

JSTER

JOURNAL OF SCIENTIFIC, TECHNOLOGY AND ENGINEERING RESEARCH

Bilim, Teknoloji ve Mühendislik Araştırmaları Dergisi

ISSN: 2717-8404

Cilt/Volume: 1 Sayı/Number: 2 Yıl/Year: 2020



JOURNAL

SCIENTIFIC – TECHNOLOGY - ENGINEERING

Bilim ⊕ Teknoloji ⊕ Mühendislik

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/jster>





KÜNYE

İmtiyaz Sahibi

Founder

Dr.Mehmet BULUT

Genel Yayın Yönetmeni

Editor in Chief

Dr.Mehmet BULUT

Editör Kurulu/

Yayın Danışma Kurulu

Editorial and Advisory Board

Prof.Dr. Ali KARA

Atılım Üniversitesi

ali.kara@atilim.edu.tr

Prof. Dr. Ayhan İSTANBULLU

Balıkesir Üniversitesi

iyhan@balikesir.edu.tr

Prof.Dr .Osman TAYLAN

King Abdulaziz University

otaylan@kau.edu.tr

Dr. Hakan TORA

Atılım Üniversitesi

hakan.tora@atilim.edu.tr

Dr. İbrahim ÖZ

Türksat Genel Müdürlüğü

ibrahimo11z@gmail.com

Dr. Şenol PAZAR

Biruni Üniversitesi

senolpazar@gmail.com



<https://dergipark.org.tr/tr/pub/jster>

e-mail :

jster.editor@gmail.com

mehmetbulut06@gmail.com

EDİTÖR NOTU / Editor Note

Bilim, Teknoloji ve Mühendislik Araştırmaları Dergisi, mühendislik uygulamalarının tüm akademik ve teknoloji odaklı taraflara ulaştırılması amacıyla yönelik olarak yayınlanan ilk sayısında, makalelerin izlenme ve download sayısı ile tevccühe mazhar olduğunu göstermiştir.

Kör hakemlik usulü değerlendirilen ve yayınlanmasına karar verilen orijinal makaleler, bu alanda çalışanların emeklerini göstermeleri açısından kendilerini ifade etme şansı veren bir platform olmuştur.

"Bilim, Teknoloji ve Mühendislik Araştırmaları Dergisi", hedeflediği misyonu doğrultusunda kalitesinden ödün vermeden yoluna devam etmeyi sürdürecektir. Kendisine, ileride uluslar arası alanda atıf alan, makaleleri gözlenen bir dergi olmayı hedeflediği bu mecrada siz yazarların ve okuyucuların desteği ile büyümeye devam edecektir.

The Journal of Science, Technology and Engineering Research has shown that in the first issue published for the purpose of delivering engineering applications to all academic and technology-oriented parties, the articles are watched and downloaded, and they are excited.

The original articles, which were evaluated as blind refereeing procedures and decided to be published, have been a platform that gives employees the chance to express themselves in terms of their efforts.

"Journal of Science, Technology and Engineering Research" will continue on its way without compromising its quality in line with its mission. It will continue to grow with the support of you, writers and readers, in this medium, where it aims to be a magazine that is referred to internationally and whose articles are observed in the future.

Dr. Mehmet BULUT

Kapsam / Scope

Dergide yayımlanan makaleler, izin alınmaksızın hiçbir şekilde başka bir yerde yayımlanamaz veya konferans, seminer, kongre gibi yerlerde bildiri olarak sunulamaz. Makalelerin bir kısmı veya tamamı, ancak dergimiz kaynak gösterilerek kullanılabilir.

Articles published in the journal may not be published elsewhere without permission or can not be presented as a paper in conferences, seminars, congresses. Some or all of the articles can only be used by citing our journal.

Yayın Dili / Publishing Language

Dergide yayınlanacak makalelerin yayın dili olarak, Türkçe ve İngilizce dillerinde yazılmış makaleleri yayınlamaktadır.

As the publication language of the articles published in the journal, it publishes articles written in Turkish and English.

"Bir insanın yüreğini ve aklını anlamak için, başardıklarına değil, başarmak istediklerine bak."

Halil Cibran



İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Makale Başlığı / Article Name

Dil/ Lang. Sayfa/Pages

Araştırma Makalesi / Research Article

Deep Learning Based Threat Classification for Fiber Optic Distributed Acoustic Sensing Using SNR Dependent Data Generation

SNR Bağımlı Veri Üretimi kullanılarak Fiber Optik Dağıtılmış Akustik Algılama için Derin Öğrenmeye Dayalı Tehdit Sınıflandırması

Res. Assist. Emre UZUNDURUKAN, Prof. Dr. Ali KARA

ENG

4-12

İvmelenme Sinyallerinin Frekans Domeni Özelliklerinden Yaşlılarda Düşmenin Erken Tespiti
Early Detection Of Falls In The Elderly Using Frequency Domain Features Of The Acceleration Signals

Asst. Prof. Dr. Sabri ALTUNKAYA

TUR

13-18

Process Noise Source Localization Using Kalman Filter

Kalman Filtresi Kullanılarak Sistem Gürültüsünün Kaynağının Tespiti

Dr. Yalçın BULUT, Specialist Barış ÜNAL

ENG

19-24

Hassas Tarım Uygulaması Tasarımı ve Geliştirilmesi

Developing Milking Measuring System Through Precision Agriculture

Yusuf Atakan ÖZCAN, Süheyl SARRAJ, Prof. Dr. Ayhan İSTANBULLU

TUR

33-39

MEMS Tabanlı Bir Mikroakışkan Kanaldaki Mikro Kirişin Sonlu Elemanlar Analizi

Finite Element Analysis of Micro Beam in a MEMS-Based Microfluidic Channel

Ishak ERTUGRUL

TUR

40-44

Teorik Makale / Theoretical Article

Ortak Gate Fark Yükselteç Tabanlı CMOS İnverter Devresinin Auto-Zero Karşılaştırmalı Performansının İncelenmesi

Investigation on The Performance as An Auto-Zero Comparator of Common Gate Differential Amplifier Based CMOS Inverter Circuit

Asst. Prof. Dr. Oktay AYTAR

TUR

25-32



<https://dergipark.org.tr/tr/pub/jster>

e-mail : jster.editor@gmail.com / mehmetbulut06@gmail.com



ARAŞTIRMA MAKALESİ | RESEARCH ARTICLE

Deep Learning Based Threat Classification for Fiber Optic Distributed Acoustic Sensing Using SNR Dependent Data Generation

*Emre UZUNDURUKAN¹, Ali KARA²

¹Atılım Üniversitesi, Uçak Elektrik Elektronik Bölümü, Ankara, Türkiye.

²Atılım Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye.

*Sorumlu Yazar / Corresponding author : emre.uzundurukan@atilim.edu.tr

¹ E. UZUNDURUKAN, orcid.org/0000-0003-4868-9639,

² A. KARA, orcid.org/0000-0002-9739-7619,

Geliş Tarihi / Received Date : 16 July 2020

Kabul Tarihi / Accepted Date : 09 Aug 2020

Yayın Tarihi / Published Date: 21 Dec 2020

Alıntı / Citation :

Uzundurukan, E., Kara, A. (2020). *Deep Learning Based Threat Classification for Fiber Optic Distributed Acoustic Sensing using SNR Dependent Data Generation*, Journal of Scientific, Technology and Engineering Research, 1(2) : 4-12.

DOI: 10.5281/zenodo.3977620

SNR Bağımlı Veri Üretimi Kullanılarak Fiber Optik Dağıtılmış Akustik Algılama için Derin Öğrenmeye Dayalı Tehdit Sınıflandırması

Abstract -In this study, a novel method is proposed to generate SNR dependent database and classify threats for fiber optic distributed acoustic sensing (DAS) systems. Optical time-domain reflectometry (OTDR) is used to acquire DAS signals. Proposed data creation method generates signals with different SNR values which is based on real channel noise characteristics. By this way, from the limited dataset, huge dataset consists of three different man-made weak ground motion events such as hammer hit, digging with pickaxe and digging with shovel is generated. In the classification part, two different Deep Learning algorithm (Convolutional Neural Network and fully connected neural networks) are used to identify three different threats. Results show that remarkable identification accuracy for the three different SNR ranges is achieved.

Index Terms: Deep learning classification, Distributed acoustic sensing, Optical time-domain reflectometry, Threat classification.

Özet—Bu çalışmada, SNR bağımlı veri tabanı oluşturmak ve fiber optik dağıtılmış akustik algılama (DAS) sistemler için tehdit sınıflandırmak yöntemi önerilmiştir. DAS sinyallerini almak için optik zaman alanı reflektometrisi (OTDR) kullanılmıştır. Önerilen veri oluşturma yöntemi, gerçek kanal gürültü özelliklerine dayanan farklı SNR değerlerine sahip sinyaller üretir. Bu şekilde, sınırlı veri kümesinden, çekiç vuruşu, kazma ile kazma ve kürekle kazma gibi üç farklı insan yapımı zayıf yer hareketi olaylarından oluşan büyük veri kümesi elde edilmiştir. Sınıflandırma bölümünde, üç farklı tehditi tanımlamak için iki farklı Derin Öğrenme algoritması (Evrimsel Sinir Ağları ve tam bağlantılı sinir ağları) kullanılır. Sonuçlar, üç farklı SNR aralığı için dikkate değer tanımlama doğruluğunun elde edildiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler —Dağıtık akustik algılama, Derin öğrenme sınıflandırması, Optik zaman-alanı yansıtma ölçüsü, Tehdit sınıflandırması.

I. INTRODUCTION

MECHANICAL vibrations around a fiber optic (FO) cable create micro mirrors along the FO cable. These micro mirrors reflect transmitted light back to the transmitter. This phenomenon is called as Rayleigh backscattering. By using this natural characteristic of fiber optic cable, Fiber Optic Distributed Acoustic Sensing (DAS) applications can be done [1]. In this method, light intensity of reflected light is used to locate the vibration source. With the development of phase



sensitive optical time domain reflectometer (phi-OTDR) method, backscattered light intensity in the FO cable has been used for continuous pipeline monitoring [2] and perimeter monitoring for intruders [3]. From the recent works ([4], [5] and [6]) it can be seen that OTDR systems, supported by buried FO cables, locate and discriminate activities that creates vibration with the help of machine learning techniques so that pipeline or border security can be achieved.

The data acquisition system is one of the most important phases of OTDR vibration classification. In a typical OTDR system, optical pulse signals are transmitted into the FO cable which is usually buried underground. When the vibration signals hit to the cable, that creates Rayleigh backscattering. With the help of photo-detection systems, reflected signals can be collected. In literature, recent studies confirm that data acquisition can be done by using commercial devices or modular OTDR devices ([7], [8]). In addition to the signal acquisition system, signal to noise ratio (SNR) values of the collected signals should be taken into consideration. In this context, there are several studies in which the SNR values have been examined in the literature ([5] and [9]). However, the signals have either a high SNR value or have been increased to higher SNR levels by using various signal processing methods in these studies.

Feature extraction is another important part of the OTDR-based threat classification. As is known, in a typical classification problem, the features that are extracted from signals are critical to the classification performance. For this reason, in the ODTR vibration classification studies of various feature extraction methods such as energy of frequency bins [8], Speech Recognition features such as Tandem features [10], morphological feature extraction method [11] and Mel Frequency Cepstrum Coefficients (MFCC) features [12] have achieved significant performance.

As can be easily understood from the literature, machine learning methods offer solutions in different approaches for various problems. Therefore, the choice of method is relied on the problem and the extracted features to be used. In literature, there are some traditional machine learning methods exists such as Support Vector Machine (SVM) [13], k-Nearest Neighbor (k-NN) [14], Principal Component Analysis (PCA) and Artificial Neural Network (ANN) [15]. In addition, other machine

learning methods includes Gaussian Mixture Model (GMM) [16] and Neural Network (NN) [17] methods come into prominence in ODTR classification studies. On the other hand, recently developed machine learning method Deep Learning (DL) [5] has also been used to achieve good performance in this context.

This paper organized as follows: In section 2, DAS signal acquisition system is presented. In section 3, threat detection method is given. SNR dependent data creation method is presented in section 4. Threat identification method is given in section 5. Lastly, discussion and conclusions are provided in section 6 and 7.

II. MEASUREMENT SYSTEM AND DATA ACQUISITION

Optical time domain reflectometry (ODTR) [18] system is used to obtain backscattered light caused by mechanical vibrations. In this system, coherent burst of pulses is transmitted with a constant pulse repetition frequency. ODTR system collects all optical reflections. The collected light signals between two consecutive pulses represents the location of backscattering [5]. These reflected light signals can be obtained after every pulse and can be mapped in a waterfall graph as given in Fig. 1.

X and Y axis of the waterfall graph, seen in Fig. 1, represents range bins and time bins, respectively. When this waterfall graph is analyzed, it can be seen that energy levels of range bins are different from others. These different energy levels lead to understand of possible vibration sources which can be caused by an event of interest or a stable vibration source such as building or road. When event of interest is extracted from the waterfall graph which means that one or more of the range bins, event of interest can be seen as Fig. 2.

In order to collect the ODTR data mentioned above, fiber optic cable was buried underground. One end of the cable is connected to the ODTR measurement system and the other end of the cable is connected to fiber optic cable terminator.

At specific locations, several mechanical vibration activities such as hammer hit, digging with shovel, digging with pickaxe and walking were processed one by one. Backscattered light intensity were recorded with respect to time and range bins as mentioned above [19].

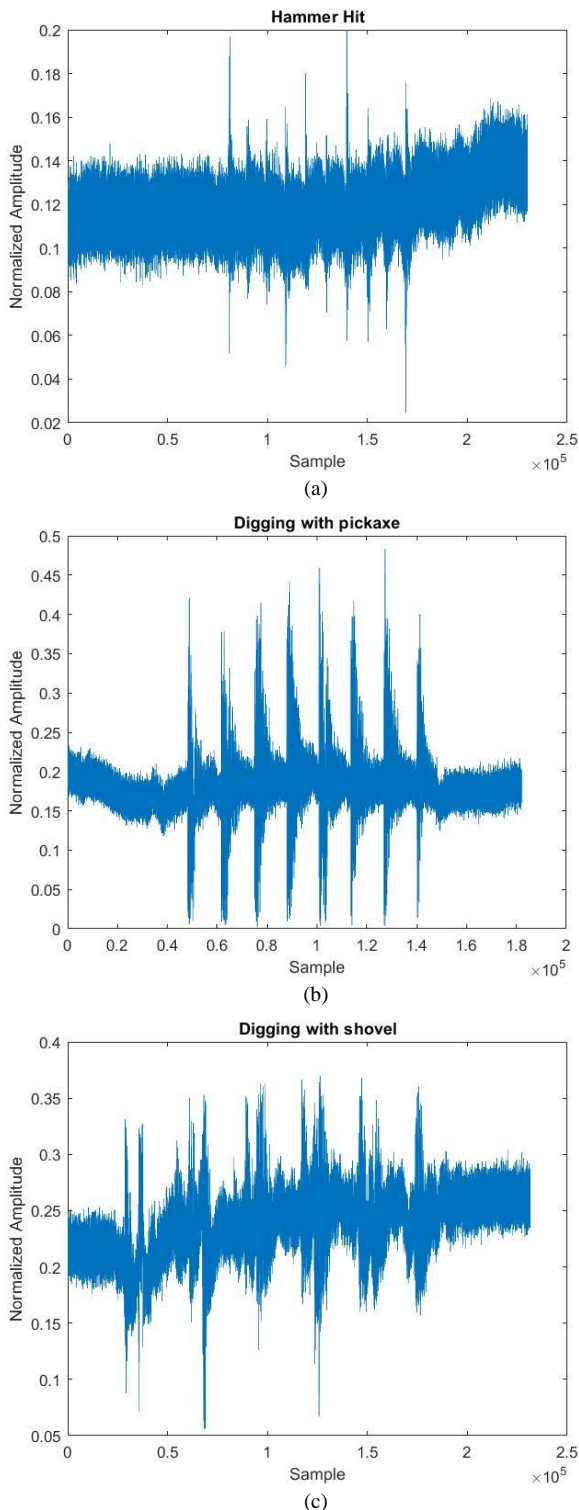


Fig. 2. Typical sample of event of interest where a) Hammer Hit, b) digging with pickaxe and c) digging with shovel.

Various man-made weak ground motion activities were recorded with several sampling rates which can be described with PRF(Pulse Repetition Frequency) of light

TABLE I
 DATABASE SPECIFICATIONS

Event Type	Sample Rate	Event Number	Event Bins
Hammer hit	10 kHz	10	119-124
Hammer hit	10 kHz	11	144-148
Hammer hit	10 kHz	11	144-152
Hammer hit	10 kHz	10	140-144
Hammer hit	1 kHz	10	140-148
Hammer hit	10 kHz	10	118-126
Digging with pickaxe	20 kHz	5	144-151
Digging with pickaxe	10 kHz	5	144-150
Digging with pickaxe	10 kHz	7	144-151
Digging with pickaxe	25 kHz	5	144-151
Digging with pickaxe	25 kHz	5	144-151
Digging with pickaxe	25 kHz	2	142-144
Digging with shovel	10 kHz	6	144-148
Digging with shovel	10 kHz	10	145-149
Digging with shovel	25 kHz	5	144-148
Digging with shovel	10 kHz	9	145-149
Walking	10 kHz	45 seconds	890-896
Walking	1 kHz	45 seconds	144-148
Walking	2.5 kHz	45 seconds	890-896
Walking	2.5 kHz	45 seconds	890-896
Walking	20 kHz	45 seconds	144-148

pulses. Parameters of the collected database are given as Table I.

III. EVENT DETECTION

It is known that received signals have two components. One of them is backscattered signal due to man-made weak ground motion events near the FO cable. The other one is considered as background noise due to thermal noise and geographical channel noise. In the literature, there are various methods which extract backscattered signal from noise. Wavelet denoising [20] is known as best fit for this kind of problem. In order to eliminate unwanted signal characteristics, Wavelet

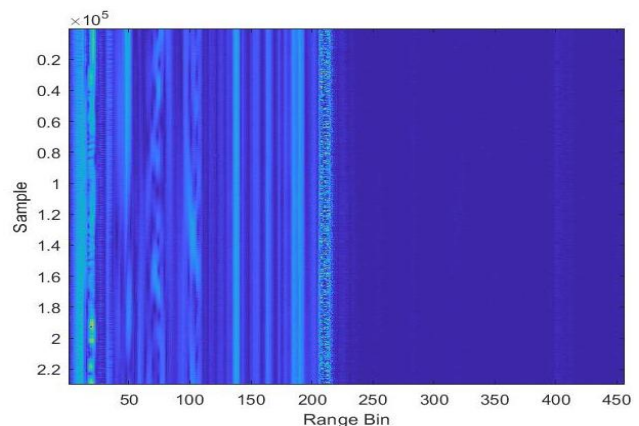


Fig. 1. Waterfall representation of reflected light intensity

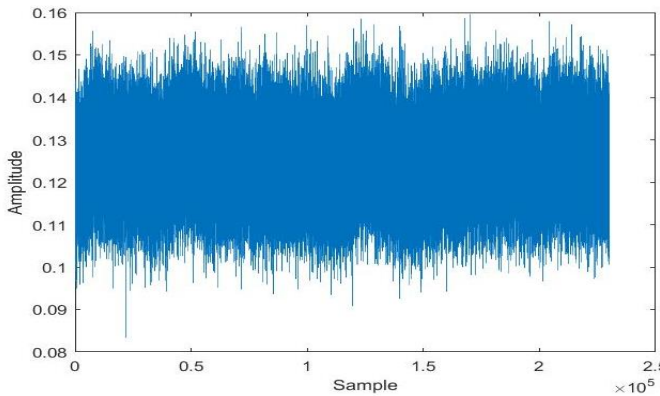


Fig. 3. Typical sample of channel noise

denoising method at level 5 with sym 5 symlet wavelets have been used in this work. It is known that external disturbance on FO cable does not change in short time. In this context, after using Wavelet method, a high pass filter is employed to extract abrupt changes in the signal.

Time delayed signal of each range bin has used for autocorrelation to reveal threat located at range bins. However, this process reveals some of the unwanted range bins and desired range bins. To separate these, power of the correlated signals at each range bin has calculated. By sorting them from maximum to minimum, the range bin which consists threat can be extracted.

IV. SNR DEPENDENT DATA CREATION

First of all, to create a new data, the bins which includes threats are extracted. The remaining noisy channels were analyzed. In this analyze, noise characteristics of channels were observed. It was experienced that some of the channels have unstable noise characteristics due to the location of fiber optic cables. The channels with steady noise characteristics which can be seen in Fig. 3, were extracted.

SNR value of bins which have threats were calculated by dividing event power to noise power. The SNR value of threats in the range bins were compared with noise power of channels with steady noise. In order to keep SNR value between -5dB and 10 dB, noise channels were selected by comparing their power levels. The selected noise channels were added to all bins of the

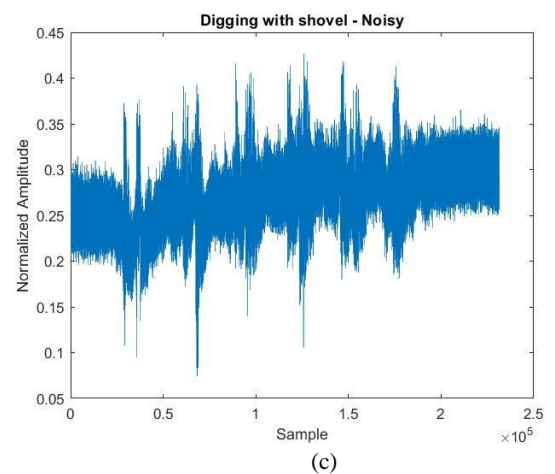
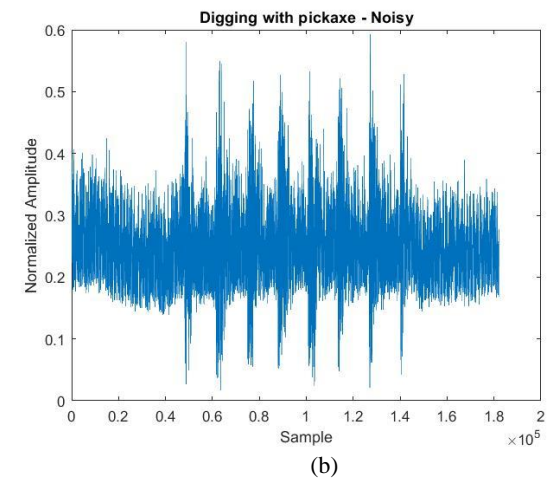
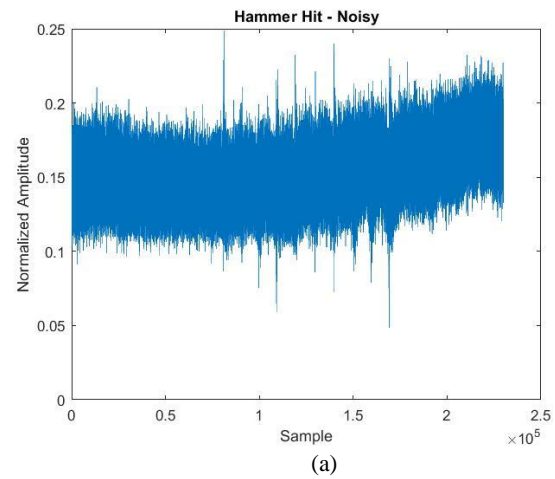


Fig. 5. Noise added sample event where a) Hammer Hit, b) digging with pickaxe and c) digging with shovel.

data. A sample of generated data and noise added to a collected threat can be seen in Fig. 4 and Fig. 5, respectively.

