



Cep Telefonu SAR Değerinin İnsan Kulak ve Etrafında Sebep Olduğu Sıcaklık Artışının Termal Görüntüleme Tekniği ve Bulanık C-Ortalama Algoritması ile Analizi

Analysis of SAR Value of Mobile Phone Caused Temperature Increase In Ear Skull Region By Thermal Imaging Technique and Fuzzy C-Means Algorithm

¹Fikret YALÇINKAYA, ²Ahmet ÖZER

¹Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Kırıkkale Üniversitesi
fyalcinkaya@kkü.edu.tr

²Elektronik Mühendisliği Bölümü
Kara Harp Okulu
aozer@kho.edu.tr

Özet

Cep telefonu elektromanyetik dalga yaymakta ve haberleşme elektromanyetik dalga vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Cep telefonu kullanımı gün geçtikçe hızlı bir şekilde artış göstermektedir. Bu yüzden elektromanyetik radyasyona daha çok maruz kalmaktayız. Cep telefonu tarafından yayılan elektromanyetik dalga insan vücut dokusu tarafından emilmektedir. Vücut dokusu tarafından emilen radyasyon dokunun sıcaklığında artış meydana getirmektedir. Meydana gelen sıcaklık artışı elektromanyetik radyasyona maruz kalma miktarı hakkında bilgi vermektedir. Bu çalışmada, cep telefonu SAR değerinin insan kulak ve etrafında sebep olduğu sıcaklık artışı incelenmiştir. Farklı SAR değerine sahip iki cep telefonu GSM900 servisi ile kullanılmıştır. Çalışma yöntemi: 50 dakika süren cep telefonu konuşması esnasında Flir firmasına ait SC640 model termal kamera ile görüntü kaydı alınmıştır. Alınan görüntüler, Termal Görüntüleme Tekniği (TGT) ve Bulanık C-Ortalama Algoritması (FCM) ile görüntü bölütleme yapılarak analiz edilmiştir.

Abstract

Mobile phone emits electromagnetic waves and communication takes place via electromagnetic waves. The number of mobile phone subscribers has been increasing rapidly. Because of this increase, we are more exposed to electromagnetic radiation. Electromagnetic waves emitted by the mobile phone are absorbed in the body tissue while using mobile phones. The electromagnetic radiation absorbed by the body tissue causes temperature increase in tissue. The resulting temperature rise gives information about the amount of exposure to electromagnetic radiation. In this study, SAR Value of Mobile Phone Caused Temperature Increase In Ear

Skull Region is analyzed. Two mobile phones having different SAR values are used with GSM900 service. Working method: Photos are regularly taken with Flir SC640 thermal camera during cell phone conversations for 50 minutes. Photos taken are analyzed with Thermal Imaging Technique (TIT) and Fuzzy C-Means (FCM) Algorithm.

1. Giriş

Cep telefonu abonelerinin sayısı gün geçtikçe hızlı bir şekilde artmaktadır. Türkiye’de 1995 yılında cep telefonu kullanıcısı 81.276 iken şu anda 67.907.092 gibi bir yüksek sayıya ulaşmıştır [1]. Cep telefonu abone sayısındaki bu artış, insan vücudunun elektromanyetik radyasyona maruz kalma miktarının arttığını göstermektedir. Cep telefonu haberleşmesi elektromanyetik spektrumun Radyo Frekansı (RF) bandında gerçekleşir. RF dalgaları atom ve molekülleri iyonlaştıracak düzeyde değildir [2]. İyonlaştırıcı olmayan bu etkiye maruz kalındığında ısı ve ısı olmayan etkiler meydana gelir. İnsan dokusu EMR’yi emmekte ve tutmaktadır. Radyasyona maruz kalma süresinin artması, doku tarafından emilen radyasyonun artması anlamına gelmektedir. EMR’yi emen dokuda termal etki meydana gelmektedir. Bu termal etki EMR’yi emen dokuda sıcaklık artışı meydana getirir. Doku tarafından emilen EMR, SAR (Specific Absorption Rate-Özgül Soğurma Oranı) adı verilen dozimetrik birim ile ilişkilidir [3]. Cep telefonu sinyalleri elektromanyetik spektrumun RF (Radio Frequency – Radyo Frekansı) bandında bulunur. Cep telefonu haberleşmesinde genel olarak 4 farklı iletişim protokolü kullanılır. Bunlar; 900 MHz, 1800 MHz, 850 MHz ve 1900 MHz’dir. Çoğunlukla GSM900 (Global System for Mobile Communication 900 - Mobil İletişim için Küresel Sistem 900) ve GSM1800 (Global System for Mobile Communication

