



# Canlı Dokularda Titreşim Etkisinin Ölçümü İçin Yeni Bir Sistem Tasarımı

## A New System Design for Measuring Vibration Effect in Live Tissues

Mehmet Ümit AK  
Elektrik – Elektronik  
Müh. A.B.D.  
Akdeniz Üniversitesi  
Antalya, Türkiye  
[mehmetumitak@gmail.com](mailto:mehmetumitak@gmail.com)

Süleyman BİLGİN  
Elektrik – Elektronik  
Müh. A.B.D.  
Akdeniz Üniversitesi  
Antalya, Türkiye  
[suleymanbilgin@akdeniz.edu.tr](mailto:suleymanbilgin@akdeniz.edu.tr)

Okan ORAL  
Mekatronik Mühendisliği  
A.B.D.  
Akdeniz Üniversitesi  
Antalya, Türkiye  
[okan@akdeniz.edu.tr](mailto:okan@akdeniz.edu.tr)

Egehan ÇETİN  
Elektrik – Elektronik  
Müh. A.B.D.  
Akdeniz Üniversitesi  
Antalya, Türkiye  
[egehancetin@gmail.com](mailto:egehancetin@gmail.com)

H.Feza CARLAK  
Elektrik – Elektronik Müh. A.B.D.  
Akdeniz Üniversitesi  
Antalya, Türkiye  
[fezacarlak@akdeniz.edu.tr](mailto:fezacarlak@akdeniz.edu.tr)

Alper Tunga DERİN  
Kulak Burun Boğaz A.B.D.  
Akdeniz Üniversitesi  
Antalya, Türkiye  
[alperderin@akdeniz.edu.tr](mailto:alperderin@akdeniz.edu.tr)

Narin DERİN  
Biyofizik A.B.D.  
Akdeniz Üniversitesi  
Antalya, Türkiye  
[narinderin@akdeniz.edu.tr](mailto:narinderin@akdeniz.edu.tr)

**Özetçe**— Farklı kişilere ait dokuların, farklı karakteristikler taşıdığı yorumu yapılabilmesi amacıyla araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar genellikle titreşim sinyalleri temel alınarak gerçekleştirilmiştir. Literatürdeki çalışmalarda genellikle konuşma esnasında ses tellerinde ortaya çıkan titreşim sinyalleri incelenmiştir. Ancak herhangi bir titreşim kaynağı uygulanarak kaydedilen titreşim sinyalleri üzerine bir çalışmaya rastlanmamıştır. Sabit bir frekansa sahip olan titreşim kaynağının dokular üzerinde oluşturduğu frekans karakteristiklerinin incelenmesi, gerek doku hakkında bilgi ve gerekse buna bağlı hastalıkların araştırılabilmesi için büyük önem arz etmektedir.

Yapılan çalışmada, insan yüzü üzerinde belirlenen canlı dokulara, sabit bir frekansta titreşim uygulayan titreşim kaynağına belirli mesafelerden alınan titreşim sinyallerinin ölçülmesini ve bu titreşim sinyallerinin analizini sağlayan kullanıcı arayüzü tasarlanması amaçlanmıştır. Donanımın ilk kısmı titreşim sağlayan bir motor ve sürücü kısmından oluşmaktadır. Diğer bir kısmı ise, yüz bölgesinin belirli noktalarında titreşimlerin algılanmasını sağlayan MEMs yapıda ivmeölçer sensörleri ve sürücüleri içermektedir. Donanımın kontrolü ise, mikrodenetleyici tabanlı modül ile gerçekleştirilmektedir. Tasarlanan bu cihaz yardımıyla, ilerleyen çalışmalarda canlı dokulardan alınan titreşim sinyallerinin ilgili dokuların yumuşak ve sertlik yorumuna yardımcı olabileceği ve bununla birlikte ilgili dokulara ait vücut iletkenliği yorumunun yapılabileceği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler** — insan dokusu; titreşim sinyali; ivmeölçer sensör; güç spektrali.

**Abstract**— Different researches have been conducted in order to make the interpretation of tissues belonging to different individuals carrying different characteristics. These investigations are generally based on vibration signals. In the studies in the literature, the vibration signals that usually appear in the vocal cords during speech are examined. However, there is no study on vibration signals recorded by applying any vibration source. The investigation of the frequency characteristics of the vibration source which has a fixed frequency on the tissues is of great importance both for the information about the tissue and the investigation of the related diseases.

