

Elektromanyetik Işınlarla Yabancı Ot Kontrolü

Yasin Emre KİTİŞ, Osman ÇAVUŞOĞLU

Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Antalya
emrekitis@akdeniz.edu.tr (Sorumlu Yazar)

Özet

Yoğun pestisit kullanımının bir sonucu olarak son yıllarda artan çevre ve sağlık sorunlarıyla birlikte, tarımda kimyasal mücadeleye alternatif yöntemlerin de önemi artmıştır. Tüm dünyada en fazla kullanılan pestisit grubunu herbisitlerin oluşturması, yabancı otlara karşı alınacak alternatif önlemlerin değerini bir kat daha artırmaktadır. Bu alternatif uygulamalardan biri de elektromanyetik ışınların yabancı ot mücadelesi amacıyla kullanılmasıdır. Gerek tarla tarımında, gerekse tarımsal üretimin önemli bir bileşeni olan meyvecilik ve bağ alanlarında ve gerekse tarım dışı alanlarda bu uygulamalardan bir bölümü pratiğe aktarılmışken, bir bölümü henüz araştırma safhasındadır. Yabancı ot kontrolünde araştırma ve uygulamaya konu olan elektromanyetik ışınlar altı grupta incelenmektedir. Dalga boyu ve frekanslarıyla birbirinden ayrılan bu ışınlar; UHF, mikrodalga, kızılötesi, morötesi, gama ve lazer ışınlarıdır. Üzerinde araştırmaların devam ettiği bu konu hakkında yapılan çalışmalar, etki mekanizmaları, sahadaki uygulamalar ve elde edilen sonuçlara ait bilgiler derlenerek, ülkemiz için de yeni olan bu konuda yapılacak çalışmalara ve araştırmacılara kaynak olması amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Alternatif mücadele, lazer, mikrodalga, UHF, yabancı ot

Weed Control by Electromagnetic Radiation

Abstract

In recent years, the increasing environmental and health problems as a result of intensive pesticide use, the importance of the alternative methods for chemical control in agriculture are also increased. Since all over the world the most widely used pesticide group constituted of herbicides, the value of alternative weed control managements is increased one more fold. One of these alternative applications is using the electromagnetic waves for weed control. While some of these applications are put into practice in both field crops, fruit and vineyard and also non-agriculture areas, some of them are still in the research phase. Electromagnetic waves which are subject of the research and practice in weed control are investigated in six groups. Separated by wave size and frequency of these rays are as follow: UHF, microwave, infrared, ultraviolet, gamma and laser. Knowledge about the studies, mode of actions, applications in practice and obtained results about this topic that on continued researches has been reviewed in this article and it is aimed to be source for researchers and future studies that are also new for our country.

Keywords: Alternative management, laser, microwave, UHF, weeds

1. Giriş

Tarım alanlarında sorun olan yabancı otlar, kültür bitkileriyle rekabete girerek verim ve kalitede önemli düşümlere sebep olmaktadır. Bu nedenle üreticiler yabancı otlarla mücadele edebilmek için çeşitli yollara başvurumaktadırlar. Tarım alanlarında yabancı ot mücadelesi amacıyla uygulamasının kolay olması, kısa sürede etki göstermesi ve işgücünü minimuma indirmesi gibi sebeplerden dolayı en fazla kimyasal mücadele metotları tercih edilmektedir. Ancak bu uygulamalar sonucunda kimyasallar canlı ve cansız çevrede kalıntı problemine sebep olmakta, insan

ve çevre sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir (Tiryaki vd., 2010). Bunun yanı sıra, sürekli herbisit kullanımı yabancı otlarda direnç meydana getirmekte ve yabancı otların baskı altına alınması daha da zorlaşmaktadır (Heap, 1997). Bu sebeple yabancı otlarla mücadelede kimyasal olmayan, ama bir o kadar da etkili yöntemler araştırılmaktadır. Bunlardan biri de farklı dalga boylarına sahip elektromanyetik ışınların yabancı ot mücadelesi amacıyla kullanılmasıdır (Strizhachenko, 1983). Bu ışınlar, tıp, uzay, haberleşme ve gıda sanayi gibi birçok alanda başarıyla kullanılmaktadır (Ludig vd., 2014). Son yıllarda yabancı otlara karşı kullanımı araştırılan

elektromanyetik ışınlarla mücadele yöntemlerinin gerekli iyileştirilmeler yapıldığı takdirde, pratikte de etkili olarak kullanılma imkânı mevcuttur. Özellikle sensörler yardımıyla yabancı otla kültür bitkisini birbirinden ayıran ileri teknolojilerin kullanıldığı robotik sistemlerde, meyve bahçeleri, bağ alanları ve sıraya ekilen kültür bitkilerinde bu yöntemler başarıyla uygulanma imkânı bulacaktır. Bu sistemlerde uygulama tüm alana değil, sadece yabancı otun bulunduğu noktalara yapılmakta ve böylece girdi kullanımı ve çevreye verilen zarar azaltılmaktadır (Çavuşoğlu ve Kitiş, 2014). Uzaktan algılama teknikleriyle beraber yabancı ot mücadelesi amacıyla özellikle lazer ışınlarının kullanıldığı sensör tabanlı robotik sistemlerle ilgili yapılan araştırmaların sayısı son dönemde artmıştır ve yapılan araştırmalar bu doğrultuda ilerlemektedir.

