

## Disk Fren Sistemlerinde Dalgacık Tepeleri Yöntemi ile Ses Analizi

Zeynep ERTEKİN<sup>\*1</sup>, Nalan ÖZKURT<sup>1</sup>, Cem YILMAZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Yaşar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İzmir

<sup>2</sup>Ege Fren Sanayi ve Ticaret A.Ş., İzmir

Geliş tarihi: 26.06.2017

Kabul tarihi: 19.12.2017

### Öz

Bu çalışmada hatalı disk fren sistemlerinden gelen seslerin dalgacık tepeleri yaklaşımı ile analizi gerçekleştirilmiştir. Bu sesler iki adet Norsonic Type 1228 mikrofon ile laboratuvar ortamında ve araç üzerinde kaydedilmiştir. Bir veri toplama kartı aracılığı ile bilgisayara aktarılan ses kayıtları Matlab ile analiz edilmiş, normal fren sesleri ile istenmeyen sesleri ayırt etmek için Dalgacık Tepeleri yaklaşımı kullanılmıştır ve fren seslerinin dalgacık tepesi matrisleri için entropi değerleri bulunmuştur. İnceleme sonucunda hatalı frenlerden gelen sinyallerden hesaplanan entropilerinin daha yüksek olduğu ve bu değerlerin ayırıcı bir öznelik olarak hata analizinde kullanılabileceği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ses işleme, Dalgacık analizi, Disk fren sistemi, Entropi

## Sound Analysis of Disc Brake Systems using Wavelet-Ridges Method

### Abstract

In this work, the sounds from faulty disc brake system have been analyzed by wavelet ridge approach. The sounds have been acquired by two identical Norsonic Type 1228 microphones on vehicle in the lab environment. The data transferred into computer via data acquisition board was analyzed in Matlab by wavelet ridge approach to discriminate normal brake sound from the faulty one; the entropy of wavelet ridge matrix have been calculated. All in all, it has been observed that the calculated entropies collected from the faulty brake is greater than the normal one, and it can be used as a discriminative feature in the fault analysis.

**Keywords:** Audio processing, Wavelet analysis, Disc brake system, Entropy

---

\*Corresponding author (Sorumlu yazar): Zeynep ERTEKİN, zeynep.ertekin@yasar.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Fren sistemi şüphesiz ki bir otomobildeki en önemli kontrol mekanizmasıdır. Güvenlik açısından fren sistemlerindeki hataların bulunması son derece önemlidir. Genellikle fren sistemi ile ilgili bir arıza olduğunda araç üzerinde yapılan testlerden sonra fren sistemi sökölüp fiziksel bir arıza ile ilgili incelemeler yapılmaktadır. Bu da aracın uzun süre kullanılmaması anlamına gelmektedir. Bu yüzden de araç üzerinden toplanan titreşim veya ses sinyallerinin incelenmesi ile hızlı ve güvenilir hata tespiti hem kullanıcı hem de servis sağlayıcı firma açısından avantaj sağlayacaktır.

Fren kusurlarının belirlenmesi için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Jegadeeshwaran ve Sugumaran [2] titreşim sinyallerinin analizini yaparak bir hidrolik fren sistemindeki hataları bulmuşlardır. Bu çalışmada fren kusurlarının belirlenmesinde klon seçimi sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Sinyaller bir piezo elektrik dönüştürücü aracılığı ile toplanmış, titreşim sinyallerinden çıkarılan istatistiksel parametreler değerlendirilmiştir. Aynı yazarlar, bir başka çalışmada hidrolik fren sistemlerinde hata tespitinde karar ağacı yöntemini kullanmışlar, standart hata, varyans, eğrilik, standart sapma, maksimum, minimum, medyan, ortalama değer ve aralık parametrelerini değerlendirmişlerdir [3]. Liu ve arkadaşları [4] yüksek hızlı trenlerin elektro-pnömatik fren sistemlerinde ortalama, varyans, ayrıştırılabilirlik öznelikleri kullanılarak destek vektör makinesi yaklaşımını kullanmışlar, özellik ve vektör seçimi, model yapılandırma ve karar sınırlarını 15 adet veri seti ile kıyaslayarak sınıflandırma yapmışlardır.

