

## Ayrık Dalgacık Dönüşümünün FPGA Tabanlı Donanımsal Gerçeklenmesi

Resul ÇÖTELİ<sup>1</sup>, Serkan METİN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği, Elazığ, TÜRKİYE

<sup>2</sup> Fırat Üniversitesi, Karakoçan Meslek Yüksekokulu, Elazığ, TÜRKİYE  
rcoteli@gmail.com

(Geliş/Received: 20.03.2018; Kabul/Accepted: 07.08.2018)

### Özet

Ayrık Dalgacık dönüşümü (ADD), gürültülü sinyal içeren uygulamalarda gürültü giderimi için kullanılan bir ön işlem adıdır. ADD'nün Alan Programlanabilir Kapı Dizileri (FPGA) kullanılarak gerçekleştirilmesinde, geleneksel HDL tabanlı tasarımın da bilinmesi gerekir. Bunun yanında, Matlab/Simulink tabanlı Xilinx System Generator (XSG), geleneksel HDL tabanlı tasarım bilinmesede dahi FPGA'nın programlanmasına olanak tanır. Bu makalede, Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) tabanlı bir filtre Xilinx System Generator (XSG) kullanılarak Alan Programlanabilir Kapı Dizileri (FPGA)'de gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen ADD, radar sinyallerine eklenen kaotik gürültüyü filtreleme amacı ile kullanılmıştır. İlk olarak, gürültülü radar sinyali ADD yöntemi ile istenilen seviyeye ayrıştırılır. Bu ayrıştırma işleminden elde edilen katsayılar eşikleme yöntemi uygulanarak gürültülü katsayılar yok edilir. Son olarak, tekrar oluşturma işlemi ile gerçek sinyal elde edilir. Donanımsal gerçekleştirilen ADD'nün performansı, gürültüsüz radar sinyali ve gürültüden arındırılmış radar sinyali arasındaki ortalama karesel hatanın karekökü ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlardan sinyalin gürültüye oranının çok düşük kaldığı durumlarda başarımın çok iyi olmadığı, 20 dB değerinden sonra başarımın oldukça iyi olduğu görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Radar Sinyali, Kaotik Gürültü, ADD, FPGA.

## Hardware Implementation of FPGA-Based Discrete Wavelet Transform

### Abstract

Discrete Wavelet Transform (DWT) is a pre-processing step used for noise reduction in applications with noisy signals. When ADD is implemented using Field Programmable Gate Arrays (FPGAs), the traditional HDL-based design must be known. Matlab / Simulink-based Xilinx System Generator (XSG) allows the FPGA to be programmed without knowing the traditional HDL-based design. In this paper, DWT was implemented in the Field Programmable Gate Arrays (FPGAs) using the Xilinx System Generator (XSG). The ADD is used for chaotic noise filtering added to radar signals. First, the noisy radar signal is separated into the desired level by using ADD. The coefficient-based thresholding method obtained from this decomposition is applied to eliminate the noisy coefficients. Finally, the real signal is obtained by the reprocessing process. The performance of the hardware ADD is evaluated by the square root of the mean squared error between the real radar signal and the noise cancelled radar signal. If the ratio of signal to noise is too low, the performance is not very good, and after 20 dB, the performance is quite good.

**Keywords:** Radar Signal, Chaotic Noise, DWT, FPGA.

### 1. Giriş

Radar ve radar uygulamaları haberleşme sistemlerinde önemli bir yer tutmaktadır. Haberleşme sinyallerine ve diğer önemli sinyallere (biyomedikal vb.) çevresel ya da bilinçli (insan kaynaklı) nedenlerden dolayı gürültü bulaşabilir. Bununla birlikte verilerin elde edilme sürecinde de (ölçümler ya da gözlemler)

gürültü orjinal sinyale karışabilir. Bu problem, gürültünün bilinen bir sinyale eklenmesi, parametreleri tespit edilememiş bir sinyale bindirilmesi veya rastgele bir sinyale bulaşması olmak üzere üç farklı şekilde meydana gelir.

Haberleşme sinyalleri (radar, sonar vb.) yoğun bir şekilde elektromanyetik bozucu gürültüler (Elektronik savaş, bilgi tabanlı harp) tarafından bozulabilir. Bu durumlarda orjinal

sinyallerdeki gürültüyü giderme işlemi oldukça önem kazanmaktadır [2].

