

PAPER DETAILS

TITLE: 2.45 GHz mikrodalga frekansinin yabancı ot mücadele yöntemi olarak kullanılması

AUTHORS: Hasan SAHİN

PAGES: 58-71

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/900839>



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/humder>

Mikrodalgaların (2.45 GHz) Yabancı Ot Mücadele Yöntemi Olarak Kullanılması

Use of Microwaves (2.45 GHz) as a Weed Control Method

Yazar(lar) (Author(s)): Hasan ŞAHİN

ORCID ID: 0000-0002-3977-4252

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): SAHİN H. "Mikrodalgaların (2.45 GHz) Yabancı Ot Mücadele Yöntemi Olarak Kullanılması", *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 4(3): 58-71, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>



Mikrodalgaların (2.45 GHz) Yabancı Ot Mücadele Yöntemi Olarak Kullanılması

Hasan ŞAHİN

Harran Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Makine Bölümü 63200/ŞANLIURFA

Öz

Organik üretimin artması ve tarımsal kimyasalların kullanımı ile ilgili bazı kısıtlamaların başlaması, çevre dostu olan mikrodalgaya, yabancı ot kontrolü uygulamaları için bir fırsat sunmuştur. Bu çalışmada, tarımsal üretimde yabancı otların (istenmeyen bitki ve tohumlar) kontrolünde kimyasal olmayan bir yöntem olarak 2.45 GHz sabit frekanslı mikrodalga kullanımının mevcut durumu değerlendirilmiştir. Makale, mikrodalga ile yabancı ot kontrolü uygulamalarında kullanılan teknolojileri de içermektedir. Yapılan çalışmaların çoğu, 2.45 GHz sabit frekans kullanarak sınırlı bir alanda mikrodalga uygulamalarına odaklanmıştır. Bu çalışmalarda, 2.45 GHz sabit frekanslı mikrodalgalar, birçok farklı yabancı ot türü ve tohumlarını yok etmekte kullanılmıştır. Mikrodalga uygulamaları sırasında meydana gelen termal kaçaklar önemli bir enerji kaybına yol açmaktadır. Ayrıca, magnetronların harcadığı elektrik enerjisi ile tüketilen toplam elektrik enerjisi arasındaki fark, gerçek maliyetin hesaplanmasını zorlaştırmaktadır. Öte yandan, deneysel uygulamalarda, insan hücrelerine ve dokulara zarar verebilen mikrodalga sızıntısı meydana gelme olasılığı da, mikrodalga ile yabancı ot kontrolü uygulamalarının başka bir zorluğudur.

Makale Bilgisi

Başvuru: 23/05/2019

Düzeltilme: 09/09/2019

Kabul: 02/10/2019

Anahtar Kelimeler

Mikrodalga
yabancı ot
kimyasal olmayan
mücadele

Keywords

microwave,
weed
non chemical weed control

Use of Microwaves (2.45 GHz) as a Weed Control Method

Abstract

The increase of organic production and starting of some restrictions on the use of agrochemicals, has provided an opportunity for environmentally friendly microwaves for weed control practices. In this study, the current situation of the use of 2.45 GHz constant frequency microwaves as a non-chemical method in the control of weeds (unwanted plants and seeds) in agricultural production has evaluated. The article also includes technologies used in microwave weed control applications. Most studies focused on microwave applications in a confined space using a constant frequency of 2.45 GHz. In these studies, 2.45 GHz constant frequency microwaves have been used to destroy many different weed species and seeds. Thermal leakages during microwave applications lead to significant energy loss. Furthermore, the difference between the electrical energy consumed by the magnetrons and the total electrical energy consumed, makes it difficult to calculate the actual cost. On the other hand, in experimental applications, the possibility of microwave leakage which may damage human cells and tissues is another challenge of microwave weed control applications.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yanlış zamanda ve yanlış yerde yeşeren bitkiler yabancı ot olarak tanımlanır. Yabancı ot, esas ürünün, suyunu, besinine, ışığına ortak olarak yaşar ve yabancı otlar ile kültür bitkileri arasındaki rekabet sonucunda, yabancı ot türüne bağlı olarak %20–100 arasında ürün kaybı meydana gelebilmektedir. Ayrıca, yabancı otlar hasat ve depolama sırasında da etkili makine kullanımını sınırlamaktadır. Kültür bitkilerinde bakım işlemleri giderlerinin önemli bir kısmı yabancı otla mücadele giderlerinden meydana gelir. Sadece Avustralya’da 2006 yılında yabancı otlardan kaynaklanan ürün kaybı ve yabancı ot mücadelesi giderleri toplamı 4 milyar \$ civarında olmuştur [1].

Yabancı ot mücadelesinde kullanılan kimyasallar, yabancı otların fizyolojik gelişmelerini etkiler ve ekonomik kaybı en aza indirmeyi veya tamamen kaldırmayı amaçlar. Kimyasal ilaçlar kullanılarak uygulanan mücadele yöntemleri tarımsal alanlarda olduğu kadar, tarım dışı alanlarda da yabancı otların kontrolünde yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir. Ancak, yapılan bilimsel çalışmalarda, içme sularında tespit edilen herbisitlerin ancak ozon arıtma yöntemi ile sudan ayrıştırılabildiği tespit edilmiştir. [2], [3], tarafından yapılan bir çalışmada da üzüm bağlarında kullanılan herbisitlerden trifluralin ve oxyflourfenin kullanıldıktan 4 gün sonra herhangi bir kalıntı bırakmadığı, orflurazon ve oxadiazonun bir ay sonunda bile üzüm tanelerinde ve toprakta kalıntı bıraktığı ve bunun da tüketimde ciddi bir tehlike oluşturduğu tespit edilmiştir.

Yabancı ot mücadelesinde kullanılan kimyasal ilaçların zararları anlaşıldıkça ve çevre duyarlılığı arttıkça, özellikle organik tarım uygulamalarında kimyasal olmayan mücadele yöntemlerine doğru yönelişlerde artış olduğu gözlenmektedir [4].

Tarımsal üretim alanlarında veya bunun dışında (demiryolu ağları, hava alanları, yol ve kaldırım kenarları) kullanılan herbisitlerden atrazine ve simazine gibi çeşitler çok yaygın kullanılmaktadır. Bununla birlikte bazı ülkelerde triazinlerin tarımsal alanlar dışında kullanımına kısıtlamalar da getirilmiştir [5] [6].

Kimyasal mücadele yöntemlerinden vazgeçilerek, tamamen doğal bitki üretimine yer verilmesi, yani organik tarıma doğru gidilmesi toplumun oldukça arzu ettiği bir durum olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak, birçok üretici uygulama kolaylığı nedeniyle kimyasal ilaç kullanımını çok çabuk kabul etmektedir [7].

Herhangi bir yabancı otla mücadelede tek yöntem bazen yeterli olduğu halde, bazı yabancı ot türleri için yeterli olmayabilmektedir. Bu nedenle, bazen birkaç yöntemi aynı anda veya belirli bir sıra ile uygulama mecburiyeti olabilmektedir. Son dönemde organik tarımın yaygınlaşmaya başlaması, kimyasal olmayan yabancı ot mücadele yöntemlerine olan ilgiyi de arttırmıştır.

Yabancı ot mücadelesinde kullanılan kimyasal olmayan mücadele yöntemlerinden (non-chemical weed control) bazıları şunlardır;

2. KİMYASAL OLMAYAN YABANCI OT MÜCADELE YÖNTEMLERİ

2.1. Alevli mücadele;

Son yıllarda özellikle, organik tarıma yönelik çalışmalar artması ile birlikte yabancı ot kontrolünde kimyasal olmayan bir yöntem olarak, alevle yakma yeniden yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu yöntem, kimyasal ilaçların olumsuz etkilerine karşı uygulanan yöntemlerden birisidir [8]. Yakma yönteminde çeşitli alev püskürtme makineleri kullanılabilir ve tek yıllık yabancı otlarda daha etkilidir. Fakat, topraktaki yabancı ot tohumları öldürememektedir [9].

