

Genelleştirilmiş Boyut Spektrumu Hesabının Karotid Atardamar Doppler Sinyallerine Uygulanması

Derya Yılmaz, Hale Musapaşaoğlu*, İsmail Kırbaş*, N.Fatma Güler**

Başkent Üniversitesi
Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu
Bağlıca, Ankara
derya@baskent.edu.tr

*Başkent Üniversitesi Ankara Hastanesi
Radyoloji Anabilimdalı
Bahçelievler, Ankara
halem@baskent-ank.edu.tr, drismailk@yahoo.com

**Gazi Üniversitesi
Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Bölümü
Teknikokullar, Ankara
fnguler@gazi.edu.tr

Özet: Bu çalışmada 30 sağlıklı ve 7 minimal, 7 orta, 7 ciddi derecede olmak üzere toplam 21 daralmış karotid atardamar Doppler sinyali üzerinde, genelleştirilmiş boyut spektrumu hesabı yapılarak Renyi boyut spektrumları (D_q) elde edilmiştir. Boyut spektrumları üzerinden tespit edilen bilgi boyutu (D_1) değerlerine Mann-Whitney U testi uygulanmış, sağlıklı karotid atardamar Doppler sinyalleri ile orta ($p<0.05$) ve ciddi derecede daralmış ($p<0.0005$) karotid atardamar Doppler sinyalleri arasında, daralmanın derecesi arttıkça artan istatistiksel fark tespit edilmiştir.

1. Giriş

Fizyolojik sistemlerin doğrusal olmayan yapısı sebebi ile bu sistemlerden elde edilen fizyolojik sinyaller, gelecekteki durumları öngörülemez olduklarından kaotiktir ve son yıllarda doğrusal olmayan analiz metotları kullanılarak analiz edilmektedir. Fizyolojik sinyallerin analizinde amaç, bu bilgi kümesi ile sistemin ana karakteristiklerini ortaya çıkarmaktır. Kaotik dinamiklerin hesaplanabilmesi için öncelikle sinyalin faz uzayında yeniden oluşturulması gerekir. Belirlenen bir yerleştirme boyutu ve zaman gecikmesi değeri için sinyal faz uzayında çizdirilir. Faz uzayında oluşan ve faz uzayının belirli bölgelerini kaplayan bu şekle garip çeker denir. Fraktal boyutlar, Lyapunov üstelleri ve entropi gibi sisteme ait kaotik dinamikler bu çeker üzerinde hesap edilir [1].

İç sürtünmeli bir akışkan düzgün bir şekilde akıyorken bir engelle karşılaşırsa, çeperleri pürüzlü ise veya akış hızı kritik bir değerin üzerine çıkarsa, akış girdaplı olur. Bu durumda sistem kararsız bir yapı sergiler [2]. Girdaplı akış damarlardaki daralma ve tıkanmalarda, dallanma bölgelerinde ve akış hızının fazla olduğu kalp kapakçıklarında vb. oluşur. Düzgün kan akışında varlığı kanıtlanan kaotik yapı [3], akış girdaplı olduğunda belirginleşir.

Damardaki darlık oranı %1-%39 arasında ise minimal, %40-%69 arasında ise orta, %70-%99 arasında ise ciddi derecede darlık olarak değerlendirilir. Bu çalışmada 7 minimal, 7 orta ve 7 ciddi derecede daralmış toplam 21 (54-75 yaş, 17 erkek 4 kadın) ve 30 sağlıklı (25-62 yaş, 13 erkek 17 kadın) karotid atardamar Doppler sinyalinin genelleştirilmiş boyut spektrumu hesabı ile Renyi boyut spektrumları elde edilerek, D_1 bilgi boyutu tespit edilmiştir.

