

NÖRODEJENERATİF HASTALIKLARDA YÜRÜME İŞARETLERİNİN ZAMAN-FREKANS ANALİZİ

Ömer AKGÜN^{1*}, Aydın AKAN², Hasan DEMİR³

oakgun@marmara.edu.tr, akan@istanbul.edu.tr, hdemir@nku.edu.tr

¹Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, İstanbul, Türkiye.

²İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, İstanbul, Türkiye.

³Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Müh. Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, Tekirdağ, Türkiye.

Özet

Yürüme analizi ile ilgili gelişmeler, bazı hastalıkların özellikle nörodejeneratif hastalıkların teşhisinde yürüme analizinin yardımcı bir faktör olarak yer almasını sağlamıştır. Ayağın altındaki kuvvete duyarlı sensörler yardımı ile kontrol bireylerinden ve nörodejeneratif hastalardan yürüme işaretleri alınmıştır. Bu işaretlere zaman-frekans analizi uygulanarak hastalıklı işaretlerin normal işaretlerden farkları ortaya çıkarılmıştır. Daha sonra Yapay Sinir Ağları (YSA) ile yapılan sınıflandırmada patolojik işaretler %82 doğrulukla tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yürüme Analizi, Zaman Frekans Analizi, Nörodejeneratif hastalık, Yapay Sinir Ağları.

GAİT ANALYSIS OF TIME-FREQUENCY SIGNALS IN NEURODEGENERATIVE DISEASES

Abstract

Developments related to gait analysis has provided help to be included as a factor, especially in the diagnosis of neurodegenerative diseases. Walking marks are taken of the foot under the force sensitive sensors with the aid of control members, and the neurodegenerative patients.

This signals the time-applying frequency analysis revealed differences from normal signals disease signals. Then in the classification with Artificial Neural Networks (ANN), pathological signs were detected 82% accuracy.

Key Wors: Gait analysis, Time-Frequency Analysis, Nörodejeneratif hastalık, Artificial Neural Network.

*Sorumlu Yazar: Ömer AKGÜN, oakgun@marmara.edu.tr

1. GİRİŞ

Yürüme yaşamın çok basit bir parçası gibi görünmekle birlikte aslında son derece karmaşık bir hareketler zinciridir. Uzun süre yorulmadan yürüyebilmek için beyin, omurilik, periferik sinirler, kaslar, kemik ve eklemler birlikte çalışmalı, eklem hareketleri, kasılmanın zamanı ve gücü yeterli olmalıdır [1,2].

Normal yürümenin karmaşıklığı ve çıplak gözle değerlendirilmesinin güçlüğü bilim adamlarını ayrıntılı ve güvenilir inceleme yöntemleri geliştirmeye itmiştir. İnsan hareketinin bilimsel değerlendirilmesi Aristo zamanına uzanır. Aristo M.Ö. 350 yılında eklem hareketlerini kas kasılmasının yaptırdığını bulmuş, birkaç yüzyıl sonra Galen (M.S. 131-201) kas kasılmasını sinirlerin yönettiğini öne sürmüştür. Rönesans döneminde Galile'nin öğrencisi Borelli, 19. yüzyılda ise Marey insan yürüyüşü ile ilgili dinamik çalışmalar yapmışlardır [2,3]. Edward Muybridge adlı fotoğrafçı ondokuzuncu yüzyıl sonlarında yürüme analizine önemli katkılarda bulunmuştur. Yürüme analizinin gelişmesinde bir sonraki aşama 1895'te Braune ve Fisher'in fotoğraf görüntülerini sayısal değişkenlere dönüştürmesidir. 1930'larda Eberhart ve Inman fotoğraf makinasının objektifi önünde dönen delikli bir disk kullanarak bu deneyleri daha ayrıntılı olarak tekrar etmişlerdir. 1950'lerde başlayan çalışmalarıyla bugün bildiğimiz anlamda bilimsel yürüme analizini klinik kullanıma sokan araştırmacılar Verne Inman ve Jacquelin Perry'dir. Kişisel bilgisayarların 1980'lerde başlayan hızlı gelişmesi sayesinde klinik kullanıma yönelik yürüme analizi sistemleri geliştirilmiş, satışa sunulmuş ve dünyanın birçok ülkesinde kullanıma girmiştir [1,2].