1800-Mobil İletişim için Küresel Sistem 1800) iletişim protokolleri kullanılır [4]. GSM1800 sistemi, GSM900 sistemine göre daha fazla bant genişliği sağlar. Ancak daha az çıkış gücüne sahiptir. Türkiye de GSM900 ve DCS1800 (Digital Cellular System 1800-Sayısal Hücreli Sistem 1800) iletişim protokolleri kullanılmaktadır [5].

Elektromanyetik radyasyonun dokular tarafından emilme oranına SAR (Specific Absorption Rate – Özgül Soğurma Oranı) denir ve dozimetrik bir ifadedir. Canlı dokular elektromanyetik radyasyonu emdiğinde, dokuda sıcaklık artışı meydana gelmektedir. [6-8]. Cep telefonlarının SAR değerleri bilgisi, üretici firmaları tarafından yayınlanmaktadır. SAR değerinin düşük olması istenen bir durumdur. SAR değeri eşitlik 1 ile ifade edilir.

$$SAR = \sigma \frac{|E|^2}{2\rho} = c \frac{\Delta T}{\Delta t} [W / kg] \quad (1)$$

Eşitlik 1’deki σ , dokunun iletkenlik katsayısıdır (s/cm). ρ doku yoğunluğudur (kg/m³). $|E|^2$ elektrik alan büyüklüğüdür (V²/cm²). c sabiti dokunun termal kapasitesidir (J/g/°C). ΔT sıcaklık farkı ve Δt ise dokunun EMR’ ya maruz kalma süresidir [9]. Cep telefonun çıkış gücü ve dokuya yakınlığı SAR değerini belirler. SAR değeri küp şeklindeki 1g veya 10g’lık bir dokuya EMR uygulanarak hesaplanır [10]. SAR değeri frekansa da bağlı olarak değişen bir parametredir. Eşit çıkış gücünde 1800 MHz frekans doku yüzeyinde 900 MHz frekansa göre daha büyük SAR değeri oluşturur. Ancak 900 MHz beyinde daha büyük SAR değeri meydana getirir [11,12]. Bazı ülkelerin kabul ettikleri standartları vardır. Örneğin SAR limiti Avustralya ve ABD’de 1.6W/kg iken, Japonya’da 2W/kg’dır.

Sıcaklığı 0 K’in (-273 °C) üzerinde olan her cisim ışıma yapar. Cisimler tarafından yapılan ışımlar, cismin sıcaklığına bağlı olarak elektromanyetik spektrumda yer alır. Termal görüntüleme sistemleri, kızılötesi bantta (1µm-14µm) yapılan ışımları algılamak için kullanılan bir cihazdır. Kullanılan dedektör türü, termal görüntüleme sisteminin çalıştığı bandı belirler. Kullanılan dedektörlere örnek olarak Mikrobolometre, MCT, QWIP ve InSb verilebilir [13,14]. Wien kayma yasası, cismin sıcaklığı ile yapılan ışımanın maksimum değeri arasındaki ilişkiyi ifade eder. Wien kayma yasası eşitlik (2)’de ifade edilmiştir.

$$\lambda_{\max} = \frac{2898 \mu m.K}{T(K)} \quad (2)$$

İnsan vücudu (300K) termal kamera ile görüntülenmek istendiğinde, vücut tarafından yapılan ışıma eşitlik (2)’ye göre yaklaşık 9.34 µm dalga boyunda maksimum değere ulaşır. En iyi görüntüleme bu dalga boyunda gerçekleştirilir. Çünkü vücut sıcaklığında yapılan maksimum ışıma 9.34 µm dalga boyunda gerçekleşmektedir [13,14].

