

T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOFİZİK ANABİLİM DALI

**900 MHz ve 1800 MHz
RADYO FREKANS RADYASYONUN
KAN BEYİN BARIYERİNE ETKİSİ**

DOKTORA TEZİ

Bahriye SIRAV ARAL

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Nesrin SEYHAN

ANKARA
Şubat 2008

T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOFİZİK ANABİLİM DALI

**900 MHz ve 1800 MHz
RADYO FREKANS RADYASYONUN
KAN BEYİN BARIYERİNE ETKİSİ**

DOKTORA TEZİ

Bahriye SIRAV ARAL

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Nesrin SEYHAN

Bu tez *Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP)* tarafından desteklenen *01/2003-62 nolu "Radyo Frekans Deney Sistemi"* başlıklı proje ile alınan sistem ile yapılmış olup, *01/2005-78 nolu "Radyo Frekans Radyasyon (RFR)'un Kan Beyin Bariyerine Etkisi"* başlıklı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Tezde elektromanyetik alan ölçümleri *31/2002-07 nolu "Elektromanyetik Kirlilik Ölçüm Merkezi"* başlıklı proje ile alınmış olan ölçüm cihazları ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma *G.Ü.ET-04.043 nolu protokol ile üniversitemiz yerel Etik Kurul onayını almıştır.*

ANKARA
15.02.2008

T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Sağlık Bilimleri Enstitüsü

Biyofizik Anabilim Dalı Doktora Programı
çerçevesinde yürütülmüş olan bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından
Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi : 21.02.2008



İmza

Prof. Dr. Nesrin SEYHAN
Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı
Jüri Başkanı

İmza

Prof. Dr. Vesile SEPİCİ
Gazi Üniversitesi

İmza

Prof. Dr. Necdet ÇEVİKER
Gazi Üniversitesi

İmza

Prof. Dr. Mehmet ZEYREK
Orta Doğu Teknik Üniversitesi

İmza

Yrd. Doç. Dr. Göknuş GÜLER ÖZTÜRK
Gazi Üniversitesi

İÇİNDEKİLER

Konu	Sayfa No
Kabul ve Onay	ii
İçindekiler	iii
AMAÇ	vi
Tablo Listesi	vii
Şekil Listesi	ix
Kısaltmalar	xi
10'un Kuvvetleri için Kısaltmalar	xii
Bazı Temel Fiziksel Sabitler	xiii
Birimler	xiii
Çevrimler	xiv
Yunan Harfleri ve Okunuşları	xiv
Elektromanyetik Radyasyon / Biyolojik Etkileri / Elektromanyetik Alan Standartları ile ilgili Ulusal ve Uluslararası Kurumlar ve web siteleri	xv
Radyo Frekans Radyasyon için Kullanılan Terimler ve Tanımları	xvii
Önsöz	xxi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Elektromanyetik Alanlar ve Elektromanyetik Spektrum	4
2.1.1. Elektromanyetik Spektrum (Elektromanyetik Tayf)	8
2.2. RF Alanlar	14
2.2.1. RF Alanların Tarihçesi	14
2.2.2. IARC ve Kanser Monografisi	16
2.2.3. RF Alanların Fiziksel Özellikleri	17
2.2.4. RF Alan Kaynakları	20
2.2.5. Dozimetri	25
A. Akım Yoğunluğu	26
B. Özgül Soğurma Oranı	26
C. Güç Yoğunluğu	28
2.3. RF Alanların Biyolojik Yapılarla Etkileşimi	28
2.3.1. Fiziksel Parametreler	28
2.3.2. Biyolojik Parametreler	31
2.3.3. Çevresel Faktörler	36
2.3.4. RF Alanların Biyolojik Etkileri ve Etki mekanizmaları	36
2.4. RF Alanlar için Oluşturulmuş Standartlar	37
2.4.1. RF Alanlar için Oluşturulmuş Uluslararası Standartlar	38
2.4.2. Türkiye RF Standardı	39
2.4.3. Elektromanyetik Alanlar ve İhtiyat İlkesi	40
2.5. RF Alanların Biyolojik Etkileri	41
2.5.1. Genetik Etkiler	41
2.5.2. Üreme – Büyüme ve Gelişmeye Etkiler	43

2.5.3. Nörolojik Etkiler	43
2.5.3.1. Kan Beyin Bariyerine Etkiler	44
2.5.3.2. EEG'ye Etkiler	49
2.5.4. Karsinojenik Etkiler	50
2.5.5. Davranış Etkileri	51
2.5.6. Kardiyovasküler Etkiler	52
2.5.7. Hematolojik ve İmmünolojik Etkiler	53
2.5.8. Hastane Cihazları ile Etkileşim	53
2.6. Beyin	55
2.7. Kan Beyin Bariyeri	58
2.7.1. Kan Beyin Bariyerinin Fizyolojik – Biyofiziksel Özellikleri	60
2.7.2. Kan Beyin Bariyerinin Önemi	63
2.7.3. Kan Beyin Bariyerinin Yıkılım Durumları	63
2.7.4. İlaçlar ve Kan Beyin Bariyeri	70
3. GEREÇ VE YÖNTEM	71
3.1. Araştırmada Kullanılan Cihaz ve Malzemeler	71
3.1.1. Radyo Frekans Radyasyon Sistemi	71
3.1.2. Kimyasal Çalışmada Kullanılan Cihazlar	73
3.1.3. Araştırmada Kullanılan Kimyasallar	73
3.1.4. Deney Hayvanları	73
3.1.5. Deney Grupları	73
3.2. Yöntem	74
3.2.1. Radyo Frekans Sisteminin Oluşturulması	74
3.2.2. Deney Şartlarının Standardizasyonunun Sağlanması	75
A. Sıcaklık ve Nem	76
B. Radyo Frekans Radyasyon Ölçümleri	76
C. Oldukça Düşük Frekanslı (ELF) Alan Ölçümleri	76
3.2.3. Dokuların ve solüsyonların hazırlanması: Beyin ve Beyincik Örneklerinde Evans Blue (EB) Belirlenmesi	78
A. Kimyasalların hazırlanması	78
B. Standart eğri ve kör	79
C. Evans Blue – EB - Konsantrasyonunun Belirlenmesi	79
3.2.4. İstatistiksel Değerlendirme	80
4. BULGULAR	81
4.1. Tüm Grupların Sağ Beyin, Sol Beyin, Serebellum ve Toplam Beyin ağırlıkları, spektrofotometre okuma sonuçları ve birim dokulardaki EB miktarları	81
4.2. Tüm Gruplarda Sağ Beyin, Sol Beyin ve Serebellum Evans Blue Miktarları	83
A. Dişi gruplarda sağ beyin, sol beyin ve serebellum karşılaştırması	84

B. Erkek gruplarda sağ beyin, sol beyin ve serebellum karşılaştırması	87
4.3. Grupların kendi içinde değerlendirilmesi	90
4.4. Gruplar arası Değerlendirmeler	90
4.4.1. Dişi ve Erkek Gruplarının Kendi içinde Karşılaştırılması (Toplam Beyin)	91
4.4.2. Aynı Maruziyeti Alan Grupların Cinsiyete Göre Karşılaştırılması (Toplam Beyin)	92
4.4.3. Aynı Cinsiyet ve aynı frekanslarda modülasyonların karşılaştırılması (Toplam Beyin)	93
4.4.4. Aynı Cinsiyetlerde ve Aynı Modülasyonlarda frekans karşılaştırılması (Toplam Beyin)	94
5. TARTIşMA	95
6. SONUÇ	102
7. ÖZET	103
8. SUMMARY	105
9. KAYNAKLAR	106
10. EKLER: GRUP VERİLERİ	123
11. İSTATİSTİKSEL EKLER	133
12. SAR SİMÜLASYONUNA İLİşKİN EKLER	167
13. ZGEMİş	168

AMAÇ

Bilim dünyası uzun bir süredir Radyo Frekans Radyasyonun (RFR) biyolojik etkileri ile ilgili araştırmalar yapmaktadır. RFR'un Kan Beyin Bariyeri (KBB) geçirgenliğine etkisi üzerine çalışmalar önemli bir araştırma alanını oluşturmaktadır. Günümüze kadar yapılan çalışmaların bazılarında KBB - RFR arasında herhangi bir ilişki gözlenemezken, bazı çalışmalarda cep telefonu ve baz istasyonu sistemlerinde kullanılan alan benzeri alanlara maruziyetin KBB geçirgenliğini arttırdığı bildirilmiştir. Kan beyin bariyeri – RFR ilişkisini inceleyen ve etki gözlemleyen araştırmacıların bir bölümü olası etkileri RFR'un termal etkilerine bağlarken, bazı bilim insanlarınca etkilerin non-termal biyolojik değişimlerden kaynaklı olduğu öne sürülmektedir.

Çalışmamızda RFR'un non-termal etkileri araştırılmıştır. Türkiye'de cep telefonlarında ve baz istasyonlarında yaygın olarak kullanılan ve ısı etkisi oluşturmayacak seviyede oluşturulan 900 MHz ve 1800 MHz frekanslarında, CW – Sürekli Dalga ve GSM modülasyonlu RFR'un dişi ve erkek sıçanlarda sağ beyin, sol beyin, serebellum ve toplam beyin dokusu kan beyin bariyeri geçirgenliklerine etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. RF alanların kan beyin bariyerine etkilerinin incelendiği araştırmalar arasında sağ beyin, sol beyin ve serebellumun ayrı ayrı çalışıldığı bir araştırma henüz yapılmamıştır. Çalışmamız bundan sonra yapılacak bu tür çalışmalara referans oluşturması açısından önemlidir.

TABLO LİSTESİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	Elektromanyetik Alanların frekans, dalga boyu ve foton başına enerji değerleri	9
Tablo 2	IARC Kanser Monografı	16
Tablo 3	IARC Kanser Sınıflandırması	17
Tablo 4	RF Alan Kaynaklarının uzaklığa göre oluşturdukları Elektrik alan (E) veya güç yoğunluğu (S) değerleri	21
Tablo 5	Asya, Avrupa ve Kuzey Amerika'da kullanılan Frekans bantları ve tipik çıkış güçleri	22
Tablo 6	Üç nesil cep telefonu sistemlerinin Ana sistemleri, Uygulamaları, Yerel abone, hız ve diğer özellikleri açısından karşılaştırılması	22
Tablo 7	GSM 900, GSM 1800 ve 3 G sistemlerinin karşılaştırılması	24
Tablo 8	Farklı dokuların 37°C'de yansıma katsayıları (R)	34
Tablo 9	RF dalganın frekansına göre dokulara girginliği (cm)	35
Tablo 10	Dokuların Dielektrik Sabiti (ϵ_r) ve İletkenliklerinin (σ) Frekansa göre Değişimi	35
Tablo 11	İnsan Beyni Tipik Dielektrik Özellikleri	36
Tablo 12	Mesleki Maruziyette izin verilen <u>ICNIRP</u> Limitleri (MPE)	38
Tablo 13	Genel Halk için izin verilen <u>ICNIRP</u> Limitleri (MPE)	38
Tablo 14	Telekomünikasyon Kurumu Yönetmeliğinde yer alan RF Standartları	39
Tablo 15	ICNIRP SAR Limitleri	40
Tablo 16	Mesleki Maruziyet SAR Limitleri	40
Tablo 17	Genel Halk Maruziyeti SAR Limitleri	40
Tablo 18	Beyin kapiller endotel hücrelerinin elektriksel direncinin diğer damarların elektriksel direnci ile karşılaştırılması	63
Tablo 19	Tüm Gruplarda Maruz Kalınan RF Alan Ölçüm Verileri	76
Tablo 20	Laboratuar Oldukça Düşük Frekanslı (ELF) Manyetik Alan Ölçümleri	77
Tablo 21	Laboratuar ELF Elektrik Alan Ölçümleri	77
Tablo 22	Tüm Gruplarda Sağ beyin – sol beyin ve serebellum karşılaştırılması	83
Tablo 23	Tüm Grupların Toplam Beyin EB Konsantrasyonu	90
Tablo 24	Grup I: Dişi Kontrol Grubu Doku Ağırlıkları,	123

	Spektrofotometre Okumaları ve Birim Dokuda EB Miktarı	
Tablo 25	Grup II: Erkek Kontrol Grubu Doku Ağırlıkları, Spektrofotometre Okumaları ve Birim Dokuda EB Miktarı	124
Tablo 26	Grup III: Dişi 900 MHz CW Grubu Doku Ağırlıkları, Spektrofotometre Okumaları ve Birim Dokuda EB Miktarı	125
Tablo 27	Grup IV: Dişi 1800 MHz CW Grubu Doku Ağırlıkları, Spektrofotometre Okumaları ve Birim Dokuda EB Miktarı	126
Tablo 28	Grup V: Erkek 900 MHz CW Grubu Doku Ağırlıkları, Spektrofotometre Okumaları ve Birim Dokuda EB Miktarı	127
Tablo 29	Grup VI: Erkek 1800 MHz CW Grubu Doku Ağırlıkları, Spektrofotometre Okumaları ve Birim Dokuda EB Miktarı	128
Tablo 30	Grup VII: Dişi 900 MHz GSM Grubu Doku Ağırlıkları, Spektrofotometre Okumaları ve Birim Dokuda EB Miktarı	129
Tablo 31	Grup VIII: Dişi 1800 MHz GSM Grubu Doku Ağırlıkları, Spektrofotometre Okumaları ve Birim Dokuda EB Miktarı	130
Tablo 32	Grup IX: Erkek 900 MHz GSM Grubu Doku Ağırlıkları, Spektrofotometre Okumaları ve Birim Dokuda EB Miktarı	131
Tablo 33	Grup X: Erkek 1800 MHz GSM Grubu Doku Ağırlıkları, Spektrofotometre Okumaları ve Birim Dokuda EB Miktarı	132
Tablo 34	Simülasyonda kullanılan malzemelerin dielektrik özellikleri	167
Tablo 35	900 ve 1800 MHz sürekli dalga uygulaması için Kafa bölgesinde elde edilen SAR değerleri	167

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil i	Tipik bir horn anten	xviii
Şekil ii	Yönsüz Anten için Örnek Işıma	xx
Şekil iii (A - B)	Yönlü Antenler için Örnek Işımalar	xx
Şekil 1	Manyetik Alan	5
Şekil 2	Bir iletenden geçen akımın yarattığı manyetik alan çizgileri	5
Şekil 3	Yerin Manyetik Alan Çizgileri	6
Şekil 4	Elektromanyetik Dalga Yayılımı	8
Şekil 5	Elektromanyetik Spektrum (Elektromanyetik Tayf)	10
Şekil 6	Örnek anten yapısı için yakın alan ve uzak alan bölgeleri	19
Şekil 7	Cep telefonları	24
Şekil 8	İnsan başını temsil eden modelin cep telefonunun yarattığı radyasyonu ne kadar soğurduğunun gösterimi	25
Şekil 9	SAR çalışmalarında kullanılan sistemlerden birisi	27
Şekil 10	E, H ve K polarizasyon	29
Şekil 11	Tipik RF soğurum eğrisi	30
Şekil 12	710 MHz, 100 mW/cm ² 'ye 5 dakika maruz bırakılan fantomdaki sıcaklık değişimi (E//L)	30
Şekil 13	Frekansa bağlı olarak elektriksel geçirgenliğin ve iletkenliğin gösterimi	32
Şekil 14	Elektromanyetik dalganın iki farklı ortamda davranışı	33
Şekil 15	Sıçan Beyni	58
Şekil 16	Maymun Beyni	58
Şekil 17	Kedi Beyni	58
Şekil 18	İnsan Beyni	58
Şekil 19	Kan Beyin Bariyerinin morfolojik yapısı	59
Şekil 20	Kan – serebrospinal sıvı bariyerini oluşturan yapılar	61
Şekil 21	Kan ve Beyin arasındaki transport mekanizmaları	62
Şekil 22	Puls Modeli	71
Şekil 23	Maruziyet altında sıçan	72
Şekil 24	Deney Düzeneği (CW)	75
Şekil 25	Laboratuar ELF Radyasyon Ölçüm Noktaları	77
Şekil 26	Dişilerde Sağ Beyin EB Miktarı	84
Şekil 27	Dişilerde Sol Beyin EB Miktarı	85
Şekil 28	Dişilerde Serebellum EB Miktarı	86

Şekil 29	Erkeklerde Sağ Beyin EB Miktarı	87
Şekil 30	Erkeklerde Sol Beyin EB Miktarı	88
Şekil 31	Erkeklerde Serebellum EB Miktarı	89
Şekil 32	Dişi ve Erkek Gruplarının Kendi içinde Karşılaştırılması (Toplam Beyin)	91
Şekil 33	Aynı Maruziyeti (Sham ya da RF) Alan Grupların Cinsiyetine Göre Karşılaştırılması (Toplam Beyin)	92
Şekil 34	Aynı Cinsiyet ve aynı frekanslarda modülasyonların karşılaştırılması (Toplam Beyin)	93
Şekil 35	Aynı Cinsiyetlerde ve Aynı Modülasyonlarda frekans karşılaştırılması (Toplam Beyin)	94
Şekil 36	Simülasyonu gerçekleştirilen RF alan maruziyet durumu	167

KISALTMALAR

AC (Alternating Current – Alternatif Akım)	: Zamana göre değişen şiddette akım
AM (Amplitude Modulation)	: Genlik Modülasyonu
B	: Manyetik Akı Yoğunluğu
BBB (Blood Brain Barrier)	: Kan Beyin Bariyeri (KBB)
C	: Işık Hızı
CW (Continuous Wave)	: Sürekli Dalga
DC (Direct Current – Doğru Akım)	: Zamana göre değişmeyen – statik – sabit akım
E (Electric Field)	: Elektrik Alan
EB	: Evans Blue
EEG	: Elektroensefalografi
ELF (Extremely Low Frequency)	: Oldukça Düşük Frekans Aralığı ($0 < f < 300$ Hz)
EM (ElectroMagnetic)	: Elektromanyetik
EMF (ElectroMagnetic Field)	: Elektromanyetik Alan
f (Frequency)	: Frekans
FM (Frequency Modulation)	: Frekans Modülasyonu
Q (q)	: Elektrik Yükü
G (Gain)	: Kazanç
GSM (Global System for Mobile Communication)	: Küresel Mobil İletişim Sistemi
H	: Manyetik Alan
HF (High Frequency)	: Yüksek Frekans ($3 < f < 30$ MHz)
HRP	: Horse Radish Peroxidase
I	: Elektrik Akım Şiddeti
IR (Infrared)	: Kızılötesi
J	: Akım Yoğunluğu
K	: Yayılım Vektörü
LF (Low Frequency)	: Düşük Frekans ($300 \text{ Hz} < f < 3 \text{ kHz}$)
MEG	: Magneto-ensefalografi
MF (Middle Frequency)	: Orta Frekans ($0.3 < f < 3 \text{ MHz}$)
MPE (Maximum Permissible Exposure)	: İzin verilen en fazla maruziyet dozu
MRI (Magnetic Resonance Imaging)	: Manyetik Rezonans Görüntüleme
MS	: Multiple Sclerosis
MW (Microwave)	: Mikrodalga
P (Power)	: Güç

PCS (Personel Communication System)	: Kişisel Çağrı Sistemi
RF (Radio Frequency)	: Radyo Frekans (3 kHz < f < 300 GHz)
RF PEMF	: Radyo Frekans Pulsu Elektromanyetik Alan
RF CW	: Sürekli Radyo Frekans Radyasyon
S	: Güç Yoğunluğu
SAR (Specific Absorbtion Rate)	: Özgül Soğurma Oranı
UHF (Ultra High Frequency)	: Ultra Yüksek Frekans (300 < f < 3000 MHz)
UV (UltraViolet)	: UltraViole-Mor Ötesi
VHF (Very High Frequency)	: Çok Yüksek Frekans (30 < f < 300 MHz)
W	: Ağırlık
WBC (White Blood Cell)	: Beyaz kan hücresi
λ	: Dalga Boyu
σ	: İletkenlik
μ	: Manyetik Geçirgenlik
ϵ	: Elektriksel Geçirgenlik
Ω	: Açısal Hız

10'UN KUVVETLERİ İÇİN KISALTMALAR

Kısaltma	Ön Ek	Kuvvet
a.....	atto.....	10^{-18}
f.....	femto...	10^{-15}
p.....	pico.....	10^{-12}
n.....	nano....	10^{-9}
μ	micro.....	10^{-6}
m.....	milli	10^{-3}
c.....	centi.....	10^{-2}
d...	deci.....	10^{-1}
da.....	deka.....	10^1
h.....	hecto.....	10^2
k.....	kilo.....	10^3
M.....	mega.....	10^6
G.....	giga.....	10^9
T.....	tera.....	10^{12}
P.....	peta.....	10^{15}
E.....	exa.....	10^{18}

BAZI TEMEL FİZİKSEL SABİTLER

Fiziksel Sabit	Değeri
Işık Hızı (c)	3×10^8 m/sn
Planck Sabiti (h)	6.62×10^{-34} j.sn
Boşluğun Empedansı (Z)	377 Ω
1 elektron Volt (1 eV)	1.602×10^{-19} joule
Boşluğun Elektriksel Geçirgenliği (ϵ_0)	8.85×10^{-12} F/m
Boşluğun Manyetik Geçirgenliği (μ_0)	$4\pi \times 10^{-7}$ N/A ²

BİRİMLER

Nicelik	Birim	Sembol
Manyetik Alan (H)	Amper / metre	A/m
Manyetik Akı Yoğunluğu (B)	Tesla	T
	Gauss	G
Elektrik Alan (E)	Volt/metre	V/m
	Newton/Coulomb	Nt/C
Elektrik Akım Şiddeti (I)	Amper	A
Güç Yoğunluğu (S)	Watt/metre ²	W/m ²
Dalga Boyu (λ)	metre	m
	Angstrom	A°
Frekans (f)	Hertz (sn ⁻¹)	Hz
Güç (P)	Watt	W
Uzaklık (x, h, R)	metre	m
Hız (u)	metre/saniye	m/sn
Özgül Soğurma Oranı (SAR)	Watt/kilogram	W/kg
Akım Yoğunluğu (J)	Amper / metre ²	A/m ²
Enerji (E)	Joule	j
	kilokalori	kcal
	elektron volt	eV
	erg	erg
Ağırlık	kilogram	kg
Dielektrik Sabiti	Farad/metre	F/m
İletkenlik	Siemens/metre	S/m
Potansiyel Fark	Volt	V
Elektrik Yükü	Coulomb	C
Sıcaklık	Santigrat Derece	C°
	Fahrenhayt Derece	F°

ÇEVİRİMLER

Uzunluk	:	1 m = 100 cm = 1000 mm = $10^6 \mu\text{m}$ = 10^{10} Angstrom = 10^{10} Å
		1 m = 39,37 inç = 3,281 ft
Enerji	:	1 j = 2.389×10^{-4} kcal = 10^7 erg
		1 eV = 1.6×10^{-19} j = 1.6×10^{-12} erg
Güç	:	1 W = 1 j /sn
Frekans	:	1 kHz = 10^3 Hz
		1 MHz = 10^6 Hz
		1 GHz = 10^9 Hz
Manyetik Alan	:	1 T = 10^4 G
Kütle	:	1 kg = 1000 gr
		1 gr = 1000 mgr
Sıcaklık	:	T(°C) = T(°F) - 32 / 1.8
		T(°F) = T(°C) x 9/5 + 32

YUNAN HARFLERİ VE OKUNUŞLARI

α alfa	η eta	ν nü	τ to
β beta	θ teta	ξ ksi	υ üpsilon
γ gama	ι iota	ο mikron	φ fi
δ delta	κ kapa	π pi	χ ki
ε epsilon	λ lamda	ρ ro	ψ psi
ζ zeta	μ mü	σ sigma	ω omega

ELEKTROMANYETİK RADYASYON / BİYOLOJİK ETKİLERİ / ELEKTROMANYETİK ALAN STANDARTLARI İLE İLGİLİ ULUSAL VE ULUSLARARASI KURUMLAR VE WEB SİTELERİ

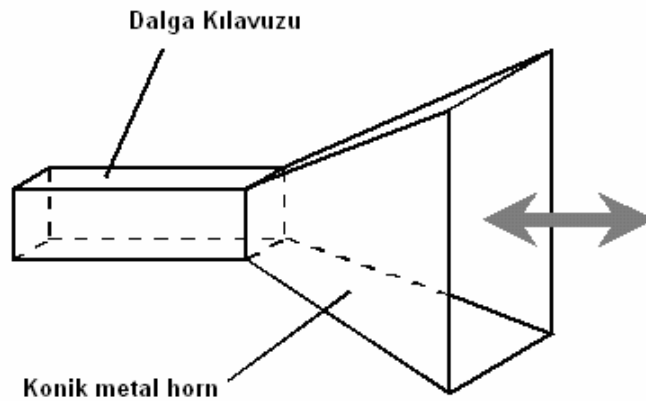
- **ANSI:** American National Standards Institute, USA (Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü, ABD - <http://www.ansi.org/>)
- **ARPANSA:** Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, Australia (Avustralya Radyasyondan Korunma ve Nükleer Güvenlik Ajansı, Avustralya - <http://www.arpansa.gov.au/>)
- **Bioelectromagnetics Society-** Biyoelektromanyetik Topluluğu - www.bioelectromagnetics.org
- **BfS:** Bundesamt für Strahlenschutz, Germany (Almanya - <http://www.bfs.de/elektro>)
- **CENELEC:** European Committee for Electrotechnical Standardization (Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi - <http://www.cenelec.org/Cenelec/Homepage.htm>)
- **COST 244 (Europe)** - European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research : Biomedical Effects of Electromagnetic Fields ; Avrupa Bilimsel ve Teknik Araştırma Birimi : Elektromanyetik Alanların Biyomedikal etkileri: www.radio.fer.hr/cost244
- **GNRK:** Gazi Non-İyonizan Radyasyondan Korunma Merkezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye (www.gnrk.gazi.edu.tr)
- **EC:** European Commission (Avrupa Birliği - http://ec.europa.eu/index_en.htm)
- **EMF Portal:** Information on the Effects of Electromagnetic Fields : Elektromanyetik Alanların Etkileri ile ilgili Bilgiler : <http://www.emf-portal.de/sitenews.php?l=e>
- **EMF NET:** Effects of the Exposure to Electromagnetic Fields: From Science to public Health and Safer Workplace – Elektromanyetik Alanlara Maruziyetin Etkileri: Bilimden Halk Sağlığına ve Güvenli Çalışma Ortamlarına : <http://web.jrc.ec.europa.eu/emf-net/>
- **EPA:** Environmental Pollution Agency, USA (Çevresel Kirlilik Ajansı, ABD - <http://www.epa.gov/>)
- **FCC:** Federal Communication Commission, USA (Federal İletişim Komisyonu, ABD - <http://www.fcc.gov/>)
- **FDA:** Food and Drug Administration, USA (Gıda ve İlaç Yönetimi, ABD - <http://www.fda.gov/> ; www.fda.gov/cdrh/ocd/mobilphone.html)
- **IARC:** International Agency for Research on Cancer (Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı - <http://www.iarc.fr/>)
- **ICNIRP:** International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (Uluslararası Non-İyonize Radyasyondan Korunma Komisyonu - <http://www.icnirp.de/>)

- **IEC:** International Electrotechnical Commission (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu - <http://www.iec.ch/>)
- **IEEE:** Institute of Electrical and Electronics Engineers ,USA (Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Enstitüsü, ABD - <http://www.ieee.org/portal/site>)
- **ILO:** International Labour Office (Uluslararası Çalışma Örgütü - <http://www.ilo.org/>)
- **Institute of Environmental Medicine, Sweden** (Çevre Sağlığı Enstitüsü, İsveç - <http://www.imm.ki.se/eng/index.htm>)
- **International Microwave Power Institute** (Uluslararası Mikrodalga Güç Enstitüsü) - www.impi.org
- **IRPA:** International Radiation Protection Association (Uluslararası Radyasyondan Korunma Topluluğu - <http://www.irpa.net/>)
- **ITU:** International Telecommunication Union (Uluslararası Telekomünikasyon Kurumu - <http://www.itu.int/home/index.html>)
- **KI:** Karolinska Institute, Sweden (Karolinska Enstitüsü, İsveç - <http://ki.se/ki/jsp/polopoly.jsp?d=130&l=en>)
- Microwave News (Mikrodalga Haberler) - www.microwavenews.com
- **NCRP:** National Council on Radiation Protection and Measurements, USA (Ulusal Radyasyondan Korunma ve Ölçümü Kurumu, ABD - <http://www.ncrponline.org/>)
- **NIEHS:** National Institute of Environmental Health Sciences, USA (Ulusal Çevre Sağlık Bilimleri Enstitüsü, ABD - <http://www.niehs.nih.gov/>)
- **NIES:** National Institute of Environmental Studies, Japan (Ulusal Çevre Çalışmaları Enstitüsü, Japonya - <http://www.nies.go.jp/>)
- **NIOSH:** National Institute of Occupational Health, USA (Ulusal Mesleki Sağlık Enstitüsü, ABD - <http://www.cdc.gov/niosh/>)
- **NRPB:** National Radiological Protection Board, UK (Ulusal Radyolojik Korunma Birliği, İngiltere - <http://www.nrpb.org/>)
- **OSHA:** US Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration – Amerikan Çalışma Bölümü Mesleki Güvenlik ve Sağlık Birimi - <http://www.osha.gov/> ; www.osha-slc.gov/SLTC
- **TK:** Telekomünikasyon Kurumu, Türkiye – www.tk.gov.tr
- **UNEP:** United Nations Environment Programme (Birleşmiş Milletler Çevre Programı - <http://www.unep.org/>)
- **WHO:** World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü – www.who.int/peh-emf)

RADYO FREKANS RADYASYON (RFR) İÇİN KULLANILAN TERİMLER VE TANIMLARI

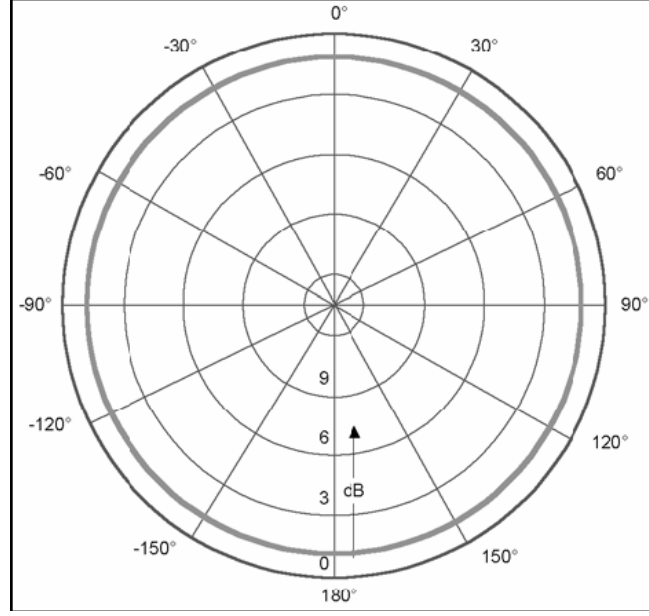
- **Akım Yoğunluğu (J)** : Birim yüzeyden geçen akım miktarı. Birimi A/m^2 'dir.
- **Analog Sistem**: Bilginin değişik frekans ya da genlikte elektronik sinyale dönüştürüldüğü sistem. Dijital sistemlerden daha iyi kapsama sağlar, ancak daha az güvenlidir ve sinyal zayıfsa çok girişim gözlenir.
- **Anten**: Elektrik sinyallerini (voltaj ve akım) elektromanyetik dalgalara ya da elektromanyetik dalgaları elektrik sinyallerine dönüştürmek için kullanılan araç.
- **Anten kazancı ve anten etkin çıkış gücü**: Yönlü bir antenin bir noktadaki güç yoğunluğunun aynı güçle beslenen yönsüz antenin aynı noktadaki güç yoğunluğuna oranı, yönlü antenin o noktadaki kazancı olarak tanımlanır. Anten kazancı, antenin ne oranda yönlü olduğunun bir göstergesidir. Örneğin Şekil iii'de yer alan antenler arasında bir karşılaştırma yapılacak olursa, Şekil iii-A'da yer alan anten Şekil iii-B'deki antene göre daha yüksek kazançta sahiptir. Antenin ortama yaydığı toplam güç anten etkin çıkış gücü olarak adlandırılır.
- **Bluetooth**: Farklı cihazların kısa mesafeler içinde bir ağ oluşturmasına olanak sağlayan kablosuz radyo teknolojisi.
- **CW - Continuous Wave**: Herhangi bir modülasyon yapılmamış, sürekli dalgayı tanımlar.
- **Dalga Boyu (λ)**: Frekansı f olan bir dalga için tam bir dalganın olduğu uzaklık dalga boyu olarak tanımlanır (nm, μm , mm...).
- **Desibel (dB)**: Elektromanyetik alanın gücündeki artışı ya da azalmayı tanımlamakta kullanılır.
- **Devamlı Maruziyet (Continuous Exposure)**: Standartlar için belirtilmiş ortalama sürenin (6 dakika ya da 30 dakika gibi) üstündeki maruziyetler devamlı maruziyet olarak tanımlanır.
- **Dielektrik Sabiti**: Bir ortamın boşluğa göreceli elektriksel geçirgenliğinin ölçüsüdür. $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$. Burada ϵ dielektrik sabiti, ϵ_0 boşluğun elektriksel geçirgenliğini, ϵ_r (ya da K) ise maddesel ortamın boşluğa göreceli elektriksel geçirgenliğini gösterir.
- **Dijital Sistem**: Bilginin 0 ve 1 rakamları ile kodlanarak iletildiği sistemlerdir.
- **Dozimetri**: Biyolojik yapı tarafından soğurulan radyasyonun birim olarak ifade edilmesidir.
- **Düzlem-Dalga (Plane-Wave)**: Elektrik ve manyetik alanlar dalganın yayılım vektörüne dik bir şekilde ilerliyorsa bu dalga düzlem dalga olarak açıklanır. Uzak alan içinde düzlem-dalga yapısı görülür.

- **Elektrik Alan Şiddeti (E):** Hareketsiz yükün 1 birimlik pozitif yüke etkidiği kuvvettir. Birimi V/m'dir.
- **Elektromanyetik Enerji:** Elektromanyetik dalganın ya da alanın sahip olduğu enerjidir. Birimi Joule ya da eV'tur. EM dalganın enerjisi frekansına bağlıdır. Planck sabiti ($h=6.626 \times 10^{-34}$ j/Hz) ve frekans (f)'in çarpımından bulunur. Örneğin frekansı 10^{16} Hz olan bir dalganın enerjisi = $6.626 \times 10^{-36} \times 10^{16} = 6.62 \times 10^{-18}$ Joule olur. $1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19}$ Joule olduğundan bu dalganın enerjisi 41.32 eV olarak bulunur.
- **Empedans (Impedance-Z):** Elektromanyetik dalganın bir ortamda ilerleme yönünde karşılaştığı elektriksel basınç. RF alanlar için bir noktada oluşan elektrik alan şiddetinin manyetik alan şiddetine oranı empedansı verir. $Z = E / H$ 'dir. Birimi ohm (Ω)'dur.
- **ELF (Extremely Low Frequency):** Oldukça düşük frekans olarak tanımlanır. Elektromanyetik spektrumdaki frekansı 300 Hz altında dalgalar için kullanılır.
- **Frekans (f):** Elektromanyetik dalganın 1 sn'deki titreşim sayısıdır. Birimi Hz'dir.
- **Genel Halk Maruziyeti / Kontrolsüz Maruziyet ve Mesleki / Kontrollü Maruziyet:** Radyasyon maruziyetinden haberdar olmayan halk için **genel halk maruziyeti / kontrolsüz maruziyet**, maruziyetten haberdar olan ve maruziyetini kontrol yetisindeki çalışanlar için ise **mesleki / kontrollü maruziyet** tanımları kullanılır.
- **Güç Yoğunluğu (S):** Birim alanın maruz kaldığı güç miktarıdır. Genellikle W/m^2 ile ifade edilir. Ayrıca mW/cm^2 ya da $\mu W/cm^2$ birimleri de kullanılabilir.
- **Horn Anteni:** Horn anteni mikrodalga ve RF sinyallerinin gönderilmesi ya da alınması için kullanılan anten tiplerinden biridir. Konik görüntüsünden dolayı horn anten ismini almıştır. Horn anten ekseninde maksimum radyasyon gözlenir. Dalga kılavuzu ile beslenir. Düzgün çalışması için boyutlarının minimum dalda boyunda olması önerilir. Horn anten dalga boyu ile karşılaştırıldığında boyutu çok küçükse iyi etkinlik göstermeyebilir.

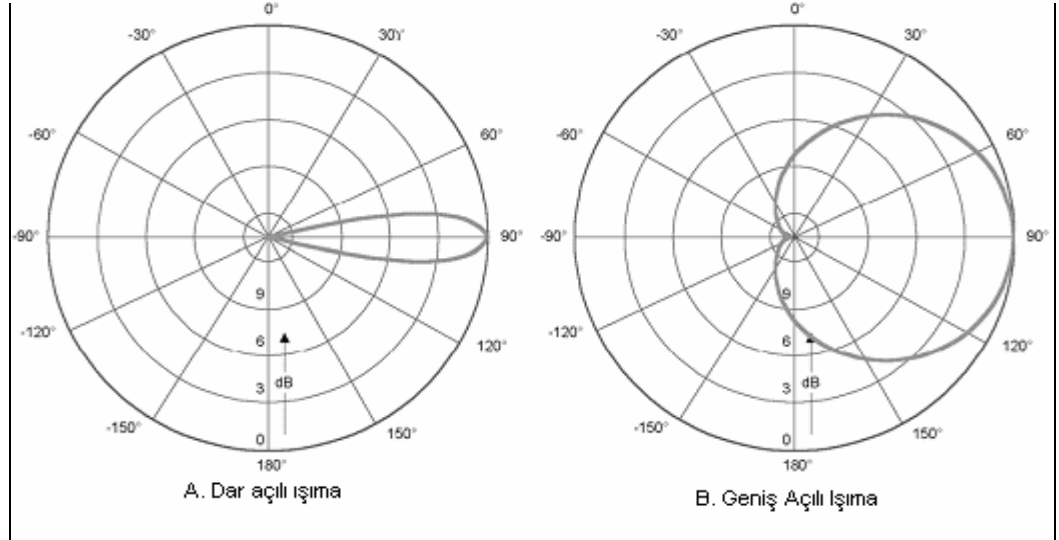


Şekil i: Tipik bir horn anten

- **İyonize Radyasyon:** Atomlardan elektron koparabilecek kadar enerjiye (10 eV'dan yüksek enerjiye) sahip radyasyon iyonize radyasyon olarak tanımlanır. Elektromanyetik spektrumda γ ve X ışınları ile UV radyasyon'un bir bölümü iyonize radyasyondur.
- **İyonlaştırmayan (Non-İyonize) Radyasyon:** İyonize edecek yani atomlardan iyon koparacak kadar enerjiye (10 eV veya 1 eV) sahip olmayan radyasyon için kullanılır. Frekansı 3×10^{15} Hz'den düşük dalgalar Non-İyonize dalgalar olarak bilinir.
- **Kontrol Grubu:** Çalışmada sham alan uygulaması yapılan grubu ifade etmektedir.
- **Kısa Süreli Maruziyet:** Standartlarda belirtilen ortalama sürenin (6 dakika ya da 30 dakika) altında maruziyettir.
- **Manyetik Alan Şiddeti (H – Alan):** Hareketli yükler etrafında yani akımlar etrafında oluşan alanlardır. Birimi A/m'dir.
- **Mikrodalga (MW - Micro Wave):** Frekansı 300 MHz – 300 GHz aralığında değişen elektromanyetik dalgalardır.
- **Ortalama Süre:** Ortamdaki ölçülen alan şiddetinin ortalama değerinin hesaplanması için geçen her bir ölçüm süresidir.
- **Radyo Frekans (RF – Radio Frequency):** Elektromanyetik spektrumun genellikle iletişim ve yayın amaçlı kullanılan frekans aralığıdır; 300 Hz – 300 GHz arasında değişir. Bazı kaynaklar 300 Hz - 30 kHz aralığını LF (Low Frequency-Düşük Frekans) olarak tanımlar. Bu kaynaklara göre RF mikrodalgayı da içine alarak 3 kHz - 300 GHz arasında değişir.
- **Statik Alanlar:** Frekansı sıfır olan sistemlerde ya da doğru akım uygulayarak oluşturulan alanlar statik alanlardır.
- **Uzak Alan (Far Field):** EM dalganın düzlem dalga özelliği gösterdiği uzaklık olarak tanımlanmıştır. Uzak alanda EM alan bileşenleri (E ve H alan) ve yayılım vektörü (K) birbirine diktir. Elektrik ve manyetik alan bileşenlerinin oranı sabittir ve ortamın empedansını (Z) verir.
- **Yakın Alan (Near Field):** EM dalganın düzlem dalga yapısı göstermediği uzaklıktır. Bu bölgede manyetik alan ve elektrik alan karmaşık yapıya sahiptir.
- **Yönsüz anten ve yönlü anten:** Elektromanyetik enerjiyi uzayda kendinden eşit uzaklıktaki noktalara eşit olarak yayan ya da noktalardan eşit olarak alan antenlere yönsüz anten denir. Şekil ii'de yönsüz bir anten için bir düzlemdeki örnek bir ışınım verilmiştir. Yönlü antenler elektromanyetik enerjiyi belirli bir yönde diğer yönlere göre daha etkin olarak yayar ya da alırlar. Genelde kullanılan antenler yönlüdür. Şekil iii-A ve Şekil iii-B'de yönlü antenlerin ışınımalarına örnek gösterilmiştir. Aşağıdaki şekillerde dairenin merkezindeki nokta anteni temsil etmektedir.



Şekil ii: Yönsüz anten için örnek ışıma



Şekil iii-A ve iii-B: Yönlü anten için örnek ışımalar

ÖNSÖZ

Bu araştırmanın gerçekleştirilmesi için tüm olanakları sağlayan, her konuda verdiği destek ve ilgisi ile yetişmemde büyük katkıları olan danışman hocam sayın Prof. Dr. Nesrin SEYHAN'a,

Eğitimimde önemli katkıları olan, iyi niyetlerini ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Biyofizik Anabilim Dalı Öğretim Üyeleri Yrd. Doç. Dr. Ayşe G. CANSEVEN KURŞUN ve Yrd. Doç. Dr. Göknur GÜLER ÖZTÜRK'e, tezimin konusunun ilgi alanlarından biri olmasından kaynaklı birçok konuda sorularımı rahatlıkla tartışabildiğim Arş. Gör. Şevin GÜNEY'e, laboratuarda yardımlarını gördüğüm Arş. Gör. Arın TOMRUK'a, tezimin SAR hesaplamalarını gerçekleştiren Arş. Gör. Mehmet Zahid TÜYSÜZ'e ve diğer arkadaşlarıma,

Çalışmamda teknik donanım eksikliğinin giderilmesinde katkıları olan Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Cengiz TAPLAMACIOĞLU ve Arş. Gör. Göksel GÜNLÜ'ye,

Puls jeneratörü desteğinden dolayı mezunlarından birisi olmaktan ötürü onur duyduğum ODTÜ Fizik Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Akif ESENDEMİR ve Teknisyen Mustafa OĞUZ'a,

Doktora eğitimim süresince maddi ve manevi her bakımdan desteğini gördüğüm annem Şükriye SIRAV ve babam Yaşar SIRAV'a, yaşamımızı birleştirdiğimiz günden beri büyük özveri ile bana her zaman her konuda destek olan eşim Barış ARAL'a TEŞEKKÜRLERİMİ sunarım.

Bahriye SIRAV ARAL / Şubat 2008

1. GİRİŞ

Teknoloji ve bilimin gelişmesi ile her geçen gün daha çok Radyo Frekans Radyasyon (RFR) yayan kaynaklara maruz kalmaktayız. RFR kaynaklarına cep telefonları, baz istasyonları, radar ve güvenlik sistemleri, uydu haberleşme merkezleri, mikrodalga fırınlar, TV ve Radyo vericileri, bluetooth'lar gibi birçok örnek verilebilir. RFR ve biyolojik etkileri çalışmaları II. Dünya savaşında Radar sistemlerinin kullanımı sonrasında radar teknisyenlerinde rastlanılan şikâyetlerin incelenmesi ile başlamıştır, 1950'lerden itibaren en başta Rus bilim insanları tarafından olmak üzere tüm dünya da incelenmiştir. 1980'ler sonrasında batı dünyasının da çok ilgilendiği RFR ve biyolojik etkileri 1990'lardan itibaren bu alan kaynaklarının günlük yaşamda sıkça yerini alması dolayısı ile bilim insanları için önemli bir araştırma alanı olmuştur.

RFR kaynaklarının değişik biyolojik etkilere neden olduğunu gösteren çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar RF alanların çeşitli kanser türleri, lösemi ve lenfoma, kan beyin bariyeri geçirgenliğinin artması, RF işitme sendromu (kulak çınlaması), sinir sisteminin bozulması, nörotransmitter (sinir sisteminin etkili olarak çalışmasını sağlayan salgılar) salınımının değişimi, beyin sıcaklığının, hücre ve DNA sentezinin artması, üremede azalma, kromozomal bozulmalar, beyin elektriksel aktivitesinin (EEG) ve Ca^{+2} transportunun değişmesi, kan basıncının artması, uyku bozuklukları, öğrenme güçlüğü, bitkinlik, baş ağrısı, embriyoların gelişimi için önemli bir enzim olan ODC (Ornithine De Carboxylase) aktivitesinin değişimi, çocuklarda öğrenme güçlüğü, beyinde DNA hasarı gibi pek çok etkinin varlığını göstermektedir. RF alan kaynakları kalp pili kullanıcıları üzerinde de etkili bulunmuştur.

Son zamanlarda özellikle cep telefonları ve baz istasyonlarının kullanımlarının hızla artmasına paralel olarak kanser çeşitlerinin, Alzheimer, Parkinson, Multiple Sclerosis (MS) gibi karmaşık rahatsızlıkların yine son yıllarda çok fazla artması Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO-World Health Organization) ilgisini çekmiş ve bu nedenle örgüt bünyesinde Elektromanyetik Alan (EMF - ElectroMagnetic Field) Projesi'ni başlatmıştır. 1996 yılında başlayan ve süresi sürekli uzatılan projenin amaçları; elektromanyetik alan kaynakları ve korunma yöntemleri hakkında toplumu bilinçlendirmek, 0 – 300 GHz aralığında elektromanyetik alanların biyolojik etkileri çalışmalarını cesaretlendirmek, gereksinim duyulan çalışma konularını tanımlayarak bilim insanlarını yönlendirmek, 0 – 300 GHz aralığındaki literatürü esas alarak, halkın ve çalışanların sağlığını korumak adına standartlar geliştirilmesini desteklemek, elektromanyetik alanlara hassas bireyler bulunduğunu göz önüne alarak elektromanyetik hipersensitivitenin tanımlanması, elektromanyetik hassasiyeti olan bireylerin korunması ve bu alanda insanlar için oluşturulmuş standartların diğer canlılar (bitkiler ve hayvanlar)

için de geliştirilmesini sağlamak... Projenin kapsamında her yıl değişik ülkelerde toplantılar yapılmakta, bu toplantılarda o tarihe kadar yapılmış ve yapılmakta olan bilimsel çalışmalar ve sonuçları tartışılmakta, 0 – 300 GHz aralığında bilimsel çalışmaları dikkate alan standartlar (SAR-özgül soğurma oranı- değerlerini esas alan genel halk ve mesleki maruziyet sınır elektrik alan, manyetik alan ve güç yoğunluğu değerleri) oluşturulmaya çalışılmaktadır. Türkiye projeye Kasım 1999'da 45. ülke olarak Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı tarafından dahil edilmiştir. Gazi Biyofizik 25 yılı aşkın süredir elektromanyetik alanların biyolojik etkilerini araştırmaktadır ve son yıllarda Elektromanyetik Alanların Biyolojik Etkileri ile ilgili birçok uluslararası projede Türkiye adına çalışmalar yapmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü Elektromanyetik Alanlar Projesi kapsamında yürütülen çalışmalarla RF alanların biyolojik sistemler üzerine etkili olduğu ve bu konuda yasal sınırlamalar getirilmesinin gerekliliği birçok ülkede anlaşılmış ve konuyla ilgili standartlar oluşturulmuştur. Bazı ülkelerde RF maruziyeti sınırlandıran bu standartların oluşturulmasına halen devam edilmektedir. Uluslararası Non - İyonize Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICNIRP - International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)'nun İyonlaştırmayan Radyasyondan korunmaya ilişkin 1998 yılında yayınladığı standartları (Guidelines for Limiting Exposure to Time - Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields: up to 300GHz, ICNIRP 1998) Avrupa Birliği (EU) tarafından 1999 yılında Birliğe üye ülkelere uyulması gerekli standartlar olarak kabul edilmiştir. Fakat İtalya, İsveç, Avusturya, Çin, Rusya, Bulgaristan gibi ülkeler ICNIRP 1998 standartlarından çok daha küçük değerleri kabul etmiş ve konuya daha temkinli yaklaşmışlardır. Elektromanyetik alan limitleri bilim dünyasında halen tartışılmaktadır. Bu konuda ulusal ve uluslararası birçok yayınlar ve raporlar yayınlanmaktadır. Bu raporlardan birisi Stewart Raporudur.

İngiltere'de Sir William Stewart başkanlığında oluşturulmuş Bağımsız Cep Telefonu Uzmanlar Kurulu (IEGMP – Independent Expert Group on Mobile Phones) tarafından cep telefonları ve sağlık etkileri ile ilgili hazırlanan 2000 raporunda çocukların acil aramalar dışında cep telefonu kullanmalarına izin verilmemesi önerilmektedir. Raporda çocukların RF radyasyonu yetişkinlerden daha fazla soğuracağı belirtilmiştir. Stewart 2000 raporunda çocuk ve bebeklerin fiziksel, kimyasal ya da biyolojik ajanlara daha hassas olduğu, bir yaşında çocuğun yetişkinin iki katı radyasyonu soğurduğu, 5 yaşındaki çocuğun ise yetişkinden % 60 daha fazla radyasyon soğuracağı bildirilmektedir. Bu nedenle okul gibi çocuk popülasyonunun yoğun olduğu bölgelerde hastanelerde baz istasyonu kurulumlarının en uzak noktalarda olması gerekliliği de vurgulanmıştır. Aynı raporun 11 Ocak 2005'de yapılan güncellenmiş formunda çocukların daha hassas olmaları sebebi ile cep telefonu kullanımlarının azaltılması önerilmekte ve RF maruziyetinin çocuklar üzerindeki etkisinin araştırılması önerilmektedir.

2006 yılında İtalya - Benevento'da sonuçları açıklanan başka bir çalışmada¹ 2009 yılına kadar tüm dünya da 3 milyarı aşan cep telefonu kullanıcısının olacağını, aynı alan değerine sahip cep telefonuna maruz kalan ve kafatası kalınlığı sırasıyla 0.5 mm – 1 mm – 2 mm olan 5 ve 10 yaşındaki çocuğun ve yetişkinin beyinde SAR değerlerinin sırasıyla 4.49 W/kg - 3.21 W/kg ve 2.93 W/kg olduğunu belirtmişlerdir. FDTD ile yapılan çalışma sonucuna göre çocuklar yetişkinlerden % 80 daha fazla RFR soğurmaktadırlar.

Dünya Sağlık Örgütü Elektromanyetik Alanlar Projesi 2006 Araştırma Ajandasına göre bilim insanlarına önerilen öncelikli çalışma konuları insanlarla epidemiyolojik olarak yapılacak beyin tümörü çalışmaları, günlük yaşamda ev ve iş yeri ortamlarında maruz kalınan RF seviyelerinin belirleneceği ölçüm çalışmaları, çocuk ve yetişkinlerde yapılması önerilen bilişsel fonksiyon ve hafıza çalışmaları, uyku ve EEG'ye etki çalışmaları, hayvanlarda karsinogeneze, davranış ve bağışıklık sistemi, kan beyin bariyeri ve diğer nöropatoloji çalışmaları, fetusun RF alanlardan nasıl etkilendiğine yönelik çalışmalar ve genç deneklerle çalışmalar olarak sıralanmaktadır. Bu çalışmada Dünya Sağlık Örgütü Elektromanyetik Alanlar Projesi kapsamında yürütülen önemli çalışma başlıklarından birisi olan ve araştırılmasına halen devam edilen RF alanların Kan Beyin Bariyerine etkisi araştırılmıştır. Araştırmada kullanılan sıçanlar genç yetişkin olarak tanımlanmaktadır.

Çalışmada ısı etkisinin olmayacağı düşük doz RF düzeylerine maruz bırakılan Wistar Albino sıçanlarının kan beyin bariyeri geçirgenlikleri incelenmiştir. Çalışma dişi ve erkek olmak üzere iki cinsiyet için planlanmıştır. Dişilerin kan beyin bariyeri geçirgenliği, beyin şeker metabolizması gibi bazı merkezi sinir sistemi fonksiyonları erkeklerden farklılık göstermektedir. Dişi ve erkeklerde RF alanların farklı etkisinin olup olmayacağı da araştırılmıştır. Çalışmada Türkiye'de cep telefonu ve baz istasyonlarında çalışma frekansı olarak kullanılan 900 MHz ve 1800 MHz frekanslı RF alanların kan beyin bariyeri geçirgenliğine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla gerek CW – sürekli dalga formunda gerekse GSM modülasyonlu (cep telefonları ve baz istasyonları sinyallerine eşdeğer özellikte) alan uygulamaları yapılmıştır. Çalışmamız uluslararası alanda Evans Blue ile kantitatif olarak RFR maruziyeti – kan beyin bariyeri geçirgenliğini inceleyen bir çalışma olması ve her iki cinsiyeti de karşılaştırılmalı incelemesi açılarından ilktir.

2. GENEL BİLGİLER

Genel Bilgiler Bölümünde Elektromanyetik Alanlara ve Elektromanyetik Spektruma değinilerek İyonizan ve Non-İyonizan Radyasyon kaynakları tartışılacak, Uluslararası Kanseri Araştırma Ajansı (International Agency for Reserach on Cancer – IARC) ve IARC Kanseri Monografisine yer verilecektir. RF alanların fiziksel özellikleri ve RF alan kaynakları, RF Alanların Biyolojik Yapılarla Etkileşim Mekanizmaları ve uluslararası ve ulusal RF alan standartları ile RF alanların biyolojik etkileri, Kan Beyin Bariyeri, Bariyerin Yıkılma Durumları ve Beyin Dokusunun Elektriksel Özelliklerine yer verilecektir.

Gereç ve Yöntem Bölümünde, çalışmada kullanılan kimyasallar ve teknik kurulumlar ile beyin dokusuna sızan Evans Blue'nun nasıl değerlendirildiğine yer verilecektir.

Bulgularda deney grupları kendi içinde ve aralarında istatistiksel değerlendirilecektir.

Tartışma Bölümünde şimdiye kadar yapılmış kan beyin bariyeri çalışmaları ile bu çalışma sonuçları tartışılacaktır.

Sonuç Bölümünde ise bu değerlendirmelerin sonrasında açığa çıkan veriler özetlenecektir.

2.1. Elektromanyetik Alanlar ve Elektromanyetik Spektrum

Elektromanyetik dalga, uzayda ya da maddesel bir ortamda yayılan elektrik ve manyetik alan dalgalarının ortak adıdır. Kozmik ışınlar, gamma (γ) ve x ışınları, morötesi, görünür bölge, kırmızı altı (kızıl ötesi), mikrodalga, Radyo Frekans, Düşük Frekans ve Oldukça Düşük Frekanslı alanlar elektromanyetik dalgalarıdır.

Elektrik alan (E) bir noktadaki +1 Coulomb'luk yüke etki eden kuvvettir, vektörel bir büyüklüktür. E alanın birimi Newton/Coulomb (Nt/C) veya Volt /metre (V/m) ile ifade edilir. Bu çalışmada E alan için V/m birimi kullanılmaktadır.

$$E=k.q / d^2$$

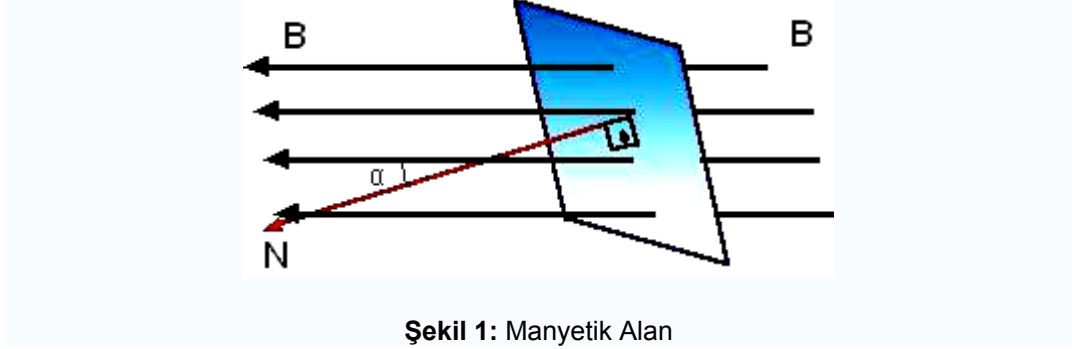
Boşlukta q yükünden d uzaklıktaki E alan; yük miktarı (q) ile artmakta, uzaklığın (d) karesi ile azalmaktadır²⁻⁴:

k sabitinin boşluk veya hava için değeri: $9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$,
 $k = 1/4\pi\epsilon_0$; ϵ_0 : Boşluğun dielektrik sabiti ($8.85 \times 10^{-12} \text{ coulomb}^2/\text{Newton.m}^2$)

Bir elektrik alanının her noktasında bir E alan vektörü vardır. Bu noktaya konulan küçük bir yüke (q) etkiyen kuvvet;

$$F = q.E \quad \text{olacaktır.}$$

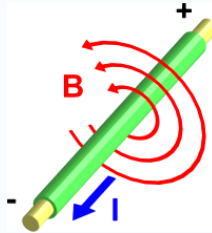
Elektrik alan hareketsiz yükler etrafında oluşur.



Şekil 1: Manyetik Alan

Manyetik alanlar hareketli yüklerin yani akımların etrafında oluşur. Manyetik (B) alan da E alan gibi vektörel bir büyüklüktür. Birimi Tesla (T) ya da Gauss (G) olarak ifade edilir (1 Tesla=10⁴ Gauss).

Şekil 2’de çubukta ok yönünde akan akım (I) çubuğun çevresinde bir manyetik alan (B) oluşturur. Sağ el kuralı dediğimiz bir metot, çeşitli mıknatıslarda ve içinden akım geçen tel çubuklarda akımın, kuvvetin ve manyetik alanın yönünü bulmamıza yardımcı olur.