Bugünkü anlamıyla yürüme analizi, yürümenin sayısal olarak değerlendirilmesi, tanımlanması ve yorumlanması olarak yorumlanabilir. Her ne kadar birçok yürüme sorunu, deneyimli hekimlerin gözle yaptığı muayenelerle anlaşılabilse de sorunu, sayısal olarak yorumlamak, kaydedip daha sonra yeniden değerlendirmek ve yapılan tedavinin etkinliğini nesnel biçimde ortaya koymak için yürüme analizi teknolojisi kullanmayı gerektirir [3,4].

Bu çalışma yürüme dinamiklerinin kinetik analizine dayanır. Kinetik analiz, hareketi oluşturan kuvvetlerin (yer tepkimesi kuvvetleri, eklem momentleri, eklem güçleri) incelenmesidir. Kinetik analizde ölçülebilen tek veri yer tepkimesi kuvveti vektörüdür (YTKV). YTKV kuvvet platformu denilen (Force plate) ve ayağın yere uyguladığı toplam kuvveti ölçen basınca duyarlı plakalarla ölçülür. Platformun her iki yanına, ön ve arkasına ve içine yerleştirilmiş transdüserler kuvvet platformu yüzeyine binen yükün her üç düzlemdeki bileşenlerini ölçerler ve bu veriyi bilgisayara aktarırlar. Diğer bir seçenek, ayağın altına

kuvvete duyarlı piezoelektrik sensörler yerleştirilerek yürüme işaretlerini kaydetmektir [1-4]. Nörodejeneratif hastalıklar ve yürüme dinamiklerinin sayısal değerlendirilmesi ile ilgili bu makalenin kapsamına giren çalışmaları 1997 ve 2000 yıllarında Hausdorff ve arkadaşları yapmışlardır [5,6]. Bu çalışmalar genel olarak yürüme ritmi ile ilişkili analizlere dayanmakta idi. Bu çalışma ise ayağın altından alınan piezoelektrik kökenli işaretlerin zaman-frekans analizine dayanmaktadır.

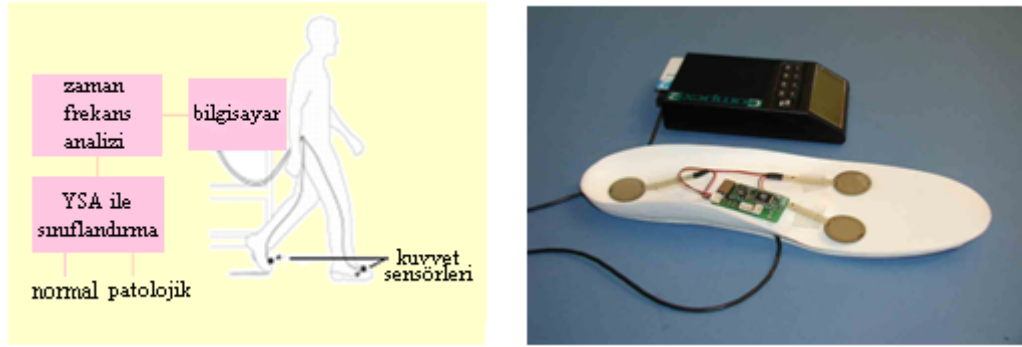
2. NÖRODEJENERATİF HASTALIKLAR

Nörodejenerasyon, nöronların, yani sinir hücrelerinin, hasarı ve kademeli ölümü olarak tanımlanır; bunun sonucunda ortaya çıkan hastalıklara nörodejeneratif hastalıklar denir. En önemli temsilcileri, Alzheimer, Parkinson, Huntington hastalıkları, ALS ve kalıtsal ataksiler olan nörodejeneratif hastalıklar, gelişmiş ülkelerde kalp-damar hastalıkları ve kanserden sonraki en sık ölüm nedenidir. Oluşum mekanizmaları ve etkin tedavileri henüz bulunamamış olan bu kronik ve ilerleyici seyir gösteren hastalıkların, günümüzde ancak semptomatik tedavileri mümkündür. Dolayısıyla nörodejeneratif hastalıklar, modern tıbbın çözmeye uğraştığı en önemli sağlık problemlerinin başında gelir [1,7].

Beynin farklı bölgelerini etkiledikleri için, klinikte ayrı ayrı kimlikleri olan nörodejeneratif hastalıkların, hücre mekanizmaları düzeyinde büyük benzerlikleri vardır. Bu bağlamda, nörodejeneratif hastalıkların incelenmesinde tek bir hastalığa yoğunlaşmaktan ziyade, bu gruptaki birkaç hastalığın etki ve oluşum mekanizmalarını anlamaya çalışmak, nörodejenerasyon süreçlerine panoramik bir bakış açısı kazandırır.

