



T.C.

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**DOĞAL ORTAMDA YETİŞEN BAZI YABANCI OTLAR
ÜZERİNDE DİYOT LAZER UYGULAMASININ DEPRESİF
ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

YUSUF ZİYA ŞAHİN

Tez Danışmanı

DOÇ. DR. ANIL ÇAY

ÇANAKKALE – 2022



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

**DOĞAL ORTAMDA YETİŞEN BAZI YABANCI OTLAR ÜZERİNDE DİYOT
LAZER UYGULAMASININ DEPRESİF ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yusuf Ziya ŞAHİN

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Anıl ÇAY

ÇANAKKALE – 2022

ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Yusuf Ziya ŞAHİN

28/01/2022

TEŐEKKÖR

Bu tezin ortaya çıkmasında, çalıőmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen saygıdeęer danıőman hocam Doç. Dr. Anıl ÇAY'a ve yűksek lisans eęitimim sűresince geliőimime katkı saęlayan tűm hocalarıma teőekkűrlerimi sunarım.

Yusuf Ziya ŞAHİN
anakkale, Ocak 2022

ÖZET

DOĞAL ORTAMDA YETİŞEN BAZI YABANCI OTLAR ÜZERİNDE DİYOT LAZER UYGULAMASININ DEPRESİF ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Yusuf Ziya ŞAHİN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Anıl ÇAY

28/01/2022, 28

Yabancı ot kontrolünde lazerin etkili bir şekilde kullanılmasına katkı sağlanması amaçlanan bu çalışmada; Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dardanos Araştırma ve Uygulama Birimi deneme tarlalarında sık rastlanan yoğurt otu (*Galium aparine*), uyuz otu (*Scabiosa spp.*), ve sarı sütleğen (*Euphorbia helioscopia*) türleri seçilmiş ve doğal ortamda yetişen bu otlar üzerinde diyot lazer uygulamasının depresif etkileri gözlenmiştir. Her bir tür için oluşturulan deney gruplarına 5500 mW gücünde ve 450 nm dalga boyunda diyot lazer modülü kullanılarak bitki sapı bölgesinden; yoğurt otu ve uyuz otuna ait deney gruplarına ise apikal meristem bölgesinden 5,50 J, 11,00 J, 16,50 J ve 22,00 J olmak üzere dört farklı dozda lazer uygulanmış ve 3 hafta sonra hasat edilen bu ot gruplarında kontrol gruplarına oranla kuru ağırlık bazında gelişim düzeyleri lojistik gelişim modeli regresyon analizleri yapılarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda bitki sapına lazer uygulamasının her üç yabancı otun kontrolünde de başarılı olarak kullanılabileceği ortaya koyulmuştur. Bitki saplarına yapılan uygulamalarda ED₉₀ değerleri; yoğurt otu için 14,42 J, uyuz otu için 11,04 J ve sarı sütleğen için 18,04 J olarak tespit edilmiştir. Bitki apikal meristemine yapılan uygulamalarda ise lojistik gelişim modeline göre azami enerji dozuna ulaşılması durumunda bitki gelişiminin %90 oranının daha altında oranlarda azaltılabileceği görülmüştür. Bu oranlar yoğurt otu için %72,18 ve uyuz otu için ise %41,64 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Diyot Lazer, Yabancı Ot Kontrolü, Etkili Doz

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE DEPRESSIVE EFFECTS OF DIODE LASER APPLICATION ON SOME WEEDS GROWING IN NATURAL HABITAT

Yusuf Ziya ŞAHİN

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Master of Science Thesis in the Department of Agricultural Machinery and Technologies

Engineering

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Anıl ÇAY

01/28/2022, 28

In this study, which aims to contribute to the effective use of laser beams in weed control; cleavers (*Galium aparine*), scabious (*Scabiosa spp.*), and sun spurge (*Euphorbia helioscopia*) species commonly seen in the trial fields of Dardanos Research Unit of Çanakkale Onsekiz Mart University, were selected and the depressive effects of diode laser application on these naturally grown herbs were observed. The experimental groups to be formed for each species to apply on stems and the groups of cleavers and scabious to apply on apical meristems; four different doses of laser energy (5.50 J, 11 J, 16.50 J and 22 J) was applied by using a diode laser module with a power of 5500 mW and a wavelength of 450 nm. Then these weed groups harvested 3 weeks later were compared to the control groups. In this study, the development levels based on dry weight were examined by performing regression analyzes with logistic growth model. As a result of the study, it was revealed that laser application to the plant stem can be used successfully in the control of all three weeds. ED₉₀ values for applications to plant stems; It was determined as 14.42 J for clivers (*G. aparine*), 11.04 J for scabious (*Scabiosa spp.*) and 18.04 J for sun spurge (*E. Helioscopia*). In the applications made to the plant apical meristem, it has been observed that the plant growth can be reduced by less than 90% if the maximum energy dose is reached according to the logistic growth model. These rates were calculated as 72.18% for clivers (*G. aparine*) and 41.64% for scabious (*Scabiosa spp.*).

Keywords: Diode Laser, Weed Control, Effective Dose

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ETİK BEYAN.....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER	v
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1

İKİNCİ BÖLÜM

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

4

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL YÖNTEM

8

3.1. Denemede Kullanılan Yabancı Otların Belirlenmesi	8
3.2. Deney ve Kontrol Gruplarının Oluşturulması	9
3.3. Uygulama Esnasındaki Bitki Kuru Ağırlıklarının Tespiti	11
3.4. Denemelerde Kullanılan Lazer ve Uygulamalar	12
3.5. Yabancı Otların Hasat Edilmesi ve Kuru Ağırlıklarının Tespiti	14
3.6. Veri Analizlerinin Yapılması	14

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI

16

BEŞİNCİ BÖLÜM
SONUÇ ve ÖNERİLER

26

KAYNAKÇA

27



SİMGELER VE KISALTMALAR

ED ₉₀	Yüzde doksan oranında etkili doz
ED ₅₀	Yüzde elli oranında etkili doz
°C	Derece santigrat
J	Joule
s	Saniye
g	Gram
%	Yüzde oranı
mW	Miliwatt
W	Watt
DC	Doğru akım
V	Volt
cm	Santimetre
mm	Milimetre
nm	Nanometre
CO ₂	Karbondioksit
He-Ne	Helyum-Neon
Nd:YAG	Neodimyum katkılı itriyum alüminyum granat
UHF	Ultra yüksek frekans
Tm	Tulyum

TABLULAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	Denemelerde kullanılan yabancı otlar	9
Tablo 2	Yoğurt otu (<i>Galium aparine</i>) için oluşturulan kontrol grubu ve deney grubu bilgileri	10
Tablo 3	Uyuz otu (<i>Scabiosa spp.</i>) için oluşturulan kontrol grubu ve deney grubu bilgileri	10
Tablo 4	Sarı sütleğen (<i>Euphorbia helioscopia</i>) için oluşturulan kontrol ve deney grubu bilgileri	11
Tablo 5	Lazer uygulamasındaki esnasındaki örnek bitki gruplarının kuru ağırlıklarına ilişkin tablo	12
Tablo 6	Uygulanan enerji dozlarına ilişkin tablo	13
Tablo 7	Yoğurt otu (<i>Galium aparine</i>) üzerinde yapılan denemelerde elde edilen ölçüm sonuçları	16
Tablo 8	Uyuz otu (<i>Scabiosa spp.</i>) üzerinde yapılan denemelerde elde edilen ölçüm sonuçları	17
Tablo 9	Sarı sütleğen (<i>Euphorbia helioscopia</i>) üzerinde yapılan denemelerde elde edilen ölçüm sonuçları	17

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	Lazer uygulanan bölgelerin temsili bitki çizimi üzerinde gösterimi	8
Şekil 2	İşaretlemelerden örnekler	9
Şekil 3	Kurutma işleminde ve ağırlık ölçümünde kullanılan Etüv (1) ve Hassas Terazî (2)	11
Şekil 4	Denemelerde kullanılan lazer modülüne ait görüntüler	12
Şekil 5	Lazer uygulamasına dair örnek görüntüler	13
Şekil 6	Hasat edilen bitkilerden örnek görüntü	14
Şekil 7	Yoğurt otu (<i>Galium aparine</i>) için sap ve apikal meristem bölgesine yapılan uygulamaların sonuçlarının karşılaştırılması	18
Şekil 8	Uyuz otu (<i>Scabiosa spp.</i>) için sap ve apikal meristem bölgesine yapılan uygulamaların sonuçlarının karşılaştırılması	18
Şekil 9	Yoğurt otu (<i>Galium aparine</i>) apikal meristem bölgesine yapılan uygulamaya ait doz-yanıt grafiği	19
Şekil 10	Yoğurt otu (<i>Galium aparine</i>) apikal meristemine yapılan uygulama sonucunda gelişimdeki azalma için ölçüm değerleri ve model tahmin değerlerinin karşılaştırılması	20
Şekil 11	Uyuz otu (<i>Scabiosa spp.</i>) apikal meristem bölgesine yapılan uygulamaya ait doz-yanıt grafiği	21
Şekil 12	Uyuz otu (<i>Scabiosa spp.</i>) apikal meristemine yapılan uygulama sonucunda gelişimdeki azalma için ölçüm değerleri ve model tahmin değerlerinin karşılaştırılması	21
Şekil 13	Yoğurt otu (<i>Galium aparine</i>) sap bölgesine yapılan uygulamaya ait doz-yanıt grafiği	22
Şekil 14	Yoğurt otu (<i>Galium aparine</i>) bitki sapına yapılan uygulama sonucunda gelişimdeki azalma için ölçüm değerleri ve model tahmin değerlerinin karşılaştırılması	23