Fren sistemlerinin incelenmesinde ses sinyallerinin analizi gelecek vaat eden bir yaklaşımdır. Ses dalgalarını değerlendirmede dalgacık dönüşümü sıklıkla kullanılmaktadır. Fraser ve arkadaşları [5], dalgacık analizini türbülant sulu ortamlarda akustik hedef tayini için, Beloiu ve İbrahim [6] ise disk fren sistemlerinde, fren ve pedleri arasındaki sürtünmeyi analitik ve deneysel olarak analiz etmede zaman-frekans yaklaşımını kullanmıştır. Dalgacık analizi metal levhaların baskılanmasında

olabilecek muhtemel hataların belirlenmesinde [7], titreşim ve ses sinyallerini analizi yapılarak, indüksiyon motorlarında hata tespitinde de uygulama alanı bulmuştur [8].

Rhee ve arkadaşları [9], frenlerden gelen ses ve titreşim problemlerini iki ana kategoriye ayırmışlardır. Bunlar 100-1000 Hz arasında oluşan düşük frekanslı titreşimler ve 1000-18000 Hz arasındaki orta ve yüksek frekanslı titreşimlerdir. Aynı çalışmada düşük frekanslı titreşimlerin nedenlerinin fren parçalarının ölçüsel varyasyonlarının olacağından bahsedilmiştir. Yapılan saha testlerinde Rhee ve arkadaşlarının belirttiği gibi sürücü, ses ile beraber titreşimi elleri ve ayaklarında hissettiğini belirtmiştir. Toplanan ses ve titreşim verileri incelendiğinde de titreşimin 1000 Hz'in altında olduğu görülmüştür. Problemin çözümü aşamasında da aynı çalışma referans alınarak fren üzerinde ölçüsel düzeltmeler ve tolerans daraltmaları yapılarak problem çözülmüştür.

Bu çalışmaya konu olan arızada ise sürücüler tarafından, araç hareketsiz olsa dahi, frene basıldığı esnada rahatsız edici bir ses çıktığı rapor edilmiştir. Fren sonraki bölümlerde açıklandığı gibi içinde çok sayıda eleman bulunduran karmaşık bir yapıya sahiptir ve frene basıldığı anda içindeki parçaların hareketi ve sürtünmesi istenmeyen bu sesi oluşturmaktadır. Bu çalışmada disk fren sisteminden gelen sesleri değerlendirmede dalgacık tepe analizi yaklaşımı uygulanmıştır. Ses kayıtları, frene basıldığında normal fren sesi dışında istenmeyen bir ses çıkaran hatalı bir frenden ve ancak deneyimli dinleyicilerin fark edebileceği çok hafif bir ses çıkaran bir başka disk fren üzerinden, mikrofon ile laboratuvar ortamında ve araç üzerinde gerçekleştirilmiştir. Frenlerde ses dışında başka bir fiziksel kusur bulunamamıştır. Disk frenden 150 saniye süre ile ses verisi kayıt edilmiştir. Bir veri toplama kartı aracılığı ile bilgisayara aktarılan ses kayıtları uygun Matlab kodları aracılığı ile analiz edilmiştir. Normal fren sesleri ile istenmeyen sesleri ayırt etmek için Dalgacık Tepeleri yaklaşımı kullanılmıştır. Beklenmeyen seslerin dalgacık tepeleri yöntemiyle analizinden elde ettiğimiz sonuçlar ayrıca dalgacık tepelerinin matrislerinin

entropisi ile sesli ve sessiz frenlerde doğrulanmıştır.

Sonraki bölümlerde kısaca disk fren sistemleri ve dalgacık dönüşümü yöntemlerinin tanıtılmasının ardından, 3. bölümde veri toplama ve analiz yöntemleri anlatılarak elde edilen sonuçlar sunulacaktır. Son bölümde ise sonuçlar yorumlanacak ve gelecek çalışmalardan bahsedilecektir.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Disk Fren Sistemi

Frenler çalışma mekanizmalarına göre; sürtünme, pompalama ve elektromanyetik esaslı olarak sınıflandırılabilir. Bazen bir fren sistemi söz edilen mekanizmaların bir kombinasyonunu da kullanıyor olabilir. Hareket etmekte olan bir aracı yavaşlatma veya durdurmada; mekanik, hidrolik, pnömatik veya elektromanyetik güç kullanılır. Yakın gelecekte konvansiyonel hidrolik fren sistemlerinin tel ile çalışan elektriksel sistemlere dönüşmesi de muhtemeldir [1].

