

UHF Bandı Haberleşme Sistemleri İçin Çoklu Frekans Maruziyeti Etkilerinin İncelenmesi

Elgin ZORLU^{1*}, İzzet ALAGÖZ², Bahadır ELMAS³

¹ Elektrik Üretim Anonim Şirketi Genel Müdürlüğü, Bakım Yönetim Daire Başkanlığı, Ankara/ Türkiye

² Elektrik Üretim Anonim Şirketi Genel Müdürlüğü, Genel Müdürlük, Ankara/Türkiye

³ Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, İstanbul/ Türkiye

*¹ elginzorlu@yandex.com.tr, ² izzetalagoz@hotmail.com, ³ bahadir.elmas@msgsu.edu.tr

(Geliş/Received: 23/08/2022;

Kabul/Accepted: 18/12/2021)

Öz: Elektromanyetik radyasyon; evlerimizde, iş yerlerimizde, toplu taşıma araçlarında ve kalabalık sosyal etkinliklerde çevremizi bizimle paylaşan bir unsurdur. Bu durum baz istasyonlarından, mobil telefonlardan, kablosuz yerel alan ağ cihazlarından veya Radyo-Televizyon vericilerinden kaynaklanabilir. Elektromanyetik radyasyonun insan vücuduna olan etkilerini hesaplayabilmek için bu radyasyonun ne kadarının insan vücudu tarafından emildiğinin bilinmesi gereklidir. Bunun için de elektromanyetik radyasyon yayan kaynakların Özgül Emilim Oranı (ÖEO) olarak bilinen değerleri hesaplanmalıdır. Bu çalışmada, insanların günlük yaşamda vakitlerini geçirdiği ortamlarda, cep telefonlarından, kablosuz modemlerden, bilgisayarların üzerindeki kablosuz yerel alan ağ erişim kartlarından ve Bluetooth sistemlerden kaynaklanan elektromanyetik radyasyona maruz kalan insanlar üzerinde oluşan elektriksel alanlar, tek kullanıcı ve kalabalık ortamlar için benzetimler yapılarak senaryolaştırılmış ve bu senaryolar gereği insanlar üzerindeki toplam elektriksel alan değeri hesaplanarak, uluslararası standartlar ile belirlenmiş emniyetli maruziyet sınırları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen bu elektriksel alan değerleri kullanılarak da insan beyin sıvısındaki elektromanyetik radyasyon soğurulma miktarları ile maruziyet süresince beyin sıvısında meydana gelen sıcaklık artışları hesaplanmış ve sonuçlara ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Çoklu Frekans Maruziyeti, Halk Sağlığı, Mesleki Sağlık, Özgül Emilim Oranı ve Sıcaklık.

Investigation of Multiple Frequency Exposure Effects for UHF Band Communication Systems

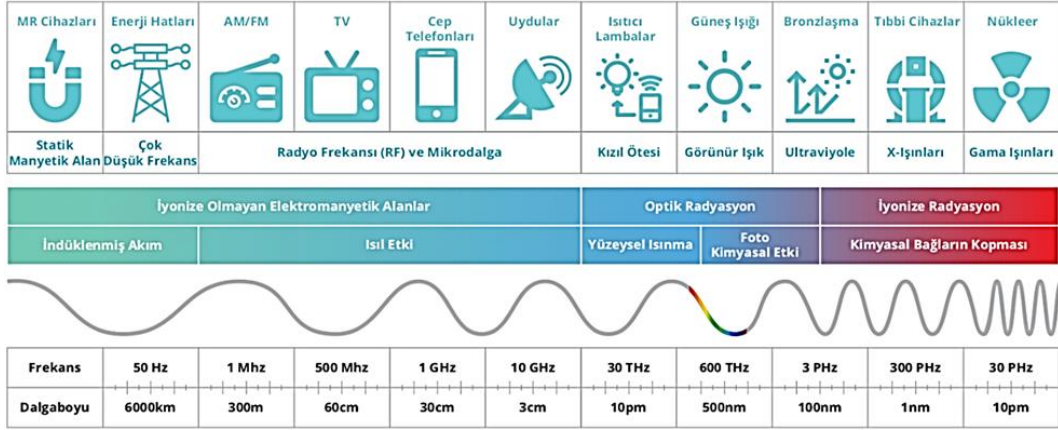
Abstract: Electromagnetic radiation; It is a factor that shares our environment with us in our homes, workplaces, public transportation vehicles and crowded social events. This can be caused by base stations, mobile phones, wireless local area network devices or Radio-Television transmitters. In order to calculate the effects of electromagnetic radiation on the human body, it is necessary to know how much of this radiation is absorbed by the human body. For this reason, the Specific Absorption Rate (SAR) of the sources that emit electromagnetic radiation should be calculated. In this study, in environments where people spent their time in everyday life, mobile phones, wireless modems from computers on the wireless local area network card and Bluetooth access that occurs on people who are exposed to electromagnetic radiation from electrical fields systems, single-user scenarios by simulations and crowded environments for scripted scenes and people that made the total electric field by calculating the value designated with the limits for safe exposure were compared with international standards. Using these electrical field values, the amount of electromagnetic radiation absorption in the human brain fluid and the temperature increases in the brain fluid during exposure were calculated and the results were reached.

Keywords: Multiple Frequency Exposure, Public Health, Occupational Health, Specific Absorption Rate and Temperature.

1. Giriş

Cep telefonları günümüzde, klasik telefon konuşmasının yanı sıra internet erişimi, veri transferi, sosyal medya erişimi, görüntülü görüşme, kablosuz kulaklık ile müzik dinleme gibi amaçlarla da kullanılmaktadır. Tüm bu aktivitelerin gerçekleştirilmesi esnasında kullanıcılar elektromanyetik radyasyona (EMR) maruz kalmaktadır [1]. Bu çalışmada, haberleşme sistemlerinin yaydığı elektriksel alandan kaynaklanan elektromanyetik radyasyonun insan sağlığına olan etkisi incelenmiş olup, özellikle kalabalık ortamlarda kullanıcıların hem kendisine hem de diğer kullanıcılara ait haberleşme cihazlarından etkilendiği gösterilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla; iş yerleri, toplu taşıma araçları, sinema, tiyatro, konser gibi kalabalık ortamlardaki haberleşme cihazlarının etkisinde olan insanların toplamda ne miktarda elektromanyetik radyasyona maruz kaldığı ve bu maruziyet neticesinde beyin sıvısında ne kadarlık bir sıcaklık artışının meydana geldiği hesaplanmış ve bulunan değerler uluslararası kuruluşlarca kabul edilen güvenlik değerleri ile karşılaştırılmıştır [1-5].

* Sorumlu yazar: elginzorlu@yandex.com.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-5092-2140; ² 0000-0002-7167-8340; ³ 0000-0002-8732-9997



Şekil 1. Elektromanyetik tayf [3]

Şekil-1’de Elektromanyetik tayf görülmektedir [3]. Ortamdaki atomlardan iyon koparacak kadar enerjiye sahip olmayan (10 eV’dan küçük) radyasyon iyonlaştırmayan, ortamdaki atomlardan iyon koparacak kadar enerjiye sahip olan (10 eV’dan büyük) radyasyon ise iyonlaştıran radyasyondur. İyonlaştırıcı radyasyonun sağlığı olumsuz etkilediği tıp otoritelerince kanıtlanmış durumdadır. Baz istasyonlarının, cep telefonlarının ve diğer kablosuz haberleşme cihazlarının yaydığı elektromanyetik radyasyonlar, spektrumun iyonlaştırmayan radyo frekansı ve mikrodalga bandında bulunmaktadır [4]. Kablosuz haberleşme cihazlarının gündelik hayatın önemli bir parçası olması, bu cihazların insan sağlığı üzerine olan olumsuz etkilerinin de sistematik olarak incelenmesini gerekli kılmıştır [5]. Bu tür cihazların insan sağlığını olumsuz etkilediği, özellikle sinir sistemi üzerine kötü etkilerinin olduğu [6-11], beyin hassas dokusundaki ve hücrelerdeki iyonik konsantrasyonu değiştirdiği [12-17], 1970’li yıllardan günümüze kadar yapılan birçok çalışmaya konu olmuştur. Bu çalışmada ise daha önce literatürde çalışılmayan özgün senaryolarla, en kötü benzetim durumları ve en uzun maruziyetler göz önünde bulundurulup hesaplamalar yapılarak sonuçlara ulaşılmış ve bu yönüyle literatüre bir katkı sağlanması öncelenmiştir.

