



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

EKG işaretindeki gürültülerin temizlenmesi için IIR tabanlı sayısal filtre tasarımı

IIR based digital filter design for denoising the ECG signal

Yazar(lar) (Author(s)): Önder YAKUT¹, Serdar SOLAK², Emine Doğru BOLAT³

ORCID¹: 0000-0003-0265-7252

ORCID²: 0000-0003-1081-1598

ORCID³: 0000-0002-8290-6812

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Yakut Ö., Solak S. ve Bolat E.D., "EKG işaretindeki gürültülerin temizlenmesi için IIR tabanlı sayısal filtre tasarımı", *Politeknik Dergisi*, 21(1): 173-181, (2018).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.386970

EKG İşaretindeki Gürültülerin Temizlenmesi için IIR Tabanlı Sayısal Filtre Tasarımı

Araştırma Makalesi / Research Article

Önder YAKUT¹, Serdar SOLAK², Emine Doğru BOLAT^{3*}

¹Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, Web Teknolojileri Birimi, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye

²Enformatik Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye

³Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Müh. Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 02.02.2017 ; Kabul/Accepted : 24.08.2017)

ÖZ

Bu çalışmada, EKG (Electrocardiogram) işaretindeki çeşitli gürültüleri ortadan kaldırmak amacıyla IIR (Infinite Impulse Response) tabanlı farklı sayısal filtreler kullanılmış ve bu filtrelerin başarımları analizleri karşılaştırılmıştır. EKG işareti kalbin işlevlerini yerine getirmesi sonucunda oluşan bir sinyaldir. Elektrofizyolojik bilgi taşıyan bu işaret, kalbe ait hastalıkların teşhis edilmesi ya da kalbin durumunun izlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Çalışmada kullanılan EKG işaretleri MIT-BIH aritmi veri tabanı kayıtlarından alınmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, IIR tabanlı Butterworth, Chebyshev Tür 1, Chebyshev Tür 2 ve Elliptic sayısal filtreleri kullanarak EKG işaretindeki gürültüleri gidermek amaçlanmıştır. Gürültü çeşitlerine göre filtreler yapılandırılarak başarımları analizleri yapılmıştır. Başarımları yüksek olan filtreler seçilmiş EKG işaretindeki R tepesi ve QRS algılayıcı algoritmalarının ön işleme sürecinde kullanılacak bir sistem önerilmiştir. Önerilen sistemin tatmin edici nitelikte bir başarımları sağladığı görülmüştür. Başarımları analizinde istatistiksel parametreler olarak, Ortalama Karese Hata (Mean Square Error, MSE), İşaret Gürültü Oranı (Signal to Noise Ratio, SNR) ve Tepe Sinyal Gürültü Oranı (Peak to Signal Noise Ratio, PSNR) ölçütleri kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrokardiyogram(EKG), EKG gürültü arındırma, IIR tabanlı sayısal filtre, güç hattı girişimi, taban hattı kayması, kas (EMG) gürültüsü.

IIR Based Digital Filter Design for Denoising the ECG Signal

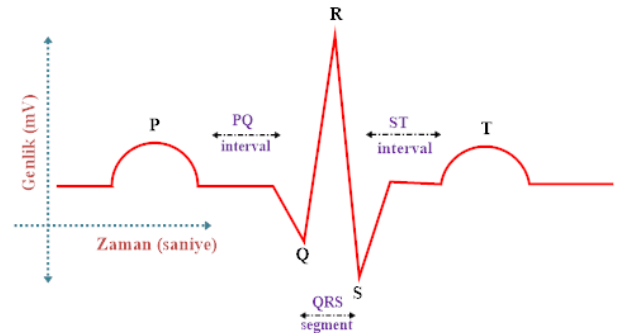
ABSTRACT

In this study, several IIR based filters are used for eliminating various noises from the Electrocardiogram (ECG) signal and the performance analysis of these filters are compared with each other. ECG is a signal resulted from the heart's functions. The ECG signal having electrophysiological information is used for the diagnosis of the heart diseases or monitoring the condition of the heart. The ECG data utilized in this study is taken from the MIT-BIH arrhythmia database recordings. It is aimed to remove the noises from the ECG signal employing the IIR based Butterworth, Chebyshev Type 1, Chebyshev Type 2 and Elliptic digital filters. The filters are configured depending on the noise types and the performance analysis of the filters is realized. A system is proposed selecting the filters having high performances and using them in the pre-processing stage of the R and QRS detection algorithm. And it is observed that the proposed system provides a satisfactory performance. The statistical parameters used for the performance analysis are Mean Square Error (MSE), Signal to Noise Ratio (SNR), Peak to Signal Noise Ratio (PSNR).

Keywords: Electrocardiogram (ECG), ECG filtering, IIR based digital filter, power line interference, baseline wander, muscle (EMG) noise.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

EKG, kalbin fonksiyonlarını yerine getirirken oluşturduğu elektriksel kökenli bir elektrofizyolojik işarettir. EKG işaretini doğru bir şekilde analiz etmek amacıyla bazı işlemlerden geçirmek gerekmektedir. Bu amaçla EKG işareti, zaman ve frekans uzayında analiz edilebilmektedir.



Şekil 1. EKG işaretine ait dalga şekli (The ECG waveform)[1]

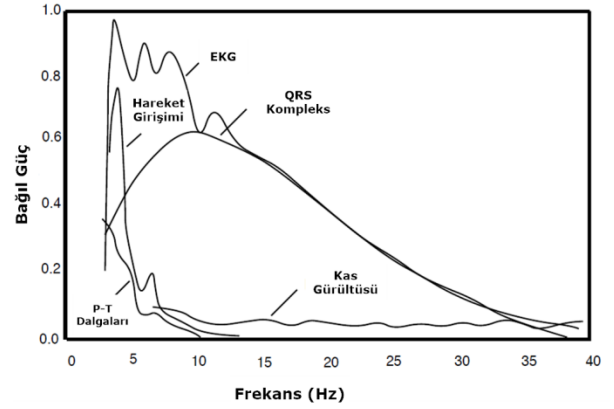
*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : ebolat@gmail.com

Şekil 1'de, EKG işaretini oluşturan P, QRS kompleksi ve T bileşenleri ayrıntılı bir şekilde gösterilmektedir. Şekil 1'de EKG işaretinin zaman uzayındaki dalga şekli görülmektedir.

