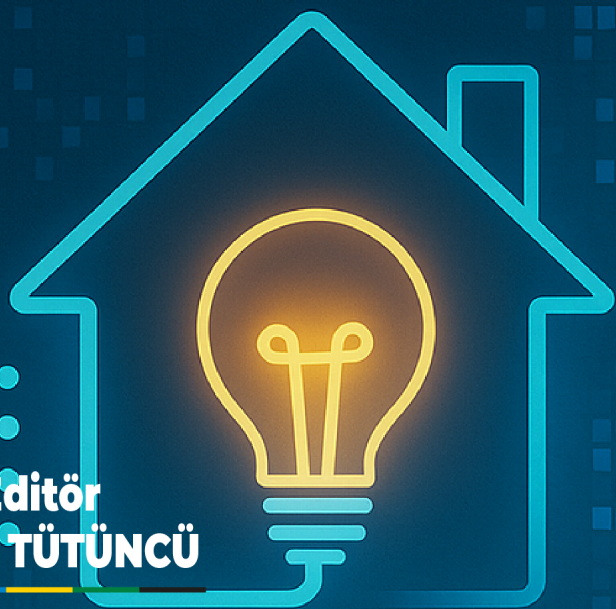


AKILLI SİSTEMLERDE ENERJİ YÖNETİMİ VE SİNYAL İŞLEME YAKLAŞIMLARI



Editor
BİLAL TÜTÜNCÜ



BİDGE Yayınları

**AKILLI SİSTEMLERDE ENERJİ YÖNETİMİ VE SİNYAL
İŞLEME YAKLAŞIMLARI**

Editör: BİLAL TÜTÜNCÜ

ISBN: 978-625-372-683-6

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 2025-06-25

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltpe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



ÖNSÖZ

Enerji sistemlerinin dijitalleştiği ve sürdürülebilirliğin ön plana çıktığı günümüzde, yenilikçi mühendislik yaklaşımları büyük önem kazanmaktadır. Bu kitapta, enerji sistemlerinin akıllı yönetimi, batarya izleme sistemleri ve sinyal işleme teknikleri gibi alanlara yönelik üç ayrı çalışma bir araya getirilmiştir. Gerek yenilenebilir enerji entegrasyonunun şebekelerdeki etkisi, gerekse elektromanyetik girişimlerin görüntü işleme temelli analizleri ve dalgacık dönüşümleriyle sinyal çözümlemeleri, geleceğin enerji altyapısına ışık tutmaktadır.

Bu derleme, hem akademik araştırmacılara hem de sektörde çalışan mühendis ve teknik uzmanlara teorik temel ile birlikte yöntemsel bir rehber sunmayı amaçlamaktadır. Kitapta yer alan bölümler, çağdaş mühendislik sorunlarına disiplinler arası çözümler getirerek, enerji verimliliği, sistem güvenliği ve veri analizi gibi alanlarda bütünsel bir bakış açısı geliştirmeyi hedeflemektedir.

Doç. Dr. Bilal TÜTÜNCÜ

İstanbul Teknik Üniversitesi

İÇİNDEKİLER

DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ KURAMI İLE SİNYALLERİN İNCELENMESİ	1
---	---

ŞAHİN YILDIZ

AKILLI ŞEBEKELERDE YENİLENEBİLİR ENERJİ ENTEGRASYONU	17
---	----

AYŞENUR SEKİN

GÜÇ ŞEBEKELERİNDE GÜÇ ELEKTRONİĞİ DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİNDEN KAYNAKLI GÜÇ KALİTESİ SORUNLARININ YAPAY ZEKA TEKNİKLERİYLE İYİLEŞTİRİLMESİ	23
--	----

SEÇİL GENÇ, BARIŞ ÇAVUŞ, KÜBRA NUR AKPINAR

BÖLÜM 1

DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ KURAMI İLE SİNYALLERİN İNCELENMESİ

ŞAHİN YILDIZ¹

Giriş

Zaman – Frekans analizinde Fourier Dönüşümü ve Short Time Fourier Analizleri uygulanarak elde edilemeyen bazı bilgilerin (frekans bileşenlerinin ne zaman oluştuğunu tam olarak belirleyememe gibi) elde edilebilmesi için Wavelet Transform tekniği tercih edilmektedir.

Wavelet anlamsal olarak; Oxford sözlüğünde küçük bir dalga(dalgacık) olarak geçmektedir. Wikipedia'da ise belirli bir işlevi veya zaman sinyali farklı ölçek bileşenlerine bölmek için kullanılan matematiksel bir işlev olarak tanımlanmaktadır. Matematiksel olarak ise Wavelets (Dalgacıklar), orijinal sinyali farklı frekans bileşenlerine bölen ve her bileşeni inceleyen işlev demektir.

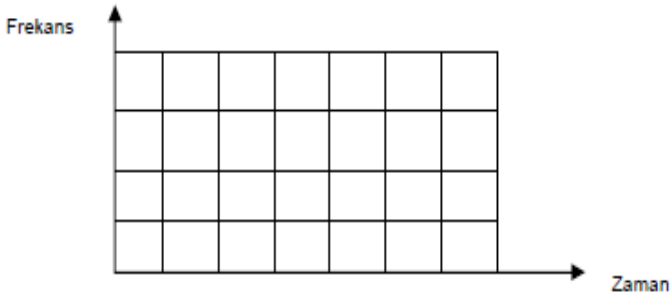
Sinyaller çoğu durum için frekans tanım alanında analiz edilirler. Fourier dönüşümü bir sinyalin ihtiva ettiği frekansları gösterir fakat hangi zaman değerlerinde hangi frekansların mevcut

¹ PhD, Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Bölümü, Diyarbakır-Türkiye, Orcid: 0009-0000-2139-5361, sahin yıldiz@dicle.edu.tr

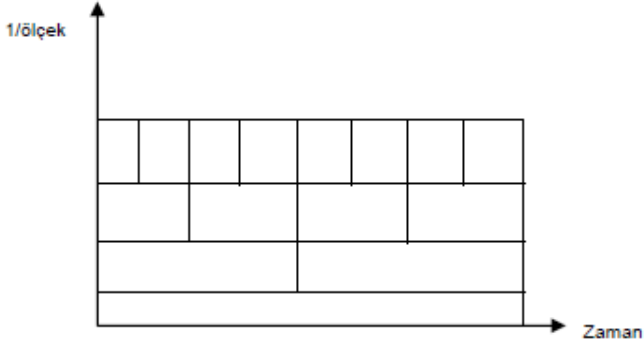
olduğunu bildirmez. Yani Fourier dönüşümü bütün zaman birimine ait bilgileri verir. Fourier dönüşümü, frekansı, zamana göre değişmeyen sinyallerin analizinde oldukça iyi bir yaklaşımdır. Fakat geçici durum analizlerinde istenilen neticeleri vermemektedir. Bu nedenle kısa zaman Fourier dönüşümü kullanılmaktadır. Yani Fourier dönüşümü belirli bir zaman penceresi içerisinde uygulanmaktadır. Bu ise frekans değerleri için bir sorun teşkil etmektedir. Bu metotla da belirli bir frekansın hangi zaman noktasında mevcut olduğu tespit edilemez. Sadece mevcut olduğu zaman aralığındaki frekans bileşenleri hesaplanır [1-2].

Dalgacık analizi düşük frekans bilgisin daha fazla önemli olduğu durumlar için büyük zaman aralıklarının, yüksek frekans bilgisinin daha fazla önemli olduğu durumlar içinde daha küçük zaman aralıklarının kullanımına izin veren değişik boyutlarda bölgelere sahip bir pencereleme tekniğidir [1-3-4-5]. Şekil 1’de kısa zaman Fourier dönüşümü için kullanılan zaman-frekans grafiği, şekil 2’de dalgacık analizinde kullanılan zaman ölçek grafiğine bağlı oluşan bölgeler görülmektedir [6].

Şekil 1. Kısa Zaman Fourier Dönüşümü için zaman-frekans değişimi



Şekil 2. Dalgacık dönüşümü için zaman-ölçek değişimi

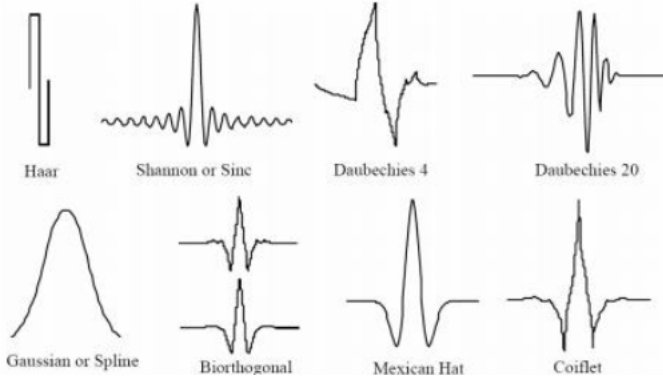


Wavelet dönüşümünün uygulanması için farklı küçük ana dalgacık fonksiyonları (mother wavelet functions) bulunur. Ana dalgacık aslında zaman içinde ilerleyen bir pencere fonksiyonudur.

Ana dalgacık dönüşüm işlemi süresince hem ölçeklenir hem de ötelenir. Ölçekleme dalganın genişletilip daraltılmasına, öteleme ise zaman ekseninde dalganın kaydırılmasına karşılık gelir.

Haar, Shannon, Daubechies, Gaussian, Biorthogonal, Mexican Hat, Coiflet vb. dalgacıkları farklı dalgacık türlerinden bazıları olarak verilebilir (Şekil 3). Her biri farklı dalgacık ailelerinden gelir ve farklı özellikler içerir. Bu dalgacık fonksiyonları uygulanırken, problemin gereksinimlerine bağlı olarak hangisini kullanacağımıza karar veririz.

Şekil 3. Bazı sık kullanılan Dalgacık Ana Fonksiyonları



Wavelet; Sürekli Dalgacık Analizi (Continuous Wavelet Analysis-CWT) ve Ayrık Dalgacık Analizi (Discrete Wavelet Analysis-DWT) olmak üzere 2'ye ayrılır. Sürekli Dalgacık Analizi ile zaman-frekans analizleri ve zamanda yerleştirilmiş frekans bileşenlerinin filtrelemesi yapılırken; Ayrık Dalgacık Analizi ile de Denoising (gürültü arındırma) ve sinyal ve resim sıkıştırma işlemleri yapılabilmektedir [7].

Dalgacık dönüşümü, kısa zamanlı Fourier dönüşümü fikrini devralır ve geliştirir ve bilgi penceresinin ölçeğinin frekansla değişmemesi kusurunu çözer, böylece bilginin belirli yönlerinin özellikleri tam olarak vurgulanabilir. Dalgacık dönüşümü, çoklu çözünürlük, düşük entropi ve ayrıştırma özellikleri nedeniyle sinyal analizi ve görüntü işlemede yaygın olarak kullanılır. Kimlyk ve diğerleri, kenar bilgisini hesaplayarak geleneksel eşikleme yöntemini iyileştirdiler ve daha iyi bir gürültü azaltma etkisi elde ettiler [8]. Görüntü kenarlarını korurken kenar olmayan bölgelerdeki dalgacık katsayılarını sıfırlama eşliğini iyileştirdiler. Ali ve diğerleri, farklı ayrık dalgacık dönüşümü aileleri, eşikleme türleri ve teknikleri ile sinyal ayrıştırma seviyeleri sayısı kullanarak fonokardiyogram (PCG) sinyallerini gürültüden arındırdılar ve seçilen dalgacık fonksiyonunun ve dalgacık ayrıştırma seviyeleri sayısının gürültü giderme algoritmasının verimliliği üzerindeki etkisini tartıştılar [9].

