

T.C.
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TIBBİ BİYOLOJİ ANA BİLİMDALI

**900 - 1800 MHz RADYOFREKANS ELEKTROMANYETİK
ALANIN (RF-EMA) İNSAN FETAL HÜCRE
KÜLTÜRLERİNDE KROMOZOMLAR ÜZERİNE
ETKİLERİ**

İnayet Nur USLU

**TIBBİ BİYOLOJİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI YÜKSEK LİSANS
TEZİ**

**DANIŞMANI
Prof. Dr. Osman DEMİRHAN**

ADANA-2014

T.C.
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TIBBİ BİYOLOJİ ANA BİLİMDALI

**900 - 1800 MHz RADYOFREKANS ELEKTROMANYETİK
ALANIN (RF-EMA) İNSAN FETAL HÜCRE
KÜLTÜRLERİNDE KROMOZOMLAR ÜZERİNE
ETKİLERİ**

İnayet Nur USLU

**TIBBİ BİYOLOJİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI YÜKSEK LİSANS
TEZİ**

**DANIŞMANI
Prof. Dr. Osman DEMİRHAN**

**Bu tez, Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından TF2012YL3 no'lu proje
olarak desteklenmiştir.**

**Tez No:.....
ADANA-2014**

KABUL VE ONAY

Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı

Tıbbi Biyoloji Yüksek Lisans Programı Çerçevesinde yürütülmüş olan
“900-1800 MHz Radyofrekans Elektromanyetik Alanın (RF-EMA) İnsan Fetal Hücre Kültürlerinde
Kromozomlar Üzerine Etkileri”
adlı çalışma, aşağıdaki jüri tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tarihi: 24 / 07 / 2014

TEZ SINAV JÜRİSİ


Prof. Dr. Osman DEMIRHAN
Çukurova Üniversitesi
Başkan


Prof. Dr. H. Ömit LÜLEYAP
Çukurova Üniversitesi
Üye


Prof. Dr. Mustafa EMRE
Çukurova Üniversitesi
Üye

Dr.
Üniversitesi
Üye

Dr.
Üniversitesi
Üye

Yukarıdaki Tez, Yönetim Kurulunun / / tarih ve
edilmiştir.

sayılı kararı ile kabul

Prof. Dr. Şeref ERDOĞAN
Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimim boyunca bana yol gösteren, tez konumun seçilmesinde ve çalışmamın her aşamasında beni destekleyen danışman hocam sayın Prof.Dr. Osman DEMİRHAN'a, RF jeneratörünün temininde ve teknik donanım eksikliğinin giderilmesinde iyi niyetlerini ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Biyofizik Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Prof. Dr. Mustafa EMRE'ye en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasının yürütülmesinde yardım ve desteklerini esirgemeyen ve yüksek lisans eğitimime katkıda bulunan Anabilim Dalımız değerli Öğretim Üyelerinden, Prof.Dr. Mülkiye KASAP'a, Prof. Dr. Halil KASAP'a, Prof. Dr. Davut ALPTEKİN'e, Anabilim Dalı Başkanımız Prof. Dr. Ümit LÜLEYAP'a, Prof. Dr. Ayfer PAZARBAŞI'NA ve Doç. Dr. Mehmet Bertan YILMAZ'a tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Çalışmalarımın her aşamasında bana yardımcı olan sevgili arkadaşlarım Ar.Gör. Seda ILGAZ'a, Ar.Gör. Lutfiye ÖZPAK'a, Dok. Öğr.Gamze CÖMERTPAY'a, Dok. Öğr. Şerife ERDEM'e, Yük. Lis. Öğr. Nesrin ÇETİNEL'e ve Yük. Lis. Öğr. Eylül AKBAL'a teşekkür ederim.

Çalışmamın istatistiksel analizlerini yaparken yardımını esirgemeyen Prof. Dr. Gülşah SEYDAOĞLU'na ve Uz. Bio. Nurşen KESER'e teşekkür ederim.

Bu tez çalışması TF2012YL3 numaralı proje ile Ç.Ü. Rektörlüğü Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir.

Son olarak, sevgilerini hiç bir zaman esirgemeyen, her konuda arkamda duran, destekleri ile beni cesaretlendiren biricik aileme sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİ	3
2.1. Elektrik Alan	3
2.2. Manyetik Alan	3
2.3. Elektromanyetik Alan ve Dalgalar	5
2.3.1. Elektromanyetik Dalgalar	5
2.3.1.1. Frekans	6
2.3.1.2. Dalgaboyu	7
2.3.2. Elektromanyetik Alan Oluşturan Kaynaklar	7
2.4. Elektromanyetik Spektrum	8
2.4.1. Elektromanyetik Spektrumun İyonize Bölgesi	11
2.4.2. Elektromanyetik Spektrumun İyonize Olmayan Bölgesi	12
2.5. EMA'nın Biyolojik Etki Mekanizmaları	12
2.5.1. Termal Etkiler	12
2.5.2. Termal Olmayan Etkiler	13
2.5.2.1. Elektrik Alan Etkileri	14
2.5.2.1.1. Protein Yapısına Etkileri	14
2.5.2.1.2. Liganda Bağlanmadaki Değişim	14
2.5.2.1.3. Hücreler Arası Çekim Kuvvetinin Artması	14
2.5.2.1.4. Düşük Frekanslı Elektrik Alanların Bozunumu	14
2.5.2.2. Manyetik Alan Etkileri	14

2.6. RF Alanlar ve Biyolojik Dokularla Etkileşimi	15
2.6.1. RF Alanların Fiziksel Karakteristikleri	15
2.6.1.1. Mobil Telefonlar	15
2.6.1.1.1. Cep Telefonları ve SAR Değerleri	17
2.6.1.1.2. Uluslar arası Standartlar ve Sınır Değerler	17
2.6.2. RF Alanların Biyolojik Etkileşimleri	18
2.7. Özgül Soğurma Oranı SAR	19
2.8. RF Elektromanyetik Alanların (RF-EMA) Biyolojik Etkileri	20
2.9. Amniyon Sıvı Dinamiği	21
2.9.1. Amniyotik Sıvı Hacmini Belirleyen Faktörler	21
2.9.1.1. Fetal İdrar	21
2.9.1.2. Fetal Yutma	22
2.9.1.3. Fetal Akciğer Sıvısı	22
2.9.1.4. Fetal Deri	22
2.9.1.5. Fetal Membranlar	23
2.9.1.6. Diğer Kaynaklar	23
2.10. Amniyotik Sıvı Birleşimi	24
3. GEREÇ VE YÖNTEM	26
3.1. Araç ve Gereçler	26
3.1.1. Kimyasal Malzemeler	26
3.1.2. Cihazlar ve Teknik Malzemeler	27
3.2. Yöntem	27
3.2.1. Amniyon Sıvılarının Temin Edilmesi	27
3.2.2. Hücre Kültürlerinin Oluşturulması	28
3.2.3. Kültürlerin RF-EMA'ya Maruz Bırakılması	29
3.2.4. Metafaz Alanlarının Elde Edilmesi (Hasat)	35
3.2.5. Preparatların GTG (G-bands by Trypsin using Giemsa) Bantlama Yöntemiyle Boyanması	36
3.2.6. Fotoğraflama	38
3.3. İstatistiksel Analiz	39
4. BULGULAR	40

4.1. Radyofrekansa Maruz Bırakılan Hücrelerde Gözlenen Kromozomal Düzensizlikler	40
4.1.1. 900 MHz Radyofrekansına 3 Saat Maruz Kalmış Hücreler	40
4.1.2. 900 MHz Radyofrekansına 6 Saat Maruz Kalmış Hücreler	40
4.1.3. 900 MHz Radyofrekansına 12 Saat Maruz Kalmış Hücreler	40
4.1.4. 1800 MHz Radyofrekansına 3 Saat Maruz Kalmış Hücreler	41
4.1.5. 1800 MHz Radyofrekansına 6 Saat Maruz Kalmış Hücreler	41
4.1.6. 1800 MHz Radyofrekansına 12 Saat Maruz Kalmış Hücreler	41
4.2. İstatistiksel Analiz	51
5. TARTIŞMA	53
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	57
KAYNAKLAR	59
EKLER	63
EK-1	63
EK-2	63
ÖZGEÇMİŞ	64

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1:	Dünyanın magnetosferi	4
Şekil 2:	Elektromanyetik dalganın yayılma düzlemi	6
Şekil 3:	Günlük hayatta sıklıkla kullanılan bazı elektrikli cihazların elektrik ve manyetik alan değerleri	8
Şekil 4:	Elektromanyetik spektrum	11
Şekil 5:	Herhangi bir elektrik alanına maruz kalmamış dokudaki dipole su moleküllerinin rastgele duruşu	13
Şekil 6:	Elektrik alan uygulanmış bir dokuda dipol su moleküllerinin yönelimi	13
Şekil 7:	Cep telefonu ile konuşan birinde soğurulan radyasyonu gösteren insane başı modeli	16
Şekil 8:	Amniyon sıvılarının santrifüj edilmesi	28
Şekil 9:	Amniyon sıvılarının santrifüj edilmesi	28
Şekil 10:	Flaskların hazırlanması ve medium eklenmesi	29
Şekil 11:	RF jeneratörünün CO ₂ inkübatörüne bağlantısı ve flaskların inkübatör içindeki maruziyet kutusuna yerleşimi	30
Şekil 12:	RF jeneratörünün CO ₂ inkübatörüne bağlantısı ve flaskların inkübatör içindeki maruziyet kutusuna yerleşimi	30
Şekil 13:	900MHz ve 1800MHz mikrodalgalı RF jeneratörü ve kullanılan anten görüntüsü.	31
Şekil 14:	Elektrosmogmeter	32
Şekil 15:	Otomatik zaman ayarlayıcı alet (Timer priz)	32
Şekil 16:	Flasklarıdaki fetal hücrelerin 6 .günde invert mikroskobu altındaki görüntüsü	33
Şekil 17:	6. günde medyumunu yenilenen flaskların inkübatöre yerleştirilmesi	34
Şekil 18:	Hasat aşamasına gelmiş hücre odağından bir görüntü	34
Şekil 19:	Tripsin muamelesinden sonra kültürün görünümü	35
Şekil 20:	Hücre süspansiyonlarının damlatılması ile preparatların hazırlanması	36

Şekil 21:	Tripsin solüsyonunun pH'ının ayarlanması	37
Şekil 22:	Lamların 8dk süresince Giemsa boyası ile boyanması	38
Şekil 23:	Preparatların 100x objektifteki görüntüsü ve kromozom görüntüleme cihazında incelenmesi	39
Şekil 24:	900 MHz RF-EMA'ya maruz kalan hücrelerde görülen düzensizliklerin kromozomlara göre dağılımı	49
Şekil 25:	1800 MHz RF-EMA'ya maruz kalan hücrelerde görülen düzensizliklerin kromozomlara göre dağılımı	49
Şekil 26.1:	Tespit edilen bazı kromozomal düzensizlikler	50
Şekil 26.2:	Tespit edilen bazı kromozomal düzensizlikler	50
Şekil 27:	900 MHz RF-EMA'ya maruz bırakılan hücrelerde saatlere göre kromozom düzensizliği	52
Şekil 28:	1800 MHz RF-EMA'ya maruz bırakılan hücrelerde saatlere göre kromozom düzensizliği gösteren hücrelerin dağılımı	52
Şekil 29:	6 saat maruziyet sonucu kromozom düzensizliği gösteren toplam hücrelerin frekansa göre dağılımı	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1:	Radyasyon tiplerine göre frekans aralığı dalga boyu ve enerjileri	10
Çizelge 2:	Farklı ülkelerde cep telefonlarında kullanılan frekanslar	16
Çizelge 3:	900 ve 1800 MHz için Uluslar arası belirlenmiş sınır elektrik ve manyetik alan değerleri	17
Çizelge 4:	900 ve 1800 MHz için Ülkemizde belirlenmiş sınır elektrik ve manyetik alan değerleri	18
Çizelge 5:	Gebelik haftasına göre amniyotik sıvı miktarı ve bulunan hücre sayısı	24
Çizelge 6:	Elektrosmogmeter ile ölçülen değerler	33
Çizelge 7:	900 - 1800 MHz RF-EMA'nın neden olduğu kromozom düzensizliklerinin saatlere göre dağılımı	42
Çizelge 8:	900 MHz ve 1800 MHz RF-EMA'ya maruz kalan hücrelerde gözlenen düzensizliklerin kromozomlara göre dağılımı	44
Çizelge 9:	900-1800 MHz RF-EMA'ya maruz bırakılan amniyotik hücrelerin kromozom düzensizliklerinin istatistiksel değerlendirmesi.	51

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

chtb	: Kromatid kırığı
del	: Delesyon
E	: Elektrik Alan
ELF (Extremely Low Frequency)	: Oldukça Düşük Frekans Aralığı
EM	: Elektromanyetik
EMA	: Elektromanyetik Alan
f	: Frekans
fra	: Fragile
Q (q)	: Elektrik Yüğü
GSM	: Küresel Mobil İletişim Sistemi
gap	: Gap
H	: Manyetik Alan Şiddeti
HF	: Yüksek Frekans
I	: Elektrik Akım Şiddeti
IR (Infrared)	: Kızılötesi
J	: Akım Yoğunluğu
K	: Yayılım Vektörü
λ	: Dalga Boyu
LF (Low Frequency)	: Düşük Frekans
MF (Middle Frequency)	: Orta Frekans
MRI	: Manyetik Rezonans Görüntüleme
MW (Microwave)	: Mikrodalga
RF	: Radyo Frekans
RF-EMA	: Radyo Frekans Elektromanyetik alan
S	: Güç Yoğunluğu
SAR (Specific Absorbtion Rate)	: Özgül Soğurma Oranı
UHF (Ultra High Frequency)	: Ultra Yüksek Frekans ($300 < f < 3000$ MHz)
UV (Ultra Violet)	: UltraViolet-Mor Ötesi
VHF (Very High Frequency)	: Çok Yüksek Frekans ($30 < f < 300$ MHz)

ÖZET

900 - 1800 Mhz Radyofrekans Elektromanyetik Alanin (RF-EMA) İnsan Fetal Hücre Kültürlerinde Kromozomlar Üzerine Etkileri

Günümüzde, cep telefonu kullanımındaki artış ve bununla ilişkili olarak yaygınlaşan baz istasyonları, radyofrekans elektromanyetik alan (RF-EMA) kaynaklarını oluşturmaktadır. Bununla birlikte, hızla gelişen teknolojik araçlar da insanların, RF kaynaklarına maruziyetini de artırmıştır. Kamuoyunda, cep telefonu kaynaklı RF-EMA'nın insan sağlığı üzerine muhtemel zararlı etkileri hakkında endişeye neden olmuştur.

Bu nedenle çalışmamızda; amniyotik hücreler, invitro kültür ortamında RF-EMA'nın etkisine maruz bırakılarak kromozomlardaki değişimleri araştırıldı. Bunun için; fetal hücreler 900 ve 1800 MHz RF-EMA'ya 3, 6 ve 12 saatlik sürelerle maruz bırakıldı. Kültür süreci sonunda elde edilen hücrelerdeki kromozomlar analiz edildi.

Çalışmamızın sonucunda; hücrelerde RF-EMA'nın ısı etkisi dışındaki etkilerin, kromozomların kondensasyonunda gecikmelere, bozulmalara ve kromozom kırılma potansiyeline yol açacak yapısal hasarlara neden olduğu bulundu. 1800 MHz frekansın, 900 MHz'a oranla 6 saatlik gruplar arasında anlamlı bir farkın olduğu ($p=0.0001$), diğer gruplar arasında ise anlamlı bir farkın olmadığı bulundu.

Sonuç olarak çalışmamızda; RF-EMA'nın, bölünen hücrelerde kromozomların normal oluşumunda gecikmeye ve yapısal hasara neden olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, cep telefonlarının kromozomlar üzerinde zararlı etkiye sahip olma potansiyeli taşıdığını ve bu zararlı etkinin maruz kalma süresi ile arttığını söyleyebiliriz.

Anahtar Kelimeler: Radyofrekans, Elektromanyetik Alan, Kromozomal düzensizlikler, Frekans, Fetal hücre kültürü.

ABSTRACT

The Effects Of 900-1800 MHz Radiofrequency Electromagnetic Field (RF-EMF) on Chromosomes in Human Fetal Cell Culture

Increasing use of mobile phones and associated base stations are becoming a widespread source of Radio Frequency Electromagnetic Field (RF-EMF), which is the part of non-ionizing radiation. The rate of exposure to RF-EMF increases with the rapidly evolving technology. As a result of this, increasing public concern has occurred about the probable harmful effects on human health of RF-EMF which is emitted from mobile phones. Therefore, we aimed to examine the chromosomal aberrations of amniotic fluid fetal cells upon RF exposure.

For this purpose, we investigated the chromosomal aberrations in human amniotic fetal cells exposed to 900-1800 MHz radiofrequency for 3, 6 and 12 hours (Six groups). Thus, the effects of varying time and frequencies on chromosomes were researched.

In our studies, we found that non-thermal RF-EMF caused delays and corruption in chromosome condensation. There was a significant rise in chromosome aberrations with increasing exposure time. When frequencies were compared in each group; only six-hour exposed group had significant difference between 900 versus 1800 MHz ($p=0.0001$) frequencies.

In conclusion; we found that RF-EMA had negative effects on chromosomes, moreover these effects aggravated with exposure time.

Keywords: Radiofrequency, Electromagnetic field, Chromosomal aberrations, Fetal cell culture, Frequency

1. GİRİŞ

Günümüzde, ilerleyen teknoloji yaşamımızda pek çok kolaylık sağlamaktadır. Günlük hayatta, hemen hergün kullandığımız elektrikli cihazlar, bu cihazlar için gerekli olan elektrik enerjisinin üretimi ve dağıtımını, hayatımızda sürekli iç içe olduğumuz kablosuz teknolojiler gibi birçok gelişme ilerleyen teknoloji ile mümkün olmuştur. Elektiriğin keşfi ile birlikte, teknolojideki gelişimde hız kazanmıştır. Elektiriğin hayatımıza girmesiyle birlikte insanlar daha fazla yapay elektromanyetik alanlara maruz kalmaya başlamıştır.

1864 yılında, James Clerk Maxwell'in elektrik ve manyetik alanların boşlukta salınımlarını matematiksel olarak ifade etmesinden çeyrek yüzyıl sonra Hertz, yüksek frekansta ışık hızında salınan elektromanyetik dalgaları laboratuvar ortamında üretmeyi başarmıştır. Bununla birlikte, bilim insanları yüksek frekanslı alan kaynakları ve bu alanların uygulamaları ile ilgili çalışmalara başlamışlardır. 1896 yılında, Guglielmo Marconi kablosuz olarak bir radyo sinyali uzak mesafelere taşımıştır. 1901 yılında ise bir radyo sinyali Atlantik Okyanusunun diğer tarafına ulaştırmayı başarmıştır¹. II. Dünya savaşında radyofrekans RF kaynaklar ve radar sistemleriyle beraber yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonra, bu kaynakların terapötik ya da zararlı etkilerinin olup olmayacağı bilim çevrelerinin dikkatini çekmiş ve çeşitli raporlar hazırlanarak biyolojik yapılara nasıl etkidiği araştırılmıştır¹.