Şekil 2: Bir iletenden geçen akımın yarattığı manyetik alan çizgileri

Faraday, araştırmaları neticesinde maddelerin, manyetik alana tepki gösterdiğini ve bu tepki sonucunda etkileşimin olduğunu ortaya koymuştur. Maddeler manyetik alana verdikleri tepkilere göre Faraday tarafından üç grupta toplanmıştır;

i) Diamanyetik maddeler

Zayıf bir şekilde etkilenenler; Bağlı manyetik geçirgenlikleri $\mu_r < 1$ olan bu tür maddeler, güçlü bir manyetik alana dik şekilde kendilerini yönlendirirler. Diamanyetizma, tek sayıda elektronlara sahip maddelerde görünür. **Radyum, potasyum, magnezyum, hidrojen, bakır, gümüş,**

altın ve **su** diamanyetik gruba girerler.

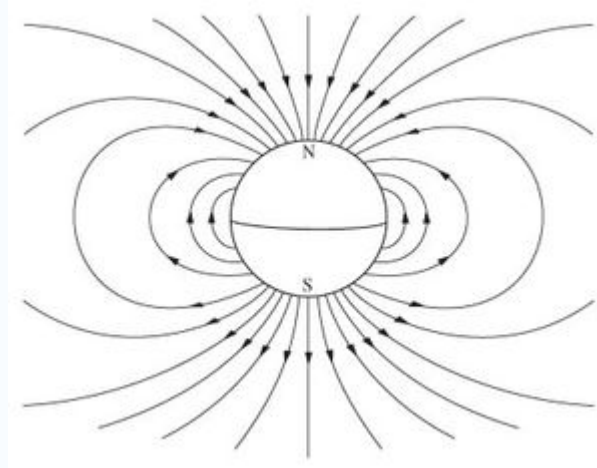
ii) Paramanyetik Maddeler

Bağıl manyetik geçirgenlikleri $\mu_r > 1$ olan bu tür maddeler, güçlü bir manyetik alana paralel şekilde kendilerini yönlendirirler. Paramanyetizma çift sayıda elektronlara sahip maddelerde görülür. **Hava**, **alüminyum** ve **silisyum** paramanyetik gruba girer.

iii) Ferromanyetik Maddeler

Kuvvetli bir şekilde mıknatıslardan etkilenen maddelerdir, Demir, nikel, kobalt ve alaşımlarını içeren maddeler bu gruba girer.

Yeryüzünün Manyetik Alanı



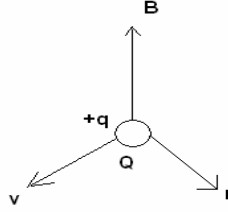
Şekil 3: Yerin Manyetik Alan Çizgileri

Yeryüzünün manyetik alanı, dünyanın sıvı dış çekirdeğindeki konveksiyon akımları ile oluşur. Dış çekirdekteki konveksiyon hareketleri, zaman içinde manyetik alanı oluşturur. Bu konveksiyon hareketlerinin dünyanın oluşumundan beri meydana geldiği düşünülmektedir. Yeryüzü çekirdeğinin içi katı, dışı sıvı demir termal hareketlerle kendi manyetik alanlarını yaratır. Atomların yeterli bir güçle ve düzenli bir şekilde yer değiştirmesi ve yönlendirilmesi kalıcı mıknatıslanmaya neden olduğundan dünyanın kabuğunda kalıcı mıknatıslanma yaratılır. Dünyayı, etrafı manyetik alanla çevrelenmiş büyük küresel bir mıknatıs gibi düşünebiliriz.

Dünyanın DC manyetik alan değeri 0.5 Gauss iken AC alan değeri ise $(3-10) \times 10^{-5}$ Gauss'dur.

Boşlukta v hızıyla hareket etmekte olan q yükünün kendisinden r uzaklıktaki bir noktada oluşturacağı B alan, yük miktarı (q) ve yükün hızı (v) ile artmakta, uzaklığın (r) karesi ile azalmaktadır.

$$B = \mu_0 \cdot q \cdot v \cdot \sin\theta / 4\pi r^2 \quad 2-4$$



θ : Hız vektörü ile uzaklık vektörü arasındaki açı

μ_0 : Boşluğun manyetik geçirgenliği ($4\pi \times 10^{-7}$ Henry/m).

Eğer bir bölgede hem elektrik (E) hem de manyetik (B) alan varsa bu ortamda v hızı ile hareket eden q yükü üzerine her iki alan da elektromanyetik kuvvet uygular. Bu durumda toplam kuvvet (F_T);

$$F_T = qE + q \times v \times B \text{ ile ifade edilir}^{2-4}.$$

Elektromanyetik alanların hızı dalga boyu ve frekans ile ifade edilebilir;

$$c = \lambda \cdot f$$

$$c = 299,793 \text{ km/sn veya}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/sn (vakum ortamında)}$$

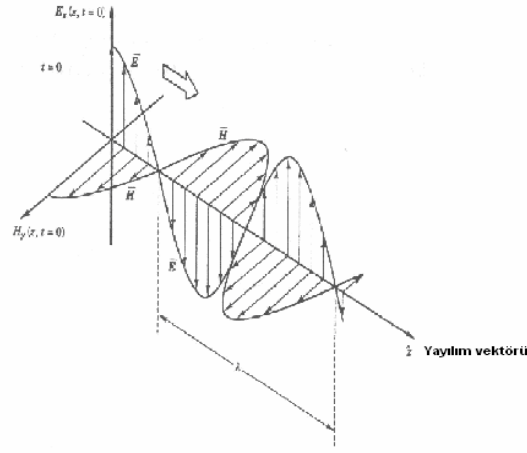
λ : Dalga Boyu (m), f : Frekans (Hz)

Işık hızı, yayıldığı ortamın dielektrik sabiti (ϵ), manyetik geçirgenlik katsayısı (μ) ve ortamın empedansına ($n = \sqrt{\mu\epsilon}$) bağlı olarak değişir. Elektromanyetik dalganın ya da ışığın bir ortamda yayılma hızı;

$$v = c / \sqrt{\mu\epsilon} = c/n \quad \text{olarak ifade edilir.}$$

Hareket eden bir elektrik yükü zamanla değişen elektrik ve manyetik alanlar üretir. Faraday indüksiyon yasasına göre bir manyetik alandaki değişim elektrik alana yol açar, bunun tersi olarak değişken bir elektrik alan da manyetik alan üretir. Buna göre hareket eden bir yükün oluşturduğu elektrik ve manyetik alanlar sürekli birbirini etkiler; bu alanlardaki dalgalanmalar yükten dışa doğru elektromanyetik bir dalga olarak yayılır.

Çevremizdeki enerjinin boşlukta elektrik ve manyetik dalgalar şeklinde iletildiği ilk kez Maxwell tarafından matematiksel olarak ifade edilmiştir. Zamanla sinüzoidal olarak değişen, birbirine dik elektrik ve manyetik alanların oluşturduğu düzleme dik doğrultuda belirli bir hızla yayılan elektromanyetik enerjiye elektromanyetik dalga denir (**Şekil 4**) Elektromanyetik alan teorisine göre elektrik ve manyetik alanlar birbirlerine dik düzlemlerde dalga şeklinde salınırlarken, bu düzlemlerin arakesiti boyunca da ışık hızı ile yayılırlar³.



Şekil 4: Elektromanyetik Dalga Yayılımı⁵

Elektromanyetik alanlar atomları oluşturan elektronları, protonları ve nötronları, mikroskobik ve makroskobik cisimleri oluşturan molekülleri bir arada tutar.

2.1.1. Elektromanyetik Spektrum (Elektromanyetik Tayf)

EM dalgaların tümünün frekanslarına, dalga boylarına veya enerjilerine göre sıralanması EM spektrumu oluşturur (**Şekil 5**). Spektrumda gittikçe artan frekanslarda olmak üzere Oldukça Düşük Frekans (Extremely Low Frequency – ELF), Düşük Frekans (Low Frequency - LF) , Radyo Frekans (Radio Frequency - RF), mikrodalga (Microwave - MW), kızıl ötesi radyasyon (Infrared Radiation - IR), görünür ışık (visible light), mor ötesi (Ultra Violet -UV) ışın, X ışını, γ ışını ve kozmik ışınlar yer alır. Elektromanyetik Spektrum bileşenlerinin frekansları, dalga boyları ve foton enerjileri **Tablo 1**'de sıralanmıştır. Her biri spektrumun birer bileşeni olmalarına rağmen maddeler ve biyolojik sistemler ile etkileşimleri farklıdır. Bu farklılık ışık hızında hareket etmelerine karşın dalga boylarının dolayısı ile frekans ve enerjilerinin farklı olmasından kaynaklanır. Spektrumun tüm bileşenleri dalga formunda yayılırlar, davranışları elektromanyetik dalga prensibiyle açıklanır. Enerjileri ise fotonlar ya da enerji paketleri şeklinde dağılır. Fotonun

enerjisi dalga boyuyla ters orantılıdır yani kısa dalga boylu fotonun enerjisi daha büyüktür. EM spektrumun bileşenlerinin enerjileri 1.2×10^{-11} - 1.2×10^6 eV arasında, çok geniş bir aralıkta değişir⁶.

Bir dalganın titreşim frekansı (f) ne kadar büyükse dalga o kadar çok enerjiye sahiptir.

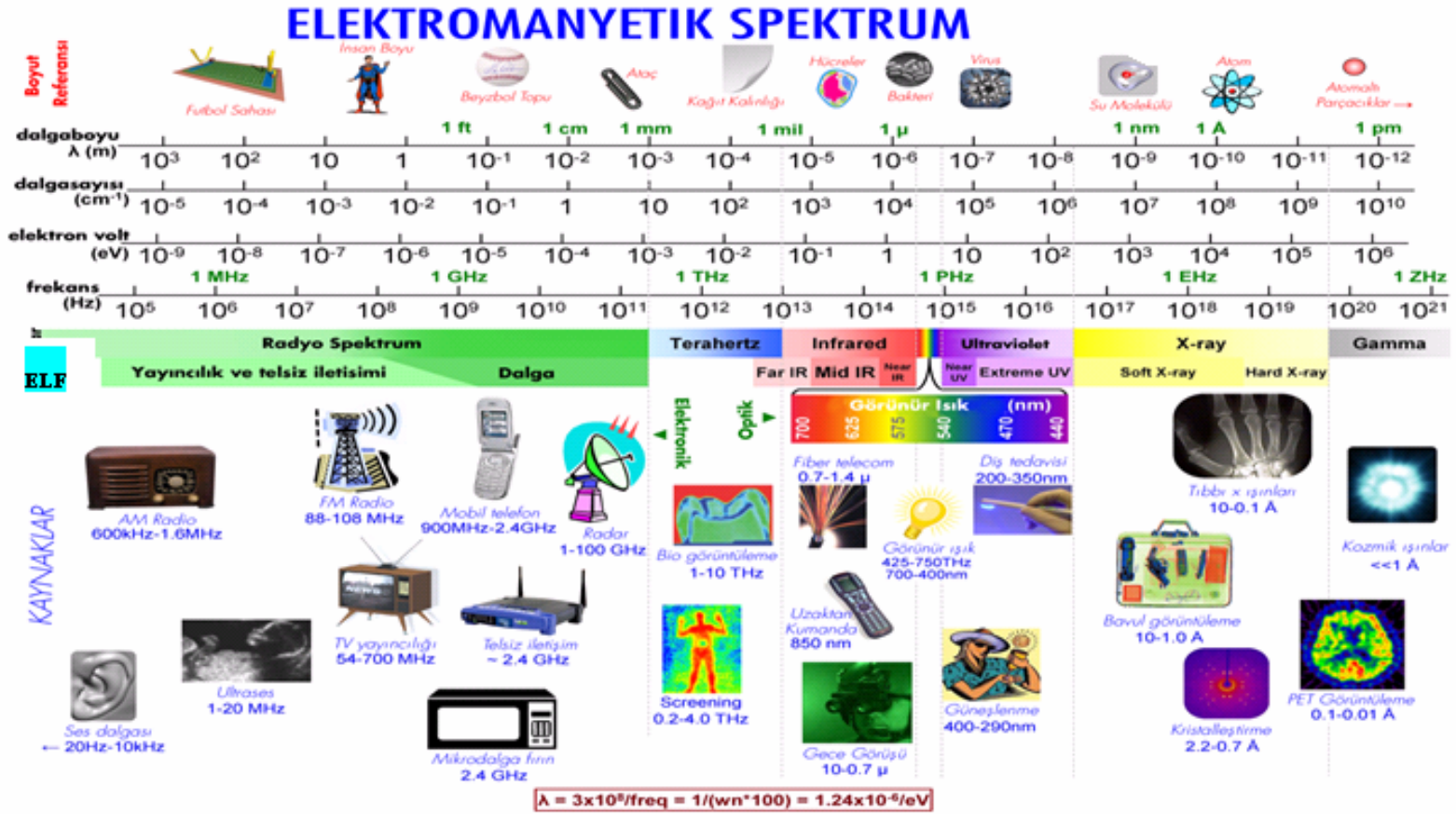
$$E = h \cdot f \text{ (joule)}$$

h: Planck sabiti (j.sn); 6.626×10^{-34}

f: Frekans (Hz = 1/sn)

Tablo 1: Elektromanyetik Alanların frekans, dalga boyu ve foton başına enerji değerleri ⁷⁻⁸

Radyasyon Tipi	Frekans Aralığı	Dalga boyu	Foton başına enerjileri
İyonizan	> 3.000 THz	< 100 nm	> 12.40 eV
Mor Ötesi	(THz)	(nm)	(eV)
UV-C	3000-1070	100-280	12.40-4.43
UV-B	1070-952	280-315	4.43-3.94
UV-A	952-750	315-400	3.94-3.10
Görünür Işık	750-385 THz	400-780 nm	3.10-1.59 eV
Kızıl Ötesi	(THz)	(µm)	(meV)
IR-A	385-214	0.78-1.4	1590-886
IR-B	214-100	1.4-3	886-413
IR-C	100-0.3	3-1000	413-1.24
Mikrodalgalar	(GHz)	(mm)	(µeV)
EHF (Extremely High Frequency)	300-30	1-10	1240-124
SHF (Super High Frequency)	30-3	10-100	124-12.4
Radar	56-0.23	5.4-1300	230-0.95
UHF (Ultra High Frequency)	3-0.3	100-1000	12.40-1.24
Radyo Frekans Alanlar	(MHz)	(m)	(neV)
VHF (Very High Frequency)	300-30	1-10	1240-124
HF (High Frequency)	30-3	10-100	124-12.4
MF (Medium Frequency)	3-0.3	100-1000	12-1.24
Düşük Frekanslar	(kHz)	(km)	(peV)
LF (Low Frequency)	300-30	1-10	1240-124
VLF (Very Low Frequency)	30-0.3	10-100	124-12.4
ELF (Extremely Low Frequency)	<0.3	>100	<12.4



Şekil 5: Elektromanyetik Spektrum (Elektromanyetik Tayf)⁹

Spektrumun en başında en düşük frekanslı ELF (Extremely Low Frequency) alanlar mevcuttur, evde tüm elektronik cihazlarda kullandığımız şehir cereyanı (50 Hz) bu frekans aralığına girer. Şehir cereyanında Avrupa'da 50 Hz, Amerika'da 60 Hz kullanılmaktadır. Düşük frekans (LF) daha çok amatör radyoculukta kullanılırken, radyo dalgaları (RF) ise televizyon ve radyo yayıncılığının yanı sıra cep telefonu ve baz istasyonlarında, radar sistemlerinde, diatermi - MRI (Manyetik Rezonans Görüntüleme) gibi tıbbi uygulamalarda kullanılır. Mikrodalgalar yine cep telefonu ve baz istasyonları ile beraber, mikrodalga fırınlarda, radarlarda, uydu haberleşmeciliğinde kullanılır. Canlılar başta olmak üzere sıcak tüm yapılar infrared radyasyon kaynağıdır. Görünür ve ultraviole ışığın en önemli kaynağı güneştir. X-ışınları tıbbi amaçlı görüntülemelerde kullanılır. Spektrumun yüksek enerjiye sahip bileşenlerinden biri ise gama (γ) ışınlarıdır. Spektrumda en yüksek frekanslı ışınlar kozmik ışınlardır. Elektromanyetik spektrum bileşenleri enerjilerine ya da frekanslarına göre İyonize ve Non-İyonize (iyonize olmayan) gruba dahil olabilirler.

A. İyonize ve Non-İyonize Radyasyon

EM dalgalar biyolojik etkileri açısından iyonlaştırma özelliklerine göre İyonize ve Non-İyonize radyasyon olarak sınıflandırılmaktadır. İyonize radyasyon elektron koparabilecek kadar yüksek enerjilidir ve iyonlaşmayla kimyasal reaksiyonlara neden olur ve dolayısıyla karsinojenik (kansere yapıcı) olarak bilinir. Elektromanyetik alana maruz kalan materyalin atomlarının yörüngelerinde hareket etmekte olan elektronların kopmasıyla iyon oluşur. Tipik moleküllerin iyonizasyonu için 2×10^5 fotonun soğurulması gereklidir, bunun içinse 1 ev'luk enerjiye ihtiyaç vardır. Daha önceki literatürde¹⁰ 10 eV olarak geçen iyonizasyon limiti 1 eV olarak yerini almıştır¹¹.

Bir eV'dan düşük enerjilere sahip fotonlar Non-İyonize (İyonlaştırmayan) olarak tanımlanır. Düşük Frekans, RF, mikrodalga, Infrared radyasyonun bir bölümü, Tera Hertz dalgalar Non-İyonizan radyasyon olarak tanımlanır. Non-İyonize radyasyonun kansere yapıcı etkisinin olup olmadığına dair çalışmalar devam etmektedir.

İyonize radyasyonla Non-İyonize radyasyon arasında iyonlaştırmaya neden olup olmamaları farkı yanında önemli farklılıklardan bir diğeri de, iyonize radyasyonun kümülatif etkisinin olmasıdır, yani değişik şiddetlerde veya sürelerde uygulanan iyonize radyasyon biyolojik yapıda birikerek sonuçlanan etkiler gösterir. Mikrodalga, RF ve daha düşük frekanslı elektromanyetik alanların kümülatif (biriken) etkisinin olduğuna dair bilimsel bir kanıt henüz yoktur¹⁰.

A.1. Elektromanyetik Spektrumun İyonize Bileşenleri

Gama - γ ışınları ve X ışınları (frekans aralığı 3×10^{20} - 10^{16} Hz) ile daha düşük frekanslı UltraViole (UV) radyasyon, görünür ışık ve Infrared ışının bir bölümü iyonize radyasyon olarak bilinir. γ ışınlarının dalga boyları (λ) 0.1 nm–1.0 pm, frekansları 3×10^{18} - 3×10^{20} Hz ve enerjileri (E) 1.2×10^4 - 1.2×10^6 eV arasında değişir. X ışınlarının ise dalga boyları 0.03 μ m–0.1nm, frekansları 10^{16} - 3×10^{18} Hz ve enerjileri 40 – 1.2×10^4 eV arasında değişir. γ ve X ışınları çok yüksek enerjiye sahip olduklarından iyonlaşmaya neden olabilirler¹².

Elektromanyetik spektrumda UV radyasyonun dalga boyu 0.4 μ m - 0.03 μ m ve frekansı 7.5×10^{14} Hz - 10^{16} Hz arasında değişirken enerjisi ise 3.1 eV - 40 eV arasında değişir. UV aralığı ayrıca dalga boylarına göre üç alt gruba ayrılabilir; UVA: 400-315nm, UVB: 315-260nm ve UVC: 260-100nm¹². UV radyasyonun üç alt grubu da 1 eV'dan daha fazla enerjiye sahiptir. Bu nedenle iyonize radyasyon olarak tanımlanır. UV radyasyon birçok biyolojik işlemde çok önemlidir ama biyolojik sistemlere zararlı etkileri de vardır. Elektronları yüksek enerji seviyelerine çıkararak enerjisini moleküllere ya da atomlara verir. Neredeyse herkes tarafından yaşanan en belirgin etkisi güneş yanıklarındır. UV radyasyonun bakteri öldürme etkisi olduğu kadar karsinojenik etkisi de vardır.

Fotosentez, bitki büyümesi ve görme tamamıyla görünür ışığa bağlıdır. Dalga boyu 0.7 μ m - 0.4 μ m, frekansı 4.3×10^{14} Hz - 7.5×10^{14} Hz aralığında, enerjisi ise 1.8-3.1 eV aralığında değişir ve iyonizan olarak adlandırılabilir. En önemli etkisi foto-kimyasal veya foto-biyolojik reaksiyonlardır.

Oda sıcaklığında ya da daha yüksek sıcaklıktaki tüm yapılar ve canlılar IR radyasyon yapar, IR enerjisi 4×10^{-3} -1.8 eV aralığında değişir ve IR-A grubuna giren 1 eV'dan daha yüksek enerjili IR dalgalar da iyonizan olarak tanımlanabilir. Besinlerin yanması ile oluşan ısının % 60'ını vücudumuz IR radyasyonla uzaklaştırarak vücut sıcaklığını korur. Güneşten gelen Infrared (IR) radyasyon dünyanın en önemli ısı kaynağıdır. Dalga boyu 0.3mm - 0.7 μ m ve frekansı 10^{12} Hz - 4.3×10^{14} Hz arasında değişir. IR radyasyonun biyolojik sistemlerdeki ilk etkisi termal etkidir. IR fotonların biyolojik materyallerde fotokimyasal reaksiyonlara neden olduğuna dair çeşitli bulgular vardır¹⁰. Enerjisi 1 eV'un altında olan IR grupları non-iyonizan olarak tanımlanabilir.

A.2. Elektromanyetik Spektrumun Non-İyonize Bileşenleri

Spektrumda Tera Hertz dalgalar (Tera Hertz ışık, T-ışını, T ışığı gibi isimlerde alabilir), Infrared radyasyonun bir bölümü (IR-C, IR-B ve IR-A'nın bir kısmı), Mikrodalga, Radyo dalgaları, Düşük frekans (LF) ve

Çok düşük frekans (ELF) radyasyon Non-İyonize radyasyon olarak bilinir¹⁰.

Tera Hertz dalgalar 0.3–30 THz ($T=10^{12}$) frekanslı ve 30 μm –1 mm dalga boyu aralığında, elektromanyetik spektrumda mikrodalgalar ile Infrared radyasyon aralığında kalan bölümü oluşturur. Medikal görüntüleme, güvenlik, uydu iletişimi, spektroskopi gibi kullanım alanları olan ve kullanımının teknolojik gelişmelerle beraber hızla arttığı Tera Hertz dalgalar metaller ya da sudan geçemezken, iletken olmayan plastik, seramik, tahta, kâğıt gibi yapılardan kolaylıkla geçebilmektedir.

Mikrodalga (MW) ve Radyo Frekans (RF) radyasyon, enerjilerinin 1 eV'dan düşük olması nedeniyle Non-İyonize radyasyon olarak tanımlanır. Çoğu kaynakta Mikrodalga ve RF alanların frekansları iç içe verilir. Yani mikrodalganın alt sınırı RF'in üst sınırı içine girer. Bazı kaynaklarda ise kesin bir şekilde bu alanlar birbirinden ayrılmıştır⁶.

Genellikle MW için dalga boyu (λ), frekans (f) ve enerji (E) aralıkları;

$$\begin{aligned}\lambda &= 300\text{mm} - 0.3\text{mm} \\ f &= 10^9 \text{ Hz} - 10^{12}\text{Hz} \\ E &= 4 \times 10^{-6} - 4 \times 10^{-3} \text{ eV olarak verilir.}\end{aligned}$$

RF için ise bu aralıklar;

$$\begin{aligned}\lambda &= 100 \text{ km} - 300 \text{ mm} \\ f &= 3 \times 10^3 - 1 \times 10^9 \text{ Hz} \\ E &= 1.2 \times 10^{-11} - 4 \times 10^{-6} \text{ eV'tur}^6.\end{aligned}$$

Bazı kaynaklarda RF içinde yer alan LF (Low Frequency - Düşük Frekans) dalgaların frekansları 300 Hz – 30 kHz aralığında değişir. ELF (Extremely Low Frequency – Çok Düşük Frekans) dalgalarının frekansı ise 0 – 300 Hz aralığında değişir. LF ve ELF elektromanyetik alanların dalga boyları insan vücudunun tipik boyutlarından oldukça büyüktür⁶.

Elektrik ve manyetik alanların insan vücudu ile etkileşimleri birbirinden oldukça farklıdır. İnsan vücudu, elektriksel özellikleri açısından heterojen bir yapıya sahiptir ve az miktarda manyetik materyal içerdiğinden düşük frekanslı alanlar azalma olmaksızın vücuda girebilmektedir. Ancak elektrik alanlar alternatif manyetik alanlar tarafından indüklenerek vücut içerisinde indüksiyon akımının oluşmasına neden olmaktadır¹³⁻¹⁴.

Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı Laboratuvarları'nda ve Biyofizik Anabilim Dalı bünyesinde kurulmuş olan Gazi Non-iyonizan Radyasyondan Korunma (GNRK) Merkezi'nde

(www.gnrk.gazi.edu.tr) Non-iyonize Radyasyon ölçümlerinin yanı sıra biyolojik etkileri üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Kuruluşundan itibaren yapılan çalışmaların büyük bölümünde ELF Elektrik ve Manyetik alanların biyolojik etkileri saptanmıştır¹⁵⁻¹⁷. Biyofizik Anabilim Dalında şimdiye kadar yapılan RF çalışmalarında ise; radyo ve TV vericilerinden kaynaklanan RFR güç yoğunluğu hesaplanmış ve ulusal ve uluslararası standartlarla karşılaştırılmıştır²⁷. Başka bir çalışmada 1800 MHz RF radyasyonun kobaylarda karaciğer kollajen sentezine etkisi incelenmiş, uygulanan alanların karaciğer dokusunda hidrokspirolin seviyesini arttırdığı ancak bu artışın istatistiksel anlamlı bulunmadığı tespit edilmiştir¹⁸⁸. SAR değerlerinin belirlenmesine yönelik yapılan bir çalışmada ise SAR değerini en fazla etkileyen parametrenin cep telefonu kullanım pozisyonu olduğu saptanmıştır¹⁸⁹. Çocuk dielektrik özelliklerinin, yetişkin dielektrik özelliklerine kıyasla daha fazla SAR değerleri oluşturduğu saptanmıştır. Cep telefonu kullanım frekansına, antenin konumuna, küpe ve gözlük gibi metalik aksesuarların kullanımına bağlı olarak farklı SAR değerleri tespit edilmiştir. RFR'un hamile tavşanlara ve fetusa etkilerine yönelik çalışmalar devam etmektedir. Çalışmanın ilk sonuçlarına göre RFR antioksidan savunma mekanizmalarını baskılayabilmektedir¹⁹⁰.

Bu çalışma ile ise 900 MHz ve 1800 MHz frekanslı CW ve GSM modülasyonlu RF alanların dişi ve erkek sıçan kan beyin bariyeri geçirgenliğine etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

2.2. Radyo Frekans (RF) Alanlar

Teknolojik olarak gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde insanlar günlük hayatın her alanında RF radyasyonla çevrelenmişlerdir. Evde kullanılan cihazların (mikrodalga fırınlar, telsiz telefonlar, uzaktan kumanda cihazları, güvenlik sistemleri ...) ve iletişim cihazlarının (TV ve radyo vericileri, cep telefonları, radarlar, bluetooth'lar, telsizler, çağrı cihazları, baz istasyonları...) yanı sıra medikal alanda (MRI cihazları, diatermi üniteleri...) ve işyerlerinde (bilgisayarlar, telsiz telefonlar...) de RF alanlar oldukça geniş bir şekilde yerini almıştır. Sonuçta bu alanların belirlenmesi ve kontrolü gittikçe önem kazanan bir konu olmuştur. Bu bölümde RF alanların fiziksel özelliklerine, RF alan kaynaklarına ve dozimetriye yer verilecektir.

2.2.1. RF Alanların Tarihçesi

1864'de James Clerk Maxwell'in elektrik ve manyetik alanların boşlukta salınımlarını matematiksel olarak ifade etmesinden çeyrek yüzyıl sonra Hertz yüksek frekansta ışık hızında salınan elektromanyetik dalgaları geliştirmiştir. Bununla birlikte bilim insanları yüksek frekanslı alan kaynakları ve bu alanların uygulamaları ile ilgili çalışmalara başlamışlardır. 1896 yılında Guglielmo Marconi kablosuz

olarak, bir radyo sinyali uzak mesafelere taşımıştır. 1901 yılında ise, bir radyo sinyali Atlantik okyanusunun diğer tarafına ulaştırmayı başarmıştır¹⁸. Nagelschmidt yüksek frekanslı akımların derin doku ısıtıcı etkisi ile terapötik kullanımını 1907'de popüler hale getiren kişidir. 1908 yılında Nagelschmidt bu uygulama için "diatermi" sözcüğünü kullanmıştır. O dönemde diatermiye kullanılan frekans aralığı 1–3 MHz'di ve uzun dalga diatermi olarak adlandırılıyordu. Daha sonra kliniklerde uzun dalga diaterminin yerini kısa dalga diatermi aldı¹⁸.

II. Dünya savaşında RF kaynaklar radar sistemleriyle beraber yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Sonrasında bu kaynakların terapötik ya da zararlı etkilerinin olup olmayacağı bilim çevrelerinin dikkatini çekmiş ve daha sonra çeşitli raporlar hazırlanarak biyolojik yapılara nasıl etki ettiği araştırılmıştır¹⁰. İlk ticari mikrodalga iletişim linki, vakum tüpü temelli bir teknolojiye sahip olup, 1945 yılında kurulmuştur¹⁸.

1947'de Atlantic City, New Jersey'de toplanan Uluslararası Radyo Konferansı'nda EM spektrumun RF bölümü endüstriyel, bilimsel ve tıbbi olmak üzere frekans bandlarına ayrılmıştır. Daha sonraki yıllarda Amerikan Federal İletişim Komisyonu (FCC- Federal Communication Commission) kısa dalga diatermi için üç frekans tanımlamıştır; 13.56, 27.12 ve 40.68 MHz¹⁸.

1950'lerde radar, radyo, diatermi ve endüstri sistemleri gibi alanlarda mikrodalga enerjisinin kullanılmasının artması, bu yeni enerji yapısının anlaşılması ve biyolojik etkileri konusunda araştırmaların artmasını da beraberinde getirmiştir. Askeri alanda mikrodalga kullanımının hızla artması sonucu, 1956 yılında Amerikan Hava Kuvvetleri araştırma aktivitelerinin koordinasyonunda sorumluluk almıştır. 1957 yılında mikrodalga'nın biyolojik etkileri konusunda "Tri-Service Program" adlı araştırma programı başlatılmış, 1957-1960 yılları arasında konferanslar düzenlenmiş ve program içeriğinde yapılan çalışmalar tartışılmıştır¹⁰.

1953'de Schwan basit termal etkisini göz önüne alarak Amerika'da 10 mW/cm²'yi maruziyet sınırı olarak önermişti. 10 mW/cm² güç yoğunluğu 1966 yılında Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü (ANSI –American National Standards Institute) tarafından standart olarak kabul edilmiştir. Buna karşın bazı bilim insanları bu standardın çevre koşullarını dikkate alarak yeniden ayarlanması gerektiğini belirtmişlerdir¹⁸. 1973 yılında ANSI tarafından 10 mW/cm² değeri yeniden standart kabul edilmiştir. Amerika'da 1970'li yıllarda elektromanyetik alanlardan halk ve çalışanların sağlığını korumak adına bazı hareketler başlamış, bu konudaki ulusal ve uluslararası kurum ve kuruluşların sayısı artmaya başlamıştır. 0–300 GHz frekans aralığının biyolojik etkileri çalışmaları doğu bloğu ülkelerinde (özellikle Rusya'da) 50–60 yıl öncesine kadar gitmektedir. Batı ülkelerinde ise 1980'li yıllarda elektromanyetik alanların biyolojik etkileri konusunda çalışmalar hız kazanmış, etkilerin ciddi

boyutlarda olduğunu gören WHO (Dünya Sağlık Örgütü) 1996 yılında Elektromanyetik Alan projesini başlatmıştır¹⁹.

Dünya popülasyonunun çok büyük kısmı RF ve MW radyasyona maruz kalmaktadır. RF ve MW radyasyonun biyolojik etkilerini daha iyi anlamak, olası zararlı etkilerine karşı korunmayı sağlayacaktır. 2007 yılında son bulması planlanmış ve belirsizlikler nedeni ile süresi sürekli uzatılan WHO Elektromanyetik Alan projesi ile RF alanların sağlık etkilerine dair bilimsel kanıtların bulunması hedef alınmıştır. Bu hedefin ışığında, son 10 yılda, artan araştırmalar, RF radyasyonun biyolojik etkileri ve bu etkilere yol açabilecek fiziksel değişkenlerin anlaşılmasına yönelik deneysel ve modelleme çalışmalarına hız verilmiştir.

2.2.2. IARC ve Kanser Monografisi

Tüm dünya da bir ajanın kanserojen olup olmadığı Dünya Sağlık Örgütü'nün bir parçası olan Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (The International Agency for Research on Cancer (IARC)) tarafından tanımlanmaktadır. İnsan kanserlerinin nedenlerini bulmaya yönelik çalışmaları destekleyen ve koordine eden IARC, ayrıca karsinogenez mekanizmalarını incelemekte ve kontrol amaçlı bilimsel stratejiler belirlemektedir. 2001 yılında ELF manyetik alanları olası kanserojen (2 B sınıfı kansinojen) olarak tanımlamış IARC'ın bir ajanı kansinojen olup olmadığı konusunda sınıflama stratejisi **Tablo 2**'de verilmektedir²⁰.

IARC Avrupa Birliği 5. Çerçeve Programı kapsamında "INTERPHONE – International case-control studies of cancer risk in relation to mobile phone use – Uluslararası Kanser Riski – Cep Telefonu Kullanımı İlişisini İnceleyen Vaka Kontrol Çalışmaları" başlıklı uluslararası bir epidemiyolojik çalışmayı koordine etmektedir. INTERPHONE projesi aynı çekirdeği taşıyan çok uluslu (13 ülke ile) bir epidemiyolojik çalışma olup, baş ve boyun tümörleri ile cep telefonu kullanımının ilişkisini çözmeyi amaçlamıştır. Projeye katılan ülke sayısı ve dolayısı ile projeye dahil olan vaka sayısı her geçen gün artmaktadır. Proje sonuçlarının 2008 yılı sonuna kadar açıklanacağı belirtilmiştir²¹.

Tablo 2: IARC Kanser Monografisi

DENEY HAYVANLARINDA KANSER				
İNSANLARDA KANSER		Yeterli	Limitli	Yetersiz
	Yeterli	1 - Karsinojenik	1 - Karsinojenik	1 - Karsinojenik
	Limitli	2A – Muhtemel Karsinojenik	2B – Olası Karsinojenik	2B – Olası Karsinojenik
	Yetersiz	2B – Olası Karsinojenik	3 – Bilinmiyor	3 – Bilinmiyor

IARC tarafından şimdiye kadar karsinojenitesi tanımlanmış ajanlardan bazıları aşağıda (**Tablo 3**) verilmektedir. Tablo'da görüleceği üzere ELF manyetik alanlar 2 B sınıfı kansinojen, ELF elektrik alanlar ise 3. sınıf kansinojendir. RF alanlara dair araştırmalar ve mevcut verilerin analizi

halen devam ettiği için henüz IARC sınıflandırması yapılmamıştır.

Tablo 3: IARC Kansere Sınıflandırması

Sınıflandırma	Örnek
İnsanlara karsinojen / 1. Derece Karsinojen (insanlarda kanıtlanmış karsinojenite çalışmalarına dayanan)	Asbestos Mustard gazı Tütün (içen ya da içilen ortamda bulunan)
İnsanlara Muhtemel Karsinojen / 2 A – Karsinojen (hayvanlarda kanıtlanmış karsinojenite çalışmalarına dayanan)	Gama Radyasyonu Dizel Motoru Egzozu Solaryum Lambaları UV Radyasyon Formaldehit
İnsanlara Olası Karsinojen / 2 B – Karsinojen (insanlarda kanıtlanmış karsinojenite çalışmalarına dayandığına inanılan)	Kahve Styrene Gaz Motoru Egzozu Kaynak Dumanı ELF Manyetik Alan ELF Elektrik Alan
Ajan karsinojenite açısından sınıflandırılmaz / 3	
Ajan olasılıkla karsinojen değildir / 4	

2.2.3. RF Alanların Fiziksel Özellikleri

RF alanların frekansları çeşitli kaynaklara göre 3 kHz - 300 GHz aralığında değişmektedir^{6,8,22-24}. Bu frekans değerlerine karşılık gelen dalga boyları; sırasıyla 100 m ve 1 mm'dir.

Elektromanyetik spektrumdaki her dalganın enerjisi vardır ve basit enerji formülü ile hesaplanabilir⁶; $E = h.f$

300 GHz'in altında RF aralığındaki frekansların enerjileri biyolojik yapılarda iyonlaşmaya neden olan enerjiden (1 eV) çok düşük olduğundan RF radyasyon Non-İyonize radyasyondur.

Dalgalar ışık hızı ($c = 3 \times 10^8 \text{m/sn}$) ile hareket ederler. Frekansı f olan bir dalga için tam bir dalganın oluştuğu uzaklık dalga boyu (λ) olarak tanımlanır. Frekans ve dalga boyu arasındaki ilişki; $\lambda = c/f$ 'dir. Buradaki c ortamdaki ışık hızıdır. Yüksek miktarda su içeren biyolojik

ortamda, ortamın yoğunluğundan (n) dolayı EM dalganın dalga boyu havadaki dalga boyundan çok daha kısa olur, dalga ışık hızıyla hareket edemez ($v=c/n$), frekansı da azalır²⁵

Biyolojik yapılarda EM enerjinin soğurulmasını etkileyen önemli bir parametre de elektrik alan vektörünün uzaydaki konumudur. Elektromanyetik alanların polarizasyonu doğrusal (lineer), dairesel, elips şeklinde ya da gelişigüzel olabilir. Dalga lineer polarize ise elektrik alan vektörünün yapısı hareket boyunca değişmiyordur²⁵

Alan ve dalga yapıları kaynaktan uzaklığa ve ortamdaki objelere bağlıdır. Bazı objelerin dielektrik özelliklerine bağlı olarak elektromanyetik dalgalar yansiyabilir, kırılabilir, saçılabilir ya da soğurulabilir. Yansıyan ya da saçılan dalgalar bölgesel alan şiddetini artırabilir.

Kaynaktan uzaklaştıkça RF alanlar “düzlem dalga - plane wave” olarak tanımlanır ve bu dalgalarda şu özellikler görülür²⁶⁻²⁷;

- Dalgalar aynı düzlemde ilerlemektedir. E (Elektrik Alan Vektörü), H (Manyetik Alan Vektörü) ve K (Yayımlım Vektörü) birbirlerine diktir. $E / H = Z$ (Dalga Empedansı) şeklinde tanımlanır ve boşlukta dalga empedansı 377Ω (Ohm)'dur. K'ya dik herhangi bir düzlemde E ve H sabittir.
- Elektromanyetik dalganın taşıdığı güç yoğunluğu (S) genellikle birim alandan birim zamanda geçen enerji miktarı olarak tanımlanır. EM dalganın herhangi bir noktadaki güç yoğunluğunu E ve H vektörlerinin **vektörel çarpımından** bulabiliriz ($S = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$, $S = EH \sin \theta$, bu enerji transfer vektörü olarak tanımlanır). Güç yoğunluğunun (S) birimi W/m^2 'dir. E ve H vektörleri birbirine dik ilerlediğinden $\theta = 90^\circ$ derecedir, bu durumda boşlukta güç yoğunluğu: $S = E.H = E^2/377 = 377H^2$ formülleri ile de hesaplanır. $E \Rightarrow V/m$, $H \Rightarrow A/m$, $S \Rightarrow W/m^2$, $S \propto 1/r^2$ ile değişir, r kaynaktan uzaklıktır. E ve H alan şiddetleri ise $1/r$ ile değişir.

“Düzlem Dalga” modelinin geçerli olduğu minimum uzaklık alan kaynağına göre değişir ve uzak alan (far field) mesafesi olarak tanımlanır. Rayleigh yaklaşımı ile maksimum uzunluğu D olan bir

kaynak (anten) için;

$$R_{\text{uzak alan}} > 2D_{\text{max}}^2/\lambda$$

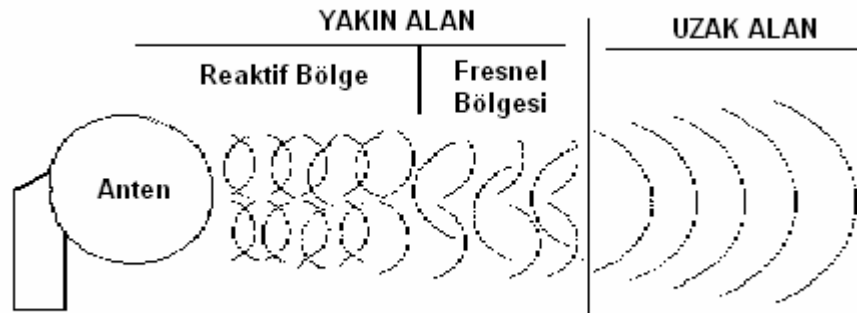
λ : Kaynağın oluşturduğu elektromanyetik alan dalga boyu

D_{max} : Antenin maksimum uzunluğu

Örnek anten yapısı üzerinde yakın alan ve uzak alan bölgeleri Şekil 6'da görülmektedir²⁸.

Kaynakla uzak alan arasındaki bölge yakın alan (near field) olarak tanımlanır. Yakın alana genellikle çalışanlar maruz kalırlar. Bu alan ayrıca iki alt gruba daha ayrılabilir. Antene daha yakın olan bölgede elektrik ve manyetik alanların birbirine dik olması gerekmez, ayrıca her zaman dalga olarak da tanımlanamaz. Bu dalga yapıları genellikle yayılamaz ve *reaktif / fringing / indüktif yakın alan* olarak tanımlanır. Burada alanı hesaplamak ya da güç yoğunluğu cinsinden söylemek mümkün olmaz. Alanlar uzaklıkla hızla değişir. Kaynaktan $\lambda/2\pi$ 'den kısa mesafelerde reaktif alan bileşenleri daha baskındır ve bu bölgede dalga empedansı 377Ω 'dan daha farklıdır^{26,28}.

Fresnel yakın alan bölgesi ise reaktif yakın alan – uzak alan arasındadır ve daha çok çanak gibi yansıtıcı antenlerde antenin en uzun boyutu dalga boyunun katlarında ise gerçekleşir. Bu bölgede dalga empedansı 377Ω 'dur fakat güç yoğunluğu uzaklığa bağlı olarak değişkendir. Bu bölgelerde birçok fresnel noktaları bulunur, bu tipte antenler için uzak alan uzaklığı $2D^2/\lambda$ 'dir^{26,28}.



Şekil 6: Örnek anten yapısı için yakın alan ve uzak alan bölgeleri²⁸

Uluslararası Non - İyonize Radyasyondan Korunma Komisyonu (International Commission on Non-Ionizing Radiation)

Protection – ICNIRP), Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Enstitüsü (Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE), Federal İletişim Komisyonu (Federal Communication Commission – FCC) ve Telekomünikasyon Kurumu (TK) gibi kurumların güvenlik kılavuzlarında ise yakın alan uzaklığı λ olarak tanımlanırken, λ 'dan uzak mesafeler ise uzak alan olarak tanımlanmaktadır^{22-24,29}.

Yakın alana maruziyet genellikle radarlar, cep telefonları, walkman'ler, dielektrik ısıtıcılar, bluetooth'lar vs. için geçerlidir. Yakın alan maruziyeti sonucunda Özgül Soğurma Oranı (SAR- Specific Absorbtion Rate) değerinin yüksek olduğu gözlenir.

Yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar bilgi taşımak için değişik metotlarla modüle edilir. Bu metotlar şu şekilde özetlenebilir²⁵:

- Genlik Modülasyonu (AM- Amplitude Modulation): Genlik değiştirilmesi ile sağlanır. AM alanlarda ortalama alan şiddeti modüle edilen sinyalin yapısına bağlıdır ve aynı tepe genlik değerine sahip sinüzoidal dalgadan az olabilir.
- Puls Modülasyonu (Pulse Modulation): AM'in özel tipidir. Kaynağı açıp kapayarak (on-of) kesikli sinyal oluşturulmaktadır (örnek: mobil telefonlar, radarlar, baz istasyonları...).
- Frekans Modülasyonu (FM - Frequency Modulation): Taşıyıcı sinyalin frekansının değiştirilmesi ile sağlanır. Averaaj alan şiddeti aynı tepe genlik değerine sahip sinüzoidal dalga ile aynıdır.

2.2.4. RF Alan Kaynakları

RF alan kaynaklarını doğal alan kaynakları ve yapay (insan yapımı) alan kaynakları olarak iki sınıfa ayırabiliriz. Yapay RF alan kaynaklarının şiddetleri doğal çevreden kaynaklı radyasyondan oldukça yüksektir. Dolayısıyla teknolojik gelişmelerle birlikte yeryüzünün elektromanyetik alanı da hızla artmaktadır.

RF alan kaynaklarının biyolojik etkileri; maruziyet süresi, maruz bırakılan alanın güç yoğunluğu, frekansı, polarizasyonu, maruz bırakılan bölgenin yakın alan ya da uzak alan olup olmaması, maruz kalan canlının vücut boyutları vs. gibi faktörlere bağlıdır. Hem teorik hem de deneysel çalışmalar vücudun uzun boyutu ile E alan vektörünün paralel olması durumunda maksimum RF soğurma düzeyine ulaştığını göstermiştir²⁵. Radyasyondan korunmak için radyasyon kaynağının fiziksel özellikleri, alan özellikleri ve bu alanların biyolojik sistemlerle etkileşimi bilinmelidir.

A. Doğal RF Kaynakları

Dünyanın özelliklerinden, güneşten, atmosferden ve uzayın derinliklerinden kaynaklı elektromanyetik alanlar vardır²⁵. Genellikle frekansın artmasıyla birlikte atmosferik alan düzeyi artmaktadır. 300 GHz frekansa kadar dünyanın yaydığı radyasyonun güç yoğunluğunun (S) 0.003 W/m^2 olduğu ifade edilmektedir^{10,25}.

Dünyanın etrafındaki atmosfer, iyonosfer ve magnetosfer, derin uzaydan kaynaklı radyasyona karşı dünyayı doğal olarak korur. Bu korumayı / zırhı delerek geçen elektromanyetik alan frekans aralığı 10 MHz - 37.5 GHz'dir^{18,25}.

B. Yapay RF Kaynakları

Evde, işyerimizde ve yaşadığımız çevrede yüksek frekanslı elektromanyetik radyasyona maruz kalırız. Bu radyasyon kaynaklarına evlerimizde kullandığımız mikrodalga fırınlarını, cep ve telsiz telefonlarını ve çevremizde iletişim için ya da farklı amaçlar için kullanılan askeri radarları, trafik radarlarını, baz istasyonlarını, TV ve Radyo Vericilerini, uzaktan kumanda cihazlarını, güvenlik sistemlerini, bluetooth'ları, Radyo Frekanslı Kimlik Belirleme (RFID- Radyo Frequency Identification) sistemlerini örnek verebiliriz. Bu alan kaynaklarının bazılarının frekanslarına, güçlerine ve kaynaktan uzaklığa göre etraflarına verdiği radyasyon miktarları E alan ve/veya güç yoğunluğu cinsinden **Tablo 4**'de verilmiştir.

Tablo 4: RF Alan Kaynaklarının uzaklığa göre oluşturdukları Elektrik (E) alan veya güç yoğunluğu (S) değerleri²⁵

Kaynak	Frekansı	Gücü	Uzaklık	Maruziyet Miktarı (E veya S)
LF Radyo	130-285 kHz	1.8 MW	300 m	90 V/m
MF Radyo	415-1606.5 kHz	1.8 MW	50 m	450 V/m
HF Radyo	3.95-26.1 MHz	750 kW	50 m 220 m	121V/m (40W/m^2) 27.5V/m (2W/m^2)
Walkie-Talkie	27 MHz	Birkaç Watt	5 cm 12 cm	< 1000V/m, < 15.08 W/m^2 < 200V/m, < 3.77 W/m^2
Cep Telefonları	20MHz-2GHz	2.5 W	10 cm 60 cm	145 V/m 24.2 V/m
UHF TV	470-890 MHz	< 5 MW	1.5 km	< 5 mW/m^2
VHF TV	47-68 MHz 174-230 MHz	100-300 kW	1.5 km	< 20 mW/m^2
FM İstasyonları	87.5-108 MHz	< 100 kW	1.5 km	< 50 mW/m^2
Mikrodalga Fırın	2.45 GHz	600-1000 W	5 cm 1 m	< 50 W/m^2 < 10 W/m^2 < 0.25 mW/m^2
Güvenlik Sistemleri	0.9-10 GHz		Sistem içinde	< 2 mW/m^2
Radarlar	1-10 GHz	0.2-20 kW	0.1-1 km < 1 km	0.1-10 W/m^2 < 0.5 W/m^2
Trafik Radarları	9-35 GHz	0.5-100 mW	3 m 10 m	< 250 mW/m^2 < 10 mW/m^2

Mobil Telefonlar

Mobil telefonlar, RF spektrumun 800–2200 MHz frekans aralığında çalışmaktadır. **Tablo 5**'de da görüldüğü gibi, bu frekanslar farklı ülkelerde farklılık gösterebilmektedir. İlk mobil telefonlar, analog teknoloji temelliydi ve çıkış gücü genellikle 600 mW'dı. Avrupa'da NTM (Nordic Mobile Technology- İskandinav Mobil Teknolojisi) ve - TACS (Total Access Communication System- Komünikasyon Sistemlerine Tümüyle Erişim), Amerika Birleşik Devletleri'nde AMPS (Advanced Mobile Phone System- Modern Mobil Telefon Sistemi) gibi ilk cep telefonu sistemleri analog teknolojiyi kullandılar. Analog telefonlardan gelen radyo sinyalleri sürekli dir. Yani telefon aramayı iletirken kesintisiz olarak sinyal gönderir. Son yıllarda, dijital iletişim servisleri daha çok kullanılmaktadır. GSM gibi dijital telefon sistemlerinde birkaç kişi tek ve aynı frekansı paylaşır. Bu sistemde her aboneye tekrarlanan zaman dilimleri ayrılır. GSM'de aynı frekansı sekiz arama kullanabilir. GSM Sistemleri 1982'den sonra, önce Avrupa'da sonra tüm dünya da yoğun olarak kullanılmıştır.

Tablo 5: Asya, Avrupa ve Kuzey Amerika'da kullanılan Frekans bantları ve tipik çıkış güçleri

Sistem Konumu	Frekans Bandı (MHz)	Maksimum Çıkış Gücü (mW)
Asya	810–935	600
	1895–1910	10
Avrupa	890–960	1000
	1710–1880	25
Kuzey Amerika	824–849	600–1000
	1850–2200	45931

Cep telefonları sistemleri nesillerle ifade edilmektedir; Analog birinci nesil mobil iletişim sistemleri (First Generation – 1.G), Dijital ikinci nesil mobil iletişim sistemleri (Second Generation – 2.G) ve Dijital üçüncü nesil mobil iletişim sistemleri (Third Generation – 3.G). Bu nesiller karşılaştırılmalı olarak **Tablo 6**'da verilmektedir³⁰.

Tablo 6: Üç nesil cep telefonu sistemlerinin Ana sistemleri, Uygulamaları, Yerel abone, hız ve diğer özellikleri açısından karşılaştırılması

Sistem	1 G - Analog	2 G - Dijital	3 G - Dijital
Ana Sistemler	AMPS,NMT ve TACS	GSM, CDMA ve TDMA	WCDMA ve CDMA 2000
Uygulama	Ses	Ses+ Devre anahtarlama lı veri	Ses+ paket anahtarlama lı veri
Yerel Abone	500.000 den az	3.9 milyon civarı	5 milyondan fazla
Hız	Analog sinyale ba ğlı	9.6 kbps- 14.4 kbps	Mobil iken 384 kbps ve sabit iken 2 Mbps
Özellikler	Kararsız, eksik kapsama ve zayıf ses kalitesi	Daha güvenli veri servisleri mevcut, daha geniş kapsama alanı, daha kararlı, daha çok kullanıcı, daha iyi ses kalitesi	Çoklu ortam veri, yer belirleme, internete erişim, her zaman ba ğlı

Cep telefonu ve baz istasyonlarında erişim teknikleri de farklı kategorilerde incelenmektedir; TDMA (Time Division Multiple Access): Zaman Bölmeli Çoklu Erişim, FDMA (Frequency Division Multiple Access): Frekans Bölmeli Çoklu Erişim ve CDMA (Code Division Multiple Access): Kod Bölmeli Çoklu Erişim.

TDMA (Time Division Multiple Access) : Zaman Bölmeli Çoklu Erişim

Time Division Multiple Access (TDMA - Zaman Bölmeli Çoklu Erişim) zaman bölmeli çoklamayı (TDM) kullanarak dijital kablosuz hizmet sağlar. GSM şebekesinde ses küçük veri paketleri halinde 900 ve 1800 MHz frekans bandında iletilmektedir. Bir radyo frekansı zaman dilimlerine bölünür ve bu dilimler de birden çok çağrıya (en fazla 8) paylaştırılır. Bu yolla, tek bir frekans birden çok, eşzamanlı veri kanalını destekleyebilir. TDMA ile saniyede 9.6 kbit veri transferi yapmak mümkün olmaktadır. TDMA, GSM dijital hücrel sistemi tarafından kullanılır. En eski dijital hücrel teknolojilerden biri olan TDMA aynı zamanda en az gelişmiş dijital teknoloji olarak kabul edilir; bunun nedeni diğerlerine kıyasla esnek olmayışıdır. TDMA ağırlıklı ABD'de, ancak aynı zamanda Latin Amerika, Yeni Zelanda, Rusya'nın bazı bölgeleri ve Asya-Pasifik'te de kullanılır. TDMA hizmetinde kullanıcılar farklı özelliklerdeki SIM kartlar kullanmaktadırlar. Kullanıcıya ait tüm hat bilgileri bu SIM kart içinde saklanmaktadır.

FDMA (Frequency Division Multiple Access) : Frekans Bölmeli Çoklu Erişim

İletişim kanalının bant genişliği bir takım frekans bandına bölünür. Her kullanıcıya bir frekans bandı tahsis edilir. TDMA ya oranla; FDMA'da da kapasite israfı söz konusudur. Paket gecikmesi açısından performansı daha kötüdür. Kuzey Amerika'da yoğun olarak kullanılmakta olan Advanced Mobile Phone Service (AMPS) ve Total Access Communication System (TACS)'da FDMA erişim sistemi kullanılır.

CDMA (Code Division Multiple Access) : Kod Bölmeli Çoklu Erişim

Code-Division Multiple Access (CDMA - Kod Bölmeli Çoklu Erişim), yaygın spektrum tekniklerini kullanan bir dijital hücrel teknolojidir. GSM gibi TDMA kullanan rakip sistemlerin tersine, CDMA her kullanıcıya belirli bir frekans atamaz. Bunun yerine her kanal kullanılabilir spektrumun tamamını kullanır. Bireysel görüşmeler sahte rasgele dijital sıralama ile kodlanır. Tüm iletişimleri bit grupları halinde bir arada karıştırarak gönderip belirli bir iletişime ait her grup farklı bir kodla etiketlenerek, birçok görüşme aynı anda taşınır. Bu nedenle, her iletişim,

belirli bit gruplarına eklenen benzersiz kodları kullanarak diğer uçta doğru sırada yeniden birleştirilebilir. CDMA Kuzey Amerika'daki en yaygın ve en yeni dijital hücresel teknolojidir.

Ülkemizde 900 MHz ve 1800 MHz frekanslı TDMA mobil iletişim sistemleri kullanılmaktadır. Üçüncü nesil (3G) iletişim sistemi ise alt yapı işlemlerinin tamamıyla tamamlanması sonucunda kullanılmaya başlanacaktır.

CDMA ve TDMA uyumlu telefonlar donanımsal olarak farklı yapıdadır. Bu yüzden bu özelliklerdeki bir telefon diğer şebeke standartlarında çalışmayacaktır. Bu üç sistemin teknik özellikleri açısından karşılaştırılması **Tablo 7**'de yapılmıştır.

Tablo 7: GSM 900, GSM 1800 ve 3 G sistemlerinin karşılaştırılması

	GSM 900	GSM 1800	3 G
Frekans (MHz)	890–915; 935–960	1710–1785; 1805–1880	1920–1980; 2110–2170
TDMA zaman bölmesi	8 (4.615 ms)	8 (4.615 ms)	15 (10 ms)
Kanal aralığı	200 kHz	200 kHz	5 MHz
Kanal kapasitesi	124 kanal	374 kanal	60 kanal
Modülasyon tekniği	GMSK	GMSK	QPSK
Modülasyon hızı	271 kbps	271 kbps	271 kbps
Konuşma kodlama hızı	13 kbps (6,5 kbps half rate)	13 kbps (6,5 kbps half rate)	4.75 – 14 kbps
En yüksek veri hızı	>150 kbps	>150 kbps	2 Mbps
Çoklu erişim yöntemi	TDMA/ FDMA	TDMA/ FDMA	CDMA
Hücre çapı	<0.3–35 km	0.1–15 km	< 15 km



Şekil 7: Cep telefonları

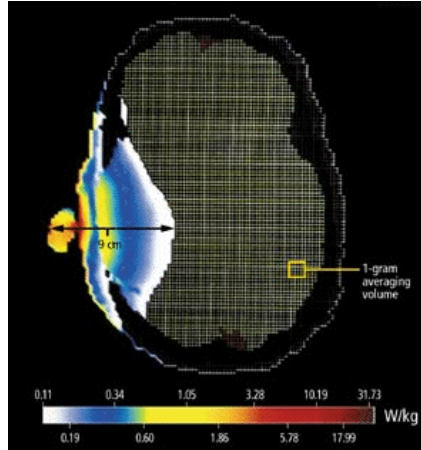
Mobil vericiler genellikle cihaz içine monte edilirler. Bu düşük güçteki cihazlar baz istasyonundan sinyal olarak ve göndererek iletişimi sağlar¹⁹. Mobil telefonlarının antenlerinin çok yakınlarında çok yüksek alan şiddeti ile karşılaşılabilir. 2.5 W güçle çalışan GSM cep telefonundan 10 cm uzaklıkta 145 V/m (0.386 A/m), 60 cm uzaklıkta ise 24,2 V/m (0.064 A/m) alan değerleri görülür²⁵.

Mobil telefon ile baz istasyonu arasındaki uzaklık arttıkça daha yüksek çıkış güçlerinde haberleşme yapılması gerekir. Mobil

telefonlar için 900 MHz'de en yüksek çıkış gücü 2 W, 1800 MHz'de 1 W'dır.

Cep telefon antenlerinin çok yakınlarında çok yüksek alan değerleri ölçülmüştür. Standartlarla karşılaştırıldığında bu alan şiddetleri yüksek olmasına rağmen alanlar düzgün (homojen) olmadığından uzak alanda gözlenen indüksiyon akımı ya da ısı etkisi oluşturması beklenmez. Sadece vücudun belli küçük bölgelerinde (kulak gibi) maruziyeti artırabilir³¹.