2.2. Kızgın buharlı mücadele;

Kızgın buhar yönteminde ise toprak sıcaklığı 70-100 °C'ye kadar çıkmakta ve bu sıcaklık yaklaşık 10 cm derinliğe kadar ulaşabilmektedir. Bu nedenle, birçok yabancı ot tohumlarını da yok edebilmektedir [10]. Ancak, bazı sert tohumlu yabancı otlar buhar uygulamasından etkilenmemektedir. Sıcak su uygulaması, sert zeminli alanlarda ve özellikle herbisit kullanımının sınırlandırıldığı demiryolu kenarlarında uygulanan ilginç bir kimyasal olmayan yabancı ot kontrol yöntemi olmaktadır [11], [12], [13]. Sıcak su, kızgın buhar veya sıcak köpük uygulaması aynı zamanda, alevle yabancı ot kontrolünde ortaya çıkabilecek yangın tehlikesi ve toprak sıkışması oluşturmaması yönüyle yararlı olmaktadır [14].

2.3. Infrared ışıının kullanarak mücadele;

İnfrared (IR) teknolojisi yapısal olarak alevli yakıcılardan farklıdır. Bu yöntemde de enerji kaynağını, genellikle alevli yakıcılarda olduğu gibi, propan gazı oluşturmaktadır.

2.4. Pnömatik yardımıyla yabancı ot kontrolü;

Pnömatik yabancı ot kontrolünde, toprak içerisine gönderilen yüksek basınçlı hava ile ürün sırasının her iki tarafında bulunan küçük yabancı otların kökleri kesilmekte veya gevşetilmektedir. Bu amaçla havuç, mısır ve şeker pancarında başarılı bir şekilde kullanılabilen bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem, en iyi kuru toprak koşullarında etkili olmaktadır [15].

2.5. Dondurarak yabancı ot kontrolü;

Bitki dokusu, yüksek sıcaklıklarda olduğu gibi, düşük sıcaklıklarda da hasar görebilmektedir. Dondurma yöntemiyle yabancı ot kontrolünde genellikle sıvı nitrojen ve CO₂ kullanılmaktadır Sıvı nitrojenle yapılan uygulamalar karbondioksit (CO₂) oranla daha iyi sonuç vermektedir. Dondurma yöntemi ile alevle yakma yöntemi karşılaştırıldığında ise, en iyi sonuçlar yine de alevle yakma denemelerinde elde edilmiştir [16].

2.6. Lazerle yabancı ot kontrolü;

Lazerler endüstriyel materyallerin kesilmesinde, medikal cerrahide, ağaç kesme işlerinde ve mikroskopide preparat hazırlama gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Lazer (aygıtı), enerjinin büyük bölümünü dar bir ışın demeti olarak bir yerde toplamaktadır. Böylece, hedef üzerine kesin ve hızlı bir şekilde yönlendirilebilmektedir [17]. Lazer, yabancı ot mücadelesinde ot kökünü kesmeye yarayan bir uygulamadır. Bunun sonucunda bitkinin gelişimi yavaşlamakta veya durmaktadır. UV ve IR lazerleri, oluşturulan multifoton ve elektron iyonlaşma yığılması ile bitki dokularının patlatılması yoluyla kesilmesini içermektedir. Genellikle, daha kalın gövde yapısına sahip yabancı otların lazerle kesilmesinde daha yüksek enerjilere gereksinim duyulmaktadır [18].

2.7. Solarizasyon yöntemi;

Solarizasyon, güneş enerjisinden faydalanarak örtülü ortam toprak yüzey sıcaklığın artırılması yoluyla yabancı otların etkisiz hale getirilmesidir. Bu yöntem 1-1.5 ay süreyle toprak yüzeyi şeffaf polietilenle örtülerek uygulanır. Meydana gelen yüksek sıcaklığın etkisiyle toprak yüzeyindeki yabancı otların bir kısmı ölür. Solarizasyon, genellikle tek yıllık yabancı otlara uygulanan bir yöntemdir.

2.8. Mikrodalga yöntemi;

Mikrodalga ile yabancı ot mücadelesi yöntemi, tarımsal toprak dezenfektasyonu, yabancı ot tohumlarının çimlenmesinin mikrodalga ile kısıtlanması ve belirli bir düzeyde çimlenmiş olan yabancı ot tohumlarının mikrodalga enerjisi etkisi altında bırakılarak yok edilmesi gibi çalışmalarla denenmiştir. Bu konuda 70'li yıllardan itibaren farklı çalışmalar yapılmaktadır. Yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar (1-1000 GHz) ile yapılan fiziksel dezenfekte yöntemi patojenlerin ve yabancı ot tohumlarının ısınıp yükseltmektedir [19], [20]. Bu da bitki gövde ve yapraklarının kısa bir sürede solması ve daha sonra da tamamen ölmesi ile sonuçlanmıştır. [21] de yapılan çalışmada mikrodalga enerjisi kullanılarak kirlenmiş kum ve toprağın iyileştirilmesi ve [22] yapılan çalışmada çevre mühendisliğinde mikrodalga ısıtma uygulamaları ile kirlenmiş toprak ıslahı, atık işleme, mineral işleme ve aktif karbon rejenerasyonu dahil olmak üzere bir dizi araştırma yapılmıştır.

[23], tarafından mikrodalga enerjisi ile çalışan bir yabancı ot mücadele makinesi geliştirilmiştir. Mikrodalga ile yapılan yabancı ot mücadelesinin tarımsal alanlarda kullanılan kimyasallar yerine tercih edilmesi önerilmiştir. Çevre dostu olmayan kimyasalların, zehirli ve tehlikeli olduklarından mikrodalga ile mücadele yöntemi zamanla daha popüler hale geleceği belirtilmiştir.

2.9. Elektrik arkı ile yabancı ot kontrolü;

Elektrik arkı ile yabancı ot kontrolü de kimyasal olmayan alternatif yöntemlerden birisidir. Ancak, mikrodalga uygulamaları kadar üzerinde çalışılan bir konu olamamakla birlikte son zamanlarda bazı

çalışmalar yapılmıştır. Elektrik akımının bitki üzerinden geçirilmesi ile yapılan bu tip çalışmalarda, elektrik akımının yabancı ot üzerinden akması sonucu bitkinin yaşamsal faaliyetinin son bulması hedeflenir.

Kültür bitkisinden daha fazla boylan yabancı otların yok edilmesinde elektriksel deşarj sisteminden de (EDS) yararlanılmaktadır. Bu yöntemde elektrik gerilimi, bir transformatör yardımıyla yükseltilerek uygulanır. EDS de metal elektrot yabancı ota temas ettiğinde, elektrik akımı toprak yoluyla devresini tamamlayarak elektrik enerjisinin bitki dokularına yayılarak doku içerisindeki sıvıyı buharlaştırmaya çalışır. Bu şekilde yabancı bitkinin yaşamının kısıtlamasına çalışılır.

[24] yaptıkları elektrik ark düzeneği ile yabancı ot kontrol denemeleri yapmıştır. Bu düzenek, yüksek voltajlı bir elektrik kaynağına bağlanmış bir elektriksel iletken çubuk ile yabancı otlara elektrik akımı vermek suretiyle kullanılmıştır.