Cep telefonu haberleşmesinde genel olarak; GSM 900 ve GSM 1800 taşıyıcı frekansları kullanılmaktadır. GSM 1800 sistemi daha fazla bant genişliği sağlar ancak daha az çıkış gücüne sahiptir [18]. Ortalama 2 W çıkış gücüne sahip 900 MHz’de çalışan bir mobil telefondan 2,2 cm ötedeki elektrik alan değeri 400 V/m şiddetinde iken bu değer 1800 MHz ve 1 W çıkış gücü ile 200 V/m’dir [1,2]. Cep telefonundan yayılan elektromanyetik radyasyon miktarı ilettiği sinyalin gücüne bağlıdır. Özellikle son yıllarda mobil telefonlar ile veri aktarımlarının yapılması, cep telefonlarının en yüksek çıkış gücünde çalışmasına neden olmaktadır. Açık olan bir cep telefonu görüşme yapılmıyorken bile belirli aralıklarla kapsama alanında olduğu baz istasyonuna sinyal gönderir. Bu yüzden cep telefonu kullanıcılarının elektromanyetik radyasyon etkileşimi ana istasyonun yakınında yaşayanlara göre daha yüksektir. Cep telefonunda aranan karşı taraf ile bağlantı aşamasında yayılan radyasyon değeri en üst seviyeye çıkar ve bağlantı sağlanınca azalır. Ayrıca hareket halinde cep telefonu kullanımlarında baz istasyonlarının kapsadığı alanlar arasında geçiş yapıldığından maruz kalınan radyasyon da artmaktadır [1,19].

Maruz kalınan elektrik alandan dolayı bir dokuda ya da tüm vücutta meydana gelen elektromanyetik radyasyon soğurulması özgül emilim oranı ile tanımlanmıştır [20]. Özgül emilim oranı değeri küp şeklindeki 1 gr (Amerika’da) veya 10 gr’lık (Avrupa’da) bir dokuya elektromanyetik radyasyon uygulanarak hesaplanır [21]. Elektromanyetik radyasyona maruz kalan dokularda, maruziyet süresine bağlı olarak dokuda meydana gelen sıcaklık artışı ile SAR (ÖEO) arasındaki matematiksel ilişki (1) denkleminde verilmiştir [1,2].

$$\text{ÖEO} = c \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (1)$$

ÖEO; özgül emilim oranını (W/kg), c ; dokunun özgül ısı kapasitesini (Joule/kg°C), ΔT ; doku sıcaklığındaki değişimi (°C), Δt ise elektriksel alana maruz kalınan süreyi (s) ifade etmektedir. ÖEO ile dokunun maruz kaldığı elektriksel alanın büyüklüğü arasındaki matematiksel ilişki ise (2) denklemindeki gibidir [1,2].

$$\text{ÖEO} = \frac{\sigma}{2\rho} |E|^2 \quad (2)$$

σ ; dokunun iletkenlik katsayısını (Watt/m^3), ρ ; dokunun yoğunluk katsayısını (kg/m^3), $|E|$ ise nüfuz eden elektrik alanın rms değerini (Volt/m) ifade eder. Dokunun iletkenliği ihtiva ettiği su oranına bağlı olarak artar. Dokunun iletkenlik katsayısı da (3) denklemindeki gibi yazılabilir [1,2].

$$\sigma = \omega \epsilon_0 \epsilon_r \quad (3)$$

ω ; elektromanyetik dalganın açısal frekansını ($2\pi f$), ϵ_0 ; serbest uzayın yalıtkanlık sabitini ($8,85 \times 10^{-12}$ Farad/m); ϵ_r ise boyutsuz olup dokunun bağlı geçirgenlik sabitini ifade etmektedir [1,2]. Beyin sıvısı için elektriksel değerler de Tablo 1’de verilmiştir [2,20,22].

Tablo 1. İnsan beyin sıvısının elektriksel özellikleri

Doku Türü	Frekans (MHz)	c (Joule/kg°C)	σ (Watt/m ³)	ρ (kg/m ³)	ϵ_r
Beyin Sıvısı	900	3650	2.3	1050	45.80
	1800		4.4		43.50
	2400		5.7		42.60

1.1. SAR (ÖEO) güvenlik değerleri

Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesince (ICNIRP) kabul edilen mesleki ve halka açık alanlarda frekansa bağlı ÖEO güvenlik değerleri Tablo 2’de belirtildiği gibidir [23].

Tablo 2. ÖEO güvenlik değerleri

Frekans Aralığı	Specific Absorption Rate – SAR (ÖEO) (W/kg)					
	Mesleki Alanlar			Halka Açık Alanlar		
	Tüm Vücut	Baş-Gövde	Kollar	Tüm Vücut	Baş-Gövde	Kollar
10 MHz - 10 GHz	0.4	10	20	0.08	2	4

4 W/kg’lık ÖEO değerine sahip bir radyasyona yarım saat maruz kalan dokunun sıcaklığı 1 °C artmaktadır [1,2,4,5]. Bu nedenle ÖEO temel sınırı 4 W/kg olarak kabul edilmiştir. Tüm vücut için 6 dakikalık etkilenme süresinde işyerleri için, 4 W/kg’ın 10 kat düşük (0,4 W/kg), halka açık yerler için ise 4 W/kg’ın 50 kat düşük (0,08 W/kg) güvenlik payları esas alınmıştır [23]. Mesleki etkilenme sınırları, çalışanların işimaya karşı korunur olmaları nedeniyle genel halk sağlığı sınırlarından daha yüksek tutulmuştur [20].

Güvenlik limitlerini ÖEO değerleriyle belirlemek pratik olmadığından, ÖEO değeri olarak verilen temel limitlerden türetilmiş limitlere geçilir. Bu limit değerler kolay ölçülebilir ve pratik olması nedeniyle, frekans aralığına ve büyüklüğüne bağlı olarak elektrik alan şiddeti olarak verilir. Türetilmiş limitler, matematiksel olarak veya belirli bir frekansta yapılan deney sonuçlarının uyarlaması ile elde edilmektedir. Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesince (ICNIRP) kabul edilen mesleki ve halka açık alanlarda frekansa bağlı elektriksel alan güvenlik değerleri Tablo 3’de, halka açık alanlarda 900, 1800 ve 2400 MHz frekanslarında ortam ve tek cihaz için elektriksel alan güvenlik değerleri ise Tablo 4’de verilmiştir [23].