Cep telefonunun yaydığı EMR’dan dolayı insanın özellikle kulak ve etrafında sıcaklık artışının incelenmesi EMR hakkında bize önemli bilgiler verecektir. Bu bilgi EMR’ı sayısallaştırma, etkisini gözlemleme ve maruz kalma oranını azaltma açısından çok önemlidir. Bu çalışmada 50 dakika süren cep telefonu konuşması yapılmış ve her 10 dakikada bir

termal kamera ile görüntü alınmıştır. Alınan görüntüler termal görüntüleme tekniği ve Bulanık C-Ortalama (Fuzzy C-Means - FCM) ile görüntü bölütleme yapılarak analiz edilmiştir.

2. Bulanık C-Ortalama Algoritması

Bulanık C-Ortalama algoritması görüntü segmentasyonlarında (bölütleme veya kümeleme) sıklıkla kullanılan ve en çok bilinen tekniklerden birisidir. FCM algoritması 1973’de Dunn tarafından oluşturulmuştur [15]. Daha sonra 1981 yılında Bezdek tarafından geliştirilmiştir [16]. FCM algoritması amaç fonksiyonu içeren, iki ya da daha fazla küme veya segment oluşturmak için kullanılan bir algoritmadır. Bu algoritmada her bir veri (görüntüde renklere karşılık gelen RGB veya GRAY renk seviyeleri) 0 ile 1 aralığında bir üyelik değerine sahiptir. Bir verinin oluşturulan tüm kümelere olan üyelik değerlerinin toplamı 1 olmaktadır. Verinin bir kümeye olan üyelik değerinin diğer kümelere olan üyelik değerinden büyük olması, verinin o kümeye ait olduğu anlamına gelmektedir. Amaç fonksiyonunun eşik değere yaklaşması ile kümeleme sona ermektedir. Bulanık c-ortalama algoritmasının amaç fonksiyonu eşitlik 3’te gösterilmiştir.

$$J_m = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^C u_{ij}^m \|x_i - c_j\|^2 \quad (3)$$

Eşitlik 3’te amaç fonksiyonu optimize edilmeye çalışılır. Eşitlikteki u_{ij} , j’inci kümedeki x_i ’nin üyelik derecesidir. x_i ise d boyutlu verinin i’inci elemanıdır. c_j j kümesinin merkezidir. Başlangıçta u_{ij} üyelik matrisi ve küme merkezi rastgele atanarak algoritma çalıştırılır. Daha sonra eşitlik 4 kullanılarak merkez vektörleri hesaplanır.

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^N u_{ij}^m \times x_i}{\sum_{i=1}^N u_{ij}^m} \quad (4)$$

Eşitlik 3 ile hesaplanan küme merkezleri eşitlik 5 kullanılarak yeniden belirlenmektedir.

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^C \left(\frac{\|x_i - c_i\|}{\|x_i - c_k\|} \right)^{2/(m-1)}} \quad (5)$$

Daha önce hesaplanan U matrisleri ile yeni hesaplanan U matrisleri karşılaştırılır. Algoritma eşitlik 6 sağlanıncaya kadar devam eder ve sağlanınca sonlanır.

$$\sum_{i=1}^C \|u_{ij}^{(k+1)} - u_{ij}^k\| < \varepsilon \quad (6)$$

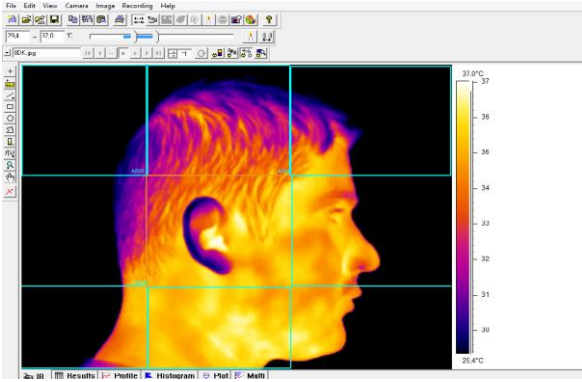
3. Metod

Çalışmada Flir firmasına ait ThermoCAM SC640 termal kamera kullanılmıştır. Termal kamera 640x480 piksel boyutunda soğutmasız mikrobolometre dedektöre sahiptir. 30 °C sıcaklıkta 60 mK’lik sıcaklık değişimlerini algılayabilmekte ve 7.5 µm – 13 µm dalga boyu aralığında

çalışmaktadır. Çalışma sırasında termal kamera telefon konuşması yapan kişinin sağ baş kısmına odaklanmıştır. Termal kamera ile görüntü alınan oda, sıcaklık kontrollü ve herhangi bir ısı kaynağının bulunmadığı bir odadır. Konuşmada sağ kulak kullanılmıştır.