[68], yaptığı çalışmada bakır iletken elektrotların temas ettiği 1 haftalık çimlendirilmiş bitkilerin gövdesi üzerinden 300, 420 ve 540 saniye süre ile 100, 200 ve 300 volt elektrik enerjisi ile akım geçirerek bitkilerde %70 ile %100 arasında ölüm oranları elde etmiştir.

3. TANIMLAR ve KAVRAMLAR

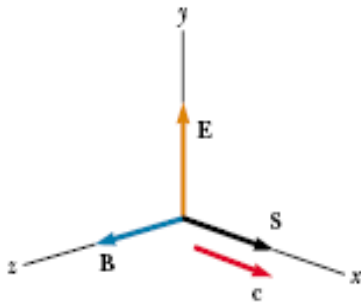
Mikrodalgalar; telefon, radyo ve televizyon iletişimde, kas ağrıları tedavisinde, ahşap, cips, sebze ve meyve kurutmada, trafikte araçların hız tespitinde ve daha birçok alanda kullanılmaktadır. Mikrodalga teknolojisinin geçmişi ikinci dünya savaşının hemen öncesine dayanır. Ancak mikrodalganın laboratuvar ve endüstriyel işlemlerde kullanılması 1980'li yıllarda başlamıştır. Bununla birlikte, mikrodalganın fırınlarda kullanımı tüketicilere yönelik en yaygın kullanımdır [25].

Elektromanyetik dalgalar enerji taşırlar ve bu enerjilerini de yayıldıkları yol üzerinde bulunan diğer nesnelere transfer edebilirler. Bir elektromanyetik dalganın, birim yüzeye birim zamanda taşıdığı enerji veya yüzeysel güç yoğunluğu Poynting vektörü ile tanımlanır.

Bu vektör ;

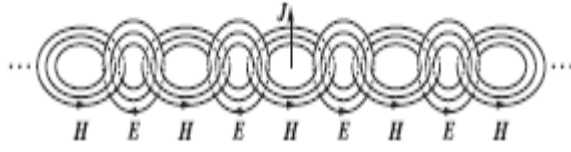
$$S = \frac{1}{\mu_0} E \times B \quad (1.1)$$

ile ifade edilir. S Poynting vektörünün birimi (J/s)/m² (W/m²) dir. S Poynting vektörünün yönü ise, elektromanyetik dalganın yayılma yönündedir, Şekil 1.1, [26].



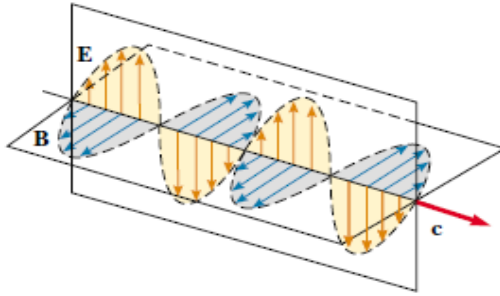
Şekil Error! No text of specified style in document..1 S Poynting vektörünün yönü manyetik dalga yayılım yönündedir

Elektromanyetik dalgalar, hava ve katı materyaller içinde yayıldığı gibi herhangi bir madde içermeyen boş uzayda da yayılmaktadır. Elektromanyetik dalgaların yayılması manyetik alanın elektrik alanı, elektrik alan ise manyetik alanı meydana getirmesi yoluyla gerçekleşir (Şekil 1.2), [28].



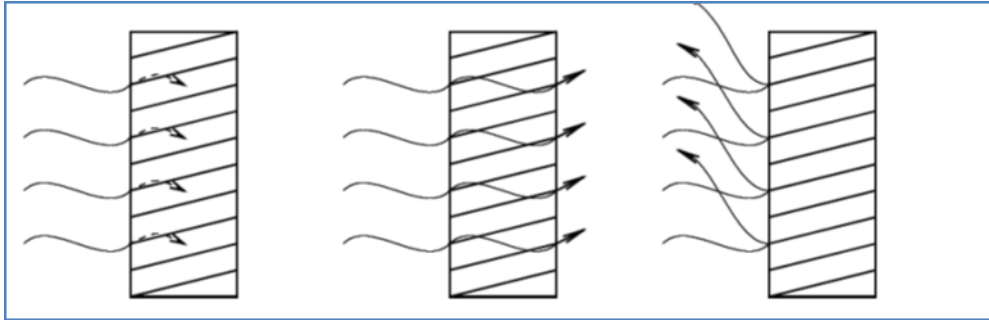
Şekil Error! No text of specified style in document..2 Manyetik dalgalarda elektrik alan E ve manyetik alan H'nin oluşması

Burada, E ve H, elektrik ve manyetik alan şiddetini gösterir ve birimleri [volt/m] ve [amper/m] dir (Şekil 1.3), [28]

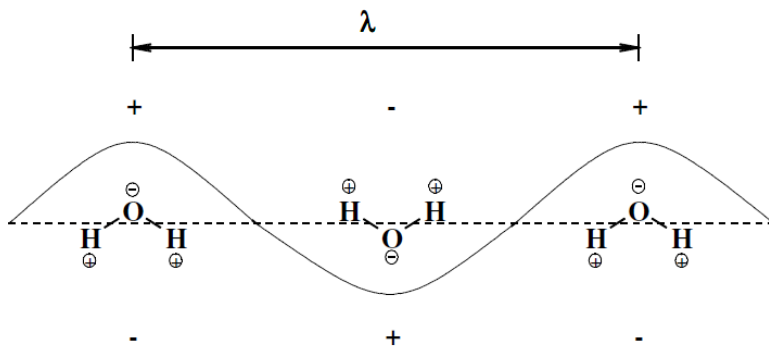


Şekil Error! No text of specified style in document..3 Elektromanyetik dalgalarda elektrik alan E ve manyetik alan H bileşenleri

Mikrodalga ve radyo frekansı ile ısıtmaya dielektrik ısıtma denir. Dielektrik (zayıf elektrik iletken) malzemenin çok hızla değişen bir elektrik alana maruz kaldığında malzeme içinde oluşan ısı, dielektrik ısıtma olarak tanımlanır. Mikrodalgalar elektriksel olarak nötr olan plastik, kağıt, cam ve seramik gibi malzemelerden geçerken, elektrik yüklü olan malzemeler tarafından soğrulur ve metaller tarafından da yansıtılır [29], (Şekil 1.4).



Şekil 1.4 Mikrodalganın maddelerle etkileşimi



Şekil 1.5 Suyun mikrodalga ile ısınma mekanizması [29].

ISM (Industrial, Scientific and Medical) endüstriyel, bilimsel ve tıp alanında kullanılacak mikrodalga enerji bant aralıkları ve maksimum güç limitleri FCC (Federal Communication Commission) tarafından Tablo.1.1’de ki gibi belirlenmiştir. Mikrodalga ısıtmada (ISM uygulamalarda) 2450 MHz ise kullanılır ve bu frekans bantları için endüstriyel ekipmanlar ticari olarak kolayca temin edilebilmektedir. ISM uygulamaları için farklı ülkelerde farklı frekanslar tahsis edilmiştir. Örneğin; İngiltere’de 42 MHz, 49 MHz, 56 MHz, 84 MHz ve 168 MHz’e, Avusturya, Hollanda, Portekiz, Almanya ve İsviçre’de ise 433.92 MHz’e, izin verilmiştir [30].