Tablo 3. ICNIRP elektriksel alan güvenlik değerleri

Frekans Aralığı	Elektrik Alan (V/m)	
	Mesleki Alanlar	Halka Açık Alanlar
	400-2000 MHz	$3 f^{1/2}$
2-300 GHz	137	61

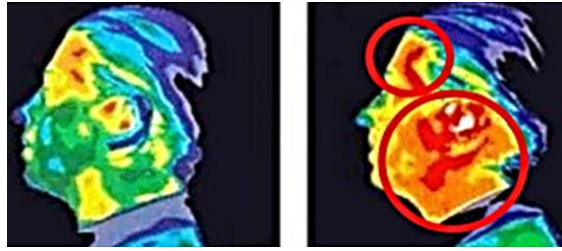
Tablo 4. ICNIRP kamusal alanlarda tek cihaz için elektriksel alan güvenlik değerleri

Frekans Aralığı	Elektrik Alan (V/m)			
	900 MHz	1800 MHz	2400	
	ICNIRP	Ortam	41.25	58.34
	Tek cihaz	10.23	14.47	15

1.2. Haberleşme sistemlerinin sağlık etkileri

Elektromanyetik radyasyonun insan vücudu üzerindeki etkisi, termal ve termal olmayan etki şeklinde meydana gelir. Elektromanyetik radyasyon vücut tarafından emildiğinde, biyolojik doku içerisindeki moleküllere bir kuvvet uygulayarak bu moleküllerin hareket etmesine neden olur. Moleküllerin doku içinde sürtünme ve diğer moleküllerle etkileşimi sonucu da ısı açığa çıkar. Bu ısı, insan vücudunda ısı düzenleyici sistem tarafından bertaraf edilir. Beyin sıvısı gibi su içeriği fazla olan dokularda, su içeriği az olan dokulara göre daha fazla sıcaklık artışı olur. Cep telefonundan yayılan elektromanyetik radyasyonun yaklaşık olarak yarısı kullanıcının başı (beyin sıvısı ve kafatası) ve telefonu tutan el (deri-kas sistemi) tarafından soğurulur. İnsan vücudu 1 °C'lik sıcaklık artışını tolere edemediğinden vücut sıcaklığını ortalama 1 °C arttıracak elektromanyetik radyasyon emilimi insan sağlığı için tehlike arz etmektedir [20,22,23,25]. Örneğin; Elektromanyetik Aşırı Duyarlılık (EHS-Electromagnetic Hyper Sensitivity); ilk defa 1950'lerde Sovyetler Birliği'nde "Radyo Dalgası Hastalığı" olarak literatüre geçmiş ve daha sonra kişilerin elektromanyetik radyasyona maruz kalmaları ile aşırı hassasiyet sonucu oluşan, dermatolojik, psikolojik ve nörolojik semptomlarla seyreden bir hastalık olarak tanımlanmıştır [4,5,20,22].

Doğada yaşayan bütün canlılar gibi insanlar da içinde yaşadığı doğal çevrede bulunan kaynaklardan yayılan farklı tür radyasyonlara belirli ölçülerde sürekli maruz kalmaktadır [26]. Yapılan araştırmalar, elektromanyetik radyasyonun küçük güçlerde bile, uzun ve kısa vadede çeşitli biyolojik etkilere neden olduğunu göstermiştir [1]. Cep telefonlarının kısa vadeli maruziyet (gün içinde) sonucu görülen zararlarını; görüş alanında daralma, kalp rahatsızlıkları, kalp pilinin bozulma riski, hafıza zayıflaması ve beyin tümörü riski, yoğun stres ve yorgunluk hissi, kalıcı ve geçici işitme bozuklukları, konsantrasyon ve dikkat bozulması, embriyo gelişiminin zarar görmesi, kulak çınlaması ve kulaklarda ısınma, kadınlarda düşük riskinin artması, kan hücrelerinin bozulması, bas ağrıları ve sersemleme, bağışıklık sisteminin bozulması şeklinde sayılabilir [24,25]. Uzun vadeli maruziyet (8-10 yıl içinde) sonucu görülen zararları ise; yüksek tansiyon, genetik yapının bozulması, sperm sayısının azalması, beyaz kan hücresi kanseri, cilt kanseri, kan beyin bariyerinin zedelenmesi olarak sıralanabilir [24,25]. Şekil 2'de cep telefonu ile on beş dakikalık konuşma sonucunda bir insanın baş kısmında meydana gelen sıcaklık değişimi görülmektedir [27].



Şekil 2. Baş kısmındaki 15 dakikada oluşan sıcaklık değişimi [27]

1.3. Haberleşme cihazlarının elektriksel alan değerleri

Cep telefonunun bekleme ve konuşma anındaki mesafeye bağlı ortalama elektriksel alan değerleri Tablo 5'deki gibidir [28].

Tablo 5. Cep telefonlarının mesafeye bağlı ortalama EA değerleri

Mesafe (m)	Elektrik Alan (V/m)	
	Bekleme (ortalama)	Konuşma (ortalama)
0 (temas hali)	0.41	4.35
0.1	0.15	1.65
0.3	0.10	1.10
0.5	0.08	0.88
1.0	0.02	0.22
1.5	0.01	0.11
2.0	0.00	0.00

Kablosuz ağlar, akıllı telefon kullanım oranlarındaki artışla dünya çapında popülerlik kazanmıştır. Bu nedenle, hücresel ağlar ve kablosuz yerel alan ağları üzerindeki veri trafiği de buna bağlı olarak sürekli artmaktadır [29].

Kablosuz modemlerin mesafe bağlı ortalama elektriksel alan değerleri Tablo 6'da verilmiştir [28].

Tablo 6. Kablosuz modemlerin mesafeye bağlı ortalama EA değerleri

Mesafe (m)	Elektrik Alan (V/m)
0.25	4.00
0.50	2.00
1.00	1.00
1.50	0.75
2.00	0.50
2.50	0.25
5.00	0.20

Kablosuz yerel alan ağı erişim kartının mesafeye bağlı ortalama elektriksel alan değerleri Tablo 7'de verilmiştir [28].

Tablo 7. Kablosuz yerel alan ağı erişim kartının mesafeye bağlı ortalama EA değerleri

Mesafe (m)	Elektrik Alan (V/m)
0.5	3.0
1.0	1.7
1.5	0.8
2.0	0.3
2.5	0.1

Bluetooth sisteminin mesafeye bağlı ortalama elektriksel alan değerleri Tablo 8'de verilmiştir [28].

Tablo 8. Bluetooth sisteminin mesafeye bağlı ortalama EA değerleri

Mesafe (m)	Elektrik Alan (V/m)
0.1	4.0
0.2	2.0
0.3	1.0
0.4	0.6
0.5	0.4
1.0	0.2

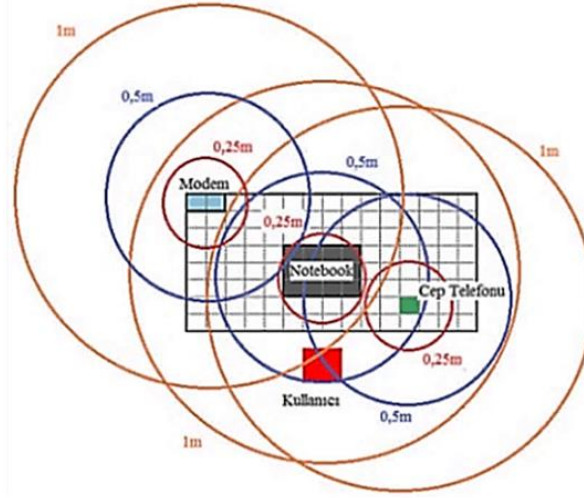
2. Yöntem

Elektromanyetik aşırı duyarlılıkta görülen semptomlar ile kısa ve uzun süreli maruziyetler neticesinde ortaya çıkan semptomlardan hangilerinin elektrik alandan veya hangilerinin ÖEO değerinden ve dokudaki sıcaklık artışından kaynaklandığı kesin çizgilerle birbirinden ayrıştırılamamaktadır [4,5,18]. Bu çalışmada herhangi bir laboratuvar çalışması yapılmamıştır. Literatürdeki çalışmalarda önceden ölçülen ve Haberleşme cihazlarının elektriksel alan değerleri başlığı altında verilen değerler kullanılarak benzetimi yapılan beş farklı özgün senaryoda, cihazların mesafeye bağlı ortalama elektrik alan değerlerine göre hesaplamalar yapılmış, toplam elektriksel alan, ÖEO ve beyin sıvısındaki sıcaklık artışlarındaki güvenlik limit değerleri aşan durumlar ayrı ayrı belirlenmiş ve bu aşan değerler tablolarda gösterilmiştir.