2. Doppler Sinyali

Doppler etkisi, hareketten dolayı bir dalganın frekansı veya dalga boyunda meydana gelen değişimdir. Doppler kayma frekansı, ultrasonik dönüştürücünün gönderdiği ultrasonik dalganın frekansı ile bu dalganın kandaki hareketli parçacıklara çarpıp saçılması ve yansıması sonrası alınan dalga frekansı arasındaki farktır ve Eşitlik 1 ile ifade edilir [4]. Bu ifadede f_d Doppler kayma frekansını, f_0 gönderilen dalga frekansını, v kan hızını, θ dalga ile akış yönü arasındaki Doppler açısını, c ultrasonik dalganın ortamdaki hızını (1540 m/s) gösterir.

$$f_d = 2 f_0 v \cos(\theta) / c \quad (1)$$

Karotid atardamar kafa ve beyne kan sağlar ve daralması ya da tıkanması sonucu beyne yeteri kadar oksijen gidemeyeceğinden felç oluşabilir. Bu çalışmada kullanılan Doppler sinyalleri, Başkent Üniversitesi Ankara Hastanesi Radyoloji bölümünde, sürekli dalga modunda, 7,5 MHz'lik ultrasonik dönüştürücü ile Siemens-Sonoline Elegra modeli Doppler cihazının kendisine ait kayıt ünitesi kullanılarak alınmış ve bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

3. Sinyalin Faz Uzayında Yeniden Oluşturulması

Takens [5] teoremine göre eğer zaman boyunca bir sistemde yalnızca tek bir değişken izleniyorsa, sinyalin bir veya daha fazla zaman gecikmeli kopyaları kullanılarak faz uzayında yeniden oluşturulması ile kaotik dinamikleri hesaplanabilir. Yani, bir zaman serisi d boyutlu (d bir tamsayı) bir çekerin elemanı ise çekerin topolojik özellikleri (boyutları, Lyapunov üstelleri vb.) m boyutlu faz uzayı vektörleri tarafından ($m \geq 2d + 1$) şekillendirilir (Eşitlik 2) [6]. Eşitlik 2’de T gecikme zamanı, m yerleştirme boyutudur ve farklı T ve m seçimleri farklı eğrileri oluşturur.

$$y(n) = [s(n), s(n+T), s(n+2T), \dots, s(n+(m-1)T)] \quad (2)$$

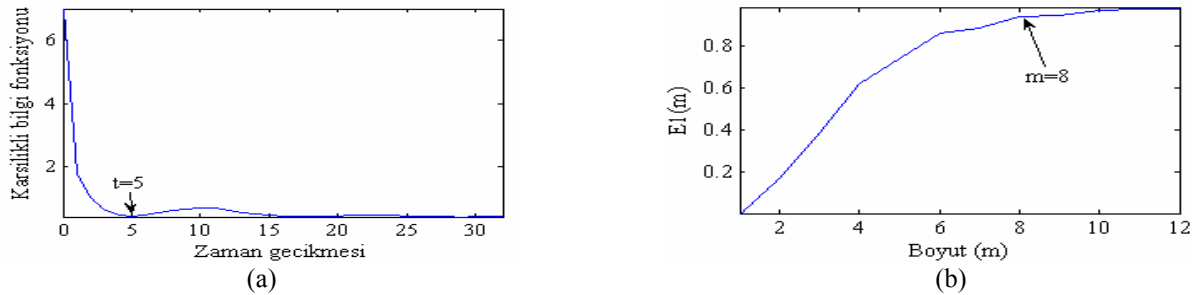
Zaman gecikmesinin belirlenmesi: Doğrusal olmayan sistemlerde T , karşılıklı bilgi fonksiyonu (KBF) kullanılarak bulunur [1] (Eşitlik 3). Zaman gecikmesi T , KBF’nin ilk minimum olduğu yer olarak seçilirse zaman gecikmesi çok uygun olarak seçilmiş olur [7].

$$I(T) = \sum_{n=1}^N P(s(n), s(n+T)) \log \left[\frac{P(s(n), s(n+T))}{P(s(n))P(s(n+T))} \right], \quad I(T) \geq 0. \quad (3)$$

Yerleştirme boyutunun tespiti: Sinyalin faz uzayında yeniden oluşturulmasında amaç, yeteri kadar büyük bir öklit uzayı (R^m) sağlayarak, sisteme ait çekerin yapısını herhangi bir belirsizlik olmadan görebilmektir. Yerleştirme boyutunun tespitinde Cao’nun minimum yerleştirme boyutu metodu [8] kullanılmıştır. Bu metoda göre, m ve $m+1$ boyutunda en yakın komşu çiftler arasındaki fark, $\|.. \|$ ifadesi öklit farkını göstermek üzere, Eşitlik 4 ile tespit edilir.