Saravani ve diğerkleri, SAR görüntülerindeki saçılma gürültüsünü azaltmak ve düzgün dalgacık dönüşümü (SWT), iki taraflı filtreleme, Bayes tahmini ve anizotropik difüzyon (AD) filtrelemesini bir araya getirerek görüntünün kenarlarını ve yapısını korumak için yeni bir yinelemeli algoritma önerdi [10]. Ek olarak, sinir ağıları görüntü gürültüsünü gidermek için kullanılmaya başlandı. Liu ve diğerkleri, topografik görüntülerin sınıflandırma doğruluğunu iyileştirmek için dalgacık dönüşümü ve derin ağılar görüntü sınıflandırmasına dayalı bir yöntem kullandı [11-12]. Singh, bozulma modeli hakkında önceden bilgi sahibi olmadan görüntülerin iyi bir şekilde gürültüsünü gidermek için MLP-ANN' de eğitim için bir geri yayılım algoritması kullandı [13]. Bu, araştırmacıların dikkatini çeken, gürültü giderme alanında sinir ağlarının ümit verici uygulamasını göstermektedir.

Dalgacık dönüşümü, Fourier dönüşümünün sonsuz trigonometrik bazını sonlu azalan dalgacık bazıyla değiştirir. Dalgacık bazının sonlu bir enerjisi vardır, genellikle tek bir nokta etrafında yoğunlaşır ve integral değeri sıfırdır. Fourier dönüşümünde, değişken yalnızca ω dur, dalgacık dönüşümü ise ölçek a ve öteleme b olmak üzere iki değişken içerir. Ölçek a frekansa, öteleme b ise zamana karşılık gelir, bu nedenle dalgacık dönüşümü sinyalin zaman-frekans spektrumunu elde etmek için zaman-frekans analizinde kullanılabilir. Dalgacık dizisi, ana dalgacık fonksiyonunun ölçeklenmesi ve ötelenmesi kullanılarak türetilir ve dalgacık dizisinin genel biçimi aşağıda verilmiştir [14].

Dalgacık dönüşümünü gerçekleştirme sürecinde, ölçek faktörü a ve zaman kayması b teorik olarak sürekli olarak değişir, ancak bu bir bilgisayarın sonlu bir zaman diliminde tamamlayamayacağı bir hesaplamadır. Dalgacık dönüşümünde, ölçek faktörü a ve zaman kayması b , ayrık dalgacık dönüşümü (DWT) olarak da bilinen belirli kurallara göre ayrık olarak alınır.

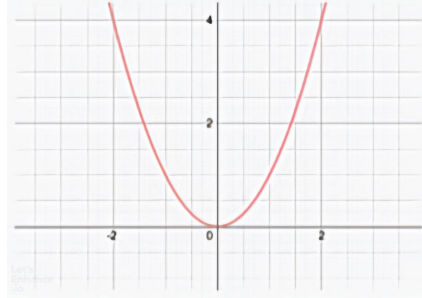
Ölçek faktörü a ve zaman kayması b , 2'nin bir kuvvetine göre seçilirse, sinyalin analizi daha doğru ve verimli hale gelecektir [15-16]. Yer değiştirme ve ölçeklendirme işlemleri 2. Bölümde detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

2. Shift ve Scale İşlemleri

2.1. Shift İşlemleri

Kaba tabirle shift (yer değiştirme), scale (ölçeklendirme) demektir. Örneğin; $z(x) = x^2$ diye ikinci dereceden bir fonksiyonumuz olsun. Bazı basit işlemlerle fonksiyonu x ve y eksenleri boyunca kaydırabilir ve ölçekleyebiliriz (küçültüp, genişletebiliriz).

Şekil 4. $z(x) = x^2$ denklemini için koordinat düzleminde gösterim

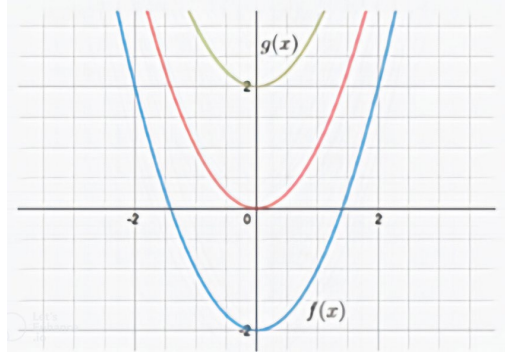


$z(x) = x^2$ denklemine bazı ekleme, çıkarma ve çarpma sabitleri ekleyerek; shift ve scale işlemlerini göstereyim. $z(x) = a(b.x + c)^2 + d$ olsun. Başlangıç için a ve b 1, c ve d 0 olduğunda yine $z(x) = x^2$ denklemini verir.

2.1.1. Y eksenini boyuncaya Shift işlemleri (Vertical Shift)

Bu yukarıda bahsettiğimiz $z(x) = a(b.x + c)^2 + d$ fonksiyonunda d sabitine denk gelmektedir. d sabitimizi $+2$ ve -2 olarak örneklendirelim. Burada $f(x) = x^2 - 2$ ve $g(x) = x^2 + 2$ olarak yeni iki fonksiyon elde ederiz.

Şekil 5. $f(x) = x^2 - 2$ ve $g(x) = x^2 + 2$ denklemleri için Y koordinatında yapılan shift işlemleri

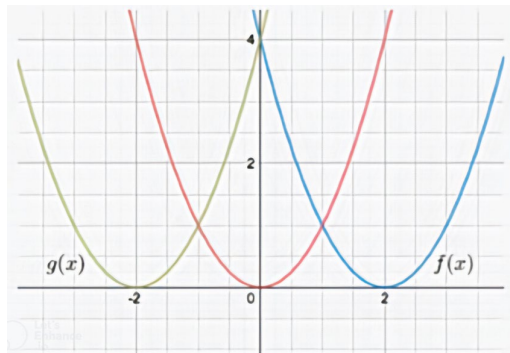


Böylece $x^2 + 2$ 'nin (pozitif artış) yukarıya doğru, $x^2 - 2$ 'nin (negatif artış) aşağıya doğru shift etmeye yaradığını görüyoruz.

2.1.2. X eksenı boyunca Shift işlemleri (Horizontal Shift)

Bu yukarıda bahsettiğimiz $z(x) = a(b \cdot x + c)^2 + d$ fonksiyonunda c sabitine denk gelmektedir. Bu durumda pozitif bir değer; fonksiyonu sola doğru kaydırır. Negatif bir değer; fonksiyonu sağa doğru kaydırır. Yine c sabitimizi $+2$ ve -2 olarak örneklendirelim. Burada $f(x) = (x - 2)^2$ ve $g(x) = (x + 2)^2$ olarak yeni iki fonksiyon elde ederiz.

Şekil 6. $f(x) = (x - 2)^2$ ve $g(x) = (x + 2)^2$ denklemleri için X koordinatında yapılan shift işlemleri



Böylece $(x + 2)^2$ ’nin (pozitif artış) sola doğru, $(x - 2)^2$ (negatif artış) sağa doğru shift etmeye yaradığını görüyoruz.

Bu ilk başta mantıksız görünebilir. Pozitif artışın sağa doğru shift etmesi gerektiği düşünülebilir. Ama şöyle düşünmek gerekir: $x = 0$ anında değerimize 2 eklediğimizde aslında fonksiyonumu $x = 2$ noktasına denk getiririz. Yani fonksiyonun ilk hali son durumda $x = 2$ noktasında olması gerekirken sola doğru shift edilerek $x = 0$ noktasına getirilmiş oluyor.

2.2. Scale İşlemleri

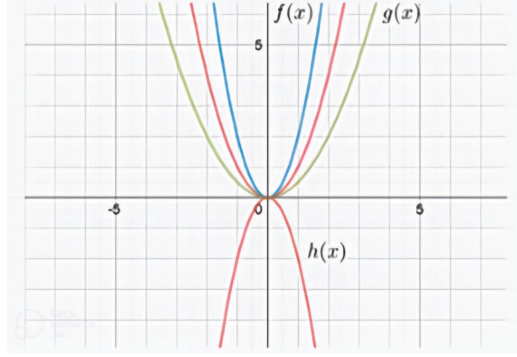
Scale işlevi; küçültmek veya büyütme anlamına gelir. Eğer fonksiyonu Y eksenini boyunca 10 çarpanıyla ölçeklersek, o zaman fonksiyon değerinin 10 olduğu yerde, artık 100 olur. X eksenini boyunca 10 çarpanı ile ölçeklendirme, denklemin fonksiyon değerinin $z(10)$ olduğu yerde artık $z(100)$ olduğu anlamına gelir.

2.2.1. Y eksenini boyunca Scale işlemleri (Vertical Scale)

Bu yukarıda bahsettiğimiz $z(x) = a(b \cdot x + c)^2 + d$ fonksiyonunda a sabitine denk gelmektedir. Basitçe işlev değerini bir sayı ile çarpıyoruz. Birden (>1) büyük bir sayı işlevi büyütür, uzatır ve 0 ile 1 arasındaki bir sayı y eksenini doğrultusunda küçültür, kısaltır. Negatif bir değerin x eksenindeki bir yansıması olacaktır. Yine scale sabitimiz olan a ’yı; 2, $1/2$ ve negatif bir değer olan -2 olarak örneklendirelim.

Burada $f(x) = 2(x)^2$, $g(x) = 1/2(x)^2$ ve $h(x) = -2(x)^2$ olacak şekilde yeni 3 fonksiyon elde ederiz.

Şekil 7. $f(x) = 2(x)^2$, $g(x) = 1/2(x)^2$ ve $h(x) = -2(x)^2$ denklemleri için Y koordinatında yapılan scale işlemleri



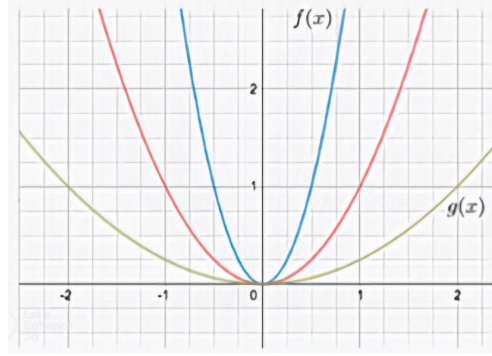
Böylece $2(x)^2$ 'nin Y eksenini boyunca daha gergin (daha dikey), $1/2(x)^2$ 'nin Y eksenini boyunca daha küçük (daha basık) ve $-2(x)^2$ 'nin negatif Y eksenini boyunca daha gergin (daha dikey) ölçeklenmiş olduğunu görüyoruz.

2.2.2. X eksenini boyunca Scale işlemleri (Vertical Scale)

Bu yukarıda bahsettiğimiz $z(x) = a(b \cdot x + c)^2 + d$ fonksiyonunda b sabitine denk gelmektedir. Birden (>1) büyük bir sayı işlevi küçültür, kısaltır ve 0 ile 1 arasındaki bir sayı X eksenini doğrultusunda büyütür, uzatır, genişletir.

Yine scale sabitimiz olan b 'yi; 2 ve $1/2$ olarak örneklendirelim. Burada $f(x) = (2x)^2$, $g(x) = (1/2x)^2$ olacak şekilde yeni 2 fonksiyon elde ederiz.

Şekil 8. $f(x) = (2x)^2$ ve $g(x) = (1/2x)^2$ denklemleri için X koordinatında yapılan scale işlemleri



3. Mexican-Hat Dalgacığının Matematiksel İfadesi ve Ses Sinyalinin İşlenmesi

Dalgacık fonksiyonları ana dalgacıktan çeşitli parametrelerin değiştirilmesi (kaydırma ve ölçeklendirme) ile türetilmektedir. Örneğin denklem 1’de Mexican-Hat dalgacığının matematiksel ifadesi tanımlanmaktadır.

