

ELEKTROMANYETİK ALANLARIN ÜREME SİSTEMİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Arzu YALÇIN¹, Mustafa SAYGIN^{2*}

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomühendislik Anabilim Dalı, Isparta

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı, Isparta

Anahtar Kelimeler	Özet
<i>Üreme sistemi, Elektromanyetik radyasyon (EMR), Cep telefonları</i>	Teknolojik gelişmeler, günlük yaşantımızın bir parçası haline gelmiştir. Bu gelişmeler yaşamımızı kolaylaştıran tüm aletlerdir (cep telefonu, bilgisayar, televizyon, elektrikli ev aletleri, uydu antenler, kablolu iletişim sistemleri vs.). Bu aletlerden yayılan elektromanyetik radyasyon (EMR) üreme sistemini de bir çok yönden etkilemektedir. Bu etkiler, erkekte infertilite, sperm sayısında azalmalar ve kadında infertilite, adet bozuklukları, düşük artması, östrojen düzeyi artışı olarak görülmektedir.

EFFECTS ON REPRODUCTIVE SYSTEM OF ELECTROMAGNETIC FIELDS

Keywords	Abstract
Reproductive system, Electromagnetic radiation(EMR), Mobile phones.	Technological development has become part of our daily lives. These developments are all tools that can improve our lives (Mobile phones, computers, televisions, electrical appliances, satellite, wired communication systems, etc.). There are negatively affect to human health electromagnetic radiation emitted from this instrument (EMR). The reproductive system is affected by this electromagnetic radiation one of the systems in our body. These effects are in male infertility, decreased to sperm count, and female infertility, the menstrual disorders, increase to miscarry, and increase to the estrogen level.

1.Giriş

Günümüzde sıkça sözü edilmeye başlanan elektromanyetik dalga ile radyasyon birbirine karıştırılmaktadır. Elektromanyetik dalgaya karşılık gelen "ışınım" ile parçacık yayılımı (partikül emisyonu) anlamına gelen "radyasyon" arasındaki farkın ortaya konulmasında fayda vardır. Elektrik şebekelerinden kaynaklanan çok düşük frekanslı (50 Hz) elektromanyetik dalgalar iyonlaştırmayan ışınlardır. Ancak X ışınları (Röntgen), gama ışınları gibi çok yüksek frekanslı (enerjili) ışınlılar iyonlaştırıcıdır ve yaydıkları çok kuvvetli enerji, moleküllerin ve atomların içindeki bağların kopmasına neden olabilecek güçtedir ve canlı ve cansız dokularda hasar oluştururlar (TMMOB, 2012). Günlük hayatta teknolojik cihazlardan üretilen elektromanyetik alana sürekli maruz kalmaktayız. Organ ve doku

sistemleri açısından çok araştırma yapılmış olmasına rağmen üreme sistemi ile ilgili olan etkilerine hala çalışmalar yapılmaktadır. Erkek ve dişi üreme sistemlerine baktığımızda her ikisinde de puberte ile başlayan gametogenez süreçleri ile birlikte sağlıklı bir nesil açısından önem arz etmektedir.

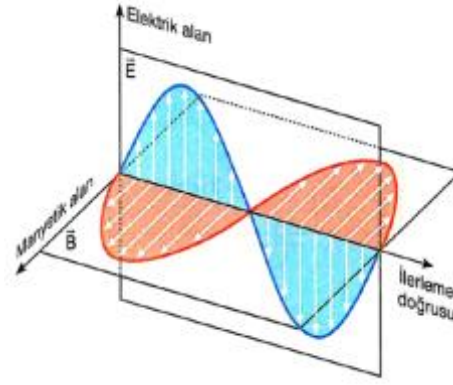
Sonuç olarak elektromanyetik alan ve üreme sistemleri üzerine etkileri hakkında yapılan çalışmalar derlenerek güncel literatürler eşliğinde bu konuya bir yaklaşım açısı getirilmiştir. En azından üreme sistemlerinin elektromanyetik alanla ilişkisini ortaya koyarak bu konuya daha fazla dikkat çekilmesi amaçlanmaktadır.

2. Elektrik Ve Elektromanyetik Alan

* İlgili yazar: mustafasaygin@sdu.edu.tr

2.1. Elektrik Alan

Elektrik alanı, bir elektrik yükünün başka bir elektrik yükü üzerinde oluşturduğu çekme veya itme kuvveti etkisidir. Her elektrik yükü bir elektrik alanı üretir. Elektrik alanını meydana getiren şey, elektrik yüklerinin varlığıdır. Bir cihazın beslenme gerilimi yükseldikçe, bunun sonucu olarak ortaya çıkan elektrik alanı da yükselir. Elektrik alan şiddetinin birimi metre başına volt (V/m) olarak ifade edilir. Elektrik alan şiddeti kaynaktan uzaklaştıkça hızla azalır. Elektrik alan için dikkate değer bir nokta, az da olsa yalıtkan nitelikli küçük bir engelin bile (bina, ağaç vb.) elektrik alanını engelliyor olmasıdır (TMMOB, 2012).



Şekil 2.1. Bir elektromanyetik dalganın manyetik alan ve elektrik alan vektörel sinüzoidal gösterimleri

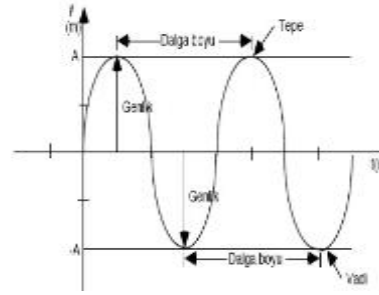
2.2. Manyetik Alan

Manyetik alan, elektrik yükleri yer değiştirdiğinde, yani bir elektrik akımı sirkülasyonu olduğunda ortaya çıkar. Lamba yandığında, elektrik alanının yanı sıra, akımın besleme kablosundan lambaya geçişinden kaynaklanan bir manyetik alan da söz konusudur. Manyetik alanda, manyetik akı yoğunluğu birimi Tesla (T) uluslararası birimi kullanılır. Manyetik alan ölçü birimi olarak Gauss (G) birimi de kullanılmaktadır. Akım ne kadar yüksekse, bunun bir sonucu olan manyetik alan da o kadar yüksek olur. Elektrik alanında olduğu gibi, manyetik alan şiddeti de mesafe ile hızla azalır. Buna karşın, manyetik alan, elektrik alanında olduğu gibi engel oluşturan nesnelere neredeyse hiç engellenmez (TMMOB, 2012).

2.3. Elektromanyetik Dalgalar

Elektromanyetik dalga, uzayda ya da maddesel bir ortamda yayılan ve salınım yapan bir elektrik alan ve manyetik alanın birlikte oluşturduğu kabul edilen dalgalara verilen isimdir. Şekil 2.1., seyahat halindeki basit bir elektromanyetik dalganın anlık bir fotoğrafını temsil ediyor. Bu örnek dalgada; elektrik ve manyetik alanlar, sırasıyla x-z ve y-z düzlemlerinde yatan iki sinüs dalgası biçimindedir. Birbirine dikler ve aralarında 90 derecelik bir faz farkı vardır. Dolayısıyla, herhangi bir noktada, eğer manyetik alan maksimum (minimum) ise, elektrik alan minimum (maksimum) oluyor. Bunun tersi de doğrudur. Bu dalga, hareket halinde ve ışık hızıyla ilerliyor (Önal, 2005).

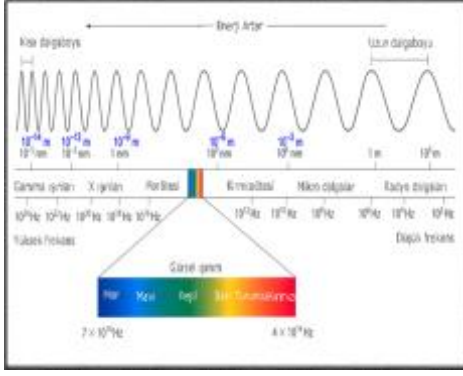
TV, radyo dalgaları, mikrodalga, kızılötesi, ışık, morötesi, x ışını, gama, elektromanyetik dalgalarıdır. Birbirinden dalgaboyu olarak farklıdır. Dalgaboyu, iki dalganın ardışık tepeleri arasındaki uzaklıktır (Şekil 2.2) (Kalkan ve Aslantürk, 2012).



Şekil 2.2. Dalgaboyu

2.4. Elektromanyetik Alan

Elektromanyetik alan, elektrik ve manyetik alan bileşenleri olan dalgaların oluşturduğu alandır (Başbakanlık, 2011). Elektromanyetik alanların belirgin özelliği frekansları ve dalga uzunluklarıdır. "Frekans" dalganın bir saniyedeki titreşim (salınım) sayısıdır ve Hertz (Hz) ile ifade edilir. Dalga uzunluğu ise bir titreşim sırasında dalganın katettiği mesafedir. Elektromanyetik dalgalar, sadece dalga boylarına göre değil, frekans ve enerjilerine göre de tanımlanmaktadır. Frekans yükseldikçe dalga uzunluğu kısalmış ve alanda yayılan enerji yükselir (Şekil 2.3.) (Kalkan ve Aslantürk, 2012). Elektromanyetik tayfta (spektrumda) (Şekil 2.3.) görüleceği üzere; çok alçak frekanslı (50 Hz) elektrik ve manyetik alanlar iyonize olmayan ışınımlardır; çok yüksek frekanslı ışınımlar iyonizedir (iyonlaştırıcıdır) parçacık yayımları yapan ışınlar mor-ötesi ışınımlar, X ışınları ve gama ışınlarıdır (Sabuncu, 2000; TMMOB, 2012).



Şekil 2.3. Elektromanyetik Tayf (Spekturum)

3. Elektromanyetik Alan Şiddeti

Manyetik akı yoğunluğu birimi olarak Tesla (T) uluslararası kullanılan bir birimdir ve manyetik alan ölçü birimi olarak Gauss (G) birimi de kullanılmaktadır (TMMOB, 2012). Uzayda herhangi bir noktada; bir birimlik pozitif elektrik yüküne etki eden kuvvetin, vektörel büyüklüğünü (V/m) f =frekans dalganın bir saniyedeki titreşim (salınım) sayısıdır ve Hertz (Hz) ile ölçülür.

4. Elektromanyetik Alanların Zararları

Biyomanyetoloji ilkelerine göre tüm maddeler dolayısı ile tüm canlılar, zayıf veya güçlü birer manyetik alan özelliğe sahiptir (Pavlines, 2002). Yer kabuğunun da doğal bir manyetizması vardır. Dünya çekirdeği iki kısımdan oluşmakta olup iç çekirdek katı, dış çekirdek ise sıvı haldedir. İç çekirdeğin etrafında hareket eden dış çekirdeğin bu hareketi mıknatıslanma etkisi yaparak manyetik alan oluşturur (Sabuncu, 2000). İnsan vücudundaki manyetik alan, biyoelektrik yüklerinin hareketinden meydana gelmektedir. Biot-Savar teorisine göre hareketli elektrik yükleri manyetik alan oluşturur. Biyoelektrik oluşturan herhangi bir yerde muhakkak manyetik alan vardır. Dolayısıyla kalp, adale, sinir ve beyin gibi organlar belli bir manyetik alana sahiptir. İnsanı oluşturan maddelerin birbiriyle haberleşmek için kullandıkları manyetik alanın sinyalleri birbiriyle uyum içindedir (Widgery, 2002). Birçok araştırmada, laboratuvar koşullarında; elektromanyetik alanlara maruz bırakılan deney hayvanlarında, birçok yaşamsal sistem üzerinde olumsuz etkiler olduğu ifade edilmektedir (Sabuncu, 2000). Zayıf manyetik alanın insan sağlığına zararlı olup olmadığı hala tartışılmaktadır. Bu zayıf alanların, hemen gözle

görülmüş zararları yoktur. Fakat hayvan hücreleri üzerinde yapılan deneylerde zayıf manyetik alanın hormon ve enzim seviyesini değiştirmek, dokulardaki kimyasalların hareketini engellemek gibi biyolojik etkilere sebep olduğu sonucuna varılmıştır (Bold, 2003; Okul sağlığı güvenliği kurulu, 2006). İngiltere, İsveç ve ABD; elektromanyetik alanların akut myeloid lösemi riskini artırdığını rapor etmişlerdir. Günlük yaşamda maruz kalınan manyetik alanların, beyin tümörlerini, özellikle erkeklerde lösemi ve akut myeloid lösemiye artırdığı gözlenmiştir. 2mG (iki mili-Gauss) gibi çok küçük manyetik alanlar lösemi, lenfoma ve yumuşak doku sarkomlarını daha fazla olmak üzere tüm kanser türlerini 1.4 katı artırmaktadır. Manyetik alanın kısa ve uzun vadedeki etkileri (Tablo 4.1) de verilmiştir (TMMOB, 2012).

Tablo 4.1. Manyetik alanın kısa ve uzun vadedeki etkileri (Bold, 2003).