Havalı disk frenleri, pedala basılması anında uygulanan kuvvetin pnömatik bir mekanizma ile fren disklerine ulaştırılması esasına dayanan karmaşık bir mekanizmadır. Balata, fren pabucu, diskler ve pistonlar sistemin en önemli parçalarıdır. Balata, tekerlek mili üzerinde duran, yarım ay şeklinde bir yapıdır. Yavaş aşınan, suya ve yağa dayanıklı, sıcak ve soğuk havada büyük bir sürtünme katsayısına sahip bir maddedir. Balataların sürtünme yüzeyi, rotor yüzeyidir ve frenleme etkisini oluşturan parçadır [10].

Frenin yapısında bulunan havalı pistonu uygulanan güç, şaft düzeneği aracılığı ile yükseltilir. Fren pedlerinin sürtünmesiyle açığa çıkan ve rotor üzerinde hissedilen güç, aksa sert bir şekilde bağlanmış olan pedlerin ucu üzerinden taşıyıcıya aktarılır [11].

Araç çalışmaya başladığında, kompresör aracılığı ile frenin hava depolarına basınçlı hava aktarılır. Bu basınçlı hava fren pedalı ile kontrol

edilmektedir. Frene basıldığında anda pedalın altında bulunan fren sübabı çalışır ve basınçlı havanın frene gitmesini sağlar. Frene iletilen basınçlı hava balataların rotora doğru kapanmasını sağlayarak frenleme işlemini gerçekleştirir. Basınçlı hava frenden tahliye edilerek, balataların başlangıç pozisyonuna dönmesi sağlanır. Bu şekilde sistem tekrar fren yapmaya hazır hale gelmiş olur.

### 2.2. Dalgacık Analizi ve Dalgacık Tepeleri

Dalgacıklar, uygunluk koşulunu sağlayan bir ana dalgacığın ölçeklenmiş ve kaydırılmış versiyonlarından oluşmuş sinyaller ailesidir [12].  $s(t) \in L^2(\mathbb{R})$  şeklinde sonlu enerjiye sahip bir sinyalin sürekli dalgacık dönüşümü (SDD) katsayıları aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$W_s(a,b;\psi) \triangleq \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \psi_{a,b}^*(t) dt \quad (1)$$

Burada a ve b ölçeklendirme ve kaydırma katsayılarını "\*" karmaşık eşleniğini gösterirken, ölçeklendirilmiş ve kaydırılmış dalgacık,

$$\psi_{a,b}(t) \triangleq \frac{1}{a^{1/2}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad a \in \mathbb{R}^+, b \in \mathbb{R} \quad (2)$$

burada  $\psi(\cdot)$  ana dalgacıktır. Ana dalgacık kabul edilebilirlik koşulunu sağlamalıdır.

$$0 < c_\psi \triangleq \int_0^\infty |\hat{\psi}(\omega)|^2 \frac{d\omega}{|\omega|} < \infty \quad (3)$$

Burada  $\hat{\psi}(\omega)$  ana dalgacığın Fourier dönüşümüdür.

Yerel zaman-frekans enerji yoğunluğunu ifade eden skalogram,  $P_s(a,b;\psi)$  dalgacık katsayıları kullanılarak

$$P_s(a,b;\psi) \triangleq |W_s(a,b;\psi)|^2 \quad (4)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Skalogram sinyal enerjisinin zaman-frekans düzleminde nasıl dağıldığını gösterir.

İşlem yükünü azaltmak amacıyla ikili SDD katsayıları sınırlı sayıda ölçekleme ve kaydırma katsayıları ile aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\psi_{m,n}(t) = 2^{-\frac{m}{2}} \psi(2^{-m}t - n) \quad m, n \in \mathbb{Z} \quad (5) \quad \Sigma = \begin{bmatrix} \Sigma_s & 0 \\ 0 & \Sigma_n \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$c_{m,n} \triangleq \langle x(t), \psi_{m,n}(t) \rangle \quad (6) \quad U = [U_s \quad U_n] \quad (12)$$

$$\text{Skalogram matrisi} \quad V = [V_s \quad V_n] \quad (13)$$

$$P = [p_{mn}]_{M \times N} \quad (7) \quad \text{Burada } U_s \in \mathbb{R}^{M \times S}, \Sigma_s \in \mathbb{R}^{S \times S} \text{ ve } V_s \in \mathbb{R}^{N \times S}$$

$$p_{mn} \triangleq |c_{mn}|^2 \quad (8) \quad S \leq K = \text{rank}(P) \text{ olmak üzere sinyal bileşenlerini}$$

şeklinde tanımlanmıştır.

