

## اثبات اتفاقی بودن فرآیند فیبریلاسیون بطنی با استفاده از مدل مارکوف و روش جانشین

سید حجت سبزویشان - احمد آیت الهی

دانشکده برق - دانشگاه علم و صنعت ایران

تلفن : ۷۸۰۸۰۲۲-۲۳ دورنگار : ۷۴۵۴۰۵۵

E-mail : [sabzposh@iust.ac.ir](mailto:sabzposh@iust.ac.ir)

### چکیده :

فیبریلاسیون بطنی یکی از عوامل مرگ های ناگهانی است. مدل سازی این فرآیند به پیش بینی و درمان آن کمک فراوانی می کند. بدلیل خطرناک بودن فیبریلاسیون بطنی، معمولاً مشاهداتی کوتاه مدت و تجدید ناپذیر و غیرتاهجمی از آن ضبط می شود. امروزه روش های آماری نوینی برای تجزیه و تحلیل مشاهدات کوتاه مدت و تجدید ناپذیر ابداع شده است. در این مقاله ابتدا به ارائه مدل مارکوف مرتبه اول برای سیگنال فیبریلاسیون بطنی می پردازیم. سپس با استفاده از روش آماری جانشین اثبات می نمائیم که این سیگنال ماهیتی اتفاقی دارد.

### کلمات کلیدی :

فیبریلاسیون بطنی، تجزیه و تحلیل آماری، مدل مارکوف، روش جانشین.

### ۱- مقدمه :

مرگ قلبی امروزه مهمترین عامل مرگ و میر انسان هاست. بیش از نود درصد این مرگ ها در حالت فیبریلاسیون بطنی<sup>۱</sup> (VF) اتفاق می افتد. به همین دلیل محققین زیادی در زمینه شناسایی و مدل سازی VF کار کرده اند [۱-۵]. ارائه یک مدل خوب و سازگار می تواند

به پیش بینی و درمان VF کمک فراوانی بنماید. یکی از گام ها در جهت ارائه مدل هر پدیده شناخت ماهیت آن بلحاظ یقینی<sup>۲</sup> یا اتفاقی<sup>۳</sup>، همچنین خطی یا غیر خطی بودن است. در مورد VF کارهایی بدین منظور انجام شده است [۱-۳]. بدلیل خطرناک بودن VF و اینکه غالباً منجر به مرگ می شود معمولاً ضبط های کوتاه و تجدید ناپذیری از آن در دست می باشد. در چنین شرایطی روش های آماری<sup>۴</sup> بهترین گزینه برای تجزیه و تحلیل مشاهدات موجود است. روش جانشین<sup>۵</sup>، روشی مفید و کارا از این نوع می باشد. محققین زیادی از این روش برای تجزیه و تحلیل سیگنال های زیستی از جمله سیگنال EEG، ECG و همچنین سیگنال VF استفاده نموده اند [۲] [۶] [۷] [۸]. ماهیت سیگنال VF بلحاظ یقینی یا اتفاقی بودن هنوز مورد مناقشه محققین است. در این تحقیق برای اولین بار با ارائه مدل مارکوف مرتبه اول برای سیگنال VF و استفاده از روش جانشین ثابت خواهیم نمود که VF فرآیندی اتفاقی است.

<sup>2</sup> deterministic  
<sup>3</sup> stochastic  
<sup>4</sup> statistical analysis  
<sup>5</sup> surrogate

<sup>1</sup> Ventricular fibrillation

## ۲- روش جانشین :

روش جانشین نخستین بار توسط تیلر و همکارانش پیشنهاد گردید [۹]. با گذشت زمان محققین دیگر آن را کامل تر کردند [۸] [۹].