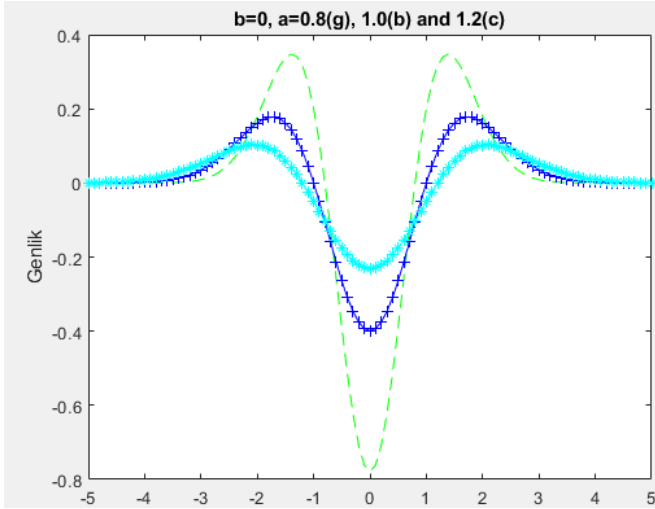
Burada, a ölçek parametresi ve b kaydırma parametresi olarak tanımlanır.

$$\psi(t, b, a) = \frac{[(((t-b)/a)^2 - 1)e^{-0.5((t-b)/a)^2}}{\sqrt{2\pi}a^3} \quad 1.$$

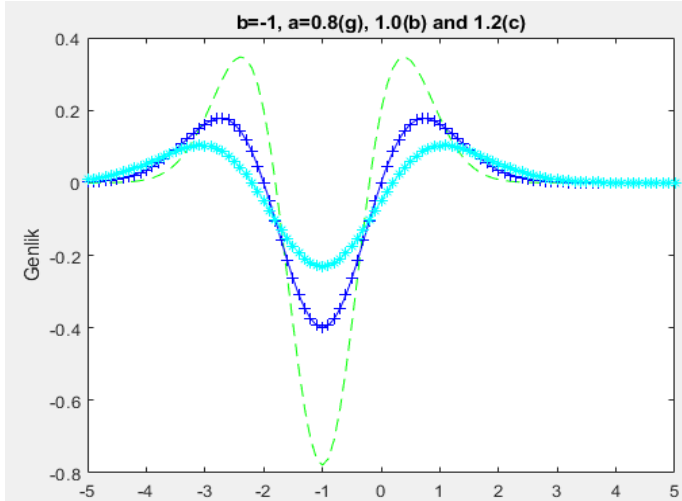
Şeklinde ifade edilir. Bu ifadede, a ve b ’de meydana gelecek değişimlerin fonksiyonda meydan getireceği değişiklikler şekil 9, şekil 10 ve şekil 11’de görülmektedir.

Aşağıdaki uygulamada Mexican Hat dalgacık fonksiyonu $b = -1, 0, 1$ kaydırma parametreleri ve $a = 0.8, 1.0, 1.2$ ölçek parametreleri için hesaplanmış ve grafik olarak gösterilmiştir.

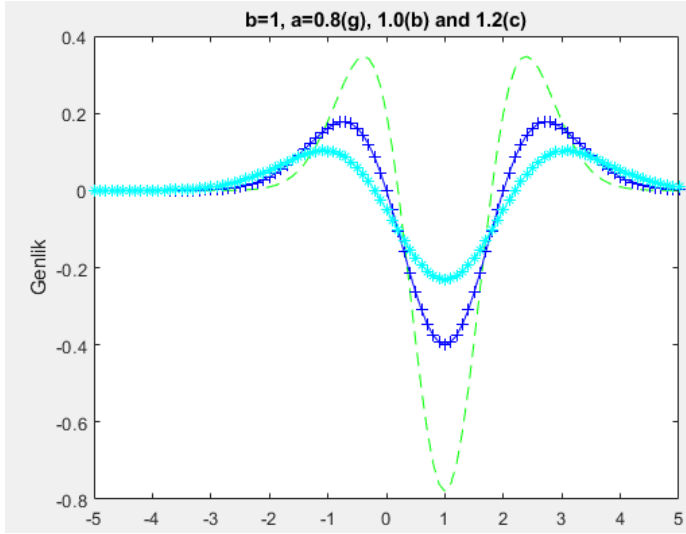
Şekil 9. Şekilde maksimum değerler $t = 0$ 'dır.



Şekil 10. Şekilde maksimum değerler $t = -1$ 'dedir.

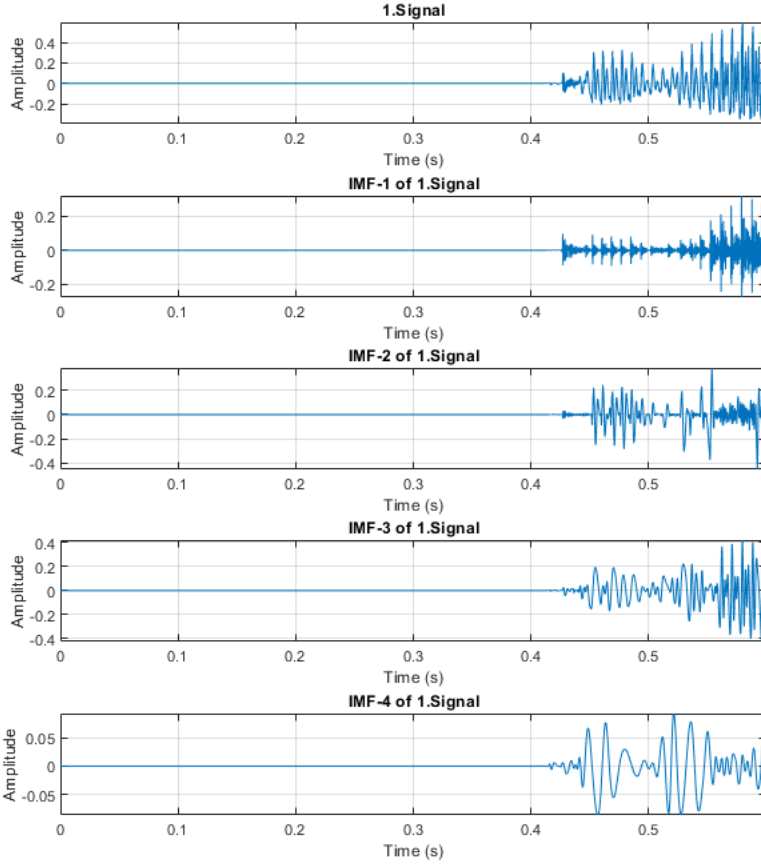


Şekil 11. Şekilde maksimum değerler $t = 1$ 'dedir.



Aşağıdaki şekillerde ses sinyaline uygulanan dalgacık yöntemlerinden biri olan görgülü kip ayrıştırma sonuçları verilmiştir. Bu çalışmada ses sinyalinden kaydedilen ses verileri üzerinden görgülü kip karşılaştırmaları yapılarak ses sinyallerine ilişkin uygulanan metodun sonuçları incelenmiştir. Bu yöntemle ses sinyali gürültülerden arındırılmıştır.

Şekil 12. Filtrelenmiş ses sinyali



4. Sonuç

Zaman alanında temsil edilen sinyaller, sinyal analizi uygulanarak frekans alanındaki özellikleri açısından değerlendirilebilir. Frekans içeriği için bir zaman sinyalini analiz etmenin en yaygın bilinen yöntemi Fourier dönüşümüdür. Dalgacık dönüşümü, bazı çekici özelliklere sahip nispeten yeni bir tekniktir. Fourier dönüşümü yalnızca bir sinyalin genel frekans içeriğini alır, tüm zaman bilgileri kaybolur. Bu sorunun üstesinden gelmek için kısa süreli Fourier dönüşümü geliştirilir, ancak bu yöntem hem

zaman hem de frekansta sabit bir çözünürlük nedeniyle bir sınırlamadan muzdariptir. Bir sinyalin yerel frekans içeriğinin çoklu çözünürlük analizi, dalgacık analizi ile mümkün kılınmıştır. Sürekli ve ayırık dalgacık dönüşümü olmak üzere iki farklı dalgacık dönüşümü ayırt edilebilir. Sürekli dalgacık dönüşümü, sinyalin evrişimi ve dalgacık fonksiyonu ile hesaplanır. Dalgacık işlevi, hem analizi hem de pencere işlevini içeren küçük bir salınımlı dalgadır. Ayırık dalgacık dönüşümü, bir sinyalin analizi ve sentezi için filtre kümelerini kullanır. Filtre kümeleri dalgacık filtreleri içerir ve çeşitli alt bantlarda sinyalin frekans içeriğini çıkarır. Dalgacık analizi geniş bir uygulama alanına sahiptir. Dalgacık analizi sayısal analiz için, yani sıradan ve kısmi diferansiyel denklemleri çözmek için uygulanabilir. Ayrıca dalgacık dönüşümü sinyal analizinde kullanılır, örn. sıkıştırma, gürültüden arındırma ve özellik çıkarma için. Kontrol uygulamaları için dalgacıklar hareket izleme, robot konumlandırma, tanımlama ve hem doğrusal hem de doğrusal olmayan kontrol amaçlarında kullanılır. Son olarak, dalgacıklar, ses sinyalleri ve biyomedikal sinyalleri (EEG vs.) analizi için güçlü bir araçtır.

Kaynakça

[1] Papoulis, A., & Maradudin, A. A. (1963). The Fourier integral and its applications.

[2] Goswami, J. C., & Chan, A. K. (2011). Fundamentals of wavelets: theory, algorithms, and applications. John Wiley & Sons.

[3] Parameswariah, C. B. (2003). Understanding wavelet analysis and filters for engineering applications. Louisiana Tech University.

[4] Sidney, B. C. (1998). Introduction to wavelets and wavelet transforms: a primer.

[5] Vetterli, M., & Herley, C. (1992). Wavelets and filter banks: Theory and design. *IEEE transactions on signal processing*, 40(9), 2207-2232.

[6] Misiti, M., Misiti, Y., Oppenheim, G., & Poggi, J. M. (1996). Wavelet toolbox. *The Mat Works Inc., Natick, MA*, 15, 21.

[7] Öner, İ. V., Yeşilyurt, M. K., & Yılmaz, E. Ç. (2017). Wavelet Analiz Tekniği Ve Uygulama Alanları. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(1), 42-56.

[8] Kimlyk, M., & Umnyashkin, S. (2018, January). Image denoising using discrete wavelet transform and edge information. In *2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)* (pp. 1823-1825). IEEE.

[9] Ali, M. N., El-Dahshan, E. S. A., & Yahia, A. H. (2017). Denoising of heart sound signals using discrete wavelet transform. *Circuits, Systems, and Signal Processing*, 36, 4482-4497.

[10] Saravani, S., Shad, R., & Ghaemi, M. (2018). Iterative adaptive Despeckling SAR image using anisotropic diffusion filter

and Bayesian estimation denoising in wavelet domain. *Multimedia Tools and Applications*, 77(23), 31469-31486.

[11] Liu, F.; Han, X. (2021). Image Classification of Landing Landform Based on Wavelet Transform and Deep Network. *Acta Electronica Sin*, 49, 2171.

[12] Chen, C., Seo, H., & Zhao, Y. (2022). A novel pavement transverse cracks detection model using WT-CNN and STFT-CNN for smartphone data analysis. *International Journal of Pavement Engineering*, 23(12), 4372-4384.

