

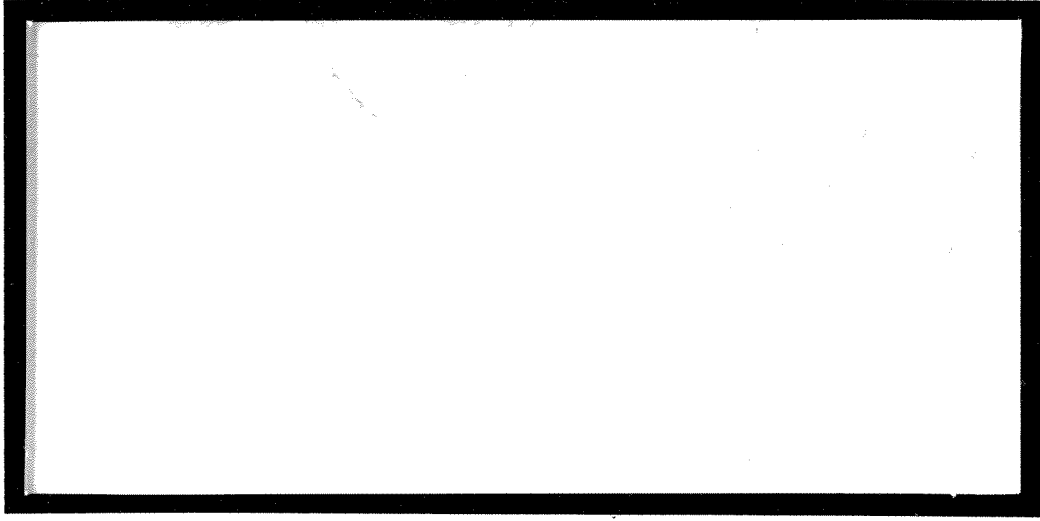
1997-31



TÜRKİYE BİLİMSEL VE  
TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL  
RESEARCH COUNCIL OF TURKEY

*Duy*



Elektrik, Elektronik ve Enformatik Araştırma Grubu

Electric, Electronics and Informatics Research  
Grant Committee

**MODERN SİNYAL İŞLEME  
TEKNİKLERİ KULLANARAK  
YENİ ELEKTROKARDİYOLOJİK  
TEŞHİS YÖNTEMLERİ BULUNMASI**

**PROJE NO : EEEAG-22/DPT**

*192 ECH*

Y. Ziya İder  
H. Alper Güçer  
Ali Oto  
Kemal Leblebicioğlu

AĞUSTOS 1994  
ANKARA

## ÖNSÖZ

Bu projenin amacı, elektrokardiyolojik patolojilerin teşhisi amacıyla, elektrik mühendisliği disiplninde kullanılan sinyal işleme tekniklerinden yararlanarak yeni yöntemler geliştirmektir. Bu proje kapsamında kişisel bilgisayar tabanlı bir veri alım sistemi tasarlanmış, bu sisteme çeşitli yazılımlar ilave edilerek çeşitli hasta gruplarından veri alınmış ve bu verilerden Yüksek Rezolüsyonlu EKG ve Nabız Değişkenliği konularında yeni tıbbi bulgular elde etmeye yönelik yöntemler geliştirilmiştir. Proje TÜBİTAK Elektrik Elektronik ve Enformasyon Araştırma grubu tarafından desteklenmiştir.

## İÇİNDEKİLER

Önsöz .....	1
İçindekiler .....	2
Tablo ve şekil listesi .....	4
Öz .....	5
Abstract .....	6
Proje ana metni .....	7
1) Amaç .....	7
2) Kapsam .....	7
3) Donanım .....	8
a) Analog devre .....	8
b) İzole devre .....	8
c) PC bağlantı devresi .....	9
4) Yazılım .....	13
a) Veri alımı yazılımı .....	13
b) P dalgası yazılımı .....	13
c) Geç Potansiyeller yazılımı .....	18
d) Kalp Hızı Değişimi yazılımı .....	21
5) Uygulamalar .....	26
6) Sonuç .....	27
Referanslar .....	28

Yayınlar .....	29
Ekler .....	30
Bibliyografik Bilgi Formu .....	38

## TABLO VE ŞEKİL LİSTELERİ

Şekil 1 : Analog devre .....	10
Şekil 2 : İzole devre .....	11
Şekil 3 : PC bağlantı devresi .....	12
Şekil 4 : P dalgası yazılımı çıktısı .....	16
Şekil 5 : Pili P dalgası yazılımı çıktısı .....	17
Şekil 6 : Geç Potansiyeller yazılımı çıktısı .....	20
Şekil 7 : Kalp Hızı Değişimi yazılımı çıktısı 1 .....	24
Şekil 8 : Kalp Hızı Değişimi yazılımı çıktısı 2 .....	25

## ÖZ

Tıbbın kardiyoloji dalında birçok hastalığın teşhisinde kalbin aktivasyonu sonucunda oluşan elektrik sinyallerinden yararlanılmaktadır (Elektrokardiyografi vb). Bu sinyaller vücut yüzeyinde kolayca ölçülebilmektedirler. Kaydedilen bu sinyallerin elektrik mühendisliği disiplininde kullanılan sinyal işleme teknikleri ile işlenmesi ile önemli bilgiler ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle proje kapsamında kişisel bilgisayar tabanlı bir veri alma sistemi tasarlanmıştır ve bu sistem üzerinde çalışacak çeşitli yazılımlar geliştirilmiştir. Halen, bu sistem ile, Geç Potansiyeller analizi, P dalgası ortalaması ve analizi, Kalp Hızı Değişimi analizleri yapılabilmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar üç bildiri ile yayınlanmıştır ve bir makale ve bir bildiri yayınlanmak üzere sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Elektrokardiyografi, Sinyal işleme, Geç Potansiyeller, P dalgası, Kalp Hızı Değişimi, Sinyal Ortalama

## ABSTRACT

Signals originating from the activation of the heart are widely used for diagnostic purposes in cardiology (e.g. electrocardiography). These signals can easily be measured from the surface of the body. It is possible that, using the signal processing techniques available in electrical engineering discipline, important diagnostic parameters may be acquired. Thus, a personal computer based data acquisition system and analysis software are developed in this project. Using this novel design system, data were collected from various patient groups. At the moment, using this system, Late Potentials analysis, P wave averaging and analysis, Heart Rate Variability analysis can be carried out. The results of this work are published as three conference papers and, a regular paper and a conference paper are submitted for publication.

**Key Words:** Electrocardiography, Signal Processing, Late Potentials, P wave, Heart Rate Variability, Signal Averaging



## PROJE ANA METNİ

Bu bölümde, projenin amacı ve kapsamı anlatılmakta, tasarımı ve üretimi gerçekleştirilen sistem ve geliştirilen yazılımlar detaylandırılmakta , yapılan uygulamalardan ve elde edilen sonuçlardan bahsedilmektedir.

### 1. AMAÇ

Bu projenin amacı, Elektrik Mühendisliği disiplini içinde kullanılmakta olan sinyal işleme tekniklerinden yararlanmak suretiyle, tıbbın kardiyoloji dalı için temel önem arz eden elektrokardiyolojik sinyallerden çeşitli kalp rahatsızlıkları hakkında geniş kapsamlı bilgi elde etmek ve bu bilgilerden bir teşhise varılabilmesine yönelik endeksler araştırmak ve geliştirmektir.

### 2. KAPSAM

Tıbbın kardiyoloji dalında birçok hastalığın teşhisinde kalbin aktivasyonu sonucunda meydana gelen sinyallerden yararlanılmaktadır. Elektrokardiyolojik sinyallerin vücut yüzeyinden kolayca ölçülebilir olması, Elektrik Mühendisliği disiplini içinde kullanılmakta olan modern sinyal işleme tekniklerinin bu sinyallerin analizinde yaygın olarak kullanılabileceği fikrini vermektedir.

Kalp rahatsızlıklarının tespitinde kullanılan metodlar temel olarak invaziv ve invaziv olmayan olmak üzere iki grupta toplanabilir. İnvaziv metodlar kalp kataterizasyonu, anjiyografi gibi çalışmalardır ve bu yöntemler değerli bilgiler verebilmektedirler. Ancak bu çalışmalar hastaya, ölüme kadar varabilen, fiziksel zararlar verebilecek olması, uzman ekip ve teknoloji gerektirmesi, pahalı ve tekrarının zor olması gibi nedenlerle pratikte sınırlı olarak kullanılabilmektedir. Elektrokardiyografi (EKG), eforlu EKG, Holter gibi invaziv olmayan yöntemler ise herhangi bir sakınca arz etmemekle birlikte duyarlılık ve özgüllük açısından zayıf kalmaktadırlar. Öte yandan Elektrik Mühendisliğinde kullanılan sinyal işleme yöntemleri kullanılarak kalp sinyallerinin analizinde invaziv olmayan fakat yüksek duyarlılığa ve özgüllüğe sahip yöntemler geliştirilebilir.

Sinyal işleme tekniklerinin kalp sinyallerine uygulanması sonucunda, son zamanlarda elde edilen en önemli gelişmelerden biri ani kardiyak ölüm riskinin belirlenmesine yönelik Geç Potansiyeller analizidir (1). Bu analizde sinyal ortalama ve filtreleme yöntemleri kullanılarak az gürültülü ST bölgesi sinyali elde edilmekte ve klinik verilere dayanan istatistikî bir karar kuralı ile bu bölgede düşük genlikli ve yüksek frekanslı aktivite olup olmadığı tesbit edilmektedir. Bu aktivite varsa ve hasta daha önce enfarktüs geçirmiş ise bu hastanın ani ölüm riskinin var olduğu kabul edilmektedir. Bu tip teşhis ve analiz Yüksek Rezolüsyonlu EKG alanına girmektedir. Yüksek Rezolüsyonlu EKG alanında, yeni konular olarak kalpteki iletim bozukluklarının araştırılması, atriyal aritmilerin teşhisi için P

dalgalarının ve P-R aralıklarının analizi gerekmektedir (2). Geliştirilen bu sistem ile yukarıda sayılan Yüksek Rezolüsyonlu EKG analizleri yapılabilmektedir.

Bunlara ek olarak otonom sinir sistemindeki bozuklukları araştırılmasına yönelik olarak nabız değişkenliğinin incelenmesi de bu sistem ile mümkün olacaktır. Bu konuda RR aralığı histogramı ve takogramı çıkarılması ve bu takogramın güç spektral yoğunluğu hesaplanması ile tıbbi önemi olan bilgiler elde edilebilecektir (3).

Bahsedilen bu çalışma konularında hızlı gelişmeyi engelleyen en önemli nedenlerden biri uygulamaya yönelik veri toplama sistemlerinin olmayışıdır. Bu sebeple proje kapsamında yeni bir veri alım sistemi tasarlanmış ve yukarıda sayılan analizleri yapabilen yazılımlar geliştirilerek çeşitli hasta gruplarında araştırmalar yapılmıştır.

### 3. DONANIM

Sistem kişisel bilgisayar tabanlı olup, donanım üç adet modülden meydana gelmektedir. Bunlar, EKG sinyallerini alan ana analog devre, A/D çevirici ve fiberoptik verici modülü, fiberoptik alıcı ve PC bağlantı modülleridir.