Şekil 15	Uyuz otu (<i>Scabiosa spp.</i>) sap bölgesine yapılan uygulamaya ait doz-yanıt grafiği	23
Şekil 16	Uyuz otu (<i>Scabiosa spp.</i>) bitki sapına yapılan uygulama sonucunda gelişimdeki azalma için ölçüm değerleri ve model tahmin değerlerinin karşılaştırılması	24
Şekil 17	Sarı sütleğen (<i>Euphorbia helioscopia</i>) sap bölgesine yapılan uygulamaya ait doz-yanıt grafiği	24
Şekil 18	Sarı sütleğen (<i>Euphorbia helioscopia</i>) bitki sapına yapılan uygulama sonucunda gelişimdeki azalma için ölçüm değerleri ve model tahmin değerlerinin karşılaştırılması	25

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Bitkisel üretimde verime etki eden unsurların en önemlilerinden biri kültür bitkisi etrafında gelişen yabancı ot popülasyonunun doğru yönetilmesidir. Bu nedenle; yabancı ot varlığının ekonomik zarar eşiğinin altında tutulması amacıyla birçok kimyasal ve kimyasal olmayan yöntem kullanılmaktadır (Tu vd., 2001). Yabancı ot kontrolünde, çapalama ve toprak işleme gibi klasik yöntemlerin yanında kullanılmakta olan en yaygın yöntem kimyasal kullanımıdır (Wöltjen vd., 2008; Bayat vd., 2017). Kimyasal kullanımına dayanan yöntemler, çevreye ve insan sağlığına yönelik olumsuz etkileri nedeniyle sorgulanmakta iken (Tiryaki vd., 2010) çapalama, yolma ve toprak işleme gibi diğer geleneksel yöntemler de yüksek enerji, zaman ve iş gücü maliyetleri gibi bazı olumsuz özellikleri beraberinde getirmektedir. Bu nedenle; endüstri ve araştırmacılar tarafından, kimyasal kullanımını azaltan veya ortadan kaldıran ve düşük enerji sarfiyatlarına sahip çeşitli alternatif yöntemlerin geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Yabancı otun doğal düşmanı olarak tanımlanabilecek bazı hayvan, böcek, mikroorganizma veya bitki türüne maruz bırakılarak bertaraf edilmesine dayanan biyolojik yöntemler, toprak üzerinin şeffaf bir örtüyle kaplanarak solar enerji aracılığıyla toprağın sıcaklığının artırılması sonucu yabancı otların etkisiz hale getirilmesine dayanan solarizasyon yöntemi, sıvı azot veya CO₂ gibi soğutucu maddeler kullanılarak yabancı otun dondurularak etkisiz hale getirilmesine dayanan yöntem, yabancı otun doğrudan aleve, sıcak su veya sıcak buhara maruz bırakılarak etkisiz hale getirilmesine dayanan termal yöntemler ya da yabancı otların elektriğe veya kızılötesi, mor ötesi, UHF, mikrodalga ve lazer ışınları gibi elektromanyetik radyasyona maruz bırakılması sonucunda oluşan ısı enerjisiyle bertaraf edilmesine dayanan bazı yöntemler, ot mücadelesinde kullanılan veya kullanım olanağı araştırılan alternatiflere örnek gösterilebilir (Uygur ve Uygur, 2010; Yıldız vd., 2018). Ayrıca; uzaktan algılama, görüntüleme, görüntü işleme, yazılım ve robotik gibi alanlarda meydana gelen teknolojik gelişmeler sonucunda birçok farklı sektörde olduğu gibi, tarım alanında kullanılan makinelerin de otonom sistemler şeklinde tasarlanması yönünde bir eğilim bulunmaktadır. Bu kapsamda; hassas tarım uygulamalarına ve otonom sistemlere uyarlanması kolay olmasıyla birlikte, aynı zamanda enerji verimliliği ve sürdürülebilir enerji kaynaklarından beslenebilecek sistemlerin tasarımına uygun özellikleri nedeniyle yabancı ot kontrolünde

lazer teknolojisinin kullanılması da önemli bir alternatif olarak değerlendirilmektedir (Şahin ve Çay, 2019).

Uyarılmış ışımaya ile ışığın güçlendirilmesi anlamına gelen İngilizce ifadenin (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) baş harflerinden adını alan lazer (laser); tıp, imalat sistemleri, savunma sanayii ve bilişim teknolojileri gibi birçok alanda kullanılmasının yanı sıra; bitki boyutlarının ölçümü, tohum filizlenmesinin uyarılması gibi amaçlarla halihazırda tarımda da kullanılmaktadır (Hernandez vd., 2010). Birçok lazer türü bulunmakta olup; tarımda en sık kullanılan türler CO₂, Argon, Diyot, He-Ne, Nd:YAG ve Azot lazerlerdir (Hernandez vd., 2010).

Lazer teknolojisi, yabancı ot kontrolünde henüz pratik olarak yaygın şekilde kullanılmamakla birlikte, lazer uygulamasının yabancı otlar üzerindeki etkinliğine ve lazer teknolojisinin bu alanda kullanımının sağlanmasına yönelik çalışmalar uzun süredir yapılmaktadır. Kullanımı amaçlanan bu ot kontrol yöntemi, lazer ışınlarıyla transfer edilen ısı enerjinin bitki tarafından soğurulmasıyla bitki dokularının zarar görmesi ve gelişiminin tamamen durdurulması veya zayıflatılmasına dayanmaktadır. Heisel vd. (2000) çalışmalarında bitki sapının lazer kullanılarak kesilmesiyle etkili şekilde ot kontrolü yapılabileceğini göstermişlerdir. Fakat görüntü işleme teknolojisi ile daha çok yukarıdan alınan görüntü üzerinden bitki tanılaması yapıldığından bitki sapına lazer uygulamasının görüntü işleme teknolojisiyle entegre şekilde pratik olarak kullanılamayacağı, apikal meristemin daha kolay tespit edilip hedeflenebileceği öne sürülmüştür (Mathiassen vd., 2006). Ayrıca; bitki sapının tamamen kesilmesi için nispeten yüksek enerji sarfıyatı gerektiğinden, yabancı ot varlığının belli oranlarda azaltılacağı ve zarar eşliğinin altında tutulacağı dozların belirlenmesi üzerine yoğunlaşarak enerjinin etkin kullanımının sağlanması benimsenmiştir. Bu nedenle daha sonraki çalışmalar çoğunlukla bitkinin apikal meristemine yapılan lazer uygulamasının etkileri üzerine olmuştur. Fakat bu çalışmalarda apikal meristeme yapılan lazer uygulamasının bitkilerin kotiledon döneminde etkili sonuç verdiği, daha ileri aşamalarda farklı noktalardan ek uygulamaların yapılması gerekebileceği görülmüştür (Mathiassen vd., 2006).

Lazer kullanılarak yabancı ot kontrolü yapılması konusunda yürütülen çalışmalar, deney ve kontrol gruplarının daha kolay standardize edilebilmesini sağlamak amacıyla bugüne kadar genellikle kontrollü ortamlarda (laboratuvar veya saksılar) yetiştirilen bitkiler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kontrollü ortamlarda aynı türe ait ve eş zamanlı olarak yetiştirilen bitkilerde tanılama ve aynı noktadan hedefleme daha kolay olacaktır. Doğal ortamda yetişen bitkilerde farklı türlerin bir arada bulunması, kültür bitkisi veya diğer yabancı otlar tarafından örtülmeleri, farklı boyut ve gelişim aşamasında olabilmeleri gibi birçok problemle karşılaşılması beklenmektedir. Bu durum; lazerle ot kontrolünün efektif olarak kullanılması için çok faktörlü selektif bir yaklaşımı zorunlu kılmaktadır. Kurgulanacak sistemin kültür bitkisinin bulunduğu alanlarda ve sıra arası gibi diğer alanlarda davranışının farklı olması, bitkiyi çeşitli açılardan görebilmesi ve hedefleyebilmesi, yabancı otun gelişim düzeyi ve hedefleme yapabileceği en etkin bölgeyi seçerek uygulaması gereken enerji dozunu ve lazer odağını bunlara göre belirleyebilmesi gerekmektedir. Ayrıca; lazer uygulamasının, kontrollü ortamlarda yetiştirilen bitkiler ve doğal ortamda kendiliğinden yetişen yabancı bitkiler üzerindeki etkisinin farklı olması beklenebilir. Bu nedenle bugüne kadar yapılan çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada; doğal ortamlarında kendiliğinden yetişen, kotiledon dönemden daha ileri gelişim aşamasında yabancı otlar seçilmiştir. Bu otlara farklı açılardan lazer ışınması uygulayabilen bir düzenek tasarlanarak, bitki sapını ve apikal meristemi hedefleyebilen bir sistem taklit edilmiştir. Seçilen yabancı otlarda, bu iki noktadan yapılan uygulamaların etkinliği karşılaştırılmış ve elde edilen bulguların daha önce yapılan çalışmalarla uyumluluğu tartışılmıştır. Literatüre, doğal ortamda yetişen 3 farklı yabancı ot türünün diyot lazer uygulamasına verdiği tepkilere ilişkin bilgiler ve bu bitkilerde gelişimin önemli ölçüde azaltılabilmesi için uygulanması gereken enerji dozlarına dair veriler kazandırılmıştır.

