

WAVELET ANALİZ TEKNİĞİ VE UYGULAMA ALANLARI

İlhan Volkan ÖNER^{1*}, Muhammet Kaan YEŞİLYURT¹, Efe Çetin YILMAZ¹

¹Atatürk Üniversitesi Pasinler Meslek Yüksekokulu Teknik Programlar

(Geliş Tarihi: 20.09.2016; Kabul Tarihi: 18.01.2017)

Özet

Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler çeşitli yöntemlerle analiz edilmektedir. Bu yöntemlerin başında Wavelet (dalgacık) analizi gelmektedir. Bu yöntemin en önemli özelliği sinyali yerel olarak analizinin yapılabilmesidir. Tekniğin bu özelliği ile büyük bir sinyal küçük bir alanda analiz edilebilmektedir. Bu analiz metodu sinyali zaman ölçek alanında analiz edilmesine olanak tanır ve böylece hem uzun zaman aralığında alçak frekans bilgisi, hem de kısa zaman aralığında yüksek frekans bilgisi tanımlanır. Bu avantajlarından dolayı, Wavelet analiz tekniği zaman serilerinin analizinde içten yanmalı motorlarda silindir içi basınç verilerinin analizinden Parkinson hastalarının veri analizine kadar birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, wavelet analiz tekniği ve uygulama alanları hakkında detaylı bir bilgi verilecektir.

Anahtar Kelimeler: Wavelet Analiz tekniği, Zaman Serisi.

WAVELET ANALYSIS TECHNIQUES AND APPLICATION AREAS

Abstract

The data obtained from experimental studies are analyzed using various methods. The main method among all is the wavelet analysis. The most important feature of this method is that signals can be locally analyzed, whereby a large signal can be analyzed in a small area. This analysis method enables signals to be analyzed on time domain and thus both low frequency information at a long time interval and high frequency information in short time interval can be defined. Because of these advantages; wavelet analysis method is used in the analysis of time series and in a large variety of fields from the cylinder pressure data of internal combustion engines to data from Parkinson disease. This study aims to provide information on wavelet analysis method and its applications.

Keywords: Wavelet analysis technique, Time Series.

[*ivoner@atauni.edu.tr](mailto:ivoner@atauni.edu.tr)

1.Giriş

Bir sinyal, fiziksel bir büyüklüğü veya değişkeni temsil eden bir fonksiyondur, ve tipik olarak olgunun doğası veya davranışı hakkında bilgi içerir. Sinyalleri; sürekli-ayrık, analog-dijital, gerçek-karmaşık, belirli-rastgele, tek-çift, periyodik-periyodik olmayan, enerji ve güç sinyalleri olarak gruplandırabiliriz (Hsu 1995).

Bir sinyal sonlu ve sonsuz aralıktaki bütün değerleri alabiliyorsa buna sürekli sinyal veya analog sinyal denir. Sinyal değerleri sonlu değer kümesindeki değerleri alabiliyorsa buna da ayrık ya da dijital sinyal denir. Bir sinyalin işlenebilmesi için sinyalin, sayısal sinyal olması gerekmektedir. Eğer sinyal sürekli sinyal ise önce örnekleme, sonra niceleme yapılarak sayısal sinyale dönüştürülmesi gerekir. (Oppenheim et al 1997)

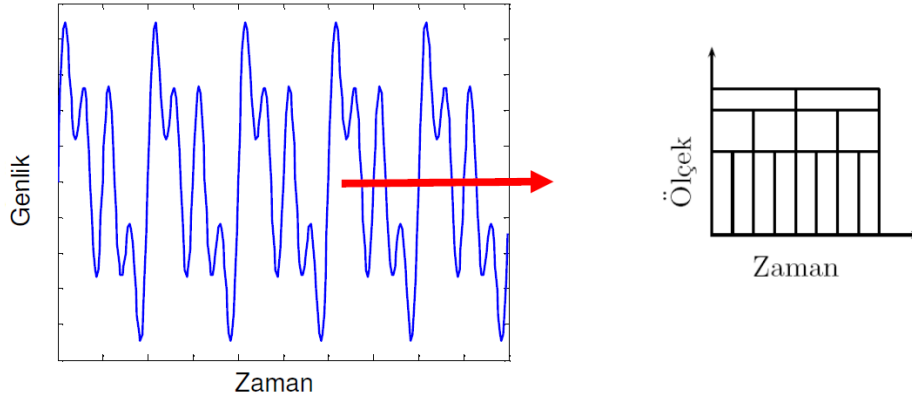
Bir fiziksel büyüklüğün bir veya birden çok bağımsız değişkene göre durumunu izah eden gözlemler topluluğuna zaman serisi denir. Zaman serilerinde bağımsız değişken genellikle zamandır. Matematiksel olarak tanımlandığında (t) ye bağlı bir $g(t)$ fonksiyonu şeklinde tanımlanır. Veriler sürekli bir şekilde kaydediliyorsa elde edilen seriler sürekli seriler, belirli aralıklarda kaydediliyorsa ayrık seriler adını alır. Sürekli serilerdeki veri boyutunun fazla olması nedeniyle, içinden örnekleme yapılarak ayrık diziler oluşturulur. Günümüzde, birçok fiziksel büyüklük sürekli ve ayrık sinyal olarak gösterilmekte ve bu sinyallerin analizinde yaygın olarak Wavelet (dalgacık) analizi kullanılmaktadır. Bu çalışmada; sinyal analizinde sıkça kullanılan Wavelet dönüşümü ve uygulama alanları hakkında bilgi verilecektir.