900 MHz frekansta çalışan cep telefonunun dalga boyu ~ 30 cm'dir. Dolayısıyla kişinin başı yakın alanda kalır. Bu bölgede hesaplama ya da yaklaşım yapmak çok zordur. Genellikle bilgisayar simülasyonları ile çalışılır. Sol kulak için yapılan bir bilgisayar simülasyonu **Şekil 8**'de verilmiştir. Yeşil / kırmızı görünen bölgede maksimum soğurmanın olduğu ve bu değer 1 Watt'lık güç için 2-3 W/kg olduğu belirlenmiştir³¹.



Şekil 8: İnsan başını temsil eden modelin cep telefonunun yarattığı radyasyonu ne kadar soğurduğunun gösterimi³¹

2.2.5. Dozimetri

Dozimetri biyolojik dokunun maruz kaldığı elektromanyetik alanın miktar olarak tanımlanmasıdır. RF radyasyonun biyolojik sistemlerle değişik etkileşim şekilleri vardır ve bu etkileri tanımlama için RF bölgesinde basit dozimetrik tanımlar kullanılır. EM spektrumun LF ve RF frekansları için (300 Hz – 300 GHz) biyolojik etkilerin değerlendirilmesinde kullanılan maruziyet dozları **akım yoğunluğu**, **SAR** ve **güç yoğunluğu** olarak tanımlanmıştır²⁷.

A. Akım Yoğunluğu (J, A/m²)

İletken objenin birim yüzeyinden geçen akım miktarı akım yoğunluğu (J) olarak tanımlanır. Birimi A/m²'dir. EM spektrumun 300 Hz – 10 MHz aralığında biyolojik etkilerin tanımlanmasında akım yoğunluğu kullanılır.

Non-İyonize radyasyonun kişi üzerinde yarattığı kısa devre akımı (I_{sc}) aşağıdaki formülden bulunabilir;

$$I_{sc} = 0.09xh^2 \times E \times f \quad (\text{mA})$$

I_{sc}: Yere basan kişinin vücudunda oluşan toplam kısa devre vücut-yer akımı

h: Kişinin boyu (m)

E: Elektrik alan şiddeti (kV/m)

f: Frekans (kHz)

B. Özgül Soğurma Oranı (SAR, W/kg)

Dokular tarafından soğurulan ElektroManyetik Radyasyon (EMR) dokuda bir sıcaklık artışına neden olur; kg başına Watt cinsinden ifade edilen ve sıcaklık artmasına neden olan bu soğurulma, Özgül Soğurma Oranı (SAR) diye adlandırılır. Başka bir deyişle Özgül Soğurma Oranı (SAR - Specific Absorbption Rate) RF'e maruz kalan biyolojik sistemde depolanan enerji miktarının ölçüsüdür. Birimi W/kg'dır, ancak mW/gr'da kullanılabilir. SAR vücudun soğurduğu elektromanyetik enerji olarak ya da vücudun enerji soğurma hızı olarak tanımlanabilir. RF enerjisi soğuran vücudun 1 kg'ının sıcaklığını 1°C yükselten elektromanyetik enerji miktarı 4 W olarak tanımlanmıştır. Bu nedenle standartların oluşturulmasında 4 W/kg'lık SAR değeri biyolojik etki gözlenebilecek doz olarak kullanılmıştır. Bazı ülkeler ve uluslararası kurumların SAR limitleri standartlar bölümünde **Tablo 12-17'**de verilmektedir. **RF radyasyonun 100 kHz - 10 GHz aralığında biyolojik etkilerin tanımlanmasında genellikle SAR kullanılır.** 100 kHz – 10 MHz aralığında ise SAR akım yoğunluğu ile birlikte kullanılır. Gerçek insan maruziyetinde SAR ölçülemez. Laboratuvarlarda deneysel olarak, fantomda ölçüm (**Şekil 9**) ile veya bilgisayar modellemesi ile dokunun birim kütlelerinin soğurduğu enerji miktarı olarak hesaplanabilir. SAR dağılımı matematiksel FEM (Finite Element Method) ve FDTD (Finite Difference Time Domain) metotlarını kullanan programlarla hesaplanabilmektedir. Bu şekilde RF radyasyonun biyolojik dokularla etkileşimi belirlenebilmektedir. Bu çalışmalar en az üç boyutlu MRI (Manyetik Rezonans Görüntüleme-Magnetic Resonance Imaging) görüntüleri çekilen canlı modelleri ile yapılmaktadır.

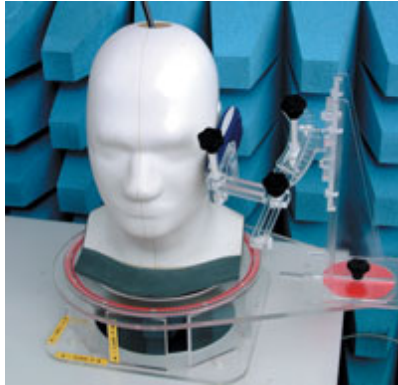
RF ışınımının ısı durumlarının tartışılıp incelenmesi için “standart adam” kavramını kullanmak uygundur. Genel olarak kabul edilen standart adam 1.75 m boya, 70 kg ağırlığa ve 1.85 m² toplam yüzey alanına sahiptir²².

SAR'ın birimi Watt/kg olduğu göz önüne alınırsa, standart adamın ağırlığının SAR tanımının bir parçası olduğu görülmektedir. Örneğin standart adamda biriktirilen toplam gücün 7 Watt olduğu bilinirse, vücudun tamamına göre ortalama SAR 7/70 Watt/kg, 0,1 Watt/kg olur.

Sıcaklık ve özgül enerji soğurumu NRPB raporunda aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$dT = SA / (cx4180)$$

Bu ifade de T sıcaklık yükselmesi (°C); SA özgül enerji soğurumu (j/kg); c bağıl ısı kapasitesi (insan için 0.85)'dir. (Joule = P x t -- Watt. sn)



Diğer SAR formüllerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

$$\begin{aligned} SAR &= dSA/dt \\ SAR &= C.dT/dt \\ SAR &= \sigma E^2/\rho \\ SAR &= J^2/\sigma \rho \end{aligned}$$

Şekil 9: SAR çalışmalarında kullanılan sistemlerden birisi

Cep Telefonları ve SAR değerleri

Ülkemizde cep telefonları 900 MHz ve 1800 MHz frekanslarında çalışmaktadır. Cep telefonlarının özellikleri aynı olmadığı gibi, yaydıkları RF radyasyon da aynı olmamaktadır. Cep telefonlarının yaydıkları radyasyonu, Özgül Soğurma Oranı (SAR, W/kg) değerlerini bilerek tahmin etmek mümkündür. Değişik model ve markalarda cep telefonlarının SAR bilgilerine gerek firmaların kendi web sitelerinden gerekse cep telefonlarının sağlık etkileri ile ilgili web sitelerinden ulaşılabilir³².

C. Güç Yoğunluğu (S, W/m², mW/cm², µW/cm²)

EM dalganın birim yüzeyden geçen enerji miktarı güç yoğunluğu (S) olarak tanımlanmıştır. Güç yoğunluğu daha çok RF spektrumun 10 GHz ve üstü için biyolojik etkilerin tanımlanmasında kullanılır²². Güç yoğunluğu düzlem dalgalar için E alan ve H alan değerlerine bağlı olarak ifade edilmiştir. Bu ifadeler;

$$S = E \times H$$

$S = E \cdot H \cdot \sin Q$ (Q: E ve H alan bileşenlerinin aralarındaki açı, düzlem dalga için $Q = 90^\circ$ dir).

$$S = E^2 / 377 \text{ ve } S = H^2 \times 377 \text{ dir.}$$

Bu eşitliklerde E elektrik alan şiddetini (V/m), H manyetik alan şiddetini (A/m), S ise güç yoğunluğunu (W/m²) gösterir.

2.3. RF Alanların Biyolojik Yapılarla Etkileşimi

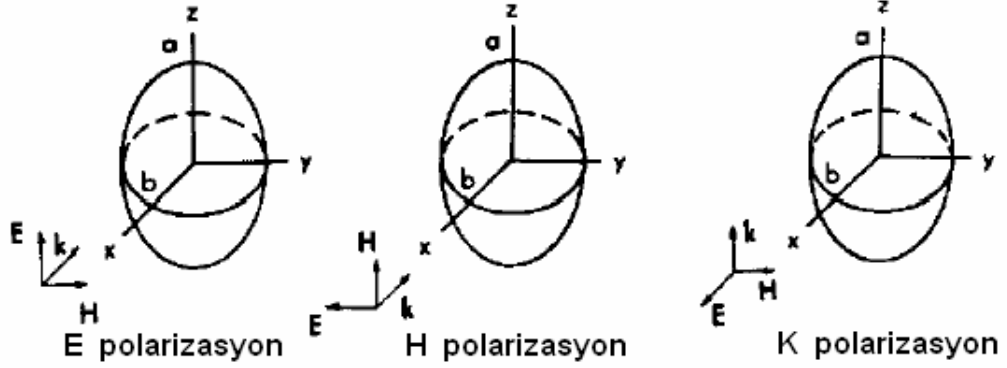
RF Alanların dokularla etkileşimi bazı fiziksel, biyolojik ve çevresel faktörlere bağlı olarak gerçekleşir.

2.3.1. Fiziksel Parametreler

Verici cihazın tipi, alanın frekansı, polarizasyonu (lineer, eliptik ve dairesel polarizasyon), modülasyonu (AM, FM, puls ve CW-sürekli dalga), güç yoğunluğu, yapısı (yakın alan ya da uzak alan), homojenliği vs gibi sıralanabilir.

Biyolojik yapıların her birinin bir rezonans frekansı yani canlının tüm vücudunda maksimum radyasyon soğurulmasının yaşandığı bir frekans vardır³³. Rezonans frekansı canlının boyutlarına ve Radyo Frekans (RF) alanın E (elektrik), H (manyetik) ve K (yayılm) polarizasyonuna (**Şekil 10**) göre değişir.

E, H ve K polarizasyonlarını tanımlamak gerekirse;
E polarizasyon: Gelen E alanının canlının uzun eksenine paralel ilerlemesi,
H polarizasyon: Gelen H alanının canlının uzun eksenine paralel ilerlemesi,
K polarizasyon: Yayılma vektörünün (K) canlının uzun eksenine paralel ilerlemesi sonucu oluşur. RF alanlar E, H ve K polarizasyonlarına ve canlının boyutuna bağlı olarak canlıyla değişik şekillerde etkileşime girmektedir.



Şekil 10: E, H ve K polarizasyon¹⁹¹

Teorik ve deneysel çalışmalar göstermiştir ki; RF dalganın E alan bileşeni vücut uzun boyutuna paralel ilerliyorsa (Şekil 11) ve kişinin boyu dalga boyunun 4/10'u olduğunda ($L = 4/10 \lambda$) (Şekil 12), vücut maksimum enerji soğurulur^{25,33,36,191-192}. Bu durumda RF alanın frekansı "rezonans frekansı" olarak tanımlanır.

70 MHz frekanslı RF dalganın hangi boyda (L) canlı tarafından en fazla soğurulacağı ya da rezonansa geleceğini bulmak mümkündür:

λ : dalga boyu, c: ışık hızı ($3 \times 10^8 \text{ m/sn}$) ve f: frekans olmak üzere;

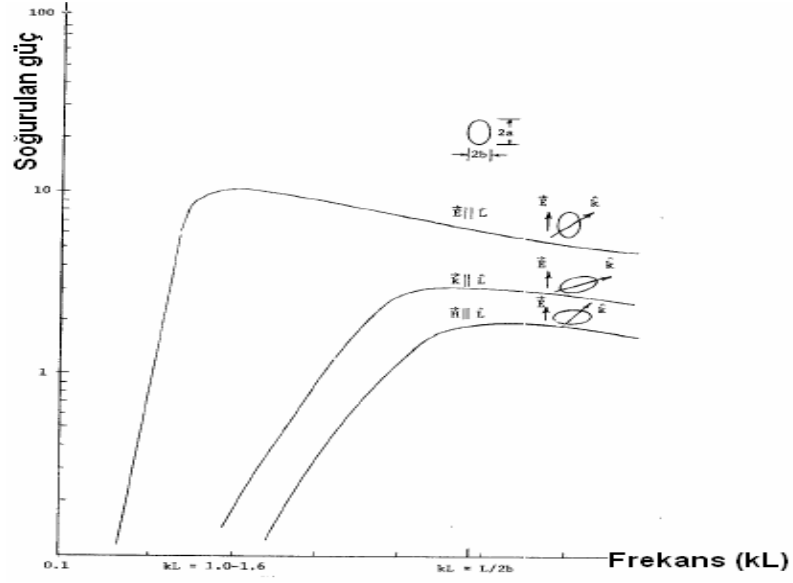
$$c = f \cdot \lambda \rightarrow \lambda = c / f$$

$$\lambda = 3 \times 10^8 \text{ m/sn} / 70 \times 10^6 \text{ Hz}$$

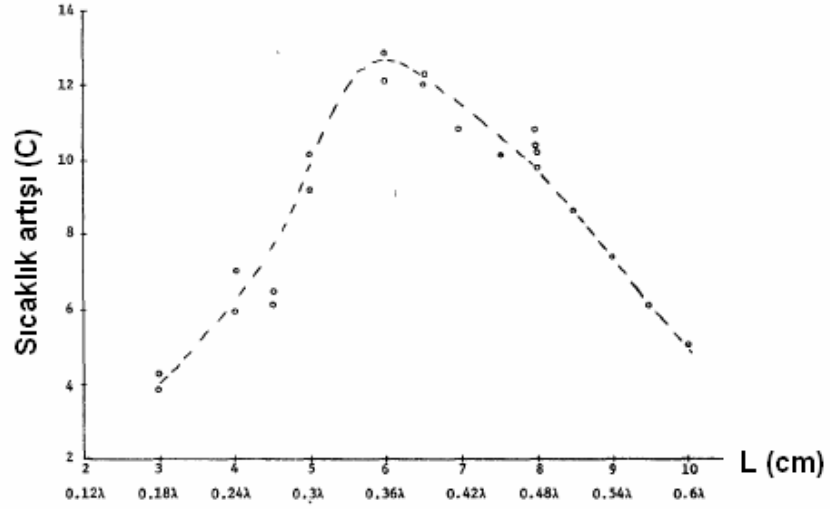
$$\lambda = 4.285 \text{ m'dir.}$$

$$L = 4/10 \lambda \rightarrow L = 4/10 \times 4.285 \text{ m}$$

$$L = 1.714 \text{ m bulunur.}$$



Şekil 11: Tipik RF soğurum eğrisi¹⁹²



Şekil 12: 710 MHz, 100 mW/cm²'ye 5 dakika maruz bırakılan fantomdaki sıcaklık değişimi (E // L)¹⁹²

E alan bileşeni kişinin boyuna paralel ilerliyorsa, 70 MHz frekanslı RF enerjisi en fazla 1.71 m boyunda insan soğuracaktır. Bu frekansta gözlenen SAR değeri de maksimum olacaktır. Cep telefonu ve baz istasyonu sistemlerinde E alan dikey olarak ilerlemektedir³⁴.

2.3.2. Biyolojik Parametreler

Biyolojik yapının boyutu, dokunun dielektrik ve iletkenlik özellikleri, doku geometrisi ve alanın polarizasyonuna göre canlının konumu gibi sıralanabilir.

Dokunun dielektrik sabiti, iletkenliği gibi doku yapısını açıklayan parametreler biyolojik materyalde elektromanyetik alanların yayılımını ve biyolojik yapı tarafından soğurulan enerjiyi açıklamada önemlidir. Dokunun dielektrik sabiti ne kadar yüksekse doku o kadar az iletken. Elektromanyetik dalganın biyolojik yapıya geliş açısı da soğurulan enerjiyi etkilemektedir^{10,33}. Dokuların kendine has dielektrik sabiti mevcuttur³³. Maxwell ve Wagner, 1913 yılında kan, karaciğer, akciğer gibi dokuların dielektrik sabitini ve frekansa bağlı dielektrik sabitindeki değişimi elektriksel modeller kullanarak bulmuşlardır. 1948 yılında Rajewsky ve Schwan tarafından 1 GHz için kan dokusunun dielektrik sabiti bulunmuştur. 1950–1960 yılları arasında ise veziküller, organeller ve protein ihtiva eden birçok dokunun dielektrik özellikleri saptanmıştır.

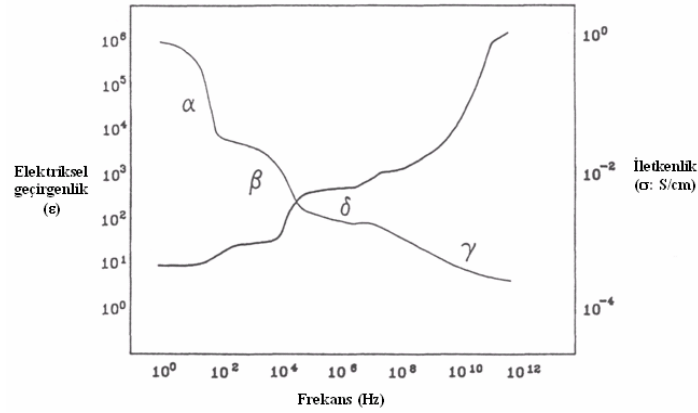
Dokuların dielektrik sabiti azaldıkça dokular daha çok iletken hale gelirler. Dokuların frekans arttıkça elektromanyetik alanlara gösterdiği iletkenlik ve elektriksel geçirgenlik özellikleri değişim gösterir (**Şekil 13**). Schwan tarafından saptanan bu değişimler α , β , δ ve γ adı verilen dört temel dağılım ile tanımlanmaktadır³⁵⁻³⁶:

α bölgesi; 1 Hz – 10 kHz aralığı için tanımlanmaktadır. Hücre zarı etrafında iyonların hareketi ile ilişkilidir. 100 Hz civarında iletkenlikteki artış yaklaşık 0.005 S/m'dir.

β bölgesi; Bu etkileşim 10 kHz – 100 MHz frekans aralığında gözlenir. Hücre zarının yüklenip boşalması döngüsünü izleyen olaylar ile ilişkilidir. Polar makro moleküller ve hücre altı yapıların rotasyonu söz konusu olur. Bu bölgedeki iletkenlikteki artış ortalama 0.4 S/m'dir.

δ bölgesi; 100 MHz – 1 GHz frekans aralığı için tanımlanır. Protein bağlı su moleküllerinin hidrasyonu, amino asitlerin rotasyonu ve yüklü proteinlerin kısmi rotasyonu ile ilişkilidir.

γ bölgesi; 10 GHz civarında başta su ve proteinler olmak üzere çeşitli biyolojik moleküllerin elektrik dipol momentlerinin dönmesi sonucunda oluştuğu kabul edilir (Debye etkisi). Su 20 – 25 GHz'de doğal bir frekansa sahiptir. 25 GHz'deki iletkenlikteki toplam artış 70 S/m'dir³³.

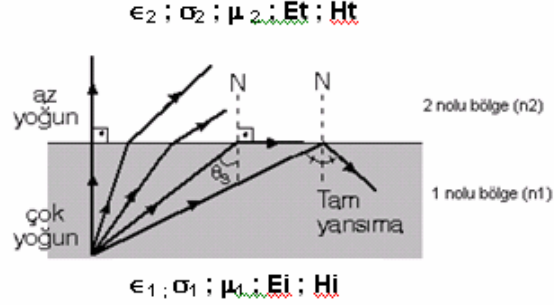


Şekil 13: Frekansa bağlı olarak elektriksel geçirgenliğin ve iletkenliğin gösterimi³⁶

Yüksek oranda su bulunduran dokuların öz dirençleri düşük frekanslarda çok az değişirken, 1 GHz'i aşan frekanslarda çok hızlı değişim gösterir. Bu hızlı değişim, suyun iletkenliğinin yüksek frekanslarda çok şiddetli değişim göstermesinin bir sonucudur. Su içeriği yüksek olan dokularda ara yüzey polarizasyonu nedeniyle hücre zarları boyunca yüksek frekanslarda dielektrik sabitinde azalma ve iletkenlikte artış gözlenir³³. Su oranı düşük olan dokuların dielektrik sabitleri ve iletkenlikleri yüksek su oranlı olanlara oranla düşüktür³³. Çok düşük ve çok yüksek frekanslı elektromanyetik alanlara maruz kalan biyolojik dokuların elektriksel özelliklerinin frekansa bağlı olarak değişiminin önemli bir nedeninin dokunun su oranı ve membranın kapasitif yapısından kaynaklandığı bilinmektedir.

Elektromanyetik dalga bir ortamdan / dokudan başka bir ortama / dokuya geçerken dalganın bir kısmı yansırken, bir kısmı diğer ortama / dokuya geçer³³. Elektromanyetik radyasyonun bir dokudan başka bir dokuya transferi dokuların empedanslarına (elektriksel - ϵ - ve manyetik geçirgenliklerine - μ - , iletkenliklerine - σ -) bağlıdır.

Şekil 14'deki Ortam 1 ve Ortam 2 için; n_1 ve n_2 sırasıyla 1. ve 2. ortamın empedanslarını, ϵ_1 ve ϵ_2 ortamların elektriksel geçirgenliklerini (dielektrik sabitlerini), μ_1 ve μ_2 ortamların manyetik geçirgenliklerini, σ_1 ve σ_2 ortamların iletkenliklerini, E_i 1. ortama gelen dalganın elektrik alan bileşenini, H_i 1. ortama gelen dalganın manyetik alan bileşenini, E_r Ara yüzeyden yansıyan dalganın elektrik alan bileşenini, H_r Ara yüzeyden yansıyan dalganın manyetik alan bileşenini, E_t 2. ortama geçen dalganın elektrik alan bileşenini, H_t 2. ortama geçen dalganın manyetik alan bileşenini ifade **etmektedir**.



Şekil 14: Elektromanyetik dalganın iki farklı ortamda davranışı

Yansımaya katsayısı (R – Reflection Coefficient) ve ortama geçiş katsayısını (T – Transmission Coefficient) ortam empedanslarına bağlı olarak açıklamak gerekirse;

n_1 ve n_2 1. ve 2. ortamın empedansları olmak üzere;

$$R = \frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1}$$

$$T = \frac{2n_2}{n_2 + n_1} \quad \text{olur.}$$

Yukarıdaki formüllerden de görüldüğü gibi $n_2 \gg n_1$ olursa $R = 1$ olur ve dalga % 100 yansımaya uğrar. Yani dokular birbirinden çok farklı ise yaklaşık % 100 yansımaya yaşanır. $n_1 = n_2$ olursa, dokular birbiri ile özdeş özellikte ise, $T = 1$ olur ve bu durumda da dalga tamamıyla diğer ortama geçer.

Havanın, yağ dokusunun, akciğerin, cildin, kanın ve tuz solüsyonunun yansımaya katsayıları (R) **Tablo 8**'de verilmiştir: 915 MHz frekanslı bir RF dalga (cep telefonu frekansını alabiliriz) havadan sıfır yansımaya ile geçip yağ dokusuna geldiğinde % 43'ü, akciğerde % 73'ü, kasta %78'i ve kanda %79'u yansımaktadır (**Tablo 8**). Aynı tablodan 433 MHz frekansa sahip bir RF dalganın yağ dokusundan başka bir yağ dokusuna % 0 yansımaya ile girdiği, buna karşılık aynı dalganın yağ dokusundan kan'a girerken %56'sının yansımaya uğradığı, %44'ü ise kan dokusuna transfer olduğu görülmektedir.

Tablo 8: Farklı dokuların 37°C'de yansımaya katsayıları (R)
(R değerleri % olarak verilmiştir)^{10,33}

Hava'dan – diğer ortamlara					
Frekans (MHz)	433	915	2450	5800	10000
Hava	0	0	0	0	0
Yağ (Kemik)	46	43	41	39	37
Akciğer	76	73	71	70	70
Kas (Cilt)	82	78	76	75	74
Kan	81	79	77	76	76
Tuz Solüsyonu	83	80	79	78	78
Yağ'dan (Kemik'ten) – diğer ortamlara					
Frekans (MHz)	433	915	2450	5800	10000
Hava					
Yağ (Kemik)	0	0	0	0	0
Akciğer	46	43	42	42	45
Kas (Cilt)	56	52	50	50	52
Kan	56	54	53	53	54
Tuz Solüsyonu	60	57	57	56	58
Akciğer'den – diğer ortamlara					
Frekans (MHz)	433	915	2450	5800	10000
Hava					
Yağ (Kemik)					
Akciğer	0	0	0	0	0
Kas (Cilt)	14	12	10	10	10
Kan	13	14	15	14	13
Tuz Solüsyonu	19	18	19	19	18
Kas'dan (Cilt'ten) – diğer ortamlara					
Frekans (MHz)	433	915	2450	5800	10000
Hava					
Yağ (Kemik)					
Akciğer					
Kas (Cilt)	0	0	0	0	0
Kan	4	4	5	4	3
Tuz Solüsyonu	6	7	10	9	9
Kan'dan – diğer ortamlara					
Frekans (MHz)	433	915	2450	5800	10000
Hava					
Yağ (Kemik)					
Akciğer					
Kas (Cilt)					
Kan	0	0	0	0	0
Tuz Solüsyonu	6	4	5	5	6

Her elektromanyetik dalganın enerjisi vardır, bu enerji dalganın frekansına bağlıdır³³. EM dalga dokuda enerjisini harcayarak ilerler ve dalga enerjisi doku içinde e^{-2} faktörü ile azalmaktadır ($e= 2.718$). Doku içinde EM dalganın enerjisinin $1/e^{21}$ 'ye (7.38'de birine) düştüğü mesafe “girginlik” olarak tanımlanmıştır¹⁰. Farklı frekanslardaki RF

radyasyonun farklı dokulara girginliği **Tablo 9**'da verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi frekans arttıkça RF dalganın dokuda ilerleyebilmesi, bir başka deyişle girginlik azalmakta ve aynı frekanstaki dalga farklı dokularda farklı girginliğe sahip olmaktadır.

Tablo 9: RF dalganın frekansına göre dokulara girginliği (cm) ^{10,33}

Frekans (MHz)	433	915	2450	5800	10000
Tuz Solüsyonu	2.8	2.5	1.3	0.7	0.2
Kan	3.7	3.0	1.9	0.7	0.3
Kas (Cilt)	3.0	2.5	1.7	0.8	0.3
Akciğer	4.7	4.5	2.3	0.7	0.3
Yağ (Kemik)	16.3	12.8	7.9	4.7	2.5

RF dalgaların yağ dokusuna girginliği kas ve kan dokularından ~ 5 kat daha fazladır. **Dolayısıyla yüksek su içeriği olan dokularda RF enerjisinin girginliği daha azdır**³³.

Bazı dokuların farklı frekanslardaki dielektrik sabitleri ve iletkenlikleri belirlenmiştir. Karaciğer, akciğer, kemik, kan, yağ ve iskelet kasının frekansa göre dielektrik sabitlerinin ve iletkenliklerinin nasıl değiştiği **Tablo 10**'da verilmiştir.

Tablo 10: Dokuların Dielektrik Sabiti (ϵ_r) ve iletkenliklerinin (σ) Frekansa göre Değişimi (ϵ_r / σ) ³³

Frekans	İskelet Kası	Karaciğer	Akciğer	Kemik	Kan	Yağ
100 Hz	3.2x10 ⁵ /0.076	8.5x10 ⁵ /0.13	4.5x10 ⁵ /0.092	3800/0.0126	--/0.60	1.5x10 ⁵ /--
1 kHz	1.2x10 ⁵ /0.08	1.3x10 ⁵ /0.13	4.5x10 ⁵ /0.096	1000/0.0129	--/--	5x10 ⁴ /0.02-0.07
100 kHz	3x10 ⁴ /0.04	9760/0.15	8.5x10 ⁵ /--	280/0.0144	4000/0.55	--/--
10 MHz	170-190/0.86-0.87	338/0.47	--/--	37/0.0237	--/--	--/--
100 MHz	67-72/0.95-0.99	77/0.72	--/--	23/0.0574	--/1.0	4.5-7.5/0.02-0.07
1 GHz	57-59/1.38-1.45	46/0.98	--/--	8/0.05	58-62/1.4-1.6	4.3-7.5/0.03-0.08
10 GHz	40-42/8.3	38/5.8-6.7	--/--	50-52/0.5-1.7	3.5-4.0/9.1	--/0.3-0.4

Aynı doku için dielektrik sabitinin frekans arttıkça hızlı bir şekilde azaldığı, iletkenliğin ise yavaş bir artış gösterdiği tablodan görülmektedir.

Tablo 11'de görüldüğü gibi insan beyin dokusunda gri madde ve beyaz maddede 900 MHz ve 1800 MHz'de farklı elektriksel geçirgenlik (ϵ_r) ve iletkenlik (σ) gözlemlenmektedir.

Tablo 11: İnsan Beyni Tipik Dielektrik Özellikleri ³⁷

BEYİN DOKUSU	900 MHz		1800 MHz	
	ϵ_r	σ	ϵ_r	σ
Beyin gri madde	51.4	1.06	49.5	1.44
Beyin beyaz madde	34	0.59	32.6	0.84

2.3.3. Çevresel Faktörler

Çevresel faktörler elektromanyetik radyasyonun canlıya etkisini azaltabilir ya da artırabilir. Bu faktörler zeminin veya çevrenin iletkenliği, metal implantların bulunup bulunmadığı, EM alanı azaltıcı materyaller (ferromanyetik maddeler), alandaki metal ya da metal olmayan objeler, ortamdaki sıcaklık ve nem olarak sıralanabilir. Örneğin biyolojik yapının RF radyasyona maruz kaldığı ortamda yansıtıcı malzemeler mevcutsa bu durum maruz kalınan alan değerini artırabilir. Sıcaklığı yüksek bir ortamda çalışma gerçekleştiriliyorsa çalışmanın tüm verileri sıcaklıktan etkilenebilir. Ortamdaki fazla sıcaklık ya da nem RF radyasyonun biyolojik etkilerini artırıcı / hızlandırıcı olabilir. Ferromanyetik maddelerin kullanılması ile alanlar azalabilir. Biyolojik yapının metal protezi varsa RF alanı yansıtma özelliğinden dolayı metaller bazı bölgelerde alan değerini artırırken, bazı bölgeler için ise shielding / alan azaltıcı görev yapabilir ³³.

2.3.4. Radyo Frekans Alanların Biyolojik Etkileri ve Etki mekanizmaları

RF ve mikrodalga radyasyonun insan vücuduna etkileri, geçtiğimiz çeyrek yüzyılda incelenmeye başlanmıştır ³⁸. Yeterince yüksek yoğunlukta ki RF veya mikrodalga enerjinin bazı etkilere neden olabildiği bilinen bir gerçektir. Son dönemde araştırmalar, düşük seviyelerdeki hayat boyu süren veya uzun süreli maruziyetlerden doğabilecek sağlık etkilerini incelemek yönündedir.

RF dalgalarının termal ve non-termal (termal olmayan) olmak üzere iki tip etkisi vardır.

Biyolojik yapılarda ısı artışına neden olabilecek seviyede RF uygulaması varsa, bu önce dokuda ısı artışını, sonra da ısı artışına bağlı biyolojik değişimleri beraberinde getirir. Bu etkilere **termal etkiler** denir ³⁹. Sıcaklık artışına bağlı olarak hücreler ölebilir veya mutagenез oluşabilir. Hücrelerin ölmesine neden olan referans sıcaklık 43 °C olarak belirlenmiştir ¹². Termal etkiler, cismin elektromanyetik dalga ile etkileşmesinde, artan moleküler hareket ve sürtünmeden dolayı sistemde ısı artışından dolayı oluşur. Dielektrik özellikler önemli bir parametredir.

İyon, moleküler, dipol veya koloidal parçacıklardan oluşan elektrik yüklü parçacıklar değişen alanlarda daima hareket halindedir. RF enerji vücut yüzeyine çarptığında bir kısmı yansır, bir kısmı vücut içine girerek soğurulur. Elektromanyetik dalga dokudan geçtikçe ortamın elektriksel özelliklerine bağlı olarak hızı değişir. Bir elektrik alana giren dipol, o alanın etkisine göre yönü belirlenir, bir düzen oluşturur. Eğer alan değişken ise, dipol, alan etkisinde salınım yapar. Bu salınımdan doğan enerji ısı artışını doğurur. Frekans artışıyla; salınım oranı arttığı ve sürtünmeden dolayı oluşan kayıplar arttığı için aynı sonuçlar frekans artışından da oluşur. Isınma; frekans ve alan şiddeti ile artar. Yüklü parçacıkların üzerine elektrik alanlar etkiğinde onları harekete zorlar, bu da sistemde değişime yol açar. Elektrik alan ortadan kalkarsa belirli zaman sonra, sistemin eski haline geldiği gözlenir. Bu ara süreye gevşeme süresi denir. Gevşeme süresi; parçacığın yüküne, ortam özelliklerine ve sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık arttıkça gevşeme süresi azalır. Su moleküllerinin oda sıcaklığında gevşeme periyodu 10^{-11} saniyedir. Enerji soğurulması 1–100 GHz aralığında maksimuma ulaşır.

Uygulanan alanın ısı artırıcı etkisi yoksa ve buna bağlı olarak vücudun ısı regülasyon mekanizmasının çalışmasına gerek kalmıyorsa, fakat yine de RF alan biyolojik değişimlere neden oluyorsa bu etkiler **non-termal (termal olmayan)** olarak tanımlanır³⁹. Davranış bozuklukları, beyin dokusunda Ca^{+2} akışının değişimi, EEG dalgalarının değişimi, lenfositlerin yeteneklerinin azalması, sperm hücrelerinde kromozomal değişimler, hücre içi enzim aktivitesinin değişimi vb etkiler non-termal etkileşim sonrasında gözlenen etkiler olarak sıralanabilir¹². Ayrıca sinir ve kas hücrelerinin aktivasyonu ve mikrodalga işitme olayı da non-termal etkileşim ile gözlenir. Non-termal mekanizmalar RF foton enerjisinin büyüklüğüne, RF alanlar ile moleküler titreşimin uyarılmasına ve membran potansiyelinde değişimlere bağlı olarak gerçekleşir¹¹.

Bugüne kadar oluşturulan 0 – 300 GHz frekans aralığı güvenlik standartları termal etkiler dikkate alınarak hazırlanmıştır. Vücudun 1 kg'ının sıcaklığını 1 °C artıracak gücün 4 W olduğundan yola çıkılarak 4 W/kg SAR değeri insanlar için güvenlik standardı olarak temel alınmış ve mesleki maruziyet için bu değer 10'da 1'i (0,4 W/kg) genel halk için 50'de 1'i (0,08 W/kg) alınarak güvenlik standardı limit değerleri oluşturulmuştur.

2.4. RF Alanlar için Oluşturulmuş Standartlar

Ulusal ve uluslararası alanda EM alan maruziyetine dair olası sağlık etkilerinden korunmak için EM alan düzeyleri belirli kuruluşlar tarafından sınırlandırılmaktadır. Amerika'da bu düzeyler FCC ve IEEE tarafından düzenlenmektedir. Avrupa Ülkeleri için bu alanlara dair limitler ICNIRP tarafından belirlenmiştir. Türkiye'de ise bu konu ile ilgili

Telekomünikasyon Kurumu – TK 12 Temmuz 2001 tarihinde bir yönetmelik yayınlamıştır. Bu bölümde ICNIRP ve TK elektromanyetik radyasyon limitlerine ve Avustralya, Amerika, Avrupa, Japonya ve Yeni Zelanda SAR limitlerine yer verilecektir. Son dönemde elektromanyetik alanlara maruziyetle ilgili hassas bilim insanları daha ihtiyatlı yaklaşılması gerekliliğini vurgulamaktadırlar. Yine bu bölümde ihtiyat ilkesi yaklaşımlarından bazılarını da yer verilecektir.

2.4.1. RF Alanlar için Oluşturulmuş Uluslararası Standartlar

Tablo 12: Mesleki Maruziyette izin verilen ICNIRP Limitleri (MPE)²²

Frekans (MHz)	E Alan (V/m)	H Alan Şiddeti (A/m)	Güç Yoğunluğu (W/m ²)	B Alan (µT)
1 Hz'e kadar	--	1.63x10 ⁵	--	2x10 ⁵
1-8 Hz	20.000	1.63x10 ⁵ /f ²	--	2x10 ⁵ /f ²
8-25 Hz	20.000	2x10 ⁴ /f	--	2.5x10 ⁴ /f
0.025-0.82 kHz	500/f	20/f	--	25/f
0.82-65 kHz	610	24.4	--	30.7
0.065-1 MHz	610	1.6/f	--	2.0/f
1-10 MHz	610/f	1.6/f	--	2.0/f
10-400 MHz	61	0.16	10	0.2
400-2000 MHz	3f^{1/2}	0.008 f^{1/2}	f/40	0.01 f^{1/2}
2-300 GHz	137	0.36	50	0.45

MPE: İzin verilen maksimum maruziyet seviyesi

Tablo 13: Genel Halk için izin verilen ICNIRP Limitleri (MPE)²²

Frekans	E Alan (V/m)	H Alan Şiddeti (A/m)	Güç Yoğunluğu (W/m ²)	B Alan (µT)
1 Hz'e kadar	--	3.2x10 ⁴	--	4x10 ⁴
1-8 Hz	10.000	3.2x10 ⁴ /f ²	--	4x10 ⁴ /f ²
8-25 Hz	10.000	4000/f	--	5000/f
0.025-0.8 kHz	250/f	4/f	--	5/f
0.8-3 kHz	250/f	5	--	6.25
3-150 kHz	87	5	--	6.25
0.15-1 MHz	87	0.73/f	--	0.92/f
1-10 MHz	87/f^{1/2}	0.73/f	--	0.92/f
10-400 MHz	28	0.073	2	0.092
400-2000 MHz	1.375f^{1/2}	0.0037f^{1/2}	f/200	0.0046f^{1/2}
2-300 GHz	61	0.16	10	0.20

MPE: İzin verilen maksimum maruziyet seviyesi

2.4.2. Türkiye RF Standardı

Türkiye RF limitleri Telekomünikasyon Kurumu (TK)'nce Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı'nın da görüşleri alınarak hazırlanmış ve 12.07.2001 Tarih ve 24460 Sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. **"10 kHz - 60 GHz Frekans Bandında Çalışan Sabit Telekomünikasyon Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddeti Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Ölçüm Yöntemleri ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik"**'te yer alan RF standartları **Tablo 14**'de verilmektedir²⁹. Daha sonra bu yönetmeliğin bazı maddelerinde (1. madde, 2 ve 9. maddeler, EK-B) değişikliğe gidilmiştir. Bu değişiklikler 15.02.2002 Tarih ve 24672 Sayılı Resmi Gazete'de yayınlanmıştır. Yönetmelik ile ilgili 09.09.2001 tarih ve 24518 Sayılı Resmi Gazete'de **"10 kHz - 60 GHz Frekans Bandında Çalışan Sabit Telekomünikasyon Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddeti Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Ölçüm Yöntemleri ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmeliğin Uygulanmasına İlişkin Tebliğ"** yayınlanmıştır. 08.02.2002 tarih ve 24665 Sayılı Resmi Gazete'de Tebliğde değişiklik yapılmasına ilişkin bir tebliğ, 04.03.2004 tarih ve 25392 Sayılı Resmi Gazete'de Yönetmelikte geçen meskûn mahal tanımına ilişkin tebliğ, 21.06.2006 tarih ve 26205 Sayılı Resmi Gazete'de ise bu tanıma düzeltmeye ilişkin bir tebliğ yayınlanmıştır.

Tablo 14: Telekomünikasyon Kurumu Yönetmeliğinde Yer Alan RF Standartları ²⁹

Frekans Aralığı (MHz)	E-alın şiddeti (V/m)		H-alın şiddeti (A/m)		B-Manyetik akı yoğunluğu (µT)		Eşdeğer düzlem dalgı güç yoğunluğu (W/m ²)	
	Tek bir cihaz için limit değeri	Ortamın toplam limit değeri	Tek bir cihaz için limit değeri	Ortamın toplam limit değeri	Tek bir cihaz için limit değeri	Ortamın toplam limit değeri	Tek bir cihaz için limit değeri	Ortamın toplam limit değeri
0.010 - 0.15	22	87	1.3	5	1.5	6.25	-	-
0.15 - 1	22	87	0.18/f	0.73/f	0.23/f	0.92/f	-	-
1 - 10	22/f ^{1/2}	87/f ^{1/2}	0.18/f	0.73/f	0.23/f	0.92/f	-	-
10 - 400	7	28	0.02	0.073	0.023	0.092	0.125	2
400 - 2000	0.341.f ^{1/2}	1.375.f ^{1/2}	0.0009f ^{1/2}	0.0037f ^{1/2}	0.001f ^{1/2}	0.0046f ^{1/2}	f/3200	f/200
2000 - 60000	15	61	0.04	0.16	0.05	0.2	0.625	10

f= frekans (MHz)

Tablo 15'de Türkiye'nin de temel olarak aldığı ICNIRP SAR limitleri, **Tablo 16** ve **Tablo 17**'de ise değişik ülkelerin ve uluslararası kurumların mesleki maruziyet ve genel halk maruziyeti SAR limitleri verilmiştir.

Tablo 15: ICNIRP SAR Limitleri ²²

SAR Limitleri	Çalışanlar	Genel Halk
Tüm Vücut	0.4 W/kg	0.08 W/kg
Lokelize – Baş ve Gövde	10 W/kg	2 W/kg
Lokelize – Eller ve Bacaklar	20 W/kg	4 W/kg

Tablo 16: Mesleki Maruziyet SAR Limitleri ²²

	Avustralya	Amerika	Avrupa	Japonya	Yeni Zellanda
Limit Kodu	ACA	ANSIC95.1	ENV50166	TTC/MPT	NZS2772
Tüm Vücut	0.4 W/kg	0.4 W/kg	0.4 W/kg	0.4 W/kg	0.4 W/kg
Uzaysal peak	10 W/kg	8 W/kg	10 W/kg	8 W/kg	10 W/kg
Ort. Süre	6 dakika	6 dakika	6 dakika	6 dakika	6 dakika
Ort. Ağırlık	10 g	1 g	10 g	10 g	10 g

Tablo 17: Genel Halk Maruziyeti SAR Limitleri ³⁷

	Avustralya	Amerika	Avrupa	Japonya	Yeni Zellanda
Limit Kodu	ACA	ANSIC95.1	ENV50166	TTC/MPT	NZS2772
Tüm Vücut	0.08 W/kg	0.08 W/kg	0.08 W/kg	0.04 W/kg	0.08 W/kg
Uzaysal peak	2 W/kg	1.6 W/kg	2 W/kg	2 W/kg	2 W/kg
Ort. Süre	6 dakika	30 dakika	6 dakika	6 dakika	6 dakika
Ort. Ağırlık	10 g	1 g	10 g	10 g	10 g

2.4.3. Elektromanyetik Alanlar ve İhtiyat İlkesi

Elektromanyetik alanların biyolojik etkilerinin halen tartışıldığı ve buna paralel olarak yukarıda bahsedilen elektromanyetik alan limitlerinin yeniden gözden geçirildiği günümüzde önlemlerin “**ihtiyat ilkesi**” dikkate alınarak alınması gerekmektedir. **Bir eylem insan sağlığına ya da çevreye zararı artırıyorsa bilimsel olarak sebep sonuç ilişkileri tamamen netleşmemiş bile olsa ihtiyat önlemleri alınmalıdır.** İhtiyat ilkesinin kabul edildiği anlaşmalar şunlardır:

A. Rio Çevre ve Gelişme Deklarasyonu – Madde 15 - The Rio Declaration on Environment and Development, 1992 - Principle 15 ⁴⁰

B. Avrupa Birliği Antlaşması – Maastricht Antlaşması - Treaty on European Union (Maastricht Treaty), 1992 ⁴¹

C. Wingspread Raporu - Wingspread Statement ⁴²

2.5. RF Alanların Biyolojik Etkileri

RF alanlar ve biyolojik etkileri ile ilgili ilk çalışmalar Doğu Bloğu ülkelerde 1900'lü yılların başında başlayıp, sonra hız kazanmıştır. 1980'lerden sonra tüm dünyadaki araştırmalarda bu konuda bir patlama yaşanmıştır. 1990'larda RF kaynaklarının yoğun bir şekilde kullanılması ile birlikte WHO-EMF Proje'si kapsamında çalışmalar ayrı bir hız kazanmıştır. RF'in biyolojik etkileri, Genetik, Üreme - Gelişme, Nörolojik, Davranış, Kardiovasküler, Hematolojik-İmmünolojik etkiler başlıkları altında incelenebilir. Ayrıca RF alanların Hastane Cihazları ile etkileşimi söz konusudur. Üreme ve Gelişme çalışmalarının en önemlilerinden biri, RF' in kontrolsüz hücre çoğalımı üzerine etkisinin olup olmadığına yönelik kanser çalışmalarıdır. Nörolojik etkiler üzerine yapılan, en önemli çalışmalar ise, EEG ve kan beyin bariyeri çalışmalarıdır.

2.5.1 Genetik Etkiler

Şimdiye kadar yapılan birçok genetik etki çalışması kısa süreli maruziyet koşullarında in-vitro'da yapılmış çalışmalardır. Kısa süre maruziyet durumunda bile etkilerin gözlenmesi uzun dönemde RF alanların ne tür ciddi değişimlere neden olabileceği açısından oldukça önemlidir.

- 30 gün boyunca günde iki saat 910 MHz radyasyona maruz kalan sıçanların kemik iliğinde kontrol grubuna göre 3 kat fazla mikronüklei gözlenmiş ve 910 MHz RF dalgasının genotoksik etkileri olan zararlı ajan olarak tanımlanabileceği açıklanmıştır⁴³.
- Bazı araştırmacılar, RF ve mikrodalga radyasyona maruz bırakılan bitki ve hayvan hücre kültürlerinde kromozomal değişimler olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan araştırmalarda, maruziyet değerleri 70 W/m² ve 2 kW/m² aralığında değişmektedir³³.
- Farklı frekanslarda GSM mobil telefonlarına sağlıklı insanların lenfositlerinin maruz bırakıldığı başka çalışmada, GSM mobil telefonların kromatin oluşumunda, 53BP1/gama-H2AX ve heat shock proteinlerinde (hsp) etkili olduğu saptanmıştır⁴⁴.
- İnsan lenfositleri üzerinde yapılan bir diğer araştırma da 900 MHz cep telefonu frekansı kullanılmıştır. Üç farklı modda maruziyet yaratılmış ve 0 ile 10 W/kg arasında değişen SAR değeri uygulanmıştır. Mutajenik/co-mutajenik/ sinerjik etki saptanmamıştır⁴⁵.
- 1800 MHz frekansta 1,4 ve 2,0 W/kg SAR değerlerindeki cep telefonu radyasyonunun perifer kan hücrelerine uygulanması sonucunda apoptosiz ve heat shock proteininde değişim olmadığı belirtilmiştir⁴⁶.
- GSM 1800 cep telefonu kullanılarak, insan lenfositleri üzerinde sitojenik etki olup olmadığını araştıran başka bir çalışmada, insan kan kültürleri, ortalama 5 W/kg SAR değerindeki 1748 MHz sürekli ve modülasyonlu alanlara 15 dakika süreyle maruz bırakılmıştır. Hücre

proliferasyon kinetiklerinde her iki tipte radyasyonda da değişim gözlenmemiş, fakat mikro çekirdek etkisinin, modüle edilmiş alanlara maruziyet sonucu ortaya çıktığı görülmüştür⁴⁷.

- Başka bir araştırmada, cep telefonu radyasyonunun lipid bileşiminde, malondaldehit konsantrasyonu, p53 geni aktivitesi, sperm sayısı ve morfolojisi, testislerin histolojik yapısı ve rektal sıcaklık değişimi üzerine etkileri incelenmiştir. Bir ay boyunca haftada 7 gün günde 20 dakika süreyle 0.52 W/kg SAR'a maruz kalan sıçanlarda çalışılan parametrelerde bir etki gözlenmemiştir⁴⁸.
- 27 MHz ve 2450 MHz, CW ve 3,07 GHz pulslu mikrodalga radyasyona maruz bırakılan Escherichia coli veya Salmonella typhimurium kültürlerinde mutasyonel bir etki saptanmamıştır⁴⁹.
- Erkek farelerin 2450 MHz MW radyasyona 2 hafta boyunca, haftada 6 gün ve günde 30 dakika süresince 1 W/m², 100 W/m² veya 400 W/m² maruziyeti sonucunda erkek farelerin spermalarında mutajenik bir değişim tespit edilmemiştir⁵⁰.
- 2.45 GHz'de 100 W/m² sürekli dalgaya günde 6 saat olmak üzere erkek fareler maruz bırakılmış ve 8 hafta süresince üreme hücrelerinde mutajenik bir değişim gözlenmemiştir⁵¹.
- Albino sıçanların hepatositlerinde 100 mW/cm² güç yoğunluğu seviyesinde 400 Hz puls kalınlıklı 3000 MHz RFR'ın 12 saat, 60 gün boyunca uygulanması ile mutajenik etkinin oluştuğu belirtilmiştir. 500 mW/cm² ve 2500 mW/cm² uygulandığında ise, bu etkilerin arttığı gözlenmiştir⁵².
- 2450 MHz radyasyonun insan perifer kan lenfositlerinde oluşturabileceği etkilerin araştırıldığı bir çalışmada, sabit sıcaklıkta (36,1 °C), 30 dakika ve 120 dakika maruz bırakılan kan örneklerinde kromozom anormalliklerinde ve mikro çekirdekte değişim gözlenirken; hücre kinetiklerinde ve kardeş kromatit değişiminde (SCE- Sister Chromatid Exchange) bir fark tespit edilmemiştir. Aynı ekip tarafından yapılan başka bir araştırmada, 935,2 MHz GSM frekansı tek başına ve DNA hasar verici kimyasal ajan olarak mitomizin C ile birlikte uygulanmış ve kromozomal aberasyon testi, kardeş kromatit değişim testi ve alkalın komet analizi yapılmıştır. Direk sitojenik etki saptanmamıştır⁵³.
- 2450 MHz frekanslı 1 mW/cm² güç yoğunluğundaki mikrodalga alanın, 120, 150 ve 200 gün süresince, günde 2 saat boyunca farelere uygulanması sonucunda DNA'da oluşabilecek mutajenik etkileri araştırılmıştır. DNA'da ciddi değişimler saptamakla beraber, etki mekanizması tam olarak açıklanamamıştır⁵⁴.
- Yakın zamanda sonuçlanan Reflex (Potential health hazards of mobile telephones – Cep telefonlarının potansiyel sağlık etkileri) çalışmasında RF alanların genotoksik etkilerinin olduğu, DNA kırıklarına ve kromozomal bozulmalara neden olduğu açıklanmıştır⁵⁵.

2.5.2. Üreme-Büyüme ve Gelişmeye Etkiler

Deneysel çalışmalarda, teratolojik etkilerin ancak biyolojik olarak zararlı boyutta sıcaklık artışı olduğu zaman görülebileceği saptanmıştır. Sıçanlarda yüksek RF radyasyonun, fetüsün ilk ağırlığında azalışa ve düşüklere artışa neden olduğu belirtilmektedir. Bazı araştırmalarda bu sonuçların oluşması için gereken RF radyasyonun öldürücü dozda olması gerektiği belirtilmiştir.

- Standart değerlerin altında RF alanlara maruz kalan hamile bayanlarda herhangi bir anormallik saptanmamıştır.⁵⁶
- Kısa dalga diatermi sistemlerinde ve plastik kaynak yapan iş yerlerinde çalışan kadınlarda yapılan epidemiyolojik incelemede düşük ve hasta bebek doğum oranı kontrol gruplarına göre artış olduğu görülmüştür.⁵⁷
- 1300 MHz pulslu, 7,7 W/kg'luk radyasyon sıçanlara, günde 90 dakika, 13 gün süresince uygulanmış ve üreme hücrelerine zarar verdiği tespit edilmiştir.⁵⁸
- 100 MHz GSM maruziyetinin sperm kalitesi ve sayısında etkisi olup olmadığını araştırmak için yapılan bir çalışmada farelere 100 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, ortalama 0,018–0,023 W/kg SAR değerindeki radyasyon günde 2 saat olmak üzere 2 hafta boyunca toplam 10 gün uygulanmıştır; serum testosteron, serum kimyası ve hematolojik incelemeler sonunda bu parametrelerde istatistiksel fark saptanmamıştır.⁵⁹
- 2450 MHz'de sıçanlar ile yapılan bir çalışmada güç yoğunluğu 50 W/m^2 ve 0,9 – 4,5 W/kg SAR değerine sahip RF alanların günde 240 dakika maruziyeti sonucunda testislerde etki oluşturmadığı saptanmıştır. Güç yoğunluğu değeri 100 W/m^2 , SAR değeri 2 W/kg 'a çıkartıldığında ve 5 gün boyunca günde 360 dakika maruziyet sağlandığında uygulanan alanın testislerde yine değişim yaratmadığı belirtilmiştir.⁶⁰
- 289 evli radar operatörü ve 148 evli kontrol grubu ile yapılan bir çalışmada anket uygulanmış ve mikrodalga maruziyet ölçülmüştür. Çalışmada radar operatörlerinin % 43,6'sında seksüel fonksiyon bozukluğu (doğuma neden olmanın azalması) gözlenirken bu değer kontrol grubunda ise % 24,4 olarak tanımlanmıştır. Sonuçta çalışmacılar uzun dönem düşük şiddette mikrodalga radyasyona maruziyetin üremeye etkili olduğunu saptamışlardır.⁶¹

2.5.3 Nörolojik Etkiler

RF radyasyonun sinir sistemi üzerindeki etkilerini araştıran çalışmalar hızla artmaktadır. RF alanlara maruziyetin kan beyin bariyerine etkilerinin termal kaynaklı olup olmadığı bilim dünyasında tartışılmaktadır. Yüksek seviyede RF enerjiye maruz kalmanın sinir sistemi yapı ve fonksiyonunda hasara yol açabildiği belirtilmektedir. Beyin nörokimyası ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. İzole beyin dokusu ile yapılan çalışmalarla, termal mekanizmalar dışında farklı nedenler olduğuna dair bulgular

saptanmıştır. Yüksek güç yoğunluğundaki maruziyetlerde, termal etkilerin ters etkiler yarattığı belirtilmiş, düşük güç yoğunluklarında ise biyolojik etkiler oluşabildiği, fakat bu etkilerin termal etki bazında olmadığı belirtilmiştir³³. Nörolojik etkiler; kan beyin bariyeri geçirgenliği (BBB-Blood Brain Barrier), elektroensefaleografi (EEG) ve kalsiyum akışı değişimleri gibi sıralanabilir. Ayrıca son yıllarda oldukça ilginç bir araştırma konusu cep telefonu kullanımı – baş ağrısı ilişkisidir. Frey 1998 çalışmasında bu ilişkiyi kan beyin bariyeri geçirgenliği ile ilişkilendirerek tartışmaktadır⁶².

- Kalsiyum akışı ile ilgili çalışmalarda ELF- Oldukça Düşük Frekans (Extremely Low Frequency) genlik modülasyonlu RF alanlar kullanılarak tavuk ve sıçan beyinlerindeki değişimler incelenmiştir. 450 MHz'de 16 Hz modülasyonlu AM alanlara maruz kalan tavuk beyinlerine 0,5, 0,1, 1 ve 5 mW/cm² güç yoğunluklarının 20 dakika uygulanması sonucunda 0,1 ve 1 mW/cm² alanların hücrelerden Ca⁺² çıkışına etkili olduğu gözlenirken, 0,5 ve 5 mW/cm² 'de herhangi bir etki gözlenmemiştir⁶³.
- Bazı araştırmacılar; RF ve mikrodalga alanların sinir sistemi üzerine etkilerini farmakolojik açıdan ele almışlardır. Merrit ve arkadaşları, 1600 MHz, 6 ve 24 W/kg sürekli dalga (CW) radyasyonu sıçanlara uyguladıklarında NE (Norepinefrin) ve DA (Dopamin)'de azalışın olduğunu saptamışlardır. 24 W/kg SAR değerinin 10 dakika uygulandığı sıçanlarda ise hipokampal serotonin miktarının azaldığı gözlenmiştir. Aynı çalışmacılar, SAR değerini azaltarak, 3,0 W/kg olarak uyguladıklarında nörotransmitter miktarlarında yine değişimin olduğunu saptamışlardır⁶⁴.
- Cep telefonu kaynaklı elektromanyetik radyasyonun beyin hücrelerinde hasar yaptığı, bu hasarın öğrenme, hafıza ve hareketleri etkileyebileceği ve hatta Alzheimer rahatsızlığını tetikleyebileceği düşünülmektedir⁶⁵.
- İlhan ve arkadaşları 2004 yılında yaptıkları araştırmalarında sıçan beyin dokusunda cep telefonu maruziyeti kaynaklı oksidatif stres olduğunu ve bu stresin Ginkgo biloba ile engellenebildiğini saptamışlardır²¹⁰.

2.5.3.1. Kan Beyin Bariyerine Etkiler

RF ve mikrodalga uygulamanın sıçan beyinlerinde yerel serebral kan akımını artırdığı, bu artışın kan beyin bariyeri geçirgenliğinin değişimini indüklediği yönünde çalışmalar mevcuttur. Kan beyin bariyeri çalışmalarında incelemeler birçok metotla yapılabilmektedir; bunlar immunohistokimyasal olarak yapılan incelemeler, ışık mikroskopu ile yapılan incelemeler, elektron mikroskopik incelemeler, radyoaktivite çalışmaları gibi sayılabilir.

- 300 kHz frekanslı ultrasesin kan beyin bariyerini değiştirebileceği Almanya'da yapılan klinik bir araştırmada gösterilmiştir⁶⁶.
- 2450 MHz, 0,5 – 2600 mW/cm²'lik (0.04 – 200 mW/gr) mikrodalgaların normalde kan beyin bariyerinin geçirgen olduğu bölgeler haricinde diğer bölgelerde etkili olmadığı, alan değerinin 3000 mW/cm²'ye (240 mW/gr)

çıkarılması durumunda beyin sıcaklığının 43 °C'ye kadar çıkmış olmasından kaynaklı olarak Evans Blue sızıntısının korteks, hipokampus, orta beyin gibi bölgelerde mevcut olduğu gözlenmiştir⁶⁷.

- 1200 MHz CW, 2,4 mW/cm² (1,0 W/kg) güç yoğunluğundaki RF alanların sıçanlara 30 dakika uygulanması sonucunda kan beyin bariyeri geçirgenliğinin arttırdığı gözlenmiştir. Pulsu alanlar (PW) ile yapılan çalışma ile CW alan çalışmasının karşılaştırılması sonucunda pulsu alanların daha etkili olduğu bulunmuştur⁶⁸.

- 900 MHz, 217 Hz tekrar frekanslı ve ortalama 0,3 – 7,5 W/kg'lık SAR değerlerine sahip alanların kan beyin bariyerine etkisi Wistar sıçanlarında immünohistokimyasal olarak incelenmiştir. SAR değerinin 7,5 W/kg olduğu durumda gözlenen etki diğer SAR değerleri gruplarından ve kontrol grubundan farklı bulunmuştur⁶⁹.