3. UYGULAMA

14'ü Normal, 48'i nörodejeneratif hastası olmak üzere 62 bireyden, ayağın altındaki kuvvete duyarlı piezoelektrik sensörler kullanılarak 60 saniyelik yürüme işaretleri kaydedilmiştir. İşaretler 18000 adet dizilik $x(n)$ ayrık işaretlerine dönüştürülerek bilgisayar ortamına aktarılmışlardır (Şekil 1). Bu işaretler MIT fizyolojik işaretler arşivinden alınmışlardır [8].



Şekil 1- Çalışmanın blok yapısı ve ayağın altındaki piezoelektrik sensörler [8]

3.1. Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü

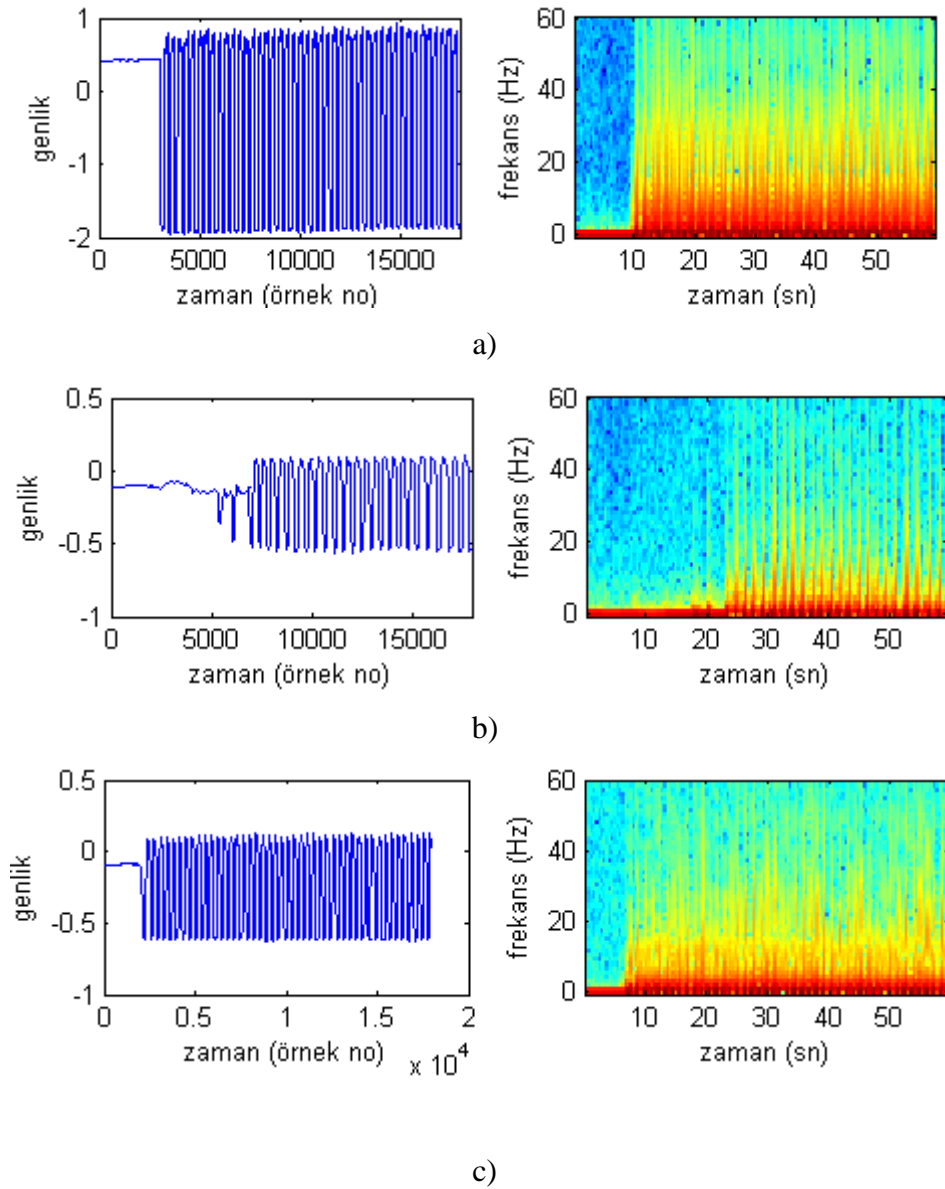
1946'da, haberleşme alanında çalışan Dr.Gabor tarafından ortaya atılan Gabor Dönüşümü, pencere fonksiyonu olarak tanımlanan bir sabit fonksiyonun zamanda ötelenmesiyle taranan her hangi bir işaretin Fourier Dönüşümü alınarak, bölgesel frekans analizinin yapılmasına olanak sağlamıştır. Bu durumda, pencerelenmiş işaretin Fourier Dönüşümü, işaretin frekans bileşenlerinin yanında zaman bilgisini de içermektedir. Dönüşümde kullanılan pencere fonksiyonu, zaman ve frekans domenlerinde sınırlı olan Gaussian fonksiyonudur. 1965'de ortaya atılan yeni bir algoritmayla Gabor Dönüşümü, değişik pencere fonksiyonlarının kullanıldığı Kısa Süreli Fourier Dönüşümü (KSFD) olarak genişletilmiştir. Bu dönüşüm şekli özellikle bilgisayar uygulamaları için çok yararlı bir çözüm oluşturur. Ayrık zamanlı $x(n)$, $n=0,1,\dots,N-1$ yürüme işaretinin KSFD'si denklem 1'de verilmiştir [9-12].