2.Wavelet Dönüşümü

Wavelet (Dalgacık) dönüşümü, bir işaretin zaman-frekans analizi için kullanılan bir dönüşüm türüdür. Özellikle sismik verilerin incelenmesi sırasında yaşanan problemler “Sürekli Dalgacık Dönüşümünün” gelişmesine olanak sağlamıştır. Daha sonraları ise dalgacık analizinin çok çeşitli sinyal tiplerine uygulanabilir olduğu görülmüştür (Durand &Froment, 2001; Yong et all, 2009). Yapılan çalışmalarda sinyallerde süreksizlik tanısında (kalp grafiklerinin yorumlanması örnek verilebilir) ve sinyalden gürültü temizlemede dalgacık dönüşümünden önemli ölçüde yararlanılmıştır (Taswell 1999) Adından da anlaşıldığı gibi wavelet (dalgacık) dönüşümü dalgacıklar yardımı ile yapılmaktadır. Kısa zamanlı Fourier dönüşümüne (KZFD) benzer olarak dalgacık

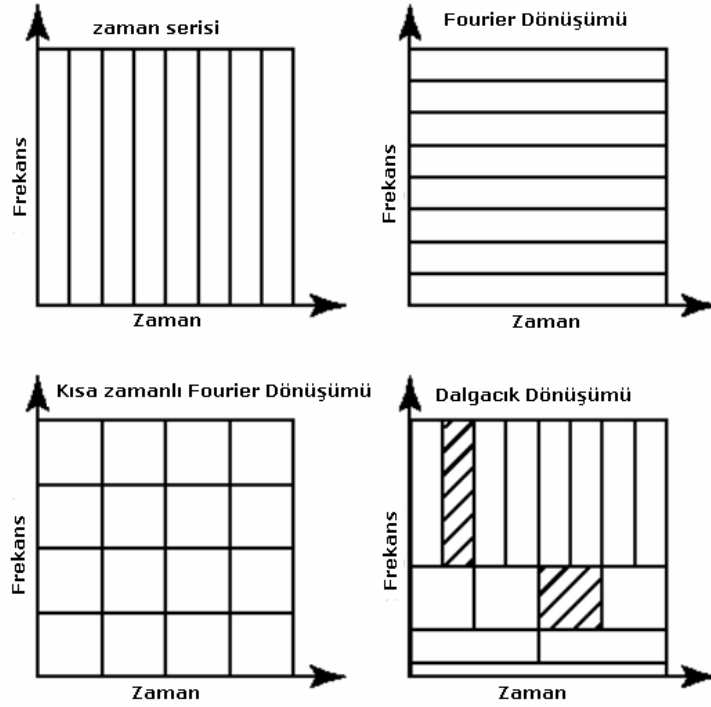
dönüşümünde pencere görevini ana dalgacık denilen bir fonksiyon üstlenir, fakat bu ana dalgacık dönüşüm işlemi süresince hem ölçeklenir hem de ötelenir. Ölçekleme dalğanın genişletilip daraltılmasına, öteleme ise zaman ekseninde dalğanın kaydırılmasına karşılık gelir (Arı et al 2008).

KZFD'de dönüşüm boyunca sabit kalan pencere fonksiyonunun genişliği wavelet (dalgacık) dönüşümünde sürekli değiştiğinden, hem zaman hem de frekans domeninin çözünürlüğü artmaktadır, bu da wavelet (dalgacık) dönüşümünü Fourier dönüşümünden daha üstün kılmaktadır. Dalgacık analizi; kısa zamanlı Fourier analizinin aksine zaman frekans alanını değil, zaman-ölçek alanını kullanır. Şekil 2.1 dalgacık analizi sonucunda sinyalde ölçek ve zaman değişimini göstermektedir.



Şekil 2.1. Dalgacık analizinde ölçek-zaman alanı.

Diğer taraftan Şekil 2.2'de Fourier, kısa zamanlı Fourier ve wavelet (dalgacık) dönüşümlerinin zaman-frekans domeninde çözünürlükleri göstermektedir. Kısaca özetlemek gerekirse; Fourier dönüşümü bize frekans bilgisini verir ama bu frekansların ne zaman oluştuğunu belirtemez. Kısa Zamanlı Fourier dönüşümünde zaman-frekans çözünürlüğü sabittir yani KZFD'de zaman penceresi bütün frekanslarda değişmeyen büyüklüktedir. Wavelet (dalgacık) dönüşümünde ise bu çözünürlük ayarlanabilmektedir.



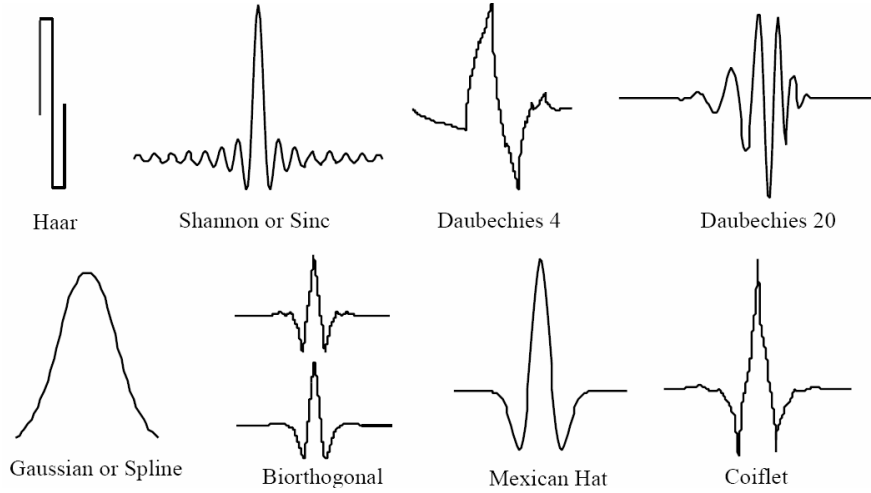
Şekil 2.2. Dönüşümlerin zaman-frekans çözünürlüğü bakımından karşılaştırma