In this study, it is aimed to design the user interface to measure the vibration signals taken from certain distances to the vibration source applying vibration at a constant frequency to the living tissues determined on the human face and to analyze these vibration signals. The first part of the equipment consists of a motor and a drive part that provides vibration. Another part consists of accelerometer sensors and drives in MEMs structure which enable the detection of vibrations at certain points of the face region. The control of the hardware is carried out with a microcontroller-based module. With the help of this designed device, it is thought that vibration signals from living tissues can help soft and hardness interpretation of related tissues and body conductivity interpretation of related tissues can be done in future studies.

**Keywords** — human tissue; vibration signal; accelerometer sensor; power spektral.

## I. GİRİŞ

İnsan vücudundaki dokuların farklı karakteristikler gösterdikleri ve bu farklılıkların yorumlanması amacıyla çeşitli çalışmalar yapıldığı bilinmektedir. Bu çalışmalarda kişiler üzerinden alınan titreşim sinyallerinden yararlanılmış ve çeşitli hastalık tiplerinin tespitine yardımcı olabileceği sonucuna varılmıştır [1]. Yapılan araştırmalarda, genellikle konuşma esnasında ses tellerinde ortaya çıkan titreşim sinyalleri incelendiği, insan vücudu üzerine bir titreşim kaynağı uygulanarak kaydedilen titreşim sinyalleri üzerine bir çalışmaya rastlanmamıştır [1-5]. Chen vd. yapılan çalışmada, rezonanslı (yüksek frekanslı ve yankılı) ses üretimi sırasında ses eğitiminin yüz kemik titreşimini artırıp artırmayacağını araştırmıştır. Piezoelektrik ivmeölçer ile eğitim sonrasında ve konuşma esnasında yüzdeki titreşim seviyesini ölçmüşler ve sesteki titreşimlerin kıyaslamasını yapmışlardır [2]. Titreşim sinyallerinden yola çıkarak, nazal kaynaklı hastalıkların modellenmesinin yanı sıra uyku apnesi hastalığı teşhisine yardımcı olabileceği ortaya konulmaktadır [3]. Rendon vd. yaptıkları çalışmada uyku apnesinin teşhisinde kullanılabilecek önemli sinyalleri saptamak için boyun ve göğüs bölgesindeki titreşimleri bir ivmeölçerle ölçmüşlerdir. Aldıkları sinyalleri ise gelişmiş bir analiz programı ile yorumlayarak titreşim haritasını oluşturarak uyku apnesinin teşhisini amaçlamışlardır [6].

Titreşim kaynaklarının farklı insan dokularına etkilerini de açıklamak mümkün olabilmektedir [7,8]. Dong vd. yaptıkları çalışmada, insan parmak-el-kol sistemindeki titreşim enerjisinin emiliminin dağılımını incelemek için VEA isimli bir sistem önermişlerdir [9]. Balbinot, çalışmasında insan titreşimini ölçmek için ZigBee ağına entegre bir sistemin geliştirilmesini önermiştir. Geliştirilen sistem yaklaşık 40 Hz 'lik insan titreşimlerini üç eksenle ayırmaya olanak sağlamıştır. Traktör, kazma makinesi gibi makinelerde çalışan işçilerde titreşimin sırt ağrılarının oluşmasına katkıda bulunabileceğini göstermişlerdir [10]. Bourke vd. yaptıkları çalışmada yaşlı kişilerin gövde ve uyluk bölgelerine monte ettikleri üç eksenli ivmeölçer sensörlerinden aldıkları sinyalleri incelemişlerdir. Bu sinyaller sayesinde, oluşturdukları taklit düşme biçimlerini yorumlamışlardır. Aynı kişilere çeşitli eğitimler vererek, eğitim sonrasındaki düşme biçimlerini de değerlendirerek, verdikleri eğitimin başarısını görmeyi amaçlamışlardır [11]. Zhang vd. yaptıkları çalışmada motosiklet üzerindeki kişilerin maruz kaldığı titreşimlerin analizini gerçekleştirmişlerdir. Bu titreşimlerin insan sağlığına olan zararları üzerinde durmuşlar ve sağlığı etkileyen titreşim seviyelerini ölçmeyi amaçlamışlardır [8]. Diğer taraftan, canlı dokuların farklılığını ortaya koymanın önemi vurgulanarak doku farklılıklarına göre simülasyon ve model geliştirmelerinin araştırılması da literatür açısından oldukça faydalı olmuştur. Bu bağlamda, Amar vd. yaptıkları çalışmada insan dokusuna uygulanan titreşimlere karşı insan vücudunun sönümlenme özelliklerini yay ve damper sistemi olarak açıklamaya çalışmışlardır. Çalışmadaki, temel amaç insan dokusunun sönümlenme özelliklerini ortaya koymak ve insan dokusunu temsil ettiği varsayılan sistemin yay ve sönümlenme sabitlerini çıkarmak olmuştur [12]. Yine benzer bir diğer çalışmada, insan dokularının sönümlenme