İKİNCİ BÖLÜM

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tezde konu alınan, yabancı ot kontrolünde lazer kullanımına dair literatürde bulunan bazı çalışmaların özetleri aşağıda sunulmuştur:

Kaierle vd. (2020), her biri ayrı saksılar içerisinde yetiştirdikleri *Amaranthus retroflexus* bitkisine bir gaz lazeri (CO₂ , 10,600 nm), bir fiber lazer (Tm, 1,908 nm), bir diyot lazer (940 nm) ve bir katı hal lazeri (Nd:YaG, 532 nm) kullanarak 4 farklı lazer türünde farklı çıkış güçlerinde 10 tekrarlı uygulama yapmışlar ve fotospektrometre ile en verimli absorpsiyonun CO₂ lazerde olduğunu tespit etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada kamera ve lazer tarayıcı da kullanarak görüntü algılama ile tespit edilen çeşitli tür ve gelişim aşamalarındaki bitkilerin yüksek doğruluklarda hedeflenmesi üzerine denemeler yapmışlardır. Alınan sonuçlarda lazer dalga boyu ve spektral absorpsiyon değerinin yanında; gönderilen ışın çapının, lazer noktasının bitki meristemini ne ölçüde kapatabildiğinin, hedefleme doğruluğunun ve ayrıca bitki gelişim düzeyinin önemli olduğunu vurgulamışlardır. CO₂ lazerin nispeten düşük verimlilikte bile en düşük enerji gereksinimine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Yaklaşık 30 mm boy ve 8±3 mg ağırlığa sahip olduğu gelişim aşamasındaki *Amaranthus retroflexus* bitkisine meristemin %100 kapatılacağı şekilde lazer uygulanması durumunda bitki başına 25 J enerji kullanarak mücadele edilebileceğini göstermişlerdir.

Çay vd. (2015), laboratuvar koşullarında, saksı içerisinde yem bezelyesi (*Pisum arvense L.*) yetiştirmişler, bitkiler 4-5 yapraklı hale geldiklerinde 2000 mW çıkış gücünde ve 447 nm dalga boyunda ışına yapan diyot lazer ile iki farklı ışın çapında (3mm ve 5mm), 4 farklı dozda ve 3 tekrarlı olmak üzere ışına uygulayarak bitkileri bu ışımaya maruz bırakmışlardır. Lazer uygulamasından 21 gün sonra bitkilerin yaş ve kuru ağırlıkları hassas terazide ölçülerek her bir deney grubu ve kontrol grubundan elde edilen değerler doğrusal olmayan regresyon analizi ile işlenmiştir. Araştırma sonucunda; 5mm ışın çapında lazer ışınması uygulanan bitkilerde daha yüksek ölüm oranı elde edilirken 3mm ışın çapında lazer

ışması uygulanan bitkilerde daha fazla depresif etki ve biokütle azalması meydana geldiği gösterilmiştir.

Marx vd. (2012a), 10600 nm dalga boyunda CO₂ lazer ışmasının, üç farklı ışın çapı, üç farklı lazer pozisyonu, altı farklı lazer yoğunluğu seçenekleriyle üç farklı gelişim aşamasındaki iki farklı bitki türü (monokotiledon: *Echinochloa crus-galli*, dikotiledon: *Amaranthus retroflexus*) üzerindeki etkilerini değerlendirmişler ve selektif lethal lazer dozunun %95 olarak değerlendirildiği çalışmada, en iyi sonuçların, erken aşamadaki bitkilerde yüksek yoğunlukta lazer ışınını uygulanması ile elde edildiğini göstermişlerdir. Ayrıca; monokotiledon bitkilerin iki yapraklı dönemlerinde yüksek yoğunluklu ışımdan zarar gördükleri fakat 4 yapraklı dönemlerinde bu bitkilerin öldürülmesinin zor olduğu, dikotiledon bitkilerde ise 2 yapraklı dönemlerinde orta yoğunluklu ışına ile zarar gördükleri gösterilmiştir. Başka bir ifadeyle monokotiledon bitkilerde dikotiledonlara göre daha yüksek asgari lazer dozlarının belirlenmesi gerektiği ortaya koyulmuştur.

Marx vd. (2012b), klasik termal ot kontrol yöntemlerinin etkili bir seçenek olduğunu fakat seçici uygulama konusunda kısıtlı imkanlara sahip olmalarından dolayı enerji verimliliği anlamında dezavantajlı olduğunu belirtmişler, lazer ile odaklanmış enerjinin bitki meristemine yüksek seçicilikle iletilmesiyle bu dezavantajın ortadan kaldırılabileceğine değinmişlerdir. Lazer teknolojisi ile başarılı bir ot kontrolü yapılabilmesi için etkin bir hedeflemenin ve bitki üzerindeki termal etkinin çok önemli olduğunu vurgulamışlar, bu nedenle de hedefleme amacıyla bir prototip sistem geliştirmişler ve lazerden bitkiye ısı girişini incelemişlerdir. Lazerden radyasyonunun ot dokusu üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla *Amaranthus retroflexus* bitkisine farklı cinslerde lazer tipi kullanarak çeşitli parametrelerde lazer ışması uygulamışlar ve termal kamera yardımı ile bitki dokuları üzerindeki sıcaklık değişimini izlemişlerdir. Sonuç olarak; bitkiye verilecek etkin ölümcül hasarın bitki meristemine iletilecek enerjinin verimliliğine ve lazer uygulamasının doğruluğuna bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Lazerle ot kontrolünde yüksek enerji verimliliğinin; orta kızılötesi aralığında dalga boyu ve meristem boyutundan daha küçük ışın çapı kullanarak, sabit noktaya kesintisiz uygulamadan ziyade zayıf atımlı veya dolambaçlı yol izleyen şekilde lazer ışını uygulayarak ve lazer ışınının oluşturduğu nokta ile hedef noktaya ait alanların geniş şekilde örtüşmesi sağlanarak yakalanabileceğini bildirmişlerdir.

Ayrıca bitki dokusu üzerine uzun lazer ışınması gereksiniminin yoğun yabancı ot barındıran alanlarda zaman açısından da sorun teşkil edebileceğini savunmaktadırlar.

Wöltjen vd. (2008), çalışmalarında biri CO₂ ve diğeri diyot lazer olmak üzere iki farklı lazer ile farklı enerji dozlarında, üç farklı gelişim aşamasındaki iki farklı türde (*Echinochloa crus-galli*, *Nicotiana tabacum*) bitkiye lazer ışınımı uygulamışlar, uygulamadan bir hafta sonra bu bitkilerin yaş kütlelerini kontrol gruplarıyla karşılaştırmışlar ve her lazer dalga boyu kombinasyonu, bitki gelişim aşaması ve bitki türü için özel bir ED₉₀ değeri belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda CO₂ lazer dalga boyunun diyot lazere göre daha verimli sonuç verdiği, *Nicotiana tabacum* türünün, *Echinochloa crus-galli* türüne oranla lazer maruziyetine daha duyarlı olduğunu ortaya koymuşlar ve lazer uygulamalarının yabancı ot kontrolünde kullanılmasının enerji verimliliği anlamında umut verici sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir.

Mathiassen vd. (2006), çalışmalarında, saksıda yetiştirilen üç farklı türde (*Stellaria media*, *Tripleurospermum inodorum*, *Brassica napus*) yabancı ota, farklı güç ve dalga boylarında (5 W, 532 nm ve 90 W, 810 nm) iki ayrı diyot lazer ile iki farklı ışın çapında farklı dozlarda lazer ışınması uygulamışlar ve bitki meristemlerine yapılan uygulamalarda büyümenin azaldığını, bazı otlarda ise öldürücü etkilerinin olduğunu tespit etmişlerdir. Lazer uygulamasının etkinliğinin lazerin gücü, dalga boyu, maruziyet süresi, ışın çapı ve uygulandığı ot türü ile ilişkili olduğunu göstermişlerdir.

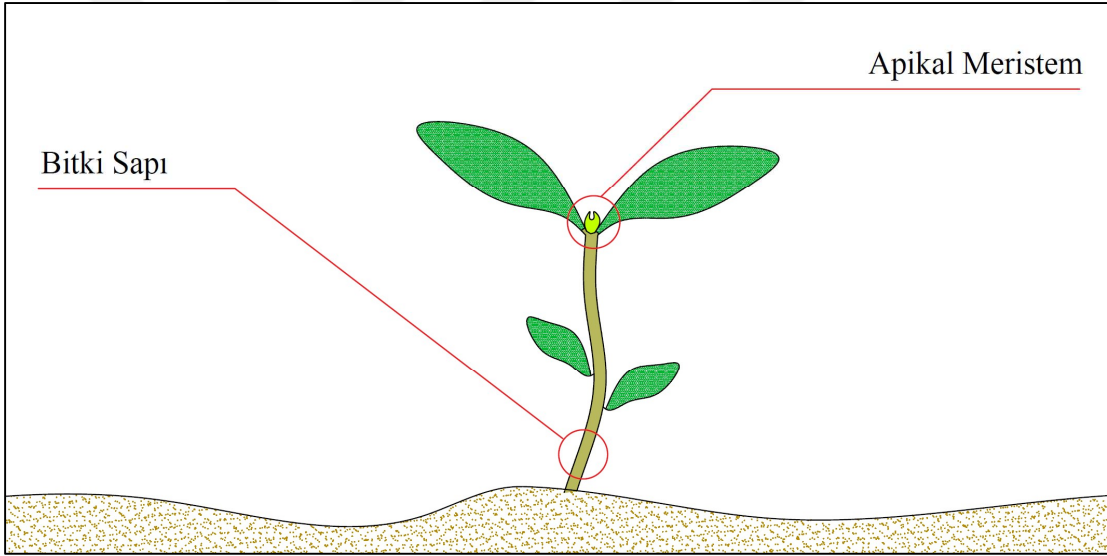
Heisel vd. (2002), çalışmalarında köpek üzümü (*Solanum nigrum*) ve şeker pancarı bitkilerinin kök kalınlıklarının tahribatsız bir muayene yöntemi kullanarak He-Ne lazer ile ölçmüşler ve bu bitkileri farklı gelişim aşamalarında CO₂ lazer kullanarak toprak yüzeyine yakın yükseklikten kesmişlerdir. Yapılan işlemde 2-5 hafta sonra bitki kuru ağırlıklarını ölçerek, ağırlıktaki azalma ile enerji dozu arasındaki ilişkiyi, biri değişken olarak bitki gövde kalınlığını içeren ve diğeri içermeyen iki farklı doğrusal olmayan doz-yanıt regresyon modeli kullanarak analiz etmişlerdir. Gövde kalınlığını gösteren model ile kesimden önce gövde kalınlığının ölçülerek kullanılması gereken enerji dozunun optimize edilebileceğini göstermişlerdir. Genel eğilimin, sap kalınlaştıkça enerji ihtiyacının da arttığı yönünde olduğunu belirtmişlerdir.

