabit kabul edilebilir	Parabolik	Düzensiz
ÇFAM	Sabit kabul edilebilir	Parabolik	Parabolik	Parabolik	Düzensiz	Düzensiz	Parabolik	Parabolik
GBT	Sabit kabul edilebilir	Parabolik	Parabolik	Parabolik	Düzensiz	Düzensiz	Parabolik	Parabolik

Şekil 4 ve Şekil 5'deki hata eğrileri aşağıda sıralanan hassasiyet derecelendirmesi dikkate alınarak Tablo 2'de karakterize edilmiştir:

- Beyaz bölge: Modelin azami hatasının % 5'den küçük olduğu dolayısıyla hassasiyetinin iyi derecede olduğu durumdur.
- Açık gri bölge: Modelin azami hatasının % 5 - % 15 arasında olduğu; orta derecede hassasiyet durumudur.
- Koyu gri bölge: Modelin azami hatasının % 15'den büyük olduğu dolayısıyla hassas olmadığı durumdur.

Tablo 2'de verilen; modellere ait hata dereceleri ve değişim karakteristikleri dikkate alınarak aşağıdaki hususlar tespit edilmiştir:

- Modeller akım dalga şeklinin belirlenmesinde etkin değer hesabına göre daha kötü performansa sahiptir. Bu sonuç akım harmoniklerinin faz açısı hesabında modellerin yetersizliğini göstermektedir,

- Model hataları gerilimle ihmal edilebilir (sabit kabul edilebilir), parabolik ve düzensiz değişimler göstermiştir,
- Parabolik değişimler genellikle modellerin oluşturuldukları gerilim seviyesi olan 220 V civarında minimuma ulaşmıştır,
- Grup 1 yükü için etkin değer ortalama hatasında N, ÇFAM ve GBT modelleri, şekil faktörü ortalama hatasında ise bütün modeller aynı derece ve değişim karakteristiğine sahiptir,
- Grup 2 yükü için etkin değer hesabı ve şekil bilgisinin önemli olduğu analizlerde N model en iyi performansa sahiptir,
- Grup 3 yükü için etkin değer hesabının önemli olduğu analizlerde N ve GBT modelleri, şekil bilgisinin önemli olduğu analizlerde ise N model en iyi performansa sahiptir,
- Grup 4 yükü için etkin değer hesabının önemli olduğu analizlerde SAK modeli en iyi performansa sahiptir,

- Yine grup 4 yükü için SAK, N ve ÇFAM modelleri aynı derecede şekil faktörü hatasına sahip olmakla birlikte N modelin hata karakteristiği düzensiz, SAK ve ÇFAM modellerinin hata karakteristiği ise parabolik değişim göstermiştir,
- Son olarak; özellikle SAK, ÇFAM ve GBT modellerinin hassasiyetleri karşılaştırıldığında GBT modelin harmonik analizlerinde kullanımının hassasiyet bakımından bir engel taşımadığı görülmektedir.

3. Sonuç

Bu çalışmada harmonik üreten yüklere ait SAK, N, ÇFAM ve GBT modellerinin hassasiyeti; çeşitli yük tipleri için farklı gerilim seviyelerinde test edilmiş ve model hataları karakterize edilmiştir. Bu hata karakteristiklerinden; test edilen yük tipleri için genel olarak N modelin en iyi performansına sahip model olduğu bununla birlikte GBT modelin harmonik analizlerinde kullanımının hassasiyet bakımından bir engel taşımadığı ana sonucuna varılmıştır.

Bu bildirinin ikinci bölümü olan çalışmada [17]; SAK, N, ÇFAM ve GBT modellerinin oluşturdukları gerilim dalga şekli farklı dalga şekillerine sahip besleme gerilimlerindeki hassasiyeti, grup 1, 2, 3 ve 4 yükleri için ölçümsel veriler yardımıyla istatistiksel olarak analiz edilecektir.