#### a) Analog Devre

Analog devre sistemin giriş devresi olup, elektrotlar sayesinde hastadan alınan sinyalleri yükseltir, band-geçirgen filtreler ve A/D çevirimi için izole sayısal devreye verir. Toplam 7 veri kanalı vardır ve bunlardan 6 tanesi EKG sinyalleri için, diğeri ise 50 Hz gürültü içindir. Analog devrenin şeması Şekil 1'de verilmiştir. EKG sinyallerini alan kanalların hepsi bir giriş anfisinden (buffer) geçirilir. Daha sonra bu sinyaller fark anfilerinden (diferansiyel anfi) geçirilerek gürültü miktarları azaltılır. Sinyaller en son olarak kazanç anfilerinden geçirilir ve 0.5-340 Hz geçirgenliğe sahip band-geçirgen bir filtre ile filtrelenir. Filtrelenip yükseltelen sinyaller A/D çeviriciye verilir.

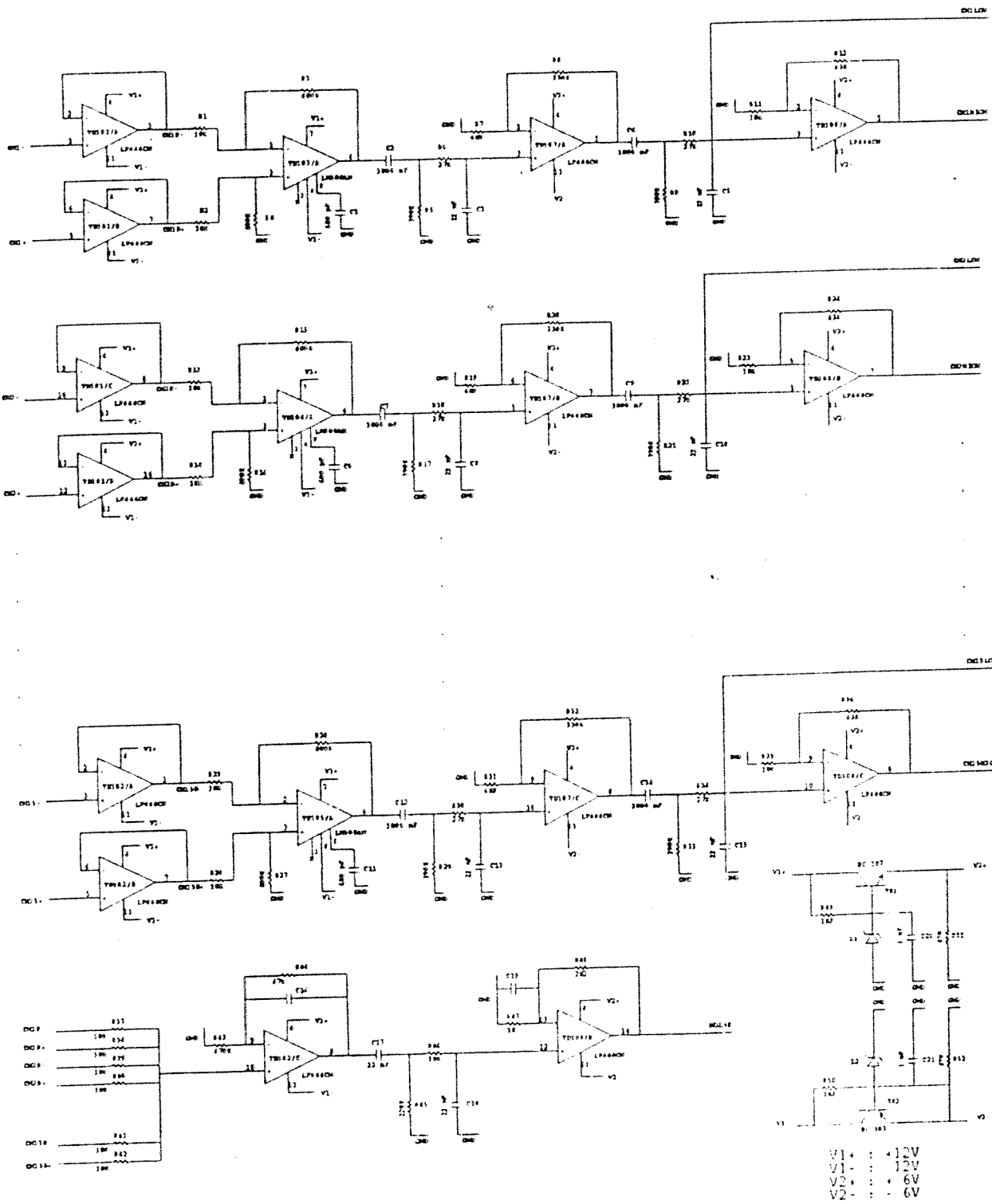
#### b) İzole Sayısal Devre

İzole sayısal devre, analog devreden gelen maximum 16 sinyali 16x1 multiplexer sayesinde teker teker, seri çıkışlı A/D çevirici vasıtasıyla, analogdan sayısala çevirir ve bunları fiberoptik verici ile fiber hat üzerinden bilgisayara gönderir. Bu devrenin şeması Şekil 2'de verilmiştir. Devre 4.096 MHz'de çalışan kristalden üretilen ana zamanlama sinyalinin kullanır. Gerekli bütün zamanlama sinyalleri bu ana zamanlama sinyali bölünerek elde edilir. 7 kanaldaki EKG sinyalleri ADC7870 entegresi kullanılarak analogdan sayısala çevrilir. Bu entegre 0.5 milisaniyede 16 kanalı sayısala çevirerek seri olarak fiberoptik hata verir. Bu devrenin çıkışından bilgisayara SDATA ve SCLK sinyalleri de gönderilir. Bu sinyallerin amacı PC bağlantı devresinde gerekli olan zamanlama sinyallerinin senkronize bir biçimde üretilmesini sağlamaktır.

### c) İzole Olmayan Devre (PC bağlantı devresi)

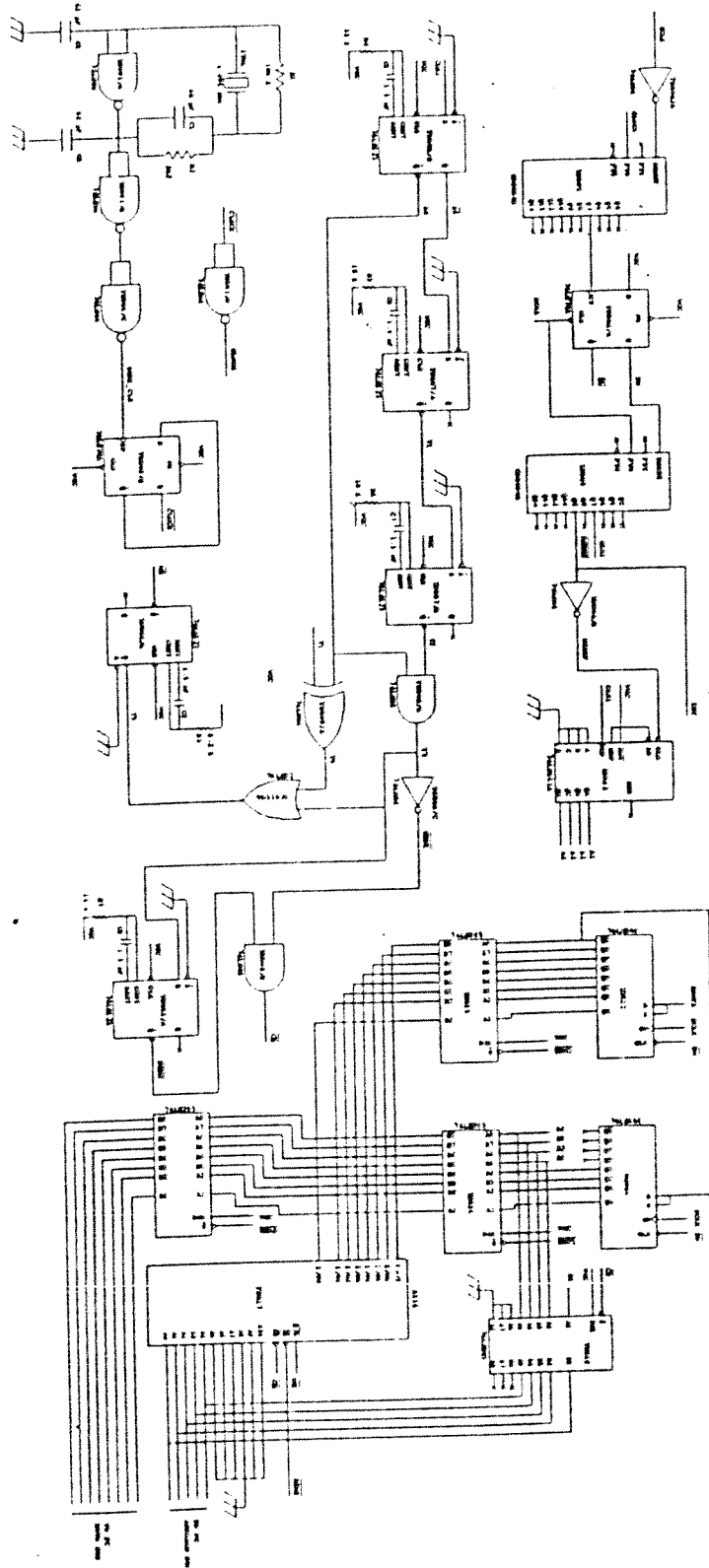
İzole olmayan sayısal devre (PC bağlantı devresi), fiber hattan gelen seri haldeki sinyalleri alarak kayan yazmaçlar (shift registerler) yardımıyla paralele çevirir ve üzerinde bulunan RAM belleğe yazar. 16 kanalın yazımı da bittikten sonra bilgisayara kesme (interrupt) göndererek verinin bilgisayar tarafından okunmasını sağlar. Veriyi seri durumdan paralel duruma getirmek için gerekli olan zamanlama sinyalleri, izole sayısal devreden gelen SDATA ve SCLK sinyalleri kullanılarak elde edilir. PC bağlantı devresi Şekil 3'te verilmiştir.

Bu devrelerin daha geniş açıklamaları proje kapsamında sunulan gelişme raporlarında verilmektedir.



Şekil 1: Analog devre





Şekil 3: PC bağlantı devresi

#### 4. YAZILIM

Sistem için geliştirilen yazılımlar ana olarak, veri alımı, P dalgası, Geç Potansiyeller ve Kalp Hızı Değişkenliği yazılımları olarak sınıflandırılabilir.

##### a) Veri Alımı Yazılımı

Bu yazılım, sistemdeki donanım kullanılarak veri toplanması için geliştirilmiştir. Projenin başlarında kesik olarak alınabilen veri alımı son proje döneminde önemli değişikliklere uğramıştır. Yeni bir veri alım programı tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir.

Veri alım yazılımı, veri alımı için kişisel bilgisayarın veri yoluna yerleştirilen bir kart kullanır. Kart, çift kutuplu X, Y ve Z kanalları için yükselteçlere sahiptir ve bu kanalları 1 mikrovolt/bit çözünürlükle saniyede bir örnekler. Kart, örneklenmiş değerleri okuması için bilgisayara her milisaniyede bir kesme gönderir.