- 2450 MHz, 10 mW/cm² pulsu alanlar (10 µsn pulslar, 100 puls/saniye) 30 – 120 dakika uygulandığında Rhodamine – Ferritin (Rh-F) kompleksinin serebral korteks kapiller endotel hücrelerinden akışı artmıştır⁷⁰.

- 2800 MHz, 15 mW/cm² pulsu alanlar 5, 15, 30, 45 veya 60 dakika, 500 puls / saniye ve 2 µsn puls kalınlıklarında sıçanlara uygulandığında mikrodalga maruziyetinin süresi arttıkça kontrol grubuna göre yerel serebral kan akımını artırdığı gözlenmiştir⁷¹.

- 2450 MHz, CW, 10 mW/cm² alanlar Chinese Hamster'lere 2 saat uygulandığında HRP'ın beyin dokusuna geçişinin olduğu, bu geçişin 1 saat sonra azaldığı ve 2 saat sonra tamamıyla ortadan kalktığı bulgulanmıştır⁷².

- 2450 MHz, CW, 3 – 4 Watt'lık enerjinin Sprague Dawley sıçanlarına 30 ya da 60 dakika uygulanması ile yapılmış çalışmada, sıçanın kafatası açılmış ve üzerine anten yerleştirilerek uygulama yapılmıştır. HRP ile yapılan kesitsel incelemelerde kan beyin bariyeri açılımının tamamıyla termal etkiye bağlı olduğu açıklanmıştır. 60 dakika mikrodalgaya maruz bırakılan sıçanlarda beyin dokusu sıcaklığının 42,5 °C'ye, 30 dakika da ise 44,3 °C'ye çıktığı gözlenmiştir. Soğutma sistemli olarak yapılan irdelemede bu sistemin kullanıldığı hayvanlarda HRP sızıntısı çok daha az bulunmuştur⁷³.

- 1300 MHz, CW (19 farklı maruziyet koşullarında; 0.01 mW/cm²'den 4 mW/cm²'ye kadar) ve pulsu (2 mW/cm² ve 0,3 mW/cm²) alanların 20 dakika sıçanlara uygulanması sonucunda mannitol ve inulin'in kan beyin bariyerinden geçişi artarken, dekstran geçirgenliği değişmemiştir. Bunun dekstranın mannitol ve inulin'e göre daha fazla molekül ağırlığına sahip olmasından kaynaklı olduğu belirtilmiştir ($M_{mannitol} = 182$ kD, $M_{inulin} = 5.000$ kD, $M_{dekstran} = 60.000$ kD)⁷⁴.

- 2450 MHz, CW (0,1 – 30 mW/cm²) alan değerleri 8 gün boyunca günde 30 dakika olacak şekilde uygulanmış, hayvanlara sirkadyan ritim etkisini azaltmak için dönüşümlü uygulama yapılmış ve mikrodalga maruziyetinin kan beyin bariyerini değiştirdiği gösterilememiştir⁷⁵.

- 2450 MHz, 20 ve 65 mW/cm² CW alan şiddetlerine 30 – 90 – 180 dakika maruz kalan gruplarla, 90 dakika dış sıcaklığa maruz grup ve 10 M

üre grubu ile yapılan çalışmada 65 mW/cm^2 alan şiddetine 30 ve 90 dakika maruz gruplar ve dış sıcaklık grubu ve üre grubu kontrol grubundan farklı flöresan konsantrasyonuna sahip bulunmuşlardır. Özellikle kolon sıcaklığı $41 \text{ }^\circ\text{C}$ 'den yüksek olan sıçanlarda farklılıklar dikkat çekici bulunmuştur⁷⁶.

- 2450 MHz, CW 20 ve 65 mW/cm^2 alan değerlerine ya da dış sıcaklığa maruz bırakılan sıçanlarda HRP ile yapılan incelemede 65 mW/cm^2 'ye 30 ve 90 dakika maruz bırakılan sıçanların beyin kesitleri ile dış sıcaklığa maruz bırakılan sıçanların beyin kesitlerinde kontrol grubundan farklı HRP gözlenmiştir⁷⁷.

- 2450 MHz, 65 mW/cm^2 CW alanlara 30 ve 90 dakika maruz gruplar ile 30 ve 90 dakika $42 \pm 2^\circ\text{C}$ dış sıcaklığa maruz bırakılan denekler ve kontrol grubu incelenmiş, 30 dakika 2450 MHz maruziyet grubu ile kontrol grubu arasında sukroz geçirgenliğinde fark (düşüş) gözlenirken, fark 90 dakika grubunda gözlenmemiştir. Isı uygulanan grup – mikrodalga grubu ve kontrol grubu karşılaştırıldığında ortalama kan basıncı arasında gruplar arası farklılık gözlenmemiştir⁷⁸.

- 2450 MHz 20 mW/cm^2 ve 65 mW/cm^2 alan değerlerine 30 dakika, 90 dakika ya da 180 dakika maruziyet ve dış sıcaklık uygulanarak kortekste, hipotalamusta, serebellumda, medullada ve kolonda sıcaklıklar ölçülmüştür. Alan uygulaması ve dış sıcaklık kontrol grubundan farklı olarak yüksek sıcaklık değerlerine neden olmuştur⁷⁹.

- 23.2 dakika klinik MRI sistemine (0.15 T: 1500 G) maruz bırakılan Sprague-Dawley sıçanlarında kan beyin bariyeri geçirgenliğinin HRP'a karşı geçici olarak değiştiği saptanmıştır⁸⁰.

- 23.2 dakika x 2 defa uygulanmak suretiyle [^{153}Gd] DTPA ile Sprague-Dawley sıçanlarında yapılan MRI çalışmasında (0.15 T statik alan, 6.25 MHz RF alan, gradient alanlar; 10 - 200 Hz aralıklarında ve 0.9 mT z yönünde, 0.4 mT x ve y yönünde) maruziyetin ilk yarısında ilaç verilmiştir. MRI maruziyetinin kan beyin bariyeri geçirgenliğine etkisi bulgulanmıştır⁸¹.

- Bordeaux Üniversitesi Ulusal Bilim Araştırma Merkezi (University of Bordeaux, National Center for Scientific Research) direktörü Dr. Pierre Aubineau tarafından GSM sinyalleri ve sıçanlarla yapılan çalışmada RF maruziyeti altında sıçanların duramater yapılarının değiştiği, bunun cep telefonu kullanan bireylerin baş ağrısı şikâyetleri ile ilişkili olabileceğini açıklamıştır⁸².

- ICNIRP standardı olan 2 W/kg 'dan 1000 kat daha düşük (0.002 W/kg) alan değerlerinin 2 saat uygulanarak yapıldığı bir çalışmada bu değerde sinir hasarı gözlenirken, alan değeri 0.02 W/kg olduğunda hasar çok daha farklı gözlenmiştir⁸³.

- 900 MHz, 4 W/kg alanların 1. – 19. gebelik günleri arasında günde 60 dakika olarak uzak alanda uygulandığı dişi sıçanlarda fetal beyin dokuları immünohistokimyasal olarak incelenmiş, albümin miktarının kontrol fetal beynine göre farklı olmadığı gözlenmiştir⁸⁴.

- 2450 MHz, 165 W/kg ve daha yüksek SAR değerlerinde alanların uygulanarak Wistar sıçanlarında beyin ısı artışının sağlandığı çalışmada, beyin tümörlerinde tedavi amaçlı kullanılabilecek fakat yağda

çözünememesi nedeni ile bariyerden geçemeyen ve kullanılmayan Methotrexate (MTX) ısı değişiminin olduğu maruz hayvanlarda istatistiksel farklı (20 kat farklı) bulunmuştur. Etki maruziyetten 45 dakika sonra ortadan kalkmıştır⁸⁵.

- GSM radyasyona 2 yıl gibi uzun süreli maruziyet durumunda kan beyin bariyeri geçirgenliğinin albümin ile ışık mikroskopunda incelendiği bir çalışmada; geçirgenliğin 60 dakika gibi kısa süreli uygulamada söz konusu olmadığını fakat 2 yılda minimalde olsa kan beyin bariyeri geçirgenliğinde değişimlerin olduğu gözlenmiştir⁸⁶.
- 900 MHz, 2 – 1- 0,5 – 0,12 W/kg'a 2 saat, 2 W/kg'a ayrıca 40 dakika ve 20 dakika maruz bırakılan sıçanlar kontrol grubu ile karşılaştırılmalı incelenmiştir. Isı artışına neden olmayacak düzeyde düşük SAR değerli RF dalganın beyin dokusuna protein sızıntısına neden olabildiği bulgulanmıştır⁸⁷.
- 1800 MHz, 217 Hz tekrar sıklığına sahip 0.577 msn kalınlıklı pulslu alanlara maruz bırakılan in-vitro hücre modelinde ¹⁴C sucrose'un modelden geçişi kontrol hücre kültürlerine göre farklı bulunmuştur⁸⁸.
- 1800 MHz, 0,3 W/kg SAR'ın 1–5 gün hücre kültürlerine uygulanması ile yapılan çalışmada in-vitroda sucrose geçişi gözlenmemiştir⁸⁹.
- Başka bir çalışmada SAR'ın 165 W/kg ve üzerinde olduğu durumlarda beyin sıcaklığı 42 °C olmuş ve bu da kan beyin bariyerini açabilmiştir. Maruziyetten 30 – 45 dakika sonra bu etki yok olabilmektedir. Bu çalışmaya göre, etanolun intravenöz olarak mikrodalga maruziyetinden önce verilmesi beyin dokusunda soğumaya neden olur ve bu da kan beyin bariyerindeki değişimleri azaltır ya da yok eder⁹⁰.
- 900 MHz, 2 mW/kg, 20 mW/kg ve 200 mW/kg tüm vücut SAR değerlerine maruz bırakılan sıçanlarda 2 saatlik maruziyet uygulanmıştır. Maruz grupta kontrol grubuna göre nöral hasarlar yüksek bulunmuştur. Maruziyetten 50 gün sonra öldürülen hayvanlarda bile beyin kesitlerinde farklı miktarda albümin sızıntısı gözlenmiştir. EM Alan dozu ile dark nöronlar – ölü nöronlar arasında pozitif korrelasyon gözlenmiştir (SAR değeri 2 mW/kg'dan 200 W/kg'a doğru arttıkça dark nöron sayısı da artmıştır)⁹¹.
- 915 MHz, 4 farklı puls şeklinde (8 Hz – 0,57 msn kalınlığında, 16 Hz-0,57 msn, 50 Hz – 4 msn, 200 Hz – 0,57 msn) ve CW olarak Fischer 344 sıçanlarına uygulanan maruziyet sonrasında 915 MHz mikrodalgaya maruz bırakılan hayvanlarda albümin sızıntısı daha yüksek bulunmuştur. İmmünohistokimyasal olarak yapılan incelemelerde fibrinojene de bakılmış ve beyin kesitlerinde herhangi bir fibrinojene rastlanmamıştır. Albümin – Fibrinojen sızıntı farklılığının moleküllerin farklı molekül ağırlıklarından kaynaklı olduğu söylenmiştir (Albumin; 69.000 kD, Fibrinojen; 400.000 kD). CW ve pulslu alanların karşılaştırılması sonrasında bu iki grup arasında farklılık gözlenmemiştir⁹².
- 50 Hz, 5 mT (50 G) manyetik alanların diyabet ve diyabet olmayan Wistar sıçanlarına uygulanması sonrasında, sadece diyabetik olan

sıçanlarda ya da manyetik alana maruz kalan sıçanlarda kan beyin bariyeri geçirgenliğinde kontrol grubuna göre herhangi bir değişim gözlenmezken, manyetik alana maruz bırakılmış diyabetik sıçanlarda kan beyin bariyeri Evans Blue boya sızıntısı kontrol grubundan farklı bulunmuştur⁹³.

- 915 MHz, 4 – 8,33 – 16 – 50 – 217 Hz modülasyon frekansına sahip pulslu ve CW alanların dişi ve erkek Fischer 344 sıçanlarına uygulaması yapılmıştır. Hayvanlar 2 – 3 hafta boyunca haftada 5 gün, günde 7 saat olmak üzere tümör oluşum ajanı verildikten 5 gün sonra maruziyete alınmışlardır. Maruz gruplarla maruz bırakılmamış gruplar arasında tümör gelişimi açısından fark gözlenmemiştir⁹⁴.
- 915 MHz, 8 - 16 – 50 – 200 Hz pulslu ve CW radyo dalgalarına, statik manyetik alanlara, düşük frekanslı pulslu manyetik alanlara ve MRI ünitesi alanlarına maruz bırakılan dişi ve erkek Sprague Dawley sıçanlarında tüm alan uygulamaları gruplarında kontrol grubuna göre kan beyin bariyerinde Evans Blue sızıntısının daha yüksek olduğu gözlenmiştir⁹⁵.
- İnsan endotel hücre dizisine, EA.hy926 hücrelerine, 1 saat boyunca 900 MHz, 2 W/kg alan uygulaması yapılmıştır. Non-termal etkiyi gözlemleyebilmek için sıcaklık kontrolü yapılmıştır. Stres proteini olarak tanımlanan hsp27 immünohistokimyasal olarak incelenmiştir. 1 saatlik maruziyet hsp27 stres proteininin artmasına neden olmuştur. Bu proteinin kan beyin bariyeri geçirgenliğinin düzenlenmesinde etkin olduğu, beyin kesitlerinde ise önemli olduğu açıklanmıştır⁹⁶.
- 915 MHz, 0,125 – 1,25 – 12,5 veya 125 mW (0,2 – 2 – 20 – 200 mW/kg) GSM enerjilerinin sıçan beyinde kan beyin bariyerine ve nöronlara etkisini inceleyen bir çalışmada kan beyin bariyerinin alan şiddetlerine bağlı olarak yıkımının arttığı, dark nöronların ise kan beyin bariyeri yıkımına paralel şekilde olduğu açıklanmıştır⁹⁷.
- 915 MHz, 20 – 2 – 0,2 – 0,02 – 0,002 W/kg alanlara 30 dakika maruz bırakılan Fischer sıçanlarında kan beyin bariyeri geçirgenliği kontrol gruplarına göre farklı bulunmamıştır⁹⁸.
- 300 MHz CW, 22,2 – 51,5 – 65,4 – 83,2 V/m alan şiddetlerinin uygulandığı başka bir çalışmada 41 yetişkin dişi Wistar Albino sıçanlarında rektal sıcaklığın alan değeri ile ilişkili olduğu gözlenmiştir. Alan uygulaması 15 dakika / 4 defa gün / bir ay yapılarak kan beyin bariyeri çalışılmış ve etki gözlenmemiştir⁹⁹.

2.5.3.2 EEG'ye Etkiler

EEG'ye etki çalışmalarının büyük bir bölümü gönüllü deneklerde uyku laboratuvarlarında yapılmıştır. EEG çalışmaları direk insanlarla yapılmış çalışmalar olmaları açısından oldukça önem taşımaktadır.

- On gönüllü yetişkin ve 10 çocuk ile yapılan EEG çalışmasında 900 MHz'in EEG'ye – özellikle delta dalga aktivasyonuna etkili olduğu tanımlanmıştır¹⁰⁰.
- 900 MHz ve 1800 MHz cep telefonu ile konuşan insanların beyin fonksiyonlarında değişim olup olmadığının araştırıldığı bir çalışmada, maruziyet dijital ve analog 5 ayrı telefon ile sağlanmış, maruziyet süresi 20 dakika olarak belirlenmiştir. 19 gönüllünün EEG aktiviteleri uyanık ve gözler kapalı şekilde iken ölçülmüş ve her iki frekanstaki cep telefonu maruziyetinin EEG aktivitesinde değişime yol açmadığı gözlenmiştir¹⁰¹.
- Bir başka çalışmada cep telefonu bireylerin baş bölgelerinin arka tarafına yerleştirilmiş, konuşma modunda ve aktif stand-by modunda iken alfa (8–13 Hz) ve beta (13–32 Hz) dalgalarında değişimin olduğunu tespit edilmiştir¹⁰².
- 900 MHz, cep telefonu ve baz istasyonu sistemlerine benzer teknik kurulumlara sahip iki ayrı sistemle 16 sağlıklı sağ elini kullanan erkek gönüllüye 30 dakika uygulama yapılmış, cep telefonu sistemlerine benzer sistemde serebral kan akımı daha yüksek bulunmuş ve uyanıklık ve uyku durumu EEG'de değişimler gözlenmiştir¹⁰³.
- İki bağımsız laboratuvar tarafından yapılan bir araştırmada toplam 32 gönüllü ile 902 MHz cep telefonu modeli uygulanarak bilişsel fonksiyonlar incelenmiştir. Finlandiya ve İsveç'te yapılan bu gönüllü çalışmasında 902 MHz, ortalama 0.25 W gücünde 217 Hz pulslu ve 577 µsn puls kalınlığında alanlar oluşturan cep telefonlarına maruz bırakılan insanlar Basit Reaksiyon Süresi Testi - Simple Reaction Time Task kullanılarak bilişsel fonksiyonları açısından incelenmiş ve bir fark bulunmamıştır¹⁰⁴.
- Başka bir grubun yaptığı bilişsel fonksiyon çalışmasında 55 gönüllü bilgi işleme, dikkat, yürütme fonksiyonları açısından incelenmiş ve herhangi bir farklılık gözlenmemiştir¹⁰⁵.
- 34 sağlıklı gönüllü erkekle yapılan cep telefonu – EEG ilişkisinin incelendiği bir çalışmada cep telefonu sinyallerinin uyanma EEG'sinde herhangi bir değişime neden olmadığı gösterilmiştir¹⁰⁶.
- 16 sağlıklı gönüllü erkek ile yapılan başka bir EEG çalışmasında ise cep telefonu frekanslarının SP (Slow Brain Potential – Yavaş Beyin Potansiyeli) değişimine neden olduğu fakat bu etkinin ne gibi fizyolojik değişimleri beraberinde getireceğinin belli olmadığı açıklanmıştır¹⁰⁷.
- Radyo Frekans Radyasyonun EEG'ye, bilişsel fonksiyonlara, hafızaya etkilerinin incelendiği birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda etki bulan ve bulmayan raporlar mevcuttur¹⁰⁸.
- Beyin fonksiyonlarına ve merkezi sinir sistemine etkilerin özetlendiği çalışmalar da mevcuttur. Bu çalışmalardan birinde in-vitro nöral tepkiler, spontan ve uyarılmış potansiyellere etkiler, uykuya ve bilişsel fonksiyonlara etkiler, in-vivo serebral metabolizmaya ve kalsiyum homeostazına etkiler, gen tepkilerine ve DNA hasarına dair etkiler, nörohormon salgılamaya etkiler, kan beyin bariyerine etkiler, nörolojik hastalıklarla ilişki, indirek sağlık etkileri gibi başlıklar tartışılmıştır¹⁰⁹.

- Puls modülasyonlu elektromanyetik alanların bölgesel kan akımı dağılımını etkilediğini belirten başka bir çalışmada EEG değişimi için puls modülasyonunun gerekli olduğu açıklanmıştır. Çalışma 16 sağlıklı genç erkekle yapılmıştır. Çalışma 900 MHz cep telefonları, CW sinyali ve baz istasyonu sinyali ile gerçekleştirilmiştir¹¹⁰.
- Pulsu yüksek frekans elektromanyetik alanların beyin kan akımına, serebral kan hacmine ve nöral aktivitelere etkilerini incelemek üzere başlatılmış bir çalışma mevcuttur¹¹¹.
- 895 MHz, 217 Hz modülasyonlu, 0,25 Watt gücünde elektromanyetik alanların uyku laboratuvarında 50 gönüllüye uyku öncesi 30 dakika uygulanması sonrasında REM uyku latansında önemli ölçüde düşüş bulunmuştur¹¹².
- 902 MHz cep telefonu frekansı 14 sağ elini kullanan gönüllüye uygulanmış ve PET & [¹⁵O] ile serebral kan akımları gözlenmiştir. Tarama sırasında kişiler Görsel Uyarı ile Çalışan Hafıza Testi - Visual Working Memory Task ile meşgul edilmişlerdir. Auditory - işitsel kortekste daha düşük kanlanma gözlenmiştir¹¹³.

2.5.4 Karsinojenik Etkiler

Kablosuz iletişim teknolojilerinden dolayı hızla artan elektromanyetik alanlara maruziyetin, merkezi sinir sistemi tümörleri üzerine potansiyel etkileri, RF alanların sağlık etkilerine dair önemli çalışma alanlarından biridir.

- Avrupa Birliği 5. Çerçeve Programı tarafından desteklenmiş ve Uluslararası Kanseri Araştırma Ajansı (International Agency for Research on Cancer – IARC) koordinatörlüğünde 13 ülke ile koordinasyonlu olarak yürütülen INTERPHONE (Uluslararası cep telefonu kullanımı – kanser riski ilişkisi ile ilgili vaka kontrol çalışmaları - International case-control studies of cancer risk in relation to mobile phone use) çalışmalarından birinde, Danimarka, Finlandiya, Norveç, İsveç ve İngiltere verilerinin analiz edilmesi sonucunda 10 yıl ve daha az süredir cep telefonu kullanan bireylerde glioma riski ile cep telefonu kullanımı arasında herhangi bir ilişki gözlenmezken, 10 yıl ve daha fazla süredir cep telefonu kullanan bireylerde glioma riski kontrol grubuna göre anlamlı ölçüde yüksek bulunmuştur. Glioma cep telefonu kullanılan kulak civarında gözlenmiştir^{21,114}.
- 1990 yılında yapılan bir çalışmada insan glioma hücre proliferasyonunda, 5 W/kg'a 2 saat maruziyet sonucunda değişimler olduğu rapor edilmiştir¹¹⁵.
- Sıçanlarda, 2 saatlik 2450 MHz mikrodalga radyasyona tüm vücut maruziyeti sonrasında beyin hücrelerinde DNA hasarı olduğu Lai ve Singh tarafından 1995 yılında yapılan çalışma sonrasında bulunmuştur¹¹⁶. 4 saatlik maruziyet sonrasında ise tekli ve çiftli ipçiklerde kırıklar gözlenmiştir. Çalışmada kullanılan Sürekli Alanlar- CW(Continuous Wave)

ve 2 μ s genişliğinde ve 500 p/s puls aralığında Pulsu Alanlar arasında etki açısından fark olmadığı gözlenmiştir. Ortalama güç yoğunluğu ve SAR'ın sırasıyla 2 mW/cm² ve 1–2 W/kg olduğu belirtilmiştir. Beyinde oluşan yerel SAR değeri 1–4 W/kg olarak hesaplanmıştır. DNA sarmal kırıklarında artışa rastlanmamıştır. Sürekli ve pulsu radyasyonun yarattığı etkiler arasında fark gözlenmemesi, uzun sayılabilecek bir sürede, düşük bir SAR değeri olmasına rağmen ısı etkisi gibi ortalama bir etkinin varlığını işaret etmektedir. DNA'daki hasarlar, özellikle sarmal kırıkları kanser oluşumunda önemli rol oynadığı için, bu araştırmalar düşük seviyeli RF ve mikrodalga radyasyonun karsinogenik potansiyel etkileri açısından önemli bulgular teşkil etmektedir.

- Yaşamları boyunca pulsu mikrodalga radyasyona maruziyetlerin hayvanların yaşam süresinin uzunluğuna ve genel sağlık durumlarına etkisini araştırmak amacıyla yapılan bir çalışmada; Sprague-Dawley sıçanlar, 8 haftalıktan itibaren, 25 hafta süresince 10 mikro saniye kare pulsların 8 Hz de modüle edildiği ve 800 pps puls kalınlıklı, ortalama SAR değeri 0,15 ile 0,4 W/kg arasında değişen pulsu mikrodalga radyasyona maruz bırakılmıştır. Birincil kötü huylu tümörlerden ölümden, maruz bırakılan 18 sıçanda, 5 kontrol sıçanına göre istatistiksel önemli artış gözlenmiştir. Fakat yaşam sürelerinde önemli bir fark gözlenmemiştir¹¹⁷.
- 1800 MHz frekansın karsinogenik etkisinin incelendiği bir çalışmada insan ve sıçan hücre kültürlerine; 1,2 ve 2 W/kg SAR değerindeki cep telefonu radyasyonu 5 dakika açık, 10 dakika kapalı aralıklı olarak ve sürekli olarak 4, 16 ve 24 saat süresince uygulanmış, 16 saat sonraki tüm maruziyetlerde tekli ve çiftli DNA sarmallarındaki kırıklarda artış saptanmıştır¹¹⁸.
- 2.45 GHz, CW, 36 W/kg alan 4–7–10 ve 14 gün / günde 120 dakika maymunlara uygulandığında akciğer kanser kolonileri artmış ve oxazolone'a hassasiyet azalmıştır¹¹⁹.

2.5.5 Davranış Etkileri

RF ve mikrodalga alanların sıçanlarda, rhesus ve squirrel maymunlarında davranışa etkili olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmaların neredeyse tümünde öğrenilen davranışın maruziyetle birlikte baskılandığı ortaya çıkmıştır. Davranış değişimi, üzerinde etkili olan güç yoğunluğu ve doz eşik değeri de belirlenebilmiştir. Uygulama süresine ve diğer parametrelere bağlı olarak etkinin açığa çıktığı eşik güç yoğunluğu değerleri 5 – 50 mW/cm² arasında değişmektedir³³.

- 1200 MHz, pulsu alanlara maruz bırakılan sıçanlar bu alanlardan kaçarken, CW alanlara maruz bırakılanlar aynı tepkiyi vermemişlerdir¹²⁰. Çalışmacılar kaçma davranışının mikrodalga'nın işitme sistemine etkisinden (microwave hearing effect) kaynaklı olabileceğini belirtmişlerdir. Bilim dünyasında mikrodalga alanların non-termal etkisinden dolayı işitme sisteminde elektriksel potansiyel değişimler gözlemlendiği, işitme sistemindeki

liflerin termo elastik genişlemesinden dolayı kulakta pulslu, çınlama benzeri seslerin oluştuğu tartışılmaktadır. Çalışmada hayvanların kaçışının bu nedenden ötürü olabileceği açıklanmıştır⁶⁸.

- Başka bir çalışmada aynı güç yoğunluğu ve frekans kullanarak pulslu ve CW alan maruziyetine bırakılan sıçanlar yine pulslu alandan kaçarken, CW alana aynı tepkiyi vermemişlerdir¹²¹.
- 2450 MHz, CW, 2,7 W/kg alanlar 1 günde 420 dakika uygulandığında sıçanlarda lokomotor aktivite ve akustik uyarana tepki azalmıştır¹²².
- 3000 MHz, pulslu, 0,7 W/kg radyasyon 26 dakika sıçanlara uygulandığında koşu bandında sıçanların daha kısa süre kalabildiği gözlenmiştir¹²³.

2.5.6. Kardiyovasküler Etkiler

RF alanların gerek in-vitro koşullarda gerekse in-vivo koşullarda kardiyovasküler etkilerinin olabileceği birçok çalışma mevcuttur. RF alanların kalp pilleri ile de etkileşime girebildiği halen tartışılan önemli araştırma alanlarından biridir. Burada bu çalışmalardan küçük bir bölümüne değinilmiştir.

- Cep telefonlarının kalp pili kullanıcıları üzerinde yarattığı etkileri araştırmak için yapılan bir çalışmada farklı markalarda kalp pilleri ve cep telefonları incelenmiştir. Yapılan istatistiksel inceleme sonucunda cep telefonlarının kalp pilleri ile etkileşime girdiği saptanmıştır¹²⁴.
- İzole kalp kas hücrelerinin kalsiyum homeostazisi incelemek amacıyla hücreler 900, 1300 ve 1800 MHz farklı modülasyonlu pulslu radyasyonlara maruz bırakılmışlardır. Ortalama SAR değeri 1 mW/kg olarak saptanmış ve uygulama süresi 500 saniye olarak belirlenmiştir. 900 MHz frekanslı ve 50 Hz puls modülasyonlu RF radyasyona maruz kalan kültürlerde oldukça küçük fark gözlenmiş, diğer yüksek frekans maruziyetlerinde istatistiksel anlamlı farklılık gözlenmemiştir¹²⁵.
- 32 sağlıklı gönüllü ile 900 MHz - 2 Watt ve 1800 MHz - 1 Watt'lık cep telefonları kullanılarak yapılan bir çalışmada kan basıncı ve kalp atım hızı maruz – maruz olmama durumunda değişiklik göstermemiştir¹²⁶.
- 2450 MHz, CW, 800 W/m² ve 50 W/m² alanların 10 gün / günde 20 dakika uygulanması sonucunda 50 W/m²'de herhangi bir değişme gözlenmezken, 800 W/m²'de kalp atım sayısı artmıştır¹²⁷.
- 1250 MHz, CW ve pulslu alanların değişik güç yoğunluklarında baş ve boyuna uygulanması sonucunda kalp hızında yavaşlama görülmüştür¹²⁸.

2.5.7. Hematolojik ve İmmünolojik Etkiler

RF alanların kan biyokimyasına ve immünolojik sisteme etkileri olduğuna dair önemli bulgular mevcuttur.

- Mikrodalgaların anti kanser ilacı olan siklofosfamid (CPA)'nın NK (Natural Killer) hücrelerindeki aktivitelerini modüle edip/etmediklerini araştırmak amaçlı yapılan bir çalışmada 42,2 ± 0,2 GHz radyasyon üreten, Rus yapımı YAV-1 jeneratörü ile RF alan oluşturulmuştur. CPA 100 mg/kg olarak, her 3 günlük maruziyetin 2. gününde interperitoner olarak farelere uygulanmıştır. NK hücre aktivasyonu ve sitotoksitesi, CPA enjeksiyonundan sonraki 2,5 ve 7. günlerde ölçülmüştür. Sonuçta, 42,2 GHz mikrodalga radyasyonun etkisi saptanmıştır¹²⁹.
- 425 MHz, CW, 3-7 W/kg alan 47gün / günde 240 dakika uygulandığında sıçanlarda lenfositler artarken, PMN lökosit azalmıştır¹³⁰.
- 2450 MHz, pulslu ve CW, 12,3 W/kg radyasyona 5 gün / günde 720 dakika maruz bırakılan insanlarda blast transformasyonu gözlenmiş, değişim CW alanlara göre pulslu alanlarda daha şiddetli bulunmuştur¹³¹.
- 27 MHz ve 2450 MHz, CW radyasyon insanlara 120 dak ve 50-196 W/kg aralığında SAR değeri ile uygulandığında lenfositlerde ³H-timidin alımı artmıştır¹¹⁵.
- 2450 MHz, CW, 11,8-5 W/kg alanlar 15-30 dakika maymunlara uygulandığında dalak hücrelerinde immün komplementlerin artışına neden olmuştur (hücrelerin uyarıldığı gösterilmiştir)¹³².
- 2600 MHz, CW, 3,8 veya 19 W/kg alanlar 60 dakika maymunlara uygulandığında akciğerden dalağa lenfosit akışı azalmıştır¹³³.

2.5.8. Hastane Cihazları ile Etkileşim

Kablosuz iletişim sistemlerinin (cep telefonları, çağrı sistemleri, telsiz telefonlar...) hastanelerde kullanılan birçok sistemle girişim yaparak bu sistemlerde fonksiyonların bozulduğuna dair çalışmalar mevcuttur.

- Siemens C25 ve Motorola CD930 markalı iki cep telefonu ile yapılan ve 7 elektronik personel dozimetre, 4 taşınabilir doz monitörü ve 2 kontaminasyon monitörünün incelendiği çalışmada, cep telefonlarının bu sistemlere etkileri değişik uzaklıklarda (bitişik, 60 cm, 1 m ve 2 m) ve değişik modlarda (arama, bekleme, konuşma gibi) incelenmiştir. Personel dozimetrelerin üçünde anormallikler gözlenirken, iki portable doz monitörü ve bir kontaminasyon monitöründe anormallikler saptanmıştır. Bir metre mesafede etkiler azalırken 3 metre kesinlikle girişimin gözlenmediği mesafe olmuştur. Arama modu en yüksek elektrik alan değerlerine neden olmuştur. Sonuçta cep telefonlarının iyonizan radyasyon doz görüntüleme cihazlarında etkileri olabilmektedir. 500-1000 MHz aralığındaki radyo dalgalarının dozimetreleri etkileyebildiği açıklanmıştır¹³⁴.

- 2005'de Wallin ve arkadaşları tarafından yapılan ve GPRS (General Packet Radio Service), UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) ve WLAN (Wireless Local Area Network) iletişim teknolojilerinin 76 tıbbi cihazlarla etkileşiminin incelendiği çalışmada GPRS sistemlerinin diğer iki sisteme göre daha fazla etkili olduğunu, tıbbi cihaz ve sistemlerden minimum 1 m mesafede tutulması gerektiği açıklanmıştır¹³⁵.

Aynı çalışmada GPRS sistemleri;

- 50 cm mesafede infüzyon pompasında alarm ve işlemin durdurulmasına neden olmuştur.
 - Monitöre 30 cm mesafede girişime neden olmuştur.
 - Değişik marka cihazlarda 10 ve 15 cm mesafelerde EKG eğrilerini değiştirmiştir.
 - Değişik marka monitörlerde 5 cm mesafede ekranlarla girişim yapmıştır.
- Soto ve arkadaşları tarafından yapılan 2006 çalışması ise 2003 Amerikan Anestezi Derneği - American Society of Anesthesiologists toplantısında 5 soru içeren 7878 anket formu ile gerçekleştirilmiştir. Katılımcıların % 65'i çağrı cihazlarını primer iletişim cihazı olarak gördüklerini belirtmiş, % 17'si ise cep telefonlarını primer iletişim cihazı olarak tanımlamıştır. Çağrı cihazı kullanıcıları iletişimde gecikme ve aksaklıkların olduğunu belirtmişlerdir. Cep telefonlarının küçük girişim risklerinin iletişimi geliştirmesi dolayısı ile yararlarında dikkate alınarak değerlendirilmesi gerekliliğini belirtmişlerdir¹³⁶.
 - Sharratt ve Coleman tarafından İngiltere'de 178 doktor ile yapılan anket çalışmasında doktorların % 98'i cep telefonu kullanıcısı olarak tanımlanmıştır. % 66'sı cep telefonlarını hastane ortamlarında kullanmayı onaylamaktadır. % 64'ü yüksek risk taşıyan ameliyathaneler ve hassas cihazların olduğu bölgelerde cep telefonu kullanımının kısıtlanması gerekliliğini belirtmişlerdir¹³⁷.
 - Ang ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada iki hastanenin 23 adet ophthalmic cihazları değerlendirilmiştir. 6 değişik cep telefonunun 3 m, 1 m, 30 cm ve daha yakın mesafelerde incelendiği çalışmada cihazların 22'sinde herhangi bir girişim gözlenmezken, CE (Conformité Européene) belgesi taşımayan bir adet cihazda 30 cm ve daha kısa mesafelerde girişim gözlenmiştir. Cep telefonlarının bu ortamlarda kontrollü kullanımının gerekliliği vurgulanmıştır¹³⁸.
 - Calcagnini ve arkadaşları 2004 çalışmalarında cep telefonlarının infüzyon ve şırınga pompalarına etkileyebildiğini, uğultu ya da fonksiyonlarda kesilmeye neden olabildiğini açıklamışlardır. Değişik mesafelerde ve enerjilerde yaptıkları çalışmalarda infüzyon pompalarında 4/7 girişim, şırınga pompalarında ise 1/4 girişim oranı saptanmıştır. Bu girişimler maksimum güç değerlerinde 30 cm mesafede gözlenmiştir¹³⁹.
 - Stroud ve arkadaşlarının 2006 çalışmasında ise 2 telsiz ve 3 cep telefonu ile 29 hastane cihazının etkileşimi incelenmiştir. Telsiz

cihazlarının cep telefonlarından daha çok girişime neden olduğu saptanmış ve acil servis dışında hastanelerin diğer bölümlerinde kullanılmaması gerekliliği vurgulanmıştır¹⁴⁰.

- Drager Oxylog 2000, BREAS LTV-1000, Respironics BiPAP VISION, Puritan Bennett 7200 ve Puritan Bennett 840 marka 5 ventilator, Simoco 8020 radio handset, Nokia 7210 ve Nokia 6230 cep telefonu ve Nokia 6230 Bluetooth ile etkileşim halinde test edilmiştir. Klinikte yüksek güçte çalışan elektromanyetik alan kaynaklarının ventilatörlerle girişime neden olabileceği açıklanmıştır. Orta güç seviyesindeki cep telefonu gibi sistemler küçük alarm tetiklerine neden olurken bluetooth gibi düşük güçte cihazların girişime neden olmayacağı düşünülmektedir¹⁴¹.
- Medikal cihazlarda yanlış fonksiyonların olmaması için elektromanyetik alan kaynaklarından minimum 1 m ötede olması gerekmektedir¹⁴².
- Telsiz teknolojinin artması ile beraber bu sistemlerden kaynaklı riskler konusuna ilgi artmıştır. Gerekli yerlerde girişime neden olmamaları için yasaklar koymak, zorunlu bölgelerde kullanımına limitli izin vermek ve bu konularda hastane çalışanlarını, ziyaretçileri ve hastaları bilgilendirmek ve uyararak konusunda politikalar yapılmaktadır¹⁴³.

2.6. Beyin

İnsanlarda sinir sistemi merkezi ve periferik sinir sistemi olmak üzere iki ayrı başlıkta incelenir. Sinir sisteminin kafatası içinde kalan beyin ile omurga kanalı içinde kalan omurilik bölümü beraberce merkezi sinir sistemi olarak adlandırılır¹⁴⁵. Beyin merkezi sinir sisteminin kafatası içinde kalan bölümüdür, yaklaşık ağırlığı 1400 gramdır. Beyin serebrum (beyin yarım küreleri), diensefalon (arabeyin), truncus cerebri (beyin sapı) ve serebellum (beyincik) olmak üzere 4 bölüm olarak incelenir.

Serebrum beyin kitesinin en büyük, en gelişmiş ve en karmaşık bölümüdür. Serebrum, hafıza, konuşma, bilinçlilik, motor aktiviteler ile duyu algılanımı – yorumu gibi tüm zihinsel fonksiyonların yöneticisidir. Bu fonksiyonların hepsi olmasada birçoğu için serebrumda çok özel bölgeler mevcuttur. Serebral korteks yüzeye yakın 1,3 – 4,5 mm kalınlığındaki gri doku kitesidir, analiz ve sentezin en yüksek merkezi olarak tanımlanır, birçok motor, duyu ve psişik merkezleri içerir.

Diensefalon (Diencephalon = Arabeyin) beyin sapı ile serebral hemisferler arasında yer alan beyin bölümüdür. Talamus, hipotalamus, subtalamus ve epitalamus olmak üzere 4 ayrı bölümden oluşur.

Talamus, duysal sistemler, bazal gangliyonlar, beyincik, beyin sapı, omurilik ve serebral kortekse bağlanmış merkezi bir beyin bölümüdür. Serebral kortekse geçen bütün yollar talamustan geçer.

Hipotalamus, bir taraftan psikolojik dünyamız ile somatik dünyamız arasında bağlantıyı sağlarken, diğer taraftan sinir ve endokrin sistemler arasındaki bağlantıyı kurar. Hipotalamusta ayrıca açlık, susuzluk, vücut ısısı ve dolaşım kontrolünde rol oynayan merkezler vardır¹⁴⁵. Subtalamus, talamus ve hipotalamus arasında kalan beyin bölümüdür.

Epitalamus, diensefalon'un arka üst bölümünde yer alan küçük bir alt bölümdür, pineal cisim, commissura epithalamica ve habenula'dan meydana gelmiştir. Pineal cisim melatonin salgılayan bir endokrin bez olma yanında, üreme davranışları ile fizyolojik ve davranışsal ritimlerin düzenlenmesinde rol oynar. Melatonin salgılanımı ışık-karanlık ritmine göre ayarlanır¹⁴⁴.

Temel beyinin ortabeyin (mesencephalon), köprü (pons) ve omurilik soğanı bölümleri beyin sapı olarak adlandırılır.

Beyincik - serebellum ise temel beyin ikinci büyük bölümü olup, temel beyin ağırlığının % 10'unu oluşturur. Bütün istemli ve istem dışı (otomatik) kas hareketlerinin koordine edilmesinden sorumludur. Motorik düzenleme ve denge merkezidir. Vücudun duruşu ile iskelet kaslarının kasılma derecesini düzenler. Duyu organlarından gelen tüm impulslar ve büyük beyinden gelen tüm emirler, beyincikte toplanır. Emirleri ve impulsları koordine eden beyincik, sonucu kaslara iletir.

Beyin yapısının ve fonksiyonlarının cinsiyete bağlı değişiklikler gösterdiği son yıllarda çok sayıda araştırmaya konu olmuştur. Beyin dokusundaki bu farklılıklar kadın-erkek davranışlarında önemli farklılıkları meydana getirmektedir. Kadın erkek arasında beyin ağırlığı yönünden farklılık olduğu ve erkek beyininin kadınların beyninden ortalama % 9 daha fazla hacme sahip olduğu bilinmektedir. Beyin yaşlanması konusunda yapılan çalışmalar, yaşlanmanın kadınlarda sağ ve sol hemisferde simetrik geliştiğini gösterirken, erkeklerde yaşlanma asimetric bulunmuştur ve en fazla atrofi olan bölge yaşlı erkeklerin sol hemisferi olarak tanımlanmıştır¹⁴⁶. Kadının yaşlılıkta mental fonksiyonları erkeklerden daha az etkilenmekte ve yaşlanmanın erkeklerde sol hemisferik fonksiyonları daha fazla bozabileceği gerçeği ortaya çıkmaktadır. Sonuçta erkek beyni kadın beyninden daha hızlı yaşlanmaktadır¹⁴⁷.

Beyin, organizmada metabolik aktif organlardan biridir. Ağırlığı vücut ağırlığının % 2'si olmasına rağmen, dakikada beyne ortalama 800 ml kan gider ve 77 mg glikoz bir dakikada kandan beyne geçer ve ATP'ye çevrilerek kullanılır. Beynin glikojen deposu yok denecek kadar azdır. Bu nedenle beyin hipoglisemiden en fazla etkilenen organların başındadır. Erkek ve kadın beyinde metabolizma yönünden de

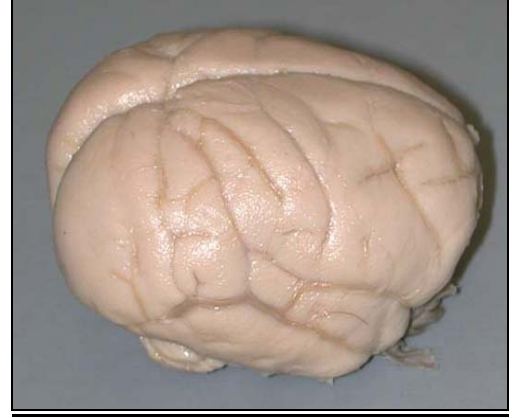
önemli farklılıklar vardır. Yapılan araştırmalarda kadın beyin kan akımının, erkeklerden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Mathew ve ark.¹⁴⁸ 140 sağlıklı erkek ve kadın beyinde sağ hemisfer, sol hemisfer beyin kan akımlarını ölçmüşler ve her iki hemisferde de kadınların beyin kan akımının erkeklerin beyin kan akımından önemli ölçüde yüksek olduğunu bulmuşlardır. Beyin glikoz kullanımı da kadın beyinde erkek beyinden yüksektir. Baxter ve arkadaşlarının¹⁴⁹ 7 erkek, 7 kadın üzerinde beyin glikoz kullanımı ölçtükleri araştırmada; kadının tüm beyin glikoz kullanım hızının, erkekte % 19 daha fazla olduğu gösterilmiştir. Dişi ve erkekte kan beyin bariyeri geçirgenliğinin farklı olduğu sıçanlarda yapılan araştırmalarla ortaya konulmuştur^{150,193}.

Psikiyatrik bozukluklarla yakın ilişkisi olan serotoninin kadın ve erkek beyinde farklı dağılımı olduğu gösterilmiştir¹⁵¹. Aynı yaş grubunda kadın ve erkekte elde edilen beyin omurilik sıvısında, serotonin yıkım ürünü olan 5-hidroksi indolasetik asit (5-HIAA) miktarları ölçülmüş ve kadınların beyin omurilik sıvısında, 5-HIAA miktarlarının erkeklerin beyinden önemli oranda yüksek olduğu saptanmıştır. Kadın ve erkek beyinde serotonin farklılığı yanında, serotonin sağ ve sol hemisferde farklı şekilde dağıldığı da gösterilmiştir. Kadınlarda daha fazla görülen migren türü baş ağrılarında da serotonin nörotransmitteri önemli bir yere sahiptir. Serotonin kadın ve erkek beyinde farklı dağılımının yanında GABA, Dopamin, Noradrenalin, Asetilkolin gibi nörotransmitterlerin miktarı da her iki cinsin beyinde farklılık göstermektedir. Merkezi sinir sisteminin en önemli inhibitör nörotransmitteri olan GABA (Gamma aminobütirik asit) erkek ve dişi beyinde farklıdır. Yapılan araştırmalarda, GABA-T aktivitesinin, erkeklerin beyinde dişilerin beyinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Farklı beyin dokularını görünimleri açısından değerlendirebilmek için **Şekil 15-18**'de basitten gelişmişe doğru sırasıyla sıçan, maymun, kedi ve insan beyin dokuları verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere sıçan beyin dokusu insan beyin dokusuna göre oldukça basit bir yapı sergilemektedir. Koku duyuları insanlara nazaran daha çok gelişmişlik göstermektedir, bu nedenle beyin dokusunda önde iki kesit çok gelişmiştir.



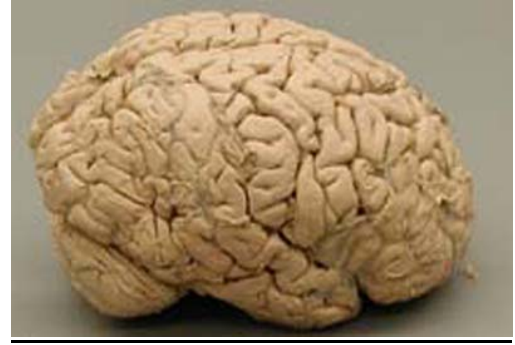
Şekil 15: Sıçan beyni



Şekil 16: Maymun beyni



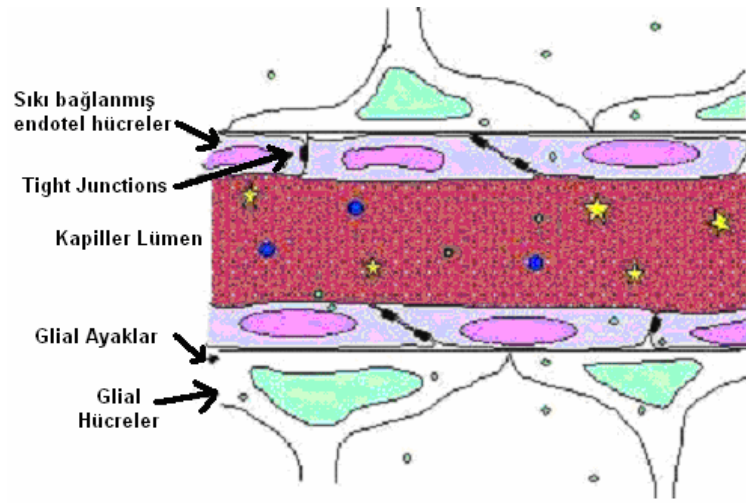
Şekil 17: Kedi beyni



Şekil 18: İnsan Beyni

2.7. Kan Beyin Bariyeri

Serebrovasküler endotel hücreler periferden farklı olarak birbirlerine “tight junction – zonula occludens” denilen özel sıkı bağlantılarla bağlanmışlardır. Endotel hücreleri arasındaki bu özel yapıya “kan beyin bariyeri” adı verilmektedir¹⁴⁴. Kısaca kan beyin bariyeri, kan ile beyin ya da serebrospinal sıvı arasında madde alış-verişini kontrol eden birçok değişik mekanizmayı anlatmak için kullanılır. Endotel hücreler arasındaki sıkı bağlantılar (Şekil 19) kandan beyne elektrolitler, proteinler, aminoasitler, glikoz, suda eriyen polar bileşikler, nörotransmitter gibi metabolik önemi olan materyallerin geçmesini engeller, kandan beyne su, üre, CO₂, O₂, Ksenon gibi gazlar ve anestetik maddeler beyne kolayca geçerler¹⁵². Molekül ağırlıkları 60.000 kD veya daha ağır bileşimler kan dolaşım sistemi içerisinde kalır. Kan beyin bariyerinin organizmadaki en önemli görevi nöronal homeostazisi – iç ortamın düzenlenmesini sağlamaktır¹⁵³.



Şekil 19: Kan Beyin Bariyerinin morfolojik yapısı

Kan beyin bariyeri embriyonal dönemden itibaren gelişmeye başlar, bu gelişim canlı türüne göre doğumdan birkaç hafta içinde tamamlanmaktadır. Herhangi bir kan beyin bariyeri boyası birkaç günlük fare beyinde açıkça görülmesine rağmen, yaklaşık iki ile dokuz haftalık fare beyinde birkaç günlük fare beyine göre boya daha az görülmektedir. Kan beyin bariyerinin anatomik yapısı hayvanlar aleminde evrimsel aşamaya göre farklılık gösterir. Böcekler iyi gelişmiş kan beyin bariyerine sahip olan yegane omurgasızlardır¹⁵⁴⁻¹⁵⁵. Fetusta kan beyin bariyeri tam gelişmemiştir, yeni doğan ve premature çocukta toksik maddeler, örneğin bilürubin kolaylıkla merkezi sinir sistemine girebilir, böylece beyin sararmasına ve kernicterus'a neden olabilir. Kernicterus yeni doğanın beyininin bazı çekirdeklerinin bilüribinin etkisiyle toksik dejenerasyonudur. Kernicterus sonucunda çocukta zekâ geriliği ve spastisite görülebilir¹⁵⁶. Erişkinde bu mümkün değildir. Hamilelik döneminin birinci trimesterinde aşırı derecede alınan alkol plasenta bariyerini ve daha sonra fetal kan beyin bariyerini geçerek, bebekte konjenital hidrosefalusa neden olabilir¹⁵³.

Kan beyin bariyerinden geçen maddeler beyinde nörotransmitter rolü oynar ve özellikle nöronların uyarılmasına neden olur. Beyinde bulunan glia hücreleri beyin kapiller endotel hücrelerinin etrafını ayakları ile kuşatarak kan beyin bariyerinin korunmasına önemli katkıda bulunurlar (**Şekil 19**). Glia'ların diğer bir fonksiyonuda, beyin ekstrasellüler sıvısındaki fazla K^+ iyonlarını depo ederek, nöronal homeostazise yardım etmektedir¹⁵⁷⁻¹⁵⁹. K^+ iyonlarının fazla miktarda beyin dokusuna geçmesi nöronların uyarılmasına neden olur.

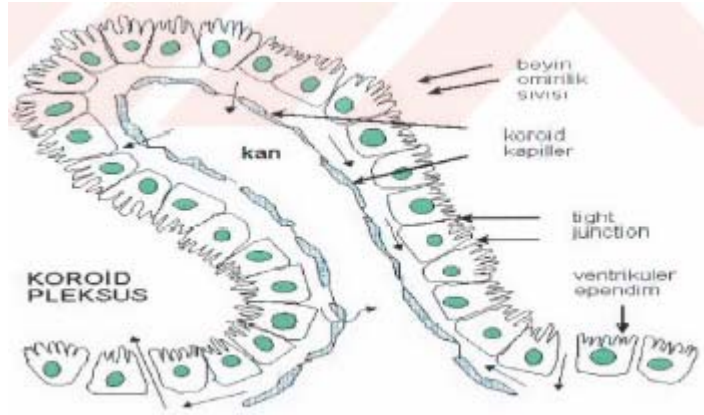
Beyin kapillerlerinin ayrıca periferik kapillerlerden farklı olarak dar intrasellüler geçitler içerdiği ve çok seyrek olarak pinositotik aktiviteye sahip olduğu tespit edilmiştir¹⁵⁷.

2.7.1. Kan Beyin Bariyerinin Fizyolojik – Biyofiziksel Özellikleri

Kan beyin bariyeri kavramı ilk defa Alman farmakologları tarafından ortaya atılmıştır. Bu konuda ilk araştırma 1882 yılında Paul Ehrlich tarafından yapılmış ve araştırıcı tavşanlara intravenöz yolla verdiği asit vital boyanın (trypan mavisini) bütün organizmayı boyadığı halde, beyini boyamadığını ve beyin dokusunun bembeyaz kaldığını gözlemiştir^{153,160}. Goldman 1909 ve 1913 yılında yaptığı araştırmalarda, trypan mavisini intravenöz verdiğinde beyin boyanmadığını fakat subaraknoid boşluğa verildiği takdirde beyin dokusunun da diğer dokular gibi boyandığını görmüştür¹⁶⁰.

Intravenöz yolla verilen trypan blue veya **evans blue** kan proteinlerine ve özellikle **albümine** hemen bağlanmakta, **boya-albümin kompleksini** meydana getirmektedir. Diğer bir deyimle, kan albümini mavi boya ile işaretlenmektedir. Bu boya-albümin kompleksi beyin endotel hücrelerini geçip, glia ve nöronlara geçemediği için beyinde bu deneylerde boyanmadan kalmaktadır. Daha sonra periferik damarlardan farklı olarak hangi yapının bu bariyeri oluşturduğu kapsamlı araştırmalara konu olmuştur. 1946 yılında Krog, kan beyin bariyerinin sürekli lipid membrandan oluştuğunu ileri sürmüştür. Bu konuda en önemli yapı araştırması 1967 yılında Karnovsky tarafından yapılmıştır. Yapılan diğer deneylerle birlikte kan beyin bariyerinin beyin kapillerlerini oluşturan endotel hücreler arasındaki “tight junction – zonnula occludens” denilen sıkı bağlantılar olduğu, beyin kapillerlerinin periferden farklı olarak porlar içermediği, veziküler transportun çok az olduğu tesbit edilmiştir¹⁵⁷⁻¹⁵⁸. Özellikle endotel hücreleri arasındaki sıkı bağlantılar ve glia ayakları, kandaki proteinler gibi büyük moleküllerin ve suda eriyen polar bileşiklerin, iyonların, nörotransmitterlerin kandan beyne geçmesine engel olurlar ve nöronların sabit homeostatisde çalışmalarını sağlarlar.

Merkezi sinir sistemi, kan beyin bariyerinden başka kan ile serebrospinal sıvı arasında bulunan, **kan-serebrospinal sıvı bariyeri (Şekil 20)** ile de kandaki değişimlerden korunur. Serebrospinal sıvının yapıldığı ve koroid pleksusunun epitel hücrelerinin teşkil ettiği bu bariyerde, birçok özellikleri yönünden kan beyin bariyerine benzemektedir. Serebrospinal sıvı ile beyin ekstrasellüler sıvısı arasındaki ependim hücreleri (santral sinir sistemindeki cavitas ventricularis ve canalis centralis' in duvarını döşeyen epitel tabakalarını oluşturan makroglia hücreleridir) bir bariyer meydana getirmez ve serebrospinal sıvıya geçen herhangi bir madde kolaylıkla nöronları etkileyebilir. Beyin dokusu ekstrasellüler sıvısının ve serebrospinal sıvının bileşimi, özellikle iyon, protein, pH ve nörotransmitter düzeyleri yönünden son derece sabittir. Kanda bu maddelerin azalıp artması, bu bariyerlerin varlığı ile beyne yansımaz ve nöronlar sabit bir homeostatik dengede çalışırlar.

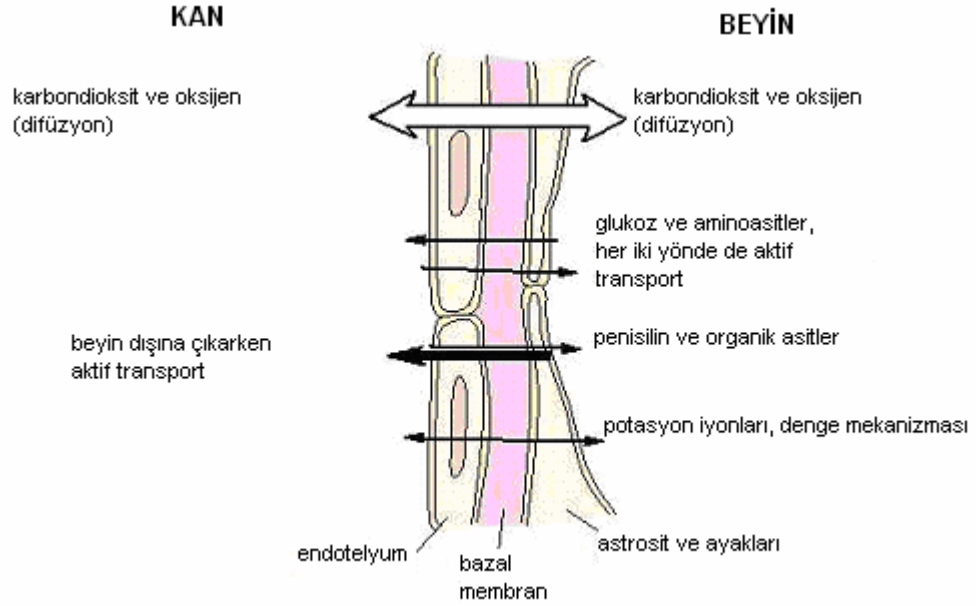


Şekil 20: Kan – serebrospinal sıvı bariyerini oluşturan yapılar ¹⁶¹

Beyin kendine gerekli olan maddeleri kan beyin bariyeri vasıtasıyla alır ve metabolizma artıklarını da bu yolla periferik verir. Beyin kapillerlerinde madde alış-verişi (**Şekil 21**); I. Difüzyon, II. Taşıyıcı Transport, III. Aktif Transport, IV. Pinositoz yoluyla olmaktadır ¹⁶².

Lipidlerde eriyen maddeler eriyebilme oranlarına göre plazma membranlarından kolayca difüzyona uğrarlar. Lipidlerde erimeyen ve molekül ağırlığı 2000'in üzerinde olan maddeler bariyerden geçemezler ¹⁵⁹. Kandan beyine su, üre ve gazların geçmesi difüzyonla olur. CO₂, O₂, Ksenon gibi gazlar ve anestetik maddeler beyine kolayca geçerler.

Glikoz, aminoasit ve iyonların membrandan geçişi taşıyıcı sistemler ile olmaktadır. D-glukoz beyin dokusuna kolayca geçerken, L-glukoz beyne geçemez. Heksozlardan mannoz ve maltozun beyne kolay geçişlerine karşılık galaktoz daha yavaş, fruktoz ise en yavaş bir şekilde beyne geçer. Aminoasitlerden hem esansiyel aminoasitler, hemde beyinde katekolamin sentezinde ön madde olarak kullanılan aminoasitler beyne taşıyıcı aracılığı ile kolayca geçebilirler. Kan beyin bariyerinden iyonların taşınması oldukça yavaştır. Beyin ekstrasellüler sıvısında iyonların, özellikle K⁺ iyonunun konsantrasyonunun sabit tutulması serebral damarlardaki aktif Na⁺ - K⁺ pompası tarafından sağlanmaktadır ¹⁶³.



