

Elektromanyetik Alanın Soğan (*Allium cepa* L.) Mitotik Kromozomları Üzerine Etkisi

*İşıl Çığırda¹, Fehime Sevil Yalçın²

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Eğitim Fakültesi; Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi, Fen Bilgisi Eğitimi, 17100, Çanakkale, Türkiye,

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Eğitim Fakültesi; Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi, Biyoloji Eğitimi, 17100, Çanakkale, Türkiye.

E-posta: isil.cigirdan@windowslive.com

Geliş tarihi/Received:23/07/2018

Kabul tarihi/Accepted:20/12/2018

Özet

Bu çalışmada, farklı elektromanyetik alan (EMA) şiddetlerinin soğanın (*Allium cepa* L.) mitotik kromozomları üzerine sitogenetik etkileri çalışılmıştır. Tohumlar beş gün boyunca bir GSM (Groupe Speciale Mobile) baz istasyonundan 900MHz-1800 MHz yayan antene maruz bırakılmış ve kromozom bozuklukları analiz edilmek üzere çimlendirilmiştir.

Çalışmada fidelerin kök ucu hücreleri incelendi. EMA gücüne bağlı olarak mitotik anormalliklerin (Köprü, geri kalmış kromozom, fragment) artmış olduğu bulundu.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik alan, Kromozomal bozukluk, Soğan

The Effect of Electromagnetic Field on The Mitotic Chromosome of Onion (*Allium cepa* L.)

Abstract

In this study, the cytogenetic effects of electromagnetic field (EMF) on the mitotic chromosome of onion (*Allium cepa* L.) were studied at different EMF's strength. Seeds were exposed for five days to 900-1800MHz emitting antenna from a GSM (Groupe Speciale Mobile) base station and germinated for analysis of chromosome aberrations.

In study, root tip cells of seedlings were investigated. It was found, that mitotic abnormalities (bridge, laggard chromosome, fragment) were increased depending on EMF's strength.

Keywords: Electromagnetic field, Chromosomal anomaly, Onion.

Giriş

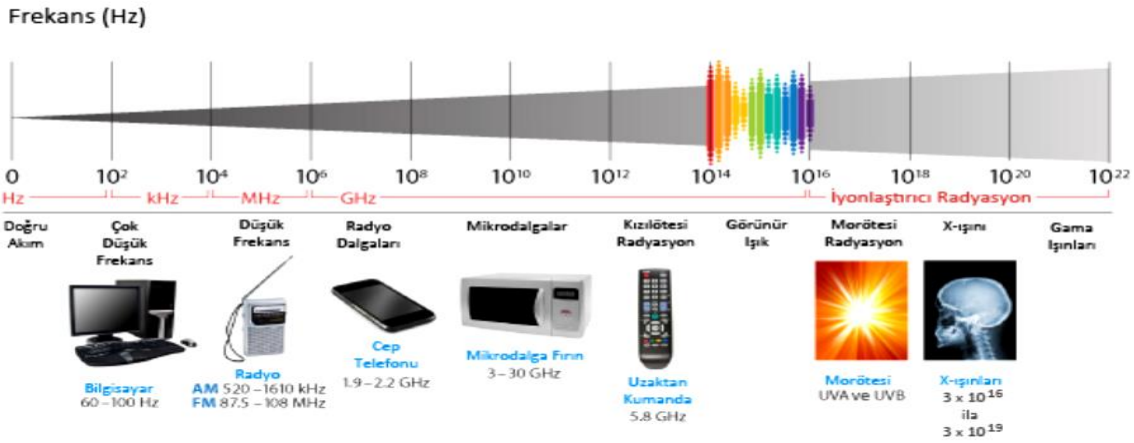
Son yıllarda gelişen teknoloji ile evlerde, okullarda ve kısacası çevremizde her yerde kullandığımız elektrikli ve elektronik aygıtların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Bu artış günlük yaşamda birçok alanda kolaylık sağlarken bir yandan da ekosistemde çeşitli zararlara yol açmaktadır. Günümüzde elektronik cihazların insanlar tarafından fazla kullanılmasından kaynaklanan ve elektromanyetik alan (EMA)'nın yol açtığı bir kirlilik çeşidi olarak elektromanyetik kirlilik (Elektrosmog) diğer çevre kirlilikleri arasında yerini almıştır.

Elektromanyetik alanlar, aynı ortamda yer alan elektrik yükleri veya iyonlar üzerinde kuvvet uygulayarak etkileşime girerler. Canlının yapısında biyokimyasal ortamlar ve iyonlar olduğu için cep telefonları, baz istasyonları, elektrik iletim ve dağıtım hatları, kablosuz haberleşme araçları ve her türlü elektrik elektronik cihaz ve ekipmanın

yayıdığı elektromanyetik alanlar ile insan vücudunu ve diğer canlıları etkilemektedir (Çerezci ve ark., 2012).

Canlıların maruz kaldığı elektromanyetik (EM) dalgalar, güçlerine bağlı olarak enerjilerini, fotonlar yoluyla dalgaının özelliklerine bağlı olarak değişik oranlarda canlıya aktarmaktadır. EM dalgaların genel olarak canlılara etkisi, alanın şiddeti (gücü) ve fotonun enerjisine bağlı olup frekansına ve enerjilerine göre, yani canlıya etki derecesine göre, iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon/ışınımlar olarak iki sınıfa ayrılır (Şekil1) (Güler ve ark., 2010).

Elektromanyetik Spektrum



Şekil 1. Elektromanyetik Spektrumu (http://www.zamandayolculuk.com/html-3/em_spektrum.htm).

Toplumun kullanımı açısından faydalı olmakla birlikte istem dışı sürekli hayatımızda maruz kalınan iyonize edici özelliği olmayan elektromanyetik radyasyon iki ayrı frekans bandından oluşur. Birincisi; çok düşük frekanslı elektromanyetik alanlar (ELF) olarak isimlendirilen elektriksel cihazlardan, yüksek gerilim hatları-trafolardan yayılan ELF bandıdır. Diğeri ise baz istasyonları, cep telefonları ve radyo TV vericilerinden yayılan radyo-mikro dalga frekansı (RF-MW) bandıdır. Bu iki bandın canlılar üzerindeki etkisi farklı mekanizmalar ile olur (Çerezci ve ark., 2012).

İyonize edici olmayan radyasyon atomik bağları kırmak için gerekli enerjiye sahip olmayan fotonların oluşturduğu EM dalgalarıdır. Bunlar; görünür ışık, kızılötesi, RF (Radyo Frekans), mikrodalga, statik ve manyetik alanlardır. Yani frekans tayfının 1 Hz (Hertz=frekans birimi-saniyedeki dalga sayısı)'den başlayarak yaklaşık 1000*GHz'lik bölümüdür (*GHz bir frekans birimidir. Asıl birim Hertzdir. Kilo Hertz (Khz), Mega Hertz (Mhz)ve Giga Hertz (Ghz).1GHz = 1 000 MHz) (Çerezci ve ark., 2012; https://www.istanbulbilisim.com/?act=ShowSSS&oru_ID=164).

İyonlaştırıcı bir radyasyon olmayan elektromanyetik radyasyonu; enerjinin elektrik ve manyetik alan bileşenleri ile birlikte duyularımızla farkına varamadığımız ve çevremizi kuşatan bir dalga olarak tanımlayabiliriz. Elektrik alanların ölçü birimi (V/m), manyetik alanların ölçüm birimi (A/m), (Tesla: T) veya (Gauss: G) olabilir. Dönüşüm bağıntısı 1(μT)=10 (mG), 1T=1000 mT (Çerezci ve ark., 2012).

