

# DOKULARIN ELEKTRİKSEL İLETKENLİĞİNİN DOKUNMASIZ YÖNTEMLERLE GÖRÜNTÜLENMESİ: CANLI HAYVAN DENEYİ

Koray Özdal ÖZKAN, İ. Evrim ÇOLAK ve Nevzat G. GENÇER

\*Ortadoğu Teknik Üniversitesi

Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü Balgat, Ankara.

kozkan@metu.edu.tr, colak@metu.edu.tr, ngencer@metu.edu.tr

**Özet:** Manyetik indüklenme-manyetik iletkenlik ölçümü prensibi ile çalışan prototip veri toplama sisteminin 50 kHz'deki performansı araştırılmıştır. İletkenlik duyarlılığı tuzlu su fantomlarında %3.96 hata ile 13.2 mV/(S/m) olmuştur. Buna alternatif olarak önerilen, uygulama kolaylığı ve hassasiyet artışı sağlayan iletken halkalarla ise duyarlılık, %0.12 hata ile 155.02 V/S olarak ölçülmüştür. Literatürde ilk defa 0.2 S/m'lik su ortamındaki 6 S/m'lik canlı dokuya özdeş agar piksel ve çubukların iletkenlik görüntüleri oluşturulmuştur. Sinyal-Gürültü oranı 35.43 dB, uzamsal çözünürlük piksel cisimde 9.36 mm, çubuklarda ise 14.4 mm ölçülmüştür. Literatürde ilk defa bir canlı dokunun iletkenlik görüntüsü elde edilmiştir.

## 1. Giriş

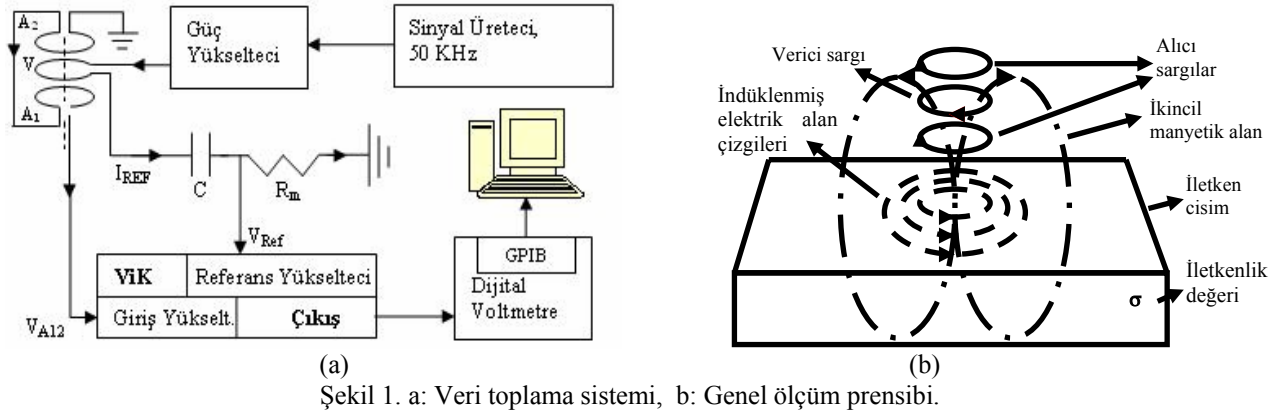
Tarjan ve McFee'nin biyolojik cisimlerin iletkenliklerinin ölçmek için önerdiği manyetik indüklenme-manyetik ölçme prensibini [1], Netz yöntemi minyatür sargılarla uygulamıştır [2]. Aynı yöntemle iletken cisimlerin tomografik ölçümleri elde edilmiştir [3-5]. Tomografik çalışmalar yüksek frekanslarda ( $f > 100$  kHz) yapılmıştır. Ancak 100kHz'in üzerinde yer değiştirme akımları, kaçak sığalar ve öteleme etkileri dikkate alınmalıdır [6]. Gençer ve Tek yöntemi ilk defa olarak yüzeyaltı görüntüleme için önermişler ve potansiyelini üç boyutlu simülasyonlarla göstermişlerdir [6-8]. Simülasyonlar ışığında Ülker ve Gençer [9], iletkenlik görüntülemek amacıyla farksal bağlı iki adet 10000 sarımlık alıcı sargı ile yüksek frekansa bağlı etkilerden korunmak için 11.6 kHz'de ( $< 100$  kHz) yürüttükleri çalışmalarında, ölçüm için Faza Duyarlı Yükseltici kullanarak %7.2'lik hata ile 21.47 mV/(S/m) duyarlılık, 34 dB Sinyal Gürültü Oranı (SGO) değerlerini elde etmişlerdir. Kendi hazırladıkları XY tarayıcıyı ile farklı iletkenliklerde tuzlu su ile doldurulmuş tüpler için yüzey voltaj ölçümleri elde edilmiştir. Ahmad ve Gençer [10], manyetik alıcıdan (sargı) elde edilen ölçümleri işleyip dijital hale getirdikten sonra bilgisayara aktaran yeni donanımı dokunmasız iletkenlik ölçmekte kullanmışlardır. Birinci yaklaşımlarında iletkenliğin, manyetik alıcı olan tek sargının rezonans frekansında yarattığı değişiklik 1.4 MHz'de 100 Hz/(1.9 mS/cm) olmuştur. İkinci yaklaşımda ise, alıcı ve verici sargılardan oluşan iki özdeş algılayıcı çiftinin duyarlılığı 15 kHz'te 18  $\mu$ V/(1.9 mS/cm) olmuştur. Bu çalışmada, dokuların iletkenliğinin dokunmasız olarak manyetik indüklenme-manyetik ölçümü için gerçekleştirilmiş veri toplama sistemi tanıtılacaktır. Faza duyarlı ölçüm yapan Veri İşleme Kartı (VİK) üretilerek 50 kHz'de çalışılmıştır. Önceki çalışmalarda bulunmayan ve doku iletkenlik dağılımını daha iyi modelleyebilecek dokuya özdeş iletken nesne (agar) ve canlı hayvan (sülük) için yüzey iletkenlik dağılımı görüntüleri, voltaj ölçümlerinden En-Dik Azalma yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Tuzlu su kaplarıyla duyarlılık ölçme yerine [9], hassas ve uygulaması kolay olan iletken halka ile duyarlılık ölçümü önerilmiştir [11],[12].