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

RF kaynaklarından biri olan cep telefonlarının kullanımının artması, her yaşta insanın kontrolsüz kullanımı, kullanırken kulağa temas ettirilmesi ve beyin gibi önemli bir organa yakın konumlandırılması; cep telefonları ile ilgili endişeleri de artırmıştır.

Cep telefonu veya cep telefonu ile aynı frekans özelliği taşıyan cihazlar yardımı ile cep telefonunun zararlı etkileri birçok araştırmacı tarafından araştırılmıştır. Bu araştırmaların bir kısmı, termal etkisi olmayan RF alanların genotoksik bir etkiye sahip olmadığını bildirmişlerdir. Aynı zamanda RF alanların zararlı etkilerinin esas olarak termal etkisinden kaynaklandığını ileri sürmüşlerdir^{49, 51, 55, 56, 57}. Bazı araştırmacılar ise RF alanlarının genotoksik etkileri ile ilgili pozitif sonuçlar bulmuştur^{58, 59, 60, 61, 62}. Yapılan araştırmalar arasındaki çelişkili sonuçlar, cep telefonu kullanırken hala temkinli davranmamız gerektiğini göstermektedir. Bu sebeple, cep telefonu kullanım süresine dikkat etmek ve çocukların gelişigüzel kullanımını engellemek gerekmektedir.

Bu nedenle çalışmamızda, ülkemizde kullanılan cep telefonu frekans değerleri olan 900 ve 1800 MHz kullanılarak, cep telefonlarının kromozomlar üzerine zararlı etkilerini araştırmayı amaçladık. Özellikle, cep telefonunun zararlı etkisi varsa bu zararın maruziyet süresi ile artacağı düşünülerek, kültür süresi uzun olan ve zararlı etkilere hiç ya da çok az maruz kalmış amniyotik hücreler kullanılmıştır. Amniyotik hücreler, kültür süresi boyunca hergün 3, 6 ve 12 saat boyunca RF-EMA'ya maruz bırakılarak, maruziyet süresinin kromozomlara etkisi incelenmiştir.

2. GENELBİLGİLER

2.1. Elektrik Alan

Elektrik yükü; maddenin ana niteliklerinden biri olup, maddeyi oluşturan temel parçacıklardan kaynaklanır. Elektronların bir yerden bir yere hareket etmesi veya birikmesi elektriksel prensiplerin temelini oluşturur. Bu prensiplere etkili bir diğer parçacık ise pozitif yüklü olan protondur². Elektrik alan şiddeti (E); bir noktadaki birim yükü etkileyen kuvvettir ve vektörel (büyüklüğü ve yönü olan) bir büyüklüktür. Herhangi bir bölgeye konmuş elektrik yüklü bir cisim üzerine, elektriksel kökenli bir kuvvet etki ediyorsa bu noktada bir elektrik alan vardır denir³. Her elektrik yükü, etrafında bir elektrik alanı oluşturur. Elektrik alanını meydana getiren şey, elektrik yüklerinin varlığıdır. Elektrik alan şiddetinin birimi metre başına volt (V/m) olarak ifade edilir. Elektrik alan şiddeti, kaynaktan uzaklaştıkça hızla azalır. Elektrik alanı için diğer bir önemli noktada, az da olsa yalıtkan özellikte olan küçük bir engelin bile (bina, ağaç vb.) elektrik alanını engelliyor olmasıdır⁴.

$$E = \frac{F}{q} = k \frac{q}{d^2}$$

Yukarıda verilmiş olan formül boşlukta q yüküne etki eden elektrik alanının (E) formülüdür. Burada elektrik alan şiddetinin, yük miktarı (q) ile artmakta ve uzaklığın (d) karesi ile azalmakta olduğunu görmekteyiz⁵.

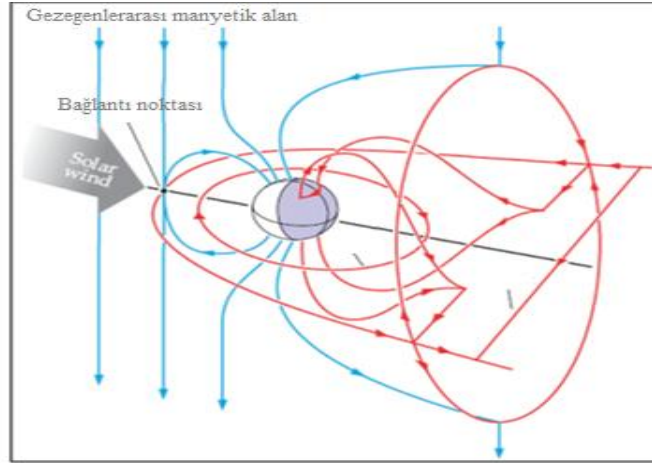
2.2. Manyetik Alan

Manyetik alan, elektrik yükleri hareketlendiğinde veya bir elektrik akımı olduğunda ortaya çıkan veya temel parçacıklar tarafından içsel olarak üretilen bir akımdır. Manyetik alan şiddet (H) birimi, A/m iken manyetik akım yoğunluğu birimi olarak tesla (T) veya Gauss (G) kullanılmaktadır⁶. Akım ne kadar yüksekse, bunun bir sonucu olan manyetik alan da o kadar yüksek olur. Manyetik alan, elektrik alan gibi vektörel bir büyüklüktür. Elektrik alanında olduğu gibi, manyetik alan şiddeti de mesafe

ile hızla azalır. Buna karşın manyetik alan, elektrik alanında olduğu gibi engel teşkil eden nesnelere neredeyse hiç engellenmez⁴.

Yeryüzünün de bir manyetik alanı vardır. Bu alan; dünyanın sıvı dış çekirdeğindeki akımlar ile oluşur. Dış çekirdekteki konveksiyon hareketler, zaman içinde manyetik alan oluşturur. Bu konveksiyon hareketlerin, dünyanın oluşumundan beri var olduğu düşünülmektedir. Yeryüzü çekirdeğinin içi katı, dışı sıvı demirden oluşmuştur. Çekirdeğin hareketi, dünyanın kendi manyetik alanını yaratır. Atomların yeterli bir güçle ve düzenli bir şekilde yer değiştirmesi ve yönlendirilmesi kalıcı mıknatıslanmaya neden olduğundan dünyanın kabuğunda kalıcı mıknatıslanma meydana gelmiş olur. Dünyayı, etrafı manyetik alanla çevrelenmiş büyük küresel bir mıknatıs gibi düşünebiliriz¹.

Her madde gibi insanın da bir manyetik alanı bulunmaktadır. İnsan kendi manyetik alanları yanında doğal olarak yaşadıkları çevrenin de manyetik alanlarının etkisi altındadır. Bu manyetik alanın faydaları yanında, dengenin bozulması ile birlikte zararları da olabilmektedir².



Şekil 1: Dünyanın magnetosferi. mavi çizgiler manyetik alan çizgilerini, kırmızılar elektrik alan çizgilerini göstermektedir.¹⁷.

2.3. Elektromanyetik Alan ve Dalgalar

Basitçe, elektromanyetik enerjinin veya radyasyonun bulunduğu ve etkilediği alana elektromanyetik alan denir⁷. Elektrik ve manyetik alanın kökenleri yüklere bağlıdır. Yüklü parçacıklar, hareket etmiyorsa orada sadece elektrik alan oluşur. Eğer yüklü parçacıklar hareket ediyorsa, elektrik alanla birlikte manyetik alan da oluşur². Elektromanyetik alanlar (EMA), elektrik ve manyetik alanların bir araya gelmesiyle ortaya çıkar. Burada, elektrik dalgası ve manyetik dalga ışık hızında birlikte yerdeğiştirirler⁷. Buna göre; hareket eden bir yükün oluşturduğu elektrik ve manyetik alanlar sürekli birbirini etkiler. Bu alanlardaki dalgalanmalar, yükten dışa doğru elektromanyetik bir dalga olarak yayılır¹.

Elektromanyetik teorinin temeli olan Maxwell'in elde ettiği denklemler zamanla değişen bir manyetik alanın, elektrik alan oluşturması gibi zamanla değişen bir elektrik alanın da bir manyetik alan oluşturacağını söyler. Bu değişim sinusoidal bir eğri şeklindedir. Maxwell, teorisi ile elektrik ve manyetik alanlar arasında çok önemli bir bağlantı olduğunu göstermiştir. Maxwell'in teorik olarak ispatladığı dalgaların varlığını ilk olarak Heinrich Rudolf Hertz 1887 yılında bir indüksiyon bobini kullanarak deneysel olarak kanıtlamıştır⁸. EMA, atomları oluşturan elektronları, protonları ve nötronları, mikroskobik ve makroskobik cisimleri oluşturan molekülleri bir arada tutar¹.

EMA, yeryüzünün doğal bileşenleridir. Jeomanyetik alanlar, yeryüzündeki konuma bağlı olarak $25\mu\text{T}$ ile $65\mu\text{T}$ arasında değişim göstermektedir. Dünyada, yasayan tüm canlı organizmalar bu mevcut alan içindedirler. Kuşlar ve balinalar, göç sırasında yön bulmak amacıyla yerin jeomanyetik alanından faydalanırlar. Pozitif yüklü iyonosferden ve negatif yüklü yer yüzeyinden kaynaklı jeomanyetik alan gezegenin tarihi boyunca mevcut olmuştur. İyi havalarda bu alan 200 V/m civarında iken, fırtınalı ve kasırgalar esnasında 20000 V/m ya da daha büyük değerlere ulaşabilmektedir⁹.

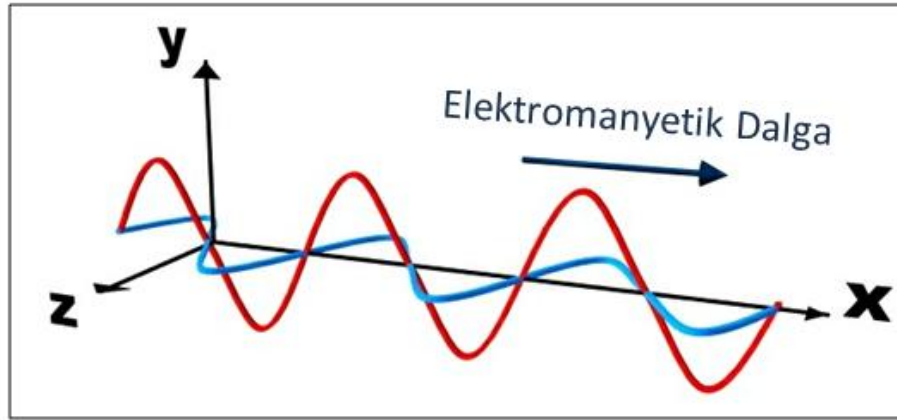
2.3.1. Elektromanyetik Dalgalar

Elektromanyetik dalga; ışımının dalga teorisine göre, uzayda ya da maddesel bir ortamda yayılan ve salınım yapan bir elektrikalın ve manyetik alanın birlikte oluşturduğu dalgalardır. Elektromanyetik dalgada elektrik ve manyetik alanlar birbirlerine ve dalganın gidiş yönüne diktirler⁶. Mekanik dalgaların aksine herhangi bir ortama ihtiyaç duymaksızın boş uzayda yayılabilen dalgalardır¹⁰. Elektromanyetik

dalgalar binaların içine girebilir. Bina duvarından geçerken havada yayılmalarına göre enerjilerinin daha büyük bir kısmını kaybederek zayıflarlar². Elektromanyetik dalgalar, uzayda ışık hızı (c) ile yayılırlar ve diğer dalgalar gibi elektromanyetik dalgalarında frekans (f) ve dalga boyundan (λ) bahsedilmektedir. Bu değerler arasında ki bağlantılar aşağıdaki gibi formülize edilebilir^{5, 7, 10}.

$$c = \lambda f$$

Formülde ışık hızının (c) sabit olmasından dolayı elektromanyetik dalgaların dalga boyu ve frekanslarının birbiriyle ters orantılı olduğu görülmektedir.



Şekil 2: Elektromanyetik dalganın yayılma düzlemi¹¹.

2.3.1.1.Frekans

Elektromanyetik dalgaların saniyede yaptığı salınım sayısına yani kendilerini tekrarlama sıklığına frekans (f) denir. Frekansın birimi Hertz (Hz)'dir. Bir Hz saniyede bir salınım; 1 kHz ya da kilohertz saniyede 1000 Hz; 1 MHz ya da megahertz saniyede bir milyon Hz; 1 GHz ya da gigahertz saniyede bir milyar Hz ya da 10^9 Hz'dir⁷.

2.3.1.2.Dalgaboyu

Elektromanyetik dalgaların bir salınımda aldıkları yola dalga boyu (λ) denir. Dalga boyunun birimi mesafe birimleridir¹².

2.3.2.Elektromanyetik Alan Oluşturan Kaynaklar

Elektromanyetik alan kaynaklarını iki grupta toplamak mümkündür.

1) Doğal EM kaynakları;

- Güneş
- Bazı uzak yıldızlar
- Atmosferik deşarj yani yıldırımlar.

2) Doğal olmayan EM kaynakları;

- Elektrik akımı taşıyan yeraltı ve yerüstü elektrik hatları,
- TV ve bilgisayarlar,
- Elektrikli ev aletleri (Elektrikli süpürge, saç kurutma makinesi, tıraş makinesi, vb.)
- Mikro dalga fırınlar
- Radyo ve TV vericileri
- Telsiz haberleşme sistemleri,
- Kordonsuz telefonlar
- Hücreli telefon sistemleri (GSM Baz istasyonları ve GSM telefon araçları)¹³.

Günlük hayatta ev ve işyerlerinde kullanılan buzdolabı, bulaşık makinesi, kurutma makinesi, elektrikli ısıtıcı, ütü, mikser, mutfak robotu, florsan lamba, elektrikli tıraş makinesi, saç kurutma makinesi ve elektrikli battaniye gibi aletler de elektromanyetik alan kaynakları olarak bilinirler¹³.

Elektrik Alan Değerleri (V/m)		Manyetik Alan Değerleri (μT)	
Tıraş Makinası	40	Buzdolabı	0,30 (3 mG)
Bilgisayar monitörü	60	Ekmek Kızartma Makinası	0,80 (8 mG)
Ekmek Kızartma Makinası	40	Müzik Seti	1,00 (10 mG)
Televizyon (tüplü)	60	90.000 volt hat (30 m mesafede)	1,00 (10 mG)
Müzik Seti	90	400.000 volt hat (100 m mesafede)	1,20 (12 mG)
Buzdolabı	90	Bilgisayar monitörü	1,40 (14 mG)
90.000 volt hat (30 m mesafede)	100	Televizyon (tüplü)	2,00 (20 mG)
400.000 volt hat (100 m mesafede)	200	Elektrikli battaniye	3,60 (36 mG)
Elektrikli battaniye	250	Tıraş Makinası	500 (5 mG)

Şekil 3: Günlük hayatta sıklıkla kullandığımız bazı elektrikli cihazların elektrik alan şiddeti ve manyetik alan şiddeti değerleri¹².

2.4. Elektromanyetik Spektrum

Elektromanyetik spektrum, dalgaboylarına göre gama ışını veya X- ışını gibi atom altı değerlerden başlayıp, dalga boyu yüz kilometreye varan radyo dalgalarına kadar birçok farklı radyasyon tipini içerir. Boşlukta, belirli bir dalga boyundaki elektromanyetik enerjinin bu dalgaboyu ile orantılı bir frekansı ve enerjisi (E) vardır. Bu yüzden elektromanyetik spektrum bu üç değerden herhangi biri kullanılarak ifade edilebilir. Değerler birbirine bazı matematiksel formüller ile bağlıdır⁷.

$$E=hf(h: \text{Planck sabiti}; 6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s veya } 4.136 \mu\text{eV/GHz})$$

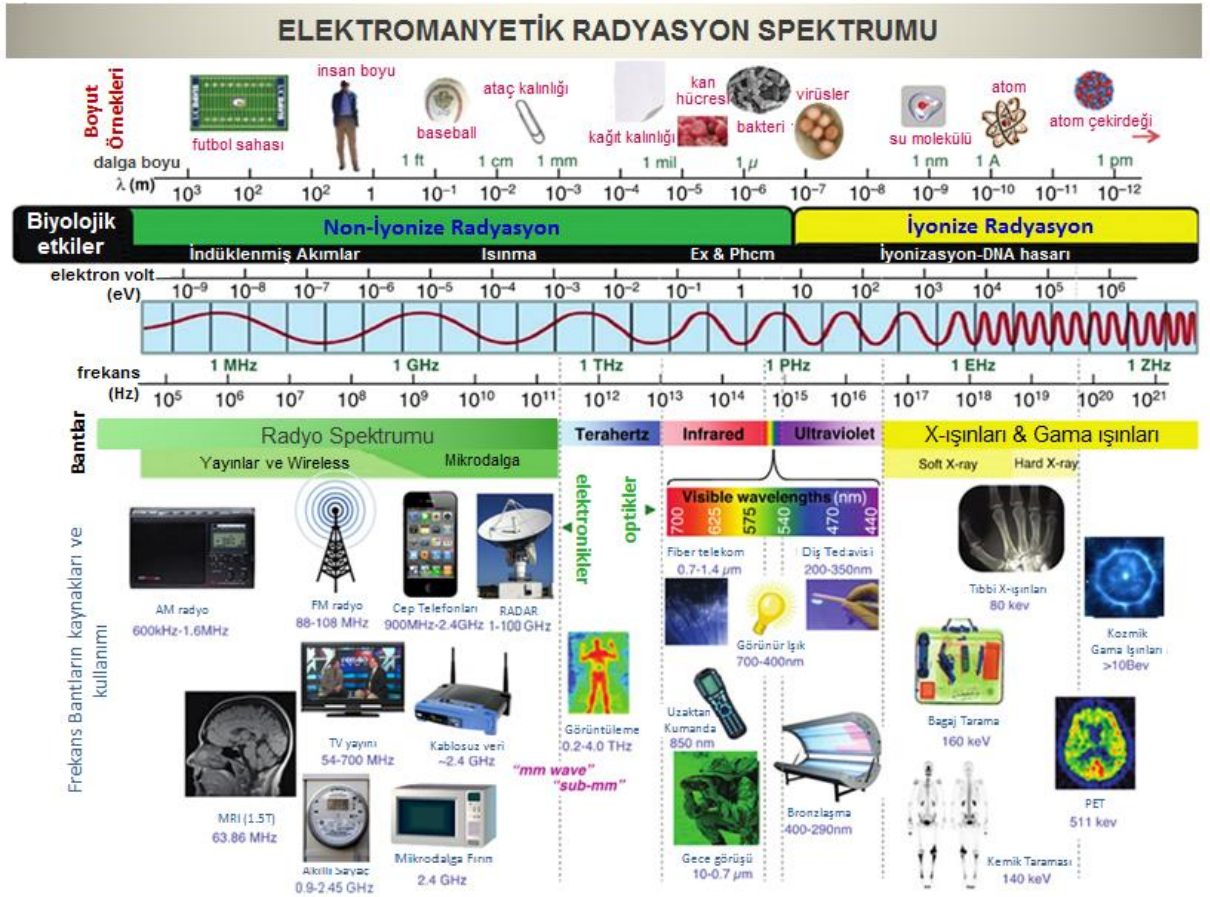
Bu denklemi incelediğimiz zaman, yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların yüksek enerjiye ancak kısa dalga boyuna, düşük frekanslı elektromanyetik dalgaların ise düşük enerjiye ancak, uzun dalga boyuna sahip olduklarını görmekteyiz¹⁴.