Ayrıca, EKG işaretinin frekans uzayı özellikleri de mevcuttur. Şekil 3'de EKG işaretinin güç spektral yoğunluğu (Power Spectral Density, PSD) gösterilmektedir. Tanlayıcı EKG işaretinin 0.5-100 Hz [2] aralığında değişebilir frekansta ve 0.02-5 mV aralığında değişen genliğe sahip bir yapısı mevcuttur. İnsan vücudundan elde edilen biyoelektrik kökenli işaretler düşük genlikli bir yapıya (mili ya da mikro volt seviyesinde) sahiptir.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, Aboutabikh ve arkadaşları yaptıkları çalışmada FPGA çip setleri kullanılarak tasarlanan sayısal FIR notch filtre kullanarak 50 Hz şebeke frekansını elimine edilmesini önermişlerdir[3]. Limaye ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, EKG işaretindeki farklı gürültü kaynakları ve bunları azaltmak için çeşitli yöntemleri kısaca incelemişlerdir[4]. Patne ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, EKG görüntüleme sistemi için MATLAB tabanlı gürültü giderme uygulaması önermişlerdir[5]. Ahmad ve arkadaşları, EKG işaretindeki 50 Hz güç hattı gürültüsünü elimine etmek amacıyla pencere tabanlı Finite Impulse Response (FIR) filtre algoritması kullanmışlardır[6]. Hamiane ve arkadaşları, ham EKG işaretlerini Butterworth filtresini kullanarak iki tür anormallik algılama algoritması sunmuşlardır[7]. Sharma ve arkadaşları FIR ve IIR tabanlı sayısal filtreler ile EKG işaretindeki gürültünün giderilmesini gerçekleştiren bir çalışma yapmışlardır [8]. Urganlar ve arkadaşları, Medyan ve FIR filtre kullanarak EKG işaretindeki gürültüyü gideren ön işleme süreci önermişlerdir[9]. Batial ve arkadaşları, EKG işareti işleme amacıyla çeşitli pencere teknikleri kullanarak FIR filtre tabanlı çalışma önermişlerdir[10]. Georgieva-Tsaneva ve arkadaşları, EKG işaretinden gürültü giderme amacıyla dalgacık dönüşümü kullanarak adaptif eşikleme yöntemi önermişlerdir[11]. Mbachu ve arkadaşları EKG işaretindeki elektrik hattı gürültüsünü azaltmak amacıyla Hamming penceresi ile tasarlanmış sayısal FIR filtre tabanlı bir yaklaşım önermişlerdir[12]. Joshi ve arkadaşları EKG işaretindeki gürültüleri kaldırmak amacıyla çeşitli yaklaşımlar kullanmış ve sonuçları incelemişlerdir[13]. Joshi ve arkadaşları EKG işaretini bozan çeşitli gürültü kaynaklarını tespit etmek ve etkilerini azaltmak amacıyla çeşitli filtreleme teknikleri kullanan bir yaklaşım sunmuşlardır[14]. Mbachu ve arkadaşları, EKG işaretinden gürültüleri kaldırmak amacıyla Kaiser penceresi içeren sayısal FIR filtre tasarlamışlardır[15].

Şekil 2'de QRS kompleksi, P ve T dalgalarına ait frekansa göre güç spektrumu çizdirilmiştir. Ayrıca burada, kas (elektromiyogram, EMG) gürültüsü ve harekete dayalı girişimlere ait gürültü spektrumu da yer almaktadır. EKG işaretine karışmış gürültünün etkisi frekans uzayına geçildiği zaman gözlemlenebilmektedir.



Şekil 2. QRS kompleksi, P ve T dalgaları, kas (EMG) gürültüsü ve hareket girişimlerine ait güç spektrumu (Power spectra of QRS complex, P and T waves, muscle (EMG) noise and motion artifacts) [16]

Bu çalışmada MIT-BIH aritmi veri tabanına ait 100, 103, 105 ve 115 numaralı EKG kayıtları kullanılmıştır. MIT-BIH aritmi veri tabanı, 1975-1979 yılları arasında BIH aritmi laboratuvarları tarafından incelenen 47 hastadan toplanan 48 EKG kaydını içermektedir. Her bir kayıt, yarım saatlik, 2 kanallı EKG işaretinden oluşmaktadır. Kayıtlar 360 Hz frekansında, 11 bit çözünürlükte ve 10 mV aralığında sayısallaştırılmıştır [17].

EKG sinyalinden gürültü gidermek amacıyla filtre uygulandığında, EKG işareti zaman ve frekans uzayında değişimlere uğramaktadır. Bu çalışmada, EKG işaretinden gürültü gidermek amacıyla IIR tabanlı sayısal filtreler tasarlanmıştır. Tasarlanan filtrelerin, EKG sinyali üzerindeki etkisini göstermek amacıyla, zaman ve frekans uzayına ait grafikler çizdirilerek insanlar/kullanıcılar tarafından algılanabilecek hale getirilmiştir. Oluşturulan filtreler, EKG işaretine uygulanarak filtrenin MSE, SNR, PSNR gibi istatistiksel değerleri hesaplanarak başarımları analiz yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda her bir gürültü çeşidi için yüksek başarımlı gösteren filtre türleri belirlenmiştir. Belirlenen filtre türleri kullanılarak EKG işaretinden gürültü arındırma amacıyla bir sistem önerilmiştir.

2. EKG İŞARETİNDE KULLANILAN FİLTRELER (FILTERS USED FOR THE ECG SIGNAL)

EKG işareti kayıt edilirken, çevresel etmenlerden dolayı kaynağı bilinen ya da bilinmeyen gürültü girişimleri olmaktadır. AC güç kaynakları, RF (radio frequency) işaretleri, kalp pili (peace maker) gibi implantlar, fizyolojik kökenli işaretler ve hastanın istemli ya da istemsiz hareketi etmesi veya elektrotta temas problemi oluşması nedeniyle bir çok çevresel etmenin EKG işareti üzerinde etkisi olmaktadır.