Heisel vd. (2000), çalışmalarında 3 farklı ot türde (*Chenopodium album*, *Sinapsis arvensis*, *Lolium perenne*) yabancı otu farklı gelişim aşamalarında ve iki farklı yükseklikten lazerle ve makasla keserek 2 ila 5 hafta sonra bitki kuru ağırlıkları ve uygulanan lazer enerjisi arasındaki ilişkiyi doğrusal olmayan regresyon modeliyle analiz ederek incelemiştirler. Tüm gelişim aşamalarında ve her iki kesim yüksekliğinde de *S. arvensis* türünü kesmenin *C. album* türüne göre daha zor olduğunu, meristem altından kesildiğinde %90 biokütle azalmasının sağlanabilmesi için *C. album* türüne 0,9 Jmm⁻², *S. arvensis* türüne ise 2,3 Jmm⁻² yoğunluğunda CO₂ lazer dozu uygulanması gerektiğini göstermişlerdir. Dikotiledon bitkilerde meristem altından kesildiklerinde yeniden gelişme gözlendiğini ve toprağa yakın yükseklikten kesilmesinin daha etkili sonuçlar alınması için önemli olduğunu bildirmişlerdir. *L. perenne* türünde ise 2 yapraklı evrede toprak seviyesinin 2 cm yüksekliğinden CO₂ lazerle kesilmesi durumunda makasla kesilmesine göre daha fazla biokütle azalması olduğunu tespit etmişler, bu durumun dikotiledon bitkilerde ve *L. perenne* bitkisinin ileri evrelerinde gözlenmediğini bildirmişlerdir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma kapsamında; Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dardanos Araştırma ve Uygulama Biriminde bulunan tarım alanlarında sık olarak görülen 3 farklı türde yabancı ot lazer ışınmasına maruz bırakılmak üzere seçilmiştir. Belirlenen yabancı otlardan kontrol ve deney grupları belirlenmiş, deney gruplarının bir kısmına bitki sapının toprağa yakın bölgesinden diğer kısmına da apikal meristem bölgesinden farklı dozlarda diyot lazer ışınması uygulanmıştır ve lazer uygulamasının sonuçları gözlenmiştir.



Şekil 1. Lazer uygulanan bölgelerin temsili bitki çizimi üzerinde gösterimi

3.1. Denemede Kullanılan Yabancı Otların Belirlenmesi

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dardanos Araştırma ve Uygulama Biriminde bulunan tarım arazilerinden 300 metrekare genişliğinde bir alanda kendiliğinden yetişen ve sayıca miktarı yüksek olan 3 farklı yabancı ot türü belirlenmiştir. Bu yabancı otlara ait bilgiler aşağıdaki Tablo 1’de belirtilmiştir.

Tablo 1

Denemelerde kullanılan yabancı otlar

Sıra Numarası:	Adı:	Gelişim Dönemi:	Özellikleri:
1	Yoğurt otu (<i>Galium aparine</i>)	10-12 yapraklı dönem	<i>Rubiaceae</i> familyasından tek yıllık dikotiledon bitki
2	Uyuz otu (<i>Scabiosa spp.</i>)	4-6 yapraklı dönem	<i>Caprifoliaceae</i> familyasından tek yıllık dikotiledon bitki
3	Sarı sütleğen (<i>Euphorbia helioscopia</i>)	8-10 yapraklı dönem	<i>Euphorbiaceae</i> familyasından tek yıllık dikotiledon bitki

3.2. Deney ve Kontrol Gruplarının Oluşturulması

Önceki çalışmalarda apikal meristeme lazer uygulamasının kotiledon dönemde etkili olduğu ve daha ileri dönemlerde bitki gelişimini durdurmaya tek başına yeterli olmayacağı vurgulanmıştır (Mathiassen vd., 2006). Bu nedenle apikal meristeme lazer uygulamasının bitkilerin daha ileri dönemindeki etkinliğini gözlemek amacıyla; bu uygulamanın yapılacağı türler için kotiledon dönemini geçmiş örnekler seçilmiştir. Seçilen örneklerde her bir tür için birbiri ile benzer gelişim aşamalarında kontrol ve deney grupları oluşturulmuştur. Oluşturulan gruplarda bulunan bitkiler renkli bantlarla farklılaştırılmış ahşap çubuklarla işaretlenmiştir. Kontrol grubunda 1 sıra ve deney gruplarında her bir enerji dozunu ifade etmek amacıyla 1, 2, 3 veya 4 sıra olmak üzere; apikal meristemine uygulama yapılan bitkiler için mavi, sapına uygulama yapılan bitkiler için kırmızı ve kontrol grubundaki bitkiler için siyah işaret koyulmuştur.



Şekil 2. İşaretlemelerden örnekler

Belirlenmiş olan türler için oluşturulan kontrol ve deney gruplarına ait bilgiler Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 2

Yoğurt otu (*Galium aparine*) için oluşturulan kontrol grubu ve deney grubu bilgileri

Ot Türü	Uygulama Yeri	Grup Adı	Enerji Dozu	Bitki Sayısı
Yoğurt otu (<i>Galium aparine</i>)	-	Kontrol Grubu 1	Doz 0	10
	Bitki Sapı	1.1	Doz 1	10
	Bitki Sapı	1.2	Doz 2	10
	Bitki Sapı	1.3	Doz 3	10
	Bitki Sapı	1.4	Doz 4	10
	Apikal Meristem	1.5	Doz 1	10
	Apikal Meristem	1.6	Doz 2	10
	Apikal Meristem	1.7	Doz 3	10
	Apikal Meristem	1.8	Doz 4	10

Tablo 3

Uyuz otu (*Scabiosa spp.*) için oluşturulan kontrol grubu ve deney grubu bilgileri

Ot Cinsi	Uygulama Yeri	Grup Adı	Enerji Dozu	Bitki Sayısı
Uyuz otu (<i>Scabiosa spp.</i>)	-	Kontrol Grubu 2	Doz 0	10
	Bitki Sapı	2.1	Doz 1	10
	Bitki Sapı	2.2	Doz 2	10
	Bitki Sapı	2.3	Doz 3	10
	Bitki Sapı	2.4	Doz 4	10
	Apikal Meristem	2.5	Doz 1	10
	Apikal Meristem	2.6	Doz 2	10
	Apikal Meristem	2.7	Doz 3	10
	Apikal Meristem	2.8	Doz 4	10

Tablo 4

Sarı sütleğen (*Euphorbia helioscopia*) için oluşturulan kontrol ve deney grubu bilgileri

Ot Türü	Uygulama Yeri	Grup Adı	Enerji Dozu	Bitki Sayısı
	-	Kontrol Grubu 3	Doz 0	10
Sarı Sütleğen	Bitki Sapı	3.1	Doz 1	10
(<i>Euphorbia</i>	Bitki Sapı	3.2	Doz 2	10
<i>helioscopia</i>)	Bitki Sapı	3.3	Doz 3	10
	Bitki Sapı	3.4	Doz 4	10

3.3. Uygulama Esnasındaki Bitki Kuru Ağırlıklarının Tespiti

Her bir yabancı ot türü için, lazer uygulama zamanındaki kuru ağırlıkların belirlenmesi için 10'ar adet örnek hasat edilmiş; laboratuvar ortamında Nüve marka FN 300 model etüv içerisinde 55 °C sıcaklıkta ağırlık değişimi durana kadar yaklaşık 24 saat süreyle kurutulmuş ve kurutulan bitki gruplarının ağırlıkları AND marka Fx-3000i model hassas teraziyle ölçülmüştür. Bu ağırlıklar bitki gruplarının lazerin uygulandığı gündeki gelişim düzeylerinin göstergesi olarak kayıt altına alınmıştır.



Şekil 3. Kurutma işleminde ve ağırlık ölçümünde kullanılan Etüv (1) ve Hassas Terazi (2)

Tablo 5

Lazer uygulamasındaki esnasındaki örnek bitki gruplarının kuru ağırlıklarına ilişkin tablo

Sıra Numarası	Yabancı Ot Türü	İlk Kuru Ağırlık (g)
1	Yoğurt otu (<i>Galium aparine</i>)	0,20
2	Uyuz otu (<i>Scabiosa spp.</i>)	0,19
3	Sarı sütleğen (<i>Euphorbia helioscopia</i>)	0,17

3.4. Denemelerde Kullanılan Lazer ve Uygulamalar

Denemelerde Oxlasers marka 5500 mW gücünde, 12V DC gerilimle beslenen, bütünleşik fan ile soğutma yapılan, ışın çapı ve odağı ayarlanabilir özellikte 450 nm dalga boyunda mavi ışık veren diyot lazer modülü kullanılmıştır.



Şekil 4. Denemelerde kullanılan lazer modülüne ait görüntüler

Yabancı otun maruz bırakıldığı lazer enerji dozları; ot dokusunun tamamen kesilmeyeceği düzeyde tutulacak şekilde, uygulama süresi ve lazer gücü üzerinden hesaplanarak belirlenmiştir. Daha önce benzer dalga boyu ve çeşitli ışın çapları ile yapılan araştırma sonuçlarında laboratuvar ortamında yetiştirilen ve yabancı otu temsil eden bitkiler üzerinde, 3 mm ışın çapı için daha yüksek depresif etki gözlemlendiğinden (Çay vd., 2015); bu çalışmada bitki üzerine uygulanacak ışın çapı 3 mm olarak belirlenmiştir. Lazer modülüne ait ışık odağı, 5 cm mesafede yaklaşık 3 mm ışın çapı oluşturacak şekilde ayarlanmış ve tüm uygulamalar bitki dokusu ve lazer merceği arasında 5 cm mesafe olacak şekilde yapılmıştır.