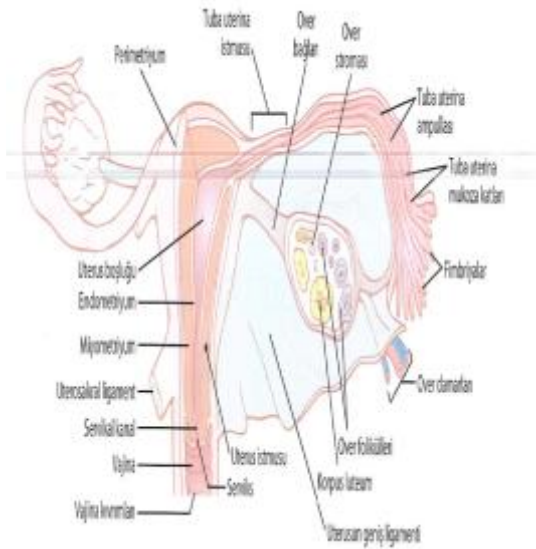
KISA VADEDEKİ ETKİLERİ	UZUN VADEDEKİ ETKİLERİ
Sters	Genetik yapının bozulması
Görüş alanının daralması	Beyin hücrelerinde ölüm ve beyin tümörü
Kulak bölgesinde ısınma	Beyaz kan hücresi (lenfoma) kanseri
Kalp pilinin bozulma riski	Kan beyin bariyerinin zedelenmesi
Kulak çınlaması	Kalp rahatsızlıkları
Yorgunluk hissi	Hafıza zayıflaması
Konsantrasyon bozulması	Kalıcı işitme bozuklukları
Baş ağrıları	Embriyo gelişiminin zarar görmesi
İşitmede geçici aksaklıklar	Düşük riskinin artması
Sersemleme olarak sıralanabilir	Kan hücrelerinin bozulması

5. Dişi Üreme Sistemi

Dişi üreme sistemi internal üreme organları (ovaryumlar, tuba uterinalar, uterus ve vajina) ile

eksternal üreme organlarından (klitoris, labia major ve minör) meydana gelir. Dişi genital sistem erkek genital sistemden farklı olarak, sirkülatuar değişiklikler gösterecek şekilde fonksiyon görmektedir. Kadın üreme organları gonadotropinlerin kontrolünde her ay konsepsiyona ve implantasyon ile gebeliğe hazır olacak şekilde değişiklikler gösterir. Overlerde her ay bir adet gamet (oosit) olgunlaşır. Uterustaki değişiklikler gameti beslemeye hazırlayıcı yöndedir. Bu değişikliklerin meydana geldiği ortalama 28 günlük periyotlara menstrüel siklus denir. Menstrüel siklus birçok hormonal, histolojik ve fizyolojik değişiklikleri içermektedir. Overler testisler gibi iki önemli amaca hizmet ederler:

- 1) oogenez, 2) seks hormonlarının yapımı (John vd., 2013)



Şekil 5.1. Uterus, over ve tuba uterina' nın iç yapıları (Guyton, 1984.)

5.1. Elektromanyetik Alanların Dişi Üreme Sistemi Üzerine Etkileri

Dünya Sağlık Örgütü, elektronik endüstrisinde çalışanların prematürite, düşük doğum ağırlığı vb. sağlık sorunların görüldüğünü bildirmektedir (WHO, 2007). Windham ve ark., ABD'de İlk trimestırda haftada 20 saatten fazla görüntülü cihazlarda çalışanlarda istemsiz düşük riskinin arttığı gözlenmiştir. Buna benzer çalışmalarda, sonuçlar genellikle kadınların beyanına dayalıdır ve karıştırıcı etmenler de çoğunluktadır. Ancak 24 saatlik ölçüm yapılan ve eşik sınır değer hesaplandığı bir araştırmada istemsiz düşüklerin 1,7 kat arttığı gözlenmiştir, ancak doz-cevap

ilişkisi saptanmasının aynı olduğu gözlenmiştir (Windham vd., 2004). Frank ve ark., EMR daha fazla kadın üreme sistemini etkilemekte, en önemli etkiler olarak düşük ve doğumsal anomalili bebek doğumuna yol açmaktadır (FRANK vd., 1998). Li ve ark., ABD'de yapılan bir çalışmada günlük ortalama 16 mG'un üzerinde EMR'ye maruz kalmanın düşük riskinin de arttığı belirlenmiştir (Lİ vd., 2002). London ve ark., elektromanyetik alanın insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olduğunu ortaya koyan çalışmaların bir kaçında, ortalama değerden yüksek manyetik alanın bulunduğu yerde uzun süre kalan hamile kadınların zor doğum yaptıkları belirlenmiştir (London SJ vd., 1991). Li ve ark., çok düşük frekanslı (ÇDF) elektromanyetik alanın (EMR) etkilenimi açısından risk grubu olan gebelerde yapılan kohort çalışmasında artmış manyetik alan maruziyeti ile düşük riski arasında ilişki bulunmuştur. 16 mG ve üstü maruziyetlerde Relatif risk 1,8'dir. Bu hız 10 haftadan küçük gebeliklerdeki düşüklerde daha fazla olup 2,2'dir (Li vd., 2002). Gebelik sürecindeki maruziyet ile doğumsal anomali ve hastalıklar arasındaki ilişkiyi araştıran çalışmalar karışık mesajlar vermektedir. Blaasaas ve ark., Norveç'te enerji hatları kaynaklı EMR' in doğumsal anomalilere olan etkisi araştırılmıştır. Hamilelik sürelerinin en az yarısını 0,1µT altında ve üstünde maruziyet ile geçiren gebeler arasında artmış doğumsal anomali açısından ilişki bulunmamıştır (Blaasaas vd., 2004). ÇDF, EMR kaynağı olan rezistanslı yatak kullanımı, video terminali kullanımı düşük doğum ağırlığı ile ilişkili değildir (Bracken vd., 1995; Grajewski vd., 1997). Buna karşın, EMR ile doğumsal yemek borusu anomalileri arasında ilişki olduğu bildirilmektedir (Blaasaas vd., 2003). RF radyasyonunun hamile kadınlarda, düşük oranında artmaya neden olduğu bilinmektedir. Hamilelik başlangıcında diyetle tedavi gören bir annenin fetusunda bir nevi hastalık görüldüğü de yine gözlenmiş bir vakadır. Hamilelikte RF maruziyetine bağlı olarak, çocuk doğduğunda kemikleşme eksikliği de görülebilmektedir (Şeker ve Çerezci, 2000). Xu ve ark., yüksek frekanslı elektromanyetik alanın (HF-EMR) kadın işçilerin üreme ve endokrin işlevler üzerinde toksisitesini araştırmışlardır. HF-EMR bir yıldan fazla maruz kalan 180 kadın işçi grubu ve pazarda 349 kadın işçi kontrol grubu olarak seçilmiştir. Kadınların adet durumu ve gebelik sonuçları tarihsel kohort çalışması ile değerlendirilmiştir. HF-EMR maruz kalan grupta (% 33.8 ve % 26.8 maruziyet grubu ile % 12.0 kontrol grubunun karşılaştırılması) (% 8.0)

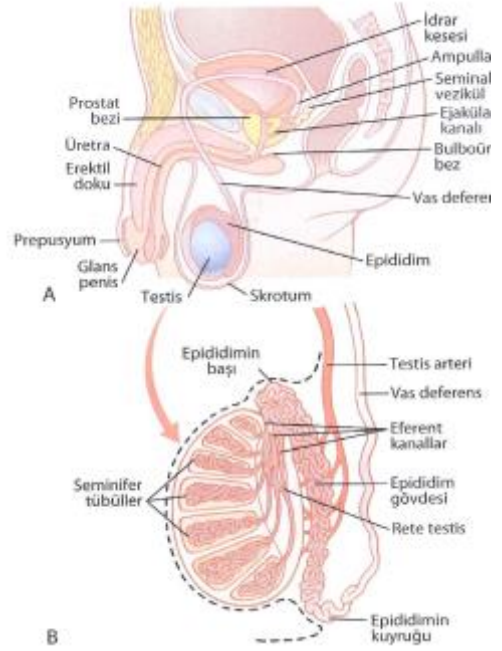
($p < 0.001$), menoraji insidansı kontrol grubuna göre anlamlı yükselmiştir ve adet bozukluğu görülme oranı artmıştır. Ancak, maruziyet grubu [(2. 10 +/- 1. 57) ve (2. 39 +/- 1. 35) mg / L] kontrol grubuna göre serum progesteron seviyesi anlamlı olarak düşük bulunmuştur [(3 . 80 +/- 2. 67) mg / L] ($P < 0.01$) (Xu vd., 2008). Roshangar ve ark., oosit farklılaşması ve foliküler gelişmesinde düşük frekanslı (LF) EMR etkisini değerlendirmişlerdir. Deney grubunda BALB/c hamile fareler 3 mT EMR alan, 4 saat/gün gebelik döneminde uygulanmıştır. Deney grubunda; oosit yuvaları çoğunlukla kırık ve düzensizleşmiştir. Primer oositlerin az gelişmiş nukleusları ve elektron mikroskobu ile büzülmüş, heterokromatik ve sitoplazma vakuollu hale gelmiştir (Roshangar vd., 2014). Ahmadi ve ark., çalışmayı over foliküllerinin değiştirilmesi üzerinde EMR etkilerini belirlemek amacıyla yapmışlardır. Otuz üç aylık sıçanlar; kontrol grubu, 58 hafta boyunca Hz (üç hafta intrauterin ve beş hafta ektopik) bir manyetik alana etkilenmiştir. 50 Hz 13 hafta boyunca (üç hafta intrauterin ve on haftalık ektopik) bir manyetik alan uygulanmıştır. EMR yumurtalık foliküllerinin ve oosit implantasyon oluşumu üzerinde zararlı etkileri artmıştır. Yumurtalık foliküllerinin üzerinde elektromanyetik alanların etkileri ile ilgili çalışmalar oosit çekirdeklerinin küçüldüğü ve şekillerini değiştirdiği göstermiştir. Elektromanyetik dalgadan etkilenen gruplarda önemli zararlı bir değişiklik olmamıştır. Yumurtalık foliküllerinde atrezi kontrol grubuna göre her iki çalışma gruplarında da anlamlı bulunmuştur ($p < 0,05$) (Ahmaddi vd., 2016). Yüksel ve ark., cep telefonu EMR (900 ve 1800 MHz) ve Wi - Fi (2450 MHz) etkileri araştırılmıştır. Otuz iki sıçan ve kırk yeni doğan yavrular EMR maruz tipine göre; kontrol, 900, 1800 ve 2450 MHz olarak dört gruba ayrılmıştır. Her deney grubu gebelik ve büyüme dönemlerinde 60 dk/gün EMR'ye maruz bırakılmıştır. Gebe sıçanlardan dört kuşak (toplam 52 hafta) boyunca önce, plazma ve uterus örnekleri alınmıştır. Deney 4, 5 ve 6 hafta boyunca da gelişmekte olan sıçanların, plazma ve uterus örnekleri elde edilmiştir. Uterus lipid peroksidasyonu EMR gruplarında artmasına rağmen, uterus glutatyon peroksidaz aktivitesi (4. ve 5. hafta) ve plazma prolaktin düzeylerinin (6 hafta) gelişmekte olan sıçanlarda, anne sıçanlarda plazma prolaktin, östrojen ve progesteron seviyeleri EMR gruplarında azalmış plazma total oksidan durum ve vücut sıcaklıkları artarken, bu gruplarda azalmıştır (Yüksel vd., 2016). Shahin ve ark., bu deney 2. 45 GHz düşük

seviyeli mikrodalga (MW) ışınlama kaynaklı stres tepkisi ve dişi farelerde implantasyon veya gebelik üzerindeki etkisini incelemektir. Oniki haftalık fareler MW radyasyona maruz bırakılmıştır (sürekli dalga 45 günde 2 saat/gün, 2. 45 GHz frekans, güç yoğunluğu =0.033.549 mW/cm² ve SAR=0.023023 W/kg). İmplantasyon konumu kontrol grubuna göre anlamlı olarak, EMR'ye maruz kalan farelerde etkilenmiş olduğu görülmüştür. Ayrıca, önemli bir ROS artışı, hemoglobin ($p < 0. 001$), RBC ve WBC oranı ($p < 0. 001$), nötrofil/lenfosit oranı ($p < 0. 01$), DNA hasarı ($p < 0. 001$) beyin hücreleri ve plazma östradiol konsantrasyonu ($p < 0. 05$), NO düzeyi ($p < 0. 05$) ve antioksidan enzim aktiviteleri anlamlı bir azalma EMR' ye maruz kalan farelerde gözlenmiştir (Shahin vd., 2013). Al-Akhras, tarafından yapılan çalışmada yetişkin dişi Spague-Dawley sıçan cinsiyet hormonları üzerinde son derece düşük frekanslı (ELF) manyetik alanların etkisini araştırmıştır. Yetişkin dişi sıçanlar 18 hafta boyunca 50 Hz yaklaşık 25µT sinüzoidal manyetik alana maruz bırakılmıştır. Sham kontrol ile karşılaştırıldığında maruziyet grubundaki farelerde mutlak ve göreceli over ağırlıklarında önemli bir azalma gözlenmiştir. Gonadotropinler (FSH ve LH) seviyelerindeki azalma altı hafta maruziyette anlamlıdır. FSH düzeyleri sadece 6. hafta maruziyette, LH 12. ve 18. haftada etkilenmiştir. 12 haftalık maruziyet sonrasında progesteron ve östrojen seviyesinin önemli ölçüde azalmıştır. Seks hormonları üzerinde ELF-MF etkileri kısmen geri dönüşümlü olduğu gösterilmiştir (Al-Akhras, 2008). Aydın ve ark., bu çalışmada elektromanyetik alan (EMF) kaynaklanan 170 kV yüksek gerilim elektrik hatlarının, progesteron ve 17-β östradiol düzeyleri üzerindeki hormonal durum, rahim ve yumurtalıkların morfolojisiyle ilişkili biyokimyasal parametreler araştırmışlardır. Fareler deneysel (n=21) ve kontrol grubu (n=7) olarak dizayn edilmiştir. Deney grubu güç hattı 5 m dikey uzaklıktadır. Grup 1, 2 ve 3 sürekli maruziyet (24 saat) elektromanyetik alanla (ELF-EMFs) (48. 21 ± 1. 58 mG) 1, 2 ve 3 için saat uygulanmıştır. Grup 4 fareler kontrol grubu olarak laboratuvar koşullarında tutulmuştur. Gruplar arasında üreme organı ağırlıklarında (rahim ve yumurtalıklar), progesteron ve östrojen düzeyleri östrus döngüsü ile ilişkili olarak önemli düşüşler tespit edilmiştir. Gruplar arasında plazma katalaz aktivitesi, anlamlı düzeyde azalmıştır (Aydın vd., 2009). Hajiun, bu çalışmada cep telefonu radyasyonuna östrojen ve progesteron seviyeleri ve yumurtalık

değişiklikleri ve sarımsak tüketiminin olası etkileri araştırılmıştır. Çalışma; sham 900 Mhz grubu ve 900 Mhz+sarımsak olarak dizayn edilmiştir (n = 8). Serum progesteron seviyesi deney gruplarında artmıştır (Hajiuon., 2013).