$$x(n, w_k) = \sum_{m=0}^{N-1} x(m).w(n-m).e^{-jw_k m} = \sum_{m=0}^{N-1} x_n(m).e^{-jw_k m} \quad (1)$$

$x_n(m)$ pencerelenmiş yani kısa zamanlı işaret, $w(n)$ ise kullanılan penceredir. Çalışmada pencere uzunluğu 256 olarak seçilmiştir. $x(n)$ yürüme işaretlerinin spektrogramları ise ifadesi Denklem 2 ile hesaplanmıştır.

$$S_{STFT}(n, w_k) = \frac{1}{N} |x(n, w_k)|^2 \quad (2)$$

Şekil 2'deki spektrogramlarda kırmızıdan sarıya doğru büyüklüğü azalan genlik bölgeleri görülmektedir. Bu grafiklerden yürüme işaretlerinin büyük genlik değerlerini hangi frekanslara kadar taşıyabildiği anlaşılmaktadır. Buna göre Şekil 2.a'da normal işaret için kırmızı yüksek genlik bölgesi yaklaşık 14 Hz' e kadar uzanmaktayken, Şekil 2b'deki patolojik işaret için bu değer 4 Hz'i Şekil 2c'deki diğer patolojik işaret için ise 6Hz'i bulmaktadır.



Şekil 2- a) Normal b) Patolojik 1 c) Patolojik 2 yürüme işaretlerinin spektrogramları

3.2. Yapay Sinir Ağları ile sınıflandırma

Yürüme işaretlerinin spektrogramlarından elde edilen yüksek genlik değeri gösterdikleri frekans değerleri, bir, iki, üç ve dört tane gizli katmanı olan YSA yapıları için farklı gizli katman nöron sayıları ile ileri beslemeli yapay sinir ağına giriş olarak verilmiştir. Nöronlarda aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoidal ve tanjant sigmoidal fonksiyonları kullanılmıştır. Kontrol grubu olarak 45, test grubu olarak ise 16 veri kullanılmıştır. Yapay sinir ağı hatayı geriye yayma algoritması ile eğitilmiştir. Eğitimde ortalama karesel hata değeri bağıntısı ile denklem 3’de hesaplanmıştır.

$$E = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - d_i)^2} \quad (3)$$

Bu ifade de, N değeri her bir eğitilen vektör için elde edilen 7 değeri, y_i yapay sinir ağının i . giriş verisi için çıkış değerini, d_i ise i . giriş verisi için hedef değerini göstermektedir. Bu veriler ile yapılan YSA ile sınıflandırmada yöntemlerin başarımları Tablo 1’ de verilmiştir [1,13].

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Normal işaretlerin patolojik işaretlere göre yüksek genlik değeri gösterdikleri anlaşılmış olup, frekansları da daha yüksek değerler almaktadır ($11\text{Hz} < \text{Normal} < 15\text{ Hz}$, $4\text{ Hz} < \text{Patolojik} < 11\text{Hz}$). Çalışmada 14 Normal (N), 48 Patolojik (P1,P2,P3) yürüme işaretlerinin genlik değerleri ve yaklaşık sınır frekans değerleri (Tablo.1) deki sonuçlar elde edilmiştir.