Wavelet (dalgacık) dönüşümünün en önemli parametresi dalgacıktır. Fourier dönüşümündeki pencere fonksiyonunun görevini, wavelet (dalgacık) dönüşümünde ana dalgacık fonksiyonları yerine getirir. Bir fonksiyonun dalgacık olabilmesi, süresinin sınırlı ve ortalama değerinin sıfır olması koşullarına bağlıdır. Bu nedenle dalgacık fonksiyonu genlik ekseninin pozitif ve negatif yönlerinde salınım yapmalı ve bu salınım, zaman ekseninde ilerledikçe genlik ekseninde sifıra oturarak sona ermelidir. Sinüs ve kosinüs gibi normal bir dalga fonksiyonu ise genlik ekseninde salınım yapar ve sonsuz süreye sahiptir, yani $\pm\infty$ arasında sürekli salınım yapar. Bu nedenle de dalga ve dalgacık farklı kavramlardır. Farklı özellik ve kullanım amaçlarına sahip birçok ana dalgacık mevcuttur. Dalgacık terimi, küçük dalga anlamında dalgacık olarak ifade edilir. Buradaki küçüklük belirli uzunlukta pencere fonksiyonu olarak tanımlanabilir. Buradaki ana kelimesi ise bir ana fonksiyondan dönüşüm tekniği ile türetilip değişik alanları desteklemek için oluşturulan fonksiyonlardır. Diğer bir ifade ile ana dalgacık bir prototiptir. Dalgacık nitelik yönünden ele alınacak olursa aşağıdaki iki koşulu sağlayan bir gerçek değerli $\psi(x)$ fonksiyonu olması gerekir.

$$\left(\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(x) dx = 0\right) \quad (1)$$

$$\left(\int_{-\infty}^{+\infty} \psi^2(x) dx = 1\right) \quad (2)$$

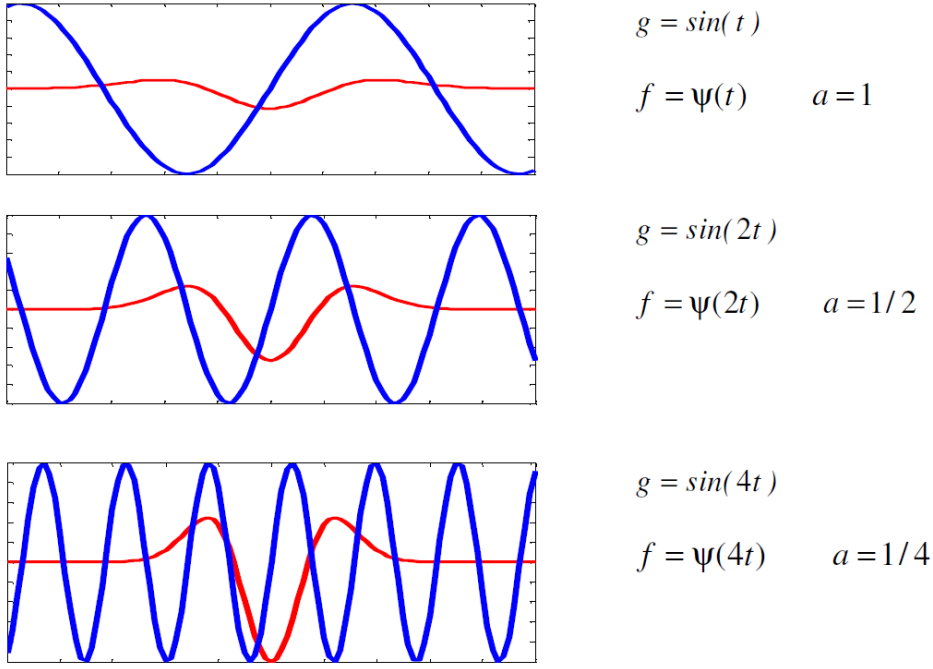
Dalgacık dönüşümünde kullanılan bazı ana dalgacık fonksiyonları Şekil 2.3'te verilmiştir. Şekil 2.3'ten de görüldüğü gibi ana dalgacıklar genlik ekseninde salınım yaparak sıfıra oturmaktadır.



Şekil 2.3. Örnek dalgacık şekilleri (Fugal 2016)

Wavelet (dalgacık) dönüşümünde ölçek parametresi 'a' ile gösterilir ve frekans ile ilişkilidir. Büyük ölçekler düşük frekanslara, küçük ölçekler de yüksek frekanslara karşılık düşerler. Dalgacık dönüşümü ile işaret analizi yapıldığında kullanılan ölçek küçük değerde ise bu durumda üzerinde çalışılan işaretle bulunan yüksek frekanslı bileşenler daha rahat ayırt edilebilirler. Bunun tersine ise ölçek büyük tutulduğunda düşük frekanslı işaretler daha kolay ayırt edilebilecektir.

Bu parametreler Şekil 2.4'de bir örnek üzerinde dalgacığa nasıl etki ettiği açıklanmaya çalışılmıştır. İlgili şekilde bir dalgacık üzerinde ölçeklemeyi belirleyen 'a' parametresinin 1, 1/2 ve 1/4 olarak seçimi durumunda dalgacık fonksiyonu gösterilmiştir. Aynı zamanda sinüsoidal bir sinyalde frekansın artırılması ile dalgacıkta ölçek azaltılmasının benzer olduğu da gösterilmeye çalışılmıştır.



Şekil 2.4. Ölçek α parametresinin 1, 1/2 ve 1/4 olarak seçimi.