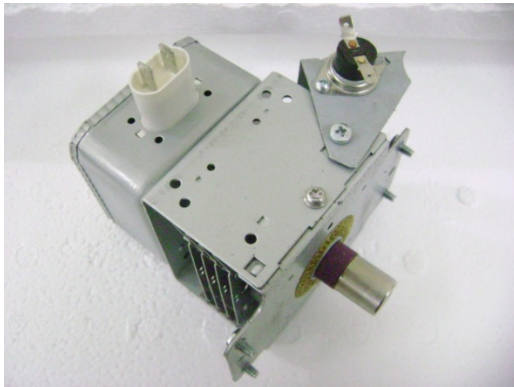
Tablo 1.1 ISM Bant aralıkları (FCC)

ISM Bantları	(Watt)
902-928 MHz	Güç Limiti
Telsiz Telefonlar	1 W
Mikrodalga Fırınlar	750 W
Endüstriyel Isıtıcılar	100 kW
Askeri Radarlar	1000kW
2.4-2.4835 GHz	
Bluetooth	100 mW
Wi-Fi-802.11 b/g	1 W
Mikrodalga Fırınlar	900 W
5 GHz	
5.725-5.825 GHz	4 W
Wi-Fi-802.11 a/n	
U-NII 5 GHz Bantlar	
Wi-Fi-802.11 a/n	
5.15-5.25 GHz	200 mW
5.25-5.35 GHz	1 W
5.47-5.725 GHz	1 W
5.725-5.825 GHz	4 W

Mikrodalga ile ısıtmanın temelinde, frekansın artırılarak su gibi moleküllerin hareket hızını arttırmak ve bunun sonucunda meydana gelen moleküler titreşim ve çarpışmanın artması ile malzemede ısının yükselmesidir [30], [31].

Gıdalar değişik polar moleküller ve bir miktar su içermektedirler. Gıda içerisinde dağınık bir halde bulunan bu moleküller, elektrik alanı uygulandığında gıda içerisindeki elektriksel olarak asimetric ve polar moleküller frekansa bağlı olarak polaritesi hızla değişen elektrik alanı nedeniyle dipol (Şekil 1.5) dönme hareketi gösterirler. Örneğin; 2.45 GHz frekansla çalışan mikrodalga üretici (magnetron) (Şekil 1.6), elektrik alanının yönü bir saniyede 2.45 milyar kez değişiyor anlamına gelmektedir.

Hızla değişen elektrik alanının polaritesine uyum sağlamak için polar moleküllerin dönerek, birbirleri ile ve ortamdaki diğer moleküllerle sürtünme hareketi meydana getirerek açığa çıkan ısı nedeniyle ürün ısınır [32], [33].



Şekil 1.6. 2.45 GHz frekans üreten 1 kW lık magnetron

4. MİKRODALGA UYGULAMALARI

Elektromanyetik dalgaların biyolojik maddeler üzerindeki etkilerine olan ilgi aslında 19. Yüzyıl sonlarında başlamış ve bu dönemde yapılan çalışmaların çoğu Radyo Frekanslarının (RF) bitki tohumlarına olan etkileri ile ilgilidir [34].

Mikrodalga ile gerçekleşen ve organik sentez olarak anılan ilk kimyasal reaksiyon 1986 da rapor edilmiştir [35], [36].

II. Dünya savaşı sırasında bilim adamları radar direklerine çarpan kuşların yere kızarmış olarak düştüğünü fark etmişler ve bu olaydan sonra mikrodalga ile pişirme fikri ortaya çıkmıştır [37]. Savaştan kısa bir süre sonra da mikrodalga fırınların kamuoyuna tanıtımı gerçekleşmiştir [38].

Mikrodalga enerji geleneksel ısıtma teknolojilerine göre üstünlüklere sahiptir. Geleneksel ısıtmada yüzeye yakın yerlerde yüksek sıcaklık, merkeze doğru ise düşük sıcaklıklar oluşmasına rağmen mikrodalga ısıtmada ısıtılmak istenen nesnenin merkezine doğru sıcaklık artmaktadır. Tarımsal uygulamalarda mikrodalga enerji bitki gövdesinin merkezinde en yüksek sıcaklığa ulaşılmasına neden olmakta ve bu sıcaklık su ile dolu olan ksilem dokusunda solmaya neden olmakta ve bitkiyi öldürmektedir [39].

Tarımsal denemelerde bitkinin olduğu kadar, toprağın da dielektrik özellikleri ve topraktaki sıcaklık dağılımı da bazı araştırmacılar tarafından çalışılmıştır. [40] tarafından yapılan çalışmada topraktaki sıcaklık dağılımını aşağıdaki bağıntı ile tanımlanmıştır.

$$T = \frac{n w \epsilon_o K'' \tau^2 E_o (e^{4\beta\gamma t} - 1)}{4k\beta^2 I_o(2\beta r_o)} \left[\frac{4\alpha\gamma t}{J_o(\alpha r_o) I_o(\beta r_o)^2} e^{-r^2/4\gamma t} + I_o(2\beta r) \right. \\ \left. + \left\{ 2\beta I_1(2\beta r_o) + \frac{h I_o(2\beta r_o)}{k} \right\} (r_o - r) e^{-(r-r_o)^2/4\gamma t} \right] \cos\left(\frac{\pi}{a} x\right) \quad (1.1)$$

Aynı çalışmada, mikrodalga enerji ile toprak arasındaki etkileşimin toprağın karışımına ve nem oranına göre değiştiği kaydedilmiştir.

Burada;

K'' : Isıtılan malzemenin dielektrik kayıp faktörü

τ : Mikrodalga enerjinin malzemeye geçiş katsayısı

β : Dalga zayıflama faktörü (m^{-1})

γ : Kombine ısı ve nem difüzyon katsayısı

α : Dalga faz sabiti (m^{-1})

r_o : Mikrodalga ile ısıtılan silindirik objenin dış yarıçapı (m)

$I_o(x)$: Modifiye birinci tür Bessel fonsiyonu

$J_o(x)$: Birinci tür Bessel fonsiyonu

h : Dielektrik tabaka yüksekliği (cm)

k : Malzemenin ısıl iletkenliği ($Wm^{-1}K^{-1}$)

n : Isı ve nem difüzyonu büyüklük oranıdır.

Genel olarak, mikrodalga fırın içinde oluşturulan alternatif elektromanyetik alan gıda içindeki polar moleküller ve iyonların uyarılma, döndürme ve çarpışmasına yol açar. Bu moleküler sürtünme ısı üretir ve daha sonra sıcaklık artışa neden olur. İki ana mekanizma, yani dipolar ve iyonik etkileşimleri, gıda maddeleri içinde ısıtının nasıl oluştuğunu açıklar [33], [41].

Mikrodalga enerji ile yapılan çalışmalarda, aynı zamanda toprağın birkaç santimetre derinliğinde gömülü olan bitki kökleri ve tohumlarını öldürebildiği tespit edilmiştir [42], [7].

[58] çalışmalarında iki yabancı ot türün ortadan kaldırılması için gerekli olan enerjiyi belirlemek üzere çavdar otu ve kolza tohumu çimlendirerek mikrodalgaya maruz bırakmışlardır. Sonuçta, tarlada hâlihazırda çimlenen otsu türlerin elimine edilmesinin teknik olarak mümkün olduğunu göstermişlerdir.

Mikrodalga enerjinin bitki tohumlarının çimlenmesine olan etkilerini araştırmak amacıyla yapılan çalışmada toprak-torf karışımına eşit derinliklere (8-10 mm) ekilen yabancı ot tohumları 126 s, 70 s ve 50 s sürelerle, bu çalışma için geliştirilen mikrodalga konveyör bant düzeneğinde mikrodalgaya maruz bırakılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre mikrodalgaya 126 saniye süre ile maruz kalan tohumların çimlenmesinde % 100'e yakın bir kısıtlama gerçekleşmiştir. Ayrıca, dikkat çekici bir şekilde 50 saniye süre ile mikrodalga uygulanmış tere tohumlarında çimlenme oranı %96 iken, mikrodalga uygulanmayan tere tohumlarında çimlenme oranı %65 civarında gerçekleşmiştir. Bu durum, mikrodalganın ısı etkisi sonucu tohumlardaki çimlenme oranını ve çimlenme hızını arttırması şeklinde değerlendirilmiştir [44].