Bu çalışmada dalgacık olarak aşağıdaki standart kompleks Morlet ana dalgacığı seçilmiştir.

$$\psi(t) = \frac{1}{2\pi} \cdot e^{j\omega_0 t} e^{-t^2/2} \quad (9)$$

Burada  $\omega_0$  dalgacığın merkez frekansını göstermektedir [12]. Karmaşık Morlet dalgacığının kullanılması ile dalgacık katsayılarının genlik ve fazı ayrı ayrı incelenebilmektedir.

Temel olarak dalgacık tepeleri (wavelet ridge), skalogramda enerjinin yoğunlaştığı bölgeleri işaret etmektedir ve sinyalin anlık frekansına belli bir çözünürlükle yakınsar. Bu çalışmada tekil değer ayrıştırma (Singular Value Decomposition, SVD) tabanlı tepe algılama (ridge detection) algoritması kullanılmıştır [13]. Bu yöntem skalogram matrisinin  $P \in \mathbb{R}^{M \times N}$  ana sinyal bileşenleri ve gürültü bileşenleri olarak iki kısma ayrılması ve daha sonra sinyal kısmı üzerinden dalgacık tepelerinin her kaydırma noktası için en büyük skalogram katsayılarının bulunması esasına dayanır. Skalogram matrisi tekil değerlere aşağıdaki şekilde ayrıştırılabilir.

$$P = U \Sigma V^T \quad (10)$$

Burada tekil değer matrisi  $\Sigma \in \mathbb{R}^{M \times N}$  ortogonal matrisler  $U \in \mathbb{R}^{M \times M}$  ve  $V \in \mathbb{R}^{N \times N}$  şeklindedir. Tekil değerler diyagonal olarak en büyükten en küçüğe doğru yerleştiklerinden ve gürültü enerjisinin sinyal enerjisi karşısında küçük olduğu varsayımıyla matrisler iki kısımda ayrıştırılabilir.

gösterirken, gürültü ve önemli olmayan bileşenler ise,  $\Sigma_n \in \mathbb{R}^{M-S \times N-S}$ ,  $U_n \in \mathbb{R}^{M \times M-S}$  ve  $V_n \in \mathbb{R}^{N \times N-S}$  terimleri içinde yer alır.

Sinyal bileşenlerini işaret eden tekil değerlerin sayısı, tekil değerlerle tanımlanan sinyal bileşenlerinin enerjisinin toplam enerjiye oranı dikkate alınarak tanımlanabilir.

$$\Gamma_k \triangleq \frac{\sigma_k^2}{E_T} \quad (14)$$

Burada  $E_T$  skalogram matrisinin toplam enerjisi ve  $\sigma_k^2$  ise  $k$ . tekil değer enerjisidir.

Verilen gürültü eşliğinden büyük olan tekil değerler  $\varepsilon (0 < \varepsilon \leq 1)$ ;  $r_1 \geq r_2 \geq \dots \geq r_S \geq \varepsilon$   $\Sigma_s$  içerisinde yer almıştır. Geriye kalan  $K-S$  tekli değerler minör enerji bileşenlerine ait gürültü olarak düşünülmüştür. Sinyal bileşenleri için skalogram matrisi

$$P_s = U_s \Sigma_s V_s^T \quad (15)$$

şeklinde elde edilir. Dalgacık tepeleri ise her bir kaydırma noktası için bulunan yerel en büyük noktaları olarak tanımlanır [12].

### 3. ANALİZ VE SONUÇLAR

Bu çalışmada az sesli (istenmeyen ses vermeyen) ve sesli fren (fiziksel olarak bir hata gözlemlenemeyen ama müşteriler tarafından sesi yüzünden şikayet edilen) olmak üzere, Ege Fren tarafından üretilmiş iki adet havalı disk frenin ses sinyalleri incelenmiştir. İki fren üzerinden toplam 150 saniye uzunlukta ses kaydı frenin üzerine yerleştirilmiş iki adet Norsonic Type 1228 mikrofon yoluyla imc CRONOSflex (4 kanallı ses

