

FANTOMLARDA KULLANILAN KİMYASALLARIN ELEKTRİKSEL PARAMETRELER ÜZERİNE ETKİLERİNE İLİŞKİN SİSTEMATİK BİR ANALİZ

Ertuğrul ERDOĞMUŞ¹, Mehmet KURTÇA², İbrahim DEVELİ³

¹ Bartın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 74100 Bartın

² Bartın Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Tanıtım ve Pazarlama Programı, 74100 Bartın

³ Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik- Elektronik Mühendisliği, 38280 Kayseri

*eerdogmus@bartin.edu.tr

Özet – Elektromanyetik alanların canlılar üzerindeki zararlı etkileri bugün için bilimsel çevreler tarafından en çok üzerinde durulan ve araştırmalar yapılan konulardan biridir. Elektrik enerjisi ile çalışan cihaz ve sistemler çevresine elektromanyetik enerji yaymaktadır. Bu enerjinin biyolojik kütlelerce soğurulması durumunda ortaya çıkabilecek en temel riskin ısı artışı olduğu kabul edilmektedir. Elektromanyetik alanlara maruz kalınması durumunda ortaya çıkabilecek olası etkilerin insan bedeni üzerinde araştırılması bilimsel ve akademik etikle bağdaşmayacağından fantomların (doku benzeri sıvıların) laboratuvar ortamlarında oluşturulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Doku benzeri sıvılar, insan bedeninin her bölgesi için farklı şekillerde hazırlanmaktadır. Bunun sebebi, dokuların bağıl geçirgenlik ve iletkenlik karakteristiklerinin birbirinden farklı olması ve frekans bağımlı bir davranış sergilemesidir.

Bu çalışmada temel amaç; laboratuvar şartlarında hazırlanan su temelli beyin fantom örneklerinde yer alan etilen glikol, etanol, propanol ve aseton kimyasallarının tekil etkilerinin araştırılmasıdır. Bu makale kapsamında değerlendirilen kimyasallar, literatürde sıklıkla kullanılmayan kimyasallardır. Bu nedenle, araştırma sonucunda elde edilecek verilerin benzer konularda çalışma yapan ya da yapacak olan bilim insanlarına ışık tutacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler – Fantom, Eşdeğer Doku, Dielektrik Sabiti

I. GİRİŞ

Elektromanyetik alanların SAR (Özgül Soğurma Oranı) hesapları, dozimetri ve hipertermia çalışmaları insan bedeni üzerinde deneysel olarak yürütülmektedir. Bunun gerekçesi; elektromanyetik alana maruz kalan bir denekte ne gibi değişiklikler oluşabileceğine dair şu ana kadar yapılmış kapsamlı bir araştırma sonucu, net bir bilgi birikiminin hâlihazırda bulunmamasıdır. Bazı araştırmacılar, elektromanyetik alanlara maruz kalan insanlar üzerinde geçici etkilerin oluştuğunu iddia ederken, bazı bilim insanları tarafından yapılan çalışma sonuçları ise uzun vadede oluşabilecek hasarın, telafi edilemeyeceğini savunmaktadır. Bu nedenle insan biyolojilerine ait dokuların eşdeğer karışımlarının elde edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Literatürde fantom olarak da anılan bu eşdeğer karışımlar, elektromanyetik kirliliğin insan bedeni üzerine olan etkisinin araştırılması için kullanılmaktadır [1-4].

Yakın tarihte başlayan, dokuların elektriksel karakteristiğine ilişkin yürütülen araştırmalar, 1950'li yıllardan günümüze kadar sürdürülmektedir. Teorik anlamdaki genel durum ve birçok temel bulgu bu çalışmalar ışığında elde edilmiştir [5-11]. Ancak araştırmalara ait sürecin çok daha eskilere dayandığı, Schwan ve Foster'ın 1950'li yıllarda yürüttükleri çalışmalarında vurgulanmıştır [12, 13].

Fantomlar her frekans bölgesi için farklı şekillerde hazırlanmaktadır [7, 13-15]. Bunun sebebi, biyolojik dokuların elektriksel karakteristiğinin frekans bağımlı bir davranış sergilemesidir [16, 17]. Beyin fantomu genellikle su temelli karışımlarla elde edilmektedir. Su temelli