TABLE II
 GENERATED DATABASE

Event Type	Low SNR	Medium SNR	High SNR
	Samples (-7 dB to 3 dB)	Samples (2 dB to 7 dB)	Samples (10 dB to 20 dB)
Hammer	5077	10214	4532
Pickaxe	1492	4596	5465
Shovel	996	4318	1860

By this study, new data which has different channel noise characteristics were achieved. The events were extracted from the new data by using its original position of events.

Due to its continuous characteristics, “walking” (which can be easily classified by using event duration parameter) data was eliminated from the database. Only “hammer”, “pickaxe” and “shovel” data is used. By this way, all event characteristics are close to each other. So that, difficulty of classification problem can be slightly increased. By using above data creation method, a new database is formed. In this database, every new signal is generated by using each event in a single bin from original database. Generated signals are divided into three groups according to their SNR level. So that, effect of different SNR levels on threat classification can be analyzed. Generated database specifications are given in Table II.

V. SIGNAL PROCESSING

A. PRE-PROCESSING

In order to prepare database for machine learning phase, several pre-processing operations were done. First of all, FFT (Fast Fourier Transform) of every generated data is calculated with 1 Hz resolution sensitivity. Sampling rate of signals are from 1 kHz to 25 kHz. This means that FFT spectrum can be generated 500 Hz to 12.5 kHz. In order to equalize length of each signal, FFT data is

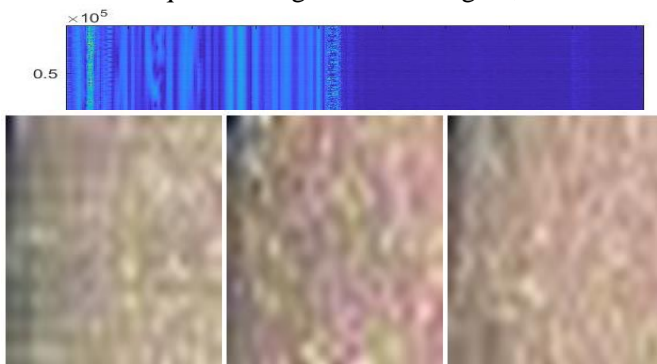


Fig. 6. Hammer, Pickaxe and Shovel images

TABLE III
 DATA DIVISION FOR MACHINE LEARNING

Type of Data	Percentage
Training	70 %
Validation	15 %
Testing	15 %

limited up to 500 Hz. By this way, every FFT vector has length of 500 points. Next step is to generate RGB image from FFT data. To do this, absolute logarithmic value of magnitude of FFT, imaginary part of FFT and real part of FFT are used as a layer of RGB data. These three vectors are reshaped in to 20x25 matrix form. By this way RGB images are formed as rectangular as in Fig. 6.

From Table II, it can be seen that data numbers of events in each SNR group are not same. By using unequal size of training data in a machine learning algorithm causes poor classification performance. In order to eliminate this problem, data size is equalized by using lowest number of data in each SNR group which are 996, 4318 and 1860. From each class, this lowest number of data is taken and divided into three parts which are used for

TABLE IV.
 CNN BASED DL STRUCTURE

Layer Name	Parameters	Description
Input	20x25x3	Takes FFT images
Convolutional 2D	20 Filters 7x7	Convolutional Filtering
ReLU	-	Activation Function
Convolutional 2D	50 Filters 5x5	Convolutional Filtering
ReLU	-	Activation Function
Convolutional 2D	100Filters 3x3	Convolutional Filtering
ReLU	-	Activation Function
Fully Connected Layer	200 Neurons	Neural Network
ReLU	-	Activation Function
Fully Connected Layer	500 Neurons	Neural Network
ReLU	-	Activation Function
Fully Connected Layer	3 Neurons	Neural Network
Softmax	-	Activation Function
Output Layer	-	Gives Output

TABLE V.
 CNN BASED DL CLASSIFICATION PERFORMANCE

Accuracy Type	Low SNR	Medium SNR	High SNR
Hammer	60.9 %	58.2 %	67.7 %
Pickaxe	66.7 %	56.1 %	85.7 %
Shovel	77.9 %	56.1 %	84.3 %
Validation	84 %	64 %	88 %
Test	68 %	57 %	77 %



training, validation and testing phase of machine learning. Division ratio can be seen in Table

B. CNN BASED DL CLASSIFICATION

After the completion of preprocessing, database is moved to machine learning phase. In this context, performance criteria of DL (deep learning) structures come into prominence in success. Therefore, first of all database was used to train CNN (Convolutional Neural Network) based DL. This structure (described in [5]) has 14 layers and described in Table IV.

Machine learning structure that is given in Table IV, was trained with three SNR based datasets. Training accuracy, validation performance and loss graphs for all three databases are presented in Fig. 7. Performance analysis of the trained networks and their classification accuracies of events with respect to SNR levels are given in Table V.

C. NN BASED DL CLASSIFICATION

It was observed that CNN based DL performance was lower than expected. Input images are too small (500 pixels) to convolutional filtering method. When 2D Convolutional filters are applied to the input image, the pixels which have event data are overlapping. This confuses the leaning algorithm and reduces the performance of the system. Therefore, NN (Neural Network) based DL structure was decided to apply. In this context, a DL structure was developed. The structure of the deep network and its parameters can be seen in Table VI. Training accuracy, validation performance and loss graphs for all three databases are presented in Fig. 8. Performance analysis of the trained networks and their classification accuracies of events with respect to SNR levels are given in Table VII.

VI. DISCUSSION

By using small database, a bigger database can be generated. However, with this data generation method, classification problem is getting harder. Because, data generation method adds almost same noise characteristics to each signals while reducing SNR level which is also counted as performance reduction factor.

TABLE VI
NN BASED DL STRUCTURE

Layer Name	Parameters	Description
Input	20x25x3	Takes FFT images
Fully Connected Layer	1500 Neurons	Neural Network
ReLU	-	Activation Function
Fully Connected Layer	750 Neurons	Neural Network
ReLU	-	Activation Function
Fully Connected Layer	250 Neurons	Neural Network
ReLU	-	Activation Function
Fully Connected Layer	125 Neurons	Neural Network
ReLU	-	Activation Function
Fully Connected Layer	3 Neurons	Neural Network
Softmax	-	Activation Function
Output Layer	-	Classification Output

TABLE VII
NN BASED DL CLASSIFICATION PERFORMANCE

Accuracy Type	Low SNR	Medium SNR	High SNR
Hammer	94.3 %	89 %	100 %
Pickaxe	46.9 %	51.4 %	81.8 %
Shovel	52.9 %	89.5 %	94.2 %
Validation	70 %	76 %	96 %
Test	63 %	68 %	91 %

By this way, machine learning algorithm tries to classify both noise and event signals. Because of this, classification becomes problematic and classification performance is achieved less than expected level. In this work, three different SNR levels that is [-7 dB to 3 dB], [2 dB to 12 dB] and [10 dB to 20 dB] were used to train three classifier. Also, it is assumed that 10 dB to 20 dB

SNR range is high level and classifier was trained without using any noise reduction methods. However, in the literature, it can be seen that more than 50 dB SNR [5] ratio has achieved by using Wavelet based denoising method. By using 50 dB SNR ratio, very high classification accuracy has been achieved. Moreover, in another threat classification work [21], it can be seen that [0 dB to 10 dB] SNR range is used to train classifier with comprehensive feature extraction. By this way, highly accurate classification accuracy has been achieved. In addition, it can also be seen that for threat classification by using Wavelet based features gives high classification accuracy [22]. Proposed method offers acceptable accuracy without using preprocessing to increase signal SNR.

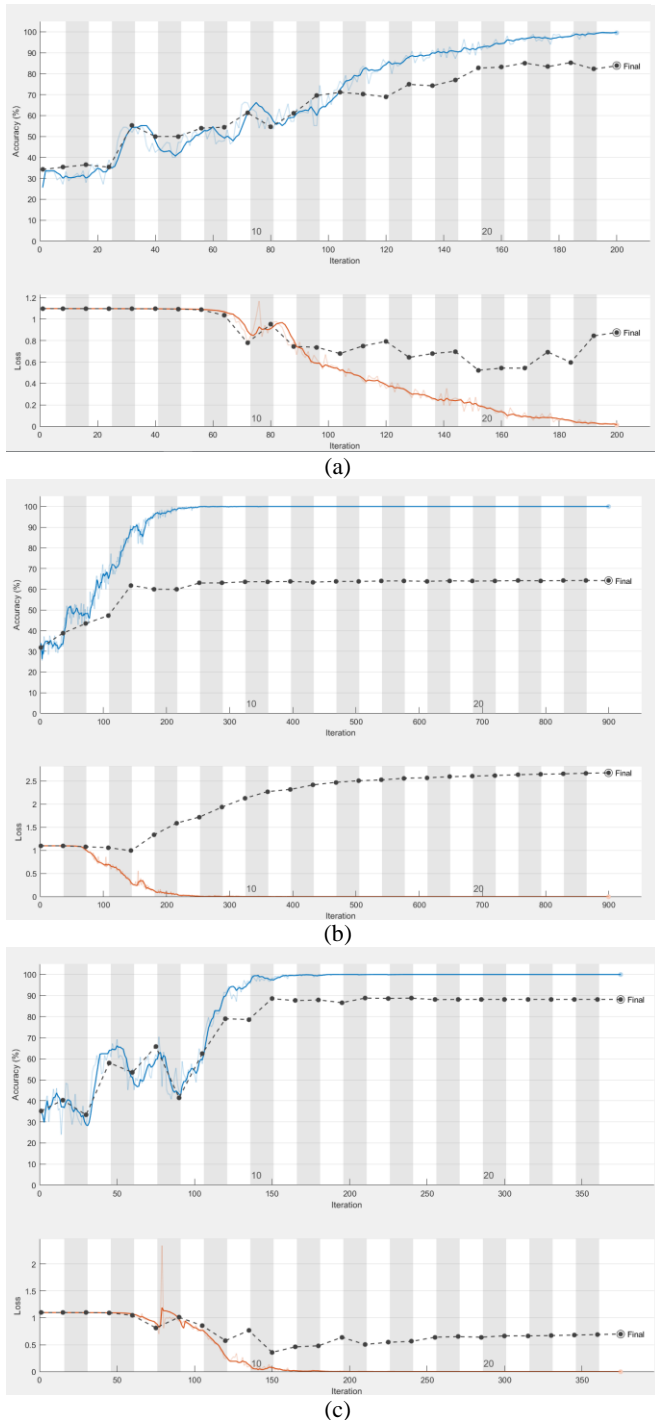


Fig. 8. NN based DL training where a) Low SNR training, b) Medium SNR training and c) High SNR training

By using small database, a bigger database can be generated. However, with this data generation method, classification problem is getting harder. Because, data generation method adds almost same noise characteristics to each signals while reducing SNR level which is also counted as performance reduction factor.

From the classification performances of proposed two different machine learning methods, it can be seen that number of pixels in an image is an important parameter for CNN algorithm. 3x3 CNN filter takes at least 9 pixels' data to generate a filtered image. Proposed images have 500 pixel (20x25) and filtering concentrates big portion of the image for classification. Because of that limitation, NN based DL algorithm gives better results. Instead of concentrating image to a compressed one, NN based algorithm used weights for each pixel. It is known that frequency spectrum of an event has approximately 50 Hz frequency length which means that 50 pixels in proposed image. So that, every image has approximately 10 % of useful information and 90 % noise characteristics. Extracting this 10 % and classification of three close event characteristics that is pickaxe, hammer and shovel, can be accepted as challenging scenario.

However, NN based algorithm has achieved that scenario and gave acceptable results. Instead of concentrating pixels, this algorithm gives weights for each pixel. By this way, high level of classification is achieved.

In order to increase CNN based DL algorithm performance, resolution of FFT (fast Fourier transform) algorithm can be improved. Proposed method has 1 Hz frequency bin resolution. By using resolution improvement, frequency bin resolution can be reduced to less than 0.1 Hz and number of pixel in an image can be increased more than 5000 pixels or more. So that, CNN filters extract more information from an image which is generated using proposed method. This will lead classification performance improvement.

VII. CONCLUSION

In this work, a fiber optic distribution acoustic sensing system for threat classification is presented with its signal collection, processing and classification parts. Basically, OTDR system is used to capture backscattered light signals. These signals were used to generate new data that has three different SNR ranges. After that, FFT algorithm was employed and spectrum information of the signals were used to generate RGB images. Generated images were used to train and test two different DL structures. The results show that even a small signal can be classified successfully by NN based DL structures rather than CNN based DL structures.



REFERENCES

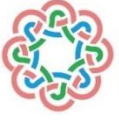
- [1] D. Hill, "Distributed acoustic sensing (das): Theory and applications," *In Frontiers in Optics (pp. FTh4E-1). Optical Society of America*, Oct. 2015.
- [2] J. Tejedoret *al.*, "Towards prevention of pipeline integrity threats using a smart fiber optic surveillance system," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 34, no. 19, pp. 4445–4453, 2016.
- [3] J. C. Juarez and H. F. Taylor, "Field test of a distributed fiber-optic intrusion sensor system for long perimeters," *Applied Optics*, vol. 46, no. 11, pp. 1968–1971, 2007.
- [4] J. Tejedoret *al.*, "A novel fiber optic based surveillance system for prevention of pipeline integrity threats," *Sensors*, 17(2), 355, 2017.
- [5] M. Aktas, *et al.*, "Deep learning based multi-threat classification for phase-OTDR fiber optic distributed acoustic sensing applications," *In Fiber Optic Sensors and Applications XIV International Society for Optics and Photonics*, Vol. 10208, p. 102080G Apr. 2017.
- [6] J. Tejedoret *al.*, "Machine learning methods for pipeline surveillance systems based on distributed acoustic sensing: A review," *Applied Sciences*, 7(8), 841, 2017.
- [7] Y. Wang, *et al.*, "Real-Time Distributed Vibration Monitoring System Using Φ -OTDR," *IEEE Sensors Journal*, 17(5), 1333-1341. 2017.
- [8] J. Tejedoret *al.*, "Real field deployment of a smart fiber-optic surveillance system for pipeline integrity threat detection: Architectural issues and blind field test results," *Journal of Lightwave Technology*, 36(4), 1052-1062, 2018.
- [9] G. Duckworth *et al.*, "OptaSense® distributed acoustic and seismic sensing performance for multi-threat, multi-environment border monitoring," *In 2013 European Intelligence and Security Informatics Conference*, pp. 273-276, Aug. 2013.
- [10] A. Faria and N. Morgan, "Corrected tandem features for acoustic model training," *In Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, Las Vegas, NV, USA, pp. 4737–4740, 31 March–4 April 2008.
- [11] Q. Sun *et al.*, "Recognition of a phase-sensitivity OTDR sensing system based on morphologic feature extraction," *Sensors*, 15(7), 15179-15197, 2015.
- [12] Y. Kim *et al.*, "GMM-based Target Classification Scheme for a Node in Wireless Sensor Networks," *IEICE Trans. Commun.*, E91-B, 3544–3551, 2008.
- [13] X. Qiet *al.*, "An Approach of Passive Vehicle Type Recognition by Acoustic Signal Based on SVM," *In Proceedings of the International Conference on Genetic and Evolutionary Computing 2009*, Guilin, China, 14–17, pp. 545–548, Oct. 2009.
- [14] G. Jobinet *al.*, "Vehicle Detection and Classification from Acoustic Signal Using ANN and KNN," *In Proceedings of the International Conference on Control Communication and Computing 2013*, Thiruvananthapuram, India, pp. 436–439, 13–15 December 2013.
- [15] E. Lewiset *al.*, "Principal component analysis and artificial neural network based approach to analysing optical fibre sensors signals," *Sensors and Actuators A: Physical*, 136(1), pp. 28-38, 2007.
- [16] B.F. Neciogluet *al.*, "Vehicle Acoustic Classification in Netted Sensor Systems Using Gaussian Mixture Models; Technical Report," The MITRE Corporation: McLean, VA, USA, 2005.
- [17] W. B. Lyonset *al.*, "Interrogation of multipoint optical fibre sensor signals based on artificial neural network pattern recognition techniques," *Sensors and Actuators A: Physical*, 114(1), pp. 7-12. 2004.
- [18] M. Barnoskiet *al.*, "Optical time domain reflectometer," *Applied optics*, 16(9), pp. 2375-2379, 1977.
- [19] I. Ölçer and A.Öncü, "Adaptive temporal matched filtering for noise suppression in fiber optic distributed acoustic sensing," *Sensors*, 17(6), 1288, 2017.
- [20] S. A. Abufanaet *al.*, "Variational Mode Decomposition-Based Threat Classification for Fiber Optic Distributed Acoustic Sensing," *IEEE Access*, 2020
- [21] A. V. Makarenko, "Deep learning algorithms for signal recognition in long perimeter monitoring distributed fiber optic sensors," *In 2016 IEEE 26th International Workshop on Machine Learning for Signal Processing (MLSP)*, pp. 1-6, Sept. 2016
- [22] B. Wang *et al.*, "Improved wavelet packet classification algorithm for vibrational intrusions in distributed fiber-optic monitoring systems," *Optical Engineering*, 54(5), 055104, 2015.



Emre UZUNDURUKAN was born in Ankara, Turkey, in 1988. He received the electrical electronics engineering degree and master's degree in electrical electronics engineering from Atilim University, Ankara, in 2016 and 2018, respectively, where he is currently pursuing the Ph.D. degree. He is currently a Research Assistant with the School of Civil Aviation, Atilim University. His Ph.D. study is focused on device classification using RF fingerprinting. His research interests include RF fingerprinting applications, electronic warfare systems, and signal processing.



Ali KARA(SM'93_M'03_SM'12) was born in Amasya, Turkey, in 1972. He received electronics engineering degree from Erciyes University, Kayseri, in 1992, the M.Sc. degree from Cukurova University, Adana, in 1996, and the Ph.D. degree from Hacettepe University, Ankara, in 2002. He was with Polytechnic University (ECE), Brooklyn, NY, USA, from 1999 to 2000, where he conducted theoretical and experimental research as a Research Assistant in a project sponsored by Symbol Technologies (Motorola). He joined the Department of



Electrical and Electronics Engineering, Atilim University, in 2000, and devoted himself to founding the Department. He has published in refereed journals/conferences, and has led several projects in the areas of Radio Propagation, Virtual and Remote Laboratories (VRL) and Radar&Electronic Warfare Systems. In one of the projects, he led a group with Atilim University to develop a VRL platform on RF and Communications (unique platform funded by European Commission). On the other hand, he was with TUBITAK-BILGEM as a Chief Researcher and a Consultant on defense and security related projects, from 2006 to 2012. He is currently with Atilim University, where he has been a Professor, since 2015, and also the Director of the Graduate School of Natural and Applied Sciences. He is actively researching in the areas of RF fingerprinting, locating and identification of radio emitters including radars and wireless devices, and radio aspects of wireless communications including channel modeling and antennas.



ARAŞTIRMA MAKALESİ | RESEARCH ARTICLE

İvmelenme Sinyallerinin Frekans Bölgesi Özniteliklerinden Yaşlılarda Düşmenin Erken Tespiti

*Sabri ALTUNKAYA

*Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Konya, Türkiye.

*Sorumlu Yazar / Corresponding author: saltunkaya@erbakan.edu.tr

¹ S. Altunkaya, orcid.org/0000-0002-0853-0095

Geliş Tarihi / Received Date

Kabul Tarihi / Accepted Date

Yayın Tarihi / Published Date

20 Ağust. 2020

04 Eylül 2020

21 Aralık 2020

Alıntı / Citation :

Altunkaya, S., (2020). İvmelenme Sinyallerinin Frekans Bölgesi Özniteliklerinden Yaşlılarda Düşmenin Erken Tespiti, Bilim, Teknoloji ve Mühendislik Araştırmaları Dergisi, 1(2) : 13-18. DOI: 10.5281/zenodo.4015274

Early Detection Of Falls In The Elderly Using Frequency Domain Features Of The Acceleration Signals

Özet -Yaşlı nüfusunun artmasıyla birlikte yaşlılarda düşme gibi yaşlılarda görülen sağlık problemlerinin sağlık sistemi üzerindeki ekonomik etkileri de giderek artmaktadır. Hem yaşlıların sağlığını korumak hem de sağlık sistemi üzerindeki ekonomik yükü azaltmak için düşmenin önceden belirlenmesi oldukça önemlidir. Düşmenin önceden tespiti için yaşlının düzenli olarak birinci basamak sağlık kuruluşunda denge kontrolünden geçmesi önerilir. Bu yüzden birinci basamak sağlık kuruluşlarında kolayca uygulanabilir, basit bir sistemin geliştirilmesi güncel bir ihtiyaçtır. Bu çalışmada bir sensör ve bir aktivite esnasında kısa süreli bir kayıt ile bu işlemi gerçekleştirebilecek bir sistem geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bunun için bir dakikalık yürüyüş esnasında 71 yaşlının bel bölgesindeki ivmeölçerden kayıt edilen ivmelenme sinyalleri kullanılmıştır. İvmelenme sinyallerden önce yerçekimi bileşeni çıkarılmış, filtreleme ve normalizasyonu yapıldıktan sonra güç spektrum yoğunlukları bulunmuştur. Daha sonra her eksenin 29 olmak üzere toplam 87 öznitelik elde edilmiş, öznitelik seçme işlemi uygulanmış ve destek vektör makineleri kullanılarak sınıflama işlemi yapılmıştır. Çalışmada iki farklı sınıflama modeli kullanılmış ve en yüksek sınıflama doğruluğu %72,6 (AUC=0,8) olarak elde edilmiştir. Hem bir aktivite esnasında bir sensörden kayıt edilen verilerin kullanılarak problemin çözülmeye çalışılması hem de daha önce bu problemin çözümünde kullanılmayan farklı güç spektrumu yoğunluğu özniteliklerinin kullanılması çalışmamızı literatürden ayıran noktalardır.

Abstract—With the increase in the elderly population, the economic effects of health problems such as falling in the elderly on the health system are gradually increasing. It is very important to determine the fall beforehand in order to protect the health of the elderly and reduce the economic burden on the health system. In order to detect a fall beforehand, it is recommended that the elderly regularly should undergo a balance check at the primary health care center. Therefore, it is a current need to develop a simple and easily applicable system in primary health care centers. In this study, it is aimed to develop a system that can perform this process with a sensor and a short-term recording during one activity. For this, the acceleration signals recorded from the accelerometer in the waist region of the 71-aged persons during a one-minute walk were used. First, the gravitational component was extracted from the acceleration signals, filtering and normalization applied and last the power spectral densities were found. Later, a total of 87 features as 29 from each axis were obtained, feature selection process was applied and classification process was performed using support vector machines. Two different classification models were used in the study and the highest classification accuracy was obtained as 72.6% (AUC = 0.8). Both trying to solve the problem by using the data recorded from one sensor during one activity and using different power spectrum density features that were not used in the solution of this problem before are the points that distinguish our study from the literature.

Index Terms—Old, Fall, Accelerometer, Classification.