Bilim ve teknolojinin gelişmesine bağlı olarak modern hayatta insan ihtiyaçlarına yönelik elektromanyetik (EM) dalga üreten elektrikli ve elektronik cihaz kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bu cihazların haberleşmede kullanılan bölümü 10kHz-3GHz frekans bandında yer almaktadır (Güler ve ark., 2010).

Cep telefonları ve baz istasyonlarından yayılan alternatif akım (AC) elektromanyetik alanlar, içlerinde çeşitli iyonlar olan hücre ve dokulara rahatça nüfuz edebilmekte ve serbest hareket eden bu iyonlar yüklü olduklarında kendi frekanslarında hücrede ya da dokudaki iyonları titreştirmektedirler. İyonların titreşmesi kendi etraflarında gerilim oluşmasına sebep olmakta ve yakınlarında oldukları potansiyele duyarlı hücre zarı kanallarının kontrol dışı açılmalarına veya kapanmalarına sebebiyet vermektedir. Bu yolla hücre etrafındaki kimyasal denge, normal olmayan etkilerle değişmeye ve elektromanyetik etkinin daha çok arttığı durumlarda ise hücre fonksiyonlarının bozulabilmesine kadar gitmektedir (Çerezci ve ark., 2012).

Son on yılda dünyada ve ülkemizde haberleşme cihazlarının artması özellikle 3G ve 4.5G teknolojileri ile tanışan insanlığın daha kaliteli iletişim kurması için, EM dalga ve EMA kaynağı oluşturan baz istasyonlarının da sayısının her geçen gün artmasına neden olmuştur.

Frekans bölgesinin iyonize edici olmayan bölümünde olan radyo, TV ve haberleşmede kullanılan baz istasyonları insanların kullanımı açısından faydalı olmakla birlikte istem dışı maruziyet kaynaklarıdır.

Bu alanlar güç ve maruz kalma zamanı gibi faktörlere bağlı olarak canlıda ısı etkiye sebep olduğu gibi bazı biyolojik etkilere de sebep olabileceği ileri sürülmektedir. Çok uzun RF elektromanyetik alanlara maruziyet durumunda canlıda ısı artışı meydana gelir. Bu ısı artışı, biyolojik yapıya, dokuya gelen dalga açısına, dokuların ısı düzenleme tepkisine ve aktif telafi sürecine bağlıdır. Canlı yapının bir kısmının veya yerel bir bölgenin RF maruziyetinde enerji emilimi çok fazla ise burada hızlı ısı artışı ve yerel doku hasarı oluşturabilmektedir (Güler ve ark., 2010; Çerezci ve ark., 2012).

Yapılan araştırmalar sonucunda düşük şiddette EMA'na maruz kalma sonucunda; canlıda biyomoleküllerin (DNA, RNA ve protein) sentezi, hücre bölünmesi (Güler ve ark. 1996; Güler ve ark., 1999; Robison ve ark., 2002) kanser oluşumu (Moulder ve Foster 1995; Imaida ve ark., 2001), hücre yüzeyine ait özellikler, hücre membranından kalsiyum giriş çıkışı ve bağlanması üzerine etkili olduğu saptanmıştır (Allis ve Robinson, 1987).

Son on yılda dünyada ve ülkemizde cep telefonu kullanımı oldukça artış kaydetmiştir ve mobil iletişim için GSM (Groupe Speciale Mobile) teknolojisi kullanılmaktadır. Bugün dünyada ve ülkemizde cep telefonları 900–1800 MHz radyo frekans bandında çalışmaktadır.

Baz istasyonlarının yaydığı EMA, kullanıcı yoğunluğuna bağlı olarak değişebilmektedir. Mobil haberleşme sistemleri, birçok baz istasyonundan meydana gelen hücresel bir yapı şeklinde oluşturulmaktadır. Baz istasyonunun hizmet verdiği hücre içinde aynı anda yapılan konuşma sayısı arttıkça baz istasyonu anteninden yayılan elektromanyetik enerji de artar. İstasyondan yayılan EMA, mesafe ile orantılı olarak zayıflar.

Elektromanyetik radyasyondan korunmak için her ülke kendi standartlarına göre limit değerler belirlemiştir. Bu sınır değerler Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından tanınan ve uluslararası bir komisyon olan ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection / Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu) tarafından belirlenmiştir. Sınır değerler yayılan radyasyonun frekansına bağlı olarak değişmekte olup, her frekans için farklıdır. Baz istasyonlarının çalıştığı frekanslar için ülkemizde geçerli sınır değerler Çizelge 1'deki gibidir.

Çizelge 1. Türkiye’de geçerli elektromanyetik radyasyon sınır değerleri

GSM Operatörü	Frekans Bandı	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)		Manyetik Alan Şiddeti (A/m)	
		Tek bir cihaz için	Ortamın toplamı için	Tek bir cihaz için	Ortamın toplamı için
VODAFONE	900 MHz	10,23	41,25	0,027	0,111
TURKCELL	900 MHz	10,23	41,25	0,027	0,111
AVEA	1800MHz	14,47	58,34	0,038	0,157
3G (Her Üç Operatör)	2100 MHz	15	61	0,04	0,16

“Elektromanyetik Alan ve Sağlık Etkileri”, Çerezci, Kartal, Pala ve Türkkan 2012, F. Özcan Matbaacılık, Nilüfer Belediyesi, Bursa s. 17 makalesinden aynen alınmıştır.

Canlılar çevresel koşullardaki değişimlerin etkisi altında kalırlar. GSM iyonlaştırıcı olmayan bir radyasyon özelliğindedir. Ancak maruz kalma sonucu doğadaki canlılarda ortaya çıkan, fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler davranışlarındaki değişiklikler bu radyasyonlardan çok etkilendiklerini göstermektedir.

Ekosistemde birincil üreticiler olması nedeniyle bitkiler önemli bir rol oynamaktadır. Bitkiler çevresel etkilere bağlı olarak büyüme, gelişme ve fizyolojilerini değiştirebilirler, bitkilerin bu özellikleri streslere karşı oluşturdukları toleransla yaşamlarını sürdürmede anahtar bir rol oynadıklarını göstermektedir. Bitkiler GSM gibi iyonize edici olmayan radyasyonlardan fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler davranışlarında meydana gelen değişikliklerle etkilenmektedir. Çünkü bitkiler yaşadıkları ortamda hareket edemezler bir EMA kaynağından uzaklaşamadıkları için sürekli olarak EMA’na maruz kalırlar.

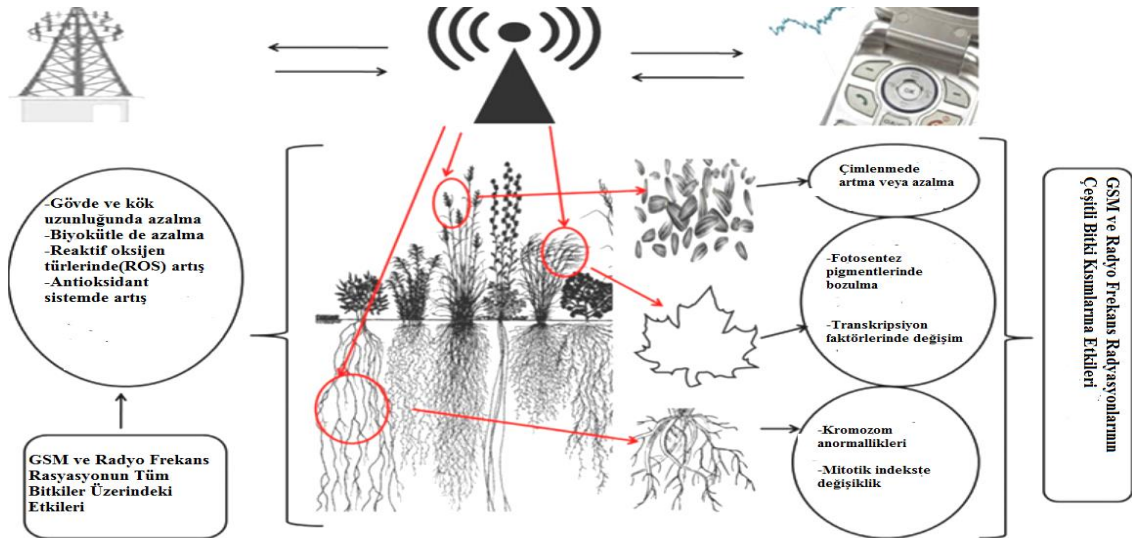
Diğer biyolojik sistemlerle karşılaştırıldığında, EMA’nın bitkiler üzerindeki ekolojik / biyolojik etkileri ve etki mekanizması hakkında bilgi azdır. Çok düşük frekanslı elektromanyetik alanlara sürekli maruz kalmak, bitkilerde hüresel, doku ve organ düzeyinde biyotik bazı etkilere neden olabilir (Belyavskaya, 2004).