[13] Singh, A., Kushwaha, S., Alarfaj, M., & Singh, M. (2022). Comprehensive overview of backpropagation algorithm for digital image denoising. *Electronics*, 11(10), 1590.

[14] Rhif, M., Ben Abbes, A., Farah, I. R., Martínez, B., & Sang, Y. (2019). Wavelet transform application for/in non-stationary time-series analysis: A review. *Applied sciences*, 9(7), 1345.

[15] Kamal, N. A. M., Bakar, A. A., & Zainudin, S. (2022). Optimization of Discrete Wavelet transform feature representation and hierarchical classification of G-Protein coupled receptor using Firefly Algorithm and particle swarm optimization. *Applied Sciences*, 12(23), 12011.

[16] Song, P.; Tan, Y.M.; Li, X.H.; Guo, H.; Zhang, L.J. (2021). Research on Power-line Interference Removal Method of Ultraviolet Communication Signal Based on Wavelet Transform. *Acta Photonica Sin*, 50, 31.

BÖLÜM 2

AKILLI ŞEBEKELERDE YENİLENEBİLİR ENERJİ ENTEGRASYONU

AYŞENUR SEKİN¹

Giriş

Günümüzde iklim değişikliği ve enerji güvenliği endişeleri, yenilenebilir enerji kaynaklarının (RES) enerji sistemlerindeki payının artırılmasını zorunlu kılmaktadır. Rüzgar, güneş, hidroelektrik gibi kaynakların değişken ve öngörülemez yapısı, mevcut enerji şebekelerinin işleyişinde önemli zorluklar yaratmaktadır. Akıllı şebekeler (smart grids), gelişmiş iletişim, kontrol ve otomasyon teknolojileri sayesinde bu zorlukların üstesinden gelmede ve RES'in etkin bir şekilde entegre edilmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu makalede, akıllı şebekelerde yenilenebilir enerji entegrasyonunun potansiyel faydaları, karşılaşılan temel zorluklar ve bu zorlukların aşılmasına yönelik çözüm önerileri detaylı bir şekilde incelenecektir.

Akıllı Şebekelerin Temel Özellikleri ve Yenilenebilir Enerji Entegrasyonundaki Rolü

¹ Yıldız Technical University, Electrical-Electronics Engineering Department
ISTANBUL, TURKEY 34000 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2932-6384>

Akıllı şebekeler, geleneksel elektrik şebekelerine kıyasla çift yönlü iletişim, sensörler, akıllı sayaçlar ve gelişmiş kontrol sistemleri gibi bir dizi yenilikçi özellik sunar. Bu özellikler sayesinde:

Gelişmiş İzleme ve Kontrol: Şebekenin her noktasındaki enerji akışı gerçek zamanlı olarak izlenebilir ve kontrol edilebilir. Bu, RES üretimindeki dalgalanmalara hızlı bir şekilde yanıt verilmesini sağlar.

Talep Yanıtı (Demand Response): Tüketicilerin enerji tüketim alışkanlıkları fiyat sinyalleri veya teşviklerle değiştirilerek, şebeke üzerindeki yük dengelenebilir ve RES üretiminin yoğun olduğu zamanlarda tüketim artırılabilir.

Enerji Depolama Entegrasyonu: Akıllı şebekeler, batarya sistemleri gibi enerji depolama teknolojilerinin etkin bir şekilde entegre edilmesini kolaylaştırır. Bu sayede, RES üretimindeki fazlalıklar depolanarak ihtiyaç duyulduğu zamanlarda şebekeye geri verilebilir.

Dağıtık Üretimin Yönetimi: Binalara kurulan güneş panelleri gibi dağıtık üretim kaynaklarının şebekeye entegrasyonu ve yönetimi akıllı şebekeler sayesinde daha verimli bir şekilde gerçekleştirilebilir.

Kendi Kendini İyileştirme (Self-Healing): Şebekede meydana gelen arızalar otomatik olarak tespit edilebilir, izole edilebilir ve onarım süreçleri hızlandırılabilir. Bu, RES kaynaklarının şebekeden kopma riskini azaltır.

Yenilenebilir Enerji Entegrasyonunun Fırsatları

Akıllı şebekeler aracılığıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu, çeşitli önemli fırsatlar sunmaktadır:

Karbon Emisyonlarının Azaltılması: Fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılmasıyla sera gazı emisyonları önemli ölçüde düşürülebilir ve iklim değişikliğiyle mücadelede katkı sağlanabilir.

Enerji Güvenliğinin Artırılması: Yerli ve tükenmez enerji kaynaklarının kullanımıyla enerji ithalatına olan bağımlılık azaltılabilir ve enerji arz güvenliği artırılabilir.

Enerji Maliyetlerinde Azalma: Uzun vadede, yenilenebilir enerji kaynaklarının işletme maliyetlerinin düşük olması ve yakıt maliyetinin olmaması nedeniyle enerji maliyetlerinde düşüş sağlanabilir.

Yeni İş ve İstihdam Olanakları: Yenilenebilir enerji ve akıllı şebeke teknolojileri sektörlerinde yeni iş alanları ve istihdam olanakları ortaya çıkar.

Şebeke Verimliliğinin Artırılması: Akıllı şebeke teknolojileri sayesinde enerji kayıpları azaltılabilir ve mevcut şebeke altyapısı daha verimli bir şekilde kullanılabilir.

Yenilenebilir Enerji Entegrasyonunun Zorlukları

Akıllı şebekelerde yenilenebilir enerji entegrasyonu beraberinde bazı önemli zorlukları da getirmektedir:

Üretimdeki Değişkenlik ve Öngörülemezlik: Rüzgar ve güneş enerjisi gibi kaynakların üretimi hava koşullarına bağlı olarak sürekli değişkenlik gösterir ve tam olarak öngörülemez. Bu durum, şebeke dengesinin sağlanmasını zorlaştırır.

Şebeke İstikrarı ve Güvenilirliği: Yüksek oranda RES entegrasyonu, şebeke frekansı ve voltaj kontrolü gibi konularda zorluklar yaratabilir ve şebeke istikrarını tehdit edebilir.

Altyapı Yatırımları: Akıllı şebeke teknolojilerinin yaygınlaştırılması ve şebekenin RES entegrasyonuna uygun hale getirilmesi için önemli altyapı yatırımları gereklidir.

Mevzuat ve Düzenlemeler: Yenilenebilir enerji ve akıllı şebeke teknolojilerinin yaygınlaşmasını destekleyecek uygun mevzuat ve düzenleyici çerçevelerin oluşturulması önemlidir.

Teknolojik Gelişim ve Standardizasyon: Farklı RES teknolojileri ve akıllı şebeke sistemlerinin birlikte çalışabilirliğini sağlamak için teknolojik gelişmelerin desteklenmesi ve standartizasyon çalışmalarının yapılması gereklidir.

Siber Güvenlik Riskleri: Akıllı şebekelerin dijitalleşmesi, siber saldırılara karşı savunmasızlığı artırabilir. Bu nedenle, güçlü siber güvenlik önlemlerinin alınması kritik öneme sahiptir.

Çözüm Önerileri ve Gelecek Perspektifleri

Yenilenebilir enerji entegrasyonunun zorluklarının üstesinden gelmek ve fırsatlarından en iyi şekilde yararlanmak için çeşitli çözüm önerileri hayata geçirilmelidir:

Gelişmiş Tahmin Sistemleri: Hava durumu tahmin teknolojilerindeki gelişmelerle RES üretiminin daha doğru ve güvenilir bir şekilde tahmin edilmesi sağlanmalıdır.

Enerji Depolama Teknolojilerinin Yaygınlaştırılması: Batarya sistemleri, pompaj depolamalı hidroelektrik santralleri ve diğer enerji depolama teknolojilerinin kullanımı teşvik edilmelidir.

Talep Yanıtı Programlarının Geliştirilmesi: Tüketicilerin aktif katılımını sağlayacak ve şebeke yükünü dengeleyecek talep yanıtı mekanizmaları oluşturulmalıdır.

Akıllı Şebeke Altyapısının Güçlendirilmesi: Gelişmiş sensörler, iletişim sistemleri ve kontrol merkezleri gibi akıllı şebeke altyapısına yönelik yatırımlar artırılmalıdır.

Esnek Şebeke Tasarımları: Şebekelerin, değişken RES üretimine uyum sağlayabilecek esneklikte tasarlanması ve işletilmesi sağlanmalıdır.

Bölgesel ve Ulusal Enerji Piyasalarının Entegrasyonu: Farklı bölgelerdeki ve ülkelerdeki enerji piyasalarının entegrasyonu, RES kaynaklarının daha etkin bir şekilde paylaşılmasına olanak tanır.

Mevzuat ve Teşvik Mekanizmaları: Yenilenebilir enerji ve akıllı şebeke yatırımlarını teşvik edecek, bürokratik süreçleri azaltacak ve şeffaflığı artıracak mevzuat düzenlemeleri yapılmalıdır.

Ar-Ge ve İnovasyonun Desteklenmesi: Yenilenebilir enerji teknolojileri, enerji depolama sistemleri ve akıllı şebeke çözümleri alanındaki araştırma ve geliştirme faaliyetleri desteklenmelidir.

Eğitim ve Bilinçlendirme: Yenilenebilir enerji ve akıllı şebekelerin faydaları konusunda kamuoyunun bilinçlendirilmesi ve uzman personel yetiştirilmesi önemlidir.

Gelecekte, akıllı şebekelerin yenilenebilir enerji entegrasyonunda daha da kritik bir rol oynaması beklenmektedir. Nesnelerin İnterneti (IoT), yapay zeka ve büyük veri analitiği gibi teknolojilerdeki ilerlemeler, şebeke operasyonlarının daha da optimize edilmesine ve RES'in daha verimli bir şekilde yönetilmesine olanak sağlayacaktır.

Sonuç

Akıllı şebekeler, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji sistemlerine başarılı bir şekilde entegre edilmesi için vazgeçilmez bir araçtır. Sunduğu gelişmiş izleme, kontrol ve otomasyon yetenekleri sayesinde, RES üretimindeki değişkenliğin ve öngörülemezliğin üstesinden gelinerek şebeke istikrarı ve güvenilirliği sağlanabilir. Ancak, bu entegrasyon sürecinde karşılaşılan teknik, ekonomik ve düzenleyici zorlukların aşılması için kapsamlı stratejiler geliştirilmeli ve etkin çözümler hayata geçirilmelidir. Akıllı şebekelere yapılan yatırımlar, uygun mevzuat düzenlemeleri ve teknolojik inovasyonun desteklenmesiyle, temiz ve sürdürülebilir bir enerji geleceği inşa etmek mümkün olacaktır.

Kaynakça

Fang, X., Misra, S., Xue, G., & Yang, D. (2012). Smart grid – The new and improved power grid: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 14(4), 944–980.

Momoh, J. (2012). *Smart grid: Fundamentals of design and analysis*. Wiley-IEEE Press.

Lopes, J. A. P., Hatziargyriou, N., Mutale, J., Djapic, P., & Jenkins, N. (2007). Integrating distributed generation into electric power systems: A review of drivers, challenges and opportunities. *Electric Power Systems Research*, 77(9), 1189–1203.

Siano, P. (2014). Demand response and smart grids—A survey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 461–478.

Lund, H., & Mathiesen, B. V. (2009). Energy system analysis of 100% renewable energy systems—The case of Denmark in years 2030 and 2050. *Energy*, 34(5), 524–531.

Gungor, V. C., Sahin, D., Kocak, T., Ergut, S., Buccella, C., Cecati, C., & Hancke, G. P. (2013). Smart grid technologies: Communication technologies and standards. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 7(4), 529–539.