2. Yabancı Ot Mücadelesinde Kullanılan Işınlr

Yabancı ot araştırmalarına konu olan ışınlar, fiziksel olarak yabancı ot tohumlarını ve yabancı otları öldürmek veya gelişimine engel olmak suretiyle zarar vermektedirler. Elektromanyetik ışınlar olarak bilinen bu ışınlar atomik düzeydeki periyodik olaylar sonucunda oluşmaktadır. Bunlar dalga boyları ve frekansları ile tanımlanır. Kısa dalga boylu ve yüksek frekanslı olanlar, uzun dalga boylu ve düşük frekanslı olanlara göre daha fazla enerji taşırlar. Bu ışınlar bir engelle (bitki dokusu) karşılaştıkları zaman ya geri yansılır, ya dokudan geçerler ya da doku tarafından emilirler. Eğer bu ışınlar bitki tarafından emilirse, ışının içerdiği enerji bitkiye geçmekte ve bu enerji bitkide birtakım olumsuzluklara sebep olmaktadır (Günçan, 2013). Yabancı ot mücadelesi amacıyla kullanılan ve bir kısmı araştırma safhasında olan; mikrodalga, UHF, kızılötesi, morötesi, gama ışınları ve lazer olmak üzere altı farklı elektromanyetik ışın türü bulunmaktadır.

2.1. Mikrodalga ile yabancı ot kontrolü

Aslında mikrodalgalar evlerimize kadar girmiş durumdadır. Onları göremiyoruz ama onlar sayesinde radyo dinliyoruz, televizyon izliyoruz, cep telefonu ile konuşabiliyoruz ve yemek pişirebiliyoruz. Mikrodalgalar en basit tanımıyla, ışık hızında hareket eden kısa dalga boyu (1 mm - 1 m) ve yüksek frekansa sahip (300 MHz - 300

GHz) elektromanyetik bir enerjidir. Mikrodalga fırınlarda kullanılan yüksek ısı enerjisi taşıyan dalga boyu S bandı adı verilen 2 ila 4 GHz'lik frekansa sahip ışınlardır (Pozar, 2012).

Mikrodalğanın günümüzde yaygın olarak kullanılmasının temeli II. Dünya Savaşı yıllarına dayanmaktadır. II. Dünya Savaşı sırasında askeri amaçla radar vakum tüpleri için araştırma yapan Dr. Percy Spencer tesadüfen mikrodalğanın yiyecek ısıtmak için kullanılabileceğini bulmuştur. Mikrodalğanın plastik, cam, kâğıt gibi maddelerden geçebilme, metallere yansıma ve bünyesinde su molekülleri barındırdığı için gıdalar tarafından emilme gibi özellikleri yiyecekleri pişirme imkânı sunmuştur. Mikrodalğanın tüm bu özellikleri ve yiyecekleri çok kısa sürede pişiriyor olması yabancı ot kontrolünde de kullanılabilme olasılığını akıllara getirmiş ve bu alanda çalışmalar başlamıştır (Osepchuk, 1984).

Mikrodalgalar gerek toprak yüzeyine yakın yabancı ot tohumlarına gerekse genç fidelere uygulanabilmektedir. Çıkış sonrası uygulamalarda mikrodalga yayan sistemin hedefe doğru odaklanması önemlidir. Işınmaya maruz kalan yabancı otlarda, mikrodalgalar ilk olarak hücre duvarını geçmekte ve daha sonra yabancı otun bünyesinde barındırdığı su molekülleri tarafından emilmektedir. Bunun sonucunda bitkinin su içeren dokuları aşırı şekilde ısınmakta ve sitoplazma hücre duvarını yıkarak dışarı çıkmaktadır. Diğer taraftan aşırı ısınma nedeniyle yabancı otun bünyesindeki proteinler denatüre olarak işlevlerini yitirmektedir (Brodie vd., 2012). Ancak yabancı ot türlerinin mikrodalga uygulamasına karşı reaksiyonu aynı olmamaktadır. Örneğin aynı büyüklük ve yoğunluktaki *Abutilon theophrasti* Medik. (imam pamuğu) ve *Panicum miliaceum* L. (Arnavut darısı)'a uygulanan aynı dozdaki mikrodalga, yabancı otları aynı oranda kontrol edememiştir. *A. theophrasti*'nin kuru ağırlığını %90 oranında azaltabilmek için 1015 kJ m⁻² enerji gerekirken, *P. miliaceum* için 3433 kJ m⁻² enerji gerektiği belirlenmiştir (Sartorato vd., 2006). Benzer şekilde, *Raphanus raphanistrum* L. (yabani turp) 60 J cm⁻²'lik mikrodalga uygulaması ile %100 oranında kontrol edilirken, *Lolium rigidum* Gaudin (ince delice)'u tamamen öldürebilmek için 370 J cm⁻² enerji harcanması gerekmiştir (Brodie ve Hollins, 2015). Bu durum, büyüme noktası bir kınla korunduğu için monokotil türlerin dikotil türlere oranla daha dayanıklı olduğunu göstermektedir.

