

Yüksek Frekanslı Elektromanyetik Radyasyon ve Bitki Gelişimi

Utku AVCI

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, 53100, Rize, TÜRKİYE

Sorumlu Yazar/Corresponding Author
E-mail: utku.avci@erdogan.edu.tr
Orcid ID: 0000-0001-5355-9906

Derleme Makalesi / Review Article
Geliş tarihi/Received: 21.01.2020
Kabul tarihi/Accepted: 13.03.2020

ÖZET

Hayatımızı kolaylaştıran ve yaşam standartlarımızı yükselten teknolojiler doğrultusunda geliştirilen cihazların çoğunluğu, kablolu yani elektromanyetik (EM) dalgalarla çalışmakta ve bu tür cihazların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Bir radyasyon çeşidi olarak bu artış çevremizde kirlilik oluşturmaktadır. Elektromanyetik kirliliğin insan yaşamı üzerindeki uzun vadeli etkileri henüz kesin olarak bilinmemektedir. Bununla birlikte, bu kirliliğin bitki gelişimi ve metabolizması üzerine etkilerinin neler olabileceği hem bitkilerin insanlığın besin kaynağını teşkil etmesi hem de çevre için önemi açısından bilim insanlarının ilgisini çekmiştir. Yapılan bilimsel çalışmalar sonucunda, yüksek frekanslı elektromanyetik radyasyonun bitki gelişimini etkilediği, biyokimya ve gen ifadesi üzerinde değişikliklere neden olduğu görülmüştür. Bunlar arasında, bitki büyümesini etkileyen ve oksidatif stresten kaynaklanan biyokimyasal ve morfolojik değişiklikler öne çıkmaktadır. Bu sonuçlar, yüksek frekanslı elektromanyetik radyasyonun, bitkiler için bir stres kaynağı olduğuna işaret etmektedir. Fakat bu radyasyonun neden olduğu değişim ve etkilerle ilgili mekanizmalar henüz tam anlamıyla anlaşılabilmiştir ve yapılacak yeni çalışmalar bu mekanizmaların daha iyi aydınlatılması için önem taşıyacaktır. Bu derlemede yüksek frekanslı elektromanyetik radyasyonun bitki gelişimi üzerine etkileri tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bitkiler, Çevre, Elektromanyetik Radyasyon, Stres

High Frequency Electromagnetic Radiation and Plant Development

ABSTRACT

Most devices, which have been developed along with technological advancements that improve our quality of life, work wireless with electromagnetic (EM) waves, and their number has been continuously increasing. The EM waves bring about pollution as a type of radiation in our environment. The long-term effects of this electromagnetic pollution on human life are currently not entirely known. On the other hand, scientists have shown interest in the effects of EM pollution on plant development and metabolism since plants represent our food supply and play essential roles in our environment. The scientific studies indicated that high-frequency electromagnetic radiation affects plant development by changing their biochemical pathways and gene expression. Serious changes in plant development, biochemical, and cellular mechanisms due to oxidative stress have been observed. These results indicate that high-frequency electromagnetic radiation is a source of stress for plants. However, the changes and effects on plant development vary and have not been understood very well; therefore, new studies are of great importance to uncover and shed light on these mechanisms. In this review, the effects of high-frequency electromagnetic radiation on plant development are discussed.

Keywords: Electromagnetic Radiation, Environment, Plants, Stress

Atf için;

Avci, U. (2020). Yüksek Frekanslı Elektromanyetik Radyasyon ve Bitki Gelişimi, *Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(1), 68-73.

1. Giriş

Hayatımızı kolaylaştıran ve yaşam standartlarımızı yükselten teknolojik gelişmeler doğrultusunda geliştirilen cihazların çoğunluğu, kablosuz yani elektromanyetik (EM) dalgalarla çalışmakta ve bu tür cihazların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Bunun sonucu olarak günlük yaşantımızda elektromanyetik dalgalara olan maruziyetimiz artış göstermektedir.