International Energy Agency. (2020). *Smart grids*.

U.S. Department of Energy. (2010). *The smart grid: An introduction*.

BÖLÜM 3

GÜÇ ŞEBEKELERİNDE GÜÇ ELEKTRONİĞİ DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİNDEN KAYNAKLI GÜÇ KALİTESİ SORUNLARININ YAPAY ZEKA TEKNİKLERİYLE İYİLEŞTİRİLMESİ

SEÇİL GENÇ
BARIŞ ÇAVUŞ
KÜBRA NUR AKPINAR

Güç Kalitesi Sorunlarına Giriş

Son yıllarda, dağıtık üretimin artmasıyla birlikte DA mikro şebekeleri elektrik şebekesinde giderek daha yaygın hale gelmiştir. Dağıtık üretim, ana elektrik şebekesine bağlanan küçük veya büyük boyutlu yenilenebilir enerji anlamına gelir. Yenilenebilir enerji kapsamında rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, jeotermal enerji, biyokütle enerjisini dikkate alıyoruz.

Bilindiği üzere fotovoltaiik hücreler doğru gerilim ve akım üretirler. Bir güneş pili çıkışı farklı hava koşullarına bağlı olarak değiştiği için mikro şebekelerdeki güç akışı ve gerilim seviyelerini yönetmek için bu tür bir üretimin denetimi DA-DA dönüştürücü yardımı ile yapılır. Bir DA mikro şebekede, üretim, enerji depolama ve yükler DA-DA dönüştürücülerle birbirine bağlanır ve genellikle AA-DA dönüştürücülerle de harici ağı bağlanır.

Çeşitli gerilim seviyelerinde DA dağıtım hatları vardır: Elektrikli ulaşım sistemleri (demiryolları, metrolar, çeşitli enerji depolama cihazlarını içeren tramvay hatları, yol kenarı ve araç üstü), güç üretimi ve çeşitli ve farklı güç kaynakları (fotovoltaik sistemler, mikro türbinler, rüzgâr çiftlikleri, vb.), enerji depolama tesisleri (süper kapasitörler ve piller gibi). Bunların hepsi aynı gerilim seviyesindeki bir DA şebeke ağına veya dönüştürücüler aracılığıyla farklı gerilim seviyesine bağlanırlar. Bunun yanında yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonu ile birlikte DA-DA ve çift yönlü AA-DA dönüştürücülerine gösterilen ilgi giderek artmaktadır. DA mikro şebeke sisteminde, dönüştürücünün her iki tarafında DA kapasitörler ile birden fazla PWM tabanlı dönüştürücü kullanılır. Bir DA mikro şebekenin frekans aralığı çok düşük frekanstan (9 kHz'nin altında), 9-150 kHz ve 150 kHz-30 MHz gibi çok yüksek frekans aralıklarına kadar değişebilir [1]. Genellikle daha yüksek anahtarlama frekansında çalıştırılan DA-DA dönüştürücülerin artan kullanımı, sistemde elektromanyetik girişime (EMG) neden olabilir. 2 kHz'nin üzerindeki bu bozukluklar "yüksek frekans bozulması veya iletilen yayılımlar" olarak adlandırılmaktadır. AA şebeke tarafını da etkilemektedir. Bu yayılımlar yalnızca zaman ekseninde veya genlikte değişmemektedir, ayrıca frekans tayfı boyunca da büyük değişim sergilerler. Tüm bu bileşenler farklı genlikte ve farklı etkilerde kendilerini harmonikler/yüksek frekanslı girişimler olarak gösterirler [2]. Bu harmonikler genellikle dönüştürücülerle mikro şebekelerle bağlı olan diğer donanımların çalışmasını kötü etkileyebilir veya zarar verebilir [3-4]. Günümüzde ise elektrik dağıtım şirketleri 9 ile 95 kHz frekans aralığında iletilen yayılımlı anahtarlama gerilim kaynağı (AGK), balastlar ve diğer cihazlar için bir kısıtlama getirmemektedir. Ancak, bu yüksek frekans aralığındaki yayılımın şebekeye donanımları nasıl etkilediği belirsizliğini korumaktadır [5]. Aynı zamanda ilk tasarım aşamasında cihazın EMG'sinin hesaba katması, tasarımcıların da

elektromagnetik uyumluluğu (EMU) gerçekleştirmeden önce düşük maliyetle karşılamasını sağlayabilir [6].

Tasarım döngüsünü ve maliyeti azaltmak için, EMG tahminine doğru bir modelleme yoluyla iyi bir şekilde katılım sağlanmalıdır. Bu nedenle, elektromanyetik girişim sorunlarının önceden tespit edilmesi ve önlenmesi, ürün tasarımında çok önemlidir.

Yayılımları önlemek için kullanılan yöntemlerden biri elektromanyetik girişim süzgeci tasarımıdır. Ancak, geleneksel süzgeç tasarımı deneme-yanılma yöntemiyle yapılır ve bu süreç hem zaman hem de maliyet açısından zorlayıcı olabilir. Bu nedenle, güç elektroniği devrelerinde, gürültü kaynağından kaynaklanan yüksek frekanslı elektromanyetik girişim yollarının belirlenmesi ve buna göre süzgeç tasarımı yapılması önerilir. Bu yaklaşım, uygun süzgeç yapısının ve süzgeç elemanlarının seçimini daha hızlı ve doğru bir şekilde yapmayı mümkün kılarak üretim sürecini kısaltabilir.

Yapay sinir ağlarına dayalı bir EMG süzgeci modelleme yöntemi, süzgeç parametrelerinin hızlı bir şekilde en iyileştirmesini sağlamakta ve EMG süzgeç davranışının değerlendirilmesi için bir seçenek sunmaktadır [7]. Bunun için de yayılımın en doğru şekilde tespiti gerekmektedir. YSA tabanlı süzgeç tasarımı parametrelerin en uygun tespiti ile girişimlerin daha iyi giderilmesi sağlanmaktadır.

İletilen Yayılımlar ve Zorlukları

Bir elektrik güç sistemi; güç kaynakları, iletim ve dağıtım sistemi donanımları ile bozucu etkilere yol açan yüklerden oluşmaktadır. Sistemdeki tüm donanımların standartlarda tanımlanan gerilim ve frekans bozukluğu kriterlerini karşılaması gerekmektedir. Bir g sisteminin başarımının düşmesi sadece bir güç kalitesi sorunu değil, aynı zamanda EMU ile de ilgilidir. şekil 1’de gösterildiği üzere fotovoltaik panellerin inverterleri sigorta ve

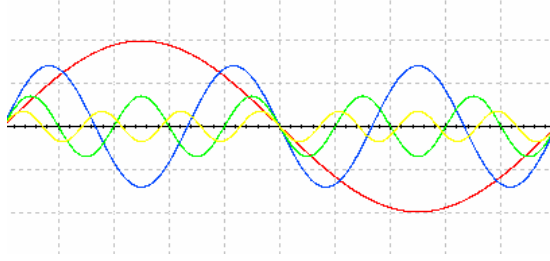
sayaç yoluyla dağıtım şebekelerine bağlıdır. Sistem, dağıtım şebekelerine bağlı olduğundan inverterde yapılan anahtarlamalar sırasında şebekeye bazı sinyaller üretilir. Bu sinyaller 21 Aralık 2012 Tarihli ve 28504 Sayılı Resmî Gazete 'de yer alan EPDK'nın "Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği Madde3/p" uyarınca "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 sinüsoidal bileşenlerin her biri" şeklinde harmonik ismiyle adlandırılmıştır.

Şekil 1. Fotovoltaik panellerin dağıtım şebeke entegrasyon modeli [8]



Elektrik mühendisliği alanında Avrupa standardizasyonundan sorumlu komite CENELEC (Avrupa Standardizasyon Komisyonu) tarafından EMG'ye bağlı sayaç sorunları Almanya ve İsveç'te gözlemlenmiş ve raporlanmıştır.

*Şekil 2. Bir tam periyottaki sinüs formundaki dalga şekilleri
(50Hz, 150Hz, 250Hz,350Hz)[9]*



Yukarıda gösterilen Şekil 2’de farklı frekanslardaki sinüs dalgaları gösterilmiştir, kırmızı renkli temel sinyale, mavi renkli sinyal 3. harmoniğe, yeşil renkli sinyal 5. harmoniğe, sarı renkli sinyal ise 7. harmoniğe karşılık gelmektedir. Fakat şekilden de görüleceği üzere küçük genlikli olsa dahi sinüs dalgalarının ortalama değeri alındığında ciddi bir düşüşe ve enerji kalitesizliğine neden olmaktadır. Üst harmonikler, elektrik şebekelerinde ekipmanların arızalanmasına, sistemde kayıplara ve enerji kalitesinin düşümüne neden olmaktadır. Bu enerji kalite düşümü yalnızca o ekipmanda değil şebekedeki diğer abonelerin cihazlarına zarar vermekte ve müşteri memnuniyetini de olumsuz etkilemektedir.

İletilen yayımlara bağlı olarak karşılaşılan sorunlardan birkaç örnek aşağıda verilmiştir.

İki komşu çiftçi aynı güneş paneli sistemini kurmuştur. Güneş enerjisinin en yoğun olduğu anda ilk çiftçi komşusunun ürettiği gücün %40’nı üretiyordu. Bazı ölçümler yapıldıktan sonra, güneşli havalarda ilk çiftçinin ahıra temiz hava sağlayabilmesi için fanlarını çalıştırdığı ortaya çıkmıştır. Fanlar ise yüksek gerilim üreten bir güç sürücü sistemi tarafından denetleniyordu. Fanların sürücü sistemlerinin neden olduğu yüksek gürültü seviyesi nedeniyle, elektronik enerji ölçer gerçeğin yalnızca yaklaşık %60’ını ölçmüştür. "Akıllı" şebeke, şebekedeki enerji dengesini denetleyebilmek için bu hatalı değer kullanılsaydı çok daha büyük

sorunlara yol açacaktır. Yine bir üniversite içinde enerji verimliliği dikkate alınarak 36.000m² alanlı yeni bina inşa edilmiştir fakat doğrusal olmayan elektronik donanımın etkisi, binanın tasarım aşamasında hafife alınmıştır. Tasarım geleneksel $\cos\theta$ varsayımlarına ve doğrusal yüklerle dayandığını için transformatörler aşırı ısınmıştır. En basit ama maliyetli çözüm, her biri 1.6 MVA'lık 2 ek transformatör kullanmak olmuştur. Bina tamamlandığında görünür güç 4 MVA iken toplam görünür güç 7.2 MVA' dır. Gerçek güç tüketimi ise 3 MW civarındadır [10].

İletilen Yayımların Ölçülmesi

İletilen yayımların ölçülmesi için kullanılan cihaz hat empedansı dengeleme ağıdır (Line Stabilization Network-LISN). LISN, çeşitli EMG test standartlarında belirtildiği gibi, iletilen ve yayılan radyo frekansı girişimleri ve duyarlılık testlerinde kullanılan bir cihazdır. Hat empedans ağı, yapay şebeke ağı (AMN) veya V ağı olarak da adlandırılır. İsminden de anlaşılacağı üzere şebeke empedans farklılık sorununu ortadan kaldırmak ve bütün test laboratuvarlarında standart bir şekilde test yapmak için kullanılırlar.