- Taban hattı kayması/gezinmesi (Baseline wander), 1 Hz altındaki düşük frekanslı gürültülerdir.
- Güç hattı girişimi (Power line interference), 50/60 Hz şebeke frekanslı kaynaklı gürültülerdir.

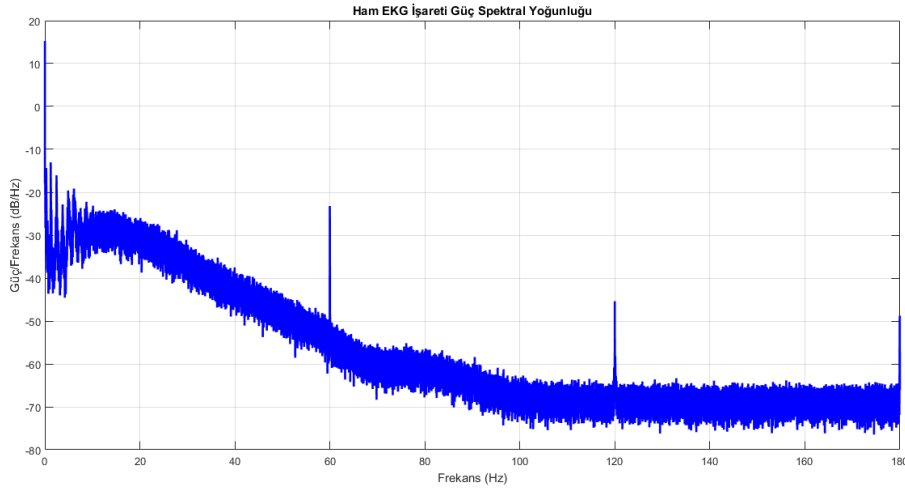
- Kas (EMG noise) gürültüsü, fizyolojik kökenli sinyallerdir. Belirlenerek kaldırılması çok zor olan işaretlerdir. Filtreler yardımıyla yazılımsal olarak etkilerinin azaltılması sağlanmaktadır. 100 Hz üstü yüksek frekanslı gürültülerdir.
- Kaynağı bilinmeyen girişimler, RF gürültüsü gibi çevredeki cihazlardan kaynaklanan gürültüler.

Şekil 3'te EKG işaretinin normal frekans aralığına bakıldığında, 100 Hz ve altında çok yoğun ve önemli bilgi içerdiği, 100 Hz üstünde ise çok sınırlı bilgi içerdiği gözlemlenmektedir. Bu nedenle, EKG işaretinde 0-100 Hz aralığı, teşhise dayalı en yoğun ve geniş bilgi içerdiği için filtrelerde en iyi dengeyi elde etmek amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca, EKG işaretinin güç spektral yoğunluğunun çok büyük oranının 0-35 Hz frekans aralığında yoğunlaştığı Şekil 3'te görülmektedir. Bu durum, Şekil 2'deki grafikte de doğrulanmaktadır. Şekil 2'de bu geçiş bandı aralığında QRS kompleksinin enerjisinin en üst düzeye çıktığı açıkça gözlemlenmektedir.

3. BENZETİM ÇALIŞMALARI (SIMULATION STUDIES)

Bu çalışmada, daha az işlem yükü gereksinimi olan sayısal çıkışlı filtre yapılarında kullanılan Sonsuz Dürtü Yanıtlı (Infinite Impulse Response, IIR) filtre kullanılmaktadır. IIR tabanlı sayısal filtre türleri olarak; Butterworth, Chebyshev Tür 1, Chebyshev Tür 2 ve Elliptic Filtreler alçak geçiren, yüksek geçiren, bant geçiren ve bant durduran özellikte yapılandırılarak filtreleme işlevlerini yerine getirmektedir.

Yapılan benzetim çalışmalarında, yukarıdaki sayısal filtreler kullanılarak EKG işaretindeki gürültüler giderilmeye çalışılacaktır. Yapılan deneysel çalışmalarda, IIR tabanlı sayısal filtreler Matlab R2015b (The MathWorks, Inc., Natick, MA, USA) yazılımı kullanılarak tasarlanmıştır. Sayısal filtrelerin başarımları sonuçları aşağıda denklemleri ve açıklamaları verilen ölçütlere göre hesaplanarak analiz edilecektir. Denklemlerde kullanılan $x(n)$ ham/gürültülü EKG



Şekil 3. EKG işaretine ait güç spektral yoğunluğu (PSD) grafiği, MIT-BIH aritmi veri tabanı 100 numaralı kayıt (The spectral power density graph of the ECG signal, MIT-BIH arrhythmia database record 100)[17]

2.1. Alçak Geçiren Filtre (Low Pass Filter)

Kesim frekansının altındaki işaret frekanslarına izin veren ve kesim frekansının üstündeki frekansları geçirmeyen filtre türüdür. Genellikle, işareti pürüzsüz hale getirmek için kullanılmaktadır.

2.2. Yüksek Geçiren Filtre (High Pass Filter)

Kesim frekansından daha yüksek frekansların geçmesine izin veren ve düşük frekansları geçirmeyen filtre türüdür. Genellikle, işaretin taban hattını dengelemek için kullanılırlar. Bu sayede, işaretin DC bileşenleri elimine edilmiş olmaktadır.

2.3. Bant Durduran Filtre (Band Stop Filter)

Belli bir frekans aralığını engelleyerek geçmesine izin vermeyen ve bu aralığın dışında kalan frekans bölgelerini geçiren filtre türüdür. Genellikle, işarete belirli bir frekansı, şebeke gürültüsü gibi, kaldırmak amacıyla kullanılmaktadır.

işaretini, $y(n)$ ise filtrelenmiş/gürültüden arındırılmış EKG işaretini temsil etmektedir. Denklemde kullanılan n indisi, EKG işaretindeki her bir örneği, N ise EKG işaretindeki toplam örnek sayısını belirtmektedir.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [x(n) - y(n)]^2 \quad (1) \quad \text{Ortalama}$$

Karesel Hata (Mean Square Error, MSE), ham EKG sinyali ile filtrelenmiş EKG sinyali arasındaki hata oranını belirlemek amacıyla kullanılan bir ölçüttür. MSE değeri, denklem (1)'deki gibi hesaplanmaktadır [11]. MSE değeri sifıra yaklaştıkça, oluşturulan filtrenin hata oranı azalmaktadır.