## 2. Deney Sistemi

Güç yükseltici, verici sargıda (V), 50 kHz'de 200 mA akmasını sağlamaktadır (Şekil 1a). Vericinin, eş  $A_1$ ,  $A_2$  alıcı sargılarında indüklediği birincil voltaj, alıcıların farksal bağlanması ile sıfırlanırken, iletken cisimde akan eddy akımlarının, cisme farklı uzaklıktaki alıcı sargılarda oluşturduğu iletkenliğe bağlı ikincil voltaj büyük oranda korunmaktadır- yani sıfırlanmamaktadır (Şekil 1b). İletkenlik bilgisini taşıyan bu ikincil voltaj, faza duyarlı ölçüm yapan Veri İşleme Kartı'na (VİK) girmektedir. Referansın (verici sargı akımının aktığı  $R_m$  direnci voltajı), alıcıların çıkışı ile analog çarpımının, alçak geçiren filtreden geçirilmesiyle iletkenlik bilgisi Doğru Akım voltajı ( $D_A$ ) olarak VİK'in çıkışına verilmektedir.  $D_A$ , sayısal multimetre ile GPIB portundan bilgisayara aktarılmaktadır (Şekil 1 b). 2 boyutlu taramalar için, yalıtkan malzemeden (delrin) yapılmış ve step motorlarla yürütülen XY tarayıcı kullanılmaktadır. V, 0.75 mm telden 160 sarımla;  $A_1$ ,  $A_2$ , 0.2 mm telden 640 sarımla elde edilmiştir.