Ayrıca çalışmada YSA ile yapılan sınıflandırma sonuçlarında patolojik işaretlerin belirlenmesindeki ortalama % 82 başarımlar oranı değeri elde edilmiştir. Yapılan çalışma ile yürüme analizi sonuçlarının STFT ve YSA analizi ile nörodejeneratif hastalıkların teşhisinde yardımcı bir faktör olarak kullanılabileceği anlaşılmıştır.

Tablo.1: 14 Normal (N), 48 Patolojik (P1,P2,P3) yürüme işaretinin yüksek genlik değeri gösterdiği yaklaşık sınır frekans değerleri

Hasta No	N	P1	P2	P3
1	11.1	9.8	9.8	6.4
2	13.4	7.5	8.7	11.1
3	13.4	9.8	8.7	6.3
4	11.2	9.9	9.8	5.2
5	13.4	9.8	11.1	4.1
6	11.1	8.7	8.7	5.2
7	13.4	9.8	8.7	6.4
8	13.4	9.8	9.8	7.5
9	19.3	11.2	8.8	8.7
10	14.6	7.5	9.8	6.4
11	12.3	9.8	7.7	6.4
12	12.3	7.5	12.3	6.4
13	13.5	7.6	8.8	7.5
14	12.3	11.1	8.7	9.8
15		7.5	8.8	6.4
16		7.5	8.7	8.6

KAYNAKLAR

- [1] O. Akgun, H. Demir, A. Akan; Yürüme İşaretlerinin AR Modelleri ile ALS Hastalığının Belirlenmesi, ELECO-Elektrik Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 26-30 Kasım 2008, Bursa-Türkiye.
- [2] Yalçın S ve Özaras N, Yürüme Analizi, Avrupa Matbaacılık, İstanbul, 2001.
- [3] Kirtley C., Clinical Gait Analysis: Theory and Practice, Churchill Livingstone, Oxford, 2006.
- [4] Whittle M. W., Gait Analysis: An Introduction, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2007.

- [5] Hausdorff JM, Mitchell SL, Firtion R, Peng CK, Cudkowicz ME, Wei JY and Goldberger AL, “Altered fractal dynamics of gait: reduced stride-interval correlations with aging and Huntington's disease”, *J. Applied Physiology*, 82:262-269, 1997.
- [6] Hausdorff JM, Lertratanakul A, Cudkowicz ME, Peterson AL, Kaliton D and Goldberger AL, “Dynamic markers of altered gait rhythm in amyotrophic lateral sclerosis” *J. Applied Physiology*, 88:2045-2053, 2000.
- [7] Beal M. F., Lang A. E., and Ludolph A. C., *Neurodegenerative Diseases: Neurobiology, Pathogenesis and Therapeutics*, Cambridge University Pres, Cambridge, 2005.
- [8] Goldberger AL, Amaral LA, Glass L, Hausdorff JM, Ivanov PC, Mark RG, Mietus JE, Moody GB, Peng CK, Stanley HE., *Circulation, PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: components of a new research resource for complex physiologic signals*, 2000; 101: e215-e220, doi: 10.1161/01.CIR.101.23.e215.
- [9] Bigan, C.; Woolfson, W.S.; Time-frequency analysis of short segments of biomedical data, *Science, Measurement and Technology, IEE Proceedings -Volume 147, Issue 6, Nov. 2000 Page(s):368 – 373*.
- [10] Hannaford, Blake; Lehman, Steven; *Short Time Fourier Analysis of the Electromyogram: Fast Movements and Constant Contraction*, *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on* Vol. BME-33, No.12, Dec. 1986, pp.1173 – 1181.
- [11] Boulgouris, N.V.; Hatzinakos, D.; Plataniotis, K.N.; *Gait recognition: a challenging signal processing technology for biometric identification*, *Signal Processing Magazine, IEEE*, Volume 22, Issue 6, Nov. 2005 Page(s):78 – 90.
- [12] Akay, M., *Biomedical Signal Processing*, Academic Pres, St. Louis, 1994.
- [13] N. Chaudhary, Y. Aggarwal, R.K. Sinha; *Artificial Neural Network based Classification of Neuradegenerative Diseases*, *Advances in Biomedical Engineering Research (ABER)*, Vol.1, Issue.1, March 2013, pp.1-8.