

T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOFİZİK ANA BİLİM DALI

**KERATİN İÇEREN BİYOLOJİK ÖRNEKLERİN
DEĞİŞİK TÜR VE ENERJİLERDEKİ RADYASYON
MARUZİYETİNDE DOZİMETRE OLARAK KULLANIM
POTANSİYELLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

Semra TEPE ÇAM

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Nesrin SEYHAN
Yardımcı Tez Danışmanı
Prof. Dr. Mustafa KORKMAZ

ANKARA

Aralık 2011

T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOFİZİK ANA BİLİM DALI

**KERATİN İÇEREN BİYOLOJİK ÖRNEKLERİN
DEĞİŞİK TÜR VE ENERJİLERDEKİ RADYASYON
MARUZİYETİNDE DOZİMETRE OLARAK KULLANIM
POTANSİYELLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

Semra TEPE ÇAM

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Nesrin SEYHAN
Yardımcı Tez Danışmanı
Prof. Dr. Mustafa KORKMAZ

*Çalışma 104 nolu onay kodu ile üniversitemiz yerel Etik Kurul onayını
almıştır.*

ANKARA
Aralık 2011

T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Sağlık Bilimleri Enstitüsü

Biyofizik Ana Bilim Dalı Doktora Programı
çerçevesinde yürütölmüş olan bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından
Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi : 23/12/2011

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



Prof.Dr.Cemal CEVİK
Gazi Üniversitesi



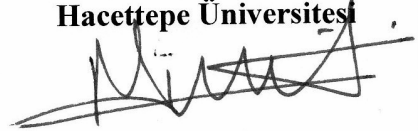
Prof.Dr. Nispet N. TER
Gazi Üniversitesi



Prof.Dr.Ferit PEHLİVAN
Ufuk Üniversitesi



Prof.Dr.Mustafa POLAT
Hacettepe Üniversitesi



İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER	v
TABLolar	vii
SEMBOLLER, KISALTMALAR	viii
BİRİMLER	ix
ÖNSÖZ	x
1.GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Elektromanyetik Dalga ve Elektromanyetik Spektrum	5
2.1.1. Elektrik Alan	7
2.1.2. Manyetik Alan	8
2.1.3. Elektromanyetik Spektrum	11
2.2. Elektromanyetik Radyasyon	12
2.2.1. İyonize Olmayan (Non-iyonize) Radyasyon	14
2.2.1.1. Radyofrekans Alanlar ve Etkileşim Mekanizmaları	14
2.2.1.1.1 Termal Mekanizmalar	16
2.2.1.1.2. Termal Olmayan Mekanizmalar	17
2.2.1.1.3. Elektrik Alan Etkileri	20
2.2.1.1.4. Manyetik Alan Etkileri	22
2.2.1.2. Radyofrekans Alanlar Fiziksel Özellikleri	23
2.2.1.3. Radyo Frekans Alan Kaynakları	26
2.2.1.4. Cep Telefonları	28
2.2.1.5. Radyo Frekans Alanların Sağlık ve Biyolojik Etkileri	30
2.2.1.5.1. DNA Hasarı ve Genetik Etkiler	31
2.2.1.5.2. Oküler Etkiler	32
2.2.1.5.3. Beyin ve Sinir Sistemi Etkileri	33
2.2.1.5.4. Kardiyovasküler Etkiler	36
2.2.1.5.5. Endokrin Sistem ve Hormonlara Etkiler	37
2.2.1.5.6. Kan Hücreleri ve Bağışıklık Sistemine Etkiler	38
2.2.1.5.7. Üreme Sistemine Etkiler	39
2.2.1.6. Dozimetri	41
2.2.1.6.1. Özgül soğurma oranı (SAR)	41
2.2.1.6.2. Dokulara Enerji Soğurulmasını Belirleyen Faktörler	43
2.2.1.8. RF Sınır Değerleri, Uluslararası Kuruluşlar ve Türkiye	47
2.2.2. İyonize Radyasyon	52
2.2.2.1. İyonize Radyasyon ve Etki Mekanizmaları	52
2.2.2.2. Dokuda İyonlaşma	53
2.1.2.3. İyonize Radyasyon Birimleri	56
2.2.2.4. İyonize Radyasyon Kaynakları	57
2.2.2.5. İyonize Radyasyona Mesleki Maruziyet	58

2.2.2.6. İyonize Radyasyonun Vücutta Hasar Oluşturma Riski	60
2.2.2.6.1. Somatik Hasarlar	60
2.2.2.6.2. Genetik Hasarlar	62
2.2.2.7. İyonize Radyasyonun Kronik Işınlanma Etkileri	62
2.2.2.8. İyonize Radyasyon Kaynakları ile İlgili Kazalar	63
2.3. Comet Assay (Tek Hücre Jel Elektroforez) Analiz Tekniği	65
2.3.1. Kullanım Alanları	68
2.3.2. Uygulama	70
2.3.3. Comet Tekniğini Etkileyen Faktörler	71
2.3.4. Comet Tekniğinin Avantajları	71
2.4. ESR Tekniği	72
2.4.1. ESR Spektroskopisinin Radikal Analizinde Kullanılması	77
2.4.2. ESR Spektroskopisinin Doz Ölçümünde Kullanılması	79
2.4.3. Dozimetri	79
2.4.3.1. Biyolojik dozimetreler	82
2.4.3.2. Saç dozimetreleri	85
2.5. Saç Yapısı	86
2.5.1. Saç Kökü	88
2.5.2. Saç Gövdesi	89
3. GEREÇ VE YÖNTEM	92
3.1. Örneklerin Temin Edilmesi ve Hazırlanması	92
3.1.1. Non-iyonize Radyasyon Maruziyeti	93
3.1.2. İyonize Radyasyon Maruziyeti	93
3.2. Yöntem	94
3.2.1. Non-iyonize radyasyon	94
3.2.2. İyonize radyasyon	95
3.3. Kullanılan Comet Assay Protokolü ve Parametreleri	95
3.3.1. Kullanılan Aletler	96
3.3.2. Kullanılan Kimyasal Maddeler	96
3.3.3. Kullanılan Çözeltilerin Hazırlanması	97
3.3.4. Saç köklerinde Comet Assay Yöntemi Uygulanışı	99
3.4. Kullanılan ESR Spektrometresi ve Parametreleri	101
4. BULGULAR	104
4.1. Non-iyonize Radyasyon (cep telefonu) Bulguları	104
4.1.1. Saç Kökü İle İlgili Comet Assay Bulguları	104
4.2. İyonize Radyasyon (Cs-137, Co-60) Bulguları	110
4.2.1. Saç kökü İle İlgili Comet Assay Bulguları	110
4.2.2. Saç Teli İle İlgili ESR Bulguları	114
4.2.2.1. Işınlanmamış saç teli ESR spektrumları	114
4.2.2.2. Işınlanmış saç teli ESR spektrumları	117
4.2.2.3. Saç Teli Sinyal Şiddetlerinin Mikrodalga Gücüne Bağlı Değişimleri	119
4.2.2.4. Sinyal Şiddetlerinin Normal Koşullardaki Sönümleri	121
4.2.2.5. Saç Örnekleri Doz Cevap Eğrileri	124
4.2.2.5.1. Düşük dozlar	124
4.2.2.5.2. Yüksek dozlar	126

4.2.2.6. Sinyal Şiddetlerinin Yüksek Sıcaklıklarda Tavlama Zamanına Bağlı Değişimleri	127
4.2.2.7. Işınlanmış Saç Örneklerinde Oluşan Kökçelerin Sönüm Aktivasyon Enerjileri	131
5. TARTIŞMA	135
6. SONUÇ	149
7. ÖZET	152
8. SUMMARY	155
9. KAYNAKLAR	158
10.EKLER	187
10.1. Tüm Gruplarda Maruz Kalınan RF Alan Verilerinin İstatistiksel Analizi	187
10.2. Tüm Gruplarda Maruz Kalınan Gama Radyasyonu Verilerinin İstatistiksel Analizi	192
10.3. Etik Kurul Onayı	199
11. ÖZGEÇMİŞ	200

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil no	Şekil adı	Sayfa no
Şekil 1	Elektromanyetik dalga yayılımı	11
Şekil 2	Elektromanyetik spektrum	15
Şekil 3	Frekansa bağlı olarak elektriksel geçirgenliğin ve iletkenliğin gösterimi	44
Şekil 4	E, H ve K polarizasyonları	46
Şekil 5	Işınlama ile oluşabilecek çeşitli DNA hasarları	55
Şekil 6	Belirli tip radyasyonun madde içine girme derinliği	57
Şekil 7	Tek Hücre Alkali Jel Elektroforezinde Harabiyete Uğramış Hücrenin Görüntüsü	65
Şekil 8	DNA hasar tipleri ve uygun comet assay Versiyonları	67
Şekil 9	Alkali comet tekniğinde kritik basamakların şematik gösterimi	71
Şekil 10	Bir serbest elektronun manyetik alan içindeki enerji düzeyleri	74
Şekil 11	Tek çizgili bir ESR spektrumunun karakteristik özellikleri a) soğurma , b) birinci türev	76
Şekil 12	İnsan saçında bulunan sülfürce zengin iki aminoasit a) Sistein and b) Sistin	87
Şekil 13	Saç yapısı	88
Şekil 14	Görüntü analiz programı ile DNA hasarı miktarının belirlenmesi	101
Şekil 15	Kullanılan ESR spektrometrelerinin şematik diyagramı	102
Şekil 16	Cep telefonu konuşması öncesi ve sonrası kaydedilen görüntülerden örnekler a)kontrol ve 15 dakika b) kontrol ve 30 dakika	107
Şekil 17	Saç köklerinde cep telefonu konuşma süresine bağlı ortalama kuyruk uzunluğu değerlerinin karşılaştırılması (istatistiksel anlamlı, $p<0.05$)	109
Şekil 18	Saç köklerinde cep telefonu konuşma süresine bağlı ortalama kuyruk momenti değerlerinin karşılaştırılması (istatistiksel anlamlı, $p<0.05$)	110
Şekil 19	Kuyruk uzunluğu - doz cevap eğrisi	112
Şekil 20	Kuyruk momenti - doz cevap eğrisi	113
Şekil 21	Işınlanmamış DS (---) ve BS (—) ESR Spektrumları	115
Şekil 22	ESR sinyal şiddetlerinin örnek miktarına bağlı değişimleri	117
Şekil 23	Işınlanmış saç teli ESR spektrumları; (—)DS; (—)DS N4; (—)BS; (—)Kumral; (—)Kızıl; (—)Sarı	118
Şekil 24	625 Gy doz değerinde ışınlanmış saç teli örnekleri için elde edilen mikrodalga doyum bulguları[(□)DS; (Δ)kızıl; (+) DS N4; (◇) sarı; (○) BS; (►) kumral]	120
Şekil 25	12 kGy doz değerinde ışınlanmış farklı renk saç örnekleri sinyal şiddetlerinin normal koşullardaki zamanla değişimleri [(■)deneysel; (---)kuramsal]	123
Şekil 26	Işınlanmış saç örnekleri sinyal şiddetlerinin 5-50 Gy arası radyasyon dozuna bağlı değişimleri [(■) deneysel; (---) kuramsal]	125
Şekil 27	Işınlanmış saç örnekleri sinyal şiddetlerinin	

Şekil 28	0-750 Gy arası radyasyon dozuna bağlı değişimleri [(■) deneysel; (---) kuramsal] Bire normalize edilmiş farklı renk saç örnekleri sinyal şiddetlerinin üç değişik sıcaklıkta tavlama zamanına bağlı değişimi [(■) 313 K; (○) 323 K; (Δ) 333 K; (---) kuramsal]	128
Şekil 29	a) doğal siyah b) sarı c) boyalı siyah Spektrumlara katkı getiren radikaller için oluşturulan $\ln(k) - 1/T$ grafikleri [(■) A; (▲) B; (---) kuramsal] a)doğal siyah b) sarı c) boyalı siyah	130 133

TABLO LİSTESİ

Tablo no	Tablo adı	Sayfa no
Tablo 1	Elektromanyetik Spektrum bileşenlerinin frekans, dalga boyu ve foton başına enerji değerleri	13
Tablo 2	İyonize ve Non-iyonize radyasyon bölgelerinin frekanslara göre dağılımı, kaynakları ve bunların vücutta bilinen etkileri	16
Tablo 3	RF Alan Kaynakları ve bu kaynakların frekans, güç ve belli uzaklıkta çevrelerine yaydıkları radyasyon değerleri	27
Tablo 4	Medikal maruziyet kaynakları frekans değerleri ve belli uzaklıkta çevrelerine yaydıkları radyasyon değerleri	28
Tablo 5	Mesleki Maruziyette izin verilen ICNIRP Limitleri (MPE)	48
Tablo 6	Genel Halk için izin verilen ICNIRP Limitleri (MPE)	48
Tablo 7	Telekomünikasyon Kurumu Yönetmeliğinde Yer Alan RF Standartları	49
Tablo 8	Kontrolsüz etkilene için sınır değerler	50
Tablo 9	Türkiye’de kontrolsüz etkilene için sınır değerler	51
Tablo 10	Hücre izolasyonu için denemesi yapılan koşullar	99
Tablo 11	Gönüllülerin yaşam parametreleri	104
Tablo 12	Kontrol ve cep telefonu (900 MHz) maruziyet grupları her bir gönüllüye ait kuyruk uzunluğu değerleri. Her değer 100 hücre görüntüsü analizinin ortalamasıdır.	108
Tablo 13	Kontrol ve gama radyasyonu (Cs-137) maruziyet grupları kuyruk momenti değerleri. Her değer 100 hücre görüntüsü analizinin ortalamasıdır.	111
Tablo 14	Saç kökü kuyruk uzunluğu- doz cevap eğrilerine uydurulmaya çalışılan matematiksel fonksiyonlar ve R^2 değerleri	113
Tablo 15	Saç kökü kuyruk momenti- doz cevap eğrilerine uydurulmaya çalışılan matematiksel fonksiyonlar ve R^2 değerleri	114
Tablo 16	Işınlanmamış saç örneklerine ait g değerleri, ESR spektrumları yayılma bölgesi ve tepeden tepeye uzaklıkları (ΔH_{pp})	116
Tablo 17	Işınlanmış saç örneklerine ait g değerleri, ESR spektrumları yayılma bölgesi ve tepeden tepeye uzaklıkları (ΔH_{pp})	119
Tablo 18	Işınlanmış saç örnekleri ESR spektrumuna katkı getiren radikal türleri için hesaplanan oda sıcaklığı sönmü sabitleri ve katılım ağırlık oranları	122
Tablo 19	Saç örnekleri doz-cevap eğrilerine uydurulmuş lineer matematiksel fonksiyon ve R^2 değerleri.	126
Tablo 20	Saç örnekleri doz-cevap eğrilerine uydurulmaya çalışılan matematiksel fonksiyonlar ve R^2 değerleri	129
Tablo 21	Işınlanmış saç örnekleri ESR spektrumlarına katkı getiren radikaller için değişik sıcaklıkta hesaplanan k sönmü sabitleri	132
Tablo 22	Işınlanmış saç örnekleri ESR spektrumlarına katkı getiren radikaller için hesaplanan sönmü aktivasyon enerjileri	135

SEMBOLLER, KISALTMALAR

B	(Magnetic Field)	: Manyetik Alan
BS	(Dyed Black)	: Boyalı siyah
c	(Speed of Light)	: Işık Hızı
⁶⁰Co	(Cobalt gamma source)	: Kobalt gama kaynağı
¹³⁷Cs	Cesium gamma source	: Sezyum gama kaynağı
E	(Electric Field)	: Elektrik Alan
ELF	(Extremely Low Frequency)	: Oldukça Düşük Frekans Aralığı (0 < f < 300Hz)
EM	(Electromagnetic)	: Elektromanyetik
ESR	(Electron Spin Resonance)	: Elektron Spin Rezonans
EEG	(Electroencephalography)	: Elektroansefalografi
f	(Frequency)	: Frekans
FCO	(Federal Communications Commission)	: Federal Komünikasyon Komisyonu
g	(Spectroscopic Splitting Factor)	: Spektroskopik Yarılmaya Çarpanı
Gy	(Gray)	: Gray
GNRK	(Gazi Non-Ionizing Radiation Protection Center)	: Gazi Non-İyonizan Radyasyondan Korunma Merkezi
GSM	(Global System for Mobile Communication)	: Küresel Mobil İletişim Sistemi
H	(Magnetic Field)	: Manyetik Alan
H_r	(Resonance Magnetic Field)	: Rezonansın Gerçekleştiği Manyetik Alan Değeri
ICNIRP	(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)	: Uluslararası Non-İyonize Radyasyondan Korunma Komisyonu
IEEE	(Institute of Electrical and Electronics Engineers)	: Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Enstitüsü
ILO	(International Labor Organization)	: Uluslararası Çalışma Örgütü
IRPA	(International Radiation Protection Association)	: Uluslararası Radyasyondan Korunma Birliği
k	Propagation Vector	: Yayılma Vektörü
LF	(Low Frequency)	: Düşük Frekans Aralığı (300 Hz < f < 3 kHz)
LMA	(Low Melting Agarose)	: Düşük kaynama dereceli agar
MD	(Microwave)	: Mikrodalga
MIS	(Mechanical Induced Signal)	: Mekanik Etki Kaynaklı Sinyal
MPE	(Maximum Permissible Exposure)	: İzin verilen en fazla maruziyet dozu
MRI	(Magnetic Resonance Imaging)	: Manyetik Rezonans Görüntüleme
NIR	(Non-Ionizing Radiation)	: Non-İyonizan Radyasyon
NMA	(Normal Melting Agarose)	: Normal kaynama dereceli agar
ORT	(Arithmetic Mean)	: Aritmetik Ortalama
RF	(Radio Frequency)	: Radyofrekans (3 kHz < f < 300 GHz)
RIS	(Radiation Induced Signal)	: Radyasyon Spesifik Sinyal
SE	(Standard Error of Mean)	: Standart Hata
SCGE	(Single Cell Gell)	: Tek Hücre Jel Elektroforez Tekniği

SYBR	Electrophoresis (DNA binding dye)	: DNA floresans boyası
Sv	Sievert	: Sievert
Z	Impedance	: Empedans
eV	(Electron Volt)	: Elektron Volt
G	Gauss	: Gauss (Manyetik Alan Şiddeti Birimi)
σ	Conductivity	İletkenlik
ϵ_0	Electrical Permittivity	: Boşluğun Elektrik Geçirgenliği
μ_0	Magnetic Permeability	: Boşluğun Manyetik Geçirgenliği
ϵ	Electrical Permittivity	: Elektriksel Geçirgenlik
μ	Magnetic Permeability	: Manyetik Geçirgenlik
λ	Wavelength	: Dalga Boyu
γ	Gamma Ray	: Gama Işını
μ_B	Bohr Magneton	: Bohr magnetonu
ν_0	Applied Electromagnetic Wave Frequency	: Uygulanan Elektromanyetik Dalganın Frekansı
ν	(Frequency)	: Frekans
ΔH_{pp}	Peak to peak Linewidth	Tepeden-tepeye Çizgi Genişliği

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	N/C
Elektrik Akım Şiddeti (I)	Amper	A
Elektriksel iletkenlik (σ)	Siemens/metre	S/m
Güç Yoğunluğu (S)	Watt/metre ²	W/m ²
Dalga Boyu (λ)	metre	m
	Angstrom	Å
Frekans (f)	Hertz (sn ⁻¹)	Hz
Güç (P)	Watt	W
Uzaklık (x, h, R)	metre	m
Hız (u)	metre/saniye	m/s
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 Yüğü	Coulomb	C
Sıcaklık	Santigrat Derece	°C
	Fahrenheit Derece	°F
Manyetik Geçirgenlik (μ)	Henry/metrekare	H/m ²
Dielektrik Geçirgenlik (ϵ)	Farad/metrekare	F/m ²

ÖNSÖZ

Doktora eğitimim süresince ve tez çalışmamın gerçekleşmesinde çok değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda hoşgörüsü ve desteğini gördüğüm çok değerli hocam ve tez danışmanım Sn. Prof.Dr. Nesrin SEYHAN'a,

Tez çalışmamın birçok aşamasında bilimsel ve manevi katkılarından yararlanma fırsatı veren çok değerli hocam ve tez danışmanım Sn. Prof. Dr. Mustafa KORKMAZ'a,

Saç köklerine DNA Comet Assay tekniğinin uygulanması ve cep telefonu maruziyeti önerileriyle Washington Univ. Bioengineering Bölümü'nden Prof.Dr. Henry LAL'ye ve yöntemini saç köklerinde DNA kırığını bulmak için modifiye etmiş olduğum Prof.Dr. Narendra P. SINGH'e,

Tez izleme komitelerine zaman ayıran ve aktardıkları bilgi ve önerileriyle çalışmama katkıda bulunan Sn. Prof.Dr. Mustafa POLAT'a ve Sn. Prof.Dr. Cemal ÇEVİK'e,

Bu çalışmanın gerçekleşmesi onayını veren Sn. TAEK SANAEM Yönetimine, Laboratuar çalışmalarımın gerçekleşmesinde kolaylık sağlayan Sn. Dozimetri Birimi ESR Lab. çalışma arkadaşlarıma, Comet analizlerinin gerçekleşmesinde büyük desteklerini gördüğüm Sn. Gamze Umulu özelinde Tıp Birimi Moleküler Genetik Lab. çalışma arkadaşlarıma ve Görüntü çekimlerinde çalışma ortamı kolaylığı sağlayan Gıda Birimi DNA Comet Lab. çalışma arkadaşlarıma,

Hoşgörüsü ve sabırla saç kökü örneklerini sağlayan Sn. Filiz Karacan'a, Sn. Gamze Umulu'ya, Sn. Tülay Konaç'a, Sn. Sibel Ünlü'ye, Sn. Seyit Canpolat'a, Sn.Sinan Türköz'e,

Bölümde her konuda yardım isteyebildiğim dostum Sn. Semih ÖZDEN'e,

Doktora eğitimim süresince her zaman her konuda bana destek olan ve bana güç katan sevgili eşim Ercan Barış ÇAM'a ve her zaman yanımda olduklarını bana hissettiren canım aileme,

Ve varlığıyla canıma can katan biricik kızım Zeynep Asya'ma

İçten teşekkürlerimi sunarım...

1. GİRİŞ

Son elli yıldır artan bir ivme kazanan teknolojiadaki gelişmeler, çağdaş teknolojinin ortaya çıkardığı bilimsel bir kavram olan radyasyon sözcüğüne güncellik kazandırmıştır. Günümüzde nükleer enerji, Elektromanyetik (EM) dalgalar ya da elektromanyetik radyasyon terimleri daha çok konuşulmaya başlanmıştır. Zaman zaman nükleer denemeler ya da reaktör kazaları dolayısıyla ortaya çıkan radyasyon tehlikesinden endişe duyulmaktadır. Yaygın olarak kullanılan tıbbi ,endüstriyel ve askeri radyasyon uygulamaları bilinçli çalışanlar yetiştirmeyi, radyasyondan korunma yollarını öğretmeyi ve radyasyon kazalarını önleyici denetim kurallarını getirmeyi zorunlu kılmaktadır.

Elektromanyetik spektrum radyasyon açısından iyonize ve iyonize olmayan (elektromanyetik, EM) olarak ikiye ayrılır. 1970'li yılların başından bu yana EM radyasyon toplum sağlığını etkileyen potansiyel çevre faktörleri listesine alınmış ve “elektromanyetik kirlilik” konusu gündeme gelmiştir. Aslında EM radyasyon yaşantımızın bir parçası haline gelmiştir. Teknolojik gelişmeler sayesinde çevremiz, evimiz kullanımı kolay ancak sürekli EM radyasyon yayan cep telefonları, kablosuz iletişim ağıları, baz istasyonları, bilgisayarlar, radyo/uydu ve verici antenler, yüksek gerilim hatları ve hayatımızı kolaylaştıran birçok makine ile donatılmıştır. Bu konuda pek çok bilimsel çalışma yapılmakta, sonuçlar tartışılmakta, biyolojik etkiler yavaş yavaş ortaya çıkmaktadır. Sonuçlar EM enerjiden yararlanırken güvenlik önlemleri alınmasını, kullanıcıların bilinçlendirilmesini ve tedbirli davranmaları gerektiğini göstermektedir. Özellikle 1990lardan sonra hayatımıza giren cep telefonları sayesinde RadyoFrekans (RF) alan maruziyetinde ciddi artış yaşanmaktadır. Bu

artışa paralel olarak Alzheimer, multiple sclerosis , lösemi lenfoma gibi kanser türleri, sinir sistemi bozuklukları, uyku bozuklukları, öğrenme güçlükleri, baş ağrısı, kan beyin bariyeri geçirgenliğinin artması, beyin sıcaklığının artması, kromozomal bozulmalar, DNA hasarı gibi pek çok biyolojik etki gözlenmiştir. Cep telefonlarının hem beyin gibi hassas bir organa en yakın mesafede kullanılması hem de RF alanların deri gibi yüzeysel dokularda en fazla soğurulduğu gerçeğinden yola çıkılarak, **bu tez çalışmasında, 900 MHz frekanslı cep telefonu kullanılan kulak arkası bölgesinden alınmış saç köklerinde RF radyasyon maruziyetinden doğan DNA hasarı etkisi Comet assay tekniği ile araştırılmıştır. Aynı zamanda, olası DNA hasarı sonuçları ile RF alan maruziyet süresi arasında korelasyon olup olmadığı araştırılmıştır.** Benzer çalışma literatürde incelenmemiştir.

Olası olumsuz sağlık etkilerini önlemek adına, cep telefonlarına ulusal ve uluslar arası standartlarda özgül soğurma oranı (SAR) ile belirtilen RF alan doz limitleri konulmuştur. SAR doğrudan kişiler üzerinde ölçülemeyip laboratuvarlarda doku eşdeğeri fantomlar üzerinde ya da bilgisayar simülasyon programları yardımıyla belirlenebilmektedir.

Hiroşima ve Nagasaki'den sonra Çernobil ve Golan' da ve birçok ülkenin enerji ve teknoloji enstitülerinde meydana gelen radyasyon kazaları sonucu, iyonize radyasyonun yarattığı dozun ölçümünde fiziksel ve biyolojik metodların önemi daha iyi anlaşılmıştır. Radyasyonun pek çok alanda yaygın kullanılıyor olması, kaza riskini artırmaktadır. Kaza sonucu soğurulan radyasyonun duyarlı bir şekilde ölçülmesi ile radyasyona maruz kalan kişilere uygulanacak en uygun tıbbi tedavi yöntemi belirlenebilecektir. Bu nedenle, olası radyasyon kazalarında kişiler tarafından soğurulan dozu belirleyebilecek ve uygun tedavi yöntemine

yönledirebilecek, dünya genelinde kullanıma açık biyolojik dozimetre arayışı, son yılların yoğun çalışılan konularındandır. Kaza esnasında, kişisel olarak her bireyin fiziksel dozimetresi olamayabileceği için, soğurulan dozun belirlenmesinde çevrede ve insanların üzerinde bulunması muhtemel eşyalardan veya her insanın üzerinde taşıdığı biyolojik örneklerden yararlanılabilir. **Bu tez çalışmasında, Co-60 ve Cs-137 gama kaynaklarında farklı dozlarda ışınlanan doğal siyah, boyalı siyah, kumral (kahverengi), sarı ve kızıl renk saç teli ve saç kökü örneklerinin potansiyel biyolojik dozimetre malzemesi olarak kullanılabilirliği Elektron Spin Rezonans (ESR) ve Comet Assay teknikleri ile araştırılmıştır.** ESR tekniği ile üzerinde araştırma yapılan biyolojik örneklerden bazıları saç, tırnak, kemik, diş, şeker ve ilaç türleridir. Biyolojik dozimetre olarak saç, temininin kolay, hızlı ve ağrısız olması, doğal olarak her bireyin üzerinde taşınması ile doğrudan soğurulan dozu yansıtmaması ve vücutta diğer kıl örnekleri ile benzerlik gösterdiklerinden, kafa dışında da analiz imkanı vermesi üstünlükleri ile diğer biyolojik malzemelerden ayrılır. Saç kökünün Comet Assay tekniği ile dozimetrik açıdan incelendiği çalışma literatürde yer almıyor iken, saç teli örneklerinin ESR tekniği ile bu anlamda değerlendirildiği çalışmalar bulunmaktadır. Ancak tüm saç renkleri dozimetrik açıdan aynı çalışmada incelenmemiştir ve boyalı saçların sonuçları nasıl değiştirdiği henüz irdelenmemiştir. Biyolojik dozimetre çalışmalarında elde edilen bulguların her birey için genelleştirilebilmesi adına aynı tür örnek üzerinde yapılmış pek çok çalışmaya gereksinim duyulmaktadır.

ESR tekniği, veri analizinin hızlı ve radyasyona hassas olması, kaydedilen sinyal şiddetinin soğurulan dozla değişim göstermesi, ölçümlerde örneği tahrip etmemesi özellikleriyle tercih edilen bir yöntemdir. Comet assay tekniği, az sayıda hücre ile analizin gerçekleştirilebilmesi, kolaylıkla uygulanabilmesi, değişik hücre ve doku grupları ile

alışılabilmesi, sonuçların  dört saat içinde elde edilip değerlendirilmesi ve direkt DNA hasarını göstermesi gibi avantajları nedeniyle tercih edilir. Radyasyona hassasiyeti yüksek ancak özgünlüğünün düşük olması özelliği ile doz tarama metodu olarak kullanılmaktadır. Kesin bir doz tayini yapabilmek için biyolojik ve fiziksel dozimetri teknikleri bir arada ve birbirlerini bütünleyici olarak kullanılmalıdır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Elektromanyetik Dalga ve Elektromanyetik Spektrum

Herhangi bir elektromanyetik olay, Maxwell denklemlerini sağlayan vektörel E, D,H,B alanları ile belirlenir. Bunlar sırasıyla; elektrik alan, elektrik yer değişim vektörü, manyetik alan ve manyetik indüksiyondur. Bunlar birbirlerine;

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

denklemleri ile bağlıdır. Burada; ϵ elektriksel geçirgenlik, μ manyetik geçirgenliktir.

Elektromanyetik dalga, uzayda ya da maddesel bir ortamda yayılan elektrik ve manyetik alan dalgalarının ortak adıdır. Elektromanyetik dalgalar iki etkinin sonucunda oluşurlar: 1. Manyetik alanın değişimi, bir elektrik alan oluşturur. 2. Elektrik alanın değişimi, bir manyetik alan oluşturur¹. Elektrik ve manyetik alanların davranışlarını açıklayan denklemler ilk defa 1864 yılında James Clerk Maxwell tarafından bulunmuş ve bu denklemler Maxwell denklemleri diye adlandırılmıştır. Bu dört denklem sırasıyla, elektrik alanın elektrik yükler tarafından oluşturulduğunu (Gauss Yasası), manyetik alan kaynağının manyetik yük olmadığı, değişken manyetik alanın elektrik alan ürettiğini (Faraday' ın

İndüksiyon Yasası) ve yüklerin ve değişken elektrik alanların manyetik alan ürettiğini (Ampere-Maxwell Yasası) gösterir.

Madde içerisinde, serbest yük ve akımlar cinsinden Maxwell denklemleri şöyle ifade edilir.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \frac{\rho_f}{\epsilon_0} \quad \text{Gauss Yasası,}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0,$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \text{Faraday Yasası,}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J}_f + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad \text{Ampere Yasası.}$$

Burada, E elektrik alan vektörü olup birimi N/C veya V/m'dir. B, manyetik alan vektörü olup birimi N/A.m veya Tesla'dır. ϵ_0 , boşluğun elektrik geçirgenliğidir, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$ veya (Farad/metre). μ_0 ise boşluğun manyetik geçirgenliğidir, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$ veya (Henry/metre), ρ_f serbest hacimsel yük yoğunluğu (C/m^3), J_f serbest hacimsel akım yoğunluğu (A/m^2) dur.

Yük ve akım bulunmayan boş uzay bölgelerinde yük yoğunluğu ve akım yoğunluğu sıfır olduğundan Maxwell denklemleri şu şekildedir.

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t},$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}.$$

Bu dalga denklemleri, boşlukta,

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3.00 \times 10^8 \text{ m/s} = c,$$

hızıyla hareket eden dalgaları tanımlar².

Elektromanyetik dalganın özelliklerinin daha iyi kavranabilmesi ve verilen formüllerin fiziksel anlamlarının anlaşılabilmesi için elektromanyetik dalgayı karakterize eden büyüklüklerin tanımlanmasında fayda vardır.

2.1.1. Elektrik Alan

Yüklü parçacıklar arasında elektromanyetik kuvvet, doğanın temel kuvvetlerinden biri olup kütle çekim kuvvetinden $\sim 10^{42}$ kat daha etkilidir. Uzayda bir noktadaki elektrik alan vektörü, o noktaya konulan artı bir birimlik yüke etkiyen elektrik kuvveti olarak tanımlanır. Durgun yüklerin elektrik alanı Coulomb yasası ile verilir. Herhangi bir P noktasındaki elektrik alan, o noktadaki q_0 yüküne etkiyen F kuvvetinin, q_0 yüküne bölümü ile bulunur.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

Yüklü parçacıkların oluşturdukları elektrik alanı incelersek; orijine yerleştirilmiş bir q yükü ile oluşturulmuş bir alana, kendisinden r kadar uzakta bulunan q_0 yükü üzerinde oluşturduğu coulomb kuvveti;

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{qq_0}{r^2} \hat{r}$$

olur. Bu eşitliği q_0 'a bölersek elektrik alanı elde ederiz;

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r}$$

Elektrik alan E , merkeze yerleştirilen q yükü pozitif işaretli ise dışarıya doğru negatif işaretli ise içeriye doğru yönelir.

Elektrik yüklerinin serbest hareket edebildikleri maddelere iletken denir. Statik durumda iletken içinde elektrik alan, hacimsel yük yoğunluğu ve potansiyel fark sıfır olur. Yalıtkan veya dielektrik maddelerde ise tüm yükler belirli atom veya moleküllere bağlıdır ve hareketleri molekül içinde sınırlıdır. Bir elektrik alanda dielektrik atom veya moleküllerin yük dağılımları başlıca iki şekilde değişebilir; genleşme ve dönme². Her iki mekanizma aynı temel sonuca yol açar. Elektrik alan etkisiyle, madde içinde her bir atom veya molekül alan yönünde bir dipol momenti kazanır yani, dielektrik içinde kutuplanma (P) olur. Bu etki, lineer dielektriklerde

$$\vec{P} = \epsilon_0 \chi_e \vec{E},$$

şeklinde elektrik alanla doğrusal ilişkiye sahiptir.

2.1.2. Manyetik Alan

Durgun bir yük sadece elektrik alan oluşturur. Hareketli yük, elektrik alana ek olarak bir de B manyetik alanı oluşturur. Elektrik yükleri çizgisel, yüzeysel veya hacimsel bir yol boyunca, yol kesitinden birim zamanda eşit miktarda yük geçecek şekilde hareket ediyorsa kararlı akım oluşur. Kararlı bir akım geçen telin R kadar uzağındaki bir P noktasındaki manyetik alan Biot-Savart Yasası ile verilir.

I akımı taşıyan a yarıçaplı çembersel halkanın bir P noktasında oluşturduğu manyetik alanın büyüklüğü,

$$B = \frac{\mu_0 I R^2}{2(x^2 + R^2)^{3/2}}$$

şeklinde olur. Burada μ_0 serbest uzayın geçirgenliğidir. $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ sabit değerine sahiptir. R, çemberin yarıçapı x ise merkezden itibaren eksen üzerindeki P noktasına olan uzaklıktır.

ℓ uzunluğundaki doğrusal çok uzun bir telin kendisinden R kadar uzaktaki bir P noktasında oluşturduğu manyetik alan ise,

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$$

bağıntısı ile verilir. Bu bağıntılar Biot-Savart yasası olarak bilinen yasadandır. Bu yasa elektrostatikteki Coulomb yasası ile benzer özelliklere sahiptir.

Yeni icatları ve endüstrideki gelişmeleri daha iyi anlamak için elektronların, protonların ve diğer iyonların elektrik ve manyetik alanlar içerisindeki hareketlerini incelememiz gerekir. Elektromanyetik kuvvetler yüklü parçacıkların hareketlerini atomik düzeyde etkiler. Eğer bir ortamda hem elektrik alan E hem de manyetik alan B bulunuyorsa, yükü q ve hızı v olan parçacığa etkiyen kuvvet,

$$\vec{F} = q \vec{E} + q \vec{v} \times \vec{B}$$

şeklinde olup buna Lorentz kuvveti denir.

Elektromanyetik dalga'nın elektrik ve manyetik alanları zamanla değişir. Bu durumda alanlar arasındaki ilişkiler Maxwell denklemleri ile verilir. Elektromanyetik dalgada elektrik alan ve manyetik alan birlikte yer alır. Birim yüzeyden birim zamanda geçen enerjiyi temsil eden Poynting vektörü, boşluk için

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} (\vec{E} \times \vec{B})$$

ile, lineer maddesel ortamda ise, $H = B/\mu$ olmak üzere,

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$$

ile verilir. Bu ifade elektromanyetik radyasyonun biyolojik sistemlerle etkileşme mekanizmalarını anlatırken yararlı olacaktır.

Zamana göre değişen manyetik alanlar elektrik alanları, zamana göre değişen elektrik alanlar da manyetik alanları indükler. Maxwell denklemlerine göre zamana göre değişen alanlardan birisinin bulunması diğzerinin de bulunması anlamına gelmektedir. Durgun yükler veya sabit hızla hareket eden yükler zamana bağlı dalga alanları oluşturmazlar. Dalga alanlarının oluşması için yükün ivmelenmesi gerekir. İvmelenen yük veya yükler sistemi EM dalgaları oluşturur. Şekil 1’de açık renk manyetik alanı ve yönünü, koyu renk elektrik alanı ve yönünü göstermektedir. Elektrik ve manyetik alanlar birbirlerine diktirler ve birlikte hareket ederler. Elektromanyetik dalga eksen çizgisi üzerinde tek bir yönde ve ışık hızıyla hareket eder.



Şekil 1. Elektromanyetik dalga yayılımı (açık renk manyetik alanı ve yönü, koyu renk elektrik alan ve yönü)

2.1.3. Elektromanyetik spektrum

Evrenin herhangi bir yerinde fizik kurallarınca mümkün kılınan tüm elektromanyetik radyasyonu ve farklı ışıınım türevlerinin dalga

boyları veya frekanslarına göre bu spektrumdaki göreceli yerlerini ifade eden kavramdır. Herhangi bir cismin elektromanyetik spektrumu, o cisim tarafından çevresine yayılan karakteristik net elektromanyetik radyasyonu tabir eder.

Elektromanyetik Spektrum bileşenlerinin frekansları, dalga boyları ve foton enerjileri Tablo 1’de ve bileşenlerin frekans, dalga boyu ve enerjilerine göre dağılımı Şekil 2’de verilmektedir. 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 değişir³. Bir dalganın titreşim frekansı (f) ne kadar büyükse dalga o kadar çok enerjiye sahiptir.

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

$$h: \text{Planck sabiti (j.sn)}; 6.626 \times 10^{-34}$$

$$f : \text{Frekans (Hz = 1/s)}$$

2.2. Elektromanyetik Radyasyon

Her çeşit ışının, türüne göre az ya da çok enerji içerdiği, duruma göre ya elektromanyetik dalgadan ya da tanecik (foton) akımından oluşmuş gibi davrandığı son yüz yıldır bilinmektedir. EM Radyasyon (ışınım), daima doğada var olan ve birlikte yaşadığımız bir olgudur. Radyo,

televizyon ve telefon iletişimini olanaklı kılan radyo dalgaları; tıpta, endüstride kullanılan X ve gama ışınları, güneş ışınları, günlük hayatımızda alışkın olduğumuz radyasyon çeşitleridir. EM Radyasyon, sahip olduğu enerjiye göre iyonize ve iyonize olmayan (non-iyonize) radyasyon olarak tanımlanır⁵. İyonize ve Non-iyonize radyasyon bölgelerinin frekanslara göre dağılımı, kaynakları ve bunların yarattıkları biyolojik etkiler Tablo 2’de verilmiştir.⁶

Tablo 1. Elektromanyetik Spektrum bileşenlerinin frekans, dalga boyu ve foton başına enerji değerleri⁴

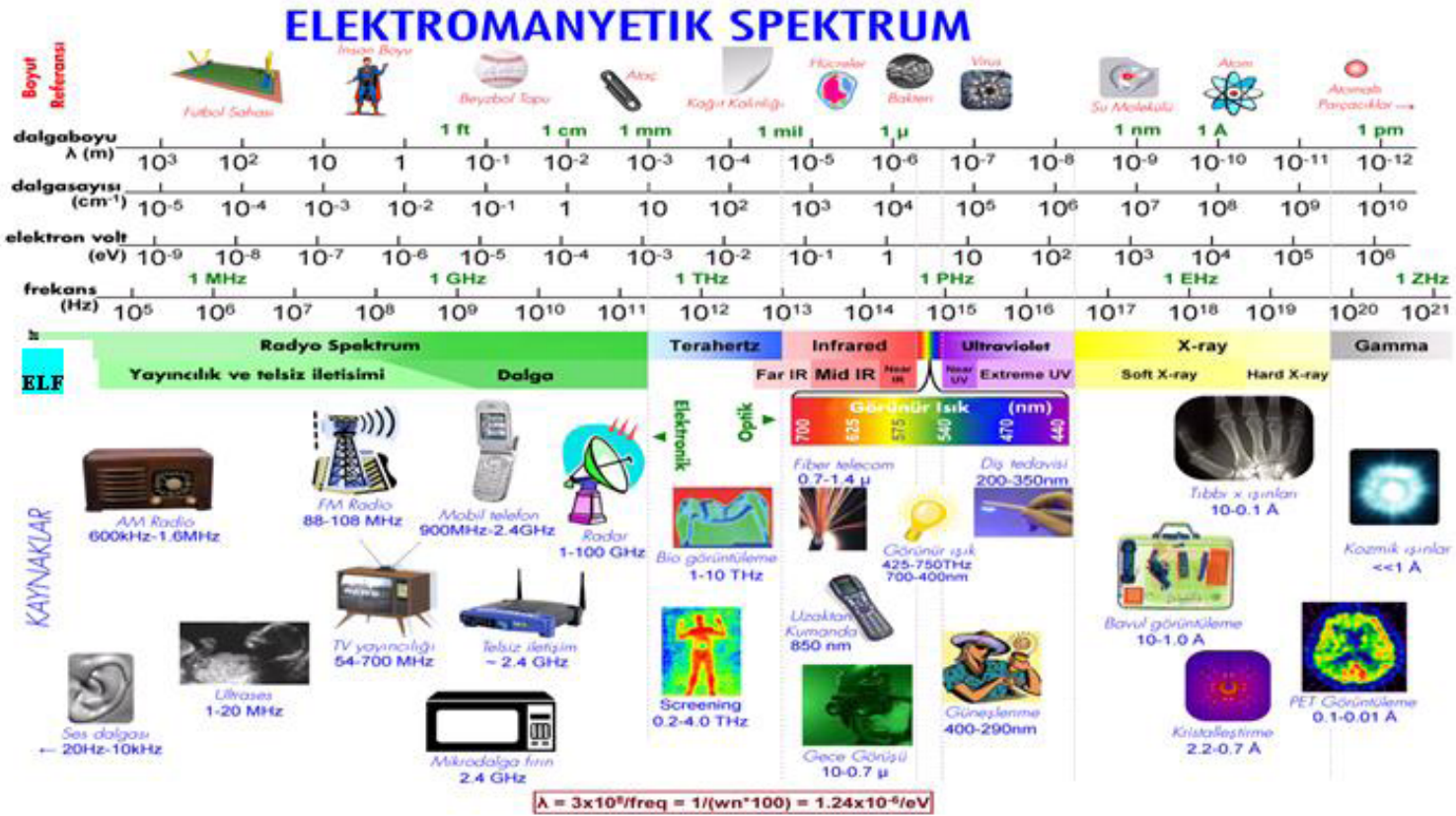
Radyasyon Tipi	Frekans Aralığı	Dalga boyu	Foton başına enerjileri
İyonizan	> 3.000 THz	< 100 nm	> 12.40 eV
Mor Ötesi	(THz)	(nm)	(eV)
UV-C	3000-1070	100-280	12.40-4.43
UV-B	1070-952	280-315	4.43-3.94
UV-A	952-750	315-400	3.94-3.10
Görünür Işık	750-385 THz	400-780 nm	3.10-1.59 eV
Kızıl Ötesi	(THz)	(µm)	(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

2.2.1. İyonize Olmayan (Non-iyonize) Radyasyon

İyonize edecek yani atomlardan elektron koparacak kadar enerjiye sahip olmayan radyasyondur (<10 eV). Frekansı 300 GHz'den (Giga: 10^{12} Hz) düşük dalgalarıdır. Spektrumda Tera Hertz dalgaları (Tera Hertz ışık, T-ışını, Tışığı gibi isimlerde alabilir), Infrared radyasyonun bir bölümü (IR-C, IR-B ve IR-A'nın bir kısmı), Mikrodalga, Radyo dalgaları (RF), Düşük frekans (LF) ve Çok düşük frekans (ELF) radyasyon Non-İyonize radyasyon olarak bilinir. ELF, LF ve RF alanların kanser türleri, lösemi ve lenfoma, beyinde DNA hasarı, kromozomal bozulmalar, kan beyin bariyeri geçirgenliğinin artması, RF işitme sendromu (kulak çınlaması), sinir sisteminin bozulması, beyin sıcaklığının artması, üremede azalma, beyin elektriksel aktivitesinin-Elektroansefalografi (EEG) ve Ca^{+2} transportunun değişmesi, kan basıncının artması, uyku bozuklukları, öğrenme güçlüğü, bitkinlik, baş ağrısı, çocuklarda öğrenme güçlüğü gibi etkilere neden olduğunu bulgulayan çok sayıda çalışma vardır.

2.2.1.1. Radyofrekans Alanlar ve Etki Mekanizmaları

Radyofrekans (RF) alanların sahip oldukları elektrik ve manyetik alan bileşenleri yardımı ile dokularla etkileştikleri bilinmektedir. Termal mekanizmalarla etkileşim sonucunda RF alanına maruz kalan dokuda sıcaklık artar ve dolayısı ile sıcaklığa duyarlı biyokimyasal reaksiyonlar etkilenir. Başka deyimle, RF alanlar ile biyolojik dokular arasındaki bu tip etkileşimler gerçekleştiğinde dokuya enerji aktarılır. Termal olmayan mekanizmalar yardımı ile gerçekleşen etkileşimler doğrudan sıcaklık artışı ile ilgili olmayıp RF alanının elektrik ve manyetik alan bileşenlerinin dokuyu oluşturan moleküler yapılarda değişiklikler yaratması ile ilgilidir⁷.



Şekil 2: Elektromanyetik spektrum

Tablo 2: İyonize ve Non-iyonize radyasyonun frekansa bağlı dağılımı, kaynakları ve bunların vücutta yarattıkları bilinen etkileri⁶.

İYONİZE OLMAYAN RADYASYON					İYONİZE RADYASYON					
RADYO FREKANSLARI VE MİKRODALGALAR					Kızıl Ötesi	Görünür Işık	Mor Ötesi	X-GAMA IŞINLARI		
Frekans Aralıkları	Çok Çok Düşük Frekanslar	Düşük Frekanslar	Radyo Frekansları	Mikro Dalgalar				Yumuşak X ışınları	Sert X ışınları	Gama ışınları
Tipik Uygulamalar (Kaynaklar)	Taşıma, Dağıtma, İç tesisat, Endüstride kullanılan cihazlar	Denizcilik Haberleşme Cihazları	Haberleşme Cihazları	Haberleşme Cihazları, Radar, Fırın	Flüoresan Lambalar		Flüoresan Lambalar	Medikal	Nükleer Patlama	
Bilinen Etkiler	Kan hastalıkları, Lösemi, Kanser, Hücre büyümesi, Embriyo etkileri	Merkezi Sinir Sistemi Etkileri, İmmün sistem etkileri, Hücre zarı etkileri	Katarakt, Doğumsal zararlar, Merkezi sinir sistemi	Katarakt, Düşük, Doğumsal zararlar, Genetik hasar	Katarakt	Göz yorulması ve Göz gerilmesi	Deri kanser, Katarakt	Kanser, Genetik hasar, Erken doğum		

2.2.1.1.1. Termal Mekanizmalar

Termal etkiler, yapının elektromanyetik dalga ile etkileşmesi sonucu moleküler hareketlerin artması ve bunun öngörüsü olan sürtünme artışı ile kendini belli eder. Bu bağlamda dokuların elektriksel iletkenliği önemli bir parametredir. Elektriksel iletkenlik bir iletken malzemeye uygulanan elektrik alan sonucu yüklü parçacık ve iyonların uzak mesafeli hareketleri ile oluşur. Koloidal yapıda bulunan, iyon, dipolar yapıya sahip moleküller ve yüklü parçacıklar değişen alanlarda daima hareket halindedirler. RF alanı, vücut yüzeyine çarptığında, bir kısmı yansır, bir kısmı vücut içine girerek soğurulur. Elektromanyetik dalga dokuda ilerledikçe ortamın elektriksel özelliklerine bağlı olarak hızı değişir. Elektrik alana giren bir dipol, o alanın etkisinde yeni bir yönelim kazanır. Eğer alan değişken ise, dipol E alan etkisinde salınım yapar. Bu salınımdan

kaynaklanan enerji, ısı enerjisi şeklinde ortaya çıkar. Frekans artışıyla; salınım frekansı da artar ve sürtünmeden dolayı oluşan kayıplar da frekansa bağlı olarak artar. Isınma; frekans ve alan şiddeti ile artar. Yüklü parçacıkların üzerine elektrik alanlar etkidiğinde 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 ulaşır⁴. Bu mekanizma özellikle mobil iletişim frekans aralığında çok etkindir⁷.

σ dokunun iletkenliğini ve E'de bunun maruz kaldığı elektrik alanın genliği olmak üzere birim hacimdeki güç dağılımı $\sigma.E^2$ ile orantılıdır. Dolayısı ile iletkenliği birbirlerinden farklı biyolojik dokularda soğrulan güçler de farklıdır. Tüm termal etkiler, alana maruz kalan dokunun elektriksel parametrelerine, özellikle de elektriksel iletkenliğe bağlıdır. Çocuklarda dokuların dielektrik özelliklerinin yetişkinlerden farklı olması nedeni ile RF alan maruziyetinden kaynaklı risk, yetişkinlere oranla çocuklarda daha yüksektir⁷.

2.2.1.1.2. Termal Olmayan Mekanizmalar

Dokuların maruz kaldıkları RF alanları ısı etkisi yaratamayacak düzeyde ise, başka deyimle, dokuda fizyolojik değişimlere neden oluyorsa, bu tür etkiler termal olmayan (non-termal) etkiler olarak tanımlanır. Termal olmayan etkileşme mekanizmaları ile ilgili birkaç yaklaşım mevcuttur.