Şekil 21: Kan ve Beyin arasındaki transport mekanizmaları

Kalsiyum ve magnezyumun ekstrasellüler sıvıda sabit tutulma mekanizması da $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ transportuna benzemektedir.

Serebral endotel hücrelerinde enzimatik bir bariyer de bulunmaktadır. Kan beyin bariyerindeki sıkı bağlantılardan geçemeyen nörotransmitterler kapiller endotel hücrelerinin luminal yüzünden sitoplazmaya girince, kapiller endotel sitoplazmasında bulunan çeşitli enzimler ile tutularak parçalanır ve beyine geçişi engellenir. Endotel hücrelerinde bulunan enzimler; Alkalın fosfataz, Gama – glutamil transpeptidaz, 5' – nükleotidaz, Dopa – dekarboksilaz, Guanilat – siklaz, $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ ATPaz, Adenilat siklaz, Kolin asetil transferaz ve Monoamin oksidaz olarak sıralanabilir¹⁶⁴. Serebral endotel hücreler aynı zamanda noradrenalin, serotonin, histamin, Gama aminobitirik asit (GABA), asetil kolin, bradkinin ve vazoaaktif peptikler nörotransmitter maddeleri sentezler ve depolar¹⁶⁵.

Pinositoz, maddelerin vezikül oluşturarak hücre sitoplazmalarına alınmalarıdır. Bu yolla hücre, iyonları ve küçük molekülleri sıvı ile birlikte bünyesine alır. Sıvı moleküllerin hücre zarına değmesi ile zar içeri doğru çöküntü yaparak koful oluşturur. Oluşan koful pinositik koful (pinositoz cep)'dur. Sıvı moleküller pinositoz cebine dolar ve cep boğumlanma yaparak bunları sitoplazma içine alır. Kanda bulunan hormonların ve antikorların hedef hücreler tarafından alınması genellikle bu yolla gerçekleşir. Kan beyin bariyerinde beyin kapillerlerinde bulunan endotel hücrelerinde bu işlemin gerçekleştiği tartışılmaktadır.

Beyin kapiller endotel hücrelerinin elektriksel direnci, diğer kapillerlerden daha yüksektir (**Tablo 18**).

Tablo 18: Beyin kapiller endotel hücrelerinin elektriksel direncinin diğer damarların elektriksel direnci ile karşılaştırılması¹⁶⁶

Doku	Birim alan direnci (Ω/cm^2)
Fötal kan beyin bariyeri	3000
Doğumdan sonra	1128
Erişkin kan beyin bariyeri	2000
Erişkin kas damarları	20 – 30
Mezenterik kan damarları	2

A. Sirkumventrikular Organlar

Kan beyin bariyerinin zayıf olduğu beyin bölgeleri vardır. Bu bölgelerde maddeler özgürce beyne geçebilmektedirler. Bu bölgeler sirkumventrikular organlar olarak tanımlanır ve her birinin kendine has işlevi vardır. Bu bölgeler intravenöz Evans Blue verilince tıpkı periferik dokular gibi maviye boyanırlar¹⁶⁷⁻¹⁶⁸.

1. Pineal cisim; melatonin ve nöroaktif peptitleri sentezler, sirkadyan ritimler ile ilgilidir.
2. Nörohipofiz / Arka hipofiz; oksitosin ve vasopressin gibi nöro hormonları kana bırakır.
3. Area postrema; toksik maddeleri elimine eden bölgedir.
4. Subfornikal organ; vücut sıvılarının regülasyonundan sorumludur.
5. Lamina Terminalisin Vasküler Organı; peptit ve diğer molekülleri ayırteden kemosensor organ.
6. Medyan eminens; ön hipofizdeki hormonların salınımlarını tetikliyor.
7. Subcommissural organ
8. Choroid Plexus

2.7.2. Kan Beyin Bariyerinin Önemi

Kan beyin bariyeri merkezi sinir sisteminin homeostatik ortamda çalışmasını sağlar. Beyin kendine gerekli olan maddeleri kan beyin bariyeri yoluyla alır ve metabolizma artıklarını da bu yolla periferik verir. Kan beyin bariyeri bazı patolojik durumlarda bozukluklar gösterebilmektedir.

2.7.3. Kan Beyin Bariyerinin Yıkılma Durumları

Normal şartlarda, nöronların çalışabilmesi için gerekli olan kan beyin bariyeri patolojik bazı şartlarda bozukluklar göstermektedir. Karbon tetraklorür ile karaciğer yetmezliği oluşturulan sıçanlarla yapılmış bir çalışmada kan beyin bariyeri geçirgenliği Evans Blue ile incelenmiştir

ve yetmezliği olan grupta kan beyin bariyeri geçirgenliği kontrol grubuna göre anlamlı ölçüde yüksek bulunmuřtur¹⁶⁹. Kan beyin bariyerine etkili çok çeşitli faktörler vardır. Bu faktörler hipertansiyon, hipertonic eriyikler, şiddetli hipoksi ve hiperkapni, X ışınları, beyin tümörleri, yaşlılık, konvülsiyonlar, hipoglisemi, diyabet, iskemi, menenjitler, inflamatuvar hastalıklar, beyin travmaları, serebral dem, Multipl Skleroz, Alzheimer hastalığı, alkol ve non-iyonizan radyasyon (RF alanlar) gibi sayılabilir.

A. Hipertansiyon

Akut ve kronik hipertansiyonun kan beyin bariyerine etkisi hem insanda hemde deney hayvanlarında uzun araştırmalara konu olmuştur. Johansson ve Auer¹⁷⁰ spontan hipertansiyonlu bir tür sıçan geliştirerek bunlarda kan beyin bariyerini incelemiştir. Hem kontrol sıçanlarına hemde spontan hipertansiyonlu sıçanlara aynı doz anjiotensin verildiği zaman, kontrol sıçanlarının kan beyin bariyerlerinin yıkıldığı, hatta konvülsiyon izlendiği halde, spontan hipertansiyonlu sıçanlarda kan beyin bariyerinin yıkılmadığı tespit edilmiştir. Spontan hipertansiyon kan beyin bariyerinin yıkılması açısından akut hipertansiyondan daha az tehlikelidir.

Hipertansiyonun kan beyin bariyeri permeabilitesine etkisi iki farklı mekanizma ile açıklanmaktadır. Johansson ve grubu hipertansiyon ile endotel hücrelerinde pinositoz aktivitesinin arttığı ve serum albumin-boya kompleksinin artan pinositoz ile kan beyin bariyerinden geçtiğini elektron mikroskopik araştırmalarla göstermiştir. Hlbuki Rapaport ve arkadařları¹⁷¹ hipertansiyonun beyin endotel hücrelerinde bariyeri oluşturan “tight junction – zonula occludens”ları basınç etkisi ile açtığı ve bariyerin yıkıldığını ileri sürmüşlerdir. Kronik hipertansiyonlu deney hayvanlarında, kan beyin bariyeri yıkımının akut hipertansiyondan daha az olduğu gösterilmiştir.

ztaş ve Kaya¹⁷² kan beyin bariyeri permeabilitesi artışında yükselen arteriyel basınç ile bariyer yıkımı arasında çok yakın bir ilişki olduğunu göstermişlerdir.

Akut hipertansiyonda açılan kan beyin bariyeri geri dönüşümlüdür: Çeşitli araştırcıların sonuçlarına göre 5 dakika ile 60 dakika arasında kan beyin bariyerindeki geçirgenlik artışı ortadan kalkmaktadır.

B. Hipertonik Eriyikler

Hipertonik eriyiklerin kan beyin bariyerine etkisi çeşitli araştırmalara konu olmuştur. Bu konuda en yoğun araştırmaları yürüten Rapaport ve arkadařları¹⁷¹, çeşitli deney hayvanlarında arterio karotis eksternaya takılan kanül ile 3 Mol re veya 1,6 Mol arabinoz infüze ettikleri

zaman, infüze edilen taraftaki hemisferde kan beyin bariyerinin yıkıldığını tespit etmişlerdir.

Hipertonik eriyiklerde kan beyin bariyerinin açılmasında şu faktörler önemlidir: I. Kullanılan hipertonik eriyiğin osmolaritesi, II. Arterio karotis eksternadan infüzyon süresi, III. Infüzyon hızı. Rapaport'un sıçanlarda yaptığı deneylerde kullanılan arabinozun osmolaritesinin 1.6 Mol olması ve infüzyon süresinin de 30 saniye olması azami açılma meydana getirmektedir. Açılma 5 dakika süreyle devam eder ve sonra yavaş yavaş kapanır.

Hipertonik eriyikler beyin kapiller damarlarından geçerken, kapiler endotel hücrelerinden su çekmekte ve büzülen kapiller endotel hücreleri arasındaki "tight junction – zonula occludens"lar açılarak normalde kan beyin bariyerini geçemeyen boya-albumin kompleksi beyin dokusuna geçmektedir. Son yıllarda hipertonik eriyikle kan beyin bariyerinin yıkılması klinikte habis tümörlerin tedavisinde kullanılmaktadır.

C. Şiddetli Hipoksi ve Hiperkapni

Hipoksi beden dokularında oksijenin azalmasıdır. Hiperkapni ise kandaki karbon gazı kısmi basıncının artmasıdır. Westergaard ve arkadaşları¹⁷³ sol arterio carotis communisi bağlanmış olan deney hayvanlarına "Horseradish peroxidase (HRP)" verdikleri zaman, iskemi ile kan beyin bariyeri geçirgenliğinin arttığını görmüşlerdir. Deney hayvanlarının arterio karotisi bağlandıktan sonra, 3, 6, 18 saat sonra dekapite edildikleri zaman, kan beyin bariyerinin iskemi süresiyle orantılı olarak bozulduğunu ve astrositlerde ödem meydana geldiğini izlemişlerdir. İskeminin beyin dokusunda vesiküler transportu artırdığı görüşü savunulmuştur.

C. X Işınları

Yüksek doz X ışınları ve α partikülleri maruziyeti 72 saat içinde kan beyin bariyerini yıkar ve beyin dokusunda önemli hasar meydana getirir. Böyle bir ışınımdan 72 saat sonra ciddi bir ak madde ödemi izlenir ve ak madde de elektrolit değişiklikleri meydana getirir. Düşük doz X ışını ile yapılan deneylerde ve klinik dozlardaki verilen X ışınları 1 ile 5 yıl içinde kan beyin bariyeri yıkımına neden olabilir. Yıkılan bölgelerde gelişen beyin ödemi genellikle öldürücüdür ve intrakraniyal hipertansiyonla sonlanır.

Eğer hastalarda hipertansiyon varsa X ışınlarının beyine etkisi çok artar. Blomstrand ve arkadaşları¹⁷⁴ deney hayvanlarının ışınlanmasının kan beyin bariyerinde önemli değişme yaratmadığı, fakat

akut hipertansiyonlu tavşanlarda aynı doz ile kan beyin bariyerinin bozulduğunu ve intrakranial kanamaların olduğunu izlemişlerdir.

İyonizan radyasyonun kan beyin bariyerine etkisinin radyasyonla ortaya çıkan aktif radikallere bağlı olduğu tespit edilmiştir. Bu radikaller nöron ve glia'lar üzerinde az toksik etkili olmalarına karşın, beyin kapiller endotel hücreleri üzerine çok önemli toksik etkiye sahiptirler.

D. Beyin Tümörleri

Beyin tümörlerinin kan beyin bariyerini etkilediği bilinmektedir. Beyin tümörü olan kişilere verilen işaretli albumin, tümör bölgesi kapiller endotel hücrelerinden kolaylıkla geçerek tümör içinde birikmektedir. Yapılan araştırmalarda normalde geçirgenlik göstermeyen beyin kapiller endotel hücreleri, tümörün etkisi ile bu özelliği aldığı ve "tight junction"ların bozulduğu, kapillerlerin periferik kapiller özellik kazandığı, endotel hücrelerin luminal yüzeylerinde bozulma, pinositotik veziküllerde ve hücre organellerinde artış, bazal membranda kalınlaşma gibi değişiklikler meydana geldiği vurgulanmıştır¹⁶². Tümörlerin, kan beyin bariyerine etkisi ve bariyeri yıktığı, bilgisayarla tomografide de gösterilmiştir.

E. Yaşlılık

Yaşlılığın kan beyin bariyeri üzerine etkisi tartışmalıdır. 1975 yılında Nandy'nin¹⁷⁵ sıçanlarda yaptığı araştırmada, yaşlılarda kan beyin bariyeri bozukluğu olduğunu ve periferik kanda beyine karşı oluşan beyin antikorların kan beyin bariyeri hasarı yaptıklarını ileri sürmüştür. 1979 yılında Rapaport ve arkadaşları¹⁷⁶ sıçanlarda yaptıkları araştırmalarda yaşla ilgili olarak kan beyin bariyeri permeabilitesinde anlamlı bir fark gözlemişlerdir. Fakat araştırmacılar, yaşlılığa ek olarak bir damar hastalığının kan beyin bariyeri permeabilitesini çok daha kolay değiştirebileceği görüşünde birleşmektedirler.

F. Konvülsiyonlar

Konvülsiyonlar, nöronal aktivitenin aşırı derecede arttığı hiperfizyolojik bir durumdur. Konvülsiyonlarla ilgili klinik ve deneysel veriler konvülsiyonlarda nöbet aktivitesinin sınırlı bir alanda başladığını göstermektedir¹⁷⁷. Konvülsiyonların beyin damarlarındaki geçirgenliğe etkisi çeşitli araştırmacılar tarafından gösterilmiştir. 1959 yılında Lending ve arkadaşları¹⁷⁸ köpek yavrularında elektroşok ve kardiyazol nöbetlerinin kan serebrospinal sıvı bariyerinde geçirgenlik artışına neden olduğunu radyoaktif albumin ile serebrospinal sıvıda incelemiştir.

Lorenzo ve arkadaşları¹⁷⁹ kedilerde yaptığı araştırmada kardiyazol nöbetlerinin HRP traserinin beyne geçmesini stimüle ettiğini ve bu koşullarda vesiküler transportun beyin kapillerlerinde arttığını tespit etmişlerdir.

Petito ve arkadaşları¹⁸⁰ sıçanlarda yaptıkları deneylerde nöbetler sırasında kan beyin bariyerinin yıkıldığını ¹³¹I – albumin, Evans Blue ve HRP kullanarak tespit etmişler ve özellikle bariyer yıkım alanlarının diensefalonda olduğunu göstermişlerdir. Serebral kapiller geçirgenliğinin pinositotik vezikül artışı ile meydana geldiğini ileri sürmüşlerdir.

Elektroşok ve metrazol (pentylenetetrazol – PTZ'nin bir başka türü) verilerek konvülsiyon oluşturulan sıçanlarda kan beyin geçirgenliği incelenmiştir. Bu konuda en yoğun araştırmaları Bolwig ve arkadaşları 1977 yılında gerçekleştirmiştir¹⁸¹. Deney sonuçlarına göre tek elektroşokta kan beyin bariyeri geçirgenliğinde önemli bir hasar meydana gelmemektedir. Fakat tekrarlanan elektroşokta, özellikle 10 elektroşoktan sonra kan beyin bariyeri önemli ölçüde tahrip olmakta ve beyin dokusuna protein geçmektedir. Metrazol (Kardiyazol) intravenöz veya intraperitoneal verildiğinde de kan beyin bariyeri geçirgenliğini artırmaktadır.

Başka bir çalışmada kronik nikotin tedavisinin nöbet duyarlılığını azalttığı, kan beyin bariyeri geçirgenliğini koruduğu ve beyin ödemi oluşumunu engellediği bulgulanmıştır¹⁸².

G. Hipoglisemi

Normal şartlar altında beyin dokusunun en önemli yakıt maddesi glukozdur. Normalde insan kan glukozu düzeyi tayin yöntemine göre değişmekle beraber ortalama 100 mg/dl'dir. Genellikle kan şekeri 50 mg/dl'in altına düştüğü hallerde hipogliseminin klinik belirtileri görülmeye başlar¹⁸³. Hipogliseminin klinik belirtilerinin çıkışında kan şekerinin mutlak değerinden ziyade dokudaki glikoz ve oksijen ütilizasyonunun önemli olduğu bilinmektedir. Normal koşullarda serebral O₂ farkı 7 civarında olup, ağır hipoglisemilerde bu fark 3.5 ve ölüm öncesi aşağı bulber safhasında 1.8'e kadar düşmektedir. Hipoglisemik belirtilerin saf O₂ koklatılması ile kan şekeri değişmeksizin düzeldiği gözlenmektedir.

Uzun süreli hipoglisemi koması ve özellikle koma ile birlikte konvülsiyonda meydana gelirse beyinde ve bilhassa beyin korteksinde geri dönüşümsüz değişiklikler meydana gelebilir. İlk biyokimyasal incelemeler hipoglisemide beyinin enerji eksikliğinin komayı meydana getirdiğini göstermiştir. Fakat daha sonra yapılan araştırmalarda beyne yeterli glikoz transportu olmadığı zaman glikozdan yapımı sağlanan nörotransmitterlerinde miktarlarında değişmelerin olduğu ve bu

değişimlerinde hipoglisemi komasındaki önemi vurgulanmıştır¹⁸⁴. Lewis ve arkadaşları yaptıkları araştırmalarda hipoglisemi komasında beyindeki sitrik asit siklusunun % 20 – 40 azaldığını ve beyinde alanin, glutamik asit, glutamin ve beyin en önemli inhibitör transmitteri olan gama-aminobutirik asitin (GABA) önemli ölçüde azaldığını buna karşılık aspartik asit, lizin ve NH_3^+ 'ün beyinde anlamlı şekilde arttığını tespit etmişlerdir. Ferendelli ise farelerde yaptığı araştırmada hipoglisemi komasında beyin ATP ve fosfokreatin düzeyinde anlamlı bir azalmanın olmadığını izlemiştir. Ancak hipoglisemide EEG izoelektrik olunca serebral ATP ve fosfokreatin seviyelerinde anlamlı bir azalma meydana gelmektedir. Hipogliseminin beyin kan akımı ile ilişkisinde çok çeşitli araştırmalara konu olmuştur. İlk defa insülin hipoglisemisinde insanlarda beyin kan akımını ölçen Kety hipoglisemide beyin kan akımında anlamlı bir değişiklik bulmamıştır. Daha sonra yapılan çok çeşitli araştırmalarda akut hipoglisemi komasının beyin kan akımını değiştirmediği tespit edilmiştir. Fakat son yıllarda yapılan araştırmalarda ise derin hipoglisemide beyin kan akımının ve beyin dokusu O_2 kullanımının arttığı tespit edilmiştir. Hem hipoglisemi komasının ölümle sonuçlanmasından sonra elde edilen otopsi bulguları, hemde deneysel hipoglisemi komalarından elde edilen beyinlerin histolojik incelemesindeki bulgular hipoksik şartlardaki beyin sonuçlarına benzemektedir. Bundan dolayı hipogliseminin fizyopatolojisinde hipoksinin olduğu görüşü ileri sürülmüştür. Özellikle hipoglisemi komasında hipokside olduğu gibi beyin ödemi ve beyin dokusu Na^+ , K^+ iyon konsantrasyonunun arttığını tespit eden Arieff bu görüşü desteklemektedir. Aieff'e göre insülin beyin iyon konsantrasyonunu ve osmolaritesini bozarak hipoglisemi konvülsiyonları meydana getirmektedir. Fakat daha sonra yapılan araştırmalar Arieff'in bulgularını teyit etmemiştir.

İnsülin hipoglisemisinin beyin metabolizması üzerine etkisi beyin bütün bölgelerinde aynı değildir ve seçici bir özelliği vardır¹⁸⁴. Özellikle ciddi hipoglisemi beyin korteksinde, hipokampüste nöronal hasarlar meydana getirdiği halde serebellumda aynı tahribatı meydana getirmez. Himwich'in çalışmalarında hipoglisemi deneyleri sırasında beyin dokusunun kademe kademe fonksiyonunu durdurduğu bununla ilgili olarak bir seri belirti zincirinin geliştiği bilinmektedir. 1938 ve 1940 yıllarında ve özellikle insülin komasının psikiyatride en yoğun kullanıldığı dönemlerde Nicolajev ve Georgi kan beyin bariyeri geçirgenliğinin insülin komasında arttığını, Ott azaldığını, Fortmeier ve Kessler değişmediğini bildirmişlerdir¹⁸⁵. 1980 yılında Hsu ve arkadaşları farelerde yaptıkları araştırmalarda bir bariyer traseri olan Horse Radish Peroxidase (HRP)'nin derin hipoglisemide beyne geçmesini incelemişlerdir. Sonuçta insülin hipoglisemisinde beyin endotel hücrelerindeki pinositozun çok azaldığını ve beyin damarlarında yırtılmaların meydana geldiğini izlemişlerdir. Sekimato ve arkadaşları da hipoglisemi komasında beyin kapillerinde kraterler olduğunu ve beyin ödeminin meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

H. Diyabet

Diyabette karbonhidrat, yağ ve protein metabolizmalarının bozukluklarının yanında bilhassa damar sistemi ve sinir sistemi bozuklukları çok önemli klinik tablolar meydana getirir ve hastalığın seyrini çok fazla etkiler¹⁸⁴. Son yıllara kadar damar ve sinir bozuklukları diyabetin kronik bir komplikasyonu olarak kabul edilmekteydi ve iyi tedavi edilmeyen hipergliseminin bir neticesi olarak kabul ediliyordu. Bugün ise bu bozuklukların diyabet hastalığının diğer bir komponenti olduğunu kabul edenler vardır. Bilindiği gibi diyabetlilerde arteriollerde, venüllerde ve özellikle kapillerlerde arterioskleroza çok benzeyen değişikliklere mikroanjiyopati denilmektedir. Mikroanjiyopatının histolojik olarak en karakteristik bulgusu bazal membranın mukopolisakkarid yapısındaki bir madde ile kalınlaşmasıdır. Fakat mikroanjiyopatının patogenezi açıklamak için ileri sürülen bir görüşte plazma proteinlerinin damar dışına çıkışının arttığı ve bu proteinlerin damar çeperinde birikerek kalınlaştığı görüşüdür. Bu kavram "Plasmatic Vasculosis" olarak ilk defa Lendrum tarafından ortaya atılmış ve daha sonra çeşitli araştırmacılar tarafından desteklenmiştir. Diyabette proteinlerin damar dışına çıkmasının arttığı, idrarda protein tayini yapılarak Mogensen tarafından juvenil diyabetli kişilerde araştırılmıştır. İnsülin tedavisine başlamadan evvel idrarla atılan albüminin çok arttığı ve tedavi ile bu artışın önlendiği gösterilmiştir. Diyabette gerek anjiyopatilerin sebep olduğu, gerekse bozulan metabolizmadan etkilenen sinir sistemi bozuklukları da ön plandadır. Periferik sinirlerin bozukluğuna bağlı diyabetik nöropatileri bir tarafa ayırırsak uzun süren diyabetlilerde merkezi sinir sisteminde mental bozukluklar, baş dönmesi, geçici ve kalıcı hemiparaziler, entelektüel bozukluklar, ortostatik hipertansiyon çok sık rastlanılan komplikasyonlardır.

I. İskemi

Hücre ve dokuların, özellikle nöronların yaşamı, normal kan akımı ile gelen oksijene bağlıdır. Beyne oksijen götüren bir arterin herhangi bir nedenle dokuya yeterli kan götürememesi veya hiç götürmemesi iskemiye neden olabilir. Ateroskleroz da iskemi nedeni sayılmaktadır. Arterin bir dalının tıkanması, o arterin suladığı alanın merkezinde iskemik alan, etrafında "penumbra" denilen riskli bir halka oluşturur. Çok kısa zamanda kanlanma normale dönmezse merkezdeki hücreler genellikle harap olur. Çevredeki hücreler ise 4 – 8 saat canlı kalabilir. Odaktaki hücrelerin zarar görmesinin nedenleri arasında asidoz, ödem, K^+/Ca^{++} değişimi ve protein sentezinin inhibisyonu sayılabilir¹⁸⁴⁻¹⁸⁶.

İskemide zarar veren en önemli neden enerji azalmasıdır. ATP azalınca hücre bütünlüğünü koruyan membrandaki Na^+/K^+ pompasının aktivitesi azalır. İyon homeostazisi / dengesi bozulur.

Yapılan birçok araştırmada, iskemiden ne kadar sonra kan beyin bariyerinin yıkıldığı sonuçları birbiri ile çelişkilidir. Petito ve arkadaşları hemen iskeminin ilk dakikasından sonra kan beyin bariyeri permeabilitesinin arttığını göstermelerine rağmen, araştırmaların çoğunda iskemiden en az 30 dakika, 2 – 4 – 6 ve 8 saat gibi farklı sürelerde kan beyin bariyeri permeabilitesinin arttığı gösterilmiştir. İskemi oluştuktan ortalama 2 saat sonra kan beyin bariyeri permeabilitesi özellikle küçük moleküllere karşı artmakta, iskemiden 4 – 6 saat sonra ise, protein gibi büyük moleküllere karşı kan beyin bariyeri permeabilitesi artmaktadır.

2.7.4. İlaçlar ve Kan Beyin Bariyeri

Penisilinin sistemik olarak verilmesi, merkezi sinir sistemine az miktarda geçişi ile sonuçlanır. Penisilinin yüksek konsantrasyonda alınmasının merkezi sinir sistemine toksik etkisi vardır. Ancak menenjit durumunda, meninksler, iltihap yerinde bölgesel olarak daha geçirgen hale gelirler ve buda yeterli antibiyotiğin iltihap bölgesine ulaşmasını sağlar. Chloramphenicol ve tetracyclin (bire geniş spektrumlu antibiyotik)'ler, kan beyin bariyerini geçerek sinir dokusuna ulaşır. Sulfonamid'li ilaçlar (sulfonamidli antibiyotikler) de kan beyin bariyerini geer^{153,187}.

Yağda eriyen maddeler örneğin, anestetik ajanlar, thiopental'in (bir çeşit anestetik ilaç) intravenöz enjeksiyonu sonrası hızlıca beyine geçer. Ancak suda eriyen maddeler örneğin eksojen norepinefrin kan beyin bariyerini geçemez. Phenylbutazone plazma proteine bağlanır ve oluşan büyük molekl bariyeri geçemez. Atropin gibi aminler yağda erir ve çok çabuk olarak beyine girer; ancak quarterner bileşikler örneğin atropine methylnitrate giremez.

Parkinson hastalığı, corpus striatumdan salınan nörotransmitter madde dopamin eksikliğidir. Ancak dopamin Parkinson tedavisinde kullanılmaz, çünkü kan beyin bariyerini geçemez. L-Dopa (Levo-Dopa) ise kan beyin bariyerini geçer ve Parkinson tedavisinde başarı ile kullanılır¹⁵³.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bölüm “Araştırmada Kullanılan Malzemeler” ve “Yöntem” alt bölümlerinden oluşmaktadır. Araştırmada Kullanılan Malzemeler Bölümü Radyo Frekans Deney Sistemi, Kimyasal Çalışmada Kullanılan Cihazlar ve Kimyasallar, Deney Hayvanları ve Deney Grupları başlıklarından oluşmaktadır. Yöntem Bölümü ise RF Radyasyon Sisteminin Oluşturulması, Deney Şartlarının Standardizasyonunun sağlanması, Dokuların ve Solüsyonların Hazırlanması başlıklarından oluşmaktadır.

3.1. Araştırmada Kullanılan Cihaz ve Malzemeler

3.1.1. Radyo Frekans Radyasyon Sistemi

RF sinyal kaynağı olarak Agilent Technologies HP 8648 B sinyal jeneratörü kullanılmıştır. Sinyal Jeneratörünün genel özellikleri;

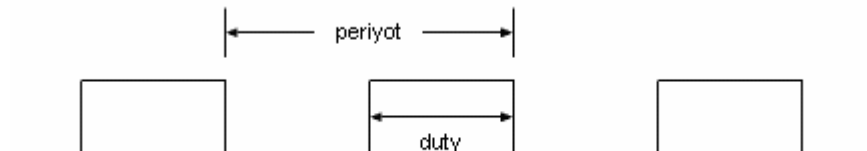
- Frekans Aralığı 9 kHz – 2 GHz
- Çözünürlüğü 1 Hz
- Doğruluğu $\pm 3 \times 10^{-6}$ Hz
- Güç Aralığı (+10/+20 dBm) – (-136 dBm)
- AM, FM, puls modülasyonları yapılabilir sistem

Sistemde alan yayılımı için ETS Lindgren 3164–04 horn anteni kullanılmıştır. Horn anteni mikrodalga ve RF sinyallerinin gönderilmesi ya da alınması için kullanılan anten tiplerinden biridir. Konik görüntüsünden dolayı horn anten ismini almıştır. Horn antenin çalışma frekans aralığı 700 MHz – 6 GHz arasında değişirken, frekansına göre değişen 3 dBi – 12 dBi kazançta sahip olabilmektedir.

GSM modülasyonuna uygun olarak 900 MHz ve 1800 MHz frekanslarında 217 Hz ve 577 μ s’lik pulslarla GSM modülasyonlu alan uygulaması yapılmıştır (**Şekil 22**).

Pulslar ODTÜ Fizik Bölümünden alınan Thandar marka puls jeneratörü ile periyodu 217 Hz, puls kalınlığı (duty) ise 577 μ s olacak şekilde üretilmiştir.

Gazi Mühendislik Fakültesi’nden alınan Gould marka osiloskop ile dalga formları ve pulslar gözlenmiştir.



Şekil 22: Puls Modeli

Sistemde RF radyasyonu ölçmek ve değerlendirmek için aşağıdaki cihaz ve sistemler kullanılmıştır;

- ❖ Narda EMR 300 Ana Ünitesi
- ❖ Narda EMR 300'e ait Tip 8,3 Elektrik Alan Probu; 100 kHz – 3 GHz
- ❖ EMR V1.05 Transfer Seti
- ❖ Intel Pentium 4 CPU 2.60 GHz teknolojiye sahip masaüstü bilgisayar
- ❖ Dell D 500 dizüstü bilgisayar

RF ya da sham alan uygulamalarında deneyler süresince RF alan düzeyleri denek kulak yakınında ölçülmüştür. Sham alan uygulamalarında çok düşükde olsa yine bir RF alan gözlenmiştir. Bu alan değerleri devam eden bölümde Ölçüm Sonuçları başlığı altında verilecektir.

Laboratuar ortamındaki Oldukça Düşük Frekanslı (ELF-Extremely Low Frequency) elektrik ve manyetik alanların ölçülmesinde ise Narda EFA 300 Ana Ünitesi ile elektrik ve manyetik alan problemleri kullanılmıştır.

Bir dalga boyunun yakın alan sınırı olarak tanımlanmasından yola çıkılarak 900 MHz ve 1800 MHz frekansları için yakın alan mesafesi hesaplamaları yapılmıştır.

$$c = \lambda \cdot f \quad (c=3 \times 10^8 \text{ m/sn})$$

Yakın alan mesafeleri;

$$900 \text{ MHz için} \rightarrow \lambda = 3 \times 10^8 / 900 \times 10^6 = 0.33 \text{ m} = \underline{\underline{33 \text{ cm}}}$$

$$1800 \text{ MHz için} \rightarrow \lambda = 0.16 \text{ m} = \underline{\underline{16 \text{ cm}}}$$
 olarak tanımlanmıştır.

Bütün grupların eşit mesafede sham ya da RF alana maruziyetlerinin sağlanması ve RF maruziyet gruplarının yakın alan radyasyonuna maruz kalmaları için 10 cm mesafe maruziyet uzaklığı olarak seçilmiştir (**Şekil 23**).



Şekil 23: Maruziyet altında sıçan

3.1.2. Kimyasal Çalışmada Kullanılan Cihazlar

- Spektrofotometre (Milton Roy Spectronic 3000 Array)
- Terazi (Shimadzu AEG–220)
- pH metre (WTW pH 315)
- Vortex (Stuart 5A3)
- Mikropipet (100–1000 µl) ve diğer rutin laboratuvar malzemeleri
- Homojenizatör (Hielscher UP 50 H, Ultrasonic Homogenizator)
- Santrifüj (Nüve NF 800 R)

3.1.3. Araştırmada Kullanılan Kimyasallar

- Alfamine
- Alfazyne
- Evans Blue
- Serum Fizyolojik
- Na₂HPO₄
- NaH₂PO₄
- TCA

3.1.4. Deney Hayvanları

Çalışmada 293,8 ± 40 gram ağırlıklarında genç yetişkin erkek ve 230,8 ± 27,6 gram ağırlıklarında genç yetişkin dişi Wistar Albino sıçanları kullanılmıştır. Sıçanlar Refik Saydam Hıfzısıhha Merkezi Müdürlüğü Serum Üretim ve Araştırma laboratuvarı tarafından yetiştirilen Wistar soyundan alınmış olup, deneyler öncesinde adaptasyon için Gazi Üniversitesi Deneysel Araştırmalar Merkezi'nde (GÜDAM) 1–2 hafta bekletilmişlerdir.

3.1.5. Deney Grupları

Gruplar kontrol (sham), sürekli dalga (CW) ve GSM modülasyon grupları olmak üzere her iki cinsiyeti de kapsayacak şekilde aşağıdaki gibi tanımlanmışlardır. n gruplardaki denek sayısını ifade etmektedir.

- I. Kontrol Dişi (n = 9)
- II. Kontrol Erkek (n = 9)
- III. Dişi 900 MHz CW (n = 9)
- IV. Dişi 1800 MHz CW (n = 9)
- V. Erkek 900 MHz CW (n = 9)
- VI. Erkek 1800 MHz CW (n = 9)
- VII. Dişi 900 MHz GSM Modülasyonlu (n = 8)
- VIII. Dişi 1800 MHz GSM Modülasyonlu (n = 9)
- IX. Erkek 900 MHz GSM Modülasyonlu (n = 9)

X. Erkek 1800 MHz GSM Modülasyonlu (n = 10)

3.2. Yöntem

Kan beyin bariyeri geçirgenliğinin incelenmesi birçok metotla yapılabilir. Bunlardan bazıları;

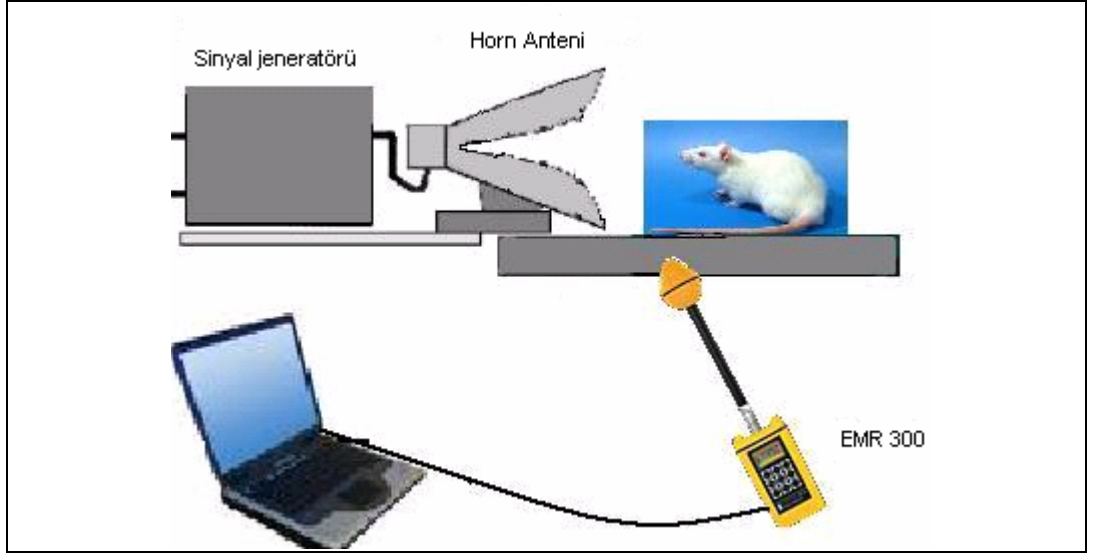
- Renksel değişimi sağlayan ajanların kullanılması (Evans Blue, Sodium Floresan, Rhodamine Ferritin v.b.)
- Radyoaktif işaretli maddeler
- Horse Radish Peroxidase (HRP) - elektron mikroskobu
- Albumin – Fibrinojen - immünohistokimyasal

Bu çalışmada Radyo Frekans Radyasyonun kan beyin bariyeri geçirgenliğine etkisini Evans Blue kullanarak kantitatif – miktar tayini ile - gözlemlemeye ve tartışmaya çalıştık. Evans Blue – kantitatif olarak Radyo Dalgalarına maruz deneklerde beyin dokularında ilk defa bu çalışma ile irdelenmiştir. Çalışma her iki cinsiyetin de incelenmiş olması açısından önem taşımaktadır.

Devam eden bölümde çalışmamızda kullanılan RF alan sisteminin oluşturulması, deney şartlarının standardizasyonu, RF alan ölçüm verileri, ELF alan ölçüm verileri, Kimyasalların ve Dokuların hazırlanması ve Dokularda Evans Blue konsantrasyonunun belirlenmesi verilmiştir.

3.2.1. Radyo Frekans Sisteminin Oluşturulması

Sinyal Jeneratörüne horn anten bağlanarak RF radyasyon uygulamaları yapılmıştır (**Şekil 24**). Maruz kalınan Radyo Frekans Radyasyon deney süresince bilgisayar ve EMR 300 ve ilgili elektrik alan probu ile kaydedilmiştir. Bütün gruplar için yapılan RFR Elektrik alan ölçümleri **Tablo 19**'da verilmiştir.



Şekil 24: Deney Düzenegi (CW)

Sinyal jeneratörüne puls jeneratörünün bağlanması ile GSM Modülasyonlu alanlar elde edilmiş ve bu sistemde de tüm GSM modülasyon grupları için RF alan ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

GÜDAM laboratuvarından alınan sıçanlar deney öncesi intraperitoneal - i.p. olarak alfamin ve alfazin ile anestezi altına alındılar. Denekler teker teker çalışıldı. Kuyruk venlerine kateter takılarak % 2'lik Evans Blue solüsyonu 4 ml/kg olacak şekilde ortalama 2 dakika süresince sıçanlara verildi. Sonrasında denekler sham ya da RF alan uygulaması için hemen **Şekil 24**'de belirtilen horn antenin 10 cm önüne bırakıldılar. 20 dakika sham / RF alan uygulaması sonrasında kardiyak perfüzyon ile beyin dokularındaki boya yıkandı. Denekler dekapite edilerek beyin dokuları çıkarıldı ve sağ beyin, sol beyin, sağ serebellum ve sol serebellum olmak üzere her denekte 4 parça beyin dokusu hazırlandı. Dokular kimyasal olarak incelenmek üzere - 40 °C'de saklandı. Deneklerin antenden 10 cm uzakta maruziyet almalarının tercih edilmesinin nedeni 10 cm mesafenin yakın alan mesafesi olarak tanımlanmasıdır. 20 dakikanın maruziyet süresi olarak belirlenmesinin nedeni ise bir kişinin günde cep telefonu ile ortalama görüşme süresi olarak tahmin edilmesidir.

3.2.2. Deney Şartlarının Standardizasyonunun Sağlanması

Standardizasyon için maruz kalınan RF alanlar, laboratuvar ortamının ELF alanı, sıcaklık ve nem sürekli kontrol altında tutulmuştur.

A. Sıcaklık ve Nem

Serum Çifliğinden alınan sıçanlar Gazi Üniversitesi Deneysel Araştırmalar Merkezinde $22 \pm 1^\circ\text{C}$ sıcaklıkta, 45 % nem oranında ve 12 saat karanlık / 12 saat aydınlık döngülerinde 10 gün adaptasyon dönemlerini tamamlamışlardır. Deney hayvanlarına laboratuardaki bu bekleme süreleri boyunca sınırsız su ve yem sağlanmıştır.

Deneyler boyunca bütün sıçanlar teker teker GÜDAM laboratuvarından Bioelektromagnetik Laboratuvarına alınarak maruziyet öncesi anestezi edilmişlerdir.

B. Radyo Frekans Radyasyon Ölçümleri

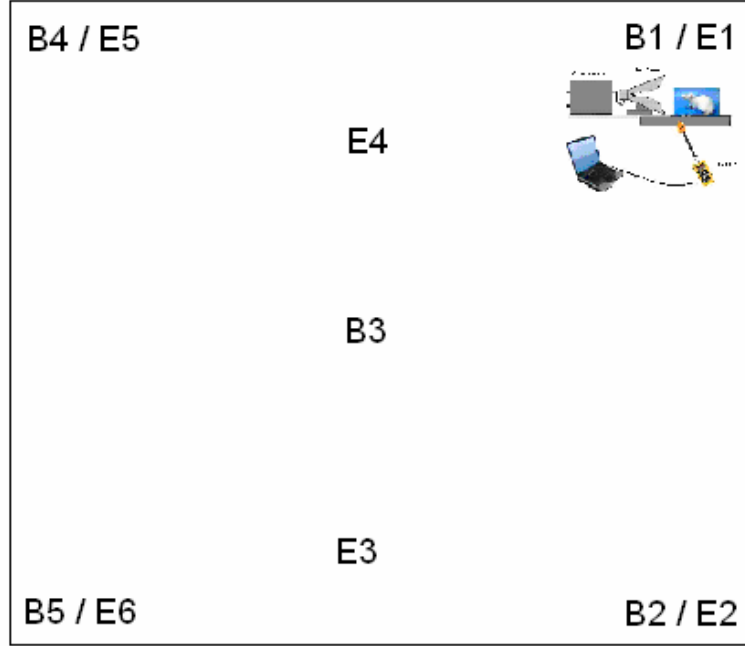
Tüm gruplar için maruz kalınan Elektrik Alan değeri (E_{RMS}) EMR 300 ve tip 8.3 Elektrik alan probu ile ölçülmüştür. Gruplarda RF alan ölçüm verileri ortalama ve standart sapmaları ile **Tablo 19**'da verilmektedir.

Tablo 19: Tüm Gruplarda Maruz Kalınan RF Alan Ölçüm Verileri

Grup Numarası ve Adı	E Alan
G-I: Dişi Kontrol	$0,2916 \pm 0,0888$
G-II: Erkek Kontrol	$0,3244 \pm 0,0568$
G-III: Dişi 900 MHz CW	$4,7119 \pm 0,0177$
G-IV: Dişi 1800 MHz CW	$4,9222 \pm 0,1265$
G-V: Erkek 900 MHz CW	$4,684 \pm 0,079$
G-VI: Erkek 1800 MHz CW	$4,9222 \pm 0,1265$
G-VII: Dişi 900 MHz GSM	$4,9885 \pm 0,0469$
G-VIII: Dişi 1800 MHz GSM	$4,7119 \pm 0,0177$
G-IX: Erkek 900 MHz GSM	$4,9222 \pm 0,12653$
G-X: Erkek 1800 MHz GSM	$4,68848 \pm 0,07624$

C. Oldukça Düşük Frekanslı (ELF) Alan Ölçümleri

Laboratuvar ortamında deney koşullarının olası ELF alanlardan etkilenmesini engellemek için bir hafta boyunca RF sistemi kapalı iken, planlanan deney simülasyonu ile (ışıklar açık) 6 noktada ELF Elektrik (E) alan ve 5 noktada Manyetik (B) alan ölçümleri gerçekleştirilmiştir (**Şekil 25**). Ölçümler EFA 300 cihazı ve uygun problemleri ile yapılmıştır. Ortalama Manyetik alan ve Elektrik alan verileri sırasıyla **Tablo 20** ve **Tablo 21**'de verilmektedir.



Şekil 25: Laboratuar ELF Radyasyon Ölçüm Noktaları

Tablo 20: Laboratuar Oldukça Düşük Frekanslı (ELF) Manyetik Alan ölçümleri

Nokta No	B-Alan (Gauss)	Frekans
B1	3.99×10^{-4}	50
B2	1.37×10^{-3}	50
B3	5.79×10^{-4}	51
B4	5.47×10^{-4}	50
B5	5.45×10^{-4}	79
Ortalama	0.688 mG	

Tablo 21: Laboratuar ELF Elektrik Alan ölçümleri

Nokta No	E-Alan (V/m)	Frekans
E1	4.52	21552
E2	4.52	21552
E3	8.67	5045
E4	4.35	20575
E5	4.34	21460
E6	5.22	21268
Ortalama	5.27 V/m	

3.2.3. Dokuların ve Solüsyonların Hazırlanması: Beyin ve Beyincik Örneklerinde Evans Blue (EB) Belirlenmesi

Sıçanlar alfamin ve alfazin ile anestezi altına alınarak kuyruk venlerinden Evans Blue verilmiştir. Deney sonunda hayvanlar kardiyak perfüzyon sonrasında dekapite edilerek beyin dokuları çıkarılmış ve dokular PBS ve TCA solüsyonları ile analize tabii tutulmuşlardır. Bu bölümde bu işlemlerin ayrıntılarına, her basamağında kullanılan kimyasallar ve bu kimyasalları hazırlama metotlarına yer verilerek spektrofotometrede nasıl okunduğuna değinilecektir.

A. Kimyasalların Hazırlanması

A.1. Anestezi elemanları:

Sıçanlarda orta süreli (20 – 60 dakika) anestezi için alfamin ve alfazin kullanım dozları intramüsküler - im veya intraperitoneal - ip olarak 90 mg/kg Alfamin, 10 mg/kg alfazin olarak belirlenmiştir¹⁹⁴. Çalışmamızda intramüsküler olarak 45 mg / kg Alfamin ve 5 mg / kg Alfazin ile anestezi sağlanmıştır. Bu doz sıçanlarımızın ortalama 30 dakika süreli uyumalarını sağlayacak doz olarak Gazi Üniversitesi Deney Hayvanları Araştırma Merkezi - GÜDAM tarafından önerilmiştir.

A. 2. Boyar Madde: EVANS BLUE - EB

Evans Blue – EB kan beyin bariyeri çalışmalarında 100 yıldan fazla süredir kullanılmaktadır¹⁹⁵. İki gram Evans Blue tartılmış ve serum fizyolojik ile 100 ml'te tamamlanmıştır. Karıştırma manyetik karıştırıcı ile gerçekleştirilmiştir. %2'lik Evans Blue çözeltisi hazırlanmıştır¹⁹⁶. Bu çözelti anestezi altındaki deneklere, maruziyet grubuna maruziyet öncesinde, kontrol grubuna ise sham maruziyet öncesinde 4 ml / kg olacak şekilde 24 nolu kateter ile girilen kuyruk veninden ortalama 2 dakika süresince enjekte edilmiştir.

Bu dozdaki EB tamamen plazma proteinlerine ve özellikle albümine bağlanarak, albüminin mavi renge boyanmasını sağlamaktadır. Bir molekül albümine 11–14 molekül Evans Blue bağlanır¹⁹⁷.

A.3. Fosfat Tamponu (PBS – Phosphate Buffered Solution) (0.2 Molar)

21,8 gram Na_2HPO_4 ve 6,4 gram NaH_2PO_4 tartılarak 1000 ml'te distile su ile tamamlanmış ve tamamen çözülmesi sağlanmıştır. Çözülme işleminde yine manyetik karıştırıcı kullanılmış, pH 7.4 olacak şekilde ayarlanmıştır¹⁹⁸.

A.4. Trikloro Asetik Asit (TCA – Tricloroasetic Acid)

% 60'lık TCA solüsyonu hazırlamak için 60 gram TCA tartılmış ve distile su ile 100 ml'te tamamlanmıştır¹⁹⁹. Karıştırma işlemi yine manyetik karıştırıcı ile sağlanmıştır.

B. Standart Eğri ve Kör

Standart eğri için stok solüsyon hazırlanmıştır. Kör için ise yukarıdaki gibi hazırlanan PBS ve TCA solüsyonları kullanılmıştır.

Stok Solüsyon ve Standart Eğri

0,01 gram EB tartılarak 100 ml PBS'de çözülmüş ve stok solüsyon elde edilmiştir (% 10 mg'lık EB solüsyonu). Daha sonra bu sıvıdan dilüsyonlarla 0,5 mg, 1 mg, 1,5 mg, 2 mg, 2,5 mg ve 3 mg'lık sıvılar hazırlanarak standart eğri çizilmiştir. Numuneleri okurken ve standart eğri çizilirken kör olarak eşit miktarda karıştırılan (2,5 ml + 2,5 ml) PBS + TCA solüsyonları kullanılmıştır.

C. Evans Blue – EB - Konsantrasyonunun Belirlenmesi

Evans Blue kullanılarak yapılan incelemelerin çoğunda farklı notlandırmalar kullanılarak yapılan çalışmalar vardır. Bu çalışmalardan bazıları Evans Blue sızıntısını 0 – 1 – 2 – 3 – 4 dereceleri ile derecelendirirken²⁰⁰, bazılarında 1– 2 – 3 numaraları ile derecelendirme yapılmıştır²⁰¹.

Sham ve RF uygulama gruplarında sıçanlar homojen alan maruziyeti için teker teker çalışılmıştır. Bu amaçla anestezi altına alınan sıçanlar, kuyruk venlerinden EB solüsyonu (4ml/kg) verildikten hemen sonra anten önünde sham ya da RF alan maruziyetine bırakıldılar. Maruziyet süresi bir kişinin günde ortalama cep telefonu ile görüşme süresi olarak tahmin edilen 20 dakika olarak belirlendi. 20 dakika sonrasında deneklerin göğüs kafesi açıldı, kardiyak perfüzyonla sol ventrikülden heparinli serum fizyolojik verildi ve sağ atriumdan renksiz sıvı gelene kadar yıkama işlemi gerçekleştirildi. Heparinle dolaşımdan temizlenen kan + EB karışımının pıhtılaşmaması sağlandı. Hayvanlar dekapite edilerek beyin dokuları çıkarıldı. Beyin ve beyincik dokuları ikiye ayrılarak 4 parça doku ayrı ayrı tartıldı. Spektrofotometre okumaları sonrasında sağ beyin, sol beyin, serebellum ve tam beyin dokusu (sağ beyin + sol beyin + serebellum) EB miktarları tayin edildi.

Çalışmamızda yukarıdaki gibi hazırladığımız standart eğrimizde doku okumalarını gerçekleştirdik. Dokuların spektrofotometrede okunmak üzere hazırlığı şu şekilde yapılmıştır; hazırladığımız PBS'den

boş santrifüj tüplerine (Greiner, 12 mlt) her tüpe 2.5 mlt olacak şekilde dağıttık. Dokuları tüplere aktardıktan sonra homojenizasyonu gerçekleştirdik. Daha önce hazırladığımız % 60'lık TCA solüsyonundan yine her tüpe 2,5 mlt olacak şekilde paylaştırdık²⁰². Tüm karışımın homojen karışması için vorteksledik ve 30 dakika 3000 rpm'de soğutmalı santrifüjden (+4°C'de) geçirdik. Bir gece boyunca dokuları + 4 °C'de dinlendirdikten sonra, hazırladığımız standart eğriye göre okumalarımızı 620 nm dalga boyunda gerçekleştirdik²⁰³. Sağ beyin, sol beyin, serebellum ve tam beyin dokusu Evans Blue değerleri mg % cinsinden standart eğri kullanılarak hesaplanmıştır¹⁹⁶.

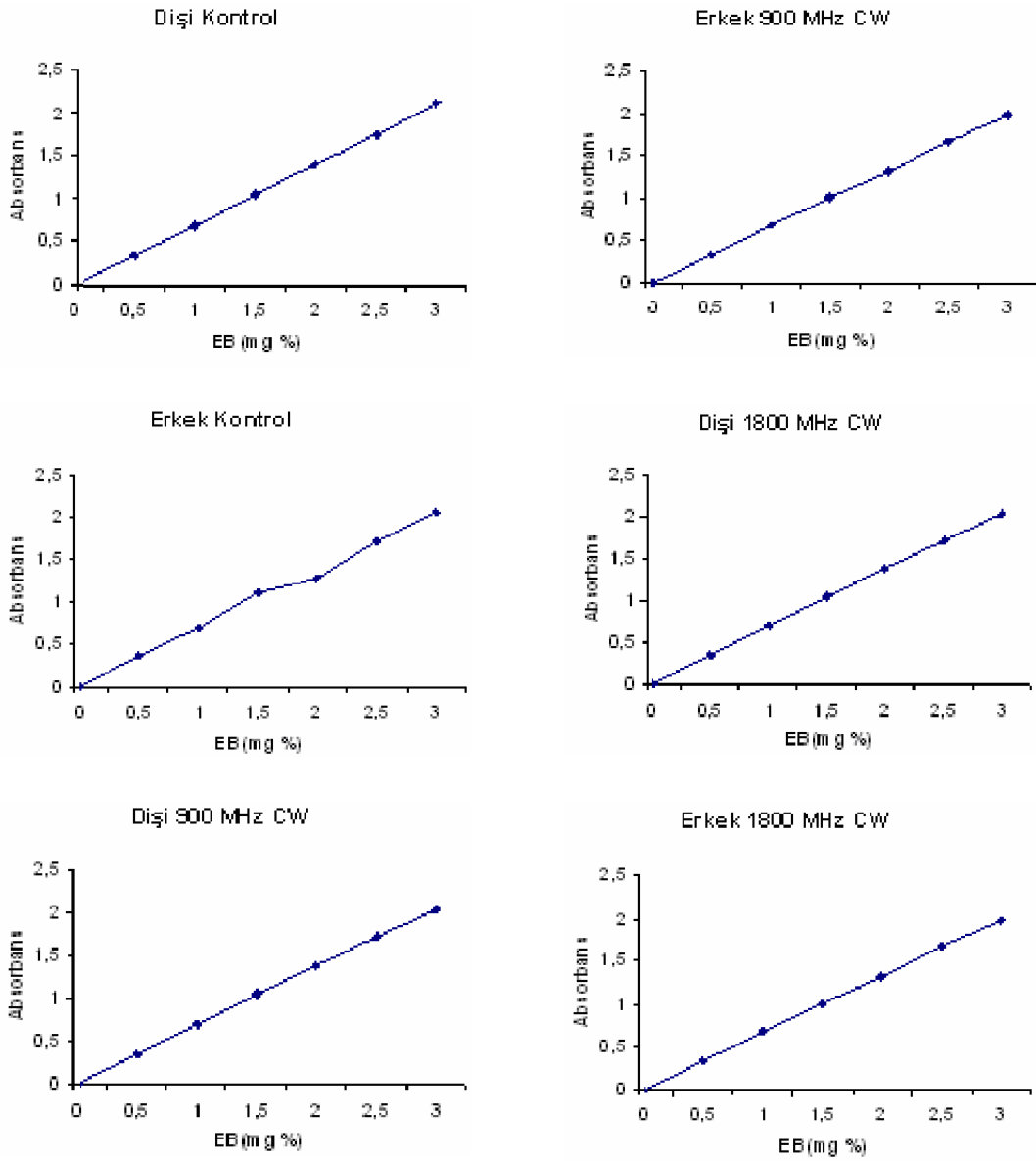
3.2.4. İstatistiksel Değerlendirme

Gruplar arası fark olup olmadığı Kruskal Wallis testi ile farklılıkların anlamlılık derecesi Mann Whitney U testi ile değerlendirildi ve $p < 0.01$ ve $p < 0.05$ değerleri anlamlı olarak kabul edildi.

4. BULGULAR

4.1. Tüm Grupların Sağ Beyin, Sol Beyin, Serebellum ve Toplam Beyin Ağırlıkları, Spektrofotometre Okuma Sonuçları ve Birim Dokulardaki EB Miktarları

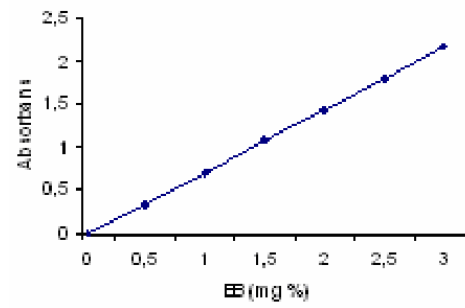
Gruplarda sağ beyin, sol beyin, serebellum ve toplam beyin ağırlıkları, doku spektrofotometre okuma sonuçları ve birim doku EB miktarları **Tablo 24-33**'de verilmiştir. Birim doku EB değerleri aşağıda verilen ve her gruba özgü çıkarılan standart eğrilere göre hesaplanmıştır.



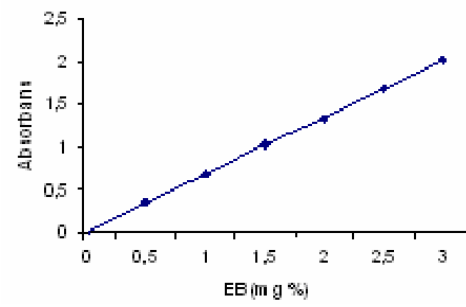
Dişi 900 MHz GSM



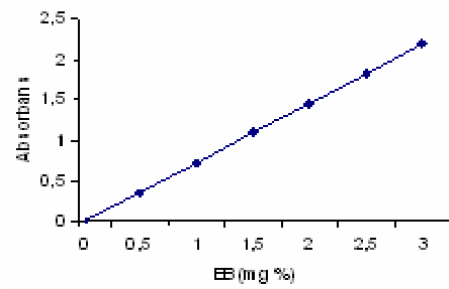
Erkek 900 MHz GSM



Dişi 1800 MHz GSM



Erkek 1800 MHz GSM



4.2. Tüm Gruplarda Sağ Beyin, Sol Beyin ve Serebellum Evans Blue Miktarları

Tablo 22'de tüm gruplarda sağ beyin, sol beyin ve serebellum ortalama Evans Blue konsantrasyonları ile standart sapmalar verilmiştir. Bu veriler daha sonra şekillerle ayrıntılandırılacak ve tartışılacaktır.