Mikrodalgalar aynı zamanda toprak içinde bulunan yabancı ot tohumlarının yok edilmesini de sağlayabilmektedir. Toprak üzerinden uygulama yapıldığı zaman toprağın birkaç cm altına kadar inebilmekte ve bu bölgelerde bulunan yabancı ot tohumlarına zarar vermektedir. Fakat bazen bunun tersi durumlarda söz konusu olmakta ve bazı türlerde dormansinin kırılmasını sağlayarak tohumun çimlenmesini teşvik edebilmektedir. Ancak bu da bazı türlerin topraktaki tohum popülasyonunu azaltmada kullanılabilir. Toprağa yapılacak uygulamalarda toprak yapısı ve su içeriğinin önemi bileşenler olduğu görülmüştür. Örneğin ağır bünyeli toprakların kumsal topraklara göre ve yine su içeriği yüksek toprakların kuru topraklara göre daha çabuk ısındığı ve ısıyı daha derine ilettiği belirlenmiştir (Brodie, 2007; Brodie vd., 2007a). Çim bitkileri (*Poaceae*) ile yapılan bir denemede, tohumu saran toprak sıcaklığı 65°C - 80°C'de iken 5-6 cm derindeki tohumların çimlenmesi inhibe olmuştur (Brodie vd., 2007b). Yine tohum büyüklüğünün de mikrodalga uygulamalarında sonucu etkilediği görülmüştür. Örneğin ortalama tane ağırlığı 41.7 mg olan buğday tohumlarının, tane ağırlığı 7.2 mg olan yabani yulafa göre daha hassas olduğu, yabani yulafın da ortalama tane ağırlığı 2.1 mg olan İngiliz çimine göre daha hassas olduğu görülmüştür (Brodie vd., 2007c) Bu durum kütleli küçük tohumların mikrodalga uygulamasına daha dayanıklı olduğunu göstermektedir. Ülkemizde tere ve roka tohumlarıyla yapılan bir laboratuvar çalışmasında farklı sürelerde uygulanan mikrodalganın etkisi araştırılmış ve 1 cm derinlikteki tohumların 126 saniyelik uygulamayla % 100'e yakın oranda kontrol edildiği belirlenmiştir (Şahin, 2014). Günümüzde mikrodalgalarla yabancı ot kontrolüne yönelik bazı prototipler geliştirilmiştir ve bu konudaki araştırmalar hızla devam etmektedir.

2.2. UHF ışınlarıyla yabancı ot kontrolü

UHF (Ultra High Frequency), ultra yüksek frekans manasına gelen ve adından da anlaşılacağı üzere titreşim sıklığı yüksek (300-3000 MHz) ve dalga boyu kısa (100 - 1000 mm) ışınları kapsamaktadır. Bu dalgalar genellikle radyo ve televizyon sinyalleri taşımacılığında kullanılır. Radyo dalgaları olarak adlandırılan ve bir hertz (Hz) ile 10^{12} hertz arasında değişen 12 farklı dalga boyundan 10^9 Hz olanıdır. Aslında bu dalgalar mikrodalgalarla sınır ve yer yer örtüşen karakteristiktir.

Bu nedenle bazı kaynaklarda mikrodalga ışınların daha düşük frekans ve yüksek dalga boylu bölümüne dahil edilmişlerdir. UHF dalgaları da mikrodalgalara benzer şekilde güçlü bir kaynaktan uygulandığında termal etkiye sahiptirler (Anonim, 2015a; Sorrentino ve Bianchi, 2010).

UHF ışınlarıyla yabancı ot kontrolü konusunda yapılan çalışmalara bakıldığında, daha çok toprak uygulamalarıyla yabancı ot tohumlarının kontrolüne yönelik çalışmalar olduğu görülmektedir. Örneğin, gerek topraktaki yabancı ot tohumlarına gerekse çıkış yapmış bitkilere 2450±20 MHz'lik UHF dalgası uygulanmış ve çıkış öncesi uygulamada başarılı sonuç almak için 70 Joule cm⁻²'den daha fazla bir enerji uygulanması gerektiği görülmüştür. Çıkış sonrası uygulamada ise geniş yapraklı yabancı otların dar yapraklılara göre daha hassas olduğu belirtilmiştir (Wayland vd., 1975). Benzer çalışmalarda UHF uygulamasını etkileyen diğer parametreler de araştırılmıştır. Buna göre, ıslak ve ağır bünyeli topraklardan, kuru ve hafif bünyeli topraklara göre daha fazla başarı elde edilmiştir (Rice ve Putnam, 1977). Benzer şekilde nem içeriği yüksek tohumların, kuru ya da nem içeriği düşük olanlara göre daha kolay ya da daha az miktarda enerji harcanarak kontrol edilebildiği, hatta çimlenmiş tohumların tamamen elimine edildiği belirtilmiştir (Milashchenko vd., 1980). UHF ışınlarının toprağa nüfus derinliği uygulanan enerji miktarına bağlı olarak değişmekle birlikte cm² ye 360 J'lük enerji uygulandığında 10 cm derinliğe kadar etki ettiği ve tohumun ve toprağın nem içeriği ve türü dikkate alınmaksızın deneme alanındaki tüm yabancı otların kontrol edildiği belirtilmiştir (Menges ve Wayland, 1974). UHF dalgaları, tohumu geç ve nispeten derinden çimlenen kültür bitkilerinin ekildiği alanlarda ki yabancı otlara karşı uygulanabilir niteliktedir.

