

به نام خدا



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده فیزیک

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی فیزیک

تحلیل سری‌های زمانی پیچیده به روش‌های

آنتروپی چند مقیاسی و قطع تراز

مهدی بوربور

استاد راهنما :

دکتر فرهاد شهبازی

اسفند ماه ۸۵



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده فیزیک

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی فیزیک

تحلیل سری‌های زمانی پیچیده به روش‌های

آنتروپی چند مقیاسی و قطع تراز

مهدی بوربور

در تاریخ ۱۳۸۵ / ۱۲ / ۲۳ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی قرار گرفت:

دکتر فرهاد شهبازی

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه

دکتر کیوان آقابابایی سامانی

۲- استاد مشاور پایان‌نامه

دکتر رسول امیرفتاحی

۳- استاد مدعو

دکتر بهروز میرزا

۴- استاد ممتحن داخلی

دکتر ظفر الله کلانتری

سرپرست تحصیلات تکمیلی

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،  
ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع  
این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

با تقدیر و تشکر فراوان از زحمات استاد عزیزم  
آقای دکتر فرهاد شهبازی

تقدیم به :

پدر و مادر فداکار

و

همسر مهربانم

## فهرست مندرجات

---

۱ مقدمه : ..... ۲

---

### ۲ سری‌های زمانی

۱-۲ مقدمه ..... ۴

۲-۲ اجزای تشکیل دهنده سری زمانی ..... ۴

۳-۲ مدل‌های سری زمانی ..... ۵

۴-۲ پیش‌بینی ..... ۶

---

### ۳ الکتروکاردیوگرام

۱-۳ دستگاه هدایتی ..... ۸

۲-۳ فیزیولوژی هدایت قلبی ..... ۹

۳-۳ تجزیه و تحلیل امواج الکتروکاردیوگرام ..... ۹

۴-۳ امواج، کمپلکس‌ها و فواصل ..... ۱۰

---

#### ۴ روش‌های متداول در تحلیل داده‌ها :

- ۱-۴ تابع خود همبستگی ..... ۱۴
- ۲-۴ طیف فرکانسی ..... ۱۵
- ۳-۴ روش حذف شیب ..... ۱۶
- ۴-۴ روش بیشینه‌های قدر مطلق ضرایب موجکی ..... ۱۸
- ۵-۴ روش حذف شیب چند فرکتالی ..... ۲۰

---

#### ۵ تحلیل داده‌ها به روش آنالیز چند مقیاسی :

- ۱-۵ مقدمه ..... ۲۴
- ۲-۵ توصیف روش آنالیز چند مقیاسی ..... ۲۶
- ۳-۵ نتایج به دست آمده از روش آنالیز چند مقیاسی ..... ۲۹
- ۴-۵ رهیافت جدید : " پیچیدگی چند مؤلفه‌ای " و نتایج حاصله از آن ..... ۳۸
- ۵-۵ MSE program ..... ۴۱

---

#### ۶ تحلیل داده‌ها به روش قطع تراز :

- ۱-۶ مقدمه ..... ۴۶
- ۲-۶ توصیف روش " قطع تراز " و نتایج حاصله از آن ..... ۴۷
- ۳-۶ LEVEL CROSSING program ..... ۵۲

---

#### ۷ مروری بر نتایج و پیشنهادها :

- ۱-۷ نتایج کلی ..... ۵۶
- ۲-۷ پیشنهادها ..... ۵۷
-



---

## پیوست A همبستگی و آنتروپی در آمار و احتمال

(1-A) توزیع‌های دو متغیره ..... ۵۸.....

(2-A) نمودار پراکنش ..... ۵۸.....

(3-A) ضریب همبستگی ..... ۵۹.....

(4-A) تعجب ، عدم قطعیت و آنتروپی ..... ۶۱.....

---

مراجع ..... ۶۵.....

---

## چکیده :

امروزه کاربرد تجزیه و تحلیل داده‌ها محدود به گرایش خاصی نیست و زمینه‌های گوناگونی شامل مهندسی ، علوم پایه ، پزشکی و اقتصاد را در بر می‌گیرد . از این رو تلاش‌های زیادی جهت طبقه‌بندی سری‌های زمانی فیزیکی و فیزیولوژیکی و شناخت خواص آن‌ها از سوی دانشمندان صورت گرفته است .