Gürültüyü giderme ile ilgili literatürde oldukça fazla sayıda çalışma yer almaktadır. Bu çalışmaların büyük bir kısmında geleneksel yöntemler, Fourier Dönüşümü ve Güç Spektral Yoğunluğu gibi yöntemler kullanılmaktadır. Sinyalin çok yoğun gürültüye maruz kaldığı durumlarda bu yöntemler tatmin edici sonuçlar veremeyebilirler [3-5]. Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) tabanlı yöntemler son zamanlarda gürültü giderme algoritmalarında oldukça sık kullanılmaktadır. Ref. [6]'da radar sinyallerinde gürültüyü gidermek için ADD önerilmiştir. Bahsedilen çalışmada iki yöntem sunulmuştur. Birinci yöntemde, ADD eşlenik filtre olarak kullanılmıştır. İkinci yöntemde ise farklı ölçekler için dalgacık katsayıları ile ilgili yöntemdir. Ref. [7]'de zayıf sinyal tespiti ve sinyal lokalizasyonu için dalgacık paket ve yüksek dereceli istatistik yöntemini önermiştir. Ref. [8]'de Gauss tipi olmayan gürültülerde radar sinyallerini belirleyebilen radyal tabanlı sinir ağı kullanan bir yöntem önermişlerdir.

Bu çalışmada, kaotik gürültü ile bozulmuş radar sinyallerinden gürültünün giderilmesi için kullanılan ADD donanımsal olarak Matlab/Simulink Xilinx System Generator (XSG) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, ilk olarak çeşitli seviyelerde kaotik sinyaller elde edilmiştir. Elde edilen kaotik sinyaller radar sinyaline eklenmiştir. Sinyaldeki gürültülü bileşenler ADD yöntemi ile tespit edilmiş ve gürültüsüz gerçek sinyal elde edilmeye çalışılmıştır. Matlab/Simulink XSG kullanılarak gerçekleştirilen ADD'nün donanımsal benzetimi yapılmış ve elde edilen sonuçlar verilmiştir.

## 2. Ayrık Dalgacık Dönüşümü ve Gürültü Giderim Yöntemi

Gürültüye maruz kalan sinyaller için Dalgacık dönüşümü yöntemi ile birlikte gürültü giderim algoritması birlikte kullanılabilir. DD yönteminin; farklı frekans çözünürlükleri, tüm spektrumun hesaplanmasına ihtiyaç duymaması, düşük frekans olan bölgelerde hızlı olabilmesi gibi üstünlükleri geleneksel yöntemlere göre daha iyidir [9]. Ayrıca bu yöntemin diğer bir üstünlüğü olarak, düşük frekansın önemli olduğu yerler için büyük zaman aralıklarının, yüksek frekansın

önemli olduğu yerler için de küçük zaman aralıklarının kullanılabilmesi sayılabilir [10-11].

Gürültü ile bozulmuş herhangi bir sinyalin genel eşitliği Denklem 1'de verilmiştir.

$$y[n] = x[n] + d[n] \quad (1)$$

Bu denklemde  $x[n]$ , gürültüsüz radar sinyalini,  $d[n]$  radar sinyaline bulaşan kaotik gürültüyü,  $y[n]$  ise kaotik gürültülü radar sinyalini temsil etmektedir. Bu çalışmada, radar sinyallerine bozucu giriş olarak Lorenz denklemlerinden elde edilen sinyal eklenmiştir (Denklem 2). Lorenz Denklemi kaotik sinyal üretmek için sıkça kullanılan ve akışkan davranışları için (iki boyutlu) önerilen sistemdir [12].