2.1. Senaryo-1 (kişisel çalışma masası)

Şekil 3'de, kişisel çalışma masasında oturan bir kişiye cep telefonu, kablosuz modem, WLAN erişim kartı ve Bluetooth'dan mesafelerine bağlı olarak etkiyen elektriksel alanlar gösterilmiştir. Tablo 9 ve Tablo 10'da ise cep telefonu ile konuşma/bekleme anlarındaki, kullanıcının diğer cihazlarla birlikte maruz kaldığı toplam elektriksel

alan değerleri hesaplanmış ve bu değerlerden hareketle toplam ÖEO değerleri bulunarak; 6 ve 30 dakika ile 1, 4 ve 8 saat için kişinin beyin sıvısında meydana gelen sıcaklık değişimleri hesaplanmıştır.



Şekil 3. Kişisel çalışma masası

Tablo 9. Kişisel çalışma masası için beyin sıvısı sıcaklık değişimi (konuşma)

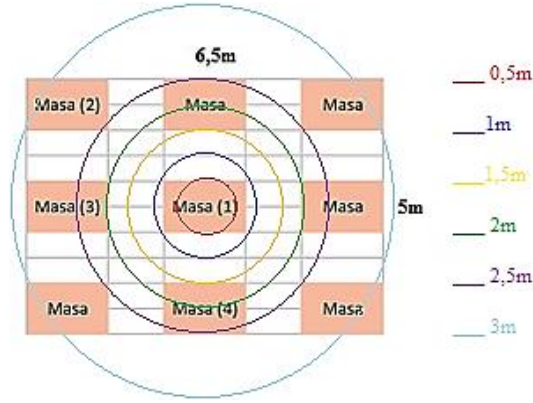
Cihaz	Mesafe (m)	Maruz Kalınan EA (V/m)	Toplam EA (V/m)	Frekans (MHz)	ÖEO (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT) (°C)					
						6 dak.	30 dak.	1 saat	4 saat	8 saat	
Cep T.	0.0	4.35	8.75	4.35	900	0.021	0.002	0.010	0.020	0.081	0.163
				4.35	1800	0.040	0.004	0.019	0.039	0.155	0.309
Modem	1.0	1.00	8.75	4.40	2400	0.052	0.005	0.026	0.052	0.207	0.413
A.Kart	0.5	3.00									
BlueT.	0.5	0.40									
					900 ve 2400	0.073	0.007	0.036	0.072	0.288	0.576
					1800 ve 2400	0.092	0.009	0.045	0.091	0.362	0.722

Tablo 10. Kişisel çalışma masası için beyin sıvısı sıcaklık değişimi (bekleme)

Cihaz	Mesafe (m)	Maruz Kalınan EA (V/m)	Toplam EA (V/m)	Frekans (MHz)	ÖEO (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT) (°C)					
						6 dak.	30 dak.	1 saat	4 saat	8 saat	
Cep T.	0.0	0.41	4.81	0.41	900	0.000012	0.000	0.0001	0.0002	0.0007	0.0014
				0.41	1800	0.000021	0.000	0.0002	0.0003	0.0014	0.0027
Modem	1.0	1.00	4.81	4.40	2400	0.052000	0.005	0.026	0.052	0.207	0.413
A.Kart	0.5	3.00									
BlueT.	0.5	0.40									
					900 ve 2400	0.052	0.005	0.026	0.052	0.207	0.415
					1800 ve 2400	0.052	0.005	0.026	0.052	0.208	0.416

2.2. Senaryo-2 (ofis ortamı)

Şekil 4'te, dokuz çalışanlı bir ofiste orta masada oturan ofis çalışanın, kendisine ve çalışma arkadaşlarına ait cihazlar ile ortak kullanımdaki modem mesafesine bağlı olarak etkileyen elektriksel alanlar gösterilmiştir. Tablo 11 ve Tablo 12'de ise cep telefonu ile konuşma/bekleme anlarında, ofis çalışanın diğer cihazlar ile birlikte maruz kaldığı toplam elektriksel alan değerleri hesaplanmış ve bu değerlerden hareketle toplam ÖEO değerleri bulunarak; 6 ve 30 dakika ile 1, 4 ve 8 saat için ofis çalışanın beyin sıvısında meydana gelen sıcaklık değişimleri hesaplanmıştır.



Şekil 4. Dokuz çalışması olan ofis ortamı

Tablo 11. Ofis çalışması için beyin sıvısı sıcaklık değişimi (konuşma)

MASA I		Maruz Kalınan EA (V/m)				Toplam EA (V/m)	Frekans (MHz)	ÖEO (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT) ($^{\circ}C$)					
Msf (m)	Kişi	900-1800 MHz Cep T.	Modem	2400 MHz A. Kart	BlueT.				6 dak.	30 dak.	1 saat	4 saat	8 saat	
0	1	4.35	2	3.0	0.4	11.35	4.35	900	0.021	0.002	0.010	0.020	0.081	0.163
2	4	0.00	0	4 x 0,3	0.0		7.00	1800	0.040	0.004	0.019	0.039	0.155	0.309
4	4	0.00	0	4 x 0,1	0.0			2400	0.133	0.013	0.066	0.131	0.523	1.046
								900 ve 2400	0.154	0.015	0.076	0.151	0.604	1.209
								1800 ve 2400	0.173	0.017	0.085	0.170	0.678	1.355

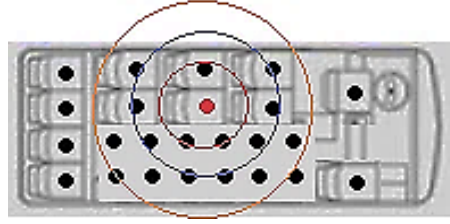
Tablo 12. Ofis çalışması için beyin sıvısı sıcaklık değişimi (bekleme)

MASA I		Maruz Kalınan EA (V/m)				Toplam EA (V/m)	Frekans (MHz)	ÖEO (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT) ($^{\circ}C$)					
Msf (m)	Kişi	900-1800 MHz Cep T.	Modem	2400 MHz A. Kart	BlueT.				6 dak.	30 dak.	1 saat	4 saat	8 saat	
0	1	0.41	2	3.0	0.4	7.41	0.41	900	12.10^{-6}	0.000	0.0001	0.0002	0.0007	0.0014
2	4	0.00	0	4 x 0,3	0.0		7.00	1800	21.10^{-6}	0.000	0.0002	0.0003	0.0014	0.0027
4	4	0.00	0	4 x 0,1	0.0			2400	0.133	0.013	0.066	0.131	0.523	1.046
								900 ve 2400	0.133	0.013	0.065	0.131	0.524	1.047
								1800 ve 2400	0.133	0.013	0.066	0.131	0.524	1.049

2.3. Senaryo-3 (toplu taşıma aracı)

2.3.1. Yolcu

Şekil 5'de, günlük yaşamda sıkça kullanılan bir toplu taşıma aracındaki yolcuya, kendisinin ve diğer yolculara ait cep telefonlarının mesafelerine bağlı olarak etkileyen elektriksel alanlar gösterilmiştir. Tablo 13 ve Tablo 14'de ise cep telefonu ile konuşma/internet kullanma ve bekleme/internet kullanmama anlarındaki yolcunun maruz kaldığı toplam elektriksel alan değerleri hesaplanmış ve bu değerlerden hareketle toplam ÖEO değerleri bulunarak; 6 ve 30 dakika ile 1, 2 ve 3 saat için yolcunun beyin sıvısında meydana gelen sıcaklık değişimleri hesaplanmıştır.