در این پایان‌نامه ابتدا مروری بر مبانی آمار و احتمال مورد نیاز می‌کنیم و سپس با برخی روش‌های متداول برای پردازش داده آشنا شده و در نهایت با استفاده از روش‌های آنتروپی چند مقیاسی (Multiscale Entropy) و قطع تراز (Leve crossing) به آنالیز نوفه‌های تصادفی با همبستگی توانی و سری زمانی فواصل ضربان قلب (RR)

می‌پردازیم .

# فصل ۱

## مقدمه

در پدیده‌های طبیعی، تحولات زمانی نقش مهمی بازی می‌کنند. سیستم‌هایی که اطاعات راجع به بعضی از خواص آن‌ها تا حدی قابل پیش‌بینی و تخمین‌زدن باشند بیشتر قابل شیه‌سازی هستند، یعنی برای بدست آوردن جواب‌های بهتر و منطبق با واقعیت از خواص قابل مشاهده آماری، راه ساده‌تر، پیدا کردن مدلی است که با کشف خواص دقیق سیستم، بتواند از پیش آمدن خطاهای ناخواسته جلوگیری کند. مشخصات سیستم گاهی توسط حل‌ها و روش‌های تحلیلی بدست می‌آید که در این حالت ارزیابی سیستم، با دقت زیادی به جواب اصلی نزدیک است. ولی در بعضی موارد، آشفتگی‌ای در سیستم وجود دارد که در هر بازه و یا در هر قسمت، رفتاری متفاوت از هم دارد و بنابه اندازه و مقیاس این آشفتگی، همچنین با در نظر گرفتن تحول آن که آیا نسبت به زمان یا تبدیلات مکانی نظیر انتقال، دوران و بازتاب و... متغیر یا ثابت باشد هر قسمت از سیستم رفتار ویژه‌ای دارد [۱]. خروجی‌های یک سیستم دینامیکی که در هر لحظه اطلاعات راجع به پاسخ سیستم موجود است، طوری تعریف می‌شود که پیش‌بینی را برای

آینده این مجموعه ممکن می‌سازد و از طرفی راجع به رفتار گذشته آن نیز می‌توان اطلاعاتی بدست آورد. در بعضی موارد خروجی‌های لحظه‌ای کاملاً تصادفی و غیر قابل پیش‌بینی و در بعضی موارد تا حدی همبسته دیده می‌شود. همان‌طور که در مکانیک آماری دیده‌ایم برای مجموعه‌های آماری با توجه به نوع هنگرد، میانگین پارامترها در حالت حدی اهمیت پیدا می‌کند یعنی حالتی که برای خروجی‌های لحظه‌ای زیاد، این خواص قابل اندازه‌گیری باشد. این کار در پردازش داده‌ها از یک سیستم دینامیکی نیز شبیه‌سازی می‌شود و ادامه می‌یابد و اطلاعات و خواص و پارامترهای متناظر دو نقطه‌ای و... که در پردازش داده‌ها با آن مواجه می‌شویم طبق رعایت این اصول به واقعیت نزدیک است. در این تحقیق پردازش داده‌های بیولوژیکی مورد نظر است و در این مورد داده‌ها از حالت کاملاً تصادفی و توزیع نرمال خارج شده‌اند و بنابراین پیش‌بینی و تصمیم‌گیری آسان‌تر و دست‌یابی به رفتار هر قسمت از داده‌ها ممکن است.

## فصل ۲

### سری‌های زمانی

#### ۲-۱ مقدمه

منظور از سری زمانی مجموعه‌ای از مشاهدات است که در فواصل زمانی مساوی و منظمی مرتب شده باشند. به روش‌هایی که مشاهدات سری زمانی را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد، تحلیل سری‌های زمانی گفته می‌شود. در ضمن کاربرد اصلی تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی پیش‌بینی است.

#### ۲-۲ اجزای تشکیل دهنده سری زمانی

اجزای تشکیل دهنده سری زمانی عبارتند از:

۱- روند

۲- تغییرات دوره‌ای

۳- تغییرات فصلی

۴- تغییرات نامنظم

## ۱- روند

سیر طبیعی سری زمانی را در بلند مدت گویند ، که در این صورت افت و خیزهای سری زمانی را نادیده گرفته و به نمای کلی آن توجه می کنند . مثلاً هزینه زندگی ، با وجود آن که در هر سال با نوساناتی همراه می باشد ولی گرایش متوسط این نوسانات از یک سال به سالی دیگر در حال افزایش است .