Öteleme parametresi, Fourier dönüşümündeki pencerenin kaydırılması işlemi gibi düşünülebilir. KZFD'de işaretin seçilen pencere genişliği içinde kalan kısmının durağan olduğu kabul edilip işaretin sadece bu kısma Fourier dönüşümü uygulanmaktadır. Daha sonra pencere, genişliği bozulmadan k süresi kadar kaydırılıp bu kısım için Fourier dönüşümü uygulanarak işaretin sonuna kadar aynı süreç tekrar edilmektedir. Dalgacık dönüşümünde pencere görevini gören ana dalgacık fonksiyonu uygulamaya bağlı olarak seçildikten sonra işaretin başlangıç noktasına konumlandırılır. İşaretin ana dalgacık fonksiyonu tarafından kaplanan kısmı için dalgacık dönüşümü yapılır. Daha sonra ana dalgacık fonksiyonu kaydırılarak işaretin diğer kısımları için wavelet (dalgacık) dönüşümü uygulanır. Bu işlemler sinyal sonuna kadar tekrarlanır. Özetle, ölçekleme parametresi ana dalgacığı genişletip sıkıştırarak şeklini değiştirirken, öteleme parametresi zaman ekseninde kaydırarak konumunu değiştirir. Ölçekleme ve öteleme sırasında ana dalgacık enerjisi korunur. Bir ana dalgacığın başlangıçtaki enerjisi, ölçeklenmeye ve ötelenmeye tabi tutulmasının ardından aynı kalır (Altay 2010).

2.1. Sürekli Dalgacık Dönüşümü (SDD)

SDD, dalgacık fonksiyonunun kaydırılıp bir ölçek ile çarpılmasından sonra, zaman alanı boyunca toplanmasıyla elde edilir ve aşağıdaki gibi hesaplanır (Arı et al 2008).

$$SDD_{(s,\tau)} = \int_{-\infty}^{+\infty} g(t) \cdot \psi_{s,\tau}^*(t) dt \quad (3)$$

* : Kompleks eşleniği temsil eder.

$g(t)$: dönüşümü yapılacak fonksiyon

$\psi_{s,\tau}(t)$: Dalgacık ya da ana dalgacık fonksiyonu

τ : Kaydırma Parametresi

($\tau > 0$: zaman ekseninde sağa doğru kayma, $\tau < 0$: sola doğru kayma)

s : Ölçek Parametresi

($s > 1$: zaman ekseninde fonksiyon genişler ve genliği düşer)

($s < 1$: zaman ekseninde fonksiyon daralır ve genlik büyür)

($s < 0$: $t=0$ noktasına göre simetri alınır)

Dalgacık fonksiyonları, bir ana dalgacık fonksiyonundan ölçek ve kaydırma faktörlerinin kullanılmasıyla elde edilir, matematiksel olarak;

$$\psi_{s,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) \quad (4)$$

şeklinde tanımlanır. Burada $1/\sqrt{s}$ faktörü, farklı ölçeklere sahip normalizasyon faktörü olarak açıklanır. Bu eşitlik (32) eşitliğinde yerine konursa; (Arı et al 2008)

$$SDD_{(s,\tau)} = \frac{1}{\sqrt{s}} \int_{-\infty}^{+\infty} g(t) \cdot \psi_{s,\tau}^*\left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt \quad (5)$$

2.2. Ayrık Dalgacık Analizi (ADD)

Elde edilen tüm zaman dizilerinin veri sayısı arttığı zaman, analizin süresi ve hassasiyeti artar. Bunu engellemek için belirli ölçekte gruplar oluşturularak analiz yapılır. Genel olarak (en pratik ve en kullanışlı olan) s ve τ değerlerini ikinin kuvveti olacak şekilde tanımlamaktır. Bu şekilde yapılan dalgacık tanımlanması Ayrık Dalgacık Dönüşü (ADD) olarak adlandırılır. Matematiksel olarak sürekli dalgacık dönüşümünden hiçbir farkı

yoktur. Sadece hesap sınırı, dizinin zaman aralığına, ölçek-kaydırma değerleri de analistin tercihine bağlıdır. Bir zaman dizisinin ADD değeri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Arı et al 2008).

$$ADD_{\tau,s} = \psi(2^s t + \tau) \quad (6)$$

2.2.1. Dalgacık güç spektrumu (WPS-Wavelet Power Spectrum); belirli bir ölçek ve bölgedeki sinyal enerjisinin miktarı olarak tanımlanır ve SDD değerinin karesi $(SDD_{(s,\tau)})^2$ ile ifade edilir. Hem ölçeğe, hem zamana bağlı olan WPS değeri, bir yüzey tarafından gösterilir. Bu yüzeyin konturlarının alınarak bir düzleme çizilmesi, zaman-ölçek gösterimli dalgacık güç spektrumunu oluşturur.

WPS değeri, değişimin baskın modlarını tanımlamaktadır. Bu değer her ölçek için hesaplanmalıdır. Genellikle skolagram olarak ifade edilir ve farklı ölçek veya frekanslardaki değişimin dalgalanmasını iyi bir şekilde ifade tanımlar (Öner et al 2011).