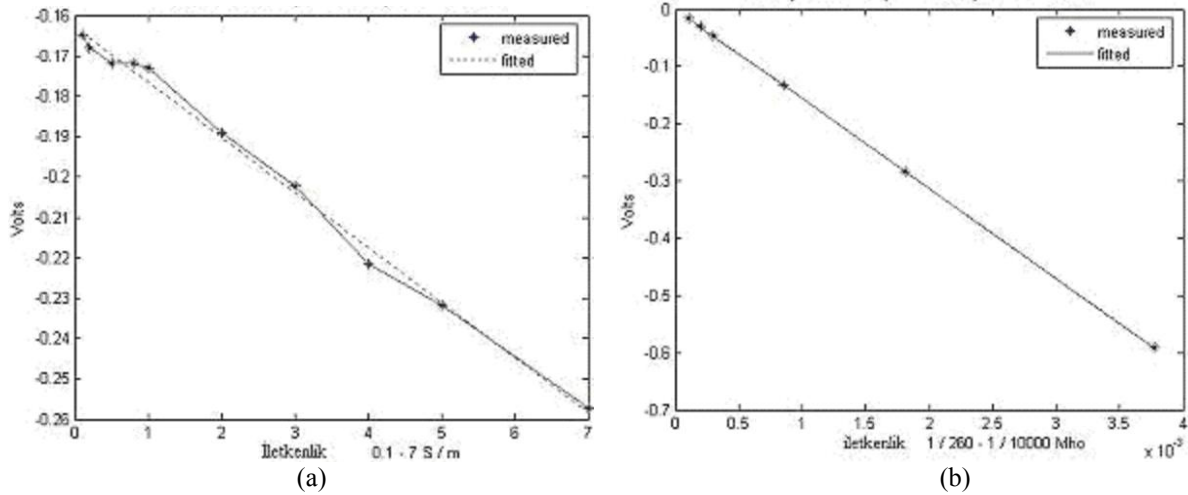
## 3. Sonuçlar ve Performans Testleri

Aşağıda detayları anlatılan deneylerde, 11.5x11.5 cm<sup>2</sup>'lik tarama alanında 16x16 piksel için yüzer ölçüm alınmıştır. Ortam iletkenliği 0.2 S/m iken agar nesne 6 S/m iletkenliğindedir. Sistemin iletkenliğe duyarlılığı önce 11.5 cm çapında, 1.1 cm derinliğinde plastik kaplara doldurulmuş iletkenliği birbirinden farklı tuzlu su örnekleri ile test edilmiştir. İletkenlikle ölçümler arasında doğrusal bir ilişki gözlenmiştir (Şekil 2 a). Su dolu kaplarla yapılan bu



Şekil 1. a: Veri toplama sistemi, b: Genel ölçüm prensibi.

deneylere alternatif olarak iletken halka deneyleri önerilmiştir: Halka şekline getirilip algılayıcının altına sabitlenen bakır telin ucuna bağlanan direncin değeri değiştirilmektedir. Bu sayede, halkada akan akım, dolayısıyla algılayıcıda gözlenen ikincil manyetik alandan dolayı indüklenen voltaj değiştirilebilmektedir (Şekil 2 b). Doğrusallıktan sapma tuzlu su için % 3.96, iletken halkalar için % 0.12 olarak bulunmuştur.