Bu radyasyonların bitkilerin tohum çimlenmesi, taze ve kuru ağırlık, boy vb. fizyolojik özelliklerini değiştirdiği yapılan çalışmalarda bildirilmektedir (Tkalec ve ark., 2009; Akbal ve ark., 2012). İyonize edici olmayan radyasyonlar ayrıca bitkilerde epidermal meristem üretimi, mitotik indeks, kromozomal bozukluklar, mikronükleus üretimi vb. olumsuz etkilere neden olurlar (Gustavino ve ark., 2014; Gustavino ve ark., 2015; Pesnya ve Romanovsky 2013; Tafforeau ve ark., 2002; Tafforeau ve ark., 2004).

Kılıç ve ark. (2009), yaptıkları bir çalışmada incir ağaçlarının yaprak anatomileri üzerinde baz istasyonlarının sebep olduğu EMA stres sonucu kutikula kalınlığı, epidermis hücre sayısı, stoma indeksi, stoma eni ve iletim demetleri arası mesafeyi arttırırken, epidermis hücre boyu, stoma boyu, trake çapı, yaprak çapı, iletimi demeti eni ve boyunu azalttığını bulmuşlardır.

Bitkiler GSM ve benzeri EMA radyasyonlara maruz kaldıklarında çoğunlukla doğrudan iyonize edici olmayan radyasyon etkisi altında kalırlar bu durumdan hücre organelleri ve özellikle de kromozomlar etkilenirler (Şekil 2).

Tkalec ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada 400 MHz ve 900 MHz’lik radyofrekans elektromanyetik alanların soğan kök ucu hücrelerinde mitotik anormallikleri arttırdığını saptamışlardır. Benzer bir çalışmada Qureshi ve ark. (2016) kuru nohut tohumlarına 24 ve 8 saat süreyle 0.9 GHz ve 3.31 GHz radyofrekans elektromanyetik uygulamışlar ve kromozom anormalliklerinde artış olduğunu gözlemlemişlerdir.



Şekil 2. GSM ve Radyo Frekans elektromanyetik radyasyonun kaynaklarının, tüm bitki ve parçaları üzerindeki fizyolojik, morfolojik, biyokimyasal, moleküler ve sitolojik etkilerinin genel özeti, Khan ve ark., 2018, Use of various biomarkers to explore the effects of GSM and GSM-like radiations on flowering plants. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-18. makalesinden Türkçeleştirilerek aynen alınmıştır. Telif hakkı *Environmental Science and Pollution Research*.

Bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de yaygın olarak tüketilen *Allium cepa* L.'nin geniş alanlarda tarımı yapılmaktadır. Kimyasalların neden olduğu biyolojik etkilerin araştırılmasında Levan (1938)'dan beri kullanılan *Allium cepa* kök uçları, uygulanan kimyasalın çeşitli toksik ve genotoksik etkilerini direkt olarak göstermektedir. *Allium cepa* L. kök meristemi, mitoz bölünme geçiren hücrelerin yüksek bir oranını içermektedir, ayrıca kromozom sayısının düşük ($2n=16$) ve kromozomların çok kalın olması doğru ve tam sayım yapma olanağı sağlamaktadır. Kromozom büyüklüğünün ölçülmesinde de kullanılan *Allium cepa* L. kök uçlarının, kardeş kromatit değişimlerinin frekansı üzerine kimyasal maddelerin etkilerinin çalışılması için uygun bir materyal olduğu bulunmuştur (Levan, 1938).

Bitkilerde kromozomal anormalliklerin saptanması, genetik tehlike oluşturabilecek çevresel etkenlerin tespiti için mükemmel bir izleme yöntemidir. Bu çalışma, kromozomal anormallik belirlenmesinde iyi bir bitki materyali olan soğan bitkisi kullanılarak, EMA'nın bitkide meydana getireceği sitogenetik etkileri belirlemek amacıyla yapılmıştır. Ayrıca radyo frekans elektromanyetik dalgalara maruz kalan bitkilerde meydana getirdiği etkiler hakkında yapılan çalışmalar oldukça azdır. Bu bağlamda bu çalışmanın EMA'nın hücresel seviyedeki mutajenik etkisi, EMA şiddeti ve maruz kalma sürelerinin bitki üzerinde meydana getirdiği etki mekanizmalarını ortaya konmaya çalışıldığı ve daha sonra yapılacak çalışmalara katkı sağlayacağı bir ön çalışma niteliği taşıdığı düşünülmektedir.

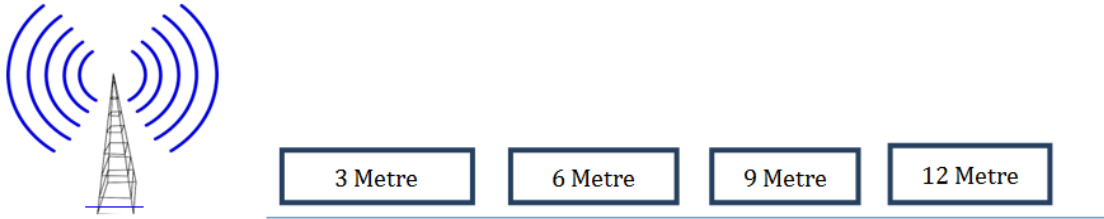
Materyal ve Metot

Bitki Materyalinin Temini

Bu çalışmada bitkilerde kromozom anormalliklerinin saptanması araştırmalarında sıklıkla kullanılan soğan (*Allium cepa* L.) bitkisi ile çalışılmıştır. Her muamele için yaklaşık büyüklükte otuzar adet soğan tohumu seçilmiştir.

EMA Uygulaması

Bu çalışmada EMA kaynağı olarak, 900 MHz (Elektrik Alan Şiddeti 41V/m ve Manyetik Alan Şiddeti 0,11 A/m) ve 1800MHz (Elektrik Alan Şiddeti 58,34V/m ve Manyetik Alan Şiddeti 0,15 A/m). Radyo Frekans bandında farklı iki baz istasyonu kullanılmıştır. EMA kaynağı olarak saptanan her iki baz istasyonundan 3, 6, 9, 12 metre mesafelere 30 adet soğan tohumu deneme sandıklarına ekilmiştir. Kontrol grubu için 30 adet soğan tohumu ise hiçbir EMA kaynağı bulunmayan farklı bir ortamda deneme sandıklarına ekilerek diğer deneme gruplarıyla eşit kontrollü koşullar da (sıcaklık, toprak özellikleri, nem ve sulama saatleri vb.) 10 gün bekletilerek köklenmesi sağlanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. EMA kaynağı olarak seçilen baz istasyonundan belirli uzaklıklara konulan deneme sandıkları (<https://pixabay.com/tr/baz-istasyonu-verici-dalgalar-30565/>)

900MHz ve 1800MHz frekans bandında olan her baz istasyonunun oluşturduğu EMA şiddeti bir elektromanyetik alan ölçer (Teslametre) yardımıyla her mesafe için ölçümler alınmıştır. Baz istasyonlarından belirli mesafelere göre EMA şiddetleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 2. Baz istasyonunun mesafelere göre ölçülen EMA şiddetleri.