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= -ax + ay \\ \frac{dy}{dt} &= cx - y + xz \\ \frac{dz}{dt} &= -bz + xy \end{aligned} \quad (2)$$

Denklem 2'de;  $a$ ,  $b$  ve  $c$  katsayıları,  $x$ ,  $y$  ve  $z$  dinamik değişkenleri göstermektedir [12]. Geleneksel gürültü giderim algoritmalarında, orijinal sinyalin yüksek frekanslı bileşenleri gürültü bileşenleri kabul edilerek yok edilir. ADD tabanlı gürültü giderme algoritmalarında ise orijinal sinyalin yüksek frekanslı bileşenleri gürültü gibi değerlendirilmemektedir [13-14]. ADD'ne ait eşitlik Denklem 3'de verilmiştir.

$$ADD(m, n) = 2^{-m/2} \int f(t) \cdot \psi(2^{-m}t - n) dt \quad (3)$$

Denklem 3'te,  $f(t)$  dönüşüme tabi tutulacak sinyali,  $\psi$  filtreyi,  $m$  dönüşümdeki ölçeklemeyi,  $n$  ise öteleme oranını gösterir.

Kaotik gürültülü radar sinyallerini gürültüden temizlemek için ADD ile sinyalin dalgacık katsayıları bulunur [13, 15-16]. Dalgacık katsayılarını elde edebilmek için kaotik gürültülü radar sinyali seviyelere bölünür. Daha sonra bu dalgacık katsayılarının varyansı ( $\sigma^2$ ) Denklem 4 kullanılarak bulunur.

$$\sigma^2 = \frac{\text{med}|D_{j,k}|}{0.6745} \quad (4)$$

Denklem 4’de,  $med$  katsayıların ortanca değerini,  $D_{j,k}$  ise dalgacık katsayılarını belirtir. Varyans değeri hesaplandıktan sonra eşik değeri Denklem 5 yardımı ile bulunabilir.

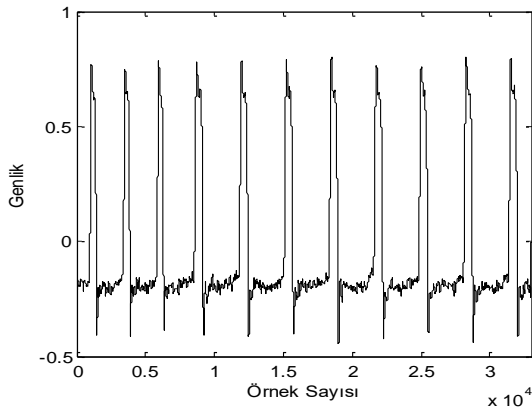
$$E = \sigma^2 \sqrt{2 \cdot \log(n)} \quad (5)$$

Denklem 5’te gösterilen  $E$  varyans yardımıyla hesaplanan eşik değerini,  $n$  değeri ise örnek sayısını gösterir.

Eşik değeri kaotik gürültülü radar sinyalinin varyansına göre hesaplandıktan sonra sinyale ait gürültülü katsayılar tespit edilir. Gürültülü olarak değerlendirilen ve asıl sinyale ait olmayan katsayılar yumuşak ya da sert eşiklemeye tabi tutularak yok edilir. Eşikleme işleminin sonucunda kalan katsayılar (yok edilmeyen) yani asıl sinyale ait olduğu düşünülen katsayılar yeniden birleştirilerek radar sinyali elde edilir.

### 3. Kaotik Gürültülü Radar Sinyalini Gürültüden Arındırmak için FPGA Mimarisinin Kullanılması

Bu çalışmada, haberleşme sinyalleri içerisinde önemli bir yere sahip olan radar sinyalleri kullanılmıştır [17]. Ref. [17]’den elde edilen radar sinyaline ait grafik Şekil 1’de verilmiştir. Şekil 1’de verilen radar sinyali 33000 örnekten oluşmaktadır.



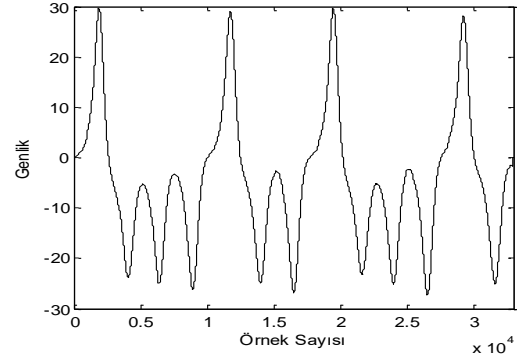
Şekil 1. Radar sinyali

Şekil 1’de gösterilen radar sinyali gürültü içermeyen bir sinyaldir. Önemli bir haberleşme sinyali olan radar sinyali çevresel etkiler ya da insan yapımı gürültülerden kolaylıkla

etkilenebilmektedir. Bu çalışmada Lorenz eşitliğinden elde edilen kaotik sinyal çeşitli oranlarda radar sinyaline gürültü olarak eklenmiştir.