Şekil 5. Toplu taşıma aracı - Yolcu

Tablo 13. Toplu taşıma aracındaki yolcu için beyin sıvısı sıcaklık değişimi (konuşma)

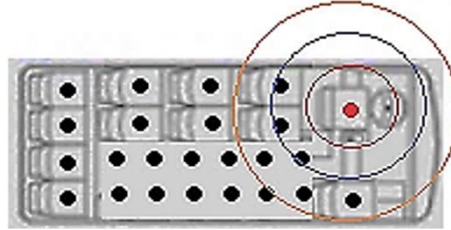
YOLCU		Maruz Kalınan EA (V/m)	Toplam EA (V/m)	Frekans (MHz)	ÖEO (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT) ($^{\circ}C$)					
Msf (m)	Kişi	900-1800 MHz				Cep Telefonu	6 dk.	30 dk.	1 saat	2 saat	3 saat
0.0	1	4.35	4.35	9.41	900	0.097	0.010	0.048	0.100	0.200	0.290
0.5	3	0.88	2.64								
1.0	8	0.22	1.76		1800	0.183	0.018	0.091	0.181	0.361	0.543
1.5	6	0.11	0.66								

Tablo 14. Toplu taşıma aracındaki yolcu için beyin sıvısı sıcaklık değişimi (bekleme)

YOLCU		Maruz Kalınan EA (V/m)	Toplam EA (V/m)	Frekan (MHz)	ÖEO (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT) ($^{\circ}C$)					
Msf (m)	Kişi	900-1800MHz				Cep Telefonu	6 dk.	30 dk.	1 saat	2 saat	3 saat
0.0	1	0.41	0.41	0.87	900	0.0008	0.0001	0.0004	0.0008	0.0016	0.0024
0.5	3	0.08	0.24								
1.0	8	0.02	0.16		1800	0.0016	0.0002	0.0008	0.0015	0.0031	0.0046
1.5	6	0.01	0.06								

2.3.2. Sürücü

Şekil 6'da, gün boyu yolculardan daha fazla elektriksel alana maruz kalan sürücüye, kendisinin ve diğer yolculara ait cep telefonlarının mesafelerine bağlı olarak etkiyen elektriksel alanlar gösterilmiştir. Tablo 15 ve Tablo 16'da ise cep telefonu ile konuşma/internet kullanma ve bekleme/internet kullanmama anlarındaki sürücünün maruz kaldığı toplam elektriksel alan değerleri hesaplanmış ve bu değerlerden hareketle toplam ÖEO değerleri bulunarak; 6 dakika ile 3, 5, 8 ve 12 saat için sürücünün beyin sıvısında meydana gelen sıcaklık değişimleri hesaplanmıştır. Görüldüğü üzere sürücünün konumu gereği diğer yolculardan uzak olması sürücüyü yolcuların cep telefonlarının oluşturduğu elektriksel alandan korumaktadır.



Şekil 6. Toplu taşıma aracı – Sürücü

Tablo 15. Toplu taşıma aracındaki sürücü için beyin sıvısı sıcaklık değişimi (konuşma)

SÜRÜCÜ		Maruz Kalınan EA (V/m)	Toplam EA (V/m)	Frekans (MHz)	ÖEO (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT) ($^{\circ}C$)					
Msf (m)	Kişi	900-1800 MHz				6 dk.	3 saat	5 saat	8 saat	12 saat	
0.0	1	4.35	4.35	5.45	900	0.032	0.003	0.096	0.160	0.256	0.383
0.5	0	0.00	0.00								
1.0	3	0.22	0.66		1800	0.062	0.006	0.182	0.303	0.486	0.728
1.5	4	0.11	0.44								

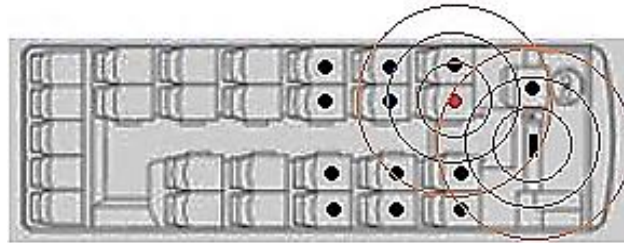
Tablo 16. Toplu taşıma aracındaki sürücü için beyin sıvısı sıcaklık değişimi (bekleme)

SÜRÜCÜ		Maruz Kalınan EA (V/m)	Toplam EA (V/m)	Frekans (MHz)	ÖEO (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT) ($^{\circ}C$)					
Msf (m)	Kişi	900-1800 MHz				6 dk.	3 saat	5 saat	8 saat	12 saat	
0.0	1	0.41	0.41	0.51	900	0.0003	0.0000	0.0008	0.0014	0.0022	0.0034
0.5	0	0.00	0.00								
1.0	3	0.02	0.06		1800	0.0005	0.0001	0.0016	0.0027	0.0043	0.0064
1.5	4	0.01	0.04								

2.4. Senaryo-4 (servis aracı)

2.4.1. Yolcu

Günümüz şehir yaşamında birçok insan iş yerine gidiş ve gelişlerinde servis araçları kullanmaktadır. Gün içinde servis araçlarında geçen zaman, trafik yoğunluğuna ve hava şartlarına bağlı olarak üç saate kadar çıkabilmektedir. Şekil 7’de ise servis araçlarında modemin de olduğu düşünülerek yolculardan herhangi birine, modem ile yolcunun kendisinin ve diğer yolcuların cep telefonlarının mesafeye bağlı olarak etkiyen elektriksel alanlar gösterilmiştir. Tablo 17 ve Tablo 18’de ise cep telefonu ile konuşma/bekleme anlarındaki, kullanıcının modemle birlikte maruz kaldığı toplam elektriksel alan değerleri hesaplanmış ve bu değerlerden hareketle toplam ÖEO değerleri bulunarak; 6 ve 30 dakika ile 1, 2 ve 3 saat için yolcunun beyin sıvısında meydana gelen sıcaklık değişimleri hesaplanmıştır.

**Şekil 7.** Servis aracı – Yolcu

Tablo 17. Servis aracındaki yolcu için beyin sıvısı sıcaklık değişimi (konuşma)

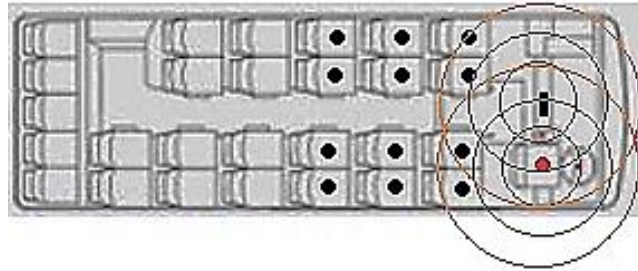
YOLCU		Maruz Kalınan EA (V/m)		Toplam EA (V/m)	Frekans (MHz)	ÖEO (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT) ($^{\circ}C$)					
Misf (m)	Kişi	900-1800 MHz Cep T.	2400 MHz Modem				6 dk.	30 dk.	1 saat	2 saat	3 saat	
0.0	1	4.35	0.75	6.97	6.22	900	0.042	0.0040	0.0210	0.0420	0.0830	0.1250
0.5	1	0.88			1800	0.080	0.0080	0.0400	0.0790	0.1580	0.2370	
1.0	3	0.22			0.75	2400	0.002	0.0002	0.0008	0.0015	0.0030	0.0045
1.5	3	0.11			900 ve 2400	0.044	0.0043	0.0216	0.0431	0.0862	0.1293	
						1800 ve 2400	0.082	0.0081	0.0403	0.0805	0.1611	0.2416