Yabani otları öldürmek için mikrodalga enerjisinin kullanılması yakın geçmişte popülerlik kazanmıştır. Yüksek enerjiye temeline dayanan mikrodalgalar yabani otları çok verimli bir şekilde öldürebilmektedir [5].

Mikrodalga radyasyonun bir yabancı ot kontrolü yöntemi olarak kullanılması iyi bir alternatif olarak gözükmektedir, çünkü çevrede kimyasal kalıntı üretmemektedir [66], [69].

Deney koşulları altında yapılan çalışmada, istilacı türlerin (yabancı otların) tohum çimlenmesini engellemek için en iyi mikrodalga işleminin 2, 4, 6 kW güç 2, 4, 8 dk. süre ve %10, %13, %20, %30 toprak nemine bağlı olarak belirlenmesini amaçlanmıştır ve tohum gömme derinliği 2, 12 cm olarak belirlenmiştir [25].

Mikrodalga enerjiye maruz bırakılan toprakta tarımsal ürün veriminin arttığı da yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir. Kuru biyokütlede % 175, buğdayda tane verimindeki % 96'lık artış, mikrodalgada işlenmemiş toprağa kıyasla toprağa 2.45 GHz mikrodalga enerjinin uygulanmasıyla elde edilmiştir. Toprağın mikrodalga ışınlaması, buğday verimliliğini önemli ölçüde artırmıştır [37].

Yapılan başka bir çalışmadan elde edilen sonuçlara göre; yeterli güç düzeyi ve sürelerle mikrodalgaya maruz kalan yabani hardal, yabani yulaf ve tere gibi yabancı ot örneklerinde yüksek ölüm oranları elde edilmiştir. Daha düşük güç düzeyi ve sürelerle mikrodalga uygulamalarında ise kısmi ölüm oranları meydana gelmiştir [15].

Mikrodalga yardımıyla tohum çimlenmesi ve fide performansının iyileştirilmesi için radyo frekanslı (RF) dielektrik ısıtmanın kullanımı ile ilgili çalışmada mevcuttur.

Çimlenme artışına yönelik RF maruziyetleri ile alfalfa tohumu iyileştirmesi ile ilgili yapılan çalışmada frekans, elektrik alan şiddeti, tohum nem içeriği, tohum sıcaklığı, varyant değişimi ve diğer faktörlerin etkisi tartışılmış ve tohum endüstrisinde pratik uygulama yönleri ele alınmıştır [47].

[48] yapılan çalışmada, mikrodalgalarla maruz kaldıktan sonra mısır tanelerinin fotosentetik pigmentlerinin büyüme hızı ve absorbans verimliliği araştırılmıştır. Deney, mısır bitkilerini 935.2-960.2 MHz'de, yoğunlukları 0.07–0.15 mW/cm² olan sürekli mikrodalgalarla maruz bırakarak gerçekleştirilmiş ve test bitkileri ve kontrol bitkiler dört hafta boyunca aynı ortama tabi tutulmuştur. Deney sonucunda çimlenme taneleri, büyüme oranı (kuru ağırlık / hafta,cm²), absorbans verimliliğinin kontrole kıyasla önemli ölçüde arttığı görülmüştür.

Arpa tohumları üzerine yapılan başka bir çalışmada ise, arpa tohumlarının çıkış gücü 400 W olan mikrodalga ile arıtdıktan yüksek çimlenme oranları elde edildiği belirtilmiştir. Ayrıca, mikrodalga radyasyonun hücre organelleri, enzim aktivitesi, genetik değişimler ve verim alt yapılarına etkisinin tam olarak anlaşılabilmesi için farklı bitkiler üzerinde de denemesi gerektiği ifade edilmiştir [49]. Başka bir çalışmada da, 2.45 GHz'de 0.5-1.2 mW / cm² yoğunlukta sürekli mikrodalga enerjisine maruz kalan bitkilerin mikrodalgaya maruz kalmayan bitkilerden farklı olmayacağı hipotezi ortaya atılmış ve deneye tabi tutulmuş bitkilerin yaprak klorofil konsantrasyonu haftalık olarak ölçülmüştür. 7 hafta sonra bitkiler toplanarak ve taze ağırlık ve kuru ağırlık, sap uzunluğu ve internodal mesafe gibi brüt bitki değişkenleri ölçülerek kontrol numuneler ile mikrodalga uygulanan örnekler arasında bir fark olmadığı sonucuna varılmıştır [50].

5. MİKRODALGA UYGULAMALARINDA RİSKLER VE KISITLAR

Mikrodalga ile yapılan laboratuvar çalışmalarında kullanılan mikrodalga üreteçleri (magnetronlar) yüksek gerilim ile çalıştıkları için montaj ve kullanımı bir tehlike oluşturmaktadır. Mikrodalga uygulamaları sırasında meydana gelebilecek mikrodalga sızıntılara karşı mikrodalga sızıntı detektörü kullanılması zorunluluğu bulunmaktadır. Bu sızıntının FDA (U.S. Food and Drug Administration) ve EPA (U.S. Environmental Protection Agency) tarafından belirlenen 5 mW/cm² lik emniyet limitini aşp aşmadığının tespiti amacıyla deneyler sırasında farklı noktalara yerleştirilmek suretiyle mikrodalga detektörler kullanılır.

Bilindiği gibi, mikrodalga enerji vücut tarafından emilebilir ve maruz kalan dokularda ısı üretebilir. Zayıf kan akışı ve sıcaklık kontrolü olan gözler ya da testis gibi sıcaklığa duyarlı dokuya sahip organlar daha yüksek ısı hasarı riski taşırlar. Ancak, termal hasar sadece uzun pozlamalardan çok yüksek güç seviyelerine, yani mikrodalga fırınların etrafında ölçülenlerin üzerindeki seviyelerde gerçekleşir [51].

Kavram Yanılgıları: Bazı kavram yanılgılarını gidermek için, mikrodalga fırında pişirilen yiyeceklerin "radyoaktif" olmadığına bilinmesi önemlidir. Mikrodalga fırın kapatıldıktan sonra herhangi bir mikrodalga enerjisi boşlukta veya gıdada kalmaz. Bu bakımdan, mikrodalgalar tıpkı ışık gibi hareket eder; Ampul söndüğünde ışık kalmaz [51].

Yabancı ot kontrolüne kullanılan fiziksel uygulamalarının çoğunda, elektriksel veya termal etkilerden kaynaklanan bitki ölümleri gerçekleşir. Bu teknolojilerden en az ikisi, yani buhar ve mikrodalga uygulaması, toprak tohum bankasındaki yabancı ot tohumlarını devre dışı bırakma fırsatı sunmaktadır. Ancak, bu teknolojilerin çoğu, orta ila yüksek enerji yatırımı gerektirir ve bazı durumlarda, elektrik çarpması veya elektrostatik alanlar gibi, dikkate alınması gereken insan sağlığı ve güvenliği ile ilgili yüksek riskler barındırmaktadır [40].

Mikrodalga enerjide meydana gelen faz değişimi dielektrik kayıplara da neden olmaktadır. Bunda dielektrik katsayısı (geçirgenlik) ve uyardığı moleküllerin hacmi (kütle) kilit rol oynar. Alan enerjisi ortama transfer edilir ve elektrik enerjisi kinetik veya ısı enerjisiye dönüşür. Bunun sonucunda polar ortamda meydana gelen “iç sürtünme” reaksiyonun olduğu karışımda ısınmaya neden olur. Ancak, yerel sınırlarda meydana gelen yansımalar ve kırılmalar “sıcak noktalar” ve “süper ısınma” ya neden olur [52]. Bu işlem genellikle bir sürtünme modeli ile tanımlanır. Polar malzemelerin büyük bir kısmı mikrodalga ile temasında dielektrik kayıplar göstermektedir [53].