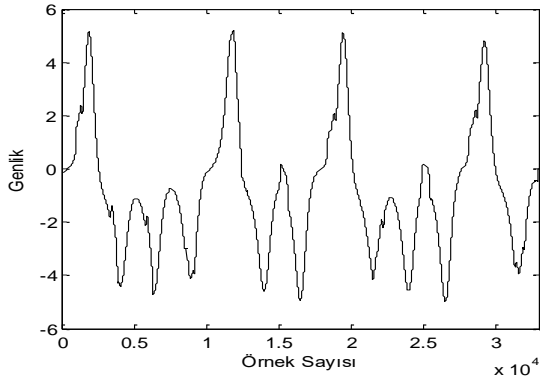
Şekil 1’de verilen radar sinyaline, Sinyalin Gürültüye Oranı (SGO) -5.0035 Db olan kaotik gürültü eklenirse Şekil 2’de verildiği gibi gürültülü radar sinyali elde edilmiş olur.

Şekil 3’te ise 10.0063 dB SGO’na sahip kaotik gürültülü radar sinyali verilmiştir. FPGA donanımı, DD ve gürültü giderimi için tasarlanmıştır. DD’de ayrıştırma işlemi 3 seviyede ve Daubechies 3 (db3) dalgacık türü kullanılarak yapılmıştır. Bu gerçeklemeye ait işlemleri gösteren bloklar Şekil 4’te verilmiştir. Şekil 4’de verilen bloklarda X ile gösterilen kaotik gürültülü radar sinyalini göstermektedir. Burada ilk olarak gürültülü sinyal seçilen seviyeye ayrıştırılmaktadır.



Şekil 2. -5.0035dB oranında kaotik gürültülü radar sinyali

Bu işlemin sonucunda yaklaşık ve detay katsayıları elde edilir. Daha sonra Bölüm 2’de verilen eşikleme işlemine tabi tutularak gürültülü katsayılar tespit edilir. Sinyale ait gürültülü katsayılar yok edilip gürültülü bileşenler temizlenir. Bu işlemin ardından elde edilen katsayılar tekrar birleştirilerek gürültüsüz radar sinyali elde edilir.



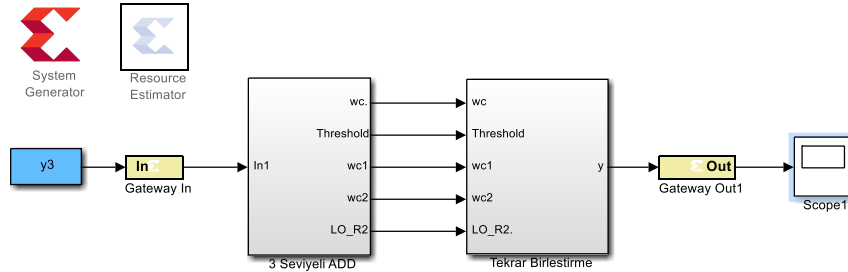
Şekil 3. 10.0063dB oranında kaotik gürültülü radar sinyali

Kaotik gürültülü radar sinyali, önerilen algoritmanın donanımsal gerçekleştirilmesi ile gürültüden belirli başarımlar oranlarında arındırılmıştır. Ortalama Karesele Hatanın Karekökü (OKHK) başarımları test etmek için kullanılmıştır. Denklem 6'da, OKHK eşitliği verilmiştir.