Yazılımı Turbo C++ programlama dilinde geliştirilmiş olup DOS giriş çıkış yordamlarını kullanır. Veri toplanmasında 2 adet 192 kilobaytlık RAM ara belleği kullanılır. Bu belleklerden biri dolduğunda, diğer bellek dolarken, dolan bellekteki veriler sabit diske aktarılır. Bu aktarım, tek bayt direkt hafıza ulaşım yoluyla tek baytlık birimler halinde yapılır. Tek bayt direkt hafıza ulaşımında bir baytı diske yazmak için gereken süre çok kısa olduğundan, bilgisayar hiçbir örnek değerini atlamadan kesmeleri işler.

Bu yazılım sayesinde, alınan veriler diske doğrudan kaydedilebilmektedir ve kayıt uzunluğunu sınırlayan tek nokta sabit diskin kapasitesidir. Bu konuda yapılan çalışmalar sonucunda biri yurtdışı diğeri yurt içi olmak üzere iki kongreye birer bildiri hazırlanmasına başlanılmış , ve bu bildirilerin özleri yazılmıştır. Bildiriler ilgili yerlerce kabul edilmiştir ve yazılmalarına devam edilmektedir.

##### b) P Dalgası Yazılımı

Bu yazılım, atriyal aritmilerin yüzey EKG kayıtlarından teşhis edilmesi için tasarlanmıştır ve iki ana modülden oluşur.

Sinyal averajlama modülünde, ham EKG verisi taranarak önceden kullanıcı tarafından seçilmiş örnek bir P dalgasına benzeyen P dalgaları bulunmakta ve bunlar averajlanmaktadır. Böylelikle, P dalgası üzerinde mevcut beyaz gürültü ve kas gürültüsünün (EMG) seviyeleri düşürülerek, P dalgası üzerindeki küçük genlikli sinyallerin incelenmesi mümkün kılınmaktadır.

Yazılımın ilk başında ham X, Y, Z verileri bilgisayar ekranına çizilir ve kullanıcı tarafından arzu edilen bir P dalgasının sınırları belirlenir. Sözkonusu örnek atım daha sonra

kullanılmak üzere bilgisayarın sabit diskine saklanır. Şayet, kullanıcı ham veri üzerindeki şebeke gürültüsünün seviyesini yüksek bulursa, örnek atımı seçmeden önce şebeke gürültüsünü filtreler. Filtreleme işlemi, Şebeke Enterferans Çıkarımı (4) yoluyla yapılır.

Örnek P atımı seçildikten sonra örnek P dalgası ham veri ile karşılaştırılır. Örnek dalga ile ham verideki P dalgası arasındaki korelasyon katsayısı hesaplanır. Eğer verideki P dalgası ile örnek P dalgası arasındaki korelasyon belli bir değerden büyükse (%98) ham verideki dalga averajlanma işlemine dahil edilir, değilse atım averajlanmaz.

Analiz modülünde, averajlanarak gürültü seviyesi düşürülmüş P dalgalarının yüksek frekans bilgisi incelenir. Öncelikle, bilgisayarın sabit diskine kaydedilmiş olan veriler okunur ve ekrana çizilir. Bu aşamada kullanıcı tarafından P dalgasının başlangıç ve bitiş noktaları belirlenir. Bunu takiben, P dalgasının süresi ve X, Y, Z kanallarının herbirinde averaj sonrası kalmış olan gürültünün seviyeleri hesaplanır. Gürültü seviyelerinin hesabında P dalgası öncesinde yer alan izoelektrik bölgeden yararlanır. Daha sonra, 40-250 Hz bandında, dördüncü dereceden bir Butterworth tipi band-geçiren filtre kullanılarak P dalgaları iki yönlü olarak filtrelenir. Bu şekilde filtrelenmiş olan X, Y, Z kanallarına ait P dalgalarının her noktasında,  $\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ , şeklinde bir vektör genliği hesaplanır ve ortaya çıkan genlik sinyali ekrana çizilir. Kullanıcı, bu kez bu sinyali kullanarak filtrelenmiş P dalgası sınırlarını belirler ve bunu takiben filtrelenmiş P dalgası süresi, filtrelenmiş P dalgasının bitiminden geriye doğru 20, 30 ve 40 milisaniyelik bölgelerdeki sinyalin voltaj genliği etkin değer (RMS) cinsinden hesaplanır.

Bu yazılım ile Paroksimal Atrial Fibrillasyon hastalarında analizler yapılmıştır. Ayrıca EMG gürültüsünün ve solunumun P dalgasının averajlanmasındaki etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmada, averajlanan P dalgalarının örnek P dalgasına olan benzerliği karşı-korelasyon katsayısı ile hesaplanmış ve bu katsayı zamana göre çizilerek karşı-korelasyon katsayısı fonksiyonu (KKKF) elde edilmiştir. Bu arada solunum da kaydedilmiş ve KKKF ile solunum değişiminin frekans uzayındaki bileşenleri çıkarılmıştır. Bu analiz sonucunda KKKF ve solunum değişiminin aynı frekansta bileşenleri bulunduğu ve solunumun P dalgası morfolojisini, dolayısıyla averajlanmasını etkilediği görülmüştür. Bu yüzden P dalgası ile yapılan araştırmalarda solunumun etkisini yoketmek için 10-45 Hz arası geçirgenliğe sahip bir band-geçirgen filtrenin uygulanmasının yararlı olacağı sonucuna varılmıştır. Bu konudaki çalışma yurtdışında iki kongreye bildiri olarak sunulmuştur (5),(6).

Ayrıca kalp pili olan hastalarda (pace maker) da P dalgası analizi yapılabilmesi için yeni bir modül de hazırlanmıştır.

Şekil 4 ve 5'te P dalgası ve Pili P dalgası yazılımlarının örnek çıktıları verilmektedir. Bu çıktılarda averajlanmış X, Y ve Z kanallarına ait P dalgaları, KKKF ve filtrelenmiş  $\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$  şeklindeki vektör genliği çizilir. Ayrıca analizler sonucunda elde edilen



filtrelenmiş ve filtrelenmemiş P dalgası süreleri (filtered-unfiltered P wave durations), son 20, 30 ve 40 milisaniyedeki voltajların RMS değerleri (RMS20, RMS30, RMS40) ve kanallardaki gürültü miktarları (Noise X, Noise Y, Noise Z) basılı olarak kullanıcıya sunulur. Bu değerlerin klinik amaçlı kullanımı için araştırmalar devam etmektedir.

Ayrıca P dalgası programlarına ait averajlama ve analiz modüllerinin akış diyagramları ek olarak sunulmaktadır.

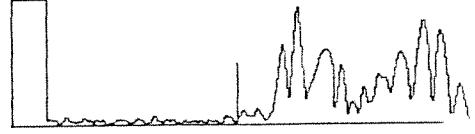
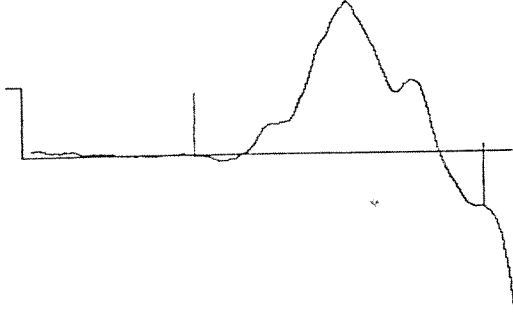
ALTUN2.DAT

Unfiltered Averages

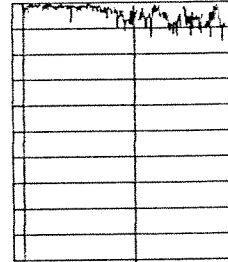
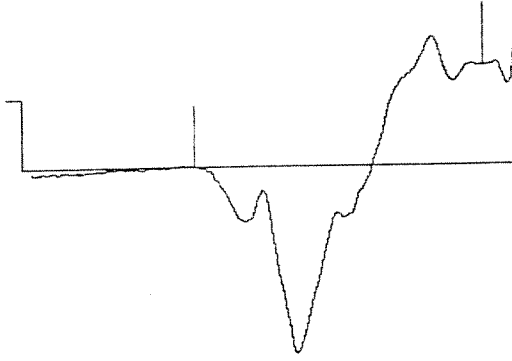
# of Averaged Beats= 226  
# of Rejected Beats= 2  
Unfiltered P-Duration :170.00 mSec  
Noise Y(RMS)= 0.57 µV  
Noise V(RMS)= 0.38 µV  
Noise Z(RMS)= 0.46 µV

Filtered Vector Magnitude, IIR 40-250 Hz,

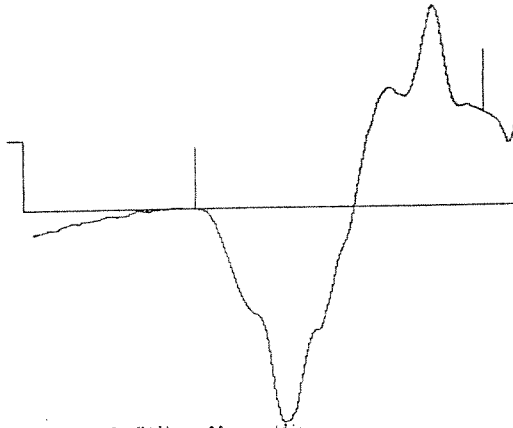
Filtered P-Duration :148.00 mSec  
RMS20= 2.30 µV  
RMS30= 4.85 µV  
RMS40= 6.15 µV



10 µV/div , 20 msec/div



CCC (100%-90%) vs. # of Beats



25 µV/div , 20 msec/div

\*\*\*\* Patient Data \*\*\*\*

Name :  
File No :  
Weight :  
Height :  
Age :

Diagnosis :  
Reference :  
Echo Diameter :  
Medication :

Doctor's Name :