EM dalgalar, güçlerine bağlı olarak enerjilerini, fotonlar yoluyla, dalganın 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 (ionizing) ve iyonlaştırmayan (non-ionizing) radyasyon olarak iki sınıfta incelenebilir. İyonlaştırıcı radyasyon hücrelerdeki molekülleri bir arada tutan atomik bağları iyonlaştırmaya yetecek foton enerjisine sahip EM dalgalarıdır. Örnek olarak, Röntgen (X-ışını) ve gama ışınları bunlara örnek verilebilir. Bu ışınlar fazla maruz kalmak, canlı hücrelerin hasara uğraması ve DNA zincirinin bozulması gibi tehlikeli durumlara yol açabilmektedir. İyonlaştırmayan radyasyon ise atomik bağları kırmak için gerekli enerjiye sahip olmayan fotonların oluşturduğu EM dalgalarıdır. GSM ve baz istasyonlarından kaynaklanan radyasyon, iyonlaştırmayan radyasyon sınıfına girmektedir. Bunlar, görünür ışık, kızılötesi, RF (Radyo Frekans), mikrodalga, statik ve manyetik alanlardır. Bu derlemede iyonlaştırmayan ışınlar üzerinde durulacaktır.

Yüksek frekanslı elektromanyetik (YF-EM) radyasyon, çok yüksek frekanslı kozmik radyasyon dışında, doğal olarak çevremizde bulunmayan ve çoğunlukla insan kaynaklı iyonize olmayan elektromanyetik radyasyonlardır (Vian vd., 2016). Cep telefonları, kablosuz internet ve benzeri kablosuz bağlantı teknolojilerinin gittikçe daha çok kullanılıyor olması çevremizde bu

radyasyon tipinin artmasına neden olmaktadır. Kablosuz telefonlar, TV ve radyo vericileri, GSM baz istasyonları, mikrodalga fırınlar, bilgisayarlar, elektrik akımı taşıyan elektrik hatları gibi kaynaklar YF-EM radyasyonu salan kaynakları oluşturmaktadır. Bu derleme, dalga boyları 300 MHz ile 3 GHz arasında değişen YF-EM radyasyonun bitkiler üzerinde oluşturduğu etkileri konu almaktadır.

Elektromanyetik radyasyonun frekansı ve büyüklüğü, canlılar üzerinde farklı etkiler yaratabilen parametreler olmakla birlikte canlıların şekli, iletkenliği ve doku yoğunluğu da bu radyasyonun söz konusu canlıya ne kadar etki edebileceği bakımından önemli parametrelerdir. Bitkiler, yüzey alanlarının yüksek olması ve hareketsiz olup belirli bir yöne sahip olmalarından dolayı radyasyonun etkilerinin gözlemlenmesi için iyi bir model oluştururlar. Yapılan bilimsel çalışmalar sonucunda, bitkilerin yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaları algıladıkları ve bu algılamayı moleküler cevaplar veya gelişimsel değişimler olarak ortaya koydukları belirtilmiştir. YF-EM radyasyonun bitkilerle tam olarak nasıl etkileştiği tam olarak cevaplanamamış olsa da ortaya çıkan bitki cevaplarına bakılarak bunun çevresel bir etmen veya stres olduğu kanısı ortaya konmuştur.

2. YF-EM Radyasyon ve Bitkiler

Elektromanyetik kirliliğin bitki gelişimi ve metabolizması üzerine etkilerinin neler olabileceği, hem bitkilerin insanlığın besin kaynağını teşkil etmesi hem de çevre için önemi açısından bilim insanlarının ilgisini çekmiştir. Ayrıca, bitkiler bu radyasyonun çalışılması için iyi bir model teşkil etmektedirler. Çünkü hacimlerine göre yüksek bir yüzey alanına sahiptirler ve hareket edemedikleri için elektromanyetik radyasyona doğrudan maruz kalırlar (Vian vd., 2016). Bu tip radyasyon az miktarda bile bitki tarafından soğurulmakta ve bu etki bitkide moleküler cevap ve bitki gelişimindeki farklılıklar olarak ortaya çıkmaktadır (Gremiaux vd., 2016; Vian vd.,

2016). Fakat bunlarla ilgili mekanizmalar henüz tam olarak iyi anlaşılammıştır ve bu alanda yapılacak yeni çalışmalar önem taşımaktadır. Literatürde YF-EM radyasyonun etkisinin bitki gelişimi üzerinde morfolojik etkileri olduğu

tespit edilmiştir ve bu etkiler Tablo 1 ile özetlenmiştir.