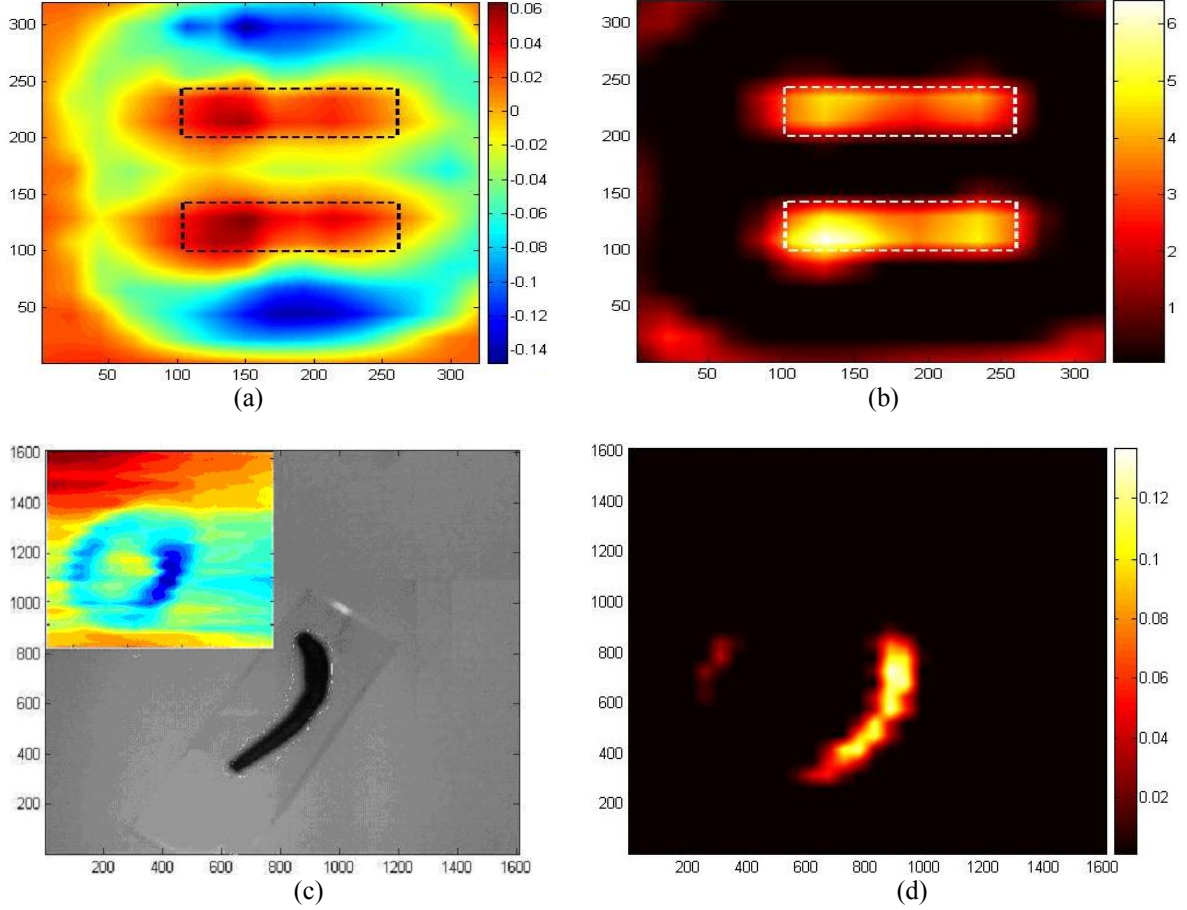


Şekil 2. a: Tuzlu Su; b: İletken halka. Halka direncinin 1/direnç değerine dair 1/260-1/10000 (1/Ω) iletkenlik erimi, 50 kHz'de 4.83-0.125 S/m su iletkenliği erimine denktir [11]. İşaretlenen her nokta 100 ölçümün ortalamasıdır.

İletken piksel agar yokken elde edilen tarama görüntüsünün varyansı gürültü varyansı ( $\sigma_N$ ); agar varken elde edilen görüntü varyansı ise sinyal varyansı olarak tanımlanmıştır ( $\sigma_S$ ). Bu değerler kullanılarak  $10\log_{10}(\sigma_S/\sigma_N)$  şeklinde tanımlanan Sinyal Gürültü Oranı (SGO), 35.44 dB olarak ölçülmüştür. Nokta dağılım fonksiyonunun tam-genişlik yarım-maksimum değeri, 7.5 mm yarıçap, 17 mm yüksekliğinde agar cisim için 9.36 mm (yaklaşık bir piksel mesafesi); iki agar çubuğun (eni 15 mm, boyu 57 mm ve yükseklikleri 17 mm) ayırt edilebildiği en küçük uzaklık (uzamsal çözünürlüğü) ise 14.4 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 3 a,b). Asıl amacı canlı doku görüntüleme olan bu çalışmada [6], kanla beslenmesinden dolayı yüksek iletkenliğe sahip olacağı düşünülerek; eter ile uyuşturulan, yassı şekliyle 2 boyutlu taramaya imkan tanıyan sülük deneyi yapılmıştır (Şekil 3 c,d).