6. Erkek Üreme Sistemi

Erkek üreme sistemi skrotum içerisinde yerleşmiş iki adet testis, buna bağlı bezler, kanallar ve penisten oluşur. Testisler erkek gametleri olan spermatozoidlerin teşekkülü, depolanması, salınımı ve testosteron üretiminden sorumludurlar. Testis parankiması spermatogenezin meydana geldiği seminifer tubül halkalarından oluşur. Seminifer tubüllerin herbiri 30–70 cm uzunluğunda 150–250 µm çapında olup sayıları 900 adettir. Her biri yarım metredir ve içlerinde spermiler oluşur. Bu yapıların duvarlarında spermatogonia adı verilen primitif germ hücreleri (germinal epitel) bulunur. Bu hücrelerden spermatogenez meydana gelir. Her seminifer tubül bir bazal membran ve peristaltik hareketten sorumlu düz kas hücre tabakasıyla çevrilidir. Tubüller duvarda gelişmekte olan primer germ hücreleri arasında iri sertoli hücreleri bulunur. Bunlar spermatogenezde oldukça önemli fonksiyonlardan sorumludurlar. Tubüller arasındaki interstisyumda da testosteron yapımından sorumlu olan Leydig hücreleri (interstisyel hücreler) bulunur. Her bir seminifer tubül halkası epididim denilen 6 m boyunda oldukça kıvrımlı bir yapıya açılır. Epididimde spermilerin depolandığı ve 18-24 saat kaldıktan sonra hareket yeteneğini kazandığı yerdir. Epididim vas deferens ile bağlantılıdır. Ama ejakülasyona kadar epididim sıvısında bulunan baskılayıcı proteinlerle hareketleri engellenir. İki adet vas deferens mesane tabanının arkasında ilerleyerek ejakulatör kanal haline gelirler. Bu noktada iki adet seminal vezikül ejakulator kanallara açılır. Ejakulator kanallar daha sonra prostat bezi içine girerler ve burada mesaneden gelen üretra (prostatik üretra) ile birleşirler. Üretraya prostatdan çıkarken musin salgılayan iki adet bulboüretal bez direnaji olur. Daha sonra üretra (penil üretra) penis içinde devam ederek dışa çıkar (John vd., 2013).



Şekil 6.1.A. Erkek üreme sistemi (WB Saunders, 1975) B. Testisin iç yapısı ve epididim ile testis ilişkisi (Guyton AC, 1985.)

6.1. Elektromanyetik Alanların Erkek Üreme Sistemi Üzerine Etkileri

İsveç'te Nordström ve ark., tarafından yapılan bir çalışmada babası yüksek voltaj ile çalışan çocuklarda doğumsal anomalilerin daha çok olduğu görülmektedir (Nordström vd., 1983). Cep telefonların yaydığı elektromanyetik dalgalar sperm hareketliliğinde düşmelere neden olduğu gözlenmiştir. Araştırmalar sonucu testiste testosteron hormonunu üreten leydig hücrelerinin elektromanyetik dalgalardan etkilendiği gösterilmiştir. Bu bulgu azalan testosteron seviyesi ile birlikte sperm üretim işlemi olan spermatogenezin azalmasına neden olmaktadır. Erkek üreme sistemi üzerine olan çalışmalar ise testis doku morfolojisi ve sperm parametrelerinin değerlendirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır (Davoudi M vd., 2002; Fejes I vd., 2005; Agarwal A vd., 2008). Agarwal ve ark., cep telefonu kullanım süresi ile sperm kalitesi arasındaki ilişkiyi inceledikleri çalışmalarında cep telefonu kullanım süresi arttıkça, sperm kalitesinin azaldığını belirlenmiştir (Agarwal A vd., 2008). Khaki ve ark., otuz siçan yavrusu rahimde geliştirme (yaklaşık 3 hafta) ve doğum sonrası yaşam (5 hafta) sırasında 50 Hz EMR (non-iyonizan radyasyon) maruz bırakılmıştır. Deneysel farelerde sınır doku çeşitli katmanları

bulunmuştur. Myoid hücreler daha az poliribozoma, pinositotik veziküller ve glikojen granüllere sahiptir. Çoğu mitokondri kristalarında eksiklik bulunmuştur. Bireysel myoid hücreleri arasındaki bağlantıların kaybolduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar EMR maruziyetinin seminifer tübüllerin sınır dokusunun derin değişikliklere neden olabileceğini göstermektedir (Khaki vd., 2006). La Vignera ve ark., deneysel hayvan modelleri ve insanlarda erkek üreme işlevi üzerinde RF-EMR etkilerinin ortaya konulduğu araştırmaları gözden geçirmişlerdir. Sıçanlar, fareler ve tavşan üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların sonuçları RF-EMRye maruziyette sperm sayısı ve motilitenin azaldığı ve oksidatif stresin arttığı gösterilmiştir. Cep telefonunu kullanarak RF-EMR maruziyette erkeklerde sperm konsantrasyonu, motilite (özellikle hızlı progresif hareketliliği), normal morfoloji, azalmış canlılık ve sperm hareketliliği, karakteristik anormallikler ve artmış oksidatif stres gözlemlenmiştir (La Vignera vd., 2012). Niehaus ve ark., tarafından yapılan bir çalışmada 56 gün, günde 24 saat 50 Hz, 450 μ T; zayıf manyetik dalgaya maruz bırakılan erkek hamsterlarda vücut ağırlığı değişimi gözlenmemiş ve testiküler hücre sayısı artmış. 50 Hz, 360 μ T uyguladıkları grupta vücut ağırlığı baskılanmış ve testiküler hücre sayısı ve melatonin düzeyi artmıştır (Niehaus vd., 1997). Kumar ve ark., elektromanyetik alanların (EMFs) erkek üreme sistemi üzerinde doğurganlığı azalttığını değerlendirmişlerdir. EMR maruziyeti; sperm sayısında azalma, sperm hücrelerinde lipid peroksidasyon hasar artışı, seminifer tübüllerde ve testis ağırlığı ve DNA hasarı erkek albino sıçanlarda gözlemlenmiştir. Sonuçlar cep telefonuna maruz kalan erkeklerde erkek fertilitatesini olumsuz yönde etkilediğini göstermiştir (Kumar vd., 2014). Özgüner ve ark., sıçan testisi üzerinde 900 MHz radyo frekans (RF) EMR biyolojik ve morfolojik etkileri araştırmışlardır. Çalışmada; kontrol grubu ve EMR grubu (30 dakika/gün, 4 hafta /haftada 5 gün için 900 MHz EMR). Seminifer tübül çapı ve germinal epitelin ortalama yüksekliği EMR grubunda azalmıştır ($p < 0.05$). EMR grubunda serum, total testosteron seviyesinde önemli bir düşüş gözlenmiştir ($p < 0.05$). Kontrol grubuna göre EMR grubunda plazma, LH ve FSH seviyelerinde önemsiz bir azalma gözlenmiştir ($p > 0.05$) (Özgüner vd., 2015). McRee ve ark., Japon bıldırcın (*Coturnix coturnix japonica*) embriyolarında sürekli 2.45 GHz CW mikrodalga radyasyon 4. 03 mW /g SAR değerinde

embriyoya ilk 12 gün boyunca uygulanmıştır. 23. haftasındaki erkeklerin üreme kapasitesinde bir değerlendirme yapılmıştır. Semen örneklerinde spermatozoal sayı ve hareketliliği önemli derecede azalmıştır ($p < 0.001$) (McRee vd., 1983). Chen ve ark., 1800 MHz EMR' nin erkek üreme sistemi üzerinde chronotoksitesisi incelemiştir. Altmış sağlıklı erkek C57 fareleri sham ve EMR grubuna ayrılmıştır. 208 μ W/cm² güç (SAR 0.221 W/kg) 2 saat/gün, 32 gün süreyle; farklı zeitgeber zamanlarda ZT 01:00, ZT 05:00, ZT 09:00, ZT 13:00, ZT 17:00, ZT 21:00 EMR uygulanmıştır. Sham grubu ile karşılaştırıldığında serum östradiol düzeyi artarken, testiküler sperm başı sayısı ve serum testosteronu azalmıştır (Chen vd., 2014). Wang ve ark., erkek sıçanların spermatogenetik işlevine mikrodalga radyasyona bağlı hasarı üzerinde Morinda Officialis'in farklı konsantrasyonlarının etkileri araştırılmıştır. Sıçanlar 12 saat/gün, 2 hafta 218 Microm/cm², (900 MHz frekansında 1.0 W gücünde mikrodalga radyasyonuna maruz bırakılmıştır. İki tedavi grubunda sıçanlara intragastrik 2 hafta süreyle günde 20 g/kg, sulu ekstresi ve alkol ekstresi verilmiştir. Kontrollerle karşılaştırıldığında, model grubunda vücut ağırlığı biraz ve sperm konsantrasyonu önemli ölçüde azalmıştır. Mikrodalga radyasyon kaynaklı testis hasarı iki tedavi grubunda da azaldığı saptanmıştır (Wang vd., 2013). Forgács ve ark., çalışmada sinüzoidal 50 Hz 100 microTesla manyetik alanın bazal ve 48 saatlik fare leydig hücre kültürünün insan koryonik gonadotropin (hCG) uyarılması testosteron (T) üretim etkisi değerlendirilmiştir. Manyetik alana maruz kültürlerde, bazal T üretiminde belirgin bir artış saptanmıştır (Forgács vd., 1998). Margonato ve Viola, erkek sıçanlar 50 Hz AC elektrik alanı yüksek yoğunlukta (100 kV/m) akut (30 dakika/gün) ve kronik (8 saat/gün) maruz bırakılarak üreme sistemi üzerinde etkileri incelenmiştir. Akut maruz kalan hayvanlar için çiftleşme ve doğurganlık kronik maruziyete göre daha düşük çıkmıştır. Ancak her iki modda da yavrularda ağırlık yaklaşık % 10 kontrolden daha düşük olmuştur (Margonato ve Viola, 1982). Sepehrimanesh ve ark., yetişkin erkek Sprague-Dawley sıçan 900 MHz EMR 1, 2 veya 4 saat/gün, 30 gün için uygulanmıştır. özellikle de kemirgen testis dokusunda radyo frekans modülasyonlu EMFs ve EMR radyasyon 30 gün maruziyet nonthermal stresi indüklediğini göstermişlerdir (Sepehrimanesh vd., 2014). Qin ve ark., erkek Sprague-Dawley sıçanlar 208 μ W / cm² güç yoğunluğunda 1800 MHz EMR' ye maruz bırakılmıştır (SAR: 0,5762 W

/ kg). Günün farklı zeitgeber (ZT) dönemleri, 0 (ZT0), 4 (ZT4), 8(ZT8), 12 (ZT12), 16 (ZT16) ve 20 (ZT20) saat. RF maruz kalma 32 gün 2 saat/gün olarak uygulanmıştır. MEL ve testosteron sentezinde sirkadiyen ritim varlığını doğrulanmıştır, ancak bu ritimlerin zirve aşamasında ters bir ilişki saptanmıştır. Bu ritimlerin etkisi testosterondan çok MEL üzerinde daha belirgin olmak üzere, RF'ye maruz kaldıktan sonra bozulmuştur. RF MEL üzerinde plazma ve testosteron en belirgin etkisi ise, ZT 16 ve ZT0 saat RF maruz kalan sıçanlarda olduğu gösterilmiştir (Qin vd., 2012). Hong ve ark., testis hücreleri ve farelerde sperm kromatin yapısının DNA 50 Hz elektromanyetik alanların (EMR) etkileri araştırılmıştır. Fareler, 50 Hz 0.2 mTesla veya 4 hafta boyunca 6.4 mTesla elektromanyetik alana maruz bırakıldı. 50 Hz, 0.2 mTesla veya 6.4 mTesla EMF maruziyeti, sırasıyla %37,83 ve %39, %38 ile %25.64 kontrol düzeyine yükselmiştir. Toplam testis hücrelerinde DNA göçü ile hücrelerin yüzdesi sonra kuyruklu yıldız, kuyruk ve kuyruklu yıldız kuyruk DNA yüzdesi göreceli uzunluğu sırasıyla %13.06 +/- 12.38 ve % 1.52 +/-, % 3,25+/-, %17,86+/-, %14,60 ve %2.32 kontrol seviyelerine yükselmiştir. %4.26 +/- 0.2 mTesla maruz kaldıktan sonra ve %17.88 +/- %13.71 ve %2.35 ile % 3.87+/- 6.4 mTesla maruziyet. EMR maruz kalma iki maruz kalan gruplarda sperm yüzdesi ve anormal kromatin yapısı artmış bulunmuştur (Hong vd., 2005). Forgács ve ark., yaptığı bu çalışmada in vitro Leydig hücrelerinin steroidogenik kapasitesi üzerinde tüm vücut manyetik alan (MF) maruz kalmanın olası etkisini değerlendirilmiştir. Dört ayrı deneyde, erkek CFLP fareleri sinüzoidal 50 Hz, 100 µT EMF' ye 23.5 saat/14 günlük bir süre boyunca maruz bırakılmıştır. Hücreler, 1, 10 ya da 100 mIU/mL insan koryonik gonadotropin (hCG) varlığında veya yokluğunda, 48 saat süre ile kültüre edilmiştir. Hücrelerin bazal T üretimi ve serum T düzeyi değişmeden kalırken, EMR-maruz kalan hayvanlardan elde edilen kültürlerde, hCG-uyarılmış T yanıtı, kontrollerle karşılaştırıldığında anlamlı olarak daha yüksektir (Forgács vd., 2004). Hong ve ark., 94 erişkin erkek fareler 2 hafta ya da 4 hafta boyunca 0.2, 3.2 ve 6.4 mTesla 50 Hz sinüzoidal elektromanyetik alana maruz bırakılmıştır. 4 hafta [(76.06 +/- 32.25) mg] 6.4 mTesla maruz kalan farelerin testis ağırlık kontrolü [(111,44 +/- 19.99) mg] anlamlı olarak daha düşüktür. Sperm miktarı 4 hafta boyunca EMR maruz kaldıktan sonra azaldığı ve 0.2 mTesla ve 4 hafta [(4.87 +/- 0.94) x 6.4 mTesla maruz kalan farelerin bu 10 (6) / ml ve (4.30 +/- 1.89) 10 (6)