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{\sum_{n=1}^N [x(n)]^2}{\sum_{n=1}^N [x(n) - y(n)]^2} \right) \quad (2)$$

İşaret Gürültü Oranı (Signal to Noise Ratio, SNR), ham EKG sinyaline ait güç ile filtrelenerek çıkartılan gürültünün gücüne oranı olarak hesaplanmaktadır. SNR değeri denklem (2)'de gösterilmektedir [11]. SNR değeri yükseldikçe işaretteki gürültü seviyesi yüksek derecede azaltılmakta ve işaretin taşıdığı bilginin güvenilirliği ve kalitesi artmaktadır.

$$PSNR_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{R^2}{MSE} \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{[\max(x(n))]^2}{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [x(n) - y(n)]^2} \right) \quad (3)$$

Tepe Sinyal Gürültü Oranı (Peak to Signal Noise Ratio, PSNR), tepe hatasının bir ölçüsüdür ve hata ölçütü olarak başarımlı analizlerinde kullanılmaktadır. PSNR değeri yükseldikçe, filtrelenmiş sinyalin kalitesi artmaktadır. Genellikle SNR gibi PSNR değeri de Logaritmik (dB) ölçeklidir ve denklem (3)'de görüldüğü gibi hesaplanmaktadır [18]. Denklemdeki MSE, ortalama karesel hatayı temsil etmekte, R değeri ise giriş işaretine ait maximum dalgalanma aralığı olarak ifade edilmektedir.

Filtreleme işlemi sonucu, ECG işaretinde meydana gelen

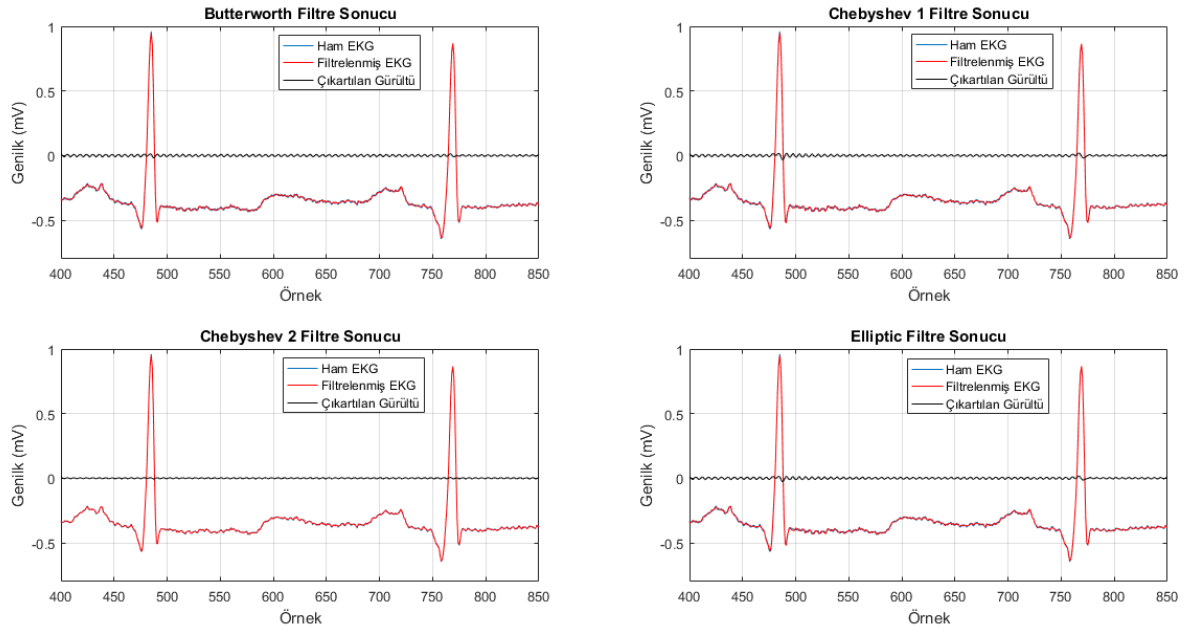
Aynı şekilde, filtrenin EKG işareti üzerindeki etkisini frekans uzayında gözlemleyebilmek amacıyla; ham EKG işareti ile filtrelenmiş EKG işaretini Welch's yöntemi kullanılarak güç spektral yoğunluğu grafikleri çizdirilmektedir. Bu grafikler aracılığıyla, uygulanan filtrelerin hangi frekansta etkili olduğu grafiksel olarak gösterilmektedir.

Welch's yöntemi, farklı frekanslara sahip bir işaretin gücünü tahmin etmek amacıyla kullanılmaktadır. Spektral yoğunluk, tahmini bir yaklaşım kullanılarak yapılmaktadır ve işaret zaman uzayından frekans uzayına dönüştürülerek periodogram spektrum tahmini kavramına dayanmaktadır. Welch's yöntemi, frekans çözünürlüğünü düşürerek güç spektrumundaki gürültüyü azalttığı için bazı spektrum tahmin yöntemlerinden daha iyi sonuç vermektedir [19].

3.1.EKG İşaretindeki Güç Hattı Girişimini Filtreleme İşlemi

(Filtering the Power Line Interference of the ECG Signal)

Güç hattı girişimleri, 50/60 Hz şebeke frekansına bağlı

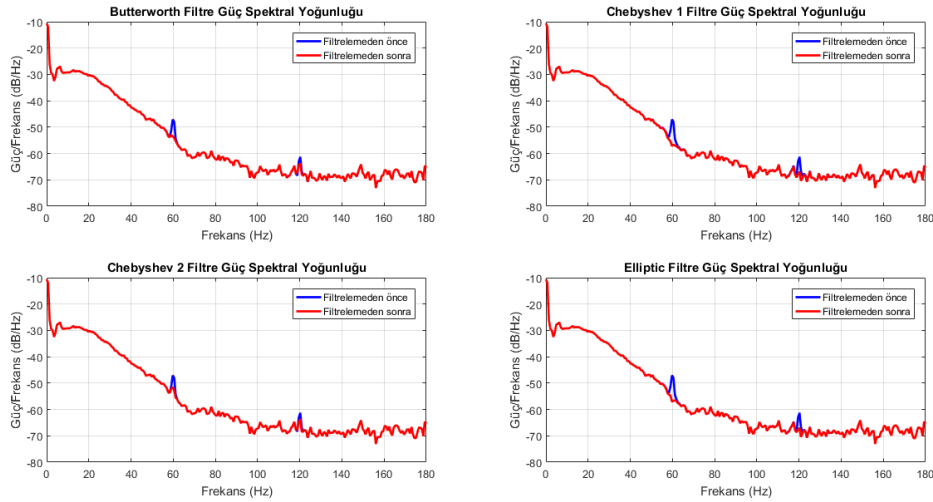


Şekil 4. Güç Hattı Girişimi için tasarlanan sayısal filtrelerin etkisini gösteren grafikler (The graphs showing the effects of the designed digital filter for the power line interference)