karışımlarda saf su kullanılmaktadır. Saf suyun dielektrik sabiti ise, GSM bölgesinde beyin gösterdiği dielektriklik sabitinin yaklaşık iki katı civarındadır. Bu yüksek dielektrikliği düşürmek için ise, şeker ve alkol grubu kimyasallar ilk akla gelen kimyasallar olmaktadır. Çünkü şeker grubu ve alkol grubu kimyasalların hem dielektrik katsayısı düşüktür hem de çözelti oluştururken molekül formda çözünmesi sebebiyle dielektriklik üzerine doğrudan etkili olmaktadır. Ayrıca fantomların iletkenlik katsayısı fantom hazırlamakta referans alınan bir diğer parametredir. Ancak saf su, minerallerden arınmış bir yapı olduğu için yüksek iletken bir yapı değildir. Saf suyun iletkenliğini ayarlamak için ise, su ile çözündüğünde iyonize olan tuz grubu kimyasallar kullanılmaktadır [18-21]. Dielektrikliği ayarlarken şeker grubu kimyasallarla oluşturulan çözeltilerin raf ömrü uzun olmamaktadır. Çünkü şeker ile oluşturulan çözeltiler uzun vadede, kokma-küflenme-çürüme-kötü kokma gibi belirtiler göstermektedir. Bu nedenle şeker grubu kimyasallar ile fantom hazırlanıyorsa, bakteri oluşmasını önleyici kimyasallar da fantom muhtevasında bulundurulmalıdır [22, 23]. Literatürde hazırlanan bazı fantom örnekleri Tablo 1'de sunulmuştur. Tablo 1 ve sonrasındaki tüm tablolarda belirtilen ölçüler gram cinsindedir.

Tablo 1 den de görüldüğü üzere, fantom hazırlamak için birden farklı kimyasal kullanılabilir ve iyonik özellikleri sebebiyle ikame edilebilir özellikte kimyasallar tercih edilebilir. Yürütülen bu çalışma kapsamında da farklı kimyasalların elektriksel özellikleri araştırılmıştır.

Tablo 1. 900 MHz frekansı için literatürde sunulan bazı fantom örnekleri

Kimyasallar										
Örnekler	Su (%)	Sakkaroz (%)	Tuz (NaCl) (%)	HEC (%)	Bakterisid (%)	TX 150 (%)	Polyethelene Powder (%)	Agar (%)	Propanediol (%)	Gliserol (%)
Örnek 1_ [20]	62.61		0.53			7.01	2.			
Örnek 2_ [24]	43.55	54.66	0.72	0.90	0.17					
Örnek 3_ [25]	40.92	56.50	1.48	1.00	0.10					
Örnek 4_ [26]	36.31		1.12				3.74	5.35		53.48
Örnek 5_ [27]	40.30	57.00	1.38	0.24	0.18					
Örnek 6_ [28]	34.40			0.70						

II. MATERYAL METOT

Su temelli fantomların hazırlanmasında ve araştırma sonucunda doğru ve güvenilir verilere ulaşılmasında kullanılan yöntem, cihaz ve metotların seçiminin önemli olmasının yanında deneylerde kullanılan kimyasalların kolay bulunabilir ve ucuz olması da son derece önemlidir. Bu amaçla şeker grubu ya da alkol grubu kimyasallar öncelikli tercih edilmiştir. Bu alanda yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde hazırlanan fantom örneklerinin birçoğunda bu kimyasalların kullanıldığı görülmektedir. Yüksek dielektrikliğe sahip suyun bağıl dielektrik sabitini düşürmek için şeker kullanılmaktadır. Ancak artan şeker miktarı bir seviyeden sonra dielektrik sabitini düşürmekte yeterli gelmediği için, bu amaçla alkol grubu kimyasallar kullanılmıştır. Ancak bilinmelidir ki her alkol türünün dielektrik sabiti üzerine etkisi farklılık göstermektedir. Bu çalışmada literatürde pek rastlanılmayan ancak yapılacak çalışmalara yol açması ve hazırlanacak fantomlarda kullanılabilmesi için, bazı kimyasallar eklenerek literatüre yeni bir bakış açısı getirilmesi planlanmaktadır. Bu nedenle aseton, etilen glikol, etanol ve propanol kimyasalları kullanılarak fantom örnekleri hazırlanmıştır. Bu çalışmalar Tablo 2, 3, 4 ve 5 te ve Şekil 3, 4, 5 ve 6 da detaylı bir şekilde sunulmuştur.

A. Fantomların Bağıl Geçirgenlik ve İletkenlik Ölçümü

Hazırlanan fantomlara ilişkin değerlendirmenin yapılabilmesi için, hazırlanan su temelli fantomların elektriksel ölçümleri yapılmıştır. Fantomların elektriksel ölçümlerinin yapılmasına ilişkin literatürde bir çok yöntem yer almaktadır. Araştırma neticesinde sağlıklı bilgilerin ve verilerin alınabilmesinde bugün için en güvenilir olduğu bilim dünyasında da kabul edilen bir network analizör ile yapılanıdır. Ancak network analizör ile kurulacak bir deney seti oldukça pahalı bir settir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında alternatif bir ölçüm sistemi kurularak, her laboratuvarın ekonomik şartlarına uygun bir deney setinin kurulması amaçlanmıştır. Bu çalışmada, hazırlanan fantomların elektriksel değerlerinin ölçülmesinde, Şekil 1 de görülen SPEAG firmasına ait bir reflektometre kullanılmıştır.