Anahtar Kelimeler: Yaşlı, Düşme, İvmeölçer, Sınıflama



I. GİRİŞ [INTRODUCTION]

YAŞLILARDA düşme ve düşmeden kaynaklı yaralanmalar, hastanede bakım gerektiren büyük toplum sağlığı sorunlarıdır. Düşme vakasında kalça kırığı oluştu ise hastaların %20'sinde ölüm görülür. Hastanın karşılaştığı fiziki sorunların dışında, yeniden düşme korkusunun sebep olduğu hareket kısıtlılığı, sosyal yaşamdan uzaklaşma, depresyon gibi bazı psikolojik sorunlarda tedavi sonrası ortaya çıkmaktadır. Dünya üzerinde yaşlı nüfusunun artması ile birlikte bu sorunlarla baş etmek zorlaşmakta ve tedavi masrafları artmaktadır [1]. Dolayısıyla düşme gerçekleşmeden düşme potansiyeli olan yaşlıların tespit edilmesi ve bir takım tedbirlerin alınması bu problemin çözümü için en önemli adımdır [2][3]. 65 yaş üstü bireylerin rutin kontrollerinde düşme açısından değerlendirilmesinin düşmenin önceden tespiti için gerekliliği vurgulanmaktadır [4]. Tıbbi olarak düşme değerlendirilmesi bir takım soru-cevap test ve anketlerden karmaşık bilgisayar kontrollü test cihazlarına kadar geniş bir yelpazede yapılmaktadır [5]. Ancak bu anket ve testler kesin bir nesnel yöntem olmadıkları gibi sübjektif ve niteldir [6-8]. Bunun yanında kullanımı uzman gerektirmesi, test süresinin uzunluğu, kapladığı alanın büyük olması ve maliyet gibi nedenlerden bilgisayar kontrollü gelişmiş sistemler birinci basamak sağlık kuruluşlarında takip için uygun değildir [5][7][9]. Kullanımı kolay, uzman gerektirmeyen bir yöntem için akla gelen ilk sistem, giyilebilir sağlık sistemlerinde yerini almış ve hali hazırda fiziksel aktivite tespiti, adım sayar gibi uygulamalarda sıklıkla kullanılan ivmeölçerlerdir [10]. Caby ve ark. diz, ayak bileği, el bileği, dirsek ve kürek kemiği üzerine sağ ve sol taraflar olmak üzere on farklı konuma yerleştirilen ivmeölçerlerden yürüyüş esnasında kayıt edilen ivmelenme sinyalini kullanarak 67 öznitelik çıkarmışlardır. Kontrol ve düşen grubundan elde ettikleri öznitelikleri dört farklı sınıflama algoritmasıyla ayırmaya çalışmışlar ve %100 doğruluk bulmuşlardır. 15 düşen ve 5 kontrol olmak üzere katılımcı sayısı 20 ile sınırlandırılmış bir çalışmadır [11]. Doi ve ark. boyun ve bel bölgesine bağlanan ivmeölçerden yürüme esnasında kayıt edilen ivmelenme sinyalinde üç eksene ait harmonik oranlar ve yürüyüş hızı hesaplanmıştır. Toplamda yedi öznitelik ayrı ayrı istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Boyna bağlanan ivmeölçerden elde

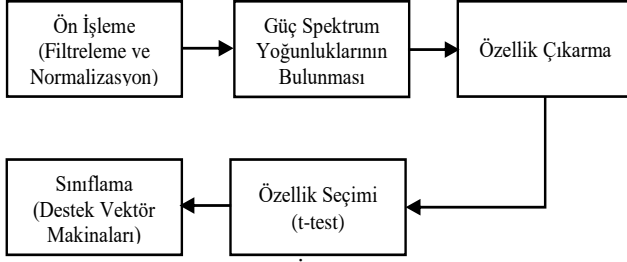
edilen dikey ivmelenme sinyalinin harmonik oranının eğri altında kalan alanın 0.81 olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada 16 düşen ve 57 kontrol olmak üzere toplam 73 katılımcı kullanılmıştır [12]. Greene ve ark. beş farklı ivmeölçer pozisyonu ve bir ilave ayak basınç sensörü ile gerçekleştirdikleri çalışmada, dört farklı aktivite için kayıt almışlardır. Toplamda 134 öznitelik elde ettikleri çalışmada %83 doğruluk elde etmişlerdir. Çalışmaya 37 düşen 54 kontrol olmak üzere 91 katılımcı ile bu çalışma gerçekleştirilmiştir [13]. Liu ve ark. bele bağlanan ivmeölçer ile üç farklı aktivite için kayıt almışlardır. Toplamda 125 öznitelik elde ettikleri çalışmada %83 doğruluk elde etmişlerdir [14]. Bu en yüksek doğruluk veren çalışmaların dışında benzer özelliklerde çalışmalar bulmak mümkündür [15-18]. Yukarıda verilen çalışmalarda olduğu gibi literatürde gördüğümüz çoğu çalışma daha iyi sonuç alabilmek için yürümenin dışında farklı aktiviteler esnasında kayıt ve daha fazla vücut bölgesinde sensör yerleşimi üzerine odaklanmıştır. Ancak bu çözüm kalabalık sensör grubu ve farklı aktiviteleri uygulama güçlüğü sebebiyle çabuk ve kolay uygulanabilir değildir. Bu çalışmada sadece bel bölgesine yerleştirilmiş ivmeölçerden kısa mesafeli normal hızda yürüyüş aktivitesi esnasında kayıt edilmiş ivmelenme sinyalleri kullanılarak düşme olasılığı yüksek olan yaşlıları ayırt edebilecek bir sistem geliştirilmeye çalışılmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM [MATERIAL AND METHODS]

Bu bölümde çalışma için gönüllülere ait detaylı bilgiler, kayıt edilen ivmelenme sinyallerine ait ön işleme adımları, güç spektrum yoğunluklarının (GSY) hesaplanması, öznitelik çıkarma, seçme ve sınıflama modeli hakkında detaylı bilgi verilecektir. Çalışmada gerçekleştirilen sistemin işlem adımları Şekil 1'de verilmektedir.

A. Katılımcılar(Subjects)

Uzun dönem hareket görüntüleme veri tabanı denge ve yürüyüş çalışmaları için ortalama yaşı 78.36 ± 4.71 olan 71 yaşlıdan üç eksende kayıt edilen ivmelenme sinyallerinden oluşur [19]. Bu veri tabanında hem ev ortamında üç gün süreyle hem de laboratuvar ortamında bir dakikalık yürüyüş esnasında kayıt edilen verilere yer verilmiştir. Bu çalışmada ki amacımız kolay kullanım olduğu için veri tabanındaki bir dakikalık kayıtlar



Şekil 1. İşlem adımları

kullanılmıştır. Katılımcı son bir yıl içerisinde en az 2 defa düştü ise düşen olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak 71 katılımcının 35'i düşen ve 38'i kontrol olarak gruplandırılmıştır [18].

B. Ön İşleme (Preprocessing)

Dikey(V), mediolateral (ML) ve ön-arka (anterior-posterior) (AP) olmak üzere üç eksenle kayıtlı edilen ham ivmelenme sinyallerinde meydana gelen ani tepeleri yok etmek için önce kayıtlı edilen ham ivmelenme sinyalleri medyan filtre (n=3) ile filtrelenir. Daha sonra yerçekiminden kaynaklanan ivmelenme bileşenini çıkarabilmek için ham ivmelenme sinyali 0.3 Hz alçak geçiren filtreyle filtrelenerek yerçekiminden kaynaklanan ivmelenme sinyali bulunur. Yerçekiminden kaynaklanan ivmelenme sinyali ham ivmelenme sinyalinden çıkarıldığında vücut hareketlerinden yani yürüyüşten kaynaklanan bileşen elde edilir[20]. Son olarak yürüyüşten kaynaklanan ivmelenme bileşeni 0.5Hz-25Hz bant geçiren filtreyle filtrelenerek yüksek frekanslı gürültüler atılıp en büyük değere normalizasyonu yapılır. Bu işlemler üç eksene ait ivmelenme sinyallerine de uygulanmıştır.

C. Frekans Bölgesi Öznitelikleri (Frequency Domain Features)

Normalize edilen ivmelenme sinyallerinin güç spektrum yoğunlukları özbağlanımlı model kullanılarak hesaplanmıştır. Burg yöntemiyle 25 model derecesi için özbağlanımlı model parametreleri hesaplanmış ve güç spektrum yoğunlukları elde edilmiştir. Elde edilen güç spektrum yoğunlukları kullanılarak her ivmelenme eksenine için 29 toplamda 87 öznitelik elde edilmiştir. Öznitelikler hakkında detaylı bilgi [21] da bulunabilir.

D. Öznitelik Seçimi (Feature Selection)

Elde edilen 87öznitelik içinden grupları en iyi ayıran öznitelikleri ortaya koyabilmek için %95 ve %99 güven aralığında bağımsız örneklem t-testi uygulanmıştır. %95 güven aralığı için sekiz, %99 güven aralığı için dört

özelliğin gruplar arasında anlamlı bir fark ortaya koyduğu bulunmuştur. t-test sonucunda p değeri 0.01'dan küçük olan dört öznitelik ve t-test sonucunda p değeri 0.05'den küçük olan sekiz özelliğin ayrı ayrı giriş olarak kullanıldığı iki sınıflama modeli oluşturulmuştur.

E. Destek Vektör Makinaları (Support Vector Machine, DVM)

Elde edilen özniteliklerin sınıflandırılması için destek vektör makinaları modeli kullanılmıştır. Bu model denetimli bir makine öğrenme algoritmasıdır ve 1992 yılında Boser ve ark. tarafından ortaya atılmıştır [22]. Destek vektör makinelerinde öznitelik sayısı kadar boyuta sahip uzayı ikiye bölen bir düzlem aranır. Düzlem aranırken kullanılan iki şarttan birincisi her iki grubu en yüksek doğrulukta ayırmak, ikincisi ise gruplara ait özniteliklerden en uzak noktada olmaktır. Bunun için $y=w.x+b$ şeklinde bir fonksiyon düzlem için seçilir (Şekil 1). Birbirine en yakın karşı sınıfa ait eğitim örnekleri destek vektörler (X^+ ve X^-) ve destek vektörler ile düzlem arasındaki mesafeye de marjin (M) denir. Denklem (1) ve denklem (2) destek vektör sınırları olmak üzere

$$f(x^+) = w \cdot x^+ + b = +1 \quad (1)$$

$$f(x^-) = w \cdot x^- + b = -1 \quad (2)$$

marjin denklem (3)'de verildiği gibi hesaplanır.

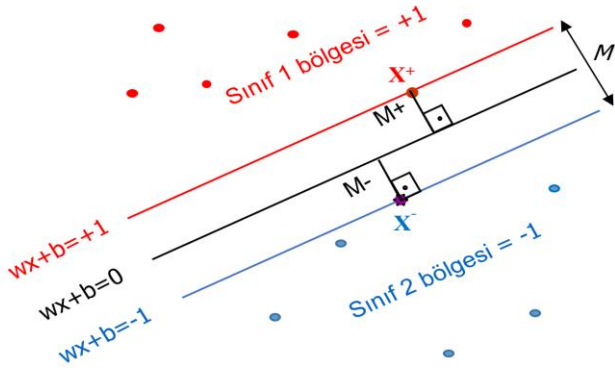
$$M = \frac{f(x^+)}{|w|} - \frac{f(x^-)}{|w|} = \frac{2}{|w|} \quad (3)$$

En iyi karar sınırı, marjinin maksimize edilmesiyle yani w 'nın minimize edilmesiyle bulunur. Bu yöntem maksimum marjin lineer sınıflayıcıdır ve lineer DVM olarak adlandırılan en basit DVM türüdür[23].

Düzleme ait fonksiyon bulunduktan sonra x_k örneklerinin sınıflaması ise denklem (4)'e göre yapılır [24].

$$\text{Sınıf}(x_k) = \begin{cases} +1 & \text{eğer } w \cdot x_k + b > 0 \\ -1 & \text{eğer } w \cdot x_k + b < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Eğitim verileri lineer olarak ayırlamıyorsa, orijinal giriş uzayı verilerinin lineer olarak ayrıldığı yüksek boyutlu bir öznitelik uzayına haritalanması gerekir.



Şekil 2. Linear DVM sınıflayıcı [21].

F. Sınıflama Parametreleri ve Performans Ölçütleri (Classification Parameters and Performance Criteria)

Bu çalışmada düşme riski olan ve olmayan yaşlıların ayrılabilmesi için DVM temelli modeller geliştirilmiştir. Model parametreleri Tablo I'de verilmiştir. Modelde kullanılan performans değerlendirme ve doğrulama yöntemleri sınıflandırma doğruluğu, keskinlik, duyarlılık, F1 skoru, ROC eğrisi altında kalan alan (AUC) ve k-kat çapraz doğrulamadır.

III. DENEYSEL SONUÇLAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

A. Öznitelik Seçimi Sonuçları (Results of Features Selection)

Dikey, mediolateral ve ön-arka eksenlerden elde edilen toplam 87 öznitelikten t-test sonucunda gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farka sahip olanlar Tablo II'de verilmiştir. Tablo II'de seçilen özniteliklerin ortalaması, standart sapması ve t-test sonucu görülmektedir. Tablo II'de verilen öznitelikler ve açıklaması aşağıda verilmiştir.

- 1- Ön-arka eksenin GSY'nda en yüksek genliğe sahip tepenin frekansı (F1_AP),
- 2- Ön-arka eksenin GSY'nda en yüksek genliğe sahip tepenin genliğinin tepenin iki tarafında yarıya düştüğü frekansların farkı (wF1_AP),
- 3- Mediolateral eksenin GSY'nda ikinci en yüksek genliğe sahip tepenin genliğinin tepenin iki tarafında yarıya düştüğü frekansların farkı (wF2_ML),
- 4- Mediolateral eksenin GSY'nda en yüksek genliğe sahip tepenin sol taraf eğimi (LSlopeF1-ML)
- 5- Mediolateral eksenin GSY'nunFs/4 Hz ile Fs/2 bandının ortalaması (mean2PSD-ML)
- 6- Mediolateral eksenin GSY'nun medyanı (medPSD-ML)

TABLO I
MODEL PARAMETRELERİ

Parametre	Değeri
Giriş sayısı	4 ve 8
DVM tipi	DVM, C=1,0, ε=0,1
Çekirdek	RBF
Sayısal tolerans	0.001
İterasyon sınırı	100
Doğrulama yöntemi	20 kat çapraz doğrulama

RBF = Radial Basis Function; DVM = Destek Vektör Makinaları

TABLO II
SEÇİLEN ÖZELLİKLERİN ORTALAMA VE STANDART SAPMA DEĞERLERİ

Özellik	Kontrol (ort.±ss.)	Düşen (ort.±ss.)	p değeri
F1_AP	2,26±1,24	1,61±0,26	p<0.01, p<0.05
wF1_AP	1,67±0,78	1,23±0,45	p<0.01, p<0.05
wF2_ML	0,98±0,43	0,75±0,18	p<0.01, p<0.05
KurtPSD_AP	16,83±7,7	21,72±7,93	p<0.01, p<0.05
LSlopeF1_MLx10 ³	3,4±3,59	1,82±2,7	p<0.05
mean2PSD_ML x10 ⁵	2,25±1,83	1,38±1,29	p<0.05
medPSD_ML x10 ⁵	15,57±12,65	9,62±8,62	p<0.05
SkewPSD_AP	3,62±1,03	4,26±1,04	p<0.05

7- Ön-arka eksenin GSY'nun çarpıklığı (SkewPSD-AP)

8- Ön-arka eksenin GSY'nun basıklığı (KurtPSD-AP)

B. Sınıflama Sonuçları (Results of Classification)

Sınıflama için iki model oluşturulmuştur. Modellerden birinde t-test sonucu p<0.01 olan F1_AP, wF1_AP, wF2_ML ve KurtPSD_AP öznitelikleri giriş olarak kullanılmıştır. Diğer model de ise t-test sonucu p<0.05 olan TabloII'de verilen bütün öznitelikler giriş olarak kullanılmıştır. Dolayısıyla Model-1 dört giriş, Model-2 sekiz giriş ve her iki modelde bir çıkış değerine sahiptir. Her iki model 20-çapraz kat çapraz doğrulama yöntemi ile doğrulanmıştır. Tablo III'de her iki model için elde edilen sınıflama sonuçlarına ait performans ölçütleri verilmektedir. Modellere ait karmaşık matrisleri de Tablo IV ve Tablo V'de görülmektedir.

IV. TARTIŞMA(DISCUSSION)

Bu çalışmada düşme riski olan yaşlıların birinci basamak sağlık kuruluşlarında kolayca tespit edilmesine yönelik bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Bunun için giyilebilir, üç eksen ivmeölçer sensöründen yürüyüş esnasında kayıt edilen [18] ivmelenme sinyalinden elde edilebilecek bütün frekans bölgesi öznitelikleri [21] hesaplanmıştır. Daha sonra istatistiksel olarak bu özniteliklerden düşen ve kontrol grubunu en iyi ayıran öznitelikler belirlenmiştir. Bu öznitelikler farklı giriş sayılı iki DVM sınıflayıcı modeli ile sınıflanıp sonuçlar alınmıştır. Dört öznitelik kullanan birinci modelde %65,8 doğruluk,



TABLO III
PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ

Model	AUC	Doğruluk	F1	Keskinlik	Duyarlılık
Model-1	0.713	%65,8	0.646	%69,5	%65,8
Model-2	0.800	%72,6	0.722	%74,7	%72,6

TABLO IV
MODEL-1 KARMAŞIKLIK MATRİSİ

		Tahmin	
		Düşen	Kontrol
Gerçek	Düşen	30	5
	Kontrol	20	18

TABLO V
MODEL-2 KARMAŞIKLIK MATRİSİ

		Tahmin	
		Düşen	Kontrol
Gerçek	Düşen	30	5
	Kontrol	15	23

0,713 AUC, sekiz öznelik kullanan ikinci model de ise %72,6 doğruluk 0,8 AUC elde edilmiştir. Her iki modelin karmaşıklık matrisi incelendiğinde 35 düşenin 30'nun doğru bir şekilde sınıflandırıldığı görülmektedir. Sistemin düşenleri tespit etmede başarısı oldukça yüksektir. İki sistem arasındaki fark yanlış pozitif hatalarında ortaya çıkmaktadır. Yanlış pozitif hatasının sistemin toplam doğruluğunu da oldukça düşürdüğü görülmektedir.

Literatürde yaşlılarda düşmenin sensör temelli tespitine yönelik yapılan çalışmaları kullanılan sensör, sensörün yerleştirildiği vücut bölümü, kayıt esnasında yaptırılan aktivite, elde edilen öznelikler, özneliklerin değerlendirilme yöntemleri açısından gruplayabiliriz [7]. Literatürde yapılan çoğu çalışmada zamanlı kalk ve yürü, oturma kalkma geçişi, sol-sağ adım değiştirme gibi farklı aktiviteler esnasında ivmelenme sinyalleri kayıt edilirken, bazı çalışmalarda ise birden fazla ivmeölçer vücut üzerinde farklı bölgelere yerleştirilerek eş zamanlı kayıtlar alınmıştır [11-14]. Literatürde katılımcı sayısı düşük ve gruplara ait katılımcı sayısı dengesiz olan

Caby ve ark. ait çalışmayı [11] dikkate almazsak, literatürde sensör bazlı sınıflama yapan çalışmalar arasında en yüksek %83 doğruluğa ulaşıldığı görülmektedir. Greene ve ark. beş farklı bölgeye ivmeölçer yerleştirdikleri ve ilave bir ayak basınç sensörü kullandıkları çalışmada dört farklı aktivite için kayıt almışlardır. Toplamda 134 öznelik elde ettikleri çalışmada %83 doğruluk elde etmişlerdir [13]. Liu ve ark. bu çalışmada olduğu gibi bele bağlanan ivmeölçer ile üç farklı aktivite için kayıt almışlardır. Toplamda 125 öznelik elde ettikleri çalışmada %83 doğruluk elde

etmişlerdir [14]. Bizim çalışmamızda elde edilen en yüksek doğruluk ise %72,6'dır. Ancak bu çalışmanın birincil amacı birinci basamak sağlık kuruluşları için kolay kullanılabilir, ucuz bir yöntem geliştirmek olduğu için literatürdeki çalışmalardan farklı olarak sadece yürüyüş esnasında ve bele bağlanan bir sensörden elde edilen öznelikler düşen ve kontrol grubunu ayırmak için kullanılmıştır. Bu noktadan bakıldığında çözüm aranan sınıflama problemi aynı olmasına rağmen, çözüm için kullanılan parametre miktarı oldukça azdır. Dolayısıyla problemin çözümü de oldukça zorlaşmıştır. Bu problemin çözümü için testin birinci basamak sağlık kuruluşlarında uygulanmasını zorlaştıracak fazladan sensör ve fazladan aktivite kullanımı yerine, sadece bir dakikalık yürüyüş esnasında bele bir kemer vasıtasıyla yerleştirilmiş ivmeölçerden alınan sinyallerden yeterli parametre üretmeye odaklanılmıştır. Bu amaçla kayıt edilen ivmelenme sinyallerinin GSY'undan hem yaşlılarda düşme sınıflandırılması için literatürde kullanılan GSY öznelikleri hem de daha önce yaşlı sınıflandırılmasında kullanılmamış GSY özneliklerinin tamamı kullanılmıştır. Bu yöntem ile literatürde elde edilen en yüksek doğruluğa ulaşılamamasına rağmen, zorlaştırılmış sınıflama problemi için %72,6 doğruluk ve 0,8 AUC değeri oldukça ümit vericidir.

V. SONUÇ (CONCLUSION)

Yaşlı nüfusunun artması ile birlikte yaşlı bakımı ve hastalıkları sağlık sistemi için önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Öncelikle yaşlının fiziksel ve ruhsal sağlığı, daha sonra hasta yakınlarına ve sağlık sistemine etkileri açısından yaşlılarda düşme dünya sağlık örgütü tarafından da kabul edilmiş bir problem olarak karşımızdadır. Doğru yaklaşım ve önlemlerle bu problem önlenbilir. Bu çalışmada bu problemi önleme amacıyla yaşlıların rutin kontrollerinde kullanılacak bir sistem geliştirilmeye çalışılmıştır. Sistem için belirlenen temel hedef ise kolay uygulanabilir olmasıdır. Bunun için en az sensör, en basit aktivite ve kısa süreli kayıt hedeflenerek sistem tasarımı düşünülmüştür. Bu yüzden kısa süreli normal hızda yürüyüş esnasında bele bağlanan bir ivmeölçerden alınan 1 dakikalık sinyaller ile belirlenen hedefe ulaşılmaya çalışılmıştır. Ancak elde ettiğimiz sonuçlar henüz sağlık sisteminde kullanılması için yeterli doğruluğa ulaşamamıştır. Daha sonraki çalışmalar için yine bir sensör ve bir aktivite için frekans bölgesi dışında özneliklerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi planlanmaktadır.