değişimleri görebilmek amacıyla zaman ve frekans uzayı grafikleri çizdirilmiştir. Filtrenin EKG işaretindeki zaman uzayı etkisini görebilmek amacıyla;

ham EKG işareti ile filtre sonucu elde edilen EKG işareti arasındaki fark alınarak, çıkartılan gürültü hesaplanmaktadır. Daha sonra, bu üç işaret aynı grafikte çizdirilerek EKG işaretindeki değişim, zaman uzayında gösterilmektedir.

olarak temel frekans ve tam katlarında ek yükselmeler ve harmonikler meydana getirmektedir. Şekil 3 ve 5'te güç spektrumu yoğunluğu verilen EKG işareti ait grafikte şebeke frekansı ve tam katlarındaki (60 Hz ve 120 Hz) girişimlerin tepeler oluşturduğu gözlemlenebilmektedir.



Şekil 5. Güç hatlı girişimi için tasarlanan sayısal filtrelerin güç spektral yoğunluğu grafikleri (The power spectral density graphs of the designed digital filters for the power line interference)

Yapılan çalışmada, temel frekans ve tam katlarında bant durdurucu filtre tasarlayarak, güç hatlı girişimi bastırılmaktadır. Bant durdurucu aralığı 59.9 – 60.1 Hz, işaretin örnekleme frekansı 360 Hz, filtre derecesi 5 olan özelliklere sahip bant durdurucu filtre geliştirilmiştir. Geliştirilen filtreler ile MIT-BIH aritmi veri tabanına ait 100 numaralı kayıt filtrelenmiştir. Filtreleme işlemi sonucu, EKG işareti üzerindeki değişimler Şekil 4 ve 5'te net bir şekilde gösterilmektedir.

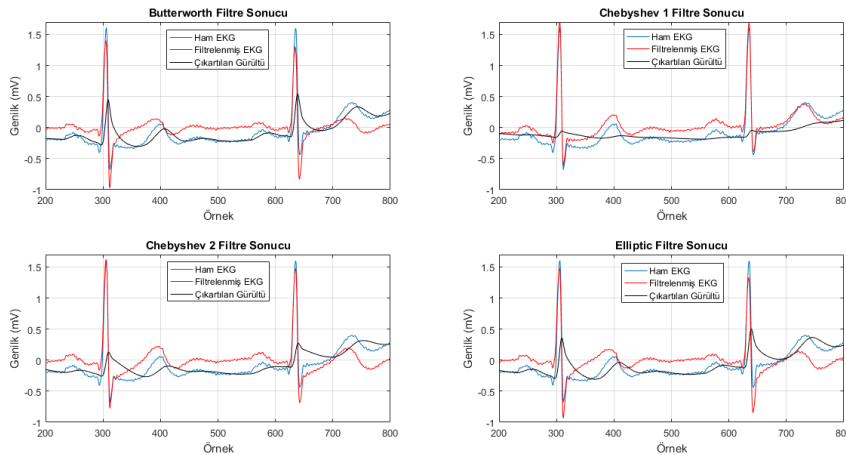
Çizelge 1. Güç hatlı girişimini elimine etmek için tasarlanan filtrelerin başarımları (The performance results of the designed filters for eliminating the power line interference)

Filtre	MSE	SNR (dB)	PSNR (dB)
Butterworth	0.000044	34,775	43,112
Chebyshev Tür 1	0.000049	34,315	42,623
Chebyshev Tür 2	0.000012	40,352	48,741
Elliptic	0.000044	34,813	43,134

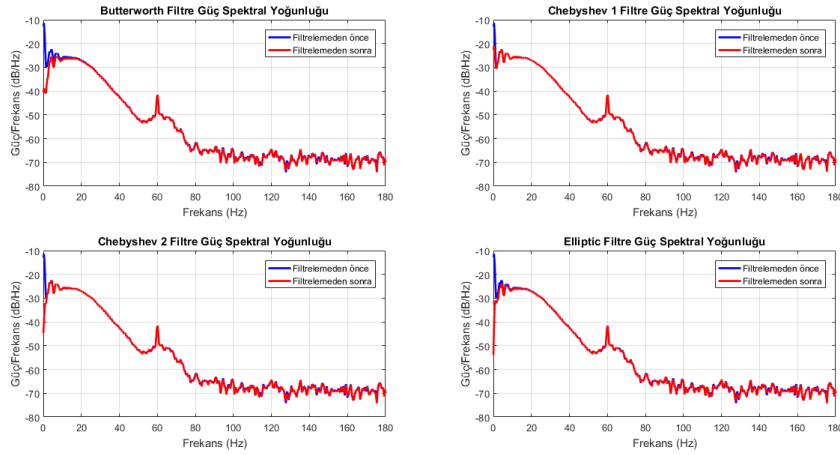
EKG işaretindeki güç hatlı girişimini filtreleme işlemi sonucu IIR tabanlı sayısal filtreler için başarımları Çizelge 1'de listelenmiştir. Çizelge 1'de filtreler için başarımlar birbirleriyle karşılaştırılabilmektedir. Güç hatlı girişimini filtreleme işlemi başarımları en iyi olan, MSE değeri 0,000012, SNR değeri 40,352 ve PSNR değeri 48,741 ile Chebyshev Tür 2 filtre olarak gözlemlenmektedir.