Tablo 22: Tüm Gruplarda Sağ Beyin – Sol Beyin ve Serebellum Karşılaştırılması

	Sağ beyin	Sol Beyin	Serebellum
G-I: Dişi Kontrol	0,12703 ± 0,04	0,1294 ± 0,03	0,173 ± 0,05
G-II: Erkek Kontrol	0,071 ± 0,025	0,097 ± 0,05	0,059 ± 0,02
G-III: Dişi 900 MHz CW	0,11276 ± 0,03	0,11782 ± 0,03	0,18558 ± 0,03
G-IV: Dişi 1800 MHz CW	0,12952 ± 0,02	0,1419 ± 0,03	0,2034 ± 0,05
G-V: Erkek 900 MHz CW	0,12012 ± 0,04	0,16436 ± 0,04	0,201 ± 0,06
G-VI: Erkek 1800 MHz CW	0,1175 ± 0,03	0,1445 ± 0,07	0,1706 ± 0,04
G-VII: Dişi 900 MHz GSM	0,1791 ± 0,04	0,2303 ± 0,1	0,3463 ± 0,06
G-VIII: Dişi 1800 MHz GSM	0,1197 ± 0,03	0,1431 ± 0,05	0,1556 ± 0,06
G-IX: Erkek 900 MHz GSM	0,11968 ± 0,02	0,11098 ± 0,04	0,1709 ± 0,06
G-X: Erkek 1800 MHz GSM	0,2074 ± 0,05	0,2508 ± 0,08	0,3627 ± 0,08

Her grubun kendi içinde sağ beyin sol beyin karşılaştırması Mann Whitney U testi ile yapılmış ve istatistiksel farklı grup bulunmamıştır. İstatistik sonuçları;

Grup I; p = 0,564

Grup II; p = 0,630

Grup III; p = 0,386

Grup IV; p = 0,441

Grup V; p = 0,054

Grup VI; p = 0,773

Grup VII; p = 0,247

Grup VIII; p = 0,501

Grup IX; p = 0,211

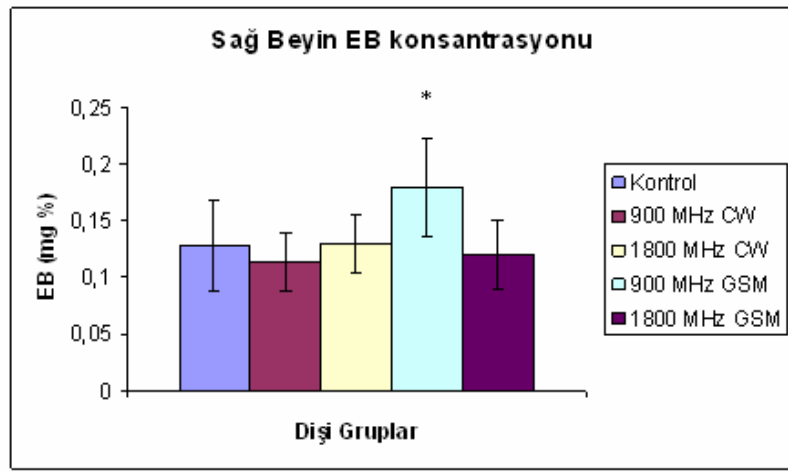
Grup X; p = 0,360 olarak hesaplanmıştır. İstatistiksel veri

detayları, tüm istatistikler gibi, "İstatistiksel Ekler" bölümünde verilmiştir.

A. Dişi Gruplarda Sağ Beyin, Sol Beyin ve Serebellum Karşılaştırması

A.1. Dişi Sağ Beyin

şekil 26'da yukarıda verileri verilen dişi sıçan gruplarında sağ beyin dokusunda ortalama Evans Blue miktarları gösterilmiştir. şekilden de görüleceği üzere Dişi 900 MHz GSM modülasyon grubunun sağ beyin dokusundaki EB konsantrasyonu kontrol grubuna göre anlamlı ölçüde artmıştır (* $p < 0.05$, $p = 0.027$).



şekil 26: Dişilerde Sağ Beyin EB Miktarı

şekildeki grupların p değerleri aşağıda verilmiştir:

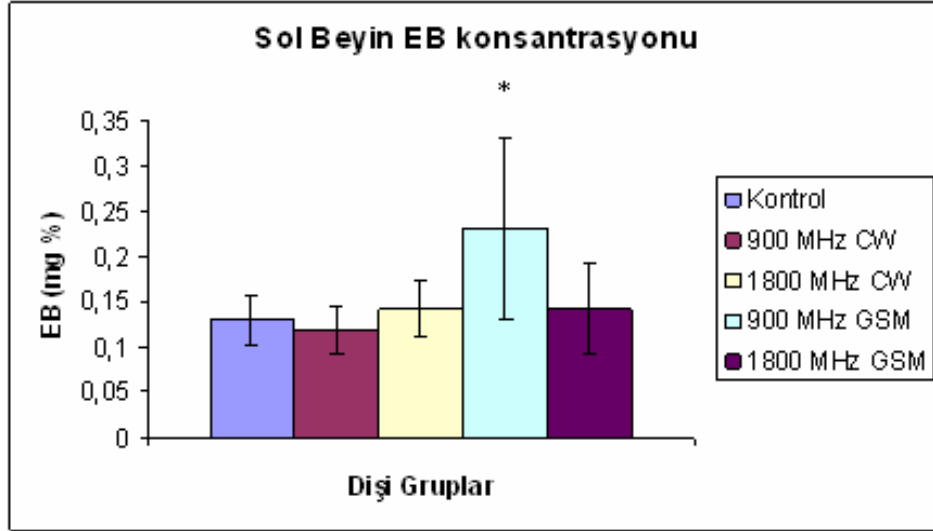
- Dişi Kontrol / Dişi 900 MHz CW: $p > 0.01$ ($p=0,453$)
- Dişi Kontrol / Dişi 1800 MHz CW: $p > 0.01$ ($p=0,402$)
- **Dişi Kontrol / Dişi 900 MHz GSM: $p < 0.05$ ($p=0,027$)***
- Dişi Kontrol / Dişi 1800 MHz GSM: $p > 0.01$ ($p=0,757$)

Dişi 900 MHz GSM Modülasyon grubu sağ beyin dokusu ortalama EB konsantrasyonu diğer dişi RF maruziyet grupları ile karşılaştırıldığında, bu gruptaki artış diğer tüm gruplardan fazla bulunmuştur:

- Dişi 900 MHz GSM/ Dişi 900 MHz CW; $p < 0.01$ ($p=0,005$)
- Dişi 900 MHz GSM/ Dişi 1800 MHz CW; $p < 0.05$ ($p=0,043$)
- Dişi 900 MHz GSM/ Dişi 1800 MHz GSM; $p < 0.05$ ($p=0,016$)

A.2. Dişi Sol Beyin

Şekil 27'de tüm dişi gruplarının sol beyin ortalama EB konsantrasyonları gösterilmiştir. Sol beyin dokusu EB konsantrasyonu dişi 900 MHz GSM modülasyon grubunda kontrol grubuna göre artmıştır ve bu farklılık istatistiksel anlamlıdır (* $p < 0.01$).



Şekil 27: Dişilerde Sol Beyin EB Miktarı

Şekildeki grupların p değerleri aşağıda verilmiştir:

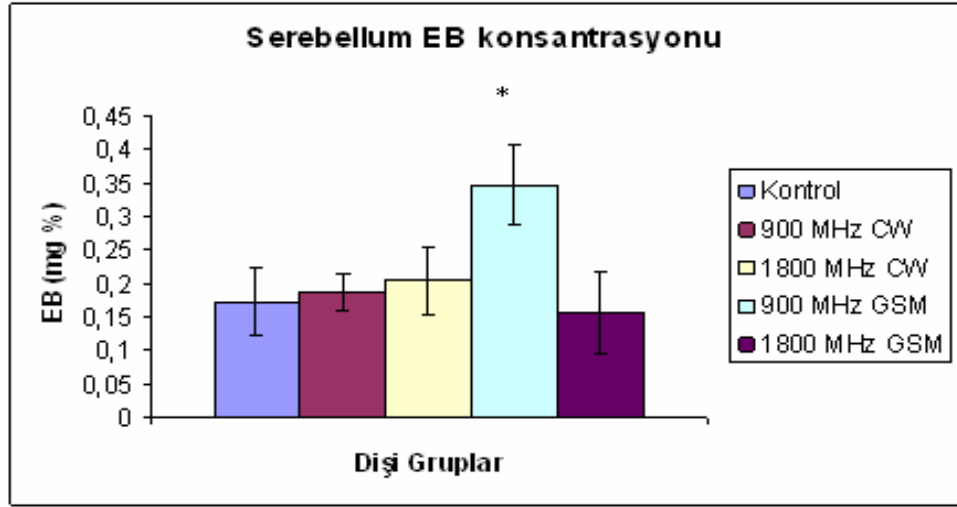
- Dişi Kontrol / Dişi 900 MHz CW: $p > 0.01$ ($p=0,310$)
- Dişi Kontrol / Dişi 1800 MHz CW: $p > 0.01$ ($p=0,270$)
- **Dişi Kontrol / Dişi 900 MHz GSM: $p < 0.01$ ($p=0,007$)***
- Dişi Kontrol / Dişi 1800 MHz GSM: $p > 0.01$ ($p=0,825$)

Dişi 900 MHz GSM Modülasyon grubu sol beyin dokusu ortalama EB konsantrasyonu diğer dişi RF maruziyet grupları ile karşılaştırıldığında, bu gruptaki artış diğer tüm gruplardan fazla bulunmuştur:

- Dişi 900 MHz GSM/ Dişi 900 MHz CW; $p < 0.01$ ($p=0,002$)
- Dişi 900 MHz GSM/ Dişi 1800 MHz CW; $p < 0.05$ ($p=0,027$)
- Dişi 900 MHz GSM/ Dişi 1800 MHz GSM; $p < 0.05$ ($p=0,027$)

A.3. Dişi Serebellum

Şekil 28'de tüm dişi gruplarının serebellum ortalama EB konsantrasyonları gösterilmiştir. Serebellum dokusu EB konsantrasyonu dişi 900 MHz GSM modülasyon grubunda kontrol grubuna göre artmıştır ve bu farklılık istatistiksel anlamlı (* $p < 0.01$) bulunmuştur.



Şekil 28: Dişilerde Serebellum EB Miktarı

Şekildeki grupların p değerleri aşağıda verilmiştir:

- Dişi Kontrol / Dişi 900 MHz CW: $p > 0.01$ ($p=0,895$)
- Dişi Kontrol / Dişi 1800 MHz CW: $p > 0.01$ ($p=0,354$)
- **Dişi Kontrol / Dişi 900 MHz GSM: $p < 0.01$ ($p=0,001$)***
- Dişi Kontrol / Dişi 1800 MHz GSM: $p > 0.01$ ($p=0,402$)

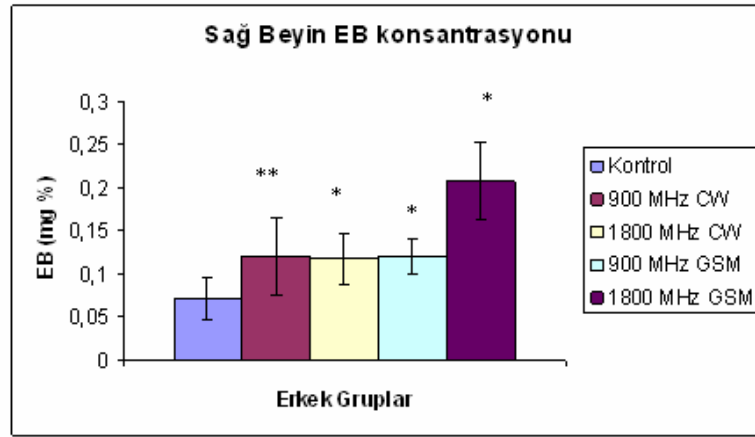
Dişi 900 MHz GSM Modülasyon grubu serebellum dokusu ortalama EB konsantrasyonu diğer dişi RF maruziyet grupları ile karşılaştırıldığında, bu gruptaki artış diğer tüm gruplardan fazla bulunmuştur:

- Dişi 900 MHz GSM/ Dişi 900 MHz CW; $p < 0.01$ ($p=0,001$)
- Dişi 900 MHz GSM/ Dişi 1800 MHz CW; $p < 0.01$ ($p=0,001$)
- Dişi 900 MHz GSM/ Dişi 1800 MHz GSM; $p < 0.01$ ($p=0,001$)

B. Erkek Gruplarda Sağ Beyin, Sol Beyin ve Serebellum Karşılaştırması

B.1. Erkek Sağ Beyin

Şekil 29’da tüm erkek gruplarının sağ beyin dokusu ortalama EB konsantrasyonları verilmektedir. Şekilden de görüleceği üzere tüm RF alan uygulama gruplarında sağ beyin dokuları, kontrol grubu sağ beyin dokusundan daha fazla EB içermektedir.



Şekil 29: Erkeklerde Sağ Beyin EB Miktarı (*: $p < 0.01$, **: $p < 0.05$)

Şekildeki grupların p değerleri aşağıda verilmiştir:

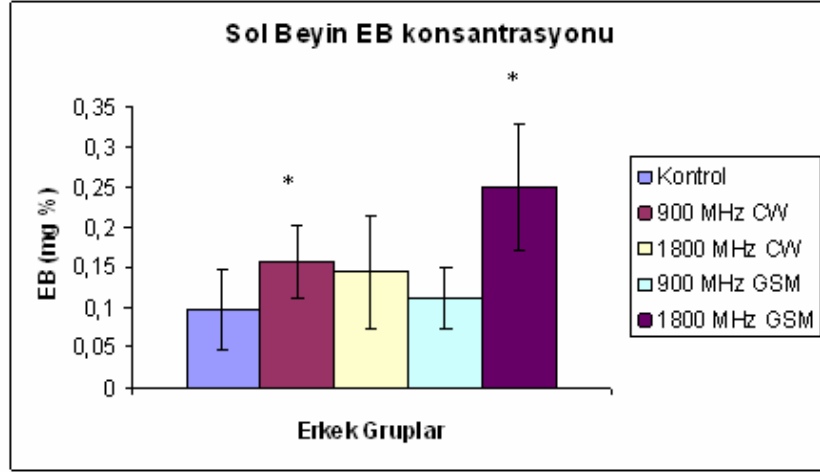
- Erkek Kontrol / Erkek 900 MHz CW: $p < 0.05$ ($p=0,015$)**
- Erkek Kontrol / Erkek 1800 MHz CW: $p < 0.01$ ($p=0,007$)*
- Erkek Kontrol / Erkek 900 MHz GSM: $p < 0.01$ ($p=0,002$)*
- Erkek Kontrol / Erkek 1800 MHz GSM: $p < 0.01$ ($p=0,000$)*

Erkek maruziyet grupları kendi içinde karşılaştırıldığında, sağ beyin EB konsantrasyonu 1800 MHz GSM modülasyon grubunda, diğer tüm gruplara oranla daha fazla bulunmuştur:

- Erkek 900 MHz CW / Erkek 1800 MHz CW: $p > 0.01$ ($p=0,825$)
- Erkek 900 MHz CW / Erkek 900 MHz GSM: $p > 0.01$ ($p=0,757$)
- Erkek 900 MHz CW / Erkek 1800 MHz GSM: $p < 0.01$ ($p=0,002$)
- Erkek 1800 MHz CW/ Erkek 900 MHz GSM: $p > 0.01$ ($p=0,895$)
- Erkek 1800 MHz CW/ Erkek 1800 MHz GSM: $p < 0.01$ ($p=0,001$)
- Erkek 900 MHz GSM / Erkek 1800 MHz GSM: $p < 0.01$ ($p=0,001$)

B.2. Erkek Sol Beyin

Şekil 30'da erkek sol beyin dokusu ortalama EB konsantrasyonları gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi sol beyin EB konsantrasyonu 900 MHz CW ve 1800 MHz GSM modülasyon gruplarında kontrole göre anlamlı ölçüde artmıştır (* $p < 0.01$). Diğer gruplarda da artış gözlenmektedir fakat anlamlı bulunmamıştır ($p > 0.01$).



Şekil 30: Erkeklerde Sol Beyin EB Miktarı

Şekildeki grupların p değerleri aşağıda verilmiştir:

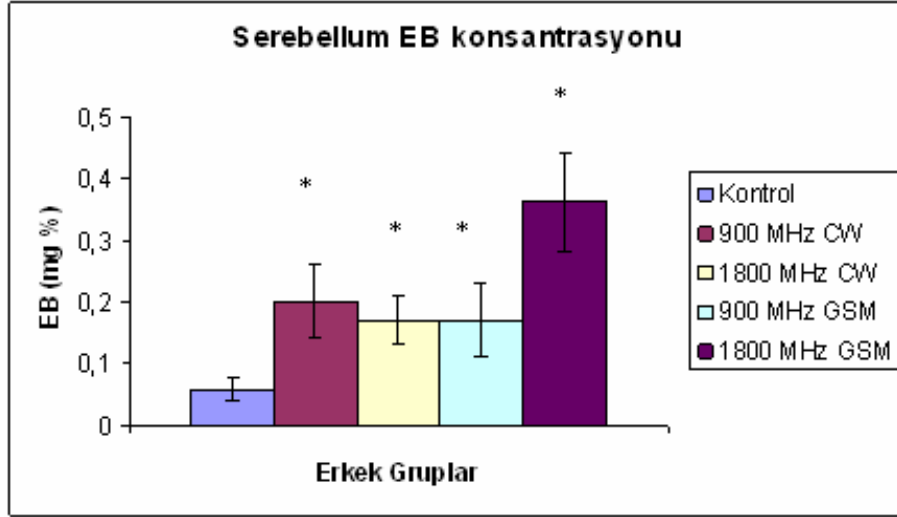
- **Erkek Kontrol / Erkek 900 MHz CW: $p < 0.01$ ($p=0,007$)***
- Erkek Kontrol / Erkek 1800 MHz CW: $p > 0.01$ ($p=0,2$)
- Erkek Kontrol / Erkek 900 MHz GSM: $p > 0.01$ ($p=0,402$)
- **Erkek Kontrol / Erkek 1800 MHz GSM: $p < 0.01$ ($p=0,001$)***

Uygulama grupları yine kendi aralarında istatistiksel farklı olup olmadıkları açısından incelenmiştir. 900 MHz CW grubu 900 MHz GSM grubuna göre daha çok EB konsantrasyonuna sahipken, 1800 MHz GSM maruziyet grubu EB içeriği diğer tüm gruplara oranla daha fazla bulunmuştur:

- Erkek 900 MHz CW / Erkek 1800 MHz CW: $p > 0.01$ ($p=0,402$)
- **Erkek 900 MHz CW / Erkek 900 MHz GSM: $p < 0.05$ ($p=0,024$)**
- **Erkek 900 MHz CW / Erkek 1800 MHz GSM: $p < 0.05$ ($p=0,018$)**
- Erkek 1800 MHz CW/ Erkek 900 MHz GSM: $p > 0.01$ ($p=0,508$)
- **Erkek 1800 MHz CW/ Erkek 1800 MHz GSM: $p < 0.05$ ($p=0,011$)**
- **Erkek 900 MHz GSM / Erkek 1800 MHz GSM: $p < 0.01$ ($p=0,001$)**

B.3. Erkek Serebellum

Şekil 31'de görüldüğü gibi tüm RF alanlara maruz bırakılan erkek gruplarında serebellumda ortalama EB konsantrasyonu kontrol grubuna göre anlamlı ölçüde yüksek bulunmuştur ($p < 0.01$).



Şekil 31: Erkeklerde Serebellum EB Miktarı

Şekildeki grupların p değerleri aşağıda verilmiştir:

- **Erkek Kontrol / Erkek 900 MHz CW: $p < 0.01$ ($p=0,000$)***
- **Erkek Kontrol / Erkek 1800 MHz CW: $p < 0.01$ ($p=0,000$)***
- **Erkek Kontrol / Erkek 900 MHz GSM: $p < 0.01$ ($p=0,000$)***
- **Erkek Kontrol / Erkek 1800 MHz GSM: $p < 0.01$ ($p=0,000$)***

Tüm maruziyet grupları serebellum geçirgenliği kontrole oranla istatistiksel anlamlı artmaktadır.

Uygulama grupları yine kendi aralarında istatistiksel farklı olup olmadıkları açısından incelenmiştir.

- Erkek 900 MHz CW / Erkek 1800 MHz CW: $p > 0.01$ ($p=0,251$)
- Erkek 900 MHz CW / Erkek 900 MHz GSM: $p > 0.01$ ($p=0,270$)
- **Erkek 900 MHz CW / Erkek 1800 MHz GSM: $p < 0.01$ ($p=0,001$)**
- Erkek 1800 MHz CW/ Erkek 900 MHz GSM: $p > 0.01$ ($p=0,825$)
- **Erkek 1800 MHz CW/ Erkek 1800 MHz GSM: $p < 0.01$ ($p=0,000$)**
- **Erkek 900 MHz GSM / Erkek 1800 MHz GSM: $p < 0.01$ ($p=0,000$)**

4.3. Grupların kendi içinde değerlendirilmesi

Tablo 23'de tüm gruplarda toplam beyin için birim dokuda hesaplanan ortalama Evans Blue miktarı değerleri ve standart sapmalar verilmektedir.

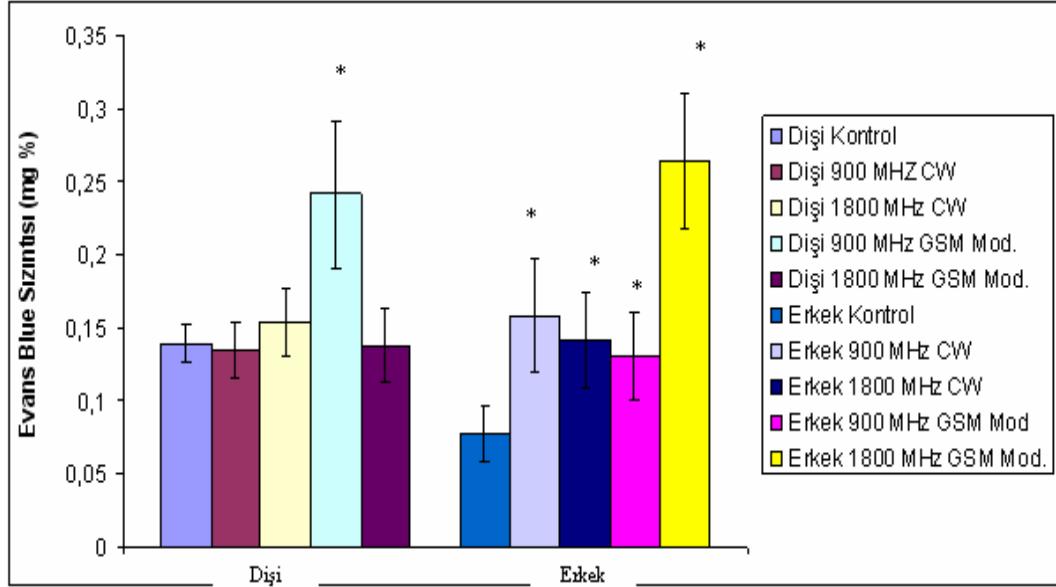
Tablo 23: Tüm Grupların Toplam Beyin EB Konsantrasyonu

Grup Numarası ve Adı	Toplam EB/doku ağırlığı
G-I: Dişi Kontrol	0,138884 ± 0,01
G-II: Erkek Kontrol	0,077 ± 0,02
G-III: Dişi 900 MHz CW	0,1342162 ± 0,02
G-IV: Dişi 1800 MHz CW	0,153884 ± 0,02
G-V: Erkek 900 MHz CW	0,15805 ± 0,04
G-VI: Erkek 1800 MHz CW	0,142 ± 0,03
G-VII: Dişi 900 MHz GSM	0,2415 ± 0,05
G-VIII: Dişi 1800 MHz GSM	0,1376 ± 0,03
G-IX: Erkek 900 MHz GSM	0,1305 ± 0,03
G-X: Erkek 1800 MHz GSM	0,2638 ± 0,05

4.4. Gruplar arası değerlendirmeler

Tablo 23'de toplam beyin Evans Blue konsantrasyonları verilen dişi ve erkek kontrol ve uygulama grupları verileri Mann Whitney U testi ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma 4 grupta yapılmıştır: Dişi ve Erkek Grupların Kendi İçinde Karşılaştırılması, Aynı Maruziyeti Alan Grupların Cinsiyete Göre Karşılaştırılması, Aynı Cinsiyet ve Aynı Frekanslarda Modülasyonların Karşılaştırılması, Aynı Cinsiyet ve Aynı Modülasyonlarda Frekans Karşılaştırılması. Grup karşılaştırmaları aşağıdaki Şekillerde de (**Şekil 32–35**) ayrıntılandırılmıştır.

4.4.1. Dişi ve Erkek Gruplarının Kendi içinde Karşılaştırılması (Toplam Beyin)



Şekil 32: Dişi ve Erkek Gruplarının Kendi içinde Karşılaştırılması (Toplam Beyin)

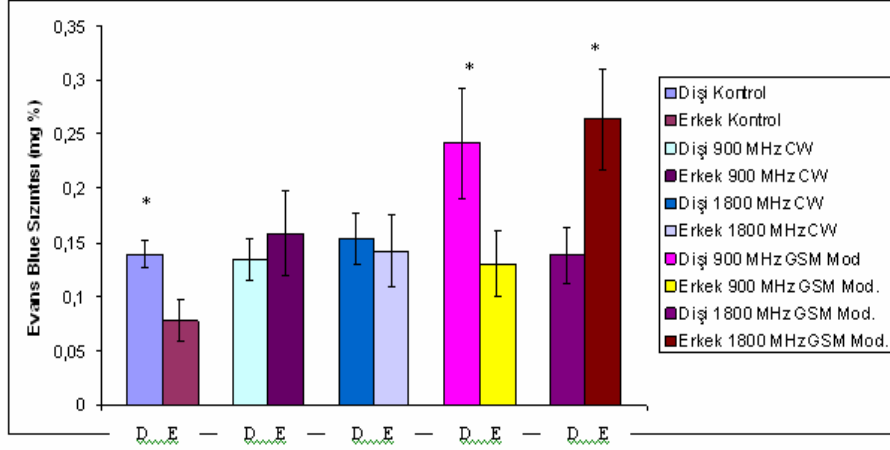
(*: Kontrol Grupları ile farklı grupları ifade etmektedir; $p < 0.01$)

Dişi Gruplarını incelediğimizde Beyin dokusuna sızan Evans Blue miktarının kontrol dişi grubuna oranla 900 MHz GSM Modülasyon grubunda istatistiksel arttığını görmekteyiz ($p < 0.01$). 900 MHz GSM modülasyon dişi grubunda kontrol grubu dışından daha fazla EB konsantrasyonu saptanmıştır. Diğer dişi RF alan uygulama grupları kontrol grubundan farklı bulunmamıştır ($p > 0.01$).

Erkek gruplarına bakıldığında tüm alan uygulama gruplarının Evans Blue sızıntısını istatistiksel artırdığı gözlenmektedir.

- Dişi Kontrol Grubu / Dişi 900 MHz CW Grubu: $p > 0.01$ ($p = 0,508$)
- Dişi Kontrol Grubu / Dişi 1800 MHz CW Grubu: $p > 0.01$ ($p = 0,102$)
- **Dişi Kontrol Grubu / Dişi 900 MHz GSM Mod. Grubu: $p < 0.01$ ($p = 0,001$)**
- Dişi Kontrol Grubu / Dişi 1800 MHz GSM Mod. Grubu: $p > 0.01$ ($p = 0,354$)
- **Erkek Kontrol Grubu / Erkek 900 MHz CW: $p < 0.01$ ($p = 0,000$)**
- **Erkek Kontrol Grubu / Erkek 1800 MHz CW: $p < 0.01$ ($p = 0,001$)**
- **Erkek Kontrol Grubu / Erkek 900 MHz GSM Mod: $p < 0.01$ ($p = 0,001$)**
- **Erkek Kontrol Grubu / Erkek 1800 MHz GSM Mod: $p < 0.01$ ($p = 0,000$)**

4.4.2. Aynı Maruziyeti Alan Grupların Cinsiyete Göre Karşılaştırılması (Toplam Beyin)



Şekil 33: Aynı Maruziyeti (Sham ya da RF) Alan Grupların Cinsiyetine Göre Karşılaştırılması (Toplam Beyin)
(D: Dişi, E: erkek, * istatistiksel anlamlı – p < 0,01)

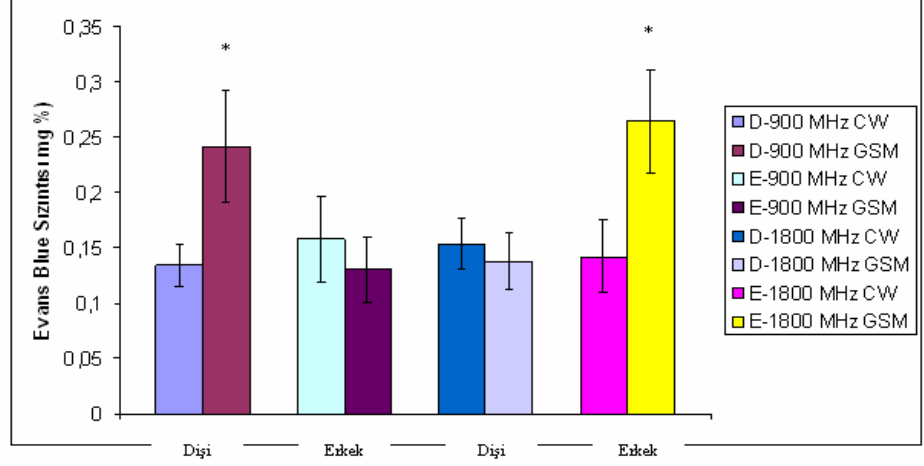
Şekil 33'de aynı alana maruz bırakılan erkek ve dişiler karşılaştırılmıştır. Kontrol Gruplarında dişi sıçanların kan beyin bariyeri geçirgenliğinin erkek sıçanlara oranla daha fazla olduğu gözlenmektedir. Bu fark istatistiksel anlamlı bulunmuştur (p < 0,01).

900 MHz CW ve 1800 MHz CW grupları incelendiğinde her iki cinsiyet arasında kan beyin bariyeri geçirgenliğinde önemli ölçüde fark gözlenmemiştir. RF alanlar CW olarak uygulandığında erkek kan beyin bariyeri geçirgenliğini, kan beyin bariyeri geçirgenliği daha yüksek olan dişilere yaklaştırmıştır.

900 MHz GSM Modülasyonlu alanlar ve 1800 MHz GSM Modülasyonlu alanlar incelendiğinde ise, her iki cinsiyetin farklı etkilendiği gözlenmiştir: 900 MHz GSM Modülasyon dişi sıçanlarda daha çok etkiliyken (p < 0,01), 1800 MHz GSM Modülasyonlu alanlar erkek sıçanlarda daha etkin çıkmıştır (p < 0,01).

- **Dişi Kontrol Grubu / Erkek Kontrol Grubu: p < 0,01 (p= 0,000)**
- Dişi 900 MHz CW Grubu / Erkek 900 MHz CW Grubu: p > 0,01 (p= 0,145)
- Dişi 1800 MHz CW Grubu / Erkek 1800 MHz CW Grubu: p > 0,01 (p= 0,402)
- **Dişi 900 MHz GSM Mod. Grubu / Erkek 900 MHz GSM Mod. Grubu: p < 0,01 (p= 0,001)**
- **Dişi 1800 MHz GSM Mod /Erkek 1800 MHz GSM Mod Grubu: p < 0,01 (p= 0,000)**

4.4.3. Aynı cinsiyet ve aynı frekanslarda modülasyonların karşılaştırılması (Toplam Beyin)



Şekil 34: Aynı Cinsiyet ve aynı frekans karşılaştırması (Toplam Beyin)

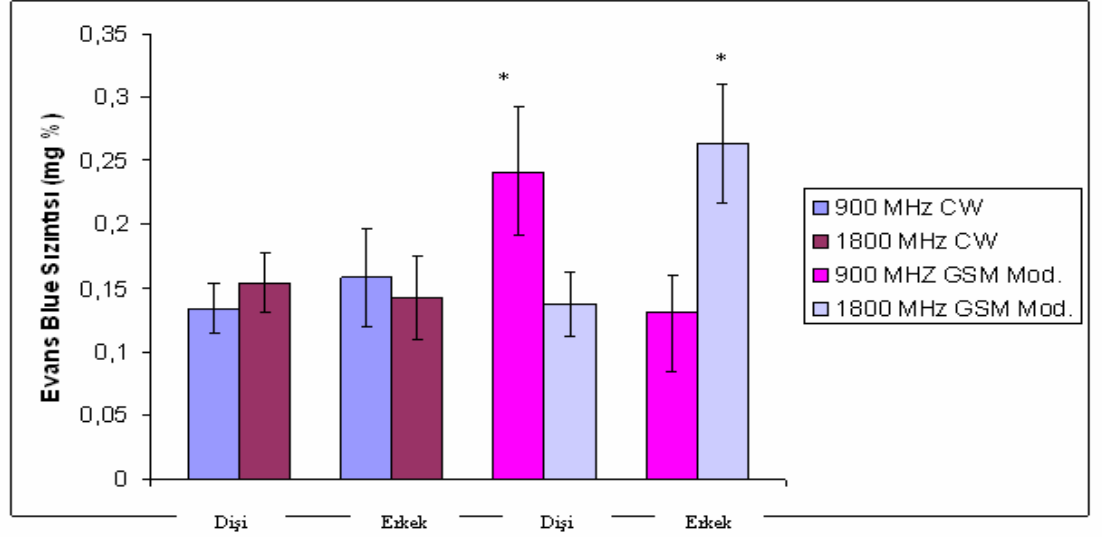
(* istatistiksel anlamlı; $p < 0.01$)

Şekil 34'de görüldüğü gibi 900 MHz GSM Modülasyonu dişilerde kan beyin bariyeri geçirgenliğinde 900 MHz CW alanlara göre daha fazla etki gösterirken ($p < 0.01$), Erkeklerde 1800 MHz GSM Modülasyon 1800 MHz CW alanlara göre daha çok etkilidir ($p < 0.01$).

Erkeklerde 900 MHz CW ve 900 MHz GSM Modülasyonlu alanların kan beyin bariyeri geçirgenliğine etkisi farklılık göstermemektedir. Dişilerde ise 1800 MHz CW ve 1800 MHz GSM modülasyonlu alanların kan beyin bariyeri geçirgenliğine etkileri benzerdir, iki alan uygulama etki anlamında farklı bulunmamıştır.

- **Dişi 900 MHz CW / Dişi 900 MHz GSM Mod: $p < 0.01$ ($p = 0,001$)**
- **Erkek 900 MHz CW / Erkek 900 MHz GSM Mod: $p > 0.01$ ($p = 0,102$)**
- **Dişi 1800 MHz CW / Dişi 1800 MHz GSM Mod: $p > 0.01$ ($p = 0,145$)**
- **Erkek 1800 MHz CW / Erkek 1800 MHz GSM Mod: $p < 0.01$ ($p = 0,000$)**

4.4.4. Aynı Cinsiyet ve Aynı Modülasyonlarda frekans karşılaştırması (Toplam Beyin)



Şekil 35: Aynı Cinsiyetlerde ve Aynı Modülasyonlarda frekans karşılaştırması (Toplam Beyin) (* istatistiksel anlamlı; $p < 0,01$)

Dişilerde ve erkeklerde 900 MHz CW ve 1800 MHz CW RF alan uygulamalarının kan beyin bariyeri geçirgenliğine etkileri benzerdir. Her iki RF alan uygulama arasında fark yoktur. Dişilerde 900 MHz GSM Modülasyon 1800 MHz GSM modülasyona göre daha fazla etkiliyken ($p < 0,01$), erkeklerde 1800 MHz GSM modülasyon 900 MHz GSM modülasyona göre daha etkili bulunmuştur ($p < 0,01$).

- Dişi 900 MHz CW/ Dişi 1800 MHz CW: $p > 0,01$ ($p = 0,085$)
- Erkek 900 MHz CW / Erkek 1800 MHz CW: $p > 0,01$ ($p = 0,508$)
- **Dişi 900 MHz GSM Mod. / Dişi 1800 MHz GSM Mod: $p < 0,01$ ($p = 0,001$)**
- **Erkek 900 MHz GSM Mod. / Erkek 1800 MHz GSM Mod: $p < 0,01$ ($p = 0,000$)**

5. TARTIŞMA

Çalışmada beş farklı maruziyet uygulaması yapılan dişi ve erkek sıçanlarda sağ beyin, sol beyin, serebellum ve toplam beyin kan beyin bariyeri geçirgenliği spektrofotometrik olarak incelenmiştir. Maruziyet uygulamaları sham alan, 900 MHz CW, 1800 MHz CW, 900 MHz GSM modülasyonlu ve 1800 MHz GSM modülasyonlu alan uygulamaları olarak belirlenmiştir. Kontrol gruplarına sham alan uygulaması yapılmıştır. Sıçanlara sham ya da RF alan uygulamaları öncesinde anestezi altında kuyruk venlerinden Evans Blue vererek serum albuminine bağlanan Evans Blue boyasının beyin dokusunda ne kadar tutulduğu spektrofotometrik olarak tayin edilmiştir. Çalışmada ısasal etkinin olmayacağı limit değerden yaklaşık 10 katı düşük doz RFR düzeyi – ortalama 4.84 V/m – ile non-termal koşullarda ve yakın alan maruziyetinde gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada 900 MHz GSM modülasyonlu RF alanların dişi sıçanlarda sağ beyin, sol beyin, serebellum ve toplam beyin kan beyin bariyeri geçirgenliğini artırdığı gözlemlenmiştir. Erkek RF alan uygulama gruplarında tüm gruplarda sağ beyin, serebellum ve toplam beyin kan beyin bariyeri geçirgenliği istatistiksel önemli ölçüde artmıştır. Sol beyin kan beyin bariyeri geçirgenliği ise 900 MHz CW ve 1800 MHz GSM modülasyonlu gruplarda istatistiksel anlamlı artmıştır. Genel olarak bakıldığında GSM modülasyonunun dişilerde ve erkeklerde etkiyi önemli ölçüde artırdığı saptanmıştır. Bu sonuçlar bilim dünyasında birçok çalışma ile tartışılmış ve halen tartışılan CW / GSM (puls) modülasyon etkilerinin farklılığı ve pulslu alanların daha etkin olduğu savını desteklemiş olmaktadır^{62,68,120}.

Kan beyin bariyeri – RFR ilişkisini inceleyen ilk rapor 1973 yılında Ukrayna'da yapılmıştır⁹⁰. Sonrasında birçok araştırmacı kan beyin bariyeri çalışmaları gerçekleştirmiş ve etki bulan bilim insanları sonuçlarını non-termal ya da termal değişimlere bağlamışlardır. Non-termal değişimlerden dolayı kan beyin bariyeri geçirgenliğinin arttığını tanımlayan bilim insanları değişimin ısı artışı olmayacak düzeyde RF alan uygulamalarında gerçekleştiğini vurgulamışlardır. Kan beyin bariyerindeki değişimlerin termal etkiye bağlı olduğunu söyleyen çalışmacılara göre ise bariyer yapısı ısı artışı ile değişmektedir ve bariyerin yıkılımı için mutlaka ısı artışı gerekmektedir.

Son yıllarda kan beyin bariyeri – RFR – dark nöronlar (ölü sinir hücreleri) gibi konularda ard arda birçok çalışmaya imza atan İsveç Lund Üniversitesi'nden Salford ve ark.'nın bir çalışmasında 900 MHz, 2 mW/kg, 20 mW/kg ve 200 mW/kg SAR dozları kontrol gruplarına göre maruz gruplarda sinir hücrelerinde hasarlara neden olmuştur. Non-termal koşullarda, ICNIRP standardı olan 2 W/kg'dan düşük alan değerlerinin 2 saat uygulanması ile yapılan bu çalışmada, maruziyetten 50 gün sonra

öldürülen hayvanlarda bile beyin kesitlerinde albümin sızıntısı ve nöral hasar (dark nöron) gözlenmiştir. Araştırmada RF alan dozu ile dark nöronlar arasında pozitif korrelasyon bulunmuştur. SAR değeri 2 mW/kg'dan 200 W/kg'a doğru arttıkça dark nöron sayısı da artmaktadır⁹¹.

Salford grubunun başka bir çalışmasında 915 MHz, 8 - 16 – 50 – 200 Hz pulslu ve CW RF alanlara, Statik Manyetik Alanlara, Düşük Frekanslı Pulslu Manyetik Alanlara ve MRI ünitesi alanlarına maruz bırakılan dişi ve erkek Sprague Dawley sıçanlarında tüm alan uygulama gruplarında EB sızıntısı ve dolayısı ile kan beyin bariyeri geçirgenliğinde artış gözlenmiştir⁹⁵.

1997 yılında Fritze ve ark. tarafından yapılan bir çalışmada 900 MHz, 217 Hz periyotlu ve ortalama 0,3 – 7,5 W/kg'lık SAR değerlerine sahip alanların uygulandığı Wistar sıçanlarında beyin dokuları immünohistokimyasal olarak incelenmiştir. SAR değerinin 7,5 W/kg olduğu durumda gözlenen etki diğer SAR değerleri gruplarından ve kontrol grubundan farklı bulunmuştur. Bu çalışmaya göre RF alanların ısı etkisi nedeniyle kan beyin bariyeri geçirgenliği artmaktadır⁶⁹.

Yağda eriyebilen moleküllere, küçük yapıli aminoasitlere ve glikoz gibi beyin dokusunun sürekliliği için gerekli maddelere kan beyin bariyeri geçirgenliği daha fazladır. Farklı moleköl ağırlıklarına sahip mannitol, inülin ve dekstranın incelendiği bir çalışmada Oscar ve Hawkins 1300 MHz, CW (0.01 mW/cm² - 4 mW/cm²) ve pulslu (2 mW/cm² - 0,3 mW/cm²) alanların 20 dakika sıçanlara uygulanması sonucunda mannitol ve inulin'in kan beyin bariyerinden geçişini arttırdığını, dekstran geçirgenliğinde ise değişime neden olmadığını göstermişlerdir. Çalışmada bu sonucun dekstranın mannitol ve inulin'e göre daha fazla moleköl ağırlığına sahip olmasından kaynaklı olduğu belirtilmiştir⁷⁴.

Salford ve ark.'nın 1994'de yayınladığı ve 915 MHz frekanslı RF alanların, 4 farklı puls şeklinde (8 Hz – 0.57 ms, 16 Hz–0.57 ms, 50 Hz – 4 ms, 200 Hz – 0.57 ms) ve CW olarak Fischer 344 sıçanlarına uygulandığı çalışmada, RF maruziyeti alan hayvanlarda albümin sızıntısı daha yüksek bulunmuştur. İmmünohistokimyasal olarak yapılan incelemelerde fibrinojene de bakılmış ve beyin kesitlerinde fibrinojene rastlanmamıştır. Albümin – Fibrinojen sızıntı farklılığının moleküllerin farklı moleköl ağırlıklarından kaynaklı olduğu açıklanmıştır. CW ve pulslu alanların karşılaştırılması sonrasında bu iki grup arasında farklılık gözlenmemiştir⁹².

Aubineau ve Töre'nin 2003 yılında yaptığı bir çalışmada 900 MHz, 2 – 1- 0,5 – 0,12 W/kg'a 2 saat ve 2 W/kg'a 40 dakika ve 20 dakika maruz bırakılan sıçanlar kontrol grubu ile karşılaştırılmalı incelenmiştir. Isı artışına neden olmayacak düzeyde düşük SAR değerli RF dalgalarının

beyin dokusunda protein sızıntısına neden olabildiği bulgulanmıştır⁸⁷.

Düşük frekanslı elektromanyetik alanlarla kan beyin bariyeri geçirgenliğinin ilişkisinin incelendiği çalışma sayısı oldukça azdır. Öztaş ve ark.'nın yaptığı 2004 çalışmasında 50 Hz, 5 mT (50 G) manyetik alanların diyabet ve diyabet olmayan Wistar sıçanlarına uygulanması sonrasında diyabetik hayvanlara uygulanan manyetik alanın kan beyin bariyeri geçirgenliğine etkisi gözlenmiştir. Sadece manyetik alan maruziyetindeki deneklerde ya da sadece diyabetik deneklerde etki gözlenmemiştir⁹³.

Hücre kültürü ile yapılan kan beyin bariyeri çalışmaları sayısı yine oldukça azdır. 1,8 GHz, 217 Hz periyotlu ve 0,577 ms kalınlıklı pulslu alanlara maruz bırakılan in-vitro hücre modelinde ¹⁴C sucrose'un modelden geçisi kontrol hücre kültürlerine göre farklı bulunmuştur⁸⁸. 2005'de yapılan başka bir çalışmada aynı frekans kullanılmıştır ve SAR'ın 0,3 W/kg olduğu çalışmada sucrose geçişi gözlenmemiştir⁸⁹. 2005'de in-vitro olarak yapılan bir kan beyin bariyeri çalışmasında yine 1800 MHz 3,4–34 V/m aralığında alan değerleri ile UMTS sistemlerin simüle edilmiş ve herhangi bir etki gözlenmemiştir²⁰⁴.

ICNIRP genel halk standardı 2 – 300 GHz için 10 W/m² (1 mW/cm²) olarak tanımlanmıştır. Bu limit 400 – 2000 MHz aralığı için $f / 200$ W/m²'dir. ICNIRP limitlerinden daha önceki yıllarda RF limiti olarak birçok standartlar dizisinde tanımlanmış 10 mW/cm² değerinde yapılmış çalışmalarda da kan beyin bariyerinin geçirgenliği tartışılmıştır. Bu çalışmalardan birinde 2.45 GHz, 10 mW/cm² pulslu alanlar (10 µsn pulslar, 100 puls/saniye) 30 – 120 dakika uygulandığında Rhodamine – Ferritin (Rh-F) kompleksinin serebral korteks kapiller endotel hücrelerinden akışı artmıştır⁷⁰.

Oscar ve ark.'nın 1981'de yaptığı bir çalışmada limiti aşan dozda alan değerleri kullanılmıştır. 2.8 GHz, 15 mW/cm² pulslu alanlar 5, 15, 30, 45 veya 60 dakika, 500 puls / saniye ve 2 µsn puls kalınlıklarında sıçanlara uygulandığında mikrodalga maruziyetinin süresi arttıkça kontrol grubuna göre bölgesel serebral kan akımını artırdığı gözlenmiştir⁷¹.

Etkinin ısıl olup olmadığı konusunda yapılan Lin ve Lin 1982 çalışmasında 2450 MHz, 0,5 – 2600 mW/cm²'lik (0,04 – 200 mW/g) mikrodalgaların normalde kan beyin bariyerinin geçirgen olduğu bölgeler haricinde diğer bölgelerde etkili olmadığı, alan değerinin 3000 mW/cm²'ye (240 mW/g) çıkarılması durumunda beyin sıcaklığının 43 °C'ye kadar çıkmış olmasından kaynaklı olarak Evans Blue sızıntısının korteks, hipokampus, ortabeyin gibi bölgelerde mevcut olduğu açıklanmıştır⁶⁷.

Kan beyin bariyeri geçirgenliği artışının RF alanın ısı etkisine dayandırıldığı başka bir çalışmada Moriyama ve ark. 1991 yılında 2450

MHz, CW, 3 – 4 Watt'lık alanı Sprague Dawley sıçanlarına 30 ya da 60 dakika uygulamıştır. Sıçanların kafatası açılmış ve üzerine anten yerleştirilerek uygulama yapılmıştır. HRP ile yapılan kesitsel incelemelerde kan beyin bariyeri açılımının tamamen termal etkiye bağlı olduğu açıklanmıştır. 60 dakika mikrodalgaya maruz bırakılan sıçanlarda beyin dokusu sıcaklığının 42,5 °C'ye, 30 dakika da ise 44,3 °C'ye çıktığı gözlenmiştir. Soğutma sistemli olarak yapılan irdelemede bu sistemin kullanıldığı hayvanlarda HRP sızıntısı çok daha az bulunmuştur⁷³.

2450 MHz, 20 ve 65 mW/cm² CW alan şiddetlerine 30 – 90 – 180 dakika maruz bırakılan sıçanlarla, 90 dakika dış sıcaklığa maruz bırakılanlar ve 10 M üre grubu ile yapılan çalışmada 65 mW/cm² alan şiddetine 30 ve 90 dakika maruz gruplar, dış sıcaklık grubu ve üre grubu kontrol grubundan farklı floresan konsantrasyonuna sahip bulunmuşlardır. Özellikle kolon sıcaklığı 41 °C'den yüksek olan sıçanlarda farklılıklar dikkat çekici bulunmuştur⁷⁶. Yine aynı grup tarafından yapılan devam çalışmasında aynı alan düzeyleri ve sürelerde uygulanan RF alanlara ve dış sıcaklığa (42 ± 2 °C) maruz bırakılan sıçanlarda HRP ile yapılan incelemede 65 mW/cm²'ye 30 ve 90 dakika maruz bırakılan sıçanların beyin kesitleri ile dış sıcaklığa maruz bırakılan sıçanların beyin kesitlerinde kontrol grubundan farklı HRP gözlenmiştir⁷⁷. Bu çalışmaya göre RF alanlar ve çevre ısı artışının uygulandığı gruplar arasında fark yoktur; RF alanlar ısı artışına neden olursa kan beyin bariyeri geçirgenliğini de artırmaktadırlar.

Ethanol (etil alkol) gibi bazı maddelerin kan beyin bariyeri geçirgenliğini azalttığına dair çalışmalar vardır, azalmanın bu maddelerin beyin dokusunda soğumaya neden olması kaynaklı olduğu tartışılmaktadır. Ethanolun intravenöz olarak mikrodalga maruziyetinden önce verilmesinin beyin dokusunda soğumaya neden olduğu ve bununda kan beyin bariyerindeki artışı azalttığı ya da yok ettiği tanımlanmaktadır⁹⁰. Bu çalışmada bütün gruplarda aynı dozda anestetik ve EB solüsyonları kullanılmıştır, bu nedenle gruplar arasında ve gruplar içinde oluşabilecek değişim olasılıkları yok edilmiştir.

Radyo Frekans Radyasyonun kan beyin bariyerine etkisi hipertansiyonun kan beyin bariyerine etkisi gibi geri dönüşümlü olabilir mi? Bu etki maruziyet sonrasında geçen süre ile ilişkili olarak ortadan kalkabilir mi? Shivers ve ark. 1987 yılında yaptıkları çalışmada 23,2 dakika klinik MRI sistemine (0.15 T – 1500 G) maruz bırakılan Sprague-Dawley sıçanlarında kan beyin bariyeri geçirgenliğinin HRP'a karşı geçici olarak değiştiğini saptamıştır⁸⁰. Lin ve ark.'nın 1998'de ısı etkisine dayalı olarak yaptıkları çalışmada 2.45 GHz, 165 W/kg ve daha yüksek SAR değerlerinde RF alanlar Wistar sıçanlarında beyin ısı artışına neden olmuştur ve beyin tümörlerinde tedavi amaçlı kullanılabilecek fakat yağda çözünmemesi nedeni ile bariyerden geçemeyen ve kullanılamayan

Methotrexate (MTX) ısı değişiminin olduğu maruz hayvanlarda istatistiksel farklı (20 kat fazla) bulunmuştur. Etki maruziyetten 45 dakika sonra ortadan kalkmıştır. Lin'in bu çalışmasına göre RF alanların kan beyin bariyeri geçirgenliğine etkisi geri dönüşümlüdür⁸⁵. Başka bir çalışmada 2450 MHz, CW, 10 mW/cm² alanlar Chinese Hamster'lere 2 saat uygulandıında HRP'ın beyin dokusuna geçişinin olduğu, bu geçişin alan maruziyetinden 1 saat sonra azaldığı ve 2 saat sonra tamamı ile ortadan kalktığı bulgulanmıştır⁷².

Yukarıda bir örneğinin Shivers ve ark.'nın 1987 çalışması ile verildiği MRI sistemleri ile yapılan birçok kan beyin bariyeri çalışması mevcuttur. Prato ve ark. tarafından yapılan bir çalışmada MRI maruziyetinin kan beyin bariyeri geçirgenliğine etkisi bulgulanmıştır⁸¹.

Çalışmada 20 dakika gibi kısa bir uygulama süresinin sonucunda maruziyet gruplarının büyük çoğunluğunda RF alanların kan beyin bariyeri geçirgenliğine etkili olduğu gözlemlendi. RF alanların uzun süreli maruziyette kan beyin bariyeri geçirgenliğine etkisinin incelendiği bir çalışmada Finnie ve Blumbergs GSM radyasyona 2 yıl gibi uzun süreli maruziyet durumunda kan beyin bariyeri geçirgenliğinin nasıl değiştiğini albümin ile ışık mikroskobunda incelemişlerdir; çalışma sonucunda geçirgenliğin 60 dakika gibi kısa süreli uygulamada söz konusu olmadığını fakat 2 yılda minimal seviyelerde kan beyin bariyeri geçirgenliğinde değişimlerin olduğunu gözlemişlerdir⁸⁶.

Kan beyin bariyeri geçirgenliği artışı ile insanlarda oldukça yaygınlaşan baş ağrısı şikâyetleri arasında bir ilişki var mıdır? Bordeaux Üniversitesi Ulusal Bilim Araştırma Merkezi (University of Bordeaux, National Center for Scientific Research) direktörü Dr. Pierre Aubineau tarafından GSM sinyalleri uygulanarak sıçanlarla yapılan çalışmada sıçanların duramater yapılarının değiştiği, bunun cep telefonu kullanan bireylerin baş ağrısı şikâyetleri ile ilişkili olabileceğini açıklamıştır⁸². Frey'de 1998'de yaptığı çalışmada cep telefonu radyasyonu – kan beyin bariyeri geçirgenliği – başağrısı arasında ilişki olabileceğini öne sürmektedir⁶².

Beyin yapısının ve fonksiyonlarının cinsiyete bağlı değişiklikler gösterdiği, son yıllarda yoğun araştırmalara konu olmuştur. Çalışmamızda dişi kontrol grubu kan beyin bariyeri geçirgenliğinin erkek kontrol grubuna göre farklı olduğu gözlemlenmiştir. Dişi ve erkek kan beyin bariyeri geçirgenliği, şeker metabolizması, beyin kan akımına dair çalışmalarda her iki cinsiyetin farklılıkları olduğu, dişilerde beyin kan akımının, glikoz kullanımının erkeklerden daha fazla olduğu tartışılmaktadır^{193,205-206}. Serotonin kadın ve erkek beyninde farklı dağılımı olduğu gösterilmiştir¹⁹³. GABA-T aktivitesininse erkeklerin beyninde dişilerin beyninden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir¹⁹³. Fizyolojik,

yapısal ve biyokimyasal yönden dişi ve erkek beyinleri arasında farklılıklar bulgulanmıştır.

Kan beyin bariyerinin yıkılım mekanizması halen tartışılmaktadır. Yukarıda anlatıldığı gibi bazı araştırmacılara göre bu yıkılma ısı artışı nedeniyle olmaktadır^{67,73,76-77,85,90}. Bazı araştırmacılar endotel hücrelerde pinositotik aktivite artışı ile yıkımın gerçekleştiğini belirtmektedir^{70,80}. Bazı araştırmacılar RFR'a maruziyet sonrasında heat shock protein – hsp miktarının arttığını, bunun oksidatif strese ve bu stresinde beyin tümörleri veya kan beyin bariyeri yıkımına neden olduğunu tanımlamaktadırlar²⁰⁷⁻²⁰⁸. İlhan ve ark.'nın 2004 yılında yaptıkları çalışmada sıçan beyinde 900 MHz frekanslı cep telefonu maruziyetinin oksidatif hasara neden olduğu ve bu hasarın Ginkgo Biloba – Gb ile engellenebildiği raporlanmıştır²¹⁰. Eğer kan beyin bariyeri yıkımı oksidatif stres kaynaklı ise Gb ya da başka anti oksidanlarla bu yıkımı engellemek mümkün olabilir mi? Başka bir olası mekanizmada ise beyin dokusunda Ornithine De Carboxylase - ODC artışına bağlı olarak tight junction'ların açıldığı öne sürülmektedir²⁰⁹. Kan beyin bariyeri geçirgenliğinin değişimini açıklayan net bir yaklaşım henüz ortaya konulmamıştır.

Tüm erkek RF alan uygulama gruplarında kan beyin bariyeri geçirgenliği sağ beyin, serebellum ve toplam beyinde istatistiksel anlamlı artmıştır. Dişi sıçanlarda ise 900 MHz GSM modülasyon RF maruziyetinin sağ beyin, sol beyin, serebellum ve toplam beyin kan beyin bariyeri geçirgenliğini istatistiksel anlamlı artırdığı saptanmıştır. Kan beyin bariyeri geçirgenliğinde en büyük etkiye GSM modülasyonlu RF alanlara maruziyetin neden olduğu gözlenmiştir. 900 MHz GSM modülasyonu ve 1800 MHz GSM modülasyonu etkisi cinsiyete göre farklılık göstermiştir. RF alanlardan erkek sıçanların dişilerden daha çok etkilendiği saptanmıştır. Serebellum geçirgenliği RF'e maruz sıçanlarda istatistiksel anlamlı artmıştır. Bu artış erkek sıçanlarda tüm RF alan maruziyeti için geçerli iken, dişilerde yalnızca 900 MHz GSM modülasyon maruziyeti ile gerçekleşmiştir. Tüm dokular gibi beyin dokusunun da iletkenlik gibi elektriksel özelliklerinin frekansa bağlı olarak değişimi ve dişi ve erkek beyinin yapısal ve fonksiyonel farklılıkları sonuçlarımızda etkili olmuş olabilir. Dişi ve erkek sıçan beyinleri frekanslara ve modülasyonlara farklı tepkiler vermişlerdir. Bu farklılık uzun süreli maruziyet durumunda sürebilir mi araştırılabilir.

Sonuçlarımız bugüne kadar yapılmış olan ve RF alanlarla sıcaklık artışına neden olmaksızın yalnızca mikrodalga etkisi ile kan beyin bariyeri geçirgenliğinin etkilenebildiğini bulgulayan diğer çalışmalara güç kazandırmaktadır. Bu etkinin yalnızca 20 dakika maruziyet ile gerçekleşmesi cep telefonunun yetişkin ve çocuklarda kullanımına dikkat çekmek ve önlem alınması için dünyanın önde gelen bilim insanlarınca kaleme alınan Benevento Bildirgesinde¹ vurgulanan “daha çok araştırma

yapılması” uyarısını doğrulamaktadır. Benevento Bildirgesinde RF alanların olası sağlık etkilerinden geleceğin yetişkinleri olan çocukları ve gençleri korumak için çocukların ve gençlerin kablosuz telefon ve cep telefonu kullanımını mümkün olduğunca kısıtlamak gerekliliği vurgulanmaktadır.

RF alanların çalışıldığı literatürde sağ beyin, sol beyin ve serebellumun ayrı ayrı çalışıldığı bir araştırma henüz mevcut değildir. Çalışmamız RFR’ın sağ beyin, sol beyin ve serebellumda kan beyin bariyerini nasıl etkilendiği konusunda bir ilki oluşturmaktadır. Bu açıdan bundan sonra yapılacak araştırmalara referans oluşturabilecektir. Bu etkinin geri dönüşümlü olup olmadığı ve uzun süreli maruziyet çalışmaları ise devam çalışmaları olarak planlanmaktadır.

6. SONUÇ

Cep telefonu ve baz istasyonlarının çalışma frekansı olarak tanımlanan 900 MHz ve 1800 MHz, CW ve GSM modülasyonlu RF alanların dişi ve erkek sıçanların kan beyin bariyeri geçirgenliğini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Çalışmada beş farklı maruziyet uygulaması yapılan dişi ve erkek sıçanlarda sağ beyin, sol beyin, serebellum ve toplam beyin kan beyin bariyeri geçirgenliği spektrofotometrik olarak incelenmiştir. Maruziyet uygulamaları sham alan, 900 MHz CW, 1800 MHz CW, 900 MHz GSM modülasyonlu ve 1800 MHz GSM modülasyonlu alan uygulamaları olarak belirlenmiştir. Sıçanlara sham ya da RF alan uygulamaları öncesinde anestezi altında kuyruk venlerinden Evans Blue verilmiştir. Serum albuminine bağlanan Evans Blue boyasının beyin dokusunda ne kadar tutulduğu incelenmiştir. Çalışmada ısıl etkinin olmayacağı limit değerden yaklaşık 10 katı düşük doz RFR düzeyi – ortalama 4.84 V/m - iki ayrı frekansta ve iki RF düzeninde (CW ve GSM modülasyonlu), her iki cins için uygulama düzeyi olarak belirlenmiştir. Çalışma non-termal koşullarda ve yakın alan maruziyetinde gerçekleştirilmiştir.