Şekil 1. Fantom Elektriksel Değerlerinin Ölçülmesinde Kullanılan Reflektometre

Hazırlanan fantomların elektriksel değerlerinin ölçüm işleminde doğru sonuçların elde edilmesinde, sıcaklık faktörünün rolü dikkate alındığında fantomlara ait sıcaklığın da belirlenmesi gerekmektedir. Çünkü yukarıda da belirtildiği üzere fantomlarda oluşan sıcaklık değişiklikleri fantom elektriksel karakteristiği üzerine doğrudan etkili olmaktadır. Bu bağlamda, fantomlara ait sıcaklığın belirlenmesi amacıyla Şekil 2' de görülen Sıcaklık Ölçer kullanılmıştır.



Şekil 2. Sıcaklık Ölçer (Data Logger ve Prob)

Sıcaklığı belirlenen fantomlarda elektriksel ölçümler yapılmıştır. TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü elektromanyetik alanlar laboratuvarı uzmanları, hazırlanan fantomların IEEE standartlarına %5'lik sapma ile yaklaşmasının kabul edilebilir olduğunu raporlamışlardır [29]. Ancak literatürde bazı çalışmalarda açık uçlu problemlerle yapılan ölçümlerde bağıl geçirgenlik ve iletkenlik için sırasıyla %5 ve %10'luk sapmaların kabul edilebilir olduğu yönünde çalışmalar da bulunmaktadır [30, 31].

B. Etilen glikolün elektriksel parametreler üzerine tekil etkisi

İlk deney setinde, dielektrik sabiti yüksek olan su 47 gram olarak, eşdeğer dokunun iletkenlik parametresini ayarlamakta kullandığımız potasyum bromür ise 1 gram olarak sabit tutulmuştur. Bunun yanında etilen glikol, Tablo 2'den görüleceği gibi 46,7 gramdan 54,8 grama kadar kademeli olarak artırılmıştır. Böylelikle artan etilen glikol miktarının dielektrik sabiti ve iletkenlik üzerine etkisi incelenmiştir. Etilen glikolün elektriksel parametreler üzerine olan etkisi ise Şekil 3'de sunulmuştur.

Tablo 2. Etilen Glikol' un Tekil Etkisine ilişkin Yürütülen Deney Seti

Deney No	Su	Potasyum Bromür	Etilen Glikol
1	47	1	46,7
2	47	1	47,6
3	47	1	48,5
4	47	1	49,4
5	47	1	50,3
6	47	1	51,2
7	47	1	52,1
8	47	1	53,0
9	47	1	53,9
10	47	1	54,8

C. Etanolün elektriksel parametreler üzerine tekil etkisi

Etanolün elektriksel parametreler üzerine tekil etkisini incelemek amacıyla dielektrik sabiti yüksek olan su 48 gram olarak, eşdeğer dokunun iletkenlik parametresini ayarlamakta kullanılan potasyum bromür ise 0,85 gram olarak sabit tutulmuş, etanol ise 50,0 gramdan 64,4 grama kadar kademeli olarak artırılarak artan etanol miktarının dielektrik sabiti ve iletkenlik üzerine etkisi incelenmiştir. Deney setinde kullanılan kimyasallar ve miktarları Tablo 3 de, ölçüm sonucunda elde edilen veriler ise Şekil 4'de sunulmuştur.

Tablo 3. Etanol' ün Tekil Etkisine ilişkin Yürütülen Deney Seti

Deney No	Su	Potasyum Bromür	Etanol
1	48	0,85	50,0
2	48	0,85	52,2
3	48	0,85	54,4
4	48	0,85	56,6
5	48	0,85	58,8
6	48	0,85	60,0
7	48	0,85	61,1
8	48	0,85	62,2
9	48	0,85	63,3
10	48	0,85	64,4

D. Propanolün elektriksel parametreler üzerine tekil etkisi

Propanolün elektriksel parametreler üzerine tekil etkisini görebilmek için su 47 gram, eşdeğer dokunun iletkenliği ayarlamada kullanılan KBr (potasyum bromür) ise 1 gram olarak sabit tutularak propanol, 52 gramdan 61 grama kadar kademeli olarak artırılmış, propanol miktarındaki değişimin dielektrik sabiti ve iletkenlik üzerine etkisi araştırılmıştır. Deneyde kullanılan kimyasallar ve miktarları Tablo 4 te, yapılan ölçümler neticesinde elde edilen sonuçlar ise Şekil 5' te verilmiştir.