روش جانشین روشی در آزمون فرض ها<sup>۱</sup> است [۱۷]. در این روش ابتدا در مورد مشاهدات موجود فرض خاصی را مطرح می نمائیم با این امید که آن را رد کنیم. مثلاً اینکه مشاهدات ناشی از یک فرآیند اتفاقی است، این فرض را فرض صفر نام نهاده و با  $H_0$  نشان می دهیم. اگر توانستیم فرض صفر را رد کنیم فرض دیگر را که با  $H_1$  نشان می دهیم قبول می کنیم. فرض دیگر آنطور که از نام آن پیداست می تواند هر فرضی بجز فرض صفر باشد. اگر نتوانستیم فرض صفر را رد کنیم آن را قبول می نمائیم. روش جانشین زمانی مفید است که تنها به یک تحقق (معمولاً کوتاه مدت) از فرآیند مورد نظر دسترسی داشته باشیم. با استفاده از این روش در واقع تحقق های زیادی از مشاهده موجود را شبیه سازی می کنیم که به آنها مشاهدات جانشینی گوئیم. برای ساخت مشاهدات جانشین روش های گوناگونی وجود دارد [۹]. بطور کلی مشاهدات جانشین را بگونه ای می سازند که دارای خواص عمومی ای همانند مشاهده اصلی باشد. (مثلاً طیف فرکانسی یا توزیع دامنه مشابه با مشاهده اصلی). بعلاوه خاصیت ویژه ای که هدف اثبات یا عدم اثبات آن است و در فرض صفر مطرح می شود نیز به آن تزریق می گردد. سپس آماره ای اساسی<sup>۲</sup> در مورد مشاهدات جانشین محاسبه می گردد. این آماره در مورد مشاهده اصلی نیز محاسبه می شود و در صورتی که مقدار آن در بین مقادیر ناشی از مشاهدات جانشین قرار گرفت فرض صفر قبول و در غیر اینصورت فرض صفر رد می گردد. آماره اساسی ای که معمولاً مورد استفاده قرار می گیرد بعد همبستگی ( $D_2$ ) است. بعد همبستگی<sup>۳</sup> در واقع معیاری برای توزیع هندسی نقاط مشاهده می باشد [۱۰].

## ۳- مدل مارکوف سیگنال VF :

روش عمومی تولید مشاهدات جانشین، عبارت است از تولید سری زمانی ای که دارای طیف فرکانسی (تبدیل فوریه) مشابه با طیف فرکانسی مشاهده اصلی باشد [۹]. این روش هنگامی که مشاهده اصلی دارای رفتاری تناوبی یا شبه تناوبی و یا ناپیوستگی هائی باشد، نواقص و ایراداتی از خود نشان داده است، حجم محاسبات نیز در روش های عمومی زیاد است [۱۱] [۱۲]. سیگنال VF ظاهری شبه تناوبی دارد. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع استفاده از روش عمومی می تواند تردید برانگیز باشد. بنابراین برای رفع هرگونه تردیدی در مورد ماهیت سیگنال VF روش عمومی تولید مشاهدات جانشین را کنار گذاشته و روش جدیدی که در زیر به شرح آن می پردازیم را بکار می بریم. در این روش داده های جانشین را با استفاده از مدل مارکوف شبیه سازی می کنیم. در اینجا مشاهدات جانشین تولید شده بلحاظ توزیع دامنه مشابه مشاهده اصلی می باشند. نمونه ای از سیگنال VF در شکل (۱) نشان داده شده است [۱۷]. حوزه تغییرات دامنه سیگنال را به  $N$  ناحیه کوچک مساوی مطابق شکل تقسیم نموده و هر ناحیه را یک حالت<sup>۴</sup> می نامیم. بنابراین مشاهده موجود با  $N$  حالت ( $S_1, S_2, \dots, S_N$ ) مشخص می شود. اکنون با توجه به تعداد نقاط واقع شده در هر حالت می توان مدل احتمالی برای تغییر هر حالت به حالت های دیگر بدست آورد، بدین ترتیب که برای هر نقطه واقع در حالت  $S_N$ ، به نقطه بعدی آن نگاه می کنیم که در کدام حالت قرار می گیرد (مثلاً  $S_1$ ) و بدین ترتیب یک نقطه به هیستوگرام تبدیل حالت  $S_N$  به  $S_1$  اضافه می شود. این کار را برای همه نقاط واقع در همه حالت ها ادامه می دهیم تا در نهایت هیستوگرام تغییر حالت برای همه حالات بدست آید. سپس هیستوگرام های بدست آمده را نرمالیزه می کنیم بگونه ای که در واقع تابع چگالی احتمال (pdf) برای همه حالت ها بدست آید این کار در شکل (۲) برای سیگنال نشان داده شده در شکل (۱) با در نظر گرفتن سه حالت انجام شده است.

<sup>1</sup> test of hypothesis

<sup>2</sup> pivotal statistic

<sup>3</sup> correlation dimension

<sup>4</sup> state

#### ۴- تولید مشاهدات جانشین برای سیگنال VF :

همانطور که گفته شد هدف از این تحقیق اثبات ماهیت اتفاقی سیگنال VF است. بنابراین آنچه که لازم داریم عبارت است از :

۱- تولید مشاهدات جانشین بگونه ای که بلحاظ توزیع دامنه ( دینامیک ) مشابه سیگنال VF باشد.

۲- تزریق فرض صفر ( اتفاقی بودن ) به درون دینامیک مشاهدات جانشین.