Şekil 4 : P dalgası yazılımı çıktısı

ALTUN1.DAT

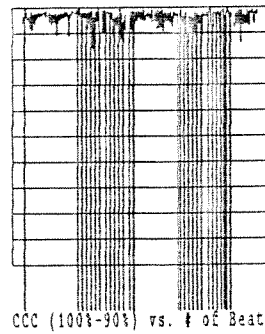
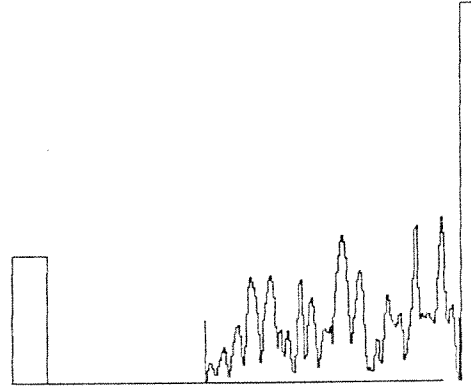
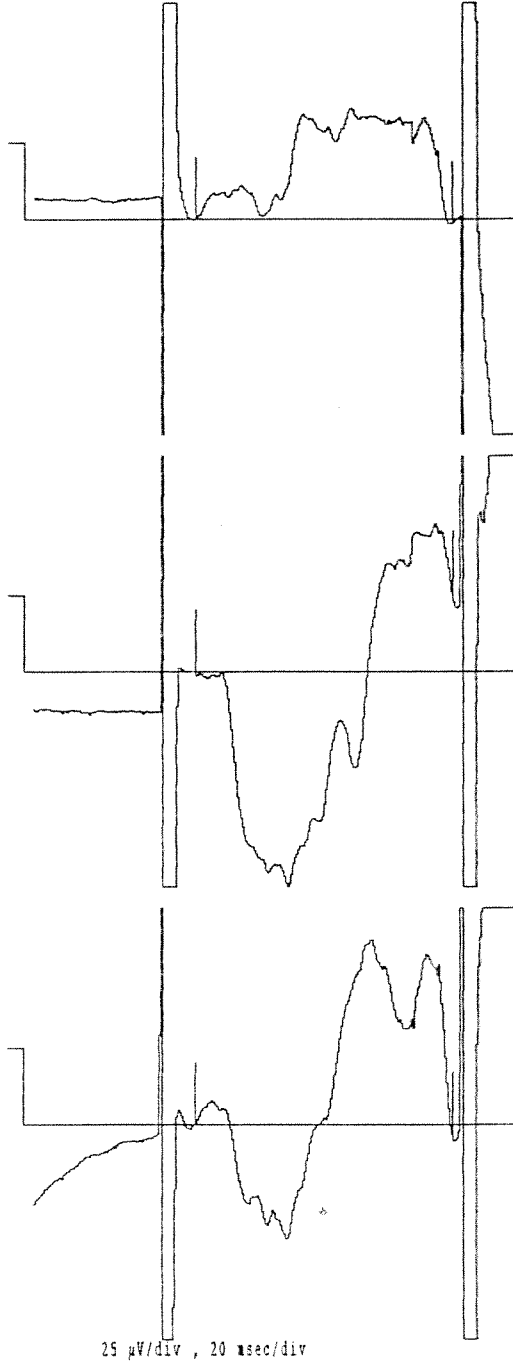
Unfiltered Averages

# of Averaged Beats= 240  
# of Rejected Beats= 29

Unfiltered P-Duration :152.00 mSec  
Noise X(RMS)= 107.80  $\mu$ V  
Noise Y(RMS)= 121.58  $\mu$ V  
Noise Z(RMS)= 132.24  $\mu$ V

Filtered Vector Magnitude, IIR 40-250 Hz,

Filtered P-Duration :149.00 mSec  
RMS20= 9.68  $\mu$ V  
RMS30= 10.15  $\mu$ V  
RMS40= 9.37  $\mu$ V



\*\*\*\* Patient Data \*\*\*\*

Name :  
File No :  
Weight :  
Height :  
Age :

Diagnosis :  
Reference :  
Echo Diameter :  
Medication :

Doctor's Name :

Şekil 5: Pili P yazılımı çıktısı

### c) Geç Potansiyeller Yazılımı

Bu yazılım yapı olarak P dalgası yazılımına benzemektedir. İki modülden oluşur. İlk olarak kullanıcı tarafından seçilen örnek R dalgaları averajlanarak referans olacak bir R dalgası bulunur. Daha sonra bu referans ile ham veri karşılaştırılarak R dalgaları ve çevresi (QRS aralığı) averajlanmaktadır. Böylece averajlanmış sinyalde gürültü azaltılır. Analiz modülünde ise averajlanmış QRS aralıklarının başı ve sonu kullanıcı tarafından seçilir. Geç potansiyellerin araştırılması için QRS aralıklarının yüksek frekanstaki bileşenlerine ihtiyaç olması sebebiyle QRS bölgesi 40-250 Hz bandında dördüncü dereceden bir Butterworth filtre iki yönlü olarak filtrelendir. Bu şekilde fitrelenen X, Y ve Z kanallarına ait averajlanmış

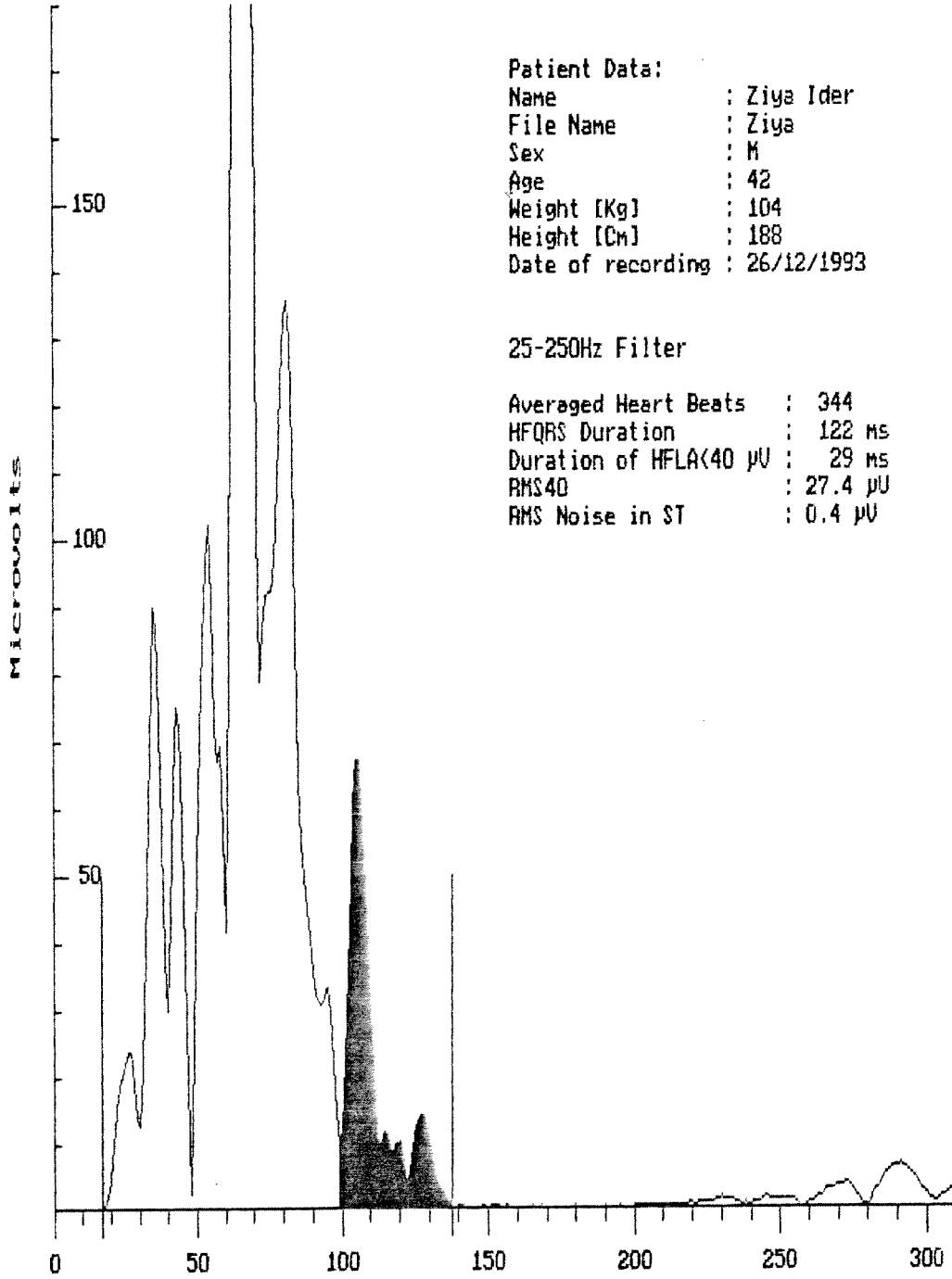
QRS bölgelerinden her noktada  $\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$  şeklinde bir vektör genliği hesaplanır. Bu sinyal kullanılarak, filtrelenmiş QRS bölge uzunluğu, filtrelenmiş bölgenin bitiminden geriye doğru 40 msec'lik bölgelerdeki sinyalin voltaj genliği RMS olarak hesaplanır. Bu değerlerin belli sınırların dışında olması hastanın kardiyak ölüm riskinin arttığını gösterir (1) ve bu bilgiler ekrana veya yazıcıya basılır. Bu programın çıktıları Şekil 6'da verilmektedir. Geç Potansiyeller yazılımının çıktısında görülen çizim X, Y ve Z kanallarındaki QRS aralıklarının

averajlanmasından sonra  $\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$  şeklinde oluşturulan vektör genliğidir. Bu grafikte beraber hastanın ani kardiyak ölüm riskini belirlemek üzere bazı parametreler de kullanıcıya sunulur. Bu parametrelerden HFQRS, yüksek frekanstaki QRS bölgesinin süresini; HFLA, QRS'in sonunda oluşan 40 mikrovolttan küçük aktivitelerin süresini; RMS40, son 40 milisaniyedeki voltajın RMS olarak miktarını verir. Bu parametreler Geç Potansiyel analizinde kullanılan ana parametrelerdir ve riskin belirlenmesinde önemli rol oynarlar (1). Bunların yanında hasta bilgisi (patient data), sinyaldeki gürültü miktarı (RMS Noise in ST) ve averajlamaya dahil atım sayısı (Averaged Heart Beat) da kullanıcıya basılı olarak verilir.

Geç Potansiyeller ve P dalgası gibi sinyal averajlanmış elektrokardiyografi (SAEKG) uygulamalarında 50 Hz şebeke gürültüsünün Şebeke Enterferans Çıkarımı yoluyla filtrelenmesi çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmada, daha önce klasik EKG uygulamalarında kullanılan bir yöntem (7) çeşitli değişikliklerle SAEKG için uygun hale getirilmiştir. Bu yöntemde, şebeke enterferans sinyali de EKG ile beraber kaydedilmiştir. Kaydedilen bu sinyal 50 Hz merkez frekanslı 3.2 Hz band genişliğine sahip band geçirgen sayısal bir filtre ile filtrelenmiştir. Daha sonra ham X, Y ve Z kanalları 50 Hz merkez frekanslı 30 Hz band genişliğine sahip band geçirgen sayısal bir filtre ile filtrelenmiştir. Ham veriye uygulanan bu filtre, gerçek faz ve genlik bilgisinin korunması amacıyla, şebeke enterferans sinyaline de uygulanmıştır. Bu filtreleme ile taban değişimleri ve yüksek frekanslı değişimler yok edilmiştir. Şebeke enterferans sinyali modellenerek ham veriden çıkartmak için gerekli katsayılar hesaplanmıştır. Daha sonra filtrelenen şebeke enterferans sinyali gerekli katsayılarla çarpılıp fazı düzeltildikten sonra ham veri kanallarından çıkartılmıştır. Bu çalışmanın önemli bir noktası, katsayıların her 20 saniyede bir tekrar hesaplanmasıdır. Böylece, gürültü miktarına göre çıkarım yapılabilen ve enterferans seviyesi değişiminden etkilenilmemektedir.

Bu çalışmanın sonuçları bir bildiri olarak yayınlanmıştır (4) , ve bu konuda bir makale yayın için sunulmuştur(8).