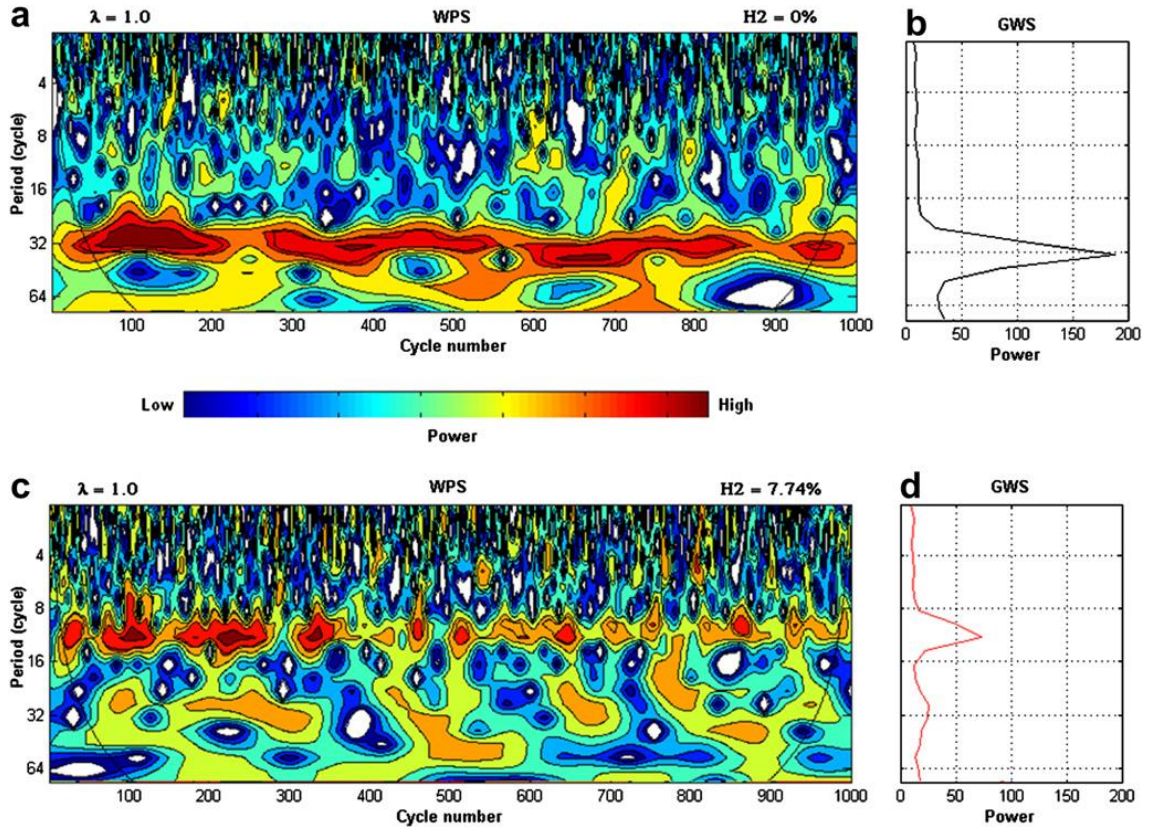
2.2.2. Global Dalgacık Spektrumu (GWS-Global Wavelet Spectrum); Zaman dizilerinin spektral özellikleri hakkındaki ilave bilgi, global dalgacık spektrum ile açıklanabilir. GWS tüm motor çevrimleri üzerindeki her bir ölçekteki WPS'nin ortalaması hesaplanarak elde edilmektedir. GWS aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\bar{W}_s^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |W_n(s)|^2 \quad (7)$$

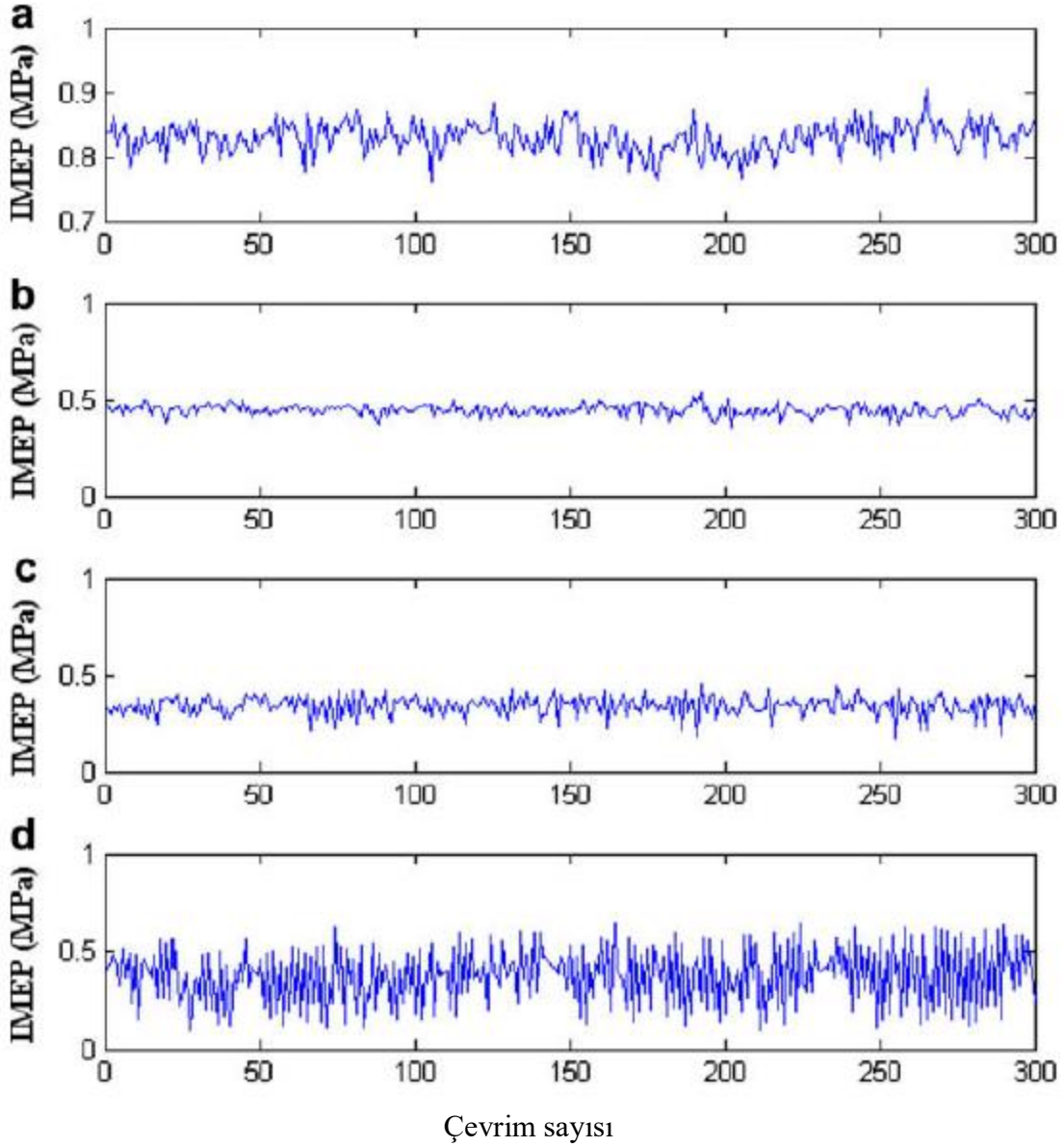
GWS, frekansın veya periyodun bir fonksiyonu olarak gücü gösterir ve zaman dizilerinin hassas Fourier spektrumuna bir örnektir. Değişimin baskın modlarının periyotları, GWS'nin değişken piklerinden tahmin edilmektedir (Öner et al 2011).