Elektromanyetik spektrumu frekans, dalga boyu ya da enerjilerini göz önüne alarak farklı kategorilerde inceleyebiliriz. Ancak, bu kategoriler arasında kesin sınırlar çizmek çokta doğru olmayabilir. Başlıca, şu dokuz kategoride toplayabiliriz; düşük frekansa yüksek frekansa doğru oldukça düşük frekans (ELF), düşük frekans (LF), radyo dalgaları (RF), mikrodalga (MW), kızılötesi, görünür ışık, morötesi (UV), X-ışınları ve Gama ışınlarıdır. 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 yayılırlar¹.

Spektrumun en başında en düşük frekanslı ELF (Extremely Low Frequency) alanlar mevcuttur, evde tüm elektronik cihazlarda kullandığımız şehir cereyanı (50 Hz) bu frekans aralığına girer. Düşük frekans (LF), daha çok amatör radyoculukta kullanılırken, radyo dalgaları (RF) ise televizyon ve radyo yayıncılığının yanı sıra cep telefonu ve baz istasyonlarında, radar sistemlerinde kullanılır. Mikrodalgalar yine cep telefonu ve baz istasyonları ile beraber, mikrodalga fırınlarda, radarlarda, uydu haberleşmeciliğinde kullanılır. Canlılar başta olmak üzere sıcak tüm yapılar kızılötesi radyasyon kaynağıdır. Görünür ve morötesi ışığın en önemli kaynağı güneştir. X-ışınları tıbbi amaçlı görüntüleme için kullanılır. Spektrumun yüksek enerjiye sahip bileşenlerinden biri de gama (γ) ışınlarıdır¹. Elektromanyetik spektrum bileşenleri enerjilerine ya da frekanslarına göre iyonize ve iyonize olmayan olarak iki grupta incelenebilirler¹.

Çizelge 1: Radyasyon tiplerine göre frekans aralığı, dalga boyu ve foton başına enerji değerleri¹.

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



Şekil 4: Elektromanyetik Spektrum¹⁵

2.4.1. Elektromanyetik Spektrumün İyonize Bölgesi

Maddelerin temel hallerinden farklı olarak elektron almasına veya vermesine iyonlaşma denir. Yüksek enerjili parçacıklar, moleküllere veya atomlara çarptığı zaman maddenin elektron kaybederek iyonlaşmasına sebep olurlar¹. Enerji yüklü fotonlardan oluşan elektromanyetik dalgalarda, çarptıkları cisimlerden elektron kopararak iyonlaşmalarına yol açabilirler⁴. Yüksek frekanslı ve dolayısıyla yüksek enerjili olan X ışınları, gama ışınları, morötesi ışınlar ve görünür ışınlar hatta kızılötesi ışınların bir kısmı elektromanyetik spektrumün iyonize bölgesinde sayılabilirler. Bu ışınlardan gama ışınları, X ışınları ve morötesi ışınların canlılarda bulunan molekülleri nispeten daha fazla iyonlaştırabilmelerinden dolayı canlıların kimyasal yapısını kolayca bozabilirler. X ışınları frekansının altında kalan bölgedeki ışınlar kısmen zararsızdır denebilir. Ancak, X ışınları ve üzerindeki bölgede kalan ışınlar canlı dokularda, hücrelerde ve

DNA molekülünde iyonlaşmaya sebep olarak kimyasal yapılarını bozar. Bu yüzden, canlılar için çok tehlikeli hatta ölümcüldürler¹⁶.

2.4.2. Elektromanyetik Spektrumun İyonize Olmayan Bölgesi

Elektromanyetik spektrumun iyonize olmayan bölgesinde bulunan dalgaların enerjileri düşük olup bu enerji seviyeleri moleküllerin iyonlaşması için yetersizdir. ELF elektrik ve manyetik alanlar, radyo ve TV dalgaları, mikrodalgalar ve kızılötesi ışınlar düşük enerjili oldukları için iyonlaştırıcı özellik taşımamaktadırlar. Çalışmamızda; inceleyeceğimiz mobil iletişim sistemlerinde kullanılan RF radyasyon, iyonlaştırıcı olmayan bölgede yer almaktadır⁸. İyonlaştırıcı olmayan radyasyonun canlılara daha farklı mekanizmalarla zarar verdikleri düşünülmektedir.

2.5. EMA'nın Biyolojik Etki Mekanizmaları

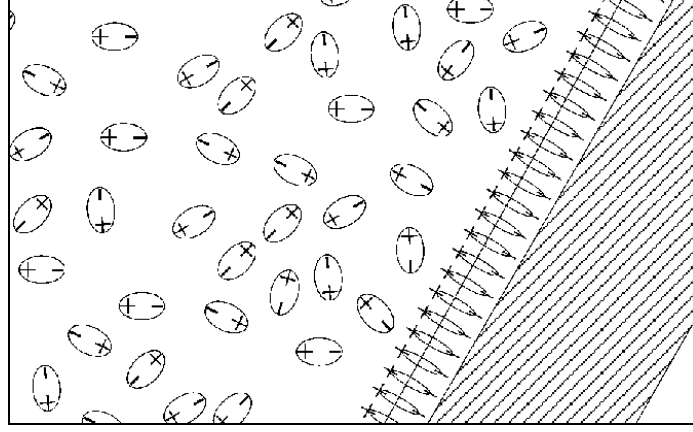
İyonlaştırıcı olmayan EMA'nın etkilerini başlıca termal ve termal olmayan, etkiler olmak üzere iki ana başlıkta incelemek mümkündür.

2.5.1. Termal Etkileri

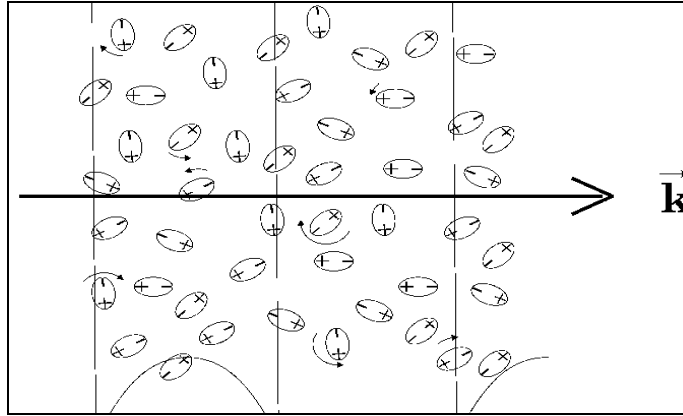
Dokunun elektromanyetik dalgayla etkileşmesi sonucunda artan molekül hareketi ve sürtünmeden dolayı dokuda ısı artışı meydana gelir ve bu ısı artışına bağlı olarak, dokuda bir takım termal etkiler gözlenir. Bu ısı artışı, RF'nin elektrik alanı etkisi ile titreştirici bir akımın hızlı bir şekilde dokuya transferi ve sonuçta titreşen moleküllerin bölgesel sıcaklık artışına sebep olması olabilir¹³. Bir başka sebep de, doku içerisinde bulunan su moleküllerinin herhangi bir dış etkenin olmadığı durumlarda rastgele yönelmiş dipoller olarak bulunurken (Şekil 7), elektrik alan uygulandığında dipoller alan yönünde yönelmeye zorlanırlar (Şekil 8). Dipol, su moleküllerine elektrik alan tarafından uygulanan tork, dokuya ısı enerjisi transfer eder ve dokuda sıcaklık artışına neden olur^{14,19}.

Cep telefonlarından yayılan RF enerjisi, vücut tarafından oğurularak ısı oluşturabilir. Bu ısı termoregülatör sistemler tarafından bertaraf edilir. Su içeriği fazla olan dokularda (beyin, göz, kas, kan, deri, sinir dokusu), su içeriği az olan dokulara göre daha fazla sıcaklık artışı olduğu düşünülmektedir. Termal etkiler, üzerine var olan bulgular hücre, doku ya da vücut düzeyinde 1⁰C ya da daha fazla sıcaklık artışı olduğu

durumlarda gözlemlenir. Riskile ilgili sınır değerler bu termal etkiler göz önüne alınarak belirlenmiştir¹.



Şekil 5: Herhangibir elektrik alana maruz kalmamış dokudaki dipole su moleküllerinin rastgele duruşu¹⁴.



Şekil 6: Elektrik alanı uygulanmış bir dokuda dipol su moleküllerinin yönelimleri¹⁴.

2.5.2. Termal Olmayan Etkiler

Dokulara uygulanan EMA, ısı etkisi yaratmayacak seviyede olduğu halde, dokuda fizyolojik değişimlere neden oluyorsa, bu etkiler termal olmayan etkiler olarak tanımlanır. Çoğunlukla, düşük seviyedeki RF radyasyonun sebep olduğu bu etkiler EM alanların biyolojik, sistemlerle doğrudan etkileşimleri ile gözlenmektedir. Bu etkileri incelerken, EMA oluşturan elektrik ve manyetik alanların etkisini ayrı ayrı incelemek daha doğru olacaktır.

2.5.2.1. Elektrik Alan Etkileri

2.5.2.1.1. Protein Yapısına Etkileri

Canlılar için hayati öneme sahip olan proteinlerin ve metabolik reaksiyonları katalizleyen enzimlerin yapısında bulunan aminoasitlerin kimyasal yapılarının RF radyasyon tarafından etkilendiği düşünülmektedir.

2.5.2.1.2. Liganda Bağlanmadaki Değişim

Yapılan çalışmalar; RF alanların hücre reseptörleri üzerinde etkili olabileceğini göstermiştir. Standart değerlerin altındaki RF elektrik alan modülasyonu ligand bağlanma olasılığında değişikliklere neden olmaktadır. Kalsiyum (Ca) gibi bir ligand, reseptöre bağlandığında proteinlerin yapısı ve fonksiyonları değişmektedir.

2.5.2.1.3. Hücreler Arası Çekim Kuvvetinin Artışı

Sıvı içerisinde dielektrik parçacıkların toplanması çoğunlukla Pearl - Chain etkisinden kaynaklanır. Pearl - Chain etkisi, RF alanlar tarafından oluşturulabilir. Hücrelerde bu etkinin gözlenebilmesi için gerekli eşik değer 100 MHz'dir. RF radyasyonun oluşturduğu elektrik alan, hücrelerdeki dipol momentlerin salınımına neden olmaktadır⁸.

2.5.2.1.4. Düşük Frekanslı Elektrik Alanlarının Bozunumu

Pulsu RF alanların ısıtma üzerinde etkili olduğu ortaya konmuş ve bu etkinin termal kaynaklı olduğu ve cep telefonlarından yayılan RF sinyallerinden çok daha yüksek güç değerlerinde gerçekleştiği bilinmektedir. Cep telefonlarından yayılan RF sinyallerin demodülasyonu halinde standartlarda belirtilen değerlerin üstünde bir elektrik alan elde etmek mümkündür⁸.

2.5.2.2. Manyetik Alan Etkileri

Vücut dokularında, 50nm boyunda manyetit (Fe₃O₄) adı verilen küçük ferromanyetik parçacıklar bulunmaktadır. Beynin en dış kısmında manyetit konsantrasyonu yüksektir. Bu manyetit parçacıklarında darbeli manyetik alan etkisiyle tork oluştuğu ve hücre membranı ile mekanik etkileşimi sonucu iyon kanallarının aktive

edildiği ortaya konulmuştur⁸. Çiftleşmemiş elektron bulunduran yüksek reaktif yapı ve kısa omurlu olan serbest radikaller, birçok hastalığın patogeneğinde önemli rol oynamaktadır. Bazı çalışmalarda; RF radyasyonun serbest radikal oluşturduğu belirtilmektedir⁸.

2.6. Radyofrekans (RF) Alanlar ve Biyolojik Dokularla Etkileşimi

Radyo dalgaları, binlerce kilometreden yaklaşık bir milimetreye kadar dalga boyuna (3 kHz – 300 GHz frekansına) sahip elektromanyetik dalgalar olup antenler vasıtasıyla veri aktarım kanalları olarak kullanılırlar. Televizyon, radyo ağırları, cep telefonları ve kablosuz internet erişiminde veri aktarımı için radyo dalgaları kullanılmaktadır². Bunun dışında, RF alanların özellikle tıpta tanı ve tedavi amaçlı kullanımı yaygındır. Tanısal amaçlı en yaygın kullanım MR görüntüleme tekniği olup, hastaların yararı öngörülmüştür. Kanser tedavisinde hipertermi yaklaşımları, dokunun analjezik amaçlı ısıtılması veya kanser hücrelerini öldürmek amacıyla hücrelerin yakılması bunlara örnek oluşturmaktadır².

2.6.1. RF Alanların Fiziksel Karakteristikleri

RF alanların, frekansları çeşitli kaynaklara göre 3 kHz – 300GHz aralığında değişmektedir. Bu frekans değerlerine karşılık gelen dalga boyları; sırasıyla 100 m ve 1 mm'dir. RF Alan dalgaları aynı düzlemde ilerlemektedir. Elektrik Alan Vektörü (E), Manyetik Alan Vektörü (H) ve Yayılım Vektörü (K) birbirlerine diktir. $E / H = Z$ (Dalga Empedansı) şeklinde tanımlanır ve boşlukta dalga empedansı 377Ω (Ohm)'dur. K'ya dik herhangi bir düzlemde E ve H sabittir¹.

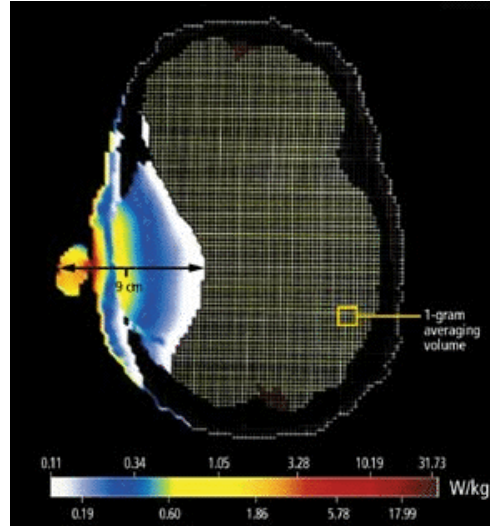
2.6.1.1. Mobil Telefonlar

Mobil telefonlar, RF spektrumun 800–2200 MHz frekans aralığında çalışmaktadır. Tablo 2'de da görüldüğü gibi, bu frekanslar farklı ülkelerde farklılık gösterebilmektedir.

Çizelge 2: Farklı ülkelerde cep telefonlarında kullanılan frekanslar

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

Ülkemizde; 900 MHz ve 1800 MHz frekanslı mobil iletişim sistemleri kullanılmaktadır. 900 MHz'de en yüksek çıkış gücü 2W ve 1800 MHz'de 1W'dır.900 MHz frekansta çalışan cep telefonunun dalga boyu yaklaşık 30cm'dir. Dolayısıyla, kişinin başı yakın alanda kalır. Bu bölgede hesaplamaya da yaklaşım yapmak çok zordur. Genellikle, bilgisayar simülasyonları ile çalışılır. Sol kulak için yapılan bir bilgisayar simülasyonu Şekil 7'de verilmiştir. Yeşil/kırmızı görünen bölgede maksimum soğurmanın olduğu ve bu değerın 1 Watt'lık güç için 2-3 W/kg olduğu belirlenmiştir¹.



Şekil 7: Cep telefonu ile konuşan birinde soğurulan radyasyonu gösteren insan başı modeli¹.

2.6.1.1.1. Cep Telefonları ve SAR değerleri

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

2.6.1.1.2. Uluslararası Standartlar ve Sınır Değerler

EMA, insan sağlığına etkileri konusunda birçok ülkede oluşturulan standart ve sınır değerlerin yanı sıra uluslararası standartlar ve sınır değerler vardır. Temel sınır değer olarak, insan vücudunda bir derecelik sıcaklık artışına neden olan elektromanyetik güç yutulmasından yola çıkılmaktadır. Uluslararası alanda ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection- Uluslar arası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi) tarafından belirlenen sınır değerler, FCC (Federal Communications Commission- Federal Komünikasyon Komisyonu) tarafından belirlenen sınır değerler ve belirlenmesinde IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers- Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü) ile ANSI (American National Standards Institute- Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü) tarafından oluşturulan standart değerler temel olarak alınmaktadır. Cep telefonlarında kullanılan 900 ve 1800 MHz için uluslar arası belirlenmiş sınır değerler Çizelge 3’de gösterilmiştir. Ülkemizde belirlenen sınır değerler Çizelge 4’te gösterilmiştir.

Çizelge 3: 900 ve 1800 MHz için uluslar arası belirlenmiş sınır elektrik ve manyetik alan değerleri

Frekans	900 MHz		1800 MHz	
	ICNIRP	IEEE/FCC	ICNIRP	IEEE/FCC
Elektrik Alan Şiddeti	41,25 V/m	-	58,33 V/m	-
Manyetik Alan Şiddeti	0,111 A/m	-	0,157A/m	-
Güç Yoğunluğu	4,5 W/m ²	6,0 W/m ²	9,0 W/m ²	10,0 W/m ²

Çizelge 4: 900 ve 1800 MHz için ülkemizde belirlenmiş sınır elektrik ve manyetik alan değerleri

Frekans	900 MHz	1800 MHz
	Ortam	Ortam
Elektrik Alan Şiddeti	41,25 V/m	58,33 V/m
Manyetik Alan Şiddeti	0,111 A/m	0,157A/m
Güç Yoğunluğu	4,5 W/m ²	9,0 W/m ²

2.6.2.RF Alanların Biyolojik Etkileşimleri

Bu çalışmamızda, elektromanyetik spektrumun iyonize olmayan bölgesinde bulunan 900 MHz ve 1800 MHz RF alanları ile çalışıldı. RF alan kaynaklarının biyolojik etkileri; maruziyet süresi, maruz bırakılan alanın güç yoğunluğu, frekansı, polarizasyonu, maruz bırakılan bölgenin yakın alan ya da uzak alan olup olmaması ve maruz kalan canlının vücut boyutu vs. gibi faktörlere bağlıdır. Teorik ve deneysel çalışmalar, vücudun uzun boyutu ile E alan vektörünün paralel olması durumunda maksimum RF soğurma düzeyine ulaştığını göstermiştir¹.