Foton Enerjisi; h Planck sabiti ile fotonun frekansının çarpımına ($h.f$) eşittir. Frekansı 1 GHz olan EM dalgaının foton enerjisi 4.10^{-6} eV 'tur. Bu foton enerjisi tipik bir molekülü iyonize etmek için gerekli 1 eV'tan yaklaşık olarak 2.10^5 kat daha küçüktür. Bu nedenle RF alan maruziyetinden kaynaklı DNA hasarı meydana gelse bile bunun iyonizasyon mekanizmasından kaynaklanmadığı ve dolayısı ile hasarın nedenini başka bir süreçte aramak gerektiği ortaya çıkmaktadır⁷.

Diğer bir etkileşim mekanizması, **RF alanlar ile moleküler titreşimin uyarılması** esasına dayanır. Bu uyarımın olabilmesi için enerjinin ve momentumun korunması gerekmektedir. Enerjinin korunumu için RF alanın foton enerjisi ile titreşimin fonon enerjisi birbirine eşit olmalıdır. Foton enerjileri $h.f$ bağıntısından hesaplandığından, bu şartın sağlanabilmesi için frekansların eşit olması gerekir⁷. Momentumun korunumu için de RF dalga boyunun ultrasonik dalga boyuna eşit olması gerekmektedir. Bu durum optik modlar için ($\lambda < R$); yani dalga boyunun (λ) cismin boyundan (R) küçük olduğu 1 GHz üstü frekanslarda geçerlidir. Akustik modlar için foton momentumu ,fonon momentumundan küçük olduğundan uyarılma mümkün değildir. 1 GHz frekanslı ses dalgaları piezoelektrik yapılar kullanılarak elde edilebilir fakat RF dalgalar kullanılarak doğrudan elde edilemez. Protein gibi kompleks biyolojik yapılardaki lokal merkezlerin RF alanlar ile uyarılması ve gevşeme esnasında fonon salınımı mümkündür⁷.

Bir doku örneğine uygulanan **RF dalgasında, en büyük genlik düşüşü hücre membranı boyunca** gerçekleşir. Çünkü dokunun geri kalan kısmına kıyasla, hücre membranı çok daha yüksek elektriksel dirence sahiptir. Biyolojik dokularda 1 MHz altı frekanslarda elektrik alan

dağılımı çok düzensizdir. Hücre membranı, hücre çapına göre çok az bir yer kaplar. Bu nedenle hücre membranı kapasitesi, C_m ;

$$C_m = \epsilon_m / t$$

bağıntısından dolayı çok büyük olur. Burada ϵ_m , hücre zarı malzemesinin elektriksel geçirgenliği, t ise membran kalınlığını temsil etmektedir. Dokuların homojen olmayan yapıları, hücre membranı indüklenmiş frekans alanlarının büyümesine yol açar. Membran empedansı stoplazma direncinden çok büyük olduğu için hücre boyunca potansiyel düşmelerin tamamı membran içinde olur. Membran içindeki alan, membran potansiyelinin kalınlığa bölümüyle bulunur. Bu nedenle membranın yalıtkan tabakasında indüklenen alan, makroskopik indüklenen alandan yaklaşık d/t oranı kadar büyük olur. Bu oran vücut hücrelerinde 1000'e eşit olabilmektedir. Diğer deyişle, hesaplamalar membrandaki elektrik alanın, dokudaki ortalama alan değerinden birkaç bin kat daha fazla olduğunu göstermektedir⁸. Böylece düşük frekanslarda, oldukça küçük ortalama E alanlarda bile, membran boyunca voltajda düşüşler olmaktadır. Fakat daha yüksek frekanslar için bu durum geçerli değildir. Yüksek frekanslarda membran empedansı düşüktür, potansiyel düşüklüğü=hücre akım yoğunluğu x membran empedansı'na eşittir⁹.

Biyolojik sistemlerin bileşenleri sürekli olarak **Brownian hareketi ya da termal gürültü** olarak bilinen, yüklerin rastgele hareketine neden olan, pulslu elektrik ve manyetik alana maruz kalırlar. O halde sistemde biyolojik bir etki oluşabilmesi için sahip olduğu bu rastgele alandan daha büyük bir alan yaratılması gerekmektedir. Termal enerjinin ortalama değeri (E) ;

$$E = k_B T \text{ ' dir.}$$

Eşitlikte k_B Boltzman sabiti $1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K ve T vücut sıcaklığında ($T=37$ °C) alındığında biyolojik yapıların taşıdığı termal enerji 0.026 eV bulunur⁷. Bu enerji hızlı bir salınım yapar. Tipik bir molekül için bu salınım saniyede 10^{11} kadardır. RF mm-dalga bölgesinde 0.001-0.002 eV enerjiye sahiptir ve bu değer termal enerjiden ve Vander walls bağ enerjilerinden (0.04-0.08 eV) bir merteye daha düşüktür. RF ile zayıf bağların kopması gibi kimyasal değişimler olabileceği gibi iyon ya da yüklü bileşenlerin RF alanında salınım hareketi yapmaları nedeni ile biyolojik etkilerin oluşabileceği sonucuna da varılabilmektedir¹⁰.

2.2.1.1.3. Elektrik Alan Etkileri

Proteinin bir enzim olarak etkinliği onun konformasyonuna bağlıdır. Peptid bağlarıyla bağlı amino asit zincirlerinden oluşan proteinler, uzun yapıya sahip olabilecekleri gibi, parça zincirlerden oluşan helis veya halkasal yapıya da sahip olabilirler. Bu formların tamamı katlanarak proteinin konformasyonunu belirler. Polar olan yan zincirler, komşu yan zincirler tarafından çekilir veya itilirler, bu sebeple tüm konformasyonlar farklı potansiyel enerji ve dipol momente sahip olurlar. RF radyasyonunun **protein konformasyonunu değiştirebileceği**, diğer deyişle konformasyonlar üzerine biyolojik etkiler yaratabileceği düşünülmektedir¹¹⁻¹⁵.

RF enerjisinin **Ca⁺ ligandın proteinlere bağlanma olasılığını değiştirdiği** gözlenmiştir. RF maruziyeti ile Ca⁺ gibi ligandların proteine bağlanması onun konformasyonunu değiştirir ve sonuçta reseptör fonksiyonu değişir¹⁶.

RF enerjisi **biyolojik yapıların titreşimi ile rezonansa gelerek** soğurulur. Böylece, biyolojik etkiye neden olabileceği düşünülmüştür. Ancak yapılan çalışmalarda; bu enerjinin etki oluşturmaları için çok küçük kaldığı sonucuna varılmıştır¹⁷.

RF elektrik alan hücrelerdeki dipol momentlerin salınımına; dolayısı ile **hücreler arası çekim kuvvetinin artmasına** neden olur. İnci zincir (Pearl-Chain) etkisi olarak ifade edilen bu mekanizma da RF elektrik alan tarafından kırmızı kan hücrelerinin sıralanması gerçekleşir. Bu etkinin hücrelerde gözlenebilmesi için gereken eşik değeri 100 MHz olarak ölçülmüştür¹⁸.

Pulsu RF alanların mikrodalga işitsel etkiye neden olduğu bilinmektedir. Mikrodalga işitme etkisi, RF enerjisinin kokleadaki hücrelerde ısı uyarma yapması ile termoelastik genleşmeye neden olması şeklinde açıklanabilir. Diğer bir ifadeyle, kokleadaki hücreler RF enerjisi soğurdukları zaman sıcaklıkları $5 \cdot 10^{-6}$ °C yükselir . Bu küçük değişim kokleada uyarılma eşiğini aştığı için beyine kulaktan işitme sinyalleri gönderilir. Bu sinyaller düşük şiddetli, 5 kHz civarındaki tiz seslerin ürettiği sinyallere karşılık gelir. Dolayısıyla, çınlama, vızıltı gibi seslerin duyulduğu hissedilir¹⁹ .Bu etki termal kaynaklıdır ve sadece mobil telefon sinyallerinden çok daha yüksek güç değerlerinde gerçekleşmektedir. O halde Küresel Mobil İletişim Sistemi (GSM) pulslu alanların biyolojik etkileri farklı bir mekanizmaya dayandırılmalıdır. **Pulsu alanların demodülasyonu** olarak tanımlanan mekanizmaya göre, GSM modülasyon frekansı gibi 217 Hz düşük modülasyon frekanslı elektrik alanların oluşturabileceği akımlara maruz kalınmaktadır. Biyolojik yapının

elektriksel iletkenliği ya da dielektrik sabiti uygulanan elektrik alan altında değiştiği takdirde demodölasyonun geręekleřmesi beklenir⁷.

2.2.1.1.4. Manyetik Alan Etkileri

Genel olarak manyetik alanın doku ile etkileşiminin iki farklı şekilde geręekleřtiđi öne sürölmektedir:

İnsan beyin dokusu da dahil olmak üzere dokularda **manyetit** (Fe_3O_4) adı verilen 50 nm boyunda küçük ferromanyetik paręacıklar bulunmaktadır. Özellikle beyin en dış kısmında manyetit konsantrasyonu yüksektir⁷. Pulslu manyetik alanın, manyetit paręacıklarında tork oluşturduğu ve hücre membranı ile mekanik etkileşimi sonucu iyon kanallarını aktive ettiği belirtilmiřtir²⁰. Daha sonra manyetit içeren bakterilerle (Magnetotacticum) yapılan deneylerde RF alan maruziyet artışı ile hücre ölümünün orantılı olduğu tespit edilmiřtir²¹.

Düşük şiddetli (<80 MHz) RF alanda **serbest radikal konsantrasyonunda artış** gözlenmiřtir²². Serbest radikaller çiftlenmemiş elektron bulunduran, yüksek reaktif ve kısa ömürlü moleküllerdir. Kanseri de dahil olmak üzere bir çok hastalıkta serbest radikallerin önemli rolü vardır. 1 GHz ve daha düşük frekanslarda radikal miktarında ölçölebilir artışlar olmasının nedeni şöyle açıklanmaktadır: Radikallerin çiftlenmemiş elektronlarının spinleri alan boyunca (T) veya ters yönde (S) dizilirler, fakat çekirdek etkileşmesi varsa bu iki enerji düzeyi arasında salınım gösterirler. T durumunda olanların radikal çifti oluşturma olasılığı azdır. Uygulanan RF alan çekirdek-spin etkileşim frekansında ise, spinlerin T durumunda kalma

süresini artırır, böylelikle çiftlenmemiş elektrona sahip radikallerin bir araya gelmesini önler ve konsantrasyonda artışlar gözlenir⁷.

2.2.1.2. RF Alanların Fiziksel Özellikleri

RF alanların frekansları 3 kHz - 300 GHz, dalga boyları ise sırasıyla 100 m ve 1 mm aralığında değişmektedir^{3,23-25}. Elektromanyetik spektrumdaki her dalganın enerjisi vardır ve basit enerji formülü $E = h.f$ ile hesaplanabilir³.

Dalgalar ışık hızı ($c = 3 \times 10^8$ m/s) 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.

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 (uzak alan) dalgalar aynı düzlemde ilerlediğinden RF alanlar düzlem dalga (plane wave) olarak tanımlanır ve elektrik alan E , manyetik alan H , yayılım K vektörü birbirlerine dik ilerler. Düzlem dalgalarda elektrik alanın manyetik alana oranı empedans şeklinde tanımlanır;

$$Z = E / H$$

Empedansın birimi (volt/m)/ (amper/m)=volt/m=ohm olarak bulunur. Bu değer elektrik ve manyetik geçirgenlik kullanarak da hesaplanabilir;

$$Z=(\mu_0/\epsilon_0)^{1/2}$$

$$\mu_0: 1.256637061.10^{-6}$$

$$\epsilon_0: 8.854187817.10^{-12}$$

Bu değerler kullanılarak boşlukta dalga empedansı 377 Ω (Ohm) elde edilir. Diğer deyişle, uzak alanda yayılan EM dalganın E alan değeri biliniyor ise H alan değeri hesaplanabilir²⁶.

Elektromanyetik dalganın taşıdığı güç yoğunluğu (S) birim alandan birim zamanda geçen enerji miktarı olarak tanımlanır ve E ve H vektörlerinin vektörel çarpımı ile bulunur;

$$S= E \times H , S = EH \sin \theta$$

S, enerji transfer vektörü olarak da 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;

$$S = E.H = E^2/377= 377H^2$$

bağıntısı olarak da ifade edilir.

E ve H alan şiddetleri kaynağa olan uzaklıkla ters orantılı olarak azalırken, güç yoğunluğu,S, uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak azalır ($E=V/m$, $H=A/m$, $S=W/m^2$)^{3,27}.

Düzlem dalga modelinin geçerli olduğu minimum uzaklık, kaynağa bağlı olarak göre değişir. Bu uzaklık Rayleigh yaklaşımı ile hesaplanabilir ²⁷ ;

$$R = 2D^2 / \lambda$$

R:Kaynağa olan uzaklık

λ : Kaynağın oluşturduğu EM alan dalga boyu

D : Antenin maksimum uzunluğu.

$R > 2D^2 / \lambda$ ise, bu mesafe **uzak alan (far field) mesafesi** olarak tanımlanır. Kaynakla uzak alan arasındaki bölge ($R < 2D^2 / \lambda$) **yakın alan (near field)** olarak tanımlanır ve bu bölgede EM dalga düzlem dalga olarak yayılmaz. Bu alan ayrıca iki alt gruba daha ayrılabilir. Reaktif yakın alan kaynaktan $\lambda/2\pi$ 'den kısa mesafelerde baskındır. E ve H alanların birbirine dik olması gerekmediğinden bu bölgede alanı hesaplamak ya da güç yoğunluğu cinsinden söylemek mümkün olmaz ve dalga empedansı 377 Ω 'dan daha farklıdır. Fresnel yakın alan bölgesi ise reaktif yakın alan – uzak alan arasındadır. Bu bölgede dalga empedansı 377 Ω 'dur fakat güç yoğunluğu uzaklığa bağlı olarak değişkendir^{28,29}.Yakın alana genellikle çalışanlar maruz kalırlar. Bu bölgede E ve H alan ayrı ayrı ölçülmesi gerekir.

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^{23-25,30}.

Yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar bilgi taşımak için değişik metotlarla modüle edilir. Genlik Modülasyonu (AM- Amplitude Modulation) dalgaının genliğinin, Frekans Modülasyonu (FM - Frequency Modulation) taşıyıcı sinyalin frekansının değiştirilmesi ile , AM'in özel bir tipi olan Puls Modülasyonu (Pulse Modulation) ise kaynağı açıp kapayarak (on-of) kesikli sinyal oluşturularak sağlanır. Cep telefonları, radarlar, baz istasyonları gibi RF kaynakları puls modülasyonlu dalga üretirler³¹.

2.2.1.3. Radyo Frekans Alan Kaynakları

RF alan kaynakları doğal ve yapay (insan yapımı) alan kaynakları olmak üzere iki gruba ayrılır. Doğal radyo frekans alan kaynakları güneşten, yıldırım gibi atmosferik deşarjlardan, uzak yıldızlardan, uzayın derinliklerinden ve insan vücudundan kaynaklanan elektromanyetik alanlardır³¹. Dünyanın etrafındaki atmosfer, iyonosfer ve magnetosfer, derin uzaydan kaynaklı radyasyona karşı dünyayı doğal olarak korur. Bu zırhı delerek geçen elektromanyetik alan frekans aralığı 10 MHz - 37.5 GHz'dir²⁷.

Tablo 3: RF Alan Kaynakları ve bu kaynakların frekans, güç ve belli uzaklıkta çevrelerine yaydıkları radyasyon değerleri ³¹

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	< 250mW/m ² < 10 mW/m ²

Günlük hayatın her alanında kullanılan birçok elektronik cihaz oluşturdukları elektromanyetik dalgalar nedeni ile yapay radyo frekans alan kaynaklarıdır. Kullanılan elektronik sistemlerin çokluğu dikkate alınırsa günlük hayat aslında bu manyetik alanlar içinde sürdürülmektedir. Ev ve işyerlerinde kullanılan bilgisayarlar, mikrodalga fırınlar, telsiz telefonlar, uzaktan kumanda cihazları, güvenlik sistemleri, radyo frekanslı kimlik belirleme sistemleri vb. cihazların, TV ve radyo vericileri, cep telefonları, radarlar, bluetoothlar, telsizler, çağrı cihazları, baz istasyonları gibi iletişim araçlarının yanı sıra Manyetik Rezonans Görüntüleme MRI-(Magnetic Resonance Imaging) ve diatermi üniteleri gibi tıbbi uygulamalar ile endüstriyel uygulamalarda kullanılan çeşitli aletler yapay RF kaynaklarını oluşturmaktadır.

Tablo 4: Medikal maruziyet kaynakları frekans değerleri ve belli uzaklıkta çevrelerine yaydıkları radyasyon değerleri³²

Kaynak	Frekans	Uzaklık	Maruziyet	Not
Kısa dalga	27.12 MHz	0.2 m 0.5 m 1 m	$< 1000 \text{ Vm}^{-1}$ $< 500 \text{ Wm}^{-2}$ $< 140 \text{ Vm}^{-1}$ 100-1000 Vm^{-1}	Görevli maruziyeti Hasta, tedavi görmeyen bölge
Mikrodalga Tedavisi	433 MHz 2450 MHz 433 MHz 2450 MHz	0.5 m 1 m 0.3-3 m	25 Wm^{-2} 10 Wm^{-2} $50-200 \text{ Vm}^{-1}$ $20-140 \text{ Wm}^{-2}$	Görevli Hasta, tedavi görmeyen bölge
MRI	60-100 MHz	sistem içinde	$\leq 2 \text{ Wkg}^{-1}$	Tüm vücut ortalama

Yapay RF alan kaynaklarının şiddetleri oldukça yüksek olduğundan teknolojik gelişmelerle birlikte yeryüzünün elektromanyetik alanı da hızla artmaktadır. Sonuçta bu alanların belirlenmesi ve kontrolü gittikçe önem kazanmaktadır. Radyasyondan korunmak için radyasyon kaynağının fiziksel özellikleri, biyolojik sistemlerle etkileşimi bilinmelidir.

2.2.1.4. Cep Telefonları

Cep telefonları RF sinyalleri gönderen ve alan cihazlardır. Elektromanyetik dalga spektrumu içinde radyo dalgaları grubunda yer alır. Günümüzde kullanılan cep telefonları 217 Hz modülasyon frekansında, 800-2100 MHz taşıyıcı frekansındaki sinyaller ile kablosuz iletişim sağlarlar. Cep telefonu operatörleri tipik olarak maksimum 2 W güçte işletilir. Yeni dijital sistemlere göre analog sistemler daha yüksek güçte işletilir. Eski telsiz telefonlar da analog standartlara göre işletilir. Modern bir dijital işletimin verdiği güç, iş ortamında evden daha yüksektir³³. Cep telefonundan radyasyon soğurma miktarı cep telefonunun

iletildiği sinyalin gücüne bağlıdır. Bu sinyaller bekleme modunda normal olarak her hangi bir güç taşımazlar. Ancak cep telefonu konuşma moduna geçtiğinde EM alanın gücü 250 mW'a kadar ulaşabilir. Ana istasyondan gelen zayıf frekanstaki dalgalar cep telefonu tarafından güçlendirilerek ana istasyona geri iletilmektedir. Ana istasyondan uzaklaştıkça veya dağ, tepe, bina gibi engeller arttıkça telefonun güç düzeyi artmaktadır. Baz istasyonlarından maruziyet gün içinde değişmekte, gece boyunca elde edilen en düşük değerler gündüz 2 katına çıkmaktadır. Binalarda, bina yapısının tipine bağlı olarak güç yoğunluk düzeyi dışarıdan 100 katı kadar daha düşük olabilir. Binaların üst katlarında maruziyet 2 kat kadar fazla bulunmuştur. Kullanıcı hareket halindeyken ve kırsal alanda kentsel alana göre güç yoğunluğu daha fazladır. Çünkü baz istasyonundan uzaklık, RF trafiği güç yoğunluğunu etkiler. Cep telefonlarının çevreye yaydığı radyasyon dışında ana istasyonların çevreye yaydığı dalgalara da maruz kalınabilir. Yüksek yerlere yerleştirilen istasyonlar ufuk çizgisine göre 6°'lik bir açı ile radyasyonu yaydıklarından yakın çevrelerine önemli derecede elektromanyetik dalga yaymaz ve genel olarak yüksek enerji hatlarının oluşturduğu elektrik ve manyetik alana eşit kabul edilebilir³³.

Cep telefonları ile baz istasyonlarının radyasyon yayma şekilleri farklıdır. Cep telefonları konuşma süresince ve açık durumda belli aralıklarla radyasyon yayarken, baz istasyonları sürekli radyasyon yayar. Baz istasyonları cep telefonu ile iletişimi sağlayan düşük güçlü radyo antenleridir. Kapsama alanlarının büyüklüğüne göre bir kaç wattan 100 Watt 'ın üzerine ulaşabilen RF dalgaları yayarlar. Baz istasyonu antenlerinin arka yüzlerinde, yukarı veya aşağı doğrultularında önemli sayılabilecek bir RF radyasyonu olmadığından etrafındaki binaların içinde ve yan yüzlerindeki RF alan şiddeti düşüktür. Baz istasyonundan uzaklaşıldıkça RF alanı şiddeti önce hafif artar, belirli bir uzaklıktan sonra düşer³³. Antenler güçlerini doğrudan dışa yönelttiklerinden dolayı arkaya,

yukarı veya aşağıya önemli miktarda enerji yaymazlar. Bu nedenle antenin yönelim tarafındaki etkilenim yüksek iken binanın yan taraflarındaki veya içindeki enerji düşüktür.

Baz istasyonlarının sayısı arttıkça, her istasyonun üstlendiği iş hacmi azalır ve böylece aygıtlar tam kapasite ile çalışmak zorunda kalmaz. Cep telefonunda radyasyon bağlantı aşamasında en üst seviyeye çıkar ve bağlantı sağlanınca azalır. Dolayısıyla numarayı çevirir çevirmez telefonu hemen kulağa tutmamak gerekir. Bekleme (stand-by) konumundaki cep telefonu belirli aralıklarla içinde bulunduğu hücrenin baz istasyonuna sinyal gönderir. Bu yüzden cep telefonu kullanıcılarının RF ile etkileşimi baz istasyonu yakınında yaşayanlara göre yüksektir. RF alan şiddeti, cep telefonlarına uzaklık arttıkça hızla düşmektedir. Ortalama 2 W çıkış gücüne sahip 900 MHz'de çalışan bir cep telefonundan 2.2 cm ötede 400 V/m şiddetinde elektrik alan değeri ölçülmüştür. Bu değer 1800 MHz ve 1 W çıkış gücü ile 200 V/m' dir. Yani, beynimizin dibinde ölçülen değer, baz istasyonlarının neden olduğu etki yanında yüz kattan daha fazla olabilmektedir³⁴.

2.2.1.5. Radyo Frekans Alanların Sağlık ve Biyolojik Etkileri

Mobil telefonların yaydığı radyofrekans dalgaları hücresel ve moleküler düzeyde birçok zararlı etkiye neden olmaktadır. Bu etkiler DNA hasarı ve genetik etkiler, oküler etkiler, beyin ve sinir, kardivasküler, endokrin sistem ve hormonlar, kan hücreleri ve bağışıklık, üreme sistemleri üzerine etkiler olarak alt başlıklarda incelenebilir.

2.2.1.5.1. DNA Hasarı ve Genetik Etkiler

RF alanların DNA hasarına yol açtığı ilk defa Lai ve Singh tarafından bildirilmiştir. Lai ve Singh seri çalışmalarında, RF alan maruziyetin sıçan beyin dokularında DNA tek ve çift zincir kırıklarına neden olduğunu tespit etmişlerdir³⁵⁻³⁷. Lai ve Singh çalışmalarına paralel olarak Robison ve arkadaşları da³⁸ insan lösemi hücre kültürleri üzerinde yaptıkları deneylerde elektromanyetik alanın etkisi ile hücrelerde DNA hasar tamir oranında azalmanın olduğunu rapor etmişlerdir. 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 açıklanmıştır³⁹. Bu çalışmalara, bu çalışmaları destekleyen ve desteklemeyen diğer çalışmalara tartışma bölümünde ayrıntılı yer verilmiştir. 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.

DNA hasarının yanı sıra , genetik toksikoloji çalışmalarında mikroçekirdek tayini ve kromozomal değişim yöntemlerine başvurulmaktadır. Manyetik alanlar gibi elektrik alanın da transkripsiyonu stimüle ettiği ^{40,41} ve hem manyetik alan hem de elektrik alanların DNA ile direkt olarak etkileşime girdiği bildirilmiştir⁴¹. İnsan tam kan örnekleri 7,7 GHz frekansındaki mikrodalga radyasyona maruz bırakıldığında oluşan kromozomal hatalar (asentrik fragmentler ve disentrik kromozomlar) ve mikroçekirdek insidansı arasında bir korelasyonun olduğu gözlenmiştir⁴². 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. Direkt sitojenik etki saptanmamıştır⁴³. Erkek farelerin 2450 MHz mikrodalga 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 spermlerinde mutajenik bir değişim tespit edilmemiştir⁴⁴. 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 gözlenmemiştir⁴⁵.

2.2.1.5.2. Oküler Etkiler

Göz, ısı bakımından vücuttan yalıtılmış bir organ olduğu için dış ısı etkilere karşı daha duyarlıdır. Göz, sıcaklık değişimini tolere edecek bir dolaşım sistemine sahip olmadığından şiddetli bir RF enerji, göz sıcaklığını yükselterek katarakta yol açabilmektedir. Bunun yanı sıra, RF enerjinin, retina, kornea ve diğer oküler sistemleri de etkilediği görülmektedir. 150 W/kg güç yoğunluğunda, 2450 MHz frekanslı RF radyasyonu 30 dakikadan uzun bir süre tavşanlar üzerinde uygulanmış, gözde, lens içindeki sıcaklığın 41 dereceye çıktığı ve katarakta yol açtığı tespit edilmiştir. Aynı koşullarda, maymunlar üzerinde yapılan deneyde ise katarakt gözlenmemiştir. SAR değerinin insan gözü lensindeki sıcaklığı 41

°C'nin üzerine çıkaracak değere ulaşması, aynı mekanizma ile katarakt oluşturabilir⁴⁶. 4 yıldan uzun süre RF enerji maruziyeti altında çalışanlarda katarakt riskinin arttığı, mobil telefon kullanan kişilerde iris melanin hücre urunun oluşma riskinin yükseldiği ve yine uzun süre RF enerjiye maruz kalanların iris saydamlığının bozulabileceği öngörülmektedir⁴⁶. RF enerjinin göz üzerindeki olumsuz etkileri arasındaki gözlemlerden biri de gözün ön odacık kısmında bulunan C vitamini miktarının azalmasıdır⁴⁷.

2.2.1.5.3. Beyin ve Sinir Sistemi Etkileri

Beyin ve sinir sistemi elektriksel aktivitelerin en yoğun olduğu vücut bölümleridir. Yapılan ölçümler sonucunda, RF enerjinin, ısı etkilerinden dolayı "kan-beyin bariyeri"ni değiştirdiği gözlenmiştir. Ancak, bu değişimin küçük seviyeli etkileşimlerde de gözlenmesi RF enerjinin ısı etkisi ile açıklanamamaktadır. Kan-beyin bariyeri kandaki ağır moleküllerin beyne geçişini engeller. Bu bariyer, beyni yabancı toksik maddelerden korur ve beyin için gerekli metabolizmaların geçişine izin verir. Kan beyin bariyeri geçirgenliğinin albümin ile ışık mikroskopunda incelendiği bir çalışmada; geçirgenliğin GSM radyasyona 60 dakika gibi kısa süreli uygulamada söz konusu olmadığını fakat 2 yılda minimalde olsa kan beyin bariyeri geçirgenliğinde değişimlerin olduğu gözlenmiştir⁴⁸. Sıçanlar üzerinde yapılan bir deneyde, 15 mW/cm² şiddetindeki, 2800 MHz frekanslı bir radyasyona 60 dakikalık bir maruziyetin beyne kan akışını artırdığı gözlenmiştir⁴⁹. Yine, 1 mW/cm² şiddetinde, 1000 MHz frekanslı bir radyasyona 20 dakikalık bir maruziyetin, beyin dokularına ⁴⁵Ca⁺² bağlanmasını değiştirdiği gözlenmiştir⁴⁹. 23.2 dakika klinik MRI sistemine (0.15 T: 1500 G) maruz bırakılan Sprague-Dawley sıçanlarında kan beyin bariyeri geçirgenliğinin "horseradish peroxidase" (HRP) traserine karşı geçici olarak değiştiği saptanmıştır⁸⁰. 2450 MHz, CW (0,1 – 30 mW/cm²)

alan değerleri 8 gün boyunca günde 30 dakika olacak şekilde uygulanmış, mikrodalga maruziyetinin kan beyin bariyerini değiştirdiği gsterilememiřtir⁵⁰.

Cep telefonu kullanımının hızla artması, anteninin beyine çok yakın olmasından dolayı, RF enerjinin davranış, hafıza, öğrenme ve refleks üzerine etkilerinin incelenmesini zorunlu hale getirmiştir. 2450 MHz, CW-sürekli dalga, 2,7 W/kg alanlar 1 günde 420 dakika uygulandığında sıçanlarda lokomotor aktivite ve akustik uyarana tepki azalmıřtır⁵¹. 1200 MHz, pulslu alanlara maruz bırakılan sıçanlar bu alanlardan kaçarken, CW alanlara maruz bırakılanlar aynı tepkiyi vermemiřlerdir⁵². Mobil telefon kullanıcılarında bazen, başın arka kısmında veya kulak etrafında baş ağrısı görülmektedir. 2500 kişi üzerinde yapılan deney, dijital telefonların analog telefonlara oranla daha fazla baş ağrısı yaptığını ortaya koymaktadır. Baş ağrısı, cep telefonu görüşmesi sırasında 30 dakikadan itibaren başlamakta ve bazen görüşme sonrasında da devam etmektedir. Uzun süreli telefon görüşmelerinde, baş ağrısı etkisi %45 grlmektedir⁴⁹. İlhan ve arkadaşları 2004 yılında yaptıkları araştırmalarında sıçan beyin dokusunda cep telefonu maruziyeti kaynaklı oksidatif stres olduğunu ve bu stresin Ginkgo biloba ile engellenebildiğini saptamıřlardır⁵³.

Cep telefonu-beyin tümörü ilişkisini inceleyen Interphone alışması 13 ülkede yapılmış ve 7 yıl sürmüş olup, 10 yıl ve daha fazla süreyle cep telefonu kullanan binlerce hasta incelenmiřtir⁵⁴. Çalışmada beyin tümörü oluşumunun, cep telefonu kullanmayanlara göre 1.5 kat arttığı belirlenmiştir. 1000 adet akustik nöroma hastası, 6000 adet glioma ve menenjiyom hastası ve 600 adet kulak altı tükürük bezi hastası çalışılmıştır. Çalışma uzun süreli ve sürekli cep telefonu kullanan, 30-59

yaş aralığında çalışan kesim ile yapılmıştır. Araştırma bölgesi olarak, bu teknolojinin en erken girdiği Kuzey Avrupa'nın geniş kesimleri ile diğer kıtaların kentsel alanları seçilmiştir. Interphone çalışmasına katılan ülkeler; Avustralya, Kanada, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Almanya, İsrail, İtalya, Japonya, Yeni Zelanda, Norveç, İsveç ve İngiltere'dir. Danimarka, Finlandiya, Norveç, İsveç, İngiltere veri analizi yapılmış ve 10 yıl ve daha fazla cep telefonu kullananlarda glioma riski arttığı ve gliomanın cep telefonu kullanılan kulak civarında gözlemlendiği açıklanmıştır⁵⁵

RF ve mikrodalga alanların sinir sistemi üzerine etkilerinin farmakolojik açıdan incelendiği çalışmalarda, 1600 MHz, 6 ve 24 W/kg CW radyasyonun sıçanlarda NE (Norepinefrin) ve DA (Dopamin)'i azalttığı; 24 W/kg SAR değerinin 10 dakika sıçanlara uygulandığında hipokampal seratonin miktarının azaldığı; SAR değerini azaltıp 3,0 W/kg olarak uyguladıklarında nörotransmitter miktarlarında yine değişimin olduğu gözlenmiştir⁵⁶.

RF enerjinin beyin üzerindeki etkileri EEG ölçümleri ile tespit edilmektedir. On gönüllü yetişkin ve 10 çocuk ile yapılan EEG çalışmasında 900 MHz'in EEG'ye – özellikle delta dalga aktivasyonuna etkili olduğu tanımlanmıştır⁵⁷. 900 MHz ve 1800 MHz cep telefonu ile konuşan insanların beyin fonksiyonlarındaki değişimlerin araştırıldığı bir çalışmada, maruziyet dijital ve analog 5 ayrı telefon ile 20 dakika sağlanmış, 19 gönüllünün EEG aktiviteleri uyanık ve gözler kapalı şekilde iken ölçülmüş ve her iki frekanstaki cep telefonu maruziyetinin EEG aktivitesinde değişime yol açmadığı gözlenmiştir⁵⁸. 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 edilmiştir⁵⁹. RF

radasyonun EEG'ye, bilişsel fonksiyonlara, hafızaya etkilerinin incelendiği birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda etki bulan ve bulmayan raporlar mevcuttur⁶⁰.

2.2.1.5.4. Kardiyovasküler Etkiler

Elektromanyetik radasyonun kalp üzerinde direkt etkisinin olup olmadığı, hayvanlar ve insanlar üzerinde yapılan deneylerle araştırılmıştır. 1250 MHz, CW ve pulslu alanların değişik güç yoğunluklarında baş ve boyuna uygulanması sonucunda kalp hızında yavaşlama görülmüştür⁶¹. Özellikle deri altında yüksek ateşe neden olan 35 GHz civarındaki şiddetli radasyonlara uzun süre maruz kalmanın, kalpte akut ritim bozukluğuna neden olabileceği ihtimali son zamanlarda yapılan araştırmalarda ortaya koyulmaktadır⁶². Sıçanlar üzerinde yapılan bir deneyde 915 MHz frekanslı, 2,5 W/kg SAR şiddetinde radasyondan 16 hafta boyunca, kalpte herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir. Yine, 435 MHz frekanslı ve 10 W/m² güç yoğunluğunda bir radasyona 6 ay boyunca maruz bırakılan kobayların kan basınçlarında herhangi bir değişim gözlenmemiştir⁶².

Kalp pili olarak bilinen “pacemaker” kullanan kişilerin cep telefonu kullanmaları veya başka nedenlerle RF radasyona maruz kalmaları oldukça sakıncalıdır. 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 saptanmıştır⁶³.

2.2.1.5.4. Endokrin Sistem ve Hormonlara Etkiler

Endokrin sistem, iç salgıları üreten ve yöneten bir sistemdir. Hormon adı verilen nörokimyasal hücreler, vücutta bilgi ve yetenek taşır. Hormonların, gerektiğinde salgılanmak üzere depolandığı bezler ve hormonlar çok çeşitlidir. Bazı hormonlar vücudun genel fonksiyonlarını düzenlerken, bazı hormonların görevi ise bu hormonların salgılanmasını kontrol etmekten ibarettir. “Büyüme hormonu” vücutta yağ, protein ve karbonhidrat metabolizmasını kontrol eder ve dolaylı olarak büyümeyi, gelişmeyi sağlar. Yapılan bir deneyde, 7,5 W/kg SAR seviyesinde, 2,45 GHz frekanslı radyasyona 60 dakika maruz bırakılan genç bir sıçanın büyüme hormonu serumunda azalma gözlenmiştir. Bunun yanı sıra, aynı frekansta ve daha şiddetli bir radyasyona maruz bırakılan bir başka hayvanda herhangi bir değişim gözlenmemiştir⁶².

TSH, beyinde, ön hipofiz bezi tarafından, tiroit hormonlarını kontrol etmek üzere üretilen hormondur. Yapılan bir deneyde, 58-190 W/kg SAR seviyesinde, 2,45 GHz frekanslı radyasyona 2 saat maruz bırakılan köpeğin, TSH içerisinde bulunan ve tiroksin adı verilen aktif iyot bileşiklerinde azalma gözlenmiştir⁶².

Lotz ve Podgorski, 1.29 GHz frekanslı mikrodalga radyasyonuna maruz bırakılan rhesus maymunlarında plazma tiroksin ve büyüme hormonu seviyelerinde bir değişiklik olmadığını, plazma kortizol seviyesinde ise artışa neden olduğunu ve rektal sıcaklıkta ortalama olarak 0,5-1,7 °C artışın olduğunu tespit etmişlerdir⁶⁴. Yüksek frekanslı manyetik alanın melatonin sentezi üzerine etkilerini araştırmak için yapılan bir

çalışmada, erkek ve dişi Sprague Dawley ratlarına ve Djungarian hamsterlerine 15 dakikadan 6 saate kadar değişen sürelerle 0,1 ila 0,6 mW/cm² şiddetinde 900 MHz frekanslı sürekli ve/veya 217 Hz pulslu elektromanyetik alan uygulanmış, gündüz ve gece pineal melatonin sentezini anlamlı bir şekilde etkilemediği bulunmuştur⁶⁵. Enerji nüfuz etme derinliği frekanstaki yükselmeye bağlı olarak azalır. Bu nedenle elektromanyetik alanlardan kaynaklanan enerjinin çoğunluğu yüzeye yakın soğurulur. Alçak frekanslar yüksek frekanslara göre çok daha derinlere ulaşabilmektedir. Cep telefonlarının da dahil olduğu mikrodalga frekans bölgesinde insan kafatasında elektromanyetik enerji soğurulması kafa derisi katmanında yoğunlaşmaktadır. Bu nedenle 900 MHz ve üst frekanslardaki elektromanyetik dalgalar, pineal bezin derin anatomik yerleşiminden dolayı pineal bezi çok az etkilerken, düşük frekanstaki elektromanyetik dalgalar daha fazla etkilemektedir. Bu bilgiler ışığında denilebilir ki, düşük frekanslı manyetik alanlar organizmanın derin dokularına kadar etki gösterirken, yüksek frekanslı manyetik alanların zararlı etkileri yüzeysel dokularla sınırlı kalmaktadır^{66,67}.

2.2.1.5.5. Kan Hücreleri ve Bağışıklık Sistemine Etkiler

Araştırmalar, RF radyasyonun, kan hücreleri ve bağışıklık sistemi üzerinde belirli etkilerinin olabileceğini göstermektedir. Eritrositler üzerinde yapılan incelemeler, RF radyasyonun, hücre zarında değişiklik yaptığını ve bu değişimin hücredeki potasyum ve sodyum iyonlarının hareketini etkilediğini göstermektedir. İnsan ve tavşan kanı üzerinde yapılan bir deneyde, 1 mW/cm² gibi düşük bir güç yoğunluğuna sahip, 1-3 GHz frekanslı bir radyasyonun, “hemoliz” adı verilen, eritrositlerin eriyerek yapılarındaki hemoglobinin açığa çıkması olayının gerçekleşmesine neden olduğu ortaya çıkmıştır⁶². Allis ve Sinha-Robinson insan eritrositleri ile

yapmış oldukları bir deneyde 2.45 GHz mikrodalga radyasyonun Na^+/K^+ ATPaz aktivitesini inhibe ettiğini saptamışlardır⁶⁸. Lökositler üzerinde yapılan incelemeler, RF radyasyonun, bazı tip lökositlerde, bölünerek lenfosit halini alacak hücrelerde mitoz bölünme aksaklığını ortaya çıkardığı görülmektedir⁶². 27 MHz ve 2450 MHz, CW radyasyon insanlara 120 dak ve 50–196 W/kg aralığında SAR değeri ile uygulandığında lenfositlerde 3H-timidin alımı artmıştır⁶⁹. 2600 MHz, CW, 3,8 veya 19 W/kg alanlar 60 dakika maymunlara uygulandığında akciğerden dalağa lenfosit akışı azalmıştır⁷⁰. 2450 MHz, CW, 11,8–5 W/kg alanlar 15–30 dakika maymunlara uygulandığında dalak hücrelerin uyarıldığı, immün komplementlerin artışı gözlenmiştir⁷¹.

2.2.1.5.6. Üreme Sistemine Etkiler

Genital organların RF alanlarına karşı çok duyarlı olduğunu yapılan çalışmalar göstermektedir. Üreme hücrelerine zarar verdiği, 1300 MHz pulslu, 7,7 W/kg'luk radyasyonun sıçanlara 13 gün süresince günde 90 dakika uygulanmasıyla tespit edilmiştir⁷². Daşdağ ve arkadaşları tarafından sıçanlar üzerinde yapılan bir çalışmada, konuşmaya açık durumda olan cep telefonuna 1 ay boyunca günde 2 saat süreyle 0.141 W/kg SAR değerine maruz bırakılan sıçanların testislerinde bazı histolojik değişiklikler gözleendiği ve rektal sıcaklıkların istatistiksel olarak yükseldiği bulunmuştur⁷³. 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 2 hafta boyunca günde 2 saat olmak üzere toplam 10 gün uygulanmıştır; serum testosteron, serum kimyası ve hematolojik incelemeler sonunda bu parametrelerde istatistiksel fark saptanmamıştır⁷⁴.

RF radyasyonunun hamile kadınlarda, düşük oranında artmaya neden olduğu bilinmektedir. Hamilelik başlangıcında diatermi tedavisi gören bir annenin fetusunda bir nevi hastalık görüldüğü de yine gözlenmiş bir vakadır. Hamilelikte RF maruziyetine bağlı olarak, çocuk doğduğunda kemikleşme eksikliği de görülebilmektedir⁴⁷.

Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı'nda Statik ve ELF (Oldukça Düşük Frekanslı) E ve H alanlar ile RF radyasyonun biyolojik etkileri araştırılmaktadır^{221-224,231}. RF alanların kan beyin bariyeri geçirgenliğini etkilediği^{75,232}, sıçanlarda mikroçekirdek oluşturmadiğı ve karaciğer hidroksprolin seviyesini değıştirmediği sonucuna varılmıştır^{76,232}. RF alanların karaciğer dokusunda oksidatif stres parametrelerini değıştirdiği ve apoptosize etkisi; tiroit bezinde hipotiroidi ve apoptosize etkili olduğı saptanmıştır⁷⁷. Karaciğer, testis, akciğer ve kalp dokularında, RF alanların oksijen ve azot içeren serbest radikal üretimini artırıp, antioksidan düzeyini azalttığı ve oksidatif hasara neden olduğı belirlenmiştir⁷⁸. Hamile tavşanlar ve bunların yavrularında yapılan çalışmada, RF alanların anne karnında bu alanlara maruz kalan ve kalmayan yenidoğan yavruların karaciğer DNA 8OHdG/Dg miktarları ve MDA seviyeleri arasında farklılık olmadığı saptanmıştır⁷⁹. Aynı RF alanların dişi ve erkek tavşan yavrularının karaciğer lipid peroksidasyon seviyesini artırdiği, dişi tavşan yavrularında maruz kalmayan yavrulara göre karaciğer DNA 8OHdG/Dg miktarının arttığı, erkek yavrularda değışmediğı saptanmıştır²³⁵. Aynı RF alan koşullarının anne ve yetişkin tavşanların beyin dokularında DNA hasarına ve oksidatif hasara yol açtığı tespit edilmiştir⁸⁰. Bir seri çalışmalarda, yine aynı RF alanların hamile, hamile olmayan ve yavru tavşanlarda distorsiyon ürünü otoakustik emisyonları üzerine etkileri incelenmiştir²²⁵⁻²⁸. RF alanların insan perifer kan lenfositlerine kromozomal boyutta hasar verdiğı, ancak bu hasarın maruziyet öncesi gingko biloba kullanımıyla azalabileceğı tespit

edilmiştir²²⁹. RF alanların yapılan çalışmada cep telefonu konuşma modunda ve en yakın baz istasyonu bağlantısında radyasyon ölçümleri, Radyo ve TV vericilerinde RF alan hesaplama ve ölçüm çalışmaları da yapılmıştır⁸¹. Cep telefonu maruziyetinden kaynaklı kafa fantomunda oluşan SAR değerlerinin değişimi tespit edilmiştir²³². RF maruziyet sistemlerine yönelik modelleme çalışmaları sürdürülmektedir⁸². Gazi Non-iyonizan Radyasyondan Korunma Merkezi'nde (GNRK) ELF ve RF alanların ölçümleri yapılmakta, veriler mesleki ve halk sağlığı açısından değerlendirilmektedir^{233,234}.

2.2.1.6. Dozimetri

RF dozimetri, RF alan maruziyetinde biyolojik dokuların soğurduğu elektromanyetik alanın şiddetinin ve dağılımının belirlenmesi ile ilgilidir. RF alanın biyolojik materyaller ile etkileşimi fiziksel bakımdan komplekstir. Bu etkileşimde dış EM alanın homojenliğinden bağımsız olarak, örnek içerisinde yüksek düzensizliğe sahip elektromanyetik alan dağılımları oluşabilir. Etkileşimle ilgili esas nicelikler, iç alanlar ile ilgili enerji, akım ve dokular içerisinde indüklenmiş elektrik ve manyetik alan şiddetleridir. Aynı dış elektromanyetik alan şiddetine sahip RF radyasyonu, farklı seviyelerde enerji soğurumlarına neden olabilmektedir. Çeşitli hayvan türleri ve doku kültürlerinde frekansa bağlı olarak, çok farklı biyolojik etkiler gözlenebilmektedir⁸³⁻⁸⁷. EM spektrumun LF ve RF frekansları için (300 Hz – 300 GHz) biyolojik etkilerin değerlendirilmesinde kullanılan maruziyet dozları **akım yoğunluğu**, **SAR** ve **güç yoğunluğu** olarak tanımlanmıştır⁸⁸.

2.2.1.6.1. Özgül soğurma oranı (SAR)

Özgöl Soğurma Oranı (SAR-Specific Absorption Rate), RF radyasyona maruz kalan dokunun soğurduğu elektromanyetik enerjidir. SAR genellikle RF radyasyonun 100 kHz - 10 GHz aralığında biyolojik etkilerinin tanımlanmasında kullanılır. Dokular tarafından soğurulan elektromanyetik radyasyon dokuda sıcaklık artışına neden olur. İnsan vücudunda 1 derece sıcaklık artışı oluşturan elektromanyetik enerji bir kilogram doku başına 4 W olarak tanımlanmıştır. Bu nedenle biyolojik etki gözlenebilecek doz olan 4 W/kg'lık SAR değeri insanlar için güvenlik standardı olarak temel alınmıştır. Mesleki maruziyet için bu değerin onda biri (0,4 W/kg), genel halk için bu değerin ellide biri (0,08 W/kg) temel alınarak güvenlik standardı limit değerleri oluşturulmuştur. Elektromanyetik alanların insan sağlığına etkileri konusunda birçok ülkede oluşturulan standart ve sınır değerlerin yanı sıra uluslararası standartlar ve sınır değerler de vardır^{67,89}.

Ülkemizde cep telefonları 900-1800-2100 MHz frekanslarında çalışmaktadır. Cep telefonlarının özellikleri aynı olmadığı gibi, yaydıkları RF radyasyonda aynı değildir. Cep telefonlarının yaydıkları radyasyonu SAR değerlerini bilerek tahmin etmek mümkündür. Değişik model ve markalarda cep telefonlarının SAR değerlerine firmaların kendi web sitelerinden ulaşılabilir⁹⁰.

Gerçek insan maruziyetinde SAR ölçülemez. Laboratuarlarda deneysel olarak, fantomda ölçüm ile veya bilgisayar modellemesi ile dokunun birim kütlesinin 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 görüntüleri çekilen canlı modelleri ile yapılmaktadır.

RF alana maruz kalan nesneye kısmi oranda enerji transfer edilerek sıcaklıkta bir artış oluşabilmektedir. Dolayısıyla dokuda ya da in vitro kültür ortamında SAR'ı belirlemede yaygın olarak kullanılan tekniklerden biri bu sıcaklık değişiminin ölçümü olmuştur. SAR ile sıcaklık artışı arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir;

$$SAR = \frac{c \cdot \Delta T}{\Delta t}$$

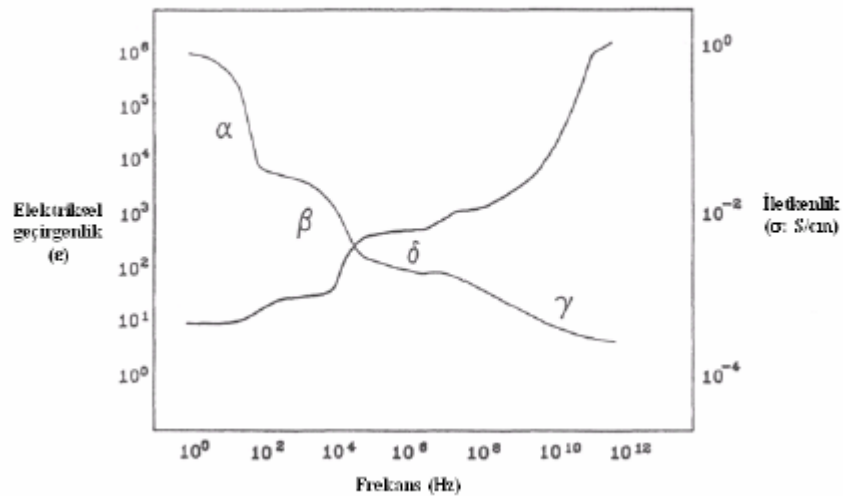
dır (W/kg). Burada c, J/kg°C cinsinden dokunun özgül ısı kapasitesi; ΔT , °C cinsinden dokudaki sıcaklık artışı; Δt , saniye cinsinden maruziyet süresini belirtmektedir.

Doku içinde indüklenen rms elektrik alan E (V/m); doku yoğunluğu (kg/m³) ρ ; dokunun iletkenliği (Siemens/metre) σ parametreleri kullanılarak da SAR değeri aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilmektedir⁹¹;

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{\rho}$$

2.2.1.6.2. Dokularda Enerji Soğurulmasını Belirleyen Faktörler

EM alanların biyolojik dokular içerisindeki uzaysal dağılımı ve şiddeti dokuların **dielektrik özelliklerine** bağlıdır. Dokuların dielektrik sabiti ve iletkenliği gibi dielektrik özellikleri baskın olarak su içeriği tarafından belirlenir. Göz, kas, deri, karaciğer, böbrek gibi dokular yüksek; beyin, akciğer ve kemik iliği orta miktarda ve yağ ve kemik düşük miktarda su içerirler. Dokuların dielektrik özellikleri, frekans ve sıcaklığa bağlı olarak da değişim göstermektedir. Frekans arttıkça, dielektrik sabiti ϵ düşerken, σ iletkenlik değeri yükselir⁹²⁻⁹⁴. RF radyasyonun girginliği, frekans ve dielektrik sabitinin çok önemli bir fonksiyonudur. Düşük frekanslı radyasyon, yüksek frekanslı radyasyona göre daha fazla nüfuz eder⁴⁷. Dielektrik sabiti düşük bir malzemede RF dalgası, yüksek dielektrik sabitine sahip malzemeye göre daha derine nüfuz eder. Yağ dokularında RF girginliği küçük iken vücut sıvılarında daha yüksektir. Frekans arttıkça girginliğin azalmasının yanı sıra dielektrik sabitinin küçülmesinden dolayı girginliğin artması karşımıza çıkar. Bu nedenle, girginlik, frekans arttıkça hızlı bir azalma göstermez. Dokuların frekans arttıkça elektromanyetik alanlara gösterdiği iletkenlik ve elektriksel geçirgenlik özelliklerinin değişimi Şekil 3'de gösterilmiştir. Aynı madde, düşük frekanslarda iyi, yüksek frekanslarda kötü iletken olabilir².