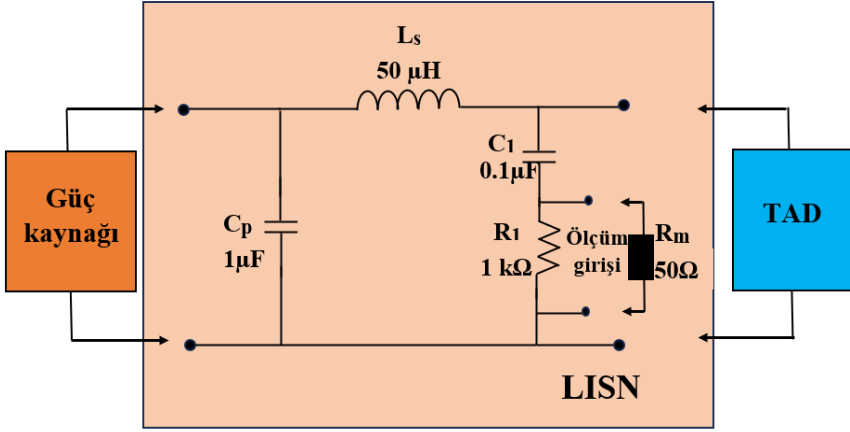
Aynı zamanda belirli bir empedans oluşturmak ve radyo frekansı gürültüsünü ölçmek için port sağlayan, AA veya DA güç kaynağı ile TAD arasına yerleştirilen alçak geçiren bir süzgeçtir. Ayrıca, istenmeyen RF işaretlerini güç kaynağından izole ederek doğru ve tekrarlanabilir sonuçlar sağlar. LISN'ler, tasarlanan elektronik bir ürünün iletim yoluyla yayılan diferansiyel ya da ortak mod akımlar kaynaklı elektriksel gürültüyü toprağa karşı ölçmeyi sağlar. Donanımın özellikleri standartlar ile belirlenmiş olup ölçüm yapılacak sisteme göre çeşitli modelleri bulunmaktadır.

LISN'ler tek veya üç fazlı olabilir ancak tümü Şekil 3'de gösterilen tek fazlı elektrik devresinin prensibine dayanır [2]. Genel olarak LISN'nin görevi;

- Test edilecek cihaz için sabit 50 ohm empedans sağlar.

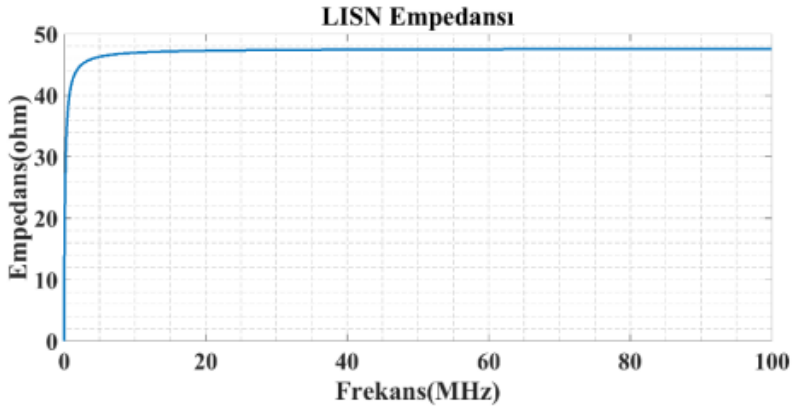
- Şebeke üzerindeki radyo frekans işaretlerinin AG güç kablosu aracılığıyla TAD'a girmesini engeller.
- Ölçü aletleri bağlanması için bir bağlantı noktası sağlar (EMG alıcısı, tayf analizörü, osiloskop vb.).

Şekil 3. LISN Yapısı [2]



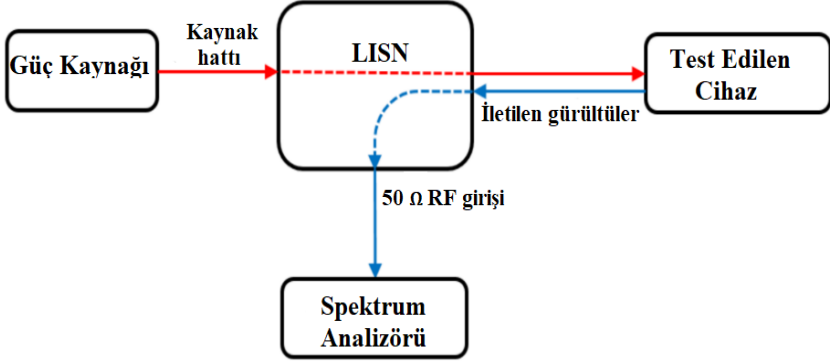
A ve B uçları kısa devre edilerek (Thevenin empedansının hesaplanması için) P ve B noktaları arasındaki empedansın frekansa bağlı değişimi Şekil 4’te gösterilmiştir.

Şekil 4. LISN empedansı [2]



LISN'nin devre bağlantısı Şekil 5’de verilmiştir.

Şekil 5. LISN devre bağlantı blok şeması



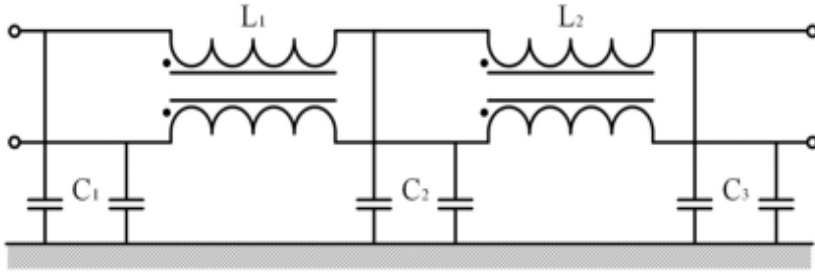
Ölçümü yapılan yayılımların bastırılması için yaygın kullanılan yöntem süzgeç tasarımıdır. Süzgeç tasarımlarında dikkat edilmesi gereken nokta araya girme kaybının (yayımların bastırılması) modele bağlı değişkenlik göstermesidir. Bu noktada en uygun tasarımı modellemek için yapay sinir ağına dayalı süzgeç iyileştirmesi 4. Bölümde açıklanmıştır.

Geleneksel Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Emg Süzgecinin Modellenmesi ve En İyileştirilmesi

Yapay sinir ağı (YSA) kullanımı EMG süzgecin etkili bir şekilde modellemesini ve iyileştirilmesini sağlamaktadır. Eğitim sürecinde zaman tasarrufu sağlayan ve doğruluk düzeyi yüksek olan kısmen bağlı bir YSA, EMG süzgecini modellemek için önerilmektedir. Eşdeğer devre modeli ve elektromanyetik model ile karşılaştırıldığında, YSA'ya bağlı yöntem daha doğru bir EMG süzgeç modeli oluşturmakta ve EMG süzgeç tasarımını daha verimli şekilde iyileştirilmesini sağlamaktadır. EMG süzgecinin eşdeğer devre veya elektromanyetik model aracılığıyla incelenmesi sürecinde, yüksek frekanslı kuplajın etkilerinin detaylı analizi kritik bir öneme sahiptir. Eşdeğer devre modellerinde, yüksek frekanslı kuplajı tanımlamak için karşılıklı kapasiteleri ve karşılıklı

induktansları içeren L-C-R yapısı kullanılmaktadır. Ancak, Şekil 6’da verilen EMG süzgeç modellemesinde birkaç kHz’ten 10 MHz’e kadar olan geniş aralıkta uygun L-C-R yapısını ve doğru parametreleri bulmak zaman alıcıdır. Elektromanyetik model için ise yüksek frekanslı kuplaj davranışını benzetimi için doğru yapısal ve fiziksel parametrelere ihtiyaç duyulmaktadır [7].

Şekil 6. EMG süzgeç topolojisi [7]



Süzgeç parametrelerini hızlı bir şekilde optimize etmek için verimli bir EMG süzgeç modelleme yöntemi gerekmektedir. YSA, EMG süzgecinin davranışını hızlı bir şekilde değerlendirmede önemli bir seçenektir. YSA, belirli bir cihazın veya devrenin davranışını öğrenme süreci olan eğitim adı verilen bir en iyileştirme süreciyle modelleyip taklit etmektedir. YSA aynı zamanda baskılı devre kartı (PCB) modellemesinde başarılı sonuçlar vermektedir [11-13].

Geleneksel YSA EMG süzgecini yeterince doğru bir şekilde modellenemediği için, kısmen bağlı bir YSA önerilmekte ve YSA'ya dayalı bir model EMG süzgecinin en uygun tasarımında kullanılmaktadır. EMG süzgecinin araya girme kaybı benzetim sonuçları ile ölçüm sonuçları karşılaştırılarak, önerilen modelleme ve en iyileştirme yönteminin etkinliği doğrulanmaktadır.

Elektromanyetik uyumluluk süzgeçlerinin modellemesi ve iyileştirilmesi, yapay sinir ağları (YSA) kullanılarak

gerçekleştirilebilir. Yapay sinir ağları, karmaşık ilişkileri modellemek ve iyileştirmek için güçlü bir araç olarak kullanılabilir.

YSA Tabanlı Emg Süzgeci

Bu bölümde EMG gürültüsünü azaltmayı hedefleyen bir YSA tabanlı modelleme ve en iyileştirme yöntemi açıklanacaktır. Bu süzgeç prototipinin topolojisi ile Şekil 6'da verilen devrede yer alan kondansatör ve indüktans değerlerinin en uygun belirlenmesi sağlanmaktadır. Şekil 6'dan da görüldüğü gibi, ikinci dereceden π EMG süzgeci üç kondansatör (C_1 , C_2 ve C_3) ve iki adet CM indüktansı (L_1 ve L_2) içermektedir. Süzgeç bileşenlerinin en uygun tasarımını elde etmek için öncelikle EMG süzgeci için YSA tabanlı bir modelleme yöntemi geliştirilmektedir. Bir PCB için YSA tabanlı bir model geliştirme dört adımdan oluşmaktadır.

1. Giriş-çıkış değişkenlerini tanımlama
2. YSA yapısını belirleme
3. YSA'yı eğitme
4. YSA modelini doğrulama

İlk adımda, YSA'nın giriş ve çıkış değişkenleri tanımlanmalıdır. YSA tabanlı EMG süzgeci modelinin oluşturulmasının temel amacı, süzgecin performansını dinamik bir yaklaşımla analiz etmek ve değerlendirme sürecini araya girme kaybı (insertion loss) değişkeni üzerinden optimize etmektir. Dolayısıyla YSA'nın çıkış değişkeni süzgecin araya girme kaybı olmaktadır. Süzgecin araya girme kaybı, öncelikle kondansatörlerin empedansı, ortak mod (common mode /CM) indüktanslarının CM empedansı ve yüksek frekans kuplaj durumlarından etkilenir. Kondansatörlerin empedansı, seri bağlı kapasitansın yanı sıra eşdeğer seri direnç (ESR) ve eşdeğer seri indüktans (ESL) ile ifade edilebilir. Öte yandan, CM indüktansının empedansı, paralel bağlı indüktans, eşdeğer paralel direnç (EPR) ve eşdeğer paralel

kapasitanstan (EPC) oluşan bir devre modeliyle temsil edilmektedir. Bu parametrelerin belirlenmesi empedans analizörü yardımıyla kolaylıkla gerçekleştirilebilir ve YSA modeline giriş değişkenleri olarak entegre edilebilir. Kondansatör için ESR ve ESL değerleri ile CM indüktörü için EPR ve EPC bileşenleri, yüksek frekanslı parazitik etkileri tanımlayan temel elektriksel parametreler olarak kabul edilmektedir.

Kondansatör pinlerinin uzunluğu, CM indüktörünün çekirdek malzemesinin özellikleri ve CM indüktansın geometrik boyutları, yüksek frekanslı kuplajın oluşumunu ve seviyesini doğrudan etkileyen faktörler arasındadır. Fakat kapasitör ve CM indüktöre bağlı EMG süzgeci YSA kullanarak iyileştirildiği için, yüksek frekans kuplaj parametrelerinin çıkartılmasına gerek yoktur.