Dişi 900 MHz GSM modülasyon grubunda sağ beyin, sol beyin, serebellum ve toplam beyin kan beyin bariyeri geçirgenliğinin istatistiksel anlamlı arttığı saptanmıştır.

Tüm erkek RF alan uygulama gruplarında kan beyin bariyeri geçirgenliği sağ beyin, serebellum ve toplam beyinde anlamlı artmıştır.

Gerek toplam beyin, gerekse sağ beyin, sol beyin ve serebellum EB miktarlarına bakıldığında kan beyin bariyeri geçirgenliğinde en büyük etkiye GSM modülasyonlu RF alanlara maruziyetin neden olduğu gözlenmiştir. 900 MHz GSM modülasyonu ve 1800 MHz GSM modülasyonu cinsiyetlere göre farklı etkilerde bulunmaktadır. Bunun nedenleri beyin dokusunun her iki frekansa farklı şekilde iletkenlik göstermesi, cinsiyet kaynaklı farklılıklar ve uygulanan alanların yapılarının farklılıkları kaynaklı olabilir.

900 MHz ve 1800 MHz RFR, hem CW hem de GSM modülasyonlu olarak uygulandığında erkek sıçanlarda kan beyin bariyeri geçirgenliğini değiştirmektedir. Dişi sıçanlarda ise etki yalnızca 900 MHz GSM modülasyonlu RF alan uygulaması ile gözlenmiştir.

RF alanların çalışıldığı literatürde sağ beyin, sol beyin ve serebellumun ayrı ayrı çalışıldığı bir araştırma henüz mevcut değildir. Çalışmamız bundan sonra yapılacak bu tür çalışmalara referans oluşturması açısından önemlidir.

7. ÖZET

Cep telefonlarının ve baz istasyonlarının sayılarının hızla artması ile son yıllarda giderek artan oranda non-iyonizan Radyo Frekans Radyasyona (RFR) maruz kalmaktayız. Bilim dünyası 30 yıldan uzun bir süredir RFR'un değişik biyolojik etkileri ile ilgili araştırmalar yapmaktadır ve RFR'un Kan Beyin Bariyeri (KBB) geçirgenliğine etkisi üzerine çalışmalar önemli bir araştırma alanını oluşturmaktadır. Günümüze kadar yapılan çalışmaların bazılarında KBB - RFR arasında herhangi bir ilişki gözlenemezken, bazı çalışmalarda cep telefonu ve baz istasyonu sistemlerinde kullanılan alan benzeri alanlara maruziyetin KBB geçirgenliğini arttırdığı bildirilmiştir. Bu nedenlerle çalışmamızda ülkemizde cep telefonlarında ve baz istasyonu sistemlerinde kullanılan 900 MHz ve 1800 MHz frekanslarının CW – sürekli dalga ve GSM modülasyonlu uygulamalarının dişi ve erkek sıçanlarda kan beyin bariyeri geçirgenliğini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Maruziyet periyodu olarak bir kişinin günde ortalama konuşma süresi olarak tahmin edilen 20 dakika seçilmiştir ve bu süre RFR uygulama süresi ya da kontrol sıçanlarına sham alan uygulama süresi olarak tanımlanmıştır. RFR gruplarına ortalama 4.84 V/m RF alanlar uygulanmıştır. Sıçanlar anestezisi altında, horn antenin 10 cm önünde 20 dakika sham ve RF alan maruziyetine bırakılmışlardır.

Her iki cinsiyetten toplam 90 wistar albino sıçanının kullanıldığı çalışma 10 farklı grupta yapılmıştır. KBB geçirgenliği anestezisi altına alınmış sıçanlara kuyruk veninden intravenöz - i.v. enjeksiyonla verilen ve serum albüminine bağlandığı bilinen Evans Blue - EB boyası ile incelenmiştir. EB enjeksiyonundan hemen sonra sıçanlar 20 dakika RF alana maruz bırakılmış ve maruziyet sonunda kardiyak perfüzyon ile dekapite edilerek beyin dokuları çıkarılmıştır. Dokularda EB miktarı 620 nm'de spektrofotometrik olarak saptanmıştır.

Tüm erkek RF maruziyet sıçanlarında kan beyin bariyeri geçirgenliği sağ beyin, serebellum ve toplam beyinde istatistiksel anlamlı artmıştır. Dişi sıçanlarda ise 900 MHz GSM modülasyon RF maruziyetinin sağ beyin, sol beyin, serebellum ve toplam beyin kan beyin bariyeri geçirgenliğini istatistiksel anlamlı artırdığı saptanmıştır. Kan beyin bariyeri geçirgenliğinde en büyük etkiye GSM modülasyonlu RF alanlara maruziyetin neden olduğu gözlenmiştir. 900 MHz GSM modülasyonu ve 1800 MHz GSM modülasyonu etkisi cinsiyete göre farklılık göstermiştir. RF alanlardan erkek sıçanların dişilerden daha çok etkilendiği saptanmıştır. Serebellum geçirgenliği RF'e maruz sıçanlarda istatistiksel anlamlı artmıştır. Bu artış erkek sıçanlarda tüm RF alan maruziyeti için geçerli iken, dişilerde yalnızca 900 MHz GSM modülasyon maruziyeti ile gerçekleşmiştir. Tüm dokular gibi beyin dokusunun da iletkenlik gibi elektriksel özelliklerinin frekansa bağlı olarak değişimi ve dişi ve erkek beyninin yapısal ve fonksiyonel farklılıkları sonuçlarımızda etkili olmuş

olabilir. Dişi ve erkek sıçan beyinleri frekanslara ve modülasyonlara farklı tepkiler vermişlerdir. Bu farklılık uzun süreli maruziyet durumunda sürebilir mi araştırılabilir. Çalışma sağ beyin, sol beyin ve serebellum kan beyin bariyeri geçirgenliklerinin RFR'a verdiği cevabın ayrı ayrı çalışıldığı ilk araştırma özelliğini taşımaktadır.

Anahtar kelimeler: Radyo Frekans Radyasyon, Kan Beyin Bariyeri, Evans Blue

8. SUMMARY

Increasing use of mobile phones and associated base stations are becoming a widespread source of Radio Frequency Radiation (RFR) which is the part of non-ionizing radiation. Scientific world has focused on the biological effects of RFR for more than 30 years and one of the most important biological effects of RFR is the increase in the permeability of blood brain barrier (BBB). Although, some researchers had found no change, many others found increase in the permeability of BBB of rats after RFR exposure. To this end we have aimed to investigate the effects of 900 MHz and 1800 MHz CW – continuous wave – and GSM modulated RFR on the permeability of BBB of female and male rats. Exposure period was 20 minutes. In RF exposed groups, animals are exposed to about 4.84 V/m E field simulating non-thermal exposure levels. Rats were exposed to sham or RF fields in near field condition.

Totally ninety wistar female and male albino rats were exposed to RFR in the study with 10 different groups. The permeability of BBB was determined by Evans Blue (EB) dye. It was given by i.v. injection via tail vein under anesthesia. EB had been used as a tracer for serum albumin. EB solution was given to all groups prior to the RFR or sham exposure periods. After the exposure, cardiac perfusion was performed and then brains were taken out. Samples were analyzed for EB extravasation by spectrophotometry in 620 nm.

RFR increased the permeability of BBB of right brain, left brain, cerebellum and total brain in all male exposed rats. For female rats; increase in the BBB permeability in right brain, left brain, cerebellum and total brain was found significant under 900 MHz GSM modulated RFR exposure. The effects of 900 MHz and 1800 MHz GSM modulated RFR were different in male and female rats. The most effective exposure for male rats was 1800 MHz GSM modulated RFR, whereas 900 MHz GSM modulated RFR was found more effective on female rats. The highest increases in the permeability were observed in the GSM modulated fields. BBB breakdown was higher in male exposed rats than the females. Increase in BBB permeability in cerebellum has found statistically significant in all male exposed animals and 900 MHz GSM modulated RFR exposed females. Better understanding of mechanisms underlying the interaction of RFR and the central nervous system would help to explain the possible biological effects including BBB. This study is supposed to be a reference study for the future studies that will investigate permeability of blood brain barrier separately in the right brain, left brain and cerebellum.

Keywords: Radio Frequency Radiation, Blood Brain Barrier, Evans Blue

9. KAYNAKLAR

1. Uluslararası Elektromanyetik Güvenlik Komisyonu (ICEMS- International Commission FOR Electro Magnetic Safety) 2006 Benevento Rezolüsyonu (Benevento Resolution) [online]. 2006 [cited 2008 Feb 8] Available from: URL: http://www.icems.eu/docs/Resolution_JUL_2007.pdf (original form), <http://www.gnrk.gazi.edu.tr/BENEVENTOtrk.pdf> (in Turkish)
2. Holliday D, Resnick R. Fundamentals of Physics, 2nd ed, Singapore, John Wiley & Sons Inc; 1981.
3. Giancoli DC. Elements of Physics, New Jersey, Prentice Hall Inc, 1985.
4. Keller FJ, Gettys WE, Skove MJ. Physics, New York, McGraw-Hill, Inc, 1995.
5. Mount Holyoke Collage web site [online]. 2008 [cited 2008 Feb 8] Available from: URL: http://www.mtholyoke.edu/~mlyount/MySites/Pictures/e_mag.JPG
6. Wilson J, Hawkes JFB. Optoelectronics, Cambridge, Prentice Hall, 1989.
7. Kalkan T. VIII. Ulusal Biyofizik Kongresi, Çevre Kirliliği Panel Konuşmaları, İstanbul, 1998.
8. Canseven A. Değişik Şiddet ve Süreli Manyetik Alanların Deri Hidroksiprolin Seviyesine Etkisi, Doktora Tezi, Ankara, Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü; 1998.
9. Güler G. Farklı Sürelerde Uygulanan AC Elektrik Alanların Protein Sentezine Etkisi, Doktora Tezi, Ankara, Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, 1998.
10. Michaelson SM, Lin JC. Biological Effects and Health Implications of Radiofrequency Radiation, New York, Plenum Press, 1987.
11. Challis LJ. Review: Mechanisms for Interaction Between RF Fields and Biological Tissue, Bioelectromagnetics Supplement 2007; 7: S98-S106.
12. Suess MJ, Benwell-Morison DA. Non-Ionizing Radiation Protection, 2nd ed, Geneva, WHO, 1989.
13. Carpenter DO, Ayrapetran S. Biological Effects of Electric and Magnetic Fields, San Diego, California, Vol I & II, Academic Press, 1994.
14. Blank M. Electromagnetic Fields, Biological Interactions and Mechanisms, America, Advances in Chemistry Series 250, 1995.
15. Seyhan N, Güler G. Review of in vivo static and ELF electric fields studies performed at Gazi Biophysics Department. Electromagn Biol Med. 2006; 25(4): 307–23.

16. Seyhan N, Canseven AG. In vivo effects of ELF MFs on collagen synthesis, free radical processes, natural antioxidant system, respiratory burst system, immune system activities, and electrolytes in the skin, plasma, spleen, lung, kidney, and brain tissues, *Electromagn Biol Med*. 2006; 25(4): 291–305
17. Seyhan N, Canseven AG, Güler G. Animal Studies on the Effect of SMF and ELF EMF, in "Bioelectromagnetics: Current Concepts", Eds. S. Ayrapetyan (Armenia) & M. Markov (USA), NATO Science Series, pp 195-212, Publisher: Springer Press, the Netherlands, ISBN: 1-4020-4277-9, 2006.
18. Lin JC. *Advances in Electromagnetic Fields in Living Systems*, New York, Volume 1, Plenum Press, 1994.
19. Dünya Sağlık Örgütü (WHO-World Health Organization) web sitesi [online]. 2008 [cited 2008 Feb 8] Available from: URL: www.who.int/peh-emf
20. Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC-International Agency for Research on Cancer) web sitesi [online]. 2008 [cited 2008 Feb 8] Available from: URL: <http://www.iarc.fr/>
21. EMF NET – Fact Sheet on Epidemiological studies on mobile telephone exposure and brain Cancer, March 1, 2007, [online]. 2008 [cited 2008 Feb 8] Available from: URL: <http://web.jrc.ec.europa.eu/emf-et/doc/EFRTDocuments/EMF-NET%20EFRT%20EPI%20Mobiles%20brain%20cancer%2001MAR2007.pdf> .
22. ICNIRP 1998 Standards: Guidelines for Limiting Exposure to Time Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz), International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Health Physics, 1998; 74: 494–522.
23. FCC (Federal Communications Commission) OET (Office of Engineering & Technology): Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields, Edition 97–01, OET Bulletin 65, August 1997.
24. IEEE Standards: IEEE Standards for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz, IEEE Std. C95.1, 1999
25. Matthes R. Non-Ionizing Radiation, Austria, ICNIRP–1/96, 1996.
26. Limits of Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields in the Frequency Range from 3 kHz to 300 GHz, Safety Code 6, Health Canada/Santé Canada, Canada, 1999.
27. Sınav B. Radyo Frekans Radyasyon (RFR) Kaynakları, Ülkeler ve Uluslararası Kurumların Standartları, Türkiye’de Durum, Bir Pilot Bölge Radyasyon Hesaplaması, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, 2001.

28. FCC (Federal Communication Commission) web sayfası [online]. 2008 [cited 2008 Feb 8] Available from: URL: www.fcc.gov/oet/rfsafety.
29. Telekomünikasyon Kurumu web sayfası [online]. 2008 [cited 2008 Feb 8] Available from: URL: www.tk.gov.tr
30. Mobile Phones [online]. 2008 [cited 2008 Feb 8] Available from: URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_phones.
31. ARPANSA: Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, (Avustralya Radyasyondan Korunma ve Nükleer Güvenlik Ajansı) web sayfası [online]. 2007 [cited 2008 Jan 9] Available from: URL: www.arpansa.gov.au
32. The Complete SAR List For All Phones (Europe) [online]. 2008 [cited 2008 Feb 8] Available from: URL: <http://www.sarvalues.com/eu-complete.html>
33. Polk C, Postow E. Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields, 2nd ed, Florida, USA, CRC Press, 1996.
34. Ramid R, Cetintas M, Karacadag H, Gedik A, Yobn M, Celik M, Firlarer A. Measurement of Electromagnetic Radiation from GSM Base Stations [online]. 2008 [cited 2008 Feb 8] Available from: URL: <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/9769/30810/01429136.pdf?arnumber=1429136>
35. Schwan HP, Foster KR. RF-Field Interactions with Biological Systems: Electrical Properties and Biophysical Mechanisms, Proceedings of the IEEE, Vol 68, No 1, January 1980
36. Hitchcock RT, Patterson RM. Radio Frequency and ELF Electromagnetic Energies, New York, John Wiley & Sons Inc, 1994.
37. Zombolas C. Specific Absorbtion Rate (SAR) New Compliance Requirements for Mobile Telecommunications Equipment [online]. 2008 [cited 2008 Feb 8] Available from: URL: http://www.emctech.com.au/sar/SAR_Article_2003.pdf
38. Adey WR. Biological effects of electromagnetic fields. J Cell Biochem. 1993; 51 (4): 410–6.
39. Repacholi M. Low level exposure to RF electromagnetic fields: Health effects and research needs. Bioelectromag. 1998; 19: 1–19.
40. Rio Çevre ve Gelişme Deklarasyonu – Madde 15 - The Rio Declaration on Environment and Development, 1992 - Principle 15 [online]. 2008 [cited 2008 Feb 8] Available from: URL: <http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?DocumentID=78&ArticleID=1163>
41. Avrupa Birliği Antlaşması – Maastricht Antlaşması - Treaty on European Union (Maastricht Treaty), 1992 [online]. 2008 [cited

2008 Feb 8] Available from: URL:
<http://www.eurotreaties.com/maastrichtec.pdf>

42. Wingspread Raporu - Wingspread Statement [online]. 2008 [cited 2008 Feb 8] Available from: URL: <http://www.gdrc.org/u-gov/precaution-3.html>)
43. Demisia G, Vlastos D, Matthopoulos DP. Effect of 910 MHz Electromagnetic Field on Rat Bone Marrow. *The Scientific Journal*. 2004; 4(S2): 48–54.
44. Markova E, Hillert L, Malmgren L, Persson BR, Belyaev IY. Microwaves from GSM mobile telephones affect 53BP1 and gamma-H2AX foci in human lymphocytes from hypersensitive and healthy persons. *Environ Health Perspect*. 2005;113(9):1172–7.
45. Maes A, Collier M, Verschaeve L. Cytogenetic effects of 900 MHz (GSM) microwaves on human lymphocytes. *Bioelectromagnetics*. 2001;22(2): 91–6.
46. Capri M, Scarcela E, Bianchi E, Fumelli C, Mesirca P, Agostini C, Remondini D, Schuderer J, Kuster N, Franceschi C, Bersani F. 1800 MHz radiofrequency (mobile phones, different Global System for Mobile communication modulations) does not affect apoptosis and heat shock protein 70 level in peripheral blood mononuclear cells from young and old donors. *Int J Radiat Biol*. 2004; 80(6): 389–97.
47. D'Ambrosio G, Massa R, Scarfi MR, Zeni O. Cytogenetic damage in human lymphocytes following GMSK phase modulated microwave exposure. *Bioelectromagn*. 2002; 23(1): 7–13.
48. Dasdag S, Akdag Z, Asken F, Yilmaz F, Bashan M, Dasdag M, Celik S. Whole body exposure of rats to microwaves emitted from a cell phone does not affect the testes. *Bioelectromagn*. 2003; 24(3): 182–8.
49. Anderstam B, Hamnerius Y, Hussain S, Ehrenberg L. Studies of possible genetic effects in bacteria of high frequency electromagnetic fields. *Hereditas*. 1983; 98(1):11–32.
50. Beechey CV, Brooker D, Kowalczyk CI, Saunders RD, Searle AG. Cytogenetic effects of microwave irradiation on male germ cells of the Mouse. *Int J Radiat Biol Relat Stud Phys Chem Med*. 1986; 50(5): 909–18.
51. Saunders RD, Kowalczyk CI. Effects of 2.45 GHz microwave radiation and heat on mouse spermatogenic epithelium. *Int. J. Radiat. Biol*. 1981; 40(6): 623–32.
52. Koveshnikov IV, Antipenko EN. Quantitative patterns in the cytogenetic action of microwaves, *Radiobiologiya*. 1991; 31(1): 149-51.

53. Maes A, Verschaeve L, Arroyo A, De Wagter C, Vercruyssen L. In vitro cytogenetic effects of 2450 MHz waves on human peripheral blood lymphocytes, *Bioelectromagnetics*. 1993;14(6):495–501.
54. Sarkar S, Ali S, Behari J. Effect of low power microwave on the mouse genome: a direct DNA analysis. *Mutat Res*. 1994; 320 (1–2):141–7.
55. Reflex web sitesi [online]. 2008 [cited 2008 Feb 8] Available from: URL: http://www.stuk.fi/tutkimus/ionisoimatonsateily/en_GB/reflex/
56. Heynick LN, Merritt JH. Radiofrequency fields and teratogenesis. *Bioelectromagnetics*, 2003; 6: 174–86.
57. Larsen AL, Olsen J, Svane O, Gender. Specific Reproductive Outcome And Exposure To High Frequency Electromagnetic Radiation Among Physiotheropists. *Scand J Work Environ Health*, 1991; 17: 324–329.
58. Lebovitz RM, Johnson L, Samson WK. Effects of pulse modulated microwave radiation and conventional heating on sperm production. *J. Appl. Physiol*. 1987; 62(1): 245–52.
59. Forgacs Z, Kubinyi G, Sinay G, Bakos J, Hudak A, Surjan A, Revesz C, Thuroczy G. Effects of 1800 MHz GSM-like exposure on the gonadal function and hematological parameters of male mice, *Magy Onkol*. 2005; 49: 149–51.
60. Berman E, Carter HB, House D. Tests Of Mutagenesis and Reproduction in Male Rats Exposed to 2,450 MHz (CW) Microwaves. *Bioelectromagnetics*. 1980; 1(1): 65–76.
61. Yan SW, Zhang N, Tang J, Lu HO, Wang XL. Long-term exposure to low intensity microwave radiation affects male reproductivity *Zhonghua Nan Ke Xue*. 2007; 13(4): 306–8. Chinese.
62. Frey AH. Headaches from cellular telephones: Are they real and what are the implications? *Environmental Health Perspectives*. 1998; 106 (3): 101–103.
63. Bawin SM, Sheppard AR, Adey WR. Possible Mechanisms of Weak Electromagnetic Field Coupling in Brain Tissue. *Bioelectrochem. Bienerg*. 1985; 5: 67.
64. Merrit JH, Chamness AF, Hartzell RH, Allen SJ. Orientation Effects on Microwave Induced Hyperthermia and Neurochemical Correlates, *J. Microwave Power*. 1977; 12: 167-72.
65. Haber Portalı [online]. 2004 [cited 2003 Feb 5] Available from: URL: <http://news.bcc.co.uk/2/low/health/2728149.stm>
66. Reinhard M, Hetzel A, Krüger S, Kretzer S, Talazko J, Ziyeh S, Weber J, Els T. Blood Brain Barrier Disruption by Low – Frequency Ultrasound; *Stroke: Journal of the American Heart Assoc*. 2006; 37: 1546–1548.

67. Lin JC, Lin MF. Microwave Hyperthermia Induced Blood Brain Barrier Alterations. *Radiation Research*. 1982; 89: 77 – 87.
68. Frey AH. On the Nature of Electromagnetic Field Interactions with Biological Systems, Texas, Austin, Medical Intelligence Unit, RG Landes Company, 1994.
69. Fritze K, Sommer C, Schmitz B, Mies G, Hossmann KA, Kiessling M, Wiessner C. Effect of Global System for Mobile Communication (GSM) Microwave Exposure on Blood Brain Barrier Permeability in Rat; *Acta Neuropathol*. 1997; 94: 465 – 470.
70. Neubauer C, Phelan AM, Kues H, Lange DG. Microwave Irradiation of Rats at 2,45 GHz Activates Pinocytotic Like Uptake of Tracer by Capillary Endothelial Cells of Cerebral Cortex. *Bioelectromagn*. 1990; 11: 261 – 268.
71. Oscar KJ, Gruenau SP, Folker MT, Rapoport SI. Local Cerebral Blood Flow After Microwave Exposure. *Brain Res*. 1981; 204: 220 – 225.
72. Albert EN, Kerns JM. Reversible Microwave Effects on the Blood Brain Barrier, *Brain Research*. 1981; 230: 153 – 164.
73. Moriyama E, Salcman M, Broadwell RD. Blood Brain Barrier Alteration After Microwave Induced Hyperthermia is Purely a Thermal Effect: I. Temperature and Power Measurements. *Surg. Neurol*. 1991; 35: 177–82.
74. Oscar KJ, Hawkins TD. Microwave Alteration of the Blood Brain Barrier System of Rats. *Brain Research*. 1977; 126: 281–293.
75. Preston E, Vavasour EJ, Assenheim HM. Permeability of the Blood Brain Barrier to Mannitol in the Rat Following 2450 MHz Microwave Irradiation. *Brain Research*. 1979; 174: 109–117.
76. Williams WM, Hoss W, Formaniak M, Michaelson SM. Effect of 2450 MHz Microwave Energy on the Blood Brain Barrier to Hydrophilic Molecules. A. Effect on the Permeability to Sodium Fluorescein. *Brain Res Reviews*. 1984; 7: 165 – 170.
77. Williams WM, Del Carro M, Michaelson SM. Effect of 2450 MHz Microwave Energy on the Blood Brain Barrier to Hydrophilic Molecules. B. Effect on the Permeability to HRP. *Brain Res Reviews*. 1984; 7: 171 – 181.
78. Williams WM, Platner J, Michaelson SM. Effect of 2450 MHz Microwave Energy on the Blood Brain Barrier to Hydrophilic Molecules. C. Effect on the Permeability to [¹⁴C] Sucrose. *Brain Res Reviews*. 1984; 7: 183–190.
79. Williams WM, Lu ST, Del Cerro M, Michaelson SM. Effect of 2450 MHz Microwave Energy on the Blood Brain Barrier to Hydrophilic Molecules. D. Brain Temperature and Blood Brain Barrier

- Permeability to Hydrophilic Tracers. *Brain Res Reviews*. 1984; 7: 191 – 212.
80. Shivers RR, Kavaliers M, Teskey GC, Prato FS, Pelletier RM. Magnetic Resonance Imaging Temporarily Alters Blood Brain Barrier Permeability in the Rat. *Neurosci Lett*. 1987; 76: 25 – 31.
 81. Prato FS, Frappier RH, Shivers RR, Kavaliers M, Zabel P, Drost D, Lee TY. Magnetic Resonance Imaging Increases the Blood Brain Barrier Permeability to 153-Gadolinium Diethylenetriaminepentaacetic Acid in Rats. *Brain Res*. 1990; 523: 301 – 304.
 82. Headaches from Mobile Phones: French Scientist Offers Mechanism [online]. 2001 [cited 2008 Feb 8] Available from: URL: <http://www.microwavenews.com/news/backissues/n-d01issue.pdf>, Microwave News.
 83. Swedes Find GSM Radiation Causes Nerve Damage at Very Low Doses Leakage Through the Blood-Brain Barrie [online]. 2003 [cited 2008 Feb 8] Available from: URL: <http://www.microwavenews.com/news/backissues/j-f03issue.pdf>, Microwave News.
 84. Finnie JW, Blumbergs PC, Cai Z, Manavis J, Kuchel TR. Effect of Mobile Telephony on Blood Brain Barrier Permeability in the Fetal Mouse Brain. *Pathology*. 2006; 38 (1): 63–65.
 85. Lin JC, Yuan PMK, Jung DT. Enhancement of anticancer drug delivery to the brain by microwave induced hyperthermia. *Bioelectrochem and Bioenerg*. 1998; 47(2): 259 – 264.
 86. Finnie JW, Blumbergs PC. Mobile Phones and Brain Vascular Leakage. *Pathology*. 2004; 36 (1): 96–97.
 87. Aubineau P, Töre F. Head exposure to 900 MHz microwaves induces plasma protein extravasation in the rat brain and dura mater at non-thermal SAR levels. Workshop: The Blood-Brain Barrier – can it be influenced by RF-field interactions? Schloss Reisenburg, Germany, 2–6 November 2003.
 88. Schirmacher A, Winters S, Fischer S, Goeke J, Galla HJ, Kullnick U, Ringelstein EB, Stögbauer F. Electromagnetic Fields 1,8 GHz) Increases the Permeability to Sucrose of the Blood Brain Barrier in Vitro. *Bioelectromagnetics*. 2000; 21: 338 – 345.
 89. Franke H, Ringelstein EB, Stögbauer F. Electromagnetic Fields (GSM 1800 MHz) do not alter blood brain barrier permeability to sucrose in models in vitro with high barrier tightness. *Bioelectromagnetics*, 2005; 26(7): 529–35.
 90. Lin JC. The Blood Brain Barrier, Cancer, Cell Phones and Microwave Radiation. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*. 2001; 43 (3): 141–143.

91. Persson BRR, Eberhardt JL et al. Long Term Albumin Leakage and Nerve Cell Damage in Rat Brain After Whole Body Exposure to Microwaves from GSM Mobile Phones. Workshop: The Blood-Brain Barrier – can it be influenced by RF-field interactions? Schloss Reisingburg, Germany, 2–6 November 2003.
92. Salford LG, Brun A, Stureson K, Eberhardt JL, Persson BR. Permeability of the Blood Brain Barrier Induced by 915 Mhz Electromagnetic Radiation, Continuous Wave and Modulated at 8, 16, 50 and 200 Hz. *Microscopy Research and Technique*. 1994; 27: 535 – 542.
93. Öztaş B, Kalkan T, Tuncel H. Influence of 50 Hz Frequency Sinusoidal Magnetic Field on the Blood Brain Barrier Permeability of Diabetic Rats, *Bioelectromagnetics*. 2004; 25: 400 – 402.
94. Salford LG. Experimental studies of brain tumour development during exposure to continuous and pulsed 915 MHz radiofrequency radiation. *Bioelec and Bioener*. 1993; 30: 313 – 318.
95. Salford LG, Brun A et al. Electromagnetic field induced permeability of the blood brain barrier shown by immunohistochemical methods, *Interaction Mechanisms of Low Level Electromagnetic Fields in Living Systems*, edited by Bengt Nordén and Claes Ramel, Oxford Science Publications, pp 251 – 258, 1992.
96. Leszczynski D, Joenväärä S, Reivinen J, Kuokka R. Non-Thermal Activation of the hsp27/p38MAPK Stress Pathway by Mobile Phone Radiation in Human Endothelial Cells: Molecular Mechanism for Cancer and Blood Brain Barrier Related Effects. *Differentiation*. 2002; 70: 120 – 129.
97. Persson BRR, Eberhardt J et al. Effects of Microwaves from GSM Mobile Phones on the Blood Brain Barrier and Neurons in Rat Brain, *Progress in Electromagnetic Research Symposium 2005*, Hangzhou, August 23–26.
98. McQuade JS, Merritt JH et al. Effects of 915 MHz Exposure on the Integrity of the Blood Brain Barrier, *Bioelectromagnetics 2005*, pp 171 – 172, Dublin, Ireland.
99. Kalkan T, Üzüm G et al. Effect of Mobile Phones on Temperature, Blood Brain Barrier and Specific Gravity on the Brain of the Rats, *Proceedings of Rhodes Meeting*, pp: 419–426, 2002.
100. Kramarenko AV, Tan U. Effects of High Frequency Electromagnetic Fields on Human EEG: A Brain Mapping Study. *Intern. J. Neuroscience*. 2003;113:1007–1019.
101. Hietanen M, Kovala T, Hmalainen AM. Human brain activity during exposure to radiofrequency fields emitted by cellular phones. *Scand J Work Environ Health*. 2000; 26(2): 87–92.

102. D'Costa H, Trueman G, Tang L, Abdel-Rahman U, Abdel-Rahman W, Ong K, Cosic I. Human brain wave activity during exposure to radiofrequency field emissions from mobile phones. *Australas Phys Eng Sci Med*. 2003; 26(4): 162–7.
103. Huber R, Treyer V, Schuderer J, Berthold T, Buck A, Kuster N, Landolt HP, Achermann P. Exposure to Pulse Modulated Radio Frequency Electromagnetic Fields Affects Regional Cerebral Blood Flow. *European Journal of Neuroscience*. 2005; 21: 1000–1006.
104. Haarala C, Björnberg L, Ek M, Laine M, Revonsuo A, Koivisto M, Hämäläinen H. Effect of a 902 MHz Electromagnetic Field Emitted by Mobile Phones on Human Cognitive Function: A Replication Study. *Bioelectromagnetics*. 2003; 24: 283 – 288.
105. Besset A, Espa F, Dauvilliers Y, Billiard M, de Seze R. No Effect on Cognitive Function From Daily Mobile Phone Use. *Bioelectromagnetics*. 2005; 26: 102 – 108.
106. Röschke J, Mann K. No Short Term Effects of Digital Mobile Radio Telephone on the Awake Human Electroencephalogram. *Bioelectromagnetics*. 1997; 18: 172–176.
107. Freude G, Ullsperger P, Eggert S, Ruppe I. Effects of Microwaves Emitted by Cellular Phones on Human Slow Brain Potentials. *Bioelectromagnetics*. 1998; 19: 384–387.
108. D'Andrea JA, Chou CK, Johnston SA, Adair ER. Microwave Effects on the Nervous System. *Bioelectromagnetics Supplement*. 2003; 6:S107 – S147.
109. Hossmann KA, Hermann DM. Effects of Electromagnetic Radiation of Mobile Phones on the Central Nervous System. *Bioelectromagnetics*. 2003; 24: 49–62.
110. Huber R, Treyer V, Borbély AA, Schuderer J, Gottselig JM, Landolt HP, Werth E, Berthold T, Kuster N, Buck A, Achermann P. Electromagnetic Fields, such as those from Mobile Phones, alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG. *J. Sleep Res*. 2002; 11: 289 – 295.
111. Wolf M. Pulsed High-Frequency Electromagnetic Fields and Brain: Effects on Cerebral Blood Flow, Cerebral Blood Volume and Neural Activity. *Swiss Research Foundation on Mobile Communication*.
112. Loughran SP, Wood AW et al. The Effects of Electromagnetic Fields Emitted by GSM Mobile Phones on Human Sleep, ST–7, *Bioelectromagnetics* 2005, Dublin, Ireland.
113. Haarala C, Aalto S, Hautzel H, Julkunen L, Rinne JO, Laine M, Krause B, Hämäläinen H. Effects of a 902 MHz Mobile Phone on

Cerebral Blood Flow in Humans: a PET Study. *Neuroreport*. 2003; 14: 2019–2023.

114. Lahkola A, Auvinen A, Raitanen J, Schoemaker MJ, Christensen HC, Feychting M, Johansen C, Klæboe L, Lonn S, Swerdlow AJ, Tynes T, Salminen T. Mobile phone use and risk of glioma in 5 North European Countries. *Int J Cancer*. 2007; 120 (8): 1769–1775.
115. Clearly SM, Liu, LM, Merchant RE. Glioma Proliferation Modulated in-vitro by Isothermal Radiofrequency Radiation Exposure. *Radiation Research*. 1990; 121: 38–45.
116. Lai H, Singh NP. Acute Low-Intensity Microwave Exposure Increases DNA Single Strand Breaks in Rat Brain Cells. *Bioelectromagnetics*. 1995; 16: 207–210.
117. Chou CK, Guy AW, Kunz LL, Johnson RB, Crowley JJ, Krupp JH. Long-term, low- level microwave irradiation of rats. *Bioelectromagnetics*. 1992; 13: 469–496.
118. Diem E, Schwartz C, Adlkofer F, Jahn O, Rudiger H. Non-thermal DNA breakage by mobile-phone radiation (1800 MHz) in human fibroblasts and in transformed GFSH-R17 rat granulosa cells in vitro. Division of Occupational Medicine, Medical University of Vienna, Waehringer Guertel 18–20, Vienna 1090, Austria.
119. Roszkowski W, Wrembel JK, Roszkowski K, Janiak M, Szmigielski S. The search for an influence of whole body microwave hyperthermia on anti tumor immunity. *J. Cancer Res. Clin. Oncol*. 1980; 96: 311–7.
120. Frey AH, Feld SR. Avoidance by rats of illumination with low power non-ionizing electromagnetic energy. *J. Comp. Physiol. Psychol*. 1975; 89: 183–8.
121. Stern S. Behavioral effects of microwaves. *Neurobehav. Toxicol*. 1980; 2: 49–58.
122. Mitchell CL, McRee DI, Peterson NJ, Tilson HA. Some behavioral effects of short term exposure of rats to 2.45 GHz microwave radiation. *Bioelectromagnetics*. 1998; 9: 259–68.
123. Raslear TG, Akyel Y, Serafini R, Bates F, Belt M. Memory consolidation in the rat following high-power microwave irradiation, Proceedings of the 13th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 13, 958, 1991.
124. Hayes DL, Wang PJ, Reynolds DW, Estes M 3rd, Griffith JL, Steffens RA, Carlo GL, Findlay GK, Johnson CM. Interference with Cardiac Pacemakers by Cellular Telephones. *The New England Journal of Medicine*. 1997, 336 (21): 1473–1479.
125. Wolke S, Neibig U, Elsner R, Gollnick F, Meyer R. Calcium homeostasis of isolated heart muscle cells exposed to pulsed

highfrequency electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics*. 1996;17(2):144–53.

126. Tahvanainen K, Niño J, Halonen P, Kuusela T, Laitinen T, Länsimies E, Hartikainen J, Hietanen M, Lindholm H. Cellular Phone Use Does Not Acutely Affect Blood Pressure or Heart Rate of Humans. *Bioelectromagnetics*. 2004; 25: 73 – 83.
127. Chou CK, Han LF, Guy AW. Microwave radiation and heart beat rate of rabbits. *J. Microwave Power*. 1980; 15: 87–93.
128. Lu ST, Brown DO, Johnson CE, Mathur SP, Elson EC. Abnormal cardiovascular responses induced by localized high power microwave exposure. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 1992; 39: 484–92.
129. Makar VR, Logani MK, Bhanushali A, Kataoka M, Ziskin MC. Effect of millimeter waves on natural killer cell activation. *Bioelectromagnetics*. 2005; 26(1):10–9.
130. Smialowicz RJ, Weil CM, Kinn JB, Elder JA. Exposure of rats to 425 MHz (CW) radiofrequency radiation: effects on lymphocytes. *J. Microwave Power*. 1982; 17: 211–21.
131. Czerska EM, Elson EC, Davis CC, Swicord ML, Czerski P. Effects of continuous and pulsed 2450 MHz radiation of spontaneous lymphoblastoid transformation on human lymphocytes in vitro. *Bioelectromagnetics*. 1992; 13: 247–59.
132. Sulek K, Schlagel CJ, Wiktor-Jedrzecjak W, Ho HS, Leach WM, Ahmed A, Woody JN. Biologic effects of microwave exposure, I. Threshold conditions for the induction of the increase in complement positive (CR+) mouse spleen cells following exposure to 2450 MHz microwaves. *Radiation Research*. 1987; 83: 127–37.
133. Liburdy RP. Radiofrequency radiation alters the immune system. II. Modulation of in vivo lymphocyte circulation. *Radiation Research*. 1980; 83: 66–73.
134. Gilligan P, Somerville S, Ennis JT. GSM cell phones can interfere with ionizing radiation dose monitoring equipment. *The British Journal of Radiology*. 2000; 73: 994–998.
135. Wallin MKEB, Marve T, Hakansson PK. Modern Wireless Telecommunication Technologies and Their Electromagnetic Compatibility with Life-Supporting Equipment. *Anesth Analg*. 2005; 101: 1393–1400.
136. Soto RG, Chu LF, Goldman JM, Rampil IJ, Ruskin KJ. Communication in Clinical Care Environments: Mobile Telephones Improve Patient Care. *Anesth Analg*. 2006; 102: 535–41.

137. Sharratt AGK, Coleman J. Mobile telecommunication regulations updated: how safely are doctors telephones used? *Qual Saf Health Care*, 2004.
138. Ang GS, Lian P, Ng WS, Whyte I, Ong JM. Digital Mobile Telephones and interference of ophthalmic equipment. *Eye*. 2007; 21: 29–32.
139. Calcagnini G, Bartolini P, Floris M, Triventi M, Cianfanelli P, Scavino G, Proietti L, Barbaro V. Electromagnetic Interference to Infusion Pumps from GSM Mobile Phones. *Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2004; 5: 3515–8.
140. Stroud DB, Huang Y, Hansen L, McKenzie R. Walkie talkies cause more electromagnetic interference to medical equipment than mobile phones. *Australas Phys Eng Sci Med*. 2006; 29(4): 315–20.
141. Jones RP, Conway DH. The effect of electromagnetic interference from mobile communication on the performance of intensive care ventilators. *Eur J Anaesthesiol*. 2005; 22(8): 578–83.
142. Lapinsky SE, Easty AC. Electromagnetic interference in critical care. *J Crit Care*. 2006; 21(3): 267–70.
143. Boyle J. Wireless technologies and patient safety in hospitals. *Telemed J E Health*. 2006; 12(3): 373–82.
144. Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM. *Principles of Neural Science*, USA, McGraw Hill Companies, 2000.
145. Guyton AC. *Tıbbi fizyoloji*, İstanbul, Yüce Yayınları, 2001.
146. Öztaş B. Cinsellik ve Beyin Fonksiyonları, [online]. 2004 [cited 2008 Feb 8] Available from: URL: http://www.hemsirelersitesi.com/cinsellik_beyin.htm
147. Öztaş B. Kadın ve Erkek Beyninin Fizyolojik Özellikleri ve Bu Özelliklerin Kan Beyin Permeabilitesine Etkileri, 28. Ulusal Fizyoloji Kongresi, 24–27 Eylül 2002, İzmir.
148. Mathew RJ, Wilson WH, Turkington TG, Hawk TC, Coleman RE, DeGrado TR, Provenzale J. Time course of tetrahydrocannabinol-induced changes in regional cerebral blood flow measured with positron emission tomography. *Psychiatry Res*. 2002; 116 (3): 173–85.
149. Baxter LR Jr, Mazziotta JC, Phelps ME, Selin E, Guze BH, Fairbanks L. Cerebral glucose metabolic rates in normal human females versus normal males. *Psychiatry Research*. 1987; 21(3): 237–245.
150. Öztaş B, Akgul S, Seker FB. Gender difference in the influence of antioxidants on the blood-brain barrier permeability during

- pentylene-tetrazol-induced seizures in hyperthermic rat pups. *Biol Trace Elem Res.* 2007; 118(1): 77–83.
151. Fischette CT, Biegon A, McEwen BS. Sex differences in serotonin 1 receptor binding in rat brain. *Science.* 1983; 222 (4621): 333–5.
 152. Crill EW. The milieu of the central nervous system, In: *Textbook of Physiology*, Eds: Patton HD, Fuchs FA, Hill D, Scher MH, Steiner R, Vol 1: 759–769, WB Saunders Company, 1989.
 153. Yıldırım M: Tıp Fakültesi Öğrencileri için Klinik Nöroanatomî, Richard S. Snell, MD, PhD'den çeviri, Nobel Tıp Basımevi, 2000.
 154. Hall ED, Braughler JM. Central Nervous System Trauma and stroke. *Free Radic Biol Med.* 1989; 6: 303 – 313.
 155. Johansson CE. Otogeny and Phylogeny of the blood brain barrier and its manipulation. ed. Neuwelt EA, New York & London, Plenum Publishing Co., 1989.
 156. Sağlık Bilgisi web sitesi: Kernicterus tanımı: [online]. 2008 [cited 2008 Feb 8] Available from: URL: <http://www.saglikbilgisi.com/kelime/Kernicterus>
 157. Goldstein GW, Betz AL. The Blood Brain Barrier. *Sci Am.* 1986; 255 (3): 70–79.
 158. Rapaport SI. Blood Brain Barrier. In: *Encyclopedia of Human Biology*, Vol I: 715 – 727, 1991.
 159. Winn HR, Docey RG, Mayberg MR. Cerebral Circulation. In: *Text of Physiology*, Eds: Patton HD, Fuchs FA, Hill D, Scher MA, Steiner R, Vol 2: 952–960, WB Saunders Company, 1989.
 160. De Myer W. Structure and functions of neurons and their supporting tissue, In: *Neuroanatomy 11–30* Harwal Publishing Company, Malvern, Pennsylvania, 1988.
 161. Akgül S. Hipertermik Koşullarda Oluşturulan Konvulziyonlarda Antioksidanların Kan Beyin Bariyeri Permeabilitesine Etkisi, Uzmanlık tezi, İstanbul, İstanbul Üniversitesi Tıp Fakültesi, 2004.
 162. Katzman R. Blood Brain CSF barriers, In: *Basic Neurochemistry*, eds: Siegel GJ, Alberts RW, Katzman R, Agranoff BW, 414–428, Little Brown and Company, Boston, 1974.
 163. Robinson PJ, Rapaport SI. Blood Brain Barrier, In: *Encyclopedia of Human Biology*. Vol I: 715 – 727, 1991.
 164. Harik SI. Blood Brain Barrier sodium / potassium pump: Modulation by central noradrenergic innervation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1986; 83: 4067–4070.
 165. Joo' F. New aspect to the function of cerebral endothelium. *Nature.* 1986; 321: 197 – 198.

166. Butt AM, Jones HC, Abbott. Electrical Resistance Across the Blood Brain Barrier in anaesthetized rats: A Developmental Study. *J. Physiol.* 1990; 429: 47 – 62.
167. Arizona Üniversitesi web sitesi, Amerika Birleşik Devletleri: [online]. 2008 [cited 2008 Feb 8] Available from: URL: <http://users.ahsc.arizona.edu/davis/circumventricular.htm>
168. Washington üniversitesi web sitesi, Amerika Birleşik Devletleri: [online]. 2008 [cited 2008 Feb 8] Available from: URL: <http://faculty.washington.edu/chudler/bbb.html>
169. Türkoğlu A, Ekşioğlu FE, Baydaş G. Hepatik Ensefalopati Oluşturulan Ratların Kan Beyin Bariyeri Geçirgenliğindeki Değişmeler, Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 1999; 13(1): 31–36.
170. Johansson BB, Auer LM. Neurogenic modification of the vulnerability of the blood-brain barrier during acute hypertension in conscious rats. *Acta Physiol Scand.* 1983; 117(4): 507–11.
171. Rapoport SI, London ED, Fredericks WR, Dow-Edwards DL, Mahone PR. Altered cerebral glucose utilization following blood-brain barrier opening by hypertonicity or hypertension. *Exp Neurol.* 1981; 74(2): 519–29.
172. Oztas B, Kaya M. The effect of acute hypertension on blood-brain barrier permeability to albumin during experimentally induced epileptic seizures. *Pharmacol Res.* 1991; 23(1): 41–6.
173. Westergaard E, Go G, Klatzo I, Spatz M. Increased permeability of cerebral vessels to horseradish peroxidase induced by ischemia in Mongolian Gerbils. *Acta Neuropathol (Berl).* 1976; 16: 35(4): 307–25.
174. Blomstrand C, Johansson B, Rosengren B. Blood-brain barrier lesions in acute hypertension in rabbits after unilateral X-ray exposure of brain, *Acta Neuropathol (Berl)* 1975; 31 (2): 97–102
175. Nandy K. Significance of brain-reactive antibodies in serum of aged mice. *J Gerontol.* 1975; 30(4): 412–6.
176. Rapoport SI, Ohno K, Pettigrew KD. Blood-brain barrier permeability in senescent rats. *J Gerontol.* 1979; 34(2): 162-9.
177. Fisch BJ. Spehlmann'ın EEG El Kitabı, Elsevier 1991, Çeviri ve Editör: Dr. Türker Şahiner, Turgut Yayıncılık ve Tic. A.Ş.1998.
178. Lending M, Slobody LB, Mestern J. The relationship of hypercapnia to the production of kernicterus. *Dev Med Child Neurol.* 1967; 9(2): 145–51.
179. Lorenzo AV, Hedley-Whyte ET, Eisenberg HM, Hsu DW. Increased penetration of horseradish peroxidase across the

- blood-brain barrier induced by Metrazol seizures. *Brain Res.* 1975; 88(1): 136–40.
180. Petito CK, Schaefer JA, Plum F. Ultrastructural characteristics of the brain and blood-brain barrier in experimental seizures. *Brain Res.* 1977; 127(2):251–67.
181. Bolwig TG, Hertz MM, Westergaard E. Acute hypertension causing blood-brain barrier breakdown during epileptic seizures. *Acta Neurol Scand.* 1977; 56(4):335–42.
182. Üzüm G, Diler AS, Ziylan YZ. Kronik Nikotin Tedavisinin Pentilentetrazol ile Oluşturulan Nöbetlerde Kan Beyin Bariyeri Permeabilitesi Üzerine Etkisi. *İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Dergisi.* 1999; 62(3): 257–263.
183. Türkiye Diyabet Derneği web sitesi: [online]. 2008 [cited 2008 Feb 8] Available from: URL: <http://www.turkdiab.org/index.php?id=55&kind=page#1>
184. Küçük M. Normal ve Diyabetli Sıçanlarda İnsülin Hipoglisemisi Komasının Kan Beyin Bariyeri Permeabilitesine Etkisi, Doktora Tezi, İstanbul, İstanbul Üniversitesi Tıp Fakültesi, 1985.
185. Kaya M. Çeşitli Faktörlerin Kan Beyin Permeabilitesine Etkisinin Işık ve Ultrastrüktürel Düzeyde Araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul, İstanbul Üniversitesi Tıp Fakültesi, 1989.
186. Türkel N. Konvülsiyonlar ve Akut Hipertansiyonda Kan Beyin Bariyeri Yıkımına Etkili Faktörler, Doktora Tezi, İstanbul, İstanbul Üniversitesi Tıp Fakültesi, 1993.
187. Taner D. Fonksiyonel Nöroanatomi, Ankara, Metu Press, 1998
188. Ozgur E. Cep Telefonu Radyasyonunun Farklı Frekans-Siddetteki Ses ile Değişimi ve Doku Hidroksiprolin Seviyesine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, 2006.
189. Tüysüz M. Cep Telefonu Maruziyeti Kaynaklı RF Dozimetrinin FDTD Yöntemi ile Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Biyofizik Anabilim Dalı, 2007.
190. Seyhan N, Güler Öztürk G, Sırav Aral B, Tomruk A, Ozgur E. Effects of Radio Frequency Radiation on Pregnancy, Newborns and Permeability of Blood Brain Barrier, Foundations of bioelectromagnetics: towards a new rationale for risk assesment and management. *Int. Workshop ISPEL/ICEMS Venice, 17 Dec 2007.*
191. Durney CH. *Radio Frequency Radiation Dosimetry Handbook*, 4th Edition, October 1986.

192. Gandhi OP. Conditions of Strongest Electromagnetic Power Deposition in Man and Animals. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. 1975; MTT-23 (12): 1021–1029.
193. Öztaş B. Sex and Blood Brain Barrier. *Pharmacological Research*. 1998; 37(3): 165–167.
194. Hacettepe Üniversitesi Deneysel Hayvanları Etik Kurulu web sitesi: [online]. 2008 [cited 2008 Feb 8] Available from: URL: www.etikkurul.hacettepe.edu.tr
195. Rapoport SI. *Blood Brain Barrier in Physiology and Medicine*. Raven Press, New York, 1976.
196. Öztaş B, Akgül S, Arslan FB. Influence of surgical pain stress on the blood brain barrier permeability of rats. *Life Sciences*. 2004; 74: 1973–1979.
197. Rawson RA. The binding of T-1824 and structurally related diazo dyes by the plasma proteins. *Am. J. Physiol.* 1943; 138: 708–717.
198. Phosphate Buffered Saline [online]. 2008 [cited 2008 Feb 8] Available from: URL: <http://www.scientistsolutions.com/index.php?a=topic&t=3107>
199. Arıcan N, Kaya M, Yorulmaz C, Kalaycı R, Ince H, Küçük M, Fincancı SK, Elmas İ. Effect of hypothermia on blood-brain barrier permeability following traumatic brain injury in chronically ethanol-treated rats. *Int J Neurosci*. 2006;116(11): 1249–61.
200. Fortin D, Adams R, Gallez A. A Blood-Brain Barrier Disruption Model Eliminating the Hemodynamic Effect of Ketamine, *Can. J. Neurol. Sci.* 2004; 31: 248 – 253.
201. Kozler P, Pokorný J. Altered Blood-Brain Barrier Permeability and Its Effect on the Distribution of Evans Blue and Sodium Fluorescein in the Rat Brain Applied by Intracarotid Injection. *Physiol. Res.* 2003; 52: 607–614.
202. Kaya M, Palandüz A, Kalaycı R, Kemikler G, Şimşek G, Bilgiç B, Ahishali B, Arıcan N, Çelebi Koçyıldız Z, Elmas İ, Küçük M, Karadeniz A. Effects of lipopolysaccharide on the radiation-induced changes in the blood brain barrier and the astrocytes. *Brain Research*. 2004; 1019:105–112.
203. Kajiwara K, Ito H, Fukumoto T. Lymphocyte infiltration into normal rat brain following hyperosmotic blood-brain barrier opening. *J Neuroimmunol.* 1990; 27: 133–40.
204. Franke H, Streckert J, Bitz A, Goeke J, Hansen V, Ringelstein EB, Nattkämper H, Gala H-J, Stögbauer F. Effects of Universal Mobile Telecommunication system (UMTS) Electromagnetic Fields on the Blood Brain Barrier in Vitro. *Radiation Research*. 2005; 164: 258–269.

205. Cragg BG, Phillips SC. Natural variation in the blood-brain barrier. *Neurosci Lett* 1981; 27: 309-12.
206. Daniel DG, Mathew RJ, Wilson WH. Sex roles and regional cerebral blood flow. *Psychiatry Res.* 1988; 27: 55–64.
207. Meral I, Mert H, Mert N, Deger Y, Yoruk I, Yetkin A, Keskin S. Effects of 900-MHz electromagnetic field emitted from cellular phone on brain oxidative stress and some vitamin levels of guinea pigs. *Brain Research.* 2007; 1169:120–124.
208. Leszczynski D, Joenväärä S, Reivinen J, Kuskka R. Non-thermal activation of the hsp 27/p38MAPK stress pathway by mobile phone radiation in human endothelial cells: molecular mechanism for cancer and blood-brain barrier related effects. *Differentiation.* 2002; 70: 120–129.
209. Koenig H, Goldstone AD, Lu CY, Trout JJ. Polyamines and Ca²⁺ mediate hyperosmolal opening of the blood brain barrier in vitro studies in isolated rat cerebral capillaries. *J. Neurochem.* 1989; 52: 1135–1142.
210. Ilhan A, Gurel A, Armutcu F, Kamilsı S, Iraz M, Akyol O, Ozen S. Ginkgo biloba prevents mobile phone-induced oxidative stress in rat brain. *Clinica Chimica Acta.* 2004; 340: 153–162.