Mikrodalga ısıtma ile ilgili başlıca sorunlarından birisi de düzgün olmayan sıcaklık dağılımıdır. Düzgün olmayan sıcaklık dağılımı çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir [54]. Mikrodalga uygulanan bir hacimde elektromanyetik alan ve sıcaklığın sayısal analizi ve mikrodalga ısıtmanın karakteristiği [55], tarafından da çalışılmıştır. Mikrodalga ile dielektrik ısıtmada enerji yoğunluğunun veya ısıl dağılımının doğru tespit edilmesi çalışmalarda oldukça önemli faydalar sağlamaktadır.

Mikrodalga ısıtmada düzgün olmayan sıcaklık dağılımı sorunu, ev tipi mikrodalga fırınlarda mikrodalga ısıtma ile birlikte dönmeye başlayan ürünün üzerine yerleştirildiği bir döner tabla ile çözülmeye çalışılmıştır. Ancak, konveyör bantlı fırın uygulamalarında bu sorunun çözünü çok kolay olmamaktadır. Düzlemsel ve uzaysal düzgün olmayan ısıl dağılım sorun olma devam etmektedir.

[67] yaptığı çalışmada, deneylerde kullanılan konveyör bant yüzeyinde sıcaklık dağılımını tespit etmek amacıyla uyguladığı yöntemle, mikrodalga üretici 2800 W mikrodalga çıkış gücünde aktif iken 12 farklı nokta için ilk sıcaklık ve son sıcaklık ölçülmek suretiyle, her noktada meydana gelen sıcaklık farkı ve toplam absorbe edilen enerji hesaplanmıştır. Konveyör bant hareketli ve tünel kısmen kapalı durumda iken örnek su kütlelerinde meydana gelen sıcaklık değişimi (ΔT_1); minimum 9 °C ve maksimum 20 °C olarak gerçekleşmiştir. Ancak, tünel kapalı ve bant hareketsiz durumda iken örnek su kütlelerinde meydana gelen sıcaklık değişimi (ΔT_2); minimum 15 °C ve maksimum 27 °C olarak gerçekleşmiştir.

Toprak dezenfeksiyonu için mikrodalga radyasyonunun kullanılması, kimyasal toprak iyileştirmelerine bir alternatif olabilir. Ancak, 0.2 m s⁻¹ gibi çok düşük bir hız ve minimum 48 kW gücünde traktör gerektirmesi mikrodalga uygulamalarının biraz daha tartışılması gerektiğini göstermektedir [43].

[56], yaptığı çalışmada ise mikrodalgaların bitki hücrelerinin DNA'sı üzerindeki etkisi hala belirsiz olduğunu, ancak mutasyon ıslahında bu elektromanyetik radyasyonun bir değişim kaynağı olarak kullanılması çok avantajlı olabileceğini ifade edilmiştir.

[57], yaptıkları çalışmada mikrodalga ve radyo frekansı kullanan termal işlemlerde tarımsal ürünlerin dielektrik özelliklerinin bilinmesinin gerekliliği vurgulanmıştır. Birçok tarımsal baklagillerin dielektrik özellikleri incelendiğinde, mikrodalga frekanslarında nem içeriği ile sıcaklığının bir fonksiyonu olarak tepkilerinin henüz tam olarak bilinmediği vurgulanmıştır.

Mikrodalga ısıtma veya kurutma bazen düşük kaliteli ürün oluşmasına da neden olmaktadır [58], [59], [60], [61], [62], [63].

Bir yabancı otun mikrodalga radyasyonlarına maruziyet düzeyinin doğru bir şekilde ölçülmesi ve mikrodalga düzeneğin çalışmaya başlaması ile magnetronun mikrodalga üretimine başlaması arasında geçen süre zorlu bir sorundur. Bu boşluk, yabancı ot yönetimi için gerekli olan gerçek enerjinin hesaplanmasında bir hataya neden olur. Herhangi bir yanlış yorumlama, teknolojinin algılanan değerini olumsuz yönde etkiler ve gerekli enerji yükünü olduğundan daha fazla tahmin eder [48]. Tarımda mikrodalga ile ısıtmanın ekipman, enerji donanımları ve işletme maliyetlerinin yüksek olması gibi dezavantajları olduğu da açıklanmıştır [23].

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Mikrodalga enerji kullanarak yapılan deneysel çalışmalarda ve saha uygulamalarında karşılaşılan temel sorunlar ve riskler;

1. Mikrodalgaya maruz kalma sonucu meydana gelebilecek tıbbi rahatsızlıklar
2. Mikrodalga fırınların veya üreteçlerin (magnetron) kalifiye olmayan kişilerce modifikasyon, montaj, bakım ve onarımının yapılması durumunda elektrik çarpması tehlikesi
3. Mikrodalga uygulamalarında sistemin kullandığı güç ile mikrodalgaya dönüşen güç arasındaki fark nedeniyle tüketilen elektrik enerjisi miktarının net olarak hesaplanamaması
4. Mikrodalga uygulamalarında kapalı ortamda (fırın, kabin vs.) düzenli olmayan ısı dağılımı
5. Mikrodalgaların istenen bölgeye yönlendirilmesi için kullanılan dalga kılavuzlarının tasarım ve imalat zorlukları
6. Tarımsal mikrodalga uygulamalarında donanım, enerji ve işletme maliyetlerinin henüz yüksek oluşu
7. Mikrodalga uygulanacak tarımsal ürün ve yabancı ot türlerinin çoğunun elektriksel özelliklerinin bilinmiyor olması

Mikrodalga güvenliği: Mikrodalga fırınların tasarımı, mikrodalgaların fırının içinde kalmasını sağlar ve sadece fırın çalıştırıldığında ve kapı kapatıldığında mevcut olabilir. Cam kapının etrafındaki sızıntılar, üretici tarafından uluslararası standartların tavsiye ettiği seviyenin çok altında bir seviyede sınırlandırılmıştır. Bununla birlikte, hasarlı, kirli veya modifiye mikrodalga fırınların çevresinde mikrodalga sızıntısı meydana gelebilir. Bu nedenle fırının iyi durumda tutulması önemlidir. Kullanıcılar, kapının düzgün bir şekilde kapanıp kapanmadığını kontrol etmeli ve açıkken mikrodalgaların oluşmasını önlemek için kapıya takılan emniyetli kilitleme cihazlarının doğru çalışması gerekir. Kapı contaları temiz tutulmalı ve contalarda veya fırının dış muhafazasında görünür bir hasar belirtisi olmamalıdır. Herhangi bir arıza tespit edilirse veya fırının bazı parçaları hasar görürse, yetkili servis tarafından tamir edilene kadar kullanılmamalıdır.

Termal güvenlik: Bir mikrodalga fırında ısıtılan cisimlere elle temas vücutta yanık yaralanmaları meydana getirebilir. Bununla birlikte, mikrodalga fırında yiyecek ısıtmak geleneksel fırınlardan farklı bazı özellikler taşır. Geleneksel bir ocakta kaynayan su, suyun kaynamaya başladığı andan itibaren buharın kabarcıklar halinde uzaklaşmasına izin verir. Bir mikrodalga fırında ise kabin duvarlarında kabarcıklar olmayabilir, halbuki su aşırı derecede ısınmış (super-heat) ve aniden kaynayabilecek durumdadır. Bu ani kaynama, sıvı içindeki tek bir kabarcık veya kaşık gibi bir nesnenin temasıyla tetiklenebilir. Ne yazık ki, bu şekilde süper ısıtılmış su ile ciddi yanıkların meydana geldiği vakalar az değildir.