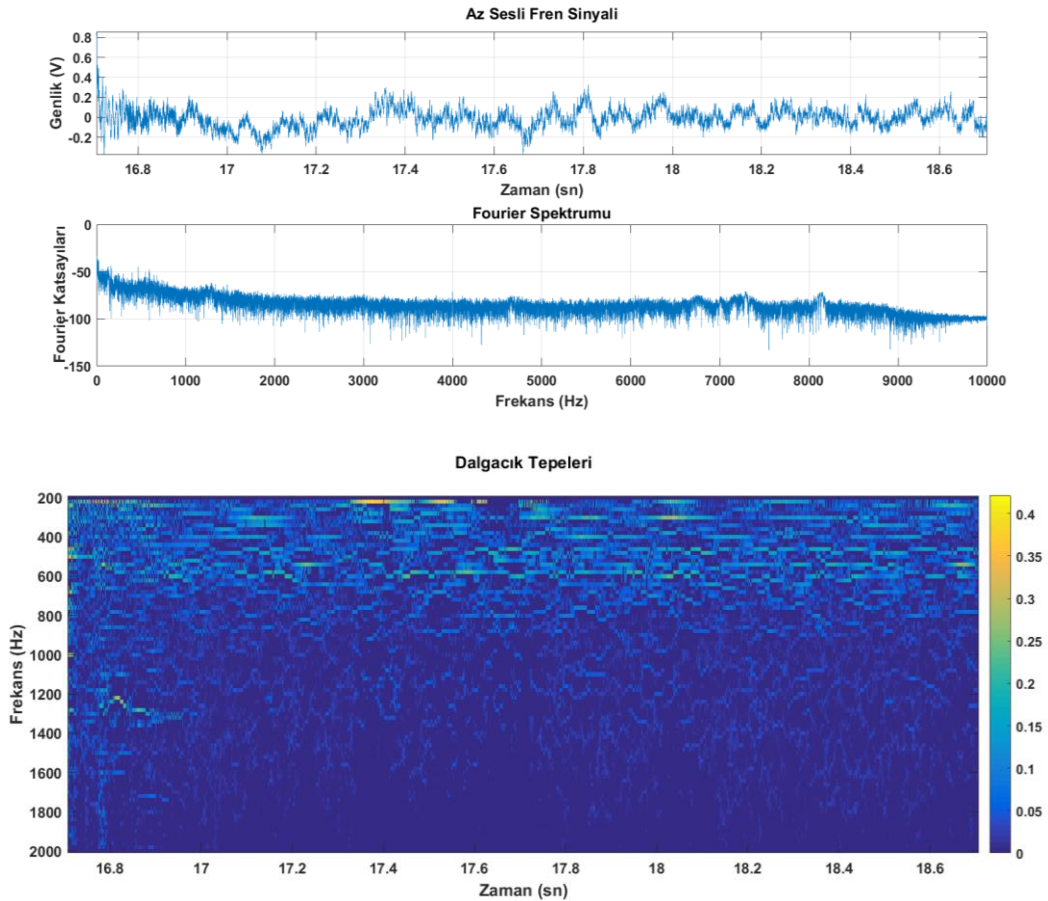
ölçme modülü) veri toplama ünitesi ile 16 bit çözünürlük, 20 kHz örnekleme hızı ile alınmış ve MATLAB yazılımı içerisinde analizleri tamamlanmıştır.

Her bir frene basılma anı, az sesli ve sesli frenlerde tespit edilmiş ve iki frene basılma anı arasındaki süreç fren aralığı olarak adlandırılmıştır. Gerek farklı frekans modülasyonuna sahip olması gerekse katsayıların genliği ve fazı üzerinden işlem yapabilme olanağının olması sebebiyle Morlet dalgacığı sürekli dalgacık dönüşümünde kullanılmıştır.

