

KAFA LAZER DİFFÜZ OPTİK TOMOGRAFİ SİSTEMİNİN ELEKTRİK VE MEKANİK GERÇEKLEMESİ

Hüseyin Özgür Kazancı¹, Seyfettin Kazanır² ve Kürşat Binbaş³

¹Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümü
07058, Konyaaltı, Antalya, ozgurkazanci@akdeniz.edu.tr

²Süleyman Demirel Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Süleyman Demirel Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Batı Yerleşkesi
32200 Çünür, Isparta, seyfettinkazanir@gmail.com

³Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
07058, Konyaaltı, Antalya, kursatbinbas@gmail.com

Özetçe

Bu çalışmada yapımı gerçekleştirilen kafa lazer diffüz optik tomografi (DOT) sisteminin elektrik ve mekanik tasarımları anlatılmaktadır. Genel olarak lazer DOT cihazları ışık kaynağı olarak belirli bir dalga boyundaki lazer kaynak kullanılarak lazer ışığının bir noktadan doku yüzeyine gönderilmesi ve doku içerisinde seyahatini tamamlayan lazer ışığın tekrar doku yüzeyindeki farklı noktalardan foto-detektörler aracılığıyla toplanması prensibine göre çalışmaktadır. Doku yüzeyinden fotonlar ya yarı-iletken pn tipi fotodiyotlar aracılığıyla ya da CCD (Charge Coupled Device) kameralar aracılığıyla toplanmaktadır. Bu aygıtlar ışık bilgisini elektriksel akım ya da gerilim büyüklüklerine çevirmektedir. Yapılan çalışmada lazer kaynağı olarak dokuya zarar vermemesi düşünüldüğü için çok düşük güç değerindeki (ortalama 10 mW güç değerindeki) 800 nm dalga boyundaki yakın kızıl ötesi lazer ışık kaynağı kullanılmıştır. Oksi-Hemoglobin ve Deoksi-Hemoglobin moleküllerinin 800 nm ışık dalga boyundaki absorpsiyon katsayıları izobastik yani eş değerdedir. Temiz veya kirli kan ayırımına bakılmaksızın kan oranı yüksek olan vokseller araştırılmak istendiği için bu dalga boyundaki lazer ışık kaynağı kullanılmıştır. Doku içerisindeki seyahatini tamamladıktan sonra doku yüzeyinden geri yansıyan lazer ışığının okunabilmesi için CCD kameralar kullanılmıştır. Sistem elektriksel, optik ve mekanik olarak tasarlanmış ve yapılmıştır.

1. Giriş

Geri yansıma geometrisinde çalışan bir lazer diffüz optik tomografi (DOT) sistemi pratik amaçlı kullanılabilmek için tasarlandı ve yapıldı. Lazer DOT cihazları biyomedikal görüntüleme alanında kullanılmaktadır. Işık kullanılarak doku altı görüntülenmeye çalışılmaktadır. Genellikle belirli bir dalga boyundaki lazer ışık doku

yüzeyinden içeriye doğru gönderilmekte ve doku içerisinde seyahatini tamamlayıp doku yüzeyinden geri yansıyan fotonlar fotodetektörler ya da kameralar aracılığıyla toplanmaktadır. Geri yansıma geometrisine göre yüzeyden toplanan fotonlar doku altının fizyolojik durumu ile ilgili olarak bilgi vermektedir. Foton yayılımının Monte Carlo (MC) simülasyonları ya da teorik fizik hesaplamaları yapılarak doku tipine bağlı olarak fotonların doku içerisindeki yayımları ve yörüngeleri tahmin edilmekte, bu tahminleri ve yüzeyden geri yansıyan foton ışık şiddeti ölçüm değerleri kullanılarak ileri model denklem sistemi oluşturulup doku modelinin üç boyutlu fiziksel uzayındaki voksellerin kullanılan dalga boyuna bağlı olarak içerikleri bulunmaya çalışılmaktadır. Eğer gönderilen lazer dalga boyu kana duyarlı olan dalga boyu ise bu durumda üç boyutlu doku uzayının kan haritası oluşturulmaktadır. Genellikle görünür veya yakın kızıl ötesi dalga boylarındaki lazer ışık kaynağı kullanılmaktadır. Doğrusallaştırılmış radyatif transport eşitliği denklemi oluşturulmaktadır. Lineerleştirilmiş denklem:

$$Y = Ax \quad (1)$$

formuna getirilmektedir. Bu formdaki Y ölçülen ışık şiddetini temsil etmektedir. A ağırlık matrisidir. X ise bulunmak istenilen bilinmeyen uzayını temsil etmektedir. Fotonların doku içerisindeki yayımları lineerleştirilmeden önce Radyatif transport eşitliğine göre olmaktadır [1]. Lineer olmayan bu form Born ya da Rytov yaklaşımının birinci dereceden Taylor açılımına göre lineerleştirilip bir numaralı eşitlikteki hale getirilmektedir [1]. Lazer DOT cihazlarının çalışma prensibi doku yüzeyinden ölçülen ışık şiddetlerinin 1 numaralı eşitlikte kullanılması ile x bilinmeyenlerinin hesaplanıp üç boyutlu doku uzayına dağıtılması prensibine göre çalışmaktadır. Burada da bu prensibe göre çalışacak olan bir lazer DOT cihazının

elektromekanik tasarımı ve yapımı gerçekleştirilmiştir. Bundan önce benzer çalışmalar yapılmıştır [2-10].

2. Materyal ve Metod

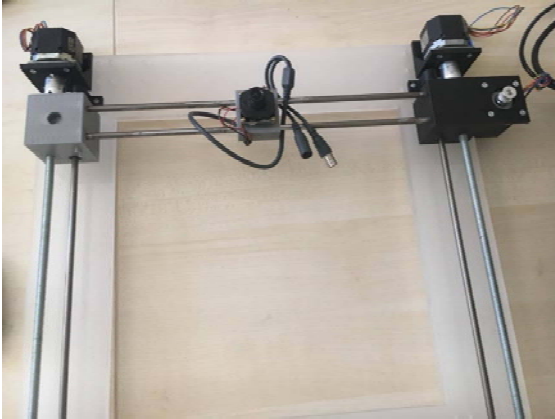
Lazer DOT cihazının elektriksel, mekanik ve optik tasarımı yapılmış ve gerçekleştirilmiştir. Elektriksel olarak bir ana elektronik kart çizilmiş ve üretilmiştir. Elektronik ana kartın üzerine aktif ve pasif elektronik elemanlar montajlandı. Ana elektronik kart, üzerinde PIC18F4550 (11) mikrodenetleyicisi bulundurmaktadır. Elektronik kart USB seri haberleşme protokolu aracılığıyla bilgisayardaki arayüz kontrol yazılımı ile haberleşmektedir. Elektronik kart aynı zamanda doku yüzeyine lazer ışığı gönderecek lazerin pozisyon kontrolünü sağlayan dört adet elektrik motorunu kontrol etmektedir. Elektrik motorlarından bir tanesi dairesel hareketi sağlarken, üç tanesi yukarı-aşağı hareketleri sağlamaktadır. Yapılan cihaz kafa lazer DOT cihazı olduğu için alın bölgesinden içeriye doğru lazer ışığın doku içerisine gönderilmesi hedeflenmiştir. Alın bölgesinin ön kısmından doku yüzeyinden içeriye doğru girecek şekilde lazer ışık kaynağının otomatik olarak hareketlenmesi sağlanmak istendi. Lazer kaynak ve aynı zamanda doku içerisinde ilerlemesini tamamladıktan sonra doku yüzeyinden dışarıya doğru çıkan fotonları toplayan kameranın hareketini sağlayan radyal ve aşağı-yukarı motorlarının kontrolleri ana elektronik kartın üzerindeki PIC18F4550 [11] mikro denetleyicisinin kontrol ettiği A4988 nema17 1.8 derece motor sürücü kontrol kartları aracılığıyla sağlanmaktadır[12]. Radyal motor, lazer ışık kaynağının pozisyon kontrolünü sağlarken; yukarı-aşağı motorları kameranın kontrolünü sağlamaktadır. Radyal mekanizma kestamit malzemenin yapılmıştır. Radyal kestamit malzemenin üzerindeki dişler torna-tesfiye atelyesinde motor miline bağlı olan dişli düzeneği döndürecek açıklıkta dişler olacak şekilde yaptırılmıştır. Diffüz Optik Tomografi (DOT) sistemlerindeki ışık kaynağı lazerinin doku içerisine gireceği pozisyonlar radyal motorun konumlandırmasıyla yapılmaktadır. DOT sistemleri genel olarak kaynak ve detektör pozisyonlarının belirlenmesi ilkesine göre çalışmaktadır. Kaynak pozisyonu ile detektör pozisyonları arasındaki mesafede doku veya doku benzeri fantom içerisinde fotonlar seyahatlerini sürdürmektedir. Bu seyahat esnasında fotonlar doku içerisinde dokunun kullanılan lazer ışık kaynağının dalga boyuna bağlı olarak absorplanmakta ve hücre yapının içerisinde ve hücre zarında yani kırılma indisleri farklı olan doku mikromoleküllerinde saçılmaktadır. Absorplanma ve saçılma olayları doku içerisindeki fotonların hareketleri boyunca fotonların voksellerde bulunma olasılıklarını da etkilemektedir. Bu bakımdan tasarlanan ve gerçekleştirilen sistemde kaynak ve detektörlerin yerleri doku veya doku benzeri fantom içerisindeki fotonların hareketlerine de bağlı olarak ileri