$$a(i, m) = \frac{\|y_i(m+1) - y_{n(i,m)}(m+1)\|}{\|y_i(m) - y_{n(i,m)}(m)\|}, \quad i = 1, 2, \dots, N - mT \quad (4)$$

Eğer m iyi belirlenmişse, m boyutta birbirine yakın olan herhangi iki nokta $m+1$ boyutta oluşturulan faz uzayında da birbirine yakın olacaktır. Bu tür nokta çiftlerine doğru komşular, böyle değilse yanlış komşular denir. Eğer bir yanlış komşu varsa, $a(i, m)$ belirlenmiş bir eşik değerinden çok farklı olacaktır. Eşik değeri $E(m)$, bütün $a(i, m)$ ’lerin ortalaması alınarak bulunur. $E(m)$, m boyutuna ve T zaman gecikmesine bağlıdır. Bunun m ’den $m+1$ ’e değişimini incelemek için $E1(m) = E(m+1) / E(m)$ bulunur. $E1(m)$ değişiminin durduğu boyut değeri minimum yerleştirme boyutu olarak alınır [8]. Şekil 1’de, sağlıklı bir karotid atardamar Doppler sinyali için zaman gecikmesi T , KBF eğrisinden (Şekil 1a) 5 olarak ve yerleştirme boyutu m de Cao’nun metoduna ait fonksiyon eğrisinden (Şekil 1b) 8 olarak belirlenir.



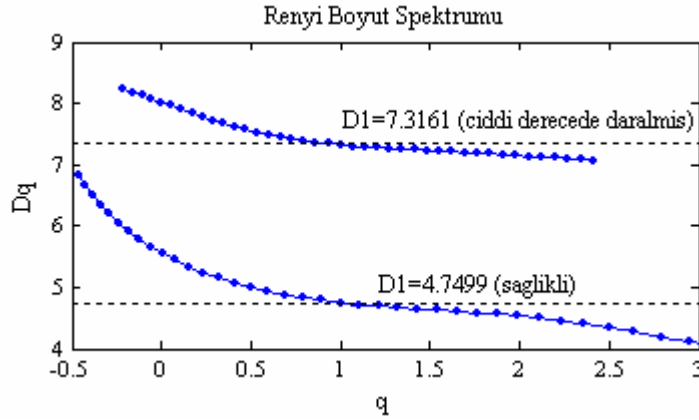
Şekil 1. Sağlıklı karotid atardamar Doppler sinyali için zaman gecikmesinin belirlenmesinde kullanılan KBF eğrisi (a) ve faz uzayı boyutunun tespit edildiği Cao’nun metoduna ait değişim eğrisi (b).

4. Genelleştirilmiş Boyut Spektrumu Hesabı

Fraktal geometri, bilimsel literatürde Mandelbrot [9] tarafından ortaya konan bir terimdir. Doğrusal sistem çekerlerinin boyutları tamsayı değerlere ifade edilebilirken, kaotik sistemler fraktal (kesirli) boyutlara sahiptir. Fraktal boyutlar D , garip çeker dinamiklerini modellemek için gerekli olan dinamik değişkenlerin minimum sayılarıyla ilişkilidir. Kaotik yapının faz uzayında bir göstergesi olan garip çekerlerin kaotikliğinin derecesini bunlara ait fraktal boyutlar verir. Dinamik bir sistemin sahip olduğu çekerini temsil eden ayrıntılı boyut hesapları vardır. Bunların tamamı boyut spektrumu D_q olarak adlandırılabilir. Hentschel ve Procaccia [10] tarafından tanımlanan boyut spektrumu Eşitlik 5 ile verilmiştir. q değeri arttıkça yüksek dereceli ilintilerin hesaba katıldığı fraktal boyut değerleri elde edilir.

$$D_q = \frac{1}{q-1} \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log \sum_{j=1}^{N(r)} p_j^q}{\log r}, \quad q = 0, 1, 2, \dots \quad (5)$$

Karotid atardamar Doppler sinyalleri için genelleştirilmiş boyut spektrumu hesabı kullanılarak Renyi boyut spektrumları elde edilmiştir. Renyi boyut spektrumu, sinyal 8 boyutlu faz uzayında KBF ile belirlenen zaman gecikmesi değeri kullanılarak yeniden oluşturularak hesaplanmıştır. Elde edilen spektrumdan $q=1$ seçilerek D_1 bilgi boyutu değerine ulaşılmıştır. Şekil 2’de sağlıklı ve ciddi derecede daralmış karotid atardamar Doppler sinyalleri için elde edilen Renyi boyut spektrumları ve D_1 bilgi boyutunun değeri gösterilmektedir.