3. Wavelet Analiz Tekniğinin Farklı Uygulama Alanları

Ceviz et al (2012) çalışmalarında; fakir çalışma şartlarında benzin-hidrojen karışımının egzoz emisyonları, motor performansı ve çevrimsel farklara olan etkilerini araştırmışlardır. Hava fazlalık katsayısı (HFK) $\lambda = 1$, $\lambda = 1.1$, $\lambda = 1.2$ ve $\lambda = 1.3$ için kütleli olarak % 0, % 2.14, % 5.28 ve % 7.74 H₂ ilavesinin çevrimsel farklara etkileri incelenmiş ve %5.28 ve %7.74 hidrojen-benzin kütleli karışım oranlarında çevrimsel farkların, HFK'nın artması ile çok fazla değişmediği izlenmiş olup, yapılan bu hidrojen ilavelerinde çevrimsel farkların neredeyse HFK'dan bağımsız hale geldiği gözlenmiştir. (Şekil 3.1)

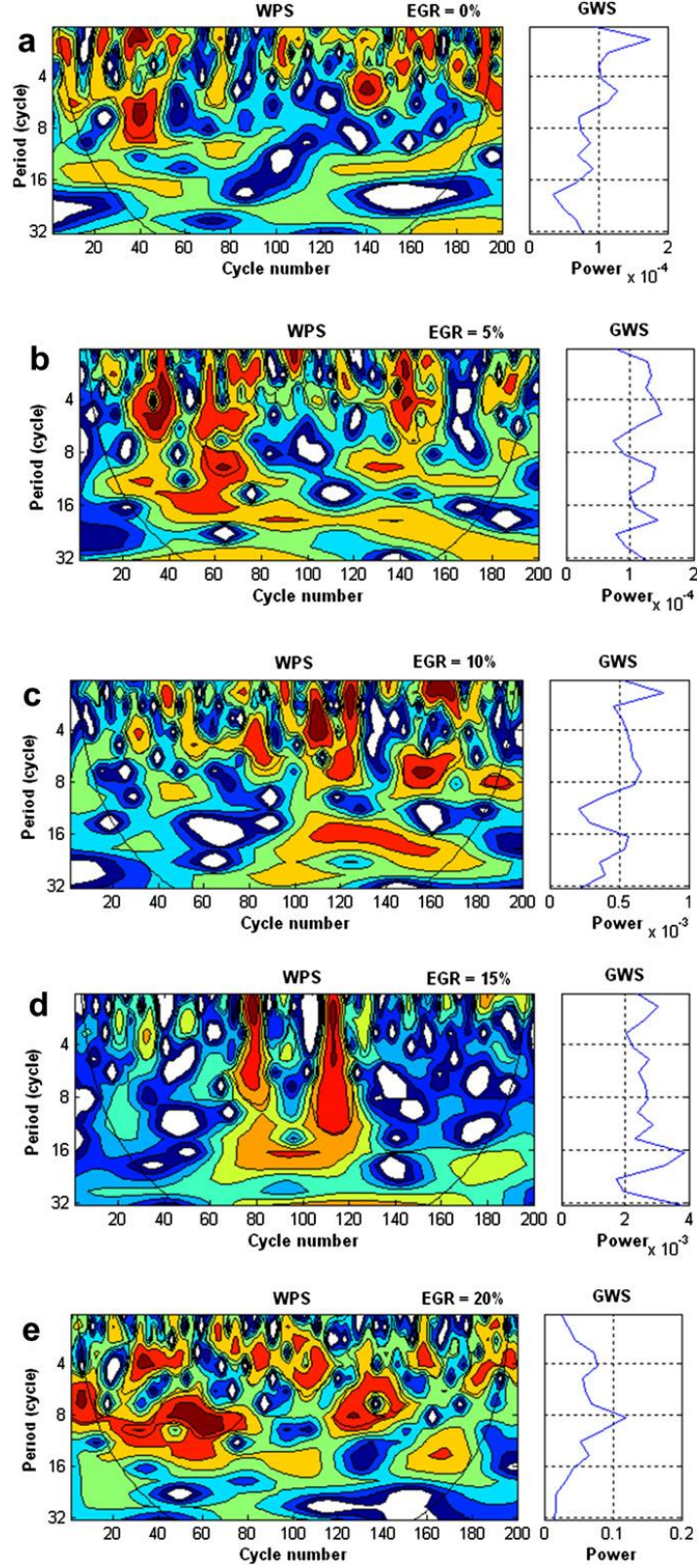


Şekil 3.1. (a) Hidrojen ilavesiz (b) % 7.74 Hidrojen ilaveli stokiyometrik yakıt hava karışımı için indike ortalama efektif basıncı zaman serisinin Wavelet güç spektrumu (WPS) ve global wavelet spektrumu (WPS)