Geç Potansiyeller ve P dalgası yazılımlında şebeke gürültüsünün filtrelenmesi, averajlanacak bölgenin manuel veya otomatik seçimi opsiyonları da bulunmaktadır.



Şekil 6: Geç potansiyeller yazılımı çıktısı

#### d) Kalp Hızı Değişimi Yazılımı

Otonom sinir sistemindeki bozuklukların anlaşılmasına yönelik nabız değişikliklerini (RR aralıkları değişimi) araştırmak için Kalp Hızı Değişimi (heart rate variability HRV) yazılımı geliştirilmiştir. Bu program RR aralıklarının histogramını çıkarır ve RR aralıklarının değişimini istenen derecede otoregresif modelleyerek güç dağılım spektrumunu hesaplar. Bu program ile klinik uygulama denemeleri yapılmaktadır. Ayrıca program çıktıları Holter cihazından alınan klasik RR değişimleri ile karşılaştırılmıştır. Bu programa ilişkin çıktılar Şekil 7 ve 8'de verilmiştir. Şekil 7'de görülen grafik RR takogramıdır (RR mesafelerinin zamana göre grafiği). Bu grafikte beraber ortalama RR mesafesi (MRR), standart deviasyon (SD), varyans katsayısı (CV) ve RR mesafesinin ortalama standart deviasyonu (MSD) da kullanıcıya sunulmaktadır. HRV analizinde hep zaman uzayında hem de frekans uzayında analiz yapılmaktadır. Şekil 8'de frekans uzayında yapılan güç spektral yoğunluk analizi görülmektedir. Hastanın güç spektral yoğunluğu dağılımı çeşitli hastalıkların belirleyici özelliği olabilmektedir (3). Bu yüzden güç tepelerinin merkez frekansı (F), tepelerdeki toplam güç (P), ve gücün dağılımı (NP) parametreleri klinik ve araştırma amaçlı kullanımlar için kullanıcıya basılı olarak sunulur.

Bu yazılımın ve P dalgası yazılımının özellikleri birleştirilerek PR mesafesinin değişimlerinin araştırılması amacıyla yeni bir yazılım da geliştirilmiştir.

Yeni geliştirilen bu sistem ile P-R ve R-R aralıkları değişimlerinin spektral analizleri için 6 dakikalık kesintisiz kayıtlar yapılmıştır. Spektral analizler için verideki R ve P dalgalarının yerleri tespit edilmiştir. Bu hesaplamalarda R dalgalarının tespiti örnek seçilen bir R dalgasının veri ile karşılaştırılması yöntemi ile yapılmıştır. Bu yöntem bileşik bir sinyal ile bu sinyalden seçilen örnek bölge arasındaki karşı-korelasyon katsayısı hesabına dayanır.

Verideki X, Y ve Z kanalları önce fark denklemi

$$y[n] = x[n+9] - x[n-11] \quad (1)$$

olan bir filtreden geçirilir. Bu filtreleme sayesinde 50 Hz'lik şebeke enterferansı ve yüksek frekanstaki EMG gürültüsü sinyallerden yok edilir. Verideki üç kanaldaki (X, Y, Z) bilgilerden de yararlanmak için filtrelenmiş X, Y ve Z kanallarından

$$c[n] = |f_x[n]| + |f_y[n]| + |f_z[n]| \quad (2)$$

şeklinde bir bileşik sinyal oluşturulur.

Karşılaştırmada kullanılacak örnek bölgenin bulunması için X, Y ve Z kanallarından 4 - 8 adet ardaşık R bölgesi bulunur. Bu bölgelerin, kullanıcı tarafından R bölgesi olduğu

onaylanmasından sonra averajlanarak bileşik bir örnek sinyal elde edilir.

Karşı-korelasyon katsayısı hesabının matematiksel olarak uzun sürmesi sebebiyle verideki R dalgaları önce eğim bulma metoduyla bulunur. Daha sonra verideki R dalgaları bileşik sinyalle karşılaştırılarak %98'den fazla benzeyen bölgeler R noktaları olarak belirlenir. Bulunan R dalgaları en son olarak kullanıcı tarafından gözle onaylanır. Bu onay sırasında benzerlik derecesi düşük olan (<%98) ve tespit edilemeyen R dalgaları, iki R dalgasının arasını enterpole etme veya manuel olarak işaretleme yöntemiyle işaretlenir. Aynı şekilde artifakt olan fakat R dalgası olarak belirlenen atımların yerleri silinerek enterpolasyon yoluyla R dalgası işaretlenir. Böylece normal dışı atımların yaratabileceği artifaktlar engellenir.

P dalgalarının bulunmasında da R dalgalarında kullanılan korelasyon ile bulma yöntemi uygulanmıştır. Önce örnek olacak bir P atımı manuel olarak seçilir. Daha sonra bulunan R noktalarından geriye doğru hareket ederek bir indeks hesaplanır. Mutlak genlik farkı (MGF) adı verilen bu indeks örnek atım ile karşılaştıran bölge arasındaki benzerliğin bir ölçüsüdür ve

$$MGF = \sum_{i=0}^{13} |x[n+9i] - \hat{o}[9i]| \quad (3)$$

formülüyle hesaplanır. Bu formülde X veriyi, Ö ise örnek atımı gösterir. Bu hesap sonucunda örnek atıma benzeyen sinyaller düşük MGF değerine sahip olmaktadır. Daha iyi hesap yapabilmesi için MGF'nin en düşük olduğu noktanın 5 ilerisinde ve 5 gerisinde olmak üzere toplam 11 noktada korelasyon katsayısı (KK) adı verilen ikinci bir indeks hesaplanır.

$$KK(m) = \frac{\sum_{i=-19}^{20} x[n+i+m] \hat{o}[i]}{\sqrt{\sum_{i=-19}^{20} x^2[n+i+m]} \cdot \sqrt{\sum_{i=-19}^{20} \hat{o}^2[i]}} \quad (4)$$

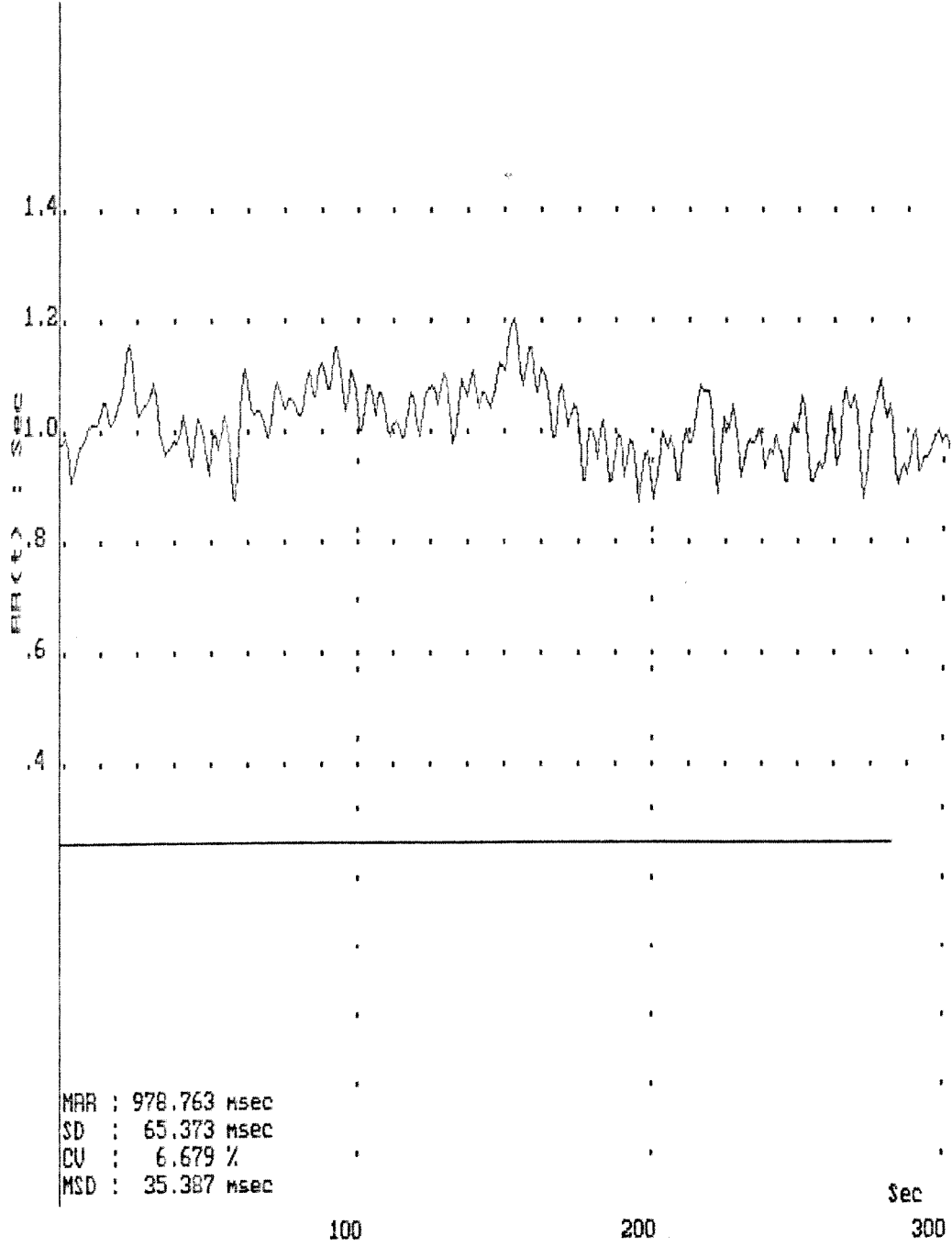
KK'nın en yüksek değere sahip olduğu nokta örnek atımın sinyale en benzediği nokta olmaktadır. Bu hesaplar yapılmadan önce ham veri ve örnek atım 20 noktalı kayan-averajlama filtresi ile filtrelenir. Bu filtre ile sinyallerdeki yüksek frekans komponentleri filtrelenerek karşılaştırmada daha başarılı bir sonuç alınabilmektedir. Bu karşılaştırma sonucunda P dalgaları bulunur.

Bu yöntem ile elde edilmiş P-R ve R-R mesafe dizileri doğrusal enterpolasyon



yöntemiyle bir saniye aralıklarla enterpole edilir. Böylece eşit zaman aralıklı P-R ve R-R takogramları elde edilir. Elde edilen takogramlar 6. dereceden otoregresif modellenerek ve P-R, R-R değişimlerinin güç spektral yoğunlukları hesaplanır.