2.3. Mor ötesi (ultraviyole) ışınlarla yabancı ot kontrolü

Dalga boyu 100-400 nm arasında değişen, X ışınlarıyla görünür ışık arasında kalan elektromanyetik radyasyona ultraviyole (UV) adı verilmektedir. İlk defa 1801 yılında X ışınlarının kimyasal maddelere etkileşimi incelenirken Alman fizikçi Ritter tarafından keşfedilmiştir (Hockberger, 2002). UV ışınlar insanlar tarafından çıplak gözle görülemezken, yakın UV kuş,

böcek ve balıklar tarafından görünür. Güneşten dünyaya gelen bu ışınların bir kısmı ozon tabakasından kolayca geçerek yeryüzüne ulaşırken, bir kısmı ozon tabakası tarafından tutulmaktadır. UV ışınlar; UV-A, UV-B ve UV-C olmak üzere üç kısma ayrılmaktadır. Bu şekilde gruplandırılmasının temel sebebi, bu ışınların farklı özelliklere sahip olması ve canlılar üzerindeki etkilerinin de farklı olmasıdır. UV-A (320-400 nm) ışınları en yaygın olan ve sağlığımız için en az tehlikeye arz eden ışınlardır. Ozon tabakası bu ışınların geçmesine yani yeryüzüne ulaşmasına izin verir. UV-B (290-320 nm) ışınları canlılar için oldukça tehlikeli ışınlardır. Ozon tabakası bu ışınların büyük bir kısmını tutar ve yeryüzüne ulaşmasını engeller. UV-C (100-290 nm) ışınları ise canlılar için en tehlikeli olan ışınlardır ve ozon tabakası bu ışınların tamamını tutar ve yeryüzüne ulaşmasını engeller (Stark ve Tan, 2008).

UV ışınların biyolojik materyale olan etkisi, bunların yabancı ot mücadelesinde kullanılabilirliğini aklı getirmiş ve bu konuda bazı çalışmalar yapılmıştır. Cen ve Bornman (1993) bitkilere UV ışık uygulandığında, neredeyse tüm enerjinin bitkiler tarafından absorbe edildiğini ve bunun sonucunda bitki dokularında ısınma meydana geldiğini görmüşlerdir. Andreassen vd. (1999), UV ışığın doğrudan yabancı ot mücadelesi amacıyla kullanımı konusunda bir araştırma yapmıştır. Sera koşullarında yapılan denemelerde 1 ila 100 GJ ha⁻¹ arasında değişen dozlarda UV ışığın *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik. (çoban çantası), *Senecio vulgaris* L. (kanarya otu), *Urtica urens* L. (ısırgan) ve *Poa annua* L. (salkım otu) gibi yabancı ot türlerini başıyla kontrol ettiğini ve ortamdaki yabancı ot florasının yaş ağırlığının %95 düzeyinde azalabilmesi için yaklaşık 10 GJ ha⁻¹lık doza gereksinim olduğu ortaya konmuştur. Diğer ışın uygulamalarında olduğu gibi burada da yabancı otun türü, gelişme safhası ve UV kaynağının bitkiden yüksekliği gibi parametrelerin sonucu etkileyeceği bildirilmektedir. Örneğin *Poaceae* türlerinde büyüme noktası bir kınla korunduğu için bu tür çimsi bitkilerde UV ışık bitkiye kalıcı hasar verememekte ve yeniden sürgün oluşmaktadır (Uphadyaya ve Blackshaw, 2007). UV denemelerinin tarla koşullarında başarılı sonuç vermemesi, toprak mikroflorasına etkisi, enerji tüketiminin yüksek olması ve canlılarda mutasyona sebep olma riskinin bulunması gibi nedenlerle UV ışınlarıyla yabancı ot kontrolü konusunda çok fazla araştırma yapılmamıştır.

2.4. Kızılötesi (infrared) ışınlarla yabancı ot kontrolü

Dalga boyu 750 nm ile 1 mm, frekansı ise 300 GHz ile 430 THz arasında değişen, görünür ışıktan büyük, mikrodalgadan daha küçük olan radyant ışınlardır. İlk olarak 19. yy'ın başında astronom William Herschel tarafından keşfedilmiştir. Gece görüş sistemleri, takip sistemleri, iletişim, termografi ve ısıtma gibi birçok kullanım alanı bulunan bu ışınların ısı şeklinde taşıdıkları yüksek enerjinin yabancı ot mücadelesi amacıyla kullanımı da söz konusudur (Lynch ve Livingston, 2001).

Yabancı ot mücadelesi amacıyla geliştirilen infrared (IR) yayıcılar daha çok petrol gazı türevlerinin yanmasıyla açığa çıkan enerji kullanılmaktadır. Bu tür sistemlerde IR enerji, seramik ya da metal yüzeylerin ısınmasıyla üretilir. Bunu tüple çalışan IR sobalara benzetebiliriz. Aslında bu sistem, yabancı ot mücadelesinde artık pratikte de kullanılan alevleme yönteminin biraz modifiye edilmiş halidir. Alev tabancalarından farklı olarak ısı, etrafı yalıtılmış bir panel üzerine yayılır ve ısınan yüzey ki bu sıcaklık ortalama 900 °C yi bulur, yabancı ota temas ederek zarar verir (Ascard, 1998).