Tablo 4. Propanol' ün Tekil Etkisine ilişkin Yürütülen Deney Seti

Deney No	Su	Potasyum Bromür	Propanol
1	47	1	52
2	47	1	53
3	47	1	54
4	47	1	55
5	47	1	56
6	47	1	57
7	47	1	58
8	47	1	59
9	47	1	60
10	47	1	61

E. Asetonun elektriksel parametreler üzerine tekil etkisi

Son aşamada ise asetonun elektriksel parametreler üzerine tekil etkisi araştırılmıştır. Diğer deneylerde olduğu gibi su 48 gram, eşdeğer dokunun iletkenlik parametresini ayarlamakta kullandığımız potasyum bromür ise 0,85 gram olarak sabit tutulmuştur. Aseton ise 45 gramdan 58 grama kadar kademeli bir şekilde artırılarak asetonun artan miktarıyla fantom örneğinin dielektrik sabitinin ve iletkenliğinin nasıl değiştiği araştırılmıştır. Deneyde kullanılan kimyasallar ve miktarları Tablo 5 te, ölçüm sonuçları ise Şekil 6'da görülmektedir.

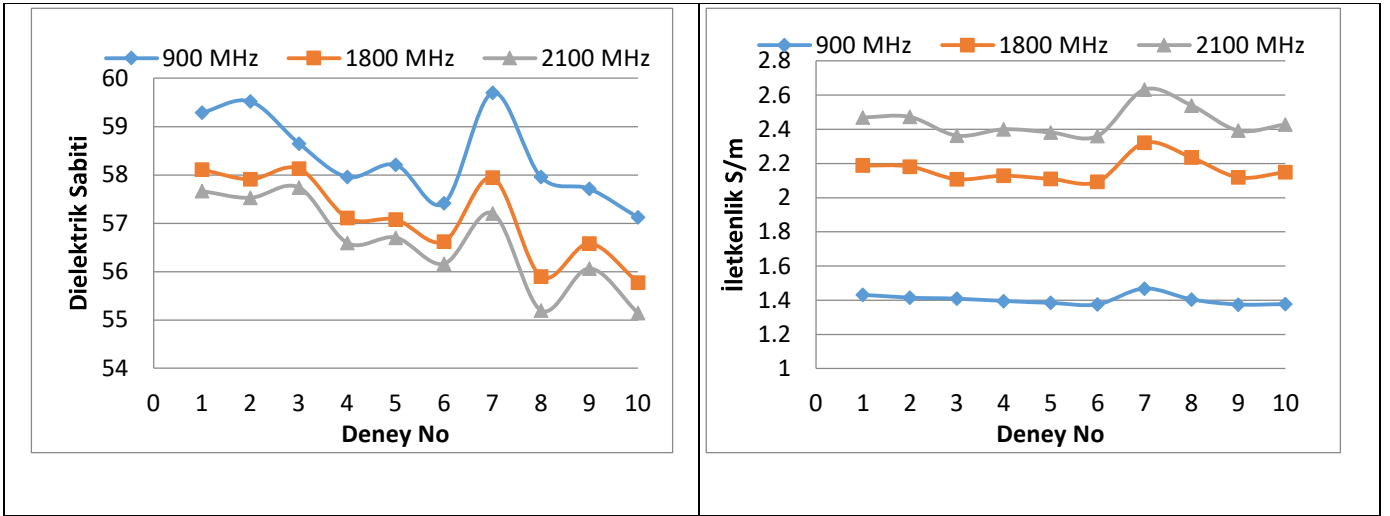
Tablo 5. Aseton'un Tekil Etkisine ilişkin Yürütülen Deney Seti

Deney No	Su	Potasyum Bromür	Aseton
1	48	0,85	45
2	48	0,85	47
3	48	0,85	49
4	48	0,85	51
5	48	0,85	53
6	48	0,85	54
7	48	0,85	55
8	48	0,85	56
9	48	0,85	57
10	48	0,85	58

III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

A. Etilen glikolün elektriksel parametreler üzerine tekil etkisi

Artan etilen glikol miktarının, iletkenlik ve dielektrik sabiti üzerine olan tekil etkisini gösteren Şekil 3 dikkatle incelendiğinde, 7 numaralı ölçüm haricinde genel olarak, artan etilen glikol miktarının dielektrik sabitini düşürdüğü ancak iletkenlik üzerinde ise etkili olmadığı yorumu yapılabilir. Bilindiği üzere çözeltilerde iletkenlik ortamda var olan iyonlar aracılığı ile gerçekleşmektedir. Etilen glikol suda çözünebilen organik bir kimyasaldır. Fakat bu çözünme iyonik değil moleküler düzeyde gerçekleştiği için iletkenlik üzerine etkisinden bahsetmek çok yerinde olmayacaktır. Ancak etilen glikolün, dielektrik sabitini yeterince düşürmediği de bulgular arasındadır. Proje ekibinin geçmiş tecrübelerine dayalı olarak aynı miktarda şeker kullanılmasıyla çok daha düşük değerlerde dielektrik sabitine erişmenin mümkün olabileceği belirtilmelidir. İlaveten; 1 gram potasyum bromürün, IEEE ve IEC standartlarında belirtilen iletkenlik değerini sağlamayacağı sonucuna da erişilmiştir.