RF bölgesindeki dalgaların dalga boyu 1mm - 1km arasında değişmektedir. Biyomolekül ve hücrelerin boyutları göz önüne alındığında, hiçbir hücre ve biyomolekülün RF bölgesinde rezonans frekansa sahip olmadığı görülmektedir. Ancak, vücut bir bütün olarak değerlendirildiğinde, ortalama bir insanın RF bandında rezonans frekansa sahip olduğu görülmektedir⁸. Ayakta duran ortalama bir yetişkin insanda, rezonans frekansı 70-100 MHz olarak hesaplanmıştır^{12,6}. Örneğin, 1.74 m boyundaki topraktan izole edilmiş bir insan, ortalama 70 MHz'de rezonans frekansına sahiptir. Diğer bir deyişle, 1.74 m boyundaki bir insan topraktan izole edilmiş bir ortamdaki maksimum soğurmasını 70 MHz'de yapacaktır. Açıkça görülmektedirki soğurulmanın maksimum olduğu RF frekansını vücudun boyutları belirler. Rezonans frekansı;

$$f_r = 0.4c/h \quad (c: \text{ışık hızı}, h: \text{boy uzunluğu})$$

eşitliği ile formülize edilebilir. Bu bağıntı göz önüne alındığında, kısa boylu kişilerin uzun boylu kişilere göre daha yüksek frekanslarda RF enerjisini, daha fazla soğurdukları görülmektedir. Bebekler ve çocukların boyutları küçük olduğu için cep telefonlarının çalıştığı RF frekansına yakın frekanslarda rezonans frekansına sahiplerdir. Dolayısıyla, bebekler ve çocuklar cep telefonlarından daha fazla enerji

soğurmakta ve yetişkinlere göre daha fazla etkilenmektedirler. Vücudun farklı bölgeleri, farklı boyutlara sahip olduklarından farklı rezonans frekanslarına sahiptirler. Örneğin; kafatası 400 MHz civarında rezonans frekansa sahiptir

2.7. Özgül Soğurma Oranı (SAR)

Biyolojik dokunun birim kütlesi tarafından birim zamanda soğurulan enerji miktarına özgül soğurulma hızı (Specific Absorption Rate=SAR) denir ve birimi W/kg 'dır⁸. Bugüne kadar yapılan araştırmalar, insan vücudunun bir derecelik sıcaklık artışını düzenleyemediğini ve sorunlar yarattığını göstermektedir. İnsan vücudunda bir derece sıcaklık artışı için bir kilogram doku başına 4W güç soğurulması gerekmektedir. İnsanların genel yaşam alanlarında bu değerin 50'debiri olan (50 kat güvenlik payı ile) 0,08 W/kg SAR, sınır değeri olarak kabul edilmiştir¹². SAR, doku özellikleri ve frekansa bağlı olarak değişim gösterir. RF alanların biyolojik etkilerinin açıklanabilmesi için insan vücudundaki ve deney hayvanlarındaki SAR değerinin belirlenmesi son derece önemlidir⁸. Ancak, SAR'ın doğrudan ölçülmesi hemen hemen imkansızdır. Bundan dolayı sınır değerlerin belirlenmesinde kolay ölçülebilen ve/veya gözlemlenebilen parametreler kullanılmaktadır. Bu parametreler, elektrik alan şiddeti, manyetik alan şiddeti ve güç yoğunluğudur¹².

10 MHz ve üzerindeki frekanslar için SAR değeri;

$$SAR = \sigma E^2 / \rho$$

σ : dokunun elektriksel iletkenliği

ρ : dokunun yoğunluğu

E: doku içerisinde indüklenen elektrik alan

SAR değerinin bulunması için, dokunun içindeki elektrik alan şiddetinin bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle, SAR ölçümleri ya insanın EM özelliklerine yakın tuzlu su ya da değişik kimyasal jellerden yapılmış robotlar üzerinde yapılır. Ya da bu amaçla, güçlü sayısal teknikler kullanılarak bilgisayar simülasyonlarından yararlanılır^{12,20}. RF radyasyon maruziyetinin şekli ve dokuların dielektrik özellikleri gibi parametreler SAR değerlerini etkilemektedir. Bazı çalışmalarda; SAR değerlerinin belirlenmesine yönelik araştırma yapılmıştır. Simülasyon kullanılarak yapılan bir

çalışmada; SAR değerini en fazla etkileyen parametrenin cep telefonu kullanım pozisyonu olduğu ve çocuk dielektrik özelliklerinin, yetişkin dielektrik özelliklerine kıyasla daha fazla SAR değerleri oluşturduğu saptanmıştır²¹.

2.8. RF Elektromanyetik Alanların (RF-EMF) Biyolojik Etkileri

EM dalgaların, dokuda oluşturabileceği zarar onun enerjisine, doku ile yaptığı etkileşmenin türüne, dokuda absorbe edilen enerji miktarına ve etkin kalma süresine bağlıdır. Frekans arttıkça, absorbe edilen enerji azalır ve ısıtma etkisi artar.

RF alanlar ve biyolojik etkileri ile ilgili ilk çalışmalar; 1900'lü yılların başında başlayıp sonra, hız kazanmıştır.1980'lerden sonra, tüm dünyadaki araştırmalarda bir patlama yaşanmıştır. 1990'larda, RF kaynaklarının yoğun bir şekilde kullanılması ile birlikte WHO-EMF (Dünya Sağlık Örgütü Elektromanyetik Alan) Proje'si kapsamında çalışmalar ayrı bir hız kazanmıştır¹.

RF alanların etkileri birçok araştırmacı tarafından araştırılmıştır. Araştırmacılar; ratlar, bazı bitkiler ve insanların farklı dokularında in vitro ve in vivo olarak çalışmışlardır. Bu araştırmaların bir kısmı termal etki yapmayan RF alanların genotoksik olmadığını rapor etmiştir. RF alanların zararlı etkilerinin öncelikle termal etkisinden kaynaklandığını bildirmişlerdir^{49, 51, 55, 56, 57}. Mirta ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada RF alanların sitogenetik etkileri incelenmiş sonuç olarak RF ile kromozom hasarları arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır⁵⁰. Diğer bazı araştırmacılar ise RF alanlarının genotoksik etkileri ile ilgili pozitif sonuçlar elde etmişlerdir^{58, 59, 60, 61, 62}. Tice ve arkadaşlarının insan lenfositlerinde yaptığı araştırmalarda RF alanların mikronükleus oluşumuna yol açtığı bulunmuştur⁵⁹

Cep telefonu tarafından yayılan 900 MHz RF dalgalarının sıçan beyin ve testis dokularındaki apoptozise olan etkilerini inceleyen bir çalışmada, RF dalgalarının herhangi bir değişikliğe sebep olmadığı bildirilmiştir⁴⁰. Seyhan ve arkadaşları, 900 MHz ve 1800 MHz elektromanyetik alana günde 20 dk maruz kalan, dişi ve erkek sıçanlarda kan beyin bariyeri geçirgenliğinin arttığını gözlemlemişlerdir¹. Başka bir çalışmada ise cep telefonundan yayılan ışımanın (900 MHz elektromanyetik alan), sıçanların karaciğer dokusunda oksidant/antioksidant dengesinde anlamlı bir değişime yol açmadığı rapor edilmiştir⁴¹. 900 ve 1800 MHz RF alanlarının primer karaciğer kanser hücreleri üzerindeki etkisi ile bir çalışmada, 4 saatlik maruziyet sonunda her iki

frekans için hücre canlılığının azaldığı bulunmuştur³. Başka bir çalışmada; periferik kan mononükleer hücrelerinin, 900 MHz GSM sinyaline 3 gün süreyle, günde 1 saat boyunca maruz kalmasının hücre canlılığını azalttığı bildirilmiştir⁴²

2.9. Amniyon Sıvı Dinamiği

Gebelikte, fetusun intrauterin yaşamını devam ettirebilmesinde amniyon sıvısı büyük rol oynamaktadır. Amniyon sıvısının oluşmasında ve düzenlenmesinde pek çok parametre etkilidir. Doğuma yakın dönemde, total sıvı miktarı ortalama 4000 ml kadardır. Bunun 2800 ml'si fetusta, 400 ml'si plasenta ve 800 ml kadardır amniyotik sıvıdır. Amniyon sıvısının hacmini kesin olarak tayin edebileceğimiz bir yöntem henüz bulunamamıştır. Fetusun büyümesine paralel olarak amniyon sıvısı miktarında artış olmaktadır (Tablo 2). Ortalama hacim 16. haftada 200 ml iken 34-35. haftalarda hızlı bir artışla 980 ml kadar ulaşmaktadır. Ancak, 38. haftadan sonra ortalama haftada 150 ml kadar bir miktarda azalmaktadır²⁴. Amniyon sıvı dinamiğini düzenleyen mekanizmaların iyi anlaşılması için öncelikle su taşınma mekanizmasının iyi bilinmesi gerekir. Suyun taşınması hidrostatik ve/veya osmotik basınç farkları ile pasif olarak meydana gelir. Ancak, böyle bir basınç farkı yoksa eğer sıvı transferide olmaz.

Amniyon sıvısı durgun bir havuz değildir. Her gün büyük miktarda sıvı amniyon boşluğuna girer ve çıkar. Amniyon sıvısı, kendi içinde bir dengeye sahiptir ve büyük bir kısmı (%95) gün içinde yenilenir. Amniyotik sıvı içine enjekte edilen pek çok farklı protein türünün aynı hızla temizlendiği gösterilmiştir²⁵. Gebeliğin geç döneminde, amniyotik sıvının oluşmasında en önemli iki faktör idrar üretimi ve yutulan amniyon sıvısıdır. Ancak, erken gebelik döneminde daha bebekten idrar çıkışı olmadan önce de önemli miktarda amniyon sıvısı vardır. Bunun nasıl oluştuğu tam olarak anlaşılacakla beraber en önemli teori amniyokoryonik membrandan difüzyonla geçen anne doku sıvısıdır. Az miktarda, amniyotik hücrelerden de sıvı salınmaktadır.

2.9.1. Amniyotik Sıvı Hacmini Belirleyen Faktörler

2.9.1.1. Fetal İdrar

Gebeliğin ikinci yarısında, amniyon sıvısının en önemli kaynağının fetal idrar olduğu bilinmektedir. Fetal idrarın, amniyon boşluğuna ilk defa 8-11 haftalıkken girdiği

gösterilmiştir²⁶. Real time ultrason tekniği ile gebeliğin ikinci yarısından sonra idrar üretiminde dengeli bir artış olduğu gösterilmiştir²⁷. Yirmi beşinci haftada, idrar üretimi ortalama 110 ml/kg/24 saate kadar çıkar²⁸. Doğuma yakın ortalama idrar miktarı 500-600 ml/gün kadardır. Doğuma yakın koyunlarda direkt metotla idrar miktarının ölçülmesi sonucunda elde edilen verilerde bunu desteklemektedir²⁹.

2.9.1.2. Fetal Yutma

Fetal yutma, 8 ila 11. haftalarda başlamaktadır. Fetus tarafından saatte 20 ml kadar amniyon sıvısı yutulur. Gebeliğin genç döneminde, günlük yutulan sıvı miktarı 200-450 ml'dir³⁰. Üç kilogramlık fetal hayvanlarda günde 1000 ml'ye kadar yutma olduğu gösterilmiştir³¹. Bu günlük hacim, akciğerlerden salgılanan trakeal sıvıyı içermez. Çünkü, trakeal sıvı amniyotik mesafeye girmeden önce yutulur. Fetus genelde, nefes alma esnasında yutkunur ve fetal solunum doğum sancısı başlamadan önce [24-36 saat) aktif olmadığından, normal insan fetusu tarafından doğumda veya doğuma yakın dönemde yutulan amniyotik sıvı miktarı olduğundan daha az hesaplanabilir^{32,33}. Fetal yutma, gebeliğin ikinci yarısında amniyotik sıvı hacim tayininde önemli bir yere sahiptir.

2.9.1.3. Fetal Akciğer Sıvısı

Uzun yıllar, amniyon sıvısının trakeadan akciğere girdiği ve alveolleri kaplayan kapillerler tarafından emildiği kabul edilmiştir. Fakat, daha sonra yapılan çalışmalar; akciğerden salgılanan sıvının trakea yolu ile dışarı atıldığı üzerinde yoğunlaşmıştır. Örneğin; pek çok türde trakeada kapalılık akciğerde şişlik birlikte görülmektedir. Doğuma yakın koyunlardaki çalışmalar, fetal akciğerlerden günde 200-400 ml kadar dışarı akım olduğunu göstermektedir³⁴. Dışarı akım, gelişen akciğerin epitelyum örtüsü tarafından klor iyonlarının aktif transportu ile sağlanır. Fetal akciğerden dışarı sıvı salgılanması olmakla beraber, bunun amniyotik sıvıya katkısının olup olmadığı net olarak ortaya konmamıştır. Deney hayvanlarında yapılan çalışmalar, akciğer sıvısının amniyotik mesafeye girmeden önce yutulduğunu göstermektedir. İnsanda, amniyotik sıvıda ölçülen fosfolipidler akciğer kaynaklıdır ve idrara önemli miktarda geçmez. Böylece, insan fetusundan salgılanan akciğer sıvısının önemli kısmının amniyotik boşluğa girdiği kabul edilir.

2.9.1.4. Fetal Deri

Gebeliğin ilk yarısında amniyon sıvısının önemli bir bölümü permeabilitesi çok fazla olan fetal deri yolu ile su transportundan sağlanmaktadır. Yirmidört-yirmialtıncı haftalarda, deri keratenize olur ve bundan sonra CO₂ gibi küçük, yağda eriyen moleküller hariç su ve suda çözünen maddelerin önemli miktarı artık deriden transfer olamaz. Prematüre yeni doğanlarda trensepidermal sıvı kaybı normal doğan infantlara göre fazla olmaktadır³⁵.

2.9.1.5. Fetal Membranlar

Amniyon ve koriyon, hem su hem de suda eriyen maddelerin transferi için büyük bir yüzey alanı sağlar. Böylece, amniyotik sıvı dengesinin düzenlenmesinde önemli bir rol oynar. Ancak, membranlar arasındaki bu transferin nasıl olduğu konusu tam olarak aydınlatılamamıştır. Gebeliğin erken dönemlerindeki amniyon sıvısının en önemli kaynağı anne doku sıvısından, amniyokoryonik membrandan difüzyonla gelen su ve suda çözünen maddelerdir. Bazı araştırmacılar, amniyondan su dışarı doğru transfer edilirken, elektrolit transferinin içeri doğru olduğunu kabul etmekle beraber bu konuda tam olarak ispatlanamamıştır³⁶.

Amniyotik sıvı hareketleri, fetal ölümden sonrada bir süre devam etmekle birlikte yarı yarıya azalmaktadır. Bu durum, membranların sıvı üretiminden ziyade düzenlenmesinden sorumlu olduğunu düşündürmektedir³⁷. Gebeliğin geç dönemlerinde, amniyon boşluğuna giren ve çıkan sıvı miktarları incelendiğinde (500ml/gün idrar, 00ml/gün yutma, 200ml/gün akciğer sıvısı) her gün 300 ml amniyon sıvısının fetal membranlar aracılığı ile amniyotik kaviteye girdiği tespit edilmiştir. Deney hayvanlarında yapılan çalışmalarda; intra amniyotik olarak 1 litre dengeli tuz solüsyonu verildiği zaman, fetal idrar ve yutma değişmemesine rağmen amniyon sıvı miktarının 24 saatte normale dönmesi, membranlar arasında sıvı akımının olduğunu düşündürmektedir. Bazı çalışmalar; amniyotik sıvı miktarı anormal değerlerde olduğunda, amniyotik membranlarda da bir anormallik olabileceğini göstermiştir.

2.9.1.6. Diğer Kaynaklar

Amniyon sıvısına katkıda bulunan diğer faktörlerin umbilikal kord, plasenta, nasal ve bukkal mukoza salgıları, ter bezleri olabileceği düşünülmektedir. Ter bezleri,

fetal dönemde sonraki döneme nazaran daha fazladır ancak, fetusun intrauterin terlediği kesinlik kazanmamıştır. Yeni doğanların önemli miktarda tükürük salgılaması fetusunda böyle olduğunu düşündürmektedir^{35,36}.

2.10. Amniyotik Sıvı Birleşimi

Amniyotik sıvı, fetus hakkında pek çok bilgi elde edebileceğimiz değerli bir kaynaktır. İçeriğinde fetusun deri, boşaltım organlarından ve diğer vücut alanlarından dökülen hücreler, proteinler, tuzlar ve hormonlar bulunmaktadır. Fetal hücreler, gebeliğin farklı dönemlerinde farklı oranlarda bulunurlar (Tablo 2). Özellikle, bu hücrelerden canlı olanlar gerektiğinde prenatal tanıda kullanılması açısından çok önemlidir.

Çizelge 5: Gebelik haftasına göre amniyotik sıvı miktarı ve bulunan hücre sayısı²³.

Gebelik haftası	Hücre sayısı/ml	Amniyotik sıvı (ml)
9	5,700	-
10	24,000	30
11	27,000	54
12	60,000	58
13	91,000	71
14	126,000	124
15	135,000	137
16	185,000	190
20	-	380

Gebeliğin ilk yarısında amniyon sıvısının elektrolit içeriği ve osmolalitesi fetal ve maternal kanla aynıdır. Fetal derinin keratinizasyonundan sonra amniyotik sıvı osmolalitesi gebelik yaşının ilerlemesine bağlı olarak belirgin şekilde düşer. Sodyum ve klor gibi ana çözülmüş maddelerin amniyotik sıvıdaki yoğunlukları osmolalitedeki değişikliklere paraleldir. Aynı zamanda, amniyotik osmolalite amniyotik sıvı miktarının düzenlenmesinde de rol oynar. Doğuma yakın dönemde, amniyotik sıvıdaki pek çok

protein maternal serum kaynaklıdır. Bu proteinler, amniyotik sıvıya plasenta ve fetal membranlar ile ulaşır. Fetal kaynaklı proteinler ise deri, koriyon, amniyon, umbilikal kordon, idrar, bukkal, bronşial ve gastrointestinal sekresyonlar aracılığı ile gelir. Gebeliğin 30 haftasından sonra, amniyotik sıvıda ki antitripsin, seruloplazmin ve transferrinin büyük kısmı, maternal kaynaklıdır. Amniyon sıvısındaki proteinlerin büyük kısmı fetal kaynaklı olduğu için prenatal tanıda kullanılamaz³⁸. Lipidlerin anneden fetusa plasenta yolu ile geçtiği düşünülmektedir. Yapılan bir çalışmada; 26. haftadan sonra amniyotik sıvı lipid içeriği tanımlanmış olup amniyotik sıvıda total lipid miktarının, gebelik sırasında maternal plasmada bulunan miktarın 1/7'si, fetal plasmada bulunan miktarın 1/20'si olduğu tespit edilmiştir. Amniyon sıvısında ölçülen fosfolipidler akciğer kaynaklıdır ve idrara geçmezler.