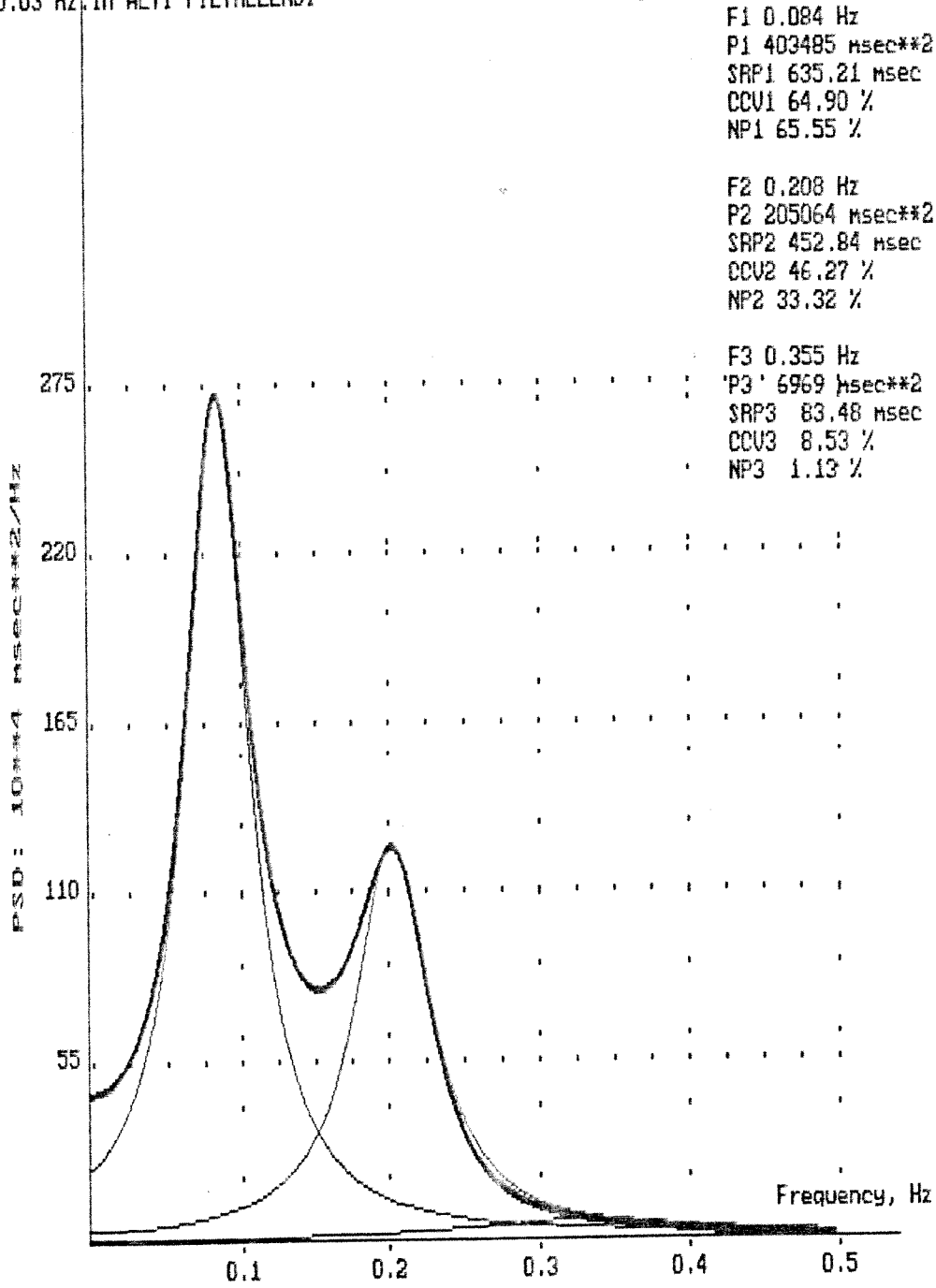
ender



Şekil 7: Kalp Hızı Değişikliği çıktısı 1

0.03 Hz. in ALTI FİLTRELENDİ

ender



Şekil 8: Kalp Hızı Değişikliği çıktısı 2

## 5. UYGULAMALAR

Donanım ve yazılımın tamamlanmasından sonra tüm yazılımlar ayrı ayrı denenmiş ve klinik uygulamalar için Hacettepe Üniversitesi Hastanesi Kardiyoloji Bölümünde veri alımlarına başlanmıştır.

P dalgası yazılımı ile Paroksimal Atriyal Fibrillasyon hastalarından veri toplanmış ve bu veriler kullanılarak P dalgası morfolojisi ve solunum etkisi konularında iki yurtdışı yayın yapılmıştır. Ayrıca pilli (paced) P dalgaları ile ilgili bir çalışma için data toplanması da devam etmektedir.

Kalp Hızı Değişimi (HRV) yazılımı kullanılarak Behçet hastalığının otonom sinir sistemine etkisinin araştırılmasına başlanmış ve veri toplanması hemen hemen tamamlanmıştır. Bu veri tabanının analizi devam etmektedir.

Ayrıca verilerin bir bilgisayardan diğerine modem yolu ile aktarım çalışması denenmiş ve başarı sağlanmıştır.

## 6. SONUÇLAR

Projede tasarlanıp geliştirilen veri alım sistemi ile Yüksek Rezolüsyonlu Elektrokardiyografi kayıtları kesintisiz olarak, istenen sürede alınabilmektedir. Bu sistem kullanılarak Geç Potansiyeller, P dalgası analizleri gibi çeşitli Yüksek Rezolüsyonlu Elektrokardiyografi uygulamaları yapılmıştır.

Proje kapsamında sistem ile geliştirilen ve uygulamalarına geçilen yeni gelişmelerin biri, ani kardiyak ölüm riskinin belirlenmesine yönelik Geç Potansiyeller Analizinde 50 Hz şebeke gürültüsünün Şebeke Enterferans Çıkarımı yoluyla filtrelenmesidir. Bu konu hakkında bir bildiri yayınlanmış, bir de makale yayınlanmak üzere sunulmuştur.

Geliştirilen sistem ile mümkün olan yeni bir Yüksek Rezolüsyonlu Elektrokardiyografi uygulaması da P dalgası analizidir. Kalpteki iletim bozukluklarının teşhisi için kullanılan bu analizde çeşitli hasta gruplarında (paroksimal atriyal fibrillasyon) uygulama yapılmış elde edilen bulgulardan iki yurtdışı tebliği yazılmıştır. Ayrıca, aynı analizin pilli (pacemaker) kalplere de uygulanabilirliği araştırılmış ve bu yönde de yazılım geliştirilmiştir.

Proje kapsamında öngörülen diğer bir konu da Kalp Hızı Değişimi analizidir. Bu konuda geliştirilen yazılım sonucunda otonom sinir sistemindeki bozukluklar araştırılmış ve RR aralıklarının spektral analizi yapılmıştır. Bu konuda klinik uygulama olarak Behçet hastalığı ele alınmış ve bu hastalardaki kalp hızı değişimleri araştırılmıştır. Bu konudaki araştırmalar halen sürmektedir.

Yukarıda anlatılan analizlere ek olarak, PR mesafesindeki değişimlerden tıbbi önemi olan bulgular elde edilebileceği düşünölmüş ve bu analizi sağlayacak yazılım geliştirmesine gidilmiştir.

Sonuç olarak, geliştirilen sistem ile birçok Yüksek Rezolüsyonlu EKG analizi yapılmıştır. Ayrıca sistem yeni analiz türleri geliştirilmesi için hazır bir veri alım tabanı olarak kullanılabilir.

## REFERANSLAR

- 1) Simpson M.B., "Use of Signals in the Terminal QRS Complex to Identify Patients With Ventricular Tachycardia After Myocardial Infarction," *Circulation*, vol. 64, pp. 235- 242, 1981.
- 2) El-Sherif N., Gioia T., "High-Resolution Electrocardiography," Futura Publishing Company, NY, 1992.
- 3) Cerutti S., et al., "Heart Rate Variability Signal Processing: A Quantitative Approach As an Aid to Diagnosis in Cardiovascular Pathologies," *Int. J. of Bio-Medical Computing*, No. 21, pp. 51-70, 1987.
- 4) İder Y.Z., Güçer H.A., Şakı M.C., "Removal of Power Line Interference in Signal Averaged Electrocardiography Systems," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, basımda.
- 5) İder Y.Z., Şakı M.C., Özin B., Oto A., "Effects of EMG and Respiration on Signal Averaging of the P Wave," *Computers in Cardiology*, Durham, ABD, 1992 pp. 151-154.
- 6) İder Y.Z., Şakı M.C., Özin B., Oto A., "Respiration Effects on P Wave Alignment and Averaging," *14th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Paris, Fransa, 1992.
- 7) İder Y.Z., Köymen H., " A New Technique for Line Interference Monitoring and Reduction in Biopotential Amplifiers," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol.37, No.6, pp. 624-631, June 1990.
- 8) İder Y.Z., Şakı M.C., "Line Interference Subtraction Filter for Signal Averaged Electrocardiography," *Computers in Cardiology*, Londra, İngiltere, 1993 pp. 799-801.

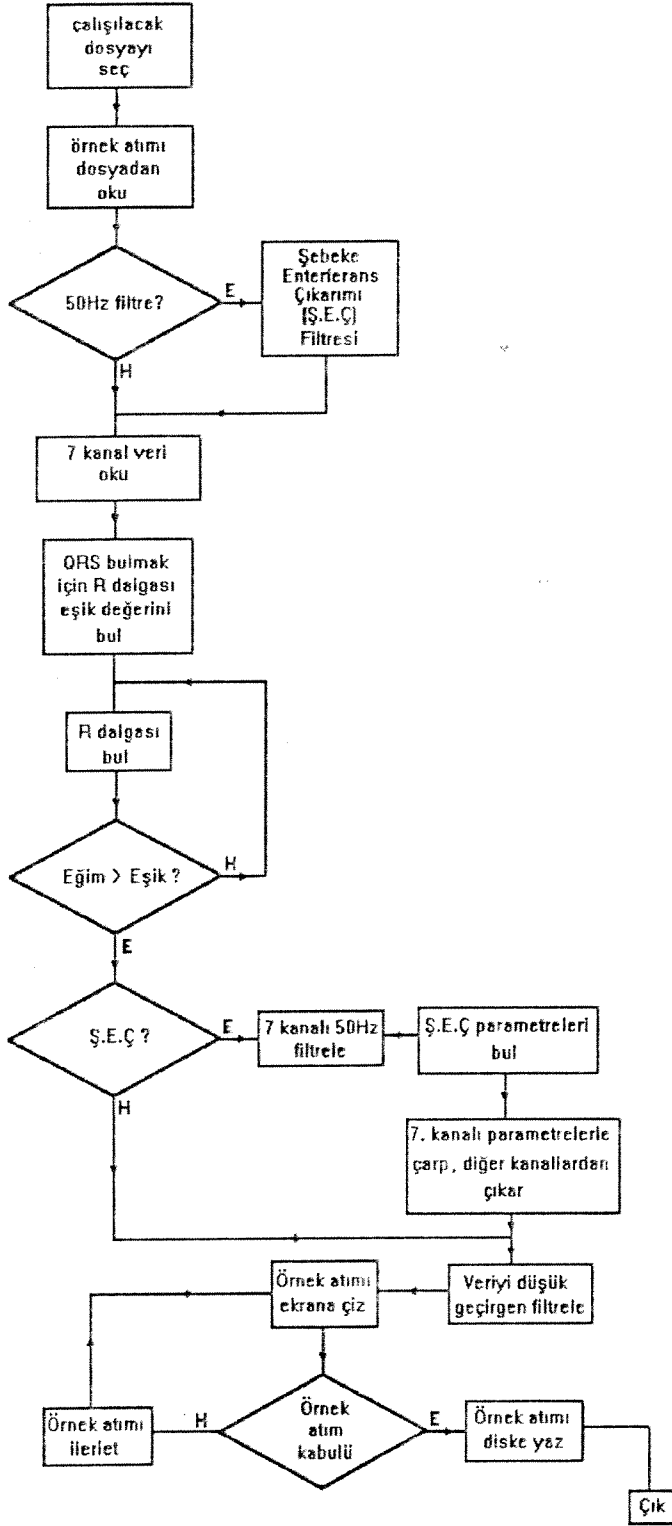
## YAYINLAR

- 1) İder Y.Z., Güçer H.A., Şakı M.C., "Removal of Power Line Interference in Signal Averaged Electrocardiography Systems," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, basımda.
- 2) İder Y.Z., Şakı M.C., Özin B., Oto A., "Effects of EMG and Respiration on Signal Averaging of the P Wave," *Computers in Cardiology*, Durham, ABD, 1992, pp. 151-154.
- 3) İder Y.Z., Şakı M.C., Özin B., Oto A., "Respiration Effects on P Wave Alignment and Averaging," *14th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Paris, Fransa, 1992, pp. 553-554.
- 4) İder Y.Z., Şakı M.C., "Line Interference Subtraction Filter for Signal Averaged Electrocardiography," *Computers in Cardiology*, Londra, İngiltere, 1993, pp. 799- 801.
- 5) Güçer H.A., İder Y.Z., "RR, PR Aralıklarının Kişisel Bilgisayar Tabanlı Sistem ile Uzun Süreli Kaydı ve Spektral Analizi," *Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Toplantısı*, İstanbul, Türkiye, 1994, basımda.