model ağırlık matrisi fonksiyon katsayılarını oluşturmaktadır. Çıplak gözle veya görülebilir dalga boyundaki ışık ile ya da yakın kızıl ötesi dalga boyundaki ışık ile doğrudan dokunun içerisini göremediğimize göre fotonların doku içerisindeki yayılımlarının tahmin edilmesi gerekmektedir. Fotonların doku içerisindeki yayılımları iki yöntemle tahmin edilebilmektedir. Bunlardan birisi teorik fizik radyatif transport eşitliğinden yararlanılarak hesaplama yapma ile ya da bir ikinci yöntem olan Monte Carlo (MC) simülasyon yöntemi ile olmaktadır. Bu iki yöntem arasında ciddi bir sonuç farkı yoktur ve tamamıyla uygulamayı gerçekleştirecek olan akademisyenler ya da şirket çalışanlarının kullanım serbestliğine bağlıdır. Bu çalışmanın ana konusu biyomedikal cihazın elektriksel, mekanik, optik tasarımının ve yapımının gerçekleştirilmesi olduğu için ileri model ağırlık matrisinin oluşturulması ve doku veya doku benzeri fantomdan toplanan verilerin analizi, işlenmesi ve değerlendirilmesinin sunulması bu çalışmanın kapsamı dışındadır. Biyomedikal cihaz teknolojilerinin araştırılması, geliştirilmesi ve üretilmesi çok detaylı çalışmaları ve ana çalışma kolunu temsil ettiğinden dolayı bu çalışmada yeni bir cihazın tasarlanması ve üretilmesi hedef alınmıştır. Aşağıdaki iki şekilde cihazın birleştirilmeden önceki hali gösterilmiştir. Şekil 1'teki parçalar: Ana elektronik kartı, radyal mekanizma ve adım motorlardan oluşmaktadır. Ana elektronik kartının üzerinde PIC18F4550 mikrodenetleyicisi ve A4988 nema17 adım motor kontrol devresi bulunmaktadır. Dört adet A4988 ile dört adet adım motor kontrol edilmektedir. Ana elektronik devre ayrıca lazer ışık kaynağını da elektriksel olarak sürmektedir. Motorların hareketlerine bağlı olarak aşağı-yukarı ve döner hareketlerin sınırlara gelip gelmemesi durumları sınır anahtarlardan gelen elektriksel işaretler ile kontrol edilmektedir. Sınır anahtar bilgileri de ana elektronik karta girmektedir. Motor sargı uçları bağlantıları A4988 adım motor sürücüsüne devrelerinden verilmektedir. Aynı eten A4988 sürücülerinin diğer kontrol elektriksel işaretleri olan UYKU (SLEEP), SIFIRLAMA (RESET), ÇALIŞTIRMA (ENABLE1), YÖN (DIR1), ADIM (STEP1, MS1, MS2, MS3) girişleri de mikrodenetleyiciden sürücü devrelerine doğru bağlanmıştır. A4988 sürücülerinin Vmot 12 volt DC, VCC +5 VDC ve GND toprak bağlantıları da ana elektronik karttan sağlanmıştır. Kontrol yazılımı bilgisayar aracılığıyla ana elektronik kartı kontrol etmek amacıyla yazılmıştır. Yön ve adım aralıkları bu bağlantılar aracılığıyla kontrol edilmektedir. Şekil 2'te yukarı-aşağı hareketi sağlayan mekanizma ve kamera sistemi görülmektedir. Kafa alın bölgesinden geri yansıyan fotonlar kamera aracılığıyla elektriksel işaret olarak toplanmakta ve PC bilgisayara aktarılmaktadır. Kaynak lazer pozisyonu döner mekanizma ile kontrol edilmektedir.