/ ml sırasıyla] kontrole göre anlamlı olarak düşük olduğu x [(6.67 +/- 0.70) 10 (6) / ml]; sperm motilite oranları da düşüş göstermiştir. 0.2, 3.2 ya da 2 hafta boyunca 6.4 mTesla EMR'ye maruz kaldıktan sonra, deformite sperm oranları sırasıyla [% (7,416 +/- 3,352), % (6,862 +/- 2,947) ve % (8,112 +/- 4,615)] anlamlı derecede yüksek bulunmuştur. 6.4 mTesla maruz kalan farelerin farklı ploidi hücrelerinde DNA içeriği azalmıştır. Ayrıca, S fazında hücre yüzdesinin anlamlı olarak arttığını göstermişlerdir (Hong vd., 2003). De Vitra ve ark., akış Sitometresi (AS) fare spermatogenezin de son derece düşük frekans manyetik alanın hücresel etkilerini izlemek yapılmıştır. Beş erkek melez fareler 8-10 hafta yaşlı F1 grupları 1.7 mTesla 50 Hz manyetik alana 2 ve 4 saat maruz kalmışlardır. AS ölçümleri 7, 14, 21, 28, 35 ve 42 gün sonra yapılmıştır. 4 saat için istatistiksel olarak anlamlı (p<0.001) uzun spermatidler de 28 gün uygulama sonrası azalma gözlenmiştir (De Vitra vd., 1995). Özlem ve ark., bu çalışmada elektromanyetik alana (EMR) maruz kalan erkek sıçanların büyüme, üreme ve tüm vücuttaki olası etkilerini araştırmıştır. Erkek Wistar sıçanları (2 gün) sürekli olarak 90 gün boyunca günde 2 saat EMF 1800 ve 900 MHz maruz bırakılmıştır. İki çalışma grubu arasında ortalama plazma ve toplam testosteron sonuçları benzerlik göstermiştir ve sham kontrol sıçanların sonuçları anlamlıdır. Epididimal sperm hareketliliği yüzdesi 1800 MHz grubunda (p <0.05) anlamlı olarak yüksek bulunmuştur. Morfolojik olarak normal sperm oranı yüksek olduğu ve kuyruk anomalisi, toplam anormallikleri yüzdesi 900 MHz grubunda (p<0.05) düşük bulunmuştur. 1800 MHz grubunda histopatolojik parametreler (p<0.05) anlamlı derecede yüksek bulunmuştur (Özlem vd., 2011). Çelik ve ark., düşük yoğunluklu elektromanyetik dalgaların cep telefonları tarafından iletilen sıçanların testislerinde histopatolojik veya ultrastrüktürel değişikliklere neden olup olmadığını araştırılmıştır. Wistar-Kyoto erkek ratların bir kontrol grubu veya bir elektromanyetik alana (EMR) maruz kalmış bir grubun içine yerleştirilmiştir. Cep telefonu 1.58 SAR değerleri ile yerleştirilen ve kontrol grubunda 15 sıçan bulunan kafeslere bırakılmış ve dört tane cep telefonu yerleştirilmiştir. 3 ay sonra, ağırlık, seminifer tübül çapı ve tüm farelerin testislerin spermatogenetik hücre koşulları kontrol edilmiştir. Elektron mikroskobu analizinde deney grubundaki membranda propriya kalınlığı ve kolajen lif içeriği yüksek ve kılcal damarlar genişlemiştir. Sertoli hücreleri sitoplazmasında

ortak vakuolizasyon, elektron-yoğun yapıların büyümesi ve büyük lipid damlacıklarının varlığı saptanmıştır (Çelik vd., 2011). Dasdağ ve ark., çalışmayı 31 Wistar albino yetişkin erkek sıçanlar üzerinde gerçekleştirmiştir. Sıçanlar bu çalışmada üç gruba ayrılmıştır (kafes denetim: 10, sham Grup: 7 ve EMR grubu: 14). Çalışma grubu için ratlar radyasyona 2 saat/gün (haftada 7 gün) maruz kalmışlardır. Final skoru için testis maruz grubunda apoptosis sham ve kafes kontrol gruplarına göre istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p > 0,05$) (Dasdağ vd., 2008). Forgács ve ark. erkek üremenin olası tüm vücut üzerindeki 1800 MHz GSM mikrodalga maruziyetinin etkilerini değerlendirmek için yapmıştır. 0.018-0.023 W/kg tüm vücut SAR değerinde tekrarlı maruz bırakılmıştır. Maruz kalan hayvanlardan elde edilen 48 saat Leydig hücre kültürleri in vitro hormonal faktörler yanıtı kontrol grubundan farklı değildir. Maruz kalan hayvanlarda eritrosit kırmızı kan hücre sayısı ve hacmi de artmıştır. Maruz hayvanlarda kırmızı kan hücresi sayımı ve paketlenmiş alyuvar hacminde artış gözlemlenmiştir (Forgács vd., 2006). Hancı ve ark., 21 günlük sıçan testisi üzerindeki prenatal dönemde 900 MHz elektromanyetik alan (EMR) maruz kalma etkisi araştırılmıştır. Gebe sıçanlar; kontrol (CG) ve EMR (EMRG) gruba ayrılmıştır. EMRG gebeliğin 13-21 gün döneminde 900 MHz EMR maruz bırakılmıştır. Yeni doğan CG sıçanlar CG ve yeni doğan EMAG (NEMRG) sıçanlar EMRG üzerinden elde edilmiştir. NEMRG sıçanlar seminifer tübül bazal membran ve epitel, lümen, olgunlaşmamış hücrelerinin ve seminifer tübül epitel çapı kalınlığında bir azalma sergilemiştir. Apoptotik indeks, lipid peroksidasyonu ve DNA oksidasyonu NEMRG, NCG sıçanlarında daha yüksek bulunmuştur (Hancı vd., 2013). Şahin ve ark., erkek oniki haftalık Swiss türü farelerin termal olmayan düşük seviyeli 2.45 GHz MW radyasyona maruz kalmışlardır (CW 2 saat/günde, 30 gün boyunca, güç yoğunluğu=0,029812 mW/cm² ve SAR=0.018 W/Kg). Plazma 3 β HSD testi için testosteron ve testis kullanılmıştır. MW maruz kalan farelerde seminifer tübül çapı azalması ve seminifer tübüllerde dejenerasyon ile birlikte sperm sayısı ve sperm canlılığı önemli bir azalma olduğu gözlemlenmiştir. Maruz kalan grupta, testis 3 β HSD aktivitesi ve plazma testosteron düzeylerinde azalma tespit edilmiştir. Testiküler i-NOS ekspresyonu MW maruz kalan farelerde artmıştır (Şahin vd., 2014). Maneesh ve ark., çalışmada serbest radikal metabolizması ve sperm kalitesi üzerinde cep telefonlarından

yayılan RF-EMR etkilerini değerlendirilmişlerdir. Erkek Wistar sıçanı (10-12 haftalık) 28 gün boyunca günde 1 saat süreyle aktif bir GSM (0.9 / 1.8 GHz) ile cep telefonundan RF-EMR'ye maruz bırakılmıştır. Kontroller aynı dönemde bir batarya olmadan bir cep telefonuna maruz bırakılmıştır. RF-EMR maruz kalan sıçanların sperm hareketleri yüzdesi önemli ölçüde azalmıştır. Ayrıca, RF-EMR maruz kalma ile lipid peroksidasyonu artışı ve epididim, testis içeriğinde düşük GSH içeriği saptanmıştır (Maneesh vd., 2009). Ono ve ark., 2. 45 GHz radyofrekans maruz kalma ile olası bir mutajenik etki lacZ transgenik fareler kullanılarak değerlendirilmiştir. Hamile hayvanlar aralıklı tüm vücut 0.71 W / kg SAR değerinde EMR' ye maruz kalmışlardır (10 saniye açık, 50 saniye kapalı 10 saniye boyunca 4. 3 W/kg SAR EMR' ye maruz kalmıştır). Embriyonik yaş 0 ile 15 günde, yavru 16 saat boyunca intrauterin maruz bırakılarak 10. haftada incelenmiştir. Termal etkilerini en aza indirmek için, 10 saniye tekrarlanan maruz kalma sonrası 50 saniye kapatılarak verilmiştir. Maruz bırakılan fareler mutasyon frekansı lacZ geninin dalak, karaciğer, beyin, testis dokularında benzerlik gözlenmiştir. Mutant DNA'ların nükleotidleri sıralanmasıyla değerlendirilen mutasyon maruz kalan ve kalmayan örnekler arasında kayda değer bir fark saptanmamıştır. Rahimde kısa süreli tekrarlanan radyo frekansın maruziyetin mutajenik olmadığını göstermişlerdir (Ono vd., 2004). Özgüner ve ark., yapılan çalışmada, sıçan testis üzerinde 900 MHz radyofrekans (RF) EMF biyolojik ve morfolojik etkilerini araştırmışlardır. 20 yetişkin erkek Sprague-Dawley sıçan 270-320 gm ağırlığında; grup 1 (kontrol grubu) EMF ye maruz kalmayan ve grup II (EMF grubu) 30 dakika her gün için 900 MHz EMF için 4 hafta boyunca haftada 5 gün maruz bırakılmıştır. Bunlarla birlikte, seminifer tübüller çapı ve germinal epitelin ortalama yüksekliği EMA grubunda azalmıştır ($p < 0.05$). EMF grubunda serum, total testosteron seviyesinde önemli bir düşüş gözlenmiştir ($p < 0.05$) (Özgüner vd., 2005). Barış ve ark., bu çalışmada, cep telefonları tarafından yayılan (900 MHz), elektromanyetik dalga (EMW) 60 günlük etkileri erkek kobay epididimal, testis ağırlığı ve sperm kalitesi üzerine araştırılmıştır. Oniki sağlıklı erkek kobay tedavi (n=6) ve kontrol grubu (n=6) olarak rastgele ayrılmıştır. Tedavi grubu (grup EMW) 900 MHz elektromanyetik alana maruz kalan (217 Hz, 2W maksimum pik güç, SAR 0.95 W/kg) cep telefonu (günlük kullanımı 20 dk arama, sonra 'bekleme' pozisyonunda 23 saat, 40

dakika/gün) 60 gün boyunca günde 20 dakika devam edilmiştir. Kontrol grubu (Grup C), radyasyon ile benzer koşullar altında tutulmuştur. Ancak C Grubu (799. 17x 106 sperm / ml) ile EMR Grubu ile (549. 6 x 106 sperm / ml) karşılaştırıldığında önemli ölçüde düşük sperm sayısı gözlenmiştir ($p < 0. 05$) (Barış vd., 2012). Liu ve ark., bu çalışmada 900 MHz frekansında RF-EMR sperm hücresinde apoptoz tetiklenmesi ve sperm morfolojisi, konsantrasyonu ve mikro yapıya etkisi araştırılmıştır. Yirmi dört sıçan 900 MHz elektromanyetik radyasyona 2 saat/gün, 50 gün $0. 66 \pm 0. 01$ W/kg SAR değerinde maruz bırakılmıştır. Maruz kalma grubunda apoptotik sperm hücrelerinin yüzdesi, kontrol grubuna kıyasla % 91,42 önemli oranda artmıştır. Ayrıca, maruziyet grubunda ROS konsantrasyonu % 46.21 oranında düşerken, Total antioksidan kapasite % 28.01 oranında azalmıştır. Radyasyon da önemli ölçüde Bcl-2 protein ve mRNA ekspresyonunun azaltmıştır ve bax, sitokrom c ve Caspaz-3 artmıştır (Liu vd., 2015). Akdağ ve ark. ELF manyetik alanların (1. 35 mT) sperm sayısı, malondialdehit konsantrasyonu, testis, beyin, karaciğer ve böbrek gibi organların histolojisi, kemik iliği p53 gen mutasyonu etkilerini ve Cu_2^+ , Zn_2^+ , Mn_2^+ , ve Fe_3^+ serum konsantrasyonlarının sıçanlar üzerinde araştırılmışlardır. Onaltı Sprague-Dawley erkek sıçan iki gruba ayrılmıştır. Deney grubundaki sıçanlar ELF manyetik alan 2 ay boyunca 2 saat/gün (haftada 7 gün) maruz bırakılmıştır. Ancak, bu çalışmada istatistiksel olarak anlamlı bir değişim ölçülen parametreler dışında Mn_2^+ konsantrasyonu arttığı gözlenmiştir ($p < 0,001$) (Akdağ vd., 2006). Nazıroğlu ve ark., yapılan bu çalışmada mekanizma ve EMR değişikliklerinin üreme fonksiyonları üzerindeki risk faktörlerini, kadın ve erkeklerin membran oksidatif biyoloji üzerine olan etkilerini tartışmaktadır. Erkek sıçanlar üzerinde yapılan çalışmalarda, maruziyet sonucu seminifer tübüllerde dejenerasyon, Leydig hücrelerinde testosteron üretiminin yanı sıra hormon düzeyleri ve luteinizan hücrelerin apoptotik artışlarının sayısında azalmalar olmuştur. Bazı durumlarda erkek ve kadın infertilite, oksidatif stres ve lipid peroksidasyon yüksek düzeyde ve melatonin gibi antioksidanların azalan değerleri, E vitamini ve glutatyon peroksidaz EMR'e maruz kalan hayvanlarda rapor edilmiştir. Sonuç olarak, geçerli çalışma sonuçlarında Wi-Fi ve cep telefonu kaynaklı EMR maruz oksidatif stres kadın ve erkek üreme sistemleri etkileyen önemli bir mekanizma olduğunu göstermişlerdir. Ancak, bu tarihe kadar EMR maruz kalma ile ilgili kadın ve erkek kısırlık riskini destekleyecek hiçbir