KAYNAKLAR(REFERENCES)

- [1] WHO. "WHO Global Report on Falls Prevention in Older Age." France: WHO Press; 2007.
- [2] Wu CH, Lee CH, Jiang BC, Sun TL. "Multiscale Entropy Analysis of Postural Stability for Estimating Fall Risk via Domain Knowledge of Timed-Up-And-Go Accelerometer Data for Elderly People Living in a Community." *Entropy*. 2019;21(11).
- [3] Castellini G, Gianola S, Stucovitz E, Tramacere I, Banfi G, Moja L. "Diagnostic test accuracy of an automated device as a screening tool for fall risk assessment in community-residing elderly: A STARD compliant study." *Medicine (Baltimore)*. 2019;98(39):e17105.
- [4] Koyuncu G, Tuna F, Yavuz S, Kabayel DD, Koyuncu M, Özdemir H, ve ark. "The last station before fracture: Assessment of falling and loss of balance in elderly." *Turk J Phys. Med. Rehab*. 2017;63(1):9.
- [5] Balaban Ö, Nacır B, Erdem HR, Karagöz A. "Denge Fonksiyonunun Değerlendirilmesi." *Journal of Physical Medicine and Rehabilitation Sciences*. 2009;12:9.
- [6] Najafi B, Aminian K, Loew F, Blanc Y, Robert PA. "Measurement of stand-sit and sit-stand transitions using a miniature gyroscope and its application in fall risk evaluation in the elderly." *IEEE T Bio-Med Eng*. 2002;49(8):843-51.
- [7] Howcroft J, Kofman J, Lemaire ED. "Review of fall risk assessment in geriatric populations using inertial sensors." *J Neuroeng Rehabil*. 2013;10.
- [8] Sun TL, Huang CH. "Interactive visualization to assist fall-risk assessment of community-dwelling elderly people." *Inform Visual*. 2019;18(1):33-44.
- [9] Yang CC, Hsu YL. "A review of accelerometry-based wearable motion detectors for physical activity monitoring." *Sensors (Basel)*. 2010;10(8):7772-88.
- [10] Mathie MJ, Coster ACF, Lovell NH, Celler BG. "Accelerometry: providing an integrated, practical method for long-term, ambulatory monitoring of human movement." *Physiol Meas*. 2004;25(2):R1-R20.
- [11] Caby B, Kieffer S, de Saint Hubert M, Cremer G, Macq B. "Feature extraction and selection for objective gait analysis and fall risk assessment by accelerometry." *Biomed Eng Online*. 2011;10.
- [12] Doi T, Hirata S, Ono R, Tsutsumimoto K, Misu S, Ando H. "The harmonic ratio of trunk acceleration predicts falling among older people: results of a 1-year prospective study." *J Neuroeng Rehabil*. 2013;10.
- [13] Greene BR, Doheny EP, Kenny RA, Caulfield B. "Classification of frailty and fall shistory using a combination of sensor-based mobility assessments." *Physiol Meas*. 2014;35(10):2053-66.
- [14] Liu Y, Redmond SJ, Shany T, Woolgar J, Narayanan MR, Lord SR, et al. "Validation of an Accelerometer-based Fall Prediction Model." *36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (Embc)*. 2014:4531.
- [15] Riva F, Toebes MJP, Pijnappels M, Stagni R, van Dieën JH. "Estimating fall risk with inertial sensors using gait stability measures that do not require step detection." *Gait Posture*. 2013;38(2):170-4.
- [16] Greene BR, Doheny EP, Walsh C, Cunningham C, Crosby L, Kenny RA. "Evaluation of Falls Risk in Community-Dwelling Older Adults Using Body-Worn Sensors." *Gerontology*. 2012;58(5):472-80.
- [17] Paterson K, Hill K, Lythgo N. "Stride dynamics, gait variability and prospective falls risk in active community dwelling older women." *Gait Posture*. 2011;33(2):251-5.
- [18] Weiss A, Brozgol M, Dorfman M, Herman T, Shema S, Giladi N, et al. "Does the evaluation of gait quality during daily life provide insight into fall risk? A novel approach using 3-day accelerometer recordings." *Neurorehabil Neural Repair*. 2013;27(8):742-52.
- [19] Goldberger AL, Amaral LA, Glass L, Hausdorff JM, Ivanov PC, Mark RG, et al. "Physio Bank, Physio Toolkit, and Physio Net: components of a new research resource for complex physiologic signals." *Circulation*. 2000;101(23):E215-20.
- [20] Karantonis DM, Narayanan MR, Mathie M, Lovell NH, Celler BG. "Implementation of a real-time human movement classifier using a triaxial accelerometer for ambulatory monitoring." *IEEE T Inf Technol B*. 2006;10(1):156-67.
- [21] Altunkaya S. "Frequency Domain Features of Acceleration Signals to Evaluate Fall Risk of Elderly." *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 2020;():150-5.
- [22] Boser BE, Guyon IM, Vapnik VN. "A training algorithm for optimal margin classifiers." *Proceedings of the fifth annual workshop on Computational learning theory; Pittsburgh, Pennsylvania, USA: Association for Computing Machinery*; 1992. p. 144-52.
- [23] Cortes C, Vapnik, V. "Support-Vector Networks." *Machine Learning*. 1995;20:273-97.
- [24] Altunkaya S, Onur, İ. "Detection of Mechanical Heart Valve Thrombosis Using Support Vector Machine." *International Journal of Applied Mathematics Electronics and Computers*. 2019;7(2):44-8.



S. ALTUNKAYA (EE Müh, Dr.)

1981 yılında Karaman'da doğdu. Lisans, yüksek lisans ve doktora eğitimlerini Selçuk Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünde sırasıyla 2002, 2005 ve 2011 yıllarında tamamladı. Şu anda Necmettin Erbakan Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünde Öğretim Üyesi Doktor olarak biyomedikal sinyal işleme ve rf görüntü işleme konularında çalışmaktadır.



ARAŞTIRMA MAKALESİ | RESEARCH ARTICLE

Process Noise Source Localization Using Kalman Filter

*Yalçın Bulut, ¹Barış Ünal

* Managing Director, MATRiSEB Engineering and Consultancy, Ankara, Turkey

¹ Technical Manager, MATRiSEB Engineering and Consultancy, Ankara, Turkey

Sorumlu Yazar / Corresponding author : ybulut@matriseb.com Y. Bulut, orcid.org/0000-0003-1115-4278 ¹ B. Ünal, orcid.org/0000-0001-7038-1206	Geliş Tarihi / Received Date : 25 June 2020 Kabul Tarihi / Accepted Date : 24 September 2020 Yayın Tarihi / Published Date : 21 November 2020
Alıntı / Citation : Bulut Y., Ünal B., (2020), <i>Process Noise Source Localization Using Kalman Filter</i> , Journal of Science, Technology and Engineering Research, 1(2):19-24, DOI: 10.5281/zenodo.4048219	

Kalman Filtresi Kullanılarak Sistem Gürültüsünün Kaynağının Tespiti

Özet –Kontrolör ve gözlemci tasarımında ihtiyaç duyulan sistem gürültüsünü kaynaklarının dağılımı sistemin kompleks olması nedeniyle nadiren bilinmektedir. Bu çalışmada Kalman Filtresi teorisine dayanan filtre kalıntısı korelasyon yöntemi kullanılarak proses gürültülerinin kaynağı ölçüm verisi ile hesaplanmıştır. Bu yöntemde rastgele bir filtre kazancı ile elde edilen filtre kalıntıları kovaryans matrisleri hesaplanır. Bu makale filtre kalıntıları korelasyonları yaklaşımını irdeler ve sistem gürültülerinin kaynaklarının hesaplanmasındaki performansını değerlendirir. Sayısal sonuçlar, bu yöntemin proses gürültüsünün kaynağının tespiti ve gürültü kovaryans matrislerinin tahmini için etkili bir şekilde kullanılabilceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler- Gürültü kaynağının tespiti, Kalman filtresi, Ölçüm gürültüsü, Proses gürültüsü

Abstract— *Due to complexity in the systems, spatial distribution of unmeasured process noise that is required for the controller and observer design are often unknown. In this study an innovations correlations approach developed in Kalman Filter theory is used to localize the process noise from output measurements. The approach calculates covariance matrices from analysis of resulting innovations from an arbitrary filter gain. Aim of this paper is to review the innovation correlations approach and to evaluate its performance for localization of the process noise. Numerical results suggest that the method can be effectively used for source localization of process noise as well as estimation of noise covariance matrices.*

Index Terms - *Disturbance Localization, Kalman Filter, Measurement Noise, Process Noise, Process Noise Localization.*

I. INTRODUCTION

THE basic idea in estimation theory is to obtain approximations of the true response by using information from a model and from any available measurements. The mathematical structure used to perform estimation is known as an observer. The optimal observer for linear systems subjected to broad band disturbances is the Kalman Filter (KF), [1]. In the classical Kalman filter theory, one of the key assumptions is that a priori knowledge of the spatial distribution of process noise and noise covariance matrices are known without uncertainty. In reality, due to the complexity in the systems, this information is seldom known a priori. The objective of this study is to estimate the spatial distribution of process noise and the

noise covariance matrices using correlations approaches. The two correlations approaches that have received most attention in the noise covariance estimation problem are based on: 1) correlations of the innovation sequence and 2) correlations of the output. In the innovations approach one begins by "guessing" a filter gain and then the approach calculates the noise covariance matrices from analysis of the resulting innovations. The correlations approaches to estimate the covariance matrices of process and measurement noise for Kalman Filtering from the measured data began soon after introduction of the filter. One of the most widely quoted strategies to carry out the estimation of noise covariance matrices are due to Mehra [2] and the subsequent paper by Carew and Bellanger [3]. A noteworthy contribution from this early work is the contributions by Neethling and Young [4], who suggested some computational adjustments that could be used to improve accuracy. Recently, some other contributions to the Mehra's approach on the estimation of noise covariance matrices are presented. Odelson, Rajamani and Rawlings applied the suggestions of Neethling and Young's on Mehra's approach and used the vector operator solution for state error covariance Riccati equation of suboptimal filter, [5]. Akesson et al. extended their work for mutually correlated process and measurement noise case, [6]. Bulut, Vines-Cavanaugh and Bernal compared the performance of the output and innovations correlations approaches to estimate noise covariance matrices, [7]. In their study Bulut and Bayat [8] estimated a set of covariance matrices in order to characterize the uncertainty in the erroneous models using Kalman Filter based correlations approach. In this paper the same approach is utilized to estimate process and measurement noise covariances and to localize process noise using a model that is known without uncertainty.

The paper is organized as follows: the next section provides a brief summary of the KF particularized to a time invariant linear system with stationary disturbances (which is a condition we have implicitly assumed throughout the previous discussion). The following section reviews the innovations correlations approach for disturbance localization and the paper concludes with a numerical example.

II. THE KALMAN FILTER

Consider a time invariant linear system with unmeasured disturbances $w(t)$ and available measurements $y(t)$ that are linearly related to the state vector $x(t)$. The system has the following description in sampled time

$$x_{k+1} = Ax_k + Bw_k \quad (1)$$

$$y_k = Cx_k + v_k \quad (2)$$

where $A \in R^{n \times n}$, $B \in R^{n \times r}$ and $C \in R^{m \times n}$ are the transition, input to state, and state to output matrices, $y_k \in R^{m \times 1}$ is the measurement vector and $x_k \in R^{n \times 1}$ is the state. The sequence $w_k \in R^{r \times 1}$ is the disturbance known as the process noise and $v_k \in R^{m \times 1}$ is the measurement noise. In the treatment here, it is assumed that these are mutually correlated Gaussian stationary white noise sequences with zero mean and known covariance matrices, namely

$$E(w_k) = 0 \quad (3)$$

$$E(v_k) = 0 \quad (4)$$

and

$$E(w_k w_j^T) = Q \delta_{kj} \quad (5)$$

$$E(v_k v_j^T) = R \delta_{kj} \quad (6)$$

$$E(w_k v_j^T) = S \delta_{kj} \quad (7)$$

where δ_{kj} denotes the Kronecker delta function, and $E(\cdot)$ denotes expectation. Q and R are covariance matrices of the process and measurement noise and S is cross-covariance between them. For the system in Eqs.1 and 2, the KF estimate of the state can be computed from

$$\hat{x}_{k+1} = A\hat{x}_k + K(y_k - C\hat{x}_k) \quad (8)$$

where \hat{x}_k is the estimate of x_k and K is the (steady state) KF gain that can be expressed in a number of alternative ways, a popular one is

$$K = (APC^T + BS)(CPC^T + R)^{-1} \quad (9)$$

where P , the steady state covariance of the state error, is the solution of the Riccati equation

$$P = APA^T - (APC^T + BS)(CPC^T + R)^{-1}(APC^T + BS)^T + BQB^T \quad (10)$$

The KF provides an estimate of the state for which trace of is minimal. The difference between measured and estimated output, namely $e_k = y_k - C\hat{x}_k$ in Eq.8 is known as innovations sequence of the filter which is a white process. The filter is initialized as follows

$$\hat{x}_0 = E(x_0) \quad (11)$$

III. INNOVATIONS CORRELATIONS APPROACH

We begin with the expression for the covariance function of the innovation process (e_k) for any stable observer with gain K_0 . As initially shown by Mehra [2] this function is

$$L_j = C \bar{P} C^T + R \quad j = 0 \quad (12)$$

$$L_j = C \bar{A}^j \bar{P} C^T + C \bar{A}^{j-1} \bar{B} \bar{S} - C \bar{A}^{j-1} K_0 R \quad j > 0 \quad (13)$$



where \bar{P} the covariance of the state error in the steady state, is the solution of the Riccati equation

$$\bar{P} = \bar{A}\bar{P}\bar{A} + K_0RK_0^T + BQB^T - K_0SB^T - BS^TK_0^T \quad (14)$$

and

$$\bar{A} = A - K_0C \quad (15)$$

Applying *vec* operator to both sides of the auto-correlation function of the innovations in Eqs.12-13 one obtains

$$vec(L_j) = (C \otimes C)vec(\bar{P}) + vec(R) \quad j = 0 \quad (16)$$

$$vec(L_j) = (C\bar{A}^j \otimes C)vec(\bar{P}) + (B^T \otimes C\bar{A}^{j-1})vec(S) - (I \otimes C\bar{A}^{j-1}K_0)vec(R) \quad j > 0 \quad (17)$$

and applying *vec* operator to error covariance equation in Eq.14, one has

$$vec(\bar{P}) = [I - (\bar{A} \otimes \bar{A})]^{-1}[(K_0 \otimes K_0)vec(R) + B \otimes Bvec(Q) - (B \otimes K_0)vec(S) - (K_0 \otimes B)vec(S^T)] \quad (18)$$

Substituting Eq.25 into Eqs.23 and 24 , and adding the terms related to S^T to the terms related to S and canceling S^T , one finds

$$vec(L_j) = [h_j^Q h_j^S h_j^R] \begin{bmatrix} vec(Q) \\ vec(S) \\ vec(R) \end{bmatrix} \quad (19)$$

where

$$h_j^Q = (C \otimes C)[I - (\bar{A} \otimes \bar{A})]^{-1}(B \otimes B) \quad j = 0 \quad (20)$$

$$h_j^Q = (C \otimes C\bar{A}^j)[I - (\bar{A} \otimes \bar{A})]^{-1}(B \otimes B) \quad j > 0 \quad (21)$$

$$h_j^S = -2I(C \otimes C)[I - (\bar{A} \otimes \bar{A})]^{-1}(B \otimes K_0) \quad j = 0 \quad (22)$$

$$h_j^S = (B^T \otimes C\bar{A}^{j-1}) - 2I[(C \otimes C\bar{A}^j)[I - (\bar{A} \otimes \bar{A})]^{-1}(B \otimes K_0)] \quad j > 0 \quad (23)$$

$$h_j^R = (C \otimes C)[I - (\bar{A} \otimes \bar{A})]^{-1}(K_0 \otimes K_0) + I \quad j = 0 \quad (24)$$

$$h_j^R = (C \otimes C\bar{A}^j)[I - (\bar{A} \otimes \bar{A})]^{-1}(K_0 \otimes K_0) - (I \otimes C\bar{A}^{j-1}K_0) \quad j > 0 \quad (25)$$

Listing explicitly the correlation functions in Eq.26 for $lagsj = 1, 2, \dots, p$ and writing in matrix form one has

$$HX = L \quad (26)$$

where

$$H = \begin{bmatrix} h_0^Q & h_0^S & h_0^R \\ h_1^Q & h_1^S & h_1^R \\ h_2^Q & h_2^S & h_2^R \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ h_p^Q & h_p^S & h_p^R \end{bmatrix}, L = \begin{bmatrix} vec(L_0) \\ vec(L_1) \\ vec(L_2) \\ \vdots \\ vec(L_p) \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} vec(Q) \\ vec(S) \\ vec(R) \end{bmatrix} \quad (27)$$

Estimates of Q , S and R can be obtained from Eq.26. From its inspection, one finds that H has dimensions $m^2px(r^2 + m^2 + mr)$. The sufficient condition for the uniqueness of the solution of Eq.26 is defined as follows in the general case; the number of unknown parameters in Q and S have to be smaller than the product of number of measurements and the state. The error in solving Eq.26 for X is entirely connected to the fact that the L is approximate since it is constructed from sample correlation functions of the innovations which are estimated from finite duration signals, namely

$$\hat{L}_j \stackrel{\text{def}}{=} E(e_k e_{k-j}^T) = \frac{1}{N-j} \sum_{k=1}^{N-j} e_k e_{k-j}^T \quad (28)$$

where N is the number of time steps. Substituting \hat{L} as the estimate of L , the solution of Eq.26 can be presented as in the following.

$$\text{Case \#1 } mn \geq (r^2 + mr) \quad (29)$$

In this case H is full rank and there exists a unique minimum norm solution for a weighting matrix I given in the following,

$$\hat{X} = (H^T H)^{-1} H^T \hat{L} \quad (30)$$

$$\text{Case\#2 } mn < (r^2 + mr) \quad (31)$$

In this case the matrix is rank deficient, and the size of null space of H can be calculated from $t = r^2 - mn$. The solution is written as follows,

$$\hat{X} = \hat{X}_0 + null(H)Y \quad (32)$$

where \hat{X}_0 is the minimum norm solution given in Eq.30 and $Y \in R^{tx1}$ is an arbitrary vector. Therefore, we conclude Eq.26 has infinite solution when $mn < (r^2 + mr)$. We note that the

innovations correlations approach allows to enforce the positive semi-definiteness when solving for Q , S and R from Eq.26.

IV. NUMERICAL EXPERIMENT: FIVE-DOF SPRING MASS SYSTEM

In this numerical experiment we use the five-DOF spring mass system depicted in Fig.1 in order to examine the innovations correlations approach for the estimation of spatial distribution of process noise and noise covariance matrices. We assume that true stiffness and mass values of the spring-mass system are given in consistent units as $k_1, k_3, k_5, k_7 = 100$, $k_2, k_4, k_6 = 120$ and $m_i = 0.05$, respectively. The un-damped frequencies of the system are depicted in Table I. We obtain results for output sensors at the third masses, which are recording velocity data at 100Hz sampling.

Case I: (Q and R are unknown, B is known)

The unmeasured disturbances are acting on the masses #2 and #4. The measurement noise is prescribed to have a root-mean-square (RMS) equal to approximately 10% of the RMS of the response measured ($R=0.090$). Unmeasured disturbances and measurement noise are assumed to be mutually uncorrelated, with the covariance matrices,

$$Q = \begin{bmatrix} 15 & 0 \\ 0 & 30 \end{bmatrix} \quad R = 0.090 \quad S = 0$$

The arbitrary filter gain K_0 , that is chosen such that eigenvalues of the matrix $(A - K_0C)$ are assumed to have the same phase as those of A but with a 20% smaller radius. 80 lags of correlation functions of innovations process is taken into consideration and the sample innovation correlations functions are calculated using 200 seconds of data. 100 simulations are carried out and the disturbance covariance matrices are calculated from innovations correlations approach based on the assumption that the distribution of the unmeasured disturbances, namely input to state matrix (B) is known. The process noise covariance estimates (\hat{Q}_{11} , and \hat{Q}_{22}) obtained from the innovations correlations approach are presented in Fig.2. The mean value of the process noise covariance and measurement matrices obtained from 100 simulations are

$$\hat{Q} = \begin{bmatrix} 14.82 & 0 \\ 0 & 30.14 \end{bmatrix} \quad \hat{R} = 0.084$$

Case II: (Q , R and B are unknown)

The unmeasured disturbances are acting on the masses #2 and #4, however, it's assumed that the locations of the disturbances are unknown. In this case, as the distribution of process noise is unknown the input to state matrix is used as identity ($I_{5 \times 5}$).

$$Q = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 15 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad R = 0.090 \quad S = 0$$

The mean value of the process and measurement noise covariance matrices obtained from 100 simulations are

$$\hat{Q} = \begin{bmatrix} 0.23 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 14.73 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.02 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 29.74 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.16 \end{bmatrix} \quad \hat{R} = 0.085$$

As seen in Fig.2. an identity of input to state matrix (B) lead to additional unknowns in the process noise covariance matrix ($\hat{Q}(\hat{Q}_{11}, \hat{Q}_{22}, \hat{Q}_{33}, \hat{Q}_{44}, \hat{Q}_{55})$). However, the large diagonal elements corresponding to the masses #2 and #4 show that the process noise source are located at these positions.

V. CONCLUSIONS

In this paper innovations correlation approach based on Kalman Filter for estimation of noise covariance matrices is described. The classical innovations correlations method to estimate the noise covariance matrices from output measurements is reviewed. This method produces a linear system of equations, based on innovations correlation function which are calculated from measurements. The method assumes that the system is subjected to unmeasured Gaussian stationary process and measurement noise, which are mutually correlated and the system is linear time invariant. The numerical examinations showed that when the duration is 300 times the fundamental period the mean of 100 simulations proved in good agreement of estimates with the noise covariance matrices. Numerical results suggest that the method can be effectively used for source localization of process noises as well as estimation of noise covariance matrices.

APPENDIX

Fig. 1. Five-DOF spring mass system, $m_i = 0.05$, $k_1, k_3, k_5, k_7 = 100$, $k_2, k_4, k_6 = 120$ (inconsistent units). Damping is 2% in all modes.

Fig. 2. Process Noise and Measurement Noise Covariance Estimates for 100 Simulations

Table I: The un-damped frequencies of the spring mass system.

REFERENCES

- [1]. Kalman R. E. "A new approach to linear filtering and prediction problems." *ASME Journal of Basic Engineering*, 82:35-45, 1960.
- [2]. Mehra, R. K. "On the identification of variance and adaptive Kalman filtering." *IEEE Transactions on Automatic Control*, 15:175-184, 1970.
- [3]. Carew B. and Belanger P. R. "Identification of Optimum Filter Steady-State Gain for Systems with Unknown Noise



Covariances.” *IEEE Transactions on Automatic Control*, 18:582-587, 1974.

[4]. Neethling C. and Young P. “Comments on identification of optimum filter steady-state gain for systems with unknown noise covariances.” *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19:623-625, 1974.

[5] Odelson B. J. and Rajamani M. R. and Rawlings J. B. “A new autocovariance least-squares method for estimating noise covariances.” *Automatica*, 42(2):303-308, February 2006.

[6]. Akesson B. M. and Jürgensen J. B. and Poulsen N. K. and Jürgensen S. B. . “A generalized autocovariance least-squares method for Kalman filter tuning.” *Journal of Process Control*, 42(2), June 2007.

[7]. Bulut Y. and Vines-Cavanaugh D. and Bernal D. “Process and Measurement Noise Estimation for Kalman Filtering.” *IMAC XXVIII, A Conference and Exposition on Structural Dynamics*, February, 2010.

[8]. Bulut Y., Bayat O., “Kalman Filtering with Model Uncertainties.” *Topics in Modal Analysis I, Volume 5. Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series*. Springer, New York, NY 2012.



Yalçın Bulut was born in Ankara, Turkey in 1980. He received the B.S. degree in Civil Engineering from the Yıldız Technical University, Istanbul, in 2002 and M.S. degree in Earthquake Engineering from the Istanbul Technical University, Istanbul, in 2005. He holds PhD degree in Structural Engineering from the Northeastern University, Boston in 2011 with an emphasis on Kalman Filter Theory.

From 2010 to 2014, he was employed at Rizzo Associates and Jensen Hughes (previously Stevenson Associates) where he involved in the US nuclear industry projects as a Senior Engineer. He co-founded the MATRiSEB Engineering & Consultancy in Ankara, Turkey in 2015 and acting as the Managing Director since 2018. His research interests include inverse problems in experimental mechanics and structural health monitoring.



Barış Ünal was born in Konak, İzmir, Turkey in 1990. He received the B.S. degree in Civil Engineering and M.S. degree in Earthquake Engineering from the Middle East Technical University, Ankara, in 2012 and in 2015 respectively. He is a PhD. candidate at Structural Engineering Division in Civil Engineering Department, Middle East Technical University, Ankara.

From 2013 to 2015, he was a Research Assistant with the Earthquake Studies Department. From 2016 to 2019, he was a structural engineering analyst at MATRiSEB, Ankara. Since 2019, he has been the technical manager at MATRiSEB, Ankara.