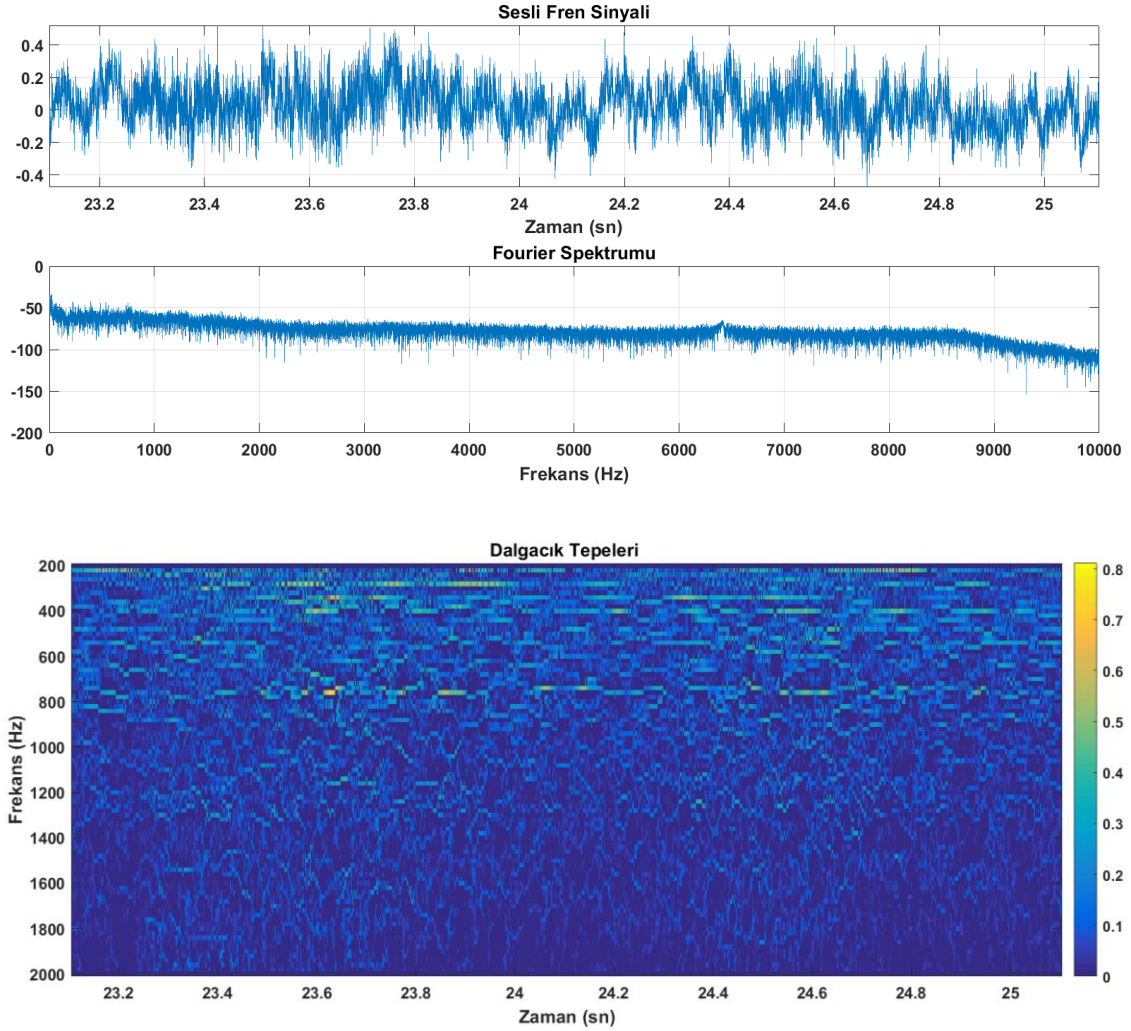
Sabit örnekleme aralığında az sesli fren için 40, sesli fren için 30 kez frene basılma ve ardından 2 saniye'lik kayıt üzerine sürekli dalgacık

dönüşümü uygulanmıştır. Merkez frekansı 10 Hz, bant genişliği 1 Hz olan kompleks Morlet dalgacığının zaman-frekans ortamında en iyi çözünürlüğü sağladığı tespit edilmiş, sinyal enerjisinin çoğunu kapsayan 400 Hz-2 kHz frekans bandında analiz yapılmıştır.

Dalgacık tepeleri elde edilirken gürültü eşiği  $\epsilon=0,01$  olarak kullanılmış, yani sinyale %1 üzerinde enerji katkısı yapan tüm sinyal bileşenleri kullanılmıştır. Şekil 1 ile Şekil 2'de iki farklı tip hatalı disk fren için tek bir fren aralığı için sinyal, Fourier spektrumu ve dalgacık tepeleri görülmektedir. Az sesli ve sesli fren sinyallerinin sadece zaman ve sadece frekans ortamında belirgin bir farklılık gözlenmezken, dalgacık tepelerinde farklı bir yapı bulunmaktadır.



Şekil 1. Az sesli frene ait ses kaydı, Fourier spektrumu ve dalgacık tepeleri



Şekil 2. Sesli frene ait ses kaydı, Fourier spektrumu ve dalgacık tepeleri

Grafiklerde mavi renk dalgacık tepesi ya da sinyal enerjisi olmadığını ifade ederken, açık renkler dalgacık tepelerini göstermektedir. Her iki fren sesinde de yaklaşık olarak 1 kHz frekansına kadar düşük frekanslı ve tüm zaman aralıklarında devam eden sinyal bileşenleri bulunmaktadır. 1-2 kHz aralığında ise az sesli frende belirgin bir enerji dağılımı görünmezken, sesli frende bu aralıkta da oldukça yoğun sinyal bileşenleri bulunmaktadır.