4. Kaynakça

- [1] IEEE Task Force on Harmonic Modeling and Simulation, "Modeling and Simulation of the Propagation of Harmonics in Electric Power Networks-Part I: Concepts, Models and Simulation Techniques", *IEEE Trans. on Power Del.*, Vol.11, No.1, pp. 452-465, Jan. 1996.
- [2] D. Xia, G.T. Heydt, "Harmonic Power Flow Studies. Part I and II", *IEEE Trans. on Power App. and Syst.*, Vol. PAS-101, pp. 1257-1270, June 1982.
- [3] M. Valcárcel, J.G. Mayordomo, "Harmonic power flow for unbalanced systems", *IEEE Trans. on Power Deliv.*, Vol. 8, No. 4, pp. 2052-2059, Oct. 1993.
- [4] W. Xu, J. R. Marti, H. W. Dommel, "A Multiphase Harmonic Load Flow Solution Technique", *IEEE Trans. on Power Syst.*, Vol. 6, No.1, pp. 174-182, Feb. 1991.
- [5] J. Arrillaga, N. R. Watson, G. N. Bathurst, "A Multifrequency Power Flow of General Applicability", *IEEE Trans. on Power Deliv.*, Vol. 19, No.1, pp. 342-349, Jan. 2004.

- [6] Task Force Harmonic Modeling and Simulation, "Real-Time Digital Time-Varying Harmonic Modeling and Simulation Techniques", *IEEE Trans. on Power Deliv.*, Vol.22, No.2, pp. 1218-1227, Apr. 2007.
- [7] H. W. Dommel, "Digital Computer Solution of Electromagnetic Transients in Single- and Multi-phase Networks", *IEEE Trans. on Power App. and Syst.*, Vol. PAS-88, No.4, pp. 388-399, Apr. 1969.
- [8] E. Thunberg, L. Söder, "A Norton Approach to Distribution Network Modelling", *IEEE Trans. on Power Deliv.* Vol. 14, No. 1, pp. 272-277, Jan., 1999.
- [9] M. Fauri, "Harmonic Modeling of Non-Linear Load by Means of Crossed Frequency Admittance Matrix", *IEEE Trans. on Power Syst.*, Vol. 12, No. 4, pp.1632-1638, Nov. 1997.
- [10] J. A. Fuentes, A. Gabaldon, F. J. Canovas, A. Molina, "Harmonic Model of Electronically Controlled Loads", *IEEE Power Eng. Soc. Summer Meet. 2000*, Vol.3, pp.1805-1810, July 2000.
- [11] L. Cristaldi, A. Ferrero, "Harmonic Power Flow Analysis for the Measurement of the Electric Power Quality", *IEEE Trans. on Instrum. and Meas.*, Vol. 44, No. 3, pp. 683-685, June 1995.
- [12] C. Chen, X. Liu, D. Koval, W. Xu, T. Tayjasant, "Critical Impedance Method - A New Detecting Harmonic Sources Method in Distribution Systems", *IEEE Trans. on Power Deliv.*, Vol. 19, No. 1 pp. 288-297, Jan. 2004.
- [13] A. Dellapos Aquila, M. Marinelli, V. G. Monopoli, P. Zanchetta, "New Power-Quality Assessment Criteria for Supply Systems under Unbalanced and Nonsinusoidal Conditions", *IEEE Trans. on Power Deliv.*, Vol. 19, No. 3, pp.1284-1290, July 2004.
- [14] S. F. de Paula Silva, J. C. de Oliveira, "The Sharing of Responsibility between the Supplier and the Consumer for Harmonic Voltage Distortion: A Case Study", *EPSR*, Vol.78, No.11, pp. 1959-1964, Nov. 2008.
- [15] M. E. Balcı, Ö. Karacasu, S. D. Öztürk, M. H. Hocaoglu, "Harmonik Üreten Yüklere için Yeni Bir Model", 3e Electrotech, Baskı:177, s.: 194-202, 2009.
- [16] M. E. Balcı, D. Ozturk, O. Karacasu, M. H. Hocaoglu, "Experimental Verification of Harmonic Load Models", 43rd UPEC, pp.1-4, Padova, Italy, Sept. 2008.
- [17] M. E. Balcı, O. Karacasu, M. H. Hocaoglu, "Çeşitli Yük Tipleri için Harmonik Üreten Yük Modellerinin Hassasiyet Analizi. Kısım II: Farklı Gerilim Dalga Şekillerinde Analiz", EVK 2011, Kocaeli, Mayıs 2011.

5. Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen 110E113 numaralı araştırma projesi çerçevesinde yapılan çalışmaların bir ürünüdür.