## ۲- تغییرات دوره‌ای

حرکات نوسانی در یک سری زمانی با دوره نوسان بیشتر از یک سال را تغییرات دوره‌ای می نامند . مثلاً حالت‌های مربوط به دوره‌های رونق و رکود تجاری که هر یک ممکن است چندین سال ادامه داشته باشد .

## ۳- تغییرات فصلی

تغییراتی که در دوره‌های تناوبی کوتاه (کمتر از یکسال) پیش می آیند ، تغییرات فصلی می نامند . در واقع این نوع تغییرات تابع تغییرات فصلی هستند . مثلاً فروش لوازم التحریر در فصل شروع مدارس به عاملی انسانی مربوط می باشد . لذا منظور از نوسانات فصلی ، هر نوع تغییر و تحولی است که در بخشی از یک سال به طور متناوب تکرار می شود .

## ۴- تغییرات نامنظم

تغییرات نامنظم ، طرح معینی را نشان نمی دهند و دوره زمان وقوع آنها منظم نیست . تغییرات نامنظم یا تصادفی توسط عامل تصادفی مانند سیل ، زلزله ، اعتصاب‌ها و غیره به وجود می آیند .

## ۳-۲ مدل‌های سری زمانی

### ۱- مدل جمعی

در این مدل مقدار مشاهده سری زمانی ،  $X_t$  ، معادل حاصل جمع اجزای تشکیل دهنده آن تلقی می شود ، یعنی :

$$x_t = T_t + C_t + S_t + I_t \quad (1-2)$$

که در آن  $T_t$  جزء روند ،  $C_t$  جزء دوره‌ای ،  $S_t$  جزء فصلی و  $I_t$  جزء منظم است .

### ۲- مدل ضربی

در این مدل مقدار مشاهده شده سری زمانی ،  $x_t$  ، معادل حاصل ضرب اجزای تشکیل دهنده آن تلقی می شود ، یعنی :

$$x_t = T_t \cdot C_t \cdot S_t \cdot I_t \quad (2-2)$$

## ۲-۴ پیش‌بینی

فنون مربوط به پیش‌بینی سری‌های زمانی را می‌توان به دو دسته ، روش‌های کمی و روش‌های کیفی تقسیم کرد :

### الف - مدل‌های پیش‌بینی کمی

مدل‌های پیش‌بینی کمی عبارتند از : مدل‌های ساده ، مدل‌های میانگین متحرک ، مدل‌های نمو هموار ، مدل‌های هلت - وینترز ، مدل‌های باکس - جنکینز

#### ۱- مدل‌های ساده

این مدل‌ها معمولاً برای ارزیابی صحت مدل‌های پیچیده و یا نسبتاً پیچیده می‌باشند . مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از :  
الف) مدل پیش‌بینی بدون تغییر : در این مدل فرض می‌شود که مقادیر فصلی سری زمانی برآورد خوبی از مقادیر بعدی خواهند بود . معمولاً برای سری‌های زمانی‌ای به کار می‌رود که هیچ‌گونه رشد و یا کاهش بلند مدتی را از خود نشان نمی‌دهند .

ب) مدل پیش‌بینی با درصد تغییر : معمولاً برای آن دسته از سری‌های زمانی به کار می‌رود که یک رفتار نمایی با روند صعودی یا نزولی از خود نشان دهد .

#### ۲- مدل‌های میانگین متحرک

هدف از به کارگیری میانگین متحرک ، هموار سازی نوسانات منظم است . از مدل‌های میانگین متحرک برای پیش‌بینی سری‌هایی که تغییرات نامنظم دارند ، استفاده می‌شود . همچنین برای پیش‌بینی کوتاه مدت به کار گرفته می‌شود .

#### ۳- مدل نمو هموار ساده

برای پیش‌بینی مقادیر آینده سری زمانی از مدل نمو هموار ساده استفاده می‌شود . در واقع با استفاده از این مدل می‌توان مقادیر پیش‌بینی هر یک از مقادیر فعلی سری زمانی را برآورد کرد ، آن‌گاه آن‌ها را به عنوان مبنایی برای پیش‌بینی مقادیر آینده قرار داد .

#### ۴- مدل نمو هموار هلت - وینترز

این مدل برای پیش‌بینی در سری‌هایی است که تغییرات غیر فصلی دارند و هم توسعه‌پذیر به سری‌هایی است که تغییرات فصلی دارند .