Amniyon sıvısında pekçok enzim de bulunmuştur. Bunlardan bazıları, anne serumundakinden daha fazla aktivite gösterirler. Bazı çalışmalarda; amniyotik sıvının içeriğinde bakterisid veya bakteristatik bir maddenin olduğu, 2. trimesterde çok aktif olmayan bu maddelerin terme doğru arttığı, aerobik ve anaerobik bakterilere karşı etkili olduğu görülmüştür. İmmünoglobulinler, gebeliğin 11-40 haftaları arasında amniyotik sıvıda ölçülebilir. IgA, IgD ve IgG düzeyleri, 11. haftadan 25. haftaya kadar artarken daha sonra doğuma kadar azalmaktadır. IgM ise 35. haftaya kadar sabit kalır ondan sonra azalır. Hormonlar ve metabolitleri ise amniyotik sıvıda 2. trimesterden itibaren ölçülür. Dokuz-onikinci haftalarda, prolaktin düşük düzeyde iken 13. haftadan sonra artar ve 19. haftada pik yapar³⁹.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışmamızda; amniyotik sıvıdaki fetal hücreler, invitro kültür ortamında RF etkisine maruz bırakılarak bebeğin kromozomlarındaki değişimler incelenmeye çalışıldı. Kullanılan fetal hücreler, Çukurova Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Kadın Hastalıkları ve Doğum Anabilim Dalında alınan ve aynı fakültenin Tıbbi Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalına amniyosentez rutin kromozom analizi için gönderilen örneklerden sağlandı. RF jeneratörü aynı fakültenin Biyofizik Anabilim Dalı tarafından tasarlandı ve Set Elektronik Şirketine yaptırıldı.

3.1. Araç ve Gereçler

Bu çalışmada kullanılan kimyasal maddeler, cihazlar ve teknik malzemeler temin edildikleri firmalarla birlikte aşağıda belirtilmiştir.

3.1.1. Kimyasal Malzemeler

1. Bio-AMF medyum (Biological Industries Cat. No: 01-190-1B)
2. Supplement (Biological Industries)
3. L-glutamin (Biological Industries)
4. Gentamisin (Biological Industries Cat. No: 03-035-1C)
5. Amfoterisin-B (Fungizone)
6. Kolşisin (Seromed Cat No. L6210)
7. Phytohemaglutinin (Biochrom AG Cat. No: M 5030)
8. Tripsin (Difco Cat. No: L-000403 [1298])
9. Metanol (Merck)
10. Glasiyel asetik asit (Merck)
11. Aseton (Merck)
12. Ksilol (Merck)
13. Giemsa (Merck)
14. İmmersiyon Yağı (Merck)
15. Entellan (Merck)
16. Sodyum klorid (NaCl) (Merck)

17. Potasyum klorid (KCl) (Sigma)
18. di-Sodyum hidrojen fosfat dihidrat ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Merck)
19. Potasyum dihidrojen fosfat (KH_2PO_4) (Merck)

3.1.2. Cihazlar ve Teknik Malzemeler

1. İnkübatör (nemlendirilmiş ve %5 CO_2 'li ortam, Sanyo marka)
2. Zaman ayarlı santrifüj (Nüve NF 800, Hettich Universal 16 R)
3. Mikroskop (Olympus BX50)
4. İnvirt mikroskop (Olympus CK40)
5. Lamin air flow (Kojair)
6. RF Jeneratörü
7. Timer Priz
8. pH metre (Inolab)
9. Buzdolabı (Arçelik)
10. Steril petri kabı (Dio-Pet)
11. Steril kültür flaskı (Cell Culture)
12. Steril kültür tüpü (Greiner 164160)
13. Steril enjektörler [2 ml'lik, 5 ml'lik, 10 ml'luk, 20 ml'lik)
14. Cam pipet
15. Pastör pipeti
16. Mezür
17. Şale
18. Lam (Rodajlı)
19. Lamel
20. Elektrosmog meter (Egerate Elektronik)

3.2. Yöntem

3.2.1. Amniyon Sıvılarının Temin Edilmesi

Çalışma materyali (Amniyotik sıvı); Çukurova Üniversitesi, Tıp Fakültesi Kadın Doğum Anabilim Dalı Polikliniğinde takip edilen, amniyosentez yapılması zorunlu olan 16-18 haftalık gebe kadınlardan alındı. Çukurova Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi

Biyoloji Anabilim Dalına analiz için gönderilen amniyon sıvılarından gerekli testler yapıldıktan sonra arta kalan amniyon sıvıları kullanılmıştır.

Çalışmamız;

1. Hücre Kültürlerinin Oluşturulması,
2. Hücre Kültürlerinin RF Maruz Bırakılması,
3. Metafaz Alanlarının Eldesi (Hasat),
4. Preparatların GTG (G-bands by Trypsin using Giemsa) Bantlama Yöntemiyle Boyanması,
5. Fotoğraflama olmak üzere 4 aşamadan oluştu.

3.2.2. Hücre Kültürlerinin Oluşturulması

1. Hücre ekiminde kullanılacak flasklara 2 ml medyum (konarak flasklar ekime hazır hale getirildi.
2. Amniyon sıvısı örnekleri 14ml'lik steril tüplere konuldu ve 1000 devirde 8 dk santrifüj edildi (Şekil 8-9).



Şekil: 8-9: Amniyon sıvıların santrifüj edilmesi

3. Santrifüjden sonra üstteki süpernatant kısım pelletin üzerinde 0,5–0.75ml sıvı kalacak şekilde atıldı. Pellet pipetaj ile homojen bir şekilde karıştırıldı.
4. Bio-Amf besiyeri enjektör ile çekildi, enjektörün ucuna filtre takılarak flasklara aktarıldı. Flaskların üzerine besi yeri markasının ilk harfi, tarih ve hastanın protokol numarası yazıldı.



Şekil 10: Flaskların hazırlanması ve medyum eklenmesi

5. Flaskların kapağı gevşek kapatılarak hücrelerin 37°C' de, %5 oranında CO₂ içeren inkübatörde özel olarak oluşturulan sistemle, 900 ve 1800 MHz radyofrekans elektromanyetik alanda kültürü yapıldı.

3.2.3. Kültürlerin RF-EMA'ya Maruz Bırakılması

Hazırlanan kültür flaskları, 900 ve 1800 MHz radyofrekans elektromanyetik alanlara maruz bırakıldı. Bunun için hergün 3, 6 ve 12 saatlik sürelerde ayrı ayrı gruplar halinde elektromanyetik alanlara bırakıldı. Elektromanyetik alanlar için RF jeneratörü kullanıldı. Kültür flaskları Şekil 11-12 de gösterildiği şekilde CO₂ inkübatürü içindeki maruziyet kutusuna yerleştirildi.



Şekil 11-12: RF jeneratörünün CO₂ inkübatörüne bağlantısı ve flaskların İnkübatör içindeki maruziyet kutusuna yerleşimi

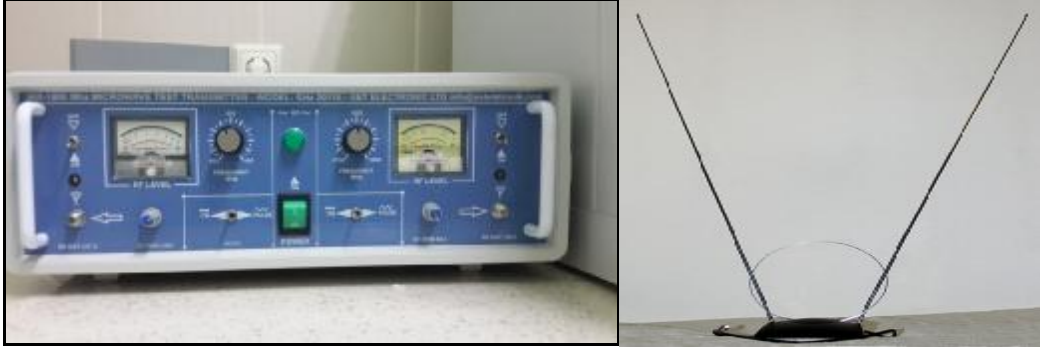
Kullandığımız cihaz 900 ve 1800 mikrodalga test verici ünitelerini içermektedir. Bu üniteler için ayrı ayrı çıkış bulunmaktadır (Şekil 9). RF jeneratörünün teknik özellikleri aşağıdaki gibidir;

900MHz Mikrodalga Test Vericisi

Çıkış Gücü Maksimum	: 2 Watt Ayarlı (0–2)
Çıkış Empedansı	: 50 Ohm
Konnektör Tipi	: BNC veya N
Frekans Bant Genişliği	: 900 Mhz (+/- 50Mhz)
Anten Tipi	: Dipol veya Monopol
Darbe Modülasyon Frekansı	: 217Hz
Alan Emisyonu	: 40–100 V/m

1800MHz Mikrodalga Test Vericisi

Çıkış Gücü Maksimum	: 1 Watt Ayarlı (0-1)
Çıkış Empedansı	: 50 Ohm
Konektör Tipi	: BNC veya N
Frekans Bant Genişliği	: 1800 Mhz (+/- 50Mhz)
Anten Tipi	: Dipol veya Monopol
Darbe Modülasyon Frekansı	: 217Hz
Alan Emisyonu	: 40-100 V/m



Şekil 13: 900MHz ve 1800MHz mikrodalgalı RF jeneratörü ve kullanılan anten görüntüsü.

RF jeneratöründen çıkan prob (anten) flaskların içinde bulunduğu plastik kutuya yerleştirildikten sonra istenen mikrodalganın kontrolü, frekans ölçen alet (electrosmog meter) ile kontrol edildi (Şekil 14). RF jeneratöründe kullanılan dipol veya monopol anten en basit ve en yaygın kullanılan anten tipidir. Genellikle simetrik olan iki metal kablo veya çubuktan oluşur.



Şekil 14: Frekans ölçen alet (electrosmog meter)

Kültürlerin maruz kalma süreleri otomatik olarak zaman ayarlayıcı (timer priz) bir düzenekle ayarlandı (Şekil 15).



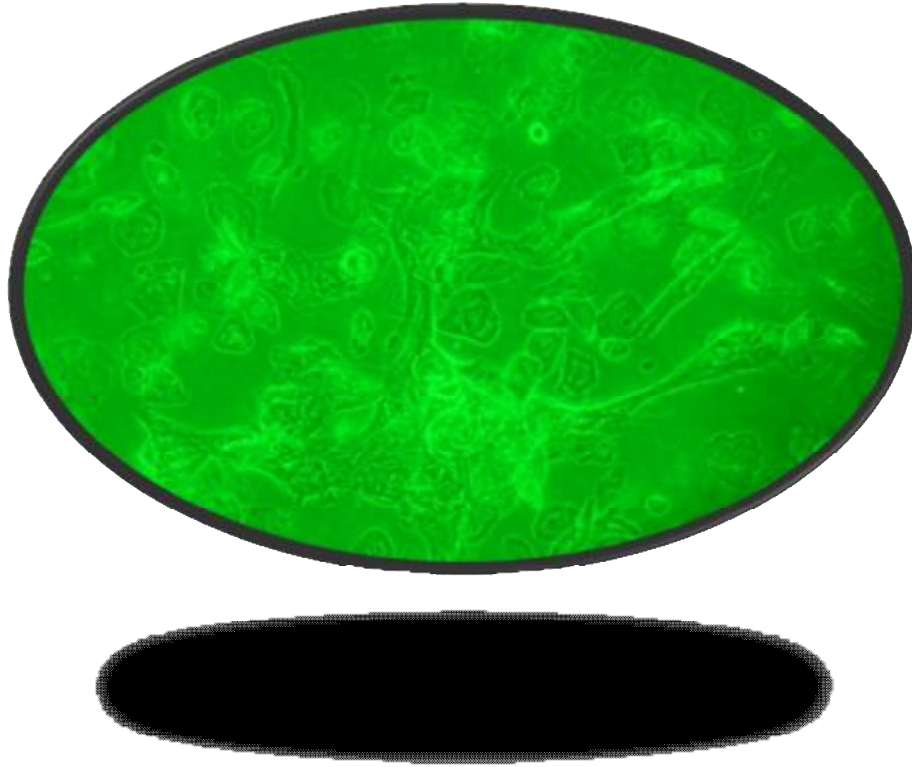
Şekil 15: Otomatik zaman ayarlayıcı alet (Timer priz)

Elimizdeki elektrik ve manyetik alan ölçer ile kültürlerin bulunduğu flasklarda ki ortalama değerleri ölçüldü. Bu değerler Çizelge 6' da gösterilmiştir.

Çizelge 6:Elektrosmog meter ile ölçülen değerler.

	900 MHz [2 Watt)	1800 MHz [1 Watt)
Elektrik Alan Şiddeti	11,6 V/m	13,3 V/m
Manyetik AlanŞiddeti	29,2 A/m	36,7 A/m
Güç Yoğunluğu	268,4 mW/m ²	520 mW/m ²

6. Örneklerin ekiminden 6–7 gün sonra flasklar invert mikroskop altında kontrol edildi. Bu süre zarfında, flask tabanında üremenin başladığı gözlemlendi.



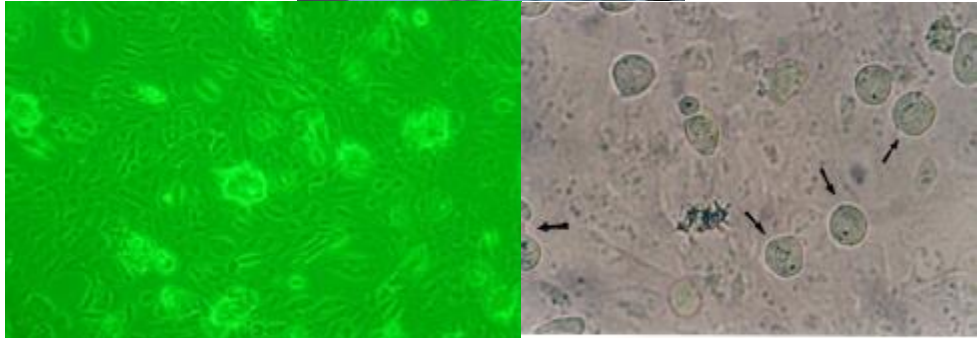
Şekil 16: Flasklarıdaki fetal hücrelerin 6 .günde invert mikroskobu altındaki görüntüsü

7. Üremenin başladığı flaskların medyumları değiştirildi ve örnekler tekrar inkübasyona bırakıldı (Şekil 17).



Şekil 17: 6. günde medyumunu yenilenen flaskların inkübatöre yerleştirilmesi

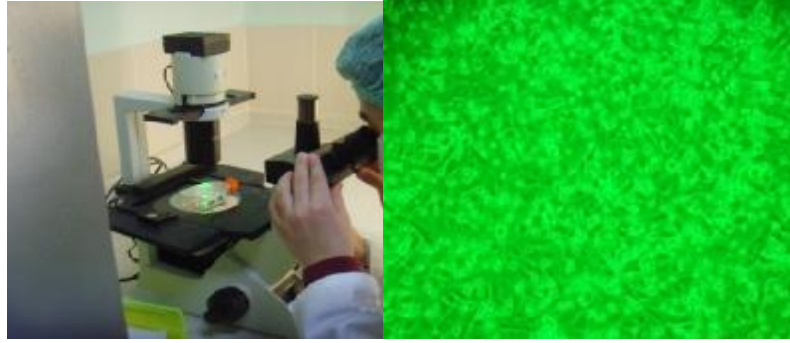
8. Medyumları değiştirildikten 2–3 gün sonra, flasklar tekrar kontrol edildi ve 1cc taze medyum ilave edildi. Her 2–3 günde bir kontrol edilen flasklardaki hücre odakları ve mitozda girmiş hücre sayıları gözlemlendi.
9. Yeterli miktarda hücrenin ürediği düşünülen flaskların medyumunu son olarak değiştirildi. Ertesi gün bu flaskın hasat işlemine geçildi



Şekil 18: Hasat aşamasına gelmiş hücre odağından bir görüntü (10X40 büyütme) ve hasat işlemine hazır haldeki odaktan fotoğrafik bir görüntüsü. Mitoza girmiş hücreler, oklarla gösterilmiştir (10X40 büyütme).

3.2.4. Metafaz Alanlarının Elde Edilmesi (Hasat)

1. Bu amaçla flaska son konsantrasyonu 10 mg/ml olacak şekilde kolşisin solüsyonu ilave edildi ve flask 3 saat süreyle tekrar inkübasyona bırakıldı.
2. Flasklar santrifüj için hazırlanan tüplere boşaltıldı.
3. Flaskların tabanına tutunmuş haldeki hücre gruplarını çözmek için Tripsin-EDTA enzimiyle muamele edildi.
4. Flasklara 1'er ml Tripsin-EDTA eklendi ve kısa bir yıkamadan sonra içeriği pipet yardımı ile aynı santrifüj tüpüne eklendi.
5. Flasklara tekrardan 1 ml Tripsin-EDTA eklenerek kapakları sıkıca kapatıldı ve 37°C'de 5 dk inkübe edildi. 5 dk sonra flasklara hafif olarak mekanik kuvvet uygulandı ve hücrelerin flasktan tam olarak sökülmesi sağlandı.
6. Sonra invert mikroskopta hücrelerin flasktan tam olarak sökülüp sökülmediği kontrol edildi.



Şekil 19: Tripsin muamelesinden sonra kültürün görünümü

7. Yeterince hücre söküldüğü düşünülen flaska 2 ml medyum eklenerek tripsin aktivitesi durduruldu.
8. Flaskın içeriği santrifüj tüpüne[14 cc'lik) aktarıldı ve 1000 devirde 8 dk santrifüj edildi.
9. Santrifüjden sonra üstteki süpernatant kısım, pelletin üzerinde 0.5-0.75 ml sıvı kalacak şekilde atıldı. Pellet pipetaj yöntemi ile homojen hale getirildi.
10. Üzerine 5 ml hipotonik çözelti (0.075 M KCl) eklendi ve 37 °C'lik inkübatörde 25 dk bekletildi.

11. Süre sonunda üzerine taze olarak hazırlanmış 3:1 oranındaki metanol-asetik asitten (fiksatif) 15 damla damlatılarak hücrelerin bir sonraki fiksatif aşamasına alışması sağlandı.
12. Tüp santrifüj edildi ve pelletin üzerine 0.5 ml sıvı kalacak şekilde üstteki süpernatant atıldı.
13. Hücre pelleti, hücre zarlarının zayıflatılması amacı ile 3 kez 5 ml fiksatifle yıkandı. Her bir yıkamada fiksatif tüpe pipet ile yavaş yavaş eklenerek pipetajlandı ve santrifüj edildi.
14. Üçüncü yıkamadan sonra hücre pelletinin üzerinde 0,5 ml sıvı kalacak şekilde süpernatant atıldı.
15. Hücre pelleti pipetajlama ile homojenize edildi ve preparat hazırlamak üzere pipete çekildi.
16. Dezenfektan ile yıkandıktan sonra en az 2 saat asetonda bekletilen ve daha sonra saf suya alınan soğuk lamalar üzerine hücre süspansiyonu 30°'lik bir eğimle damlatılarak kromozom preparatları hazırlandı (Şekil 20)



Şekil 20: Hücre süspansiyonlarının damlatılması ile preparatların hazırlanması

17. Preparatlar 37 °C'de 3 gün yaşlandırıldıktan GTG-bantlama yöntemi ile boyandı.

3.2.5. Preparatların GTG (G-bands by Trypsin using Giemsa) Bantlama Yöntemiyle Boyanması

Analiz için; 3 gün 37°C'de yaşlandırılmak üzere bekletilen preparatlar GTG bantlama tekniği ile boyanarak incelemeye hazır hale getirildi.