Tablo 1. Bazı bitkilerin YF-EM radyasyona maruz kalması ile ortaya koyduğu cevaplar
Table 1. Responses of some plants to high frequency electromagnetic radiation

Bitki türü	YF-EM Radyasyon	Bitki cevapları
Su mercimeği, <i>Lemna minor</i>	400-1900 MHz	Büyümede yavaşlama (Tkalec vd., 2005)
Maş fasülyesi, <i>Vigna radiata</i>	900 MHz	Kök sayısı ve uzunluğunda azalma çimlenmenin inhibisyonu ve kuru ağırlıkta azalma (Singh vd., 2012 ve Sharma vd., 2009, 2010)
Buğday, <i>Triticum aestivum</i>	900 MHz	Büyümede azalma (Afzal ve Mansoor, 2012)
Soya fasülyesi, <i>Glycine max</i>	900 MHz,	Kök büyümesinin azalması veya inhibisyonu (Halgamuge vd., 2015)
Gül, <i>Rosa hybrida</i>	900 MHz	Büyümede gecikme ve azalma (Gremiaux vd., 2016)
Mercimek, <i>Lens culinaris</i>	1800 MHz	Kök büyümesinde azalma (Akbal vd., 2012)
Mısır, <i>Zea mays</i>	240 Hz, 1GHz, 1800 MHz	Büyümede azalma (Muraji vd., 1998; Racuciu vd., 2015 ve Kumar vd., 2016)

Tkalec vd. (2005) 400, 900 ve 1900 MHz boyutlarındaki elektromanyetik dalgalara maruz kalan su mercimeklerinin büyümesinde azalma olduğunu ve hatta manyetik alan arttıkça büyümenin engellendiğini gözlemlemiştir. Tkalec vd. (2007) eş zamanlı olarak uygulanan farklı dalga boylarının su mercimeğinde peroksidaz aktivitesini artırdığını bildirmiştir. Singh vd. (2012) cep telefonu tarafından yayılan manyetik radyasyona (900 MHz) bağlı olarak maş fasülyesinin (*Vigna radiata*) kök gelişiminde azalma gözlemlemiştir. Bu azalma ile birlikte bitkilerde hidrojen peroksit ve prolin içeriğinin arttığı ve bazı antioksidan enzim (askorbat peroksidaz, katalaz, glutatyon redüktaz, süperoksit dismutaz gibi) içeriklerinin arttığı bulunmuştur. Bu sonuçlar, maş fasülyesi köklerinde, YF-EM radyasyonunun oluşturabileceği oksidatif hasara karşı bitkinin hasarı önleyici biyokimyasal mekanizmaları harekete geçirdiğini göstermektedir. Sharma vd. (2009) maş fasülyesinde elektromanyetik

radyasyon (900 MHz) ile yaptıkları çalışmada kök büyümesinin engellendiğini göstermiş ve bunun oksidatif stresin bir sonucu olarak ortaya çıktığını belirtmiştir (Sharma vd., 2010).

Afzal ve Mansoor (2012) dikotiledon bir bitki olan maş fasülyesinde ve monokotiledon bir bitki olan buğdayda, bitkilerin büyümesinin, taze ve kuru ağırlığının ve su içeriğinin elektromanyetik radyasyon uygulaması ile önemli derecede azaldığını tespit etmiştir. Bu sonuç monokotiledon ve dikotiledon bitkilerin elektromanyetik radyasyondan benzer şekilde etkilendiğini göstermektedir. Halgamuge vd. (2015) soya fasülyesinde manyetik radyasyon (900 MHz) uygulaması sonrası, kök ve hipokotillerin gelişiminin azaldığını tespit etmiştir. Bu azalmanın elektromanyetik alanın şiddetine ve gücüne bağlı olarak değiştiğini ortaya koymuştur. Gül (*Rosa hybrida*) üzerinde yapılan elektromanyetik radyasyonun etkisi çalışmalarında bitki büyümesinin ilk safhalarda etkilenmediği, sadece sekonder

tomucuklanmayı önemli derecede azalttığı bulunmuştur (Gremiaux vd., 2016). Mercimek (*Lens culinaris*) bitkisinde, 1800 MHz radyasyonun çimlenmeye bir etkisinin olmadığı ancak kök büyümesini azalttığı belirtilmiş ve nedeninin oksidatif stres olabileceği ileri sürülmüştür (Akbal vd., 2012).