Şekil 3: Frekansa bağlı olarak elektriksel geçirgenliğin ve iletkenliğin gösterimi⁹⁵.

Dış elektromanyetik alana maruz kalan bir nesnede **doku geometrisi ve boyutuna** göre soğurulan enerji değişir. En yüksek yerel SAR değeri ya yüzeyde ya da yüzeye yakın bir bölgededir. Diğer deyişle, RF enerjisi en çok yüzey dokularca soğurulur. Eğimli yüzeylerde ve çeşitli bölgelerde yüksek SAR değerleri (Hot Spot) gözlenebilir. Birçok doku katmanından oluşan insan vücudunda her katmanın farklı dielektrik özellikleri vardır. RF enerjisinin bir kısmı her katmanda yansımaya uğrar, diğer kısmı ise sonraki doku içerisinde iletilir. Her katman arasında iletilen ve yansıyan enerjinin miktarı dokuların dielektrik özelliklerinin farkına bağlıdır⁹³.

Homojen dış E alana maruz kalan bir nesnede SAR değeri **doku yönelimine** göre değişebilmektedir. Maksimum SAR değeri vücudun uzun eksenine alan yönüne paralel olduğu zaman elde edilebilmektedir^{93,94,96}. Gelen EM alanın, maruz kalan nesneye göre yönelimi, gelen **alanın polarizasyonu** olarak tanımlanır ve nesnenin içinde oluşacak alan şiddetini kuvvetli şekilde etkilemektedir (şekil 4). Gelen E alan vektörünün, H alan vektörünün ya da k dalga yayılım vektörünün vücudun uzun eksenine paralel olması durumuna göre sırasıyla E polarizasyonu, H polarizasyonu ve K polarizasyonu olarak adlandırılmaktadır. Gelen E alan vücudun uzun eksenine paralel olduğunda dik durumdakine göre daha yüksek SAR değeri elde edilirken, H alan için maksimum SAR değeri vücudun uzun eksenine dik olduğu durumda elde edilmektedir. Dolayısı ile en yüksek SAR değeri E polarizasyon durumunda elde edilirken, sırası ile K ve H polarizasyonlarında giderek azalan SAR değerleri elde edilir⁹⁴.



Şekil 4: E, H ve K polarizasyonları ⁹⁷.

RF dalgasının E alan bileşeni vücut uzun eksenine paralel ilerliyorsa ve kişinin boyu dalga boyunun 4/10'u kadarsa;

$$L = 4/10 \lambda$$

vücutta maksimum enerji soğurulur^{10,31,94,98,99}. Bu eşitliği sağlayan RF alanı frekansı “rezonans frekansı” olarak tanımlanır.

Frekansı 70 MHz RF dalgasının hangi boyda (L) canlı tarafından en fazla soğurulacağı ya da rezonansa geleceği bulmak aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanabilir. λ : dalga boyu, c: ışık hızı (3×10^8 m/s) ve f: frekans olmak üzere;

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

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

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

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

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

E alan bileşeni kişinin boyuna paralel yönelmişse, 70 MHz frekanslı RF enerjisi en fazla 1.71 m boyundaki insan soğurur. Bu frekansta gözlenen SAR değeri de maksimumdur¹⁰⁰.

RF alan içerisinde bulunan insan vücudunda absorblanan enerji miktarı **maruziyet ortamının** sahip olduğu faktörlere de bağlıdır⁵³. Bunlar; vücudun boşlukta ya da topraklanmış yerde bulunması, yakınında metal yansıtıcıların ya da elektriksel iletkenliğe sahip yapıların olması, ortamın sıcaklık ve nem değerleri gibi etkenlerdir. Aynı kafes içinde birden fazla hayvan ya da farklı nesnelerin bulunması, saçılan enerji nedeni ile her hayvanın aldığı SAR'ın değişmesine neden olabilir. Ağız ya da burun teması olan noktalar hayvanlar arasındaki yüksek indüklenmiş akım nedeni ile hot spot'lar oluşturabilir. Metal implantlar ise doku içerisindeki SAR'ın şiddetinin ve deseninin değişimine neden olabilir^{83,93}.

2.2.1.8. RF Sınır Değerleri ,Uluslararası Kuruluşlar ve Türkiye

Elektromanyetik alanların insan sağlığına etkileri konusunda birçok ülkede oluşturulan standart ve sınır değerlerin yanı sıra uluslararası standartlar ve sınır değerler de vardır. Uluslararası alanda ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection– Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi) tarafından belirlenen sınır değerler birçok Avrupa ülkesinde ve dünyanın farklı ülkelerinde en yaygın kabul gören değerler arasındadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde bu sınır değerler FCC (Federal Communications Commission – Federal Komünikasyon Komisyonu) tarafından belirlenmekte ve bu sınır değerlerin belirlenmesinde IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers – Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü) ve ANSI (American National Standards Institute – Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü) tarafından oluşturulan standart değerler temel olarak alınmaktadır.

Tablo 5: Mesleki Maruziyette izin verilen ICNIRP Limitleri (MPE) ²³

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 6: Genel Halk için izin verilen ICNIRP Limitleri (MPE) ²³

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

Türkiye RF limitleri Telekomünikasyon Kurumu'nca 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 7’de verilmektedir³⁰. 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 ilişkin 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 7: Telekomünikasyon Kurumu Yönetmeliğinde Yer Alan RF Standartları ³⁰

Frekans Aralığı (MHz)	E-alan şiddeti (V/m)		H-alan şiddeti (A/m)		B-Manyetik akı yoğunluğu (μT)		Eşdeğer düzlem dalga güç yoğunluğu (W/m ²)	
	Tek cihaz	Toplam	Tek cihaz	Toplam	Tek cihaz	Toplam	Tek cihaz	Toplam
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	0.341f ^{1/2}	1.375f ^{1/2}	0.0009f ^{1/2}	0.0037f ^{1/2}	0.001f	0.0046f	f/3200	f/200
2000-60000	15	61	0.04	0.16	0.05	0.2	0.625	10

f: frekans (MHz)

Buna göre genel yaşam alanlarında, GSM 900 ve DCS 1800 sistemleri için kontrolsüz etkilenme için sınır değerler Tablo 8 ’de verilmiştir. Verilen sınır değerlerin dışında;

İngiltere'de sınır değerler, 900 MHz'te $5,7 \text{ W/m}^2$ ($46,4 \text{ V/m}$) ve 1800 MHz'te $10,0 \text{ W/m}^2$ ($61,4 \text{ V/m}$)'dir.

İsviçre, genel olarak ICNIRP standardını kabul etmekle birlikte tek bir baz istasyonu anteni için sınır değeri 900 MHz'te $0,042 \text{ W/m}^2$ ($4,0 \text{ V/m}$) ve 1800 MHz'te $0,095 \text{ W/m}^2$ ($6,0 \text{ V/m}$) olarak belirlemiştir.

İtalya, günde 4 saatin altında maruz kalınan durumlar için sınır değer olarak $1,0 \text{ W/m}^2$ ($19,4 \text{ V/m}$), 4 saatin üstü için $0,1 \text{ W/m}^2$ ($6,1 \text{ V/m}$) olarak belirlemiştir. Ayrıca, İtalya'da yerel yönetimlere bu sınır değerleri düşürme yetkisi de verilmiştir.

Rusya'da sınır değerler, 900 MHz'te $0,024 \text{ W/m}^2$ ($3,0 \text{ V/m}$)'dir.

Çin'de sınır değerler ise, 900 MHz'te $0,066 \text{ W/m}^2$ ($5,0 \text{ V/m}$)'dir.

Türkiye'de 900 MHz ve 1800 MHz'de kontrolsüz etkilenme için uyulması gereken sınır değerler Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 8. Kontrolsüz etkilenme için sınır değerler

900 MHz için sınır değerler	ICNIRP	IEEE/FCC
Elektrik Alan Şiddeti	41,25 V/m	-
Manyetik Alan Şiddeti	0,111 A/m	-
Güç Yoğunluğu	4,5 W/m ²	6,0 W/m ²

1800 MHz için sınır değerler	ICNIRP	IEEE/FCC
Elektrik Alan Şiddeti	58,33 V/m	-
Manyetik Alan Şiddeti	0,157 A/m	-
Güç Yoğunluğu	9,0 W/m ²	10,0 W/m ²

Radyofrekans radyasyona mesleki maruz kalmaya örnek olarak çevresel kaynaklarda çalışan işçiler, RF enerji kullanan cihaz operatörleri, askeri personel verilebilir. Çevresel kaynakların etkili olduğu bölgelerde, halkın rasgele bulunması nedeni ile ortaya çıkan risk, genel halk maruz kalması olarak tanımlanır. Özellikle verici kuleleri, cep telefonu baz istasyonları ve binaların çatılarına dikilen cep telefonu tekrarlayıcıları bu sınıfa giren kaynaklardır. Burada, özellikle okul, kreş, çocuk parkları, halka açık park ve bahçelere yerleştirilen cep telefonu vericileri riskli kaynaklar olarak değerlendirilmelidir ¹⁰¹.

Tablo 9. Türkiye’de kontrolsüz etkilene için sınır değerler

Frekans	900 MHz		1800 MHz	
	Tek bir cihaz için sınır değeri	Ortamın toplam sınır değeri	Tek bir cihaz için sınır değeri	Ortamın toplam sınır değeri
Elektrik Alan Şiddeti	10,23 V/m	41,25 V/m	14,47 V/m	58,34 V/m
Manyetik Alan Şiddeti	0,027 A/m	0,111 A/m	0,038 A/m	0,157 A/m
Güç Yoğunluğu	0.28 W/m ²	4,5 W/m ²	0.56 W/m ²	9,0 W/m ²

İnsan sağlığı ile ilgili EM etkilere ait limitleri belirleyen uluslararası kuruluşlardan ICNIRP ve IRPA temel limit belirlemiştir. Temel limit olarak “ortalama insanda vücut sıcaklığını 1° arttıracak EM enerji yutulmasının zararlı olduğu” düşüncesinden yola çıkılmıştır. Bunun sonucu ortalama kan dolaşımında 4 W/kg değeri bulunmuştur. Yani, kilogram başına dokuların soğurabileceği en yüksek güç 4 W’ tır. İş yerleri için 10 kat, genel yerler için ise 50 kat güvenlik payları alınarak temel limitler

- fabrika, atölye gibi iş yerleri için $\rightarrow 0,4 \text{ W/kg SAR}$
- genel yerler için $\rightarrow 0,08 \text{ W/kg SAR}$

olarak belirlenmiştir. Yani bu limitler sadece dokularda soğurulan ve ısıya dönüşen güçle ilgilidir. Fizyolojik, kimyasal, biyolojik hatta psikolojik etkileri göz önüne almamaktadır. IARC, farklı 14 ülkeden 31 bilim insanının katılımıyla geçen toplantılar sonucunda 31 mayıs 2011'de RF alanların olası karsinojen (grup 2B) sınıfında yer aldığını açıklamış ve tüm dünyaya duyurmuştur²³⁰.

2.2.2. İyonize Radyasyon

Madde atomlarından veya moleküllerinden elektron koparmaya yetecek düzeyde enerjiye ($E > 10 \text{ eV}$) sahip radyasyonlar iyonize radyasyonlardır.

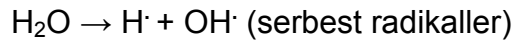
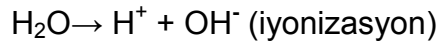
2.2.2.1. İyonize Radyasyon ve Etki Mekanizmaları

Radyasyon madde içinden geçerken elektriksel etkileşmeler meydana getirir ve söz konusu malzemeye enerji aktarır. İyonize radyasyonun moleküllerle etkileşmesi sonucu molekül iyonlaşır ya da uyarılır. İyonizasyon durumunda, molekülden (M) bir elektron (e^-) uzaklaştırılır ve böylece bir iyon çifti oluşur. Uyarılmada (eksitasyon) ise radyasyon enerjisi ile moleküldeki elektron daha yüksek enerji düzeyine yükselir ;

iyonize radyasyon + M $\rightarrow M^+ + e^-$ (iyon çifti)

iyonize radyasyon + M $\rightarrow M^*$ (uyarılmış molekül)

İyonize radyasyonun enerjisinin absorpsiyonu, doğrudan ve dolaylı etki ile moleküllerde hasar oluşturur. Molekül enerjisi doğrudan radyasyondan alıyor ise buna **radyasyonun doğrudan etkisi** denir. Doğrudan etkide hasar, biyolojik sistemlerdeki anahtar moleküllerin atomlarının iyonizasyonunun bir sonucu olarak ortaya çıkar. Bu, molekülün inaktivasyonuna veya fonksiyonel değişimine neden olur. Bazen de molekül enerjisi, radyasyon etkisiyle iyonize olmuş molekülden alarak iyonlaşır veya uyarılır. Buna da **radyasyonun dolaylı etkisi** denir. Dolaylı etkide ise, anahtar moleküllerde toksik hasar oluşturan oldukça reaktif serbest radikallerin oluşumuna yol açarak biyolojik etkiler oluşur. Biyolojik sistemlerdeki temel molekül su olduğu için, su genellikle radikal formasyonu ve çoğalması için ortam oluşturur. Su molekülü enerjisi absorblayınca değerlik kabuğunda paylaşılmamış elektron olan iki serbest radikale ayrışır. Bunlar $H\cdot$ ve $OH\cdot$ sembolleri ile gösterilir.



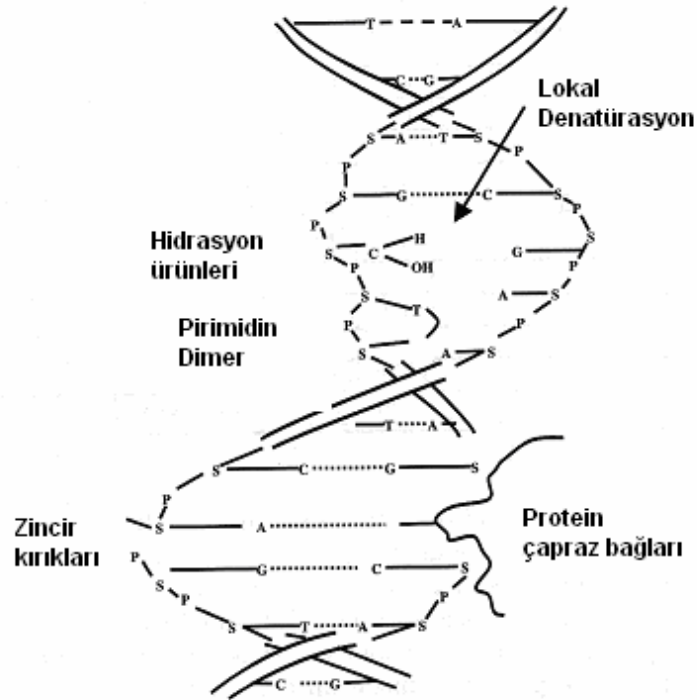
Sonuçta oluşan bu son derece reaktif serbest radikaller, hücre içindeki oksijen, sülfidril ve diğer moleküllerle etkileşerek iyon çifti veya radikaller oluştururlar. Alfa ve beta parçacıkları elektriksel olarak yüklü olmaları nedeniyle doğrudan doğruya iyonlaştırıcı radyasyon sınıfında yer alırken gama ve X-ışınları ile nötron radyasyonları kendileri yük taşımadıkları için dolaylı olarak iyonlaştırıcı radyasyonlardır¹⁰².

2.2.2.2. Dokuda İyonlaşma

Yüklü bir parçacık, bir atomu iyonlaştırdığı veya uyardığı her seferde, etkileşmeye yetecek enerjisi kalmayınca kadar enerjisini kaybeder; bu enerji kayıplarının nihai sonucu atomun parçası olduğu malzemedeki küçük bir sıcaklık artışıdır. Bu yolla, iyonlaştırıcı radyasyon ile biyolojik dokulara aktarılan tüm enerji sonuç olarak, atom ve moleküler yapının artan titreşimleri yoluyla ısı olarak dağılır. Bu ilk iyonlaşmadır ve zararlı biyolojik etkilere neden olan kimyasal değişimlerle sonuçlanır.

Kontrol merkezi çekirdek olarak adlandırılan hücre biyolojik dokunun temel birimidir. Hücre çekirdeği, karmaşık bir yapıya sahiptir. Hücrenin yaklaşık yüzde 80'i sudan, diğer yüzde 20'lik kısmı ise karmaşık biyolojik molekül ve bileşiklerden oluşur. İyonize radyasyon hücrelerden oluşan dokudan geçerken yüklü su molekülleri oluşturur. Bunlar bir oksijen ve bir hidrojen atomundan oluşan serbest hidroksil radikali (OH) gibi, serbest radikal adı verilen oluşumları meydana getirir. Serbest radikaller kimyasal olarak oldukça reaktiflerdir ve hücredeki önemli moleküllerin yapılarını değiştirebilirler. Özellikle önemli bir molekül olan deoksiribonükleik asit, DNA, esas olarak hücrenin çekirdeğinde bulunur. DNA hücrenin yapısını ve işlevlerini kontrol eder, kendi kendini kopyalar: DNA molekülleri büyüktür ve DNA moleküllerini taşıyan kromozomlar mikroskopla görülebilir⁵. Radyasyonun DNA üzerine etkisi doğrudan veya dolaylı yolla olabilir^{103,104}. Doğrudan etki radyasyon enerjisinin doğrudan DNA ile etkileşimi sonucu oluşurken, dolaylı etki radyasyonla açığa çıkan enerji ile uyarılan moleküllerin DNA ile etkileşimi sonucu ortaya çıkar. İyonize radyasyonun etkisiyle, DNA'yı çevreleyen suyun O-H bağlarının ayrılması sonucu oluşan $\cdot\text{OH}$ radikali DNA ile etkileşir. Sonuçta, baz hasarı, alkali oynak yapılar, DNA-DNA ve DNA-protein çapraz bağları ve zincir kırıklarından oluşan bir dizi hasar meydana gelir¹⁰⁵ (şekil 5).

Oksijen varlığında iyonize radyasyon sonucu dokularda doymuş halkalı baz türevler oluşur. Bunların en önemlileri Timin glikol, Metil tartranil üre, 5-OH Hidantoin, 5-OH Metil urasil, 8-OH Guanin, 4,6 Diamino 5-formamido pirimidindir. Bu hasarlı bazların bir kısmı replikasyon sırasında eşlenmez ve transkripsiyon sırasında da çerçeve kayma mutasyonuna neden olurken, bir kısmı ise yanlış eşleşerek nokta mutasyonuna yol açar. Diğer taraftan, iyonize radyasyon doğrudan zincir kırıkları oluşturmak yolu ile de replikasyonu durdurabilir¹⁰⁶.



Şekil 5: Işınlama ile oluşabilecek çeşitli DNA hasarları¹⁰⁷

İyonize radyasyonun değişik tiplerinin önemli bir özelliği maddeye nüfuz edebilme yeteneğidir. Radyasyonun madde içine girme derinliği onun enerjisi ile artar, ancak bu girme derinliği aynı enerji miktarı için bir radyasyon tipinden diğerine değişiklik gösterir (Şekil 6). Alfa ve beta gibi yüklü parçacıkların maddeye nüfuz etme derinliği, parçacığın

kütle ve yüküne de bağlıdır. Aynı enerjideki beta parçacığı alfa parçacığına göre daha nüfuz edicidir. Alfa parçacıkları, insan cildinin en dıştaki ölü tabakasına nadiren nüfuz edebilirler; buna bağlı olarak alfa yayan radyonüklitler solunum veya sindirim yoluyla ya da derideki açık bir yaradan vücuda alınmaması durumunda zararlı değildir. Beta parçacığı doku içine yaklaşık olarak bir santimetre nüfuz eder, dolayısıyla beta yayan radyonüklitler yüzeysel dokulara zarar verebilir; vücuda alınmadıkları takdirde iç organlara zararları yoktur.

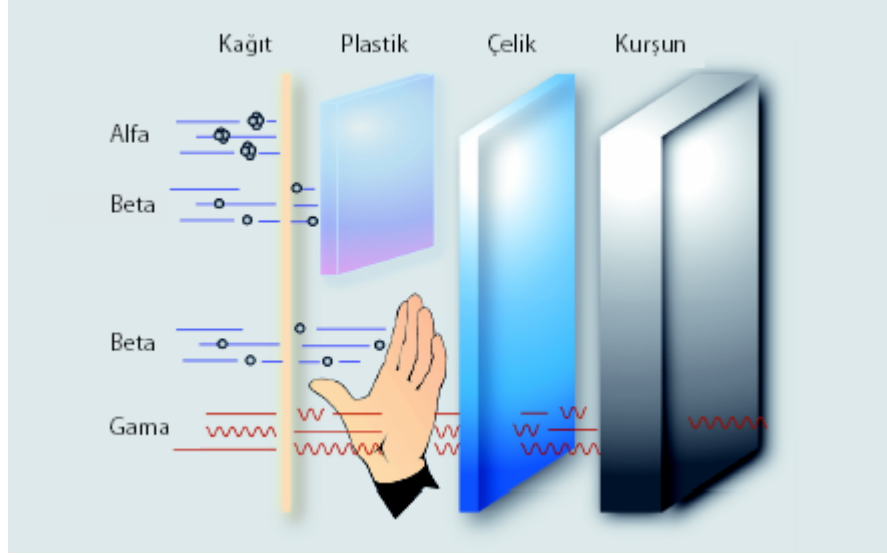
Gama ışınları ve nötronlar gibi dolaylı iyonlaşmaya neden olan radyasyonların doku içine nüfuz etme derecesi doku ile etkileşme tipine bağlıdır. Gama ışınları vücudun içinden geçebileceği için gama yayan radyonüklitler vücudun içinde ya da dışında olsa da zarar verebilirler. X-ışınları ve nötronlar da vücut içinden geçebilir.

2.2.2.3. İyonize Radyasyon Birimleri

İyonize radyasyonlarla yapılan çalışmalarda sonuca ulaşabilmek ve zararlı biyolojik etkileri belirleyebilmek için radyasyon miktarının bilinmesi gerekir. Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi (ICRU), radyasyon çalışmalarında kullanılan kavramlar olan aktivite, ışınlama dozu, soğurulma dozu ve doz eşdeğeri için özel birimler tanımlamıştır¹⁰²;

Aktivite: Radyoaktif maddenin belirli bir zaman aralığındaki bozunma miktarıdır. Aktivite birimi Becquerel (Bq)'dir.

İşinlanma Dozu: Normal hava şartlarında havanın 1 kg'ında 2.58×10^{-4} Coulomb'luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan X ve gama ışınları miktarıdır. Özel birimi Röntgen (R)'dir.



Şekil 6: Belirli tip radyasyonun madde içine girme derinliği⁵.

Soğurulmuş Doz: Birim kütle başına soğurulan enerjinin ölçüsüdür. Birimi Gray (Gy)=1 joule/ kg'dır. 1Gy yüksek bir doz değeridir.

Eşdeğer Doz: Vücutta toplanan enerjinin ifadesidir. Düşük doz düzeylerinde radyasyonun tipine ve enerjisine göre biyolojik hasarlarını da içeren bir kavramdır. Birimi Sievert (Sv)= 1 joule/kg'dır. Radyasyondan korunmada kullanılan bir birimdir. 1 Sv yüksek bir doz değeridir.

Etkin Doz: Doku veya organların aldığı dozun tüm vücut için yüklediği riski ifade etmek için kullanılan bir kavramdır. Birimi Sievert'tir.

2.2.2.4. İyonize Radyasyon Kaynakları

İnsanlar, hayatın bir parçası olarak dış uzay ve güneşten gelen kozmik ışınlar, yer kabuğunda bulunan radyoizotoplar dolayısı ile toprak ve yapı malzemeleri, su ve gıdalar gibi **doğal kaynaklardan** ışınlanmanın yanı sıra, hızla ilerleyen teknoloji ile nükleer reaktörlerin

işletilmesi sırasında ortaya çıkan radyoaktif maddelerden, tıpta uygulanan iyonlayıcı radyasyon kaynaklarından, bilim ve teknoloji uygulamalarında kullanılan kaynaklardan, nükleer kaza sonucu oluşan serpintiler ve bomba denemelerinden kaynaklanan radyoaktif serpintilerden, güvenlik amacıyla kullanılan **yapay kaynaklardan** radyasyon alır. Hepimiz az veya çok seviyede doğal radyasyona maruz kalırız; ve bu, insanların çoğu için başlıca ışınlama kaynağıdır. Ancak insan, hayvan ve bitkiler bu doğal radyasyon ortamında evrimleşmiştir ve bu radyasyonun sağlık açısından önemli bir risk oluşturmadığı konusunda genel bir kanı bulunmaktadır (fakat istisnai durumlar vardır).

2.2.2.5. İyonize Radyasyona Mesleki Maruziyet

İyonize radyasyon ışınlamaları birçok meslekte görülmektedir. Yapay radyasyon kaynakları üretim ve hizmet endüstrilerinde, savunma alanlarında, araştırma merkezlerinde, üniversitelerde ve aynı zamanda nükleer güç endüstrisinde yaygın olarak kullanılır. Ayrıca bu kaynaklar, hekimler ve sağlık çalışanları tarafından çok sık olarak kullanılmaktadır.

Bazı çalışanlar, gözetim ve korunma önleminin gerektiği durumlarda doğal radyasyon kaynaklarından da ışınlanmaktadır. Bu durum, özellikle maden ocaklarında ve radon seviyelerinin yüksek olduğu normal binalarda geçerlidir. Yaklaşık 4 milyon kömür madeni çalışanı radyasyon ışınlaması nedeniyle izlenmektedir. Daha az sayıdaki insan (dünya çapında yaklaşık 1 milyon), doğal aktivite ortalamasının üzerindeki seviyelere sahip kömür madenleri dışındaki diğer madenlerde ve cevher işleme tesislerinde çalışmaktadır. Bundan dolayı maruz kaldıkları dozlar

düzenli olarak izlenmektedir. Kömür madeni ocaklarında havalandırma genellikle iyi olduğundan radon düzeyleri (ve dozlar) düşüktür. Binaların ısıtılması ve havalandırılması nedeniyle radon düzeyleri günden güne çarpıcı bir şekilde değişim gösterir: Bu nedenle havadaki kısa süreli radon ölçümleri yanıltıcı olabilir. Uçuş yüksekliklerinde yüksek kozmik ışın seviyeleri nedeniyle hava yolculuklarında nispeten yüksek doz hızlarının görülmesinden dolayı uçuş personeli için de gözetimin gerekli olduğu düşünülmektedir. Ancak bu ışınlanmaların nasıl azaltılabileceği çok açık değildir. Uçuş personelinin kozmik radyasyondan aldıkları dozlar, uçuş süresine ve rotasına bağlıdır. Dünya çapında nükleer endüstride yaklaşık 800 000 ve tıbbi kuruluşlarda 2 milyonu aşkın çalışan radyasyona maruz kalmaktadır. UNSCEAR (The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), bu çalışanlar ve endüstriyel radyografi çalışanları gibi diğer çalışanların aldıkları dozlara ilişkin verileri derlemektedir. Sağlık çalışanlarının dozları genellikle düşük olmakla birlikte halen takip edilmesi gerekli görülmektedir. Tanısal radyolojideki girişimsel radyoloji vb hekimin hastaya çok yakın çalışmasını gerektirir ve hekim ciddi ışınlanma riski taşır.

İşlerinde radyasyona maruz kalan pek çok kişi, özel taşıyıcı kabında bulunan küçük fotoğraf filmleri veya termolüminesans malzemeler gibi kişisel doz izleme cihazları (veya dozimetreler) taşırlar. Elektronik cihazların bu amaçla kullanımı da giderek artmaktadır. Bunlar vücuda dış kaynaklardan gelen radyasyonu kaydeder ve kullanan kişinin aldığı dozun tahmin edilmesini sağlar. İş yerlerinde havadan kaynaklanan aktivitenin doğal ya da yapay kökenli olup olmadığına bakılmaksızın, çalışanın soluduğu havadan örnek almak, bunu ölçmek ve daha sonra iç dozu tahmin etmek genellikle en iyisidir. Bazı durumlarda, vücut atıklarındaki aktivitenin ölçülmesi ve dozun tahmin edilmesi veya duyarlı detektörler ile

vücut içindeki aktivitenin doğrudan ölçülmesi mümkün olabilir. Amaç her zaman en doğru dozu tahmin etmektir.

2.2.2.6. İyonize Radyasyonun Vücutta Hasar Oluşturma Riski

Radyasyonun vücutta oluşturabileceği hasarın derecesi veya hasar oluşma olasılığı (riski) genellikle şu etkenlere bağlıdır¹⁰⁸;

- a) **Dozun Büyüklüğü:** Doz arttıkça, risk de artar.
- b) **Dozun Süresi:** Belirli bir dozun alındığı süre arttıkça, etkisi azalır ve bu nedenle risk de azalır.
- c) **İyonize Işının Cinsi:** Aynı enerji dozundaki yoğun iyonlaştırıcı ışınlar (alfa ışını gibi) seyrek iyonlaştırıcı ışınlara göre (beta, gama gibi) daha etkin olduklarından, yoğun iyonlaştırıcılarla risk artar.
- d) **Hedef Dokunun Cinsi veya Duyarlılığı:** Doku ne kadar farklılaşmışsa, yani tam olak olgunlaşmışsa, iyonlaştırıcı ışınlara karşı direnci artar.
- e) **Işınlanan Canlının Yaşı:** Organlarının oluşmakta olduğu embriyo, anne karnındaki bebekler ve çocuklar iyonlaştırıcı ışınlara, yetişkinlerden çok daha duyarlıdırlar.

Radyasyonun vücuttaki doku ve hücrelerde oluşturabileceği hasar, somatik (bedensel) ve genetik olarak ikiye ayrılır¹⁰⁸;

2.2.2.6.1. Somatik Hasarlar

Somatik hasar erken (birdenbire) veya geç ortaya çıkabilir. Somatik hasarlar rastlantısal olmayan doz bağımlı (*deterministik*) ve rastlantısal doz bağımsız (*stokastik*) olmak üzere iki şekilde olmaktadır^{1,65}.

Deterministik etkiler, eşikli etkiler olup belirli bir eşik değerden daha

yüksek dozlarda herkeste görülür. Eşik değerin üzerindeki hasarın şiddeti doza bağımlı olarak artar. Radyasyon dozu arttıkça, vücuttaki erken hasarın büyüklüğü de artar. Örneğin; 5 Gy veya daha fazla dozun aniden alınması uygun tedavi yapılmadığı takdirde kemik iliği ve sindirim sistemi hasarları nedeni ile ölümlle sonuçlanabilir. Tüm vücudun değil, vücudun belirli bir bölgesinin çok yüksek bir doz alması halinde ölüm olmasa da ışınlanan bölgede erken etkiler görülecektir. Örneğin cildin 5 Gy'lik dozu aniden alınması halinde ciltte bir hafta içinde eritem (kızarıklık) ortaya çıkar. Benzer dozun üreme organları tarafından alınması halinde kısırlık meydana gelir⁵. Doz bağımlı etkilerin diğer bir tipi, ışınlanmadan uzun bir süre sonra ortaya çıkan geç etkilerdir. Bunlar genellikle öldürücü değildir. Fakat vücudun belirli parçalarının fonksiyon kaybına veya habis olmayan değişikliklere neden olabilir. En iyi bilinen örnekleri gözde katarakt meydana gelmesi ve cilt hasarlarıdır. Kadınlarda bir defada 2.5-6 Gy (2500- 6000 mGy) dozun, erkeklerde bir defada 3.5-6 Gy (3500- 6000 mGy) dozun kısırlık yapması ve bir defada alınan 5 Gy (5000 mGy) dozun gözde katarakt yapması radyasyonun doz bağımlı etkilerine örnektir.

Stokastik etkiler, eşiksiz etkiler olup çok düşük dozlarda bazı kişilerde görülür. Etkinin ortaya çıkması için bir eşik değer söz konusu değildir. Tek bir gama ışınının veya alfa taneciği gibi iyonlaştırıcı bir parçacığın daha önce bozunup kendi onarımını yapamamış bir hücreyle etkileşmesi durumunda, kanser meydana gelebilir. Doz miktarı arttığında hasarın büyüklüğü değil, hastalığın ya da hasarın ortaya çıkma olasılığı artmaktadır. Çeşitli kanser türlerinde kanserin ortaya çıkışı, organların iyonlaştırıcı ışınlarla karşı farklı duyarlılık göstermesi nedeniyle farklı sürede olabilir. En kısa bekleme süreleri kan kanseri (lösemi) ve tiroit kanserlerinin ortaya çıkışında görülmektedir¹⁰⁸. Düşük dozlara maruz kalmış kişilerde kanser ortaya çıkması halinde, bunun radyasyon nedeni ile olup olmadığını belirlemek mümkün değildir. Bunu ortaya koyacak

somut veriler yoktur. Düşük dozlar için doz bağımsız etkilerin ortaya çıkma olasılığı yüksek doz almış kişiler ve hayvan deneylerinin sonuçlarına dayanılarak tahmin edilmektedir.

2.2.2.6.2. Genetik Hasarlar

Kalıtım hücrelerinin kromozomlarındaki değişim ya da dönüşümler sonucunda, ışınlanan kişinin sonraki kuşaklarında genetik hasarlar ortaya çıkabilir. Genetik hasarların bazıları vücut tarafından onarılabilir. İyonlaştırıcı ışınların oluşturabileceği genetik hasarlarla⁶⁶ ilgili olarak insanlar üzerinde yapılabilmiş ve sonuçları bilimsel olarak kabul edilmiş bulgu söz konusu değildir. Japonya'da atılan atom bombalarından sonra hayatta kalanların çocuk ve torunlarında, diğer bölgelerdeki Japon halk gruplarına oranla belirgin olarak daha ağır bir genetik hasar belirlenmemiştir. Hayvanlar üzerinde yapılan deneylerden, iyonlaştırıcı ışınların genetik hasar yapabileceği bilinmektedir. Bu nedenle, insanlarla ilgili genetik hasarların kestirimi, deney hayvanları üzerinde yapılan deneylere dayanmaktadır¹⁰⁸.

2.2.2.7. İyonize Radyasyonun Kronik Işınlanma Etkileri

Radyasyona en fazla maruz kalan kişiler olan radyasyon çalışanlarının, uzunca bir süre içinde aralıklı olarak düşük dozlara maruz kalması yani kronik olarak ışınlanması sonucu meydana gelebilecek etkiler yıllar sonra ortaya çıkabilmektedir. Bunun sebebi ise, doz düşük dahi olsa tekrarlanan ışınlanmalarda organizmanın bir sonraki ışınlanmaya kadar hasarı onaramaması ve hasarın giderek artabilmesidir⁵. Kronik olarak ışınlanan kişilerde, yıllar sonra, katarak ve kanser vakaları görülebileceği gibi doğal ömür sürelerinde de bir kısalma söz konusu olabilir. Ayrıca, bu

kişilerin kendilerinden sonraki nesillerinde kalıtsal bozukluklara rastlanabilir. Hayvanlar üzerinde yapılan deneyler, radyasyonun yaşlanmayı hızlandırdığını ve buna bağlı olarak da doğal yaşam süresinde belli bir kısalmanın söz konusu olabileceğini ortaya koymaktadır. Bu deney sonuçlarının insanlara ekstrapole edilmesiyle yapılan çalışmalar, bu etkinin insanlar için de doğru olduğunu göstermektedir. Birçok bilim adamı, ne kadar az olduğunu önemsemeksizin, radyasyon ışınlamalarının kanser riski taşıdığını kabul eder¹⁰⁹. Vücudun bazı bölgeleri diğerlerine nazaran daha hassas olsa da, radyasyon hemen her doku ve organda kansere yol açabilir¹. İyonlaştırıcı radyasyonun mutasyonları ve hücre transformasyonları oluşturduğu bilinmektedir. Tek iplik ve çift iplik DNA kırıklarına yol açarak kromozom kararsızlığı ve karsinoma neden olmaktadır^{110,111}. X-ışınları ve gama ışınları, insan ve hayvanlarda karsinojenite için yeterli kanıtı dayanarak insanlara Grup 1 karsinojen olarak sınıflandırılmıştır¹¹².

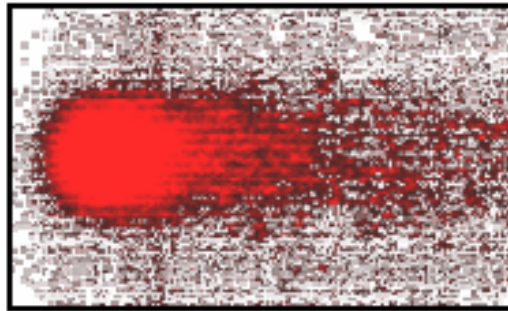
Radyasyonun sebep olduğu kanseri, başka bir etmenin sebep olduğu kanserden ayırt etmek mümkün değildir. Bu yüzden, radyasyonun sebep olduğu kanserle ilgili çalışmalar, ortalama doğal radyasyon seviyesinden çok daha fazla bir doza maruz kaldıkları tespit edilmiş kanserli hasta grupları üzerinde sürdürülmektedir. Kişisel olarak maruz kaldıkları dozlar aşağı yukarı tahmin edilebilen bu gruplardan elde edilen verilerle bir risk tahmini yapmak mümkün olabilmektedir. Sözü edilen bu gruplar, atom bombasından sağ kalanları, tıbbi ışınlamaya maruz kalan hastaları, mesleği gereği ışınlananları, çevreye yayılan atıklardan etkilenenleri ve çok yüksek rakımlarda yaşayanları kapsamaktadır.

2.2.2.8. İyonize Radyasyon Kaynakları ile İlgili Kazalar

Radyasyon kaynakları endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır ve kötü yönetim veya bazen verilen yanlış kararlardan dolayı kazalar meydana gelebilmektedir. Son elli yılda radyasyon kaynaklarının ve radyoaktif maddelerin neden olduğu birçok kaza rapor edilmiştir. Aşırı miktarda radyasyona maruz kalma nedeniyle insanlar yaşamlarını kaybetmiş, ölenlerden daha fazla sayıda insan ciddi şekilde yaralanmış ve bazıları da sakat kalmıştır. Nükleer endüstri, askeri tesisler, hastaneler, araştırma tesisleri ve endüstride, 1945 ve 1999 yılları arasında aşırı radyasyon ışınlanmasını içeren 140 ciddi kaza rapor edilmiştir. En sık meydana gelen kaza (toplamda yaklaşık 70 adet), hastanelerde radyoterapi ve endüstride radyografi uygulamalarında kullanılan kapalı kaynakların yanlış veya güvenlik ile emniyet kurallarına uyulmadan kullanımı sonucunda gerçekleşmiştir. En ciddi sağlık sonuçlarının bazıları, oluşabilecek akut radyasyon hasarı konusunda bilgisiz kişiler tarafından hizmet dışı bırakılmış hastane cihazlarından sökülmüş tedavi amaçlı radyoaktif kaynaklar nedeniyle oluşmuştur. Ne yazık ki genellikle insan hatası veya doğru yapılmamış kalibrasyon işlemleri nedeniyle, tıpta kullanılan radyoaktif kaynaklar ile hastaların istenmeden yüksek radyasyon dozlarına maruz kaldığı durumlar da vardır¹. Hiroşima kazasında 45.000, Nagasaki kazasında 20.000 ve Çernobil kazasında 28 kişi dahil olmak üzere toplam 65.220'den fazla kişi radyasyon kazalarında ölmüştür. Radyasyon maruziyeti sonrası en kısa sürede doz ölçümü veya doz tahmini yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Doz ölçümü , kaza sırasında yapılan radyoaktivite ölçümleri kayıtları üzerinden olduğu kadar çeşitli fiziksel ve biyolojik yöntemlerle de gerçekleştirilebilir. Kamuda “kirli bomba” kullanımı, dünya çapında giderek artan bir şekilde tehdit olarak algılanmaktadır. Bu nedenle, radyasyon kazası hemen sonrası radyasyon doz ölçümüne olanak sağlayacak hızlı, invaziv ve güvenilir bir yöntem geliştirilmesi son derece arzu edilmektedir¹³.

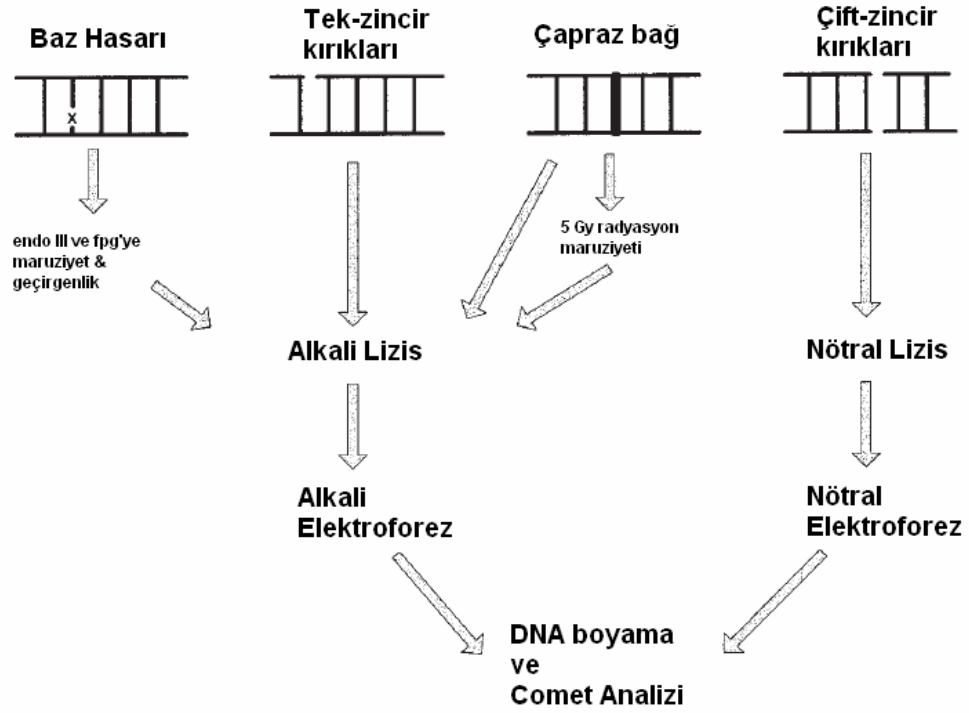
2.3. Comet Assay (Tek Hücre Jel Elektroforez) Analiz Tekniği

Mutajenik ve karsinojenik bileşiklere maruz kalan toplulukların biyolojik olarak izlenmesinde çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Son yıllarda gelişen "Tek Hücre Jel Elektroforez Tekniği" (SCGE) -‘*comet tekniği*’ de çeşitli tipte DNA hasarlarının tespiti için hassas, hızlı ve güvenilir bir yöntem olması nedeniyle yaygın kullanım görmektedir. Bu teknik ilk kez 1984 yılında Ostling ve Johanson tarafından gama radyasyona maruziyet sonrasında nötral şartlarda tek hücre düzeyinde DNA hasarını tespit etmek üzere bir mikro-elektroforetik yöntem olarak geliştirilmiştir^{114,115}. Ostling ve Johanson agarozda süspanse edilen radyasyona maruz kalmış hücreleri lam üzerine yayarak, tuz ve deterjanla lizis işlemine ve ardından elektroforeze tabi tuttuktan sonra akridin oranj gibi DNA bağlayıcı floresan boyayla boyamışlardır¹¹⁴. Eğer DNA kırık içeriyorsa, elektroforez sırasında gevşemiş ve kırılmış DNA parçaları nedeni ile elektrik yük kazanmış olur, çekirdekten anoda doğru göç ederek şekil 7’deki gibi kuyruklu yıldız görünümünü verir. Bu nedenle hasarlı hücreler Comet olarak adlandırılmıştır. DNA hasarını saptamak için kuyruk uzunluğu ölçülmüş, ve kuyruk uzunluğunun radyasyon dozunun fonksiyonu olduğu gözlenmiştir.



Şekil 7: Tek Hücre Alkali Jel Elektroforezinde Harabiyete Uğramış Hücrenin Görüntüsü

Araştırmalar sonucunda nötral deney şartlarının proteinleri tam olarak uzaklaştıramadığı, yani denaturasyonu hızlandırmadığı ve bunun sadece çift bağ hasarının tanınmasına yol açtığı ortaya çıkmıştır. Oysa ki, DNA'da hasar oluşturan çoğu ajan, DNA çift sarmalından çok, DNA tek sarmalında hasar meydana getirmektedir. Bu nedenlerden dolayı 1988'de Singh ve arkadaşları tarafından alkali şartlar altında ($\text{pH} > 13$) comet tekniği geliřtirilmiřtir¹¹⁶. Alkali şartlarda DNA çift sarmalı açılabilmekte, böylece DNA tek sarmal kırılmalarının tespiti sağlanmakta ve ayrıca alkali oynak bölgelerin, DNA çapraz bağlarının ve tamamlanamamış tamir bölgelerinin saptanmasına da olanak sağlanmıştır^{116,117}. Kullanılan daha güçlü lizis koşulları proteinlerin %95'inden fazlasını yok edebilmekte, böylelikle SCGE tekniğinin alkali dizaynı bireylerde hücrelerinin hemen hepsinde DNA hasar büyüklüğünün direkt olarak tespitini sağlamaktadır^{114,118}. Bunun yanında, DNA hasar/onarım tespiti ve mekanizması çalışmalarında kullanılabilmektedir^{118,119}. şekil 8'de DNA hasar tiplerine göre uygulanması gereken farklı comet assay versiyonları gösterilmiştir.



Şekil 8: DNA hasar tipleri ve uygun comet assay versiyonları¹²⁰.

Düşük hasar seviyelerinde DNA'da göçten çok yayılma görülürken, kırık sayısının artmasıyla DNA parçaları kuyruğa doğru göç etmeye başlar¹²¹. Kuyruktaki floresan şiddetinin hücrenin baş tarafına göre kıyaslanmasıyla sarmal kırıklarının sayısı hakkında bilgi edinilebilir. Hasarsız hücrelerde çekirdek parlaktır ve floresan şiddeti baş tarafta yoğundur. Ancak DNA'da kırıklar söz konusu olduğunda floresan çekirdekten anoda doğru yayılarak kuyrukta şiddetlenir. Comet tekniği, hasarlı hücrelerde floresanın baş taraftan kuyruğa geçişini yansıttığından DNA hasarının kantitatif olarak saptanmasında, kuyruk momenti, kuyruktaki DNA yüzdesi ve kuyruk uzunluğu parametreleri kullanılmaktadır¹²².

Pek çok genotoksik ajanın çift zincir kırıklarından çok tek zincir kırıkları ve/veya alkali oynak bölgeler oluşturması nedeniyle

metodun alkali versiyonu daha çok önerilir hale gelmiştir^{116,123}. Genotoksisite; genlerde DNA molekülleri ile toksik ajanların (genotoksinler) etkileşmesi sonucu ortaya çıkan ve gelecek nesillere taşınan toksisite olarak bilinmektedir.

2.3.1. Kullanım Alanları

Comet tekniği tek bir hücrede DNA hasarının direkt tayininin yanı sıra, bir popülasyondaki tüm hücrelerin aynı oranda hasara uğrayıp uğramadığının tespitine, dolayısıyla da bir tedavi sırasında ,özellikle radyoterapi ve kemoterapi rejimlerinde, hücrelerin cevabının saptanmasına yardımcı olabilmekte, dirençli hücre popülasyonunun tanımlanmasını sağlamaktadır. SCGE tekniği pek çok deneysel şartlarda DNA hasar ve onarımını incelediğinden, son yıllarda genotoksisite ve DNA onarım mekanizmalarının incelemesinde kullanımı artan bir yöntemdir^{124,125}.

Yöntem tek hücre süspansiyonu şeklinde elde edilebilen hemen hemen her ökaryot hücrede DNA hasar ve onarımını tespit etmektedir. Oldukça küçük hacimde örneklerle çalışılabilmekte, sonuçlar bir günde elde edilebilmektedir. Yöntem alkali elüsyon gibi diğer uzun DNA analizleri kadar duyarlıdır¹²⁶.

Günümüzde comet tekniği insan popülasyonlarından alınan lenfosit örneklerinde oksidatif hasar, ultraviyole (UV) ve iyonizan radyasyona duyarlıkların incelenmesi yönünden başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Özellikle izleme (human biomonitoring) çalışmalarında,

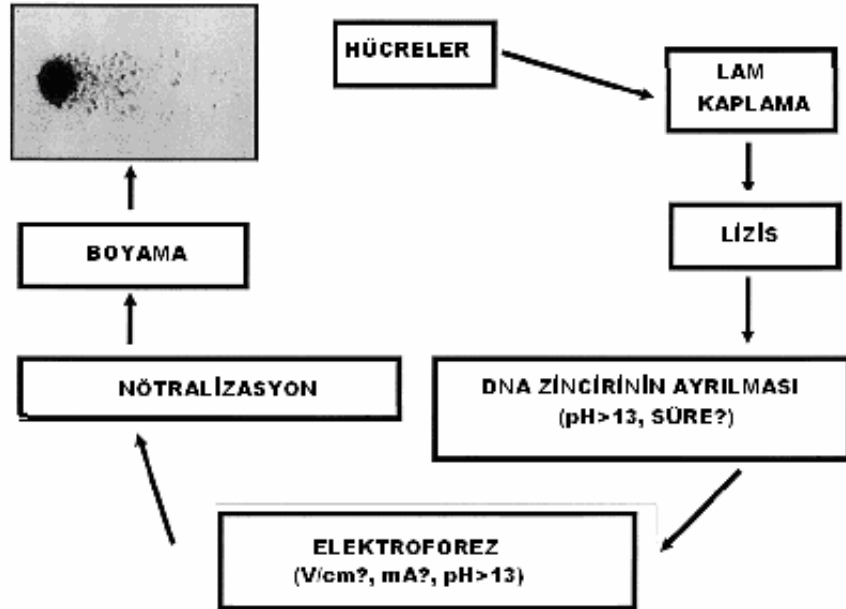
meslekleri nedeniyle veya çevresel ya da kazayla çeşitli kimyasal maddelere/radyasyona maruz kalan kişilerde DNA hasarının incelenmesinde son yıllarda rağbet gören bir tekniktir^{124,126}. İyonize radyasyona maruz kalan 50 medikal çalışan ve maruz kalmamış 50 kişiyle yapılmış çalışmada, comet assay tekniği insan lökosit hücrelerine uygulanmış ve radyasyon maruziyetinin göstergesi olarak DNA hasarı incelenmiştir. Çalışanların dozimetrelerinde okunan değerlerle DNA hasarı arasındaki paralellik, radyasyon çalışanlarının soğurdukları doz ölçümünde comet assay tekniğinin biyodozimetrik yöntemlere tamamlayıcı olarak yararlı olacağını göstermiştir¹⁰⁵. Bir diğer çalışmada, 5-14 yaş arasında solunum yolu hastası 20 çocuktan röntgen çekirmeden ve çekirdikten sonra alınan kan örneklerinden izole edilen lenfosit hücrelerinde comet assay tekniği uygulanmış, fiziksel dozimetrelerden okunan doz değerleriyle, tespit edilen DNA hasarı arasında niteliksel korelasyon saptanmıştır. Çocukların kan hücrelerinde X-ışını öncesi ve sonrası oluşan DNA hasar oranı, onların teşhis amaçlı X-ışınına minimum ölçüde maruz kalması gerektiğinin önemini göstermektedir¹²⁷.