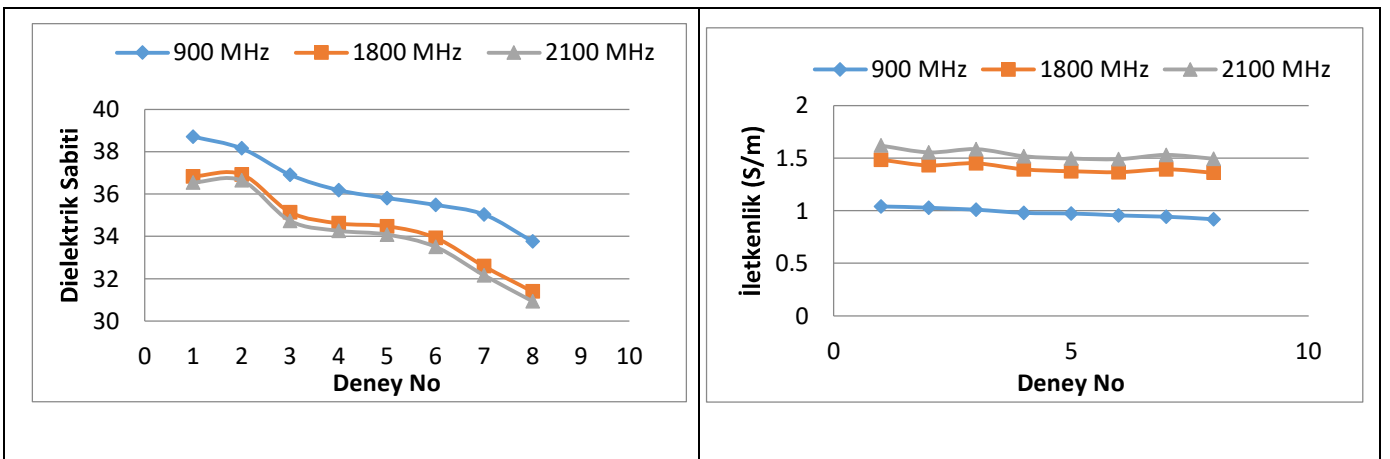
Şekil 3. Etilen glikolün tekil değişiminin elektriksel parametrelerin değişimine etkisi