Elde edilen tüm fren aralıkları için benzer bir yapı elde edilmiştir. Bu sonuçların niteliksel incelemesinin yanı sıra niceliksel olarak da

karşılaştırmak için, dalgacık tepeleri matrisi bir imge olarak değerlendirilip, imge entropisi elde edilmiştir.

Dijital bir görüntüde  $r_k$  yoğunluğu veya gri seviyesinin oluşma olasılığı

$$p_r(r_k) = \frac{n_k}{MN} \quad k=0, 1, 2, \dots, L-1 \quad (16)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $MN$  görüntüdeki piksellerin toplam sayısı,  $n_k$  ise  $r_k$  yoğunluğuna sahip olan piksellerin sayısı ve  $L$  görüntüdeki olası

yoğunluk seviyelerini göstermektedir.  $p_r(r_k)$  nin  $r_k$  ya göre değişimi histogram grafiğini vermektedir.

İmgelerdeki karmaşıklık belirleniminin bir ölçütü de entropidir. Elde edilen  $p_r(r_k)$  olasılıkları kullanılarak entropi

$$\tilde{H} = - \sum_{k=0}^{L-1} p_r(r_k) \log_2 p_r(r_k) \quad (17)$$

şeklinde ifade edilir. Ortalama içerilen bilgi bit cinsinden olduğu için, 2 tabanında logaritma ile ifade edilmiştir [14].

Az sesli ve sesli fren kayıtlarına ait dalgacık tepeleri matrisi bir imge matrisi olarak düşünüldüğünde, sesli ve az sesli frenlere ait dalgacık tepesi imgelerinin entropi değerleri her bir fren sinyali için hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler de gözlem sonuçlarını desteklemektedir.

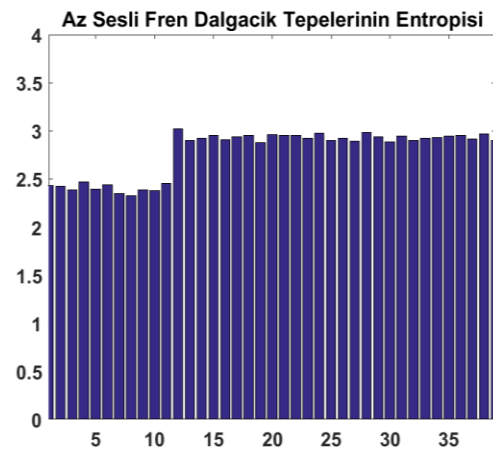
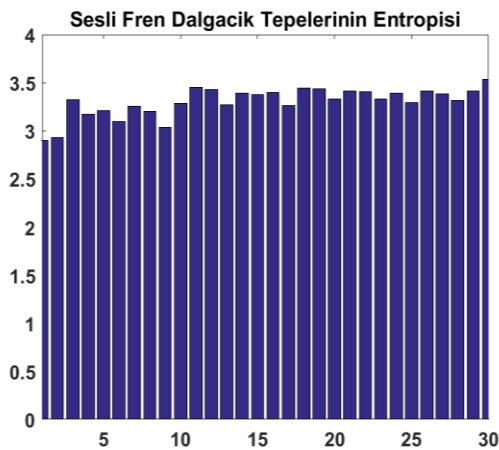
Şekil 5’de, az sesli frenin dalgacık tepelerine ait entropi değerleri 2,5-3 bandında gözlenmektedir. Elde bulunan örneklerde az sesli frene ait ilk 14 entropi değerinin geri kalandan daha düşük olduğu gözlenmiştir. Kayıtlar dinlendiğinde frene basılış sıklıkları ve frene basma uzunluklarının farklı olduğu dolayısıyla sesin ayırt edilebilirliğinin de değiştiği gözlenmiştir.

Sesli fren kaydına ait dalgacık tepelerinin entropi değerleri 3-3,5 bandında değer almaktadır. Yani

sesli frende gözlemlenen bozuk fren sesi sinyalin karmaşıklığını artırmıştır. Az sesli frene ait entropilerin ortalaması 2,78; sesli frene ait entropilerin ortalaması 3,30 iken az sesli ve sesli frene ait entropilerin standart sapması sırasıyla 0,24 ve 0,15’tir.