Mesafe(m)	900MHz Frekans bandında Baz istasyonunda EMA şiddeti (mT)	1800MHz Frekans bandında baz istasyonunda EMA şiddeti (mT)
3	160	191
6	157	180
9	155	170
12	150	160

Çimlenme Yüzdesinin Saptanması

900MHz-1800MHz frekans bandındaki baz istasyonlarının meydana getirdiği EMA'nın soğan bitkisinin çimlenme yüzdesi(10. gün) üzerine etkisi eşitlik(1) kullanılarak belirlenmiştir (Atik ve ark., 2007).

$$\text{Çimlenme Yüzdesi(\%)} = \frac{\text{Çimlenen Tohum Sayısı}}{\text{Toplam Tohum Sayısı}} \times 100 \quad (1)$$

Kromozom Anormalliklerinin Saptanması

900 MHz-1800MHz frekans aralığında radyo frekans elektromanyetik alan kaynağı olan baz istasyonlarından belirli uzaklıklarda konularak EMA'na maruz bırakılan ve

maruz bırakılmayan kontrol grubu soğanlar sandıklara ekilerek 10 gün süre ile köklendirilmiştir.

Sabahın erken saatlerinde kromozomal hasarların tespiti için her muamele grubundan hasat edilen soğanlardan 1.5-2 cm ince uçlu bir pens ile kopartılıp, içinde 8-hydroxyquinoline maddesinin sudaki doymuş çözeltisi bulunan kapaklı şişelere konulmuştur. Oda sıcaklığında 3-4 saat bekletildikten sonra 8-hydroxyquinoline süzülerek musluk suyu ile yıkanıp saf sudan geçirilecektir. Bu işlem bitiminde Carnoy fiksatifine konularak oda sıcaklığında 48 saat bekletilip tespit işlemi gerçekleştirilecektir. Tespit işlemi tamamlanan kök örnekleri, %70'lik alkolde yıkanarak, boyama işlemine kadar yine %70'lik alkolde saklanmıştır. Kök örnekleri inceleneceği zaman %70'lik alkolden çıkarılıp iki kez saf suyla yıkandıktan sonra aseto-orsein içine konularak, 25°C'lik etüvde 1 gün bekletilecektir (Palmer, 1973; Sapa, 1981; Elçi, 1994). Bir gün sonra boyanan kökler Hidroliz işlemi için 1N HCl çözeltisi içinde ve oda sıcaklığında bir saat bekletilerek saf suyla yıkandıktan sonra boyanan örnekler, %45'lik asetik asit kullanılarak ezme preparatlar hazırlanıp sitolojik çalışmalar yapılmıştır (Ozban, 1994). Tesadüfi olarak seçilen herhangi bir bölgede her muamele grubu için 500 hücre sayılmıştır. Araştırma mikroskobunda X500 büyütmede fotoğraflandırılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

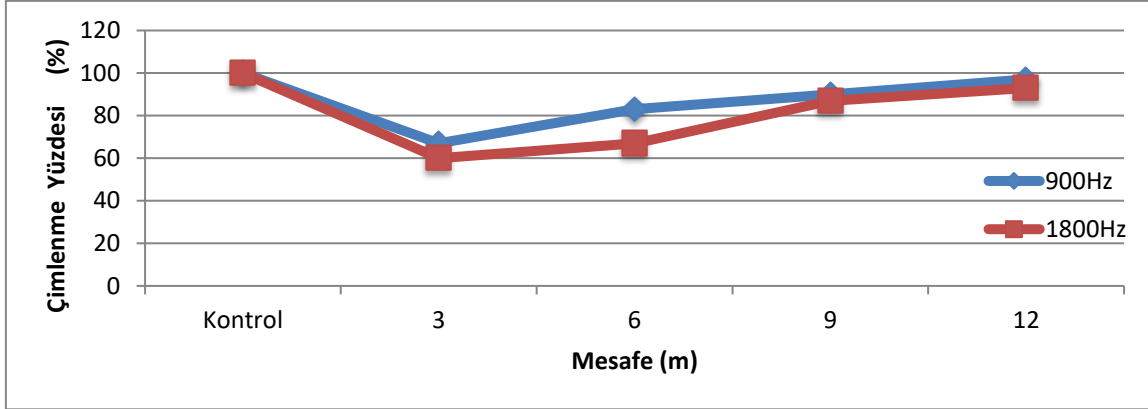
İki farklı frekans aralığındaki baz istasyonlarına belirli mesafelerde yetiştirilen soğan tohumlarının çimlenme yüzdesi Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. 900MHz-1800MHz frekans bantların da belirli mesafelerde EMA'na maruz bırakılan soğan tohumlarında çimlenme yüzdesi

Baz istasyonlarına olan uzaklık (m)	900MHz Frekans bandında Baz istasyonu			1800MHz Frekans bandında Baz istasyonu		
	Ekilen tohum sayısı	Çimlenen tohum sayısı	Çimlenme (%)	Ekilen tohum sayısı	Çimlenen tohum sayısı	Çimlenme (%)
Kontrol	30	30	100	30	30	100
3	30	20	67	30	18	60
6	30	25	83.3	30	20	67
9	30	27	90	30	26	87
12	30	29	97	30	28	93.3

900MHz frekans aralığında farklı mesafelerde çimlendirilen soğanlarda baz istasyonuna 3 m uzaklıklarda çimlenen soğan tohumlarının kontrole göre çimlenme yüzdelerinde bir azalma saptanırken 6, 9 ve 12 m uzaklıklarda çimlenme üzerine EMA'nın olumsuz bir etkisine rastlanmamıştır.

1800 MHz frekans aralığında farklı mesafelerde çimlendirilen soğanlarda ise baz istasyonuna 3 m ve 6m uzaklıklarda çimlenen soğan tohumlarında kontrole göre çimlenme yüzdelerinde bir azalma saptanırken 9 ve 12 m uzaklıklarda çimlenme üzerine EMA'nın olumsuz bir etkisine rastlanmamıştır.



Şekil 4. 900MHz-1800MHz frekans aralığındaki radyo frekans elektromanyetik alanın etkisi *Allium cepa* L. bitkisi çimlenmesi üzerine etkisi

İki farklı baz istasyonunun meydana getirdiği farklı radyo frekans EMA'nın etkisi karşılaştırıldığında, baz istasyonundan uzaklaştıkça çimlenme yüzdesi artmış kontrole yaklaşmıştır (Şekil4). Ancak 1800MHz'lik frekans aralığında, 900MHz'e göre çimlenme yüzdesinde kontrole göre baz istasyonuna yakın mesafelerde daha belirgin bir azalmanın olduğu bulunmuştur.

Çok düşük seviyedeki elektromanyetik alanları yayan cihazların canlılar üzerindeki etki seviyesi öncelikle canlının kaynağa olan mesafesine bağlıdır. Bunun yanı sıra EMA maruziyeti, güç yoğunluğu ve mesafe yanında (yakın veya uzak alan), kaynağın frekansı, elektrik ve manyetik alan büyüklüğü ile modülasyon (sürekli dalga veya darbe modülasyonu) gibi fiziksel özellikler göre değişebilmektedir (Güler ve ark., 2010).