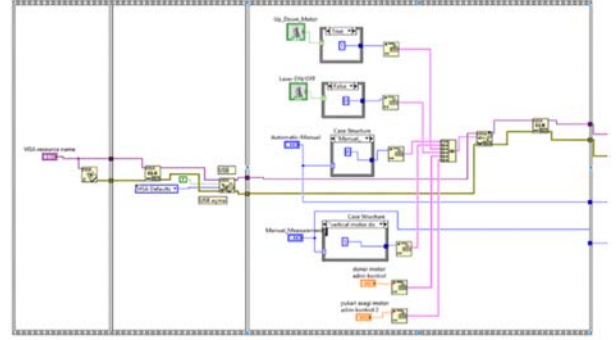
Şekil 1. Parçalar birleştirilmeden önceki radyal mekanizma, ana elektronik kart, nema17 adım motorlar

Lazer ışığın dokudan içeriye giriş yaptığı nokta ile kameranın dokunun içerisinden geri yansıyor yüzeyden çıkan ışığı topladığı detektör noktalarının bilgisayar arayüz programının kontrolü sayesinde noktaları belirleyebilmesi ileri model ağırlık matrisinin doğru bir şekilde oluşturulabilmesini de mümkün kılmaktadır. Bu çalışmanın konusu ağırlık matrisi fonksiyon katsayılarının oluşturulması olmadığı için şimdilik bu konu üzerinde ayrıntılı olarak durulmayacaktır.

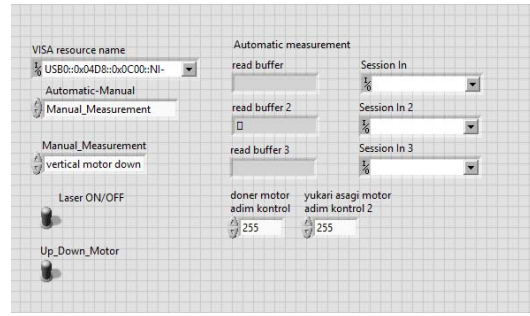


Şekil 2. Kamera hareket sistemi ve kamera

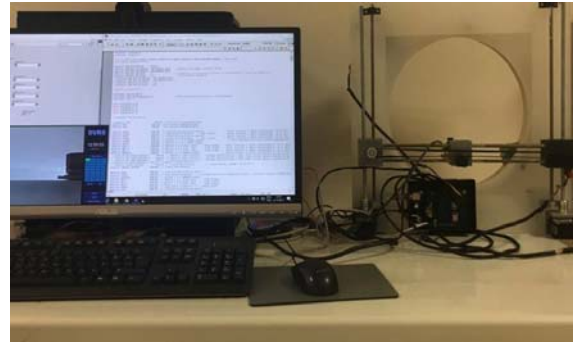
Şekil 3 ve 4'te bilgisayar arayüz programı ön paneli ve blok diyagramı gösterilmektedir. Kontrol PC arayüz programı aracılığıyla mikrodenetleyicinin kontrol edilmesine göre çalışmaktadır. Mikrodenetleyici ise gömülü C kodu aracılığıyla USB haberleşmesini sağlamakta ve ayrı eten ana program içerisinde gerekli giriş çıkış kontrolleri ve bağlantıları tanımlanmakta ve kontrol sağlanmaktadır. Kontrol otomatik olarak ya da manuel olarak lazer kaynağın belirli pozisyonlara getirilmesi, prensibine göre sağlanmaktadır.