3.2. EKG İşaretindeki Taban Hattı Kaymasının Filtrelenmesi (Filtering the Baseline Wander of the ECG Signal)

EKG işareti kaydedilirken, işaret kaynağı olan kalp ile EKG elektrodu arasında hastanın nefes alıp vermesi, hareket etmesi ve elektrodun vücut yüzeyine temasızlığı sonucu oluşan değişimler taban hattı kaymasını oluşturmaktadır. Düşük frekanslı gürültü olarak taban hattı kayması, 1 Hz'in altındaki frekanslarda meydana gelmektedir. Yapılan çalışmada, EKG sinyalindeki taban hattı kaymasını ortadan kaldırmak için sayısal filtreler



Şekil 6. Taban hattı kayması için tasarlanan sayısal filtrelerin etkisini gösteren grafikler (The graphs showing the effects of the designed digital filter for the baseline wander)



Şekil 7. Taban hattı kayması için tasarlanan sayısal filtrelerin güç spektral yoğunluğu grafikler (The power spectral density graphs of the designed digital filters for the baseline wander)

tasarlanarak etkileri incelenmiştir. Bant geçirme aralığı 1 Hz üstü, işaretin örnekleme frekansı 360 Hz, filtre derecesi 3 olan özelliklere sahip yüksek geçiren bir filtre geliştirilmiştir. Geliştirilen filtreler ile MIT-BIH aritmi veri tabanına ait 103 nolu kayıt kullanılarak filtreleme yapılmıştır. Filtreleme işlemi sonucu, EKG işaretindeki değişimler Şekil 6 ve 7’de net bir şekilde gösterilmiştir.

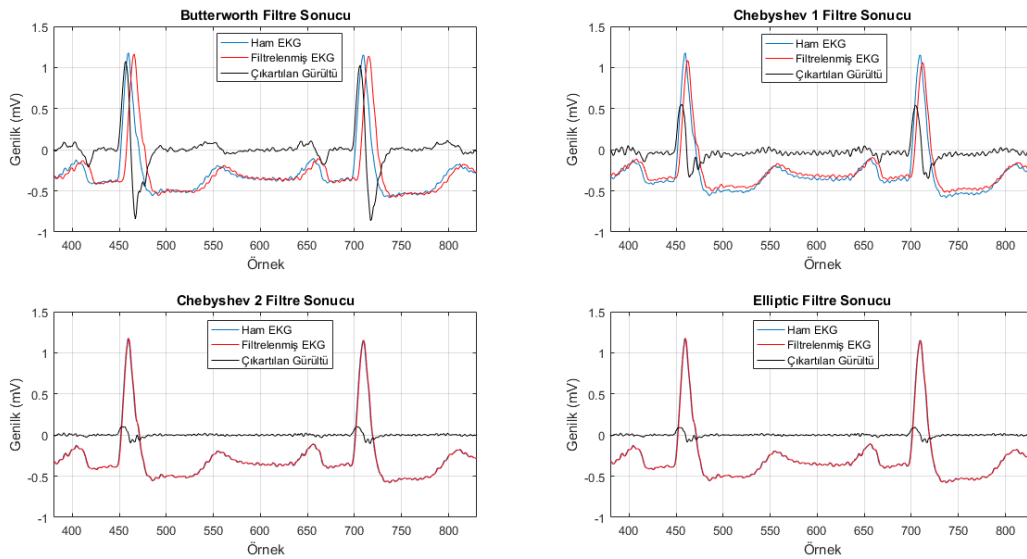
Çizelge 2. Taban hattı kaymasını elimine etmek için tasarlanan filtrelerin başarımları (The performance results of the designed filters for eliminating the baseline wander)

Filtre	MSE	SNR (dB)	PSNR(dB)
Butterworth	0,060717	-1,357	15,422
Chebyshev Tür 1	0,042266	1,707	18,389
Chebyshev Tür 2	0,054302	0,206	17,27
Elliptic	0,061652	-0,868	15,825

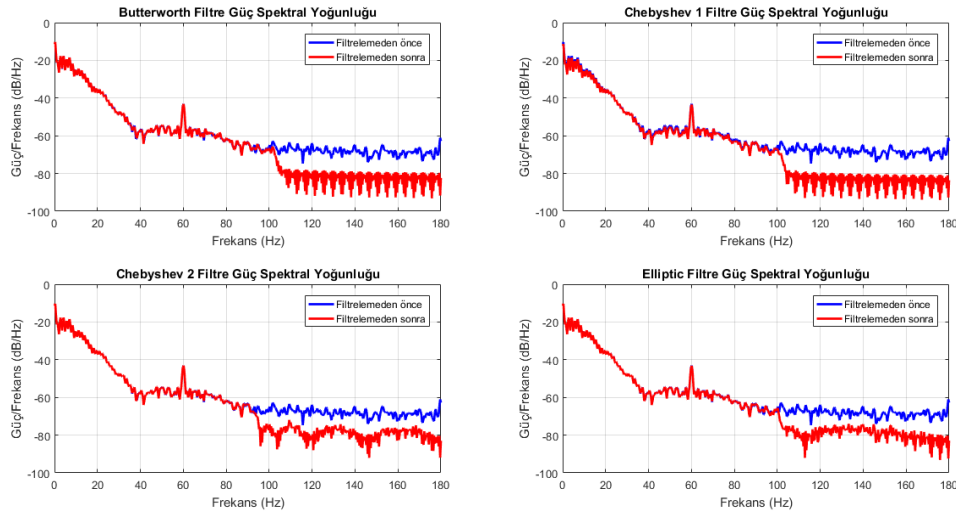
EKG işaretindeki taban hattı kayması filtreleme işlemi sonucu Çizelge 2’deki gibi IIR tabanlı sayısal filtreler için başarımları detaylı olarak listelenmiştir. Çizelge 2’deki sonuçlar incelendiğinde, filtreler için sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılabilmektedir. Taban hattı kayması filtreleme işlemi başarımları en iyi olan, MSE değeri 0,042266, SNR değeri 1,707 ve PSNR değeri 18,389 olan Chebyshev Tür 1 filtre olduğu gözlemlenmektedir.