۳- محاسبه آماره اساسی ( آماره معیار ) برای مشاهدات جانشین.

۴- مقایسه آماره معیار ناشی از مشاهده اصلی با توزیع آماره معیار ناشی از مشاهدات جانشین و تصمیم گیری در مورد رد یا قبول فرض صفر.

برای انجام مراحل یک و دو بصورت زیر عمل می کنیم :

سیگنال VF مشاهده شده را به ns حالت تقسیم می کنیم. ( در مورد انتخاب تعداد حالت ها در قسمت بعد صحبت می کنیم ) و تابع چگالی احتمال (pdf) و سپس تابع توزیع احتمال (cdf) را برای هر یک از حالت ها بدست می آوریم. برای تولید سیگنال جانشین ابتدا یک حالت ( مثلاً  $S_1$  ) را بطور اتفاقی از بین حالت های ( $S_1, S_2, \dots, S_N$ ) انتخاب می کنیم.

سپس عددی اتفاقی  $0 \leq P_R \leq 1$  از توزیع یکنواخت در فاصله [0,1] را تولید می کنیم. این عدد نقطه ای ( نقطه ای از یک حالت مثلاً  $S_1$  ) را بر روی cdf مربوط به  $S_1$  تعیین می کند که منطبق بر نقطه ای در حالت بعدی ( $S_1$ ) است. سپس  $P_R$  دیگری انتخاب و بدنبال آن نقطه دیگری تعیین می شود و .... این کار را M بار تکرار می کنیم و بدین ترتیب دنباله ای ( مشاهده ای ) به طول M تولید می شود که بلحاظ دینامیک مشابه مشاهده اصلی است و بعلاوه خاصیت اتفاقی بودن نیز به آن تزریق شده است. برای تولید جانشینی دیگر از حالت اتفاقی دیگری شروع کرده و عملیات فوق را تکرار می کنیم. بدین ترتیب تعداد دلخواهی از مشاهدات جانشین را تولید می نماییم.

#### ۵- تعداد حالات لازم برای سیگنال VF :

اکنون این سوال مطرح می شود که برای استخراج دینامیک سیگنال VF از مدل مارکوف چه تعداد حالت کافی است؟ تعداد حالات باید مقداری باشد که توزیع دامنه ( دینامیک ) مشاهده جانشین شبیه به مشاهده اصلی باشد. برای اینکار از آزمایش KS<sup>1</sup> استفاده می کنیم. آزمایش KS توزیع دامنه ( در واقع cdf ) دو سری زمانی را با یکدیگر مقایسه نموده و در مورد حداکثر اختلاف آنها توضیح می دهد. در این تحقیق تعداد حالات در مشاهده VF را بگونه ای انتخاب نموده ایم که حداکثر فاصله cdf دامنه مشاهدات جانشین از cdf مشاهده اصلی بیشتر از ۰/۰۵ نباشد.

#### ۶- نتایج عملی :

در این تحقیق از داده های MIT-BIH استفاده نموده ایم. مشاهدات مورد استفاده قسمتی هائی از چندین ضبط سیگنال فیبریلاسیون بطنی می باشد. آزمایش KS را برای همه این ضبط ها انجام داده و تعداد حالات مناسب را بدست آورده ایم.

شکل (۱) ضبط نرمالیزه هزار نقطه ( حدود چهار ثانیه ) از ضبط Cu01 را که به سه حالت تقسیم شده نشان می دهد. ده هزار نقطه از این ضبط ( فرکانس نمونه برداری ۲۵۰ هرتز ) را برای رسم هیستوگرام انتقال حالت مورد استفاده قرار می دهیم. در شکل (۲) نمودار pdf برای هر سه حالت و در شکل (۳) نمودار cdf هر یک آمده است. با استفاده از روشی که در قسمت ۴ گفته شد صد مشاهده جانشین تولید می نماییم. در شکل (۴) دو نمونه مشاهده جانشین برای مشاهده اصلی نمایش داده شده در شکل (۱)، آمده است. بعد همبستگی را برای هر صد مشاهده جانشین محاسبه می کنیم [۱۳] که همواره عددی در محدوده ۹/۵ - ۴/۵ بدست می آید که با نتایج سایر محققین سازگاری دارد [۱۴] [۱۵]. بعلاوه بعد همبستگی محاسبه شده برای مشاهده اصلی cu01 برابر ۶/۲ بدست می آید که تقریباً در میان فاصله ۹/۵ - ۴/۵ واقع