kanıt önerilmemiştir (Nazıroğlu vd., 2013). Araştırmacılar; Wang ve ark., bir elektrik güç santralinin erkek işçilerinde plazma hormonal ve inflamatuvar yol biyobelirteçlerinin düzeylerine EMF maruziyetinin etkilerini değerlendirmiştir. Yüksek mesleki EMF maruziyeti ile yetmiş yedi erkek işçiler ve yaşa göre eşleştirilmiş düşük maruz kalma ve 77 erkek kontroller, kesitsel bir çalışmaya seçilmiştir. EMF maruz grubu anlamlı derecede istatistiksel olarak daha düşük seviyelerde testosteron ($\beta = -0. 3$ nmol / L, $p = 0. 015$), östradiol/testosteron (T/E2) oranı ($\beta = -15. 6$, $p = 0. 037$), ve NF-kB ($\beta = -20. 8$ ng/L, $p = 0.045$) kontrol grubuna göre daha düşük seviyelerdedir. Ayrıca, testosteron ve T/E2 oranı düzeyleri mesleki EMF maruziyeti ve istihdam süresi, cep telefonu ücretleri, cep telefonu kullanımının yıllar ve elektrik ücretleri arasındaki ortak etkileri gözlenmiştir. Bununla birlikte, plazma estradiol, melatonin, HSP70, ile ilişkili anlamlı ilişki bulunmamıştır (Wang vd., 2016). Sepehrimanesh ve ark., bu çalışmada radyofrekans elektromanyetik alan (RF-EMF) etkilerini erkek sıçanların üreme sistemi üzerinde FSH, LH, inhibin B, aktivin B, prolaktin ve testosteron dolaşımdaki seviyelerini değerlendirmişlerdir. Yirmi yetişkin erkek Sprague-Dawley sıçanları (180 ± 10 gr) dört eşit gruplara ayrılmış, 1, 2 ve 4 saat/gün, 30 gün 900 MHz RF-EMF' ye maruz bırakılmıştır.. Maruz bırakılmadan önce, maruziyette 15 ve 30 günde hormon düzeylerinin belirlenmesi ELISA ile gerçekleştirilmiştir. FSH ve LH değerleri uzun süreli uygulama (LTE) grubunda sham grubuna göre anlamlı olarak yüksek bulunmuştur ($p < 0.05$). Serum, aktivin B ve prolaktin LTE grubunda anlamlı artış göstermiştir ve inhibin B RF-EMF maruziyeti 30 gün sonrası sham ve kısa süreli uygulama STE gruplarında belirgin bir azalma göstermiştir ($p < 0. 05$). Ayrıca, LTE grubunda serum testosteron düzeylerinde kısa ve orta süre maruziyeti (MTE) gruplarına kıyasla anlamlı bir azalma saptanmıştır ($p < 0.05$) (Sepehrimanesh vd., 2014). Özorak ve ark., bu çalışma Wi-Fi (2. 45 GHz), cep telefonu (900 ve 1800 MHz) ile indüklenen elektromanyetik radyasyon (EMR) üzerine 6 haftalıkken gebe sıçanlarda böbrek, testis, oksidatif stres ve eser element düzeyleri etkisini belirlemek için tasarlanmıştır. Otuz iki sıçan ve 96 yeni doğmuş yavru eşit olmak üzere dört farklı gruba; kontrol, 2. 45 GHz, 900 MHz ve 1800 MHz gruba ayrılmıştır. 2. 45 GHz, 900 MHz ve 1800 MHz grupları gebelik ve büyüme sırasında 60 dakika/gün EMR' ye maruz bırakılmıştır. Bu deneyde, dördüncü, beşinci ve

altıncı haftalarda, sıçanların böbrek, testis örnekleri alınmıştır. Dördüncü haftada alınan sonuçlar; testis, böbrek ve demir konsantrasyonu yanı sıra, vitamin A ve E vitamini konsantrasyonu EMR gruplarında artarken böbrek ve testis, MDA, lipid düzeyi ve bakır, çinko, glutatyon (GSH), glutatyon peroksidaz (GSH-Px) ve total antioksidan (TAS) durum EMR gruplarında azaldığı gösterilmiştir. Beşinci hafta numunelerine ilişkin sonuçlar GSH ve TAS düzeyleri azalırken; böbrek, demir, A vitamini ve β -karoten konsantrasyonları, EMR gruplarında arttığını göstermektedir. Altıncı hafta sonuçları ise demir konsantrasyonları böbrek ve lipid peroksidasyonunun böbrek ve testiste artmış olduğunu göstermiştir. EMR gruplarında bakır, TAS ve GSH konsantrasyonları azalmıştır. Dört grup arasında böbrek krom, magnezyum, ve manganez konsantrasyonlarda istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı gösterilmiştir (Özorak vd., 2013). Öztürk ve ark., bu çalışmanın amacı, çinkonun düzenli olarak 6 aylık bir süre boyunca her seferinde 5 dakika boyunca 50 Hz elektromanyetik alana maruz sıçanlara uygulandığında lipid peroksidasyonunu araştırmaktır. Yirmi dört Sprague-Dawley yetişkin erkek sıçan sekizerli gruplara ayrılmıştır. Grup 1 kontrol grubu, Grup 2 bir elektromanyetik alana maruz kalmış ve grup 3 elektromanyetik radyasyona maruz bırakılmış ve çinko sülfat 3 mg/kg (günlük intraperitoneal enjeksiyon ile verilmiştir). Plazma ve testis MDA düzeyleri grup 2'de yüksek bulunmuştur, grup 1 ve 3 ile grup 3 değeri anlamlı olarak grup 1'den yüksek bulunmuştur ($p < 0.001$). Eritrosit GSH seviyesi grup 1 ve 3' den grup 2'de daha düşüktür. Grup 1, anlamlı derecede grup 3'den daha düşüktür ($p < 0.001$). Testis ve böbrek dokularında, grup 1'de GSH seviyeleri anlamlı olarak grup 2 ve 3'den daha düşük, grup 2 için grup 3' den daha düşüktür ($p < 0.001$). Plazma çinko düzeyleri en yüksek grup 3'de, grup 1 ve grup 2' de en düşük değer göstermiştir ($p < 0.001$) (Öztürk vd., 2003). Akdağ ve ark., bu çalışmada 50 Hz aşırı düşük frekanslı manyetik alanlar (ELF-MF) apoptotik süreçleri, oksidatif hasarı ve sıçan testislerinde sperm sayısı ve morfoloji gibi üreme özelliklerini etkileyip etkilemediğini belirlemek için otuz erkek Sprague-Dawley sıçan (n , plasebo grubu = 10 ve iki deney grubu, n = her grup için 10) üç gruba ayrılmıştır. Deney grubundaki sıçanlara insanlar için güvenli kabul edilir maruziyet düzeylerine karşılık gelen (10 ay, 7 gün/hafta, 2 saat/gün), 100 ve 500 μ Tesla ELF-MF maruz bırakıldı. Aynı deneysel prosedürler sham grubuna uygulandı,

ancak ELF jeneratör kapalıydı. 100 μ Tesla ve 500 μ Tesla ELF-MF uzun süreli maruz kalma oksidatif veya antioksidan süreçleri, lipid peroksidasyonu, ya da bu tür farelerin testis dokusunda sperm sayısı ve morfoloji gibi üreme bileşenlerini etkilemediği gösterilmiştir. Ancak, 500 μ T ELF-MF' de aktif kaspaz-3 bilinen apoptotik gösterge sham grubuna göre yüksek bulunmuştur (Akdağ vd., 2013). Shokri ve ark., bu çalışmada Wi-Fi radyasyona kısa ve uzun vadeli maruz kalma sırasında erkek kısırlığın en önemli nedeni araştırmışlardır. Üç aylık erkek Wistar sıçan ($n=27$) 2.45 GHz ile iki kablosuz antenlerle maruz bırakılmıştır. Hayvanlar; kontrol grubu ($n = 9$), 1 saatlik grubu ($n = 9$) iki ay boyunca günde 1 saat, 7 saatlik grup ($n = 9$) 2 ay boyunca günde 7 saat 2.45 GHz kablosuz radyasyona maruz bırakılmıştır. Bir saat ve 7 saat grupları zaman bağımlı sperm parametrelerinde bir düşüş göstermiştir. Buna paralel olarak, maruz kalan fareler seminifer tübüllerin içinde apoptozis pozitif hücreler ve caspase-3 ekspresyonu artmıştır. Seminal vezikül ağırlığı 1 saat ve 7 saat gruplarında kontrol grubu ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde azalmıştır (Shokri vd., 2015). Bu çalışmada Qin ve ark., yetişkin erkek Sprague-Dawley sıçanlarda üreme işlev işaretçileri günlük radyofrekans alan (RF) maruz kalmanın sirkadiyen etkileri araştırılmıştır. Sirkadiyen ritim (melatonin ölçümleri tarafından belirlenmiştir), hayvanlarda birkaç gruba ayrılmıştır ve 1800 MHz RF 2 saat/gün, 32 gün 205 μ w/cm² güç yoğunluğu (SAR=0,0405 W/kg), farklı zeitgeber zamanlarında (ZT), ZT0, ZT4, ZT8, ZT12, ZT16 ve ZT20 maruz bırakılmıştır. Bu ölçümler ile sirkadiyen ritim sham grubu hayvanlarda varlığını onaylanmıştır. Ancak, RF maruz sıçanlar için sirkadiyen ritim bozulmuştur ve testosteron düzeyleri azalmıştır. Günlük sperm üretimi ve sperm motilitesi azalmıştır. Down-regüle etkinlik γ -GT ve ACP yanı sıra sitokrom P450 ve StAR mRNA ekspresyonu değişmiş ZT0 RF' ye maruz kalan sıçanlarda tüm bu gözlemler daha belirgin olmuştur (Qin vd., 2014). Bu çalışmada Kumar ve ark., amaçlı pulsed elektromanyetik alanın (100 Hz) erkek Wistar sıçan (70 günlük) üreme sistemleri üzerinde tedavi edici etkileri incelemiştir. Hayvanlar beş gruba ayrılmıştır: mikrodalga sham, mikrodalga maruziyet (2,45 GHz), geniş puls elektromanyetik alan sham, pulsed elektromanyetik alan (100 Hz) maruz kalma ve mikrodalga/Geniş puls elektromanyetik alana maruz kalma şeklinde dizayn edilmiştir. Hayvanlar günde 2 saat/60 gün boyunca maruz bırakılmıştır. Kaspaz ve kreatin kinaz anlamlı

ölçüde arttığını, testosteron ve melatonin anlamlı ölçüde düştüğünü maruz kalan gruplarda göstermişlerdir (Kumar vd., 2011). Odacı ve ark., bu çalışmalarında; 60 günlük sıçan testis ve epididim dokusu üzerinde intrauterin 900 MHz elektromanyetik alana (EMR) maruz kalmanın etkilerini araştırmışlardır. Gebe sıçanlar kontrol grubu ve EMF (EMFG) grubu olarak ayrılmıştır. Gebeliğin 13-21 gününde 1 saat her gün için 900 MHz EMF'ye maruz kalmıştır. Yenidoğan sıçan yenidoğan CG (NCG) ya da yeni doğmuş EMF grupları (NEMFG) olarak sınıflandırılmıştır. Postnatal 60. gün testis ve epididimis her hayvandan çıkartılmıştır. Kontrollere kıyasla NEMFG daha yüksek apoptotik indeks, daha fazla DNA oksidasyon seviyeleri ve daha düşük sperm hareketliliği ve canlılığı bulunmuştur. Seminifer tübül lümeninde olgunlaşmamış tohum hücrelerinin ve değiştirilmiş, seminifer tübül epitel ve seminifer tübül yapısının, hematoksin ve eozin boyalı NEMFG testislerinde gözlenmiştir. NEMFG seminifer tübül epitel hücrelerini çoğunda görülen apoptotik hücreleri çok sayıda tespit edilmiştir (Odacı vd., 2015). Odacı ve ark., bu çalışmada, sıçan testislerinin üzerinde 900 Mhz EMR'ye etkisini araştırmışlardır. Yirmi dört erişkin erkek sıçan kontrol, sham ve EMF grubuna ayrılmıştır. EMF grubu sıçanları 900 MHz EMF (1 saat/30 gün) maruz bırakılmıştır. EMF grup sıçanlarda vakuoller, intertübüler boşluk, seminifer tübüller, bazal membran ve ödem görülmüştür. Seminifer tübül çapları ve germinal epitel kalınlığı hem daha küçük ve apoptotik indeks diğer gruplara göre EMF grubunda daha fazladır. EMF grubunda malondialdehit, süperoksit dismutaz, katalaz ve glutasyon değerleri önemli ölçüde kontrol grubuna göre azalmıştır (Odacı vd., 2015). Tas ve ark., erkek sıçanların üreme organları üzerinde uzun vadeli 900 MHz cep telefonu maruz kalmanın etkileri araştırılmıştır. Çalışma sham grubu ve maruziyet grubu olarak 14 adet Wistar Albino sıçan üzerinde dizayn edilmiştir. Fareler, bir GSM sinyali üreticiden çıkan 900 MHz radyo frekansı (RF) radyasyona maruz bırakılmıştır. Testis ve prostat, SAR düzeyleri sırasıyla 0,0623 W/kg, 0,0445 W/kg ve 0.0373 W/kg olarak bulunmuştur. Ancak, morfolojik olarak normal spermatozoa oranı EMR grubunda yüksek bulunmuştur. Histolojik inceleme her iki grupta da seminifer tübül çaplarında benzerlik göstermesine rağmen, tunika albuginea kalınlığı ve Johnsen testiküler biyopsi skoru EMR grubunda düşük bulunmuştur (Tas vd., 2014). Oksay ve ark., bu çalışmada 2,45 GHz elektromanyetik radyasyon (EMR)