IR ışınlar tarımsal amaçlı olarak ilk kez 1960'lı yıllarda pamukta yaprak dökücü (defoliant) olarak denenmiştir (Reifschneider ve Nunn, 1965'e atfen Uphadyaya ve Blackshaw, 2007). Yabancı ot mücadelesi amacıyla ise 1980'li yıllarda özellikle Avrupa'da birçok araştırmacı tarafından çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların çoğu IR yayıcılarla alevleme yönteminin kıyaslanması şeklinde yürütülmüştür. Bunlardan belki ilki Klooster (1983)'ün çalışması olup, bu çalışmada IR yayıcı sitemle alev tabancalarının farklı konumlandırıldığı üç farklı düzenek karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak alev tabancalarından oluşan üstü kapatılmış düzeneğin yabancı otları daha iyi kontrol ettiği görülmüştür. Parish (1989a), elektrik enerjisiyle çalışan dört farklı IR yayıcı düzeneği test bitkisi olarak *Sinapis alba* L. (akhardal) ve *Lolium italicum* (İtalyan çimi) üzerinde denemiştir. Sonuçta yabancı ot türü ve gelişme döneminin, sonucu etkileyen önemli parametreler olduğu ve bu iki tür için 200-400 kJ m⁻²lik enerjiye gereksinim duyulduğu ve İtalyan çiminin akhardala göre daha dayanıklı olduğu ortaya konmuştur. Aynı araştırmacının alevlemeyle IR uygulamasını karşılaştırdığı laboratuvar testlerinde ise alev ta-

bancasının dizaynı, açısı ve yerden yüksekliği gibi parametreler sonucu etkilemekle birlikte IR uygulamasıyla hemen hemen aynı oranda ve yakın enerji tüketimiyle *S. alba*'yı kontrol ettiğini, fakat *L. italicum*'u aynı oranda kontrol edebilmek için IR uygulamasında gerekli enerji miktarının alevlemeye göre %40 oranında daha fazla olduğu belirlenmiştir (Parish 1989b). Ascard (1998)'in yaptığı benzer bir çalışmada ise propan kaynaklı alevleme sistemi ile IR düzeniğinin, test bitkisi olarak *S. alba* üzerindeki etkinliği karşılaştırılmıştır. Kotiledon döneminde IR uygulaması daha başarılı sonuç verirken, dört yapraklı dönemde alevleme daha başarılı olmuştur. Her iki sistemde de yabancı ot 0-2 yapraklı dönemde iken %95 oranında kontrol altına alınabilmesi için 60 kg ha⁻¹lik propana ihtiyaç olduğu saptanmıştır. Ghantous ve Sandler (2015) kızılçik üretim alanlarını tehdit eden *Juncus effusus* L. (hasır otu)'un mücadelesinde alevleme ve IR yöntemlerini denemişler ve IR uygulamasının alevleme kadar başarılı sonuç vermediğini belirlemişlerdir. Infrared bazlı sistemlerde etkili bir sonuç almak için ihtiyaç duyulan enerji miktarının yüksek olması, alevleme ekipmanlarına göre nispeten daha düşük ısı üretmesi, uygulama hızının yavaş olması ve bazı arazi uygulamalarında sonuçların başarısız olması nedeniyle IR ışınların günümüzde tek başına kullanımı oldukça sınırlıdır. Ancak son dönemlerde alevleme ekipmanlarıyla IR uygulamalarını birleştiren hibrit sistemler de geliştirilmiştir.

2.5. Gama ışınlarıyla yabancı ot kontrolü

Gama ışınlarını ilk defa 1900 yılında Fransız kimyager ve fizikçi Paul Villard keşfetmiştir. Bu ışınlar atom çekirdeğinin enerji seviyesindeki farklılıklardan meydana gelmektedir. Son derece yüksek frekansa ve dolayısıyla yüksek enerjili fotonlara sahiptir. İyonlaştırıcı bir radyasyon türü olan gama ışınları (γ), aynı grupta yer alan alfa (α) ve beta (β) ışınlarına göre çok daha fazla nüfus edici özelliğe sahiptir. Öyle ki, duvar kalınlığındaki kurşun levhalarla ancak bir bölümü durdurulabilir ve taşıdıkları yüksek enerji nedeniyle temas ettikleri biyolojik materyallerde tahribata sebep olabilirler (Güler ve Çobanoğlu, 1994). Gama ışınının bu özelliği, özellikle toprak içindeki yabancı ot tohumlarını yok etmek amacıyla kullanılabilmesi fikrini doğurmuştur. Bu amaçla Bowen ve Smith (1959) 24 farklı yabancı ot türüne ait tohumlara farklı dozlarda gama