Mikrodalga fırınlamanın bir başka özelliği de, spesifik gıdaların termal tepkisi ile ilgilidir. Gözeneksiz yüzeylere sahip bazı maddeler, haşlanmış kabuksuz yumurta, sosis vs. ile kabuklu yumurta, kestane gibi gıdalar düzensiz olarak ısınarak patlayabilmektedirler.

Mikrodalga ile çalışırken dikkat edilmesi gereken hususlar:

1. Asla yanıcı sıvıları, katı maddeleri, tehlikeli maddeleri veya radyoaktif maddeleri herhangi bir mikrodalga fırınında ısıtmaya çalışmayın.
2. Mikrodalga fırınlara alüminyum folyo ve plastik kaplı manyetik karıştırıcı çubuklar dahil metal parçalar koymayın.
3. Mikrodalgayı topraklama piminin çıkarılması veya fişin değiştirilmesi dahil olmak üzere hiçbir şekilde modifiye etmeyin.
4. Yemek hazırlamak için laboratuvar amaçlı mikrodalga fırınları kullanmayın
5. Mikrodalgada kapalı kapları ısıtmayın. Mikrodalgalar malzemeyi çok hızlı ısıtabildiğinden, kabın fırında ya da çıkarıldıktan kısa süre sonra patlaması ihtimali nedeniyle, kapalı kap veya gevşek bir kapak önemli bir risk oluşturmaktadır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Daff, Weeds, Australian Department Of Agriculture, Fisheries And Forestry, 2006.
- [2] Hua, W, Bennett E, And Letcher R, 2006. Ozone Treatment And The Depletion Of Detectable Pharmaceuticals And Atrazine Herbicide İn Drinking Water Sorced From The Upper Detroit River Ontario Canada. Water Research 40 (2006) 2259-2266.
- [3] Ying, G, And Williams B, 2000. Dissipation Of Herbicides İn Soil And Grapesin A South Australian Vineyard. Agriculture, Ecosystem And Environment 78 (2000) 283-289.
- [4] Şahin, H., 2012. Tarımsal Üretimde Yabancı Ot Mücadelesinde Mikrodalga Yönteminin Uygulanabilirliğinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [5] Bajwa, A. A., Mahajan, G., & Chauhan, B. S. (2015). Nonconventional Weed Management Strategies For Modern Agriculture. Weed Science, 63(4), 723-747.
- [6] Revitt, D., M., Ellis, J., B. And Llewellyn, N.R., 2002. Seasonal Removal Herbicides İn Urban Runoff. Urban Water 4 (2002) 13-19.
- [7] Ascard, J. 1990. Weed Control İn Ecological Vegetable Farming. In A. Granstedt (Ed).Proceedings Of The Ecological Agriculture, Nordiske Jordbrugsforskeres Forening, Seminar, 166, 178-184.
- [8] Kang, W.,S., 2001. Development Of A Flame Weeder. American Society Of Agricultural Engineers. Vol.44 (5): 1065-1070.
- [9] Ferrell, J.A., Macdonald, G.E., Sellers, B., And Rambott, C., 2007. Florida Cooperative Extension Service, Institute Of Food And Agricultural Sciences University Of Florida.
- [10] White, G., Bond, B. And Pinel, M., 2000. Return To The Age Of Steam. Hdc News No. 61,12-14.
- [11] Hansson, D., Ascard, J., 2002. Influence Of Developmental Stage And Time Of Assessment On Hot Water Weed Control. Weed Res;42(4):307-16.
- [12] Hansson, D., J.,E., Mattsson, 2003. Effect Of Air Temperature, Rain And Drought On Hot Water Weed Control. European Weed Research Society Weed Research 43, 245-251.
- [13] Hansson, D., Mattsson, J.,E., 2002. Effect Of Drop Size, Water Flow, Wetting Agent And Water Temperature On Hot Water Weed Control. Crop Protection 21, 773-781.
- [14] Kurfess, W., S., Kliesinger, 2000. Effect Of Hot Water On Weeds. Proceedings 20 Th German Conference On Weed 265 Biology And Weed Control, Stuttgart-Hohenheim, 473- 477, Germany.
- [15] Vale, S. 1998. Mechanical Weeder Uses Compressed Air. Vegetable Farmer, Act Publishing, Maidstone, Uk, (August), 24-26.

- [16] Fergedal, S., 1993. Weed Control By Freezing With Liquid Nitrogen And Carbon Dioxide Snow; A Comparison Between Flaming And Freezing. Communications Of The 4th International Conference I.F.O.A.M. Non-Chemical Weed Control, Dijon, France, 163-166.
- [17] Heisel, T., J. Schou, S. Christensen, C. Andreasen, 2001. Cutting Weeds With A CO₂ Laser. European Weed Research Society Weed Research, 41, 19-29.
- [18] Heisel, T., Schou, J., Andreasen, C., Christensen, S., 2002. Using Laser To Measure Stem Thickness And Cut Weed Stems. European Weed Research Society Weed Research 42, 242-248.
- [19] Davis, F., Wayland, J., Merkle, M., 1971. Ultrahigh-Frequency Electromagnetic Fields For Weed Control: Phytotoxicity And Selectivity. Science, 173, 535–537.
- [20] Nelson, S., O., 1996. A Review And Assessment Of Microwave Energy For Soil Treatment to Control Pests. Transactions of the Asae, 39(1), 281–289.
- [21] Kawala, Zdzisław; Atamańczuk, Tomasz. Microwave-Enhanced Thermal Decontamination of Soil. Environmental Science & Technology, 1998, 32.17: 2602-2607.
- [22] Jones, D. A., Lelyveld, T. P., Mavroidis, S. D., Kingman, S. W., & Miles, N. J. (2002). Microwave Heating Applications In Environmental Engineering—A Review. Resources, Conservation And Recycling, 34(2), 75-90.
- [23] Vidmar, M., 2005. An Improved Microwave Weed Killer. Microwave Journal October 1, 2005.
- [24] Pluenneke, R. H., & Dykes, W. G. (1975). Method And Apparatus For Using Electrical Current to Destroy Grasses and Weeds.
- [25] FDA, Us, Center For Devices And Radiological Health. Microwave Oven Radiation. U.S. Food and Drug Administration; 2000. Wwww.Fda.Gov/Cdrh/Consumer.
- [26] Halliday, D., Resnick, R., Krane, K., S., 2002. Fundamentals of Physics, John Wiley&Sons Inc., 2002, USA.
- [27] Hansson, D., J., E., Mattsson, 2003. Effect Of Air Temperature, Rain And Drought On Hot Water Weed Control. European Weed Research Society Weed Research 43, 245-251.
- [28] Balanis, C., A., 1989. Advanced Engineering Electromagnetics, John Wiley&Sons Inc., USA.
- [29] Mullin, J., 1995. Microwave processing. In G. W. Gould (Ed.), New methods of food preservation (pp. 112–134). Bishopbriggs, UK: Blackie Academic and Professional.
- [30] Metaxas, A., C. And Meredith R., J., 1993. Industrial Microwave Heating. Iee Power Engineering Series 4, Peter Peregrinus Ltd., London.
- [31] Krasewski, A., W. And Nelson, S., O., 1995. Application Of Microwave Techniques in Agricultural Research. Sbmo/Ieee Mtt-S International Microwave And Optoelectronics Conference, Pp 117–126.
- [32] Mudgett, R.E. 1986a. Electrical Properties Of Foods “In, Engineering Properties Of Foods, Eds M.A. Rao And S.S.H. Risvi” Marcel Dekker, Inc., New York, Basel, 544 pages.
- [33] Buffler, Cr. Microwave Cooking And Processing: Engineering Fundamentals For The Food Scientist. New York: Van Nostrand Reinhold; 1993.
- [34] Ark, P.A. And Perry, W., “Application Of High Frequency Electrostatic Field In Agriculture”, The Quarterly Review Of Biology, Vol.6, No:3, Pp.277-287, 1979.
- [35] Geyde, R., Smith, F. K., Westaway, Ali, H., Baldisera, L., Laberge L., Rousell, J., Tetrahedron Lett. 1986, 27, 279-283.
- [36] Giguere, R. J., Bray, T. L., Duncan, S., Majetich, M. G. Tetrahedron Lett. 1986, 27, 4945-4949.
- [37] Hill, A ,Ilsi Europe Microwave Oven Task Force. Microwave Ovens. Brussels: Ilsi Europe; 1998.
- [38] Decareau, R.V. Chapter One: History Of The Microwave Oven. In: Microwave Foods: New Product Development. Trumbull: Food & Nutrition Press, Inc.; 1992. P.1-46.
- [39] Salisbury, F. B. and ROSS, C. W. 1992, *Plant Physiology*, Wadsworth, Belmont, California, USA, 4th edition.