Çalışmanın bu aşamasında sırasıyla aşağıda belirtilen işlemler yapıldı:

1. 1,5 ml' lik tripsin stok solüsyonu eritilerek bir şale içerisindeki 75 ml % 0,9'luk NaCl içerisine eklendi ve pH' sı 7,5–7,8' e ayarlandı (Şekil 21).



Şekil 21: Tripsin solüsyonunun pH'ının ayarlanması

2. İkinci bir şaleye de 75 ml fosfat tamponu ilave edildi.
3. Üçüncü bir şalede ise fosfat tamponu içerisinde % 7–10'luk olacak şekilde giemsa boya çözeltisi hazırlandı.
4. Metafaz kalitesine göre sıralanan preparatlar, mikroskop altında metafazların açık ve koyuluğuna göre değişik saniyelerde tripsinle muamele edildi (50saniye)
5. Preparatlar daha sonra fosfat tamponundan geçirildi. Hafifçe çalkalanarak yıkandı.
6. Daha sonra Giemsa boya solüsyonu ile 8dk boyandı. (Şekil 22)

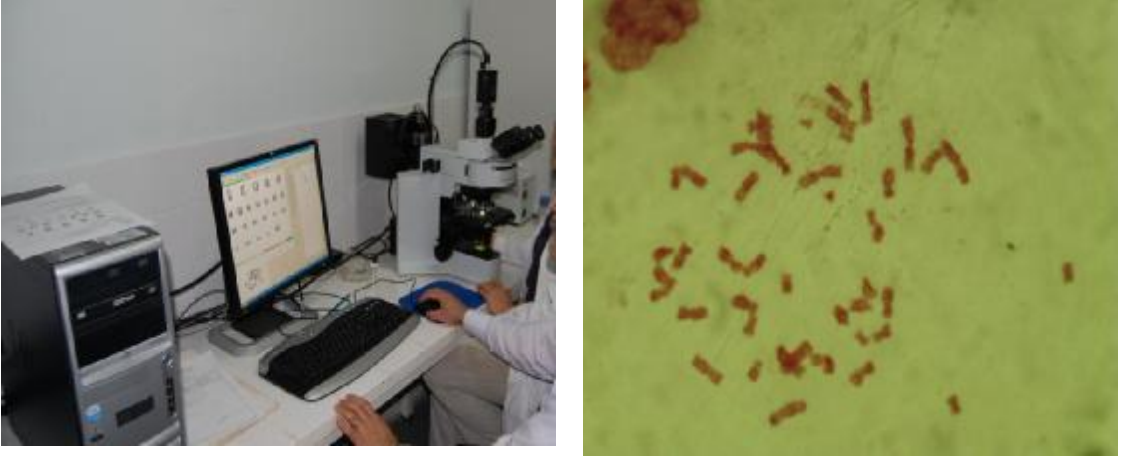


Şekil 22: Lamların 8dk süresince Giemsa boyası ile boyanması

7. Akan musluk suyundan geçirilen preparatlar havada kurutuldu.
8. Bantları boyanmış metafaz kromozomları mikroskop altında sayısal ve yapısal olarak incelendi.
9. Hazırlanan preparatlar kromozom görüntüleme sistemi (Karyotek) ile analiz edildi (Şekil 23).
10. Hazırlanan hücre kültüründen toplam 250 metafaz plağı incelendi.
11. Preparatlar inceleme sonrası Ksilol'den geçirilerek immersiyon yağından temizlendikten sonra entellan ve lamel ile kapatılarak devamlı hale getirildi ve fotoğraf çekimi için saklandı.

3.2.6. Fotoğraflama

Gerekli görülen metafaz plaklarının fotoğrafları, karyotek (kromozom görüntüleme sistemi) sistemi kullanılarak çekildi. Hücre odakları ve mitoz girmiş hücrelerin fotoğrafları ise, fotoğraf makinesi aparatı bulunan invert mikroskop kullanılarak çekildi.



Şekil 23: Preparatların 100x objektifteki görüntüsü ve kromozom görüntüleme cihazında incelenmesi

3.3. İstatistiksel Analiz

Bu çalışmada; Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıbbi Biyoloji A.B.D.'a gelen gebe bayanların amniyon sıvısı, alınan etik kurulu kararı ile kullanılmıştır. Oluşturulan deney gurupları arasında tek değişken etkisinin araştırılmış olmasından dolayı, verilerin istatistiksel analizinde χ^2 (Ki kare) Ki kare yöntemi ve SPSS 15.0 paket programı kullanılmıştır.

4. BULGULAR

900 MHz ve 1800 MHz için üçer olmak üzere altı grup çalışıldı. Her üçlü grup kendi içinde, günde 3, 6 ve 12 saat olmak üzere kültür süreleri boyunca Rf-EMA'ya maruz bırakıldı. Her grup için 200 hücredeki metafaz kromozomları incelenerek kromozom düzensizliği gösteren hücreler analiz edildi. Analiz edilen hücrelerden 900 MHz için incelenen toplam 600 hücrenin 129'unda 1800 MHz için incelenen 600 hücrenin 182'sinde kromozom hasarı tespit edilmiştir.

4.1. Radyofrekansa Maruz Bırakılan Hücrelerde gözlenen Kromozomal Düzensizlikler

Analiz edilen hücrelerde bulunan bazı kromozom hasarları Şekil 26.1 ve 26.2 de gösterildi. 900 MHz'ye maruz bırakılan hücrelerde en çok sırasıyla 3, 5, 1, X, 6, 10, 4 ve 2. kromozomlarda hasar görülürken; 1800 MHz'ye maruz bırakılan hücrelerde en çok sırasıyla 1, 3, 2, 5, 6, 7, 10, X ve 4. kromozomlarda hasar görüldü (Şekil 24, 25).

4.1.1. 900 MHz Radyofrekansa 3 Saat Maruz Kalmış Hücreler

Bu grupta, toplamda 200 hücre analiz edildi. İncelenen toplam 200 hücrenin, 28 tanesinde (%14) kromozomal düzensizliği tespit edildi. Tespit edilen bu düzensizliklerin; gap(4q31)[1], gap(3p25)[15], gap(5q31)[1], gap(1q24)[1], fra(5q23.2)[1], fra(6q21)[1], fra(2q33)[1], fra(7q32)[1], fra(1q32)[6] şeklinde olduğu rapor edildi (Çizelge 7-8).

4.1.2. 900 MHz Radyofrekansa 6 Saat Maruz Kalmış Hücreler

Bu grupta, toplamda 200 hücre değerlendirildi. Değerlendirilen tüm hücrelerin, 34 tanesinde (%17) kromozomal düzensizlik tespit edildi. Tespit edilen bu düzensizliklerin; fra(3p25)[15], gap(1q32)[1], fra(3p32)[1], gap(6p21)[3], fra(Xp22)[2], chtb(1q21)[1], fra(Xq27)[2], fra(9q22)[1], gap(5q32)[5] ve gap(10q22)[3] şeklinde olduğu görüldü (Çizelge 7-8).

4.1.3. 900 MHz Radyofrekansına 12 Saat Maruz Kalmış Hücreler

Toplamda 200 hücredeki metafaz plakları değerlendirildi. Analiz edilen tüm hücrelerin 67 tanesinde (%33,5) kromozomal düzensizlik tespit edildi. Bu düzensizliklerin; fra(2q33)[2], fra(13q13)[1], gap(6q21)[2], gap(10q22)[3], gap(5q32)[3], chtb(6q21-qter)[1], gap(5q32)[10], fra(4q31)[1], gap(1p22)[1], gap(3p25)[1], gap(4q33)[2], gap(1q32)[5], gap(14q23)[1], gap(4q31)[1], gap(3p25)[15], gap(5q31)[4], gap(1q24)[1], inv(9p11;q12)[1], fra(Xq25)[4], fra(Xq26)[5], chtb(2p23)[1], gap(14q24)[1] ve gap(15q15)[1] şeklinde olduğu görüldü (Çizelge 7-8).

4.1.4. 1800 MHz Radyofrekansına 3 Saat Maruz Kalmış Hücreler

Bu grup için toplam 200 hücredeki metafaz kromozomları analiz edildi. Bunların, 31 tanesinde (%15,5) kromozomal düzensizliği tespit edildi. Bu düzensizlikler; del(10q26)[2], fra(6q21)[4], fra(7q32)[4], fra(6q24)[2], fra(1p36)[4], fra(6p23)[2], fra(5q32)[2], fra(3p25)[2], fra(8q21)[1], fra(Xq28)[1], fra(Xq22)[1], gap(Xq23)[1], gap(1q21)[1], gap(3q21)[1], gap(1q32)[1] ve 9qh+(2) şeklinde tespit edildi (Çizelge 7-8).

4.1.5. 1800 MHz Radyofrekansına 6 Saat Maruz Kalmış Hücreler

Bu grupta, toplam 200 hücrenin metafaz plağı analiz edildi. Bunların, 70 tanesinde (%35) kromozom düzensizliği tespit edildi. Tespit edilen bu düzensizliklerin; fra(4q32)[1], fra(1q27)[1], fra(Xq28)[2], fra(1p34)[3], fra, fra(1p36)[1], fra(2p34.1)[1], fra(Xq27)[1], fra(5q35)[2], fra(2q32.1)[1], fra(1q43)[1], fra(4q35)[1], fra(11q23)[1], fra(9q34.1)[1], fra(12q12)[1], fra(5q32)[2], fra(1q32.1)[1], fra(Xp23.1)[1], fra(3p25)[1], fra(12q24.1)[1], fra(10q25)[1], fra(7q32)[1], fra(2q37)[1], fra(18q21)[1], fra(7q35)[1], gap(1q34.1)[1], gap(3q21)[1], gap(13q14)[1], gap(10q22)[2], gap(10q24)[1], gap(8q22)[1], gap(17q21)[5], gap(4q21)[1], gap(6p21)(3), gap(Xq26)[1], gap(5q31)[1], gap(1q21)[4], gap(1p22)[1], gap(3p21)[5], gap(7q22)[1], gap(2q35)[1], gap(Xq23)[1], gap(8q21.1)[1], gap(1q32)[1], gap(5q35)[4], gap(2p21)[1], chbr(1q21)[1], chbr(2q21)[1] ve inv(7)(p22;q22.11) şeklinde olduğu bulundu (Çizelge 7-8).

4.1.6. 1800 MHz Radyofrekansına 12 Saat Maruz Kalmış Hücreler

Bu grupta, toplamda 200 metafaz plağı değerlendirildi. Bunların 81 tanesinde

(%40.5) kromozom düzensizliği tespit edildi. Tespit edilen bu düzensizlikler; gap(1q32)[10], gap(3p21)[11], gap(1q21)[1], gap(1q42)[1], gap(1p22)[1], gap(1p36)[2], gap(18q21)[1], gap(2p23)[1], gap(14q24)[3], gap(4q31)[2], gap(9q21)[1], gap(5q32)[4], gap(7q22)[2], gap(14q24)[1], gap(2q23)[1], gap(10q22)(5), gap(2q31)[3], gap(17q21)[2], gap(1q23)[2], gap(4q27)[1], gap(3q21)[1], fra(1q21)[2], fra(1q41)[1], fra(3p25)[1], fra(2p23)[1], fra(2p21)[2], fra(12q14)[2], fra(1p36)[1], fra(5q23.2)[1], fra(6q21)[1], fra(2q33)[1], fra(7q32)[1], fra(3q21)[1], fra(Xq27.3)[1], fra(8q24.1)[1], 1qhsr+[1], chtbr(3q13.2)[1], chtbr(2q24.2)[1], chtbr(6q12)[1], chtbr(2q32)[1], chtbr(12q13)[1], 9qh+[1], dic(3q25)[1] şeklinde saptandı (Çizelge 7-8).

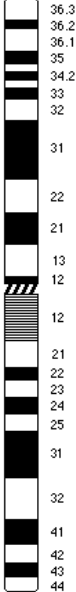

Çizelge 7: 900 - 1800 MHz RF-EMA'nın neden olduğu kromozom düzensizliklerinin saatlere göre dağılımı

900 MHz RF-EMA			1800 MHz RF-EMA		
3 Saat Maruziyet	6 Saat Maruziyet	12 Saat Maruziyet	3 Saat Maruziyet	6 Saat Maruziyet	12 Saat Maruziyet
gap(4q31)[1]	fra(3p25)[15]	fra(2q33)[2]	del(10q26)[2]	fra(4q32)[1]	gap(1q32)[10]
gap(3p25)[15]	gap(1q32)[1]	fra(13q13)[1]	fra(6q21)[4]	fra(1q27)[1]	gap(3p21)[11]
gap(5q31)[1]	fra(3p32)[1]	gap(6q21)[2]	fra(7q32)[4]	fra(Xq28)[2]	gap(1q21)[1]
gap(1q24)[1]	gap(6p21)[3]	gap(10q22)[3]	fra(6q24)[2]	fra(1p34)[3]	gap(1q42)[1]
fra(5q23.2)[1]	fra(Xp22)[2]	gap(5q32)[3]	fra(1p36)[4]	fra(1p36)[1]	gap(1p22)[1]
fra(6q21)[1]	chtb(1q21)[1]	chtb(6q21-qter)[1]	fra(6p23)[2]	fra(2p34.1)[1]	gap(1p36)[2]
fra(2q33)[1]	fra(Xq27)[2]	gap(5q32)[10]	fra(5q32)[2]	fra(Xq27)[1]	gap(18q21)[1]
fra(7q32)[1]	fra(9q22)[1]	fra(4q31)[1]	fra(3p25)[2]	fra(5q35)[2]	gap(2p23)[1]
fra(1q32)[6]	gap(5q32)[5]	gap(1p22)[1]	fra(8q21)[1]	fra(2q32.1)[1]	gap(14q24)[3]
	gap(10q22)[3]	gap(3p25)[1]	fra(Xq28)[1]	fra(1q43)[1]	gap(4q31)[2]
		gap(4q33)[2]	fra(Xq22)[1]	fra(4q35)[1]	gap(9q21)[1]
		gap(1q32)[5]	gap(Xq23)[1]	fra(11q23)[1]	gap(5q32)[4]
		gap(14q23)[1]	gap(1q21)[1]	fra(9q34.1)[1]	gap(7q22)[2]
		gap(4q31)[1]	gap(3q21)[1]	fra(12q12)[1]	gap(14q24)[1]
		gap(3p25)[15]	gap(1q32)[1]	fra(5q32)[2]	gap(2q23)[1]
		gap(5q31)[4]	9qh+(2)	fra(1q32.1)[1]	gap(10q22)[5]
		gap(1q24)[1]		fra(Xp23.1)[1]	gap(2q31)[3]
		inv(9p11;q12)[1]		fra(3p25)[1]	gap(17q21)[2]
		fra(Xq25)[4]		fra(12q24.1)[1]	gap(1q23)[2]



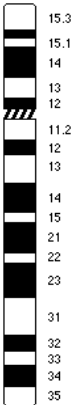
Çizelge 7 Devamı:

		fra(Xq26)[5] chtb(2p23)[1] gap(14q24)[1] gap(15q15)[1]		fra(10q25)[1] fra(7q32)[1] fra(2q37)[1] fra(18q21)[1] fra(7q35)[1] gap(1q34.1)[1] gap(3q21)[1] gap(13q14)[1] gap(10q22)[2] gap(10q24)[1] gap(8q22)[1] gap(17q21)[5] gap(4q21)[1] gap(6p21)(3) gap(Xq26)[1] gap(5q31)[1] gap(1q21)[4] gap(1p22)[1] gap(3p21)[5] gap(7q22)[1] gap(2q35)[1] gap(Xq23)[1] gap(8q21.1)[1] gap(1q32)[1] gap(5q35)[4] gap(2p21)[1] chbr(1q21)[1] chbr(2q21)[1] inv(7)(p22;q22)	gap(4q27)[1] gap(3q21)[1] fra(1q21)[2] fra(1q41)[1] fra(3p25)[1] fra(2p23)[1] fra(2p21)[2] fra(12q14)[2] fra(1p36)[1] fra(5q23.2)[1] fra(6q21)[1] fra(2q33)[1] fra(7q32)[1] fra(3q21)[1] fra(Xq27.3)[1] fra(8q24.1)[1] 1qhsr+[1] chtbr(3q13)[1] chtbr(2q24)[1] chtbr(6q12)[1] chtbr(2q32)[1] chtbr(12q13)[1] 9qh+[1] dic(3q25)[1]
--	--	---	--	---	--

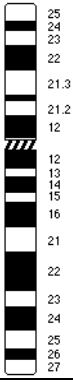
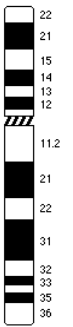
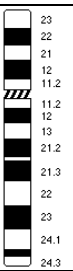
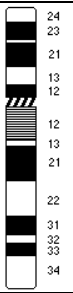
Çizelge 8: 900 MHz ve 1800 MHz RF-EMA'ya maruz kalan hücrelerde gözlenen düzensizliklerin kromozomlara göre dağılımı

Kromozom No	Kromozom İdiogram	900 MHz		1800 MHz	
		Gözlenen Düzensizlik	Düzensizlik sayısı	Gözlenen Düzensizlik	Düzensizlik sayısı
1		gap(p22) gap(q24) chtb(q21) gap(q24) fra(q32) gap(q32) gap(q32)	1 1 1 1 6 1 5	fra(p36) fra(q27) fra(p34) fra(q43) fra(q32.1) gap(q34.1) gap(q21) gap(p22) chbr(q21) gap(q32) gap(q42) gap(p36) gap(q23) fra(q21) fra(q41) qhsr+	6 1 3 1 1 1 6 2 1 12 1 2 2 2 1 1
		TOPLAM	16	TOPLAM	43
2		chtb(p23) fra(q33)	1 3	fra(p34.1) fra(q32.1) fra(q37) gap(q35) gap(p21) chbr(q21) chtbr(q32) chtbr(q24) fra(q33) fra(p21) fra(p23) gap(q31) gap(q23) gap(p23)	1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 3 1 1
		TOPLAM	4	TOPLAM	17





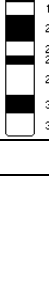
Çizelge 8 Devamı:

3		gap(p25) fra(p25) fra(p32)	30 15 2	fra(p25) gap(q21) dic(q25) gap(p21) fra(q21) chtbr(q13)	4 3 1 16 1 1
		TOPLAM	47	TOPLAM	26
4		gap(4q31) fra(4q31) gap(4q33)	2 1 2	fra(q32) fra(q35) gap(q21) gap(q31) gap(q27)	1 1 1 2 1
		TOPLAM	5	TOPLAM	6
5		fra(q23.2) gap(q31) gap(q32)	1 5 18	fra(q32) fra(q35) gap(q31) gap(q35) fra(q23.2) gap(q32)	4 2 1 4 1 4
		TOPLAM	24	TOPLAM	16

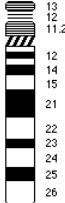



Çizelge 8 Devamı:

6		gap(p21) fra(q21) chtb(q21-qter) gap(q21)	3 1 1 2	fra(q21) fra(q24) fra(p23) gap(p21) chtbr(q12)	5 2 2 3 1
		TOPLAM	7	TOPLAM	13
7		fra(q32)	1	fra(q32) fra(q35) gap(q22) inv(p22;q22)	6 1 3 1
		TOPLAM	1	TOPLAM	11
8				fra(q21) gap(q22) gap(q21.1) fra(q24.1)	1 1 1 1
				TOPLAM	4
9		fra(q22) inv(p11;q12)	1 1	qh+ fra(q34.1) gap(q21)	3 1 1
		TOPLAM	2	TOPLAM	5

Çizelge 8 Devamı:

10		gap(q22)	6	del(q26) fra(q25) gap(q22) gap(q24)	2 1 7 1
		TOPLAM	6	TOPLAM	11
11				fra(q23)	1
				TOPLAM	1
12				fra(q12) fra(q24.1) fra(q14) chtbr(q13)	1 1 2 1
				TOPLAM	5
13		fra(q13)	1	gap(q14)	1
		TOPLAM	1		1
14		gap(14q23) gap(14q24)	1 1	gap(q24) gap(q24)	4
		TOPLAM	2		4

Çizelge 8 Devamı:

15		gap(q15)	1		
		TOPLAM	1		
17				gap(q21)	7
				TOPLAM	7
18				fra(q21) gap(q21)	1 1
				TOPLAM	2
X		fra(p22) fra(q25) fra(q26) fra(q27)	2 4 5 2	fra(q28) fra(q22) gap(q23) fra(q27) fra(p23.1) gap(q26) fra(q27.3)	3 1 2 1 1 1 1
		TOPLAM	13	TOPLAM	10
		GENEL TOPLAM	129	GENEL TOPLAM	182

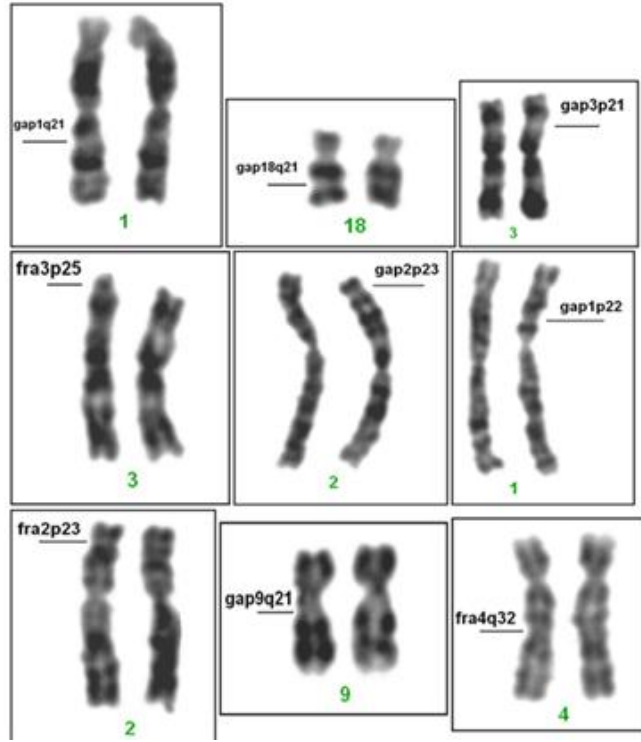
Maruziyet süresi arttıkça kromatid kırıklarında artış olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, maruz kalınan frekans miktarı arttıkça gözlenen kromatid kırıklarında artış olmuştur. Sonuç olarak en çok hasara; 1q32, 1q21, 1q36, 2q33, 2p23, 2q21, 2q32, 2q24, 3q21, 3p25, 3q13, 4q31, 5q31, 5q35, 6q21, 6q12, 7q32, 7p22, 7q22, 10q22, 12q13, 14q24, Xq25, Xq26 ve Xq27 kromozom bölgelerinde rastlanmıştır.



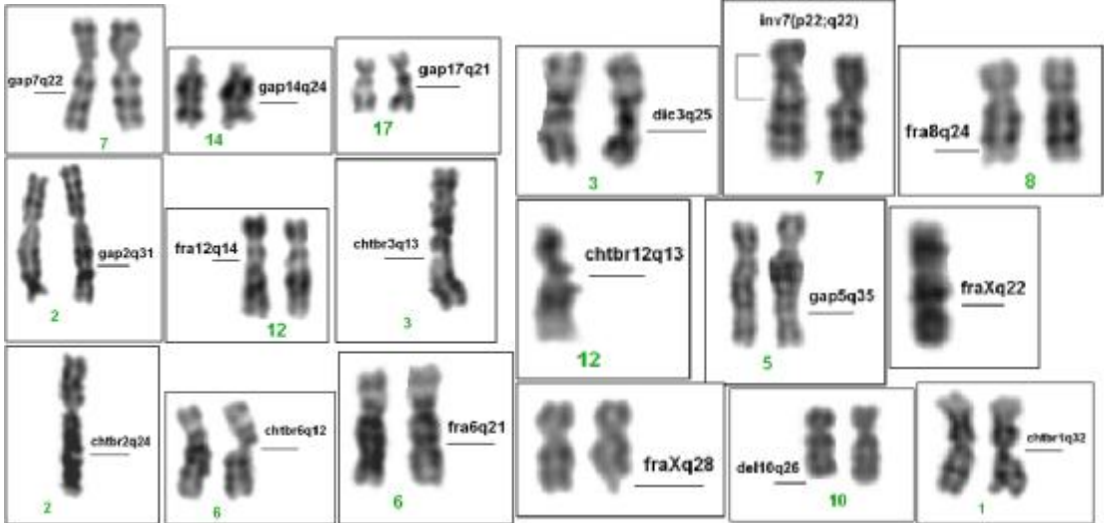
Şekil 24: 900 MHz RF-EMA'ya maruz kalan hücrelerde görülen düzensizliklerin kromozomlara göre dağılımı



Şekil 25: 1800 MHz RF-EMA'ya maruz kalan hücrelerde görülen düzensizliklerin kromozomlara göre dağılımı



Şekil 26.1: Tespit edilen bazı kromozomal düzensizlikler



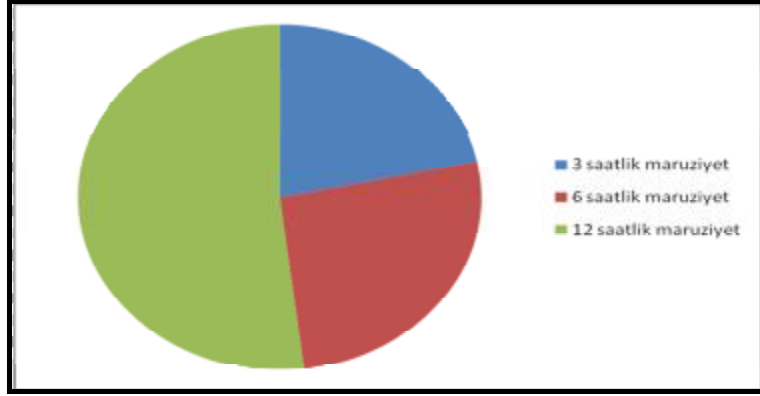
Şekil 26.2: Tespit edilen bazı kromozomal düzensizlikler

4.2. İstatistiksel Analiz

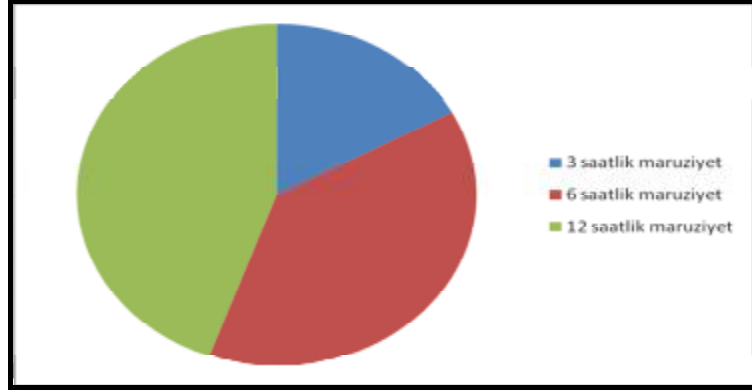
Yapılan istatistiksel analiz sonucunda maruziyet süresinin artmasıyla birlikte kromozom düzensizliğinde anlamlı bir artış olduğu bulundu ($p=0.0001$). Frekanslar arasında ise 6 saatlik gruplar arasında anlamlı bir fark bulunurken ($p=0.0001$) diğer gruplar arasında anlamlı bir farkın olmadığı (3 saat için $p=0.672$ 12 saat için $p=0.147$) rapor edildi (Çizelge 9) (Şekil 25-26-27).

Çizelge 9: 900-1800 MHz RF-EMA'ya maruz bırakılan amniyotik hücrelerin kromozom düzensizliklerinin istatistiksel değerlendirmesi.

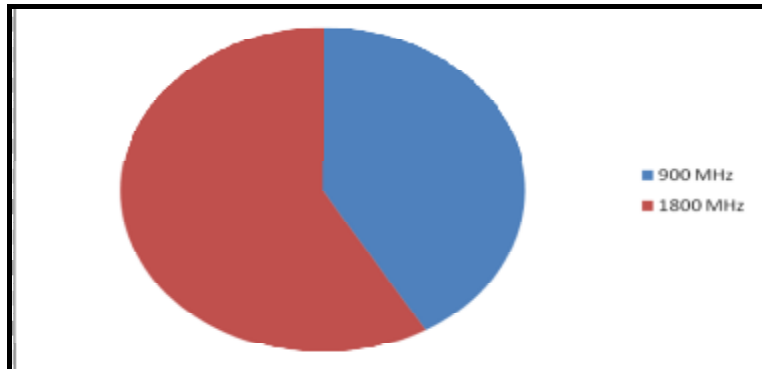
		3 saat maruziyet	6saat maruziyet	12saat maruziyet	P değeri
900 MHz	Kromozomal Düzensizliği Olan Hücreler/Yüzdesi	28/14.0	34/17.0	67/33.5	0.0001
	Normal Hücreler	172	166	133	
1800 MHz	Kromozomal Düzensizliği Olan Hücreler/Yüzdesi	31/15.5	70/35.0	81/40.5	0.0001
	Normal Hücreler	169	130	119	
P değeri		0.672	0.0001	0.147	



Şekil 27: 900 MHz RF-EMA'ya maruz bırakılan hücrelerde saatlere göre kromozom düzensizliği gösteren hücrelerin dağılımı



Şekil 28: 1800 MHz RF-EMA'ya maruz bırakılan hücrelerde saatlere göre kromozom düzensizliği gösteren hücrelerin dağılımı



Şekil 29: 6 saat maruziyet sonucu kromozom düzensizliği gösteren toplam hücrelerin frekansa göre dağılımı

5. TARTIŞMA

Hızla gelişen teknoloji ile birlikte, insanların RF alan kaynaklarına maruziyeti de artmıştır. RF alan kaynakları arasında yer alan cep telefonlarının kullanımındaki yaygınlaşma, kamuoyunda cep telefonu kaynaklı RF-EMA'nın sağlık üzerine muhtemel zararlı etkileri hakkında giderek artan bir endişeye sebep olmuştur. Cep telefonunun beyin gibi hassas bir organa yakın konumlandırılması ve zararlı etkileri hakkında net bir bilginin olmaması, bilimsel çevrelerde ilginin daha da artmasına neden olmuştur.

Cep telefonu, basitçe bir radyo vericisi ve alıcısının birlikte tek bir elektronik araç üzerinde birleştirilmiş şekli olarak düşünülebilir. Cep telefonu, baz istasyonu ile elektromanyetik dalgalar üreterek bağlantı kurmaktadır. Cep telefonlarının yaydığı RF-EMA radyasyon enerjisi, atom ve moleküllerden elektron koparacak yani onları iyonize edecek düzeyde değildir. Ancak, biyolojik dokular üzerinde termal ve/veya termal olmayan mekanizmalarla açıklanabilecek bir takım değişiklikleri uyararak dokulara zarar verebilir. Termal etkileri, vücut tarafından emilen elektromanyetik enerjinin ısıya dönüşmesi ve dokunun veya tüm vücut sıcaklığının arttığı durumlarda ortaya çıkar. Bu sıcaklık artışı, ısının kan dolaşımı ile dengelenmesine kadar sürer.

Cep telefonları farklı frekans aralıklarında hizmet vermektedir. Ülkemiz'de ise cep telefonları, 900 ve 1800 MHz frekanslarında çalışmaktadır. Bu çalışmada, ülkemizde kullanılan cep telefonu frekanslarındaki RF-EMA alanlarının ve maruziyet süresinin kromozomlar üzerindeki etkileri in vitro olarak araştırıldı. Bunun için, maruziyet süreleri düşünülerek kültür süresi uzun olan amniyotik hücreleri kullanıldı. In vitro amniyotik hücre kültürleri, 900 MHz ve 1800 MHz frekanslı RF alanlarına farklı sürelerde maruz bırakıldı. Amniyotik hücreler, kültür boyunca her gün 3, 6 ve 12 saat olmak üzere farklı sürelerde RF alanlarına maruz bırakıldı. Çalışmamızda; cep telefonuna maruziyet süresinin artması ile birlikte, 900 ve 1800 MHz frekanslı her iki grupta da kromozom düzensizliklerinde anlamlı bir artış olduğu bulundu ($p=0,0001$) (Çizelge 9). 900 ve 1800 MHz'lik frekanslara maruz bırakılmış gruplar karşılaştırıldığında; 3 saat maruz bırakılmış grupta 900 ile 1800 MHz arasında kromozom düzensizlikleri bakımından anlamlı bir fark görülmez iken ($P=0,167$), 6 saatlik grupta anlamlı bir farkın olduğu ($p=0,0001$) ve 12 saatlik grupta anlamlı bir

farkın olmadığı görüldü ($P=0,147$) (Çizelge 9). Bu durum; 900 ile 1800 MHz frekansları arasında kromozomlara etki edebilme açısından 3 saatlik maruziyet süresinin yetersiz olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte 6 saat, 900 MHz ve 1800 MHz RF alana maruz bırakılmış gruplar kıyaslandığında, kromozom düzensizlikleri açısından anlamlı bir artışın olması (Şekil 29) ve 12 saatlik grupta ise 1800 MHz'e maruz bırakılan hücreler ile 900 MHz'e maruz bırakılan hücreler arasında kromozom düzensizlikleri bakımından anlamlı bir artış olmaması, bize belirli bir süreden sonra, 900 ile 1800 MHz arasındaki değişimin önemsiz olduğunu göstermektedir.

Çalışmamızda; RF-EMA alanlarının kromozomlarda fragilite ve gap tarzı yapısal düzensizliklere neden olduğu bulundu. Bu yapısal düzensizlikler, kromozom kondensasyonundaki hatalar sonucu oluşmaktadır. Sonuç olarak, cep telefonlarına uzun süre maruz kalınması durumunda bölünen hücrelerde kromozomların normal oluşumunun etkilendiği ortaya çıkmaktadır. Bu etki özellikle, 1, 2, 3, 4, 5 ve X. kromozomlarda görülmektedir (Çizelge 7,8).

RF alanlarının etkileri, pekçok araştırmacı tarafından ratlar, bazı bitkiler ve insanların farklı dokuları ile *in vitro* ve *in vivo* olarak çalışılmıştır. Bu çalışmaların bazılarında, termal etki yapmayan RF alanların genotoksik bir etkiye de sahip olmadığı ve RF alanların zararlı etkilerinin temel olarak termal etkiden kaynaklandığı ileri sürülmüştür^{49, 55, 56, 57}. Buna karşın, bazı araştırmacılar ise RF alanların termal etki yapmasada genotoksik etkiye sahip olduğunu ileri sürmüş ve bununla ilgili pozitif sonuç rapor etmişlerdir^{58,59, 60, 61, 62}.

RF alanların sitogenetik etkilerinin incelendiği çalışmaların bazılarında; RF-EMA ile kromozom düzensizlikleri arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır^{50, 65, 66}. Buna karşın, RF-EMA'nın kromozom düzensizliklerine ve mikronükleus artışına neden olduğunu bildiren çalışmalarda vardır^{49, 51, 63, 64}. Bir çalışmada 1800 MHz radyofrekansına maruz bırakılmış insan lenfosit hücrelerinde sayısal kromozom bozuklukları tespit edilmiş ve bu duruma RF-EMA'nın termal etkisinin neden olduğu ileri sürülmüştür⁴⁷. Çalışmamızda ise hücre kültürünün olumsuz etkilenmemesi için sıcaklık kültürün yapıldığı inkübatör tarafından sabitlenmiştir. Bu sebeple, RF alanlarının termal etkilerinden doğabilecek hasarlar gösterilememiş ve sadece RF alanların termal olmayan etkileri gözlenmiştir. Bu durumu düşünerek çalışmamızda, RF-EMA'nın incelenemeyen sıcaklık etkisi, sıcaklık dışındaki etkilerin oluşturduğu

kromozom hasarlarına ilave edildiği takdirde hasar sayısının önemli derecede artacağı da göz önünde bulundurulmalıdır.

Cep telefonları ile ilgili yapılan çalışmalarda; farklı frekanslara ve SAR değerlerine sahip cep telefonlarının diğer biyolojik sistemlere etkileri de çalışılmıştır. Yılmaz ve arkadaşları, cep telefonundan yayılan 900 MHz RF dalgalarının sıçan beyin ve testis dokularında, hücrelerin apoptozis mekanizmasında herhangi bir değişikliğe sebep olmadığını bildirmişlerdir⁴⁰. Seyhan ve arkadaşları, 900 MHz ve 1800 MHz elektromanyetik alanlara günde 20 dakikalık maruziyetinde dişi ve erkek sıçanlarda kan beyin bariyeri geçirgenliğinin arttığını gözlemlemişlerdir¹. Başka bir çalışmada; 900 MHz elektromanyetik alanlı cep telefonlarının karaciğer dokusundaki oksidant/antioksidant dengesi üzerine anlamlı bir değişime yol açmadığı rapor edilmiştir⁴¹. 900 ve 1800 MHz RF alanlarının primer karaciğer kanser hücreleri üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, 4 saatlik maruziyet sonunda her iki frekans için hücre canlılığının azaldığı bulunmuştur³. Aynı zamanda, periferik kan lenfosit hücrelerinin 900 MHz'e 3 gün süreyle günde 1 saat boyunca maruz kalması sonucunda hücre canlılığında azalma bildirilmiştir⁴². 1800 MHz RF alana maruz bırakılan insan spermelerinin hareketliliğinde ve canlılığında bir azalmanın olduğu bildirilmiştir⁴³. 1800 MHz RF alanlarının, insan fibroblast hücrelerinde DNA hasarına yol açtığı bulunmuş ve sürekli RF alana maruz kalmış insan kan lenfositlerinde kromozom kaybı veya kazancının meydana geldiği bildirilmiştir^{44,47}.