Şekil 3.2. 4 ekivelans oranı için indike ortalama efektif basınçına ait zaman serileri (a) $\phi = 0.781$, (b) $\phi = 0.677$, (c) $\phi = 0.595$ ve (d) $\phi = 0.588$

Sen et al (2010) çalışmalarında; fakir yanma şartlarında bir doğalgaz motorunun basınç dalgalanmalarının analizini yapmışlar ve farklı ekivelans oranları için çevrimden çevrime olan indike ortalama efektif basınçtaki (IMEP) değişimleri incelemişlerdir. Bu çalışmada, her bir ekivelans oranı için, sürekli wavelet transformu kullanılarak dominant spektral modlar ve bu modların var olabileceği çevrim sayıları tespit edilmiştir. (Şekil 3.2)



Şekil 3.3. IMEP zaman serilerinin Wavelet güç spektrumu (WPS) ve global wavelet spektrumu (GWS) a. EGR'siz, b. EGR seviyesi %5, c. EGR seviyesi %10, d. EGR seviyesi %15, e. EGR seviyesi %20

Sen et al (2011) alışmalarında; bir doğalgaz motorunda çevrimsel farklar üzerine egzoz gazı resirklasyonunun (EGR) etkilerini araştırmışlardır. %5, %10, %15 ve %20'ye kadar değişen EGR seviyeleri için deneyler yapılmış ve 200 çevrim için indike ortalama efektif basıncına (IMEP) ait zaman serilerinin analizini yapmak için sürekli wavelet transformu kullanılmıştır. EGR seviyesi %20 olduğunda çevrimsel farkların önemli derecede arttığı gözlemlenmiştir.(şekil 3.3)

Sen et al (2007) alışmalarında; Sürekli wavelet transformunu kullanarak, Parkinson hastalığına sahip hastaların subtalamik çekirdeğinden kaydedilen yerel alan potansiyellerinin beta dalgalanmalarındaki kesikliğin varlığını tespit ettiler. Kesiklik davranışı bir zaman –frekans düzleminde yerel alan potansiyellerinin wavelet g sprekturumu yazdırarak tanımladılar.

Sen (2009) alışmasında; Güney okyanusundan elde edilen tarih öncesi kayıtların Wavelet analizini yapmışlardır. Bu analizi yaparlarken, Okyanus Sondaj programının 1089 ve 1094 mevkiilerinden 600.000 yıl boyunca biriken fosfor ve titanyum oranından elde edilen verilere sürekli wavelet dönüşümünü uygulamışlardır. Bu çalışmanın sonuçları; 1089 nolu okyanus sondaj kuyusundan alınan en güçlü fosfor çıktısının verileri en baskın tarihsel dönemin 100.000 yıl olduğunu gösterirken, 1094 nolu okyanus sondaj kuyusundan alınan fosfor çıktısı verileri ise en baskın tarihsel dönemin yaklaşık 82.000 yıl civarında olduğunu göstermiştir.

Demir (2008) alışmasında; kafa travması geçirmiş hastalardan elde edilen EEG sinyallerinin dalgacık dönüşümünü metoduyla hastaların travma derecesini belirleyecek bir metod geliştirilmiştir. Çalışmamızda 10 hastadan elde edilen toplam 192 adet EEG verisi kullanılmıştır. EEG verilerinin işlenmesinde ve dalgacık dönüşümünü metodunun uygulanmasında Matlab paket programı kullanılmıştır. Yapılan deneysel değerlendirmeler sonucunda geliştirilen metodun hekimlerin değerlendirmesi ile %73.96 oranında benzerlik gösterdiği bulunmuştur ($p < 0.001$). Bu sonuçlar doğrultusunda geliştirilen metod hekimlerin travma derecesini belirlemede bir destek sistem olarak kullanılabileceğini değerlendirdiler.

olak (2006) alışmasında; sinyal analizinde kullanılan en önemli metotlardan biri olan wavelet dnşmnn kullandı. Sismik sinyallerin yapısı ve bulunduğu frekans bandı dalgacık dönüşümünü uygulamaları için bu sinyal tipini önemli bir aday haline dönüştürmektedir. Özellikle alınan kayıtlarda gürültünün varlığı, bu sinyaller kullanılarak

yapılacak çözümlerde sismologlar için büyük bir problem teşkil etmektedir. Bu çalışmada özellikle sismolojide iki önemli parametre olan P ve S dalgalarının varış zamanlarının alınan gerçek kayıtlarda tespiti için dalgacık dönüşümü tabanlı bir çözüm gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ile ilk defa, sinyalin frekans değişimi ve buna bağlı olarak yüksek frekans bantlarında enerjisinde meydana gelen değişimi temel alan bir çözüm algoritması geliştirilmiştir. Alınan sonuçlarla tasarlanan algoritmanın ne kadar etkili olduğu ve sismologlar tarafından deprem çözümünde kullanılmayan verilerde bile oldukça başarılı olduğu kanıtlanmıştır.

Coşkun & Çömlekçi (2007) çalışmalarında; EKG sinyali kaydedilirken cep telefonundan meydana gelen gürültünün Wavelet analizi yöntemi ile süzülmesi incelenmiştir. EKG sinyalinin zaman-frekans karakteristiğinin tanımlanması için verimli bir metot olan Wavelet metodu sayesinde EKG sinyalin tüm özelliklerini, filtrelenmiş gürültüyü ve veri sıkıştırılmayı gözleyebildiler.