B. Etanolün elektriksel parametreler üzerine tekil etkisi

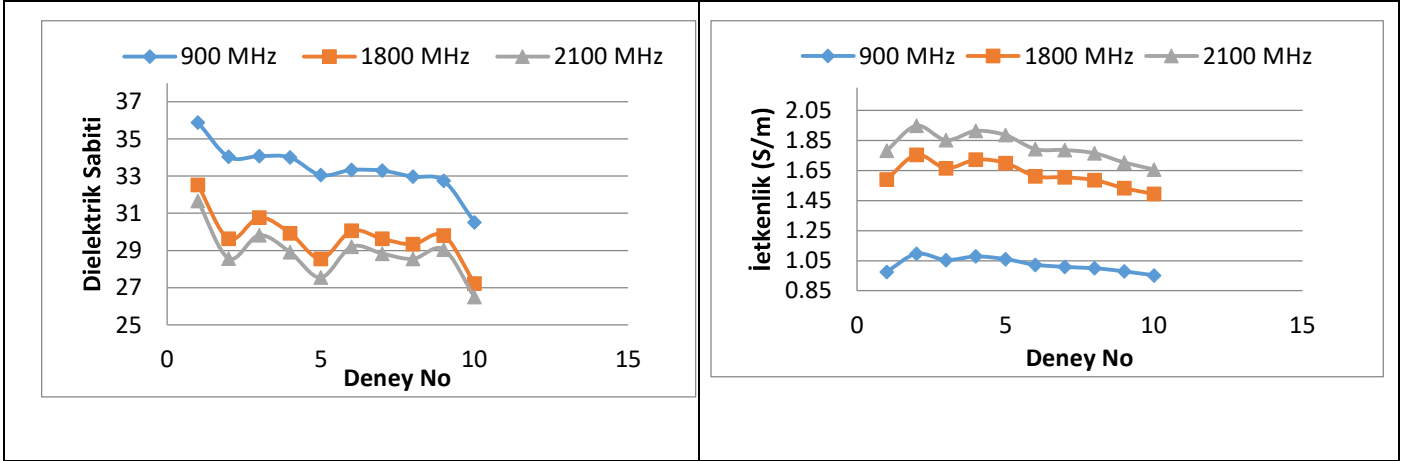
Şekil 4 incelendiğinde genel olarak, artan etanol miktarının dielektrik sabitini düşürdüğü ancak iletkenlik üzerinde kısıtlı bir etkiye sahip olduğu söylenebilir. Bu beklenen bir sonuçtur. Çünkü suyun dielektrik sabiti 79 etil alkolün ise 25 civarlarındadır. Dolayısıyla dielektrik sabiti düşük olan bir kimyasalın ortamda kademeli olarak artışıyla dielektrik sabitinin de buna paralel olarak azalması son derece normaldir. Yine şekil 1.2 de yer alan değerler incelendiğinde tuz ve su miktarı sabit olmasına karşın artan etanol miktarı ile iletkenlik değerlerinde her üç frekans bandı için de kısıtlı bir düşüş söz konusudur. Daha önce de belirtildiği üzere etil alkol de suda moleküler halde çözünen ortamda iyon oluşturamayan bir kimyasaldır. Etil alkol miktarının artışıyla birlikte azda olsa iletkenliğin düşüşü; ortamda kimyasalların yoğunluğunun ve miktarının artışı ile iletkenliği sağlayan KBr kimyasalının suda çözünmesiyle oluşan K^+ ve Br^- iyonlarının serbestçe hareket edememesiyle açıklanabilir. Ayrıca etanol'ün, etilen glikol'e kıyasla dielektrik sabitinin değişimi üzerinde çok daha etkili olduğu not edilebilir. İletkenliği sağlamada kullanılan 0.85 gram potasyum bromürün fazla geldiği, daha düşük miktarlarda ikame edilmesiyle de istenilen düzeyde iletkenlik ayarlamasında kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

C. Propanolün elektriksel parametreler üzerine tekil etkisi

Şekil 5' den görüleceği üzere her ne kadar artan propanol miktarı dielektrik sabitini düşürse de, yeterince doğrusal bir düşüşün sağlanamadığı ve bu sebeple artan propanol miktarının dielektrik sabitini düzenli biçimde düşürmeyeceği görülmüştür. Nitekim propanol, koruyucu özelliği nedeniyle eşdeğer dokularda düşük miktarlarda kullandığımız bir kimyasaldır. Esas kullanım amacı fantom elektriksel karakteristiğine müdahale etmek değildir. Ancak doğrusal olmayan karakteristiği etanol ile kullanılabilen fikrini oluşturmuştur. Propanol kullanılarak oluşturulan eşdeğer dokunun iletkenlik karakteristiği ise karalı bir artış ya da azalış göstermemiştir. Bu gözlemin gerekçesi şu şekilde izah edilebilir: Bilindiği üzere polar özellik gösteren kimyasallar polar çözücülerde apolar olanlar ise apolar çözücülerde daha iyi çözünürler. Eğer çözünme, iyonların oluşması şeklinde ise iletkenliğe doğrudan katkı sağlar. Bunun nedeni, elektrolit ortamlarda iletkenlik iyonlar aracılığı ile gerçekleşmektedir. Moleküler çözünmede ise ortamda iyonlar oluşamayacağı için iletkenlik gerçekleşmeyecektir. Bundan dolayı çözeltilerde iletkenliği sağlamak ya da daha da artırabilmek için sulu ortamlarda yüzde yüze yakın oranda iyonlaşabilen iyonik katılar özellikle de alkali metal tuzları kullanılır. . Bu nedende iletkenliğin sağlanabilmesi için potasyum bromür kullanılması bu nedenledir.