tarafından uyarılan oksidatif stres bağımlı testis hasarı üzerine melatoninin olası koruyucu etkilerini belirlemek için tasarlanmıştır. Otuz iki sıçan eşit olarak dört farklı grup olarak; kafes kontrolü (A1), sham kontrol (A2), 2.45 GHz EMR (B) ve 2,45 GHz EMR + melatonin (C) dizayn edilmiştir. B ve C Grubu 30 gün boyunca, 60 dakika/saat 2.45 GHz EMR' ye maruz bırakılmıştır. Lipid peroksidasyon düzeyleri B Grubunda Grup A1 ve A2 den yüksektir. Melatonin tedavisi EMR tarafından uyarılan lipid peroksidasyonun artışını engellemiştir. Ayrıca indirgenmiş glutatyon (GSH) ve glutatyon peroksidaz (GSH-Px) seviyeleri Grup D'de grup B'ye göre daha yüksek bulunmuştur. Vitamin A ve E konsantrasyonları B grubunda azalmış ve melatonin E vitamini düzeylerinde azalmayı önlemiştir (Oksay vd., 2014). De Iuliis ve ark., in vitro insan sperm hücre biyolojisi RF-EMR etkisini araştırmışlardır. Artılmış insan spermi 1.8 GHz elektromanyetik radyo frekansına (RF-EMR) ve 0,4 W/kg ile 27.5W/kg SAR değerinde maruz bırakılmışlardır. RF EMR maruz kaldıktan sonra hareket ve canlılığı önemli ölçüde, azalmış reaktif oksijen türleri ve DNA fragmentasyonu mitokondriyal üretiminin anlamlı ölçüde yüksek olarak saptanmıştır. Ayrıca, RF-EMR maruz kaldıktan sonra SAR değeri ile oksidatif DNA hasarı biyo-belirteci olan 8-OH-dG ve DNA parçalanması arasında son derece önemli ilişki olduğu gözlenmiştir (De Iuliis vd., 2009). Saygın ve ark., kablosuz cihazların (2.45 GHz) ürettiği elektromanyetik radyasyon (EMR) sıçanların testislerinde, fizyopatolojik veya ultrastrüktürel değişikliklerin araştırılması ve gallik asidin (GA) bu olumsuz etkilere karşı rolünü araştırmışlardır. Altı haftalık erkek Sprague Dawley kırk sekiz sıçan eşit olarak dört gruba ayrılmıştır: Sham, EMR (EMR, 3 saat gün-1 30 gün), EMR + GA (30 mg / kg / gün) ve GA (30 mg / kg / gün). Malondialdehit (MDA) ve total oksidan seviye (TOS) düzeyleri EMR tek grupta (p = her ikisi için 0.001) yükselmiştir. TOS ve oksidatif stres indeksi (OSI) düzeyleri (p = 0.001 ve p = 0.045, sırasıyla) anlamlı GA tedavi edilen grupta azalmıştır. Total antioksidan status (TAS) (sırasıyla, p = 0.001 ve p = 0.029) EMR grubunda azalmış ve GA tedavi grubunda artmıştır. Testosteron ve vasküler endotelyal büyüme faktörü (VEGF) düzeyleri EMR grubunda azalmış, ancak bu istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Testosteron ve VEGF seviyeleri EMR grubu ile karşılaştırıldığında, EMR + GA grubunda (p = 0.002) artmış ve aynı zamanda kontrol ve EMR grubu (sırasıyla p = 0.044 ve p = 0.032) ile karşılaştırıldığında GA grubunda

artmıştır. Prostaglandin E2 (PGE2) ve kalsitonin geni related peptid (CGRP) EMR grubu testis tübüllerde artmış ve tüm parametreler için EMR+GA grubunda azalmıştır. EMR grubunda tübüllerde sperm içeriği ve testis tübüllerinde spermatozoon sayıları azalmıştır. Bütün bu bulgular mitotik aktivite ile karakterize rejeneratif reaksiyon, EMR + GA grubunda testis seminifer tübüller hücrelerde artış göstermiştir (Saygın vd., 2015). Jelodar ve ark., bu çalışmada baz alıcı-verici istasyonu (BTS) tarafından oluşturulan radyo frekans dalgasının (RFW) testis dokusunda oksidatif stresi ve C vitamini profilaktik etkisini değerlendirmek amacıyla yapılmıştır. Otuz iki yetişkin erkek Sprague-Dawley'n sıçan, rastgele dört deney grubuna ayrılmıştır ve 45 gün boyunca tedavi edilmiştir: sham, sham + vitamin C (L-askorbik asit gavaj ile 200 mg/kg, vücut ağırlığı/gün), RFW (900 MHz RFW maruz), RFW+C vitamini. Glutasyon peroksidaz, süperoksit dismutaz (SOD) ve katalaz antioksidan enzimlerin aktivitesi ile malondialdehit (MDA) düzeyi ölçülmüştür. Test grubunda RFW maruziyet grubu kontrol grubu ile karşılaştırıldığında antioksidan enzimlerin aktivitesi azalmış ve MDA'nın arttığını göstermişlerdir. C vitamini antioksidan enzimlerin aktivitesi arttırmıştır ve MDA düzeyini azaltmıştır. (Jelodar vd., 20113). Meena ve ark., bu çalışmanın amacını MWs uzun süreli maruz kalma nedeniyle oksidatif stres-aracılı testis hasarına karşı melatoninin (DNA, yağlar, proteinler ve serbest radikal hasarını karşı koruyan antioksidan) koruyucu etkileri araştırılmıştır. Bunun için 70 günlük erkek Wistar sıçanlar dört gruba ayrılmıştır (n = 6/grup): sham, melatonin (2 mg/kg), 2.45 GHz MWs ve MWs+Mel tedavi (Mel) (2 mg/kg) grubu olarak dizeyn edilmiştir. EMR için 45 gün boyunca günde 2 saat güç yoğunluğu (0,21 mW/cm²) ve SAR=0,14 W/Kg pleksiglas kafeslerde uygulanmıştır. LDH-X (laktat dehidrogenaz isoenzim) aktivite ilgili parametreleri, ksantin oksidaz (XO), protein karbonil içeriği (Reaktif oksijen Türlerine), DNA hasarı ve MDA (malon dialdehit) değerlendirilmiştir. Oksidatif hasar biyokimyasal olarak testiküler LDH-X önemli düzeyde artış göstermiş, azalan MDA ve ROS testis düzeyleri melatoninin koruyucu etkisini ortaya koymuştur. Bu arada melatonin XO, protein karbonil içeriği, sperm sayısı, testosteron düzeyi ve testis hücrelerdeki DNA fragmantasyonu MWs etkilerini tersine çevirmiştir (Meena vd., 2014). Saygın ve ark., bu çalışmada 2450 mHz elektromanyetik alanın fare testis dokusunda

apoptozis ve histopatolojik değişiklikler üzerindeki etkisini araştırmışlardır. On iki-haftalık erkek Wistar Albino sıçanlar; kafes grubu (grup I), sham grubu (grup II) ve 2.45 GHz EMR (grup III) grubu olarak dizayn edilmiştir. Grup III' e 2.45 GHz EMR, 3.21 W/kg özgül emilme oranı 60 dakika/28 gün boyunca uygulanmışlardır. Testis dokusunda Leydig hücreleri grup III' te grup I' e göre önemli ölçüde azalmıştır. Johnsen testis biyopsisi puanı kullanarak spermatogenez tahmini gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı saptanmıştır. Bax apoptozis gen ve Caspase-8 apoptosis enzim karşılaştırıldığı zaman, gruplar arasında önemli farklılık bulunmuştur (Saygın vd., 2011). Fahri ve ark., 900 MHz cep telefonlarından yayılan radyasyon tüm vücut maruz kaldıktan sonra anti-apoptotik bcl-2 proteinin sıçan beyin ve testis dokusunda araştırılması amaçlanmıştır. İki grup (sham ve deneysel) sekiz Sprague-Dawley sıçan çalışmada kullanılmıştır. Deney grubu için telefonlar için 1 ay boyunca gün başına 20 dk konuşma durumunda açık tutulmuştur. 20 dk 900 MHz cep telefonlarından yayılan radyasyon anti-apoptotik bcl-2 proteini sıçan beyin ve testis dokusunu değiştirmemiştir (Fahri vd., 2008). Saygın ve ark., yaptığı çalışmada, kablosuz aygıtlar tarafından üretilen 2,45 GHz elektromanyetik radyasyon (EMR) testis dokusundaki apoptozisi indüklemesi ve selenyum (Se) ve L-karnitin rolü araştırmışlardır. 24 adet on iki haftalık erkek Wistar albino sıçanlar eşit olarak dört gruba ayrılmıştır: sham grubu, EMR grubu, EMR+L-karnitin (1.5 mg L-karnitin / kg/gün) ve EMR+Se (1.5 mg Se/kg/her gün). Bcl-2, Bax, caspase-3-8 düzeyleri sham ve EMR grupları arasında anlamlı fark bulunmuştur ve Bcl-2, Bax, caspase-3 ve -8 ekspresyonu EMR grubunda artmıştır. Caspase-8 ekspresyonu karşılaştırıldığında, EMR ve EM+Se grupları arasında önemli bir fark bulunmuştur ve Caspase-8 ekspresyonu EMR+Se grubunda azalmıştır (Saygın vd., 2015). Bu çalışmada Liu ve ark., in vitro 50 Hz ELF-EMF epigenetik etkileri aydınlatmak için tasarlanmıştır. Fare spermatozoid kaynaklı GC-2 hücre hattına 50 Hz ELF-EMF (5 dk ve 10 dk kapalı, manyetik alan yoğunluğunun 1 mTesla, 2 mTesla ve 3 mTesla 72 saat boyunca aralıklarla maruz kalmışlardır. 50 Hz ELF-EMF maruz 1 mTesla genom metilasyon azaldığı bulundu, ancak global metilasyon kontrollere kıyasla 3 mTesla da daha yüksek bulunmuştur. DNA metil transferaz 1 (DNMT1) ve DNMT3b 1 mTesla grubunda azalmıştır ve 3 Tesla grubunda DNMT1 ve DNMT3b ekspresyonunu 50 Hz ELF-EMF

artırıldığını göstermişlerdir (Liu vd., 2015). Song ve ark., erkek sıçanların üreme işlevine mikrodalga radyasyona bağlı hasarı üzerinde Morinda Officialis'in farklı konsantrasyonlarının etkileri araştırılmıştır. Sıçanlar 24 saat/gün, 10 gün 900 MHz frekansında 218 $\mu\text{m}/\text{cm}^2$ mikrodalga radyasyonuna maruz bırakılmıştır. İki tedavi grubunda sıçanlara intragastrik 2 hafta süreyle günde 40 g/kg, sulu ekstresi ve alkol ekstresi verilmiştir. Sadece verilen sulu ekstre seksual performansı ve testosteroon seviyesini arttırmıştır. LH ve GnRH düzeyi maruziyet grubuna göre azalmıştır. Testis ve epididimde seminifer tübül ve sperm sayısını arttırmıştır (Song vd., 2015). Ebrahimi- Kalan ve ark., bu çalışmada metalotiyonein (MT), düşük moleküler ağırlıklı (6-7 kDa), zengin sülfhidril bir grup içeren bir proteindir. Bu çalışmada EMF maruziyeti sonrasında testis dokusunda MT1 ve MT2 genlerin ifadesi araştırılmıştır. 8 haftalık erkek BALB/sıçanlar 8 hafta, 4 saat / gün 3 mTesla EMR'ye maruz bırakılmıştır. Primer spermatozoidlerin sayısı EMR grubunda anlamlı artmıştır. İntersitisyel alanda, leydig hücre sayısı ve bazal membran kalınlığı EMR grubunda önemli ölçüde artmıştır. MT1 ve MT2 genleri hem mRNA ve hem protein düzeyi kontrol ile karşılaştırıldığında, EMR grubu sıçanların testis dokusunda önemli ölçüde downregüle edilmiştir (Ebrahimi- Kalan vd., 2011). Bu çalışmada, Koyu ve ark., 900MHz dalga frekansında elektromanyetik alanın (EMA) sıçanlarda, kortizol ve testosteroon hormonları üzerine etkisinin olup olmadığı araştırmışlardır. 20 adet Spraque Dowley türü erkek sıçan; kontrol (K) ve EMA olmak üzere iki gruba ayırmışlardır. EMA grubundaki sıçanlar, 4 hafta boyunca haftada 5 gün ve günde 30 dakika 1+04mW/cm² gücünde 900MHz dalga frekansında EMA'ya maruz bırakılmışlardır. EMA grubunun kortizol seviyelerinin kontrol grubuna göre anlamlı olarak yüksek olduğu görülürken, EMA grubunun testosteroon seviyesi ise kontrol grubuna göre anlamlı olarak düşük bulunmuştur (Koyu vd., 2005). Saygın ve ark., bu çalışmada 2450 MHz elektromanyetik alanın sıçanların FSH, LH ve Total Testosteroon hormonlarında oluşturduğu değişiklikler araştırmışlardır. Çalışmada 3 aylık Wistar Albino erkek sıçanlar kullanılmışlardır. Sıçanlar rastgele altışarlı 3 gruba ayırmışlar. I- Kafes Kontrol (n=6) II- Sham Kontrol (n=6) III- EMA grubu, 3.21 W/kg SAR değerinde manyetik alan 4 hafta günde 1 saat olarak uygulanmışlardır. Total Testosteroon düzeyi ölçüldüğünde gruplar arasında anlamlı istatistiksel fark gözlenmiştir ve EMA grubunda

azalmıştır (Saygın vd., 2009). Bu çalışmada Tok ve ark., GSM 1800 iletişim frekansına ve 217 Hz aşırı alçak frekanslı (ELF) ve en yüksek özgül soğurma değeri (SAR) 1,79 W/kg olan cep telefonunun yaydığı EMR'nin sıçan testis morfolojisinde meydana getirdiği değişiklikler araştırılmıştır. Çalışmada Wistar-albino türü sıçanlar kullanılmış (her grup için n=6) ve 1) Kontrol, 2) EMR, 3) EMR Fötal, 4) Stand by (Bekleme) ve 5) Bekleme Fötal olmak üzere 5 deney grubu oluşturulmuştur. Kontrol grubu hariç, fötal deney grupları doğuma kadar, diğer deney grupları ise doğumdan sonraki 60. güne kadar günde 2 saat olmak üzere her gün EMR'ye tabi tutulmuşlardır. Sadece EMR grubunda sıçan ağırlığı düşüş gösterirken, EMR Fötal ve EMD gruplarında testis ağırlığının, seminifer tübül alanının ve seminifer tübül çapının düştüğü gözlenmiştir. Normal tübül yapısı EMD Fötal ve EMR gruplarında anlamlı şekilde azalmıştır ve EMR grubunda ise dejeneratif ve atrofik tübül sayısındaki artış anlamlıdır (Tok vd., 2013). Liu ve ark., bu çalışmada, fare spermatozoidlerinden üretilmiş GC-2 hücreleri aralıklı olarak 72 saat süreyle 50 Hz ELF-EMF'ye 1 mTesla, 2 mTesla ve 3 mTesla manyetik alan şiddetlerinde (5 dk açık, 10 dk kapalı) maruz bırakılmışlardır. 1 mTesla grubundaki miRNA'lar (7 miRNA'lar up regüle edilmiş ve 12 downregüle edildi) ve 3 mTesla grubundaki miRNA'lar (9 miRNA'lar up regüle edilmiş ve 12 downregüle edilmiş) saptanmıştır (Liu vd., 2015).