Mısır (*Zea mays*) üzerinde yapılan benzer çalışmalarda da genel olarak bitki büyümesinde azalma (bazı frekanslar büyümeyi teşvik etmiştir) gözlemlenmiştir. Örnek olarak, Muraji vd. (1998) düşük frekanslı (10 Hz) radyasyonun mısır köklerinin gelişimini artırdığı ancak yüksek frekansların (240 Hz) azalttığını rapor etmiştir. Racuciu vd. (2015) mısır fidelerinde uygulamanın (1 GHz) büyümeyi azalttığını, bunun yanında toplam DNA ve RNA seviyelerinin uygulama ile düştüğünü göstermiştir. Aynı çalışmada 1 GHz radyasyonun mitotik yapıyı yavaşlattığı ve sonuç olarak mutasyonlara sebep olduğu da belirtilmiştir. Kumar vd. (2016), 1800 MHz radyasyona maruz kalan mısır fidelerinde büyümenin engellendiğini, bunun yanında biyokimyasal olarak nişasta ve sukroz metabolizmalarında değişiklikler olduğunu göstermiştir.

Bitkiler genellikle çevresel etmenlere reaktif oksijen türleri gibi serbest radikallerin oluşumu ile cevap verirler. Literatür özetinden anlaşılacağı gibi, oksidatif stresi azaltmak için görev yapan bazı enzimlerin aktivitesinin YF-EM radyasyon ile değişmesi, bitkinin radyasyonu oksidatif hasar olarak algıladığını ve hasarı giderici hücresel tamir mekanizmalarını çalıştırdığını göstermektedir.

Yukarıda bahsedilen YF-EM radyasyonun bitki büyümesi ve biyokimyasal mekanizmalara etkisinin yanında gen ekspresyonu üzerinde yarattığı değişiklikler hakkında çalışmalar çok daha kısıtlıdır. Roux vd. (2006) domates bitkilerini 900 MHz'lik bir manyetik alanda tutup 3 transkriptin ekspresyonunda 3 ile 15 kez arasında değişiklikler gözlemlemiştir. Roux vd. (2008) tarafından yapılan bir diğer araştırmada ise ilk manyetik alan uygulamasından sonra

oluşan transkriptlerin değil, ikinci uygulamada oluşan transkriptlerin proteinlere çevrildiği belirlenmiştir. Bu çalışma, sonradan oluşan mesajcı RNA (mRNA) popülasyonunun hücresel bir cevap oluşturmada etkili olabileceğine işaret etmektedir. Vian vd. (2006) mikrodalgaya (900 MHz) maruz bırakılan bitkilerde stres işaretçisi olan bir transkripsiyon faktörünün hızlı bir şekilde 3,5 kat arttığını gözlemlemiştir. Yine Engelmann vd. (2008) tarafından Arabidopsis kültürlerinde radyo frekanslarının (1,9 GHz) bütün genom üzerindeki etkilerine bakılmış ve 10 genin ekspresyonunda 2,5 kata kadar farklılıklar görülmüştür. Ancak, mikrodalga ortamında yapılan deney sonuçlarının mikrodalgaların oluşturabileceği sıcaklık veya ısınma ile de ortaya çıkabileceği ihtimali göz ardı edilmemelidir. Bu yüzden daha kontrollü ve detaylı çalışmaların yapılması önem taşımaktadır.

3. Sonuç

Elde edilen bilimsel sonuçlar, yüksek frekanslı elektromanyetik radyasyonun, bitkiler için bir stres kaynağı olduğuna işaret etmektedir. Çalışmalarda gözlemlenen, peroksidaz ve prolin miktarının artması, bunun yanında bazı antioksidan enzimlerinin içeriklerindeki artış, bitkilerin diğer stres koşullarına karşı geliştirdiği mekanizmaları YF-EM radyasyonun etkisi ile de çalıştırdığını göstermektedir.

Literatürde belirtilen birçok deney, kontrollü bir ortamda yapılmaya çalışılsa da, örneğin cep telefonlarının kullanımı gibi deney düzeneklerinde frekans değişimlerinin muhtemel olması ve manyetik alanın istikrarlı olmaması nedenleri ile tam olarak kontrollü bir ortam oluşturulamamaktadır. Bu yüzden, tam kontrolün sağlandığı GTEM hücresi (Gigahertz Transverse Electromagnetic Cell) gibi kapalı sistemlerde benzeri deneylerin yapılması bitkiler üzerinde olan etkilerin daha net ortaya konulmasına yardımcı olacaktır.

Bitkilerin farklı stres koşullarına adapte olması, stresin reseptörler aracılığı ile algılanması ve hücrel cevap üretilmesiyle sağlanmaktadır. Örneğin, hücrel kalsiyum ve hidrojen peroksit miktarlarındaki artış bazı stres koşullarında gen ifadesindeki değişikliklerle stres cevabı oluşmasını sağlamaktadır. Benzer moleküler ve hücrel mekanizmaların radyasyonun algılanmasında ve cevapların oluşturulmasında kullanıp kullanılmadığının belirlenmesi gerekmektedir.