APPENDIX

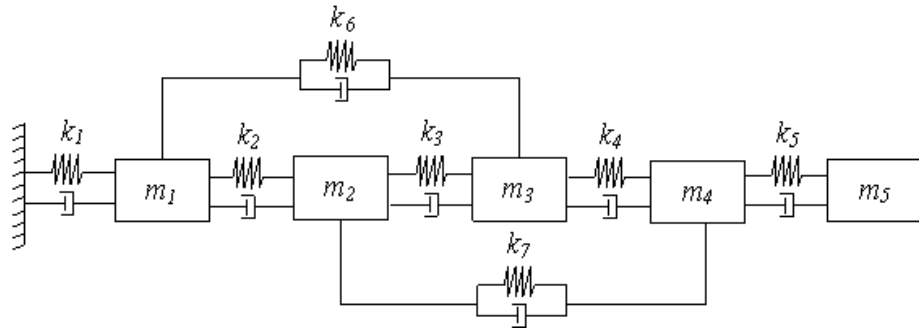


Fig. 1. Five-DOF spring mass system, $m_i = 0.05$, $k_1, k_3, k_5, k_7 = 100$, $k_2, k_4, k_6 = 120$ (inconsistent units). Damping is 2% in all modes.

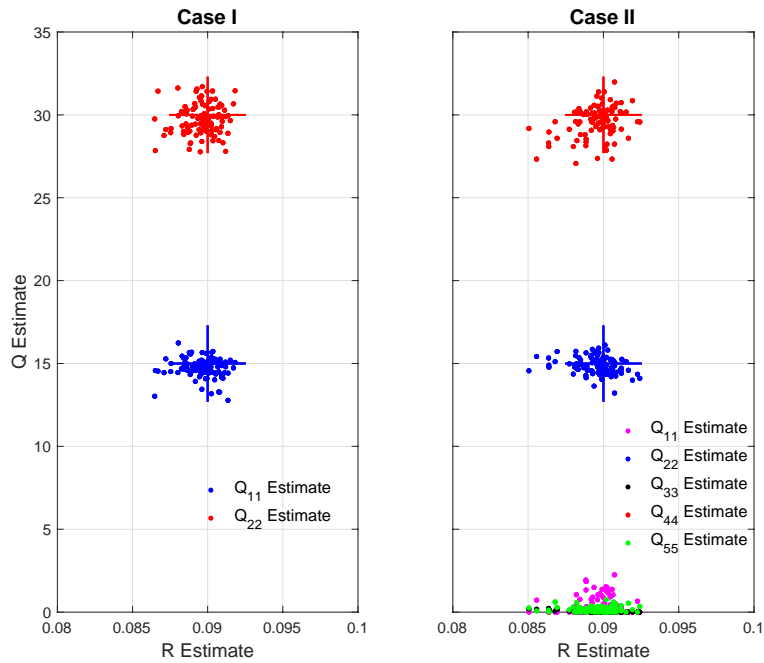


Fig. 2. Process Noise and Measurement Noise Covariance Estimates for 100 Simulations

Table I: The un-damped frequencies of the spring mass system.

Frequency No.	Frequency (Hz)
1	2.666
2	7.208
3	13.306
4	14.745
5	16.304



TEORİK MAKALE | THEORITICAL ARTICLE

Ortak Gate Fark Yükselteç Tabanlı CMOS İnverter Devresinin Auto-Zero Karşılaştırmalı Performansının İncelenmesi

*¹Oktay Aytar

¹Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gököy Kampüsü, BOLU

*Sorumlu Yazar / Corresponding author : oaytar@ibu.edu.tr
¹ O. Aytar, 0000-0001-7664-103X

Geliş Tarihi / Received Date : 08 Eylül 2020
Kabul Tarihi / Accepted Date : 29 Eylül 2020
Yayın Tarihi / Published Date : 21 Aralık 2020

Alıntı / Citation :

Aytar, O. (2020). Ortak Gate Fark Yükselteç Tabanlı CMOS İnverter Devresinin Auto-Zero Karşılaştırmalı Performansının İncelenmesi. Journal of Scientific, Technology and Engineering Research, 1(2): 25-32. DOI:10.5281/zenodo.4069563

The Investigation of Auto-Zero Comparator Performance of Common Gate Differential Amplifier Based CMOS Inverter Circuit

Özet – Yapılan bu çalışmada, Cadence IC5141 tasarım programı NCSU Design Kit’de 0.18µm CMOS teknoloji kütüphanesi kullanılarak ortak gate fark yükselteçli cmos inverter devresinin auto-zero karşılaştırmalı olarak performansı incelenmiştir. Önerilen bu yapı geleneksel inverter devresi ve darlington cmos inverter yapıları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan DC analiz sonucuna göre ortak gate fark yükselteçli inverter devresinin gerilim kazancı 138,92 V/V bulunmuş olup, incelenen yapılara göre daha fazla kazançta sahip olduğu görülmüştür. Önerilen karşılaştırmalı yapısının girişine 50MHz frekansında bir rampa işareti ve 5GHz frekansında bir saat işareti uygulandığında, sırasıyla yükselen kenar gecikme süresi 0.81ns, inen kenar gecikme süresi de 0.99ns elde edilmiştir. Bu yapının aynı şartlar altında ki ortalama güç tüketim değeri de 15,4mW’tır.

Anahtar Kelimeler: Ortak Gate Fark Yükselteç Tabanlı CMOS İnverter, Auto-Zero Karşılaştırmalı, Darlington CMOS İnverter, Geleneksel İnverter.

Abstract—In this study, the performance of the common gate difference amplifier cmos inverter circuit as an auto-zero comparator circuit was investigated using 0.18µm CMOS process model in the NCSU Design Kit of the Cadence IC5141 design program. The performance of the proposed structure was compared with traditional inverter circuit and darlington cmos inverter circuit. In accordance with the results of DC analysis, the voltage gain of the proposed circuit is 138, 92 V/V and it has more gain than the investigated circuits. According to obtained simulation results, the rising edge and descending edge delay times are observed 0.81ns and 0.99ns while operating with a clock frequency of 5GHz and an input frequency the rising and the descending ramp signal of 50 MHz, respectively. The average power consumption of the proposed structure is 15,4mW under the same conditions.

Index Terms— Common Gate Differential Amplifier Based CMOS Inverter Circuit, Auto-Zero Comparator, Darlington CMOS Inverter, Traditional Inverter Circuit

I. GİRİŞ [INTRODUCTION]

Karşılaştırmalı devreleri analog giriş işareti ile referans işaretini karşılaştırarak, giriş işaretinin referans işaretinden büyük ya da küçük olmasına göre çıkışta sayısal olarak Lojik 1 ya da Lojik 0 üreten bir devredir [1, 2]. Karşılaştırmalı olarak kullanılan devre yapıları birçok analog, sayısal ve karışık sinyal uygulama sistemlerinin önemli bloklarından birisidir [3].

Karşılaştırıcıların kullanıldığı en önemli uygulamalardan birisi analog-sayısal dönüştürücülerdir [4,5]. Bu açıdan bakıldığında karşılaştırıcıyı 1 bit analog-sayısal dönüştürücü olarak düşünebiliriz [1].

Bu yüzden analog-sayısal dönüştürücü yapılarının çözünürlük, örnekleme hızı, güç tüketimi gibi performansını etkileyen en önemli kritik bloklardan birisidir [6].

Karşılaştırıcı yapıları uygulanan giriş işaretinin türüne göre akım karşılaştırıcısı ve gerilim karşılaştırıcısı olarak ikiye ayrılabilir. Gerilim karşılaştırıcı devreleri ise açık çevrim karşılaştırıcılar(sürekli zamanlı karşılaştırıcılar), pozitif geri beslemeli karşılaştırıcılar(ön yükselteç tabanlı latch karşılaştırıcılar) ve bu iki karşılaştırıcı yapısının birleşiminden meydana gelen hızlı karşılaştırıcılar olarak üç farklı grupta sınıflandırılabilirler [1, 7, 8].

Açık çevrim karşılaştırıcılar aslında işlemsel yükselteç(op-amp) devreleri olup, yüksek kazanç ve yüksek çözünürlük ihtiyacı olan sistemler için uygundur. Bu tip karşılaştırıcıların dezavantajı ise güç tüketiminin ve tepki süresinin fazla olmasıdır [9]. Ön yükselteç tabanlı latch karşılaştırıcılar ise geri besleme sayesinde yüksek kazançta sahip oldukları gibi, aynı zamanda geri tepme gürültüsünü(kick-back noise) ve of-set gerilimini azaltmaktadır [7, 8]. Yüksek hızlı karşılaştırıcılar da girişte bir ön yükselteç devresi daha sonra pozitif geri besleme veya bir karar devresi ve en son olarak da çıkış tampon devresinden oluşmaktadır [2]. Bu tip karşılaştırıcılar yayılım gecikmesinin mümkün olduğunca küçük olduğu karşılaştırıcılar olarak tanımlanmaktadır.

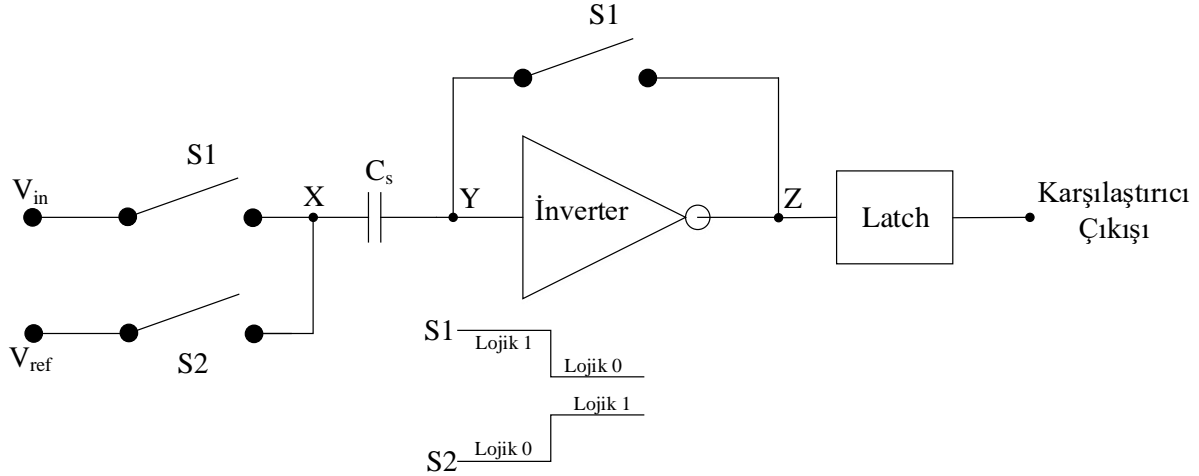
Karşılaştırıcı devrelerinin bant genişliği, gecikme zamanı, giriş ofset değeri, doğrusalılık, gürültü, ortak mod giriş gerilim aralığı, güç tüketimi ve gürültü gibi temel tasarım parametreleri vardır [10]. Bunlardan, özellikle devrenin kazancı, giriş ofset değeri, gecikme zamanı ve doğrusalığı gibi karakteristikler karşılaştırıcının performansını belirlemektedir [1, 2, 11]. Özellikle giriş ofset gerilimi, karşılaştırıcı devreleri için önemli problemlerden biridir. Yüksek çözünürlüklü analog-sayısal dönüştürücü tasarımlarında giriş ofset

gerilim değeri göz ardı edilemez [7]. Giriş of-set gerilimine ise devre elemanlarının uyumsuzluğu, geri tepme gürültüsü ve kapasite çiftleri gibi parametreler neden olmaktadır [12]. Bu problemi çözmek için ise auto-zero tekniği önerilmektedir [1, 13].

X.Wang ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada DC ofset kalibrasyon devresinde auto-zero karşılaştırıcı kullanarak, dc ofset gerilimini çalışmaları için istenen değere getirmişlerdir[14]. E.Alaybeyoglu yapmış olduğu çalışmada tasarlamış olduğu karşılaştırıcı devresinin ofset gerilimini yok etmek için auto-zero tekniği kullanmıştır[15]. X. Zhang ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada karşılaştırıcının çözünürlüğünü artırmak için iki-aşamalı ön yükselteç devresi kullandıklarını ve birinci ön yükselteç devresi çıkışında elde edilen işaretin ofset gerilimini yükselttiğini ve bunun da kalibrasyon hatalarına neden olduğunu belirtmişler ve bu yüzden ofset gerilimini azaltmak için de auto-zero tekniği kullanmışlardır[16]. J. Wei ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada kazanç-kontrol yapısında auto-zero tekniği kullanarak ofset gerilimini yok etmek ve uygun çalışma noktasını tespit etmeye çalışmışlardır[17].

Temel auto-zero karşılaştırıcı devresi ile anahtarları kontrol eden saat işaretleri Şekil-1'de gösterilmiştir. Auto-Zero karşılaştırıcı, saat işaretlerinin durumuna göre iki farklı durumda çalışmaktadır. Bunlardan birincisi Örnekleme durumu, diğeri ise Karşılaştırma durumudur. Örnekleme durumunda S_1 anahtarı kapalı S_2 anahtarı açık durumdadır. Bu esnada analog giriş işareti(V_{in}) örneklenir ve C_S kapasitesinin üzerinde tutulur. Böylece C_S kapasitesi şarj olur. Ayrıca bu sırada inverter devresi de kısa devre olur ve böylece inverter devresinin çıkışı V_{in} 'e eşit olur. Anahtarlama yapıldığı zaman ise bu gerilim $V_{dd}/2$ 'ye(V_{dd} : İnverterin besleme gerilimidir) eşit olmaktadır. Bu yapılan işlem auto-zero olarak isimlendirilir. Bu sırada kapasite üzerinde oluşan gerilim aşağıdaki gibi gösterilir;

$$\begin{aligned} V_{C_S} &= V_Y - V_X \\ V_{C_S} &= V_{dd} - V_{in} \end{aligned} \quad (1)$$



Şekil 1. Geleneksel Auto-Zero Karşılaştırıcı Devresi ve Anahtarları kontrol eden saat işaretleri [18, 19]

Karşılaştırma durumunda ise sadece S_2 anahtarı kapalı durumdadır. Bu sırada V_{ref} gerilimi X noktasına bağlı iken inverter de lineer bölgede çalışmaktadır. Bu sırada kapasite üzerinde oluşan gerilim ise aşağıdaki gibidir;

$$\begin{aligned} V_{C_s} &= V_Y - V_X \\ V_Y &= V_{C_s} + V_{ref} \\ V_Y &= \left(\frac{V_{dd}}{2} - V_{in} \right) + V_{ref} \\ V_Y &= \frac{V_{dd}}{2} - (V_{in} - V_{ref}) \end{aligned} \quad (2)$$

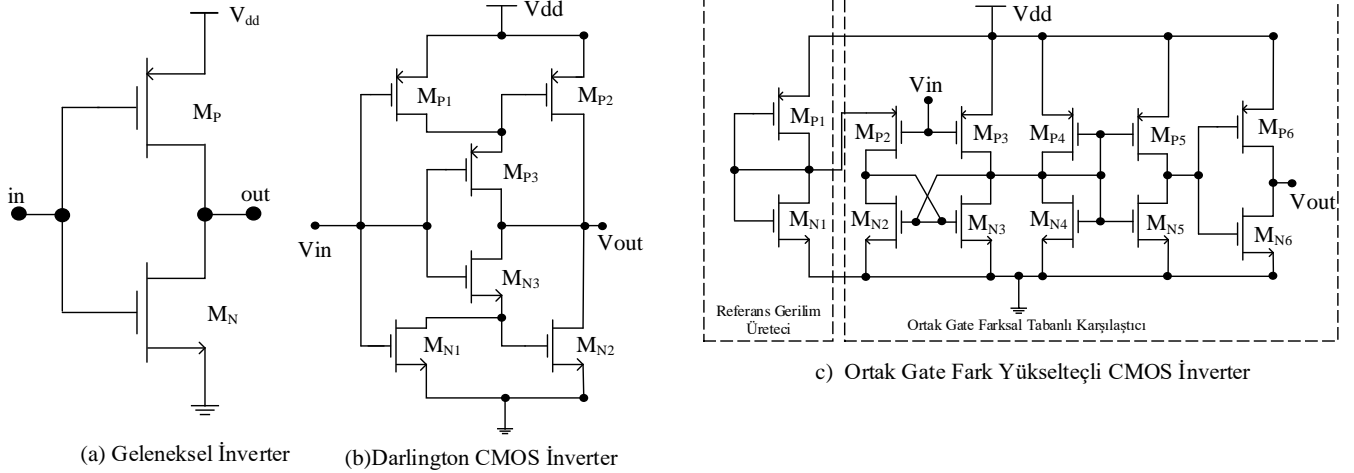
(2) numaralı denkleme göre analog giriş gerilimi (V_{in}) ile karşılaştırma gerilimi (V_{ref}) arasındaki fark inverter devresinin girişine uygulanır. Evirici girişinin eşik gerilimi $V_{dd}/2$ olduğu için, karşılaştırıcı devresinin çıkışı ($V_{in} - V_{ref}$) farksal girişine bağlı olur. Bu yüzden $V_{in} > V_{ref}$ olduğunda karşılaştırıcı çıkışında Lojik 1, $V_{in} < V_{ref}$ olduğunda ise çıkış Lojik 0 olur.

Yapılan bu çalışmada, Cadence IC5141 tasarım programı NCSU Design Kit'de $0.18\mu m$ CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) teknoloji kütüphanesi kullanılarak ortak gate fark yükselteçli bir inverter devresinin, auto-zero karşılaştırıcı olarak geleneksel inverter devresi ve darlington cmos inverter devrelerine göre performansı incelenmiştir.

II. CMOS İNVERTER DEVRELERİ [CMOS INVERTER CIRCUITS]

Bu çalışmada kullanılan ortak gate fark yükselteçli inverter devresi Şekil-2(c)'de gösterilmiştir. Önerilen bu yapı, referans gerilim üretici[20] ve ortak-gate farksal tabanlı bir karşılaştırıcı devresi[21] birleşiminden meydana gelmektedir. M_{P1} ve M_{P2} mosfetlerinin kanal genişliği (W) ve kanal boyu (L) cmos inverter devresinin eşik gerilimi $V_{dd}/2$ olacak şekilde ayarlanmıştır. Ortak-gate farksal tabanlı karşılaştırıcı devresi giriş uçlarında pmos çifti (M_{P1}, M_{P2}), birbirine çapraz bağlı iki tane nmos'dan (M_{N2}, M_{N3}) oluşmaktadır. Birbirine çapraz bağlı iki tane nmos'dan oluşan bu devrenin iki durumu vardır. Birinci durumda pozitif geribesleme aktif değildir. Bu durumda giriş gerilimi uygulanarak M_{N2} ve M_{N3} 'ün drain uçlarında gerilim elde edilir. İkinci durumda ise bu gerilimlere bağlı olarak çıkışlardan bir tanesi lojik 0'a ya da lojik 1'e gitmektedir.

Bu çalışmada kullanılan darlington cmos inverter devresi[22] Şekil-2(b)'de gösterilmiştir. Bu devre yapısında kullanılan $M_{P2}-M_{P3}$ ile $M_{N2}-M_{N3}$ mosfet devre elemanları şekilsel bağlantı benzerliğinden dolayı darlington yapısı gibi düşünülebilir. Bilindiği üzere bu yapı mosfetlerde kullanılamaz.



Şekil 2. Yapılan Çalışmada kullanılan CMOS İnverter devreleri.

Bu yüzden M_{P1} ve M_{N1} mosfetleri, darlington bağlantılı mosfetleri kutuplama amaçlı kullanılmıştır. Darlington cmos inverter devresinin eşik gerilimi $V_{dd} / 2$ olacak şekilde M_{P1} - M_{P2} - M_{P3} ile M_{N1} - M_{N2} - M_{N3} mosfetlerinin W/L değerleri ayarlanmıştır.

Yapılan bu çalışmada kullanılan bir diğer inverter devresi ise geleneksel inverter devresi olup Şekil-2(a)'da gösterilmiştir. Burada da inverter devresinin eşik geriliminin $V_{dd} / 2$ olması için mosfetlerin W/L'leri uygun değerlere ayarlanmıştır.

III. BENZETİM SONUÇLARI [SIMULATION RESULTS]

Yapılan bu çalışmada, şekil 1'de gösterilen auto-zero karşılaştırıcı yapısına göre tasarımlar yapılmıştır. Şekil 1'de gösterilen inverter bloğu yerine sırasıyla şekil 2'de gösterilen cmos inverter devreleri yerleştirilip, benzetim sonuçları elde edilmiştir. Tasarımı yapılan devrelerde DC besleme gerilimi olarak 1.8V kullanılmıştır. Şekil 3'de bu devrelere ait transfer karakteristikleri gösterilmiştir. Burada inverter devrelerinin eşik gerilimleri $V_{dd} / 2$ olacak şekilde ayarlanmıştır. Auto-zero karşılaştırıcı devrelerinde kalıntı ofset değeri kazancın sınırlı olması ve anahtarlardaki yük değişimlerinden kaynaklanmaktadır[19]. Fakat bu kazanç değeri yeterince yüksek olursa, kalıntı ofset gerilimi ihmal edilebilir[23]. Bu yüzden şekil 3'teki transfer

karakteristiklerinin dV_{out}/dV_{in} oranlarına bakılarak cmos inverter devrelerinin kazançları elde edilmiştir. Elde edilen bu kazanç değerleri tablo-1'de gösterilmiştir. Yapılan DC analize göre, üç farklı devrenin kazancına bakıldığında en yüksek kazanca sahip olan devrenin Ortak Gate Fark Yükselteçli CMOS İnverter devresidir.

Karşılaştırıcı ofset değerinin bulunması için standart yöntem, yükselen bir rampa işaretinin karşılaştırıcının girişine uygulanarak, elde edilen çıkış işaretinde geçiş noktasının bulunmasıdır[3].

TABLE I
İNVERTER DEVRELERİNİN KAZANÇ DEĞERLERİ

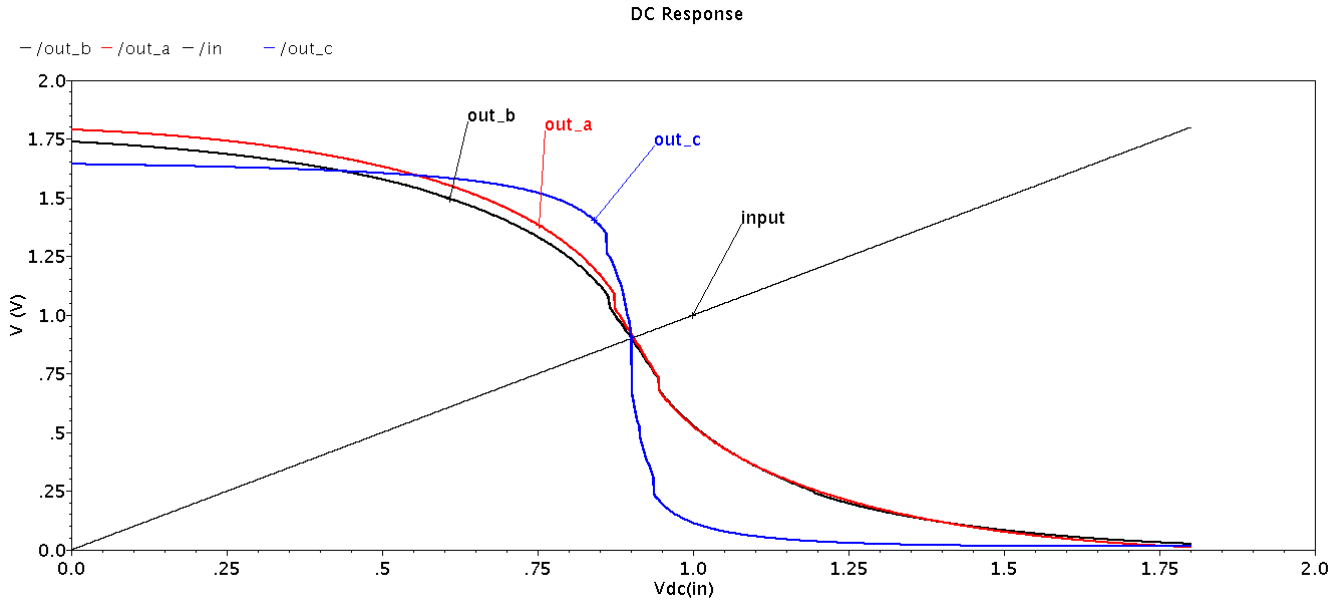
Devre Adı	KAZANÇ DEĞERİ (VOUT/VIN)
Geleneksel İnverter Devresi (out_a)	34,56
Darlington CMOS İnverter Devresi (out_b)	28,82
Ortak Gate Fark Yükselteçli CMOS İnverter Devresi (out_c)	138,92

Elde edilen çıkış geriliminde, uygulanan analog giriş ve referans işaretine göre geçiş noktasında Lojik 0 seviyesinden Lojik 1 seviyesine geçtiği gerilim ve zaman değerlerine bakılarak yükselen kenardaki of-set gerilim değerine ve gecikme zamanına bakılır [3].