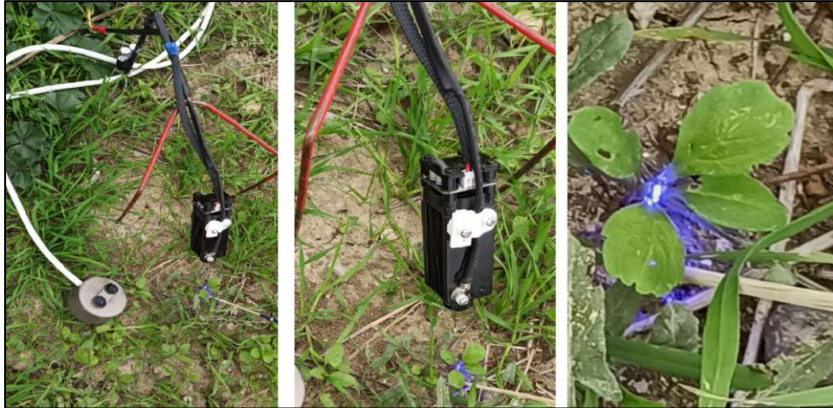
Her bir deney grubu için, lazer enerjisine maruz kalma süreleri dijital kronometre ile ayarlanarak Tablo 6’da belirtilen dört farklı dozda lazer ışıması uygulanmıştır.

Tablo 6

Uygulanan enerji dozlarına ilişkin tablo

Doz Sınıflaması	Uygulama Süresi (s)	Enerji Dozu (J)
Doz 0 (Kontrol)	0	0,00
Doz 1	1	5,50
Doz 2	2	11,00
Doz 3	3	16,50
Doz 4	4	22,00

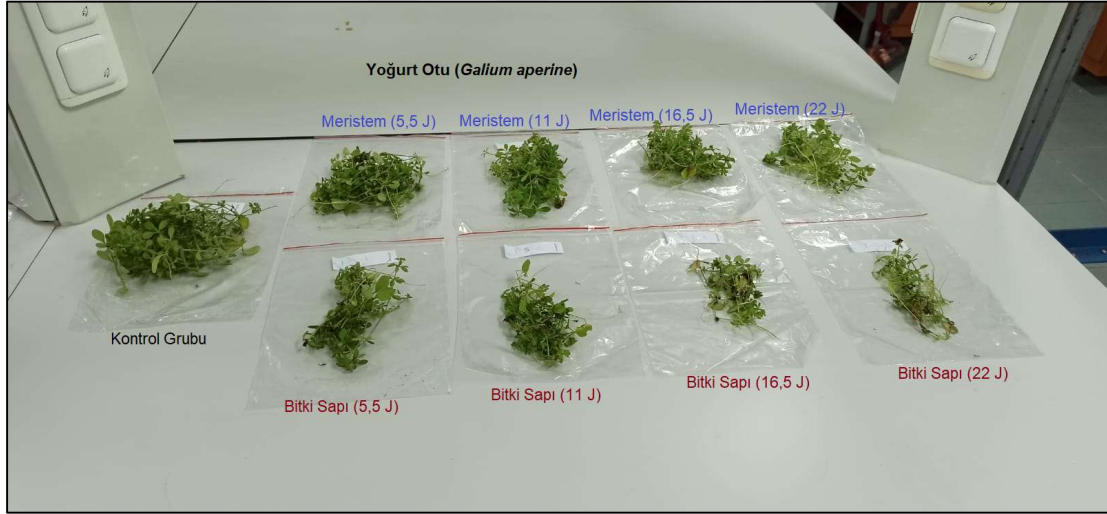
Lazer uygulaması için tasarlanan düzenek; diyot lazer modülü, üç ayaklı sabitleme aparatı, bakır tel, iki adet devre anahtarı, kablolar, 12V kuru akü, 3V alkalın pil ve pil haznesinden meydana gelmektedir. Tasarlanan devre sayesinde lazer ilk önce 3V gerilim ile çalıştırılmış ve yakıcı olmayan dozda lazer işaretleyicisi çalışmakta iken üç ayaklı aparatla düzenek yere sabitlenmiş, lazer modülünün bağlı olduğu bakır tel sayesinde de lazerin bitki hedef noktasına göre yön ve mesafe ayarlaması yapılmıştır. Bu sayede lazer ışınlarının sabit şekilde hedef noktalara ulaşması sağlanmış ve daha önceden deney grubuna göre işaretlenmiş bitkilere dijital kronometre yardımıyla maruziyet süreleri ayarlanarak planlanan dozlarda lazer uygulaması yapılmıştır.



Şekil 5. Lazer uygulamasına dair örnek görüntüler

3.5. Yabancı Otların Hasat Edilmesi ve Kuru Ağırlıklarının Tespiti

Daha önce yapılan benzer çalışmalarda önerilen şekilde (Çay vd., 2015; Heisel vd., 2000; Mathiassen vd., 2006); lazer uygulamasından 3 hafta sonra bitkiler toprak seviyesinden makasla kesilerek hasat edilmiştir. Hasat edilen bitkiler deney gruplarına uygun olarak numaralandırılarak kilitli poşetlere yerleştirilmiştir. Laboratuvar ortamına taşınan örnekler etüv içerisinde 55 °C sıcaklıkta, ağırlık değişimi durana kadar yaklaşık 24 saat süreyle kurutulmuştur. Kurutma neticesinde her bir grup için hassas teraziyle ölçülen kuru ağırlıklar kayıt altına alınmıştır.



Şekil 6. Hasat edilen bitkilerden örnek görüntü

3.6. Veri Analizlerinin Yapılması

Her bir kontrol ve deney grubu için hassas terazi ile ölçülerek belirlenen kuru ağırlık artışları kontrol gruplarında meydana gelen kuru ağırlık artışı ile yüzde bazında oranlanmış ve uygulanan enerji miktarları ile kuru ağırlık artışları arasındaki ilişki doğrusal olmayan regresyon analizi yapılarak incelenmiştir.

Regresyon analizleri, minitab yazılımı kullanılarak (Seefeld vd., 1995) ve (Mathiassen vd., 2006) çalışmalarında da ele alınan lojistik doz-yanıt modeli ve Gauss-

Newton algoritması baz alınarak yapılmıştır. Denklem 1’de bulunan yabancı otlarda %50 oranında etkin doz olan ED₅₀ yerine, yabancı ot kontrolünde tercih edilen ve yabancı otların %90 oranında azaltılmasını sağlayan doz anlamına gelen ED₉₀ değeri ele alınarak Denklem 2 oluşturulmuştur. (Mathiassen vd., 2006). ED₉₀ değeri, denemelerde kullanılan 3 ot türü için uygulanan doku bölgesi bazında ayrı ayrı hesaplanmıştır.

$$G = \frac{D-C}{1+e^{[2b(\log(ED_{50})-\log(z))]} + C \quad (1)$$

$$G = \frac{D-C}{1+e^{[2b(\log(ED_{90})-1,099/b-\log(z))]} + C \quad (2)$$

Burada;

G: bitki kuru gelişimindeki oransal azalmanın yüzdesel değerini,

D: doz-yanıt eğrisindeki en yüksek sonuçmazlara denk gelen düşey eksen değerlerini,

C: doz-yanıt eğrisinde en düşük sonuçmazlara denk gelen düşey eksen değerlerini,

ED₅₀: lazer uygulanan bitkilerde beklenen azami kütleli gelişim azalmasının %50’si için gereken enerji miktarını (J),

ED₉₀: lazer uygulanan bitkilerde beklenen azami kütleli gelişim azalmasının %90’ı için gereken enerji miktarını (J),

b: doz-yanıt eğrisinin ED₅₀ veya ED₉₀ civarındaki eğimini,

z: uygulanan enerji miktarını (J) ifade etmektedir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI

Yoğurt otu (*Galium aparine*), uyuz otu (*Scabiosa spp.*) ve sarı sütleğen (*Euphorbia helioscopia*) deney gruplarına dört farklı dozda diyot lazer uygulamasının üzerinden 3 hafta geçtikten sonra bitkiler hasat edilmiş, etüv içerisinde kurutulmuş ve bitki gruplarına dair elde edilen kuru ağırlıklar ile lazer uygulaması esnasında alınan örneklerle göre kuru ağırlıklarda meydana gelen artış miktarları Tablo 7, Tablo 8 ve Tablo 9’da belirtilmiştir. Bu ağırlık artışları kontrol gruplarında meydana gelen ağırlık artışlarıyla karşılaştırılmak ve regresyon analizinde kullanılmak üzere kayıt altına alınmıştır.