## ۵- مدل پیش‌بینی باکس و جنکینز

این مدل و ابزارهای استفاده شده در آن فقط برای سری‌های زمانی ایستا کاربرد دارد. بنابراین قبل از این که یک سری زمانی غیر ایستا به وسیله‌ی این مدل تحلیل گردد، باید با استفاده از روش‌های دیفرانسیل‌گیری به یک سری ایستا تبدیل شود.

## ب- مدل‌های پیش‌بینی کیفی

مدل‌های پیش‌بینی کیفی عبارتند از: روش دلفی، روش طوفان مغزی و روش گروه اسمی

### ۱- روش دلفی

این روش بر اساس نظر یک گروه از متخصصان و یک نفر هماهنگ‌کننده شکل می‌گیرد و هیچ عضوی از گروه از سایر اعضای آن خبر ندارد، بلکه همه‌ی ارتباطات از طریق هماهنگ‌کننده اصلی انجام می‌گیرد.

### ۲- روش طوفان مغزی

در این روش، نظم و قاعده خاصی برای پیش‌بینی وجود ندارد و بر اساس این فرضیه بنا شده است که جلسه‌ای تشکیل شود تا در آن هر کس بتواند آزادانه هر فکری به نظرش می‌رسد، ابراز می‌کند. در واقع می‌خواهیم با تشویق و تاکید بر خودجوشی به نظرهای بدیع برسیم تا پیش‌بینی نهایی به واقعیت نزدیکتر باشد.

### ۳- روش گروه اسمی

در این روش ضمن تشویق و ترغیب افراد به نوآوری و فراهم آوردن شرایط مناسب برای آن، به فرآیند پیش‌بینی، نظم بیشتری می‌دهد.

## مدل‌های تلفیقی

ترکیب دو یا چند مدل خاص پیش‌بینی می‌تواند به صحت بهتری از مقادیر پیش‌بینی بیانجامد. برای تشکیل مدل تلفیقی، صرفاً از دو مدل پیش‌بینی استفاده نمی‌شود، بلکه هر تعداد مدل پیش‌بینی که تلفیق مقادیر پیش‌بینی آن‌ها به بالا بردن صحت مقادیر پیش‌بینی نهایی منجر شود، ترکیب‌پذیر است.



## فصل ۳

# الکتروکاردیوگرام

### ۳-۱ دستگاه هدایتی

سلول‌های هدایتی قلب، امواج الکتریکی را تولید و به سلول‌های میانی قلب می‌فرستند. بدین ترتیب جریان خون مؤثر و برون‌ده کافی در قلب ایجاد می‌کنند. سه مشخصات فیزیولوژیک برای سلول‌های الکتریکی می‌توان برشمرد:

- توانایی تولید امواج الکتریکی (خود تنظیمی)

- توانایی پاسخ‌گویی به امواج الکتریکی (قابلیت تحریک)

- توانایی انتقال موج الکتریکی از سلولی به سلول دیگر (قابلیت هدایت)

مجموعه سلول‌هایی که در محل اتصال ورید اجوف فوقانی به دهلیز راست قرار دارند گره سینوسی-دهلیزی نامیده می‌شوند. گره سینوسی-دهلیزی هر دقیقه ۶۰-۱۰۰ موج تحریکی به قلب در حال استراحت می‌فرستد. ضربان قلب بر حسب نیاز بدن تغییر می‌کند. سیگنال‌های گره سینوسی-دهلیزی از راه دهلیزها و از طریق راه‌های مخصوص که

راههای بین گرهی نامیده می‌شوند، به سوی گره متنی هدایت می‌شوند. آنگاه امواج الکتریکی به گره دهلیزی - بطنی هدایت می‌شوند. گره دهلیزی - بطنی (در دیواره دهلیز راست، نزدیک دریچه تریکو سپید قرار دارد)، نیز مانند گره سینوسی - دهلیزی از سلول‌هایی تشکیل شده است که می‌توانند امواج الکتریکی تولید کنند.