Çalışmada SAR değerleri 0,793 W/kg ve 0,52 W/kg olan iki farklı model cep telefonu kullanılmıştır. 50 dakika süren cep telefonu konuşması esnasında Flir firmasına ait SC640 model termal kamera ile görüntü kaydı alınmıştır. Alınan görüntüler, termal görüntüleme tekniği, Bulanık C-Ortalama Algoritması (FCM) Algoritması ile analiz edilmiştir.

Termal görüntüleme tekniği ile analiz, her bir resim için kulak ve etrafındaki bölgede ortalama sıcaklık değeri ThermaCAM Researcher Professional 2.10 ile hesaplanarak yapılmıştır. ThermaCAM Researcher Professional 2.10 yazılım ara yüzü Şekil 1’de gösterilmiştir.

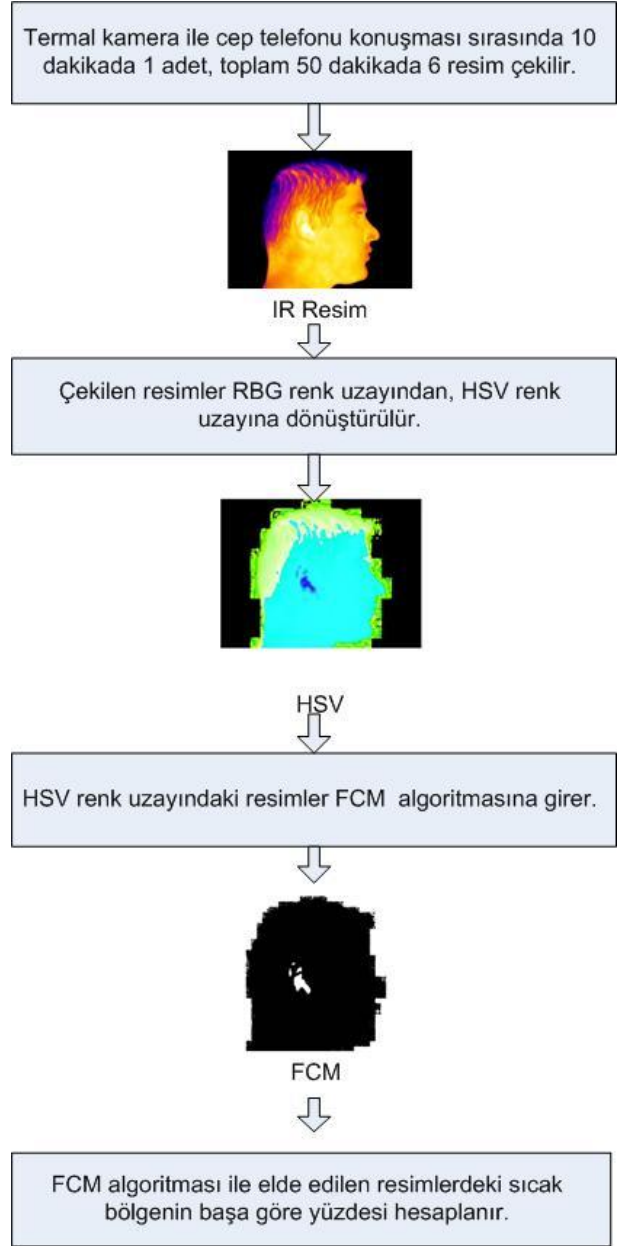


Şekil 1. ThermaCAM Researcher Professional 2.10. ara yüzü

Bulanık C-Ortalama Algoritması Matlab R2013b’de yazılan kodlar ile oluşturulmuş ve tüm resimler bölütlenmiştir. Bölütlenen resimlerde kulak ve etrafındaki sıcak bölgeler tespit edilmiştir. Tüm resimlerde sıcak bölgelerin baş bölgesine göre yüzdesi hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada, termal kamera ile görüntü alınmasıyla başlayan, FCM Algoritması kullanılarak görüntü bölütlemesi ile veri elde edilmesine kadar devam eden süreç Şekil 2’de gösterilmiştir.