Tablo 18. Servis aracındaki yolcu için beyin sıvısı sıcaklık değişimi (bekleme)

YOLCU		Maruz Kalınan EA (V/m)		Toplam EA (V/m)	Frekans (MHz)	ÖEO (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT) ($^{\circ}C$)					
Misf (m)	Kişi	900-1800 MHz Cep T.	2400 MHz Modem				6 dk.	30 dk.	1 saat	2 saat	3 saat	
0.0	1	0.41	0.75	1.33	0.58	900	0.0003	0.0000	0.0001	0.0003	0.0006	0.0009
0.5	1	0.08			1800	0.0006	0.0001	0.0003	0.0006	0.0011	0.0017	
1.0	3	0.02			0.75	2400	0.0020	0.0002	0.0008	0.0015	0.0030	0.0045
1.5	3	0.01			900 ve 2400	0.0023	0.0002	0.0009	0.0018	0.0036	0.0054	
						1800 ve 2400	0.0026	0.0002	0.0010	0.0021	0.0041	0.0062

2.4.2. Sürücü

Şekil 8’de, gün boyu yolculardan daha fazla elektriksel alana maruz kalan servis sürücüsüne, modem ile kendisinin ve diğer yolcuların cep telefonlarının mesafeye bağlı olarak etkiyen elektriksel alanlar gösterilmiştir. Tablo 19 ve Tablo 20’de ise cep telefonu ile konuşma/bekleme anlarındaki, sürücünün modemle birlikte maruz kaldığı toplam elektriksel alan değerleri hesaplanmış ve bu değerlerden hareketle toplam ÖEO değerleri bulunarak; 6 dakika ile 3, 5, 8 ve 12 saat için sürücünün beyin sıvısında meydana gelen sıcaklık değişimleri hesaplanmıştır. Toplu taşıma araçlarında olduğu gibi servislerde de sürücünün konumu gereği diğer yolculardan uzak olması sürücüyü yolcuların cep telefonlarının oluşturduğu elektriksel alandan korumaktadır.

**Şekil 8.** Servis aracı-Sürücü

Tablo 19. Servis aracındaki sürücü için beyin sıvısı sıcaklık değişimi (konuşma)

SÜRÜCÜ		Maruz Kalınan EA (V/m)		Toplam EA (V/m)	Frekans (MHz)	ÖEO (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT) ($^{\circ}\text{C}$)					
		900-1800 MHz	2400 MHz				6 dk.	3 saat	5 saat	8 saat	12 saat	
Msf (m)	Kişi	Cep T.	Modem									
0.0	1	4.35	1.00	5.90	900	0.026	0.0026	0.078	0.129	0.207	0.310	
1.0	2	0.22			1800	0.050	0.0050	0.147	0.245	0.392	0.589	
1.5	1	0.11			2400	0.003	0.0003	0.008	0.013	0.021	0.032	
					900 ve 2400	0.029	0.0030	0.086	0.143	0.228	0.342	
					1800 ve 2400	0.053	0.0050	0.155	0.259	0.414	0.620	

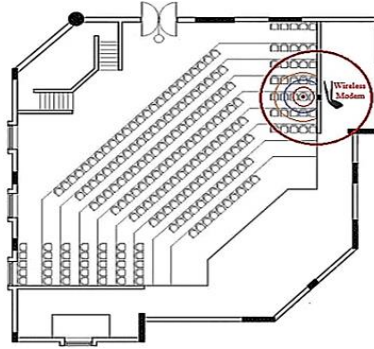
Tablo 20. Servis aracındaki sürücü için beyin sıvısı sıcaklık değişimi (bekleme)

SÜRÜCÜ		Maruz Kalınan EA (V/m)		Toplam EA (V/m)	Frekans (MHz)	ÖEO (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT) ($^{\circ}\text{C}$)					
		900-1800 MHz	2400 MHz				6 dk.	3 saat	5 saat	8 saat	12 saat	
Msf (m)	Kişi	Cep T.	Modem									
0.0	1	0.41	1.00	1.46	900	0.0002	0.0000	0.0007	0.0011	0.0018	0.0027	
1.0	2	0.02			1800	0.0004	0.0000	0.0013	0.0022	0.0035	0.0052	
1.5	1	0.01			2400	0.0030	0.0003	0.0080	0.0130	0.0210	0.0320	
					900 ve 2400	0.0032	0.0003	0.0087	0.0145	0.0232	0.0347	
					1800 ve 2400	0.0034	0.0003	0.0093	0.0155	0.0248	0.0372	

2.5. Senaryo-5 (salonlar)

2.5.1. Modemli salon

Şekil 10'da görüldüğü gibi toplantı, sinema, kongre, konser ve spor karşılaşmaları gibi kalabalık etkinliklerde katılımcılar uzunca bir süre çok sayıda cep telefonunun yaydığı elektriksel alanın etkisi altında kalmaktadır.

**Şekil 10.** Modemli sinema - tiyatro-toplantı salonu

Ayrıca bu tür yerlerde etkinliğe katılanların yararlanması amacıyla kablosuz internet erişimi için ortamda bir veya daha fazla modemde bulunmaktadır. Şekil 10'da bir salonda modemli olduğu düşünülerek izleyicilerden herhangi birine, modem ile izleyicinin kendisinin ve diğer izleyicilerin cep telefonunun mesafeye bağlı olarak etki eden elektriksel alanlar gösterilmiştir. Tablo 21 ve Tablo 22'de ise cep telefonları ile konuşma/bekleme anlarındaki, izleyicinin modemle birlikte maruz kaldığı toplam elektriksel alan değerleri hesaplanmış ve bu değerlerden hareketle toplam ÖEO değerleri bulunarak; 6 dakika ile 1, 2, 3 ve 4 saat için izleyicinin beyin sıvısında meydana gelen sıcaklık değişimleri hesaplanmıştır.

Tablo 21. Modemli salondaki seyirci için beyin sıvısı sıcaklık değişimi (konuşma)

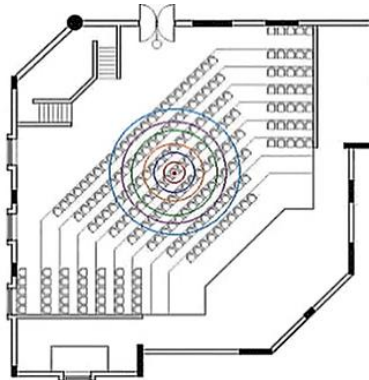
İZLEYİCİ		Maruz Kalınan EA (V/m)		Topla EA (V/m)	Frekans (MHz)	ÖEO (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT) (°C)					
		900-1800 MHz	2400 MHz				6 dk.	1 saat	2 saat	3 saat	4 saat	
Msf (m)	Kişi	Cep T.	Modem									
0.0	1	4.35	2.00	10.20	8.20	900	0.073	0.0072	0.072	0.145	0.217	0.289
0.5	2	0.88			1800	0.139	0.0137	0.137	0.275	0.412	0.550	
1.0	7	0.22			2400	0.011	0.0011	0.011	0.021	0.032	0.043	
1.5	5	0.11			900 ve 2400	0.084	0.0083	0.083	0.166	0.249	0.332	
						1800 ve 2400	0.150	0.0148	0.148	0.296	0.444	0.592

Tablo 22. Modemli salondaki seyirci için beyin sıvısı sıcaklık değişimi (bekleme)