Derlemede ifade edilen bitkilerde gözlemlenen değişimler, YF-EM radyasyonun insanlar ve hayvanlar üzerinde de etkili olabileceğine işaret etmekte ve hangi mekanizmaları etkileyebileceği hususunda bilimsel veriler sunmaktadır. Aynı veya benzer mekanizmaların tüm canlılarda etkilenip etkilenmediği ancak gelecekte yapılacak detaylı çalışmalarla ortaya konulabilecektir.

Kaynaklar

- Afzal, M., Mansoor, S. (2012). Effect of mobile phone radiations on morphological and biochemical parameters of Mung bean (*Vigna radiata*) and wheat (*Triticum aestivum*) seedlings, *Asian Journal of Agricultural Sciences*, 4, 149-152.
- Akbal, A., Kiran, Y., Sahin, A., Turgut-Balik, D., Balik 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, *Polish Journal of Environmental Studies*, 21, 23-29.
- Engelmann, J. C., Deeken, R., Muller T., Nimtz G., Roelfsema, M. R. G., Hedrich, R. (2008). Is gene activity in plant cells affected by UMTS-irradiation? A whole genome approach, *Advances and Applications in Bioinformatics and Chemistry*, 1, 71-83.
- Gremiaux, A., Girard, S., Guérin, V., Lothier, J., Baluska, F., Davies, E., Bonnet, P., Vian, A. (2016). Low-amplitude, high-frequency electromagnetic field exposure causes delayed and reduced growth in *Rosa hybrida*, *Journal of Plant Physiology*, 190, 44-53.
- 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, 87-95.
- Kumar, A., Singh, H.P., Batish, D.R., Kaur, S., Kohli, R.K. (2016). EMF radiations (1800MHz)-inhibited early seedling growth of maize (*Zea mays*) involves alterations in starch and sucrose metabolism, *Protoplasma*, 253, 1043-1049.
- Muraji, M., Asai, T., Tatebe, W. (1998). Primary root growth rate of *Zea mays* seedlings grown in alternating magnetic field of different frequency, *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 44, 271-273.
- Racuciu, M., Ifode, C., Miclaus, S. (2015). Inhibitory effects of low thermal radiofrequency radiation on physiological parameters of *Zea mays* seedlings growth, *Romanian Journal of Physics*, 60, 603-612.
- Roux, D., Vian, A., Girard, S., Bonnet, P., Paldian, F., Davies, E., Ledoigt, G. (2006). Electromagnetic fields (900MHz) evoke consistent molecular responses in tomato plants, *Physiologia Plantarum*, 128, 283-288.
- Roux, D., Vian, A., Girard, S., Bonnet, P., Paldian, F., Davies, E., Ledoigt, G. (2008). High frequency (900 MHz) low amplitude (5 V m^{-1}) electromagnetic field: a genuine environmental stimulus that affects transcription, translation, calcium and energy charge in tomato, *Planta*, 227, 883-891.
- 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, 5543-5547.
- Sharma, V.P., Singh, H.P., Batish D.R., Kohli R.K. (2010). Cell phone radiations affect early growth of *Vigna radiata* (Mung Bean) through biochemical alterations, *Zeitschrift für Naturforschung C*, 65, 66-72.
- 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, 1813-1821.
- Tkalec, M., Malaric K., Pevalek-Kozlina B. (2005). Influence of 400, 900, and 1900MHz electromagnetic fields on *Lemna minor* growth and peroxidase activity, *Bioelectromagnetics*, 26, 185-193.
- Tkalec, M., Malaric K., Pevalek-Kozlina B. (2007). Exposure to radiofrequency radiation induces

- oxidative stress in duckweed *Lemna minor* L., *Science of the Total Environment*, 388, 78-89.
- Vian, A., Roux, D., Girard, S., Bonnet, P., Paladian, F., Davies, E., Ledoigt, G. (2006). Microwave irradiation affects gene expression in plants, *Plant Signaling and Behavior*, 1, 67-69.
- Vian, A., Davies, E., Gendraud, M., Bonnet, P. (2016). Plants responses to high frequency electromagnetic fields, *Biomed Research International*, 2016, 1-13.