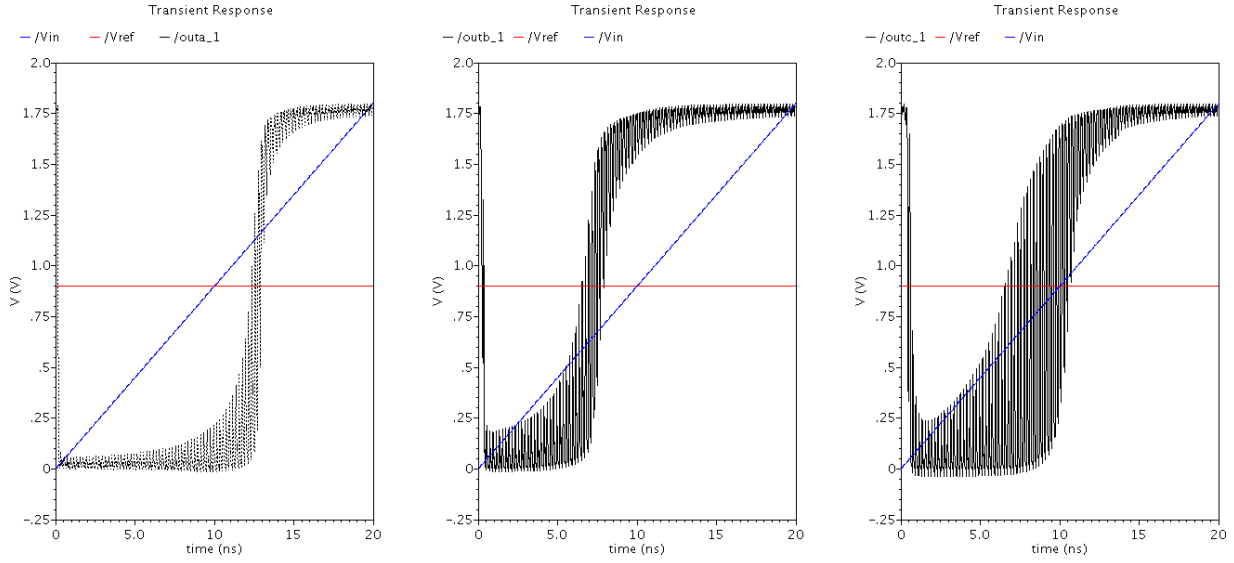
Aynı şekilde düşen rampa işareti uygulayarak da Lojik 1 seviyesinden Lojik 0 seviyesine geçtiği gerilim ve zaman değerlerine bakılarak inen kenardaki of-set gerilim değerine ve gecikme zamanına bakılır [3]. Yapılan bu çalışmada analog giriş işareti(Vin) olarak 50MHz giriş frekansında yükselen bir rampa işareti uygulanmıştır. Karşılaştırıcının referans işareti(Vref) 0.9V, tutucu devresinin saat işareti frekansı da 5GHz olarak uygulanmıştır. Elde edilen karşılaştırıcı sonuçları şekil 4'te gösterilmiştir. Şekil 5'te ise karşılaştırıcının referans işareti(Vref) 0.5V, tutucu devresinin saat işareti frekansı 1GHz yapıldığında elde edilen çıkış işareti gösterilmiştir. Şekil 4'te, auto-zero karşılaştırıcı olarak yapılan üç farklı devrenin girişine 50Mhz giriş frekansında yükselen bir rampa işareti uygulanmıştır. Tasarımı yapılan bu karşılaştırıcı devrelerinde karşılaştırıcıların referans işareti(Vref) 0.9V, tutucu devresinin saat işareti frekansı 5GHz seçilmiştir. Aynı şekilde düşen kenardaki gecikme

zamanlarının bulunması için de benzer şekilde benzetim şartları sağlanmıştır. Burada sadece giriş işareti yükselen rampa değil inen rampa olarak seçilmiştir. Yapılan bu analiz sonucunda yükselen kenar, inen kenar gecikme zamanları ve karşılaştırıcıların harcamış oldukları güç tüketim değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Şekil 5'de analog giriş işareti frekansı 50MHz, referans işareti(Vref) 0.5V ve tutucu devresinin saat işareti frekansı 1GHz seçildiğinde elde edilen karşılaştırıcı çıkışları gösterilmiştir. Şekil 5'den de görüldüğü üzere ortak gate fark yükselteçli cmos inverter devresi ile yapılan auto-zero karşılaştırıcı devresinin cevabı incelendiğinde gecikme süresinin diğer inverter devrelerine göre daha iyi olduğu görülmektedir.



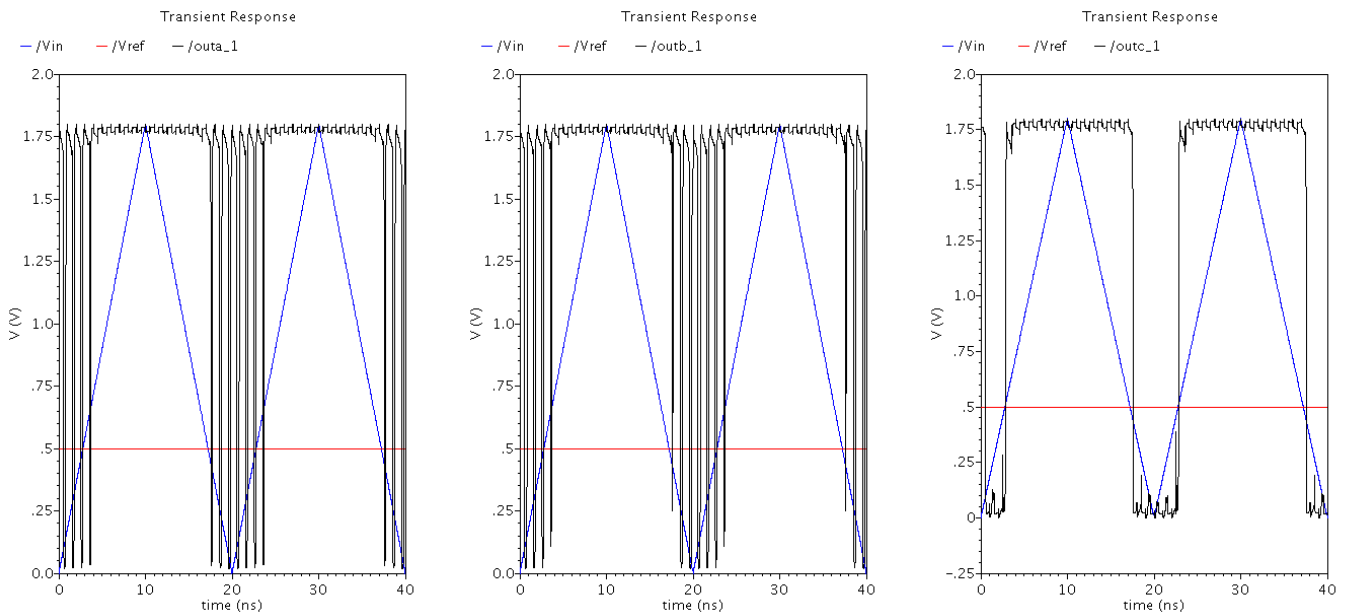
Şekil 3. Çalışmada kullanılan CMOS İnverter devrelerinin transfer karakteristikleri.



Şekil 4. $f_{in}=50\text{MHz}$, $f_{clk}=5\text{GHz}$ için Auto-Zero karşılaştırıcı sonuçları.

TABLE II
ÇALIŞMADA KULLANILAN İNVERTER DEVRELERİNİN GEÇİRME VE GÜÇ TÜKETİM DEĞERLERİ ($f_{in}=50\text{MHz}$, $f_{clk}=5\text{GHz}$)

Devre Adı	ORTALAMA GÜÇ TÜKETİMLERİ (mW)	YÜKSELEN KENAR GEÇİRME SÜRESİ (ns)	İNEN KENAR GEÇİRME SÜRESİ (ns)
Geleneksel İnverter Devresi	14,12	2,79	1,963
Darlington CMOS İnverter Devresi	16,6	2,691	3,4
Ortak Gate Fark Yükselteçli CMOS İnverter Devresi	15,4	0,81	0,99



Şekil 5. $f_{in} = 50\text{MHz}$, $f_{clk}=1\text{GHz}$ için auto-zero karşılaştırıcı sonuçları.



IV. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME [CONCLUSION]

Yapılan bu çalışmada, NCSU Design Kit ve 0.18µm CMOS teknoloji kütüphanesi kullanılarak ortak gate fark yükselteçli bir inverter devresi ve bu devrenin bir auto-zero karşılaştırıcısı olarak tasarımı yapılmıştır. Özellikle giriş ofset gerilimi ve gecikme süresi, karşılaştırıcı devreleri için önemli problemlerden birisi olup, yüksek çözünürlüğe ihtiyaç duyan A/S dönüştürücüler için önemlidir. Bu problemi çözmek için auto-zero tekniği önerilmektedir. Yapılan bu çalışmada da üç farklı inverter devresi için auto-zero tekniği kullanılarak karşılaştırıcı yapılmış olup, inverter devrelerinin gecikme süreleri karşılaştırılmıştır. Benzetim sonuçlarına göre, gecikme süresi açısından bakıldığında ortak gate fark yükselteçli cmos inverter devresi ile yapılan auto-zero karşılaştırıcının en iyi performansı gösterdiği görülmektedir. Bu yüzden önerilen ortak gate fark yükselteçli bir inverter devresi ile yapılan auto-zero karşılaştırıcının saat işareti yüksek hızlı A/S dönüştürücü devrelerinde kullanılabileceği düşünülmektedir. Aynı zamanda önerilen yapının gerilim kazancı, diğer karşılaştırılan tasarımlara göre oldukça yüksektir. Önerilen yapının tek dezavantajı güç tüketiminin fazla olmasıdır. Yapılan bu tasarımda, geleneksel bir tutucu devresi ve analog anahtar yapısı kullanılmıştır. Tutucu devresi ve anahtar devrelerinin yapıları değiştirilerek, önerilen sistemin iyileştirilebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR [REFERENCES]

- [1]. P. E. Allen and D. R. Holberg, CMOS Analog Circuit Design, Second Edition, Oxford University Press, 2002.
- [2]. R.J. Baker, CMOS Circuit Design, Layout and Simulaton, Wiley-IEEE press, 2019
- [3]. Hesham Omran, "Fast and accurate technique for comparator offset voltage simulation", Microelectronics Journal, 89, pp. 91–97, 2019.
- [4]. G. Roubik, Introduction to CMOS OP-AMPS and comparators, J Wiley & Sons, 1999.
- [5]. G. Ahmed and R. K. Baghel, "Design of 6-bit Flash Analog to Digital Converter Using Variable Switching Voltage CMOS Comparator", International Journal of VLSI Design & Communication Systems (VLSICS) Vol.5, No.3, pp. 25-35, June 2014.
- [6]. Y. Susanti, P. K. Chan and V. K. S. Ong, "An Ultra Low-Power Successive Approximation ADC Using an Offset-Biased Auto-Zero Comparator", IEEE Asia Pacific

Conference on Circuits and Systems APCCAS 2008, pp. 284-287, 2008.

- [7]. B. P. Hypolite, W. T. E. and M. I. Adolphe, "A 10GHZ Low-Offset Dynamic Comparator for High-Speed and Lower-Power ADCs", American Journal of Engineering and Applied Sciences, 12 (2), pp. 156-165, 2019.
- [8]. L. F. Rahman, M. B. I. Reaz, C. C. Yin, M. Marufuzzaman, and M. A. Rahman, "A High-Speed and Low-Offset Dynamic Latch Comparator", The Scientific World Journal, vol. 2014, Article ID 258068, 8 pages, 2014.
- [9]. J. Li, H. Fan, Y. Wu, Q. Feng, D. Li, D. Hu, Y. Cen, and H. Heidari, "Comparator Design in Sensors for Environmental Monitoring", IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 151, No. 1, p. 012030, 2018.
- [10]. A. Ahmed, "High speed data converters", Institution of Engineering and Technology, 2016.
- [11]. X. Huang, L. Li, Z. Zhang, L. Chen, J. Yu, "High-speed comparator used for high-speed, high resolution A/D converter", 2010 International Conference on Anti-Counterfeiting, Security and Identification IEEE, pp. 67-70, July 2010.
- [12]. S. Zhang, Z. Li, B. Ling, "Design of high-speed and low-power comparator in flash ADC", Procedia Engineering 29, pp. 687-692, 2012.
- [13]. V. Nagy, V. Stopjaková, "New Current Monitor Using Auto Zero Voltage Comparator for IDD Testing of Mixed-signal Circuits", IEEE Design and Diagnostics of Electronic Circuits and systems, pp. 234-235, 2006.
- [14]. X. Wang, J. Jin, X. Liu and J. Zhou, "An ISM Band High-Linear Current-Reuse Up-Conversion Mixer with Built-in-Self-Calibration for LOFT and I/Q Imbalance" in IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, doi: 10.1109/TCSII.2020.2981940.
- [15]. E. Alaybeyoğlu, "High speed comparator design for the implementation of successive approximation register ADC", 2019 3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT). IEEE, 2019.
- [16]. X. Zhang, X. Cao, and X. L. Zhang, "A 16-bit 1 MSPS SAR ADC with foreground calibration and residual voltage shift strategy." Journal of Semiconductors 41, 1-9, 2020.
- [17]. J. Wei, X. Li, L. Sun, D. Li, "A Low-Power Column-Parallel Gain-Adaptive Single-Slope ADC for CMOS Image Sensors", Electronics, 9(5):757, 2020.
- [18]. Y.C. Hung and B.D. Liu, "A 1.2 V Rail-to-Rail Analog CMOS Rank-Order Filter with k-WTA Capability", Analog Integrated Circuits and Signal Processing, 32, pp. 219–230, 2002.

- [19]. M. J. M. Pelgrom, Analog-to-Digital Conversion, Springer, New York, NY, 2013.
- [20]. J.P. Uyemura, Circuit design for CMOS VLSI, Springer Science & Business Media, 2012.
- [21]. O. Aytar, "Design of a 5-bit Fully Parallel Analog to Digital Converter Using Common Gate Differential Mos Pair-Based Comparator", Journal of ELECTRICAL ENGINEERING, VOL. 66, NO. 5, pp. 250-256, 2015.
- [22]. O. Aytar, "Darlington CMOS İnverter Tabanlı Paralel Analog-Sayısal Dönüştürücü Tasarımı", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 6(1), pp. 78-67, 2018.
- [23]. F. Maloberti, Analog design for CMOS VLSI systems, Springer Science & Business Media, 2006.

Oktay AYTAR received the B.S., M.S., Ph.D. degrees in the Department of Electronics and Communications Engineering from Kocaeli University, Kocaeli, Turkey, in 2000, 2003, and 2009, respectively. In 2012, he joined at Abant İzzet Baysal University as an assistant professor. His interests include high speed CMOS and A/D converter circuit design, digital and analog mixed-signal ICs, embedded systems.



ARAŞTIRMA MAKALESİ | RESEARCH ARTICLE

Hassas Tarım İçin Sağım Uygulaması Geliştirilmesi

Yusuf Atakan ÖZCAN^{1*}, Süheyl SARRAJ², Ayhan İSTANBULLU³

^{1,2,3}Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Balıkesir, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding author : yusuf.atakan@baum.edu.tr	Geliş Tarihi / Received Date :	31 Temmuz 2020
¹ Y. A. Özcan, orcid.org/0000-xxx-xxxx-xxxx .	Kabul Tarihi / Accepted Date :	13 Ekim 2020
² S. Sarraj, orcid.org/0000-xxx-xxxx-xxxx .	Yayın Tarihi / Published Date :	21 Aralık 2020
³ A. İstanbullu, orcid.org/0000-0002-7066-4238		
Alıntı / Citation : Özcan, Y. A., Sarraj S., İstanbullu A. (2020). <i>Hassas Tarım İçin Sağım Uygulaması Geliştirilmesi</i> , Journal of Scientific, Technology and Engineering Research, 1(2): 33-39. Doi: 10.5281/zenodo.4088516		

Developing Milking Measuring System Through Precision Agriculture

Özet -Hassas tarım; kontrol, elektronik, bilgisayar ve veri tabanı ile hesap bilgisini bir araya getirerek gelişmiş bir sistem yaklaşımı ortaya koymaktadır. Süt sığırcılığında hassas tarım uygulamalarının temel amacı, hayvanların bireysel potansiyelinden yararlanmak ve hastalık durumlarında daha erken teşhis sağlamak, ilaç kullanımını azaltmak olarak tanımlanabilir. Geleneksel sağım sistemlerin birçoğu bilişim teknolojileri ile takip edilemez, sadece anlık gelen süt miktarlarını ölçer ve gösterir. Ayrıca bu bilgileri depolayamaz ve bir araya getiremez. Hassas tarım uygulamaları sağım cihazları ile entegre edilebilir mi? sorusundan yola çıkılarak geleneksel süt ölçümü yapan cihazların yetersiz kaldığı noktalarda, hassas tarım ilkelerine ve gerekliliklerine uygun bir sistem tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Tasarlanan sistemde, sağım esnasında ölçülen veriler, mikrodenetleyici vasıtasıyla kablosuz olarak sunucu olarak yapılandırılan Raspberry Pi cihazına aktarılır. Gelen veriler MySQL veri tabanına kaydedilir. Android Volley kütüphanesi aracılığıyla sunucu olarak kullanılan Raspberry Pi'ye istek yolları. Yanıtlanan istekler Android cihaza aktarılır. Bu verilere hem Raspberry Pi üzerinden hem de aynı ağa bağlı olan Android İşletim Sistemi bulunan akıllı telefon veya mobil cihazlarla erişilebilir. Veriler sağım esnasında anlık olarak görülebileceği gibi, belirli tarihler arasında bir ya da birden fazla ineğe ait toplam süt miktarı ve ortalama süt sıcaklığı verileri filtrelenebilir. Bütün veriler toplu halde olarak bir pdf formatında bir dosyaya aktarılır ve buradan her sağım için gerekli bilgiler elde edilir.

Anahtar Kelimeler: Hassas Tarım, Süt Sağım Sistemi, MQTT, Android İşletim Sistemi, Raspberry Pi.

Abstract—Precision Agriculture combines control systems, electronics, computer, database and accounting information into an advanced system approach. The main purpose of Precision Agriculture practices in dairy cattle is to take advantage of the individual potential of animals and to provide early diagnosis of disease states, to reduce drug use. Many of the traditional systems are not compatible with information technologies, since they only measure and display milk quantities, furthermore, they can't store and gather this information. "Can Precision Agriculture practices be integrated with milking devices?" Based on this question, a system has been designed and developed in compliance with Precision Agriculture principles and requirements in the areas where traditional milk measurement devices are insufficient. In this system we designed, the data measured during milking is transferred to the Raspberry Pi device, which is configured as a server wirelessly via a microcontroller, then incoming data is recorded in MySQL database. A request is sent to the Raspberry Pi used as a server through the Android Volley library, while answered requests are transferred to the Android device. This data can be accessed both via Raspberry Pi and via smartphones or mobile devices with Android Operating System connected to the same network. As the data can be seen instantly during milking, the total milk amount and average milk temperature of one cow or more, within certain dates, can be filtered. All data is transferred to a file in a pdf format, and the necessary information for each cow can be obtained from there.

Index Terms—Precision Agriculture, Milking System, MQTT, Android OS, Raspberry Pi..

I. GİRİŞ [INTRODUCTION]

Hassas tarım kavramı ilk olarak 1980'li yıllarda ABD'de ortaya atılmıştır. Tarımsal faaliyetlerden meydana gelen çevre kirliliklerini çözme amacı taşır. Bilgi teknolojisinin gelişmesiyle birlikte hassas tarım

uygulamaları hızlı bir gelişme kaydetmiştir. Hassas tarım, kontrol, elektronik, bilgisayar ve veri tabanı ile hesap bilgisini bir araya getirerek gelişmiş bir sistem yaklaşımı ortaya koymaktadır [1-3].

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte süt sığırcılığı sektörü için de yeni fırsatlar doğmuştur. Süt sığırcılığında hassas tarım uygulamalarının temel amacı, hayvanların bireysel potansiyelinden yararlanmak ve hastalık durumlarında daha erken teşhis sağlamak, ilaç kullanımını azaltmak olarak tanımlanabilir [1].

Süt çiftliklerindeki kaynakların daha etkili kullanılması ve her bir süt ineğinin özelliklerini veriminin değerlendirilmesi amacıyla geleneksel süt sağım yöntemleri nedeniyle gelişmiş teknoloji ile entegre edilmiş sistemler kullanılmalıdır. Süt sağım cihazındaki sensörlerden elde edilen bilgiler işlenerek ortaya çıkan veriler ışığında yapılacak değerlendirmelerle sağılan süt daha iyi analiz edilebilecek ve süt kalitesinde artış meydana gelecektir. Ayrıca sağım ineklerinde ortaya çıkabilecek hastalıklar daha önceden tespit edilebilecektir [1-2].

Hassas tarım uygulamaları sağım cihazları ile entegre edilebilir mi? sorusundan yola çıkılarak geleneksel süt ölçümü yapan cihazların yetersiz kaldığı noktalarda, hassas tarım ilkelerine ve gerekliliklerine uygun bir sistem tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Geleneksel sistemlerin birçoğu bilişim teknolojileri ile takip edilemez, sadece anlık gelen süt miktarlarını ölçer ve gösterir. Ayrıca bu bilgileri depolayamaz ve bir araya getiremez. Bu çalışmanın amacı bu eksikleri gidermektir.

II. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Onur, S. sağım hayvanlarının tanımlanması ve bireysel süt verimlerinin takip edilebilmesi amacıyla —Süt ölçüm ve takip istasyonu için otomasyon yazılımı geliştirmel adlı projeyi yapmıştır. Elektronik temassız süt ölçer cihazı ile elde edilen veriler Wi-Fi aracılığıyla bir sunucuya aktarılmaktadır. Sunucu üzerinde geliştirilen web-tabanlı yazılım bu verileri işlemektedir. Onur, S. bu sistemde PHP, MySQL, JQuery gibi yazılım teknolojilerini kullanmıştır. Çalışma sonunda sistem sağım verilerini otomatik olarak kaydeder ve süt verimlerinin günlük, haftalık, aylık olarak izlenmesini sağlar.[4]



Şekil 1: Onur,S.'nin yaptığı Anlık Sağım Takip Ekranı.[4]

Aydın, Y. süt sağımındaki zorluklardan yola çıkarak, süt sağımının daha hijyenik yapılabilmesi için temassız bir ölçüm aleti tasarlamıştır. Sağımdan sonra sağım sisteminde bir miktar süt kalmasından dolayı kalan sütün yeni sağımdaki sütü bozmaması için temizliğinin iyi bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bunun için —Süt sağım üniteleri için temassız elektronik süt ölçer tasarımı adlı projeyi yapmıştır. Tasarlanan sistem sağım esnasında boru içerisinden geçen süt miktarını hesaplamaktadır. Ölçülen miktarlar bir kap içerisine yerleştirilen ekranda gösterilmiştir.[5]

Kaya, E. ve Örs, A. Yaptıkları, Süt Çiftliklerinde Hassas Tarım Teknolojileri adlı çalışmada süt çiftliklerde kullanılacak hassas tarım teknolojileri ile ilgili bilgiler vermişlerdir.

Teknolojik imkanlardan yararlanılarak bireysel olarak her süt ineğinin tüm potansiyelini keşfedilmesi gerekir. Böylece geleneksel yöntem olan sürü yönetimine göre daha verimli sonuçlar elde edilir. Kaya, E. ve Örs, A bu çalışmada hassas tarım özelliklerini ve yaygın kullanılan hassas süt çiftliği teknolojilerini incelemişlerdir.[2]

Uzmay,C., Kaya, İ., ve Tömek, B. Yaptıkları, Süt Sığırcılığında Hassas Sürü Yönetim Uygulamaları adlı çalışmalarında, süt sığırcılığında hassas sürü yönetim uygulamalarının amacını, kullanılan teknik ve teknolojileri(elektronik hayvan tanıma sistemleri, sağım sistemine entegre otomatik süt ölçüm sistemleri) ele almışlardır.[1]

Akıllı, A. ve Atıl, H. yaptıkları Süt Sığırcılığında Yapay Zeka Teknolojisi: Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağları adlı çalışmalarında, süt sığırcılığı ile ilgilenen yetiştirici ve araştırmacılara karar verme süreçlerinde kullanılan, bulanık mantıklı ve yapay sinir ağları yöntemlerini tanıtmışlardır. Süt sığırcılığı alanında kullanılan uygulamalara örnekler vermişlerdir.[6]

Özer, A.S., yaptığı Seyyar süt sağım makinesinin gömülü sistem otomasyonlu adlı çalışmasında, süt sığırcılığında en önemli kar payının yüksek kalitede ve miktarda sütün elde edilmesi olduğuna değinmiştir. Verimli sütün elde edilebilmesi ve süt sığırcılığı ile ilgili verilerin sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilmesi için gömülü sistem tasarımı geliştirmiştir.

Çalışmasında

- Özellikle pnömatik pulsatörlerde ortaya çıkan sorunların ortadan kaldırılması,
 - Sağım boyunca vakum düzenindeki dalgalanmaların giderilmesi ve çevresel faktörlerin etkilerinin azaltılması,
 - Sağım performansı, süt verimi ve meme sağlığı yönünden önemli olan nabız karakteristiklerini korunmasına yönelik birden fazla nabız aygıtını kontrol edebilmeye uygun, nabız aygıtı kontrol düzeni geliştirilmesi,
- sorunları ele alınmıştır.

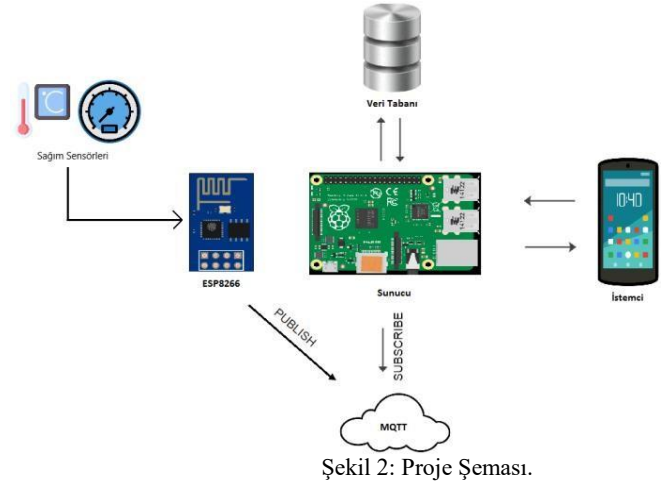
Çalışmanın sonucunda sağım inekleri hakkındaki her türlü bilgi anlık olarak izlenebilir ve kaydedilir. Bunun sonucunda geleceğe yönelik planlamaların yapılması başarıyla gerçekleştirilir. Proje, ana hedef 1-25 baş arasında süt üretimi yapan küçük ölçekli işletmeler olarak belirlenmiştir [7].

Çaylı, A., yaptığı —Nesnelerin İnterneti ve Tarımsal Uygulamaları adlı çalışmada, makineler arası iletişimin (M2M), nesnelere veri toplanmasına, analiz edilmesine ve karar destek sistemleri sayesinde karar vericileri yardımcı olmasına değinmiştir. Teknolojik sistemlerin tarımda kullanılması ile tarımda üretim artacak ve kolaylıklar sağlanacaktır. Ancak, teknolojinin getirdiği zorluklar, teknik bilgi yetersizliği, sistem maliyetleri, yeni teknolojilere karşı çekingenlik vb. durumlar nedeniyle bu sistemler yeterli ilgiyi görmemektedir. Çaylı, A. bu çalışmada nesnelerin interneti (IoT) ve tarımdaki uygulamaları ile karşılaşılan zorlukları ele almıştır.[8]

III. YÖNTEM [METHODS]

Ölçüm cihazındaki mikrodenetleyici kartına bağlanacak kablosuz haberleşme modülü (ESP8266), MQTT protokolü aracılığı ile verileri Raspberry Pi cihazına aktarır (Şekil 2). Veriler burada MySQL veri tabanına kaydedilir. Android Volley kütüphanesi aracılığıyla sunucu olarak kullanılan Raspberry Pi'ye istek yollar. Yanıtlanan istekler Android cihaza aktarılır. Bu verilere hem Raspberry Pi üzerinden hem de aynı ağa bağlı olan Android İşletim Sistemi bulunan akıllı telefonlardan erişilebilir (Şekil 3). Veriler sağım esnasında anlık olarak görülebileceği gibi, belirli tarihler arasında bir ya birden fazla ineye ait toplam süt miktarı ve ortalama süt sıcaklığı verileri filtrelenebilir. Bütün

veriler toplu halde olarak bir pdf formatında bir dosyaya aktarılır ve buradan her inek için gerekli bilgiler elde edilir.



Şekil 2: Proje Şeması.

A. Verilerin Sunucuya Aktarılması ve Kaydedilmesi

1) ESP8266 Wi-Fi Modülü

NodeMCU LoLin ESP8266 Geliştirme Kartı, üzerinde NodeMCU firmware yüklü ESP8266 Wi-Fi modül barındıran bir geliştirme kartıdır. NodeMCU LoLin ESP8266 Geliştirme Kartını programlamak için Arduino IDE kullanır. Burada ESP8266 için ESP8266WiFi kütüphanesi, MQTT için ise PubSubClient kütüphanesi Arduino'ya eklenmelidir. Süt sağım cihazındaki veriler ESP8266 kablosuz haberleşme modülü ile MQTT protokolüne uygun olarak Raspberry Pi cihazına gönderilir.

2) MQTT

Message Queuing Telemetry Transport yani MQTT mesajın karşı tarafa gönderilmesi için kullanılan bir haberleşme protokolüdür. Bu haberleşme trafiğini kontrol eden yöneticiye BROKER, mesaj yayınına PUBLISH ve bu mesaj yayınına abone olanlara SUBSCRIBE denmektedir.[9]

MQTT protokolünün seçilmesinin sebebi;

- asenkron (eşzamansız) çalışması,
- minimum kaynak tüketmesi,
- verileri çok hızlı bir şekilde iletmesi

Windows, Linux, MacOS, Android ve iOS sistemlerinde çalışabilmesidir [9]. Bu projede ESP8266 Wi-Fi modülü publis, Raspberry Pi ise broker ve subscribe özelliklerini üstlenir.

3) Raspberry Pi

Raspberry Pi, Raspberry Pi Vakfı tarafından geliştirilmiş kredi kartı büyüklüğünde tek kartlı bir cihazdır. Özgür yazılımlar kullanmakta ve Raspberry Pi OS yüklü olarak gelmektedir. Hem ufak boyutlu olup kolayca taşınabilmesi hem de ekonomik olması nedeniyle projede tercih edilmiştir.

Raspberry Pi, ESP8266 modülünden iletilen MQTT protokolüne uygun veriyi alır ve bir Python scripti yardımı ile veri tabanına kaydeder. Bu script MQTT verilerinin başarıyla alınmasını ve MySQL veri tabanına kaydedilmesini sağlar. Raspberry Pi üzerinde SSH protokolünün etkin olmasına dikkat edilmelidir. Raspberry Pi, Apache Web Sunucusu yardımıyla yerel ağda (localhost) bir sunucu görevi üstlenir. Apache Web Sunucusu, Apache Yazılım Vakfı tarafından geliştirilmiş açık kaynak kodlu özgür yazılımdır.

B. Android ile Sunucu Haberleşmesi

Android, Google ve Open Handset Alliance tarafından, mobil cihazlar için geliştirilmekte olan, Linux tabanlı özgür ve ücretsiz bir işletim sistemidir. Java ya da Kotlin yazılım dilleri kullanılarak Android Studio ortamında mobil uygulamalar geliştirilebilir.

PHP, sunucu tarafı çalışan çok amaçlı bir betik(script) programlama dilidir.

Android Volley, bir HTTP kütüphanesidir. Android uygulamalar için daha hızlı ve daha kolay ağ işlemleri yapılmasını sağlamaktadır. Bir sunucudan veri almak veya sunucuya veri yüklemek gibi işlemleri rahatlıkla yapmayı sağlar.[10]

Android Volley kütüphanesinin kullanılmasının sebebi;

- verileri asenkron (eş zamansız) olarak alması ve iletmesi,
- ağ isteklerini otomatik zamanlaması,
- aynı anda birden çok ağa bağlanabilmesi, istekleri öncelik sırasına koyması,
- özelleştirme imkanı sağlaması,
- JSON verilerine erişim, resim indirme veya yükleme, sunucu veritabanına veri kaydı yapma gibi birçok işlemi kolay bir şekilde yapmayı sağlamasıdır.[10]

Android İşletim Sistemi'ne sahip akıllı telefonlar, Android Volley Kütüphanesi yardımı ile Raspberry Pi

üzerinde çalışan sunucuya istekte bulunur. Sunucuya eklenmiş bulunan PHP scriptleri, Android tarafından gönderilen bu istekleri değerlendirir ilgili geri dönüşü yapar. İsteğe göre veri tabanındaki ilgili bilgiler Android'e gönderilir. Alınan bu veriler işlenerek görsel arayüzde kullanıcıya gösterilir.

Bu PHP scriptleri Raspberry Pi içinde /var/www/html/ dizini içerisine oluşturulacak bir klasörün içerisinde yer almalıdır.

Kullanıcı burada sağımı devam eden ineklerle ilgili ya da bir ineğin en son yapılan sağımda ne kadar süt verdiği, sütün ortalama sıcaklığı hakkındaki bilgileri edinir.

Belirli bir veya birden fazla inek için, belirli tarihler arasında olan toplam süt miktarı ve ortalama sıcaklık değerleri öğrenilebilir. Bu bilgiler bir rapor halinde kullanıcıya sunulur.

C. Sistem Limitleri

COVID-19 pandemisi nedeniyle sistem sağım cihazlarında test edilememiştir. ESP8266 sensörü, Arduino aracılığıyla kendi ürettiğimiz veriler ile gönderim yapmıştır.

4) Wi-Fi Sensörü ve Sunucu Etkileşimi Limitleri

• Kullanılan Raspberry Pi modeli: Raspberry Pi 4, 4GB RAM, 64 GB depolama.

• MQTT broker, her bir client/sensör için 5000 mesaj limitine sahiptir. Daha fazla mesaj geldiği zaman öncekilerin üstüne yazılır.

• MQTT, 131072 byte'lık mesaj boyutuna sahiptir.

• MQTT iletişiminin canlı kalması için 0 ile 3600 sn arasında istemciden istek almalıdır.

• ESP8266 sensörü, MQTT protokolüne uygun bir şekilde bir saniye aralıklarla 33 byte'lık string tipinde veri göndermiştir.

• Verilerin hepsi Raspberry Pi cihazı ile eksiksiz şekilde alınmıştır.

5) Sunucu ve İstemci (Android) Etkileşimi Limitleri
Maksimum bağlantı testi için aşağıdaki script kullanılmıştır:

```
max = 50
for((i = 1; i &lt;= $max; ++i))
do
curl -s -192.168.1.9/test_folder/test.phpl &amp;
done
```

Bu testin sonunda eşzamanlı olarak yapılan 30 bağlantı için stabil sonuçlar alınmıştır.

Bağlantı sayısı 50'ye çıkarıldığı zaman ise, sistem belleği darboğaz oluşturmuştur ve aşağıdaki çıktıyı

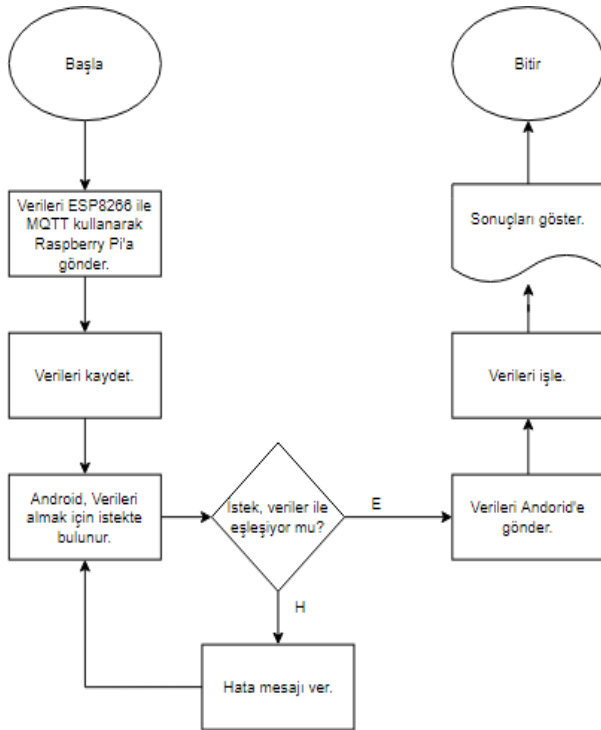
vermiştir:

pthread_create failed: couldn't mprotect PROT_NONE 4096-byte stack guard region: Out of memoryll.

Yapılan diğer stres testinde ise, oda sıcaklığında:

- Raspberry Pi kasa ile kapalıyken başlangıç durumunda 68 derece, %100 CPU kullanımında 82 derece sıcaklıklara ulaşmıştır.
- Raspberry Pi kasa ile açıkken başlangıç durumunda 65 derece, %100 CPU kullanımında 81 derece sıcaklıklara ulaşmıştır.
- Fanlı kasa ile başlangıç durumunda 43 derece, %100 CPU kullanımında 58 derece sıcaklıklara ulaşmıştır.

D. Algoritma Akış Diyagramı



Şekil 3: Algoritma Akış Diyagramı.

Şekil 3'de sistemin algoritması gösterilmektedir. ESP8266 modülü, MQTT protokolü aracılığı ile verileri Raspberry Pi cihazına aktarır. Veriler burada MySQL veri tabanına kaydedilir. Android Volley kütüphanesi aracılığıyla sunucu olarak kullanılan Raspberry Pi'ye istek yollar. Yanıtlanan istekler Android cihaza aktarılır. Sonuçlar uygulama arayüzünde gösterilir (Şekil 4-6).

IV. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME [CONCLUSION]

Raspberry Pi yardımı ile oldukça uygun bütçeli, taşınabilir ve az yer kaplayan bir sistem tasarlanmıştır. Raspberry Pi üzerinde çalışan Apache Web Sunucusu ile yerel ağda bir sunucu kurularak (localhost) aktif bir internet bağlantısına ihtiyaç duymadan ağa bağlı bütün Android akıllı telefonlardan takip edilebilecek bir sistem geliştirilmiştir.

Aktif olarak yapılan sağım görülebileceği gibi, en son gerçekleştirilen sağım ve belirli tarihler arasında yapılmış sağımların toplam süt miktarı ve ortalama sıcaklığı görüntülenebilir.

Mobil Sağım Takip Sistemi
Rapor Tarihi: 17-07-2020 18:29:05

Seçilen ID'ler: ID: 3, 4, 5, 7, 8,
Tarih: 1/1/2020 - 17/7/2020
Toplam Süt Miktarı: 376.400
Ortalama Süt Sıcaklığı: 33.8000

ID	Süt Miktar	Süt Sıcaklığı	Tarih
003	12.58	35.21	23.06.2020
004	52.68	33.21	23.06.2020
004	52.68	34.27	23.06.2020
004	52.68	34.05	23.06.2020
005	10	33.16	09.07.2020
007	12.58	33.29	17.07.2020
007	12.58	33.29	17.07.2020
007	12.58	33.29	17.07.2020
008	52.68	34.01	17.07.2020
008	52.68	34.01	17.07.2020
008	52.68	34.01	17.07.2020

Şekil 4: Sağım Raporları PDF Biçimi.

Şekil 4'de kullanıcı sağım bilgileri PDF biçimindeki rapor olarak görebilmektedir. Sağım ineğinin hangi tarihte ne kadar süt verdiğini ve sütün sıcaklığını tablo olarak görebilir. Üst bilgi olarak raporun oluşturulma tarihi, seçilen inek id'leri, seçilen tarih aralığı, toplam süt miktarı ve ortalama sıcaklık bilgileri gösterilmektedir.



Şekil 5: Son Yapılan Sağım Takip Ekranı.

Seçilen inek ID'si ile veri tabanına istekte bulunulur. Yanıtlanan istek uygulama arayüzü üstünde gösterilir (Şekil 5). Seçilen sağım ineğine ait son yapılan sağım tarihi, miktarı ve sıcaklığı olarak kullanıcıya gösterilir.



Şekil 6: Tarih Aralığına Göre Filtreleme.

Seçilen inek ID'leri ve tarih aralığı ile veri tabanına istekte bulunulur. Yanıtlanan istek uygulama arayüzü üstünde gösterilir(Şekil 6).

Sağım tarih aralığı, toplam sağılan süt miktarı ve ortalama süt sıcaklığı bilgileri uygulama arayüzüne aktarılır ve kullanıcıya gösterilir. PDF'e Aktar butonuna tıklanarak şekil 4'teki gibi raporlanır.

Gelecekte yapılacak çalışmalar için, veri tabanı belirli aralıklarla internet ortamında yedeklenebilir. Süt sağımı yapan cihazların gelişmişliğine bağlı olarak elde edilen diğer bilgiler (süt yağ oranı, protein miktarı vb) ile daha ayrıntılı analizler yapılabilir. iOS cihazlar için mobil uygulama geliştirilebilir.



TEŞEKKÜR [ACKNOWLEDGMENT]

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı 2019/2 dönemi, 1919B011904096 proje numarası ile desteklenmiştir. Konu önerisinde bulunan Bandırma Onyedü Eylül Üniversitesi, Gönen MYO Öğr. Gör. Mustafa TAŞCI'ya, yardımlarından dolayı Bilg.Müh. Çağrı KALAY'a ve TÜBİTAK'a destekleri için teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR [REFERENCES]

- [1]. Uzman, C., Kaya, İ., Tömek, B.. (2010), Süt Sığırcılığında Hassas Sürü Yönetim Uygulamaları, Hayvansal Üretim , 51 (2) , 50-58
- [2]. Kaya, E., Örs, A. Süt Çiftliklerinde Hassas Tarım Teknolojileri, 2. Uluslararası Tarım, Gıda ve Gastronomi Kongresi (2 – 5 Eylül 2015), Diyarbakır
- [3]. Hassas Tarım Nedir? Tarnet <https://www.tarnet.com.tr/blog/nedir/hassas-tarim> Son erişim tarihi: 11 Ekim 2019
- [4]. Onur, S., Süt ölçüm ve takip istasyonu için otomasyon yazılımı geliştirme. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi.) Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.
- [5]. Aydın Y., Süt sağım üniteleri için temassız elektronik süt ölçer tasarımı. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.
- [6]. Akıllı, A , Atıl, H . (2014). Süt Sığırcılığında Yapay Zeka Teknolojisi: Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağları Hayvansal Üretim, 55 (1), 39-45. DOI: 10.29185/hayuretim.363911
- [7]. Özer, A. S. (2014). Seyyar süt sağım makinesinin gömülü sistem ile otomasyonul, Selçuk Üniversitesi, Yayımlanmış yüksek lisans tezi, Konya.
- [8]. Çaylı A., Nesnelerin İnterneti ve Tarımsal Uygulamaları, ISAS 2019, Ankara, Turkey
- [9]. Turan, E.B., MQTT Nedir? IoT ile Bağlantısı Nedir? <https://www.ebi.com.tr/blog/mqtt-nedir-iot-ile-baglantisinidir> Son erişim tarihi: 9 Ağustos 2017
- [10]. Özel, H., Android Volley Kullanımı Halil Özel <https://medium.com/@halilozel1903/android-volley-kullanimi-8ee56b6762f>, Son erişim tarihi: 28 Mart 2020



ARAŞTIRMA MAKALESİ | RESEARCH ARTICLE

MEMS Tabanlı Bir Mikroakışkan Kanaldaki Mikro Kirişin Sonlu Elemanlar Analizi

*  Ishak ERTUGRUL

*Muş Alparslan Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Mekatronik Bölümü, Muş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding author: i.ertugrul@alparslan.edu.tr
İ. Ertugrul, orcid.org/0000-0001-9586-0377

Geliş Tarihi /Received Date
Kabul Tarihi /Accepted Date
Yayın Tarihi / Published Date

17 Kasım 2020
27 Kasım 2020
21 Aralık 2020

Alıntı / Citation :

Ertugrul, I. (2020). *Finite Element Analysis of Beam in a MEMS-Based Microfluidic Channel*, Journal of Scientific Technology and Engineering Research, 1(2):40-44. Doi: 10.5281/zenodo.4289264

Finite Element Analysis of Micro Beam in a MEMS-Based Microfluidic Channel

Özet

Bir mikro kirişin fiziksel özelliklerinin, kirişin içerisine daldırıldığı sıvıya ve mikro kanallara büyük ölçüde bağlı olduğu iyi bilinmektedir. Bu çalışmada, MEMS (Mikro Elektro-Mekanik Sistemler) tabanlı mikroakışkan kanal içerisindeki mikro kirişin sonlu elemanlar analizleri ayrıntılı bir şekilde yapılması amaçlanmıştır. Bu analizler von Mises gerilimi, basınç miktarları, hareket sırasında oluşan hızlar ve yer değiştirmeleri kapsamaktadır. Kiriş için Euler-Bernoulli denklemi kullanılarak akışkan içinde sabit bir mikro kiriş modellenerek analizi yapılmıştır. Kararsız Stokes denklemleri, mikro kiriş kesitlerini içeren iki boyutlu bir düzlemde bir Helmholtz ayrıştırma tekniği kullanılarak çözülmektedir. Comsol Multiphysics yazılım sonuçlarını kullanan sonlu elemanlar yöntemi, doğrulama için mevcut yöntemle karşılaştırılmış ve aralarında kabul edilebilir bir eşleşme elde edilmiştir. Basınç, hız ve yer değiştirme analizleri tüm sınır koşulları sağlanarak oluşturulmuştur. Mevcut formülasyonun, sorunu iyi bir doğrulukla çözmek için uygun ve yeni bir yaklaşım olduğu gösterilmiştir. Sonuç olarak çalışmada, yoğunluk, viskozite ve mikroakışkan sensörlerinin tasarımında ve yorumlanmasında kullanılacak teorik bir model sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mikro Kiriş, Mikroakışkan, MEMS, Comsol.