Comet ölçümü insan çalışmalarında kullanılabilecek en uygun testlerdendir. Çünkü radyoaktif maddelerle işaretleme gibi zararlı işlemleri içermez ve kolaylıkla görünebilir hücrelere uygulanabilir. Normalde sıklıkla kullanılan beyaz kan hücreleridir. Bu hücreler rölatif olarak invaziv olmayan yollarla, kolaylıkla ayrılabilir ve metoda iyi uyum sağlar. Ancak kanser için hedef doku olmamaları ve beyaz kan hücrelerindeki hasarın gerçek hedef dokudaki hasarı yeterince yansıtmamasının net olmaması gibi dezavantajları bulunmaktadır. Bazen cerrahi sonrası çıkarılan dokular kullanılabilmekle birlikte , karşılaştırılacak sağlıklı kontrol dokusu elde etmek oldukça güçtür. Bukkal ve üreteryal epitel hücrelerde denenmiştir ancak bu hücreler yapıları nedeniyle ek proteaz kullanımı ve uzun bir lizis süresi gerektirirler¹²⁴.

2.3.2. Uygulama

Comet yöntemi, alkali pH da farklı molekül ağırlıklarına ve farklı elektrik yüke sahip DNA moleküllerinin elektriksel alanda farklı şekilde göç etmeleri esasına dayanır. Şekil 9'da gösterilen basamaklar takip edilir. Tek hücreler veya çekirdekçikler agarozda gömülür; yüksek tuz ve deterjan içeren lizis solüsyonunda hücrelerin lize olmaları sağlanır, alkali elektroforez solüsyonunda DNA sarmalının ayrılması için bekletilir, daha sonra DNA'ların elektroforez de yürütülmeleri esnasında hasarsız DNA'ların bütünlüğünü kaybetmeden yürür ve comet yani kuyruk oluşturmaz, oysa, hasarlı DNA'ların fragmenleri oluşan hasardan dolayı farklı moleküler ağırlıklara ve farklı elektrik yüklerine sahip olduklarından elektriksel alanda farklı hızda hareket eder ve kuyruk şeklinde bir görüntü oluştururlar. Elektroforezi takiben lamaların yıkanması için en çok tris tamponu tercih edilir. En son olarak DNA bağlayıcı boyalarla flöresan renk oluşturulur. Akridin oranj, ethidium bromit, propidium iodit, DAPI (4,6-diamidino-2-phenylindole), SYBR gibi DNA boyaları özellikle hasarlı hücrelerden, hasarsızları ayırmada avantajlıdır¹²¹. Sonuç olarak elde edilen DNA göç görüntüleri değerlendirilerek bir fikir oluşturulur^{114,116,128}.

Comet tekniği ile DNA hasarının kantitatif olarak tayin edilmesinde gözle değerlendirmenin yanısıra Comet Görüntü Analiz Programlarını kullanmak suretiyle kuyruk uzunluğu, kuyruk momenti ve kuyruktaki DNA yüzdesi en yaygın kullanılan parametrelerdir¹²⁹. Kuyruk momenti; kuyruk uzunluğu ve kuyruk içindeki toplam DNA oranının çarpımı olarak tanımlanmaktadır. Araştırmacı hangi ölçüm parametresini kullanırsa kullansın, parametreler çalışmalarda açıkça not edilmelidir^{118,130}.



Şekil 9: Alkali comet tekniğinde kritik basamakların şematik gösterimi¹¹⁸.

2.3.3. Comet Tekniğini Etkileyen Faktörler

SCGE tekniğinin farklı uygulanması sonuçları etkilemektedir. Örneğin, elektroforez şartları (süre, uygulanan voltaj), lizis solüsyonu şartları (tuz konsantrasyonu, süre ve pH), metodun hassasiyetini etkilemektedir. Bu nedenle deneylerde koşullar standart tutulmalıdır. Ayrıca insana yönelik çalışmalarda genotoksik etkiyi potansiyelize ettiği tartışılan faktörler SCGE tekniği sonuçlarını etkileyebilir.

2.3.4. Comet Tekniğinin Avantajları

SCGE yöntemi düşük düzeydeki DNA hasarlarını gösterebilmesi, az sayıda hücre ile analizin gerçekleştirilebilmesi, fazla ekipman gerektirmemesi, kolaylıkla uygulanabilmesi, değişik hücre ve doku grupları ile çalışılabilmesi, sonuçların üç dört saat içinde elde edilip ve değerlendirilmesi, güvenli ve ekonomik olması nedeniyle giderek yaygınlaşan bir kullanım alanı bulmaktadır¹³¹. Yöntem in vivo modellerde herhangi bir dokuya da uyarlanabildiğinden, sadece hızlı çoğalabilen hücrelerde uygulanabilir olan diğer genotoksisite testlerinden daha üstündür. Aynı zamanda tek bir doku hasarını belirlemek de mümkündür¹³⁰. Endüstriyel toksikoloji, çevresel toksikoloji, genetik toksikoloji, insan biyoizlemleri, DNA onarım ve hasarının temel mekanizması gibi çalışmalarda geniş olarak kullanılabilmektedir^{124,130}.

2.4. ESR Tekniği

Elektron spin rezonans spektroskopisi net elektronik manyetik momente sahip olan birimlerden oluşmuş örneklerle uygulanabilen bir tekniktir¹³². 1945 yılında E.Zavoisky tarafından geliştirilmiştir¹³³. Elektronik manyetik momente yörünge ve spin hareketlerinden katkı gelir. Manyetik momente sahip birim, atom, molekül, molekül parçası, iyon veya katı örgü içindeki bir kusur olabilir. Bu birimlerin örnek içindeki konumları, etkileşimleri, dinamik yapıları ESR spektroskopisi yardımı ile incelenebilir. Dışardan statik bir manyetik alan uygulanmadığı sürece manyetik momentleri arasındaki etkileşmelerin zayıf olduğu örneklerde, başka deyimle paramanyetik örneklerde, bu manyetik momentlerin yönelimleri gelişigüzel gösterir. Manyetik alan uygulandığında ise manyetik momentler enerjilerini minimum yapmak için manyetik alan yönünde yönelmeye çalışırlar. Ancak termal etki bunu engellemeye çalışır. Buna karşın örnek manyetik alan yönünde yönelmiş

net bir mıknatıslanmaya sahip olur. Örneğin sahip olduğu mıknatıslanma dışarıdan uygulanan statik manyetik alan etrafında presesyon hareketi yapar¹³⁴.

Serbest radikallerde spin açısal momentum vektörü S olan çiftlenimsiz bir elektronun magnetik momenti ; g spektroskopik yarıma çarpanı, μ_B de Bohr magnetonu olmak üzere,

$$\vec{\mu} = -g\mu_B \vec{S}$$

ifadesi ile verilir. Kuantum mekaniği açısından bakıldığında, böyle bir manyetik moment bir dış alana konduğunda spin kuantum sayısı $M_s = \pm 1/2$ olacak şekilde iki farklı yönelime sahip olur. H uygulanan dış manyetik alan olmak üzere bu yönelimlere karşı gelen enerjiler

$$E_+ = +\frac{1}{2}g\mu_B H$$

$$E_- = -\frac{1}{2}g\mu_B H$$

ifadeleri ile tanımlanır. Bu enerjilerin manyetik alana bağlı değişimleri Şekil 10'da gösterilmiştir. Zeeman enerji düzeyleri de denilen bu enerji düzeyleri arasındaki fark

$$\Delta E = E_+ - E_- = g\mu_B H_r$$

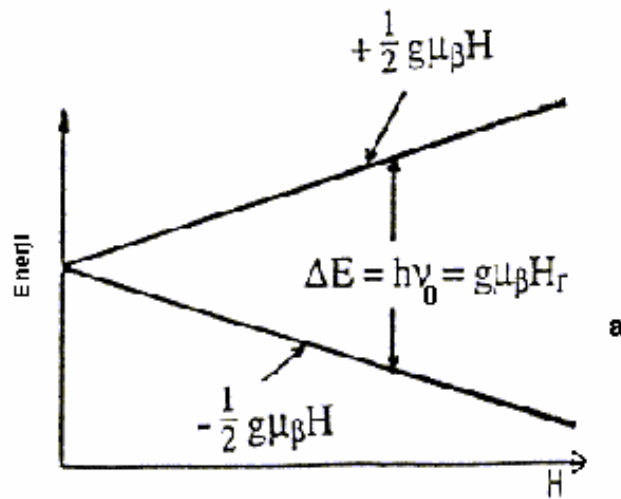
bağıntısı ile verilir ve uygulanan dış manyetik alanın değerine çizgisel olarak bağlıdır.

E_- alt enerji düzeyinde bulunan bir elektronun E_+ üst enerji düzeyine geçebilmesi için ΔE enerji farkına eşit bir foton enerjisi soğurması gerekir. Bu durumda

$$h\nu_0 = g\mu_B H_r$$

eşitliği sağlanır ve rezonans koşuluna erişilir. Bu bağıntıdaki ν_0 , uygulanan elektromanyetik dalganın frekansını, h Planck sabiti'ni ve H_r rezonansın gerçekleştiği manyetik alan değerini gösterir.

$h\nu_0 = g\mu_B H_r$ rezonans koşulu elektromanyetik dalganın frekansı ile manyetik alanı birbirine bağlayan çizgisel bir bağıntı olduğu için pratikte paramanyetik örnek tarafından soğurulan enerjiyi algılamak için iki yaklaşım vardır. Ya uygulanan manyetik alan değeri sabit tutulup Zeeman enerji düzeyleri arasındaki fark sabit kılınarak rezonans soğurması olana dek mikrodalga frekansı değiştirilir, veya mikrodalga frekansı sabit tutulup magnetik alan değiştirilir. Deneysel zorluklardan kaynaklanan birtakım nedenler yüzünden pratikte ikinci yöntem tercih edilir¹³².



Şekil 10: Bir serbest elektronun manyetik alan içindeki enerji düzeyleri.

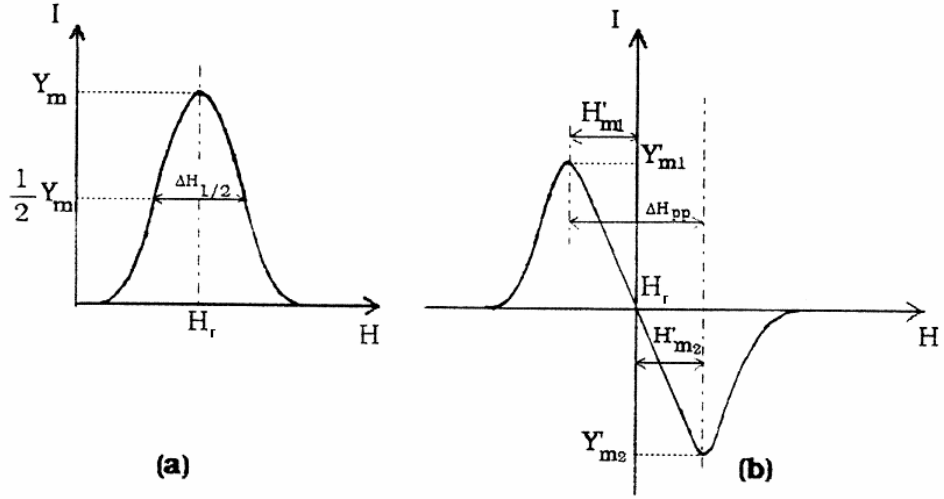
Spinlerin E_+ ve E_- enerji düzeyleri arasındaki dağılımı Boltzman yasasına uyar ve

$$\frac{N_-}{N_+} = \exp\left(\frac{E_+ - E_-}{kT}\right) = \exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right)$$

ifadesi ile verilir. Bu bağıntıdaki k Boltzman sabiti, T 'de mutlak sıcaklıktır.

Bu eşitlikten de görüldüğü gibi sabit bir mikrodalga frekansında ve sıcaklık düşürüldükçe $h\nu/kT$ oranı büyür, yani E_- enerji düzeyinde bulunan spinlerin sayısı artar. ESR çalışmaları için 9-10 GHz gibi yüksek frekans değerlerinin seçilmesinin ve genellikle düşük sıcaklıklarda şiddetli ESR sinyalinin elde edilmesinin nedeni de bu eşitliğin öngördüğü bir sonuçtur.

ESR spektrumu; çözücülüğün artırılması, gürültü düzeyinin düşürülmesi gibi nedenlerden dolayı soğurma eğrisinin birinci türevi şeklinde kaydedilir¹³⁵. Soğurma eğrisi ve bunun birinci türevi alınarak elde edilen eğrinin karakteristik özellikleri Şekil 11a ve b' de verilmiştir. Şekildeki H_r incelenen örneğin rezonans alan değerini, ΔH_{pp} tepeden-tepeye çizgi genişliğini, Y'_m ise sinyal şiddetini göstermektedir. Soğurma eğrisinin altında kalan alan veya çizgi genişliğinin sabit olması durumunda birinci türev eğrisinin tepeden tepeye yüksekliği, örneğin sahip olduğu manyetik birimlerin sayısı ile orantılıdır¹³⁶.



Şekil 11: Tek çizgili bir ESR spektrumunun karakteristik özellikleri

a) soğurma , b) birinci türev

Bir örnek içindeki manyetik birimlerin çiftlenimsiz elektrondan kaynaklanan manyetik momentlerinin büyüklüğü aynı ise, ν frekansında elektromanyetik dalga üreten kaynağa sahip bir spektrometrede tüm birimlerin aynı alan değerinde rezonansa girmeleri beklenir. Bu alan değeri

$$H_r = \frac{h\nu}{g\mu_\beta}$$

ifadesi ile verilir. Bir örnekten diğerine bu alan değerinin değiştiği görülmüş, başka deyimle farklı manyetik birimler için farklı manyetik alan değerlerinde sinyallerin ortaya çıktığı belirlenmiştir. Bu da değişik elektronik çevrelenmeye sahip çiftlenimsiz elektronların farklı g değerlerine sahip olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Çünkü manyetik bir birimin magnetik momenti sadece spinden kaynaklanmamakta elektronun yörüngesel hareketi de, manyetik momente katkı getirmektedir. Başka deyimle, bir manyetik birimdeki spin-yörünge etkileşmesi spektrumun

manyetik alan ekseninin hangi bölgesinde ortaya çıkacağını belirler. Bu da **g spektroskopisi yarılmaya çarpanı** şeklinde deneysel spektruma yansır¹³⁷.

Elektronik manyetik moment hem ait olduğu atomun hem de komşu atom veya atomların çekirdek manyetik momentleri ile etkileşir. Bu da elektronik enerji düzeylerinin yarılmasına dolayısı ile çok sayıda yeni rezonans geçişlerinin ortaya çıkmasına neden olur. Elektronik ve çekirdek manyetik momentleri arasındaki bu etkileşmeye **aşırı ince yapı etkileşmesi** denilir.

Deneysel olarak gözlenen tüm rezonans çizgileri belirli bir **yarı eğri genişliğine** sahiptir. Bunun nedeni, manyetik momentlerin yalnızca dışardan uygulanan manyetik alanın içinde olmamaları, komşu manyetik momentlerin oluşturdukları manyetik alanların da içinde bulunmalarındandır. Dolayısı ile örneği oluşturan tüm manyetik momentler aynı manyetik alanı görmezler, bunun sonucu olarak rezonans geçişleri bir alan bölgesine yayılır. Bu da rezonans eğrisine bir genişlik kazandırır. Rezonans çizgilerinin şekillerinde ve şiddetlerinde zamanla ortaya çıkan değişimler radikallerin diğer birimlerle girdikleri etkileşmelerin mekanizmaları ve radikalın zamanla sönümü veya oluşumu üzerine bilgi verir. Çizgi şekilleri ve konumları aynı kalırken, zamanla şiddetlerde gözlenen azalma **sönüm** olarak tanımlanır¹³⁴.

2.4.1. ESR spektroskopisinin radikal analizinde kullanılması

Serbest radikaller, atomik ya da moleküler orbitallerinde çiftlenimsiz bir veya daha çok elektron bulunduran molekül ya da molekül

parçalarıdır. Serbest radikaller kararlı yapıları nedeniyle uzun ömürlü olabildikleri gibi, kimyasal tepkimeye girme eğilimleri yüksek olduğunda genelde kararsız bir eğilim sergileyerek sönmeye uğrarlar. Hem çözeltilerde ve hem de katı ortamlarda kararlı olan radikaller vardır. Ancak çözeltilerdeki kökçeler yüksek hareket serbestileri nedeniyle genelde çok uzun ömürlü değildir. Doğal yollardan oluşmuş serbest radikallerin yanında mekanik etki, sıcaklık etkisi ve kimyasal etkiler sonucu veya görünür ışık, UV, X veya γ -ışınları yardımı ile de serbest radikal oluşturmak mümkündür.

Çiftlenimsiz elektrona sahip olmaları nedeniyle, serbest radikaller manyetik özellik gösterirler. Bu özelliğe duyarlı olan ESR spektroskopisi, serbest radikalleri ve bunların katıldığı tepkimeleri dinamik yolla incelemede kullanılan bir yöntemdir. ESR yöntemiyle, serbest radikallerin şu özellikleri belirlenebilir:

- Radikallerin sahip olduğu çiftlenimsiz elektronla ilgili, bir anlamda radikali karakterize eden spektroskopik yarıлма çarpanı g ,
- Çiftlenimsiz elektronun üzerinde lokalize olduğu çekirdek ve komşu çekirdeklerle etkileşmelerinin büyüklüğünü gösteren aşırı ince yapı sabiti A ,
- Komşu çiftlenimsiz elektronların kendi aralarındaki etkileşmeler,
- Radikal konsantrasyonları ve bu radikallerin yaşam süreleri,

Spektroskopik yarıлма çarpanı, spektrum çizgilerinin rezonans alan değerlerinden yararlanarak, aşırı ince yapı sabiti rezonans çizgileri arasındaki uzaklığın ölçülmesi ile, çiftlenimsiz elektron ile etkileşmeye giren çekirdeklerin sayıları ve türleri ise rezonans çizgi sayısı ve şiddet oranlarının hesaplanmasıyla belirlenir. Sinyal şiddeti örnek içerisinde bulunan radikal miktarı hakkında, çizgilerin genişlikleri ve

şiddetlerinde zamanla ortaya çıkan değişimler de radikallerin durulma ve diğer moleküllerle olan etkileşme mekanizmaları üzerine bilgi verir. Belirlenen bu özellikler yardımı ile radikallerin türleri, yapıları ve dinamik özelliklerine ilişkin bilgiler elde edilebilir.

2.4.2. ESR Spektroskopisinin Doz Ölçümünde Kullanılması

ESR tekniği hızlı, doğru, hassas ve tekrarlanabilir şekilde doz ölçümü yapmaya imkan tanır. Bu teknikte, incelenen örnek tahrip olmaz ve analizler için az miktarda örnek yeterlidir. Birçok katı maddede iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalması ile oluşan serbest radikaller yeterli kararlılıkta ise ESR tekniği ile bu radikallerin miktarları ve özellikleri belirlenebilir. ESR spektrumunda örnekte bulunan radikal miktarı ile doğru orantılı olarak sinyal şiddeti elde edilir. ESR tekniği ile örnek içerisinde radyasyon sonucu oluşan serbest radikal miktarı bir standart yardımıyla belirlenebilir. İncelenen örnek bu şekilde dozimetre malzemesi veya radyasyon algılayıcısı olarak kullanılabilir. Biyolojik dozimetre olarak kullanılacak doku eşdeğeriindeki malzemenin soğurduğu doz miktarı, ışınlama öncesi ve sonrasında kaydedilen ESR spektrumları yardımıyla belirlenir. Işınlanmış örnekteki radikal sayısının radyasyon dozu ile doğru orantılı olması durumunda, olası bir radyasyon kazası durumunda örneğin soğurduğu doz miktarı belirlenebilir. Bir başka deyişle, ESR sinyal şiddeti, incelenen örneğin soğurduğu doz miktarının bir ölçüsüdür¹³⁸.

2.4.3. Dozimetri

Toplu halde veya bireysel olarak radyasyona maruz kalan bireylerin absorbe ettikleri radyasyon dozu; fiziksel veya biyolojik yöntemlerden biri ile yada her ikisiyle birlikte belirlenebilir. Bu işlem dozimetri olarak adlandırılır. Meslekleri gereği radyasyonla çalışanların fiziksel dozimetri çeşidi olan film, cep ve termoluminesans dozimetlerinden birini taşımaları gerekir. Ancak fiziksel dozimetrenin vücut üzerindeki konumu nedeni ile yetersiz kalması, büyük kitlelerin zarar gördüğü toplumsal radyasyon kazalarında ise bireylerde fiziksel dozimetrenin bulunamaması ve biyolojik çeşitlilik nedeniyle kişilerin radyo duyarlılığının farklı olması biyolojik dozimetriye üstünlük sağlamakta, bu nedenle de fiziksel ölçümlerin biyolojik metotlarla desteklenmesi gerekmektedir. Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı(IAEA) radyasyon kazası durumlarında, fiziksel dozimetri ile birlikte biyolojik dozimetrenin de absorbe edilmiş dozun belirlenmesinde bağımsız olarak kullanılmasını önermiştir. Biyolojik dozimetri, genel anlamı ile kişilerin absorbe ettikleri radyasyon dozunun biyolojik indikatörler (belirleyiciler) kullanılarak ortaya çıkarılmasına denir.

Biyolojik dozları doğru değerlendirmek; mesleki ve çevresel ışınlama düzeylerinin belirlenmesinde, kaza ışınlamalarında uygun tedavi programlarının saptanması ve gecikmeden başlatılmasında, düşük dozlarda geç etkiler konusunda kişilerin bilinçlendirilmesinde, ayrıca tümörlerin radyasyona karşı duyarlılıklarının belirlenmesi ve radyoterapi sırasında sağlam dokuların korunması gibi alanlarda önem kazanmaktadır.

Biyolojik Dozimetri için ideal koşullar;

1-Dozları tahmin etmek için seçilen etkiler radyasyona özgü olmalı ,

- 2-Radyasyona maruz kalma sonucu oluşan etki kalıcı olmalı, eğer kalıcı değilse değişimin zaman bağımlılığı bilinmeli ve bu zamana bağlılık ölçüm alınabilecek düzeyde uzun olmalı,**
- 3-Oluşturulan kontrol doz-cevap eğrilerinde dozların aralığı mesleki ışınlamalarda olduğu gibi çok küçük dozları ve kaza durumlarında olduğu gibi birkaç Gy'e varan dozları da içermeli,**
- 4-Farklı radyasyon türlerinde uygulanabilmeli**
- 5-Biyolojik materyal kolay,ucuz elde edilebilmeli, kalibrasyonu basit olmalı,**
- 6-Ölçümler kolay ve hızlı olmalı, kısa sürede sonuç elde edilebilmeli,**
- 7- Ölçüm duyarlılığı ve tekrarlanabilirliği yüksek olmalı,**
- 8-Kronik ve homojen olmayan ışınlamalara da uygun olmalı.**

Doz ölçümü uygulamaları genellikle geğmişte soğurulan doz miktarının belirlenmesi şeklinde olduğundan dozimetre malzemesi, çevrede kolayca bulunabilecek, çevresel ve atmosferik koşullardan etkilenmeyen, üzerinde radyasyonun oluşturduğu etkileri uzun süre saklayabilen taşınabilir boyutlardaki doku eşdeğerinde olan malzemelerden seçilmelidir. Kazazedelere uygulanabilecek uygun tıbbi tedavi için, dozimetre malzemesinin düşük doz değerlerinde güvenilir sonuç vermesi gerekmektedir. Günümüzde hala uygun dozimetre arayışları devam etmekte ve yukarıdaki özellikleri taşıyan ideal bir biyolojik malzeme ve dozimetri yöntemi bilinmemektedir.Gerekli olan bilgiyi birkaç sistemin birarada kullanılması yolu ile elde etmek mümkündür.

Doz belirleme işleminde etkin olarak kullanılan ESR tekniğinde spektrum rezonans sinyal şiddeti radyasyonun örnekte oluşturduğu serbest radikal sayısı ile orantılıdır. ESR tekniğinin duyarlılığı yüksek algılama zamanı kısadır. Ayrıca, örnek üzerinde tahrip edici etkisi bulunmamaktadır. Seğilecek malzemenin ışındandıktan sonra özellikle

teşhis ve tedavide kullanılan bölge olan 0.1 -30 Gy aralığında çizgisel bir doz cevap eğrisine sahip olmalıdır¹³⁹⁻¹⁴².Doz değerlendirme çalışmalarında kullanılan bir diğer teknik de Comet assay yöntemidir. Bu yöntem yüksek hassasiyeti ancak düşük özgünlüğü nedeniyle doz belirleme açısından kontrollü bir çalışma gerektirir. Soğurulan doz hücrede oluşan DNA hasarı miktarı ile orantılıdır.

2.4.3.1. Biyolojik dozimetreler

Saç, tırnak, kemik, diş gibi dokular dozimetre malzemesi olarak kullanabilirler. İyi bir dozimetrik malzemede soğurulan doz ile orantılı oluşan hasarlar kararlı olmalı, kişiye bağlılık gözlenmemeli ve uygun doz değerleri için çizgisel bir doz cevap eğrisine sahip olmalıdır. Doz limit değerleri 20-30 mGy değerlerinden başlayıp 10-20 Gy değerine kadar gitmelidir. Vücudun radyasyona maruz kaldığı bölgede lokal doz ölçümü yapılabilmelidir.

Biyolojik dozimetre arayışında incelenecek malzemeler, radyasyon kazası esnasında insanların üzerinde ve çevresinde doğal olarak bulunması muhtemel çeşitli örneklerden seçilmelidir. Bu kapsamda ESR tekniği ile üzerinde araştırma yapılan biyolojik örneklerden bazıları saç, tırnak, kemik, diş, şeker ve ilaç türleridir¹⁴³.

Kalsifiye dokular dozimetrik açıdan güçlü malzemelerdir. İyonize radyasyona duyarlılığı güçlü olan diş minesi 100 mGy'e kadar doz tahmininde başarılıdır ve kararlı sinyalleri hem kronik hem akut maruziyetde ölçüme olanak tanır.Hiroşima ve Nagasaki'de atom

bombasının etkileri 40 yıl sonra bile diş örnekleri kullanılarak hassas olarak belirlenebilmiştir. Çernobil radyasyon kazası sonrası doz belirleme çalışmaları çevredeki insanların diş örnekleriyle yapılmış ve sonuçlar klinik ve biyolojik verilerle %20 uyum içinde bulunmuştur¹³⁸. Kemik örnekleri ise radyasyona zayıf duyarlılıkları ve örnekleme için yapılması gereken biyopsi zorluğu nedeniyle akut maruziyetde kullanımları ile sınırlı kalmıştır. Kemik örneğinin birincil radikallerinin kararlı olmamaları nedeniyle, düşük doz değerlerinde yeterli duyarlılıkta cevap vermediği açıklanmıştır. Ancak kemik biyopsisi ile doz ölçümleri lokalize doz ölçümünü tanımladığından birçok radyasyon kazasında kemik örneklerinin kullanımı uygundur. 1989'da San Salvador'da meydana gelen radyasyon kazasında kemik örnekleri doz belirleme işleminde kullanılmıştır¹³⁸.

Kalsifiye dokuların dozimetrik özellikleri Q-band ESR spektrometresi ile de araştırılmıştır. Romantukha ve arkadaşları birkaç mg diş biyopsisi ile doz tahmini yapılabilmesi için in vivo L-band (1.2 GHz) ESR spektrometresine alternatif olarak Q-band (34 GHz) ESR spektrometresini ilk önerenler olmuştur¹⁴⁴. Q-band tipinin kullanımı X-band (9 GHz)'e göre daha karmaşık olduğundan, sadece nitel analiz için kullanımı önerilmektedir. Bu teknikte de ölçümün tekrarlanabilirliği geçerlidir. 2-3 mg örnek miktarı ile 0.5-1 Gy gibi düşük dozlar tespit edilebilirken, X-band spektrometre ile aynı örnek miktarı kullanılıp ancak 5-10 Gy arasında dozların tahmini yapılabilir. Çeşitli kazalarda çürük dişler varlığı nedeni ile gereken örnek miktarı 5-10 mg'a kadar çıkabilir. Ayrıca, Q-band spektrometrede yüksek spektral çözünürlüğü sayesinde doğal sinyallerden radyasyon spesifik sinyaller (RIS) ayırt edilebilmektedir. Klasik X-band türü ile örneğe ait doğal sinyal ve RIS sinyalleri üstüste çakışmaktadır. Bu nedenle, hiçbir karmaşık kimyasal müdahale doğal sinyalleri yok etmede kullanılmaz. Kemik örnekleri Mn^{2+} sinyalleri hariç her iki spektrometre türünde benzer spektrum verirler. Beklendiği üzere doz

tespit sınırı daha yüksektir ve bu sınır 10-20 Gy arasındadır. Kemik örnekleri, ESR tüplerine aktarılmadan önce öğütülür ve küçük çaplara getirilir. Bu esnada mekanik etki kaynaklı (MIS) sinyalleri oluşur. Örneği öğütme esnasında oluşan ısınma etkisinin MIS sinyallerine neden olduğu ileri sürülmektedir. Tek çizgili MIS sinyali RIS sinyali ile örtüşür ve asetik asitle yıkama da MIS sinyallerini ortadan kaldırmaz. Bu nedenle, kemiklerde soğurulan dozu değerlendirmek için deconvolution işlemine başvurulur¹⁴³.

El ve parmakların maruz kaldığı dozu değerlendirmek amacıyla falanks kemik biyopsisi ile ESR ölçümleri yapılmış ve doz tahmininde başarılı olunmuştur. Ancak örnek temini kolay, hızlı ve ağrısız olması, her bireyin doğal olarak üzerinde taşınması ve vücudun maruz kaldığı dozu doğrudan yansıtmaması ile, özellikle ellerde, tırnakları potansiyel bir dozimetrik malzeme kılmış ve bu nedenle tırnaklar ile doz ölçümü yapabilmeyi sağlayacak standart protokol arayışları son zamanlarda artmıştır. Tırnaklarda oluşan RIS sinyallerinin kararlılığı üzerine çelişkili sonuçlar elde edilmiştir^{145,146}. Bu farklı sonuçların sinyal sönümünde nem ve sıcaklığın etkin olmasından kaynaklandığı anlaşılmıştır. Tırnaklar kesildiğinde oluşan MIS sinyali spektrumu karmaşık hale getirir¹⁴⁷. MIS ve RIS sinyallerini veren birkaç radikal türü tanımlanmıştır^{148,149}. Bu sinyallerin kökeni hala araştırılmaktadır. Tırnaklar ile doz ölçümünü zorlaştıran bir diğer unsur RIS üzerinde suyun etkisi ve bu etkiden kurtulmanın yolunun net olmayışındır.

Şeker, özellikle sukroz, kaza dozimetresi olarak değerlendirilmiştir¹⁵⁰⁻¹⁵³. 5 mGy'lik dozda ışınlanan 600 mg şeker örneğini ESR tekniği ile tespit etmek mümkündür. Şeker değişen çevre şartları ve sıcaklık farklılıklarına rağmen birkaç yıl bozunmadan kalabilir ve

ışınlamadan sonra radikallerin kararlılığı neredeyse şekerin erime noktasına kadar devam eder. Radikallerin kararlılığı 170 gün boyunca %50-90 oranında korunduğu, 6 ay boyunca sönümün çok az olduğu yapılan çalışmalarda gösterilmiştir¹³⁸. Şekerlemelerde, tatlılarda ve farmasotik kaplamalarda şeker bulunabilir ancak yine de kazazedelerde bulunma ihtimali Radyolojik Koruma ve Nükleer Güvenlik Enstitüsü (IRSN) tarafından değerlendirilen kazalarda edinilen bilgiye göre sınırlı kalmıştır. Bu nedenle araştırmalar kişilerin üzerinde ve çevresinde bulunması muhtemel kişisel elektronik aygıtlara (cep telefonu, MP3 çalar) ,gözlük, saat,giyim plastik düğmeler ve tırnak gibi biyolojik malzemeler üzerine odaklanmıştır.

2.4.3.2. Saç dozimetreleri

Saç insan vücudunun hem iç yapısında hem de dış yapısında oluşan değişimlerin bir göstergesi olması yönüyle diğer doku ve organlardan ayrılır. Saç örneği bütün vücut yüzeyinde doz dağılımını ayırt etmeye yarayan tek biyolojik sistem olarak da tanımlanır¹⁵⁴. Biyolojik dozimetre olarak saç, temininin kolay, hızlı ve ağrısız olması, doğal olarak her bireyin üzerinde taşınması ile doğrudan soğurulan dozu yansıtmaması ve vücutta diğer kıl örnekleri ile benzerlik gösterdiklerinden, kafa dışında da analiz imkanı vermesi üstünlükleri ile diğer biyolojik malzemelerden ayrılır. Saç örnekleri ışınlanmadan önce tek çizgili ESR fon sinyali vermektedir. Fon sinyal şiddeti saç örneğinde bulunan melanin konsantrasyonu ile ilişkili olduğundan saç renginin koyulaşmasıyla arttığı gözlenmiştir. Bu nedenle, sarı saçtan koyu renk saçlara doğru sinyal şiddeti artmış, koyu renklerde 1-3 Gy'lik radyasyon doz değerinin oluşturduğu sinyal şiddetine ulaşmıştır¹³⁸. Ancak boyalı saçların sonuçları nasıl değiştirdiği henüz irdelenmemiştir.

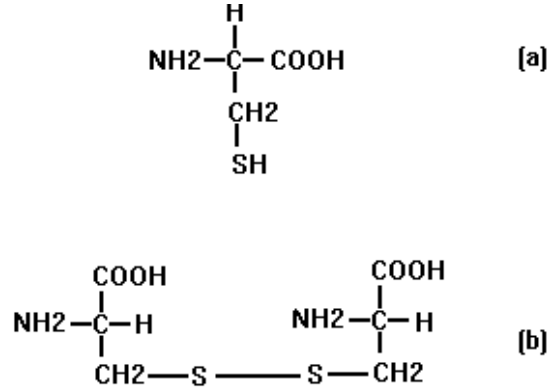
Işınlama saç yapısında bulunan α -keratin proteinindeki kükürt konsantrasyonunu artırdığından, ışınlanmış saç örneklerinde sinyal şiddeti artmış tek çizgili ESR spektrumu elde edilir. Değişik renklerde saç örnekleri kullanılarak ışınlama sonrası oluşan radikallerin sönüm hızlarının saç rengine bağlı olduğu gözlenmiştir. Saç örnekleri için çizgisel doz cevap eğrisi düşük dozlarda elde edilmiştir. Olası radyasyon kazalarında 24 saat içerisinde başlayacak ESR ölçümleri için, dozimetre olarak kullanılabileceği belirtilmiştir¹⁵⁵. Saç örnekleri ile doz ölçümlerin %30'a kadar doğrulukla belirlenebildiği tespit edilmiştir¹⁵⁶. Ancak tüm saç renklerinin aynı çalışmada dozimetrik açıdan incelendiği çalışma henüz yapılmamıştır.

2.5. Saç Yapısı

Saçlar uzun, keratin içerikli yapılardır. Keratin kopmaya ve aşınmaya dayanıklı bir proteindir ve saç keratini α -keratin yapısındadır. α -heliks yapısında bulunan α -keratinler yapılarında yüksek miktarda sistin amino asiti bulundurlar. Sistin amino asiti, içerisinde kükürt bulunduran iki sistein aminoasitinin birleşmesi ile oluşur. Tırnaklar da keratin yapısındadır.

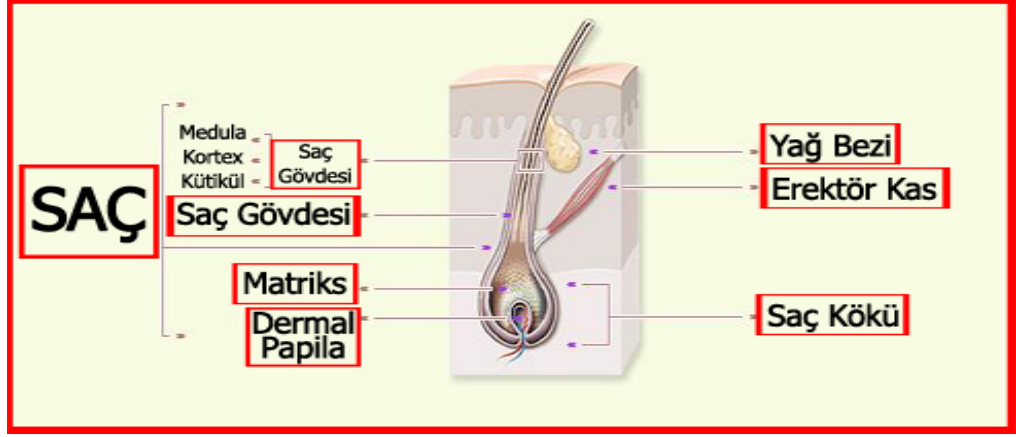
İnsan vücudundaki diğer proteinler gibi keratin de amino asit olarak adlandırılan küçük moleküllerin birleşmesinden oluşmuş büyük bir moleküldür. Amino asitler tane tane gibi ardarda dizilerek büyük proteinleri oluştururlar. Peptit zincirlerinin dayanıklılığı, hidrojen bağları ve peptit bağlarının dışında kalan R uçlarındaki yan bağlanmalarla

sağlanır.Yan bağlanmalardan en önemlisi, iki sistein arasında oluşan disülfid (-S-S-) bağlarıdır.



Şekil 12: İnsan saçında bulunan sülfürce zengin iki aminoasit a) Sistein and b) Sistin¹⁵⁶

Tek bir saç telinin çapı, kişiden kişiye farklılık göstermekle birlikte, 0,05 ile 0,09 milimetre arasındadır.Saç telinin ısı ve neme tutulması durumunda, içerdikleri α-heliks boyunca uzanan hidrojen bağları kırılır ve yapıları β-plakalı yapı türüne dönüşerek saçta iki katına kadar uzama gözlenir. β-plakalı yapı türüne β-keratinler sahiptir. Bu keratinler, α-keratinlerin aksine sistein ve sistin içermediklerinden yapılarında disülfid bağları bulunmaz. Saç kurduğunda tekrar α-keratin yapısına döner. Epidermis derinin en dış tabakasıdır. Her saç teli epidermisteki bir çentikten çıkar. Saç iki bölümden oluşur: saç kökü ve saç gövdesi.



Şekil 13: Saç yapısı

2.5.1. Saç Kökü

Saç teli saç kökünden çıkar. Bu, kafa derisinin yağ tabakasına gömülmüş, çay bardağına benzer yapıda küçük bir girintidir. Saç kökünün deri içinde kalan kısmının en uç bölümüne saç soğanı denir. Saç soğanı canlı ve sürekli bölünen hücrelerden oluşmuştur (her 23-72 saatte bir). Bu hücreler silindirik yapıdaki uzun, ince saç liflerini üretirler. Saç soğanında ayrıca, saça rengini veren pigmentleri üreten hücreler de bulunur. Bu pigmente melanin, onu üreten hücrelere de melanosit denir. Koyu renkli saçlar açık renkli saçlara göre melanince zengindir. Erkeklik hormonlarının (androjenler) reseptörlerinin de bu bölümdeki hücrelerin üzerinde olduğu bilinmektedir.

Saç soğanının en dip kısmında dermal papilla olarak adlandırılan ve damar yumağı içeren yapı bulunur. Bu yapı saçların büyümesi ve beslenmesi için çok önemlidir. Her bir saç kökü bir iç ve bir dış kök kılıfı tarafından çevrelenmiştir. Dış kök kılıfının sonlandığı yerde

epidermis başlar. Saç kökünün çevresinde ve bitişiğinde bir takım salgı bezleri de bulunur. Bunların en önemlileri saçları kayganlaştıran yağı (sebum) salgılayan yağ (sebase) bezleridir.

2.5.2. Saç Gövdesi

Saçın derinin dışında kalan kısmına saç gövdesi denir. Saç gövdesi keratine dönüşmüş ölü hücreler, bunları bir arada tutan bazı maddeler ve bir miktar sudan ibarettir. Saçı kesilen kişinin hiçbir acı hissetmemesinin nedeni işte bu yapıdır.

Saç gövdesi üç tabakadan oluşur. En içteki tabaka **medulla** olarak adlandırılır ve sadece uzun ve kalın saçlarda bulunur. Medulla hücreleri yumuşak keratin ve genellikle pigment içeren yapılardır. Sert keratin liflerinden oluşan **korteks** saçın orta tabakasını oluşturur. Saç teline esneklik, sağlamlık ve renk veren katman kortekstir. Saç gövdesinin en dış tabakası **kütikül** olarak adlandırılır. Bu renksiz ve ince tabaka ölü hücre kalıntılarının 6-10 kat halinde birbirlerinin üzerine sarılmasından oluşmuştur ve saç korteksini koruyucu bir görev üstlenir. Çok ince, homojen ve çok sert keratinden oluşmuştur. Yüksek oranda kükürt içerir ve saç içerisinde bulunan eser elementler genellikle bu tabakada toplanırlar.

Saçlar sürekli olarak büyümezler, dökülürler ve periyodik olarak yenilenirler. Saçın gelişimi, mitotik aktivite ile oluşur. Saçta gelişim büyüme fazı-anajen, bitim fazı- katajen ve dinlenme fazı-telojen olmak üzere üç fazda gerçekleşir. Anajen ,saçın aktif aşamasıdır. Saç kök

hücreleri hızla bölünürler. Yeni saç oluşur ve bu dönemde saç 28 günde yaklaşık 1 cm büyür. Bu aktif faz 2-6 yıl arası devam eder. Katajen fazı geçiş aşamasıdır, tüm saçların %3'ü herhangi bir zamanda bu evrede bulunmaktadır. Bu aşama yaklaşık 2-3 hafta sürer. Sonra büyüme durur ve dış kök kılıfı küçülür ve saç köküne eklenir. Bu bir club saç denilen oluşumdur. Telojen, dinlenme fazıdır ve tüm saçların %10-15'i bu aşamadır. Bu faz yaklaşık 100 gün sürer ve bu dönemde saç kökü tamamen istirahat döneminde. Böylece tamamen club saç oluşmuş olur. Bu fazda bir saç çekildiğinde, kökünde beraberinde katı, sert, beyaz malzeme ortaya çıkar. Her gün 25-100 telojen saç normal anlamda dökülür. Saç dökülmesinin birçok sebebi vardır. Bunlar içerisinde genetik etkenler başlıktır. Ayrıca kansızlıktan, stresten ve mevsimsel nedenlerden dolayı da saçlar dökülebilmektedir. Saçların günde 70-80 tel dökülmesi normaldir. Daha fazla olan dökülmeler saçlarda açılmaya yol açmaktadır.

Işınlama çalışmaları büyüme fazında olan saç örnekleri üzerinde yapılmış, ışınlamanın kök matrisinde hücre ölümüne neden olduğu ve kök ölümlerinin ışınlamadan 12 saat sonra maksimum değerine ulaştığı belirlenmiştir. Işınlamadan sonra saçlar oluşmaya devam eder, ancak oluşan saçlar normal olmayan saçlardır¹⁵⁷. Yapılan ışınlama çalışmalarında, doz artışı ile birlikte saç tellerinde incelmeler gözlenmiştir¹⁵⁴. Işınlamadan 2-3 gün sonra medulla hücre sayısında azalma ve saç kromozomlarında hasar söz konusu olmaktadır. Saç örneklerinin içerdiği eser element konsantrasyonu analizi yapılarak, doz belirleme işlemi de yapılabilmektedir. Çernobil radyasyon kazasından etkilenen kazazedelerden alınan saç örneklerindeki elementel bileşen analizi ile kazazedelerin yaşadıkları doz miktarları belirlenmiştir¹⁵⁸. Saç örneğindeki uranyum miktarı yardımıyla, kazazedenin nükleer reaktöre uzaklığı bulunabilmektedir. Radyasyon sonrası saçta bulunan eser

element konsantrasyonlarının incelendiği bir çalışmada, özellikle fosfor ve kalsiyum elementlerinin ışınlamadan çok fazla etkilendiği grlmřtr¹⁵⁹.

Bu tez çalışmasında, iyonize ve iyonize olmayan radyasyonun sa ve sa kökü üzerinde oluşturduğu yıkımlardan yola çıkarak ESR ve Comet Assay teknikleri ile biyolojik dozimetre olarak kullanım potansiyelleri araştırılmıştır.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışma Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Etik Kurulu'nun onayı alınarak gerçekleştirilmiştir. Etik kurul onay tarihi: 25.06.2010; onay kodu: 104.

3.1. Örneklerin Temin Edilmesi ve Hazırlanması

Çalışmaya katılan tüm gönüllüler çalışma konusunda bilgilendirilerek onayları alınmıştır.

Saç kökü örnekleri vermiş gönüllülerin yaşamsal parametreleri tablo 3'de verilmiştir. Saç kökü örnekleri iyonize radyasyon çalışmaları için kafanın herhangi bir bölgesinden çekilmiş saç telinden kesilerek alınmış ve eppendorf tüplerde biriktirilmiştir. Non-iyonize radyasyon çalışmaları için ise gönüllüler örnekleri, sağ kulak arkası bölgesi saç teli örneklerinden kök kısmı içerecek şekilde çekerek vermiş ve aynı şekilde dip kök kısımları kesilerek eppendorf tüplere aktarılmıştır.

Saç teli örnekleri 20-30 yaş arasındaki kişilerden alınmış; renk, doğal ve boyalı gibi parametreler dikkate alınarak farklı gruplara ayrılmıştır. Temiz saç örnekleri toplanmış, böylelikle örnekler herhangi bir işlem uygulanmadan ölçümlerde kullanılmıştır. Deneyler boyunca örnekler karanlık ortamda güneş ışığından uzak tutulmuştur.

Gönüllülerin araştırmaya dahil edilme kriterleri olarak; çalışılacak farklı doz ve farklı süre maruziyet grupları ve kontrol grupları için yeterli sayıda örnek verebilecek olması ve comet assay tekniği uygulanmadan hemen önce örnek alınması gerektiğinden, gönüllüler aynı laboratuvar veya işyeri ortamında çalışan kişiler olmasına dikkat edilmiştir. Aynı çalışmada cinsiyet farklılığına dayalı sonuçlar incelenmeyeceğinden, gönüllü sayısında cinsiyet oranları önem arz etmemektedir. Gönüllünün saç/saç kökü ile ilgili hastalığının olmamasına dikkat edilmiştir.

3.1.1. Non-iyonize Radyasyon Maruziyeti

Saç kökü örnekleri 15 ve 30 dakika sağ kulakta cep telefonu ile konuşan gönüllülerden alınmıştır. Kişilerin günlük hayatta cep telefonu kullanım şekli ve süreleri taklit edilerek maruziyet koşulları oluşturulmuştur. Deneyler boyunca aynı cep telefonu tam şarj edilmiş şekilde kullanılmıştır. Gönüllülerden, konuşma süreleri başlamadan önce ve 15-30 dakika konuşma süreleri bitimi sonrasında sağ kulak arkası bölgesinden saç kökü örnekleri alınmıştır. Konuşma boyunca cep telefonu hep sağ kulak tarafında tutulmuştur. Kullanılan telefonun çalışma frekansı 900 MHz GSM, maksimum soğurma güç değeri 2 W ve üretici tarafından belirtilen SAR değeri de 0.974 W/kg' dır.

3.1.2. İyonize Radyasyon Maruziyeti

Saç teli örneklerinin ışınlama işlemleri, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK)'nin Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi'nde, ^{60}Co ve ^{137}Cs γ -kaynağı kullanılarak oda sıcaklığında yapıldı. ^{60}Co

kaynağın doz hızının, ışınlamanın yapıldığı tarihler itibariyle, 0.90-0.75 kGy/saat aralığında, ¹³⁷Cs kaynağının ise 0.55-0.50kGy/saat aralığında değiştiği belirlendi. ESR tekniği ile incelenen saç teli örnekleri düşük doz (5-50 Gy) ve yüksek doz (75-750 Gy) değerlerinde Co-60 kaynağı kullanılarak , DNA comet assay tekniği ile incelenen saç kökü örnekleri 0,5-5 Gy doz değerlerinde Cs-137 kaynağı kullanılarak ışınlanmışlardır. Cs-137 kaynağının nispeten yüksek doz hızı nedeniyle, daha düşük doz değerlerinde ışınlama çalışması yapılamamıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Non-iyonize radyasyon

Non-iyonizan (cep telefonu) radyasyon maruziyeti incelemesi 2 erkek ve 6 kadın gönüllü ile yapılmıştır. Her maruziyet grubu için kontrol grupları ayrı olarak değerlendirilmiştir. Gönüllüler, farklı zamanlarda (2 hafta arayla) 15 ve 30 dakika cep telefonu ile konuşma öncesi ve sonrası, sağ kulak arkası saç derisi bölgesinden çekilmiş saç kök örnekleri vermişlerdir. Bu örnekler Comet assay tekniğinde cep telefonu konuşma süresine bağlı DNA hasarı tespit edilmesinde kullanılmıştır. Böylece, bu bölümde sağlıklı kontrol ve maruziyet grupları örnek sağlamış, in vivo koşullarda maruziyet gerçekleşmiştir.

Bu çalışmalardan 8 ay sonra 2 ve 5 kodlu gönüllülerden radyasyon maruziyeti olmaksızın, birbirine yakın yerlerden zorla çekilen saç köklerinde deri tahrişi gibi etkilerden dolayı oluşabilecek DNA hasarı etkisini irdelemek üzere örnekler toplanmıştır. Bu süre boyunca, çalışılan

gönüllülerin radyasyon ve kimyasal etkilere maruz kalmamış olmasına dikkat edilmiştir. Tablo 11’de yer alan 2 kodlu gönüllü kontrol grubu örneklerini verdikten 5 dakika sonra , 5 kodlu gönüllü de 15 dakika sonra tekrar aynı bölgeden örnek vermişlerdir.