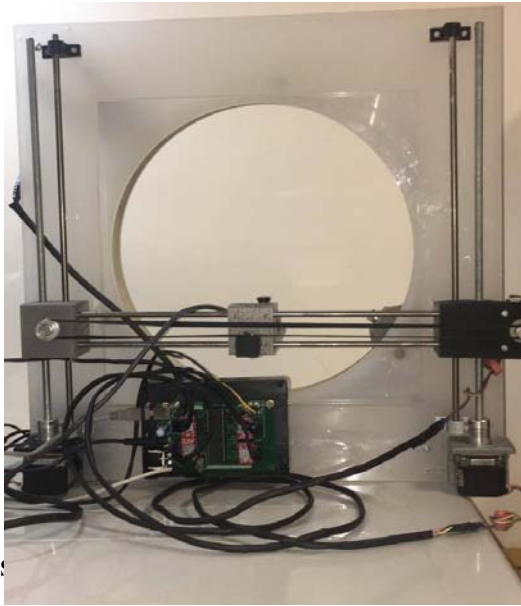
Şekil 3. PC arayüz programı arka paneli



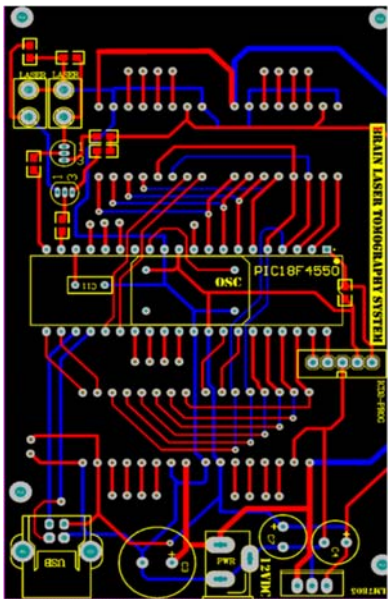
Şekil 4. PC ara yüz programı ön paneli



Şekil 5. Bilgisayar kontrol ve sistem



Şekil 7. Lazer ve kamera



Şekil 8. Ana elektronik kart baskılı devre

3. Sistem Çıktıları ve Sonuçlar

Bu çalışmanın ana konusu ve sunum çıktısı sistemin elektromekaniksel olarak çalıştığının gösterilmesi idi. Yapılan çalışmalar neticesinde sistemin elektromekaniksel olarak çalıştığı gösterildi. Elektromekanik sistemin nema17 step motorlarının dönüş mekanizmaları genel olarak radyal-çevrimsel motor, x motor, y senkron eş zamanlı olarak çalışan 2 adet motor yani genel toplamda 4 adet nema17 step motordur. Motorların kontrolünü sağlayan ana elektronik kartını kontrol eden arayüz programı PC tabanlı bir programdır. Bu program Şekil 3 ve Şekil 4'te görülmektedir. Sistemin ana elektronik kartının üzerindeki PIC18F4550 mikrodenetleyicisi yine Şekil 5'de ekranın sağ tarafında görülen gömülü kod yazılım platformu aracılığıyla kontrol edilmiştir. Sistemin tüm motorlarının test ve kontrolü yapılmıştır ve bütün yönlerde çalıştığı görülmüştür. Elektromekanik olarak sistem bilgisayardaki ana yazılım platformu aracılığıyla kontrol edilebilmiş ve motorların adım aralıklarına bağlı olarak motor hareket miktarları sağlanabilmiştir. Bilgisayar arayüz programı ön panelindeki şekilde motorların hareket birimlerinin miktarlarının nasıl kontrol edildiği görülmektedir. Radial_step, x_step ve y_step olarak tanımlanan değişkenler motor hareket adımları ile ilgilidir. Motorların bu yönlerdeki hareketlerinin birim miktarlarını yani adım aralıklarını belirlemektedir. Buraya girilen sayılar aracılığı ile motorların ne kadar hareket edecekleri belirlenmektedir. Birim 1 birimli mesafe ise AD4988 nema17 step motor kontrol elektronik kartlarının açılı girişi olan MS1, MS2 ve MS3 girişlerinden sağlandı. Fabrika değerleri olarak 0 sayısı girildi gömülü mikrodenetleyici programında. Sistemin elektromekaniksel olarak çalıştığı görüldükten sonra sistem kullanılarak radyal çevrimsel lazer motoru radyal motor adım aralığı radial_step ile ayarlandı. Kamera motorları olan x ve y yönündeki motorlar da arayüz programındaki x_step ve y_step değerlerinden gerekli sayılar girilerek ayarlandı. Kamera ve lazer belirli bir pozisyona getirildikten sonra sabit olarak bırakıldı ve beş adet kamera görüntü verisi alındı. Kameranın CCD sensörünün önüne yalnızca 800 nm dalga boyundaki ışığı geçiren band geçiren optik filtre takılmıştı. Böylelikle doku yüzeyine lazer aracılığı ile gönderilen 800 nm dalga boyundaki lazerden doku içerisindeki yayılımını tamamladıktan sonra sadece 800 nm dalga boyundaki dönen lazer ışığı fotonları kamera aracılığıyla toplanmış oldu. Aşağıdaki şekillerde yapılan ölçümlerin fotoğrafları görülmektedir. 800 nm lazer fotonlarının altına ilk vurduğu yerlerde band geçiren filtre çıkışından sonra alından alınan görüntülerde spekulat bir geri yansımının yani spekulat reflektansın olduğu görülmektedir.