10. EKLER

GRUP VERİLERİ

Tablo 24: Grup I: Dişi Kontrol Grubu (n= 9) Doku Ağırlıkları, Spektrofotometre Okumaları ve Birim Dokuda EB Miktarı

Denek No	Doku Ağırlıkları (gr)				Spektrofotometre Okumaları				Birim Dokuda EB Miktarı (mg %)			
	Sağ Beyin	Sol Beyin	Serebellum	Toplam Beyin	Sağ Beyin	Sol Beyin	Serebellum	Toplam Beyin	Sağ Beyin	Sol Beyin	Serebellum	Toplam Beyin
1	0,7342	0,7326	0,511	1,9778	0,073	0,111	0,103	0,287	0,09916	0,1517	0,201	0,1449
2	0,8366	0,7861	0,5295	2,1522	0,104	0,067	0,123	0,294	0,124	0,08574	0,2315	0,13646
3	0,6466	0,6893	0,4805	1,8164	0,071	0,084	0,095	0,25	0,1097	0,1222	0,1983	0,13785
4	0,7134	0,719	0,459	1,8914	0,078	0,094	0,077	0,249	0,1098	0,13	0,1693	0,13191
5	0,6495	0,6848	0,5862	1,9205	0,083	0,111	0,066	0,26	0,1281	0,1619	0,1121	0,13527
6	0,6879	0,6515	0,5183	1,8577	0,085	0,1109	0,120	0,3159	0,123	0,1687	0,2313	0,16924
7	0,5752	0,7259	0,5983	1,8994	0,134	0,069	0,045	0,248	0,2324	0,09519	0,0747	0,1303
8	0,6181	0,7334	0,5295	1,881	0,066	0,095	0,101	0,262	0,1068	0,1289	0,1911	0,13912
9	0,7199	0,7637	0,6051	2,0887	0,079	0,092	0,090	0,261	0,1103	0,1203	0,1481	0,12491
Ort	0,06868	0,7207	0,5353	1,9428	0,08584	0,0925	0,09104	0,2694	0,12703	0,1294	0,173	0,138884
Std Sapma	0,08	0,04	0,05	0,1	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,03	0,05	0,01

Tablo 25 : Grup II: Erkek Kontrol Grubu (n=9) Doku Ağırlıkları, Spektrofotometre Okumaları ve Birim Dokuda EB Miktarı

Denek No	Doku Ağırlıkları (gr)				Spektrofotometre Okumaları				Birim Dokuda EB Miktarı (mg %)			
	Sağ Beyin	Sol Beyin	Serebellum	Toplam Beyin	Sağ Beyin	Sol Beyin	Serebellum	Toplam Beyin	Sağ Beyin	Sol Beyin	Serebellum	Toplam Beyin
1	0,6812	0,6585	0,4274	1,7671	0,024	0,09	0,015	0,129	0,03523	0,1366	0,0351	0,073
2	0,6785	0,6214	0,3691	1,669	0,026	0,076	0,03	0,132	0,03832	0,1223	0,08128	0,07908
3	0,5634	0,5728	0,4535	1,5897	0,057	0,027	0,043	0,127	0,1012	0,04714	0,0948	0,07988
4	0,6141	0,6292	0,3792	1,6225	0,051	0,061	0,007	0,119	0,083	0,09695	0,0185	0,07334
5	0,6441	0,6164	0,4322	1,6927	0,045	0,046	0,01	0,101	0,06986	0,075	0,02314	0,05966
6	0,5919	0,607	0,4557	1,6546	0,035	0,133	0,033	0,201	0,05913	0,2191	0,0724	0,12147
7	0,5705	0,6037	0,4141	1,5883	0,06	0,06	0,021	0,141	0,1052	0,099	0,0507	0,08876
8	0,6076	0,6543	0,3561	1,618	0,052	0,02	0,02	0,092	0,0856	0,0306	0,0562	0,05685
9	0,6619	0,666	0,4176	1,7455	0,04	0,031	0,041	0,112	0,0604	0,04655	0,0982	0,06416
Ort	0,6237	0,6255	0,4117	1,6608	0,0433	0,06044	0,02444	0,1282	0,071	0,097	0,059	0,077
Std Sapma	0,04	0,03	0,04	0,06	0,01	0,04	0,01	0,03	0,025	0,05	0,02	0,02

Tablo 26 : Grup III: Dişi CW 900 MHz Grubu (n=9) Doku Ağırlıkları, Spektrofotometre Okumaları ve Birim Dokuda EB Miktarı

Denek No	Doku Ağırlıkları (gr)				Spektrofotometre Okumaları				Birim Dokuda EB Miktarı (mg %)			
	Sağ Beyin	Sol Beyin	Serebellum	Toplam Beyin	Sağ Beyin	Sol Beyin	Serebellum	Toplam Beyin	Sağ Beyin	Sol Beyin	Serebellum	Toplam Beyin
1	0,7064	0,6627	0,4628	1,8319	0,095	0,054	0,078	0,227	0,1345	0,0815	0,16854	0,123915
2	0,6474	0,7159	0,4832	1,8465	0,058	0,08	0,078	0,216	0,08959	0,112	0,1614	0,116978
3	0,6256	0,6599	0,4779	1,7634	0,067	0,078	0,094	0,239	0,1071	0,1182	0,1967	0,135534
4	0,6702	0,6829	0,4951	1,8482	0,102	0,068	0,104	0,274	0,1522	0,09958	0,21	0,148252
5	0,6294	0,6124	0,4564	1,6982	0,089	0,096	0,11	0,295	0,1414	0,1568	0,241	0,173713
6	0,712	0,717	0,5142	1,9432	0,056	0,059	0,096	0,211	0,0787	0,0823	0,1867	0,108584
7	0,6476	0,6737	0,5049	1,8262	0,074	0,094	0,082	0,25	0,1143	0,1395	0,1624	0,136896
8	0,6539	0,6265	0,4735	1,7539	0,066	0,08	0,072	0,218	0,1009	0,1277	0,152	0,124294
9	0,6562	0,6091	0,4803	1,7456	0,065	0,087	0,092	0,244	0,09905	0,1428	0,1915	0,13978
Ort	0,6609	0,6622	0,4831	1,8063	0,0767	0,07733	0,08956	0,2416	0,11276	0,11782	0,18558	0,1342162
Std Sapma	0,03	0,04	0,02	0,07	0,02	0,02	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02

Tablo 27 : Grup IV: Dişi CW 1800 MHz Grubu (n=9) Doku Ağırlıkları, Spektrofotometre Okumaları ve Birim Dokuda EB Miktarı

Denek No	Doku Ağırlıkları (gr)				Spektrofotometre Okumaları				Birim Dokuda EB Miktarı (mg %)			
	Sağ Beyin	Sol Beyin	Serebellum	Toplam Beyin	Sağ Beyin	Sol Beyin	Serebellum	Toplam Beyin	Sağ Beyin	Sol Beyin	Serebellum	Toplam Beyin
1	0,7348	0,654	0,5356	1,9244	0,094	0,108	0,112	0,314	0,1279	0,1651	0,2091	0,163168
2	0,5953	0,6536	0,5012	1,7501	0,091	0,111	0,095	0,297	0,1529	0,1698	0,18955	0,169704
3	0,5812	0,7144	0,4747	1,7703	0,083	0,093	0,101	0,277	0,1428	0,1302	0,213	0,156471
4	0,5726	0,7161	0,4665	1,7552	0,088	0,101	0,12	0,309	0,1537	0,141	0,2572	0,176048
5	0,6309	0,6408	0,4989	1,7706	0,102	0,081	0,149	0,332	0,1617	0,1264	0,2987	0,187507
6	0,6689	0,6383	0,4882	1,7954	0,062	0,115	0,064	0,241	0,0927	0,1802	0,1311	0,134232
7	0,6603	0,6447	0,4924	1,7974	0,074	0,107	0,082	0,263	0,1121	0,166	0,1666	0,14632
8	0,5846	0,6591	0,4742	1,7179	0,071	0,051	0,074	0,196	0,1215	0,0774	0,15605	0,1141
9	0,6571	0,6114	0,4782	1,7467	0,066	0,074	0,1	0,24	0,1004	0,121	0,2091	0,137402
Ort	0,6317	0,6592	0,4899	1,7809	0,0812	0,0934	0,0997	0,274	0,12952	0,1419	0,2034	0,153884
Std Sapma	0,05	0,03	0,02	0,06	0,01	0,02	0,03	0,04	0,02	0,03	0,05	0,02

Tablo 28 : Grup V: Erkek CW 900 MHz Grubu (n=9) Doku Ağırlıkları, Spektrofotometre Okumaları ve Birim Dokuda EB Miktarı

Denek No	Doku Ağırlıkları (gr)				Spektrofotometre Okumaları				Birim Dokuda EB Miktarı (mg %)			
	Sağ Beyin	Sol Beyin	Serebellum	Toplam Beyin	Sağ Beyin	Sol Beyin	Serebellum	Toplam Beyin	Sağ Beyin	Sol Beyin	Serebellum	Toplam Beyin
1	0,5358	0,7287	0,5077	1,7722	0,1	0,148	0,151	0,399	0,1866	0,2031	0,2974	0,2251
2	0,6889	0,638	0,4505	1,7774	0,091	0,111	0,139	0,341	0,1321	0,1739	0,3085	0,191853
3	0,6972	0,6883	0,5323	1,9178	0,092	0,122	0,106	0,32	0,1319	0,1772	0,19914	0,166857
4	0,754	0,5926	0,4661	1,8127	0,139	0,088	0,086	0,313	0,18435	0,1485	0,1845	0,172671
5	0,7239	0,7025	0,5425	1,9689	0,035	0,108	0,052	0,195	0,04835	0,1537	0,09585	0,09904
6	0,6877	0,7235	0,4952	1,9064	0,08	0,103	0,081	0,264	0,1163	0,14236	0,1636	0,13848
7	0,6623	0,6717	0,4442	1,7782	0,07	0,152	0,089	0,311	0,1057	0,2263	0,2004	0,174895
8	0,7177	0,6891	0,5423	1,9491	0,068	0,072	0,11	0,25	0,09475	0,1045	0,2028	0,128264
9	0,7416	0,648	0,5419	1,9315	0,06	0,097	0,085	0,242	0,081	0,1497	0,1569	0,125291
Ort	0,6899	0,6758	0,5025	1,8682	0,0817	0,1112	0,09988	0,2928	0,12012	0,16436	0,201	0,15805
Std Sapma	0,06	0,04	0,04	0,08	0,03	0,03	0,03	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04

Tablo 29 : Grup VI: Erkek CW 1800 MHz Grubu (n=9) Doku Ağırlıkları, Spektrofotometre Okumaları ve Birim Dokuda EB Miktarı

Denek No	Doku Ağırlıkları (gr)				Spektrofotometre Okumaları				Birim Dokuda EB Miktarı (mg %)			
	Sağ Beyin	Sol Beyin	Serebellum	Toplam Beyin	Sağ Beyin	Sol Beyin	Serebellum	Toplam Beyin	Sağ Beyin	Sol Beyin	Serebellum	Toplam Beyin
1	0,6537	0,6611	0,5337	1,8485	0,098	0,123	0,138	0,359	0,1499	0,18605	0,2586	0,194212
2	0,6808	0,6645	0,4872	1,8325	0,088	0,051	0,087	0,226	0,1293	0,0767	0,17857	0,123329
3	0,716	0,6836	0,5525	1,9521	0,122	0,062	0,093	0,277	0,1704	0,0907	0,1683	0,141898
4	0,6839	0,7194	0,5753	1,9786	0,061	0,137	0,091	0,289	0,08919	0,1904	0,1582	0,146064
5	0,668	0,7013	0,5451	1,9144	0,053	0,056	0,073	0,182	0,0793	0,08	0,1339	0,0950689
6	0,6799	0,6105	0,5228	1,7987	0,097	0,171	0,062	0,33	0,1427	0,28	0,12	0,18347
7	0,6814	0,6941	0,5298	1,9053	0,061	0,137	0,091	0,289	0,0895	0,1974	0,1718	0,15168
8	0,5669	0,5825	0,4749	1,6243	0,049	0,052	0,067	0,168	0,08643	0,0893	0,1411	0,103429
9	0,6702	0,6458	0,4783	1,7943	0,081	0,071	0,097	0,249	0,1209	0,1099	0,2028	0,138772
Ort	0,6668	0,6625	0,5222	1,8449	0,07889	0,09556	0,08878	0,2632	0,1175	0,1445	0,1706	0,142
Std Sapma	0,04	0,04	0,04	0,1	0,02	0,04	0,02	0,06	0,03	0,07	0,04	0,03

Tablo 30 : Grup VII: Dişi 900 MHZ GSM Grubu (n=8) Doku Ağırlıkları, Spektrofotometre Okumaları ve Birim Dokuda EB Miktarı

Denek No	Doku Ağırlıkları (gr)				Spektrofotometre Okumaları				Birim Dokuda EB Miktarı (mg %)			
	Sağ Beyin	Sol Beyin	Serebellum	Toplam Beyin	Sağ Beyin	Sol Beyin	Serebellum	Toplam Beyin	Sağ Beyin	Sol Beyin	Serebellum	Toplam Beyin
1	0,7334	0,6759	0,506	1,9153	0,086	0,169	0,148	0,403	0,1173	0,25	0,2925	0,2104
2	0,6797	0,6488	0,5116	1,8401	0,14	0,293	0,157	0,59	0,206	0,4516	0,3069	0,3206
3	0,683	0,7423	0,4848	1,9101	0,132	0,119	0,209	0,46	0,1933	0,1603	0,4311	0,2408
4	0,6981	0,6278	0,4795	1,8054	0,165	0,176	0,19	0,531	0,2363	0,2803	0,3962	0,2941
5	0,6402	0,5961	0,4807	1,717	0,132	0,131	0,21	0,473	0,2062	0,2198	0,4369	0,2755
6	0,6308	0,6474	0,4916	1,7698	0,096	0,13	0,137	0,363	0,1522	0,2008	0,2787	0,2051
7	0,5666	0,7375	0,4868	1,7909	0,114	0,097	0,164	0,375	0,2012	0,132	0,3369	0,2094
8	0,7076	0,6904	0,5121	1,9101	0,085	0,102	0,149	0,336	0,1201	0,1477	0,291	0,1759
Ort	0,6674	0,6708	0,4941	1,8323	0,1188	0,1521	0,1705	0,4414	0,1791	0,2303	0,3463	0,2415
Std Sapma	0,05	0,05	0,01	0,07	0,03	0,06	0,03	0,09	0,04	0,1	0,06	0,05

Tablo 31 : Grup VIII: Dişi 1800 MHz GSM Grubu (n=9) Doku Ağırlıkları, Spektrofotometre Okumaları ve Birim Dokuda EB Miktarı

Denek No	Doku Ağırlıkları (gr)				Spektrofotometre Okumaları				Birim Dokuda EB Miktarı (mg %)			
	Sağ Beyin	Sol Beyin	Serebellum	Toplam Beyin	Sağ Beyin	Sol Beyin	Serebellum	Toplam Beyin	Sağ Beyin	Sol Beyin	Serebellum	Toplam Beyin
1	0,646	0,6272	0,4921	1,7653	0,063	0,102	0,1	0,265	0,0975	0,1626	0,2032	0,150116
2	0,5979	0,6696	0,4751	1,7426	0,073	0,105	0,055	0,233	0,1221	0,1568	0,1158	0,133708
3	0,6875	0,6431	0,4752	1,8058	0,068	0,068	0,095	0,231	0,0989	0,106	0,1999	0,127921
4	0,6191	0,6588	0,5188	1,7967	0,087	0,082	0,146	0,315	0,1405	0,1245	0,2814	0,175321
5	0,6618	0,6067	0,4611	1,7296	0,09	0,159	0,062	0,311	0,136	0,2621	0,1345	0,17981
6	0,674	0,576	0,5016	1,7516	0,052	0,09	0,072	0,214	0,07715	0,15625	0,14354	0,122174
7	0,6113	0,6701	0,5452	1,8266	0,086	0,077	0,059	0,222	0,1407	0,1149	0,10822	0,121537
8	0,6414	0,6765	0,5182	1,8361	0,059	0,083	0,057	0,199	0,09199	0,1227	0,10999	0,108381
9	0,6331	0,6603	0,5133	1,8067	0,109	0,054	0,053	0,216	0,17217	0,08178	0,1033	0,119554
Ort	0,6413	0,6431	0,5001	1,7846	0,07633	0,0911	0,07767	0,2451	0,1197	0,1431	0,1556	0,1376
Std Sapma	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	0,05	0,06	0,03

Tablo 32 : Grup IX: Erkek 900 MHz GSM Grubu (n=9) Doku Ağırlıkları, Spektrofotometre Okumaları ve Birim Dokuda EB Miktarı

Denek No	Doku Ağırlıkları (gr)				Spektrofotometre Okumaları				Birim Dokuda EB Miktarı (mg %)			
	Sağ Beyin	Sol Beyin	Serebellum	Toplam Beyin	Sağ Beyin	Sol Beyin	Serebellum	Toplam Beyin	Sağ Beyin	Sol Beyin	Serebellum	Toplam Beyin
1	0,6011	0,7436	0,4708	1,8155	0,068	0,076	0,054	0,198	0,1131	0,1022	0,1147	0,109061
2	0,6426	0,6775	0,4803	1,8004	0,066	0,075	0,119	0,26	0,1027	0,1107	0,2478	0,144412
3	0,717	0,6601	0,5052	1,8823	0,104	0,076	0,091	0,271	0,145	0,1151	0,1801	0,143973
4	0,6718	0,6278	0,4869	1,7865	0,091	0,097	0,093	0,281	0,1355	0,1545	0,191	0,157291
5	0,6922	0,681	0,4787	1,8519	0,091	0,123	0,083	0,297	0,1315	0,1806	0,1734	0,160376
6	0,6362	0,7043	0,4962	1,8367	0,052	0,066	0,06	0,178	0,08174	0,0937	0,12092	0,096913
7	0,6601	0,6384	0,5055	1,804	0,073	0,04	0,064	0,177	0,1106	0,06266	0,1266	0,098115
8	0,6423	0,6606	0,517	1,8199	0,077	0,08	0,147	0,304	0,12	0,1211	0,2843	0,167042
9	0,6715	0,6862	0,5362	1,8939	0,092	0,04	0,053	0,185	0,137	0,05829	0,09884	0,097682
Ort	0,6594	0,6755	0,4974	1,8323	0,0793	0,07478	0,08489	0,239	0,11968	0,11098	0,1709	0,1305
Std Sapma	0,03	0,03	0,02	0,04	0,02	0,03	0,03	0,05	0,02	0,04	0,06	0,03

Tablo 33 : Grup X: Erkek 1800 MHz GSM Grubu (n=10) Doku Ağırlıkları, Spektrofotometre Okumaları ve Birim Dokuda EB Miktarı

Denek No	Doku Ağırlıkları (gr)				Spektrofotometre Okumaları				Birim Dokuda EB Miktarı (mg %)			
	Sağ Beyin	Sol Beyin	Serebellum	Toplam Beyin	Sağ Beyin	Sol Beyin	Serebellum	Toplam Beyin	Sağ Beyin	Sol Beyin	Serebellum	Toplam Beyin
1	0,6841	0,6395	0,4757	1,7993	0,133	0,093	0,17	0,396	0,1944	0,1454	0,3574	0,220086
2	0,6739	0,6357	0,5094	1,819	0,113	0,148	0,148	0,409	0,1677	0,2328	0,2905	0,224849
3	0,6646	0,6343	0,4646	1,7635	0,148	0,169	0,19	0,507	0,2227	0,2664	0,409	0,287496
4	0,6957	0,6522	0,4951	1,843	0,207	0,264	0,203	0,674	0,2975	0,4048	0,41	0,365708
5	0,649	0,7298	0,4556	1,8344	0,166	0,203	0,171	0,54	0,2558	0,2782	0,3753	0,294374
6	0,7453	0,6272	0,4659	1,8384	0,135	0,135	0,171	0,441	0,1811	0,2152	0,367	0,239882
7	0,5487	0,7556	0,4763	1,7806	0,115	0,102	0,262	0,479	0,2096	0,135	0,55	0,26901
8	0,6209	0,6486	0,4861	1,7556	0,14	0,201	0,162	0,503	0,2255	0,3099	0,3333	0,286512
9	0,6668	0,7153	0,4942	1,8763	0,124	0,183	0,139	0,446	0,186	0,2558	0,2813	0,237701
10	0,7234	0,7138	0,4899	1,9271	0,097	0,189	0,124	0,41	0,1341	0,2648	0,2531	0,212754
Ort	0,6672	0,6752	0,4813	1,8237	0,1378	0,1687	0,174	0,4805	0,2074	0,2508	0,3627	0,2638
Std Sapma	0,05	0,05	0,02	0,05	0,03	0,05	0,04	0,08	0,05	0,08	0,08	0,05

11. İSTATİSTİKSEL EKLER

Tüm Gruplarda Maruz Kalınan RF Alan Verilerinin İstatistiksel Analizi

Grup I- Descriptive Statistics (E Alan)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,200000	,500000	,29166667	,088811598

Grup II-Descriptive Statistics (E Alan)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,260000	,450000	,32444444	,056813535

Grup III - Descriptive Statistics (E Alan)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	4,688700	4,743600	4,71196667	,017705719

Grup IV-Descriptive Statistics (E Alan)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	4,665200	5,134500	4,92263333	,126535726

Grup V- Descriptive Statistics (E Alan)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	4,483100	4,743600	4,68408889	,079520397

Grup VI-Descriptive Statistics (E Alan)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	4,665200	5,134500	4,92263333	,126535726

Grup VII-Descriptive Statistics (E Alan)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	8	4,950800	5,093800	4,98852500	,046947075

Grup VIII - Descriptive Statistics (E Alan)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	4,688700	4,743600	4,71196667	,017705719

Grup IX-Descriptive Statistics (E Alan)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	4,665200	5,134500	4,92263333	,126535726

Grup X - Descriptive Statistics (E Alan)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	10	4,483100	4,743600	4,68848000	,076247635

EB Miktarı İstatistikleri**Grup I****Sağ Beyin****Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,575200	,836600	,68682222	,076381244
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,066000	,133700	,08584444	,020926246
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,099160	,232400	,12702889	,040608632
Valid N (listwise)	9				

Sol Beyin**Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,651500	,786100	,72070000	,041113258
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,067400	,111100	,09250000	,016729839
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,085740	,168700	,12940333	,028084270
Valid N (listwise)	9				

Serebellum**Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,459000	,605100	,53526667	,051482206
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,044700	,122600	,09104444	,025139118
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,074700	,231500	,17304444	,053125114
Valid N (listwise)	9				

Toplam Beyin**Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	1,816400	2,152200	1,94278889	,110917305
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (Toplam EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,247500	,314400	,26938889	,023376401
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (Toplam EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,1249	,1692	,138884	,0127247
Valid N (listwise)	9				

Grup II**Sağ Beyin****Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,563400	,681200	,62368889	,044740402
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,024000	,060000	,04333333	,013019217
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,035230	,105200	,07088222	,025101661
Valid N (listwise)	9				

Sol Beyin**Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,572800	,666000	,62547778	,030138795
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,020000	,133000	,06044444	,035725030
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,030600	,219100	,09702667	,058142968
Valid N (listwise)	9				

Serebellum**Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,356100	,455700	,41165556	,035973779
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,007000	,043000	,02444444	,013020283
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,018500	,098200	,05892444	,029724394
Valid N (listwise)	9				

Toplam Beyin**Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	1,588300	1,767100	1,66082222	,064427533
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,092000	,201000	,12822222	,031379841
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB/ doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,056850	,121470	,07735556	,019456107
Valid N (listwise)	9				

Grup III**Sağ Beyin****Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,625600	,712000	,66096667	,030488686
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,056000	,102000	,07466667	,016658331
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB/ doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,075800	,152200	,11276000	,025284165
Valid N (listwise)	9				

Sol Beyin**Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,609100	,717000	,66223333	,040353346
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,054000	,096000	,07733333	,014585952
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,081500	,156800	,11782000	,026595594
Valid N (listwise)	9				

Serebellum**Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,456400	,514200	,48314444	,018836342
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,072000	,110000	,08955556	,012875472
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,152000	,241000	,18558222	,028212654
Valid N (listwise)	9				

Toplam Beyin**Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	1,698200	1,943200	1,80634444	,073417370
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,211000	,295000	,24155556	,028165187
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,108584	,173713	,13421622	,019221097
Valid N (listwise)	9				

Grup IV**Sağ Beyin****Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,572600	,734800	,63174444	,053693135
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,062000	,102000	,08122222	,013681902
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,092700	,161700	,12952222	,024792377
Valid N (listwise)	9				

Sol Beyin**Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,611400	,716100	,65915556	,034665369
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,051000	,115000	,09344444	,021095681
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,077400	,180200	,14190000	,032286530
Valid N (listwise)	9				

Serebellum**Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,466500	,535600	,48998889	,020821350
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,064000	,149000	,09966667	,025656383
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,131100	,298700	,20337778	,051416243
Valid N (listwise)	9				

Toplam Beyin**Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	1,717900	1,924400	1,78088889	,059204063
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,196000	,332000	,27433333	,043554563
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB/ doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,114100	,187507	,15388356	,023083395
Valid N (listwise)	9				

GRUP V**Sağ Beyin****Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,535800	,754000	,68990000	,064496356
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,035000	,139000	,08166667	,029133314
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,048350	,186600	,12011667	,045242189
Valid N (listwise)	9				

Sol Beyin**Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,592600	,728700	,67582222	,043675588
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,072000	,152000	,11122222	,026195313
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,104500	,226300	,16436222	,035778029
Valid N (listwise)	9				

Serebellum**Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,444200	,542500	,50252222	,040516379
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,052000	,151000	,09988889	,030546867
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,095850	,308500	,20101000	,066641402
Valid N (listwise)	9				

Toplam Beyin**Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	1,772200	1,968900	1,86824444	,081587731
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,195000	,399000	,29277778	,061122373
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB/doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,195000	,399000	,29277778	,061122373
Valid N (listwise)	9				

GRUP VI**Sağ Beyin****Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,566900	,716000	,66675556	,041015884
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,049000	,122000	,07888889	,024604087
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,079300	,170400	,11751333	,032871054
Valid N (listwise)	9				

Sol Beyin**Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,582500	,719400	,66253333	,044124341
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,051000	,171000	,09555556	,046173886
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,076700	,280000	,14449444	,071490910
Valid N (listwise)	9				

Serebellum**Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,474900	,575300	,52217778	,035074876
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,062000	,138000	,08877778	,022252965
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,122000	,258600	,17058556	,041206718
Valid N (listwise)	9				

Toplam Beyin**Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	1,624300	1,978600	1,84985556	,106741980
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,168000	,359000	,26322222	,063643102
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,095069	,194212	,14199143	,032797406
Valid N (listwise)	9				

Grup VII**Sağ Beyin****Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	8	,566600	,733400	,66742500	,052846428
Valid N (listwise)	8				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	8	,085000	,165000	,11875000	,028519417
Valid N (listwise)	8				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	8	,117300	,236300	,17907500	,043823925
Valid N (listwise)	8				

Sol Beyin**Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	8	,596100	,742300	,67077500	,051314096
Valid N (listwise)	8				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	8	,097000	,293000	,15212500	,063566473
Valid N (listwise)	8				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	8	,132000	,451600	,23031250	,102975676
Valid N (listwise)	8				

Serebellum**Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	8	,479500	,512100	,49413750	,013683143
Valid N (listwise)	8				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	8	,137000	,210000	,17050000	,028630653
Valid N (listwise)	8				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	8	,278700	,436900	,34627500	,065522532
Valid N (listwise)	8				

Toplam Beyin**Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	8	1,717000	1,915300	1,83233750	,074348041
Valid N (listwise)	8				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	8	,336000	,590000	,44137500	,088312655
Valid N (listwise)	8				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	8	,175900	,320600	,24147500	,050435241
Valid N (listwise)	8				

GRUP VIII**Sağ Beyin****Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,597900	,687500	,64134444	,029558633
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,052000	,109000	,07633333	,018069311
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB/ doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,077150	,172170	,11966778	,030417939
Valid N (listwise)	9				

Sol Beyin**Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,576000	,676500	,64314444	,033855026
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,054000	,159000	,09111111	,029960159
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,081780	,262100	,14307000	,051956432
Valid N (listwise)	9				

Serebellum**Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,461100	,545200	,50006667	,026734341
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,053000	,146000	,07766667	,030911163
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,103300	,281400	,15558333	,060468239
Valid N (listwise)	9				

Toplam Beyin**Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	1,729600	1,836100	1,78455556	,038325876
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,199000	,315000	,24511111	,042489541
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,108381	,179810	,13761356	,025360961
Valid N (listwise)	9				

GRUP IX**Sağ Beyin****Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,601100	,717000	,65942222	,033922772
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,052000	,104000	,07933333	,016355427
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB/ doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,081740	,145000	,11968222	,019952064
Valid N (listwise)	9				

Sol Beyin**Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,627800	,743600	,67550000	,034868790
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,040000	,123000	,07477778	,025849457
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,058290	,180600	,11098333	,039286046
Valid N (listwise)	9				

Serebellum**Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,470800	,536200	,49742222	,020848848
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,053000	,147000	,08488889	,031927435
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,098840	,284300	,17085111	,063324188
Valid N (listwise)	9				

Toplam Beyin**Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	1,786500	1,893900	1,83234444	,037165512
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,177000	,304000	,23900000	,053595709
Valid N (listwise)	9				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	9	,096913	,167042	,13054056	,029652631
Valid N (listwise)	9				

GRUP X**Sağ Beyin****Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	10	,548700	,745300	,66724000	,054696012
Valid N (listwise)	10				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	10	,097000	,207000	,13780000	,031115555
Valid N (listwise)	10				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	10	,134100	,297500	,20744000	,046301817
Valid N (listwise)	10				

Sol Beyin**Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	10	,627200	,755600	,67520000	,047832346
Valid N (listwise)	10				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	10	,093000	,264000	,16870000	,051274967
Valid N (listwise)	10				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	10	,135000	,404800	,25083000	,077841778
Valid N (listwise)	10				

Serebellum**Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	10	,455600	,509400	,48128000	,016587666
Valid N (listwise)	10				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	10	,124000	,262000	,17400000	,038614908
Valid N (listwise)	10				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	10	,253100	,550000	,36269000	,084579305
Valid N (listwise)	10				

Toplam Beyin**Descriptive Statistics (Doku ağırlığı)**

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	10	1,755600	1,927100	1,82372000	,052597102
Valid N (listwise)	10				

Descriptive Statistics (EB)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	10	,396000	,674000	,48050000	,083110703
Valid N (listwise)	10				

Descriptive Statistics (EB / doku ağırlığı)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
VAR00001	10	,212754	,365708	,26383720	,046799207
Valid N (listwise)	10				

Tüm Gruplarda sağ beyin, sol beyin, serebellum ve toplam beyin için yapılan Kruskal Wallis test sonucu (Gruplar birbirinden farklı, $p < 0.01$)
Test Statistics(a,b)

	SAGB	SOLB	SEREB	TOP
Chi-Square	42,400	36,146	57,381	58,301
df	9	9	9	9
Asymp. Sig.	,000	,000	,000	,000

a Kruskal Wallis Test

b Grouping Variable: GRUP

Gruplarda Sağ Beyin Sol Beyin Karşılaştırma Sonuçları

Grup I

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	30,000
Wilcoxon W	75,000
Z	-,577
Asymp. Sig. (2-tailed)	,564
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,606(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Grup II

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	31,000
Wilcoxon W	76,000
Z	-,481
Asymp. Sig. (2-tailed)	,630
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,673(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Grup III

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	27,000
Wilcoxon W	72,000
Z	-,866
Asymp. Sig. (2-tailed)	,386
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,423(a)

a Not corrected for ties.
b Grouping Variable: VAR00001

Grup IV

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	28,000
Wilcoxon W	73,000
Z	-,770
Asymp. Sig. (2-tailed)	,441
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,481(a)

a Not corrected for ties.
b Grouping Variable: VAR00001

Grup V

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	16,000
Wilcoxon W	61,000
Z	-1,925
Asymp. Sig. (2-tailed)	,054
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,059(a)

a Not corrected for ties.
b Grouping Variable: VAR00001

Grup VI

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	33,000
Wilcoxon W	78,000
Z	-,289
Asymp. Sig. (2-tailed)	,773
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,815(a)

a Not corrected for ties.
b Grouping Variable: VAR00001

Grup VII

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	18,000
Wilcoxon W	54,000
Z	-1,157
Asymp. Sig. (2-tailed)	,247
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,281(a)

a Not corrected for ties.
b Grouping Variable: VAR00001

Grup VIII

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	29,000
Wilcoxon W	74,000
Z	-,674
Asymp. Sig. (2-tailed)	,501
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,541(a)

a Not corrected for ties.
b Grouping Variable: VAR00001

Grup IX

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	23,000
Wilcoxon W	59,000
Z	-1,251
Asymp. Sig. (2-tailed)	,211
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,236(a)

a Not corrected for ties.
b Grouping Variable: VAR00001

Grup X

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	26,500
Wilcoxon W	71,500
Z	-,915
Asymp. Sig. (2-tailed)	,360
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,370(a)

a Not corrected for ties.
b Grouping Variable: VAR00001

Sağ Beyin: Dişi Kontrol / Dişi 900 MHz CW : $p > 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	32,000
Wilcoxon W	77,000
Z	-,751
Asymp. Sig. (2-tailed)	,453
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,489(a)

a Not corrected for ties.
b Grouping Variable: VAR00001
Sağ Beyin: Dişi Kontrol / Dişi 1800 MHz CW : $p > 0.01$
Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	31,000
Wilcoxon W	76,000
Z	-,839
Asymp. Sig. (2-tailed)	,402
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,436(a)

a Not corrected for ties.
b Grouping Variable: VAR00001
Sağ Beyin : Dişi Kontrol / Dişi 900 MHz GSM : $p < 0.05$
Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	13,000
Wilcoxon W	58,000
Z	-2,213
Asymp. Sig. (2-tailed)	,027
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,027(a)

a Not corrected for ties.
b Grouping Variable: VAR00001
Sağ Beyin: Dişi Kontrol / Dişi 1800 MHz GSM : $p > 0.01$
Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	37,000
Wilcoxon W	82,000
Z	-,309
Asymp. Sig. (2-tailed)	,757
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,796(a)

a Not corrected for ties.
b Grouping Variable: VAR00001
Sağ Beyin: Dişi 900 MHz GSM / Dişi 900 MHz CW: $p < 0.01$
Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	6,500
Wilcoxon W	51,500
Z	-2,840
Asymp. Sig. (2-tailed)	,005
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,002(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Sağ Beyin: Dişi 900 MHz GSM / Dişi 1800 MHz CW: $p < 0.05$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	15,000
Wilcoxon W	60,000
Z	-2,021
Asymp. Sig. (2-tailed)	,043
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,046(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Sağ Beyin: Dişi 900 MHz GSM / Dişi 1800 MHz GSM: $p < 0.05$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	11,000
Wilcoxon W	56,000
Z	-2,406
Asymp. Sig. (2-tailed)	,016
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,015(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Sol Beyin: Dişi Kontrol / Dişi 900 MHz CW : $p > 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	29,000
Wilcoxon W	74,000
Z	-1,015
Asymp. Sig. (2-tailed)	,310
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,340(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Sol Beyin: Dişi Kontrol / Dişi 1800 MHz CW : $p > 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	28,000
Wilcoxon W	73,000
Z	-1,104
Asymp. Sig. (2-tailed)	,270
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,297(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Sol Beyin : Dişi Kontrol / Dişi 900 MHz GSM : $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	8,000
Wilcoxon W	53,000
Z	-2,694
Asymp. Sig. (2-tailed)	,007
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,006(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Sol Beyin: Dişi Kontrol / Dişi 1800 MHz GSM : $p > 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	38,000
Wilcoxon W	83,000
Z	-,221
Asymp. Sig. (2-tailed)	,825
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,863(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Sol Beyin: Dişi 900 MHz GSM / Dişi 900 MHz CW : $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	4,000
Wilcoxon W	49,000
Z	-3,079
Asymp. Sig. (2-tailed)	,002
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,001(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Sol Beyin: Dişi 900 MHz GSM / Dişi 1800 MHz CW : $p < 0.05$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	13,000
Wilcoxon W	58,000
Z	-2,213
Asymp. Sig. (2-tailed)	,027
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,027(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Sol Beyin: Dişi 900 MHz GSM / Dişi 1800 MHz GSM : $p < 0.05$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	13,000
Wilcoxon W	58,000
Z	-2,213
Asymp. Sig. (2-tailed)	,027
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,027(a)

W

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Serebellum: Dişi Kontrol / Dişi 900 MHz CW : $p > 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	39,000
Wilcoxon W	84,000
Z	-,132
Asymp. Sig. (2-tailed)	,895
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,931(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Serebellum: Dişi Kontrol / Dişi 1800 MHz CW : $p > 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	30,000
Wilcoxon W	75,000
Z	-,928
Asymp. Sig. (2-tailed)	,354
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,387(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Serebellum : Dişi Kontrol / Dişi 900 MHz GSM : $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	,000
Wilcoxon W	45,000
Z	-3,464
Asymp. Sig. (2-tailed)	,001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,000(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Serebellum: Dişi Kontrol / Dişi 1800 MHz GSM : $p > 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	31,000
Wilcoxon W	76,000
Z	-,839
Asymp. Sig. (2-tailed)	,402
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,436(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Serebellum: Dişi 900 MHz GSM / Dişi 900 MHz CW: $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	,000
Wilcoxon W	45,000
Z	-3,464
Asymp. Sig. (2-tailed)	,001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,000(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Serebellum: Dişi 900 MHz GSM / Dişi 1800 MHz CW: $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	3,000
Wilcoxon W	48,000
Z	-3,177
Asymp. Sig. (2-tailed)	,001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,001(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Serebellum: Dişi 900 MHz GSM / Dişi 1800 MHz GSM: $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	1,000
Wilcoxon W	46,000
Z	-3,368
Asymp. Sig. (2-tailed)	,001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,000(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Sağ Beyin: Erkek Kontrol / Erkek 900 MHz CW : $p < 0.05$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	13,000
Wilcoxon W	58,000
Z	-2,428
Asymp. Sig. (2-tailed)	,015
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,014(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Sağ Beyin: Erkek Kontrol / Erkek 1800 MHz CW : $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	10,000
Wilcoxon W	55,000
Z	-2,693
Asymp. Sig. (2-tailed)	,007
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,006(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Sağ Beyin : Erkek Kontrol / Erkek 900 MHz GSM : $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	5,000
Wilcoxon W	50,000
Z	-3,135
Asymp. Sig. (2-tailed)	,002
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,001(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Sağ Beyin: Erkek Kontrol / Erkek 1800 MHz GSM : $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	,000
Wilcoxon W	45,000
Z	-3,674
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,000(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Sağ Beyin: Erkek 900 MHz CW / Erkek 1800 MHz CW: $p > 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	38,000
Wilcoxon W	83,000
Z	-,221
Asymp. Sig. (2-tailed)	,825
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,863(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Sağ Beyin: Erkek 900 MHz CW / Erkek 900 MHz GSM: $p > 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	37,000
Wilcoxon W	82,000
Z	-,309
Asymp. Sig. (2-tailed)	,757
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,796(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Sağ Beyin: Erkek 900 MHz CW / Erkek 1800 MHz GSM: $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	5,000
Wilcoxon W	50,000
Z	-3,135
Asymp. Sig. (2-tailed)	,002
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,001(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Sağ Beyin: Erkek 1800 MHz CW / Erkek 900 MHz GSM: $p > 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	39,000
Wilcoxon W	84,000
Z	-,132
Asymp. Sig. (2-tailed)	,895
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,931(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Sağ Beyin: Erkek 1800 MHz CW / Erkek1800 MHz GSM: $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	4,000
Wilcoxon W	49,000
Z	-3,348
Asymp. Sig. (2-tailed)	,001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,000(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Sağ Beyin: Erkek 900 MHz GSM / Erkek1800 MHz GSM: $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	3,000
Wilcoxon W	48,000
Z	-3,429
Asymp. Sig. (2-tailed)	,001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,000(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Sol Beyin: Erkek Kontrol / Erkek 900 MHz CW : $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	10,000
Wilcoxon W	55,000
Z	-2,693
Asymp. Sig. (2-tailed)	,007
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,006(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Sol Beyin: Erkek Kontrol / Erkek 1800 MHz CW : $p > 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	26,000
Wilcoxon W	71,000
Z	-1,280
Asymp. Sig. (2-tailed)	,200
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,222(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Sol Beyin : Erkek Kontrol / Erkek 900 MHz GSM : $p > 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	31,000
Wilcoxon W	76,000
Z	-,839
Asymp. Sig. (2-tailed)	,402
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,436(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Sol Beyin: Erkek Kontrol / Erkek 1800 MHz GSM : $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	4,000
Wilcoxon W	49,000
Z	-3,348
Asymp. Sig. (2-tailed)	,001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,000(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Sol Beyin: Erkek 900 MHz CW / Erkek 1800 MHz CW: $p > 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	31,000
Wilcoxon W	76,000
Z	-,839
Asymp. Sig. (2-tailed)	,402
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,436(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Sol Beyin: Erkek 900 MHz CW / Erkek 900 MHz GSM: $p < 0.05$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	15,000
Wilcoxon W	60,000
Z	-2,252
Asymp. Sig. (2-tailed)	,024
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,024(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Sol Beyin: Erkek 900 MHz CW / Erkek 1800 MHz GSM: $p < 0.05$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	16,000
Wilcoxon W	61,000
Z	-2,368
Asymp. Sig. (2-tailed)	,018
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,017(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Sol Beyin: Erkek 1800 MHz CW / Erkek 900 MHz GSM: $p > 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	33,000
Wilcoxon W	78,000
Z	-,662
Asymp. Sig. (2-tailed)	,508
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,546(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Sol Beyin: Erkek 1800 MHz CW / Erkek 1800 MHz GSM: $p < 0.05$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	14,000
Wilcoxon W	59,000
Z	-2,531
Asymp. Sig. (2-tailed)	,011
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,010(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Sol Beyin: Erkek 900 MHz GSM / Erkek 1800 MHz GSM: $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	4,000
Wilcoxon W	49,000
Z	-3,348
Asymp. Sig. (2-tailed)	,001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,000(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Serebellum: Erkek Kontrol / Erkek 900 MHz CW : $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	1,000
Wilcoxon W	46,000
Z	-3,488
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,000(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Serebellum: Erkek Kontrol / Erkek 1800 MHz CW : $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	,000
Wilcoxon W	45,000
Z	-3,576
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,000(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Serebellum : Erkek Kontrol / Erkek 900 MHz GSM : $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	,000
Wilcoxon W	45,000
Z	-3,576
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,000(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Serebellum: Erkek Kontrol / Erkek 1800 MHz GSM : $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	,000
Wilcoxon W	45,000
Z	-3,674
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,000(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Serebellum: Erkek 900 MHz CW / Erkek 1800 MHz CW : $p > 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	27,500
Wilcoxon W	72,500
Z	-1,149
Asymp. Sig. (2-tailed)	,251
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,258(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Serebellum: Erkek 900 MHz CW / Erkek 900 MHz GSM : $p > 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	28,000
Wilcoxon W	73,000
Z	-1,104
Asymp. Sig. (2-tailed)	,270
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,297(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Serebellum: Erkek 900 MHz CW / Erkek 1800 MHz GSM : $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	6,000
Wilcoxon W	51,000
Z	-3,184
Asymp. Sig. (2-tailed)	,001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,001(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Serebellum: Erkek 1800 MHz CW / Erkek 900 MHz GSM : $p > 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	38,000
Wilcoxon W	83,000
Z	-,221
Asymp. Sig. (2-tailed)	,825
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,863(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Serebellum: Erkek 1800 MHz CW / Erkek 1800 MHz GSM : $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	1,000
Wilcoxon W	46,000
Z	-3,593
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,000(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Serebellum: Erkek 900 MHz GSM / Erkek 1800 MHz GSM : $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	2,000
Wilcoxon W	47,000
Z	-3,511
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,000(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Dişi Kontrol Grubu / Dişi 900 MHz CW Grubu: $p > 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	33,000
Wilcoxon W	78,000
Z	-,662
Asymp. Sig. (2-tailed)	,508
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,546(a)

Dişi Kontrol Grubu / Dişi 1800 MHz CW Grubu: $p > 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	22,000
Wilcoxon W	67,000
Z	-1,634
Asymp. Sig. (2-tailed)	,102
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,113(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Dişi Kontrol Grubu / Dişi 900 MHz GSM Mod. Grubu: $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	,000
Wilcoxon W	45,000
Z	-3,464
Asymp. Sig. (2-tailed)	,001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,000(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Dişi Kontrol Grubu / Dişi 1800 MHz GSM Mod. Grubu: $p > 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	30,000
Wilcoxon W	75,000
Z	-,927
Asymp. Sig. (2-tailed)	,354
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,387(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Erkek Kontrol Grubu / Erkek 900 MHz CW: $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	1,000
Wilcoxon W	46,000
Z	-3,488
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,000(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Erkek Kontrol Grubu / Erkek 1800 MHz CW: $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	4,000
Wilcoxon W	49,000
Z	-3,223
Asymp. Sig. (2-tailed)	,001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,000(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Erkek Kontrol Grubu / Erkek 900 MHz GSM Mod.: $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	4,000
Wilcoxon W	49,000
Z	-3,223
Asymp. Sig. (2-tailed)	,001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,000(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Erkek Kontrol Grubu / Erkek 1800 MHz GSM Mod. : $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	,000
Wilcoxon W	45,000
Z	-3,674
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,000(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Dişi Kontrol Grubu / Erkek Kontrol Grubu: $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	,000
Wilcoxon W	45,000
Z	-3,576
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,000(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Dişi 900 MHz CW Grubu / Erkek 900 MHz CW Grubu: $p > 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	24,000
Wilcoxon W	69,000
Z	-1,457
Asymp. Sig. (2-tailed)	,145
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,161(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Dişi 1800 MHz CW Grubu / Erkek 1800 MHz CW Grubu: $p > 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	31,000
Wilcoxon W	76,000
Z	-,839
Asymp. Sig. (2-tailed)	,402
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,436(a)

Dişi 900 MHz GSM Mod. Grubu / Erkek 900 MHz GSM Mod. Grubu: $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	,000
Wilcoxon W	45,000
Z	-3,464
Asymp. Sig. (2-tailed)	,001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,000(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Dişi 1800 MHz GSM Mod Grubu / Erkek 1800 MHz GSM Mod. Grubu: $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	,000
Wilcoxon W	45,000
Z	-3,674
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,000(a)

a Not corrected for ties.

b Grouping Variable: VAR00001

Dişi 900 MHz CW / Dişi 900 MHz GSM Mod: $p < 0.01$

Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	,000
Wilcoxon W	45,000
Z	-3,464
Asymp. Sig. (2-tailed)	,001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,000(a)

a Not corrected for ties.
 b Grouping Variable: VAR00001
Erkek 900 MHz CW / Erkek 900 MHz GSM Mod.: $p > 0.01$
Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	22,000
Wilcoxon W	67,000
Z	-1,634
Asymp. Sig. (2-tailed)	,102
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,113(a)

a Not corrected for ties.
 b Grouping Variable: VAR00001
Dişi 1800 MHz CW/ Dişi 1800 MHz GSM Mod.: $p > 0.01$
Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	24,000
Wilcoxon W	69,000
Z	-1,457
Asymp. Sig. (2-tailed)	,145
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,161(a)

a Not corrected for ties.
 b Grouping Variable: VAR00001
Erkek 1800 MHz CW / Erkek 1800 MHz GSM Mod.: $p < 0.01$
Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	,000
Wilcoxon W	45,000
Z	-3,674
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,000(a)

a Not corrected for ties.
 b Grouping Variable: VAR00001
Dişi 900 MHz CW/ Dişi 1800 MHz CW: $p > 0.01$
Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	21,000
Wilcoxon W	66,000
Z	-1,722
Asymp. Sig. (2-tailed)	,085
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,094(a)

a Not corrected for ties.
 b Grouping Variable: VAR00001
Erkek 900 MHz CW / Erkek 1800 MHz CW: $p > 0.01$
Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	33,000
Wilcoxon W	78,000
Z	-,662
Asymp. Sig. (2-tailed)	,508
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,546(a)

a Not corrected for ties.
 b Grouping Variable: VAR00001
Dişi 900 MHz GSM Mod. / Dişi 1800 MHz GSM Mod.: $p < 0.01$
Test Statistics(b)

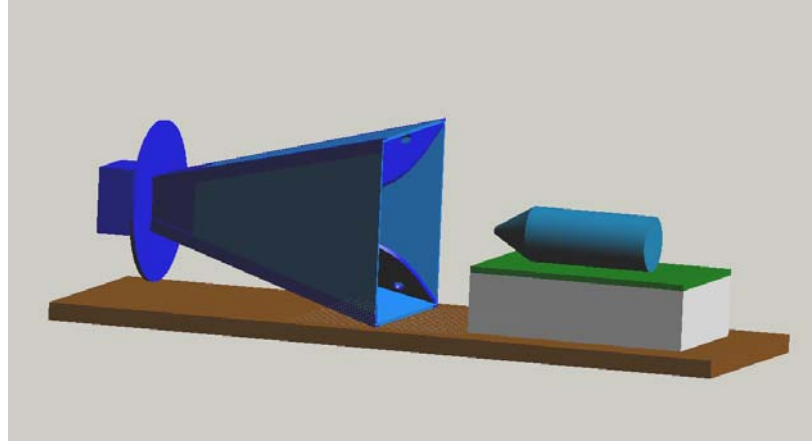
	VAR00002
Mann-Whitney U	1,000
Wilcoxon W	46,000
Z	-3,368
Asymp. Sig. (2-tailed)	,001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,000(a)

a Not corrected for ties.
 b Grouping Variable: VAR00001
Erkek 900 MHz GSM Mod. / Erkek 1800 MHz GSM Mod.: $p < 0.01$
Test Statistics(b)

	VAR00002
Mann-Whitney U	,000
Wilcoxon W	45,000
Z	-3,674
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,000(a)

a Not corrected for ties.
 b Grouping Variable: VAR00001

12. SAR SİMÜLASYONUNA İLİŞKİN EKLER



Şekil 36: Simülasyonu gerçekleştirilen RF alan maruziyet durumu

Tablo 34: Simülasyonda kullanılan malzemelerin dielektrik özellikleri

MALZEMELERİN DIELEKTRİK ÖZELLİKLERİ					
MALZEME	TİP	900 MHz		1800 MHz	
		ϵ	σ (S/m)	ϵ	σ (S/m)
Horn Antenin Metal Kısımları	PEC ¹	-	-	-	-
Horn Antenin Plastik Kısımları	Dielektrik	2,65	-	2,65	-
Masa	Dielektrik	5,3	0,01	2,3	0,01
Tahta Yükseltici ²	Dielektrik	5,3	0,01	2,3	0,01
Pleksiglas Yükseltici ³	Dielektrik	2,65	-	2,65	-
Sıçan Kafa	Dielektrik	44,3	0,7	42,6	1,04
Sıçan Gövde	Dielektrik	49,1	0,9	46,7	1,39

¹Mükemmel Elektriksel İletken (Perfect Electric Conducting, PEC)

²Sıçanın bulunduğu konumdaki yüksekliğini ayarlamak amacıyla kullanılmıştır.

³Sıçanın konumunu ayarlamak amacıyla kullanılmıştır.

Tablo 35: 900 ve 1800 MHz sürekli dalga uygulaması için Kafa bölgesinde elde edilen SAR değerleri

Uygulama	Anten Kazancı	1 gr Doku için Ortalama Tepe Sar Değeri (mW/kg)	10 gr Doku için Ortalama Tepe Sar Değeri (mW/kg)
900 MHz CW	8,69 dBi	5,13	4,26
1800 MHz CW	10,84 dBi	2,17	1,46

13. ÖZGEÇMİŞ

Arş. Gör. Bahriye SIRAV ARAL

Doğum Tarihi: 21.08.1976

Doğum Yeri: Ankara / TÜRKİYE

Medeni Durumu: Evli (Barış ARAL)

İletişim Adresi:

Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi

Biyofizik Anabilim Dalı Dekanlık 5. Kat 526 nolu oda

06500 Beşevler Ankara TÜRKİYE

Tel (İş) + 90-312-202 69 41

e-posta: bahriyes@gazi.edu.tr ve bahriyesaral@gmail.com

DERECELER:

- Ph.D. (Şubat 2008), Biyofizik, Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Ab.D., Ankara
- M.Sc. (Şubat 2002), Biyofizik, Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Ab.D., Ankara
- B.Sc. (1998), Fizik, ODTÜ, Ankara
- Yahya Kemal Beyatlı Lisesi (Fen), Yenimahalle, Ankara

İŞ DENEYİMİ:

Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, ANKARA, Biyofizik Ab.D. Araştırma Görevlisi (Madde 50/d) (20 Eylül 1999 – 18 Ocak 2008).

Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, ANKARA, Biyofizik Ab.D. Araştırma Görevlisi (Madde 33) (18 Ocak 2008-...).

İLGİ ALANLARI:

- Optoelektronik (CO₂ – He & Ne Lazerleri)
- Mikrodalga ve RF alanların Kan Beyin Bariyerine etkileri
- Mikrodalga ve RF alanların Sinir Sistemine etkileri
- Elektromanyetik (EM) Kirlilik

- Non-iyonizan radyasyon standartları (ICNIRP, IRPA, IEEE, FCC, CENELEC, Türkiye Standardı / TK- Telekomünikasyon Kurumu)
- Radyo Frekans (RF) ve Mikrodalga (MW) Radyasyon Kaynakları
- RF ve MW Radyasyonun Biyolojik Etkileri
- TV ve Radyo vericilerinden kaynaklanan RF radyasyonun hesaplanması
- RF ve ELF Radyasyon Ölçümleri
- Nörofizik - Felsefe

PROJELER

Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projesi

TF.01/2005–78: Sınav **Aral B.** , Seyhan N. "Radyo Frekans Radyasyon (RFR)'un Kan Beyin Bariyerine Etkisi" Mayıs 2007 tarihinde tamamlandı.

Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projesi

TF.31/2002–07: **Sınav B.** , Güler G. , Canseven A.G. , Seyhan N. "Elektromanyetik Kirlilik Merkezi" Aralık 2004 tarihinde tamamlandı.

Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projesi

TF.01/2003-62 : **Sınav B.**, Seyhan N. "Radyo Frekans Deney Sistemi" Eylül 2004 tarihinde tamamlandı.

Katıldığı Kurslar :

- Short Course on EMF Safety Management, 7–8 June 2007, Kuala Lumpur, MALAYSIA.
- Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı tarafından Sürekli Tıp Eğitimi Etkinlikleri kapsamında 24–25 Şubat 2007 tarihlerinde düzenlenen "3. Optofizyoloji ve Konfokal Mikroskopi" kursu, Ankara.
- Gazi Üniversitesi Laboratuvar Hayvanları Yetiştirme ve Deneysel Araştırmalar Merkezi tarafından 20–22 Kasım 2006 tarihleri arasında düzenlenen "Deney Hayvanları Uygulama ve Etik Kursu II", Ankara.
- Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi Sürekli Tıp Eğitimi Etkinlikleri kapsamında 6 Mayıs 2005 tarihinde düzenlenen "Araştırma ve Yayın Etiği" kursu, Ankara.
- Ege Üniversitesi Beyin Araştırmaları Merkezi ile International Brain Research Organization (IBRO) tarafından 10–18 Eylül 2003 tarihleri arasında düzenlenen "IBRO Course in Neuroscience", İzmir.
- Erciyes Üniversitesi Tıp Fakültesi ve Manchester University School of Biological Sciences tarafından 18–20 Mayıs 2000 tarihleri arasında organize edilen "Experimental Research Workshop", Kayseri.

Düzenlenmesinde Görev Aldığı Bilimsel Toplantılar:

- "WHO Workshop: Sensitivity of Children to EMF Exposure - Çocukların EM Alanlara Hassasiyeti", 9 – 10 Haziran 2004, Crowne Plaza Otel Toplantı Salonu, İstanbul.

Bilimsel Aktiviteler:

- "International EMF Conference 2007 Electromagnetic Fields, Bioeffects Research, Medical Applications, and Standards Harmonization", Kuala Lumpur, MALAYSIA, 4–6 June 2007.
- Selçuk Üniversitesi tarafından organize edilen "19. Ulusal Biyofizik Kongresi", Konya, TÜRKİYE, 5–7 Eylül 2007.
- Zonguldak Karaelmas Üniversitesi tarafından organize edilen "6. Ulusal Sinirbilim Kongresi", Safranbolu, Karabük, 9–13 Nisan 2007.
- Gazi Üniversitesi Nöropsikiyatri Eğitim Araştırma ve Uygulama Merkezi tarafından Gazi Nöropsikiyatri Buluşmaları çerçevesinde 22 – 23 Eylül 2006 tarihlerinde organize edilen "Biyolojiden Felsefeye akıl sorunu" başlıklı sempozyuma katılım, Ankara.
- WHO ve UNESCO Yerevan Life Sciences Center'ın birlikte düzenlediği "UNESCO SEMINAR: Molecular and Cellular Mechanisms of Biological Effects of EMF with practical workshop on "Non-thermal effect of Extra High Power Pulses (EHPP)"" toplantısına katılım, 1–3 Mart 2005, Yerevan, Ermenistan.
- Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı'nın WHO ile birlikte organize ettiği "WHO Workshop: Sensitivity of Children to EMF Exposure - Çocukların EM Alanlara Hassasiyeti" başlıklı çalıştay, 9–11 Haziran 2004, İstanbul.
- Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı'nın yine WHO ile birlikte düzenlediği "WHO EMF 9th International Advisory Committee Meeting - WHO EM Alanlar 9. Uluslararası Danışma Komitesi Toplantısı", 7–8 Haziran 2004, İstanbul.
- GATA Biyofizik Anabilim Dalı ve Türk Biyofizik Derneği tarafından ortak düzenlenen 14. Ulusal Biyofizik Kongresine Katılım, 4–6 Eylül 2002, Ankara.
- İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı ve Türk Biyofizik Derneği tarafından ortak düzenlenen 12. Ulusal Biyofizik Kongresine Katılım, 7–9 Eylül 2000, Silivri, İstanbul.
- Prof. Dr. Axel Perneczky (Mainz Üniversitesi, Almanya) tarafından verilen 'Keyhole Concept in Neurosurgery Endoscope Assisted Microsurgery' konferansına katılım, 11 Mart 2000, ODTÜ Kültür Kongre Merkezi.
- Türk Fizik Derneği'nin Çukurova Üniversitesi'nde düzenlediği '17. Fizik Konferansı'na katılım, Ekim 1998, Adana.
- Roma Üniversitesi tarafından düzenlenen Lazer ve Optoelektronik Seminer Programına katılım, Mayıs 1998, Roma, İTALYA.
- 1997 Birinci Türk Hava Oyunlarında Düzenleme Komitesi Üyesi, Türk Hava Kurumu, Haziran 1997, Ankara.
- Model Uçak Yapma Eğitim Programına Katılım, Türk Hava Kurumu, 1 Haziran–30 Ağustos 1986, Ankara.

Üyelikler:

- ODTÜ (Orta Doğu Teknik Üniversitesi) Mezunlar Derneği
- Türk Biyofizik Derneği
- Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Mezunlar Derneği
- Türk Fizik Derneği
- Anadolu Denizcilik Derneği
- Gazi Hastanesi Kadına Yönelik Şiddeti Önleme Çalışma Grubu

YAYINLAR

Yüksek Lisans Tezi

SIRAV Bahriye; Radyo Frekans Radyasyon Kaynakları, Ülkeler ve Uluslararası Kurumların Standartları, Türkiye'de Durum, Bir Pilot Bölge Radyasyon Hesaplaması, (Danışman: Prof. Dr. Nesrin SEYHAN, Yardımcı Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ayşe G. CANSEVEN KURŞUN), Gazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, sayfa sayısı: 117, 2001, Ankara, TÜRKİYE.

Uluslararası Yayınlar

SIRAV ARAL B., SEYHAN N.; Blood-Brain Barrier Disruption By Radio Frequency Radiation (CW), International Journal of Radiation Biology dergisine gönderildi (Kasım 2007).

ERAR H., SUNTER A:T., TUNCER E., AKER S., **SIRAV B**, SEYHAN N.; "The Prevalence of Cellular Phone Usage in Turkish Secondary and High School Students" ; European Biology and Bioelectromagnetics, Volume I, Issue 3, 2005, pp 280-293 (http://www.ebab.eu.com/iss_idx.asp?s_vol=1&s_iss=3).

SIRAV B.; SEYHAN, N.; Radio Frequency Radiation (RFR) From Radio Antennas, 2003 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility – EMC, Volume 2, 11-16 May 2003 , Page(s): 1232- 1236. Digital Object Identifier 10.1109/ICSMC2.2003.1429141 (<http://ieeexplore.ieee.org/iel5/9769/30810/01429141.pdf?isnumber=30810&prod=CNF&arnumber=1429141&arSt=+1232&ared=+1236+Vol.2&arAuthor=Sirav,+B.;+Seyhan,+N.>).

Ulusal Yayınlar

SIRAV ARAL B., SEYHAN N.; Radyo Frekans Radyasyon (RFR)'un Kan Beyin Bariyerine Etkisi, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Projesi Kesin Raporu, TF.01/2005-78, 2007.

SIRAV B., SEYHAN N.; Radyo Frekans Deney Sistemi, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Projesi Kesin Raporu, TF.01/2003-62, 2004.

Uluslararası Bildiriler

SEYHAN N., GULER OZTURK G., **SIRAV ARAL B.**, TOMRUK A., OZGUR E.; Effects of Radio Frequency Radiation on Pregnancy, Newborns and Permeability of Blood Brain Barrier, International Commission for Electromagnetic Safety (ICEMS), Scientific Workshop, Dec. 17, 2007, Venice, Italy.

SIRAV ARAL B., SEYHAN N.; 900 MHz and 1800 MHz CW EMF alter Blood Brain Barrier (BBB) Permeability of Male Rats, "International EMF Conference 2007 Electromagnetic Fields, Bioeffects Research, Medical Applications, and Standards Harmonization", Kuala Lumpur, MALAYSIA, 4-6 June 2007 (*sözlü sunum*).

SIRAV ARAL B., SEYHAN N.; Radio Frequency Radiation (RFR) Effects on Blood Brain Barrier (BBB) of Female Rats, "International EMF Conference 2007 Electromagnetic Fields, Bioeffects Research, Medical Applications, and Standards Harmonization", Kuala Lumpur, MALAYSIA, 4-6 June 2007.

SIRAV B., SEYHAN N.; TV and Radio Transmitters' Radio Frequency Radiation (RFR), "11th International Congress of the International Radiation Protection Association, Madrid, SPAIN, 23-28 May 2004".

SIRAV B., SEYHAN N.; Radio Frequency Radiation from Radio Antennas, "2003 IEEE International Symposium on EMC, Istanbul, TURKEY, 11-16 May 2003".

SIRAV B., SEYHAN N.; Evaluation of Radio Frequency Radiation (RFR) from TV & Radio Antennas at a Pilot Region ;"The Third International Conference Electromagnetic Fields and Human Health: Fundamental and Applied Research", Moscow, RUSSIA, 17 - 20 September 2002.

Ulusal Bildiriler

SIRAV ARAL B., SEYHAN N.; Radyo Frekans Radyasyonun Endüstride Kullanımı: Maruziyet ölçüm değerleri ve standartlar; "19. Ulusal Biyofizik Kongresi Bildiriler Kitapçığı", Konya, TÜRKİYE, 5-7 Eylül 2007.

SIRAV ARAL B., SEYHAN N.; Yaşam Alanlarında Trafolar : Maruziyet ölçüm değerleri ve standartlar; "19. Ulusal Biyofizik Kongresi Bildiriler Kitapçığı", Konya, TÜRKİYE, 5-7 Eylül 2007.

SIRAV ARAL B., SEYHAN N.; Radyo Frekans Radyasyon (RFR)'un Kan Beyin Bariyeri Geçirgenliğine Etkisi ; "6. Ulusal Sinirbilim Kongresi Bildiriler Kitapçığı", p 18, Safranbolu, Karabük, 9-13 Nisan 2007. (Neuroanatomy dergisinde Volume 6 - 2007, Supplement 1'de yayınlanmıştır.)

SIRAV ARAL B., SEYHAN N.; CW Radyo Frekans Radyasyon (RFR)'un Dişi Sıçan Kan Beyin Bariyerine Etkisi; "6. Ulusal Sinirbilim Kongresi Bildiriler Kitapçığı", p 72, Safranbolu, Karabük, 9-13 Nisan 2007. (Neuroanatomy dergisinde Volume 6 - 2007, Supplement 1'de yayınlanmıştır.)

SIRAV B., SEYHAN N.; Radyo Frekans Radyasyon Kaynakları, Türkiye'de Bir Pilot Bölge Radyasyon Hesaplaması ; "14. Ulusal Biyofizik Kongresi Bildiriler Kitapçığı", GATA, Ankara, TÜRKİYE, 4-6 Eylül 2002 .