3.2.2. İyonize radyasyon

Aynı gönüllü grubundan 5 kişi, rastgele bölgeden çekilerek koparılan saç örneklerini vermiş ve bu örneklerden toplanan saç kök örneklerinin yarısı kontrol grubunu oluşturmuş, ve diğer yarısı ise eppendorf tüplere aktarılmış ve önceden belirlenmiş dozlarda Cs-137 kaynağında ışınlanmıştır (iyonize radyasyon maruziyeti). Bu örnekler Comet assay tekniğinde iyonize radyasyon dozuna bağlı DNA hasarı tespit edilmesinde kullanılmıştır. Böylece, bu bölümde sağlıklı kontrol grubundan sağlanan örnekler kullanılarak, maruziyet in vitro koşullarda gerçekleştirilmiştir. Örnek alımları gönüllülerde herhangi bir risk oluşturmamıştır.

Saç teli örneklerinin (kök kısmı içermeyen) yarısı kontrol grubunu oluşturmuş, diğer yarısı paketlere aktarılıp Co-60 radyasyon kaynağında ışınlanmıştır. Bu örnekler ESR tekniğinde doza bağlı serbest radikal miktarı tespitine dayanılarak dozimetrik özelliklerin incelenmesinde kullanılmıştır. Böylece, çalışmanın bu bölümünde in vitro koşullarda maruziyet gerçekleştirilmiştir.

3.3. Kullanılan Comet Assay Protokolü ve Parametreleri

3.3.1. Kullanılan Aletler

- Terazı (AND GR200)
- pH metre (Jenco)
- Karıştırıcı (Harmony VTX-3000L)
- Elektroforez tankı
- Otomatik mikropipetler (Socorex)
- Traşlı lam
- Lamel (25x76 boyutunda)
- 1.5 ml ependorf tüpü
- Plastik pastör pipeti
- Steril lateks eldiven
- Floresan ataçmanlı mikroskop (Olympus BX51)
- Mikrodalga fırın
- Buzdolabı
- Buz kalıbı
- Beher, balon joje

3.3.2. Kullanılan Kimyasal Maddeler

- DMSO(Merck)
- NaCl(Merck)
- NaOH(Merck)
- HBSS (Ca^{++} ve Mg^{++} içermeyen) (GIBCO 1804873)
- SYBR Green(Lonza 50535)
- Triton-X 100(Merck)
- EDTA(Sigma, E5134)
- Tris (Ambresco)

- NMA (Sigma, A-9539)
- LMA (Sigma, A-9414)

3.3.3. Kullanılan Çözeltilerin Hazırlanması

10 M NaOH çözeltisi

NaOH80 g
Distile su..... 200 ml

0.2 M EDTA çözeltisi

EDTA.....14.89 g
Distile su.....200 ml

Saç kök hücresi izolasyon çözeltisi:

1 X HBSS (Ca^{++} ve Mg^{++} içermeyen).....40 ml
20 mM EDTA.....372 mg
DMSO 10 %.....5 ml
Ph 7.0-7.5 arasına ayarlanır ve solüsyon 50 ml'ye tamamlanır.

Boya Çözeltisi

SYBR Green.....7.5 μl
Distile su.....600 ml
Her bir lam için 65 μl kullanılır.

Stok Lizis çözeltisi

2.5 M NaCl146.1 g
100 mM EDTA.....37.2 g
10 mM Tris.....1.2 g
Distile su..... 700 ml

NaOH.....8 gr

NaCl , EDTA, Tris tartılıp 700 ml su eklenerek karıştırılmaya başlanır. Karışımın üzerine NaOH eklenir ve 20 dakika çözünmesi beklenir. pH=10'a ayarlanır. Hazırlanan stok lizis çözeltisi oda sıcaklığında saklanır.

Günlük Lizis çözeltisi

Stok lizis.....71.2 ml

Triton X-100 1%...0.8 ml

DMSO 10 %.....8 ml

Çözelti hazırlandıktan sonra 1 saat +4 °C'de bekletilir.

Elektroforez Tamponu

300 mM NaOH.....18 ml

1 mM EDTA.....3 ml

Distile su.....600 ml

pH>13 olduğu kontrol edilmelidir.

Nötralizasyon tamponu

0.4 M Tris..... 48.5 g

Distile su800 ml

Çözeltinin pH'sı konsantre HCl ile pH=7,5'e ayarlanır .

Düşük kaynama dereceli agar (%0.5)

LMA...0.5 mg

Distile su...100 ml

Normal kaynama dereceli agar

NMA....2gr

distile su.....100 ml

mikrodalga fırında eritilir.

3.3.4. Sa Köklerinde Comet Assay Uygulanışı

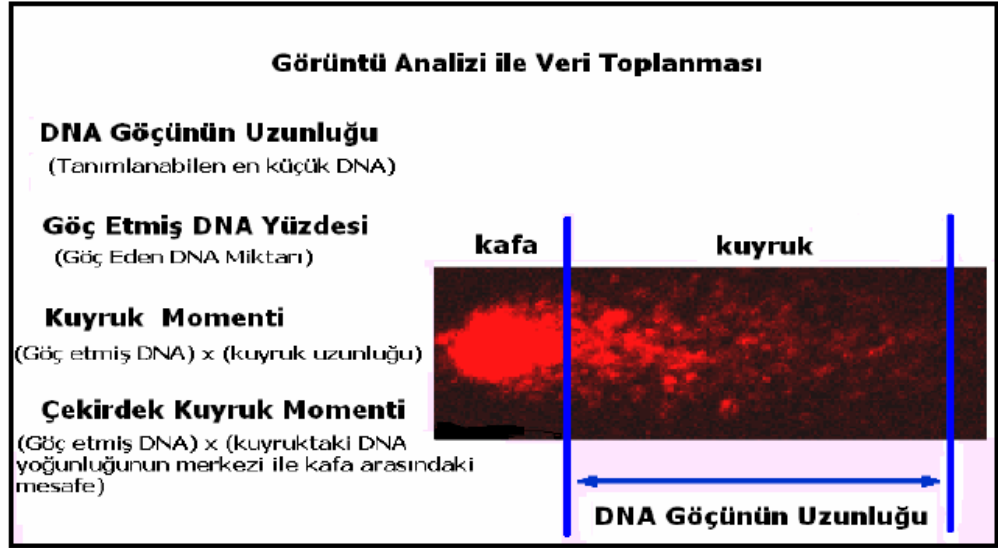
Sa kökleri ile ilgili comet assay deneylerine literatürde yer verilmemiştir. **Bu tez çalışmasında yapılan inceleme bu bağlamda ilk olması nedeniyle , sa kökü hücrelerini izole etme aşamasında uygun deney parametrelerini belirlemek amacıyla bir seri denemeler yapıldı.** alışmaya başlamadan önce distile suda %2'lik NMA hazırlandı. Lamlar agara batırıldı, oda sıcaklığında kurutuldu. Ependorf tüplerinde toplanmış sa kökü örneklerine eklenecek solüsyon miktarları ve solüsyon içinde hücrelerin bekletilme süreleri ile ilgili parametreler tablo 10'da belirtilen koşullar altında denemeler yapıldıktan sonra tespit edilebildi;

Tablo 10: Hücre izolasyonu denemesinin yapıldığı koşullar

Solüsyon miktarı	Bekleme süresi
1 ml	2 saat, 1 saat, 50 dakika
0.5 ml	1 saat, 50 dakika
0.2 ml	50 dakika, 15 dakika
0.1 ml	30 dakika, 15 dakika
0.05 ml	15 dakika, 30 dakika
0.03 ml	30 dakika

Denemelerimiz sonucunda en net ve yeterli hücrenin görüntülenebildiği ortam koşulları; sa kökü örneklerinin 0.03 ml solüsyon içinde 30 dakika bekletilmesi olarak belirlendi. Dolayısı ile tüm deneyler bu koşullarda gerçekleştirildi. Plastik ubuk kullanılarak ependorf tüpü dibindeki sa kökü hücreleri ezildi. Tüpler karıştırıcıda 1 dakika tutuldu. Hazırlanan bu solüsyondan 15'şer l alınarak önceden NMA ile kaplanıp

kurutulmuş lamlara yayıldı. Her örnek için iki lam çalışıldı. Örnek üzerine, mikrodalga fırında 1 taşım kaynatılmış %0.5'lik 80 µl LMA eklendi ve 25x76 lamelle kapatılarak buz kalıbı üstünde agar katılaşana kadar 15 dakika bekletildi. Lamel lamin yüzeyinden çekilerek tekrar %0.5'lik 80 µl LMA lamdaki örnek üzerine eklendi ve 15 dakika daha örnekler buz üstünde bekletildi. Lameller çekildikten sonra örnekler, önceden hazırlanıp en az 1 saat +4 °C'de bekletilmiş lizis solüsyonuna konuldu, ve bir saat +4 °C'de bekletildi. Günlük hazırlanmış elektroforez çözeltisi tankın içine dolduruldu. Lamlar bu çözeltiye alındı ve tank içinde 40 dakika bekletildi. Süre sonunda elektroforez tankına 25 V uygulanarak devreden 300 mA'lık akım geçmesi sağlandı ve bu şartlarda örnekler 30 dakika daha bekletildi. Elektroforezden çıkartılan lamlar 3 defa nötralizasyon tamponunda 5'er dakika bekletilerek nötralize edildi. Lamlar 65 µl SYBR Green ile boyandı. Görüntüler DAPI/fitc/Texas Red filtresi ve 600×800 çözünürlükte dijital renkli kamera (Pixera)'ya sahip Olympus BX 51 floresans mikroskobuyla BAP paket bilgisayar programı ortamında kaydedildi. Her örnek için rastgele 100 hücre sayıldı. Değerlendirme Comet Görüntü Analiz Programı (CASP, <http://www.casp.of.pl>) kullanılarak yapıldı. Çalışmada kuyruk uzunluğu (hücre kafası sağ sınırından başlayarak kuyruk sonuna kadar olan uzunluk), kuyruktaki % DNA miktarı ve kuyruk uzunluğunun bir başka ölçüsü olan kuyruk momenti (kuyruk momenti = kuyruk uzunluğu x kuyruktaki % DNA miktarı) esas alınarak istatistikler yapıldı (Şekil 14). İstatistiksel olarak değerlendirme, SPSS Software Package for Statistical Analysis (SPSS for Windows, Version 16.0.0, SPSS Inc., USA) programı ile gerçekleştirildi. Gruplar kendi içlerinde ve aralarında paired t-testi ile karşılaştırıldı. Test sonucu $p < 0.05$ olan bulgular istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi. Çalışma sonucunda elde edilen değerlerin ortalamaları ve standard hataları(se):ortalama $\pm$ se şeklinde verildi.

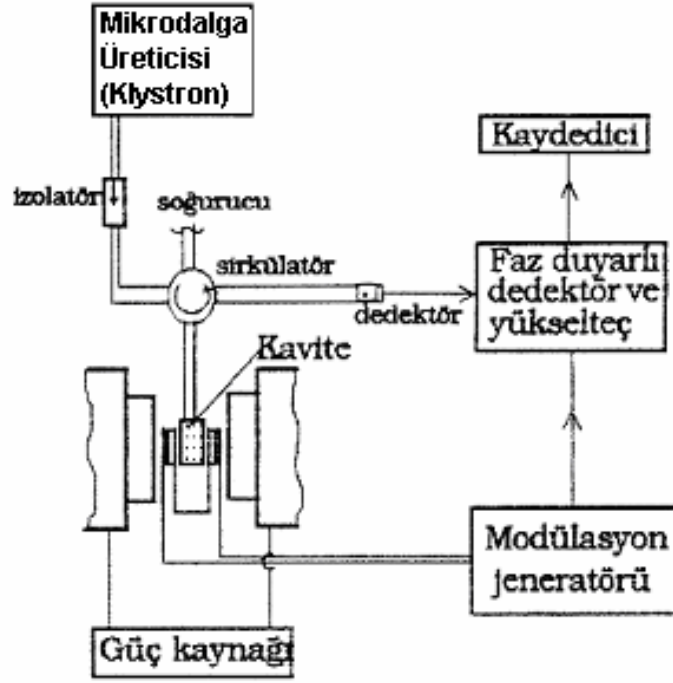


Şekil 14: Görüntü analiz programı ile DNA hasarı miktarının belirlenmesi

3.4. Kullanılan ESR Spektrometresi ve Spektrum Alma Koşulları

Bir ESR spektrometresi, genel olarak, sabit frekansta ve değiştirilebilir genlikte mikrodalga (MD) oluşturabilen bir üreteç, MD'yi örnek üzerine ve örnekten yansıyan dalgayı da kristal dedektöre taşıyabilen bir dalga kılavuzu, dalga kılavuzu boyunca taşınan MD'yi incelenecek örnek üzerinde yoğunlaştıran bir kavite, değeri çizgisel olarak değiştirilebilen durgun dış manyetik alan yaratan bir elektromıknatıs, MD'yi algılayan bir kristal dedektör, bir çift modülasyon bobini, bir yükselteç, bir faz duyarlı dedektör ile bir kaydediciden oluşur. Şekil 15'de görüldüğü gibi, elektromıknatısın kutupları arasında, örneğin içine konulduğu ve yan yüzlerine modülasyon bobinleri yerleştirilmiş, MD kavitesi bulunmaktadır ve kavite dalga kılavuzu aracılığı ile dört kollu köprüye bağlıdır. Kaynağın ürettiği MD, bir ucunda kristal dedektör, diğer ucunda örneğin konulduğu kavite bulunan dört kollu MD köprüsüne gönderilir. Rezonans yokken dengede olan köprü, rezonansa erişildiğinde, kavite içindeki örneğin MD

enerjisi soğurması nedeniyle, dengeden çıkar. Köprü dengede iken, MD gelmediğinden, kristal detektörde akım oluşmaz.



Şekil 15: Kullanılan ESR spektrometrelerinin şematik diyagramı

ESR spektrometrelerinde, genelde, MD frekansı sabit tutulup durgun alan belirli aralıkta taranarak soğurma eğrisinin birinci türevi çizdirilir. Tüm spektrumlar şu spektrometre koşullarında kaydedilmiştir. MD frekansı 9.8 GHz; modülasyon frekansı : 86 kHz; modülasyon genliği : 3.2 G; merkezi alan : 3480 G; tarama alanı : 100 G; mikrodalga gücü : 0.5-1 mW; kazanç: 1.59×10^2 . Doyum durumundan uzak kalmak için mikrodalga gücü olanaklar ölçüsünde örneğe spesifik olarak düşük tutulmuştur.

Deneylerde; örneklere ait sinyal şiddetleri, spektroskopi yarıma çarpanları, yarı eğri genişlikleri spektrumlardan belirlenmiştir.

Sinyal şiddeti bulguları kıyaslamalı bazda yürütülmüş, yani örneklerin sinyal şiddetleri gerektiği yerde örnek kütesine normalize edilmiştir.

İncelenen tüm örneklerin kütleleri tartılmış, kütleyle bağlı sinyal şiddeti değişimleri izlenmiş ve doğrusal değişimin olduğu bölge içerisinde kalacak şekilde örnek miktarı alınmıştır. ESR tüplerinin aktif kavite bölgesinde kalan kısmını dolduracak şekilde kütle miktarları ayarlanmıştır. Demir dolgu çubuğu yardımıyla tüp içerisinde örnekler sıkıştırılmıştır. Örneklerin MD kavitesine yerleştirilmesine özel bir önem gösterilerek, tüpe konan bir örneğin tümünün MD kavitesi içerisinde kalmasına dikkat edilmiştir.

4. BULGULAR

4.1. Non-iyonize Radyasyon (cep telefonu) Bulguları

4.1.1. Sa Kökü İle İlgili Comet Assay Bulguları

Çalışmamızda 8 sağlıklı gönüllüden alınan sa kökü örnekleri kullanıldı. Gönüllülerin yaşam parametrelerine dair bilgiler tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11: Gönüllülerin yaşam parametreleri

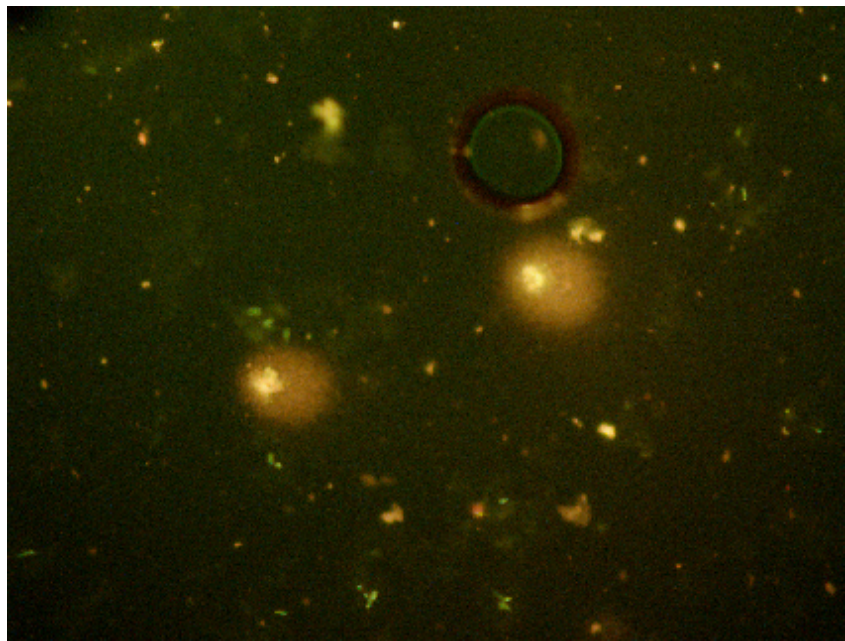
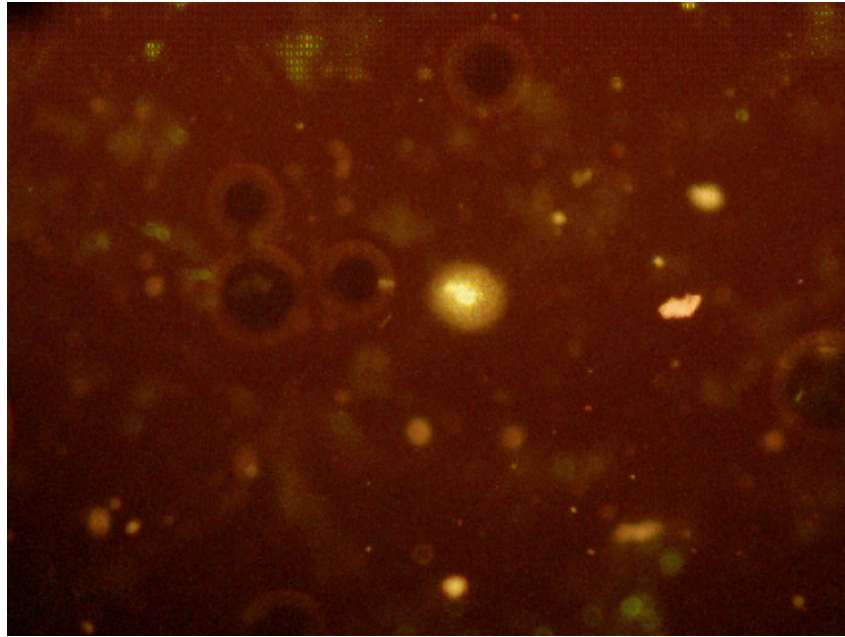
	Yaş	Cinsiyet	Meslek	Sigara	Alkol	Kimyasal	İlaç	Radyasyon
1	45	Erkek	Hekim	+	+	-	-	-
2	37	Kadın	Kimya Müh.	-	-	+	-	+
3	37	Erkek	Vet. Hekim	+	-	-	-	-
4	45	Kadın	Biyolog	+	-	-	-	-
5	30	Kadın	Fizikçi	-	-	-	-	+
6	30	Kadın	Biyolog	-	-	-	+	-
7	30	Kadın	Temizlikçi	-	-	-	+	-
8	47	Kadın	Biyolog	-	-	-	+	-

Comet assay tekniği sonuçları; her gönüllüye ait kontrol gruplarından ve, 15 ve 30 dakika cep telefonu radyasyonu maruziyeti sonucu oluşan gruplardan elde edilen kuyruk uzunluğu, kuyruk momenti parametreleri hesaplanarak değerdendirildi. Kaydedilen görüntülerden örnekler şekil 16'da verilmiştir.

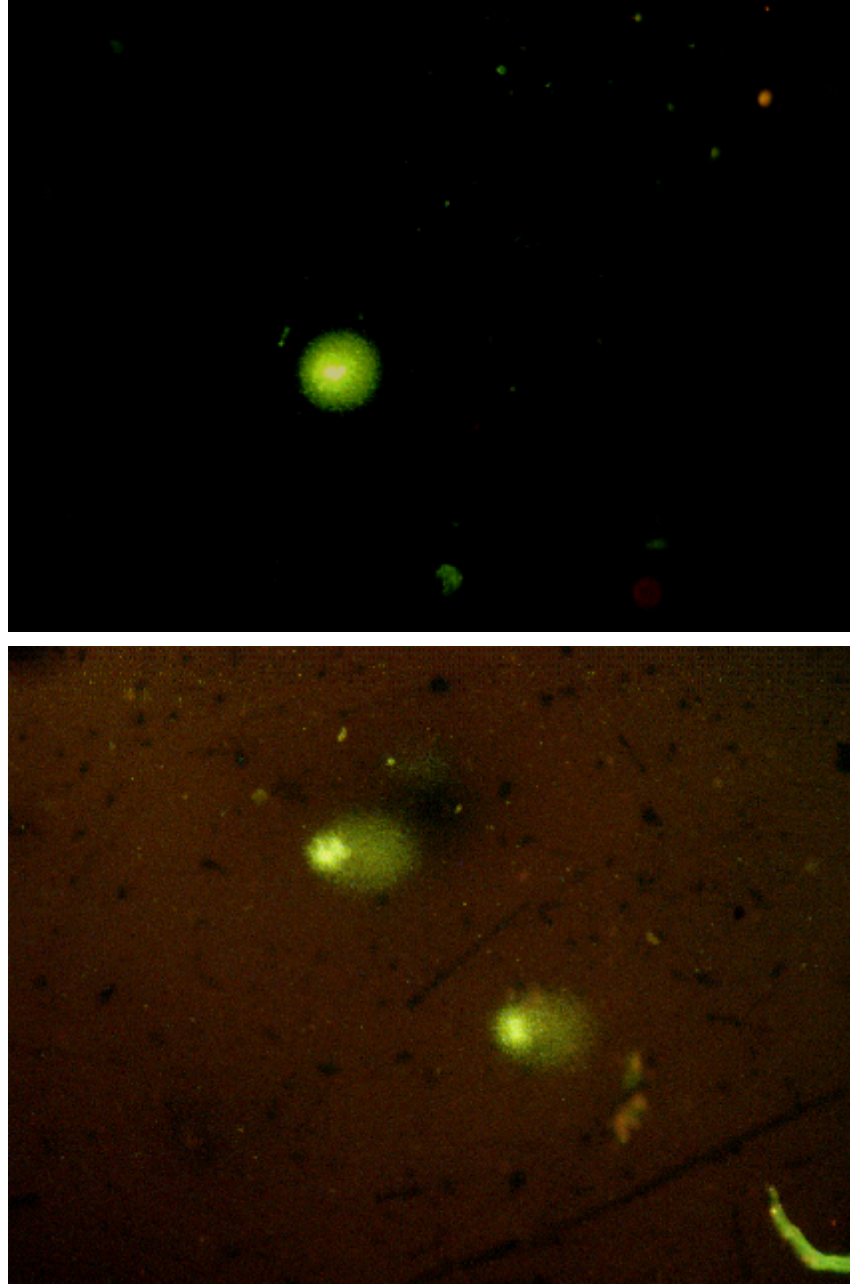
Cep telefonu ile 15 dakika konuşma öncesi kontrol grubunu oluşturan saç köklerine comet tekniği uygulanarak elde edilen kuyruk uzunluğu ortalama değeri $18.48 \pm 1.95 \mu\text{m}$ ve hem kuyruk uzunluğu hem de kuyruktaki DNA yüzdesini temsil eden kuyruk momenti ortalama değeri 2.33 ± 0.49 olarak bulundu. Her bir gönüllüden elde edilen kuyruk uzunluğu değerdeleri tablo 4'de verilmiştir.

Cep telefonu ile 15 dakika konuşma sonrası alınan saç kökü örneklerinden elde edilen verilere göre kuyruk uzunluğu ortalama değeri $31.98 \pm 2.52 \mu\text{m}$, ve kuyruk momenti ortalama değeri 3.19 ± 0.17 olarak bulundu. Her bir gönüllüden elde edilen kuyruk uzunluğu değerdeleri tablo 12'de verilmiştir.

Cep telefonu radyasyonu maruziyetinde 15 dakika öncesi ve sonrası alınan değerdeler paired t- testi ile karşılaştırıldı, ve maruziyet sonrası ortalama değerdelerdeki artışlar istatistiksel olarak anlamlı bulundu.



a)



b)

Şekil 16: Cep telefonu konuşması öncesi ve sonrası alınan saç kökü örneklerinden kaydedilen görüntüler a)kontrol (üst) ve 15 dakika telefon konuşması (alt), b) kontrol (üst) ve 30 dakika telefon konuşması (alt).

Cep telefonu ile 30 dakika konuşma öncesi gönüllülerden alınan örnekler kontrol grubunu oluşturdu. Elde edilen kuyruk uzunluğu ortalama değeri 19.16 ± 2.29 μm ve kuyruk momenti ortalama değeri 2.43 ± 0.19 bulundu. Her gönüllüden elde edilen kuyruk uzunluğu değerleri tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12: Kontrol ve cep telefonu (900 MHz) maruziyet grupları ile bu gruplara ait kuyruk uzunluğu ve standart hata değerleri. Her değer 100 hücre görüntüsü analizinin ortalamasıdır.

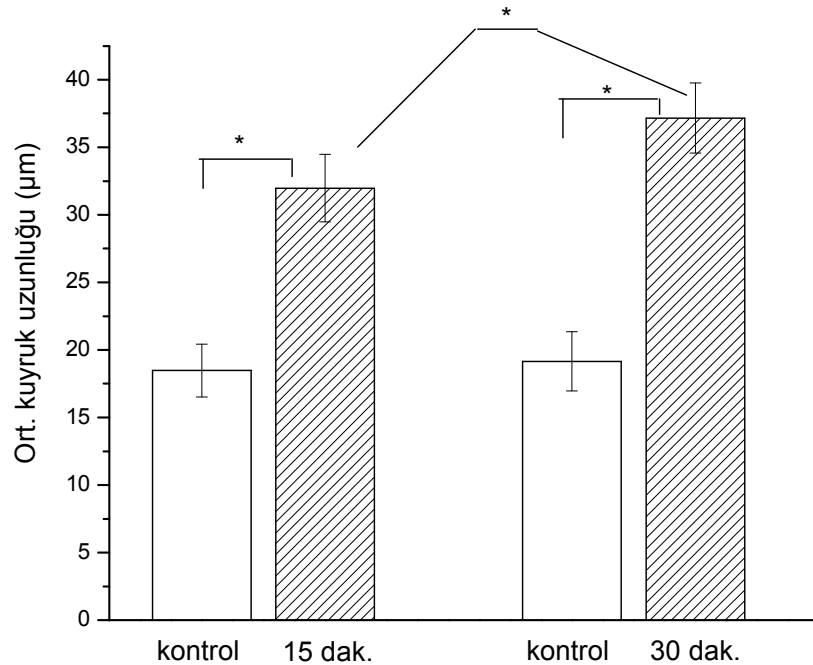
Gönüllü	kontrol ort $\pm$ se(n=100)	15 dakika ort $\pm$ se(n=100)	kontrol ort $\pm$ se(n=100)	30 dakika ort $\pm$ se (n=100)
1	12.86 $\pm$ 0.96	27.16 $\pm$ 1.68	15.21 $\pm$ 1.02	32.63 $\pm$ 1.41
2	22.05 $\pm$ 1.12	24.83 $\pm$ 1.41	23.65 $\pm$ 1.57	26.21 $\pm$ 1.23
3	16.13 $\pm$ 1.25	23.47 $\pm$ 1.48	13.08 $\pm$ 0.98	32.17 $\pm$ 1.55
4	12.66 $\pm$ 0.76	32.45 $\pm$ 1.71	11.91 $\pm$ 0.87	39.29 $\pm$ 1.79
5	12.60 $\pm$ 0.92	27.98 $\pm$ 1.63	12.60 $\pm$ 0.92	32.18 $\pm$ 1.43
6	25.37 $\pm$ 2.24	39.76 $\pm$ 1.86	24.73 $\pm$ 1.68	45.10 $\pm$ 1.72
7	21.31 $\pm$ 1.33	39.96 $\pm$ 1.53	25.76 $\pm$ 1.63	46.53 $\pm$ 2.22
8	24.87 $\pm$ 1.10	40.20 $\pm$ 1.82	26.38 $\pm$ 1.18	43.29 $\pm$ 1.60
ort $\pm$ se(n=8)	18.48 $\pm$ 1.95	31.98 $\pm$ 2.52	19.16 $\pm$ 2.29	37.17 $\pm$ 2.61

Cep telefonu ile 30 dakika konuşma sonrası alınan saç kökü örneklerinden elde edilen verilere göre kuyruk uzunluğu ortalama değeri 37.17 ± 2.61 μm , ve kuyruk momenti ortalama değeri 3.51 ± 0.15 bulundu. Her bir gönüllüden elde edilen kuyruk uzunluğu ve standart hata değerleri tablo 12'de verilmiştir.

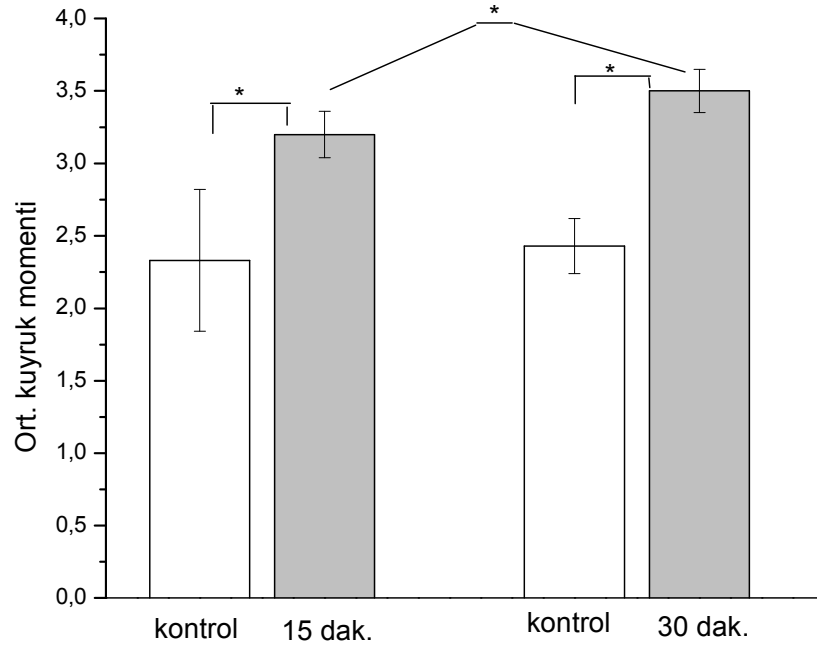
Cep telefonu maruziyetinde 30 dakika öncesi ve sonrası alınan değerler paired t- testi ile karşılaştırıldı, ve maruziyet sonrası ortalama değerlerdeki artışlar istatistiksel olarak anlamlı bulundu.

Cep telefonu ile 15 ve 30 dakika konuşma sonrası elde edilen değerler de paired t- test ile karşılaştırıldı ve 30 dakika konuşma sonrası artışlar istatistiksel olarak anlamlı bulundu. Tüm sonuçlar şekil 17 ve şekil 18’de gösterilmiştir.

Birbirine yakın yerden çekilmiş saç köklerinde cep telefonu radyasyon maruziyeti olmaksızın DNA hasarı oluşup oluşmadığı irdelenmiştir. 5 ve 15 dakika aralıklarla iki gönüllüden (2 ve 5 kodlu gönüllüler) alınmış saç köklerinde DNA hasarını veren parametrelerde kontrol verilerine göre anlamlı değişimler gerçekleşmemiştir (kuyruk uzunluğu : kontrol 18,05 μm ; 5 dak. sonra 19,11 μm ; kontrol 13,18 μm ; 15 dakika sonra 12,33 μm).



Şekil 17: Saç köklerinde cep telefonu konuşma süresine bağlı **ortalama kuyruk uzunluğu** değerlerinin karşılaştırılması (* istatistiksel anlamlı, $p < 0.05$)



Şekil 18: Saç köklerinde cep telefonu konuşma süresine bağlı **ortalama kuyruk momenti** değerlerinin karşılaştırılması (* istatistiksel anlamlı, $p < 0.05$)

4.2. İyone Radyasyon (Cs-137, Co-60) Bulguları

4.2.1. Saç kökü İle İlgili Comet Assay Bulguları

Çalışmada tablo 12’de yer alan 1-5 kodlu sağlıklı gönüllülerden alınan saç kökü örnekleri kullanıldı. Her gönüllüden alınan saç kökü örnekleri 2 gruba ayrıldı, yarısı ışınlanmamış yani kontrol örneklerini oluşturdu ve diğer yarısı Cs-137 kaynağında 0.5, 1, 2, 3 Gy dozlarında ışınlandı. Kontrol ve radyasyon maruziyeti gruplarından elde

edilen görüntü analizlerinden kuyruk uzunluğu, kuyruk momenti (tablo 13) parametreleri hesaplandı. Böylelikle saç kökü örneklerinin dozimetrik amaçlı malzeme olarak kullanılıp kullanılamayacağı amacına yönelik olarak farklı doz değerlerinde ışınlanan saç kökü örneklerinde DNA hasarının uygulanan doza bağlı olarak nasıl değiştikleri belirlendi.

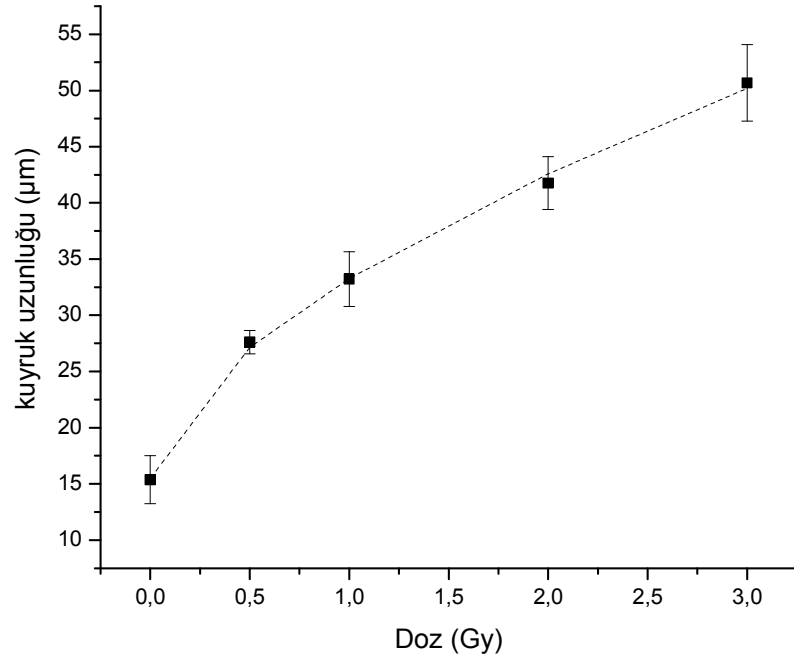
Tablo 13: Kontrol ve gama radyasyonu (Cs-137) maruziyet grupları kuyruk momenti ve standart hata değerleri . Her değer 100 hücre görüntüsü analizinin ortalamasıdır.

Örnek	Kontrol ort±se(n=100)	0,5 Gy ort±se(n=100)	1 Gy ort±se(n=100)	2 Gy ort±se(n=100)	3 Gy ort±se(n=100)
1	0,90 ±0,02	2,70 ±0,21	3,17 ±0,19	3,38 ±0,25	4,10 ±0,27
2	1,70 ±0,09	2,80 ±0,22	3,10 ±0,21	3,50 ±0,24	4,40 ±0,30
3	1,73 ±0,08	2,40 ±0,14	2,80 ±0,15	3,28 ±0,23	4,30 ±0,28
4	1,38 ±0,05	2,55 ±0,15	2,79 ±0,16	3,04 ±0,23	3,30 ±0,23
5	0,73 ±0,02	2,50 ±0,13	3,40 ±0,19	3,70 ±0,21	4,15 ±0,24
ort±se(n=5)	1,29±0,21	2,59±0,12	3,05±0,11	3,38±0,11	4,05±0,19

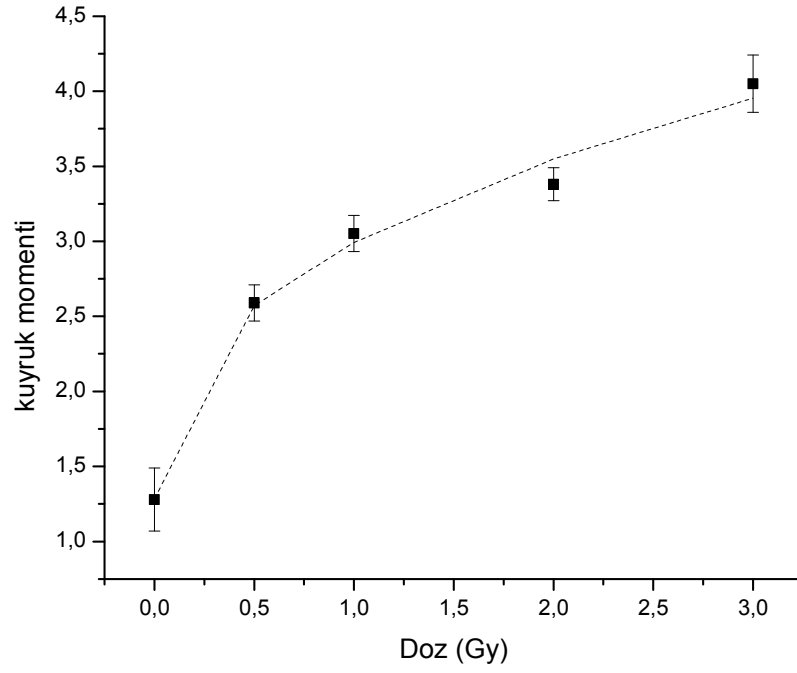
Doza bağlı kuyruk uzunluğu ve kuyruk momenti değişim eğrileri şekil 19 ve şekil 20’de verilmiştir. Uygulanan dozla değişim bulgularını en iyi biçimde betimleyebilen değişik matematiksel fonksiyonların neler olabilecekleri araştırıldı. Üç değişik fonksiyon için elde edilen bulgular tablo 14 ve 15’de verilmiştir. Işınlanmamış saç kökleri de DNA hasarına sahip olduğundan sıfırdan geçmesi beklenmeyen bu

fonksiyonlardan en uygun olanının her iki comet parametresi için de güç ($I = aD^b + c$) fonksiyonu olduğu tespit edildi.

Tüm gruplar birbirleriyle paired t-testi uygulanarak karşılaştırıldı. Farklı dozlardaki tüm maruziyet grupları, kontrol verilerine göre istatistiksel anlamda farklı bulundu ($p < 0.05$)



Şekil 19: Kuyruk uzunluğu - doz cevap eğrisi. Semboller deneysel ortalamalar, kesikli çizgiler güç fonksiyonu kullanılarak hesaplanan kuramsal bulgular.



Şekil 20: Kuyruk momenti - doz cevap eğrisi. Semboller deneysel ortalamalar, kesikli çizgiler güç fonksiyonu kullanılarak hesaplanan kuramsal bulgular

Tablo 14: Saç kökü kuyruk uzunluğu- doz cevap eğrilerine uydurulmaya çalışılan matematiksel fonksiyonlar ve R^2 değerleri

Fonksiyon		Hesaplanan parametre değerleri
polinomal $I_{TL} = a + bD + cD^2$	a	16.94
	b	18.11
	c	2.37
	R^2	0.9837
güç $I_{TL} = aD^b + c$	a	17.77
	b	0.61
	c	15.49
	R^2	0.9984
üstel $I_{TL} = a(1 - e^{(-bD)}) + c$	a	42.82447
	b	0.50572
	c	16.28456
	R^2	0.9890

Tablo 15: Saç kökü kuyruk momenti- doz cevap eğrilerine uydurulmaya çalışılan matematiksel fonksiyonlar ve R² değerleri

Fonksiyon		Hesaplanan parametre değerleri
polinomal $I_{TL} = a + bD + cD^2$	a b c R²	1.77306 1.38329 0.26029 0.9051
güç $I_{TL} = aD^b + c$	a b c R²	1.70623 0.4073 1.28546 0.9904
üstel $I_{TL} = a(1 - e^{(-bD)}) + c$	a b c R²	2.61442 1.07972 1.34207 0.9667

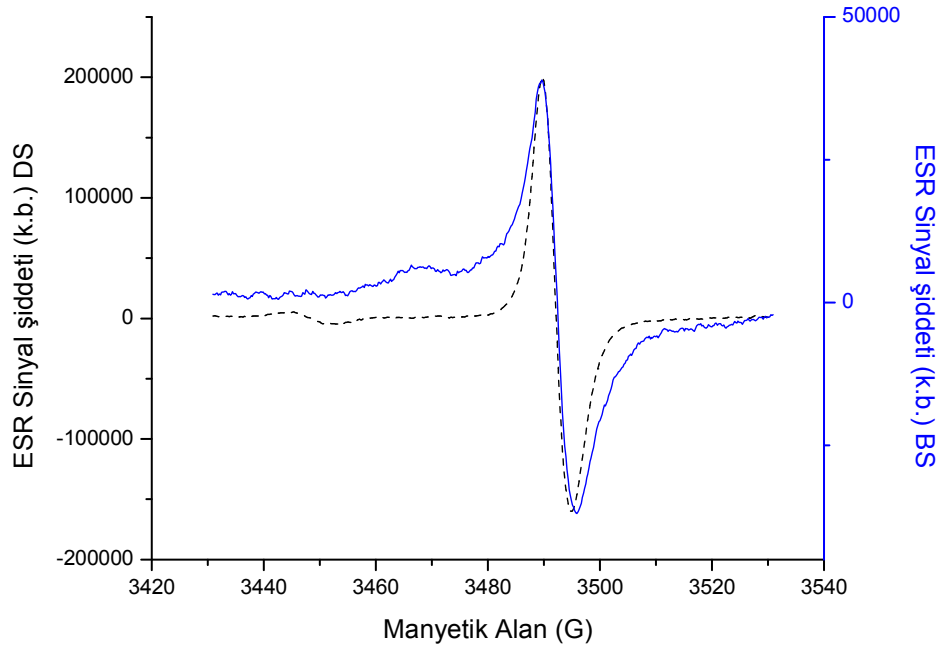
4.2.2. Saç Teli İle İlgili ESR Bulguları

Bu bölümde, incelenen saç teli örnekleri için kaydedilen ESR spektrumlarından elde edilen deneysel bulgulara yer verilecektir.

4.2.2.1 Işınlanmamış Saç Teli ESR Spektrumları

Işınlanmamış doğal 3 adet siyah (DS N1, N4, N7) , koyu kahverengi (kumral) , sarı, kızıl ve boyalı siyah (BS) saç teli örneklerinin

fon sinyaline sahip oldukları görüldü. Doğal saç örneklerinin tek çizgili, boyalı saç örneğinin 2 çizgili ESR spektrumu verdiği gözlemlendi (şekil 21).



Şekil 21: Işınlanmamış DS (---) ve BS (—) ESR Spektrumları

Işınlanmamış saç örneklerine ait ESR spektrumları ile ilgili yayılma bölgelerini , g değerlerini ve ΔH_{pp} tepeden tepeye çizgi genişliklerini içeren değerler tablo 8’de verilmiştir. Rezonans tepelerine karşılık gelen sinyal şiddetleri spektrum temel çizgisine göre hesaplandı ve elde edilen değerler örnek kütlerine bölünerek normalize edilip araştırmalar sinyal şiddetinin değişik koşullardaki değişimi esas alınarak yürütüldü.

Saç örneklerinde gözlenen fon sinyallerinin, saça renk veren melanin orijinli serbest radikallerden kaynaklandığı bilinmektedir^{160,161}. Rengine göre saçın sahip olduğu melaninin türü değişmektedir¹⁶²: Siyah-kahverengi saçlarda eumelanin, sarı-kızıl saçlarda ise pheomelanin

bulunmaktadır. Bu türler farklı kimyasal ve fiziksel özellik gösterirler¹⁶³.Işınlanmamış saç örnekleri fon sinyali sinyal şiddetleri karşılaştırıldığında, en yüksek değere doğal siyah saçın, en düşük değere ise sarı saçın sahip olduğu gözlemlendi.

Tablo 16: Işınlanmamış saç örneklerine ait g değerleri, spektrumların yayılma aralıkları ve ΔH_{pp} tepeden tepeye çizgi genişlikleri

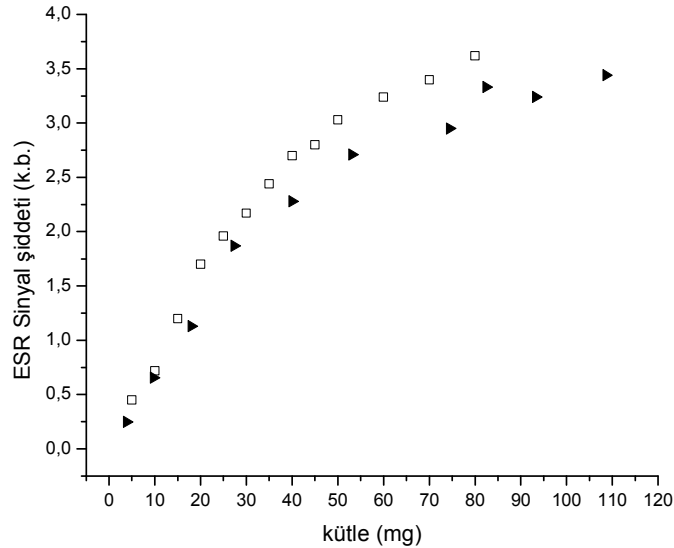
Örnek	g- spektrum yayılma aralığı (G)	ΔH_{pp} (G)
DS N1	2,0013- 25 G	5,11
DS N4	2,0013- 25 G	5,22
DS N7	2,0023- 25 G	5,22
BS	2,0028- 80 G	6,22
KUMRAL	2,0013- 25 G	5,11
KIZIL	2,0028- 25 G	7,11
SARI	2,0028- 25 G	6,22

Saç teli ESR spektrumunun örneğin kütle miktarına bağlı değişimi doğal siyah ve kumral örnekleri incelendi. Saç kütlesine bağlı ESR sinyal şiddeti değişimleri şekil 22’de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi 30 mg örnek miktarına kadar ESR sinyal şiddetinin saç

miktarına bağımlılığı çizgiseldir. Sonuç olarak, saç teli örnekleriyle yapılan çalışmalarda bu doğrusal bölgede kalmaya özen gösterilerek örnek miktarları seçilmiştir.

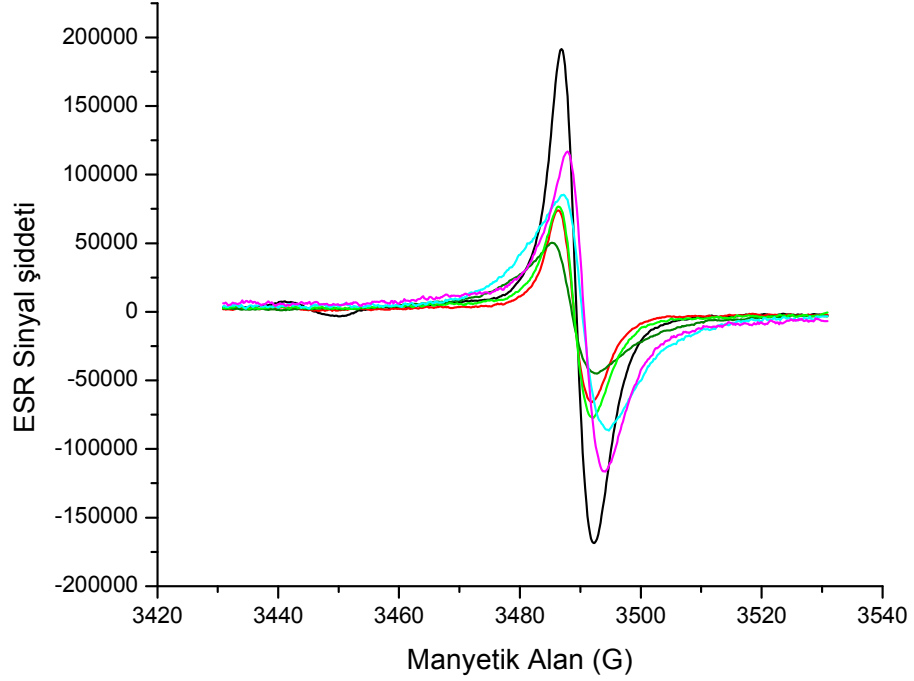
4.2.2.2. Işınlanmış Saç Teli ESR Spektrumları

Co-60 gama kaynağında ışınlanmış saç teli örnekleri ESR spektrumlarının genel yapılarının değişmediği saptanmış ve dolayısı ile ışınlama ile oluşan çiftlenimsiz elektrona sahip birimlerin ESR sinyalleri ile fon sinyallerinin üst üste çakıştığı sonucuna varılmıştır. 625 Gy doz değerinde ışınlanmış saç teli örnekleri için elde edilen ESR spektrumları şekil 23’de verilmiştir. Sinyal şiddeti değerlerinin yer aldığı y-ekseni aralığı her örnek için aynı tutulmuş ve saç rengine ve yapısına bağlı sinyal şiddetleri farkının açıkça görülmesi sağlanmıştır.



Şekil 22: İki farklı saç türü için ESR sinyal şiddetlerinin örnek miktarına bağlı değişimleri.

□ (doğal siyah); ► (kumral).



Şekil 23: Işınlanmış saç teli ESR spektrumları; (—) DS; (—) DS N4; (—) BS; (—) Kumral; (—) Kızıl ; (—) Sarı

Şekil 23'den de görüldüğü gibi, doğal siyah ve sarı saç teli örneklerinde ESR sinyal şiddetleri daha büyüktür. Sarı saç örneği fon sinyal şiddeti en düşük değere sahipken, ışınlama sonucunda siyah hariç, diğer saçlara göre çok daha şiddetli olması, sarı saç örneğinin yüksek radyasyon duyarlılığına sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, ışınlanmamış boyalı saç spektrumunda yer alan 2 nolu rezonans tepesinin ışınlama sonrasında gözlenmediği, ve spektrumun tek çizgili geniş bir sinyale dönüştüğü saptanmıştır. Şekil 23'de verilen spektrumların g değerleri, yayılma aralıkları ve ΔH_{pp} tepeden tepeye çizgi genişliklerini içeren deneysel bulgular tablo 17'de verilmiştir.