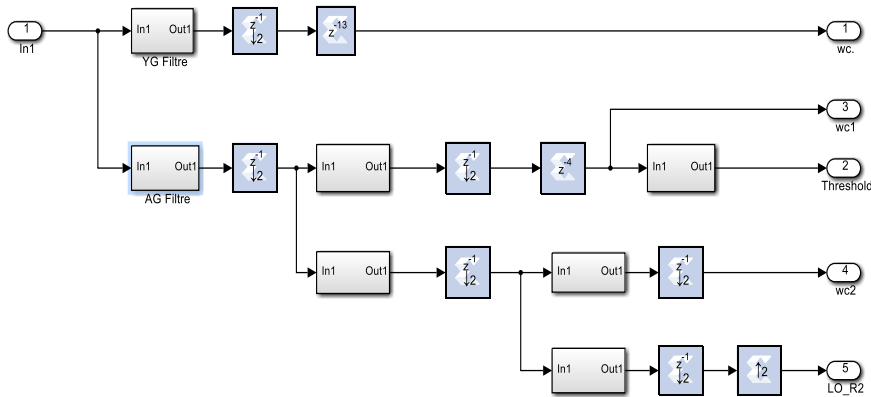
$$OKHK = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (G_i - T_i)^2} \quad (6)$$

Denklem 6'da,  $G(i)$  ile gösterilen gürültüsüz radar sinyalini  $T(i)$  ise gürültüden arındırılmış radar sinyalini belirtmektedir. FPGA'ların, tekrar programlanabilirliği, yapılandırılabilirliği, düşük maliyeti, yüksek lojik yoğunluğu ve yüksek güvenilirliği gibi özelliklerinden dolayı bu çalışmada ADD'nin donanımsal gerçekleştirilmesi FPGA yapılmıştır.

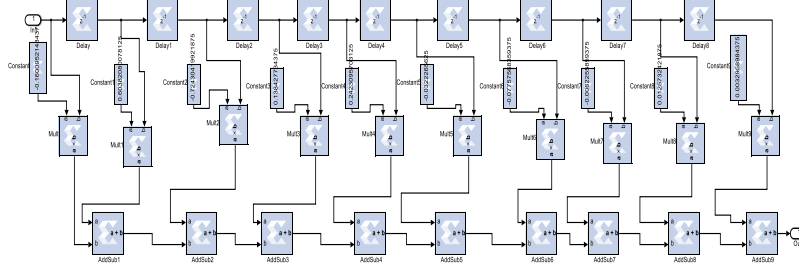
Şekil 4'te XSG kullanılarak oluşturulan ADD gösterilmiştir. İlk olarak Matlab sinyali Gateway In bloğu kullanılarak XSG sinyaline dönüştürülür. Dönüştürülen sinyal ADD yardımı ile 3 seviyeye ayrıştırılarak yaklaşık ve detay katsayıları bulunur. Daha sonra tekrar birleştirme işlemi yapılarak gerçek sinyal elde edilir ve Gateway Out bloğu ile XSG sinyali Simulink sinyaline dönüştürülür. Şekil 4'teki FPGA tabanlı ADD modelinde gösterilen 3 seviyeli ADD'ne ait Matlab/Simulink XSG modelinin iç yapısı Şekil 5'te verilmiştir. Şekilden, bu bloğa giren sinyalin bir yüksek geçiren (YG) filtreden ve bir de alçak geçiren filtreden (AG) geçirildiği görülmektedir. Bu modelde gösterilen yüksek ve alçak geçiren filtreler ise Şekil 6a ve b'de verilmiştir.