Şekil 4. Etanolün tekil değişiminin elektriksel parametrelerin değişimine etkisi

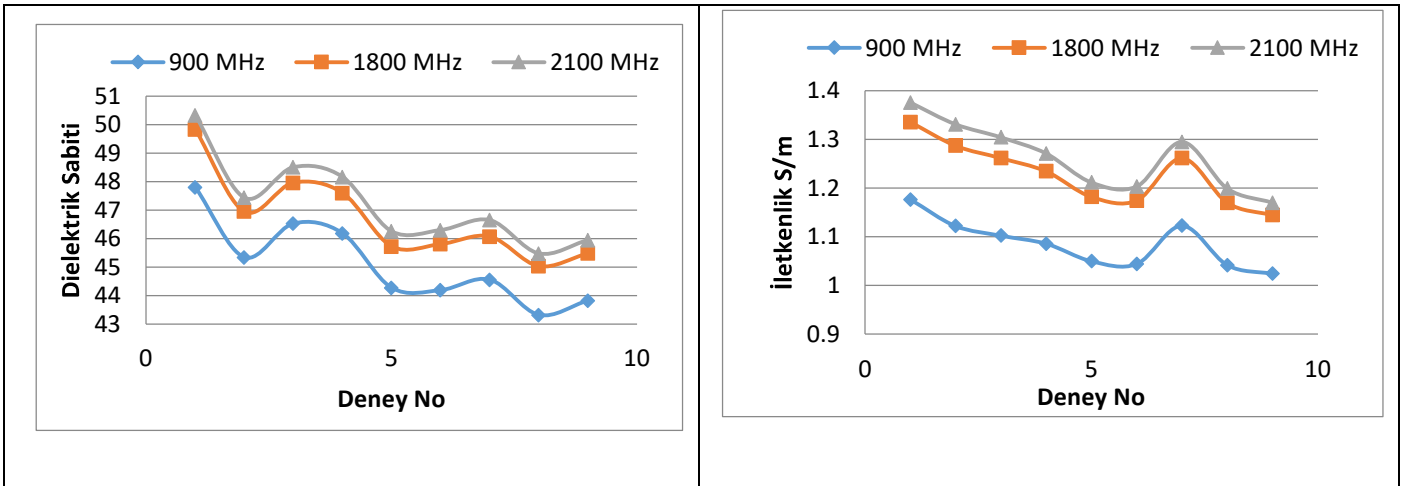


Şekil 5. Propanolün tekil değişiminin elektriksel parametrelerin değişimine etkisi.

D. Asetonun elektriksel parametreler üzerine tekil etkisi

Aseton, literatürde çok sık rastlanmayan bir kimyasaldır. Ancak, erişiminin oldukça basit olması ve ucuz olması sebebiyle proje kapsamında değerlendirilmek istenmiştir. Şekil 6'dan görüldüğü gibi aseton, bir-iki dalgalanma haricinde iletkenlik ve dielektrik sabiti üzerinde belirgin şekilde etkilidir. Bu yönüyle yukarıda bahsedilen üç kimyasaldan ayrı bir karakter sergilediği belirlenmiştir. Diğer kimyasal miktarları sabit iken, aseton miktarının artması ile birlikte, iletkenlik ve dielektrik sabitinin birlikte düştüğü görülmüştür.

- [1]. Şeker, Ş. S., Çerezci, O. 1997. Çevremizdeki Radyasyon ve Korunma Yöntemleri (2. Baskı). İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, Yayın No :607.
- [2]. Simunic, D., Bartolic, J., Skokie, S. 2002. "Influence of Measured Dielectric Properties to SAR Values", Proceedings of PIERS 2002, p. 502, Cambridge, Massachusetts, USA.
- [3]. Bandar M. Hakim, 2006. Precise Sar Measurements in The Near-Field of Rf Antenna Systems, University of Maryland Doktora Tezi, 144 sayfa.



Şekil 6. Asetonun tekil değişiminin elektriksel parametrelerin değişimine etkisi.

IV. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 115E221 kod numrası ile TÜBİTAK tarafından desteklenmektedir.

V. KAYNAKÇA

- [4]. Fukunaga, K., Watanabe, S., Yamanaka, Y. 2002. "Dielectric Properties of Tissue Equivalent Liquids and Their Effects on Electromagnetic Power Absorption" IEEE 2002 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, pp. 75– 78.
- [5]. Özen, Ş., Köylü, H. 2005. "Phantom Model of Human Brain Tissue for Cellular Phone Frequencies in