Yapılan farklı çalışmalarda EMA'nın tohum çimlenmesini, fide büyümesini ve bitkilerde gelişimi etkilediğini bildirilmiştir (Tkalec ve ark., 2007; Sharma ve ark., 2009; Halgamuge ve ark., 2015).

İyonize edici olmayan radyasyonlar, tohumların çimlenmesi üzerinde her zaman olumsuz bir etkiye sahip değildir. Yapılan araştırmalar sonucunda ya çimlenme yüzdesindeki artışı (Sharma ve Parihar, 2014) ya da çimlenme oranına etkisi olmadığı ortaya konmuştur (Fiscker ve ark., 2004).

Ayrıca bu çalışmada yine baz istasyonuna yakın mesafede çimlendirilen soğan bitkilerinden bazıları daha çimlenme esnasında kurumuş ve kök uçları uzamamıştır. Singh ve ark. (2012), maş fasulye tohumlarını, 900 MHz cep telefonu radyasyonlarına 0,5 ila 2 saat maruz bırakmışlar, fide ve kök uzunluğunda önemli bir düşüş olduğunu bulmuşlardır. Bu durumu, EMA'nın hücrelerde biyokimyasal birtakım değişikliklere yol açtığı ve bu durumun oksidatif hasara sebep olduğu şeklinde açıklamışlardır.

900 MHz-1800 MHz frekans aralığında bir Radyo Frekans EMA kaynağı olan baz istasyonuna belirli uzaklıklarda konularak EMA'na maruz bırakılan deney ve kontrol grubu soğanlardan gelişen 1-2 cm kök uçlarından elde edilen normal ve anormal anafaz ve telofaz hücreleri ile kromozom bozuklukları ilgili bulgular Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4'ün incelenmesinden anlaşılacağı üzere, kontrol grubunda herhangi bir kromozomal anormallik gözlemlenmemiştir. 900MHz-1800MHz frekans bandındaki Radyofrekans EMA oluşturan baz istasyonu çevresinde köklendirilen *Allium cepa* L. bitki hücrelerinde ise geri kalmış kromozom, fragment ve köprü oluşumu gibi mitotik kromozomal bozukluklar gözlemlenmiştir

Çizelge 4. 900MHz-1800MHz frekans bantların da Radyo frekans EMA'na maruz bırakılan soğan tohumlarında mitotik kromozomal bozukluklar

Baz istasyonlarına olan uzaklık (m)	900MHz Frekans bandında Baz istasyonu					
	İncelenen hücre sayısı	Anormal hücre Sayısı				
		Köprü	Fragment oluşumu	Gerikalmış (kalgın)kromozom	Toplam	(%)
Kontrol	500	-	-	-	-	-
3	500	25	18	17	60	12
6	500	23	15	12	50	10
9	500	19	10	11	40	8
12	500	10	8	5	23	5

Baz istasyonlarına olan uzaklık (m)	1800MHz Frekans bandında Baz istasyonu					
	İncelenen hücre sayısı	Anormal hücre Sayısı				
		Köprü	Fragment oluşumu	Gerikalmış (kalgın)kromozom	Toplam	(%)
Kontrol	500	-	-	-	-	-
3	500	30	25	20	75	15
6	500	25	22	18	65	13
9	500	20	13	15	48	10
12	500	13	7	9	29	6

900MHz Frekans bandındaki baz istasyonunda yayılan RF elektromanyetik alana maruz kalan soğan bitkilerinde her muamele grubu için 500 hücre incelenmiş ve 3m uzaklıktaki anormal hücre sayısı %12 iken 6 m uzaklıkta %10 olmuştur.

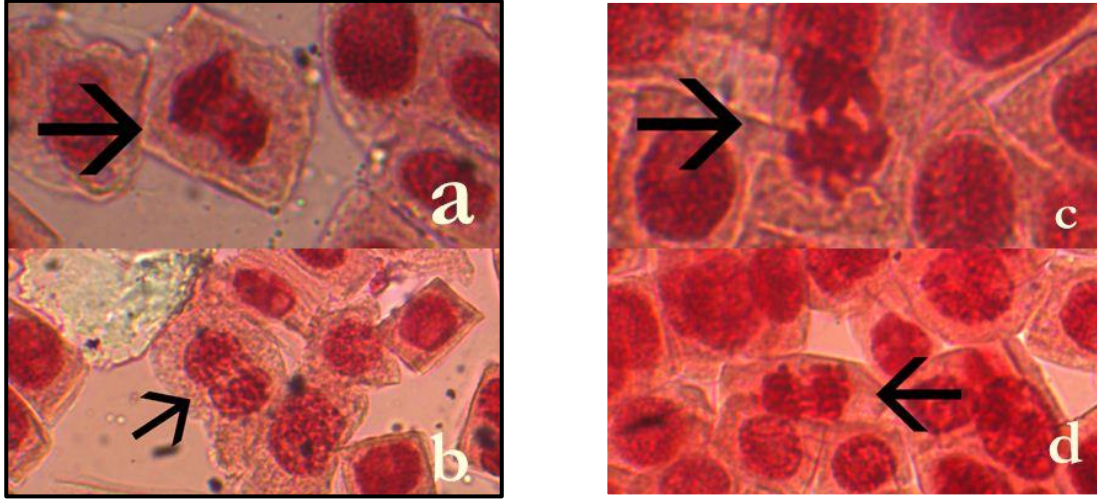
Pesnya ve Romanovsky (2013) tarafından yapılan benzer bir çalışmada, GSM 900 cep telefonu radyasyonuna 3 ve 9 saat gibi iki farklı sürelerde maruz bırakılan soğan bitkisinin kök meristemleri üzerindeki genotoksik etkisi incelenmiş. Çalışma sonunda, kök meristeminde bölünen hücrelerin sayısında belirgin bir artış bulunmuş yine kök hücrelerinde, geri kalmış kromozom (kalgın), yapışkan kromozom, dev poliploidi hücreler, mitotik anormallikler ve çeşitli kromatin anormalliklerinin olduğu saptanmış. Ayrıca kök meristem hücrelerinde köprüler, fragment ve mikronükleus sayısının 9 saat uygulamasında daha fazla olduğu bildirilmiştir.

1800MHz Frekans bandındaki baz istasyonunda yayılan RF elektromanyetik alana maruz kalan soğan bitkilerinde her muamele grubu için 500 hücre incelenmiş ve 3m uzaklıktaki anormal hücre sayısı %15 iken 6 m uzaklıkta ise %13 olmuştur.

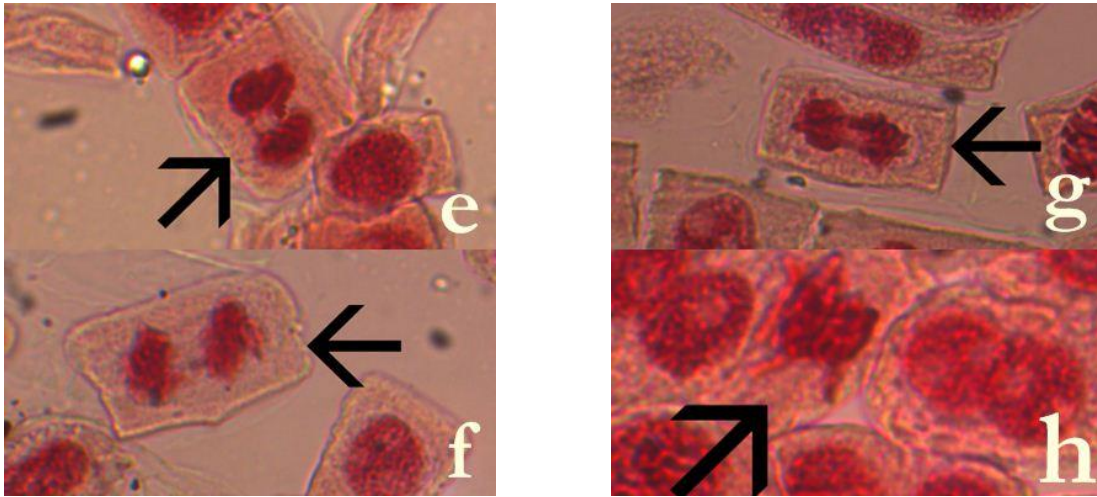
900MHz ve 1800MHz frekans aralıklarındaki her iki baz istasyonuna daha yakın mesafelerde köklendirilen *Allium cepa* L. bitki hücrelerinde daha fazla kromozomal bozukluklar gözlemlenmiş ancak baz istasyonuna olan uzaklık arttıkça kromozomal hasar gören hücre sayısı azalmıştır.