### ۲-۳ فیزیولوژی هدایت قلبی

فعایت الکتریکی قلب نتیجه‌ی حرکت یونها (ذرات باردار مثل سدیم، پتاسیم، و کلسیم) از خلال غشای سلولی است. تغییرات الکتریکی درون سلول را پتانسیل عمل قلب می‌نامند. سلولهای عضلانی قلب در هنگام استراحت قطبیده هستند یعنی اختلاف ولتاژ بین داخل سلول (دارای بار منفی) خارج سلول (دارای بار مثبت) وجود دارد. با شروع موج تحریک نفوذ پذیری غشای سلولی تغییر می‌کند. سدیم به سرعت وارد سلول می‌شود. هنگامی که پتاسیم از سلول خارج می‌شود، با جابجایی یونی واقطبش شروع می‌شود (فعالیت الکتریکی سلول) و داخل سلول بار الکتریکی مثبت پیدا می‌کند و به دنبال واقطبش انقباض عضلانی رخ می‌دهد. تعامل بین تغییرات ولتاژ غشاء و انقباض عضله، فعایت الکترو دینامیکی قلب نامیده می‌شود. یک سلول عضلانی به طور طبیعی با واقطبیده شدن سلول مجاور، واقطبیده می‌شود، اگر چه می‌تواند به وسیله تحریک الکتریکی سیستم هدایتی هم تحریک شود. واقطبش کامل سلول‌های هدایتی باعث واقطبش و انقباض تمام میوکارد (بافت میانی قلب) می‌شود. با بازگشت سلول به حالت عادی باز واقطبش روی می‌دهد که با شل شدن (رفع انقباض) عضله قلبی مطابقت دارد. بعد از ورود سریع سدیم به داخل سلول در هنگام دیپولاریزاسیون نفوذ پذیری غشای سلولی نسبت به یون کلسیم تغییر می‌کند و اجازه ورود کلسیم به داخل سلول را می‌دهد. ورود کلسیم به داخل سلول در مرحله کفه رپولاریزاسیون صورت می‌گیرد که خیلی آهسته‌تر از ورود سدیم و ادامه آن برای یک دوره طولانی است.

### ۳-۳ تجزیه و تحلیل امواج الکتروکاردیوگرام

امواج الکتروکاردیوگرام (ECG) فعایت سیستم هدایت قلبی را نشان می‌دهد که بطور طبیعی فعایت الکتریکی قلب را شروع و هدایت می‌کند. در صورت تجزیه و تحلیل صحیح امواج ECG اطلاعات مفیدی درباره‌ی فعالیت الکتریکی میوکارد بدست می‌دهد. این امواج روی کاغذ مخصوص ثبت می‌شوند که با خطوط روشن و تیره عمودی و افقی و با فواصل استاندارد ترسیم شده است. زمان و سرعت ضربان قلب روی محور افقی دامنه یا ولتاژ امواج روی محور عمودی

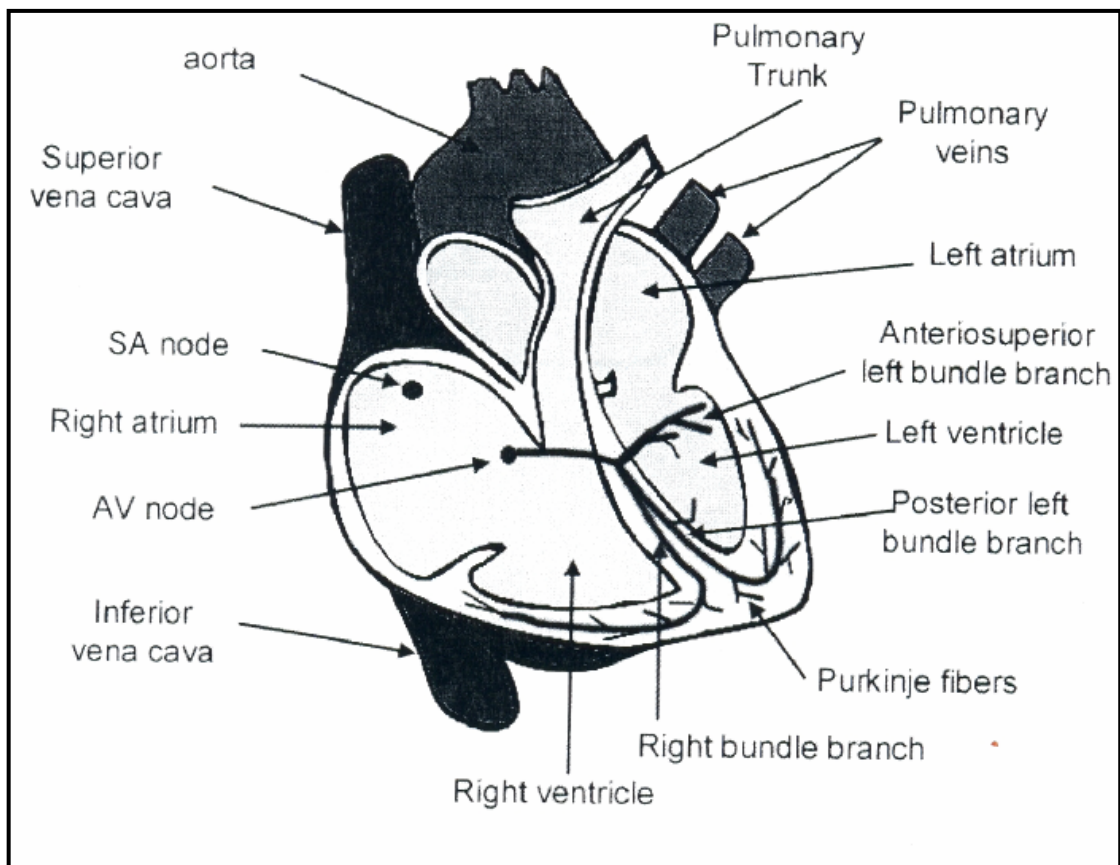
اندازه گیری می شود. وقتی شکل موج ECG به سمت بالای کاغذ حرکت می کند، آن را انحنای مثبت (موج مثبت) اگر به سمت پایین کاغذ رسم شود، انحنای منفی (موج منفی) نامند. هنگام مطالعه ECG باید هر موجی مورد بررسی قرار گیرد.