<sup>1</sup> kolmogorov – Smirnoff test

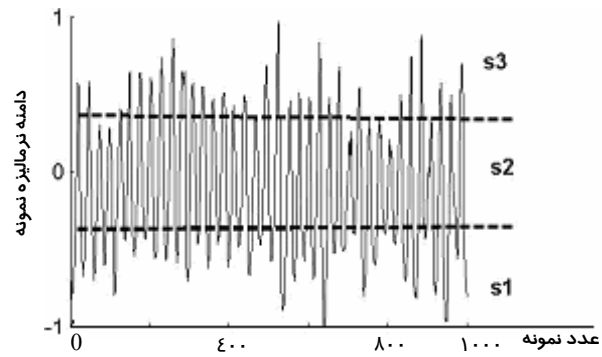
- [5] Lonnie C.Lundeman, "Blind nonlinear system identification during ventricular fibrillation", IEEE proc.1993.
- [6] M.Small, DJ Yu, " Temporal evolution of nonlinear dynamics in ventricular arrhythmia ", International Journal of bifurcation and chaos, vol.11, NO.10, 2001.
- [7] R.A.Stepien, " Testing for non-linearity in EEG signal of healthy subjects ", Acta Neurobiol. Vol.62, 2002.
- [8] T.Schreiber, A. Schmitz, " Improved surrogate data for nonlinearity tests ", phys.Rev.Let, vol.77, 1996.
- [9] J.Theiler, S.Eubank, " Testing for nonlinearity in time series : the method of surrogate data ", phys.D, 58,1992.
- [10] M.Small, k.Judd, " Correlation dimension : a pivotal statistic for non-constrained realizations of composite hypotheses in surrogate data analysis ", phys.D.120,1998.
- [11] A.M.Albano, P.E. Rapp, " Phase-randomised surrogates can produce spurious identification of non-random structure ", physlett. A.192,1994.
- [12] C.J.Stam, J.P.M. pijan, " Reliable detection of nonlinearity in experimental time series with strong periodic components. ", phys.D.112, 1998.
- [13] A.Corana, A.casaleggio, " Efficient computation of the correlation dimension from a time series on a LIW computer ", parallel computing.17, 1991.
- [14] A Casaleggio, B.Gramatikov, " Dynamic differences between ventricular fibrillation types induced in human patients by different types of stimulation ", IEEE computers in cardiology. Vol.24, 1997.
- [15] A Casaleggio, R.Ranjant, " Correlation dimension Analysis of epicardial cell action potentials during different cardiac arrhythmias ", IEEE computers in cardiology, 1994.
- [16] MIT-BIH. Data base. 2003.
- [17] A.Papoulis, " Probability random variables and stochastic processes " , Mc Graw-Hill-1991.

است. این امر در شکل (۵) نشان داده شده است. بعد همبستگی مشاهده اصلی با خط بلندتر در میان بعد همبستگی داده های جانشین به چشم می خورد. بنابراین فرض صفر مبنی بر اتفاقی بودن سیگنال VF را نمی توان رد کرد. پس فرض صفر را قبول می کنیم و نتیجه می گیریم که VF سیگنالی اتفاقی است.

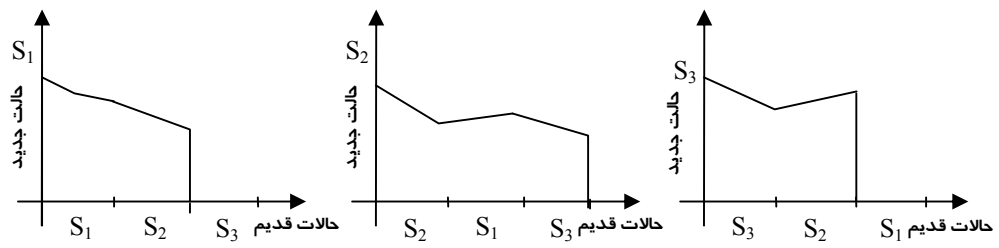
برای اطمینان بیشتر از درستی روشی که پیشنهاد نموده ایم آن را در مورد یک سیگنال سینوسی نیز آزمایش می کنیم. سیگنال سینوسی یک داده یقینی با بعد همبستگی یک است. ده هزار نقطه از آن را اختیار و آزمایش فوق را روی آن انجام می دهیم. وضعیت محاسبه بعد همبستگی برای داده های جانشین و داده اصلی مطابق شکل (۶) است. ملاحظه می گردد که بعد همبستگی داده اصلی در خارج حوزه بعد همبستگی داده جانشین واقع شده است. بنابراین فرض صفر رد می شود. یعنی مشاهده سینوسی یک فرآیند اتفاقی نیست ( یقینی است ) که انتظار همین نتیجه را داشتیم.