Tablo 7

Yoğurt otu (*Galium aparine*) üzerinde yapılan denemelerde elde edilen ölçüm sonuçları

Uygulama Bölgesi	Doz (J)	Kuru Ağırlığı (g)	Kuru Ağırlık Artışı (g)
Kontrol	0,00	1,24	1,04
Bitki Sapı	5,50	0,53	0,33
Bitki Sapı	11,00	0,39	0,19
Bitki Sapı	16,50	0,27	0,07
Bitki Sapı	22,00	0,23	0,03
Apikal Meristem	5,50	1,11	0,91
Apikal Meristem	11,00	0,89	0,69
Apikal Meristem	16,50	0,71	0,51
Apikal Meristem	22,00	0,64	0,44

Tablo 8

Uyuz otu (*Scabiosa spp.*) üzerinde yapılan denemelerde elde edilen ölçüm sonuçları

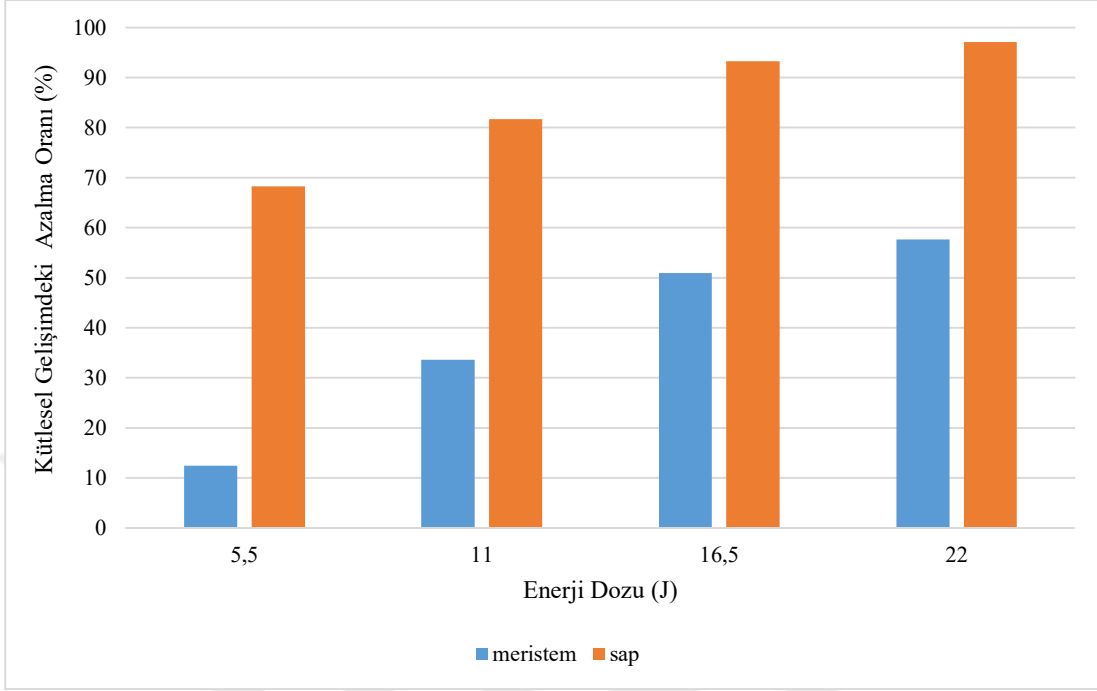
Uygulama Bölgesi	Doz (J)	Kuru Ağırlığı (g)	Kuru Ağırlık Artışı (g)
Kontrol	0,00	1,17	0,98
Bitki Sapı	5,50	0,43	0,24
Bitki Sapı	11,00	0,28	0,09
Bitki Sapı	16,50	0,26	0,07
Bitki Sapı	22,00	0,22	0,03
Apikal Meristem	5,50	1,12	0,93
Apikal Meristem	11,00	0,97	0,78
Apikal Meristem	16,50	0,84	0,65
Apikal Meristem	22,00	0,81	0,62

Tablo 9

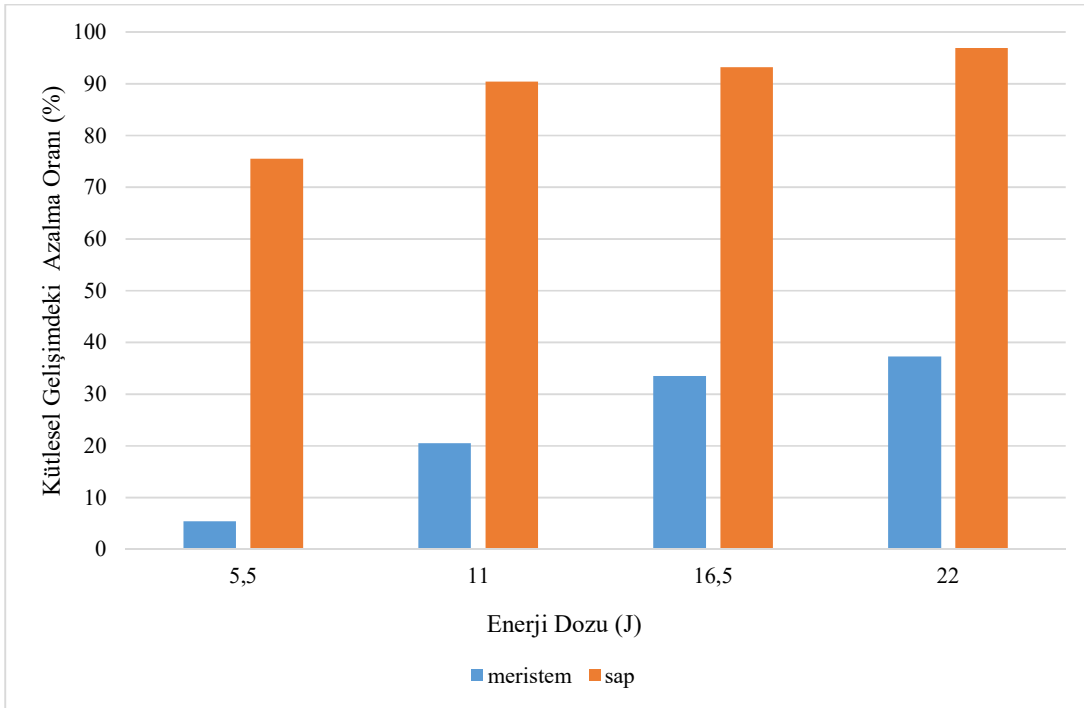
Sarı sütleğen (*Euphorbia helioscopia*) üzerinde yapılan denemelerde elde edilen ölçüm sonuçları

Uygulama Bölgesi	Doz (J)	Kuru Ağırlığı (g)	Kuru Ağırlık Artışı (g)
Kontrol	0,00	0,75	0,58
Bitki Sapı	5,50	0,36	0,19
Bitki Sapı	11,00	0,28	0,11
Bitki Sapı	16,50	0,24	0,07
Bitki Sapı	22,00	0,20	0,03

Yoğurt otu (*Galium aparine*) ve uyuz otu (*Scabiosa spp.*) için apikal meristem ve sap bölgelerine aynı dozda enerji uygulanmasına rağmen her iki türde de sap bölgesine yapılan uygulamanın etkinliğinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum; apikal meristeme yeterince zarar verilmiş olsa bile ikincil meristemler sayesinde bitkinin gelişimine devam edebildiği ve biyokütlesini artırabildiği şeklinde yorumlanmıştır.

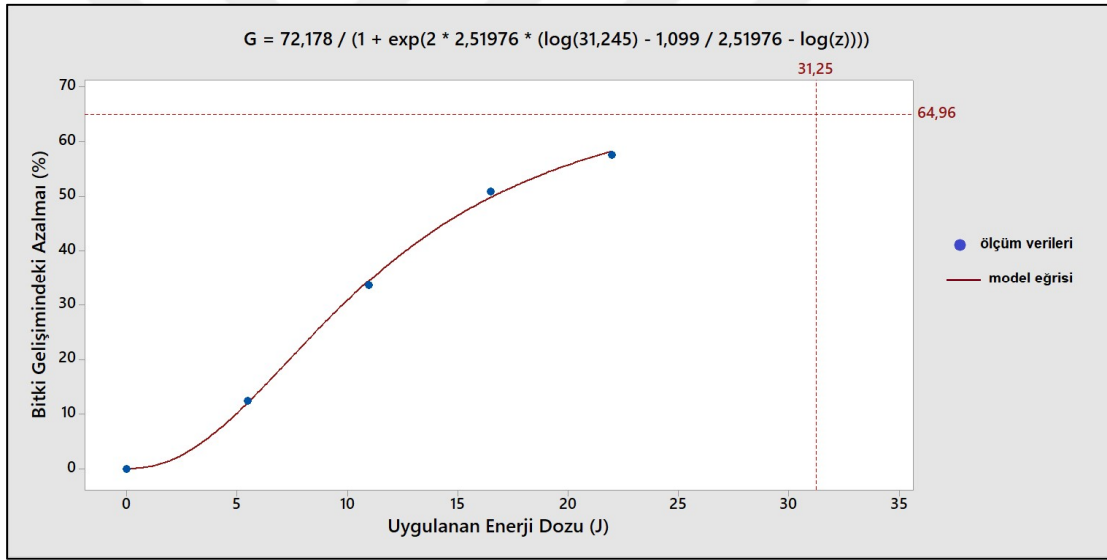


Şekil 7. Yoğurt otu (*Galium aparine*) için sap ve apikal meristem bölgesine yapılan uygulamaların sonuçlarının karşılaştırılması