özelliklerini teorik model olarak bir kütle-sönümleyici yay modeli kullanarak tahmin etmek ve insan denekler üzerinden toplanan etki verilerinden tahminleri sunmak için bir yöntem oluşturulmuştur [13]. Coyte vd. yaptıkları çalışmada ise, tüm vücut titreşim analizi teknolojileri ve modellenmesi üzerine bir araştırma yapmışlardır. Bu çalışma, titreşim sinyali işleme alanındaki son araştırmalar ve oturan insanın titreşimlere karşı biyo-dinamik tepkisinin modellenmesi de dahil olmak üzere konuların bütünsel bir literatür taramasını sunmaktadır [14].

Yapılan bu çalışmada, sabit frekansta titreşim uyarıtım veren bir titreşim motoru, MEMs ivmeölçer sensörü ve mikrodenetleyici tabanlı donanımdan oluşan bir sistem tasarlanmıştır. Sabit frekansta uyarıtım sağlayacak olan titreşim motoru sayesinde titreşim sinyalleri oluşturulmuş ve belirli mesafelerdeki ölçüm noktalarından tasarlanan MEMs yapıda ivmeölçer sensörleri ve sürücülerini içeren donanım sayesinde bu titreşim sinyalleri ölçülmüştür. Bu donanımın kontrolü ise, mikrodenetleyici tabanlı modül ile gerçekleştirilmektedir. Bilgisayarda oluşturulan arayüz ile mikrodenetleyici arasındaki haberleşme protokolü ile titreşim sinyallerinin kayıtları sağlanmıştır. Bu titreşim sinyallerinin güç spektralleri, tasarlanan arayüz ve analiz yazılımı yardımıyla incelenmiştir. Gerçekleştirilen analiz sonucunda, farklı canlı doku bölgelerinden alınan titreşim sinyallerine ait frekans karakteristikleri ortaya konmuştur. Sonuç olarak elde edilen frekans karakteristikleri, canlı dokulardaki sert ve yumuşak bölgelerin yorumunu sağlamıştır.

## II. MATERYAL VE METOD

Tasarlanan mikrodenetleyici tabanlı sistemin bileşenleri sırasıyla şu şekildedir:

- Arduino Uno R3
- MPU-6050 İvmeölçer Sensörü
- 10x3 mm Şaftsız Titreşim Motoru
- USB kablosu

Bu çalışmada kullanılan Arduino Uno R3 modelinin görüntüsü Şekil 1'de belirtilmiştir [15]. ATmega 328 tabanlı bir mikroişlemciye sahip olan geliştirme kartının üzerinde, 14 adet dijital giriş/çıkış ve 6 analog giriş bulunmaktadır. 16 MHz kristal osilatöre, USB bağlantısına, güç bağlantısına, ICSP bağlantısına ve reset tuşuna sahiptir. Kartın çalışabilmesi için harici bir güç kaynağı ya da bilgisayarın USB portu ile enerji verilmesi gerekmektedir.