İZLEYİCİ		Maruz Kalınan EA (V/m)		Toplam EA (V/m)	Frekans (MHz)	ÖEO (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT) (°C)					
		900-1800 MHz	2400 MHz				6 dk.	1 saat	2 saat	3 saat	4 saat	
Msf (m)	Kişi	Cep T.	Modem									
0.0	1	0.41	2.00	2.76	0.76	900	0.0006	0.0001	0.0006	0.0012	0.0018	0.0024
0.5	2	0.08			1800	0.0012	0.0001	0.0012	0.0024	0.0035	0.0047	
1.0	7	0.02			2400	0.0110	0.0010	0.0110	0.0210	0.0320	0.0430	
1.5	5	0.01			900 ve 2400	0.0116	0.0011	0.0113	0.0226	0.0339	0.0452	
						1800 ve 2400	0.0122	0.0012	0.0119	0.0237	0.0356	0.0474

2.5.2. Modemsiz salon

Şekil 11’de salonda modem olmadığı düşünülerek izleyicilerden herhangi birine, izleyicinin kendisinin ve diğer izleyicilerin cep telefonlarının mesafeye bağlı olarak etkiyen elektriksel alanlar gösterilmiştir.



Şekil 11. Modemsiz sinema-tiyatro-toplantı salonu

Tablo 23 ve Tablo 24’de ise cep telefonları ile konuşma/bekleme anlarındaki, izleyicinin maruz kaldığı toplam elektriksel alan değerleri hesaplanmış ve bu değerlerden hareketle toplam ÖEO değerleri bulunarak; 6 dakika ile 1, 2, 3 ve 4 saat için izleyicinin beyin sıvısında meydana gelen sıcaklık değişimleri hesaplanmıştır.

Tablo 23. Modemsiz salondaki seyirci için beyin sıvısı sıcaklık değişimi (konuşma)

İZLEYİCİ		Maruz Kalınan EA (V/m)	Toplam EA (V/m)	Frekans (MHz)	ÖEO (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT)($^{\circ}C$)					
Msf(m)	Kişi	900-1800 MHz				Cep T.	6 dk.	1 saat	2 saat	3 saat	4 saat
0.0	1	4.35	4.35	8.75	900	0.082	0.008	0.081	0.163	0.244	0.325
0.5	2	0.88	1.76								
1.0	8	0.22	1.76								
1.5	8	0.11	0.88		1800	0.156	0.015	0.154	0.309	0.463	0.617

Tablo 24. Modemsiz salondaki seyirci için beyin sıvısı sıcaklık değişimi (bekleme)

İZLEYİCİ		Maruz Kalınan EA (V/m)	Toplam EA (V/m)	Frekans (MHz)	ÖEO (W/kg)	Maruz Kalınan Süre (Δt) Beyin Sıvısındaki Sıcaklık Artışı (ΔT) ($^{\circ}C$)					
Msf (m)	Kişi	900-1800 MHz				Cep T.	6 dk.	1 saat	2 saat	3 saat	4 saat
0.0	1	0.41	0.41	0.81	900	0.0007	0.0001	0.0007	0.0014	0.0021	0.0028
0.5	2	0.08	0.16								
1.0	8	0.02	0.16								
1.5	8	0.01	0.08		1800	0.0014	0.0001	0.0013	0.0027	0.0040	0.0054

3. Bulgular ve Tartışma

Tablo 25'deki senaryoların genel değerlendirmesinde görüleceği üzere; benzetimlerin bir kısmında maruz kalınan elektriksel alan değerleri, bazı durumlarda özgül emilim oranları ve bazen de beyin sıvısında meydana gelen sıcaklık artışları güvenlik limit değerlerini aşmaktadır.

Tablo 25. Genel değerlendirme

Benzetim Ortamları	Maruz Kalınan Toplam EA (Limit: 10 V/m)	Özgül Emilim Oranı (ÖEO) (Limit: 0,08 W/kg)		Maruz Kalınan En Uzun Süre, Beyin Sıvısındaki En Yüksek Sıcaklık Artışı (Limit: 1 $^{\circ}C$)	
Çalışma Masası (Konuşma)	8.75 V/m	900 + 2400 MHz	1800 + 2400 MHz	8 saat	
		0.073 W/kg	0.092 W/kg	900 + 2400 MHz	1800 + 2400 MHz
Ofis Ortamı (Konuşma)	11.35 V/m	900 + 2400 MHz	1800 + 2400 MHz	8 saat	
		0.154 W/kg	0.173 W/kg	900 + 2400 MHz	1800 + 2400 MHz
Ofis Ortamı (Bekleme)	7.41 V/m	900 + 2400 MHz	1800 + 2400 MHz	8 saat	
		0.133 W/kg	0.133 W/kg	900 + 2400 MHz	1800 + 2400 MHz
Toplu T. (Yolcu / Konuşma)	9.41 V/m	900 MHz	1800 MHz	3 saat	
		0.097 W/kg	0.183 W/kg	900 MHz	1800 MHz
Servis (Yolcu/Konuşma)	6.97 V/m	900 + 2400 MHz	1800 + 2400 MHz	3 saat	
		0.044 W/kg	0.082 W/kg	900 + 2400 MHz	1800 + 2400 MHz
Salonlar (Modemli/Konuşma)	10.20 V/m	900 + 2400 MHz	1800 + 2400 MHz	4 saat	
		0.084 W/kg	0.160 W/kg	900 + 2400 MHz	1800 + 2400 MHz
Salonlar (Modemsiz/Konuşma)	8.75 V/m	900 MHz	1800 MHz	4 saat	
		0.082 W/kg	0.156 W/kg	900 MHz	1800 MHz

Özellikle ofis ortamı benzetimine bakıldığında; maruz kalınan elektriksel alanın, özgül emilim oranının ve beyin sıvısında meydana gelen sıcaklık artışının aynı anda limit değerleri aşması söz konusudur. Dolayısıyla bu durumun modüler ofis ortamlarında ve özellikle çağrı merkezlerinde çalışanların sağlığını olumsuz yönde etkileyeceği bulgusuna ulaşılmıştır.

4. Sonuçlar

Günlük yaşamda insanlar kendi kullandıkları haberleşme cihazlarının yanı sıra çevresinde bulunan cihazların yaydığı elektromanyetik radyasyona da maruz kalmaktadır. Bu maruziyet dokunun ihtiva ettiği su oranına bağlı olarak arttığından; beyin sıvısı gibi su oranı yüksek olan organlar ile vücuttaki su oranları yetişkinlere nazaran daha fazla olan çocuklar ve hamile bayanlar bu elektromanyetik radyasyondan daha çok etkilenmekte ve zarar görmektedir. Literatürde elektromanyetik radyasyonun sağlık yönünden zararları hususunda fikir ihtilafları da bulunmaktadır. Lakin bu çalışmada; insanların günlük hayatlarını idame ederken, ev ve ofislerindeki çalışma masalarında, toplu taşıma ve servis araçlarında, sinema, tiyatro, toplantı salonu gibi kalabalık yaşam alanlarında elektromanyetik radyasyon yayan birçok cihazın etkisi altında kaldığı düşünülerek, söz konusu bu ortamların benzetimleri yapılmış ve bu benzetimlerden elde edilen elektriksel alan değerlerinden hareketle de maruz kalınan özgül emilim oranları ve beyin sıvısındaki sıcaklık artışları hesaplanarak sıkışık modüler ofis ortamlarındaki maruziyet değerlerinin insan sağlığına zarar verecek güvenlik limit değerlerinin üzerinde olduğu görülmüştür. Elektromanyetik radyasyon yayan haberleşme cihazlarının, teknoloji ile iç içe geçtiği günümüz hayatının vazgeçilmez bir parçası olduğu aşikârdır. Önemli olan bu cihazların yaydığı elektriksel alandan mümkün mertebe en az etkilenecek şekilde tedbirler almaktır. Bu hususta; elektromanyetik radyasyon kaynağı cihazdan mümkün olduğunca uzak durulması, kaynak ile kullanıcı arasına koruyucu engel teşkil edilmesi (koruyucu giysiler, elektromanyetik ekranlama özelliğine sahip iletken boyalar ve duvar kâğıtları vb.) veya maruziyet süresinin olabildiğinde kısa tutulması kullanıcı tarafında alınabilecek önlemler olabildiği gibi, üretici tarafında da; daha düşük güçte cihazların üretilmesi, ÖEO değeri ve yaydığı elektrik alanı düşük cihazların tasarlanması gibi çalışmalar bu konuda yapılabilecekler arasında sayılabilir.