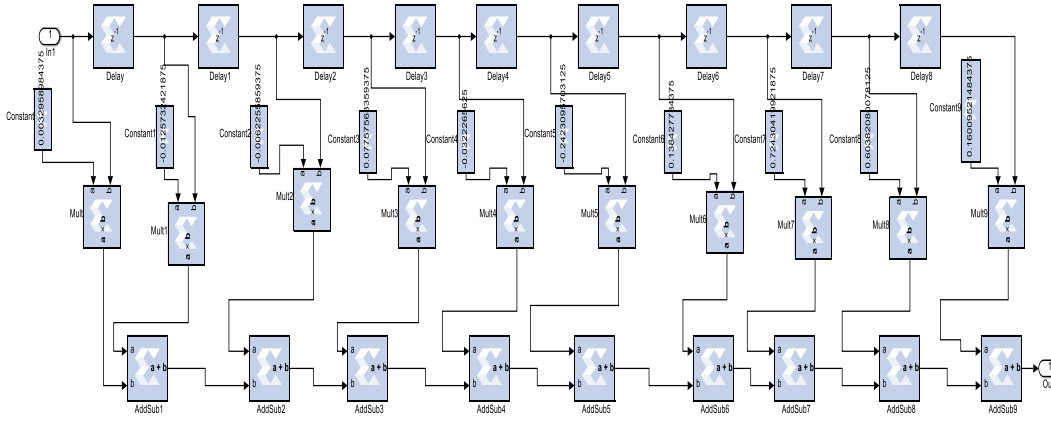
Şekil 4. FPGA tabanlı ADD



Şekil 5. FPGA tabanlı ADD

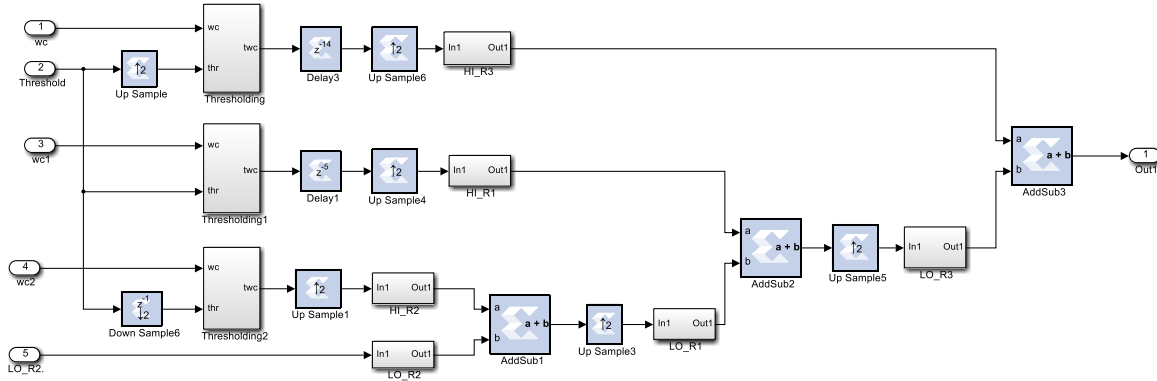


a) YG filtre



b) AG filtre

Şekil 5. FPGA tabanlı ADD



Şekil 6. FPGA tabanlı tekrar birleştirme işlemi

Şekil 6’da tekrar birleştirme işlemine ait Matlab/Simulink XSG modeli verilmiştir. Donanımsal olarak oluşturulan ADD’nin ne kadar kaynak kullandığı Resource Estimator ile elde edilir. Bu bloktan elde edilen kaynak kullanımı bilgisi Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Donanımsal gerçekleştirilen FPGA tabanlı ADD’nin kaynak kullanımı

Kaynak	Miktar
Slices	39706
FFs	54583
LUTs	57961
IOBs	201
Mults/DSP48s	599

Tablo 1’de kaotik gürültünün farklı SGO’larda eklendikten sonra başarımları gösterilmiştir. Tablo 1’de bir haberleşme sinyali olan radar sinyaline çeşitli SGO oranlarında kaotik gürültüler eklenmiştir. Kaotik gürültülü radar sinyalleri Şekil 2’de verilen bloklarda önce seviyelerine ayrıştırılmıştır. Daha sonra gürültülü dalgacık katsayıları tespit edilerek yok edilmiştir. Bu işlemde kalan katsayılar tekrar birleştirilip gürültüsüz radar sinyali elde edilmeye çalışılmıştır. Bu işlemlerin ne kadar başarılı olup olmadığını tespit edebilmek için OKHK başarımlarını kullanılmıştır.

Tablo 2’de elde edilen sonuçlardan SGO’nun çok düşük kaldığı durumlarda başarımların çok iyi olmadığı görülebilmektedir. Bu donanımsal gerçeklemede özellikle 20 dB değerinden sonra başarımların oldukça düzeldiği görülebilmektedir.

**Tablo 2.** Radar sinyaline farklı oranlarda kaotik gürültüler eklendikten sonra OKHK değerleri

SGO (dB)	OKHK
-5.0035	1.8785
-4.0061	1.8537
-3.0028	1.8284
-2.0074	1.8025
-1.0076	1.7756
0.0011	1.7476
1.0024	1.7186
2.0091	1.6882
3.0006	1.6569
4.0022	1.6218
5.0053	1.5789
6.0032	1.5313
7.0016	1.4824
8.0023	1.4309
9.0003	1.3746
10.0063	1.3112
11.0012	1.2398
12.0065	1.1468
15.0651	0.8277
20.0000	0.5129
25.0207	0.3509
30.0338	0.2631