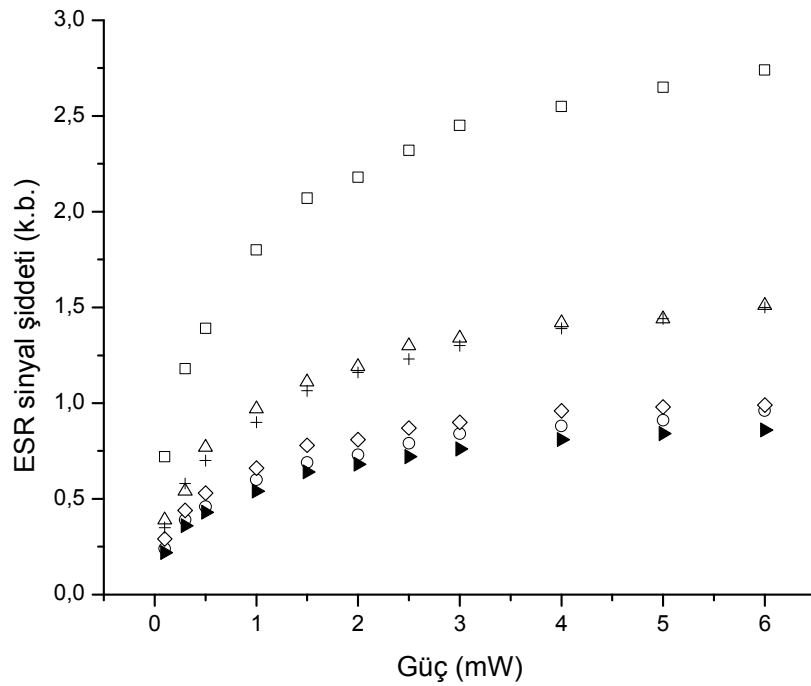
Tablo 17: 625 Gy doz değerinde ışınlanmış sağ örneklerine ait g değerleri, ESR spektrumları yayılma aralıkları ve ΔH_{pp} tepeden tepeye çizgi genişlikleri.

rnek	g, spektrum yayılma aralığı (G)	ΔH_{pp} (G)
DS N1	2,0021- 30 G	5,44
DS N4	2,0021- 30 G	5,44
DS N7	2,0023- 30 G	5,22
BS	2,0021- 55 G	7,33
KUMRAL	2,0020- 30 G	5,66
KIZIL	2,0023- 55 G	7,44
SARI	2,0023- 30 G	6,22

Rezonans tepelerinin yerlerinin ve sinyal şiddetlerinin örneklerin manyetik alan içindeki yönelimleri ile ilgili olup olmadıkları da araştırıldı ve tüm örnek yönelimleri için bu tepelerin aynı manyetik alan değerlerinde ortaya çıktıkları belirlendi. BS, DS ve kumral sağ rneklerinin ESR spektumları geniş manyetik alan bölgesinde kaydedildi ve merkezde yer alan rezonans çizgisine ek olarak başka bir çizginin olmadığı belirlendi.

4.2.2.3. Sağ Teli Sinyal şiddetlerinin Mikrodalga Gücüne Bağlı Değişimleri

İşinlanılmış saç teli örnekleri ESR spektrumlarına katkı getiren benzer radikal türlerinin benzer mikrodalga doyum özelliklerini göstereceği düşüncesi ve çalışmalar süresince doyum bölgesinden uzak çalışabileceğimiz güç değerlerini belirlemek amacı ile 625 Gy doz değerinde işinlanılmış farklı renk saç örneklerinin kullanılan ESR spektrometresinin kapasitesi çerçevesinde 0.1-6 mW güç değerlerinde ESR spektrumları oda sıcaklığında kaydedildi. Bu spektrumlar değerlendirilerek elde edilen sonuçlar şekil 24’de verilmiştir.



Şekil 24: 625 Gy doz değerinde işinlanılmış saç teli örnekleri için elde edilen mikrodalga doyum bulguları[(□) DS; (Δ)kızıl; (+) DS N4; (◇) sarı; (○) BS; (▴) kumral]

Elde edilen doyum bulguları DS N1, N4, N7, kumral, kızıl, sarı ve BS renk örnekler için 1 mWlık mikrodalga gücünde sinyal şiddetinin artış ritminin azaldığını, ancak artışın hala devam ettiğini göstermektedir. Bu sonuçlar, işinlanılmış saç örneklerine benzer radikallerin katkı getirdiğini

göstermektedir. Deneyler süresince doyum bölgesinden uzak olmak için mikrodalga güç değeri 0.5-1 mW aralığında tutulmuştur.

4.2.2.4. Sinyal Şiddetlerinin Normal Koşullardaki Sönümleri

Işınlama ile örnek içerisinde oluşan radikal veya radikallerin sayılarında,yapılarında ve türlerinde zamanla ortaya çıkabilecek olası değişimleri incelemek için 12 kGy doz değerinde ışınlanan örnekler oda koşullarında, ışık görmeyecek şekilde ve ağzı kapalı bekletilerek 22 gün boyunca belirli zaman aralıkları ile ESR spektrumları kaydedildi. Bu spektrumlar kullanılarak deneysel olarak gözlenen karakteristik rezonans tepeleri ile ilgili sinyal şiddetlerinin zamanla nasıl değiştikleri belirlendi. Bu yolla elde edilen bulgular kullanılarak tüm örneklerde rezonans tepeleri için sinyal şiddetlerinin zamanla değişim grafikleri oluşturuldu. Sonuçlar şekil 25'de toplu olarak verilmiştir.Tüm örnekler için sinyal şiddetlerinde ilk saatlerde belirgin şekilde azalmalar olduğu, ~200 saatten sonra zamanla çok fazla değişiklikler olmadığı gözlenmiştir.

Zaman içinde sinyal şiddetlerinde görülen azalmalar ilk değerlerine göre değerlendirildiğinde, 22 gün sonra DS N1 örneğinde %30, kumral'da %31, kızıl ve BS örneklerinde %54 ve sarı'da ise %29 oranında azalma olduğu belirlenmiştir.

Sinyal şiddetlerinde bekleme zamanına bağlı olarak ortaya çıkan sönüm bulgularına en iyi uyan kuramsal fonksiyonlar araştırıldı. Bu amaca yönelik olarak, rezonans tepelerinin oluşumlarına birden çok radikalin değişik ağırlıklarla katkı getirebilecekleri olgusu dikkate alınarak,

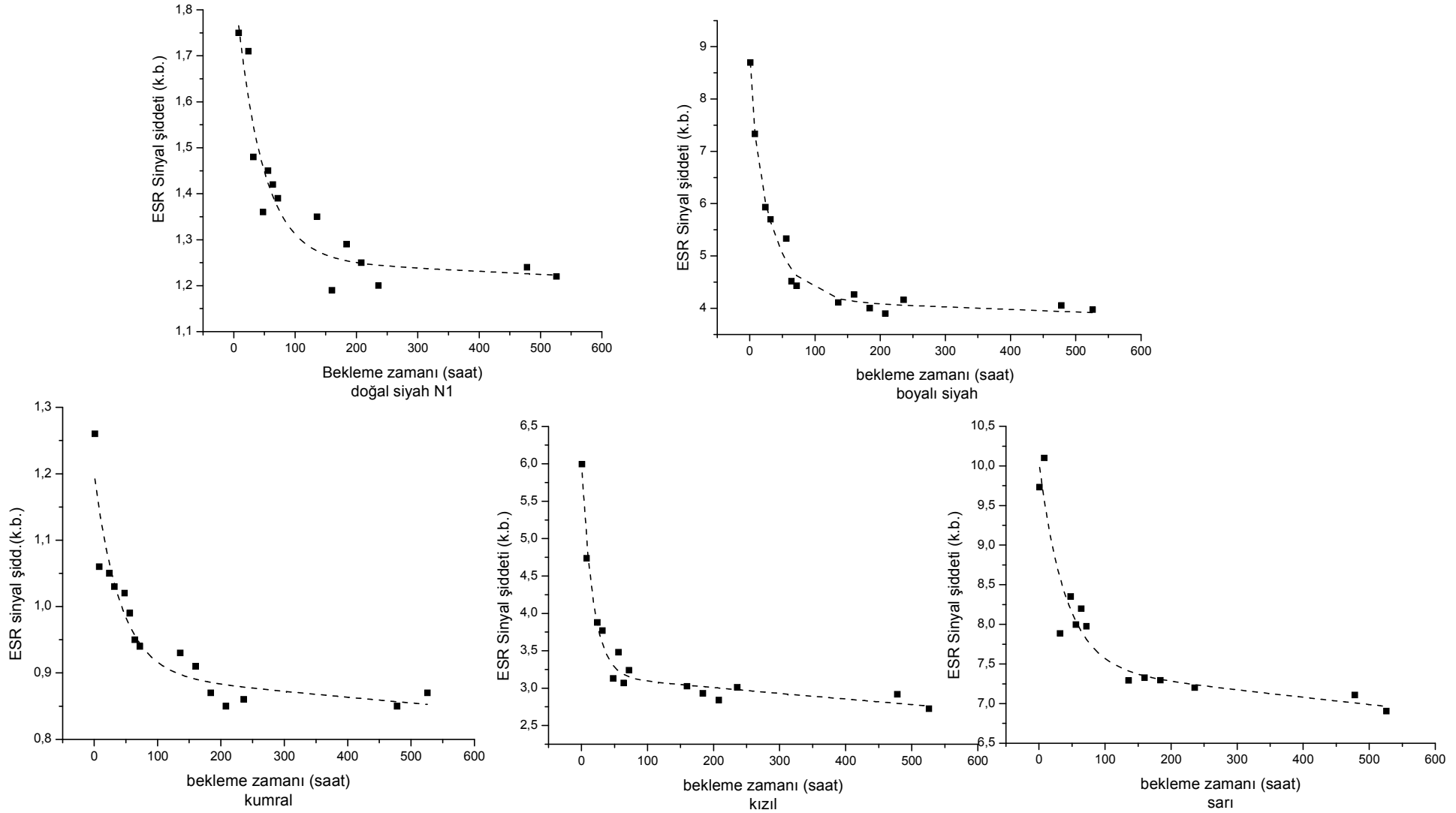
birinci dereceden iki ve üç sönüm fonksiyonunu değişik ağırlık oranlarında içeren ve aşağıdaki eşitlikteki gibi tanımlanmış bir toplam fonksiyon kullanılarak veri uyarlama işlemleri yapıldı.

$$I = \sum_{i=1}^n (I_{0i} e^{-k_i t})$$

Eşitlikte, I_{0i} ve k_i parametreleri, sırasıyla, sinyal şiddetine birinci dereceden katkı getiren i nolu birimle ilgili başlangıçtaki sinyal şiddeti ve sönüm sabitidir. Şiddetleri güvenilir bir biçimde ölçülebilen rezonans tepeleri için elde edilen bulgular kullanılarak yapılan veri uyarlama işlemi sonucunda deneysel spektrumun oluşumuna boyalı saç örneğinde ayrı sönüm sabitine sahip üç, diğer tüm örneklerde ayrı sönüm sabitine sahip iki kökçenin katkı getirdiği, bunların da birinci dereceden sönüm davranışı gösterdikleri belirlendi. Katkı getiren kökçe türleri için belirlenen sönüm sabitleri ve katılım ağırlık oranları tablo 18’de verilmiştir.

Tablo 18: Işınlanmış saç örnekleri ESR spektrumuna katkı getiren radikal türleri için hesaplanan oda sıcaklığı sönüm sabitleri (k) ve katılım ağırlık oranları (I_{0A} , I_{0B} I_{0C})

Saç rengi	Sönüm sabiti (saat ⁻¹)						Korelasyon parametresi R^2
	k_a	k_b	k_c	I_{0A}	I_{0B}	I_{0C}	
Doğal siyah	0,02297	0,00005		0,611	1,257		0,90
Boyalı siyah	0,02797	0,00012	0,02021	3,648	4,170	1,202	0,96
Kumral	0,02434	0,00010		0,300	0,899		0,91
Sarı	0,02515	0,00013		2,589	7,457		0,92
Kızıl	0,05865	0,00026		2,875	3,170		0,98



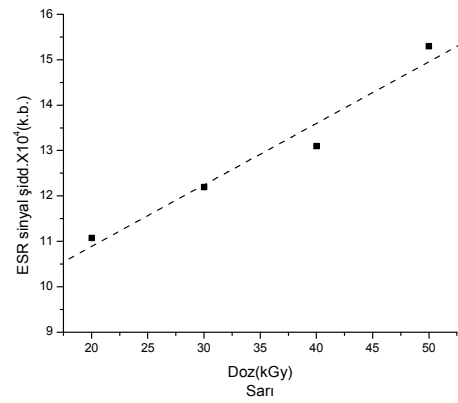
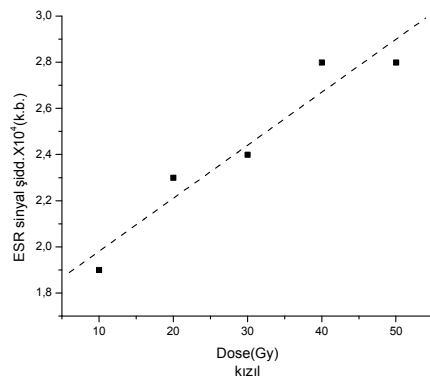
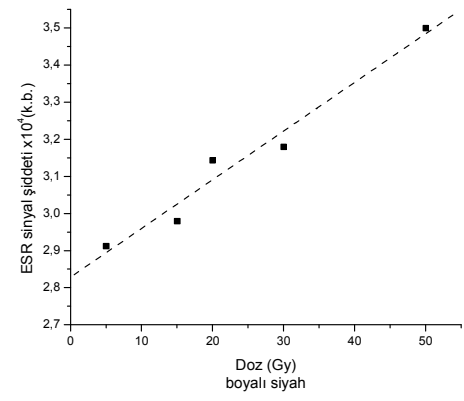
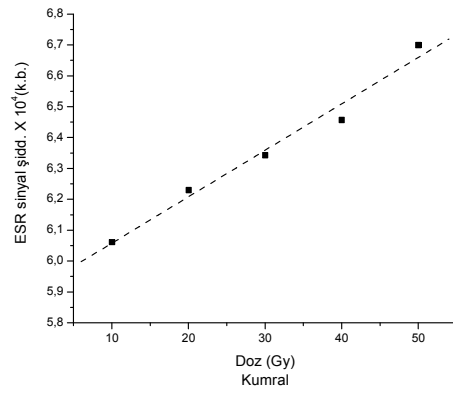
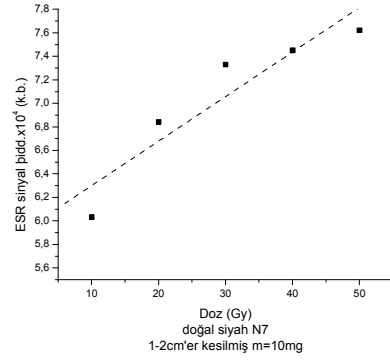
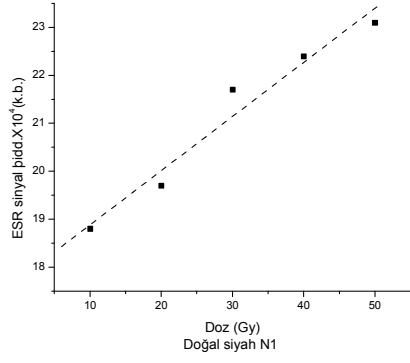
Şekil 25: 12 kGy doz değerinde ışınlanmış farklı renk saç örnekleri sinyal şiddetlerinin normal koşullardaki zamanla değişimleri [(■) deneysel; (---) kuramsal]

4.2.2.5. Saç Örnekleri Doz Cevap Eğrileri

4.2.2.5.1. Düşük dozlar

Saç örneklerinin dozimetrik amaçlı malzeme olarak kullanılıp kullanılamayacağına yönelik olarak 5,10,20,30,40 ve 50 Gy doz değerlerinde ışınlanan saç örnekleri karakteristik rezonans tepelerine karşılık gelen sinyal şiddetlerinin, uygulanan doza bağlı olarak nasıl değıştikleri belirlendi. Bu amaca yönelik olarak, önce mekanik etkinin sinyal şiddetine ve doz cevap eğrisine olan etkisini saptamak amacı ile ışınlanmamış doğal siyah saç örneği 1-2 cm boylarında kesilerek spektrumları kaydedildi. Tüm örneklerin ESR spektrumları ışınlamadan 10 dakika sonra kaydedildi. Bu çerçevede 5-50 Gy doz aralığında ışınlanmış örnekler için oluşturulan doz-cevap eğrileri Şekil 26'da verilmiştir.

Şekil 26'dan da görüldüğü gibi, 5-50 Gy doz değerleri aralığında ışınlanan örneklerin doz-cevap eğrileri çizgiseldir. Deneysel doz-cevap bulguları dozla çizgisel olarak değışen bir fonksiyona uyarlanarak parametre değerleri hesaplandı. Elde edilen sonuçlar tablo 19'da verilmiştir. Örneklerin çizgisel doz-cevap davranışına sahip olmaları, biyolojik dozimetre bağlamında değerlendirilme istenen bir özelliktir. Saçlara kesişme yoluyla aktarılan mekanik enerjinin bu örneklerin spektrum yapılarında değışiklik yaratmadığı ancak sinyal şiddetlerinde artmaya neden olduğu belirlenmiştir (şekil 24).



Şekil 26: Işınlanmış saç örnekleri sinyal şiddetlerinin 5-50 Gy arası radyasyon dozuna bağlı değişimleri [(■) deneysel; (---) kuramsal]

Tablo 19: Sa örnekleri doz-cevap eğrilerine uydurulan çizgisel fonksiyonlar ve R² değerleri.

Örnek	Fonksiyon $I = a+bD$	Ölçülen değer
Doğal siyah N1	a b R ²	17.75 0.113 0.9801
Doğal siyah N7	a b R ²	5.920 0.038 0.9340
Boyalı siyah	a b R ²	2.828 0.013 0.9826
Kumral	a b R ²	5.907 0.015 0.9890
Kızıl	a b R ²	1.75 0.023 0.9612
Sarı	a b R ²	8.174 0.1356 0.9735

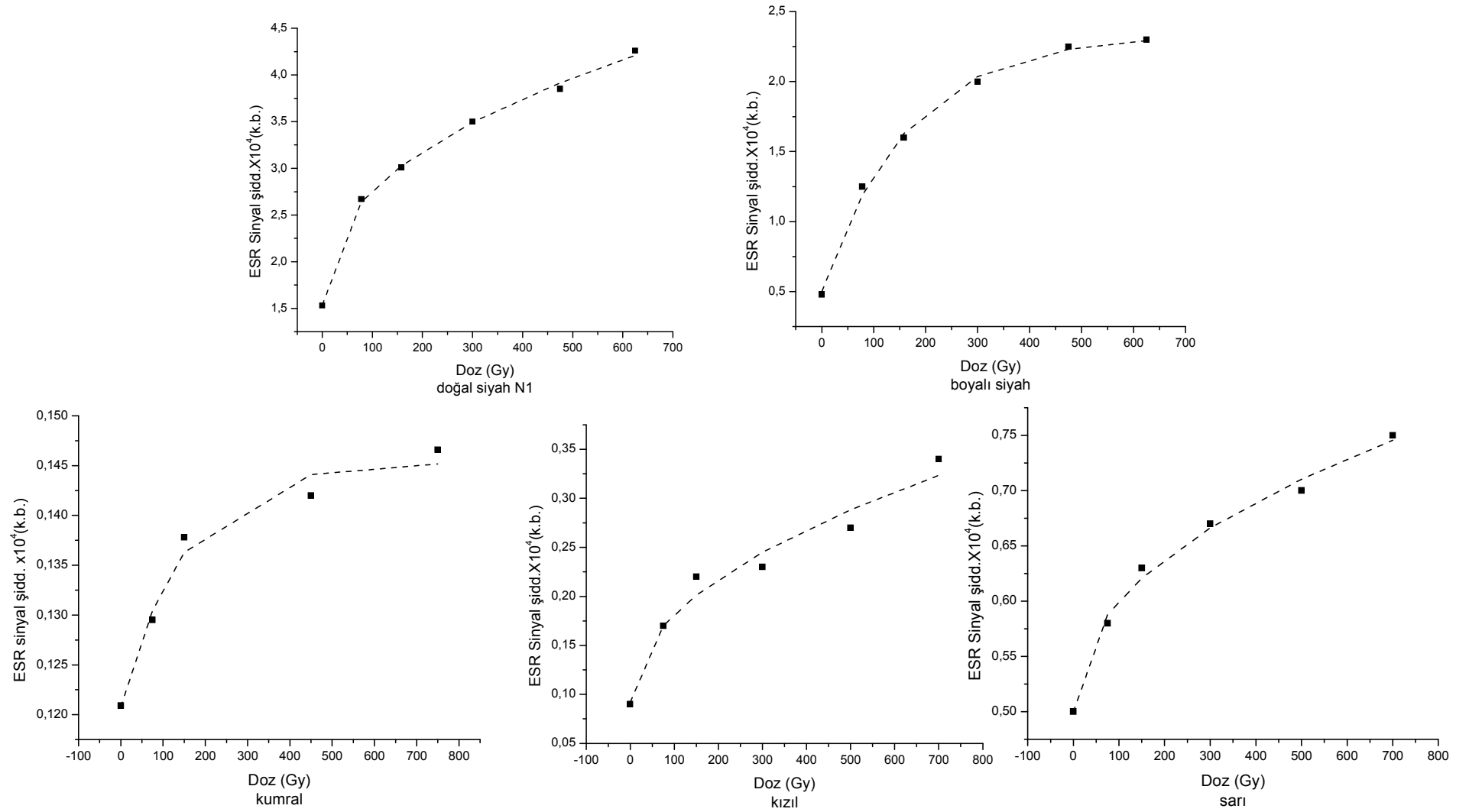
4.2.2.5.2. Yüksek dozlar

Saç örnekleri rezonans tepelerinin 0-750 Gy doz aralığında değişimleri de incelendi. Elde edilen bulgular şekil 27’de verilmiştir.

Rezonans tepeleri ile ilgili sinyal şiddetlerinin uygulanan dozla değişim bulgularını en iyi bir biçimde betimleyebilen değişik matematiksel fonksiyonların neler olabilecekleri araştırıldı. Üç değişik fonksiyon için elde edilen bulgular tablo 20’de verilmiştir. Saç örnekleri fon sinyaline sahip olduğundan sıfırdan geçmesi beklenmeyen bu fonksiyonlardan en uygun olanının doğal siyah, kızıl ve sarı örnekleri için güç, boyalı siyah ve kumral örnekleri için üstel bir fonksiyon olduğu belirlendi.

4.2.2.6. Sinyal Şiddetlerinin Yüksek Sıcaklıklarda Tavlama Zamanına Bağlı Değişimleri

Işınlanmış saç örnekleri ESR spektrumlarında gözlenen rezonans tepeleri ile ilgili sinyal şiddetlerinin oda sıcaklığında aynı oranda sönüme uğramadıkları gerçeğinin yönlendirmesi sonucu doğal siyah ve sarı saç örneklerinde oluşan radikallerin sönüm kinetiklerinin incelenmesine karar verildi. Ayrıca, boyanın saçın radyasyon duyarlılığı üzerindeki etkisini görmek açısından boyalı siyah saç örneği de bu çalışmaya dahil edildi. Sönümün farklı sıcaklıklardaki davranışını incelemek ve bu şekilde radikallerin sönüm kinetiklerini ve aktivasyon enerjilerini belirlemek için 12 kGy doz değerinde ışınlanmış örnekler, ışınlamanın kesilmesi aşamasından hemen sonraki hızlı sönüm davranışları dikkate alınarak, aynı anda 313 K, 323 K, ve 333 K sıcaklıklara ayarlanmış su banyolarında değişik sürelerle tavlandıktan sonra spektrumları kaydedildi. İzlenen rezonans tepeleri ile ilgili sinyal şiddetleri ölçülerek yüksek sıcaklık sönüm eğrileri oluşturuldu. Üç farklı örnek için elde edilen yüksek sıcaklık sönüm bulguları Şekil 28’de verilmiştir.

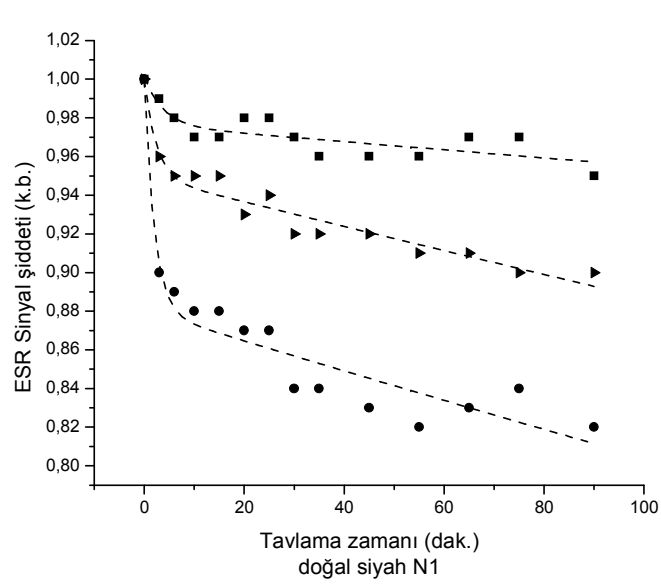


Şekil 27: Işınlanmış saç örnekleri sinyal şiddetlerinin 0-750 Gy arası radyasyon dozuna bağlı değişimleri [(■) deneysel; (---) kuramsal:

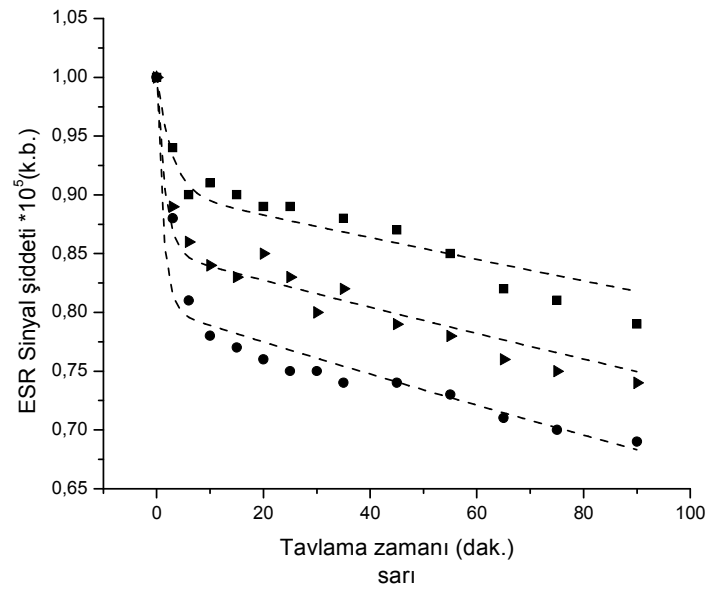
$$\text{DS, kızıl, sarı} (I = aD^b + c), \text{ BS, kumral} (I = a(1 - e^{(-bD)}) + c)]$$

Tablo 20: Yüksek dozlarda saç örnekleri doz-cevap eğrilerini betimlemek için kullanılan matematiksel fonksiyonlar ve R² değerleri.

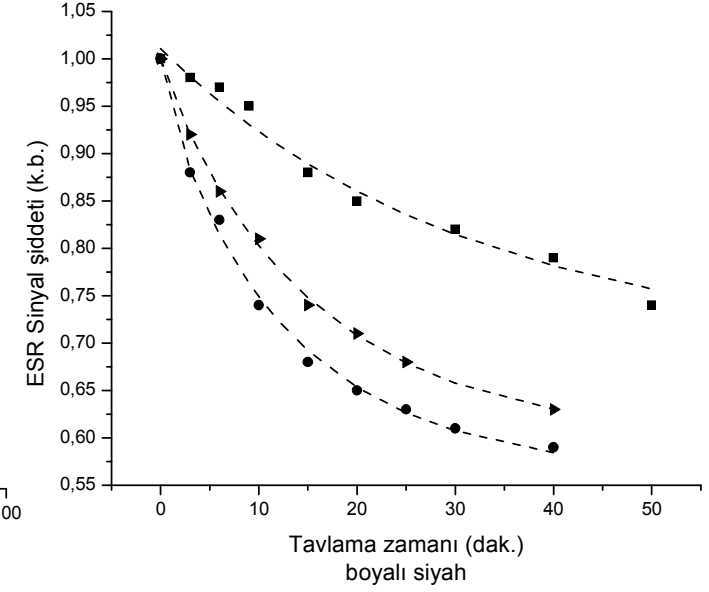
Fonksiyon		Doğal siyah	Boyalı siyah	Kumral	Kızıl	Sarı
polinomal $I = a + bD + cD^2$	a	1.7948	0.6122	0.1236	0.1191	0.5221
	b	0.0079	0.0068	7.508	4.8145	6.36*10 ⁻⁴
	c	-6.73*10 ⁻⁶	-6.78*10 ⁻⁶	-6.09*10 ⁻⁸	-2.62*10 ⁻⁷	-4.66*10 ⁻⁷
	R ²	0.9500	0.9763	0.9132	0.9135	0.9533
güç $I = aD^b + c$	a	0.1741	0.1568	0.0022	0.0095	0.0122
	b	0.4244	0.3890	0.3720	0.4875	0.4589
	c	1.5344	0.4696	0.1207	0.0921	0.4994
	R ²	0.9983	0.9900	0.9691	0.9671	0.9928
üstel $I = a(1 - e^{(-bD)}) + c$	a	2.5879	1.8332	0.0245	0.2426	0.2394
	b	0.0049	0.0060	0.0067	0.0030	0.0042
	c	1.6312	0.5013	0.1208	0.1073	0.5074
	R ²	0.9761	0.9973	0.9770	0.9284	0.9782



(a)



(b)



(c)

Şekil 28: Farklı renk saç örneklerinin bire normalize edilmiş sinyal şiddetlerinin üç değişik sıcaklıkta tavlama zamanına bağlı değişimleri [(■) 313 K; (►) 323 K; (●) 333 K; (---) kuramsal]. a) doğal siyah, b) sarı, c) boyalı siyah

Tavlama bulgularından da görüldüğü gibi, beklenene uygun olarak, sıcaklık arttıkça sinyal şiddetlerindeki değişimler daha hızlı olmaktadır. Oda sıcaklığındaki sönüm incelemesinde olduğu gibi, izlenen rezonans tepelerinin oluşumlarına, değişik sönüm karakteristiklerine sahip farklı türde birden çok radikalın katkı getirdiği düşünüldü. Rezonans tepeleri ile ilgili sinyal şiddetlerinin yüksek sıcaklıklardaki değişimlerini birlikte en iyi betimleyen radikal tür ve sönüm modelleri eşitlik 12’de verilen türde fonksiyonlar kullanılarak veri uyarlama yoluyla belirlendi. Bu yöntemle, katkı getiren ve A, B, C türleri olarak adlandırılan kökçelerin üç değişik sıcaklıktaki k sönüm sabitleri hesaplandı. Elde edilen sonuçlar tablo 21’de verilmiştir.

4.2.2.7. Işınlanmış Saç Örneklerinde Oluşan Kökçelerin Sönüm Aktivasyon Enerjileri

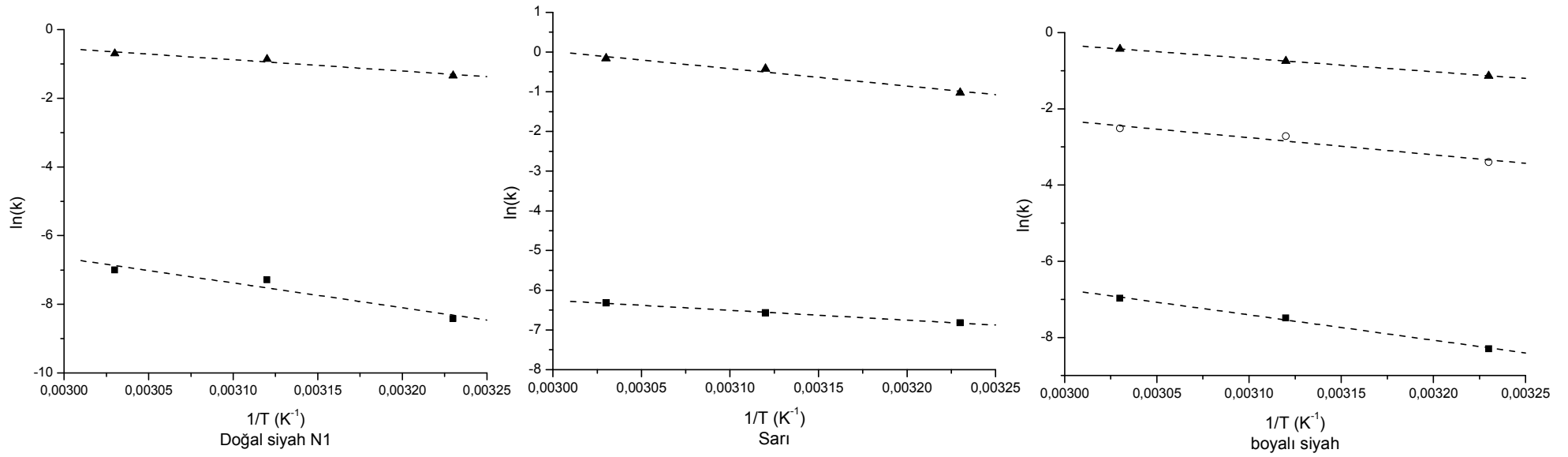
Radikallerin k sönüm sabitleri aktivasyon enerjilerine ve sıcaklığa Arrhenius eşitliği ile, başka deyimle, aşağıda verilen eşitlik ile bağlıdır:

$$k=k_0e^{-(\Delta E/RT)}$$

Bu bağıntıda geçen R gaz sabiti, T mutlak sıcaklık ve ΔE de sönüm aktivasyon enerjisidir. Bu üstel değişim olgusundan hareketle yüksek sıcaklıklardaki tavlama deneylerinden elde edilen sönüm sabiti bulguları kullanılarak $\ln(k)-1/T$ grafikleri oluşturuldu. Üç değişik saç örneği için elde edilen bulgular Şekil 29’da verilmiştir.

Tablo 21: Işınlanmış saç örnekleri ESR spektrumlarına katkı getiren radikaller için üç değişik sıcaklıkta hesaplanan k sönüm sabitleri

Radikal	Sıcaklık	Sönüm sabiti k (dak ⁻¹)		
		Doğal siyah	Sarı	Boyalı siyah
A	313	0.00022	0.00109	0.00025
	323	0.00068	0.00141	0.00056
	333	0.00091	0.00180	0.00094
B	313	0.26090	0.35890	0.32152
	323	0.42308	0.65890	0.47500
	333	0.50060	0.85260	0.65121
C	313			0.03345
	323			0.06664
	333			0.08101



Şekil 29: Spektrumlara katkı getiren radikaller için oluşturulan $\ln(k)$ - $1/T$ grafikleri [(■)A; (▲) B;(○) C kökçeleri (---) kuramsal]. a)doğal siyah, b) sarı, c) boyalı siyah

Bu grafiklere en iyi uyan doğrular veri uyarlama işlemleri yardımı ile bulunarak, deneysel spektrumun oluşumuna katkı getiren kökçe türlerinin aktivasyon enerjileri hesaplandı. Sonuçlar tablo 22’de verilmiştir.

Tablo 22: Işınlanmış saç örnekleri ESR spektrumlarına katkı getiren radikaller için hesaplanan sönüm aktivasyon enerjileri

Örnek	Radikal	Aktivasyon enerjisi (kJ/mol)
Doğal siyah	A	60.0
	B	27.3
Sarı	B	20.7
	C	36.3
Boyalı siyah	A	55.3
	B	29.3
	C	37.3

5. TARTIŞMA

Elektromanyetik alanlara ve iyonize radyasyona maruziyetin arttığı günümüzde, kişiler tarafından soğurulan dozu belirleyebilecek ve uygun sağlık tedbirlerinin alınmasına yönlendirebilecek biyolojik dozimetre arayışı devam etmektedir. Bu tez çalışmasında, bu hedef doğrultusunda RF radyasyonuna maruz kalan bireylerden kolay, hızlı ve ağrısız olarak alınabilen saç kökü örneklerinde ve gama radyasyonu ile ışınlanan saç örneklerinde ortaya çıkan radyasyon yıkımları ESR ve DNA comet assay yöntemleri ile analiz edilerek bunların biyolojik kaza dozimetresi olarak kullanım potansiyelleri araştırılmıştır.

Non iyonize radyasyon

Cep telefonu radyasyonunun saç kökü hücreleri DNAlarında oluşturdukları hasarlar Comet assay tekniği kullanılarak tespit edilmiş ve bu hasarların cep telefonu konuşma süresine bağlı değişimleri incelenmiştir. **Sonuçlar 15 ve 30 dakika süreyle cep telefonu (900 MHz) ile konuşma sonrasında, cep telefonu kullanılan sağ kulak arkası bölgesinden alınan saç kökü hücrelerinde DNA tek zincir kırıkları oluştuğunu göstermektedir.** 30 dakika sonrası elde edilen hasar verileri, 15 dakika konuşma süresi sonrası verilere göre istatistiksel oranda anlamlı artışlar göstermiştir. Ek olarak, birbirine yakın yerden çekilmiş saç köklerinde cep telefonu radyasyon maruziyeti olmaksızın DNA hasarı oluşup oluşmadığı irdelenmiştir. 5 ve 15 dakika aralıklarla iki gönüllüden alınmış saç köklerinde DNA hasarını veren parametrelere bakıldığında kontrol verilerine göre anlamlı değişimler gerçekleşmemiştir. **Literatürde saç köklerinin comet assay tekniğine uygulandığı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu tez çalışmasının comet assay tekniğinin saç köklerine modifiye edildiği ilk çalışma olması nedeniyle , saç kökü hücrelerini izole etme aşamasında uygun deney parametrelerini**

belirlemek amacıyla bir seri denemeler yapılmıştır. Denemelerimiz sonucunda en net ve yeterli hücrenin görüntülenebildiği ortam koşulları; saç kökü örneklerinin 0.03 ml solüsyon içinde 30 dakika bekletilmesi olarak belirlenmiştir. Bu çalışma aynı zamanda RF alanların saç köklerine etkisinin araştırıldığı ilk çalışma olma niteliğindedir.

İyonize radyasyon

Bu çalışmada, iyonize radyasyona in vitro koşullarda maruz kalmış saç kök hücrelerinde oluşan DNA hasarı miktarı comet assay tekniği ile tayin edilmiştir. Çalışmanın bu bölümünde 5 farklı gönüllüden alınan saç kökleri 5 gruba ayrılmış, bir grup kontrol örneği olurken, diğer örnekler 4'e bölünerek farklı doz değerlerinde Cs-137 gama kaynağında ışınlanmıştır. Elde edilen veriler doza bağlı comet parametrelerindeki değişimleri yansıtan grafiklerde kullanılmıştır. Bu verileri en iyi betimleyen matematiksel fonksiyon araştırılmış, ve üstel bir fonksiyon olduğu tespit edilmiştir. Doz-cevap eğrilerine göre, yaklaşık 2 Gy doz değerine kadar kuyruk momenti ve kuyruk uzunluğu değerlerindeki artışlar çizgisel kalırken, daha yüksek dozda artış ritmi azalmıştır. **Böylece, beklenmedik radyasyon kazalarında kişilerin soğurdukları dozların ölçülmesinde ve radyasyon çalışanlarının rutin izlenmesinde kişilerden toplanacak saç köklerine uygulanan Comet assay tekniğinin doz tarama metodu olarak kullanılabilirliği görülmüştür. Bu çalışma IR radyasyona maruz kalmış saç köklerinin comet assay tekniğinde uygulandığı ilk çalışmadır.**

Bu tez çalışmasında, saç teli örneklerinin biyolojik dozimetre malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, ESR tekniği kullanılarak ışınlamanın (Co-60) saç teli örnekleri üzerinde oluşturduğu

yapısal değişimler ve bu değişimlerin zaman, sıcaklık ve doza bağımlılıkları incelenmiştir. **Boyalı saçların dozimetrik özellikleri ilk olarak bu tez çalışmasında irdelenmiştir.**Tüm örneklerde doz-cevap eğrilerinin düşük dozlarda lineer olduğu, ~300 Gy sonrası doyuma gittiği tespit edilmiştir (şekil 25).Işınlanmamış ve ışınlanmış örneklerin çalışılan minimum doz değerinde dahi (5 Gy) ayırt edilebildikleri belirlenmiştir. Farklı kişilerden alınmış siyah saç örneklerinde spektrum yapısı ve sinyal şiddetlerinde farklılık gözlenmemiştir. Oda sıcaklığında ESR sinyal şiddetleri yarı değerlerine DS'de 44 saatte, sarı ve kumral renklerde 41 saatte, BS de 35 saat ve kızıl saç örneğinde 17 saatte düştüğü görülmüştür. Doz tahmin çalışmalarının ışınlama sonrası 1-2 gün içinde yapılması gerekmektedir.

Saç örnekleri, beklenmeyen radyasyon kazası durumlarında kazazedelerden ve radyasyon çalışanlarından kolay ve ağrısız bir şekilde elde edilebileceğinden biyolojik dozimetre arayışlarında literatürde yerini almıştır. Saç ve saç kökleri hem lokal doz ölçümüne olanak sağlayacağından hem de cep telefonu kullanımında antene en yakın bölge olduğundan, her iki tip radyasyonun genetik hasarlarını tespit etmek için uygun örnek olduğunu düşünmekteyiz. Saç kökleri kısa süre içinde hızlı bölünmeye uğramaktadır¹⁶³. Bu sebeple, anajen fazındaki saç kökü matriks hücreleri genotoksik ajanlara karşı hassastır ve böylelikle, hasarlar açıkça ortaya çıkabilir. Herhangi bir zamanda kişinin saçlarının yaklaşık %85-90'ı anajen fazdadır. O halde, kişilerden çekilerek alınan saçların çoğunun anajen fazında olduğu söylenebilir. Zorla çekilmiş saçların iç ve dış kök hücrelerinin anajen faz görüntüsüne sahip olduğunu Pride ve Tunnessen çalışmalarında göstermişlerdir¹⁶⁴.

Literatürde 915 MHz frekanslı telefon, kafadan 1.5 cm uzaklıkta tutulduğunda maksimum SAR değerinin kulak arkası deri bölgesinden ölçüldüğü rapor edilmiştir^{165,166}. Çalışmamızda biz de bu çalışmaların belirttiği bölgeden çekilmiş saç kökü örneklerinde DNA hasarı oluştuğunu gözlemledik. Ek olarak, birbirine yakın yerden çekilmiş saç köklerinde cep telefonu radyasyon maruziyeti olmadığında DNA hasarı oluşmadığını gördük. Böylece cep telefonu ile konuşma sonrası bu bölgede gözlemlediğimiz DNA hasarının, saç çekimi sırasında oluşacak deri tahrişi gibi etkilere kaynaklanmadığını tespit ettik.

Bu çalışma, son zamanlarda RF radyasyona maruz kalmış hücrelerde DNA tek zincir kırıklarında istatistiksel anlamlı artışların olduğunu gösteren pek çok çalışmayla uyum göstermektedir. Cep telefonu kullanıcılarından alınmış lenfosit örneklerinde mikroçekirdekçik ve DNA kırıkları oluşmuş ve 3 W/kg SAR değerinde 1800 MHz frekansa 2 saat boyunca maruz kalmış insan lens epitel hücrelerinde maruziyetten hemen sonra ve 30 dakika sonrasında DNA hasarında artışlar rapor edilmiştir^{167,168}. In vitro olarak 954 MHz frekansta RF radyasyona (SAR=1.5 W/kg) 1-2 saat maruz bırakılan insan kan örnekleri lenfositlerinde alkali comet şartlarında DNA tek zincir kırıklarında artışlar gösterilmiştir¹⁶⁹. Philips ve arkadaşları çalışmalarında, molt-4 insan lenf hücrelerini 2-21 saat boyunca düşük güçlerde (2.4-26 μ W/g) RF radyasyona maruz tutmuşlar ve ilgili hücrelerde DNA hasarı tespit etmişlerdir¹⁷⁰. İnsan sperm hücrelerinde serbest radikal oluşumu ve DNA hasarı, 1.8 GHz frekansa 0.4 W/kg- 27.5 W/kg SAR aralığında RF radyasyona in vitro koşullarda maruz bırakılmaları sonrasında gözlenmiştir¹⁷¹. Hem tek hem çift zincir DNA kırıklarında artış tavşan beyin hücrelerinde tespit edilmiş, bu çalışmalarda 2 saat boyunca 2450 MHz frekansa 0.11, 0.6 ve 1.2 W/kg SAR değerlerinde tüm vücut maruziyeti uygulanmıştır¹⁷²⁻¹⁷⁴. 1800 MHz frekansda çalışan cep telefonu RF

radasyonu farklı modülasyonlarda kültür insan diploid fibroblastlarına (ES1 hücreleri) ve tavşan granulosit hücrelerine uygulanmış, bu hücrelerde DNA tek ve çift zincir kırıklarına neden olmuştur¹⁷⁵. Diğer taraftan, RF radyasyonunun genotoksik etkilere neden olmadığını bulan birçok çalışma da literatürde yer almaktadır. Yukarıda anlatılan Diem ve arkadaşlarının çalışmasındaki deneysel koşullar bir başka çalışmada birebir sağlanmış, ancak ES1 hücrelerinde aynı etkiler gözlenmemiştir¹⁷⁶. İnsan lenfosit kültür hücrelerinde yapılan bir seri çalışmada, farklı sürelerde 0.2-10 W/kg SAR aralığında 900 MHz GSM sinyaline maruziyet sonrası kromozom aberasyonları ve mikroçekirdekçik oluşumları gözlenmemiş, yine aynı 900 MHz GSM sinyaline 0.3-1 W/kg SAR aralığında 2 saat boyunca maruziyet sonrasında insan lökositlerinde DNA zincir kırıkları gözlenmemiştir¹⁷⁷⁻¹⁷⁹. Uzun süreli (24 saat) 935-MHz GSM sinyaline (SAR: 1 -2 W/kg) maruziyet, insan kan hücrelerinde DNA zincir kırıklarına neden olmamıştır¹⁸⁰. Bu şekilde farklı laboratuvarlardan gelen zıt sonuçlar şu şekilde açıklanmaya çalışılmaktadır; kullanılan comet assay tekniğinin farklı versiyonda olması, laboratuvarların farklı hassasiyetlerde deneysel düzeneklere sahip olması, araştırmacıların bu teknikle ilgili tecrübe farklılıkları ve farklı maruziyet koşulları bu zıt sonuçların elde edilmesine yol açmaktadır^{181,182}.

Aynı sürede RF alanına maruz kalan kişilerde comet ölçümlerinde farklılıklar gözlenmiştir. Comet parametreleri hem bireysel DNA onarım yeteneğini hem DNA hasar seviyesini yansıtır olabilir. Ölçülen hasar seviyesi DNA tamir ve hasar hızındaki dengeyi yansıttığından, düşük hasar rakamları ya gerçekten düşük sayıdaki kırık sayısını ya da yüksek tamir yeteneğini göstermektedir. Böylece, tek zincir kırıklarında gözlenen hafif artış, otomatik olarak artan gen mutasyonları, kromozom anomalileri veya diğer kalıcı genetik değişikliklerle ilişkili değildir. Bireylerin farklı radyasyon hassasiyetine sahip olması da comet

parametrelerinin kişiden kişiye değişiklik göstermesine neden olabilmektedir¹⁰⁵.

DNA hasarı önemli sağlık sorunlarına neden olmaktadır. Hücrelerde genetik hasarın zamanla toplanması, kanserin¹⁸³, yaşlanmanın¹⁸⁴⁻¹⁸⁶ ve hücre ölümünün tetikleyicisi olabilmektedir. Saç köklerinde RF radyasyonu indüklemesiyle oluşan DNA hasarının, saçların olgunlaşmadan anajen fazdan katajen faza geçişlerine neden olabileceğini düşünmekteyiz. Bu tür etkiler, UV radyasyon maruziyeti sonucunda gözlenmiştir¹⁸⁷. Ayrıca, kümülatif DNA hasarı ve/veya DNA hasarı onarımındaki kusurlar saçların beyazlamasına neden olmaktadır^{188,189}. Kişilerde görülen saç dökülmesi patolojisinde (androgenetic alopecia) DNA hasarının rolünü El-Domyati ve arkadaşları çalışmalarında göstermişlerdir¹⁹⁰.

Günümüzde, RF radyasyonun DNA zincir kırıklarına nasıl yol açtığını açıklayan mekanizma hala tartışılmaktadır. RF enerjinin DNA'daki kimyasal bağları direkt kıracak yeterlilikte enerjiye sahip olmaması nedeniyle, genotoksik etkilerin indirekt mekanizmalarla açıklanabileceği öngörülmektedir. Önerilen mekanizmalardan biri, RF radyasyonun hücrelerde serbest radikal konsantrasyonunu artırdığı ve bu sürecin de DNA'da hasarla sonuçlandığıdır. Bu mekanizma Lai ve Singh'in yapmış oldukları araştırmalara dayanmaktadır. RF radyasyonu DNA hasarı etkilerinin antioksidanlarla engellendiğini çalışmalarında göstermişlerdir³⁵. Bir diğer önerilen mekanizma, RF radyasyonunun DNA onarım kapasitesini engellediği / yıktığı yönündedir^{191,192}. Son olarak, RF radyasyonun genotoksik olduğu termal etkilerle açıklanmaktadır. Fakat, genotoksik etki gözlenen çalışmaların çoğunda SAR değerleri, DNA hasarına yol açacak kadar önemli oranda sıcaklık artışına neden

olabilecek değerlerin altındadır. 900 MHz frekanslı cep telefonunun 15 ve 30 dakika kullanılmasıyla, kulak ve kulak çevresi kafa bölgesindeki sıcaklık artışı 2 °C kadar bulunmuştur¹⁹³. Oysa ki, DNA hasarı oluşturabilecek sıcaklığın 40 °C ve üstünde olduğu rapor edilmiştir^{194,195}. Ayrıca, Mashevich ve arkadaşları'nın yaptığı çalışmada 830 MHz frekansında (SAR: 1.6-8.8 W/kg) 72 saat boyunca maruziyet sonrası insan perifer kan lenfositlerinde kromozom 17 anomalisinde artış saptanmıştır. Bu çalışmada yalnız sıcaklık etkisi irdelendiğinde, kromozom anomalisi 40-41 °C sıcaklık üstünde görölmüş, 34.5-38.5 °C aralığında bulunmamıştır¹⁹⁶.