Bazı çalışmalarda; RF alan etkisiyle kanser hücrelerinin öldürülebileceği ileri sürülmüştür. Bu çalışmaların birinde kanser hücrelerinin ölüme yönelmesinin nedenlerine ilişkin termal etkilerin yanında, non-termal etkilerinde olduğu ileri sürülmüştür⁴⁵. Benzer bir çalışmada; elektromanyetik alanların hücrede serbest radikal oluşumunu artırdığı ileri sürülmüş bu süreçte, Fenton reaksiyonunun tetiklenmesi ile hücrede serbest radikallerin açığa çıktığı bildirilmiştir⁴⁶. Araştırmacılar, kanser hücrelerinin fazla sayıda bölünmeleri nedeniyle, hücre içine yüksek oranda demir girişinin olduğunu belirtmişlerdir. Bununla ilişkili diğer bir çalışmada; demir iki uçlu bir kılıca benzetilmiş ve yüksek oranda demirin normal hücrelerde reaktif oksijen türlerini artırdığı bu nedenle kansere neden olduğu belirtilmiştir⁴⁸. Ayrıca, termal olmayan RF radyasyonun, sıçanların tiroid bezlerinin fonksiyonel aktivitelerini azalttığını ve tiroid hücrelerini apoptozise götürdüğü bildirilmiştir⁸.

Sonuç olarak; Sonuç olarak, RF-EMA'nın insan sağlığına zararlı etkilerini araştırmak amacıyla, pek çok çalışma yapılmıştır. Araştırmacıların bir kısmı RF alanların olumsuz etkisi olmadığını ileri sürmüştür. RF alanların sadece termal etkiye sebep olacak düzeydeki miktarlarının zararlı olabileceğini vurgulamışlardır. Çalışmaların önemli bir kısmında RF alanların olumsuz etkileri olduğunu rapor etmiştir. Bu alışmalarda RF alanların termal etkisi olmasada farklı mekanizmalarla hücrelere zarar verebildiği belirtilmiştir. Çalışmamızda RF-EMA'nın bölünen hücrelerde kromozomların normal oluşumunda gecikmeye ve yapısal hasarlara neden olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, cep telefonlarının kromozomlar üzerinde zararlı etkiye sahip olma potansiyeli taşıdığını ve bu zararlı etkinin maruz kalma süresi ile arttığını söyleyebiliriz.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; Çukurova Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı'nda amniyotik hücreler, farklı frekans (900 ve 1800 MHz) ve sürelerde RF-EMA'ya maruz bırakılarak, cep telefonun zararlı etkileri anlaşılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, oluşturulan 6 farklı grupta elde edilen sitogenetik değişimlerden şu sonuçlara ulaşılmıştır;

1. Hücrelerde, RF-EMA'nın ısı etkisi dışındaki etkilerinin; kromozomların kondensasyonunda gecikmelere, bozulmalara ve kromozom kırılma hızına yol açmaktadır.
2. 1800 MHz frekansın, 900 MHz'a oranla kromozomlarda daha fazla yapısal düzensizliklere neden olmaktadır.
3. Cep telefonu kullanım süresi arttıkça, kromozomlarda yapısal düzensizliklerin sayısı artmaktadır.

Cep telefonunun vücuda temas ettiği ve yakın olduğu organlar göz önüne alındığında kulak, göz ve beyin gibi önemli organların tehlikede ilk sıralarda olduğu söylenebilir. Çünkü, bu organlar sıcaklık artışını tolere edemezler. Bazı çalışmalarda, cep telefonlarının yaydığı RF alanların termal etkisinin olmadığı ileri sürülmüştür. Cep telefonlarından yayılan RF radyasyonu, düşük enerjiye sahip olmasına rağmen, belirli bir süreden fazla maruziyetin sıcaklık artışına sebep olacağı unutulmamalıdır.. Bu sebeple, cep telefonunun zararlı etkilerinden kaçınmak için öncelikle kullanım süresine dikkat etmek gerektiğini söyleyebiliriz. Cep telefonlarının zararlı etkileri ile ilgili çelişkili sonuçlar, bizleri rahatlatmamalı aksine gerekli tedbirleri almaya zorlamalıdır. Bu konuda özellikle, gelişim çağındaki çocukların ve bebeklerin cep telefonlarına maruziyeti mümkün olduğunca engellenmelidir. Söz gelimi, cep telefonları bir oyuncakmış gibi gelişmiş çocuklara verilmemelidir.

Çalışmamızdaki hasarlara, cep telefonunun doku ve hücreler için zararlı olduğu düşünülen termal etkisi dahil edildiği varsayılırsa kromozom hasarlarının boyutundaki artışın daha fazla olabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle, RF-

EMA'nın termal ve termal olmayan etkilerini birlikte inceleyen çalışmalar yapılmalıdır. Ayrıca, cep telefonun etkilerini, çevresel bazı mutajen ve karsinojen maddelerle birlikte incelemenin faydalı hatta gerekli olduğunu söyleyebiliriz.

KAYNAKLAR

1. Sirav Aral B. 900 Mhz Ve 1800 Mhz Radyo Frekans Radyasyonun Kan Beyin Bariyerine Etkisi. Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2008.
2. Erdemli C. Mobil Telefon Radyasyonun Erkek Genital Kanallarında Oluşturabileceği Yapısal Değişimler. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2013.
3. Özgür Büyükkatalay E. Gsm-Edge Modülasyonlu Radyo Frekans Alanların Hepatosellüler Karsinom Hücrelerine Etkileri. Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2011
4. Elektromanyetik Alanların Etkileri.Erişim: (www.emo.org.tr/ekler/99bb08f940d7461_ek.pdf) 2014. Erişim tarihi: 01.04.2014
5. **Halliday D and Resnick R.** *Fundamentals of Physics*. 2nd ed., Singapore: John Wiley & Sons Inc, **1981**
6. **Kraus JD and Carver K.** *Electromagnetics*. 2nd ed., Japan: McGraw Hill Inc, **1973**
7. **Cleveland RF and Ulcek JL.** *Questions and Answers about Biological Effects and Potential Hazards of Radiofrequency Electromagnetic Fields*. 4th ed., Washington: Federal Communications Commission Office of Engineering & Technology, **1999**
8. Eşmekaya MA. Radyofrekans Radyasyonun Tiroid Bezi Fonksiyonlarına Etkisi. Yüksek Lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2009
9. **Presman AS.** *Electromagnetic Fields and Life*. New York: Plenum Press, **1970**
10. **Serway RA and Jewett JW.** *Physics for Scientists and Engineers*. 2nd ed., New York: John Wiley & Sons Inc, **1987**
11. Electromagnetic Radiation. Erişim: (<http://astronomy.swin.edu.au/cosmos/E/electromagnetic+radiation>) 2014. Erişim Tarihi: 06.06.2014
12. Tubitak Bilten. Erişim: (www.biltek.tubitak.gov.tr/sandik/gsm.pdf) 2001. Erişim Tarihi: 01.04.2014
13. What are electromagnetic fields. Erişim: (<http://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/en/>) 2014. Erişim Tarihi: 07.05.2014
14. **Challis LJ.** Mechanism for interaction between RF fields and biological tissue. *Bioelectromagnetics supplement* **2005**; 7: 98-106
15. Radiation from Cell Phones and Other Electronic Devices. Erişim: (<http://www.scientificamerican.com/article/graphic-science-electromagnetic-bombardment/>) 2014. Erişim Tarihi: 05.06.2014
16. Electromagnetic Radiation. Erişim: (<http://www.mpoweruk.com/radio.htm>) 2014. Erişim Tarihi: 04.05.2014
17. Magnetic monitoring of Earth and space. Erişim: (https://geomag.usgs.gov/downloads/publications/pt_love0208.pdf) 2014. Erişim Tarihi: 07.05.2014

18. Tüysüz M Z. Cep Telefonu Maruziyeti Kaynaklı RF Dozimetrinin Fdtd Yontemi İle Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2007
19. Tor H. Güç İletim Hatları ve RF Işımasının Canlı Organizmalar Üzerine Etkileriyle İlgili Bir İnceleme ve Ülkemiz İçin Çözüm Önerileri. Teknik Uzmanlık Tezi, BTK, İzmir, 2013
20. Elhasoğlu D. Elektromanyetik Kirliliğin Zararlı Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 2006
21. Rumevleklioğlu Y. Cep Telefonunun Karaciğer Gelişimi Üzerine Teratojenik Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep, 2007
22. **Waddington C. H. and Waterman A. J.** The development in vitro of young rabbit embryos. *J. Anat* **1933**; 7:355-370
23. Doğum Öncesi Tanı (Prenatal) ve Doğum Öncesi Tanı İçin Kullanılan Yöntemler Erişim: (<http://w2.anadolu.edu.tr/aos/kitap/EHSM/1218/unite12>) Erişim Tarihi: 10.05.2014
24. **Eliot P.** Inman WHW: Volume of liquor amnii in normal and abnormal pregnancy. *Lancet*. **1961**; 2:836
25. **Gitlin D, Dumate J, Morales C, Noriega L, Arevalo N.** The turnover of amniotic fluid protein in the human conceptus. *Am J Obstet Gynecol* **1972**; 113:632
26. **Abromovich DR, Page KP.** Pathways Of Water Transfer Between Liquor Amnii and The Feto-Placental Unit Out Term *Eur J Obstet Gynecol* **1973**; 3:155.
27. **Kurjak A, Kirkinen P, Latin V, Ivankovic D.** Ultrasonic Assessment Of Fetal Kidney Functions In Normal and Complicated Pregnancies. *Am J Obstet Gynecol* **1981**; 141:266
28. **Lotgerin FK, Wallenberg HCS.** Mechanisms of Production and Clearance of Amniotic Fluid. *Semin Perinatal* **1986**; 10:90
29. **Gresham EL, Rankin JH, Makowski EL.** An Evaluation of Fetal Renal Function In A Chronic Sheep Preparation. *J Clin Invest*, 1972; 51 :149
30. **Pritchard JA.** Deglutition By Normal And Anencephalic Fetuses. *Obstet Gynecol*, **1972**; 25:289
31. **Tomoda S, Brace RA, Longo LD.** Amniotic Fluid Volume Fetal Swallowing Rate In Sheep. *Am J Physiol* **1985**; 249:133
32. **Harding R, Backing AD, Sigger JN.** Composition and Volume of Fluid Swallowed By Fetal Sheep. *Q J Exp Physiol* **1984**; 69: 487
33. **Camichael L, Campell K, Patrick J.** Fetal Breathing Gross Fetal Body Movements, and Maternal and Fetal Heart Rates Before Spontan Labour At Term. *Am J Obstet Gynecol* **1984**; 148:675
34. **Adamson TM, Brodecky V, Lambert TF.** The Production And Composition Of Lung Liquid In The Inutero Fetal Lamb. In Fetal And Neonatal Physiology. *Cambridge University Press*, **1973**
35. **Brace RA.** Amniotic Fluid Volume and Its Relationship To Fetal Fluid Balance: Review Of Experimental Data. *Semin Perinatal*, **1986**; 10:103

36. **Liley AW.** Disorders of Amniotic Fluid . Pathophysiology of gestation. *New york Academic Press*, **1972**
37. **Tomoda S, Brace RA, Longo LD.** Amniotic Fluid Volume Regulation :Basal Values And Responses To Fluid Infusion and Withdrawl In Sheep. *Am J Physiol*, **1987**; 252:R380
38. **Mesavage WC, Suchy SF, Weiner DL, Nance CS, Flannery DB.** Amnioacids in Amniotic Fluid in The Second Trimestr of Gestation. *Pediatr Res.*, **1985**; 19: 1021-1024
39. **Kletzky DA, Rossman F, Bertolli SL, Platt LD, Mishell DR.** Dynamics Of Human Chorionic Gonadotropin,Prolactin and Growth Hormone In Serum and Amniotic Fluid Throughout Normal Human Prognancy *Am J Obstet Gynecol.*, **1985**; 151: 878-84
40. **Yilmaz F, Dasdag S, Akdag MZ, Kilinc N.** Whole-Body Exposure of Radiation Emitted from 900MHz Mobile Phones Does Not Seem to Affect the Levels of Anti-Apoptotic bcl-2 Protei.n *Electromagn Biol Med.*, **2008**; 27(1):65-72.
41. Okcu E. Cep Telefonu Radyasyonunun Siçan (*Wistar Albino*) Karaciğer Dokusundaki Oksidant/Antioksidant Dengesi Üzerine Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2006
42. **Capri M, Scarcella E, Fumelli C.** In Vitro Exposure Of Human Lymphocytes To 900 Mhz CW And GSM Modulated Radiofrequency: Studies Of Proliferation, Apoptosis And Mitochondrial Membrane Potential. *Radiat Res*, **2004**; 162(2):211-8.
43. **De Iuliis GN, Newey RJ, King BV, Aitken RJ.** Mobile Phone Radiation İnduces Reactive Oxygen Species Production and DNA Damage İn Human Spermatozoa İn Vitro. *PLoS One*, **2009**; 4(7): 1-9.
44. **Velizarov S, Raskmark P, Kwee S.** The effects of radiofrequency fields on cell proliferation are non-thermal. *Bioelectrochem Bioenerg*, **1999**; 48(1):177-80.
45. **Lai HC, Singh NP.** Medical Applications of Electromagnetic Fields. *Earth and Environmental Science*, **2010**;10: 1-7
46. **Toyokuni S.** Role of iron in carcinogenesis: cancer as a ferrotoxic disease. *Cancer Sci*, **2009**;100(1):9-16
47. **Ronit M, Avital K, Alexander B, Yael E, Avi S, Eli J ve Rafi K.** Increased Levels of Numerical Chromosome Aberrations after *In Vitro* Exposure of Human Peripheral Blood Lymphocytes to Radiofrequency Electromagnetic Fields for 72 Hours. *Radiation Research*, **2008**; 169: 28–37
48. **Hirose H, Sakuma N, Kaji N, Suhara T, Sekijima M, Nojima T, Miyakoshi J.** Phosphorylation and gene expression of p53 are not affected in human cells exposed to 2.1425 GHz band CW or WCDMA modulated radiation allocated to mobile radio base stations. *Bioelectromagnetics* **2006**; 27: 494–504
49. **.Verschaeve L.:** Genetic effects of radiofrequency radiation (RFR) *Toxicology and Applied Pharmacology* 207 (**2005**) 336-341
50. **.Mirta T, Krešimir M, Mirjana P, Branka P, Željka V.:** Effects of radiofrequency electromagnetic fields on seed germination and root meristematic cells of *allium cepa* l. *Mutation Resarch* 672 (**2009**) 76-81
51. **.Vijayalaxmi Prihoda T:** Genetic damage in human cells exposed to non-ionizing rdiofrequency fields: A meta analyses of the data from 88 publication (1990-2011) *Mutation Resarch* 749 (**2012**) 1-16

52. **Vijayalaxmi , Cao Y, Scarfi M** Adaptive response in mammalian cells exposed to non-ionizing radiofrequency fields: A review and gaps in knowledge *Mutation Research*760 (2014) 36-45
53. **Verschaeve L:** Genetic damage in subjects exposed to radiofrequency radiation *Mutation Research* 681 (2009) 259-270
54. . **Zhao R, Zhangb S, Xua Z, Jua L, Lua D, Yaoa G:**Studying gene expression profile of rat neuron exposed to 1800 MHz radiofrequency electromagnetic fields with cDNA microassay. *Toxicology* 235 (2007) 167-175
55. **Verschaeve L. Maes A** Genetic, carcinogenic and teratogenic effects of radiofrequency fields, *Mutat. Res.* 410 (1998) 141–165.
56. **Vijayalaxmi G. Obe,** Controversial cytogenetic observations in mammalian somatic cells exposed to radio frequency radiation, *Radiat. Res.* 162 (2004) 481–496.
57. **Speit G Schutz P Hoffmann H** Genotoxic effects of exposure to radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF) in cultured mammalian cells are not independently reproducible. *Mutat. Res.* 626 (2007) 42–47.
58. **Zotti-Martelli L Peccatori M Scarpato R Migliore L** Induction of micronuclei in human lymphocytes exposed in vitro to microwave radiation, *Mutat. Res.* 472 (2000) 51–58.
59. **Tice R Hook G Donner M McRee DI** Genotoxicity of radiofrequency signals. Investigation of DNA damage and micronuclei induction in cultured human blood cells, *Bioelectromagnetics* 23 (2002) 113–126.
60. **Modlic B** Investigation of the genotoxic effect of microwave irradiation in rat bone marrow cells: in vivo exposure, *Mutagenesis* 19 (2004) 361–364.
61. **Diem E Schwarz C Adlkofer F Jahn O Rudiger H** Non-thermal DNA breakage by mobile-phone radiation (1800 MHz) in human fibroblasts and in transformed GFSH-R17 rat granulosa cells in vitro, *Mutat. Res.* 583 (2005) 178–183.
62. **REFLEX, Risk Evaluation of Potential Environmental Hazards from Low Energy Electromagnetic Field** Exposure Using Sensitive in vitro Methods, Final Report, 2004
63. **Garaj-Vrhovac, V., Fucic, A., Horvat, D..** Comparison of chromosome aberration and micronucleus induction in human lymphocytes after occupational exposure to vinyl chloride monomer and microwave radiation. *Period. Biol* 1990: 92, 411– 416
64. **Fucic, A., Garaj-Vrhovac, V., Mladen, S., Dimitrovic, B.,** X-rays, microwaves and vinyl chloride monomer: their clastogenic and aneugenic activity, using the micronucleus assay on human lymphocytes. *Mutat. Res* 1992. 282, 265–271.
65. **Maes, A., Collier, M., Slaets, D., Verschaeve, L.,** Cytogenetic effects of microwaves from mobile communication frequencies (954 MHz). *Electro-Magnetobiol.* 1995.14, 91–98.
66. **Garson, O.M., McRobert, T.L., Campbell, L.J., Hocking, B.A., Gordon, I.** A chromosomal study of workers with long-term exposure to radio-frequency radiation. *Med. J. Aust.* 1999.155, 289–292

EKLER

EK-1. Sitogenetik Çalışmalarda Kullanılan Besiyerleri

a. Kültür Besiyeri

Bio-Amf	100 ml
L-Glutamin	2,5 ml
Supplement	25 ml

EK-2. Sitogenetik Çalışmalarda Kullanılan Solüsyonlar

a. Kolşisin (Seromed Cat. No. L 6210) 10 µl / ml

b. Hipotonik solüsyonu (0,075 KCl)

5,592 gr KCl (Potasyum klorür) tartılıp 1000 ml'ye distile su ile tamamlandı.

c. Fiksatif solüsyonu

3 birim metanol ile 1 birim glasiyel asetik asit karıştırılarak her uygulama öncesi taze olarak hazırlandı.

d. Tripsin solüsyonu (Stok solüsyonu, 30 mg / ml)

e. Serum fizyolojik

f. Fosfat tamponu

İki ayrı solüsyon halinde hazırlanır ve eşit oranda karıştırılır.

Solüsyon 1. 9,073 g KH_2PO_4 tartılıp 1000 ml bidistile suda çözülür.

Solüsyon 2. 11,87 g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 1000 ml bidistile suda çözülür.

g. Giemsa boya solüsyonu

Fosfat tamponu içerisinde %7-10 olacak şekilde hazırlanır.

ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Adana'da doğdu. İlköğretimini ve Ortaöğretimini burada tamamladı. 2010 yılında Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Çukurova Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalında Yüksek Lisans programına başladı.