Abstract

It is well known that the physical properties of a micro beam are largely dependent on the fluid and micro channels in which the beam is immersed. In this study, the finite element analysis of the micro beam within the microfluidic channel based on MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) is aimed to be made in detail. These analyzes include von Mises stress, pressure quantities, velocities, and displacements during movement. Using the Euler-Bernoulli equation for the beam, a micro-beam fixed in a fluid is modeled and analyzed. Unstable Stokes equations are solved using a Helmholtz decomposition technique in a two-dimensional plane containing micro-beam sections. The finite element method using the Comsol Multiphysics software results is compared with the current validation method, and an acceptable match is obtained between them. Pressure, velocity, and displacement analyzes were created by ensuring all boundary conditions. The current formulation has been shown to be a suitable and novel approach to solve the problem with good accuracy. As a result, a theoretical model is provided that can be used in the design and interpretation of density, viscosity, and microfluidic sensors.

Keywords: Micro Beam, Microfluidic, MEMS, Comsol.

I. GİRİŞ [INTRODUCTION]

Farklı koşullara sahip mikro kirişler, birçok mikro cihazın temel bileşenlerini oluşturmaktadır. Mikro rezonatörler, mikro anahtarlar, mikro jiroskoplar ve ivmeölçerler bunlardan bazılarıdır [1-3]. Bu tür cihazlar mikro kirişin piezoelektrik veya elektrostatik kuvvetler tarafından çalıştırıldığı örneklerdendir.

Mikro-densitometreler, mikro biyosensörler, mikro-viskozite ölçerler ve mikro-rezonatörler gibi bazı durumlarda çalışan mikro kirişi bir sıvı ortamına daldırabilmektedir. Mikro kiriş bir gaz ortamında çalıştığında, çevreleyen gazın eklenen sönümlenme ve sertlik etkilerinin ortaya çıktığı ve cihazların performansını önemli ölçüde değiştirebileceği gösterilmiştir [4]. Bununla birlikte, bazı cihazlarda mikro kiriş bir sıvıyla çevrelenmiş olabilir. Bu durumlarda, sönümlenme etkilerine ek olarak, çevreleyen sıvı, mikro-elektro-mekanik sistem cihazın dinamik analizinde önemli olan, eklenen kütle olarak karakterize edilen bir reaksiyon kuvveti uygular.

Mikro yapılar için sıvı viskozitesi, frekans tepkilerini büyük ölçüde etkileyebilir. [5], özellikle otomatik kuvvet mikroskobu uygulamaları ile ilgili olan, bükülme titreşimlerine maruz kalan ve viskoz sıvılara daldırılan konsol kirişlerin frekans tepkisi için titiz bir teorik model sunmuştur. Mikro ışınların frekans analizine ilişkin bilgi ve anlayış, otomatik kuvvet mikroskobu uygulamasında temel pratik öneme sahiptir.

Klasik bir akış modeli, akışkan bir nesneden geçerken oluşabilen von Kármán vorteks girdabıdır. Bu girdaplar nesnede titreşimlere neden olabilir. Bu problem, büyük deformasyonun akış yolunu etkilediği bir akışkan-yapı etkileşimini içerir. Yapının çevresinde akışkanın oluşturduğu salınımın büyüklüğü ve frekansları hesaplanarak Turek ve Horn tarafından önerilen değerlerle karşılaştırılır [5]. Bir mikro ışının frekans analizi, içine daldırıldığı sıvının özelliklerinden önemli ölçüde etkilenebilir. Vakumda doğal frekansların hesaplanması rutin olarak gerçekleştirilebilirken, sıvıya daldırmanın etkilerinin analizi zorlu bir zorluk teşkil eder. Daldırılmış bir mikro ışının modal tepkisi, sıvının özelliklerinden önemli ölçüde etkilenebilir. Sıvı yapı etkileşimi nedeniyle eklenen kütle etkisi, ancak, doğal frekanslarda önemli değişikliklere neden olabilir. Bu viskoz akışkan yapı bağlantısının bilgisi ve anlaşılması şu anda eksiktir.

Son yıllarda, makro ve mikro yapılarda etkileşen sıvıların ilave kütle etkilerini araştıran bir dizi makale yayınlandı. Esmailzadeh ve ark. sıvı içeren veya sıvıya daldırılmış yapısal elemanların serbest titreşim frekanslarını üretmiştir. Yapı üzerindeki hidrodinamik sıvı basıncını hesaplamak için potansiyel bir işlev kullandılar [5]. Liang ve ark. ampirik olarak eklenen

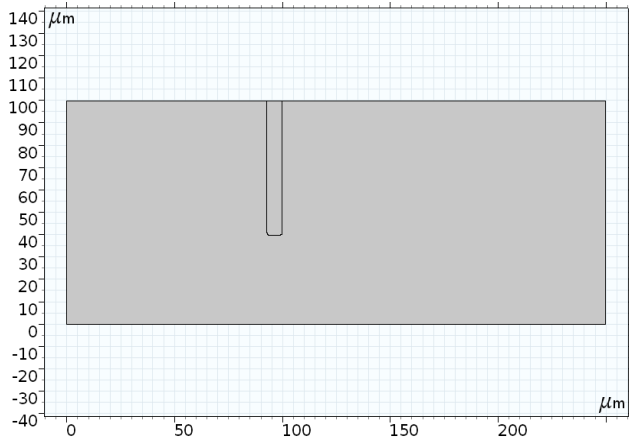
bir kütle kullanarak daldırılmış konsol plakaların serbest titreşimini araştırdı. Suya batırılmış plakaların farklı görünüş oranları ve kalınlıkları için titreşim özelliklerini çıkardılar [6]. Lindholm ve ark. dikdörtgen plakaların havada ve sudaki doğal frekanslarını değerlendirmek için çeşitli deneyler yaptılar [7]. Ergin ve ark. kısmen daldırılmış bir konsol plakasını analiz etmek için bir görüntü yöntemiyle sınır ögesi yöntemini kullandı. Farklı batık oranları için sonuçları çıkardılar ve yöntemin daha yüksek frekanslar için daha doğru olduğunu gösterdiler [8]. Gorman ve ark. bir dirseklili mikro-kiriş ile sıkıştırılabilir bir akışkan arasındaki güçlü bir bağlantı durumunu inceledi ve kuru kiriş frekanslarını ıslak kiriş frekanslarından elde etmeyi başardılar [9]. Ertugrul ve ark. [10] bir mikroakışkan çip tasarlayıp analiz ettikten sonra trombositleri Kırmızı Kan Hücrelerinden ayırmak için optimizasyon teknikleri geliştirmeyi amaçlamıştır. Atkinson ve de Lara [11], temas eden sıvının viskozitesini hesaba katarak sıvı basıncı için basitleştirilmiş bir analitik ifade kullanarak plakanın frekans yanıtını elde ettiler. Jeong [12], fourier serisi genişlemesi ve Rayleigh-Ritz yöntemini kullanan sıkıştırılabilir, viskoz olmayan bir sıvı ile birleştirilen iki özdeş dairesel plakanın doğal frekanslarını teorik olarak inceledi. Daha sonra, sıvının sıkıştırılabirliğini birleştirilmiş halka şeklindeki plakalar için hesaplamalara dâhil etti ve sıkıştırılabirliğin faz dışı modlar üzerinde faz içi modlardan daha fazla etkiye sahip olduğu sonucuna vardı. Jeong ve ark. [12], iki özdeş dikdörtgen plakanın birleştirilmiş frekanslarını değerlendirmek için aynı yaklaşımı kullandı. Mikro yapılardaki uygulamalarla ilgili Rezazadeh ve ark. [13] elektrostatik olarak çalıştırılan mikro kirişler üzerindeki sıvı yükünü araştırmış ve sabit sıvı basıncına bağlı olarak doğal frekansları ve eklenen kütleleri üretmiştir. Deneysel bir çalışmada, Harrison ve ark. [14], bir sıvıya batırılmış mikro fabrikasyonla bir rezonans plakası üzerindeki yakın bir katı duvarın etkisini inceledi. Sıvının etkilerini ilave bir kütle olarak modellediler ve sönümlenme eklediler ve sistemin frekans tepkisini incelediler.

Bu çalışmada, sınırlı sıkıştırılabir ve viskoz olmayan bir sıvı alanı ile çevrili bir mikroakışkan içerisindeki kirişin basınç, hız ve yerdeğiştirme analizleri incelenmiştir. Analiz, kiriş-akışkan ara yüzü ve bir hayali akışkan ara yüzünde eşit kinematik koşulların varsayımına dayanmaktadır. Kiriş ve sıvı titreşimi için doğrusal olarak üst üste binen mod şekilleri kullanılır

ve öz değer probleminde yol açan yönetim denklemlerini türetmek için Galerkin'in yöntemi kullanılır. Bağlantılı sistemin doğal frekansları, kiriş ve sıvının farklı geometrik ve malzeme özellikleri için gösterilmiştir. Bu çalışmanın motivasyonu, yoğunluk ve viskozite sensörlerinin tasarımında ve yorumlanmasında kullanılabilecek teorik bir model sağlamaktır.

II. MODEL TANIMLAMA [MODEL DEFINITION]

Model geometrisi, aşağıda Şekil 1'de gösterildiği gibi akışkan akışlı bir kanal içindeki bir yapıdan oluşur. Mikroakışkanın alanı 250 μm uzunluğunda ve 100 μm yüksekliğinde bir kanaldır. Mikro kiriş ise elastik malzemeden yapılmış 60 μm 'ye 7 μm 'lik dikdörtgen bir kiriştir.



Şekil 1. Katı ve akışkan alanları içeren model geometrisi

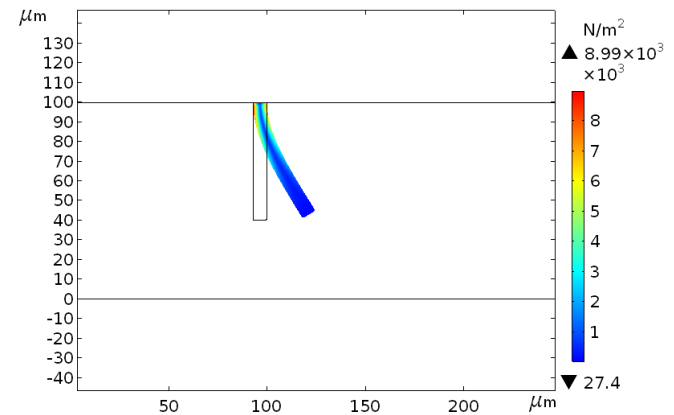
Akışkan, kanala soldan 0.065 m/s'lik bir ortalama hız ile girer ve giriş hız profilinin tam olarak geliştiği varsayılır. Giriş sınırı katı yapıya çok yakın olduğundan, giriş hızı koşulunun akış modelini etkilemesi beklenebilir. Böyle bir etkiden kaçınmak için giriş sınırı ile katı yapı arasındaki mesafenin artırılması gerekebilir. Karşılaştırma amacıyla, bu modeldeki geometri referans belgesinde olduğu gibi sabit değerde tutulur. Akışkan ve katı özellikler aşağıdaki tabloda gösterilmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Akışkan ve Katı Malzeme Özellikleri

Parametre	Değer
sıvı yoğunluğu	1003 kg/m ³
dinamik viskozite	0.001 Pa.s
young's modülü	200 kPa
poisson oranı	0.4

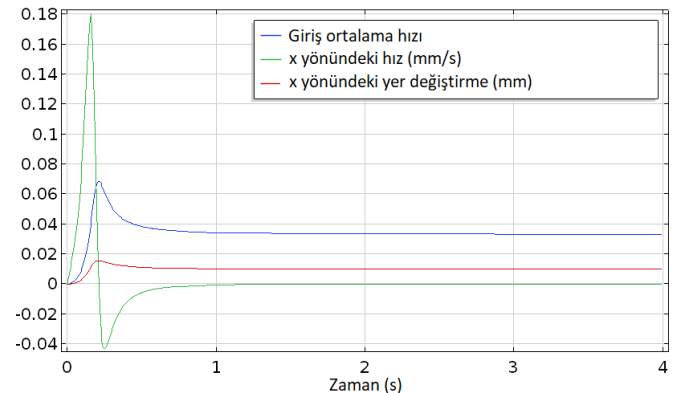
III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA [RESULTS AND DISCUSSION]

Bu bölümde analizler neticesinde elde edilen sonuçlar verilmiştir. Gerçekleştirilen bütün analizler COMSOL programı kullanılarak yapılmıştır. Farklı zamanlarda deforme olmuş yapı üzerindeki yapıdaki von Mises gerilimi Şekil 2'de gösterilmiştir. Yapının ötesinde, önemli ölçüde deforme olan ve akış alanını etkileyen von Kármán girdabına dikkat edilmesi gerekmektedir. Mikro kiriş üzerindeki maksimum von Mises gerilimi $8.99 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ olduğu görülmüştür.



Şekil 2. Mikrokanaldaki von Mises gerilimi

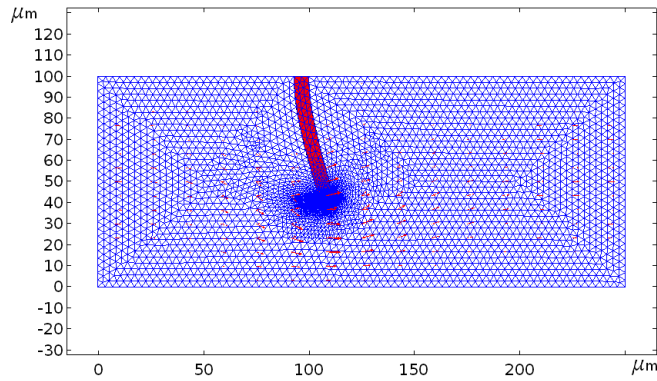
Şekil 3'de ise mikro kirişin x yönündeki yer değiştirmesi ve hızları gösterilmiştir. Mikro kirişin x yönündeki maksimum yer değiştirmesi 0.01 mm, x yönündeki maksimum hızı 0.17 mm/s ve sıvının ortalama giriş hızı da 0.065 mm/s olarak elde edilmiştir.



Şekil 3. Zamana göre akış hızları ve yer değiştirme

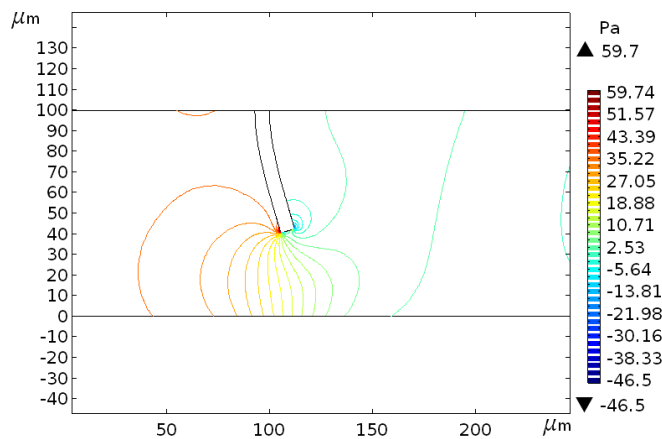
Şekil 4'te akışkan sıvının mikro kiriş üzerindeki deformasyon yönleri gösterilmiştir. Sıvı akış yönü şekilden de görüleceği üzere soldan sağa doğrudur. Okların yoğunluğunun en çok kirişin uç bölgesinin altında olması en fazla deformasyonun bu bölgede

olduğunu göstermektedir.



Şekil 4. Akışkanın oluşturduğu deformasyon yönü

Son olarak kırığin akışkan içerisinde meydana getirdiği basınç Şekil 5'teki gibi ölçülmüştür. Yapılan incelemeler sonucunda maksimum basınç kırığin ucunda olup 59.7 Pa olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 5. Akışkan kanal ve kırışteki basınç ölçümü

IV. SONUÇ [CONCLUSION]

Bu makale, viskoz bir sıvıya batırılmış mikro kırığin davranışını anlamak için modellemesi yapılarak analizleri ayrıntılı bir biçimde gerçekleştirilmiştir. Mevcut modelin geçerliliği analizler sonucunda sağlam bir biçimde doğrulanmıştır. Bu analizler von Mises gerilimi, hareket sırasında oluşan hızlar ve yer değiştirmeleri ve basınç miktarlarını kapsamaktadır. Mikro kırığin üzerindeki maksimum von Mises gerilimi $8.99 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ olmuştur. Mikro kırığin x yönündeki maksimum yer değiştirmesi 0.01 mm ve maksimum hızı da 0.17 mm/s olarak elde edilmiştir. Mikro sistemdeki maksimum basınç kırığin ucunda olup 59.7 Pa olduğu anlaşılmıştır.

Önerilen yöntemin ana uygulaması, viskoz malzemelerin reolojik özelliklerinin karakterizasyonu dur. Ek olarak, çalışma karmaşık mühendislik tasarım

problemleri için optimizasyon aracı için daha da genişletilebilir.

Çıkar Çatışması / Ortak Çıkar Beyanı

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması veya ortak çıkar beyan edilmemiştir.

Etik Kurul Onay Beyanı

Yazarlar bu makalenin etik kurul onayı veya herhangi bir özel izin gerektirmediğini beyan ederler.

Araştırma ve Yayın Etiği Bildirgesi

Makalenin yazarları, makalenin tüm süreçlerinde JSTER'nin bilimsel, etik ve alıntı kurallarına uyduklarını ve toplanan veriler üzerinde herhangi bir tahrifat yapmadıklarını beyan ederler.

KAYNAKLAR [REFERENCES]

- [1] Butz, B., Dolle, C., Halbig, C. E., Spiecker, E., Eigler, S., "Highly Intact and Pure Oxo Functionalized Graphene: Synthesis and Electron Beam Induced Reduction", *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 55, no. 51, 15771-15774, 2016.
- [2] Ülker, O., Ertugrul, İ., "Mikro Kiriş Uzunluğu Değişiminin Deformasyona Etkisinin Araştırılması", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 18, 136-141, 2020.
- [3] Vahdat, A. S., Rezazadeh, G. "Effects of axial and residual stresses on thermoelastic damping in capacitive micro-beam resonators", *Journal of the Franklin Institute*, vol. 348, no. 4, 622-639, 2011.
- [4] Turek, S., Hron, J., "Proposal for numerical benchmarking of fluid-structure interaction between an elastic object and laminar incompressible flow", In *Fluid-structure interaction*. Springer, Berlin, Heidelberg, 371-385, 2006.
- [5] Esmailza.deh, M., Lakis, A.A., Thomas, M., Marcouiller, L., "Three-dimensional modeling of curved structures containing and/or submerged in fluid", *Finite Elem. Anal. Des.* Vol. 44, 334-345, 2008.
- [6] Liang, C.C., Liao, C.C., Tai, Y.S., Lai, W.H., "The free vibration analysis of submerged cantilever plates", *Ocean Eng.* Vol. 28, no. 9, 1225-1245, 2001.
- [7] Lindholm, U.S., Kana, D.D., Chu, W.H., Abramson, H.N., "Elastic vibration characteristics of cantilever plates in water", *J. Ship Res.* Vol. 9, 11-12, 1965.
- [8] Ergin, A., Ugurlu, B.: Linear vibration analysis of cantilever plates partially submerged in fluid. *J. Fluids Struct.* 17(7), 927-939 (2003)
- [9] Gorman, D.G., Trendafilova, I., Mulholland, A.J., Horacek, J., "Analytical modeling and extraction of the modal behavior of a cantilever beam in fluid interaction", *J. Sound Vib.* Vol. 308, 231-245, 2007.
- [10] Ertugrul, I., Ulker, O., "Dielectrophoretic separation of platelet cells in a microfluidic channel and optimization with



fuzzy logic”, RSC Advances, vol. 10, no. 56, 33731-33738, 2020.

[11] Atkinson, C., Manrique de Lara, M., “The frequency response of a rectangular cantilever plate vibrating in a viscous fluid”, J. Sound Vib. vol. 300, 352–367, 2007.

[12] Jeong, K.-H., “Hydroelastic vibration of two annular plates coupled with abounded compressible fluid”, J. Fluids Struct. vol. 22, no. 8, 1079–1096, 2006.

[13] Rezazadeh, G., Fathalilou, M., Shabani, R., Tarverdilo, S., Talebian, S., “Dynamic characteristics and forced response of an electrostatically-actuated microbeam subjected to fluid loading”, Microsyst. Technol., vol. 15, 1355–1363, 2009.

[14] Harrison, C., Tavernier, E., Vancauwenberghe, O., Donzier, E., Hsu, K., Goodwin, A.R.H., Marty, F., Mercier, B., “On the response of a resonating plate in a liquid near a solid wall”, Sens. Actuators A vol. 134, 414–426, 2007.



Ishak ERTUGRUL was born in Diyarbakir, Turkey in 1986. He received the M.S. degree in mechatronics engineering from the Marmara University, Istanbul, in 2015, the Ph.D. degree in mechatronics engineering from Marmara University, Istanbul, in 2019. From 2012 to 2019, he was a Research Assistant with the Marmara University. Since 2019, he has been an Assistant Professor with the Mechatronics Department, Muş Alparslan University. His research interests include MEMS, NEMS and Microsystem.



JSTER

JOURNAL OF SCIENTIFIC, TECHNOLOGY AND ENGINEERING RESEARCH

Bilim, Teknoloji ve Mühendislik Araştırmaları Dergisi

ISSN: 2717-8404

REVIEWERS LIST

Volume 1. Issue 1.

ADI SOYADI / Name Surname	E-POSTA ADRESİ / e-mail address	İNCELENEN MAKALE SAYISI / Number of Reviewed Article
Ayhan İSTANBULLU	iaihan@balikesir.edu.tr	1
Şükrü KİTİŞ	sukru.kitis@dpu.edu.tr	1
Ali KARA	ali.kara@atilim.edu.tr	1
Nevra BAYHAN	nevra@istanbul.edu.tr	2
Murat TUNA	murat.tuna@klu.edu.tr	2
Aysel ERSOY	aersoy@istanbul.edu.tr	1
Sedat BALLIKAYA	ballikaya@istanbul.edu.tr	3
Hasan TİRYAKİ	hasan.tiryaki@istanbul.edu.tr	1

Volume 1. Issue 2.

ADI SOYADI / Name Surname	E-POSTA ADRESİ / e-mail address	İNCELENEN MAKALE SAYISI / Number of Reviewed Article
Ali KARA	ali.kara@atilim.edu.tr	1
Aykut Görkem GELEN	aykut.gelen@erzincan.edu.tr	1
Ebuzer Aygöl	ebuzer.aygul@marmara.edu.tr	1
Hakan TORA	hakan.tora@atilim.edu.tr	1
İlhan AYDIN	iahdin@firat.edu.tr	1
Hasan TİRYAKİ	hasan.tiryaki@istanbul.edu.tr	1
Mehmet SONMEZ	mehmetsonmez@osmaniye.edu.tr	1
Metin VARAN	mvaran@sakarya.edu.tr	1
Muhsin Uğur DOĞAN	muhsinugurdogan@ibu.edu.tr	1
Mücahid BARSTUĞAN	mbarstugan@ktun.edu.tr	1
Osman ÜLKİR	o.ulkir@alparslan.edu.tr	1
Şükrü KİTİŞ	sukru.kitis@dpu.edu.tr	2
Yalçın BULUT	ybulut@matriseb.com	1

We thank them for their contribution to our journal during the article evaluation process.



<https://dergipark.org.tr/tr/pub/jster>

e-mail : jster.editor@gmail.com / mehmetbulut06@gmail.com