radyasyonu uygulamışlar ve daha sonları bunları steril toprağa ekerek çimlenme ve gelişmelerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda her yabancı ot türünün duyarlılığının farklı olduğu, genel olarak hardalgillere ait tohumların daha dayanıklı olduğu ve etkili şekilde kontrol edilebilmeleri için 100 bin rad dolayında gama ışınına gereksinim duyulduğu, buna karşılık denemeye alınan Poaceae türlerinin 30 bin radın altındaki bir uygulamayla kontrol edilebileceği sonucu ortaya çıkmıştır. Ancak gama ışınlarının temas ettiği tüm biyolojik materyali etkilemesi ve diğer ışınlardan farklı olarak canlıların DNA'sında değişimlere sebep olması bu ışınların zararlı yönetiminden çok tarımda mutasyon ıslahında kullanılmasının önünü açmış ve daha sonra yapılan çalışmalar bu yönde yoğunlaşmıştır. Bir diğer yaygın kullanım alanı ise paketlenmiş gıdaların sterilizasyon işlemidir. Diğer taraftan bu yöntemin, ışını uygulayan kişilere de zararlı etkileri söz konusu olabilmektedir. Bu nedenle bugüne kadar gama ışınlarıyla yabancı ot kontrolüne yönelik çok fazla çalışma yapılmadığı gibi bugün de pratikte kullanım alanı pek bulunmamaktadır.

2.6. Lazer ışınlarıyla yabancı ot kontrolü

Lazer, uyarılmış ışına ile kuvvetlendirilmiş ışık anlamına gelmektedir (Light Amplification Stimulated Emission Radiation: LASER). Dilimize "lazer" olarak geçmiştir. Aslında elektromanyetik spektrumdaki ışılardan farklı bir kaynağı yoktur. Sadece optik bir sistemle farklı dalga boylarındaki ışık yoğunlaştırılarak tek bir dalga boyuna ve frekansa indirgenir. Böylece fotonlar eş fazda, uyumlu, birbirine paralel ve doğrusal olarak hareket eder. İlk çalışan lazer, 1960 yılında Hughes Araştırma Laboratuvarı'nda Theodore Maiman tarafından geliştirilmiştir (Anonim, 2015b). Lazer ışığı keşfedildikten sonra tıp, endüstri, savunma sanayi, telekomünikasyon, mikrobiyoloji ve uzay teknolojisi gibi çeşitli alanlarda kullanılmaya başlanmış ve bu alanlarda birçok avantajlar sağlamıştır. Kullanım alanları arttıkça lazerin gelişim süreci de etkileyici bir şekilde artış göstermiş ve kullanım alanlarına bağlı olarak farklı tipleri geliştirilmiştir. Lazerin bugün; diyet lazer, CO₂ lazer, iyon lazer ve kimyasal lazer gibi çeşitleri bulunmaktadır (Köksal ve Köseoğlu, 2010).

Yabancı ot kontrolü amacıyla genellikle CO₂ lazerler kullanılmaktadır. Bunlar oldukça etkili ve güçlü lazerlerdir. Devamlı ve darbeli olmak

üzere iki çeşit CO₂ lazer bulunmaktadır (Silfvast, 2004). Uygulamada lazer kaynağının hedefe doğru odaklanması önemlidir. Lazer uygulaması kontakt etkilidir yani sadece ışının dokunduğu noktada zarar meydana getirebilmektedir. Genellikle yabancı otun uç meristemi, gövdesi veya yaprakları hedef alınarak lazerle kesme işlemi gerçekleştirilir. En etkili sonuç, yabancı otun uç meristemine uygulandığında alınmıştır. Çünkü uç meristem, bitkinin temel büyüme noktalarından biridir. Yabancı otun en önemli büyüme noktasının tahrip edilmesiyle otun gelişimi engellenmekte, azaltılmakta veya ot tamamen ortadan kaldırılmaktadır. Lazer uygulamasının ilk gerçek yapraklar oluşmaya başladığı dönemde yapılması tavsiye edilmektedir. En geç fide döneminde sonuç alınan bir yöntemdir. Daha sonraki dönemlerde yabancı otun lazer uygulaması ile yok edilmesi oldukça zordur (Mathiassen vd., 2006; Rask ve Kristoffersen, 2007).

Lazerle yabancı ot kontrolünün etkinliği; ışının dalga boyu, yabancı otun lazere maruz kalma süresi, lazerin nokta büyüklüğü yani çapı ve lazerin gücüne bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca lazer uygulamasının etkinliği yabancı otun türüne de bağlıdır. Örneğin *Stellaria media* (L.) Vill. (serçe dili), *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. (kokusuz papatya) ve *Brassica napus* L. (kolza) türlerine aynı dozda lazer uygulanmış ve *B. Napus*' un diğerlerine oranla daha dayanıklı olduğu saptanmıştır (Mathiassen vd., 2006). Benzer bir çalışma da, erken dönemdeki *Echinochloa crus-galli* (L.) P.B. (darıcan) ve *Amaranthus retroflexus* L. (horozibiği) üzerinde yapılmıştır. 10.600 nm dalga boyunda CO₂ lazer uygulanan yabancı otlardan horozibiği orta yoğunluktaki lazer uygulamasıyla çok rahat bir şekilde kontrol edilirken, darıcanın iki yapraklı dönemde kontrol edilebilmesi için yüksek dozda enerji uygulanması gerektiği, dört yapraklı dönemden itibaren de kontrol edilmesinin güçleştiği belirtilmiştir (Marx vd., 2012). Genel olarak hücre duvarı dayanıklı ve su içeriği az olan yabancı otların, hücre duvarı hassas ve su içeriği fazla olan yabancı otlara oranla lazer uygulamasından daha az etkilendiği bilinmektedir.