Şekil 1. Arduino Uno R3

Mikro-elektro-mekanik sistem (MEMs) teknolojisi tabanlı sensörler günümüzde birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. MPU-6050 3 eksen ivmeölçer ve 3 eksen gyro ile birlikte 6 eksen hareket algılayabilme özelliğine sahip bir

sensördür (Şekil 2). MPU-6050 sahip olduğu 16-bit ADC özelliği ile analog verileri dijitalle çevirirerek verilerin okunmasını kolaylaştırır. Sensör çıkışları her bir eksen için 8-bit düşük ve 8-bit yüksek olmak üzere toplam 16-bit'den oluşur. Sensör verileri Arduino Uno R3 tarafından I2C haberleşmesiyle okunmuştur.



Şekil 2. MPU-6050 sensör [16]

Sensörün, Arduino Uno R3 ile bağlantı pinleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

TABLO I. Arduino Uno R3 ve MPU-6050 Bağlantı Pinleri [16]

Arduino	MPU-6050
3.3V	VCC
GND	GND
Analog A4	SCL
Analog A5	SDA
Digital 2	INT

Yapılan çalışmada, vücut yüzeyine uygulanan ve MPU6050 sensörü ile ölçülen titreşim, 10 x 3 mm ölçülerindeki şaftsız titreşim motoru ile verilmiştir (Şekil 3). Titreşim uyarımı veren motorun frekansı, Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi laboratuvarındaki osiloskop ile ölçülmüş ve 160 Hz'e sabitlemiştir.



Şekil 3. Şaftsız Titreşim Motoru [17]

Tüm bu bileşenlerin birleştirilmesiyle tasarlanan mikrodenetleyici tabanlı titreşim ölçer cihazı Şekil 4'de belirtilmiştir.

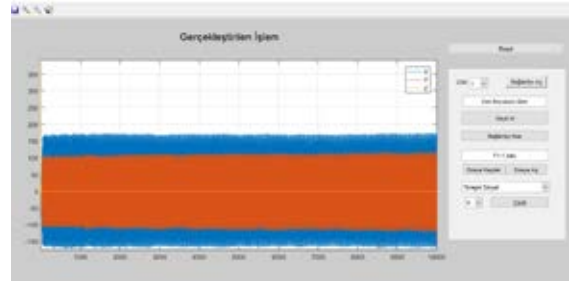


Şekil 4. Tasarlanan Mikrodenetleyici Tabanlı Sistem

### III. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### A. Titreşim sinyallerinin ölçülmesi ve bilgisayar ortamına aktarılması

Çalışmada yüz üzerinden alınan titreşim sinyallerinin örnekleme frekansı 350 Hz olarak belirlenmiştir. 160 Hz frekansta titreşim uyarımı veren 10x3 mm ölçülerindeki doğru akım motor ünitesi ve bu üniteye sabit uzaklıkta bir algılayıcı modülden oluşan mikro denetleyici tabanlı bu donanımın bilgisayar ile haberleşmesini sağlayan ve elde edilen sinyallerin analizinin gerçekleşeceği bir arayüz tasarlanmıştır. Tasarlanan bu arayüz Şekil.5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Tasarlanan Arayüz ve Alınan Örnek Titreşim Sinyali

Tasarlanan arayüz üzerindeki 'Reset' tuşu, alınan her titreşim sinyalinden sonra yazılımının ilk halini almasını, 'COM' tuşu tasarlanan cihazın bilgisayara bağlantı portunu, 'Bağlantı Aç' tuşu tasarlanan cihaz ve arayüz yazılımının bağlantı kurmasını, 'Veri Boyutunu Gir' tuşu alınmak istenen sinyalin örnek sayısını, 'Kayıt Al' tuşu sinyalin bilgisayar ortamına aktarılmasını, 'Bağlantı Kes' tuşu alınan sinyal sonrasında bilgisayar ve cihaz bağlantısının kesilmesini sağlamaktadır. 'Dosya Kaydet' tuşu ile alınan sinyaller kaydedilerek, 'Dosya Aç' tuşu ile istenilen sinyale ulaşarak 'Çizdir' tuşu ile de ekranda gösterilmiştir. Ardından yapılmak istenen analiz seçilerek, sinyallere ait frekans bilgilerine ulaşılmıştır.

Yüz üzerinde belirlenen ölçüm noktaları üzerinden MPU-6050 ivmeölçer sensörüyle titreşim verileri alınarak, Arduino Uno R3'e aktarılmıştır. Alınan titreşim verileri Arduino Uno R3 yazılımı sayesinde ayrıştırılmış ve x-y-z değerleri şeklinde bilgisayara aktarılmıştır. Titreşim verileri analiz edilirken sinyallerin hızlı fourier dönüşümünden faydalanılmıştır.