## 5. Tartışma

Elektriksel iletkenliğin dokunmasız yöntemle ölçülmesi için prototip bir veri toplama sistemi ile 50 kHz'de çalışılmıştır. Duyarlılık testleri ile vücut iletkenliğinin ölçülebildiği görülmüştür (0-7 S/m). Duyarlılık, tuzlu su fantomları ile 13.2 mV/S olarak ve %3.96 hata ile; uygulama kolaylığı sağlaması ve daha kontrollü olması sayesinde alternatif olarak önerilen iletken halkalar ile ise 155.02 V / Mho olarak ve %0.12 hata ile ölçülmüştür. Tuzlu su ile iletken halkaları ilişkilendiren teorik çalışma [11] ve [12]'de verilmiştir. İletken halkaların kullanılması, iletkenlik ölçmenin yanı sıra sistemin durağanlık ve durum kontrolünün de hızlı bir şekilde yapılmasına olanak sağlamaktadır. Tuzlu su tüpleri, su ile cisim arasında yalıtkan bir duvar oluşturdıkları için iletken dokuyu tam olarak temsil edememektedir [12]. Dokuyu yalıtkan cam tüplerden daha iyi temsil ettiği için, literatürde ilk defa olarak iletkenlik agar cisimlerle çalışılmıştır. Ortalama vücut iletkenliğindeki (0.2 S/m) tuzlu su içine yerleştirilmiş kan iletkenliğindeki (6 S/m) agar cisimlerin iletkenlik görüntüleri elde edilmiştir. SGO 35.42 dB, uzamsal çözünürlük yuvarlak piksel agar ile 9.36 mm, çubuk agarlar ile 14.4 mm ölçülmüştür. Canlı doku görüntüleme kapsamında literatürde ilk defa yassı, kolay bayıltılabilen ve içindeki kan sayesinde iletken olduğu



Şekil 3. a: 2 agar çubuğun voltaj ölçümleri (mV), b: Geri Problem Çözümü (GPC) ile elde edilen iletkenlik dağılımı (S/m), c: Sülük fotoğrafı ve sol üstte sülüğün voltaj ölçümleri, d: Sülük için GPC- iletkenlik dağılımı (S/m).

düşünülen canlı sülüğün iletkenlik görüntüsü elde edilmiştir. Sonuç olarak iletken cisim ve dokuların yer, boyut ve iletkenlikleri hakkında daha doğru bilgi sağlayan bir sistem gerçekleştirilmiştir.

## Kaynaklar

- [1] P. Tarjan ve R. McFee, "Electrodeless measurements of the effective resistivity of the human torso and head by magnetic induction," IEEE Trans. Biomed. Eng. vol. BME 15, s. 266-278, Oct 1968.
- [2] J. Netz, E. Fomer, ve S. Haagemann, "Contactless impedance measurement by magnetic induction: A possible method for investigation of brain impedances," Physiol. Meas. vol. 14, s.463-471, 1993.
- [3] Al-Zeibak, S ve Saunders N., "A feasibility study of in vivo electromagnetic imaging", Phys. Med. Biology, Vol. 38., 151-160, 1993.
- [4] Griffiths H., Stewart W. R., ve Gough W., "Magnetic induction tomography. A measuring system for biological tissues," Ann. N. Y. Acad. Sci., Vol. 873, 335-345, 1999
- [5] Korjenevsky A., Cherepenin V. ve Sapetsky S., "Magnetic induction tomography: experimental realization," Physiol Meas., Vol. 21. 89-94, 2000
- [6] Gençer N. G. ve Tek M. N. , "Imaging tissue conductivity via contactless measurements: a feasibility study," TUBITAK Elektrik J., vol. 6, no. 3, 183-200, 1998.
- [7] Gençer N. G. ve Tek M. N., "Forward problem solution for electrical conductivity imaging via contactless measurements", Phs. Med. Biol., Vol. 44. 927-940, 1999
- [8] Gençer N. G. ve Tek M. N., "Electrical conductivity imaging via contactless measurements", IEEE Trans. Med. Imag, Vol. 18, 617-627, 1999.
- [9] Başak Ülker Karbeyaz, Nevzat G. Gençer, "Electrical Conductivity Imaging via Contactless Measurements: An Experimental study", IEEE Transactions on Medical Imaging, Vol. 22, No. 5, s. 627-635, May 2003.
- [10] Tafseer Ahmad, Nevzat G. Gencer, "Development of a data acquisition system for electrical conductivity images of biological tissues via contactless measurements", 23<sup>rd</sup> Annual International Conference of IEEE/EMBS, October 2001, Istanbul, Turkey.
- [11] İlyas Evrim Çolak, 'An improved data acquisition system for contactless conductivity measurements', Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Elektrik-Elektronik Müh. Böl., Nisan 2005.
- [12] Koray Özdal Özkan, 'Multi-frequency electrical conductivity imaging via contactless measurements', Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Elektrik-Elektronik Müh. Böl., Ocak 2006