Şekil 9. Kafa deneyi sağ el yukarıda lazer solda

Bu çalışmanın ve sunumun konusu görüntü işleme olmadığı için görüntü üzerinden yapılacak olan matematiksel işlemler burada bahsedilmeyecek ve bu konulara girilmeyecektir.



Şekil 10. Kafa deneyi sağ el yukarıda lazer sağda



Şekil 11. Kafa deneyi sol el yukarıda lazer solda



Şekil 12. Kafa deneyi eller sabit

Daha sonrasında speküler reflektanstan kurtulma yöntemleri ve yalnızca diffüz reflektans verisinin alınması, filtrelenmesi ve işlenmesine görüntü oluşturma kodlarının yazılacağı çalışmalarda bakılacak ve gerekli işlemler yapıp yeni sunum ve yazılarda bahsedilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] L. V. Wang, H. I. Wu, Biomedical Optics: Principles and Imaging, Wiley, 2007.
- [2] H.O. Kazanci, Image reconstruction for head laser tomography system - Kafa lazer tomografi sistemi için görüntü oluşturma algoritması. İbni Sina J. of Medical Sciences, 2(4), 51-55, 2016.
- [3] H.O. Kazanci, Design of Electronic Data Acquisition Unit for Laser Tomography System. El-Cezeri Journal of Science and Engineering (ECJSE), 3(4) 1-10, 2016.
- [4] H.O. Kazanci, Continuous Wave Diffuse Optical Tomography System with High Resolution Current to Voltage Analog Digital Converter. El-Cezeri Journal of Science and Engineering (ECJSE), 2(1) 68-77, 2015.
- [5] H.O. Kazanci, Dokunmadan Çalışan Klinik Beyin Lazer Tomografi Cihazı Tasarımı - Designing Intact Clinical Head Laser Tomography System. Tıp Teknolojileri Ulusal Kongresi, DOI: 10.1109/TIPTEKNO,7374104 978-1-4673-7765-2/15/\$31.00 © IEEE Muğla, Türkiye, 2015.
- [6] H.O. Kazanci, Beyin Lazer Tomografi Sistemi için Koordinat Belirleme Algoritması Geliştirilmesi Development of Coordinate Definition Algorithm For Head Laser Tomography System. Tıp Teknolojileri Ulusal Kongresi, Doi:10.1109/TIPTEKNO.2015.7374104 978-1-4673-7765-2/15/\$31.00 © (2015) IEEE Muğla, Türkiye.

- [7] H.O. Kazanci, T. Mercan, M. Canpolat. Design and evaluation of a reflectance diffuse optical tomography system. *Optical and Quantum Electronics*, 47(2), Doi: 10.1007/s11082-014-9910-6, 257-265, 2014.
- [8] H.O. Kazanci, Capacitive charge approach to diffuse optical tomography systems. *Optical and Quantum Electronics*, 49(4), 1-7, Doi: 10.1007/s11082-017-0988-5.
- [9] H.O. Kazanci, Diffuse light tomography to detect blood vessels using Tikhonov regularization. Saratov Fall Meeting, *Optical Technologies in Biophysics & Medicine XVII*, 2015.
- [10] M. Canpolat, H. O. Kazanci, T. Mercan. Developing and Testing A Multi Source and Detector Reflectance Diffuse Optical Tomography System. *SPIE Photonics West 2014*.
- [11] microchip.com/wwwproducts/en/PIC18F4550.
<http://www.mcu-turkey.com/a4988-step-motor-surucu-2a-2/>.