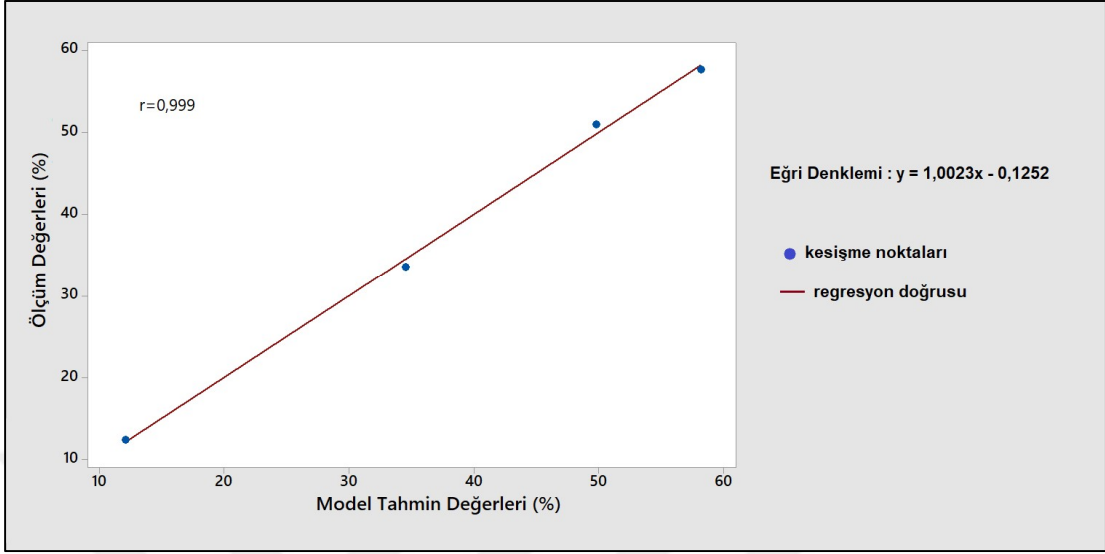


Şekil 8. Uyuz otu (*Scabiosa spp.*) için sap ve apikal meristem bölgesine yapılan uygulamaların sonuçlarının karşılaştırılması

Lojistik doz-yanıt modeli bazlı regresyon analizinde her iki bitkide de meristeme uygulanacak azami doz ile bitki gelişiminin tamamen durdurulamayacağı sonucuna ulaşılmıştır. Regresyon analizinde, bitki apikal meristemine uygulanacak azami doz ile bitki gelişiminin yoğurt otu (*Galium aparine*) bitkisinde %72,18'e kadar, uyuz otu (*Scabiosa spp.*) bitkisinde de %41,64'e kadar azaltılabileceği hesaplanmıştır. Bu durum yabancı ota apikal meristem bölgesinden lazer uygulanmasının kotiledon dönemden daha ileri aşamalarda yeterli etkiyi yaratamayacağı tezini desteklemektedir (Mathiassen vd., 2006). Fakat daha ileri gelişim aşamalarında bitki sapı hedef alınarak yapılan lazer uygulamasının etkinliğinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür.

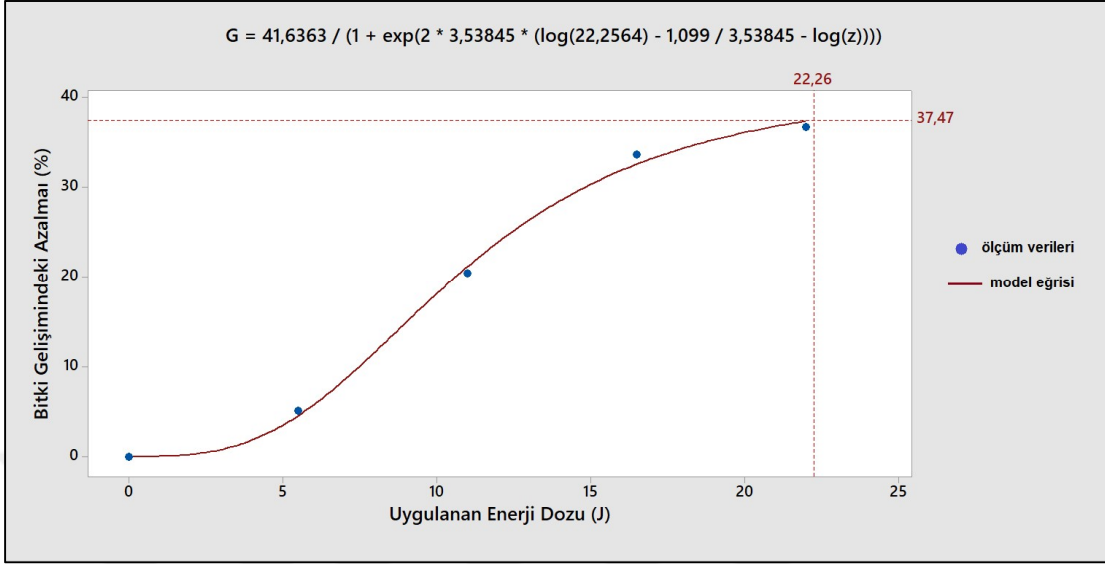


Şekil 9. Yoğurt otu (*Galium aparine*) apikal meristem bölgesine yapılan uygulamaya ait doz-yanıt grafiği

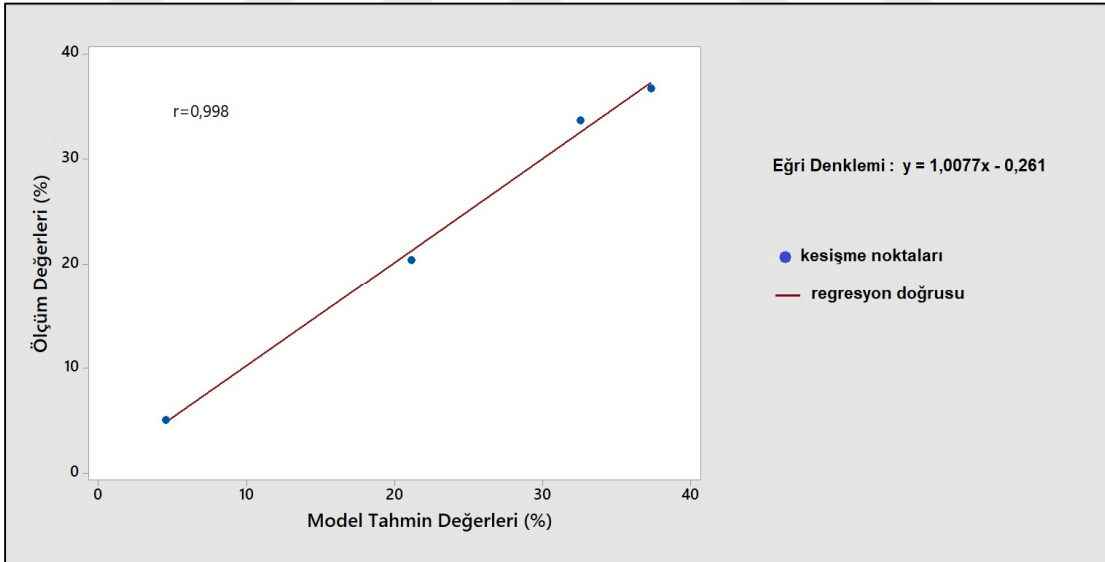


Şekil 10. Yoğurt otu (*Galium aparine*) apikal meristemine yapılan uygulama sonucunda gelişimdeki azalma için ölçüm değerleri ve model tahmin değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 9’da bulunan grafikte gösterildiği üzere; yoğurt otu (*Galium aparine*) için apikal meristeme yapılan uygulama sonucunda doz-yanıt eğrisi üzerinde bitki gelişiminin en fazla %72,18 oranında engellenebileceği görölmektedir. Regresyon analizinde doz-yanıt eğrisinin %90 etkinlik düzeyine denk gelen enerji dozu 31,25 J olarak belirlenmiştir. Bu doz bitki gelişimini azami olarak azaltabileceğimiz oran olan %72,18’in %90’ına denk gelen dozu ifade etmektedir. Yani bitki apikal meristemine 31,25 J enerji uygulanması sonucunda bitki gelişiminin %64,96 oranında azalacağı öngörülmektedir.



Şekil 11. Uyuz otu (*Scabiosa spp.*) apikal meristem bölgesine yapılan uygulamaya ait doz-yantı grafiği

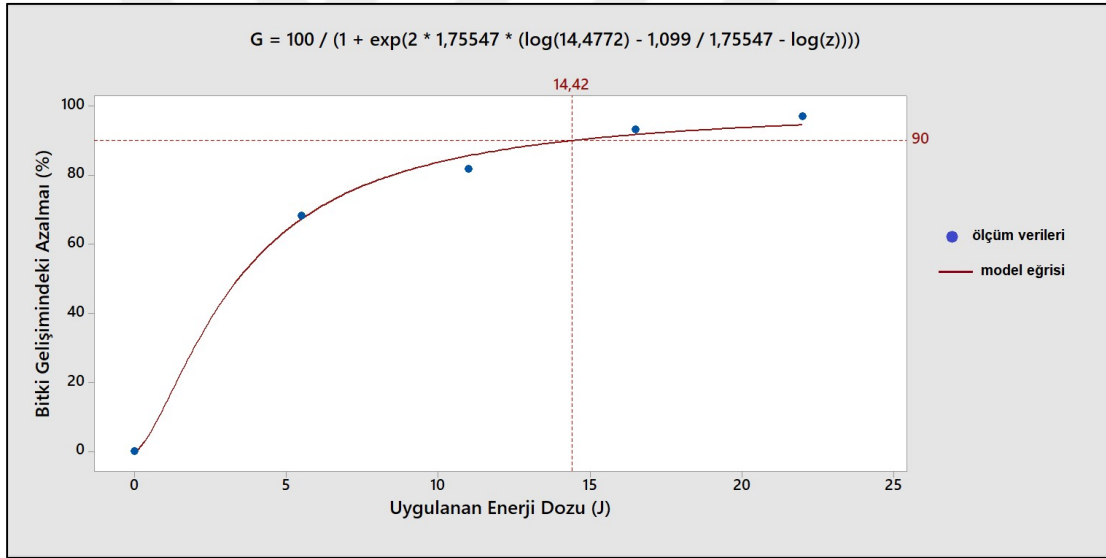


Şekil 12. Uyuz otu (*Scabiosa spp.*) apikal meristemine yapılan uygulama sonucunda gelişimdeki azalma için ölçüm değerleri ve model tahmin değerlerinin karşılaştırılması