Enerji tüketiminin diğer termal yöntemlere göre daha düşük olması lazerle yabancı ot kontrolü konusunda son yıllarda yapılan çalışmaların sayısını artırmıştır. Özellikle hassas tarım teknolojileriyle birlikte kullanılarak, arazide yabancı otu,

kültür bitkisinden ayıran ve yabancı otun büyüme noktasına odaklanarak uygulama yapabilen robotik teknolojiler geliştirilmeye başlanmıştır.

3. Sonuç

Herbisitlerin keşfinden, yoğun bir şekilde kullanımına kadar geçen süre 50 yılı bulmamıştır. Bugün ise kimyasal mücadelenin sebep olduğu sorunların nasıl azaltılabileceği tartışılmaktadır. Bilimsel ve teknolojik gelişmeler neredeyse ışık hızında ilerlerken, ışığın taşıdığı enerjinin yabancı otları kontrol etmede bir yöntem olacağı belki de hiç akla gelmemiştir. Bugün ulaşılan teknolojik imkânlar bunu belirli ölçüde mümkün kılmaktadır. Bunda, ele alınan hedef organizmanın yani yabancı otların sahip olduğu özellikler son derece etkilidir. Çünkü yabancı otlar patojenler kadar küçük ve böcekler gibi hareketli değildir. Onların gözle görülür ve sabit olması, mücadelesi için yeni tekniklerin geliştirilmesinde büyük kolaylık sağlamıştır.

Yabancı otların kontrolünde UV, IR ve gama ışınları gerek uygulamada taşıdığı riskler, gerekse saha çalışmalarında henüz çok başarılı sonuçların elde edilmemesi nedeniyle şu an ve yakın gelecekte ki kullanımının sınırlı olacağı tahmin edilmektedir. Bugün üzerinde en çok çalışılan ve ümit var görülen uygulamalar ise mikrodalga ve UHF ışınları içine alan radyo dalgaları ile lazer teknolojisi. Özellikle hassas tarım teknolojileri yaygınlaştıkça bu tür ışınlarla mücadele uygulamaları artacaktır. Çünkü bu uygulamalar sayesinde hedef odaklı bir mücadele mümkün kılınmaktadır. Bu sayede ışınlarla mücadelenin dezavantajı sayabileceğimiz yüksek enerji tüketimi ve seçicilik konularına bir çözüm bulunmuş olacaktır. Zira bu sistemler sayesinde sadece yabancı otun bulunduğu noktaya uygulama yapılmakta ve böylece enerji tüketimi minimuma indirilmektedir. Bu ve benzeri sistemler birçok ülkede geliştirilmiş ve patent alınmıştır. Ancak bunların hemen hiçbiri ticari ve pratik olarak sahada kullanıma şu an için müsait değildir. Diğer taraftan yabancı ot tohum popülasyonunu azaltmak için toprağa yapılan uygulamalarda, toprak mikro flora ve faunasının nasıl etkileneceği ile ilgili ekolojik çalışmaların mutlaka yapılması ve bugün için öngöremediğimiz yan etkileri konusunda dikkatli ve tedbirli olunması gerekmektedir. Herbistlere dayanıklılığın günden güne arttığı günümüz koşullarında alternatif bir

yöntem olarak son derece önü açık ve yeni gelişmelere matuf bu konuda çok yönlü ve daha ileri düzeyli çalışmaların yapılması büyük önem arz etmektedir.

Kaynaklar

Andreasen C, Hansen L, Streibig JC, 1999. The Effect of Ultraviolet Radiation on The Fresh Weight of Some Weeds and Crops. *Weed Technology*, 13(3): 554-560.

Anonim, 2015a. The Electromagnetic Spectrum, The Physics Hypertextbook. Erişim tarihi: 13.10.2015. <http://www.hypertextbook.com>.

Anonim, 2015b. World of Lasers. Erişim tarihi: 19.10.2015. <http://www.worldoflasers.com/>

Ascard J, 1998. Comparison of Flaming and Infrared Radiation Techniques for Thermal Weed Control. *Weed Research*, 38: 69-76.

Bowen HJM, Smith SR, 1959. Effect of Gamma-Radiation on Weeds. *Nature*, 183: 907.

Brodie G, Pasma L, Bennett H, Harris G, Woodworth J, 2007a. Evaluation of Microwave Soil Pasteurization for Controlling Germination of Perennial Ryegrass (*Lolium perenne*) Seeds. *Plant Protection Quarterly*, 22:150-154.

Brodie G, 2007. Simultaneous Heat and Moisture Diffusion During Microwave Heating of Moist Wood. *Applied Engineering in Agriculture*, 23 (2):179-187.

Brodie G, Hamilton S, Woodworth J, 2007b. An Assessment of Microwave Soil Pasteurization For Killing Seeds and Weeds. *Plant Protection Quarterly*, 22(4): 143-149.

Brodie G, Botta C, Woodworth J, 2007c. Preliminary Investigation Into Microwave Soil Pasteurization Using Wheat as a Test Species. *Plant Protection Quarterly*, 22(2):72-75.

Brodie G, Ryan C, Lancaster C, 2012. Microwave Technologies as Part of an Integrated Weed Management Strategy: A Review. *International Journal of Agronomy*, 2012:1-14.