EMA'nın yarattığı etkinin sebeplerinden biri olarak; baz istasyonundan yayılan EMA'nın şiddetleri değişim göstermektedir. Bu çalışmada da kullanılan 900MHz elektrik alan şiddeti (müsaade edilen max. sınır değeri 41 V/m)ve 1800MHz için elektrik alan şiddeti (müsaade edilen max. sınır değeri 57 V/m)şeklinde farklılık göstermektedir. Diğer bir sebep ise, EMA şiddetine bağlı olarak meydana gelen kromozomal hasarlarda mesafeye göre değişim göstermesidir.

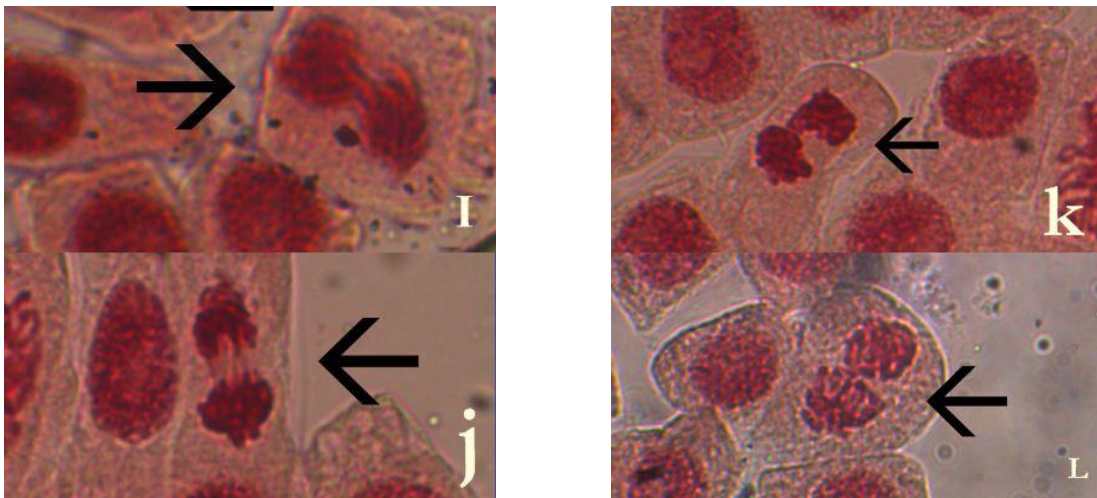
Çünkü bu alanlar iyonlaştırıcı etkiye sahip değildir ama mesafe, güç ve maruz kalma zamanı gibi faktörlere bağlı olarak canlı da ısıl etkiye sebep olduğu için bazı biyolojik etkilere sebep olabileceği öne sürülmektedir (Güler ve ark., 2010).



Şekil 5. 900MHz RF radyasyona 3 metre uzaklıkta köklendirilen *Allium cepa* L. (a,b,c,d) bitkisinde geri kalmış kromozom ve köprü oluşumu



Şekil 6. 1800MHz RF radyasyona 3 metre uzaklıkta köklendirilen *Allium cepa* L. bitkisinde (e,f) ve 6 metre uzaklıkta köklendirilen *Allium cepa* L. (g,h) bitkisinde geri kalmış kromozom ve köprü oluşumu



Şekil 7. 900MHz RF radyasyona 6 metre uzaklıkta köklendirilen *Allium cepa* L. (i, j); 1800MHz RF radyasyona 6 metre uzaklıkta köklendirilen *Allium cepa* L. (k,l) bitkisinde fragment ve köprü oluşumu

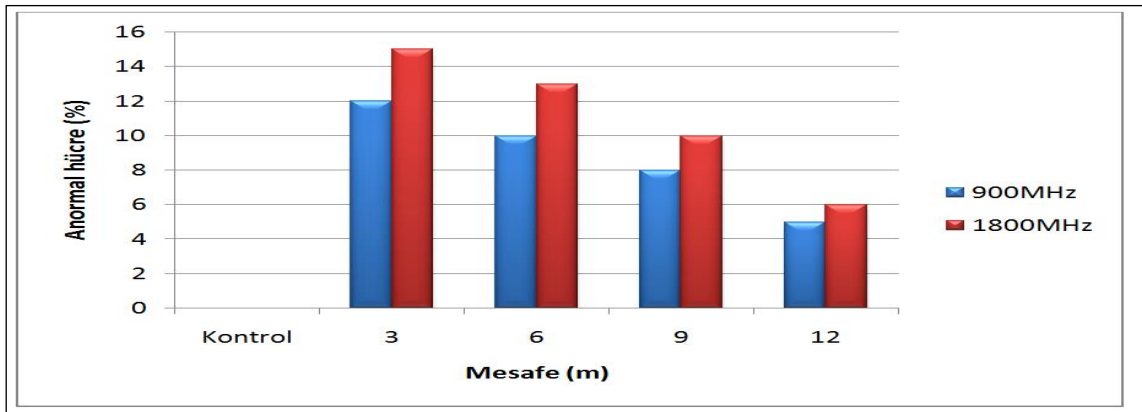
Radyo Frekans EMA'na maruz kalma sonucunda sitolojik değişiklikleri araştırmak için farklı bitkilerle de çalışmalar yapılmıştır. Tafforeau ve ark. (2002, Tafforeau ve ark. (2004), 900 MHz mikrodalga frekans bandında çalışan cep telefonunun oluşturduğu EMA'na maruz bırakılan keten bitkisinde epidermal meristem hücre sayısını arttırdığını belirlemişlerdir. Akbal ve ark. (2012) elektromanyetik radyasyona maruz bırakılan mercimek tohumlarında c-mitoz oranlarının yüksek oranda arttığını belirtmişlerdir. Gustavino ve ark. (2014) 915 MHz'e maruz bırakılan baklanın sekonder köklerinde mikronükleus miktarında önemli bir artış olduğunu bulmuşlardır.

Çeşitli canlı organizmalar EMA'dan farklı şekillerde etkilenmekte, bu etkiler uygulanan bölgelere bağlı olarak değişiklik göstererek, hücre düzeyinde ortaya çıkmaktadır (Şeker ve Çerezci, 2000).

Bu çalışmada, 900 MHz frekans aralığındaki Radyo Frekans Elektromanyetik Alana maruz kalan soğan bitkilerin kök hücrelerinde mitotik hasarlı kromozomları incelemek amacıyla her muamele için 500 hücre sayılmış ve kontrolde hiçbir kromozom bozukluğuna rastlanmamıştır. Baz istasyonundan 3 m uzakta yetiştirilen soğan hücrelerinin %12'si anormal hücre olup bu hücrelerde, 12 köprü oluşumu, 18 tane fragment ve 17 tanede geri kalmış kromozom içeren hücreler sayılmıştır (Şekil 6). Yine 900 MHz frekans aralığında 6 m mesafede anormal hücre %10 olup, bu hücrelerden 23 tanesinde köprü oluşumu, 15 tanesinde fragment oluşumu ve 12 tanesinde ise geri kalmış kromozom saptanmıştır. Mitotik kromozom bozukluğu olan hücreler baz istasyonundan uzaklaştıkça sayısı azalmıştır (Şekil 5 ve Şekil 7).