Termal kamera ile elde edilen görüntünün RGB (Red Green Blue) renk uzayından HSV (Hue Saturation Value – Renk tonu Doyum Şiddet) renk uzayına dönüştürülmesi ile elde edilen doyum değerleri FCM algoritmasına sokulmuş ve görüntü bölütleme yapılmıştır. FCM algoritması kulak ve etrafında bulunan dokudaki sıcaklığı artan bölgenin (sıcak bölge) piksel değerini gri seviyede 255, diğer piksellerin gri seviye değerlerini ise 1’e eşitlemiştir. FCM algoritması ile iki kümeden oluşan ve kümelerin piksel değerleri 1 ve 255 olan yeni görüntü elde edilmiştir. FCM algoritması ile elde edilen yeni görüntüdeki kulak ve etrafındaki 255 değerine sahip pikseller ve başı oluşturan pikseller saydırılmıştır. Sonuçta başın ve kulak bölgesindeki sıcak bölgenin toplam piksel sayılarına ulaşılmıştır. FCM ile elde edilen, sıcak bölgedeki piksel sayılarının, tüm baş bölgesindeki piksel sayısına göre yüzdesi hesaplanmıştır. Böylece sıcak bölgenin, insan başının yüzde kaçını oluşturduğu bilgisine ulaşılmıştır. Bu işlem tüm çalışmalarda, her 10 dakikada bir çekilen resimlerin hepsine

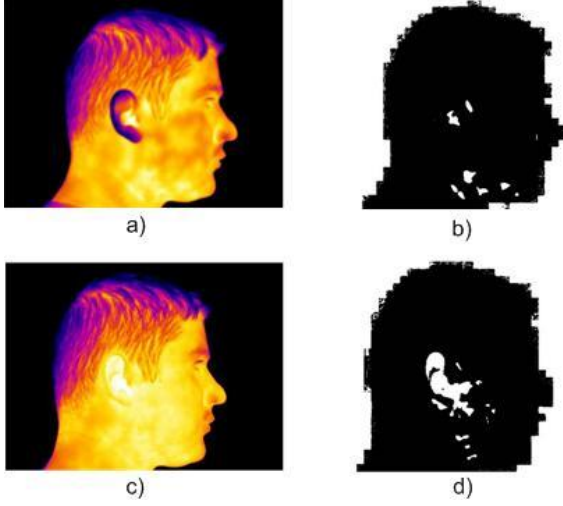
uygulanarak, elektromanyetik radyasyona maruz kalan dokudaki sıcak bölgenin artış miktarı hesaplanmıştır.