Brodie G, Hollins E, 2015. The Effect of Microwave Treatment on Ryegrass and Wild Radish Plants and Seeds. *Global Journal of Agricultural Innovation, Research & Development*, 2:16-24.

Cen YP, Bornman JF, 1993. The Effect of Exposure to Enhanced UV-B Radiation on The Penetration of Monochromatic and Polychromatic UV-B Radiation In Leaves of *Brassica napus*. *Physiologia Plantarum*, 87(3): 249-255.

Çavuşoğlu O, Kitiş YE, 2014. Robotlarla Yabancı Ot Kontrolü. *Agrotime*, 12: 78-79.

Ghantous KM, Sandler HA, 2015. Hand-held Flame Cultivators for Spot Treatment Control of Soft Rush (*Juncus effusus*). *Weed Technology*, 29(1):121-127.

Güler Ç, Çobanoğlu Z, 1994. Elektromanyetik Radyasyon. T.C. Sağlık Bakanlığı, Temel Sağlık Hizmetleri Gen. Müd. Yay. No: 32, 28 s., Ankara.

Günçan A, 2013. Yabancı Otlar ve Mücadele Prensipleri. Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 313 s., Konya.

Heap IM, 1997. The Occurrence of Herbicide-resistant Weeds Worldwide. *Pesticide Science*, 51:235-243.

Hockberger PE, 2002. A History of Ultraviolet Photobiology for Humans, Animals and Microorganisms. *Photochemistry and Photobiology*, 76(6):561-579.

Klooster JJ, 1983. Weed Control by Heat – An Interesting Alternative. *Landbouwmecanisatie*, 34(8):787-789.

Köksal F, Köseoğlu R, 2010. Spektroskop ve Lazerlere Giriş. Nobel Akademik Yayıncılık, 302 pp, Ankara.

Ludig M, Cardei P, Muraru V, Mihailov N, 2014. Ways to Optimize The Electromagnetic Waves Applications in Agriculture and Food Industry. *INMATEH-Agricultural Engineering*, 42(1):75-82.

Lynch DK, Livingston W, 2001. Color and Light in Nature (2nd ed.). Cambridge, UK Cambridge University Press. p. 231.

Marx C, Barcikowski S, Hustedt M, Haferkamp H, Rath T, 2012. Design and Application of a Weed Damage Model for Laser-based Weed Control. *Biosystems Engineering*, 13(2):148-157.

- Mathiassen SK, Bak T, Christensen S, Kudsk P, 2006. The Effect of Laser Treatment as a Weed Control Method. *Biosystems Engineering*, 95 (4):497-505
- Menges RM, Wayland JR, 1974. UHF Electromagnetic Energy for Weed Control in Vegetables. *Weed Science*, 22(6):584-590.
- Milashchenko NZ, Izakov FY, Ionin PF, Matveev BA, Taratorin AS, 1980. The Possibility of Weed Control by The Use of an Ultra-high Frequency (UHF) Electromagnetic Field. *Aktual'nye voprosy bor'by somnymi rasteniyami*, 270-272.
- Osepchuk JM, 1984. A History of Microwave Heating Applications. *Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 32(9): 1200-1224.
- Parish S, 1989a. Weed Control – Testing The Effects of Infrared Radiation. *Agricultural Engineer*, 44(2): 53-55.
- Parish S, 1989b. Investigations Into Thermal Techniques for Weed Control. *Proceedings of the 11th International Congress on Agricultural Engineering*, 2151-2156.
- Pozar DM, 2012. *Microwave Engineering*. 4th Edition. Hamilton Printing, Wiley Inc. 732 pp, ABD.
- Rask AM, Kristoffersen, P., 2007. A Review of Non-chemical Weed Control on Hard Surfaces. *Weed Research*, 47: 370–380.
- Rice RP, Putnam AR, 1977. Some Factors Which Influence The Toxicity of UHF Energy To Weed Seeds. *Weed Science*, 25(2): 179-183.
- Silfvast WT, 2004. *Lazer Fundamentals*. Cambridge University Press, The Edinburgh Building, Cambridge, UK.
- Sartorato I, Zanin G, Baldoin C, De Zanche C, 2006. Observations on the Potential of Microwaves for Weed Control. *Weed Research*, 46,1-9.
- Sorrentino R, Bianchi G, 2010. *Microwave and RF Engineering*. Wiley Publishing, 912pp, UK.
- Stark WS, Tan KEWP, 2008. Ultraviolet Light: Photosensitivity and Other Effects on The Visual System. *Photochemistry and Photobiology*, 36(3):371-380.
- Strizhachenko LI, 1983. Electromagnetic Radiation for Weed Control. *Kartofel'i Ovoshchi*, 5:38-39.
- Şahin H, 2014. Effects of Microwaves on the Germination of Weed Seeds. *J. of Biosystems Eng*. 39(4):304-309.
- Tiryaki O, Canhilal R, Horuz S, 2010. Tarım İlaçları Kullanımı ve Riskleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(2): 154-169
- Upadhyaya MK, Blackshaw R, 2007. *Non-chemical Weed Management: Principles, Concepts and Technology*. CAB International, 211 pp, UK.
- Wayland J, Merkle M, Davis F, Menges RM, Robinson R, 1975. Control of Weeds With UHF Electromagnetic Fields. *Weed Research*, 15(1):1-5.