1800 MHz frekans aralığındaki radyo frekans elektromanyetik alana maruz kalan soğan bitkilerin kök hücrelerinde mitotik hasarlı kromozomları incelemek amacıyla her muamele için 500 hücre sayılmış ve kontrolde hiçbir kromozom bozukluğuna rastlanmamıştır. Baz istasyonundan 3 m uzakta yetiştirilen soğan hücrelerinin %15'i anormal hücre olup bu hücrelerde, 30 köprü oluşumu, 25 tane fragment ve 20 tanede geri kalmış kromozom içeren hücreler sayılmıştır (Şekil 6). Aynı şekilde 6 m mesafede anormal hücre %13 olup, bu hücrelerden 25 tanesinde köprü oluşumu, 22 tanesinde fragment oluşumu ve 18 tanesinde ise geri kalmış kromozom saptanmıştır (Şekil 7).

Mitotik kromozom bozukluğu olan hücreler baz istasyonundan uzaklaştıkça sayısı azalmıştır. Ancak 1800 MHz frekans aralığındaki baz istasyonuna 9 ve 12 m mesafelerde EMA'na maruz kalan hücrelerde anormal hücre sayısı, 900MHz baz istasyonuna maruz kalan hücrelerde meydana gelen anormal hücre sayısına göre daha fazla olarak bulunmuştur (Şekil 8).



Şekil 8. 900MHz-1800MHz frekans bantlarında radyo frekanslı EMA'nın soğan bitkisinde mitotik kromozom bozuklukları üzerine etkisi

Elektromanyetik alanların canlı organizmalar üzerindeki etkileri arasında; EMA'nın serbest radikallerin aktivitesinde, konsantrasyonunda ve ömrünün uzamasına neden olarak oksitatif strese neden olmasıdır. Oksitatif streste artış sonucunda oluşan reaktif oksijen türleri (ROS) hücre içi lipid ve protein yapıların çift bağ içeren gruplarına ve DNA'daki bazların çift bağlarına saldırır ve bir hidrojen atomu kopartarak zincirleme oksidasyon reaksiyonlarını başlatır. Sonuçta hücre içi lipid, protein ve DNA gibi makromoleküller hasarlanarak hücre zedelenmesi veya hücre ölümü meydana gelir (Özcan ve ark., 2015).

Kromozom kırıkları, ya kendiliğinden ya da mutajenik ajanlar nedeniyle oluşabilirken; bazen de iyonize radyasyon veya DNA hasarına neden olan kimyasallardan köken alabilmektedir. Genellikle kırılmış uçlar yeniden birleşir ve kırık onarılır ancak bazı durumlarda, bir kırık kromozomlarda delesyona yol açabilir veya bir hücrede birden fazla kırık meydana gelmişse kromozomların yeniden düzenlenmeleri mümkün olabilmektedir (Rooney, 1992). Bu çalışmada kullanılan radyasyon iyonize edici olmamasına rağmen hücrelerde mitotik kromozomal bozukluklara ve DNA hasarına neden olduğu sonucuna varılmıştır. Yine EMA'ların sitolojik etkileri arasında mitoz kontrol mekanizmalarının değiştirilmesi, yapışkanlık, köprüler ve fragmentler, gecikme ve dağınık kromozomlar gibi kromozomal bozukluk yüzdesinde artışa neden olmaktadır (Khan ve ark., 2018).

Başka canlılar üzerinde yapılan çalışmalarda da EMA'nın insan diploid hücre kültüründe, tüm hücreli canlılarda ve bazı virüslerin genetik bilgilerini taşıyan nükleik asit olan DNA yapısında kırılmalara yol açtığı saptanmıştır (Ivancsits ve diğ. 2002; Winker ve diğ., 2005). Bu çalışmaların yanı sıra aksi görüş bildiren, EMA'nın DNA ve RNA sentezine ve hasarına yol açmadığını bildiren çalışmaların da bulunması dikkat çekicidir (Harada ve ark., 2001; Luceri ve ark., 2005).

Bu çalışmada yapılan EMA etkisinin uzaklık ile de ilişkisi olduğu gözlemlenmiştir. EMA kaynağına yakın mesafede yetiştirilen bitki köklerinde daha fazla kromozom bozukluklarına rastlanmıştır. Bu verilerden yola çıkılarak EMA'na maruz kalma etkisinin kaynağa olan uzaklığa bağlı olarak değiştiği sonucuna varılabilir.

Sonuç

Yapılan bu araştırmanın sonucunda; bitki hücrelerinin belirli mesafelerde EMA'na maruz kalmaları durumunda kromozomal bozukluklara rastlanmıştır. Baz istasyonuna yakın olarak yetiştirilen soğan kök hücrelerinde kontrole göre daha fazla kromozomal bozukluğa rastlanmıştır. Ancak EMA'nın bu olumsuz etkisinin baz istasyonundan uzaklaştıkça azaldığı bulunmuştur.

Bu sonuçlardan yola çıkarak EMA'nın etki derecesi (maruziyet); mesafe, maruziyet süresi, tipi (yakın veya uzak alan), kaynağın frekansı, elektrik ve manyetik alan büyüklüğü gibi fiziksel özelliklere göre belirlenmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmanın bir bölümü TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Yurt İçi Araştırma Projeleri Destek Programı tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Akbal, A., Kıran, Y., Şahin, A., Turgut Balık, D., and Balık, H. H. (2012). Effects of electromagnetic waves emitted by mobile phones on germination, root growth, and root tip cell mitotic division of *Lens culinaris* Medik. *Pol. J. Environ. Stud.* 21(1): 23-29.
- Allis, J.W. and B.L. Sinha-Robinson (1987). Temperature-Specific Inhibition Of Human Red Cell Na^+/K^+ ATPase By 2,450 MHz Microwave Radiation *Bioelectromagnetics*, Vol. 8(2): 203-212
- Atik, M., Karagüzel, O., ve Ersoy, S. (2007). Sıcaklığın Dalbergia sissoo Tohumlarının Çimlenme Özelliklerine Etkisi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 20 (2): 203-210.
- Belyavskaya, N. A. (2004). Biological effects due to weak magnetic field on plants. *Advances in space Research*, 34(7): 1566-1574.
- Çerezci, O., Kartal, Z., Pala, K., Türkkan, A. (2012). *Elektromanyetik Alan ve Sağlık Etkileri*. Nilüfer Belediyesi, Bursa Türkiye.
- Elçi, Ş. (1994). *Sitogenetikte Araştırma Yöntemleri ve Gözlemler*. 100. Yıl Üniversitesi Yayınları, No:18, Van.
- Fischer, G., Tausz M., Kock, M., and Grill, D. (2004). Effects of weak 162/3 Hz magnetic fields on growth parameters of young sunflower and wheat seedlings. *Bioelectromagnetics* 25: 638-641. doi: 10.1002/bem.20058
- Gustavino B, Carboni G, Petrillo R, Paoluzzi G, Santovetti E, Rizzoni M (2015). Exposure to 915 MHz radiation induces micronuclei in *Vicia faba* root tips. *Mutagenesis* 1–6
- Gustavino, B., Carboni, G., Petrillo, R., Rizzoni, M., & Santovetti, E. (2014). Micronucleus induction by 915 MHz Radiofrequency radiation in *Vicia Faba* root tips. *arXiv preprint arXiv:1409.1431*.
- Güler G, Atalay Seyhan N, 1(999). Extremely Low Frequency (ELF) Electric Field with Different Application Times Inhibits Protein Synthesis. *Med. Biol. Eng. & Comput.*, 37, Suppl. 2., 1338–1339.
- Güler G., Atalay Seyhan N, Altan N, Gönül B, Çevik Ç. 1996.; Tissue Response to Electric Fields with Different Intensities and Directions, *Progress in Biophysics & Molecular Biology*, 65, Suppl.1, 215.
- Güler, İ., Çetin, T., Özdemir, A. R., Uçar, N. (2010). *Türkiye Elektromanyetik Alan Maruziyet Raporu*. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Sektörel Araştırma ve Stratejiler Dairesi Başkanlığı, İstanbul.
- Halgamuge, M. N., Yak, S. K., Eberhardt, J. L. (2015). Reduced growth of soybean seedlings after exposure to weak microwave radiation from GSM 900 mobile phone and base station. *Bioelectromagnetics*, 36(2): 87-95.
- Harada, S., Yamada, S., Kuramata, O., Gunji, Y., Kawasaki, M., Miyakawa, T., Yonekura, H., Sakurai, S., Bessho, K, Hosono, R., Yamamoto, H. (2001). Effects of high ELF magnetic fields on enzyme-catalyzed DNA and RNA synthesis in vitro and on a cellfree DNA mismatch repair, *Bioelectromagnetics*, 22(4): 260-266. <https://pixabay.com/tr/baz-istasyonu-verici-dalgalar-30565/>(Erişim tarihi: 26.07.2015). https://www.istanbulbilisim.com/?act=ShowSSS&SORU_ID=164 (Erişim tarihi: 10.12.2018).
- Imaida K, Kuzutani K, Wang J, Fujiwara O, Ogiso T, Kato K, Shirai T. 2001. Lack of promotion of 7, 12-dimethylbenz[a]anthracene-initiated mouse skin