EMG süzgecinin araya girme kaybı frekansla ilişkilidir. Bu nedenle, frekans giriş değişkeni olarak kabul edilir ve YSA tabanlı süzgeç denklem 1 ile ifade edilmektedir [7].

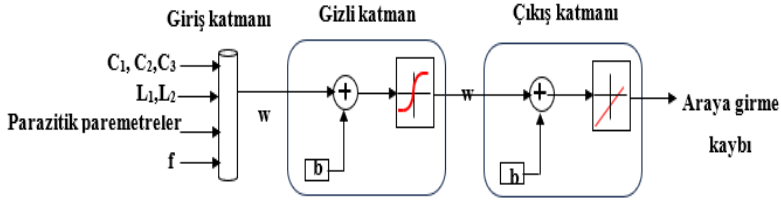
$$I_L = f_{ANN}(C_1, ESR_1, ESL_1, C_2, \dots, L_1, EPR_1, EPC_1, \dots, f)$$

(1)

EMG süzgecinin IL ile temsil edildiği denklem 1’de frekans (f), kondansatör empedansını (C1, C2 ve C3) ve CM indüktansının empedanslarını (L1 ve L2) da içeren giriş değişkeni bulunmaktadır.

İkinci adımda, YSA'nın yapısı belirlenmemektedir. Yaygın olarak kullanılan bir YSA yapısı çok katmanlı perceptron (MLP) ağı, EMG modellemesinde kullanılmaktadır ve Şekil 7’de gösterilmiştir.

Şekil 7. Geleneksel YSA ağ yapısı [7]



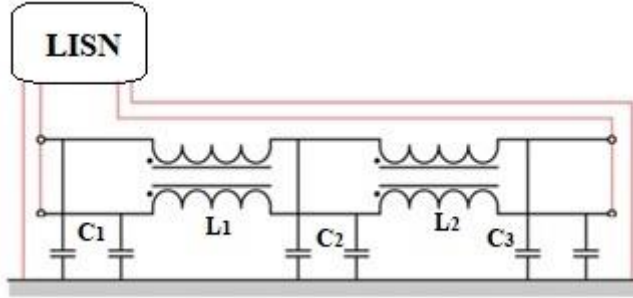
Geleneksel YSA yapısı bir giriş katmanı, gizli bir katman ve bir çıkış katmanından oluşmaktadır. Gizli katman ve çıkış katmanının aktivasyon işlevleri sırasıyla hiperbolik, tanjant, sigmoid ve doğrusal işlevlerdir.

YSA modelinde giriş değişkenlerinin uygun bir ölçekleme yöntemiyle normalize edilmesi gereklidir. YSA'nın giriş değişkenleri ise frekans, indüktanslar, kapasitanslar ve yüksek frekanslı parazitik parametrelerden oluşmaktadır. Bu giriş değişkenlerinin değerleri farklı büyüklüklerde değiştiğinden, giriş değişkenleri logaritmik işleme tabi tutulduktan sonra normalize edilmektedir.

Bir diğer adım ise YSA'nın eğitilmesidir. Belirli aralıkta seçilen CM indüktans ve kapasitans değerleri aday kondansatör ve indüktans olarak seçilmektedir. Empedans analiz cihazı yardımıyla kondansatörlerin empedans eğrileri ve CM indüktanslarının CM empedans eğrileri ölçülmektedir. Ölçülen kondansatörün empedans eğrisinden ESR ve ESL ile CM indüktansının eğrisinden, EPR ve EPC elde edilmektedir.

Ardından, EMG süzgeci prototipi oluşturulmaktadır. Araya girme kaybı olan S_{21} parametresi LISN ile 100 kHz ile 108 MHz frekans aralığında Şekil 8'deki gibi ölçülmektedir.

Şekil 8. EMG süzgecinin araya girme kaybının ölçülmesi [7]



Prototipin kondansatör ve indüktans grup kombinasyonları defalarca kez değiştirilmektedir. Ardından, grupların araya girme kaybı ve buna karşılık gelen empedans parametreleri ölçülmektedir.

100 kHz ila 108 MHz frekans aralığındaki eşit aralıklı frekans noktasındaki araya girme kayıpları çıkış değişkenleri olarak kullanılmaktadır. Süzgeç tasarımcısı tarafından belirlenecek olan C_1 , C_2 ve C_3 ile L_1 ve L_2 'ye karşılık gelen grup kombinasyonlarının bir kısmı eğitim bir kısmı doğrulama için kullanılmaktadır.

YSA'nın doğruluğu denklem 2'de verilen kök ortalama karesel hata (RMSE) ile değerlendirilmektedir [7].

$$RMSE = \frac{1}{N_s N_p} \sum_{i=1}^{N_s} \sum_{j=1}^{N_p} \left\{ [G_{m,i}(f_j) - G_{s,i}(f_j)]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Denklem 2'de N_s değerlendirilen örnek gruplarının sayısını, N_p her bir örnek gruptaki frekans noktalarının sayısını, i . gruptaki ve j . frekans noktasındaki ölçülen araya girme kaybı $G_{m,i}(f_j)$, j . frekans noktasındaki ve i . gruptaki ve j . frekans noktasındaki benzetilen araya girme kaybı $G_{s,i}(f_j)$ 'dir. YSA'nın eğitimi için MATLAB Neural Network Toolbox ve YSA'nın aşırı uyum (overfitting) sorununu azaltmak için Bayesian düzenleme geri yayılım yöntemi kullanılmaktadır. Eğitimin hedefi RMSE'nin 1 dB'den küçük olmasının sağlanmasıdır. Geleneksel YSA ile EMG süzgecinin araya

girme kaybının benzetimi beklendiği kadar iyi sonuç vermemektedir [7].

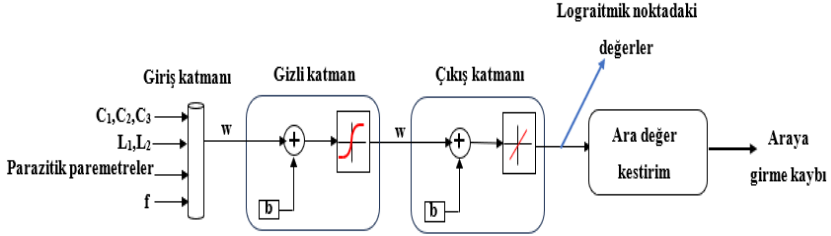
YSA Tabanlı Emg Süzgecinin Geliştirilmesi

Geleneksel YSA'da frekans giriş değişkeni olarak kabul edilirken bu durum EMG süzgeci için uygun değildir. Frekans ve EMG süzgecinin araya girme kaybı arasındaki ilişki diğer giriş değişkenlerinin ilişkisinden daha karmaşıktır. Bir diğer ifadeyle, giriş değişkenlerinin araya girme kaybı üzerindeki etkisi incelendiği zaman düşük ve yüksek frekans olması durumlarında büyük farklılıklar olduğu anlaşılmaktadır. YSA giriş ve çıkış değişkenlerinin ilişkili olduğu bir ifadeye dönüştürülmektedir fakat geleneksel bir YSA için, araya girme kaybının 100 kHz ile 108 MHz arasındaki ifadenin aynı kalması modeli gerçeklikten uzaklaştırmaktadır. Modelin doğruluğunu artırmak için YSA'nın geleneksel yapısı değiştirilmektedir.

Çoklu Çıkışlı Yapay Sinir Ağına Dayalı Emg Süzgeç Modeli

EMG süzgecinin araya girme kaybı eğrisi sürekli bir eğridir. Belirli frekans noktalarındaki araya girme kaybı değerleri elde edilip sayısal interpolasyon yöntemi kullanıldığında araya girme kaybı eğrisi elde edilmektedir. Bu nedenle, 100 kHz-108 MHz aralığındaki tüm frekans bandı belirli sayıda logaritmik düzensiz frekans noktasına bölünmektedir. Ardından, u noktalar, araya girme kaybını modellemek amacıyla, Şekil 9'da gösterildiği gibi, yeni bir çoklu çıkışlı YSA kullanılarak değerlendirilir.

Şekil 9. Ölçüm ve benzetim araya girme kayıplarının karşılaştırılması [7]

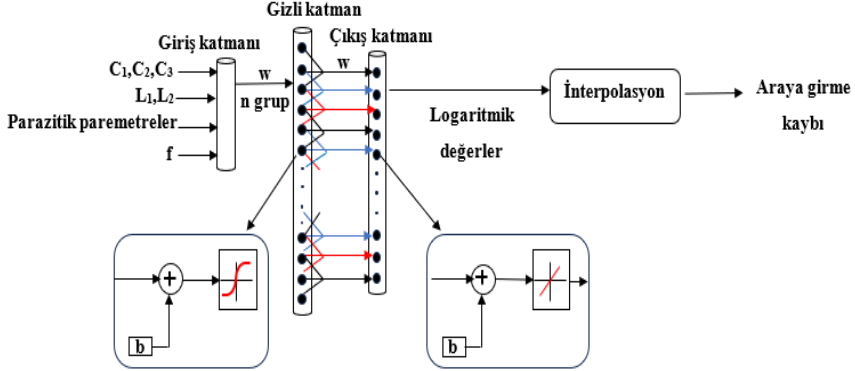


Bu çoklu çıkışlı YSA bir giriş katmanı ve bir gizli katman ve logaritmik düzensiz frekans noktalarındaki araya girme kaybının çıkış olduğu çıkış katmanını içermektedir. Çoklu çıkışlı YSA'nın işlevsel ifadesi farklı frekans noktalarında değişmektedir. Bayesian düzenleme geri yayılım yöntemi kullanılarak tasarımcının belirleyeceği giriş değişkenleri kullanılarak çoklu çıkışlı YSA eğitilir. Hedef RMSE'yi 1 dB'den daha küçük yapmaktır. Çoklu çıkışlı YSA'da eğitim sonucunda RMSE değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Çoklu çıkışlı YSA, geleneksel YSA'dan daha doğru sonuçlar vermektedir. Fakat eğitim süresi, bir YSA'nın değerlendirme göstergesi olan başka bir ölçüttür ve YSA parametrelerinin sayısından etkilenir. YSA modelinin parametreleri, ağırlıklar ve biaslardan oluşur. Ağırlık sayısı, sinir hücreleri arasındaki bağlantıların sayısına denk iken, bias sayısı ise gizli ve çıkış katmanlarındaki sinir hücrelerinin sayısına denk olur. Eğitim sürecinde hem ağırlıklar hem de biaslar sürekli olarak optimize edilir. Dolayısıyla, YSA'nın eğitim süresi, ağırlıkların ve biasların sayısı ile artmaktadır. Çoklu çıkışlı YSA için çıkış değişkenlerinin sayısı artırıldığında daha fazla ağırlık ve bias içerir. YSA Bayesian düzenleme geri yayılım yöntemi kullanılarak eğitildiğinde eğitim süresi artacaktır. Bu durumun giderilmesi için ise önerilen yöntem kısmen bağlı YSA'ya bağlı süzgeç modellemesidir [7].

Kısmen Bağlı YSA Sinir Ağına Dayalı Emg Süzgeç Modeli

Eğitim süresini azaltarak modelin doğruluğunu arttırmak için önerilen kısmen bağlı YSA yapısı, Şekil 10'da gösterilmiştir.