- [40] Brodie, G., Hamilton, S. And Woodworth, J.2007. “An Assessment Of Microwave Soil Pasteurization For Killing Seeds And Weeds,” *Plant Protection Quarterly*, Vol. 22, No. 4, Pp. 143–149, 2007.
- [41] Ohlsson, T. Domestic Use Of Microwave Ovens. In: Macrae R, Robinson, Rk And Sadler, Mj, Editors. *Encyclopaedia Of Food Science Food Technology And Nutrition*. Vol. 2. London: Academic Press; 1993. P. 1232-1237.
- [42] Diprose, M. F. , Benson, F. A. And Willis, A. J. “The Effect Of Externally Applied Electrostatic Fields, Microwave Radiation And Electric Currents On Plants And Other Organisms, With Special Reference To Weed Control,” *The Botanical Review*, Vol. 50, No. 2, Pp. 171–223, 1984.
- [43] Velazquez-Martí, B., Gracia-López, C., & De La Puerta, R. (2008). Work Conditions For Microwave Applicators Designed To Eliminate Undesired Vegetation In A Field. *Biosystems Engineering*, 100(1), 31-37.
- [44] Sahin, H., (2014). Effects of Microwaves on The Germination of Weed Seeds. *Journal of Biosystems Engineering*, 39(4), 304-309.
- [45] Rana, A., & Derr, J. F. (2018). Responses Of Ten Weed Species To Microwave Radiation Exposure As Affected By Plant Size. *Journal Of Environmental Horticulture*, 36(1), 14-20.
- [46] Khan, M. J., Brodie, G., & Gupta, D. (2016). Effect Of Microwave (2.45 Ghz) Treatment of Soil on Yield Components Of Wheat (*Triticum Aestivum* L.). *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 50(3), 191-200.
- [47] Nelson, S. O. (2018). Rf Electrical Seed Treatment To Improve Germination. In 2018 Asabe Annual International Meeting (P. 1). American Society Of Agricultural And Biological Engineers.
- [48] Khalafallah, A. A., & Sallam, S. M. (2009). Response Of Maize Seedlings To Microwaves at 945 MHz. *Romanian J. Biophys*, 19(1), 49-62.
- [49] Cretescu, I., Căpriță, R., Velicevici, G., Ropciuc, S., & Buzamat, G. (2013). Response of Barley Seedlings To Microwaves At 2.45 Ghz. *Scientific Papers Animal Science And Biotechnologies*, 46(1), 185-191.
- [50] Skiles, J.W. (2006). Plant Response To Microwaves At 2.45 Ghz. *Acta Astronautica*, 58(5), 258-263.
- [51] Who, 2018. http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/info_microwaves/en/
- [52] Baghurst, David R. And Mingos, D. Michael P. *Microwave Processing Of Materials*, the National Academies, 1992.
- [53] Feng, J.C., Meng, Q.U., Liu, Y., And Dai, L., Org. Prep. Proc. Int. 1997, 29, 687-689.
- [54] Fakhouri, M. O., and Ramaswamy, H.S. (1993). Temperature Uniformity of Microwave Heated Foods as Influenced by Product Type and Composition. *Food Research Int.* 26(2), 89– 95.
- [55] Funawatashi, Y., & Suzuki, T. (2003). Numerical Analysis Of Microwave Heating of a Dielectric. *Heat Transfer-Asian Research*, 32(3), 227–236.
- [56] Miler, N., & Kulus, D. (2018). Microwave Treatment Can Induce Chrysanthemum Phenotypic and Genetic Changes. *Scientia Horticulturae*, 227, 223-233.
- [57] Taheri, S., Brodie, G., Jacob, M. V., & Antunes, E. (2018). Dielectric Properties Of Chickpea, Red and Green Lentil In The Microwave Frequency Range As A Function of Temperature and Moisture Content. *Journal of Microwave Power And Electromagnetic Energy*, 1-17.
- [58] Gunesakaran , S., 1990. Grain Drying Using Continuous And Pulsed Microwave Energy. *Drying Technology*, 8(5), 1039–1047.
- [59] Adu, B., & Otten, L. (1996). Microwave Heating and Mass Transfer Characteristics of White Beans. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 64(1), 71-78.

- [60] Warchalewski, J. R., Gralik, J., Wojtasiak, R. Z., Zabielski, J., And Kusnierz, R. (1998). The Evaluation of Wheat Grain Odour and Colour After Gamma and Microwave Irradiation. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 1(1), 1–11.
- [61] Funebo, T., & Ohlsson, T. (1998). Microwave Assisted Air Dehydration of Apple and Mushroom. *Journal of Food Engineering*, 38(3), 353–367.
- [62] Krokida, M. K., Maroulis, Z. B., & Saravacos, G. D. 2001. The Effect of The Method of Drying on The Color of Dehydrated Products. *International Journal of Food Science & Technology*, 36(1), 53–59.
- [63] Blaszcak, W., Gralik, J., Klockiewicz-Kaminska, E., Fornal, J., & Warchalewski, J. R., 2002. Effect of Radiation and Microwave Heating on Endosperm Microstructure in Relation to Some Technological Properties of Wheat Grain. *Nahrung/Food*, 46(2), 122–129.
- [64] Brodie, G. (2018). The Use Of Physics In Weed Control. *Non-Chemical Weed Control*, 33-59.
- [65] De Wilde, M., Buisson, E., Yavercovski, N., Willm, L., Bieder, L., & Mesléard, F. (2017). Using Microwave Soil Heating to Inhibit Invasive Species Seed Germination. *Invasive Plant Science and Management*, 10(3), 262-270.
- [66] Rana, A., & Derr, J. F. (2017). Determining The Microwave Radiations Exposure Level Needed For Weed Control Using A Stationary and Running Belt Microwave Radiations Applicator System. *Journal of Environmental Horticulture*, 35(2), 58-65.
- [67] Sahin, H., & Saglam, R. (2015). A Research About Microwave Effects on The Weed Plants. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 10, 79-84.
- [68] Sahin, H., & Yalinkılıç, M. (2017). Using Electric Current As A Weed Control Method. *European Journal of Engineering Research and Science*, 2(6), 59-64.
- [69] Rana, A., & Derr, J. F. (2017). Determining The Microwave Radiations Exposure Level Needed For Weed Control Using A Stationary And Running Belt Microwave Radiations Applicator System. *Journal Of Environmental Horticulture*, 35(2), 58-65.