- carcinogenesis by 1.5 GHz electromagnetic near fields. *Carcinogenesis* 22(11): 1837–1841
- Ivancsits, S., Diem, E., Pilger, A., Rudiger, H.W., Jahn, O. (2002). Induction of DNA strand breaks by intermittent exposure to extremely-low frequency electromagnetic fields in human diploid fibroblasts. *Mutat. Res*, 519 (1-2): 1-13.
- Khan, M. D., Ali, S., Azizullah, A. and Shuijin, Z. (2018). Use of various biomarkers to explore the effects of GSM and GSM-like radiations on flowering plants. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-18.
- Kılıç, S., Çavuşoğlu, K. (2009). Effects of electromagnetic field stress on some anatomical parameters (*Ficus carica* L.) leaves. *Biological Diversity and Conservation* 2(3): 107-111
- Levan, A. (1938). The effects of colchicine on root mitosis in *Allium*. *Hereditas*. 24: 471-486,
- Luceri, C., De Filippo, C., Giovannelli, L., Blangiardo, M., Cavalieri, D., Aglietti, F., Pampaloni, M., Andreuccetti, D., Pieri, L., Bambi, F., Biggeri, A., Dolara, P. (2005). Extremely-low frequency electromagnetic fields do not affect DNA damage and gene expression profiles of yeast and human lymphocytes. *Radiat. Res.*, 164(3): 277-285
- Moulder, J. E. Foster, K. R. (1995). Biological Effects of Power Frequency Fields as They Relate to Carcinogenesis. *Proc. Soc. Exper. Biol. Med.* 209: 309–324,
- Ozban, N., Özmütlu, Ö. (1994). *Mikropreparasyon Yöntemleri*. İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, No; 232, 3. baskı, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınevi, ISBN 975-404-349-3, İstanbul
- Özcan, O., Erdal, H., Çakırca, G., Yönden, Z. (2015). Oksidatif stres ve hücre içi lipid, protein ve DNA yapıları üzerine etkileri. *Journal of Clinical and Experimental Investigations*, 6(3).
- Palmer, R. G., Heer, H. (1973). A Root Tip Squash Technique for Soybean Chromosomes. *Crop. Science*, 13: 389-391.
- Pesnya, D. S., Romanovsky, A. V. (2013). Comparison of cytotoxic and genotoxic effects of plutonium-239 alpha particles and mobile phone GSM 900 radiation in the *Allium cepa* test. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 750(1), 27-33.
- Qureshi, S. T., Memon, S. A., Abassi, A. R., Sial, M. A., Bughio, F. A. (2016). Radiofrequency radiations induced genotoxic and carcinogenic effects on chickpea (*Cicer arietinum* L.) root tip cells. *Saudi journal of biological sciences*, 24(4): 883-891.
- Robison, J. G., Pendleton, A. R., Monson, K. O., Murray, B. K., O'neill, K. L. 2002. Decreased DNA repair rates and protection from heat induced apoptosis mediated by electromagnetic field exposure. *Bioelectromagnetics* 23: 106–112.
- Rooney, D. E., Czepulkowski, B. H. (1992). *Human Cytogenetics*. Second Edition, Oxford University Press.
- Sapra, V. T., Steward, M. D. (1981). Leaves as a Source of Somatic Chromosomes for Cytogenetic Studies of Soybean, *Soybean Genetics Newsletter*, 8: 22.
- Sharma, S., Parihar, L. (2014). Effect of Mobile Phone Radiation on Nodule Formation in the Leguminous Plants. *Current World Environment*, 9(1): 145.
- Sharma, V. P., Singh, H. P., Kohli, R. K., Batish, D. R. (2009). Mobile phone radiation inhibits *Vigna radiata* (mung bean) root growth by inducing oxidative stress. *Science of The Total Environment*, 407(21): 5543-5547.

- Singh, H. P., Sharma, V. P., Batish, D. R., Kohli, R. K. (2012). Cell phone electromagnetic field radiations affect rhizogenesis through impairment of biochemical processes. *Environmental monitoring and assessment*, 184(4): 1813-1821.
- Şeker S., Çerezci O. (2000). *Radyasyon Kuşatması, Elektriğin ve Nükleer Enerjinin Sağlığımıza Etkileri*. Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, İstanbul.
- Tafforeau, M., Verdus, M. C., Norris, V., White, G. J., Cole, M., Demarty, M., ... & Ripoll, C. (2004). Plant sensitivity to low intensity 105 GHz electromagnetic radiation. *Bioelectromagnetics: Journal of the Bioelectromagnetics Society, The Society for Physical Regulation in Biology and Medicine, The European Bioelectromagnetics Association*, 25(6), 403-407.
- Tafforeau, M., Verdus, M. C., Norris, V., White, G., Demarty, M., Thellier, M., Ripoll, C. (2002). SIMS study of the calcium-deprivation step related to epidermal meristem production induced in flax by cold shock or radiation from a GSM telephone. *Journal of trace and microprobe techniques*, 20(4): 611-623.
- Tkalec, M., Malarić, K., & Pevalek-Kozlina, B. (2007). Exposure to radiofrequency radiation induces oxidative stress in duckweed Lemna minor L. *Science of the Total Environment*, 388(1-3): 78-89.
- Tkalec, M., Malarić, K., Pavlica, M., Pevalek-Kozlina, B., Vidaković-Cifrek, Ž. (2009). Effects of radiofrequency electromagnetic fields on seed germination and root meristematic cells of *Allium cepa* L. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 672(2): 76-81.
- Winker R., Ivancsits, S., Pilger, A., Adlkofer, F., Rudiger, H.W. (2005) Chromosomal damage in human diploid fibroblasts by intermittent exposure to extremely low-frequency electromagnetic fields, *Mutation Research*, 585: 43-49.