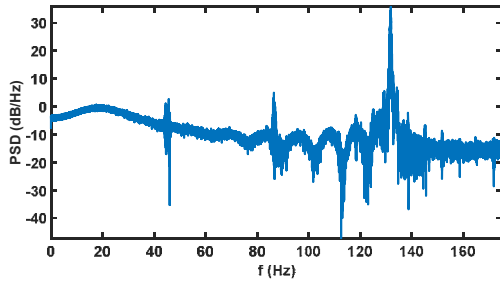
#### B. Titreşim Sinyallerinin Güç Spektral Gösterimi

Elde edilen titreşim sinyallerinin analizlerinde Hızlı Fourier Dönüşümü'nden faydalanılmıştır. Fourier dönüşümü, sinyal bilgilerinin elde edilmesi ve bu sinyallerin işlenmesi için kullanılan önemli bir metottur. Ancak teorik olarak gerçek dizilerin Fourier dönüşümleri hesaplanamadığından, sayısal işaretler için Fourier dönüşümünün kullanılması uygun değildir. Frekansın analog olarak gösterilmesi ve sonsuz sayıda örneğin gerekmesi, bu uygunsuzluğun temel nedenleridir. Bu

sebeple, daha pratik bir yöntem olan Ayrık Fourier Dönüşümü (AFD) kullanılmaktadır. AFD'nin geliştirilmiş hali Denklem 1.'de gösterilmiştir [18].

$$x(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n) e^{-j\omega n} \quad (1)$$

Bu çalışmada öncelikle tüm titreşim sinyallerinin güç spektral yoğunluk analizi yapılmıştır. Şekil 6'da insan yüzüne ait alın bölgesinden kaydedilen bir titreşim sinyali örneğinin güç spektral yoğunluğu (PSD) gösterilmiştir. PSD, titreşim sinyallerinin güç spektral yoğunluğunu, f ise frekans değerlerini belirtmektedir.



Şekil 6. Alın Titreşim Sinyalinin Güç Spektral Gösterimi

#### IV. SONUÇLAR

Titreşim sinyallerinin analiziyle ilgili literatürdeki çalışmalar incelenmiştir [19, 20] ve farklı olarak bu çalışmada, farklı kişilere ait dokuların, farklı karakteristikler taşıdığı yorumu yapılabilmesi amacıyla yola çıkılarak Arduino Uno R3 tabanlı MPU-6050 ivmeölçer sensörü ile titreşim sinyallerinin alındığı bir cihaz tasarlanmıştır. Bu cihaz yardımıyla canlı dokular üzerinden alınan titreşim sinyalleri, bilgisayar ortamında tasarlanan bir arayüz ile kaydedilmiştir. Alın titreşim sinyallerine filtreleme yapılarak gürültüden arındırılmış ve sinyal işleme metotları yardımıyla güç spektralleri elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, 160 Hz'lik sabit frekanslı uyarım oluşturan bir titreşim motoruna eşit uzaklıklarda belirlenen noktalardan alınan titreşim sinyallerinin güç spektrallerinde 120-130 Hz aralığında değerler elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler incelendiğinde, alın bölgesinden ölçülen sinyallerin frekanslarının 120-122 Hz aralığında, yanak bölgelerinden sinyallerin frekanslarının ise 123-130 Hz aralığında olduğu görülmüştür. Buna dayanarak sert dokularda alçak frekansların baskın olduğu, yumuşak dokularda ise yüksek frekansların baskın olduğu söylenebilir. Böylece, tasarlanan mikrodnetleyici tabanlı sistem sayesinde yumuşak – sert dokular hakkında bilgi sahibi olunabileceği söylenebilmiştir. İlerleyen çalışmalarda bu sistem sayesinde canlı dokular üzerinde yapılacak çalışmalarda, dokuların iletkenliği, sertliği yorumlarının bazı rahatsızlıkların teşhisinde hekime yardımcı olabileceği öngörülmektedir.