Bu tez çalışmasında, cep telefonu RF radyasyonuna kısa süreli maruziyetin saç kökleri DNAlarına etkileri gösterilmiştir. Ancak, çevremizde uzun süreli RF radyasyona maruz kaldığımız durumlar hızlı bir şekilde artmaktadır. Uzun süreli RF radyasyonun saç köklerine etkisini, DNA onarım hızını da hesaba katarak ve genotoksik etkiyi açıklayacak mekanizma tanımına da katkı sağlayacağını düşünerek, gönüllülerle uzun süreli çalışmalar yaparak araştırmak gerektiğini düşünmekteyiz. Özellikle, SAR değerinin maksimum olduğu bölgeden alınacak saç köklerinde tamiri mümkün olmayan DNA çift zincir kırıkları üzerine araştırma yapmayı, yakın gelecekte planlamaktayız.

Bu çalışmada, iyonize radyasyona in vitro koşullarda maruz kalmış saç kök hücrelerinde oluşan DNA hasarı miktarı comet assay tekniği ile tayin edilmiş, bu hasarların ışınlama dozuna göre değişimleri incelenmiş, böylece beklenmedik radyasyon kazalarında kişilerin soğurdukları dozların ölçölmesinde ve radyasyon çalışanlarının rutin izlenmesinde kişilerden alınmış saç köklerine uygulanan Comet assay tekniğinin doz tarama metodu olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Fiziksel ve kimyasal ajanlara karşı savunmasızlığı, hızlıca çoğalması ve dönüşüm

içinde olması anajen fazdaki saç köklerini iyonize radyasyonun etkilerini araştırmada ideal bir test dokusu kılmaktadır. Elli yıldan fazla zamandır birçok hayvan modelinde radyasyona yüksek hassasiyetli radyobiyojik test sistemi olarak saç kökleri kullanılmıştır¹⁹⁷⁻¹⁹⁹. Çalışmanın iyonize radyasyon bölümünde 5 farklı gönüllüden alınan saç kökleri 5 gruba ayrılmış, bir grup kontrol örneği olurken, diğer örnekler 4'e bölünerek farklı doz değerlerinde Cs-137 gama kaynağında ışınlanmıştır. Elde edilen veriler doza bağlı comet parametrelerindeki değişimleri yansıtan grafiklerde kullanılmıştır. Bu verileri en iyi betimleyen matematiksel fonksiyon araştırılmış, ve üstel bir fonksiyon olduğu tespit edilmiştir. Doz-cevap eğrilerine göre, yaklaşık 2 Gy doz değerine kadar kuyruk momenti ve kuyruk uzunluğu değerlerindeki artışlar çizgisel kalırken, daha yüksek dozda artış ritmi azalmıştır. Benzer sonuçlara literatürde de rastlanmaktadır^{200,201}. 2 Gy ve üzeri dozlarda comet parametreleri artış ritimlerindeki azalmalar, yüksek dozlarda çok küçük DNA hasar parçalarının oluşması ancak bu parçaların kaybolmasıyla açıklanmaktadır. Ne boyutlardaki küçük parçacıkların analizlere yansımadağı cevaplanması gereken sorudur. DNA tek zincir kırıkları radyasyon gibi genotoksik ajanlara karşı oluşan ilk hasarları gösterdiğinden radyasyon maruziyetinde biyomarker olarak kullanılabilir, ancak daha kararlı çift zincir kırıkları oluşan hasarın biyolojik büyüklüğü üzerine bilgi verir²⁰². Memeli hücreleri metabolizmasında daima arka planda oluşan DNA kırıkları olduğu bilinmektedir. Bu kırıklar iki sınıfa ayrılır: hücresel oksijen metabolizmasından kaynaklı oluşan serbest radikallerin neden olduğu kırıklar ve DNA replikasyonu, tamiri, transkripsiyonu sırasında oluşan kırıklar. 1 Gy iyonize radyasyon hücre başına yaklaşık 1000 DNA tek zincir kırığı oluşturmaktadır. Bu bilgiye dayanarak basit hesaplamalar göstermektedir ki, günde 0.17 cGy doz hücre başına 2 DNA tek zincir kırığı oluşturacaktır, oysa ki normal oksijen metabolizması hücre başına günde $\sim 1.2 \times 10^5$ kırık oluşturmaktadır. Böylece, çok düşük dozların oluşturduğu DNA kırıklarını vücuttaki toplam kırıklardan ayırt etmek

zordur²⁰³. Radyasyon biyoizlem ölçümlerinde comet assay tekniğine bir çok çalışmada başvurulmuştur. Fochammer ve arkadaşları 'nın çalışmasında 12 farklı laboratuardan gelen comet sonuçları karşılaştırılmış, sonuçlar arası farkların nedenleri ortaya konulmaya ve minumuma indirilmeye çalışılmıştır. 12 laboratuar THP-1 hücrelerini 0, 2.5, 5, 10 Gy dozlarda ışınlamış ve doz cevap eğrilerini belirlemiştir. Yüksek dozlarda comet parametrelerinde artış ritminde azalma bu çalışmada da gözlenmiştir²⁰⁴. Milkowic ve ark., 5-14 yaş arasında solunum yolu hastası 20 çocukla çalışmışlar, çocukların farklı vücut bölgelerinden aldıkları teşhis amaçlı X-ışınları dozları termoluminesans ve radyofotoluminesans dozimetreleri ile ölçülmüştür. Bu çocuklardan röntgen öncesi ve sonrası alınan kan hücrelerinden ise DNA hasarını belirlemişler, dozimetre sonuçları ile karşılaştırmışlar, ve alarında niteliksel korelasyon tespit etmişlerdir. Çocukların kan hücrelerinde X-ışını öncesi ve sonrası oluşan DNA hasar oranı, onların teşhis amaçlı X-ışınına minimum ölçüde maruz kalması gerektiğinin önemini göstermektedir¹²⁷. Vrhovac ve Zeljezic, 4 kişiden aldıkları kan örneklerini 0.5-10 Gy doz aralığında ışınlamış ve kuyruk uzunluğu ve kuyruk momenti değerlerinin doza bağlı lineer arttığını bulmuşlar, comet tekniğinin diğer sitogenetik tekniklerle mümkün olmayan yüksek doz maruziyeti risk değerlendirmelerinde kullanılabileceğini rapor etmişlerdir¹¹⁵. Vrhovac ve arkadaşları radyasyon kazalarında fiziksel ve klinik dozimetrelerin yanında comet tekniğinin biyodozimetrik yöntem olarak uygunluğunu göstermişlerdir^{163,205}. Bu çalışmalarda, 6 farklı radyasyon çalışanından aldıkları kan lökosit hücrelerinde 1 yıl sonraki comet parametrelerinin kontrol verilerinden istatistiksel anlamlı farklı olduğunu bulmuşlar, diğer çalışmalarında ise 50 sağlıklı ve 50 medikal çalışandan aldıkları yine kan lökosit hücrelerinde fiziksel dozimetrelerden ölçülen doz değerleriyle comet sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Ancak, comet tekniğinin yalnız radyasyona spesifik sonuçlar vermemesi, hassasiyetinin yüksek ancak etkileri araştırılan kimyasal veya fiziksel ajana özgünlüğünün düşük olması ve kişilerin

radasyon hassasiyetinin farklı olması bu tekniğin biyolojik dozimetri anlamında gücünü azaltmaktadır²⁰⁶. Bu nedenlerle, comet tekniği bireylerin soğurduğu doz ölçümünden ziyade örneğin alındığı anda doz tarama methodu olarak cevap verebileceği ortaya çıkmaktadır. Kanser hastalarında, hücrelerin radyoterapi ve kemoterapi uygulamalarına karşı hassasiyeti, comet tekniği ile DNA hasarı tayini ile belirlenebiliyorken, bu tekniğin validasyonu ve standardizasyonunun tamamlanmaması kanser tedavisinde programlayıcı rol almasını engellemektedir²⁰⁷.

İyonize radyasyonun DNA ile etkileşme mekanizması günümüzde açıkça ortaya konulmuştur. İyonlaşma bölümünde de ayrıntılı anlatıldığı gibi, radyasyonun DNA üzerine etkisi doğrudan veya dolaylı yolla olabilir^{103,104}. Doğrudan etki radyasyon enerjisinin hücrelerde depo edilmesi sonucu gerçekleşirken , dolaylı etki radyasyonla açığa çıkan enerji ile uyarılan moleküllerin veya oluşan serbest radikallerin DNA ile etkileşimi sonucu ortaya çıkar. İyonlaştırıcı radyasyonun etkisiyle, DNA'yı çevreleyen suyun O-H bağlarının ayrılması sonucu oluşan ·OH radikali DNA ile etkileşir. Sonuçta, baz hasarı, alkali oynak yapılar, DNA –DNA ve DNA-protein çapraz bağları ve zincir kırıklarından oluşan bir dizi hasar meydana gelir¹⁰⁵.

Bu tez çalışmasının amaçlarından bir diğeri de, saç teli örneklerinin biyolojik dozimetre malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmaktır. Bu amaçla, ESR tekniği kullanılarak ışınlamanın saç teli örnekleri üzerinde oluşturduğu yapısal değişimler ve bu değişimlerin zaman, sıcaklık ve doza bağımlılıkları incelenmiştir. Dozimetrik anlamda kullanılabilecek bir malzemenin radyasyon verimi yüksek, ışınlama sonrası oluşan hasarlar kararlı ve doz- cevap eğrisi çizgisel olmalıdır. Bu çalışmada, temiz saç örnekleri kullanılmış ve örnekler güneş ışığından

uzak bekletilmiştir. Işınlanmamış saç örnekleri fon sinyaline sahiptir. Gözlenen fon sinyalinin nedeni, saç rengine bağlı olarak saçta değişik konsantrasyonlarda bulunan melanindir²⁰⁸. Koyu renk saçlar için şiddetli fon sinyali gözlenmesinin nedeni budur^{140,142}. Saç örnekleri fon sinyal şiddetleri ~30 mg kütle miktarına kadar çizgisel değişim gösterdiğinden, bu değere kadar örnek miktarları kullanılmış ve ESR tüplerine aktarılmıştır. Her renk saç için mikrodalga güç çalışması yapılmış, her biri için benzer sonuçlar bulunmuş ve deneyler süresince doyum bölgesinden uzak çalışmak adına spektrometre 0.5 ve 1 mW güç değerine ayarlanmıştır. Işınlama sonucu fon sinyali çizgi şekilleri değişmiyorken, sinyal şiddetlerinde artışlar gözlenmesi, ışınlama öncesi ve sonrası spektruma katkı getiren radikallerin benzer olduğunu göstermektedir. Işınlama sonucu sinyal şiddetlerinde gözlenen artışların nedeni, saç örneklerinin yapısında büyük oranda bulunan α -keratin proteinin içerdiği kükürt merkezli radikallerin oluşmaları olduğu ileri sürülmektedir^{145,146,155}. Işınlama öncesi ESR spektrumları doğal saçlarda yaklaşık ~25 G'luk, boyalı saçlarda ~80 G'luk manyetik alan bölgesine, ışınlama sonrası spektrumlar doğal saçlarda yaklaşık ~30 G'luk, boyalı saçlarda ise ~55 G'luk manyetik alan bölgesine yayıldığı gözlenmiştir. Işınlama öncesi g değerlerinin saç örneği rengine ve doğal/boyalı oluşuna bağlı olduğu saptanmışken, ışınlama sonrası koyu renk saçlarda, ister doğal ister boyalı olsun g değeri 2.0021 iken, açık renk saçlarda 2.0023 değerindedir. Bu sonuç; farklı renk saçların farklı tür melanin içermesiyle açıklanabilir. İki farklı tip melanin vardır¹⁶²; siyah-kahverengi saçlarda eumelanin, sarı-kızıl saçlarda pheomelanin türleri bulunmaktadır. Bu türler farklı kimyasal ve fiziksel özellikler gösterirler²⁰⁹.Yapılan çalışmalarda eumelanin içeren saçların, semiquinone türü radikallerden kaynaklı ESR sinyali verdiğini, pheomelanin içeren saçlarda ise semiquinonimine türü radikallerden kaynaklı ESR sinyali gözleendiği rapor edilmiştir. Pheomelanin içeren saç renklerinde daha geniş ESR sinyalinin gözlenmesinin nedeni, N¹⁴ atomu yakınına yerleşmiş çiftlenmemiş elektronun aşırı ince yapısına sahip

olması ile açıklanmaktadır²¹⁰⁻²¹². 5-50 Gy doz aralığında ışınlanmış 5 farklı renk saç örneğinin doz cevap eğrileri elde edilmiş, bu doz aralığında değişimlerin çizgisel olduğu gözlenmiştir. Ek olarak, doğal siyah saç telleri 1-2'şer cm kesildikten sonra doza bağlı sinyal şiddeti değerleri ölçülmüş, ve diğer örneklerle göre çizgisel davranıştan uzaklaşıldığı gözlenmiştir. Mekanik etkinin bu örnekte spektrum yapısında değişime yol açmadığı, ancak fon sinyali sinyal şiddetinin diğer siyah saç örneklerine göre yüksek iken, ışınlama sonrası en düşük bulunması; mekanik etkinin sinyal şiddeti değerini artırmadığını göstermektedir. Fakat, yapılan çalışmalar mekanik etkinin daha fazla sülfür radikali oluşturduğunu ve dolayısıyla sinyal şiddetini artırdığını göstermiştir^{146,156,213}. Düşük doz-cevap grafiklerinden, radyasyon verimi en yüksek doğal siyah ve kumral örnekleri, radyasyon hassasiyeti en yüksek örneğin de sarı saç olduğu sonucu çıkartılmıştır. Saç örnekleri rezonans tepelerinin 0-750 Gy doz aralığında değişimlerinde incelenmiş ve elde edilen bulguları en iyi biçimde betimleyebilen değişik matematiksel fonksiyonların neler olabilecekleri belirlenmiştir. En uygun olan fonksiyonun doğal siyah, kızıl ve sarı saç örnekleri için güç fonksiyonu, boyalı siyah ve kumral örnekleri için üstel bir fonksiyon olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç; literatürde bulunan çok az sayıdaki saç çalışmalarıyla uyum içerisindedir^{142,145,155}. Farklı kişilerden alınmış siyah saç örnekleri ESR spektrumları karşılaştırıldığında, spektrum yapısı ve sinyal şiddetlerinde ve mikrodalga doyum davranışlarında farklılık saptanmamıştır. Işınlama sonucu oluşan hasarların zaman içindeki değişimleri gözlenmiş, veri uyarlama işlemleri sonucunda deneysel spektrumun oluşumuna boyalı siyah saç örneği için ayrı sönüm sabitine sahip üç, diğer tüm örnekler için ayrı sönüm sabitine sahip iki kökçenin katkı getirdiği, bunların da birinci dereceden sönüm davranışı gösterdikleri belirlenmiştir. Işınlama sonucunda fon sinyaline kaynaklık eden radikale ek olarak, saç, tırnak ve yün gibi örneklerde bulunan α -keratin yapısından kaynaklı sülfür radikallerinin oluşabileceğini gösteren çalışmalar literatürde mevcuttur^{208,214}. Işınlama sonrası ilk günlerde gözlenen hızlı sönümden

sorumlu radikalin oda sıcaklığında sönüm hız sabitleri karşılaştırıldığında, DS<Kumral=Sarı<BS<Kızıl olduğu görülmüştür (tablo 10). Örnek sinyal şiddetleri yarı değerlerine DS'de 44 saatte, kumral ve sarı renklerde 41 saatte, BS de 35 saat ve kızıl saç örneğinde 17 saatte düştüğü tespit edilmiştir. Sönüm sabitleri saç rengine göre $6,4 \times 10^{-6}$ - $1,6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ aralığında değişmektedir. Kudynski ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, kahverengi ve sarı saç örnekleri için sönüm sabiti $4.67 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, Çolak tarafından yapılan çalışmada koyu kahverengi saç için $1.5 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ bulunmuştur^{155,156}. Sönümün farklı sıcaklıklardaki davranışını incelemek ve bu şekilde radikallerin sönüm kinetiklerini ve aktivasyon enerjilerini belirlemek için 12 kGy doz değerinde ışınlanmış örnekler , ilk saatlerde hızlı sönümler olduğu dikkate alınarak aynı anda 313 K, 323 K, ve 333 K sıcaklıklara ayarlanmış su banyolarında değişik sürelerle tavlandıktan sonra spektrumları kaydedilmiştir. Arrhenius eşitliğinden faydalanılarak bulunan radikal sönüm aktivasyon enerjileri doğal siyah saçta ışınlama ile oluşan radikaller için 60.0 ve 27.3 kJ/mol, boyalı siyah saçtakiler için 55.3, 29.3 ve 37.3 kJ/mol ve sarı saç radikalleri için 20.7 ve 36.3 kJ/mol bulunmuştur. Melanin pigmentinin aktivasyon enerjisinin hesaplandığı çalışmalarda, 0,49-0,76 eV (47,3-73,3 kJ/mol) ve 0,1-0,78 eV (9,6-75,3 kJ/mol) aralığında bulunduğu rapor edilmiştir^{215,216}. Sönüm hızı en yavaş olan doğal siyah saç örneği için hesaplanan aktivasyon enerjisi (60 kJ/mol) tırnak örneklerinin sahip olduğu aktivasyon enerjisi (64.43 kJ/mol) değerine yakın bulunmuştur¹³⁸.

Kullanımı yaygın olduğu düşünülerek boyalı saçların da ESR tekniği ile dozimetrik özellikleri incelenmiştir. Benzer çalışma literatürde yer almamaktadır. Boyalı siyah saç örneği spektrumu doğal siyah örnekleri ile karşılaştırıldığında, ESR sinyal şiddetinin daha düşük olduğu, spektrum yayılma bölgesinin genişlediği, g değerlerinin değiştiği görülmektedir. Işınlanmamış boyalı saç örneğinde merkezi sinyalin solunda sinyal şiddeti

düşük ek bir sinyal gözlenmektedir. Örneğe verilen doz arttıkça bu yan pikin kaybolduğu görülmüştür, bu nedenle dozimetrik pik olarak değerlendirilmeye alınmamıştır. Boyalı saçlarda oluşan radikallerin zamana bağlı değişimlerine bakıldığında, sönümün doğal saçlara göre daha hızlı gerçekleştiği görülmektedir. Paramanyetik metal iyonlarının melanin pigmentine dop edildiği bir çalışmada , ESR sinyal şiddetinin azaldığı, fakat çizgi genişliğinin değişmediği gözlenmiştir²¹⁷. Bu mekanizma bilinmemesine rağmen, melanin radikalleri çiftlenmemiş elektronları ile paramanyetik metal iyonları (demir III, bakır II) arasında gerçekleşen kimyasal etkileşmenin bu azalmaya neden olduğu önerilmektedir. Ancak, çinko II ve kadmium II gibi metal iyonlarının etkileşmesi de ESR sinyalinde artışa neden olmuştur. Daha sonra gerçekleşen bir seri çalışmalar, bu etkileşmenin çinko iyonları ile melanin radikalleri arasındaki dipol-dipol etkileşmelerinden kaynaklandığını ve tamamen manyetik olduğunu, kimyasal reaksiyon içermediğini göstermiştir²¹⁰. Metal iyonlarının melanin pigmentinde fenolik, hidroksil ve amin bölgelerine bağlandığı açıklanmıştır²¹⁸. Bu etkileşmelerin sonucunda boyalı saçlarda doğal saçlara göre üçüncü bir radikal oluştuğu düşünülmektedir.

6. SONUÇ

- Sa köklerine Comet assay tekniği ilk defa bu tez çalışmasında uygulanmış, böylelikle yöntem sa kökü örneği için modifiye edilmiştir.
- Günümüzde sağlık etkileri bolca tartışılan cep telefonu radyasyonunun; en fazla soğurulduğu kulak arkası bölgesinden alınan sa köklerinde DNA tek zincir kırıklarına yol açtığı bulunmuştur. Cep telefonu konuşma süresine bağlı olarak DNA hasarında artış gözlenmiştir. Yakın gelecekte, DNA tek zincir kırıklarının tamir hızı ve yine sa köklerinde DNA ift zincir kırıkları oluşumu üzerine çalışmalar yapılması planlanmaktadır.
- Sa kökleri Comet parametrelerinin (kuyruk momenti, kuyruk uzunluğu) radyasyon dozuna bağlı değişimi ~2 Gy'e kadar çizgisel bulunması, radyasyon kazalarında standard dozimetrelerin yanında veya fiziksel dozimetre taşınmaması durumunda doz tarama methodu olarak Comet assay tekniğine başvurulabileceğini göstermektedir. Bu teknik sayesinde DNA hasarına dayanan risk değerlendirilmeleri yapılabileceğinden kazazedelerin bilinçli olmaları sağlanabilir.
- Boyalı saçların dozimetrik özellikleri ilk olarak bu tez çalışmasında incelenmiştir.

- Doz-cevap eğrileri düşük dozlarda lineer, ~300 Gy sonrası doyuma gitmektedir. Işınlanmamış ve ışınlanmış örneklerin çalışılan minimum doz değerinde dahi (5 Gy) ayırt edilebildikleri belirlenmiştir. Bu minimum doz değeri Trivedi ve Greenstock tarafından 3 Gy, Çolak tarafından 6 Gy olarak rapor edilmiştir^{142,156}.
- En yüksek radyasyon verimi; DS ve kumral saç örneklerinde görülmüştür. En yüksek radyasyon hassasiyeti sarı saç örneğinde gözlenmiştir.
- Farklı kişilerden alınmış siyah saç örneklerinde spektrum yapısı ve sinyal şiddetlerinde değişim gözlenmemesi, dozimetrik değerlendirmelerde kişiye bağlılık olmadığına işaret etmektedir.
- Mekanik etki(1-2şer cm kesme)spektrum yapısında değişime yol açmamıştır. Bu çalışmada saç teli örnekleri kişiden alındığı gibi kullanıldığı için mekanik etki yeterince ayrıntılı incelenmemiştir.
- Oda sıcaklığında ESR sinyal şiddetleri yarı değerlerine DS'de 44 saatte, sarı ve kumral renklerde 41 saatte, BS de 35 saat ve kızıl saç örneğinde 17 saatte düştüğü görülmüştür. O halde, radikal sönümünde zamana bağlılık dikkate alınarak doz tahmin çalışmalarının ışınlama sonrası 1-2 gün içinde yapılması gerekmektedir.
- Oda sıcaklığında radikal sönüm hızı en yavaş olan doğal siyah saç örneği için arrhenius eşitliğinden faydalanılarak aktivasyon enerjisi 60

kJ/mol hesaplanmıştır. Bu değer tırnak örneklerinin sahip olduğu aktivasyon enerjisi (64.43 kJ/mol) değerine yakın bulunmuştur¹³⁸.

➤ Beklenmedik radyasyon kazalarında saç örneklerinden en yakın doğrulukla doz ölçümü yapılabilmesi için saç örneği toplama, saklama ve ESR ölçüm parametrelerini içeren dozimetre protokolü hazırlanabilir. Literatürde tırnak örnekleri için protokol geliştirilmektedir^{147,219,177}. Biyolojik dozimetre protokolü hazırlamak, aynı tür örnek üzerinde yapılmış pek çok çalışma yapılmasını ve elde edilen bulguların her birey için genelleştirilebilmesini gerektirmektedir. Bu anlamda tüm saç renklerinin ve boyalı saçların dozimetrik açıdan ESR spektrometresinde incelendiği bu tez çalışması literatüre katkı sağlayacaktır.

7.ÖZET

Keratin İçeren Biyolojik Örneklerin Değişik Tür ve Enerjilerdeki Radyasyon Maruziyetinde Dozimetre Olarak Kullanım Potansiyellerinin Araştırılması

Cep telefonları ve baz istasyonları ile non-iyonize radyasyona, nükleer enerji ve tıbbi uygulamalar ile iyonize radyasyona maruziyetin arttığı günümüzde, kişilerin soğurduğu radyasyonun belirlenebilmesi hayati önem arz etmektedir. Bu nedenle çalışmamızda 900 MHz cep telefonu radyasyonuna maruz kalmış ve Co-60 Cs-137 gama radyasyonu ile ışınlanmış saç kökü ve saç teli örneklerinin biyolojik dozimetre malzemesi olarak kullanım potansiyelleri ESR ve Comet assay teknikleri ile araştırıldı.

Non iyonize radyasyon maruziyeti çalışma frekansı 900 MHz GSM, maksimum soğurma güç değeri 2 W ve üretici tarafından belirtilen kafa SAR değeri 0.974 W/kg olan cep telefonunun günlük hayatta kullanımı taklit edilerek gerçekleştirildi. 8 Gönüllü cep telefonu ile 15 ve 30 dakika konuştu. Konuşma öncesi ve sonrası , cep telefonu kullanılan sağ kulak arkası bölgeden çektikleri saç kökü örneklerini verdiler. Bu örnekler Comet assay tekniğinde cep telefonu konuşma süresine bağlı olası DNA tek zincir kırıkları tespit edilmesinde kullanıldı. **Sonuçlar konuşma öncesi duruma göre, 15 ve 30 dakika süreyle 900 MHz-cep telefonu radyasyonuna maruziyet sonrası telefon kullanılan kulak arkası bölgeden alınan saç kökü hücrelerinde DNA tek zincir kırıkları oluştuğunu gösterdi.** Paired t-test kullanılarak yapılan karşılaştırmada 30 dakika sonrası elde edilen hasar verileri, 15 dakika konuşma süresi sonrası verilere göre istatistiksel oranda anlamlı artış gösterdi ($p < .001$).

Birbirine yakın yerden çekilmiş saç köklerinde cep telefonu radyasyon maruziyeti olmaksızın DNA hasarı oluşup oluşmadığı da irdelendi. 5 ve 15 dakika aralıklarla iki gönüllüden alınmış saç kökleri DNA hasarı miktarında, kontrol verilerine göre anlamlı farklılık gözlenmedi. Böylece, oluşan DNA tek zincir kırıklarının saç derisi tahrişi gibi nedenlerden oluşmadığı görüldü. **Literatürde comet assay tekniğinin saç köklerine uygulandığı bir çalışma yoktur. Bu anlamda bu çalışma comet tekniğinin saç köklerine modifiye edildiği ilk çalışmadır. Seri denemeler sonucu; en net ve yeterli hücrenin görüntülenebildiği ortam koşulları; saç kökü örneklerinin 0.03 ml solüsyon içinde 30 dakika bekletilmesi olarak belirlendi.**

İyonize radyasyona maruziyet durumlarında dozimetrik potansiyelini değerlendirmek üzere, saç kökleri Cs-137 kaynağında ışınlandı. 5 gönüllü, kafanın rastgele bölgesinden çektikleri saç örneklerini verdi ve bu örneklerden toplanan saç köklerinin yarısı kontrol grubunu oluşturdu, ve diğer yarısı ise 1-5 Gy doz aralığında ışınlandı. Bu örnekler Comet assay tekniğinde iyonize radyasyon dozuna bağlı DNA hasarı tespit edilmesinde kullanıldı. Elde edilen görüntülerden kuyruk uzunluğu, kuyruk momenti değerleri belirlendi, doz-cevap eğrileri oluşturuldu. **Bu eğrilere göre, yaklaşık 2 Gy doz değerine kadar kuyruk momenti ve kuyruk uzunluğu değerleri çizgisel artış gösterdi, fakat daha yüksek dozda artış ritmi azaldı. Radyasyona maruz kalmış kişilerden toplanan saç köklerinin comet assay tekniğinde uygulanmasıyla doz tarama yapılabileceği görüldü.**

İyonize radyasyona maruziyet durumlarında dozimetrik özellikleri incelenecek diğer örnek olan saç teli örnekleri (kök kısmı içermeyen) Co-60 radyasyon kaynağında ışınlandı. Temiz saç teli

örnekleri gönüllülerden toplandı, rengine, doğal boyalı oluşuna göre gruplandırıldı. Örneklerin yarısı kontrol grubunu oluşturdu, diğer yarısı paketlere aktarılıp düşük doz (5-50 Gy) ve yüksek doz (75-750 Gy) değerlerinde ışınladı. Bu örnekler ESR tekniğinde doza bağlı oluşan serbest radikal miktarı tespitinde kullanıldı. **Tüm örneklerde doz-cevap eğrilerinin düşük dozlarda lineer olduğu, ~300 Gy sonrası doyuma gittiği tespit edildi.** Işınlanmamış ve ışınlanmış örneklerin çalışılan minimum doz değerinde dahi (5 Gy) ayırt edilebildikleri belirlendi. Farklı kişilerden alınmış siyah saç örneklerinde spektrum yapısı ve sinyal şiddetlerinde farklılık gözlenmedi. Oda sıcaklığında 22 gün boyunca bekletilen örneklerin ESR sinyal şiddetleri yarı değerlerine DS'de 44 saatte, sarı ve kumral renklerde 41 saatte, BS de 35 saat ve kızıl saç örneğinde 17 saatte düştü. Sinyal şiddeti sönüm verilerine en iyi uyan kuramsal fonksiyonlar araştırıldı ve bu yolla spektruma doğal saçlarda iki, boyalı saçlarda üç radikal türünün katkı getirdiği ve bunların oda sıcaklığındaki sönüm sabitleri belirlendi. Yüksek sıcaklıklarda değişik sürelerle tavlanan örneklerin sinyal şiddetlerinde gözlenen azalmalar dikkate alınarak deneysel spektrumun oluşumuna katkı getiren radikal türlerinin sönüm aktivasyon enerjileri hesaplandı. Bulunan oda sıcaklığındaki sönüm sabiti değerleri ve aktivasyon enerji değerlerinin literatürde elde edilen değerlerle uyumlu olduğu belirlendi. Tüm bu incelemeler ile, saç teli örneklerinin biyolojik dozimetre malzemesi olarak kullanılabileceği koşullar tespit edildi. ESR tekniğinde saç teli örnekleri ile doz tahmin çalışmalarının ışınlama sonrası 1-2 gün içinde yapılması gerektiği sonucuna varıldı.

Anahtar Kelimeler: İyonize, non-iyonize radyasyon, cep telefonu, dozimetre, DNA hasarı, saç, comet assay, elektron spin rezonans

8. SUMMARY

Investigation of the potential use of biological samples containing keratin as a dosimeter in various types and energies radiation exposure

Today with the increased exposure to non-ionizing radiation with mobile phones and base stations and to ionizing radiation with nuclear energy and medical applications, the determination of persons' absorbed radiation are of vital importance. Therefore, in our study, 900 MHz mobile phone radiation and Co-60 Cs-137 gamma radiation-exposed hair root and hair strand samples' potentials as a material for biological dosimetry were investigated by ESR and the Comet assay techniques.

Non-ionizing radiation exposure was planned to imitate the use of mobile phones in daily life. The used mobile phone have operating frequency of 900 MHz GSM, the maximum absorption value of the power of 2 W and 0,974 W/kg human head SAR value specified by the manufacturer. Volunteers (8 subjects) spoke with the mobile phone for 15 and 30 minutes. Before and after exposure, each subject gave hair root samples plucked from behind the right ear (on which the mobile phone was used). These samples were used to detect possible DNA single strand breaks depend on the mobile phone talking time by comet assay technique. The tail length, tail moment values were determined from obtained images and the dose-response curves generated. **The results showed that compare to before exposure, 15 and 30 minutes exposure to 900-MHz mobile phone radiation caused DNA single-strand breaks in human hair root cells located around the ear which is used for the phone calls.** Comparing the 15-min and 30-min data using the paired t-test also showed that highly significantly more damages

resulted after 30 minutes than after 15 minutes of phone use ($p < .001$). In addition, hair samples from subjects without cell phone exposure taken 5 and 15 min apart had been analyzed and found no significant difference compare to controls. Therefore, the changes after cell phone exposure were not caused by the process of hair removal, such as skin irritation. **In the literature, there are no studies in which comet assay technique applied to the hair roots. In this sense in the present investigation for the first time, comet technique has been modified for hair root cells. As a result of series experiment, the conditions in which the most clear and adequate of the cell images could be get were determined as delayed hair root cells for 30 minutes in 0.03 ml solution.**

To evaluate the dosimetric potential for exposure case to ionizing radiation, the hair roots irradiated with Cs-137 source. 5 volunteers gave hair samples plucked from random head region and the half of these samples comprised control groups and the other half was irradiated with 1-5 Gy dose range. These samples were used to detect DNA damage by Comet assay technique depending on the dose of ionizing radiation. The tail length, tail moment values obtained from images were determined, so the dose-response curves generated. **According to these curves, up to about 2 Gy dose values the tail moment and tail length values showed a linear increase, but decreased in the rhythm of increase in the higher dose. Applying comet assay technique in the hair roots collected from people who have been exposed to radiation, dose scan was done in them.**

The hair fiber (root part of the free), the other sample whose dosimetric characteristics is examined in case exposure to ionizing radiation irradiated with Co-60 radiation source. Clean hair samples were

collected by volunteers, were grouped according to the color and whether the natural or dyed. Half of the samples as the control group, the other half are transferred to the packets, irradiated at low-dose (5-50 Gy) and high-dose (75-750 Gy) values. In ESR technique, these samples were used in determining the amount of dose-induced free radical. **In all samples, the linear dose-response curves at low doses, was going to saturate after ~ 300 Gy. It was determined that unirradiated and irradiated samples could be distinguished even in the studied minimum dose (5 Gy) value. In black hair samples taken from different individuals, the differences in the structure of the spectrum and signal intensities were not observed. The ESR signal intensities of samples stored at room temperature for 22 days fell to their half values in 44 hour in DS, 41 hours in yellow and brown colors, 35 hours in BS and in 17 hour in red hair. Theoretical functions describing well the signal intensity decay data were searched and by this way the contribution of two and three radical species to natural and dyed hair samples' experimental spectra, respectively and their room temperature decay constants were determined. The decay activation energies of the radical species contributing to ESR spectra were calculated by taking into consideration the signal intensities decay data of the studied compounds annealed at high temperatures for different period of time. It was found that the calculated values of decay constants at room temperature and activation energies were correlated well with those obtained in the literature. With all these investigations, the conditions of hair samples in which they can be used as a biological dosimeter material were found. The dose estimation by ESR technique with samples of hairs should be done within 1-2 days after irradiation.**

Key Words: Ionizing, non-ionizing radiation, mobile phone, dosimeter, DNA damage, hair, comet assay, electron spin resonance

9. KAYNAKLAR

1. Serway, R. Fen ve Mühendislik İçin Fizik, c. 2, s. 955-966, Palme Yayıncılık, Ankara, 1996.
2. Griffiths, D. Elektromagnetik Teori, çeviri, s. 45-80, 151-204, 265-301, Arte Güven Yayınevi, İstanbul, 1996.
3. Wilson J, Hawkes JFB. Optoelectronics, Cambridge, Prentice Hall, 1989.
4. B.S.Aral, 900 MHz ve 1800 MHz Radyo Frekans Radyasyonun Kan Beyin Bariyerine Etkisi. Doktora Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi; 2008.
5. www.taek.gov.tr erişim tarihi 20.10.2010.
6. Şeker S, Çerezci O. Radyasyon Kuşatması: Elektriğin ve nükleer enerjinin sağlığınıza etkileri. Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi. İstanbul, 2000
7. Challis LJ. Mechanism for interaction between RF fields and biological tissue. Bioelectromagnetics supplement 2005; 7: 98-106
8. Kotnik T, Miklavcic D. Second-order model of membrane electric field induced by alternating external electric fields. IEEE trans biomed engineering 2000; 47: 1074-1081.
9. Foster, Kenneth R. Thermal and Nonthermal Mechanisms of Interaction of Radio-Frequency Energy with Biological Systems, IEEE Transactions on Plasma Science, vol. 28, no. 1, february 2000
10. Polk C, Postow E. Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields, 2nd ed, Florida, USA, CRC Press, 1996.

11. Laurence JA, French PW, Lindner RA, McKenzie DR. Biological effects of electromagnetic fields-mechanisms for the effects of pulsed microwave radiation on protein conformation. *J Theor Bio* 2000; 206: 291–298.
12. Laurence JA, McKenzie DR, Foster KR. Application of the heat equation to the calculation of temperature rises from pulsed microwave exposure. 2003; *J Theor Biol* 222: 403–405.
13. Bohr H, Bohr J. Microwave enhanced kinetics observed in ORD studies of a protein. *Bioelectromagnetics* 2000; 21: 68–72.
14. Bohr H, Bohr J. 2000. Microwave-enhanced folding and denaturation of globular proteins. *Phys Rev E* 61:4310–4314.
15. Astumian RD. Adiabatic pumping mechanism for ion motive ATPases. *Phys Rev Letts* 2003; 91: 118102 1–4.
16. Chiabrera A, Bianco B, Moggia E, Kaufman JJ. Zeeman-Stark modelling of the RF EMF interaction with ligand binding. *Bioelectromagnetics* 2000; 21: 312–324.
17. Adair RK. Vibrational resonances in biological systems at microwave frequencies. *Biophysical J* 2002; 82: 1147–1152.
18. Krasil'nikov PM. Resonance interaction of surface-charged lipid vesicles with the microwave electromagnetic field. *Biofizika* 1999; 44:1078–1082 (English Translation in *Biophysics* 1999; 44: 1041–1045).
19. Elder, J., Chou, C., Auditory Response to Pulsed Radiofrequency Energy *Bioelectromagnetics Supplement*, v.6, p.162-173, 2003.
20. Dobson J, Pierre TG. Application of the ferromagnetic transduction model to D.C. and pulsed magnetic fields: Effects on epileptogenic tissue and implications for cellular phone safety. *Biochem Biophys Res Commun* 1996; 227:718–723.

21. Cranfield CG, Wieser HG, Al Maddam J, Dobson J. Preliminary evaluation of nanoscale biogenic magnetite-based ferromagnetic transduction mechanisms for mobile phone bio-effects. *IEEE Trans NanoBioscience* 2003;2:40–43.
22. Woodward JR, Timmel CR, McLaughlan KA, Hore PJ. Radio frequency magnetic field effects on electron-hole recombination. *Phys Rev Letts* 2001;87: 077602 1–4.
23. 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.
24. 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.
25. 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
26. Suess MJ., Benwell-Morison DA.: Non-Ionizing Radiation Protection, second edition, WHO, 1989.
27. Lin JC. *Advances in Electromagnetic Fields in Living Systems*, New York, Volume 1, Plenum Press, 1994.
28. 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.

- 29.FCC (Federal Communication Commission) web sayfası [online].2011 [cited 2011 march 10] Available from: URL:www.fcc.gov/oet/rfsafety.
30. Telekomünikasyon Kurumu web sayfası [online]. 2011 [cited 2011 march 10] Available from: URL: www.tk.gov.tr
31. Matthes R. Non-Ionizing Radiation, Austria, ICNIRP–1/96, 1996.
32. ICNIRP 16/2009. Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological and health consequences (100 kHz-300 GHz), <http://www.icnirp.de/documents/RFReview.pdf>
33. Ahlbom A, Green A, Kheifets L, Savitz D, Swerdlow A; ICNIRP (International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection) Standing Committee on Epidemiology. Epidemiology of health effects of radiofrequency exposure. Environ Health Perspect 2004;112:1741-54.
- 34.Bilisim Toplumuna Giderken EM Kirlilik Etkileri Sempozyumu (1999). Bilisim Derneği Kitapçığı, Gazi Üniversitesi, Ankara, 11 Kasım.
- 35.Lai H, Singh NP. Melatonin and a spin-trap compound block radiofrequency electromagnetic radiation-induced DNA strand breaks in rat brain cells. Bioelectromagnetics 1997;18:446-54
- 36.Lai, H., Singh, N.P. Acute low-intensity microwave exposure increases DNA single-strand breaks in rat brain cells. Bioelectromagnetics, 1995;16: 207-210.
37. Lai, H., Singh, N.P. Single- and double-strand DNA breaks in rat brain cells after acute exposure to radiofrequency electromagnetic radiation. Int. J. Radiat. Biol., 1996;69: 513-521.
38. Robison JG, Pendleton AR, Monson KO, Murray BK, O'Neill KL. Decreased DNA repair rates and protection from heat induced apoptosis

mediated by electromagnetic field exposure. *Bioelectromagnetics* 2002;23(2):106-12

39. Reflex web sitesi [online]. 2008 [cited 2008 Feb 8] Available from: URL: http://www.stuk.fi/tutkimus/ionisoimaton_sateily/en_GB/reflex/

40. Blank M, Soo L, Lin H, Henderson AS, Goodman R. Changes in transcription in HL-60 cells following exposure to alternating currents from electric fields. *Bioelectrochem Bioenerg* 1992;28:301-9

41. Blank M, Goodman R. Do electromagnetic fields interact directly with DNA? 1997;18(2):111-5

42. Garaj-Vrhovac V, Fucic A, Horvat D. The correlation between the frequency of micronuclei and specific chromosome aberrations in human lymphocytes exposed to microwave radiation in vitro. *Mutation Res* 1992;281(3):181-6

43. Maes A, Verschave L, Arroyo A, DeWagter C, Vercruyssen L. In vitro cytogenetic effects of 2450 MHz waves on human peripheral blood lymphocytes. *Bioelectromagnetics* 1993;14:495-501.

44. 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.

45. 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.

46. Elder, J., Ocular Effects of Radiofrequency Energy, *Bioelectromagnetics Supplement*, v.6, p.148-161, 2003.

47. Şeker, S., Çerezci, O., Elektromagnetik Alanların Biyolojik Etkileri Güvenlik Standartları ve Korunma Yöntemleri, s. 6, 43-44, 104-106, 124, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, 1991.
48. Finnie JW, Blumbergs PC. Mobile Phones and Brain Vascular Leakage. Pathology. 2004; 36 (1): 96–97.
49. D’Andrea, J., Chou, C., Johnston, S., et al., Microwave Effects on the Nervous System, Bioelectromagnetics Supplement, v.6, p.107-147, 2003.
50. 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.
51. 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.
52. Frey AH, Feld SR. Avoidance by rats of illumination with low power non-ionizing electromagnetic energy. J. Comp. Physiol. Psychol. 1975; 89: 183–8.
53. İlhan A, Gurel A, Armutcu F, Kamilsı S, İraz M, Akyol O, Ozen S. Ginkgo biloba prevents mobile phone-induced oxidative stress in rat brain. Clinica Chimica Acta. 2004; 340: 153–162.
54. Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı web sayfası: www.iarc.fr/en/research-groups/RAD/RCAAd.html
55. Lahkola A, Auvinen A, Raitanen J et al. Mobile phone use and risk of glioma in 5 North European Countries. Int J Cancer 2007; 120:1769-75.
56. Merrit JH, Chamness AF, Hartzell RH, Allen SJ. Orientation Effects on Microwave Induced Hyperthermia and Neurochemical Correlates, J. Microwave Power. 1977; 12: 167-72.

57. Kramarenko AV, Tan U. Effects of High Frequency Electromagnetic Fields on Human EEG: A Brain Mapping Study. *Intern. J. Neuroscience*. 2003;113:1007–1019.
58. 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.
59. 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.
60. D'Andrea JA, Chou CK, Johnston SA, Adair ER. Microwave Effects on the Nervous System. *Bioelectromagnetics Supplement*. 2003; 6:107 -147.
61. 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.
62. Black, D., Heynick, L., RF Effects on Blood Cells, Cardiac, Endocrine, and Immunological Functions, *Bioelectromagnetics Supplement*, v.6, p.187-195, 2003.
63. 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.
64. Lotz WG, Podgorski P, Temperature and adrenocortical responses in rhesus monkeys exposed to microwaves. *J Appl Physiol* 1982;53:1565-71

- 65.L. Vollrath, R. Spessert, T. Kratzsch, M. Keiner, and H. Hollmann. No Short-Term Effects of High-Frequency Electromagnetic Fields on the Mammalian Pineal Gland. *Bioelectromagnetics* 1997;18(5):376-87
- 66.Özen Ş. Mikrodalga frekanslı EM radyasyona maruz kalan biyolojik dokularda oluşan ısı etkinin teorik ve deneysel incelenmesi. Doktora Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Y Müh, 2003
- 67.Fehmi Özgüner, Hakan Mollaoğlu, Manyetik alanın organizma üzerindeki biyolojik etkileri, S.D.Ü. Tıp Fak. Derg. 2006;13(1)/ 38-41
- 68.Allis JW,Sinha-Robinson BL.Temperature-specific inhibition of human cell Na⁺/K⁺ ATPase by 2450 MHz microwave radiation.*Bioelectromagnetics* 1987;8:203-7
69. Clearly SM, Liu, LM, Merchant RE. Glioma Proliferation Modulated in-vitro by Isothermal Radiofrequency Radiation Exposure. *Radiation Research*. 1990; 121: 38–45.
70. Liburdy RP. Radiofrequency radiation alters the immune system. II. Modulation of in vivo lymphocyte circulation. *Radiation Research*. 1980; 83: 66–73.
71. 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.
72. 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.

73. Dasdag S, Ketani MA, Akdag Z, Ersay AR, Sari I, Demirtas OC, et al. Whole-body microwave exposure emitted by cellular phones and testicular function of rats. *Urol Res* 1999;27(3):219-23
74. 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.
75. Sirav B, Seyhan N. Blood-Brain Barrier Disruption by Continuous-Wave Radio Frequency Radiation, *Electromagnetic Biology and Medicine* 2009; 28:215-22.
76. Gurbuz N, Sirav B, Uslu Yuvaci H et al. Is there any possible genotoxic effect in exfoliated bladder cells of rat under the exposure of 1800 MHz GSM-like modulated radio frequency radiation (RFR)?, *Electromagnetic Biology and Medicine* 2010;29(3):98-104.
77. Eşmekaya MA, Seyhan N, Ömeroğlu S. Pulse modulated 900 MHz radiation induces hypothyroidism and apoptosis in thyroid cells: a light, electron microscopy and immunohistochemical study.. *Int J Radiat Biol.* 2010 Dec;86(12):1106-16.
78. Ozgur E, Guler G, Seyhan N. Mobile phone radiation-induced free radical damage in the liver is inhibited by the antioxidants n-acetyl cysteine and epigallocatechin-gallate, *International Journal of Radiation Biology*, 2010, 86(11):935-45.
79. Tomruk A, Guler G, Dincel AS. The Influence of 1800 MHz GSM-like signals on hepatic oxidative DNA and lipid damage in nonpregnant, pregnant, and newly born rabbits. *Cell Biochem Biophys* (2010) 56:39–47.
80. Guler G, Tomruk A, Ozgur E, Seyhan N. The Effect of radiofrequency radiation on DNA and lipid damage in non-pregnant and pregnant rabbits

and their newborns, *General Physiology and Biophysics*, 2010, 29(1), 59-66.

81.Sirav B, Seyhan N. Evaluation of Radio Frequency Radiation from TV and Radio Antennas in a Pilot Region in Turkey. *Radiat. Prot. Dosimetry* 2009;136:114-7.

82. Nesrin SEYHAN, Elektromanyetik Kirlilik ve Sağlığımız, *Nöropsikiyatri Arşivi* 2010; 47: 158-61 *Archives of Neuropsychiatry* 2010; 47: 158-61.

83.Johnson CC, Guy AW. Nonionizing Elektromagnetic wave effects in Biological Materials and System: *Proc IEEE* 1972; 60: 692-718

84. Chou CK, Guy AW. Microwave and RF dosimetry. In Taylor LS, Cheung AY: Workshop on the Physical Basis of electromagnetic Interactions with Biological Systems. Proceedings of the Workshop Held at the University of Maryland, Collage Park, Md 1977; June 15-17; 165-216

85. Chou CK, Guy AW. Research on Nonionizing Radiation: Physical Aspects in Extrapolating Infra Human Data to Man. In Monathan JC,D'Andrea JA: Behavioral Effects of Microwave Radiation Absorption. Washington DC: HHS Publication FDA 85-8238 August 1985; 135-149

86. Stuchly MA, Stuchly SS. Experimental Radio and Microwave Dosimetry. In Polk C, Postow E, : Handbook of Biological Effects and Medical Applications of Elektromagnetic Fields. Boca Raton, FL: CRC Pres 1986; 229-272

87.Guy AW. Dosimetry Associated with Exposure to Nonionizing Radiation: very Low Frequency to Microwaves. *Health Phys* 1987;53: 569-584

- 88.Sırav 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.
- 89.İnsanların Elektromanyetik Alanlara Maruz Kalması-Yüksek Frekanslar (10 KHz-300 GHz), Türk Standartları Enstitüsü, TS ENV 50166-2, Nisan 1996.
- 90.The Complete SAR List For All Phones (Europe) online. 2011 cited 2011 Feb 10 Available from: URL: <http://www.sarvalues.com/eu-complete.html>
91. M.Z.Tüysüz, Cep Telefonu Maruziyeti kaynaklı RF dozimetrimin FDTD yöntemi ile belirlenmesi, Yüksek lisans Tezi, Ankara Gazi Üniversitesi 2007
92. Michaelson SM, Lin JC. Biological Effects and Health Implications of Radiofrequency Radiation, New York, Plenum Press, 1987.
- 93.Chou CK, Bassen H, Osepchuk J, Balzano Q, et al. Radio Frequency Elektromagnetic Exposure: Tutorial Review on Experimental Dosimetry. Bioelectromagnetics 1996; 17: 195-208
94. Durney CH, Massodi H, Iskander MF. Radiofrequency Radiation Dosimetry Hadbook. 4 th ed. Utah: (Report TR-85-73) Brooks Air Force Base,TX: USAF School of Aerospace Medicine; 1986.
95. Hagmann MJ, Gandhi OP, D’Andrea JA, Chatterjee I. Head resonance: Numerical solutions and experimental results. IEEE Trans. Microwave Theory Tech. 1979; 27(9): 809-813.

- 96.Gandhi OP, Hunt EL, D'Andrea JA. Deposition of Electromagnetic Energy in Animals and in Models of Man with and without grounding and Reflector Effects. Radio Sci 1977; 12(6s): 39-47
- 97.Gabriel C. Dielectric properties of biological tissue: variation with age. Bioelectromagnetics Supplement 2005; 7: 12-18.
- 98.Hitchcock RT, Patterson RM. Radio Frequency and ELF Electromagnetic Energies, New York, John Wiley & Sons Inc, 1994.
99. 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.
- 100.Ramid R, Cetintas M, Karacadag H, Gedik A, Yobn M, Celik M, Firlarer A. Measurement of Electromagnetic Radiation from GSM Base Stations [online]. 2011 [cited 2011 Jan 15] Available from:<http://ieeexplore.ieee.org/Xplore>
101. Sanalan Y. Nükleer Olmayan Radyasyon da Var. Elektromanyetik Kirlilik Etkileri Sempozyum Kitabı, 1-4, 1999.
- 102.A.Eken, İyonize Radyasyona Mesleki Olarak Maruz Kalmanın Toksikolojik Açıdan Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Ankara Gülhane Askeri Tıp Akademisi 2007
103. Miyaji, C.K., de Syllos Cólus, I.M., Cytogenetic biomonitoring of Brazilian dentists occupationally exposed to low doses of x-radiation, Pesqui Odontol Bras, 2002;16:3, 196-201
104. Akköse, A., Ömer, B., Yiğitbaşı, A., DNA damage and glutathione content in radiology technicians, Clin. Chim. Acta., 2003;336: 13-18.