Kaynaklar

- [1] Zorlu E, Haberleşme Sistemlerinin Yaydığı Elektriksel Alandan Kaynaklanan Elektromanyetik Radyasyon ve İnsan Sağlığı. Yüksek Lisans Tezi, Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Ankara, 2015.
- [2] Akbal A, Elektromanyetik Dalgaların Mitotik Kromozomlar, Bakteri Gelişimi, Enzim Aktivitesi ve DNA Üzerine Etkileri. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2008.
- [3] T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. Radyolojik Tehditler. <http://cdn2.beun.edu.tr/imid/egitim/kbrn-radyolojik-sunum-son.pdf>, Erişim tarihi: 02.03.2020.
- [4] Sabuncu H. Elektromanyetik Radyasyon ve İnsan Sağlığına Etkileri. İstanbul Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı'na Bağlı İş Sağlığı Bilim Dalı, 2001/1.
- [5] Şeker S, Çerezci O. Çevremizdeki Radyasyon ve Korunma Yöntemleri. Boğaziçi Üniversitesi, 1997.
- [6] Bawin SM, Kaczmarek LK, Adey WR. Effects of Modulated VMF Fields on Central Nervous System. Annals of the N.Y. Academy of Sciences 1975; 247: 74-81.
- [7] Blackman CF, Benane SG, Elder JA, House DE, Joines WT. Induction of Calcium-Ion Efflux from Brain Tissue by Radiofrequency Radiation: Effect of Sample Number and Modulation Frequency Density Window. Bioelectromagnetics NY 1980; 1(1): 35-43.
- [8] Dutta SK, Subramaniam A, Ghosh B, Parshad R. Microwave Radiationinduced Calcium Ion Efflux from Human Neuroblastoma Cells in Culture. Bioelectromagnetics 1984; 5(1):71-8.
- [9] Rogacheva SM, Kuznetsov PE, Malinina UA, Popyhova EB, Denisova SA, Somov AU. Combined Effect of Electromagnetic Radiation of Extremely High Frequencies and Chemical Compounds on Biological Objects. Toxicology Letters 2006; 164:123-123(1).
- [10] Gilles S, Olivier C, Stéphane L, Grégory B, Steve O, Jean-Philippe P, Sergo P, Patrick J. Realistic Numerical Modelling of Human Head Tissue Exposure to Electromagnetic Waves from Cellular Phones. Comptes Rendus Physique 2006.
- [11] Ian AC. Biological Stres Responses to Radio Frequency Electromagnetic Radiation: are Mobil Phone Realy so (Heat) Shocking. Archives of Biochemistry and Biophysics 2005; 435-1: 227-240.
- [12] Laura ZM, Mario P, Valantina M, Michela B, Roberto B. Individual Responsiveness to Induction of Micronuclei in Human Lymphocytes After Exposure in Vitro 1800 MHz Microwave Radiation. Pupmed 2006; 782: 42-52.
- [13] Hans WP, Uwe S, Siegfried E, Walter W. Can Electromagnetic Fields Emitted by Mobil Phones Stimulate the Vestibular Organs. Rostock and Berlin 2006.
- [14] Türkkân A, Pala K. Çok Düşük Frekanslı Elektromanyetik Radyasyon ve Sağlık Etkileri. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi 2009; 14(2): 11-22.

- [15] Dimitris JP, Evangelia DC, Ioannis PN, Lukas HM. Cell Death Induced by GSM 900 MHz and DCS 1800 MHz Mobile Telephony Radiation. *Genetic Toxicology an Environmetal Mutagenesis* 2007; 26: 69-78.
- [16] Santini R, Santini P, Le Ruz P, Danze JM, Seigne M. Survey Study of Living in the Vicinity of Cellular Phone Base Station. *Electromagnetic Biology and Medicine* 2003; 22(1): 41-49.
- [17] Santini R, Santini P, Danze JM, Le Ruz P, Seigne M. Symptoms Experienced by People in Vicinity of Base Stations: Incidences of Distance and Sex. *Pathologie Biologie* 2002; 50(6): 369-73.
- [18] Yalçınkaya F, Özer A. Cep Telefonu SAR Değerinin İnsan Kulak ve Etrafında Sebep Olduğu Sıcaklık Artışının Termal Görüntüleme Tekniği ve Bulanık C-Ortalama Algoritması ile Analizi. *Eleco 2014 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu*; 2014; Bursa.
- [19] Ahlbom A, Gren A, Kheifets L, Savitz D, Swerdlow A. Epidemiology of Health Effects of Radio Frequency Exposure. *ICNIRP Standing Committee on Epidemiology, Environmental Health Perspectives* 2004; 112(17): 1741-1754.
- [20] Şeker S, Çerezci O. Elektromanyetik Alanların Biyolojik Etkileri Güvenlik Standartları ve Korunma Yöntemleri. *Boğaziçi Üniversitesi*, 1991.
- [21] Durney CH. Electromagnetic Dosimetry for Models of Humans and Animals: A Review of Theoretical and Numerical Techniques. *Proceedings of IEEE* 1980; 68(1), 33-40.
- [22] Sevgi L. Elektromanyetik Uyumluluk. *TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, Yapım Matbaa, İstanbul*, 2000.
- [23] ICNIRP, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz), *Health Physics* 118(5): 483-524; 2020.
- [24] TÜBİTAK-Bilten. Elektromanyetik Dalgalar ve İnsan Sağlığı Sıkça Sorulan Sorular ve Yanıtları. <https://docplayer.biz.tr/198643-Elektromanyetik-dalgalar-ve-insan-sagligi-sikca-sorulan-sorular-ve-yanitlari-tubitak-bilten.html> Erişim tarihi: 01.10.2015.
- [25] Ocaktan ME, Akdur R. Cep Telefonu Teknolojisi ve Sağlık. *Türkiye Klinikleri Tıp Bilimleri Dergisi* 2008; 28(1): 58-65.
- [26] Sarı S, Dizman S. Ovit Dağbaşı Gölü Çevresinden Alınan Toprak Örneklerinde Radyoaktivite ve Radyolojik Etkilerin Araştırılması. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi* 2020; 7(3): 1122-1130.
- [27] Çalışan M, Türkoğlu İ. Termal Kameralar ve Uygulamaları. *Elektrik-Elektronik Bilgisayar Sempozyumu (FEEB)*; 2011; Elazığ. 46-50.
- [28] Firengiz A, Kavas A. Cep Telefonlarından Yayınlanan Elektromanyetik Radyasyon Ölçümleri ve Maruz Kalma Standartlarının Değerlendirilmesi. *TMMOB II. İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu (İTUSEM)*; 2005; Adana.
- [29] Ersoy M, Yigit T, Yuksel AS. A Decision Support Tool for Indoor WLAN Modeling Using Optimization Techniques. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering* 2020; 7(3): 1231-1244.