Şekil 10. Kısmen bağlı YSA yapısı [7]



Kısmen bağlı YSA'nın çıkış katmanı, araya girme kaybı değerlerini logaritmik-frekans noktasından çıkarırken gizli katman ve çıkış katmanı tam olarak bağlı değildir. Gizli katman, belirli grup sinir hücrelerini içerir ve her grup k sinirden oluşmaktadır. Çıkış katmanındaki her bir sinir, n grup gizli sinire bağlıdır. Kısmen bağlı YSA'da 1'den n 'e kadar olan gruplar çıkış katmanındaki ilk sinire bağlanırken, 2'den $n + 1$ 'e kadar olan gruplar ikinci sinire bağlanır ve bu durum benzer şekilde devam eder. Kısmen bağlı YSA'da, çıkış katmanına yakın olan sinirler bazı ortak gizli sinirlere bağlanır. Kısmen bağlı YSA modelinin çıkış değişkenleri, frekansın artışı veya azalışı ile sıralandığında, yakın frekans noktalarında araya girme kaybı değerleri birbirine oldukça yakın olur. Bu durum, süzgecin araya girme kaybı karakteristiğiyle tutarlı bir şekilde örtüşmektedir.

Kısmen bağlı YSA ile çoklu çıkışlı YSA karşılaştırıldığı zaman, kısmen bağlı yapının sayısının azalmasından dolayı ağırlıkların ve biasların sayısı da azalmıştır. Bu nedenle kısmen bağlı

YSA'nın eğitim süreci daha kısa olduğu için çoklu çıkışlı YSA'ya göre daha hızlı gerçekleşir.

Bayesian düzenleme yöntemi geri yayılım yöntemi kullanılarak eğitim örnekleri kullanılarak kısmen bağlı YSA eğitilmektedir. Kısmen bağlı YSA, geleneksel YSA ile aynı eğitim örneklerini kullanmaktadır.

Kısmen bağlı YSA ve sayısal interpolasyon algoritması birleştirilerek, EMG süzgecinin YSA tabanlı modeli oluşturulmaktadır. Bu modelde sonuçlar daha doğru elde edilebilmektedir. Süzgeç boyutunun sınırlı olmasından dolayı, süzgeç prototipindeki iletkenler ve bileşenler birbirine yakındır. Bu nedenle, CM indüktansları ve kapasitörler arasındaki parazitik kuplajlar önemlidir ve araya girme kaybını etkilemektedir. Bu durum, parazitik kuplajların EMG süzgecinin araya girme kaybını etkileyebilmektedir. Bu modelde EMG süzgecindeki yüksek frekanslı kuplaj etkisi önerilen modelleme yöntemine dahil edilmelidir [7].

Gelişmiş YSA ile Emg Süzgecinin Standart Sınırları Karşılması

EMG süzgeci yüksek doğruluklu genetik algoritma ile birleştirilmiş YSA tabanlı bir modelleme ile iyileştirilmektedir. Süzgecin iyileştirilmesi için araya girme kaybı gereksinimi bulunmalı ve ardından EMG süzgecinin nicel bir değerlendirme indeksi (QEI) belirlenmelidir.

Süzgecin ilgili standart sınırı (CISPR25) karşılaması için araya girme kaybı da göz önünde bulundurularak değerlendirme yapılmaktadır. Araya girme kaybı tasarımcı tarafından belirlenecek olan her gruptan her biri için ilgili sınırı karşılamalıdır.

EMG süzgecinin QEI'si, araya girme kaybı gereksinimine göre belirlenmektedir. Araya girme kaybı gereksinimine uygun

olarak, herhangi bir frekansta, araya girme kaybı gereksinimini karşılanmadığında, QEİ düşük olmalı ve 6 dB'lik marj elde edildiğinde belirli bir değeri korumalıdır. Bu koşullar altında, ilgili frekans aralığı logaritmik frekans noktasına bölünmektedir ve QEİ aşağıdaki denklemle tanımlanmaktadır [7].

$$QEI = \sum_{k=1} F(f_k) \quad (3)$$

Burada;

$$F(f_k) = \begin{cases} d^3 - 6 & d < 0 \\ d & d \geq 0 \\ 5 + (d - 5)^{0.1}, & d \geq 6 \end{cases} \quad (4)$$

ve

$$d=R(f)-IL(f) \quad (5)$$

QEİ, EMG süzgecinin nicel değerlendirme indeksini, $R(f)$, f . frekans noktası gereksinimi ve $IL(f)$, f . frekans noktasındaki araya girme kaybını temsil etmektedir.

QEİ ile EMG süzgecinin iyileştirilmesi, QEİ'nin en büyük değerini elde etmek için en uygun kapasitör ve indüktans tiplerini bulma şeklinde doğrusal olmayan problemidir.

Kapasitör ve indüktans tipleri $C_1, C_2, \dots, C_n$ ve $L_1, L_2, \dots, L_m$ ve her kapasitör ve indüktans tipi için uygun bir endeks kümesi K_{Ci} ve K_{Li} olarak verildiğinde en büyük QEİ değerinin elde edilmesi için aşağıda 8.4'te verilen hedef işlevin en büyük olması sağlanmaktadır [7].

$$Bul \rightarrow TC_1, TC_2, TC_3, TL_1, TL_2$$

$$Hedef \rightarrow \max QEI = H(TC_1, TC_2, TC_3, TL_1,)$$

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } TC_1, TC_2, TC_3 \leq 18 \\ 1 & \text{if } TL_1, TL_2 \leq 7 \end{cases} \quad (6)$$

Denklem 6’da kapasitör ve CM indüktanslarına karşılık gelen değişkenler TC_1 , TC_2 , TC_3 , TL_1 ve TL_2 tam sayı değişkenleri kullanılarak temsil edilmektedir. Yukarıda belirtildiği gibi bu örnek özelinde CM indüktansı için 7 ve kondansatörü için 18 çeşit bulunmaktadır. Burada, TC_1 , TC_2 ve TC_3 sırasıyla C_1 , C_2 ve C_3 için 18 tür kapasitörü temsil etmek üzere 1 ile 18 arasında değişmektedir. TL_1 ve TL_2 , sırasıyla L_1 ve L_2 için yedi farklı CM indüktansını temsil etmek üzere 1 ile 7 arasında değişmektedir. H, QEİ ie süzgeç bileşenleri arasındaki işlev eşleme ilişkisini temsil etmektedir. Devamında bahsedilen doğrusal olmayan programlama problemi genetik algoritma ile çözülmektedir. Genetik algoritmanın uygunluk işlevi olan QEİ’yi genetik algoritmanın kromozomu $\{TC_1, TC_2, TC_3, TL_1, TL_2\}$ olarak ayarlanmaktadır. İlk popülasyon seçim oranı belirlenip mutasyon faktörü sırasıyla ayarlandığında genetik algoritma uygulanmakta ve çözüm süreci sırasında QEİ, kısmen bağlı YSA ve denklem 8.4 kullanılarak kolayca hesaplanmaktadır. Hesaplama işlemi sadece birkaç dakika sürerken, süzgeç bileşenlerinin en uygun tasarımı elde edilebilmektedir. Yukarıda bahsedilen aday kapasitörler ve CM indüktanslarından oluşan tüm süzgeçler içinde, en uygun süzgeç QEİ değeri en büyük olandır.

Bunun sonucunda tasarımcının seçimine bağlı parametreler arasında en uygun indüktans ve kapasite parametreleri elde edecektir [7].

Bu yöntem, 100 kHz'den 108 MHz'e kadar olan tüm frekans aralığında daha iyi bir uyum gösterirken aynı zamanda araya girme kaybı gereksinimi de karşılanmaktadır.

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, ilk önce iletilen yayılımlarla ilgili genel literatür bilgileri sunulmuştur. Daha sonra bu yayılımların ölçüm yöntemi hakkında bilgiler sunulmuştur. Ölçülen bu girişimlerin bastırılması için süzgeç tasarımı açıklanmıştır. Bu noktada yapay zekâ modellemesinin süzgeç tasarımının en iyileştirilmesine katkısı ortaya konulmuştur. Ayrıca gelişmiş yapay zekâ algoritmalarının geleneksel algoritmalara olan üstünlüğüne yer verilmiştir. Elde edilen sonuçlar süzgeç tasarımında önemli etken olan araya girme kaybının daha iyi modellenmesine yardımcı olurken, girişimlerin bastırılmasında da başarılı olmuştur. Özellikle, süzgeç tasarımlarında tasarım sürecini hızlandırmak, süzgeç parametrelerinin seçimine yardımcı olmak, özellik-yapı ilişkisinin tanımlanmasını sağlamak, tasarım sürecindeki sorunların iyileştirilmesine yardımcı olmak gelişmiş YSA tabanlı öğrenmenin faydalı sonuçlarındandır.

Burada dikkat edilecek unsur ise YSA eğitim parametreleri dikkatlice tasarlanmadığı durumda YSA'nın aşırı eğitilmesine bağlı olarak model doğruluğunun etkilenmesidir. Yakın gelecekte süzgeç bileşenleri arasındaki kuplajın araya girme kaybına olan etkisinin dahil edildiği YSA tabanlı uygulamalar yöntemin daha iyileştirilmesini sağlayacaktır.

Referanslar

Kumar, D., Zare, F., & Ghosh, A. (2017). DC microgrid technology: system architectures, AC grid interfaces, grounding schemes, power quality, communication networks, applications, and standardizations aspects. *IEEE Access*, 5, 12230-12256.

Genç, S. (2024). Güç şebekelerinde iletilen yayınların güç kalitesi analizi ve giderilmesi (Doktora tezi). *Ondokuz Mayıs Üniversitesi*.

Jettanasen, C., & Ngaopitakkul, A. (2019). Characteristics and Effects of Conducted Emission from Grid-Connected and Stand-Alone Micro-Inverters in a Nano-Grid Road Lighting System. *Sustainability*, 11(20), 5690.

Mariscotti, A. (2019, September). Discussion of power quality metrics suitable for DC power distribution and smart grids. In Proc. 24th IMEKO TC4 Int. Symp (pp. 17-20).

Leferink, F. (2015). Conducted interference, challenges and interference cases. *IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine*, 4(1), 78-85.

Miloudi, M., Bendaoud, A., & Miloudi, H. (2017). Common and differential modes of conducted electromagnetic interference in switching power converters. *Revue Roumaine Science Technique–Électrotechnique. et Énergétique*, 62(3), 246-251.

Chen, H., & Ye, S. (2019). Modeling and optimization of EMI filter by using artificial neural network. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 61(6), 1979-1987.

Akcan, E., Kuncan, M., & Minaz, M. R. (2020). PVsyst yazılımı ile 30 kw şebekeye bağlı fotovoltaiik sistemin modellenmesi ve simülasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 248-261.

Şenyurt, Ö. (2006). Elektrik Tesislerinde Hızlı Fourier Dönüşümü ile Harmonik Analizinin Yapılması (Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Türkiye).

Lefterink, F. (2015). Conducted interference, challenges and interference cases. *IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine*, 4(1), 78-85.

Devabhaktuni, V., Bunting, C. F., Green, D., Kvale, D., Mareddy, L., & Rajamani, V. (2012). A new ANN-based modeling approach for rapid EMI/EMC analysis of PCB and shielding enclosures. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 55(2), 385-394.

Piersanti, S., & Orlandi, A. (2017). Notice of retraction: Genetic algorithm optimization for the total radiated power of a meandered line by using an artificial neural network. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 60(4), 1014-1017.

Xu, J., Yagoub, M. C., Ding, R., & Zhang, Q. J. (2002). Neural-based dynamic modeling of nonlinear microwave circuits. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 50(12), 2769-2780.

AKILLI SİSTEMLERDE ENERJİ YÖNETİMİ VE SİNYAL İŞLEME YAKLAŞIMLARI