### ۳-۴ امواج، کمپلکس ها و فواصل

الکتروکاردیوگرام از ترکیب امواج مختلف (موج p، کمپلکس QRS، موج T و احتمالاً موج U) قطعات و فواصل (فاصله PR، فاصله RR، و فاصله QT) تشکیل شده است.

موج P نشان دهنده موج تحریکی شروع شده از گره سینوسی - دهلیزی است که در دهلیز منتشر می شود. بنابراین موج p دپولاریزاسین دهلیزی را نشان می دهد و بطور طبیعی ارتفاع موج ۲/۵ میلی متر یا کمتر و زمان آن ۰/۱۱ ثانیه یا کمتر است. مجموعه QRS واقطبش بطنی را نشان می دهد. تمام امواج QRS دارای هر سه شکل موج نیستند. اولین موج منفی بعد از موج p، موج Q است که بطور طبیعی سرعت آن کمتر از ۰/۰۴ ثانیه و ارتفاع آن کمتر از ۲۵ درصد موج R همان مجموعه موج است. اولین موج (منحنی) مثبت بعد از موج P، موج R است و موج S اولین موج منفی بعد از موج R است. سرعت کمپلکس QRS بطور طبیعی ۰/۲۱ ثانیه است. موج T رپولاریزاسیون عضله قلب را نشان می دهد (وقتی سلول دوباره ولتاژ منفی بدست می آورد که وضعیت استراحت هم نامیده می شود). این موج بعد از کمپلکس QRS قرار دارد و جهت آن معمولاً مطابق با جهت کمپلکس QRS است.

موج U (اگر وجود داشته باشد) نشان دهنده رپولاریزاسیون ایاف پورکنز است (شکل ۱). فاصله PR از شروع کمپلکس QRS است و نشان دهنده زمان تحریک گره سینوسی - دهلیزی، دپولاریزاسیون دهلیزی و هدایت موج به گره دهلیزی بطنی است. فاصله PR بطور طبیعی در افراد بالغ بین ۰/۲۱ تا ۰/۲۰ است. قطعه ST معمولاً به صورت تغییری در ضخامت یا زاویه قسمت انتهایی کمپلکس QRS نشان داده می شود. دیگر فواصل عبارتند از فاصله PP از شروع موج P تا شروع موج بعدی محاسبه می شود. از فاصله PP برای تعیین سرعت و ریتم ضربان دهلیزی استفاده می شود. فاصله RR از یک کمپلکس تا R کمپلکس بعدی است که برای اندازه گیری سرعت و ریتم ضربان بطنی استفاده می شود.



شکل (۱): با توجه به توضیحات داده شده قسمت‌هایی از قلب که در تولید و هدایت الکتریکی قلب شرکت دارند مشخص گرئیده است. بعضی از قسمت‌های مهم عبارتند از SA node یعنی گره سینوسی-دهلیزی که تحریک الکتریکی اولیه P را تولید می‌کند، AV node یعنی گره دهلیزی-بطنی که موج QRS را تولید می‌کند و باعث انقباض بطن‌ها می‌گردد.