#### ۷- مراجع :

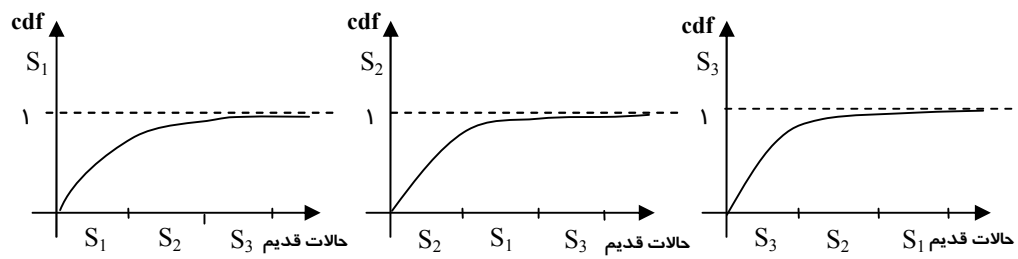
- [1] A.Rosado, J.Guerrero, " Fast non-invasive ventricular fibrillation detection method using pseudo wigner – ville distribution ", IEEE computers in cardiology, vol 28, 2001.
- [2] M.Small, DJ Yu, " Characterizing nonlinearity in ventricular fibrillation ", IEEE computers in cardiology, vol 26, 1999.
- [3] R.H.Clayton, A.Murray, " Frequency analysis of ventricular fibrillation ", IEEE savoy place, London, 1995.
- [4] DE. Ritscher, CR,Killingsworth, " ventricular fibrillation frequency analysis : signatures of modes of death in a canine sudden cardiac death model ", IEEE computers in cardiology, vol 26, 1999.



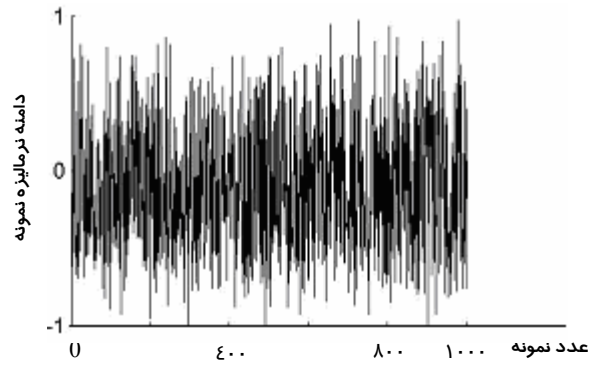
شکل (۱). نمونه ای از سیگنال VF که به سه حالت تقسیم شده است.



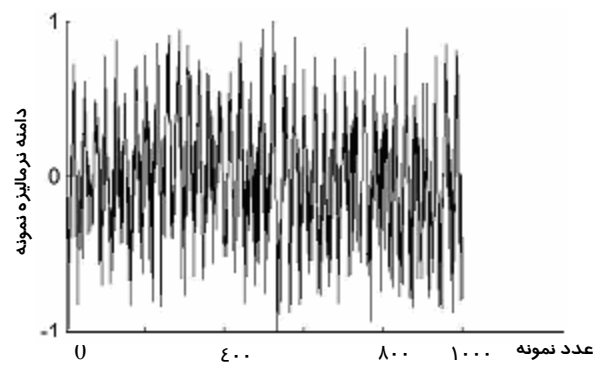
شکل (۲). Pdf انتقال حالت برای سیگنال شکل (۱) با در نظر گرفتن سه حالت.



شکل (۳). نمودار cdf برای توابع چگالی احتمال شکل (۲).

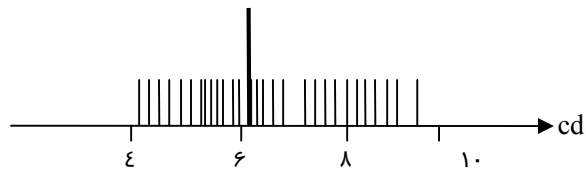


(الف)

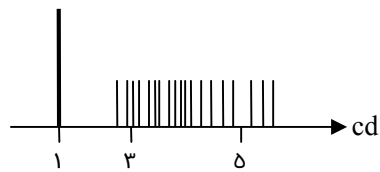


(ب)

شکل (۴). دو نمونه سیگنال های جانشین تولید شده با روش پیشنهادی  
برای مشاهده اصلی در شکل (۱)



شکل (۵). موقعیت  $D_2$  مشاهده اصلی در میان  $D_2$  ناشی از داده های



شکل (۶). موقعیت  $D_2$  سیگنال سینوسی (یقینی) در میان داده های جانشین (اتفاقی).