Şekil 2. Sağlıklı ve ciddi derecede daralmış karotid atardamar Doppler sinyalleri için elde edilen Renyi boyut spektrumları ve D_1 bilgi boyutunun tespiti.

5. Sonuç

Sağlıklı ve daralmış karotid atardamar Doppler sinyallerinin, Renyi boyut spektrumlarından tespit edilen D_1 bilgi boyutu değerleri (ortalama±standart sapma), Mann-Whitney U testi p değerleri ve anlamlılık düzeyleri Tablo 1’de görülmektedir. Minimal derecede daralmış sinyallerin D_1 değerleri sağlıklılardan büyük olmakla beraber, aralarında $p<0.05$ düzeyinde anlamlı fark bulunamamıştır. Sağlıklı ile orta ve ciddi derecede daralmış karotid atardamar Doppler sinyalleri arasında ise daralmanın derecesi arttıkça p değeri küçülmekte, istatistiksel fark artmaktadır.

Tablo 1. Sağlıklı ve daralmış karotid atardamar Doppler sinyallerinin D_1 ve Mann-Whitney U testi sonuçları.

	Minimal derece daralmış	Orta derece daralmış	Ciddi derece daralmış	Toplam daralmış	Sağlıklı
D_1 değerleri	6.0790±0.362	6.3810±0.4	7.3706±0.691	6.6102±0.706	5.8502±0.611
p değerleri	0.3829	0.0314 ($p<0.05$)	0.00013 ($p<0.0005$)	0.0006 ($p<0.001$)	

Yöntem, yapay sinir ağları veya bulanık sınıflama sistemleriyle yapılacak sınıflama çalışmalarında kullanılabilir. Elde edilen sonuçlar, kaotik analizin sağlıklı ve hastalıklı fizyolojik sinyallerin değerlendirilmesinde etkili olduğunu ve medikal teşhis sistemlerinde kullanılmasının yararlı olabileceğini göstermektedir.

6. Teşekkür

Bu çalışma, “Kaos teorisi kullanılarak damarlardaki akış problemlerinin tespiti, Proje No: 07/2005-08” Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında yapılmıştır.

Kaynaklar

- [1]. Abarbanel, H.D.I., Brown R., Sidorowich J.J. ve Tsimring L.S., “The Analysis of Observed Chaotic Data in Physical Systems”, Reviews of Modern Physics, 65(4), s. 1331, 1993.
- [2]. Yazgan, E., Korürek, M., Tıp Elektroniği, İTÜ Elk-Elktr. Fak. Ofset Baskı Atölyesi, İstanbul, 1996.
- [3]. Cohen, M.E., Hudson, D.L., Anderson, M.F. ve Vazquez C., “Blood Flow Data Exhibit Chaotic Properties”, Int. J. Microcomputer Applications, 12(3), s. 82, 1994.
- [4]. Evans, D.H., McDicken, W.N., Skidmore, R., Woodcock, J.P., Doppler Ultrasound: Physics, Instrumentation and Clinical Applications, Chichester: Wiley, 1989.
- [5]. Takens, F., “Detecting Strange Attractors in Turbulence”, Lecture Notes in Mathematics, 898, s. 366, 1981.
- [6]. Sauer, T., Yorke, Y., Casdagli, M., “Embedology”, J. Stat. Phys., 65, s. 579, 1991.
- [7]. Fraser, A.M., Swinney, H.L., “Independent Coordinates for Strange Attractors from Mutual Information”, Phys. Rev. A, 33, s. 1134, 1986.
- [8]. Cao, L., “Practical Method for Determining the Minimum Embedding Dimension of a Scalar Time Series”, Physica D, 110(1), s. 43-50, 1997.
- [9]. Mandelbrot, B.B., Fractals: Form, chance, and dimension, W.H. Freeman, San Francisco, 1997.
- [10]. Hentschel, H.G.E., Procaccia, I., “The Infinite Number of Generalized Dimensions of Fractals and Strange Attractors”, Physica D, 8, s. 435, 1983.