- Electromagnetic Field Radiation Absorption Studies” Gazi University Journal of Science 18,193-200.
- [6]. Cook, H. F., 1951. “The Dielectric Behaviour of Some Types of Human Tissues at Microwave Frequencies” British Journal of Applied Physics. 2, 295–300.
- [7]. England, T. S. 1950. “Dielectric Properties of The Human Body for Wavelengths in The 1–10 cm Range” Nature, 166, 480–481.
- [8]. Schwan, H. P. 1956. “Electrical Properties Measured with Alternating Currents; Body Tissues Handbook of Biological Data Edition, W. B. Saunders, Philadelphia, Pa, USA.
- [9]. Spector, W. S., Schwan, H. P. 1963. “Electrical Characteristics of Tissues: A Survey”, Biophysik, 1, 1198–208.
- [10]. Schwan, H. P., Piersol, G. M., 1954. “The Absorption of Electromagnetic Energy in Body Tissues”, American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation, 33, 371-404.
- [11]. Stuchly, M. A., Stuchly, S. S. 1990. “Electrical Properties of Biological Substances”, Biological Effects and Medical Applications of Electromagnetic Energy. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, pp. 75-112.
- [12]. Foster, K. R., Schwan, H. P. 1989. “Dielectric Properties of Tissues and Biological Materials, A Critical Review, Critical Review in Biomedical Engineering, 17, 25–104.
- [13]. Foster, K. R., Schepps, J. L., Stoy R. D., Schwan, H. P. 1979. “Dielectric Properties of Brain Tissue Between 0.01 and 10 GHz”, Physics in Medicine and Biology, 24, 1177–87.
- [14]. Hartsgrove, G., Kraszewski, A., Surowiec, A. 1997. “Simulated Biological Materials for Electromagnetic Radiation Absorption Studies”, Bioelectromagnetics, 8, 26-36.
- [15]. Vigneras, V. 2011. “Elaboration and Characterization of Biological Tissues Equivalent Liquids in The Frequency Range 0.9–3 GHz, Final Report” Bordeaux, France.
- [16]. Kanda, M. Y., Ballen, M., Chou, C., Balzano, Q. 2001. “Formulation and Characterization of Tissue Simulating Liquids Used for SAR Measurement (500 - 2000 MHz)”, Asia-Pacific Radio Science Conference, Tokyo, Japan, p 274.
- [17]. Chou, C. K., Chen, G. W., Guy, A. W., Luk, K. H. 1984 “Formulas For Preparing Phantom Muscle Tissue at Various Radiofrequencies”, Bioelectromagnetics, 5, 435-441.
- [18]. Kanda, M. Y., Ballen, M., Chou, C., Balzano, Q. 2001. “Formulation and Characterization of Tissue Simulating Liquids Used for SAR Measurement (500 - 2000 MHz)”, Asia-Pacific Radio Science Conference, Tokyo, Japan, p 274.
- [19]. Peyman, A., Gabriel, C. 2002. “Tissue Equivalent Liquids for SAR Measurement at Microwave Frequencies” Protective. Bioelectromagnetics Society 24th Annual Meeting, 53, 84–185.
- [20]. Fukunaga, K., Watanabe, S., Yamanaka, Y. 2004. “Dielectric Properties of Tissue-Equivalent Liquids and Their Effects on Specific Absorption Rate”, IEEE Transactions On Electromagnetic Compatibility, 46, 126-129.
- [21]. Gabriel, S., Lau, R. W., Gabriel, C. 1996. “The Dielectric Properties of Biological Tissues: II. Measurements in The Frequency Range 10 Hz to 20 GHz” Physich in Medicine and. Biology, 41, 2251–2269.
- [22]. Hakim, B. M. 2006. Precise Sar Measurements in The Near-Field of Rf Antenna Systems, University of Maryland Doctorate Thesis, 144 p.
- [23]. Gimm, Y. M. 2004. “General Method of Formulating The Human Tissue Simulant Liquid for SAR Measurement”, Emc International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Netherland, 2, 561-564.
- [24]. Ballen, M., Kanda, M., Chou, C. K., Balzano, Q. 2001. “Formulation and Characterization of Tissue Simulating Liquids Used for SAR Measurement” Protective Bioelectromagnetics Society 23rd Annual Meeting, 14,80-81
- [25]. S. Ozen, H. Koçlu, “Phantom Model of Human Brain Tissue for Cellular Phone Frequencies in Electromagnetic Field Radiation Absorption Studies,” Gazi University Journal of Science, vol. 18, pp. 193-200, 2005
- [26]. IEEE Standard 1528, “IEEE Recommended Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate (SAR) in the Human Head from Wireless Communications Devices: Measurement Techniques,” 2013.
- [27]. Y. Okano, A. Hase, K. Ito, “A Brain-Equivalent Solid Phantom and Its Application to SAR Estimation by the Thermographic Method”, Electronics and Communications in Japan Part II-Electronics, vol. 83, pp. 24-34, 2000.

- [28]. C. H. Durney, H. Massoudi, M. F. Iskender, "Radiofrequency Dosimetry Handbook (4th Edition)," Texas: Brooks Air Fors Base, 1986.
- [29]. M. G. Douglas, M. Ballen, C. K. Chou, "Temperature Sensivity of Tissue Equivalent Liquids Used for SAR Testing," BIOEM 2013, Thessabniki, Greece, pp. 304-305, 2013
- [30]. Celep, M., Karacadağ, H., Hamid, R., Çetintaş, M. 2011. "Mobil Telefonların Özgöl Soğurma Oranının (SAR) Belirlenmesi", Elektromanyetik Alanlar Ve Etkileri Sempozyumu, İstanbul, 200-202.
- [31]. Okano, Y., Hase, A., Ito, K. 2000. "A Brain-Equivalent Solid Phantom and Its Application to SAR Estimation by the Thermographic Method", Electronics And Communications In Japan Part II-Electronics, 83, 24-34.