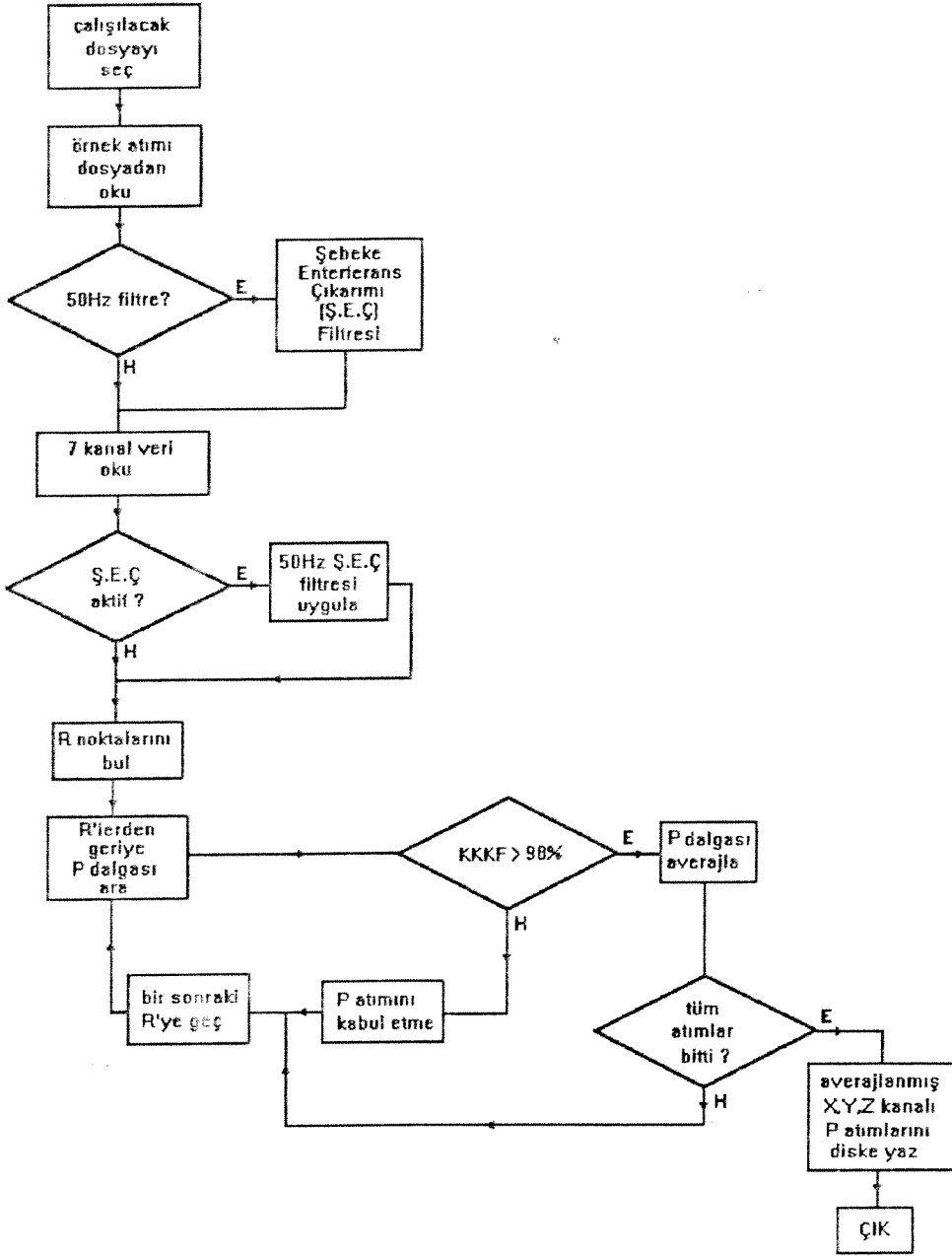
## EKLER

Proje kapsamında hazırlanan P Dalgası , Geç Potansiyeller ve Kalp Hızı Değişimi yazılımlarına ait basitleştirilmiş akış diyagramları ek olarak sunulmaktadır.