7. Tartışma Ve Sonuç

Sonuç olarak; elektromanyetik alanların üreme sistemi üzerinde yapılan araştırmalar sonucunda, EMR düzeyinin yüksek olması dişilerde ve erkeklerde üreme sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Üreme sistemi üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda elektromanyetik radyasyona maruz kalan bireylerde, uzun dönemler sonunda bireylerin yaşam kalitesinde ciddi değişiklikler meydana getirebilmektedir. EMR üreme sistemi üzerinde sağlık sorunu haline gelmiştir ve üreme sağlığı üzerine olumsuz etkileri giderek kabul görmektedir ve yapılan araştırmalar bunu desteklemektedir. Embriyonik gelişim sırasında elektromanyetik alanlara maruz kalma morfolojik değişikliklere, infertilite, azaltılmış doğurganlık, over azalmasına, oosit ve folikülogenez farklılaşmasını etkileyebilir. Yapılan çalışmalarda erkek üreme sistemi elektromanyetik radyasyona karşı en hassas organlarından biri olduğu gösterilmiştir. Ancak, biyolojik etkileri ve moleküler mekanizması

büyük ölçüde belirsizdir. Çalışmalarda elektromanyetik dalganın maruziyeti testosteron düzeyi, epididimal sperm hareketliliği ve sıçanların normal sperm morfolojisinde artışa neden olduğu, ayrıca testiküler dokuda apoptozis ve enflamasyona neden olduğu gösterilmiştir. Sonuçlar 900 ve 1800 MHz EMF sıçanların erken puberte ve büyümesine neden olmuştur. Biyolojik ve morfolojik etkiler 900 MHz RF-EMF maruziyetinden kaynaklanan spermatogenez ve germinal epitelin üzerindeki olumsuz etkilerini göstermektedir. Bu nedenle, testiste morfolojik değişiklikler hormonal değişikliklere bağlı olabilir. Cep telefonlarının yaydığı EMA'nın nöroendokrin sisteme etkileri stres kaynaklı olabilir. Cep telefonlarından ve kablosuz ağlardan yayılan RF-EMR erkek üretkenliğini ve olumsuz meni kalitesini etkilemektedir. Elektromanyetik radyasyondan kaçınmanın imkânsız olduğu dünyamızda bu konuda çok daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Üreme sisteminin elektromanyetik alanların etkisi sonucunda infertiliteye yol açabileceği gerçeğini durup düşünmek ve bilimsel veriler ışığında değerlendirmek gerekmektedir. Bu sonuçlar çerçevesinde özellikle doğurganlık çağında olan ve nedeni bilinmeyen infertilite olarak açıklanan olgularda bu konunun dikkate alınması gerekmektedir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

Agarwal A., Deepinder F., Rakesh K.S., Ranga G., Jianbo L. 2008. Effect of cell phone usage on semen analysis in men attending infertility clinic: An observational study. *Fertility and Sterility*. 89(1): 124-128.

Agarwal A., Deepinder F., Sharma R.K., Ranga G., Li J. 2008. Effect of cell phone usage on semen analysis in men attending infertility clinic: an observational study. *Fertil Steril*. 89(1):124-8.

Ahmadi SS, Khaki AA, Ainehchi N, Alihemmati A, Khatooni AA, Khaki A, Asghari A. 2016. Effect of non-ionizing electromagnetic field on the

alteration of ovarian follicles in rats. *Electron Physician*. 25;8(3):2168-74.

Akdag M.Z., Dardag S., Aksen F., Isik B., Yilmaz F. 2006. Effect of ELF magnetic fields on lipid peroxidation, sperm count, p53, and trace elements 12(11): BR366-371ID: 484685

Akdag M.Z., Dardag S., Uzunlar A.K., Ulukaya E., Oral A.Y., Çelik N., Akşen F. 2013.

Can safe and long-term exposure to extremely low frequency (50 Hz) magnetic fields affect apoptosis, reproduction, and oxidative stress? *Int J Radiat Biol*. 89(12):1053-60.

Al-Akhras MA. 2008. Influence of 50 Hz magnetic field on sex hormones and body, uterine, and ovarian weights of adult female rats. *Electromagn Biol Med*.27(2):155-63.

Aydin M., Cevik A., Kandemir F.M., Yuksel M., Apaydin A.M. 2009. Evaluation of hormonal change, biochemical parameters, and histopathological status of uterus in rats exposed to 50-Hz electromagnetic field. *Toxicol Ind Health*. 2009 Apr;25(3):153-8.

Barış A.U., Dide K.K., Fetih G., Yeter D., Ömer U. 2012. Effect of Electromagnetic Wave Emitted from Mobile Phone on Some Reproductive Parameters in Adult Male Guinea Pigs* *Atatürk Üniversitesi Vet. Bil. Derg.* 7(2): 77-84

Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, 2011. Erişim Tarihi: 14.04.2016 "Elektronik haberleşme cihazlarından kaynaklanan elektromanyetik alan şiddetinin uluslararası standartlara göre maruziyet limit değerlerinin belirlenmesi, kontrolü ve denetimi hakkında yönetmelik", *Resmî Gazete-Sayı:* 27912.

Blaasaas, K.G., Tynes, T., Lie, R.T. 2004. Risk of selected birth defects by maternal residence close to power lines during pregnancy, *Occupational and Environmental Medicine*, 61(2):174-176.

Blaasaas, K.G., Tynes, T., Lie, R.T., 2003. Residence near power lines and the risk of birth defects. *Epidemiology*, 14(1), 95-8.

Bold., A., Toros, H., Şen, Orhan. 2003. "Manyetik Alanın İnsan Sağlığı Üzerine Etkisi", III. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 19-21 Mart, İTÜ, İstanbul, ISBN.975 561-236-X.

Bold, A., Toros, H., Şen, Orhan., 2003. Manyetik Alanın İnsan Sağlığı Üzerine Etkisi, III. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 19-21 Mart, İTÜ, İstanbul, ISBN.975-561-236-X.

Bracken, M.B., Belanger, K., Hellenbrand, K., Dlugosz, L., Holford, T.R., McSharry, J-E., Addesso, K., Leaderer, B. 1995. Exposure to electromagnetic fields during pregnancy with emphasis on electrically heated beds: Association with birthweight and intrauterine growth retardation, *Epidemiology*, 6:263-270.

Chen L., Qin F., Chen Y., Sun J., 2014. Tong J2. Chronotoxicity of 1800 MHz microwave radiation on sex hormones and spermatogenesis in male mice]. *Wei Sheng Yan Jiu*. 43(1):110-5.

Çelik S., Aridogan I.A., Izol V., Erdoğan S., Polat S., Doran S. 2012. An evaluation of the effects of long-term cell phone use on the testes via light and electron microscope analysis. *Urology*. 79(2):346-50.

Dasdag S., Akdag M.Z., Ulukaya E., Uzunlar A.K., Yegin D. 2008. Mobile phone exposure does not induce apoptosis on spermatogenesis in rats. *Arch Med Res*. 39(1):40-4.

Davoudi M., Brossner C., Kuber W. 2002. The influence of electromagnetic waves on sperm motility. *Journal für Urologie und Urogynäkologie*. 19:18-22.

De Iuliis G.N., Newey R.J., King B.V., Aitken R.J. 2009. Mobile phone radiation induces reactive oxygen species production and DNA damage in human spermatozoa in vitro. *PLoS One*. 31;4(7):e6446.

De Vita R., Cavallo D., Raganella L., Eleuteri P., Grollino M.G., Calugi A. 1995. Effects of 50 Hz magnetic fields on mouse spermatogenesis monitored by flow cytometric analysis. *Bioelectromagnetics*. 16(5):330-4.

Ebrahimi-Kalan A., Roudkenar M.H., Halabian R., Milan P.B., Zarrintan A., Roushandeh A.M. 2011. Down-regulation of metallothionein 1 and 2 after exposure to electromagnetic field in mouse testis. *Iran Biomed J*. 15(4): 151-156.

Fejes I., Závaczki Z., Szöllosi J., Koloszar S., Daru J., Kovacs L., Pál A. 2005. Is there a relationship

between cell phone use and semen quality? *Archives of Andrology*. 51:385-393.

Forgács Z., Somosy Z., Kubinyi G., Sinay H., Bakos J., Thuróczy G., Surján A., Hudák A., Olajos F., Lázár P. 2004. Effects of whole-body 50-Hz magnetic field exposure on mouse Leydig cells. *ScientificWorldJournal*. 4 Suppl 2:83-90.

Forgács Z., Thuróczy G., Paksy K., Szabó L.D. 1998. 17 Effect of sinusoidal 50 Hz magnetic field on the testosterone production of mouse primary Leydig cell culture. *Bioelectromagnetics*. 19(7):429-31.

Forgács Z., Somosy Z., Kubinyi G., Bakos J., Hudák A., Surján A., Thuróczy G. 2006. Effect of whole-body 1800MHz GSM-like microwave exposure on testicular steroidogenesis and histology in mice. *Reprod Toxicol*. 22(1):111-7.

Frank, A.L., Slesin, N. 1998. Nonionising Radiation, Maxcy-Rosenau-Last, Public Health and Preventive Medicine, WALLACE, R.B. ed, p:526-535, Stanford.

Grajewski, B., Schnorr, T.M., Reefhuis, J., Roeleveld, N., Salvan, A., Mueller, C., Murray, W.E., Conover, D.L. 1997. Work with video display terminals and the risk of reduced birthweight and preterm birth, *American Journal of Industrial Medicine*, 32:681-688.

Hancı H., Odacı E., Kaya H., Aliyazıcıoğlu Y., Turan İ., Demir S., Çolakoğlu S. 2013. The effect of prenatal exposure to 900-MHz electromagnetic field on the 21-old-day rat testicle. *Reprod Toxicol*. 42:203-9.

Hajiun B. 2013. Effects of cell phone radiation on estrogen and progesterone levels and ovarian changes in rats treated with garlic (*Allium sativum* L.) hydro-alcoholic extract. Article 5, Volume 4, Issue 2, Page 81-88

Hong R., Liu Y., Yu Y.M., Hu K., Weng E.Q. 2003. Effects of extremely low frequency electromagnetic fields on male reproduction in mice. *Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi*. 21(5):342-5.

Hong R., Zhang Y., Liu Y., Weng E.Q. 2005. Effects of extremely low frequency electromagnetic fields on DNA of testicular cells and sperm chromatin structure in mice. *Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi*. 23(6):414-7.

<http://elektromanyetiktestblog.blogspot.com.tr/2013/05/farkli-dalga-boylarina-sahip.html>

<http://www.fizik.net.tr/site/elektromanyetik-dalgalar/>

<http://www.kozmikanafor.com/yildizlari-anlamak-2-tayf/>

Japan Slick Road Club. 1998. İstanbul Teknik Üniversitesi Elektron Fakültesi tarafından düzenlenen seminerde Türkçe olarak; 19 Kasım 1998 Japonya Tokyo Rika (Tabiat Bilgileri) Üniversitesi'nde düzenlenen UMID-98 kongresinde Uygarcı olarak sunulmuş.

Jelodar G, Nazifi S, Akbari A. The prophylactic effect of vitamin C on induced oxidative stress in rat testis following exposure to 900 MHz radio frequency wave generated by a BTS antenna model. *Electromagn Biol Med.* 2013; 32(3):409-16.

John E., Hall, 2013. Guyton ve Hall Tıbbi Fizyoloji. Çev. Prof. Dr. Berrak Ç.Y., Nobel Kitabevleri, 1011s, İstanbul

John E., Hall, 2013. Guyton ve Hall Tıbbi Fizyoloji. Çev. Prof. Dr. Berrak Ç.Y., Nobel Kitabevleri, 997s, İstanbul

Kalkan, H., Aslantürk A., 2012. "Elektromanyetik Spektrum- The Elektromanyetic Spectrum", NASA <http://science.hq.nasa.gov/kids/imagers/ems/index.html>'den çeviri, Erişim Tarihi: 14.04.2016 Ondokuz Mayıs Üniversitesi Gözlem Evi http://gozlemevi.omu.edu.tr/depo/elektromanyetik_spektrum.