3.3. EKG İşaretindeki Kas (EMG) Gürültüsünün Filtrelenmesi (Filtering the Muscle (EMG) Noise on the ECG Signal)

Yüksek frekanslı gürültü olarak kas/EMG gürültüsü EKG kaydı yapılırken hastanın hareket etmesi ile iskelet kaslarının kasılması sonucu oluşmaktadır. Bu etki, EKG



Şekil 8. Kas (EMG) gürültüsü için tasarlanan sayısal filtrelerin etkisini gösteren grafikler (The graphs showing the effects of the designed digital filter for muscle (EMG) noise)



Şekil 9. Kas (EMG) gürültüsü için tasarlanan sayısal filtrelerin güç spektral yoğunluğu grafikleri (The power spectral density graphs of the designed digital filters for the muscle (EMG) noise)

işaretinde istenmeyen değişikliklere neden olmakta ve EKG sinyalinde bozulmalar meydana gelmektedir. EMG gürültüsünün frekans içeriği, 100 Hz den yüksek frekanslarda etkili olduğu bilinmektedir. Yapılan çalışmada, 100 Hz'in üstünü geçirmeyen, alçak frekansları geçiren bir filtre tasarlayarak, EMG gürültüsü giderilmeye çalışılmaktadır. Bant geçirme aralığı 100 Hz altı, işaretin örnekleme frekansı 360 Hz, filtre derecesi 9 olan özelliklere sahip alçak geçiren bir filtre geliştirilmiştir. Geliştirilen filtreler ile MIT-BIH aritmi veri tabanına ait 105 numaralı kayıt filtrelenmiştir. Filtreleme işlemi sonucu, EKG işareti üzerindeki değişimler Şekil 8 ve 9'da net bir şekilde gösterilmiştir.

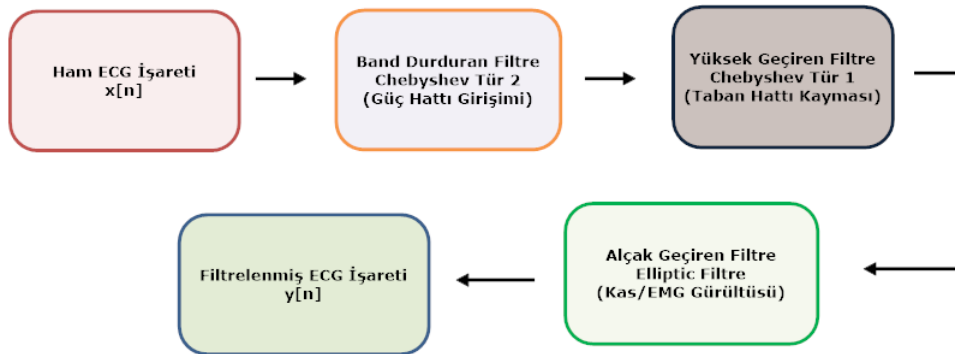
Çizelge 3. Kas (EMG) gürültüsünü elimine etmek için tasarlanan filtreler için başarımları (The performance results of the designed filters for eliminating the muscle (EMG) noise)

Filtre	MSE	SNR (dB)	PSNR (dB)
Butterworth	0.046583	5,135	15,324
Chebyshev 1	0.012370	9,984	20,509
Chebyshev 2	0.000545	24,45	34,742
Elliptic	0.000448	25,306	35,598

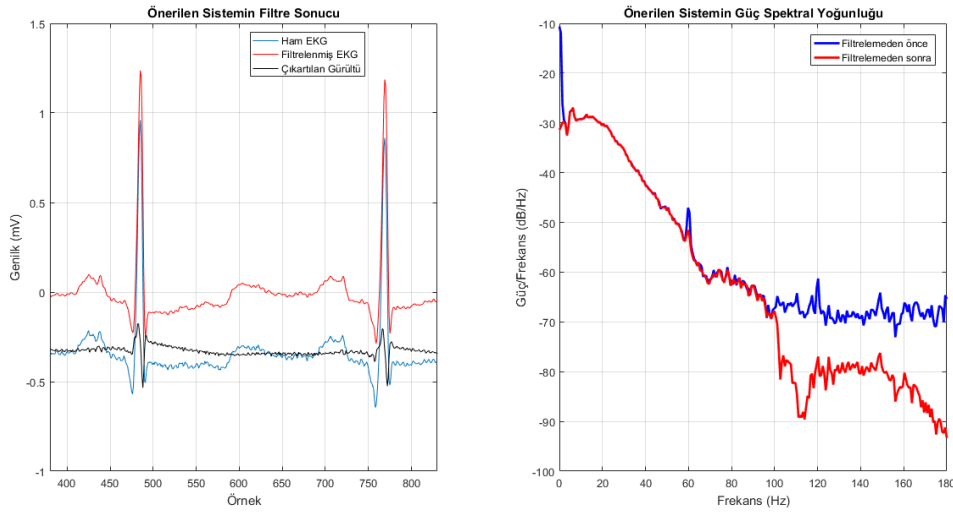
EKG işaretindeki kas (EMG) gürültüsü filtreleme işlemi sonucu IIR tabanlı sayısal filtreler için başarımları Çizelge 3'te listelenmiştir. Çizelge 3'teki sonuçlar incelendiğinde, filtreler için sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılabilmektedir. Taban hattı kayması filtreleme işlemi başarımları en iyi olan, MSE değeri 0,000448, SNR değeri 25,306 ve PSNR değeri 35,598 olan Elliptic filtre olduğu gözlemlenmektedir.