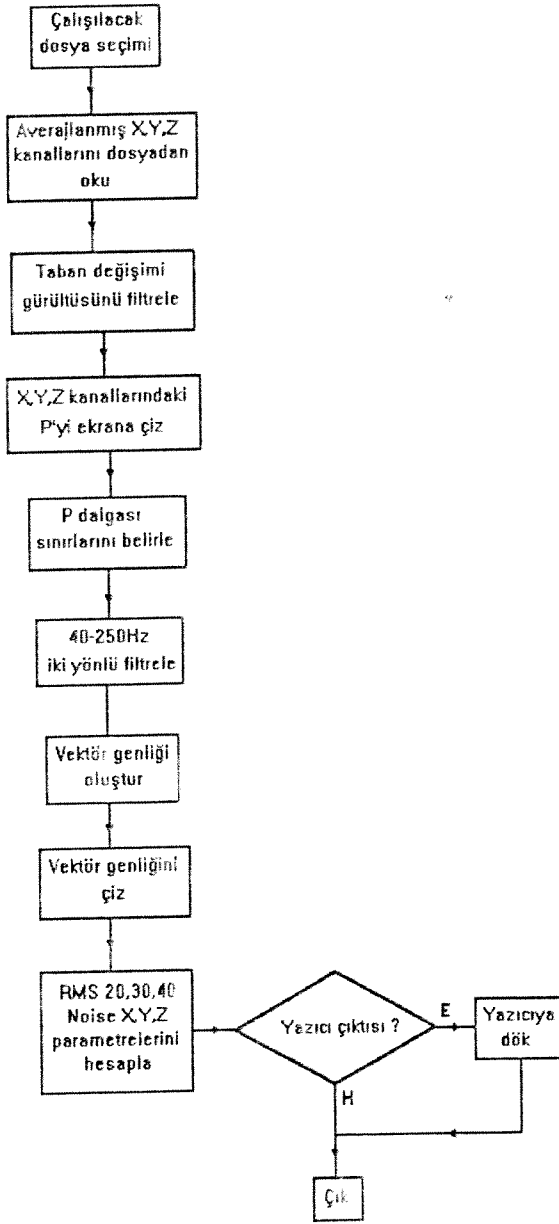




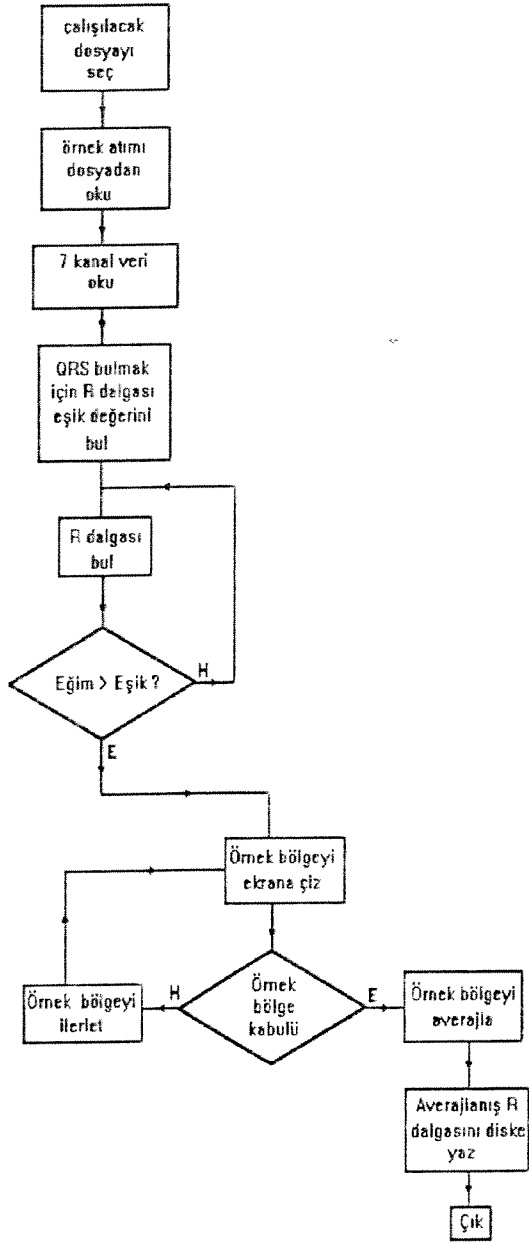
P dalgası referans seçimi



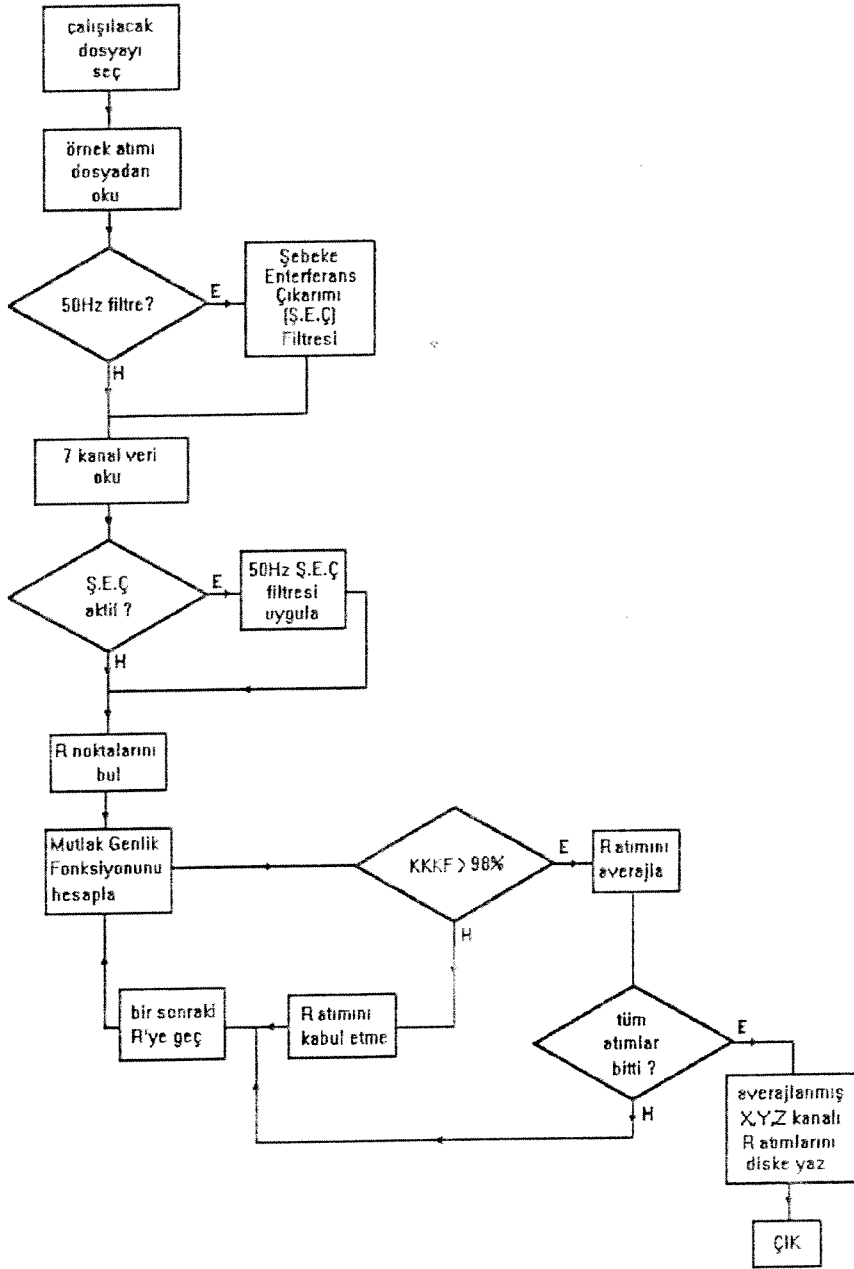
P dalgası averajlama



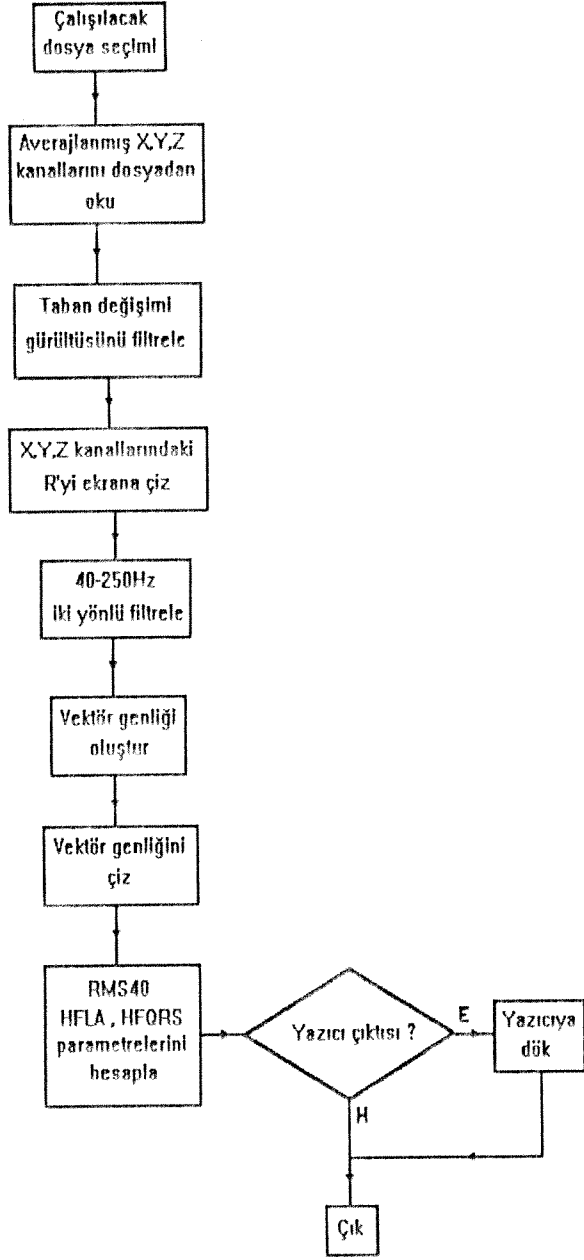
### P dalgası analiz



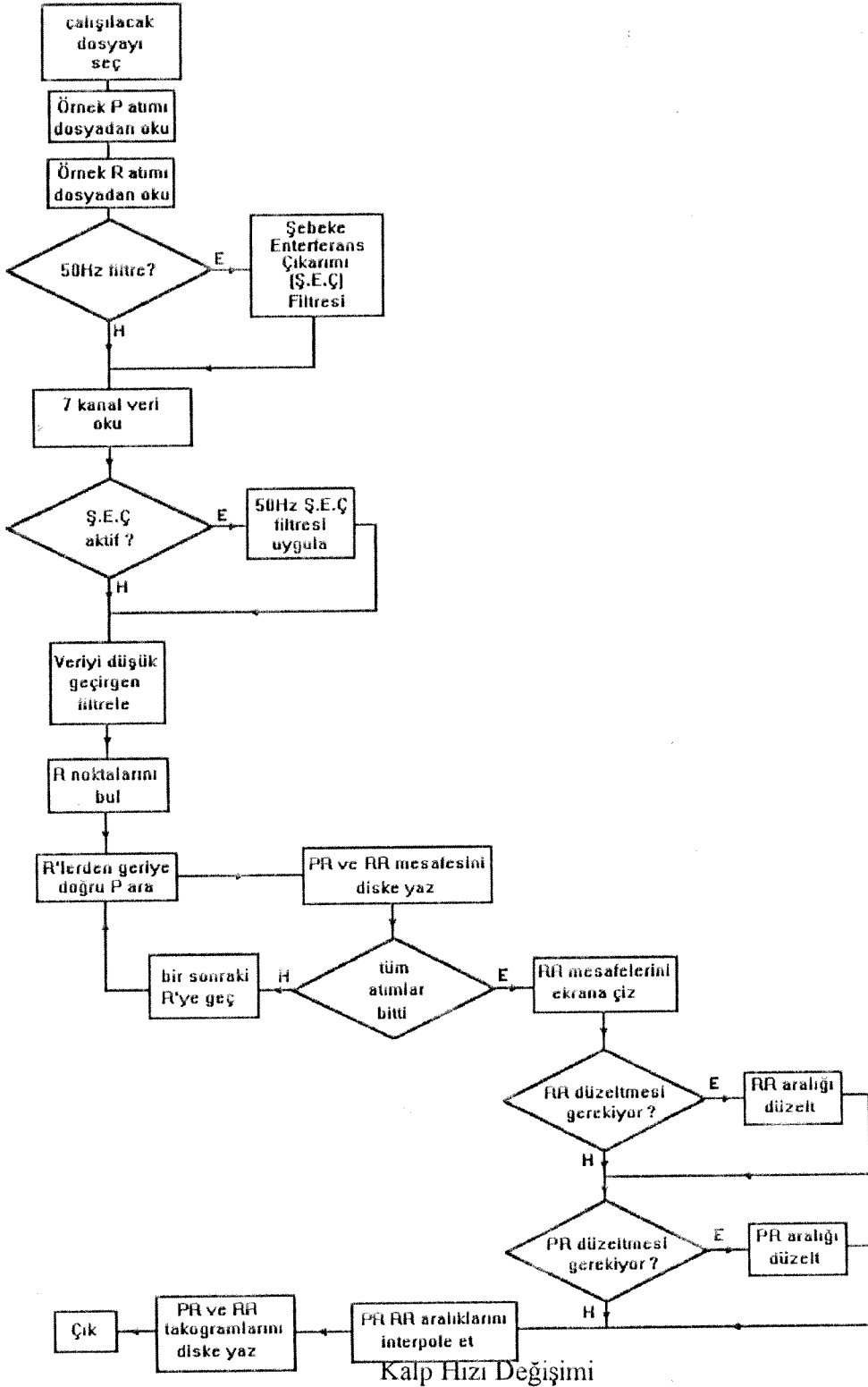
### Geç Potansiyeller referans seçimi



### Geç Potansiyeller averajlama



## Geç Potansiyeller analiz



LİYOĞRAFİK BİLGİ FORMU	
Proje No: EEEAG-22/DPT	2- Rapor Tarihi: 5.8.1994
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 1.7.1992 - 30.6.1994	
Projenin Adı: MODERN SİNYAL İŞLEME TEKNİKLERİ KULLANILARAK YENİ ELEKTROKARDİYOLOJİK TEŞHİS YÖNTEMLERİ BULUNMASI	
Proje Yürütücüsü ve Yardımcı Araştırmacılar: Yusuf Ziya İDER , Hüseyin Alper GÜÇER , Ali OTO , Kemal LEBLEBİCİOĞLU	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü , Ankara	
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: -----	
Öz (Abstract): Tıbbın kardiyoloji dalında birçok hastalığın teşhisinde kalbin aktivasyonu sonucunda oluşan elektrik sinyallerinden yararlanılmaktadır (Elektrokardiyografi vb). Bu sinyaller vücut yüzeyinde kolayca ölçülebilmektedirler. Kaydedilen bu sinyallerin elektrik mühendisliği disiplininde kullanılan sinyal işleme teknikleri ile işlenmesi ile önemli bilgiler ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle proje kapsamında kişisel bilgisayar tabanlı bir veri alma sistemi tasarlanmıştır ve bu sistem üzerinde çalışacak çeşitli yazılımlar geliştirilmiştir. Halen, bu sistem ile, Geç Potansiyeller analizi, P dalgası ortalaması ve analizi, Kalp Hızı Değişimi analizleri yapılabilmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar üç bildiri ile yayınlanmıştır ve bir makale yayınlanmak üzere sunulmuştur.  <u>Anahtar Kelimeler:</u> Elektrokardiyografi, Sinyal işleme, Geç Potansiyeller, P dalgası, Kalp Hızı Değişimi, Sinyal Ortalama	
ahtar Kelimeler:	
Proje ile ilgili Yayın/Tebliğlerle ilgili Bilgiler Proje döneminde üç bildiri yayınlanmış, bir makale yayınlanmak üzere sunulmuştur ve iki bildirin yazımı devam etmektedir.	
Bilim Dalı: Doçentlik B. Dalı Kodu: ISIC Kodu: Uzmanlık Alanı Kodu:	
Dağıtım (*): <input type="checkbox"/> Sınırlı <input type="checkbox"/> Sınırsız Araştırma ve Eğitim Hastaneleri	
Raporun Gizlilik Durumu : <input type="checkbox"/> Gizli <input checked="" type="checkbox"/> Gizli Değil	

Projenizin Sonuç Raporunun ulaştırılmasını istediğiniz kurum ve kuruluşları ayrıca belirtiniz