Khaki A.A., Tubbs R.S., Shoja M.M., Rad J.S., Khaki A., Farahani R.M., Zarrintan S., Nag T.C. 2006. The effects of an electromagnetic field on the boundary tissue of the seminiferous tubules of the rat: A light and transmission electron microscope study. *Folia Morphol (Warsz)*. 65(3):188-94.

Kumar S., Kesari K.K., Behari J. 2011. The therapeutic effect of a pulsed electromagnetic field on the reproductive patterns of male Wistar rats exposed to a 2.45-GHz microwave field. *Clinics* vol.66 no.7 São Paulo

Kumar S., Nirala J.P., Behari J., Paulraj R. 2014. Effect of electromagnetic irradiation produced by 3G mobile phone on male

rat reproductive system in a simulated scenario. *Indian J Exp Biol.* 52(9):890-7.

Koyu A., Cesur G., Özgüner F., Elmas O. 2005. Cep telefonlarından yayılan 900MHZ elektromanyetik alanın serum kortizol ve testosteron hormonu üzerine etkisi S.D.Ü. Tıp Fak. Derg. 12(1)/52-56

Roshangar L., Hamdi B.A., Khaki A.A., Soleimani Rad J., Soleimani-Rad S. 2014. Effect of low-frequency electromagnetic field exposure on oocyte differentiation and follicular develop. 10.4103/2277-9175.125874
La Vignera S., Condorelli R.A., Vicari E., D'Agata R., Calogero A.E. 2012. Effects of the exposure to mobile phones on male reproduction: a review of the literature. *J Androl.* 33(3):350-6.

Li, D.K., Odouli, R., Wi, S., Janevic, T., Golditch, I., Bracken, T.D., Senior, R., Rankin, R., Iriye, R., 2002. A population-based prospective cohort study of personal exposure to magnetic fields during pregnancy and the risk of miscarriage. *Epidemiology.* 13, p:9-20

Liu Q., Si T., Xu X., Liang F., Wang L., Pan S. 2015. Electromagnetic radiation at 900 MHz induces sperm apoptosis through bcl-2, bax and caspase-3 signaling pathways in rats. *Reproductive Health* 2015 12:65 DOI: 10.1186/s12978-015-0062-3

Liu Y., Liu W., Liu K., Ao L., Cao J., Julia Li Zhong J.L., Liu J. 2015. Extremely Low-Frequency Electromagnetic Fields Affect the miRNA-Mediated Regulation of Signaling Pathways in the GC-2 Cell Line <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0139949>.

Liu Y., Liu W.B., Liu K.J., Ao L., Zhong J.L., Cao J., Liu J.Y. 2015. Effect of 50 Hz Extremely Low-Frequency Electromagnetic Fields on the DNA Methylation and DNAMethyltransferases in Mouse Spermatoocyte-Derived Cell Line GC-2. *Biomed Res Int.* 237183.

London SJ, Thomas DC, Bowman JD, Sobel E, Cheng, TC, Peters JM 1991. Exposure to residential electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia. *Am J Epidemiol*; 134, 923-937.

Maneesh Mailankot, Anil P Kunnath, Jayalekshmi H., Bhargav Koduru, Rohith Valsalan. 2009. Radio frequency electromagnetic radiation (RF-EMR) from GSM (0.9/1.8GHz) mobile phones

induces oxidative stress and reduces sperm motility in rats. Clinics vol.64 no.6 São Paulo June 2009.

Margonato V., Viola D. 1982. Gonadal function in the rat exposed to a high intensity electric field of 50 Hz. Boll Soc Ital Biol Sper.30;58(6):275-81.

McRee D.I., Thaxton J.P.1983. Parkhurst CR.Reproduction in male Japanese quail exposed to microwave radiation during embryogeny. Radiat Res. 96(1):51-8.

Meena R., Kumari K., Kumar J., Rajamani P., Verma H.N., Kesari K.K. Therapeutic approaches of melatonin in microwave radiations-induced oxidative stress-mediated toxicity on male fertility pattern of Wistar rats. Electromagn Biol Med. 2014; 33(2):81-91.

Nazıroğlu M., Yüksel M., Köse S.A., Özkaya M.O. 2013. Recent reports of Wi-Fi and mobile phone-induced radiation on oxidative stress and reproductive signaling pathways in females and males. 246(12):869-75.

Niehaus M., Brüggemeyer H., Behre H.M., Lerchl A. 1997. Growth retardation, testicular stimulation, and increased melatonin synthesis by weak magnetic fields (50 Hz) in Djungarian hamsters, *Phodopus sungorus*. Biochem Biophys Res Commun. 29;234(3):707-11.

Nordström, S., Birke, E., Gustavsson, L., 1983. Reproductive hazards among workers at high voltage substations. Bioelectromagnetics. 4, p:91-101.

Odacı E., Hancı H., Yuluğ E., Türedi S., Aliyazıcıoğlu Y., Kaya H., Çolakoğlu S. 2015. Effects of prenatal exposure to a 900 MHz electromagnetic field on 60-day-old rat testis and epididymal sperm quality. pages 9-19

Odacı E., Özyılmaz C. 2015. Exposure to a 900 MHz electromagnetic field for 1 hour a day over 30 days does change the histopathology and biochemistry of the rat testis. Int J Radiat Biol. 91(7):547-54.

Oksay T., Nazıroğlu M., Doğan S., Güzel A., Gümral N., Koşar PA. 2014. Protective effects of melatonin against oxidative injury in rat testis

induced by wireless (2.45 GHz) devices. Andrologia. 46(1):65-72.

Okul Sağlığı Güvenliği Kurulu, "Elektromanyetik Kirlilik Nedir? Kirliliği Oluşturan Elektromanyetik Alanları Neler Yaratır?", Nisan (2006).

Ono T., Saito Y., Komura J., Ikehata H., Tarusawa Y., Nojima T., Goukon K., Ohba Y., Wang J., Fujiwara O., Sato R. 2004. Absence of mutagenic effects of 2.45 GHz radiofrequency exposure in spleen, liver, brain, and testis of lacZ-transgenic mouse exposed in utero. Tohoku J Exp Med. (2):93-103.

Ozguner M., Koyu A., Cesur G., Ural M., Ozguner F., Gokcimen A., Delibas N. 2005. Biological and morphological effects on the reproductive organ of rats after exposure to electromagnetic field. Saudi Med J. 26(3):405-10.

Ozguner M., Koyu A., Cesur G., Ural M., Ozguner F., Gokcimen A., Delibas N. 2005. Biological and morphological effects on the reproductive organ of rats after exposure to electromagnetic field. Saudi Med J. 26(3):405-10.

Ozlem Nisbet H., Nisbet C., Akar A., Cevik M., Karayigit M.O. 2012. Effects of exposure to electromagnetic field (1.8/0.9 GHz) on testicular function and structure in growing rats. 93(2):1001-5.

Ozturk A., Baltaci A.K., Mogulkoc R., Oztekin E. 2003. Zinc prevention of electromagnetically induced damage to rat testicle and kidney tissues. Biol Trace Elem Res. 96(1-3):247-54.

Önal, E., 2005. Elektromanyetik Alanların Canlı Organizmalara Etkilerinin İncelenmesi, İnönü Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Malatya.

Özorak A., Nazıroğlu M., Çelik Ö., Yüksel M., Özçelik D., Özkaya M.O., Çetin H., Kahya M.C., Kose S.A. 2013. Wi-Fi (2.45 GHz)- and mobile phone (900 and 1800 MHz)-induced risks on oxidative stress and elements in kidney and testis of rats during pregnancy and the development of offspring. Biol Trace Elem Res. 156(1-3):221-9.

Protective effects of melatonin against oxidative injury in rat testis induced by wireless (2.45 GHz) devices. Andrologia. 46(1):65-72.

Qin F., Zhang J., Cao H., Yi C., Li J.X., Nie J., Chen L.L., Wang J., Tong J. 2012. Effects of 1800-MHz radiofrequency fields on circadian rhythm of plasma melatonin and testosterone in male rats. *J Toxicol Environ Health A*. 75(18):1120-8.

Qin F., Zhang J., Cao H., Guo W., Chen L., Shen O., Sun J., Yi C., Li J., Wang J., Tong J. 2014. Circadian alterations of reproductive functional markers in male rats exposed to 1800 MHz radio frequency field. *Chronobiol Int*. 31(1):123-33.

Sabuncu, H., 2000 "Elektromanyetik Radyasyonlarla veya Elektromanyetik Alanlarda Çalışanların Sağlık Riskleri", Türk Tabipleri Birliği Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi, Nuroloji Matbacılık, Ankara, Temmuz.

Saygın M., Asci H., Ozmen O., Cankara F.N., Dincoglu D., Ilhan I. 2015. Impact of 2.45 GHz microwave radiation on the testicular inflammatory pathway biomarkers in young rats: The role of gallic acid. *Environ Toxicol*.

Saygın M., Caliskan S., Karahan N., Koyu A., Gumral N., Uguz A. 2011. Testicular apoptosis and histopathological changes induced by a 2.45 GHz electromagnetic field. *Toxicol Ind Health*. 27(5):455-63.

Saygın M., Caliskan S., OZGUNER M.F., Gumral N., COMLEKCI S., KARAHAN N. 2015. Impact of L-carnitine and Selenium Treatment on Testicular Apoptosis in Rats Exposed to 2.45 GHz Microwave Energy. *West Indian Med J*. 64(2):55-61.

Saygın M., Çalışkan S., Gümral N., Soydan M., Vural H. 2009. 2450 MHz elektromanyetik radyasyonun sıçanların FSH, LH ve Total Testosteron seviyelerinde meydana getirdiği değişiklikler. *Cilt 16, Sayı 4 (2009)*

Sepehrimanesh M., Kazemipour N., Saeb M., Nazifi S. 2014. Analysis of rat testicular proteome following 30-day exposure to 900 MHz electromagnetic field radiation. *Electrophoresis*. 35(23):3331-8. doi: 10.1002/elps.201400273. Epub 2014 Oct 18.

Sepehrimanesh M., Saeb M., Nazifi S., Kazemipour N., Jelodar G., Saeb S. 2014. Impact of 900 MHz electromagnetic field exposure on main male reproductive hormone levels: a *Rattus norvegicus* model. *Int J Biometeorol*. 58(7):1657-63.

Shahin S., Mishra V., Singh S.P., Chaturvedi C.M. 2014. 2.45-GHz microwave irradiation adversely affects reproductive function in male mouse, *Mus musculus* by inducing oxidative and nitrosative stress. *Free Radic Res*. 48(5):511-25.

Shahin S., Singh V.P., Shukla R.K., Dhawan A., Gangwar R.K., Singh S.P., Chaturvedi C.M. 2013. 2.45 GHz Microwave Irradiation-Induced Oxidative Stress Affects Implantation or Pregnancy in Mice, *Mus musculus* Applied Biochemistry and Biotechnology, Volume 169, Issue 5, pp 1727-1751

Shokri S., Soltani A., Kazemi M., Sardari D., Mofrad F.B. 2015. Effects of Wi-Fi (2.45 GHz) Exposure on Apoptosis, Sperm Parameters and Testicular Histomorphometry in Rat: A Time Course Study. *Cell J*. 17(2):322-31.

Song B., Wang F., Wang W. 2015. Effect of Aqueous Extract from *Morinda officinalis* F. C. How on Microwave-Induced Hypothalamic-Pituitary-Testis Axis Impairment in Male Sprague-Dawley Rats. 10 pages.

Şeker, S., Çerezci, O., 2000. Radyasyon Kuşatması, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.

Tas M., Dasdag S., Akdag M.Z., Cirit U., Yegin K., Seker U., Ozmen M.F., Eren L.B. 2014. Long-term effects of 900 MHz radiofrequency radiation emitted from mobile phone on testicular tissue and epididymal semen quality. *Electromagn Biol Med*. 2014 Sep;33(3):216-22.

TMMOB Elektronik Mühendisleri Odası, İzmir, 2012. Erişim Tarihi: 14.02.2016

http://www.emo.org.tr/ekler/99bb08f940d7461_ek.pdf.

Tok, Olgu Enis; Ercan, Feriha. 2013. Cep telefonlarının yaydığı elektromanyetik dalgaların sıçan testis morfolojisi üzerine etkileri URI: <http://hdl.handle.net/11424/3504>

Wang F.J., Wang W., Li R., Song B., Zhang Y.H., Zhou Y.X. 2013. *Morinda officinalis* how extract improves microwave-induced reproductive impairment in male rats. *Zhonghua Nan Ke Xue*. 19(4):340-5.

Wang Z., Fei Y., Liu H., Zheng S., Ding Z., Jin W., Pan Y., Chen Z., Wang L., Chen G., Xu Z., Zhu Y., Yu Y. 2016. Effects of electromagnetic fields exposure on pla

sma hormonal and inflammatory pathway biomarkers in male workers of a power plant. *Int Arch Occup Environ Health.* 89(1):33-42. doi: 10.1007/s00420-015-1049-7.

WHO, 2007. Electromagnetic fields and public health, exposure to extremely low frequency electromagnetic fields, Fact Sheet No:322, WHO, Geneva, Switzerland.

Windham, G.C., Osorio, A.M., 2004. Female Reproductive Toxicology, Current Occupational and Environmental Medicine 3rd ed., J. LaDou Ed., Lange Medical Books/McGraw-Hill, USA p:397-413

Xu Y.Q., Li B.H., Cheng H.M. 2008. High-frequency electromagnetic field exposure on reproductive and endocrine functions of female workers. *Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi.* 26(6):332-5.

Yilmaz F., Dasdag S., Akdag M.Z., Kilinc N. 2008. Whole-body exposure of radiation emitted from 900 MHz mobile phones does not seem to affect the levels of anti-apoptotic bcl-2 protein. *Electromagn Biol Med.* 27(1):65-72.

Yüksel M., Nazıroğlu M., Özkaya M.O. 2016. Long-term exposure to electromagnetic radiation from mobile phones and Wi-Fi devices decreases plasma prolactin, progesterone and estrogen levels but increases oxidative stress in pregnant rats and their offspring. *Endocrine.* 52(2):352-62.