Şekil 2: FCM Algoritması ile analiz süreci

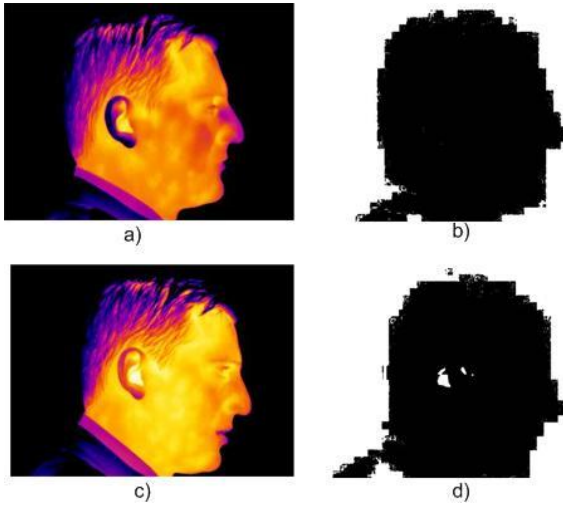
4. Sonuçlar

Birinci çalışma SAR değeri 0.793 W/kg olan cep telefonu ile yapılmıştır. Cep telefonu haberleşmesi 900 MHz’de yapılmıştır. Yapılan çalışmada ThermaCAM Researcher Professional 2.10. ile yapılan inceleme sonucunda 50 dakika konuşma sonunda kulak ve etrafındaki bölgede 2,2 °C sıcaklık artışı olduğu, FCM ile elde edilen görüntüde sıcak bölgenin alanında başlangıca göre % 2,5081 artış olduğu, görülmüştür. Çalışma başlangıcında ve sonunda termal kamera ile çekilen resim ve çekilen resmin FCM algoritması kullanılarak bölütlenmesi ile elde edilen görüntü Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3: Çalışma-1'de a) Konuşma başlangıcında termal kamera ile çekilen resim b) konuşma başlangıcında çekilen resmin FCM Algoritması ile bölütlenmiş şekli c) konuşma sonunda termal kamera ile çekilen resim d) konuşma sonunda çekilen resmin FCM Algoritması ile bölütlenmiş şekli

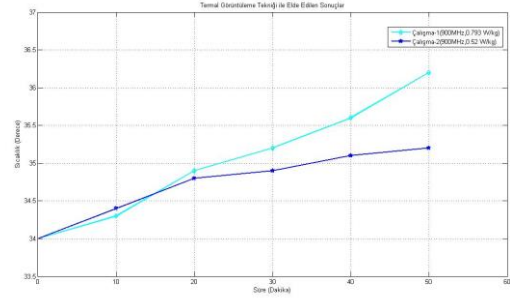
İkinci çalışma SAR değeri 0.52 W/kg olan cep telefonu ile yapılmıştır. Cep telefonu haberleşmesi 900 MHz'de yapılmıştır. Yapılan çalışmada ThermaCAM Researcher Professional 2.10. ile yapılan inceleme sonucunda kulak ve etrafındaki bölgede 1,2 °C sıcaklık artışı olduğu, FCM ile elde edilen görüntüde sıcak bölgenin alanında başlangıca göre % 0,5400 artış olduğu görülmüştür. Çalışma başlangıcında ve sonunda termal kamera ile çekilen resim ve çekilen resmin FCM algoritması kullanılarak bölütlenmesi ile elde edilen görüntü Şekil 4'te gösterilmiştir.



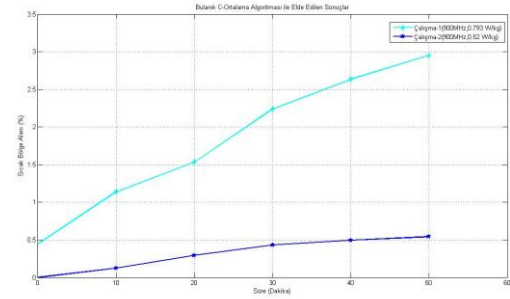
Şekil 4: Çalışma-2'de a) Konuşma başlangıcında termal kamera ile çekilen resim b) konuşma başlangıcında çekilen resmin FCM Algoritması ile bölütlenmiş şekli c) konuşma sonunda termal kamera ile çekilen resim d) konuşma sonunda çekilen resmin FCM Algoritması ile bölütlenmiş şekli

Her iki çalışmada Termal Görüntüleme Tekniği ile elde edilen ortalama sıcaklık değerleri Şekil 5'te, FCM Algoritması ile

elde edilen görüntülerde kulak ve etrafındaki bölgedeki sıcak bölgelerin baş bölgesine yüzdesi Şekil 6'da gösterilmiştir. Ortalama sıcaklık değerleri ve sıcak bölge alanının yüzdesi Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 5: Çalışmalarda Termal Görüntüleme Tekniği ile elde edilen sonuçlar



Şekil 6: Çalışmalarda FCM ile elde edilen sonuçlar

Tablo 1: Çalışmalarda elde edilen ortalama sıcaklık değerleri ve sıcak bölge alanının yüzdeleri

Zaman (dk)	Ortalama Sıcaklık (°C)		Sıcak bölge alanı (%)	
	1.çalışma	2.çalışma	1.çalışma	2.çalışma
0	34	34	0,4444	0,0019
10	34,3	34,4	1,1389	0,1250
20	34,9	34,8	1,5338	0,2922
30	35,2	34,9	2,2388	0,4313
40	35,6	35,1	2,6349	0,4942
50	36,2	35,2	2,9525	0,5419