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, kaotik gürültü ile bozulmuş olan radar sinyallerinde gürültü giderimi için kullanılacak ADD donanımsal olarak FPGA’da gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlardan sinyalin gürültüye göre çok zayıf kaldığı durumlarda

gürültü giderim başarımının çok iyi olmadığı tespit edilmiştir. Dalgacık dönüşüm seviye sayısının artırılması ve farklı dalgacık ailesi türlerinin kullanılması ADD’nin gürültü giderim başarımını artırabilir. Bunun yanında, seviye sayısının artırılması FPGA’da kullanılacak kaynak sayısının artmasına neden olacaktır. Bununla birlikte sinyale bozucu giriş olarak uygulanan gürültü tipine ve istatistiksel özelliklerine göre hem dalgacık türü hem de seviyesi belirlenmesi durumunda başarımlar artabilir.

#### 5. Kaynaklar

1. Ralph, D.H. (2002). Detection theory applications and digital signal processing. CRC Press.
2. Chen, W., Meng, C., Wang, C., and Zhang, Z. (2009). Summary on weak signal detection methods based on chaos theory. The Ninth International Conference on Electronic Measurement and Instruments. IEEE.
3. Wang, G., etc. (1997). Application of chaos oscillator in detection of signal under the background of strong noise. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, **18(2)**: 209-212.
4. Chongyu, W., Weijuan, Z. (2010). Weak signal de-noising method based on accumulation in frequency domain and wavelet transform. In Information Processing (ISIP), 2010 Third International Symposium on (pp. 130-133).
5. Li, C. (2005). Study of weak signal detection based on second FFT and chaotic oscillator. *Nature and Science*, **3(2)**, 59-64.
6. Ehara, N., Sasase, I., Mori, S. (1994). Weak radar signal detection based on wavelet transform. *Electronics and Communications in Japan (Part III: Fundamental Electronic Science)*, **77(8)**, 105-114.
7. Alyt, O.A., Omar, A.S., and Elsherbeni, A.Z. (2006). Detection and localization of RF radar pulses in noise environments using wavelet packet transform and higher order statistics. *Progress In Electromagnetics Research*, **58**, 301-317.

8. Khairnar, D.G., Merchant, S.N., and Desai, U.B. (2008). Radar signal detection in non-gaussian noise using RBF neural network. *JCP*, **3(1)**, 32-39.
9. Uyar, M., Yıldırım, S., Gençoğlu, M.T. (2013). Güç kalitesi problemlerinin analizi için işaret işleme yöntemlerinin karşılaştırılması. *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, **25 (1)**, 21-31.
10. Goswami, J.C., and Chan, A.K. (2011). Fundamentals of wavelets: theory, algorithms, and applications (Vol. 233). John Wiley & Sons.
11. Vetterli, M., Herley, C. (1992). Wavelets and filter banks: theory and design. *IEEE Transactions on Signal Processing*, **40**, pp. 1.
12. Yardım, F.E., Afacan, E. (2010). Lorenz-tabanlı diferansiyel kaos kaydırmalı anahtarlama (DCSK) modeli kullanılarak kaotik bir haberleşme sisteminin simülasyonu. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, **25**, 101-110.
13. Üstündağ, M., Gökbulut, M., Şengür, A., Ata, F. (2012). Denoising of weak ECG signals by using wavelet analysis and fuzzy thresholding. *Network Modelling Analysis in Health Informatics and Bioinformatics*, **1**, pp.135-140.
14. Fletcher, A.K. (2002). Denoising via recursive wavelet thresholding. Master of Science in Electrical Engineering in the Graduate Division of the University of California, Berkeley.
15. Zhang, Q., Rossel, R.A., Choi, P. (2006). Denoising of gamma-ray signals by interval-dependent thresholds of wavelet analysis. *Measurement Science and Technology*, **17(1)**, pp.731-735.
16. Üstündağ, M. (2013). ECG sinyallerinde gürültü gidermek için dalgacık dönüşümünün FPGA tabanlı donanımsal gerçekleştirilmesi. *Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **25(2)**, 63-68.
17. Avcı, E. (2005). Akıllı radar ile hedef tanıma sistemi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enst.