#### BİLGİLENDİRME

Yapılan bu çalışma, Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FBA-

2019-4404 nolu proje ile desteklenmiştir. Ayrıca Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından 2012-KAEK-20 kodlu karar ile çalışmanın yapılmasında bilimsel ve etik açısından sakınca olmadığına dair izin alınmıştır.

#### KAYNAKLAR

- [1] Orun, E. 2017. Nazal polipli hastalarda temel frekans ve nazal ses analizleri. Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 93 s.
- [2] Chen, F. C., Ma, E. P. M. and Yiu, E. M. L. 2014. Facial bone vibration in resonant voice production. *Journal of Voice*, 28(5): 596-602.
- [3] Morillo, D. S., Ojeda, J. L. R., Foix, L. F. C., and Jiménez, A. L. 2010. An accelerometer-based device for sleep apnea screening. *IEEE transactions on information technology in biomedicine*, 14(2), 491-499
- [4] Kitamura, T. 2012. Measurement of vibration velocity pattern of facial surface during phonation using scanning vibrometer. *Acoustical Science and Technology*, 33(2), 126-128.
- [5] Kitamura, T., Hatano, H., Saitou, T., Shimokura, Y., Haneishi, E., and Kishimoto, H. 2013. Pilot study of vibration pattern measurement for facial surface during singing by using scanning vibrometer. In *Proceedings of Stockholm Music Acoustics Conference*. Vol. 2013, p.4.
- [6] Rendon, D.B.: 'Mapping the human body for vibrations using an accelerometer.' *Engineering in Medicine and Biology Society*, 2007. EMBS. 29th Annual International
- [7] H. Peter, T. Podszus & P. von Wichert, 1987. *Sleep Related Disorders and Internal Diseases*. New York: Springer-Verlag. 101– 107.
- [8] Zhang Z., Zhong X., Yansong H.: 'Design of Measurement and Evaluation System for human exposure to mechanical vibration.' *IEEE International Conference on*. IEEE, 2009.
- [9] Dong, R. G., Schopper, A. W., McDowell, T. W., Welcome, D. E., Wu, J. Z., Smutz, W. P. and Rakheja, S. 2004. Vibration energy absorption (VEA) in human fingers-hand-arm system. *Medical engineering & physics*, 26(6), 483-492.
- [10] Balbinot, A., Marilda S. C., and Diogo K. 2008. Zigbee network for measurement of human vibration." *Computational Science and Engineering Workshops*. 11th IEEE International Conference on. IEEE, 2008.
- [11] Bourke, A. K., J. V. O'brien and G. M. Lyons. 2007. Evaluation of a threshold-based triaxial accelerometer fall detection algorithm. *Gait & posture* 26.2: 194-199.
- [12] Amar, Mohamed RS. 2010. Estimation of mechanical properties of soft tissue subjected to dynamic impact. Yüksek Lisans Tezi, University of Nebraska, Lincoln, 67 s.
- [13] Alkhaledi, K. 2010. Human Response to Soft Tissue Impact. Doktora Tezi. University of Nebraska, Lincoln, 24 s.
- [14] Coyte, J. L., Stirling, D., Du, H., & Ros, M. (2015). Seated whole-body vibration analysis, technologies, and modeling: a survey. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 46(6), 725-739.
- [15] Arduino, 2015. Arduino UNO & Genuino UNO. <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno> [Ziyaret Tarihi: 10 Mart 2019].
- [16] Gökdemir, V. 2017. Demiryolu Balizlerinin Durum Takip Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 88 s.
- [17] Anonymous 1 <http://www.precisionmicrodrives.com/wp-content/uploads/2016/04/310-101-datasheet.pdf> [Son erişim tarihi: 01.05.2019]
- [18] İnce K. 2012. Dalgacık Dönüşümü Kullanılarak Uydu ve Hava Görüntülerinin Gürültüden Arındırılması Üzerine Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Hava Harp Okulu, Ankara, 65 s.
- [19] Desmoulin, G. T. and Anderson, G. S. 2011. Method to Investigate Contusion Mechanics in Living Humans. *J Forensic Biomech*, 2 : 1-10.
- [20] Otamendi, G. 2011. Designing deformable models of soft tissue for virtual surgery Planning and simulation using the Mass-Spring Model. Doktora Tezi, University of Navarra, Pamplona, 221 s.