- 105.Vera Garaj-Vrhovac and Nevenka Kopjar, The alkaline Comet assay as biomarker in assessment of DNA damage in medical personnel occupationally exposed to ionizing radiation, *Mutagenesis* 2003;18 (3):265–271.
106. Dinçer, Y., Akçay, T., DNA hasarı, *Türk Biyokimya Dergisi*, 2000;25:2, 73-79
107. Tuszynski, Jack A.Molecular and cellular biophysics ,Chapman & Hall/CRC, Boca Raton 2008
- 108.Atakan, Y., iyonlayıcı radyasyon, *Aylık popüler bilim dergisi Bilim ve Teknik*, 2-19, Nisan 2006.
109. Kovalchuk, O., Ponton, a., Filkowski, J., Kovalchuk, I., Dissimilar genome response to acute and chronic low-dose radiation in male and female mice, *Mut. Res.*, 2004;550: 59-72.
- 110.Maffei, F., Angelini, S., Forti, G.C., Violante, S.F., Lodi, V., Mattioli, S., Hrelia, P., Spectrum of chromosomal aberrations in peripheral lymphocytes of hospital workers occupationally exposed to low doses of ionizing radiation,*Mut. Res.*, 2004;547: 91-99
- 111.Little, J.B., Radiation carcinogenesis, *Carcinogenesis*, 21:3, 397-404,2000.
- 112.IARC Working group on the evaluation of carcinogenic risks to humans:ionizing radiation, Part I, X- and gamma radiation and neutrons, Lyon, France, 26 May-2 June 1999., *IARC Monogr Eval Carcinog Risks hum.*, 75,1-448, 2000.

113. Rana et.al., Electron Paramagnetic Spectroscopy in Radiation Research:Current Status and Perspectives,J. Pharm. Bioall. Sci, 2,vol.2,2010.
- 114.Ostling O, Johanson KJ. Microelectrophoretic study of radiation-induced DNA damages in individual mammalian cells. Biochem Biophys Res Commun 1984;123:291-8.
115. Garaj-Vrhovac V., Zeljezic D., Comet assay in the assessment of the human genome damage induced by γ -radiation in vitro, Radiol Oncol 2004; 38(1): 43-7.
- 116.Singh NP, McCoy MT, Tice RR, Schneider EL. A simple technique for quantitation of low levels of DNA damage in individual cells. Exp Cell Res 1988;175:184-91
- 117.Tice RR, Andrews PW, Hirai O, Singh NP. The single cell gel (SCG) assay: an electrophoretic technique for the detection of DNA damage in individual cells. Adv Exp Med Biol 1991;283: 157-164.
- 118.Tice RR, Agurell E., Anderson D., Burlinson B., Hartmann A., Kobayashi H., Miyamae Y., Rojas E., Ryu JC, Sasaki YF,Single Cell Gel/Comet Assay: Guidelines for In Vitro and In Vivo Genetic Toxicology Testing” Environmental and Molecular Mutagenesis 2000;35:206-221.
- 119.Olive PL, Banath JP, Durand RE. Heterogeneity in radiation induced DNA damage and repair in tumor and normal cells using the “comet” assay. Radiat Res 1990;122:86-94
120. Olive Peggy L.,The Comet Assay,An Overview of Techniques, From: Methods in Molecular Biology, vol. 203: In Situ Detection of DNA Damage: Methods and Protocols Edited by: V. V. Didenko, Humana Press Inc., Totowa, NJ.

121. Fairbairn DW, Olive PL, O'Neill KL. The comet assay: a comprehensive review. *Mutat Res* 1995;339: 37-59
122. McKelvey-Martin VJ, Green MH, Schmezer P, Pool-Zobel BL, De Meo MP, Collins A. The single cell gel electrophoresis assay (comet assay): a European review. *Mutat Res* 1993;288: 47-63
123. Tice RR, Andrews PW, Singh NP. The single cell gel assay: a sensitive technique for evaluating intercellular differences in DNA damage and repair. *Basic Life Sci* 1990;53:291-301.
124. Collins A, Dusinska M, Franklin M et al. Comet assay in human biomonitoring studies: reliability, validation, and applications. *Environ Mol Mutagen* 1997;30:139-46.
125. Lee RF, Steinert S. Use of the single cell gel electrophoresis/comet assay for detecting DNA damage in aquatic (marine and freshwater) animals. *Mutat Res* 2003;544:43-64.
126. Faust F, Kassie F, Knasmüller S et al. The use of the alkaline comet assay with lymphocytes in human biomonitoring studies. *Mutat Res* 2004;566:209-29.
127. Durdica Milkovic, Vera Garaj-Vrhovac, Mária Ranogajec-Komor, Saveta Miljanic, Goran Gajski, Zeljka Knezevic and Natko Beck, Primary DNA Damage Assessed With the Comet Assay and Comparison to the Absorbed Dose of Diagnostic X-rays in Children, *International Journal of Toxicology* 2009 28: 405.
128. Horoz M., Bolukbas, C., Bolukbas, F., Kocyigit, A., Aslan M., Koylu A.O., Gumus M., Celik H., Koksali M., Assessment of peripheral DNA damage by alkaline comet assay in maintenance hemodialysis subjects with hepatitis C infection, *Mutation Research/Fundamental and Molecular*

Mechanisms of Mutagenesis, 2006;Volume 596, Issues 1-2: Pages137-142.

129.Collins AR. The comet assay. Principles, applications, and limitations. Methods Mol Biol 2002;203: 163-177

130.Hartmann A, Agurell E, Beevers C, et al. 4th International Comet Assay Workshop. Recommendations for conducting the in vivo alkaline Comet assay. 4th International Comet Assay Workshop. Mutagenesis 2003;18:45-51.

131.Singh, N.P., Danner, D.E. Tice, R.R., Brant, L., Schneider, E.L., Single cell gel electrophoresis assay (comet assay): its importance in human biology, Mutat. Res. 1990;37 P:123.

132.Wertz, J.E and Bolton, J.R., 1972, Electron Spin Resonance - Elementary Theory and Practical Applications, McGraw - Hill Book Company ,USA.

133.Atherton,N.M., 1973, Electron Spin Resonance: theory and applications, Chister [Eng.] Horwood: Halsted Press, Newyork.

134.Semra TEPE, Işınlama Sonucunda Beta-laktam Grubu Bazı Antibiyotiklerde Oluşan Ara Ürünlerin ESR Yöntemi ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara,Hacettepe Üniversitesi, 2005.

135.Pilbrow, J.R., ESR Fundamentals, Appl. Radiat. Isot., 1996;47:11/12, 1465-1470.

136.Poole,C.P., 1967, Electron Spin Resonance, A Division of John Wiley, NewYork.

137.Ikeya, New Applications of ESR Dating, Dosimetry and Microscopy, 1993, Word Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

138.Şeyda Pembegül, γ -ışınlarıyla Işınlanmış Saç ve Tırnağın Elektron Spin Rezonans ile İncelenmesi, Yüksek lisans Tezi, Ankara, Hacettepe Üniversitesi, 1996.

139. Brady J.M., Aarestad N.O. and Swartz H. M., In vivo dosimetry by electron spin resonance. Health Phys. 1968; 15: 43–47.

140.Nakajima, T., 1989. Possibility of retrospective dosimetry for persons accidentally exposed to ionizing radiation using electron spin resonance of sugar and mother-of-pearl. BJR. 62, 148-153.

141.Müller, W. U. and Streffer C., 1991. Biological indicators for radiation damage. Int. J. Biol. 59, 4, 863-873.

142.Trivedi, A. and Greenstock, C. L.,. Use of sugars and hair for ESR emergency dosimetry. Appl. Radiat. Isot. 1993;44: 1-2, 85-90.

143.F. Trompier, C. Bassinet, S. Della Monaca, A. Romanyukha, R. Reyes and I. Clairand, Overview of Physical and Biophysical Techniques for Accident Dosimetry, Radiation Protection Dosimetry 2010;pp. 1–4.

144.Romanyukha, A., Mitchell, C. A., Schauer, D. A.,Romanyukha, L. and Swartz, H. M. Q-band EPR biodosimetry in tooth enamel microsamples: feasibility test and comparison with X-band. Health Phys. 2007;93: 631–635.

145.Dalgarno BG and McClymont JD. Evaluation of ESR as a radiation accident dosimetry technique. Appl. Radiat. Isot. 1989;40: 1013–1020.

146.Symons M, Chandra H and Wyatt JL. Electron paramagnetic resonance spectra of irradiated fingernails: a possible measure of accidental exposure. Radiat. Prot. Dosim. 1995;58, 11–15.

147. Trompier F, Kornak L, Calas C, Romanyukha A, Leblanc B, Mitchell CA, Swartz H and Clairand I. Protocol for emergency EPR dosimetry in fingernails. *Radiat. Meas.* 2007;42: 1085–1088.
148. Trompier, F., Romanyukha, A., Kornak, L., Calas, C., Leblanc, B., Mitchell, C., Swartz, H. and Clairand, I. Electron paramagnetic resonance radiation dosimetry in fingernails. *Radiat. Meas.* 2009;44: 6–10.
149. Romanuykha, A., Reyes, R., Trompier, F. And Benevides, L. Fingernail dosimetry: current status and perspectives. *Health Phys.* 2010;98(2): 296–300
150. Regulla, D. F. and Deffner, U. Dose estimation by ESR spectroscopy at a fatal radiation accident. *Appl. Radiat. Isot.* 1989;40:1039–1043.
151. Sagstuen, E., Theisen, H. and Henriksen, T. Dosimetry by ESR spectroscopy following a radiation accident. *Health Phys.* 1983;45: 961–968.
152. Herve, M. L., Trompier, F., Tikunov, D. D., Amouroux, V. and Clairand, I. Study of materials for mixed field dosimetry by EPR spectroscopy. *Radiat. Prot. Dosim.* 2006;120: 205–209.
153. Kinoshita, A., Jose, A. F. and Baffa, O. An attempt to use sweeteners as a material for accident dosimetry. *Health Phys.* 2010;98(2): 406–411.
154. Potten C. S., Geng L., Taylor P., Hair Medullary Cell Counts: A Simple and Sensitive Indicator of Radiation Exposure. *Int. J. Radiat. Biol.* 1990; 57(1): 13-21.
155. Kudynski R., Kunynska J. and Buckmaster, HA., The decay constant for irradiated human hair using EPR spectroscopy. *Appl. Radiat. Isot.* 1994;45 6:645 650.

- 156.Çolak, Şeyda., Özbey, T. An ESR study on biological dosimeters: Human hair. Radiation Measurements 2011; doi: 10.1016/j.radmeas.2010.12.002.
157. Potten C.S. , Cell Death (Apoptosis) in Hair Follicles and Consequent Changes in the Width of Hairs after Irradiation of Growing Follicles, Int. J.Radiat.Biology, 1985; 48(3) ,349-360.
158. Kist A.A., Radyuk R.I., Zhuk L.I., Pikul V.P. and Belyaev A.D., Human hair radioactivity in the Chernobyl area, Journal of Alloys and Compounds, 1994;213/214:81-85.
159. Valkovic V., Jaksic M., Watt F., Grime GW, Wells J, Hopewell JW, Effect of ionizing radiation on the trace element composition of hair, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B7S 1993; 173-176.
- 160.Commoner, B., Townsend, J. and Pake, G.E., Free radicals in biological materials. Nature. 1954;174, 4432: 689-691.
161. Swartz HM, Bolton JR and Borg DC, Biological Applications of Electron Spin Resonance,Wiley Interscience, New York, 1972.
- 162.Bilinska, B. On the structure of human hair melanins from an infrared spectroscopy analysis of their interactions with Cu²⁺ ions. Spectrochim. Acta Part A.2001;57:2525–2533.
- 163.Potten, C.S., Burt, P.A., Roberts, S.A., Deshpande, N.A., Williams, P.C., Ramsden, J. Changes in the cellularity of the cortex of human hairs as an indicator of radiation exposure. Radiat. Environ. Biophys., 1996;35: 121–125.
- 164.Pride, H.B., Tunnessen, W.W. Clinical Picture. Arch. F. Am. Med., 1996;5: www.archfammed.com on April 9, 2010.

165. Okoniewski, M., Stuchly, M. A. A study of the handset antenna and human body Interaction. *IEEE transactions on microwave theory and techniques*, 1996;44, 10:1855-1864.
166. Christ, A., Gosselin, M.C., Christopoulou, M., Kühn, S. and Kuster, N. Age-dependent tissue-specific exposure of cell phone users. *Phys. Med. Biol.*, 2010;55: 1767–1783.
167. Gandhi, Anita G. Genetic damage in mobile phone users: some preliminary findings. *Indian J. Hum. Genet.* , 2005;11: 99–104.
168. Lixia, S., Yao, K., Kaijun, W., Deqiang, L., Huajun, H., Xiangwei, G., Baohong, W., Wei, Z., Jianling, L. and Wei, W. Effects of 1.8-GHz radiofrequency field on DNA damage and expression of heat shock protein 70 in human lens epithelial cells. *Mutat. Res.* , 2006;602:135–142.
169. Verschaeve, L., Slaetes, D., Van Gorp, U., Maes, A., Vankerkom, J. In vitro and in vivo genetic effects of microwaves from mobile telephone frequencies in human and rat peripheral blood lymphocytes. In: *Proceedings of the COST 244 Meetings on Mobile Phone Communication and Extremely-Low-Frequency Field: Instrumentation and Measurements in Bioelectromagnetics Research*, Bled, Slovenia, edited by D. Simunic, 1994;pp. 74-83.
170. Phillips, J.L., Ivaschuk, O., Ishida-Jones, T., Jones, R.A., Campbell-Beachler, M., Haggren, W. DNA damage in Molt-4 T-lymphoblastoid cells exposed to cellular telephone radiofrequency fields in vitro. *Bioelectrochem. and Bioenergetics*, 1998;45: 103–110.
171. De Iuliis, G. N., Newey, R.J. , King, B.V., Aitken, R.J. () Mobile phone radiation induces reactive oxygen species production and DNA damage in human spermatozoa in vitro. 2009;Plos One 4(7) e6446.
172. Lai, H., Singh, N.P. Acute low-intensity microwave exposure

increases DNA single-strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics*, 1995;16: 207-210.

173. Lai, H., Singh, N.P. Single- and double-strand DNA breaks in rat brain cells after acute exposure to radiofrequency electromagnetic radiation. *Int. J. Radiat. Biol.*, 1996;69: 513-521.

174. Kesari, K.K., Behari, J., Kumar, S. Mutagenic response of 2.45 GHz radiation exposure on rat brain. *Int. J. Radiat. Biol.*, 2010;86 (4): 334-43.

175. Diem, E., Schwarz, C., Adlkofer, F., Jahn, O. and Ruediger, H.W. Non-thermal DNA breakage by mobile-phone radiation (1800 MHz) in human fibroblasts and in transformed GFSH-R17 rat granulose cells in vitro. *Mutat. Res.*, 2005;583: 178–183.

176. Speit, G., Schütz, P. and Hoffman, H. Genotoxic effects of exposure to radiofrequency electromagnetic field (RF-EMF) in cultured mammalian cells are not independently reproducible. *Mutat. Research*, 2007;626:42-47.

177. Zeni, O., Romano, M., Perrotta, A., Lioi, M.B., Barbieri, R., d'Ambrosio, G., Massa, R. and Scarfi, M.R. Evaluation of genotoxic effects in human peripheral blood leukocytes following an acute in vitro exposure to 900 MHz radiofrequency fields. *Bioelectromagnetics* 2005;26 :258–265.

178. Zeni, O., Chiavoni, AS, Sannino, A., Antolini, A., Forigo, D., Bersani, F., Scarfi, MR. Lack of genotoxic effects (micronucleus induction) in human lymphocytes exposed in vitro to 900 MHz electromagnetic fields. *Radiat. Res.* 2003;160: 152-158.

179. Scarfi, M.R., Freseigna, A.M., Villani, P., Pinto, R., Marino, C., Sarti, M., Altavista, P., Sannino, A., Lovisolo, G.A. Exposure to radiofrequency radiation (900 MHz, GSM signal) does not affect

micronucleus frequency and cell proliferation in human peripheral blood lymphocytes: an interlaboratory study. *Radiat Res.* 2006;165 (6): 655-63.

180.Stronati, L., Testa, A., Moquet, J., Edwards, A., Cordelli, E., Villan, P., Marino, C., Freseigna, AM, Appolloni, M. and Lloyd, D. 935 MHz cellular phone radiation ,an in vitro study of genotoxicity in human lymphocytes. *Int. J. Radiat. Biol.* 2006;82: 339–346.

181.Phillips, JL, Singh, NP and Lai, H. Electromagnetic fields and DNA damage. *Pathophysiology* 2009;16 (2-3): 79-88.

182.Hardell, L., Sage C. Biological effects from electromagnetic field exposure and public exposure standards. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 2008;62: 104-109.

183.Ames, BN. Endogenous oxidative DNA damage, aging, and cancer. *Free Radic. Res. Commun.* 1989;7:121–128.

184.Targovnik, HS, Locher, SE and Hariharan, PV. Age associated alterations in DNA damage and repair capacity in *Turbatrix acet*i exposed to ionizing radiation. *Int. J. Radiat. Bio.* 1985;47: 255-260.

185. Mullaart, E., Boerrigter, M.E., Boer, G. J., Vijg, J. Spontaneous DNA breaks in the rat brain during development and aging. *Mutat. Res.* 1990;237: 9-15.

186. Ames, B.N., Shigenaga, M.K., Hagen, T.M. Oxidants, antioxidants, and the degenerative diseases of aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1993;90: 7915 -7922.

187.Lu, Z., Fischer, T.W., Hasse, S., Sugawara, K., Kamenisch, Y., Krengel, S., Funk, W., Berneburg, M. and Paus R. Profiling the response of human hair follicles to ultraviolet radiation. *J. of Investigative Dermatology* 2009;129:1790–1804.

- 188.Sharpless, N.E. and DePinho, R.A. How stem cells age and why this makes us grow old. *Nature Reviews, Molecular Cell Biology* 2007;8: 703-713.
- 189.Nishimura, EK, Granter, SR, Fisher, DE. Mechanisms of hair graying: Incomplete melanocyte stem cell maintenance in the niche. *Science* 2005;307: 720-724.
- 190.El-Domyati, M., Attia, S., Saleh, F., Bassyouni M.I., El-Fakahany, H., Wahab H.A. Proliferation, DNA repair and apoptosis in androgenetic alopecia. *Journal European Academy of Dermatology and Venereology* 2009;23: 7–12.
- 191.Phillips, JL, Ivaschuk, O., Ishida-Jones, T., Jones, RA, Campbell-Beachler, M., Haggren, W. DNA damage in Molt-4 T-lymphoblastoid cells exposed to cellular telephone radiofrequency fields in vitro. *Bioelectrochem. and Bioenergetics* 1998;45: 103–110.
- 192.Sykes, PJ, McCallum, BD, Bangay, MJ, Hooker, AM and Morley, AA. Effect of exposure to 900 MHz radiofrequency radiation on intrachromosomal recombination in pKZ1 mice.*Radiat. Res.* 2001;156 (5): 495–502.
- 193.Straume A., Oftedal G. and Johnsson A. Skin temperature increase caused by a mobile phone: A methodological infrared camera study. *Bioelectromagnetics* 2005;26: 510-519.
- 194.Purschke, M., Laubach, H.J., Anderson, R. R. and Manstein, D. Thermal injury causes DNA damage and lethality in unheated surrounding cells: active thermal bystander effect. *J. Invest. Dermatol.* 2010;130:86-92.
195. Takahashi, A., Matsumoto, H., Nagayama, K., Kitano, M., Hirose, S., Tanaka, H., Mori, E., Yamakawa, N., Yasumoto, J., Yuki, K., Ohnishi,

K., and Ohnishi T. Evidence for the involvement of double-strand breaks in heat-induced cell killing. *Cancer Res.* 2004;64: 8839–8845.

196.Mashevich, M., Folkman, D., Kesar, A., Barbul, A., Korenstein, R., Jerby, E., Avivi, L. Exposure of human peripheral blood lymphocytes to electromagnetic fields associated with cellular phones leads to chromosomal instability. *Bioelectromagnetics* 2003;24: 82-90.

197.Malkinson FD, Keane JT. *J Invest Dermatol* 1981; 77: 133–138.

198.Malkinson FD, Geng L, Hanson WR. *J Invest Dermatol* 1993;101(1):135S–7S.

199.Baltarali B, Bir F, Demirkan N, et al. *Life Sci* 2006; 78: 1646–1651.

200. Rossler U., Hornhardt S., Seidl C., Muller-Laue E., L. Walsh, W. Panzer, E. Schmid,R. Senekowitsch-Schmidtke and M. Gomolka. The sensitivity of the alkaline comet assay in detecting DNA lesions induced by X rays,gamma rays and alpha particles. *Radiation Protection Dosimetry* 2006; Vol. 122, No. 1–4: 154–159

201. Olive PL. Impact of the comet assay in radiobiology. *Mutation Research* 2009;681:13–23.

202. Calini V., Urani C. and Camatini M. Comet assay evaluation of DNA single- and double-strand breaks induction and repair in C3H10T1/2 cells. *Cell Biology and Toxicology* 2002; 18: 369-379.

203.Billen, D., Spontaneous DNA Damage and Its Significance for the 'Negligible Dose' Controversy in Radiation Protection.*Radiat Res* 1990;124: 242-245.

204. Forchhammer L., Johansson C., Loft S., Lennart M., Godschalk RWL., Langie SAS, Jones GDD., Kwok RWL., Collins AR., Azquet A., Phillips DH., Sozeri O., Stepnik M., Palus J., Vogel U., Wallin H.,

Routledge MN., Handforth C., Allione A., Matullo G., Teixeira JP, Costa S., Riso P., Porrini M. and Møller P. Variation in the measurement of DNA damage by comet assay measured by the ECVAG inter-laboratory validation trial. *Mutagenesis* 2009;pp. 1–11.

205. Vrhovac VG, Kopjar N., Razem D., Vekic B., Miljanic S. and Ranogajec-Komor M., Application of the alkaline comet assay in biodosimetry: assessment of in vivo DNA damage in human peripheral leukocytes after a γ - radiation incident. *Radiation Protection Dosimetry* 2002;Vol. 98, No. 4: pp. 407–416.

206. Valverde M., Rojas E. Environmental and occupational biomonitoring using the Comet assay. *Mutation Research* 2009;681:93–109.

207. McKenna DJ., McKeown SR and McKelvey-Martin VJ. Potential use of the comet assay in the clinical management of cancer. *Mutagenesis* 2008;vol. 23 no. 3: 183–190.

208. Herrling T., Jung K., Fuchs J. The role of melanin as protector against free radicals in skin and its role as free radical indicator in hair. *Spectrochimica Acta Part A* 2008;69:1429–1435.

209. Wiewiora A. and Buszman E. Amino acid composition of human hair melanoproteins. *Acta Biochim Pol.* 1992;39, 1: 81-84.

210. Sarna T, Plonka P.M. Biophysical studies of melanin: paramagnetic, ion-exchange and redox properties of melanin pigments and their photoreactivity. In: Eaton S S, Eaton G R, Berliner L J, eds. *Biomedical ESR. Biological Magnetic Resonance Series*, The Netherlands-New York-Boston: Kluwer Academic Publishers. 2005; vol. 23:125–146.

211. Blois MS, Zahlan AB, Maling JE. Electron spin resonance studies on melanin. *Biophys J.* 1964; 4: 471–490.

- 212.Sealy R, Hyde J, Felix C et al. Novel free radicals in synthetic and natural pheomelanins: distinction between dopa melanins and cysteinyl-dopa melanins by ESR spectroscopy. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1982; 79: 2885–2889.
- 213.Chandra H., Symons MC. Sulphur radicals formed by cutting alpha-keratin. *Nature* 1987;328: 833–834.
- 214.Mamedov ShV, Aktaş B., Cantürk M., Aksakal B., Alekperov V., Bülbül F.,Yilgin R., Aslanov R B. The ESR signals in silk fibroin and wool keratin under both the effect of UV-irradiation and without any external effects and the formation of free radicals. *Biomaterials* 2002;23: 3405–3412.
- 215.Jastrzebska MM, Isotalo J, Paloheimo J, and Stubb H. Electrical conductivity of synthetic DOPA-melanin polymer for different hydration states and temperatures. *J. Biomater. Sci.Polym. Edn.* 1995; 7: 577–586.
- 216.Strzelecka T. A band model for synthetic DOP-melanin.*Physiol. Chem. Phys.* 1982;14: 219–222.
- 217.Sarna T., Korytowski W., Pasenkiewicz-Gierula M. and Gudowska E. Ion-exchange studies in melanins. In *Proceedings of the 11th International Pigment Cell Conference*, A. Seiji, Ed., Univ. Tokyo Press, 1981;23-29.
218. Sarna T., Hyde JS, Swartz HM. *Science* 1977;192: 1132-134.
219. Wilcox DE, Xiaoming H, Gui J, Ruuge AE, Li H, Williams BB, and Swartz HM. Dosimetry Based on EPR Spectral Analysis of Fingernail Clippings. *Health Phys.* 2010;98(2): 309.
- 220.Alexander GA, Swartz HM, Amundson SA, Blakely WF, Buddemeier B,Gallez B, Dainiak N, Goans RE, Hayes RB, Lowry PC, Noska M A,Okunieff P, Salner AL, Schauer DA, Trompier F, Turteltaub KW, Voisin

P,Wiley JrAL, Wilkins R. BiodosEPR-2006 Meeting: Acute dosimetry consensus committee recommendations on biodosimetry applications in events involving uses of radiation by terrorists and radiation accidents. Radiat. Meas. 2007;42: 972 – 996.

221. 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.

222. 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

223. 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.

224. Budak GG, Budak B, Oztürk GG, Muluk NB, Apan A, Seyhan N. Effects of extremely low frequency electromagnetic fields on transient evoked otoacoustic emissions in rabbits. Int J Pediatr Otorhinolaryngol. 2009 , 73(3):429-36.

225.Budak GG, Muluk NB, Budak B, Oztürk GG, Apan A, Seyhan N. Effects of intrauterine and extrauterine exposure to GSM-like radiofrequency on distortion product otoacoustic emissions in infant male rabbits.Int J Pediatr Otorhinolaryngol. 2009, 73(3):391-9.

226.Budak GG, Muluk NB, Budak B, Oztürk GG, Apan A, Seyhan N. Effects of GSM-like radiofrequency on distortion product otoacoustic

emissions of rabbits: comparison of infants versus adults. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2009 Aug;73(8):1143-7.

227. Budak GG, Muluk NB, Oztürk GG, Budak B, Apan A, Seyhan N, Sanli C. Effects of GSM-like radiofrequency on distortion product otoacoustic emissions in pregnant adult rabbits. *Clin Invest Med.* 2009 Apr 1;32(2):112-6.

228. Muluk NB., Budak GG., Budak B., Apan A., Ozturk G.G., Seyhan N.. (2011). Distortion product otoacoustic emissions in infant, pregnant and non-pregnant adult rabbits: comparison for different stimulus levels. *The Journal of International Advanced Otology*, 7(102-110).

229. Eşmekaya MA, Aytekin E, Ozgur E, Guler G, Ergun MA, Ömeroğlu S, Seyhan N. Mutagenic and morphologic impacts of 1.8 GHz Radiofrequency Radiation on human peripheral blood lymphocytes (hPBLs) and possible protective role of pre-treatment with Ginkgo Biloba (EGb 761). *Science of the Total Environment*, 2011; 410(59-64).

230. IARC. Cited 2011 december 15. available from: http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2011/pdfs/pr208_E.pdf

231. Seyhan N., Canseven A.G., Guler G., Tomruk A., Firlarer A., Cellular enzymatic activity and free radical formation in various tissues under static and ELF electric and magnetic field exposure. *Eur. J. Oncol.* 2010; 5, 157-176.

232. Seyhan N., Guler G., Canseven A., Sirav B., Ozgur E., Tuysuz M.Z. Investigation on blood-brain barrier permeability and collagen synthesis

under radiofrequency radiation exposure and SAR simulations of adult and child head. Eur. J. Oncol. 2010; 5, 319-332.

233.Seyhan N., Firlarer A., Canseven A.G., Özden S., Tepe Çam S. Occupational EMF exposure measurements in different work environments. Eur. J. Oncol. 2010; 5, 379-386.

234.Tepe Çam S, Firlarer A, Ozden S, Canseven AG, Seyhan N. Occupational Exposure to Magnetic Fields from Transformer Stations and Electric Enclosures in Turkey, Electromagnetic Biology and Medicine, 2010, 2011; 30(2):74-9.

235.Guler G., Tomruk A., Ozgur E., Şahin D.,Sepici A., Altan N., Seyhan N. The effect of radiofrequency radiation on DNA and lipid damage in female and male infant rabbits, Int. J. Rad.Biol. (doi: 10.3109/09553002.2012.646349)

10. EKLER

10.1. Tüm Gruplarda Maruz Kalınan RF Alan Verilerinin İstatistiksel Analizi

Kuyruk uzunluğu verileri

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	control	18,4812	8	5,53704	1,95764
	NIR15min	31,9762	8	7,11912	2,51699

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	control	19,1650	8	6,49217	2,29533
	NIR30min	37,1738	8	7,39861	2,61580

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	NIR15min	31,9762	8	7,11912	2,51699
	NIR30min	37,1738	8	7,39861	2,61580

Kuyruk momenti verileri

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	TMcontrol	2,3331E5	8	56308,76979	19908,15648
	TM15min	3,1868E5	8	48847,90090	17270,34099

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	TMcontrol	2,4307E5	8	56023,74475	19807,38491
	TM30min	3,5061E5	8	41852,28520	14797,01734

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	TM15min	3,1868E5	8	48847,90090	17270,34099
	TM30min	3,5061E5	8	41852,28520	14797,01734

Tüm Gruplarda Paired t-test sonuçları (Gruplar birbirinden farklı, $p < 0.05$)

Kuyruk uzunluğu verileri

Paired Samples Test

		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower				Upper
Pair 1	control - NIR15min	-1,34950E1	5,69794	2,01453	-18,25860	-8,73140	-6,699	7 ,000	

Paired Samples Test

		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower				Upper
Pair 1	control - NIR30min	-1,80088E1	7,01880	2,48152	-23,87661	-12,14089	-7,257	7	,000

Paired Samples Test

		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower				Upper
Pair 1	NIR15min - NIR30min	-5,19750	2,29825	,81255	-7,11888	-3,27612	-6,397	7	,000

Kuyruk momenti verileri

Paired Samples Test

		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower				Upper
Pair 1	TMcontrol - TM15min	-8,53701E4	38644,78250	13662,99388	-1,17678E5	-53062,27832	-6,248	7,000	

Paired Samples Test

		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference			
					Lower Upper			
Pair 1	TMcontrol - TM30min	-1,07542E5	59481,81119	21029,99603	-1,57270E5 -57813,83638	-5,114	7	,001

Paired Samples Test

		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference			
					Lower Upper			
Pair 1	TM15min - TM30min	-3,19302E4	24558,17852	8682,62728	-52461,40104 -11399,09896	-3,677	7	,008

10.2. Tüm Gruplarda Maruz Kalınan Gama Radyasyonu Verilerinin İstatistiksel Analizi

Kuyruk uzunluğu verileri

Paired Samples Statistics

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 IR0	15,38	5	4,787	2,141
IR0.5	27,62	5	2,328	1,041

Paired Samples Statistics

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 IR0	15,3780	5	4,78654	2,14061
IR1	33,2240	5	5,42725	2,42714

Paired Samples Statistics

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 IR0	15,3780	5	4,78654	2,14061
IR2	41,7720	5	5,23927	2,34307

Paired Samples Statistics

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 IR0	15,3780	5	4,78654	2,14061
IR3	50,6800	5	7,63426	3,41415

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	IR0.5	27,6240	5	2,32768	1,04097
	IR1	33,2240	5	5,42725	2,42714

Kuyruk momenti verileri

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	IR0	1,2600	5	,45607	,20396
	IR0.5	2,5800	5	,16432	,07348

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	IR0	1,2600	5	,45607	,20396
	IR1	3,0520	5	,25956	,11608

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	IR0	1,2600	5	,45607	,20396
	IR2	3,3800	5	,24617	,11009

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	IR1	3,0520	5	,25956	,11608
	IR2	3,3800	5	,24617	,11009

Tüm Gruplarda Paired t-test sonuçları (Gruplar birbirinden farklı, $p < 0.05$)

Kuyruk uzunluğu verileri

Paired Samples Test

		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference			
					Lower Upper			
Pair 1	IR0 - IR0.5	-12,246	5,286	2,364	-18,809 -5,683	-5,181	4	,007

Paired Samples Test

		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference			
					Lower Upper			
Pair 1	IR0 - IR1	-1,78460E1	9,39588	4,20197	-29,51253 -6,17947	-4,247	4	,013

Paired Samples Test

		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower				Upper
Pair 1	IR0 - IR2	-2,63940E1	7,70055	3,44379	-35,95549	-16,83251	-7,664	4 ,002	

Paired Samples Test

		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower				Upper
Pair 1	IR0 - IR3	-3,53020E1	9,47188	4,23595	-47,06290	-23,54110	-8,334	4 ,001	

Paired Samples Test

		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower				Upper
Pair 1	IR0.5 - IR1	-5,60000	4,19986	1,87823	-10,81481	-,38519	-2,982	4 ,041	

Kuyruk momenti verileri

Paired Samples Test

		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference			
					Lower Upper			
Pair 1	IR0 - IR0.5	-1,32000	,47645	,21307	-1,91158	-,72842	-6,195	4 ,003

Paired Samples Test

		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference			
					Lower Upper			
Pair 1	IR0 - IR1	-1,79200	,66646	,29805	-2,61952	-,96448	-6,012	4 ,004

Paired Samples Test

		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower				Upper
Pair 1	IR0 - IR2	-2,12000	,60050	,26855	-2,86562	-1,37438	-7,894	4 ,001	

Paired Samples Test

		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower				Upper
Pair 1	IR1 - IR2	-,32800	,11077	,04954	-,46554	-,19046	-6,621	4 ,003	

10.3. Etik Kurul Onayı



T.C
GAZİ ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ KURUMSAL ARAŞTIRMA DEĞERLENDİRME KOMİSYONU
GAZİ UNIVERSITY MEDICAL FACULTY INSTITUTIONAL REVIEW BOARD
ANKARA-TÜRKİYE
ARAŞTIRMA BAŞVURUSU ONAYI

BAŞVURU BİLGİLERİ	PROTOKOL ADI SORUMLU ARAŞTIRICI UNVANI, / ADI Belge Adı ARAŞTIRMA PROTOKOLÜ	"Keratin İçeren Biyolojik Örneklerin Değişik Tür ve Enerjilerdeki Radyasyonların Yaratılan Dozların Ölçülmesinde Dozimetre olarak Kullanım Potansiyellerinin Araştırılması" Prof.Dr.Nesrin Seyhan Tarihi / değişiklik No.su Dili Türkçe				
DEĞERLENDİRİLEN İLGİLİ BELGELER	Karar No:104	Tarih: 25 Haziran 2010				
KARAR BİLGİLERİ	Üniversitemiz Tıp Fakültesinde yapılması tasarlanan ve yukarıdaki künyede kayıtlı araştırma projesine ait dosya etik açıdan incelenmiş, araştırmanın gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemler yönünden uygun olduğuna karar verilmiştir.					
KURUMSAL ARAŞTIRMA DEĞERLENDİRME KOMİSYONU BİLGİLERİ						
ÇALIŞMA ESASI	İYİ KLİNİK UYGULAMALAR KILAVUZU (2010 Versiyonu), BİYOTİK SÖZLEŞMESİ, KLİNİK ARAŞTIRMALAR HAKKINDA YÖNETMELİKTE DEĞİŞİKLİK YAPILMASINA DAİR YÖNETMELİK(11 Mart 2010 tarih ve 27518 sayılı)					
ÜYELER						
Unvanı / Adı / Soyadı Ek Üyeliği	Uzmanlık Dalı	Kurumu	Cinsiyeti	İlişki (*)	Katılım (**)	İmza
Prof.Dr.Aynur OĞUZ BAŞKAN	Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları- Çocuk Onkoloji	G.Ü.T.F. Çocuk Sağ.ve Hast.A.D.	K	x	E	Katılmadı
Prof.Dr.Canar ULUOĞLU BAŞKAN YRD.	Tıbbi Farmakoloji	G.Ü.T.F. Tıbbi Farmakoloji A.D.	K	x	E	
Prof.Dr.Sefer AYCAN ÜYE	Halk Sağlığı	G.Ü.T.F. Halk Sağlığı A.D.	E	x	E	
Prof.Dr.Çağatay ÇİFTER ÜYE	Genel Cerrahi	G.Ü.T.F. Genel Cerrahi A.D.	E	x	E	Katılmadı
Prof.Dr.Aysel ARICIOĞLU ÜYE	Tıbbi Biyokimya	G.Ü.T.F. Tıbbi Biyokimya A.D.	K	x	E	Katılmadı
Prof.Dr.Mustafa KAVUTÇU ÜYE	Tıbbi Biyokimya	G.Ü.T.F. Tıbbi Biyokimya A.D.	E	x	E	
Prof.Dr.Öznur L. BOYUNAĞA ÜYE	Radyoloji	G.Ü.T.F. Radyoloji A.D.	K	x	E	
Prof.Dr.Gonca AKBULUT ÜYE	Fizyoloji	G.Ü.T.F. Fizyoloji A.D.	K	x	E	Katılmadı
Prof.Dr.Gülşen GÜZ ÜYE	İç Hastalıkları - Nefroloji	G.Ü.T.F. İç Hast.A.D.Nefroloji B.D.	E	x	E	
Doç.Dr.Nesrin ÇOBANOĞLU ÜYE	Tıp Tarihi ve Etik	G.Ü.T.F. Tıp Tarihi ve Etik A.D.	K	x	E	
Doç.Dr.Ayhan POYRAZ ÜYE	Tıbbi Patoloji	G.Ü.T.F. Tıbbi Patoloji A.D.	K	x	E	Katılmadı
Doç.Dr.Birol DEMİREL ÜYE	Adli Tıp	G.Ü.T.F. Adli Tıp A.D.	E	x	E	
Hukuk Müşaviri Adem GELİR ÜYE	Hukuk Müşaviri	G.Ü. Rektörlük Hukuk Müşavirliği	E	x	E	

* Araştırma ile ilişkili
 ** Toplantıda Bulunma

11. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	Semra TEPE ÇAM
Doğum Yeri ve Tarihi	Eskişehir, 1979
Medeni Durumu	Evli
İletişim Adresi ve Tel	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (SANAEM) Teknoloji Böl./Dozimetri Birimi Saray Mah. Atom Cad. 06983 Ankara-TÜRKİYE Tel: 0312 810 15 00 / 1711 stepe06@gmail.com - semra.cam@taek.gov.tr
Eğitim	Ph.D. (2011), Biyofizik, Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Ab.D.,Ankara M.Sc. (2005), Biyofizik, Wroclaw Teknoloji Üniversitesi Fizik Enstitüsü, Polonya M.Sc. (2005), Fizik Mühendisliği, Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ,Ankara B.Sc. (2002), Fizik, ODTÜ, Ankara Hoca Ahmed Yesevi Super Lisesi, Eskişehir
Yabancı Dil	İngilizce
Bilgisayar	Origin, Chem Draw C++ , C Programlama Dilleri
Mesleki Deneyimleri	2007 – Sürüyor – Fizikçi, SANAEM/ TAEK 2006-2007- Araştırma Görevlisi, Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Ab.D. 2004-2005- Araştırmacı, Wroclaw Teknoloji Üniversitesi Fizik Enstitüsü Biyofizik Ab.D. 2002-2005 Araştırma Görevlisi, Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği 2001-2002-Operatör, ODTÜ Fizik Computational Laboratuvarı.
Üye Olduğu Bilimsel Kuruluşlar	ODTÜ Mezunları Derneği
Bilimsel İlgili Alanları	İyonize ve Non-iyonize Radyasyonun Biyolojik Etkileri, İyonize ve Non-iyonize Radyasyon Kaynakları Gama ve RadyoFrekans Radyasyonun Dokularda Oluşturduğu DNA Kırıkları Kaza Dozimetrisi, Biyolojik Dozimetri Işınlanmış Gıdaların Tespiti Elektron Spin Rezonans Spektroskopisi Comet Assay Analiz Tekniği Elektromanyetik Alan Ölçümleri ve Sağlık Açısından Değerlendirilmesi
Projeler	“İnsanların Çevrelerinde Bulunması Muhtemel Çeşitli Materyallerin Kaza Dozimetrisi Olarak Kullanılabilirliklerinin Lüminesans (TL/OSL) ve Elektron Spin Rezonans (ESR) Yöntemleri ile Araştırılması ” TAEK, A3.H2.P1.02

“Nükleer ve Analitik Teknikler Kullanılarak Arkeolojik, Jeolojik ve Organik Kökenli Numunelerin Tarihlendirilmesi” TAEK A3.H1.P3.01

“Işınlama Sonucunda Beta-Laktam Grubu Bazı Antibiyotiklerde Oluşan Araürünlerin Elektron Spin Rezonans Yöntemi ile İncelenmesi” Hacettepe Ün., Yüksek Lisans Tezi.

“EPR Study of the Water Hemoglobin Solution Viscosity”, Wroclaw Univ. of Technology, Poland

“Study of Optoelectronics Features of magnetic Field Sensors Based on Faraday Effect and its Applications”, METU Physics

“Determinations of the Hydrogen Atoms ejected from an accelerator into a target staying at a certain distance and simulation of the data obtained”, METU Physics

“Preparation of Computer Programme using Blackbody Radiation data as a input and construction a web site”, METU Physics

Kurs ve Eğitimler

29 Ocak 2009 TS EN ISO/IEC 17025 Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yeterliliği için Genel Şartlar, SANAEM, TAEK.

17-19 Haziran 2008 Radyasyondan Korunma Eğitimi (genel-açık/kapalı kaynaklar), SANAEM, TAEK.

8-13 Haziran 2008 Cell Model Systems Summer School “Advanced Topics in Cell Model Systems”, CNR-National Research Council, Rome, Italy.

24 Ocak 2008 İş Sağlığı ve İş Güvenliği Eğitimi, SANAEM

22 Ekim 2007 AB 7.Çerçeve Programı Türkiye Forumu-4, Proje Fikirleri “Enerji, Sanayi-Akademi işbirliği”, TÜBİTAK

25 Temmuz 2007 AB 7.Çerçeve Programı Araştırmacıların Dolaşımı “Üniversiteler ve Araştırma Merkezlerine ve söz konusu kuruluşlardaki Araştırmacılara Sunulan Fırsatlar”, 2.Grup Odak Çalıştayı Proje Yazma, Finansal Konular ve Elektronik Başvuru Sistemi Eğitimi, TÜBİTAK

13 Temmuz 2007 AB 7.Çerçeve Programı Araştırmacıların Dolaşımı “Kamu Kurumlarına ve Kamu Kurumlarında Bulunan Araştırmacılara Sunulan Fırsatlar”, Kamu Kurumları 1.Grup Odak Çalıştayı, TÜBİTAK

	12 Mayıs 2007 İşçi Sağlığı ve İş Güvenliğinde Risk Değerlendirilmesi ve Eğitimi – Gazi Ün. Tıp Fak.
Bilimsel Kongre ve Toplantılar	12-16 Ekim 2009 NATO-RTA: ‘Prof.Dr.Henry LAI- “Biological Effects of Nonionizing Electromagnetic Fields - Mobile Phones”, Gazi Biyofizik-Gazi Non-iyonizan Radyasyondan Korunma Merkezi (GNRK) 5-9 Ekim 2009 2nd International Biophysics Congress and Biotechnology at GAP&21st National Biophysics Congress,Diyarbakır,Turkey 5-7 Mayıs 2008 NATO-RTA: ‘Prof.Dr.James C.LIN- “Mechanisms for Interaction between RF Fields and Biological Tissue”, Gazi Biyofizik-Gazi Non-iyonizan Radyasyondan Korunma Merkezi (GNRK) 26-28 Mart 2008 Dr. Livio Giuliani ,“The CNR-ISPEL Apparatus for Culturing Eukaryotic and/or Prokaryotic Cells Patent WO/2007/004073”, Gazi Biyofizik-Gazi Non-iyonizan Radyasyondan Korunma Merkezi (GNRK) 10-12 Mart 2008 NATO-RTA: ‘Prof.Dr.Kenneth FOSTER- Biophysical Mechanism of Interaction and dosimetry:RF and ELF fields’, Gazi Biyofizik-Gazi Non-iyonizan Radyasyondan Korunma Merkezi (GNRK) 22-23 Kasım 2007 NATO RTO HFM-145 Ölümcül Olmayan Savunma Teknolojilerinin İnsan Üzerine Etkileri (Human Effects on Non-Lethal Technologies), Gülhane Askeri Tıp Akademisi 16-18 Ekim 2007 Manyetik Rezonans Spektroskopisindeki Son Gelişmeler, Hacettepe Üniversitesi ,Beytepe,Ankara 01-05 Ekim 2007 NATO-RTA: ‘Dr.Andreas Bitz- Experimental Exposure Systems’, Gazi Biyofizik-Gazi Non-iyonizan Radyasyondan Korunma Merkezi (GNRK) 6-9 Kasım 2006 Metu Center Workshop on Modern Electron Paramagnetic Resonance (EPR) Spectroscopy-ODTÜ Merkezi Lab., Ankara.
Yayınlar	Tepe Çam S, Seyhan N, Single-strand DNA breaks in human hair root cells exposed to mobile phone radiation, International Journal of Radiation Biology, basım aşamasında. Tepe Çam S, Firlarer A, Ozden S, Canseven AG, Seyhan N. Occupational Exposure to Magnetic Fields from Transformer Stations and Electric Enclosures in Turkey, Electromagnetic Biology and Medicine, 2011, Vol. 30, No. 2 : Pages 74-79

Seyhan N., Fırlarer A., Canseven A.G., Özden S., **Tepe Çam S.** Occupational EMF exposure measurements in different work environments. Eur. J. Oncol. 2010; 5, 379-386.

Semra Tepe Cam, Birol Engin, Identification of irradiated sage tea(*Salvia officinalis*L.) by ESR spectroscopy, Radiation Physics and Chemistry, vol.79, No.4, April 2010, 540-544.

Semra Tepe Cam, Mustafa Polat, Mustafa Korkmaz, Radiation Sensitivity and Dosimetric Features of Sultamicillin Tosylate: An ESR Study, Radiation Effects&Defects in Solids, Vol.164, No.2, February 2009, 90-100.

Semra Tepe, Mustafa Polat, Mustafa Korkmaz, Molecular Damages Produced By Gama Radiation in Solid Piperacillin Monohydrate:An ESR Investigation , Radiation Effects&Defects in Solids, Vol.162, No.9, September 2007, 658-669

Semra Tepe, Mustafa Polat, Mustafa Korkmaz, Effects of Radiation on Carbapenems: ESR identification and dosimetric features of gamma irradiated solid meropenem trihydrate, Radiation Effects&Defects in Solids, Vol.161, No.11, November 2006, 653-664

Yüksek Lisans Tezi: Işınlama Sonucunda Beta-Laktam Grubu Bazı Antibiyotiklerde Oluşan Araürünlerin Elektron Spin Rezonans Yöntemi ile İncelenmesi (Danışman: Prof.Dr. Mustafa KORKMAZ)

Bildiriler

S.Tepe Çam, C.Aydaş, B.Engin, T.Aydın, Işınlanmış Defne Yaprığı Örneklerinin ESR Tekniği ile Belirlenmesi, TFD 27 - Türk Fizik Derneği 27. Uluslararası Fizik Kongresi, İstanbul, 14 - 17 Eylül 2010, sözlü sunum.

C.Aydaş, B.Engin, S.Tepe Çam, T.Aydın, Gama Işınları ile Işınlanmış Karides Örneklerinin ESR Tekniği ile Tespiti ve Işınlama Doz Değerlerinin Belirlenmesi, TFD 27 - Türk Fizik Derneği 27. Uluslararası Fizik Kongresi, İstanbul, 14 - 17 Eylül 2010, sözlü sunum.

U.R.Yuce, S.Tepe Çam, Arkeolojik Yanmış Tuğla Örneğinin OSL Tekniği ile Tarihlendirilmesi, LÜML-DOZ IV, Lüminesans Dozimetri Kongresi , Gaziantep, 20-22 Eylül 2010, sözlü sunum.

Tepe Çam, Semra , Seyhan, Nesrin, Korkmaz, Mustafa , The Investigation of Hair&Hair Root Cells for Dose Estimation by ESR and Comet Assay Techniques, 2nd

International Biophysics Congress and Biotechnology at
GAP&21st National Biophysics
Congress,Diyarbakır,Turkey,2009 oral presentation.

Tepe Çam, Semra , Seyhan,Nesrin, Assessment of DNA
Damage Induced by Mobile-phone Radiation in Hair
Root Cells in vitro, 2nd International Biophysics
Congress and Biotechnology at GAP&21st National
Biophysics Congress,Diyarbakır,Turkey,2009 poster
presentation.

A.Fırlarer, S. Tepe Çam, S. Özden, A.G. Canseven,
N.Seyhan,Occupational 50 Hz Magnetic Field Exposure
Measurements in The Electric Utility Work Environments,
1st international congress on occupational risk on health
care sector,Madrid, Spain, 28-30 Oct. 2009, oral
presentation.

M. Mróz, A. Dyrda,S. Tepe, L. Chludzińska, M.
Komorowska, I. Bernhardt, T. Misiaszek, Hemoglobin
Response to Near-infrared Radiation,
11th European Conference on Spectroscopy of
Biological Molecules, 2005, Germany, poster.

Semra Tepe Çam, Nesrin Seyhan, Arzu Fırlarer, Semih
Özden, EMF Exposure Survey in Working Environment
Located Above or Close to Transformer Stations and
Electric Enclosures, 12th International Congress of the
Radiation Protection Association, Buenos Aires,
Argentina, 19-24 Oct. 2008, full paper.

A.Fırlarer, S.Özden, , S.Tepe Çam, A.Canseven
Kurşun,N.Seyhan, ELF magnetic fields measurements in
an urban area nearby high power lines, Proceedings of
12th International Congress of the Radiation Protection
Association, Buenos Aires, Argentina, 19-24 Oct. 2008.

Tepe Çam Semra , Güler Göknur , Seyhan Nesrin, N-
acetyl L-cysteine depress 50 Hz electric field-induced
lung impairment in guinea pigs:Assessment of heme
oxygenase-1, protein carbonyl content,
malondialdehyde, nitric oxide, hydroxyproline, 2nd
International Conress on Cell Membranes and Oxidative
Stress: Focus on Calcium Signaling and TRP Channels
2008, Isparta, poster presentation.

A.Fırlarer, S.Tepe Çam, S.Özden, A.Canseven
Kurşun,N.Seyhan, Power Lines ELF-MF Measurements
Results: International Approachs, Status of Turkey and
GNRK's Recommendations, 19.National Biophysics
Congress, 5-7 Sept. 2007, Konya, Oral presentation.