Şekil 5 ve Tablo 1'de gösterilen Termal Görüntüleme Tekniği ile elde edilen sonuçlara göre SAR değeri yüksek olan cep telefonu, SAR değeri düşük olan cep telefonuna göre insan dokusunda daha fazla sıcaklık artışına sebep olduğu görülmüştür. Buna göre yüksek SAR değerine sahip cep telefonunun, insan dokusunda daha fazla elektromanyetik radyasyon emilimine sebep olduğu (sıcaklık artışı emilen elektromanyetik radyasyon ile doğru orantılıdır) görülmüştür. Şekil 6 ve Tablo 1'de gösterilen Bulanık C-Ortalama Algoritmasına ile elde edilen sonuçlara göre yüksek SAR

değerine sahip cep telefonu, insan kulak ve etrafında bulunan sıcak bölgenin alanında daha fazla artışa sebep olduğu görülmüştür. Şekil 5 ve Şekil 6’da gösterilen veriler incelendiğinde, Termal Görüntüleme Tekniği ve Bulanık C-Ortalama Algoritması ile elde edilen sonuçların birbirleriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Bulanık C-Ortalama Algoritması termal görüntüde kulak ve etrafında sıcaklığı artan piksellerin tespit edilmesini ve bu sayede insan başının hangi bölgesinde sıcaklık artışının meydana geldiğini göstermiştir.

5. Kaynaklar

- [1] www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=1580
- [2] Wilson J, Hawkes JFB. Optoelectronics, Cambridge, Prentice Hall, 1989.
- [3] Chou CK, Bassen H, Osepchuk J, Balzano Q, et al. Radio Frequency Elektromagnetic Exposure: Tutorial Review on Experimental Dosimetry. *Bioelectromagnetics* 17: 195-208, 1996.
- [4] <http://en.wikipedia.org/wiki/GSM> (erişim tarihi: 02.07.2014)
- [5] <http://tr.wikipedia.org/wiki/2G> (erişim tarihi: 02.07.2014)
- [6] Kaune WT, Guttman JL, Kavet R. Comparison of Coupling of Humans to Electric and Magnetic Fields with Frequencies Between 100 Hz and 100kHz. *Bioelectromagnetics* 18: 67-76, 1997.
- [7] Polk, C. and Postow, E. Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields, Second Edition, CRC Press, Florida, USA, 1996.
- [8] Challis LJ. Mechanism for interaction between rf fields and biological tissue. *Bioelectromagnetics supplement* 7: 98-106, 2005.
- [9] C. Gabriel, “Compilation of the dielectric properties of body tissues at RF and microwave frequencies,” RFR Division, Brooks Air Force Base, TX, Final Tech. Rep. Occupational and Environmental Health Directorate AL/OE-TR-1996-0037, 1996.
- [10] Durney CH. Electromagnetic Dosimetry for Models of Humans and Animals: A Review of Theoretical and Numerical Techniques. *Proceedings of IEEE* 68(1): 33-40, 1980.
- [11] Bhat, Mushtaq Ahmed, and Vijay Kumar. "Calculation of SAR and Measurement of Temperature Change of Human Head Due To The Mobile Phone Waves At Frequencies 900 MHz and 1800 MHz." *Advances in Physics Theories and Applications* 16: 54-63, 2013.
- [12] Wessapan, Teerapot, Siramate Srisawatdhisukul, and Phadungsak Rattanadecho. "Specific absorption rate and temperature distributions in human head subjected to mobile phone radiation at different frequencies." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 55.1: 347-359, 2012.
- [13] G. C. Holst, Common Sense Approach to Thermal Imaging. Washington, DC: SPIE Optical Engineering Press, 2000.
- [14] N. Schuster and V. G. Kolobrodov, Infrarot-Thermographie. Berlin, Germany: Wiley, 2000.
- [15] Dunn, J.C., A fuzzy relative of the ISODATA process and its use in detecting compact well separated clusters. *Journal of Cybernetics*, Vol. 3, pp. 32-57, 1974.
- [16] J. C. Bezdek, "Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms", Plenum Press, New York, 1981.