Vatansever et al (2009) çalışmalarında; güç kalitesi, günümüzde enerji sistemlerindeki en önemli parametrelerden biri olan ve bunu belirleyen faktörlerin başında gelen harmonikler üzerine çalıştılar. Harmonik analizi için Fourier dönüşümlerine dayanan klasik yöntemler kullanılmakta iken, bu çalışmada ise güç işaretlerine ait harmoniklerin genliklerinin hesaplanması için wavelet paket dönüşümü kullanılmıştır. Bunun yanında harmoniklere ait toplam harmonik bant distorsiyon (THBD), biçim faktörü (BF) ve tepe faktörü (TF) gibi parametrelerin de dalgacık paket tabanlı olarak hesaplanması için analitik ifadeler sunularak harmonik analizleri karşılaştırmalı olarak tasarlanan ve eğitim amaçlı da kullanılabilir grafiksel arayüz programıyla gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde uygun filtreler kullanılarak, güç işaretlerinin harmonik dağılımının dalgacık paket tabanlı olarak büyük doğrulukla, hızlı ve etkin bir şekilde hesaplanabileceği gösterilmiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

Yukarıda örneklerde de görüleceği üzere doğadaki sinyallerin büyük bir çoğunluğu, her an değişimin olduğu, durağan olmayan sinyallerdir. Bu sebeple, Fourier analizi, frekans bileşenlerinin hepsini kapsamaz. Wavelet dönüşümü veya wavelet analizi, şu ana kadar uygulanan analiz yöntemlerindeki noksanlıkları ortadan kaldırmak için kullanılan en son çözümdür (Valens 1999). Fourier dönüşümündeki zaman bilgisinin kaybolması problemini ortadan kaldıran wavelet analizi, bir sinyalin içerisindeki tüm frekans

bileşenlerinin hangi zamanlarda ve hangi genliklerde olduğunu tespit edebilir (Fidan 2006). Bütün bu avantajlarından dolayı Wavelet analizi yaygın olarak kullanılmakta ve pek çok alana uygulanmaktadır.

Kaynakça

Altay Ö (2010). Dalgacık analizi ile yüksek gerilim aygıtlarından Alınan işaretlerin değerlendirilmesi. Doktora tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Arı N, Özen S & Çolak Ö H (2008). Dalgacık Teorisi, Palme Yayıncılık, Ankara.

Coşkun Ö & Çömlekçi S (2007). Wavelet Teorisinin Medikal Alana Uygulanması Üzerine Bir Ön Çalışma, IX. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 317-320.

Ceviz M A, Sen A K, Küleri A K & Öner İ V (2012). Engine performance, exhaust emissions, and cyclic variations in a lean-burn SI engine fueled by gasoline/hydrogen blends. *Applied Thermal Engineering* 36: 314-324.

Çolak Ö H (2006). Dalgacık Dönüşümü Kullanılarak Sismik Sinyallerin Analizi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Demir Ö (2008). EEG Dalgalarının Wavelet (Dalgacık) Dönüşümü İle Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Durand S & Froment J (2001). Artifact Free Signal Denoising With Wavelets. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Salt Lake City, UT, USA, 07-11 May, pp. 3685 - 3688.

Fidan H (2006). Dalgacık Dönüşüm Tekniği ile Arıza Tespiti, Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Fugal D L (2016). Conceptual Wavelets In Digital Signal Processing, <http://www.conceptualwavelets.com> (Erişim tarihi: 16.06.2016)

Hsu H P (1995). Theory and Problems of Signals and Systems, McGraw-Hill,

Oppenheim A V, Willsky A S & Nawab S H (1997). Signals & Systems. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Öner İ V, Sen A K & Ceviz M A (2011). Wavelet Analiz Tekniği İle Zaman Serisi Analizi. ULİBTK'11 18. Ulusal Isı Bilim ve Tekniği Kongresi, 07-10 Eylül, Zonguldak, TÜRKİYE.

Sen A K & Dostrovsky J O (2007). Evidence of intermittency in the local field potentials recorded from patients with Parkinson's disease: a wavelet-based approach. *Computational and Mathematical Methods in Medicine* 8(3):165-171.

Sen A K (2009). Temporal Variations of Submillennial Periodicities in Sedimentary Endogenic Calcite from Lake Edward (Central Africa) During the Late Holocene. *International Association for Mathematical Geology* 41: 43-49.

Sen A K, Litak G, Yao B-F & Li G-X (2010). Analysis of pressure fluctuations in a natural gas engine under lean burn conditions. *Applied Thermal Engineering* 30: 776-779.

Sen A K, Ash S K, Huang B & Huang Z, (2011). Effect of exhaust gas recirculation on the cycle-to-cycle variations in a natural gas spark ignition engine. *Applied Thermal Engineering* 31: 2247-2253.

Taswell C (1999). The What, How, and Why of Wavelet Shrinkage Denoising. Technical Report CT-1998-09, original: 10/13/98, revision: 01/25 /99.

Valens C (1999). A Really Friendly Guide to Wavelets. <http://perso.wanadoo.fr/polyvalens/clemens/wavelets/wavelets.html>(Erişim tarihi: 16.06.2016)

Vatansever F, Uyaroğlu Y & Özdem A (2009). Dalgacık Paket Tabanlı Harmonik Analizi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük, 13-15 Mayıs, (IATS'09)

Yong-xiang Z, Xiao-xu Z, Hui-mei Y & Wei-gong Z (2009). Wavelet Packet Threshold Approach to Denoising Piezoelectricity Gyro Signal. International Conference on Computer Engineering and Technology ICCET 09, Singapore, 22-24 January, pp. 266 - 269.