3.4. EKG İşaretinin Gürültülerden Arındırılması için Önerilen Sistem (The Proposed System for Denoising the ECG Signal)

Yukarıda yapılan benzetim çalışmalarında EKG işaretindeki çeşitli gürültülerin elimine edilmesi amacıyla IIR tabanlı sayısal filtreler incelenmiştir. Yapılan çalışmalara ait başarımları analiz edilerek, gürültü çeşitlerine göre en başarılı filtreler karşılaştırmalı olarak belirlenmiştir. Güç hattı girişimini en başarılı şekilde elimine eden filtre olarak Chebyshev Tür 2 filtre seçilmiştir. Taban hattı kaymasını en başarılı şekilde



Şekil 10. Önerilen sistemin blok diyagramı (The block diagram of the proposed system)



Şekil 11. Önerilen sistemin EKG işareti üzerindeki etkisini gösteren filtre sonucu ve güç spektral yoğunluğu grafikleri (The obtained graphs of the ECG signal showing the effects of the proposed system and the power spectral density)

elimine eden filtre olarak Chebyshev Tür 1 filtre seçilmiştir. Kas (EMG) gürültüsünü en başarılı şekilde elimine eden filtre olarak Elliptic filtre seçilmiştir

Başarımı yüksek filtreler kullanılarak EKG işaretindeki gürültüleri elimine eden IIR tabanlı sayısal filtreler içeren bir sistem önerilmiştir. Önerilen sistemin blok diyagramı Şekil 10'da verilmiştir. Her bir filtre, benzetim çalışmaları sonucu elde edilen özellikleri kullanılarak ilgili blokta kullanılmaktadır. Ham EKG sinyali sırayla ilgili aşamalarda bloklerden geçerek filtrelenmekte ve sonuçta gürültülerden arındırılmış, filtrelenmiş EKG işareti elde edilmektedir.

Önerilen sistem ile MIT-BIH aritmi veri tabanına ait 115 numaralı kayıt kullanılarak filtreleme işlemi yapılmıştır. Önerilen sistemin, hesaplanan başarımlar değerleri sırasıyla; MSE değeri 0,096991, SNR değeri -5,137 ve PSNR değeri 11,996 olarak elde edilmiştir. Filtreleme işlemi sonucu, EKG işareti üzerindeki değişimler Şekil 11'de net bir şekilde görülmektedir

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Yapılan çalışmada, EKG işaretindeki önemli gürültüleri gidermek amacıyla IIR tabanlı sayısal filtreler tasarlanmıştır. Bu filtreler, gürültü çeşidine ait özelliklere göre yapılandırılarak kendi aralarında başarımlar ölçütlerine göre analiz edilmiştir. Bu analiz sonucu, benzetim başarımlar yüksek filtreler seçilerek EKG işaretini gürültülerden arındıran bir sistem önerilmiştir. Önerilen sistemde, benzetim başarımlar yüksek olan, bant durduran filtre olarak Chebyshev Tür 2, yüksek geçiren filtre olarak Chebyshev Tür 1 ve alçak geçiren filtre olarak Elliptic filtre kullanılmıştır. Önerilen sisteme ait başarımlar ölçütü değerleri sırasıyla; MSE 0,096991, SNR -5,137 ve PSNR 11,996 olarak hesaplanmıştır. EKG işaretindeki gürültüleri gidermek

amacıyla başarımlar analizi değerlendirildiğinde tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir. Çalışmada, MIT-BIH aritmi veri tabanına ait EKG kayıtları kullanılmıştır. Önerilen sistem, gerçek zamanlı EKG işareti izleme/görüntüleme amacıyla geliştirilen QRS algılama algoritmalarının ön işleme aşamasında EKG işaretindeki gürültüleri gidermek amacıyla kullanılabilir bir yapıdadır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Yakut O., Solak S. and Bolat E.D., "Measuring EKG signal using e-health sensor platform", *International Conference on Chemistry, Biomedical and Environment Engineering*, Antalya, 65-69, (2014).
- [2] Clifford G.D., Azuaje F. and McSharry P., "ECG Statistics, Noise, Artifacts and Missing Data", Artech House Inc., Norwood MA USA, (2006).
- [3] Aboutabikh K., Haidar I. and Aboukerdah N., "Design and implementation of a digital FIR notch filter for the ECG signals using FPGA", *IJARCCCE*, 5: 452-456, (2016).
- [4] Limaye H., Deshmukh V. V., "ECG noise sources and various noise removal techniques: a survey", *IJAIEEM*, 5: 86-92, (2016).
- [5] Patne S.L., Khope S.R., "ECG denoising and disease detection", *IJESCC*, 6: 7361-7363, (2016).
- [6] Ahmad I., Ansari F. and Dey U.K., "Power line interference noise removal in ECG-a comparative study", *IJCSE*, 7: 13-18, (2015)
- [7] Hamiane M., Al-Heddi I.Y., "Automatic detection of abnormalities in ECG signals : a Matlab study", *International Journal of Biology And Biomedical Engineering*, 9: 121-126, (2015).
- [8] Sharma M., Dalal H., "Designing and implementation of digital filter for power line interference suppression", *IJSETR*, 3: 1831-1836, (2014).
- [9] Uppanlawar I.V., Chowhan H., "Pre-processing of ECG Signals Using Filters", *IJCTT*, 11: 166-168, (2014)
- [10] Patial P., Singh E.K., "Efficient filtering techniques of ECG signal using fir low pass filter with various window techniques", *IJARCSSE*, 4: 641-647, (2014).

- [11] Georgieva-Tsaneva G., Tcheshmedjiev K., “Denoising of electrocardiogram data with methods of wavelet transform”, *CompSysTech*, Ruse, 9-16, (2013).
- [12] Mbachu C.B., Offor K.J., “Reduction of in ECG signal using FIR digital filter implemented with hamming window”, *IJSET*, 2: 1380-1387, (2013).
- [13] Joshi L.S., Vatti R.A. and Tornekar R.V., “A Survey on ECG signal denoising techniques”, *International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, MIR Labs Thatipur Gwalior India, 60-64, (2013).
- [14] Joshi P.J., Patkar V.P., Pawar A. B., Patil P.B., Bagal U. R. and Bipin D.M., “ECG denoising using Matlab”, *IJSER*, 4: 1401-1405, (2013)
- [15] Mbachu C.B., Onoh G.N., Idigo V.E., Ifeagwu E.N. and Nnebe S.U., “Processing ECG signal with kaiser window- based FIR digital filters”, *IJEST*, 3: 6775-6783, (2011).
- [16] Afonso V. X., “*ECG QRS detection*”, *Biomedical Digital Signal Processing: C-language Examples and Laboratory Experiments for the IBM PC*”, Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River NJ, (1993).
- [17] Moody G.B., Mark R.G., “The impact of the MIT-BIH arrhythmia database”, *IEEE Eng in Med and Biol*, 20: 45-5, (2001).
- [18] Khobragade P. B., Thakare S. S., “Image compression techniques- a review”, *IJCSIT*, 5: 272-275, (2014).
- [19] https://en.wikipedia.org/wiki/Welch's_method