#### 4. TARTIŞMA VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada hatalı disk frenlerde oluşan fren sesi dalgacık tepeleri yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Az sesli ve sesli frenlerde yapılan analizler sonucunda fren sesindeki bu değişikliğin sadece zaman veya sadece frekans ortamında ayrıntılı gözlemlenemediği, dalgacık tepeleri analizi yapıldığında aralarındaki farkın daha anlaşılır olduğu saptanmıştır. Sesli fren sinyallerinin daha karmaşık olduğunun niteliksel bir göstergesi olarak kullanılan entropi değerlerinde de açık bir ayırım gözlenmiştir. Bu nedenle dalgacık dönüşümü ve dalgacık tepeleri analizinin disk frenlerde hata analizi konusunda ümit vadeden bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır. Frekans ve dalgacık ortamından elde edilen entropi ile diğer istatistiksel parametrelerin otomatik veya yarı-otomatik sınıflandırmada öznelik olarak kullanılması konusunda çalışmalar yapılacaktır. Bu sayede fren arızalarının araç üzerinde tespiti mümkün olabilecektir.



Şekil 3. Sesli fren ve az sesli frene ait dalgacık tepelerinin entropileri.

## 5. KAYNAKLAR

1. Hwang, W., Han, K., Huh, K., Jung, J., Kim, M., 2011. Fault Detection and Diagnosis of the Electromechanical Brake Based on Observer and Parity Space. 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems Washington, DC, USA. October 5-7, 2011.
2. Jegadeeshwaran, R., Sugumaran, V., 2015. Brake fault diagnosis using Clonal Selection Classification Algorithm (CSCA) – A Statistical Learning Approach, Engineering Science and Technology, an International Journal, Elsevier, Vol. 18, 14-23.
3. Jegadeeshwaran, R., Sugumaran, V., 2013. Comparative Study of Decision Tree Classifier and Best First Tree Classifier for Fault Diagnosis of Automobile Hydraulic Brake System using Statistical Features. Measurement, Elsevier, 3247-3260.
4. Liu, J., Li, Y., F., Zio, E., 2017. A SVM Framework for Fault Detection of the Braking System in a High-Speed Train. Mechanical Systems and Signal Processing, Elsevier, Vol. 87, 401-409.
5. Fraser, S., Nikora, V., Williamson, B., J., Scott, B., E., 2017. Automatic Active Acoustic Target Detection in Turbulent Aquatic Environments. Methods, Wiley, 15(2), 184-199.
6. Beloiu, D., M., Ibrahim, R., A., 2006. Analytical and Experimental Investigations of Disc Brake Noise Using the Time Frequency Domain. Structural Control and Health Monitoring, Wiley, Vol. 13, 277-300.
7. Xijun, ZHU., Jinyun, G., Chongyou, W., 2008. Control and Decision Conference. Prediction and Diagnosis of Mine Hoist Fault Based on Wavelet Neural Network. CCDC 2008. Chinese, IEEE, 598-601.
8. Wald, R., Khoshgoftaar, T., Sloan, J., C., 2011. Information Reuse and Integration (IRI), International Conference, IEEE, 366-371, Las Vegas, NV, USA
9. Rhee, S.K., Tsang, P.H.S., Wang, Y.S., 1989. Friction Induced Noise and Vibration of Disc Brakes, Allied-Signal Automotive Technical Center, 900 West Maple Road, MI 48084, USA., Elsevier, 133(1), 39-45.
10. <https://otomobilteknoloji.blogspot.com.tr/2016/08/kampanali-fren-sistemi-parcalari-calismasi.html>, 31.08.2016
11. Meritor Inc. Air Disc Brake Service Manual ELSA 195, 225 & 250 Issued 07/2014, 20.
12. Addison, P.S., 2002. The Illustrated Wavelet Transform Handbook: Introductory Theory and Applications in Science, Engineering, Medicine and Finance, CRC Press.
13. Özkurt, N., Savacı, F.A., 2005. Determination of wavelet ridges of nonstationary signals by singular value decomposition. IEEE Transactions on Circuits and Systems-II: Express Briefs, 52(8), 480–485.
14. Gonzalez, R.C., Woods, R.E. Eddins., S.L., 2003. Digital Image Processing using MATLAB, Prentice Hall, Chapter 11. 342 New Jersey.