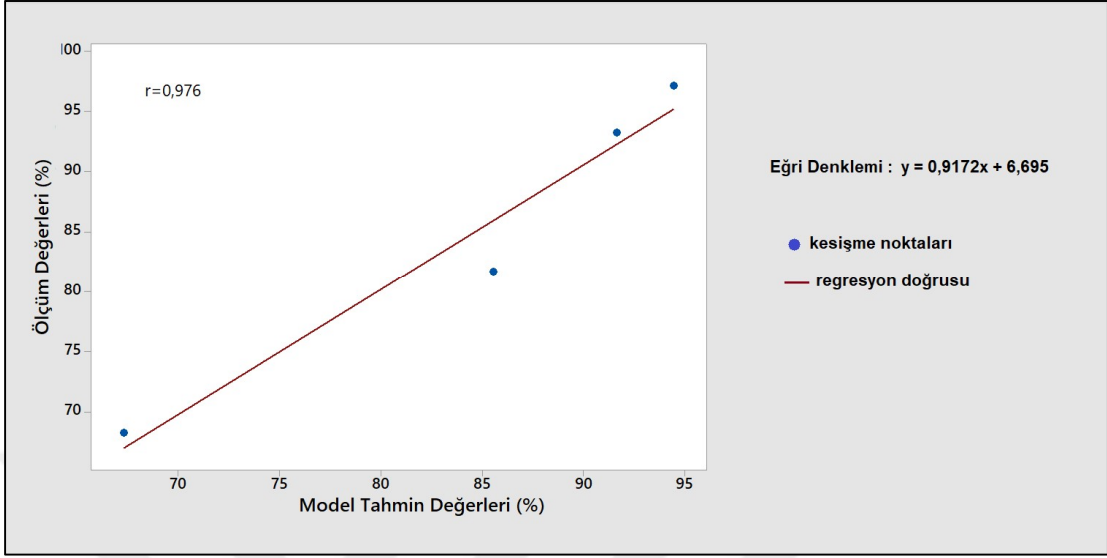
Uyuz otu (*Scabiosa spp.*) için ise apikal meristeme yapılan uygulama sonucunda doz-yantı eğrisi üzerinde bitki gelişiminin en fazla %41,64 oranında engellenebileceği görülmektedir. Regresyon analizinde doz-yantı eğrisinin %90 etkinlik düzeyine denk gelen

enerji dozu 22,26 J olarak belirlenmiş olup; bitki apikal meristemine 22,26 J enerji uygulanması sonucunda bitki gelişiminin %37,47 oranında azalacağı beklenmektedir.

Denemeleri yapılan her üç yabancı otta da sap bölgesine yeterli dozda lazer uygulanmasıyla bitki gelişiminin tamamen durdurulabileceği gösterilmiştir. Çalışmada yabancı ota uygulama yapıldığında ölçülen kuru ağırlığın lazer uygulaması üzerinden 3 hafta geçtikten sonra artmamış olması durumu yabancı otun %100 kontrol edildiği şekilde kabul edilmiş ve bitki gelişimini kontrol grubuna göre %90 oranında azaltması beklenen ED₉₀ değerlerine ulaşıldığı Şekil 13, Şekil 15 ve Şekil 17’de gösterilmiştir.

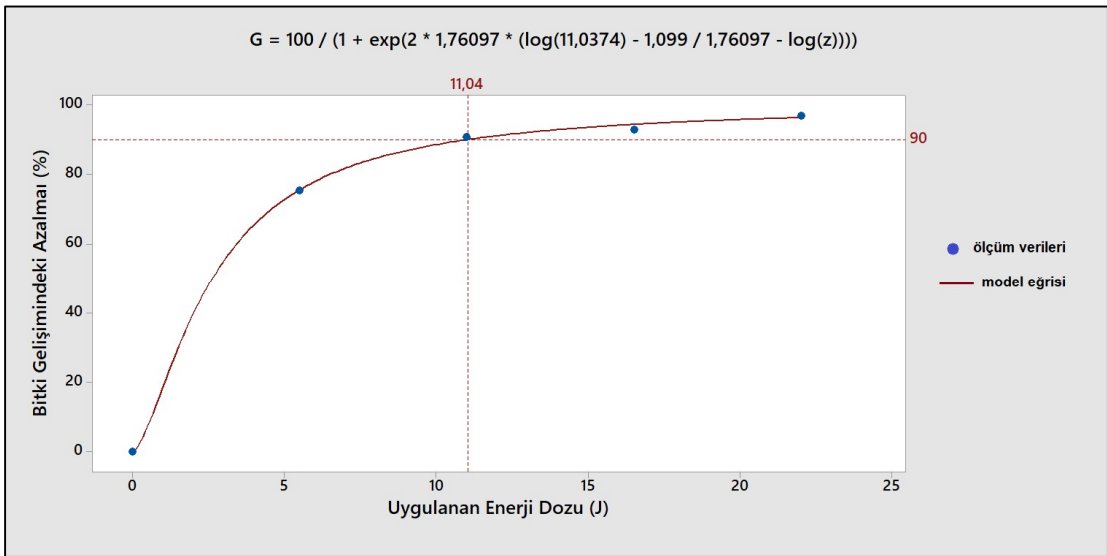


Şekil 13. Yoğurt otu (*Galium aparine*) sap bölgesine yapılan uygulamaya ait doz-yanıt grafiği

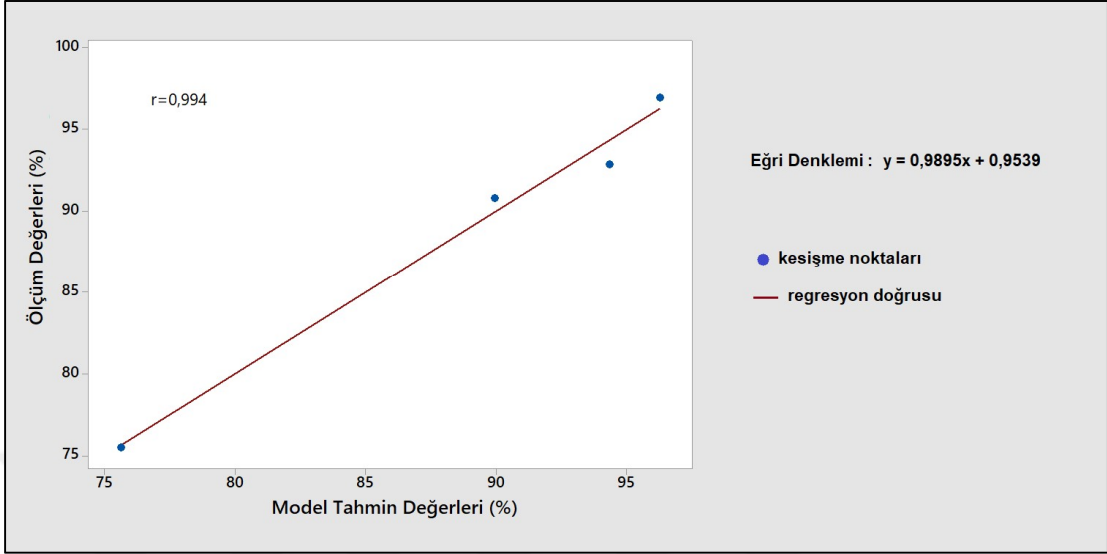


Şekil 14. Yoğurt otu (*Galium aparine*) bitki sapına yapılan uygulama sonucunda gelişimdeki azalma için ölçüm değerleri ve model tahmin değerlerinin karşılaştırılması

Yoğurt otu (*Galium aparine*) bitki sapına yapılan uygulama sonucunda alınan değer için Denklem 2'deki model kullanılarak yapılan doğrusal olmayan regresyonda; bitki gelişiminin %100'e kadar durdurulabileceği ve gelişimin %90 oranında geriletilmesi için 14,42 J enerji uygulanması gerektiği gösterilmiştir.

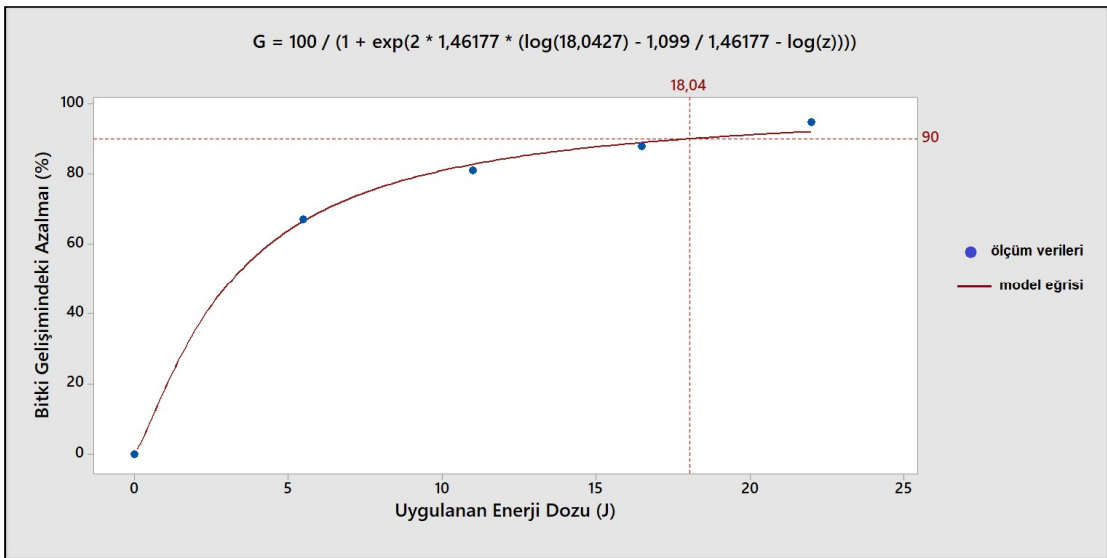


Şekil 15. Uyuz otu (*Scabiosa spp.*) sap bölgesine yapılan uygulamaya ait doz-yanıt grafiği

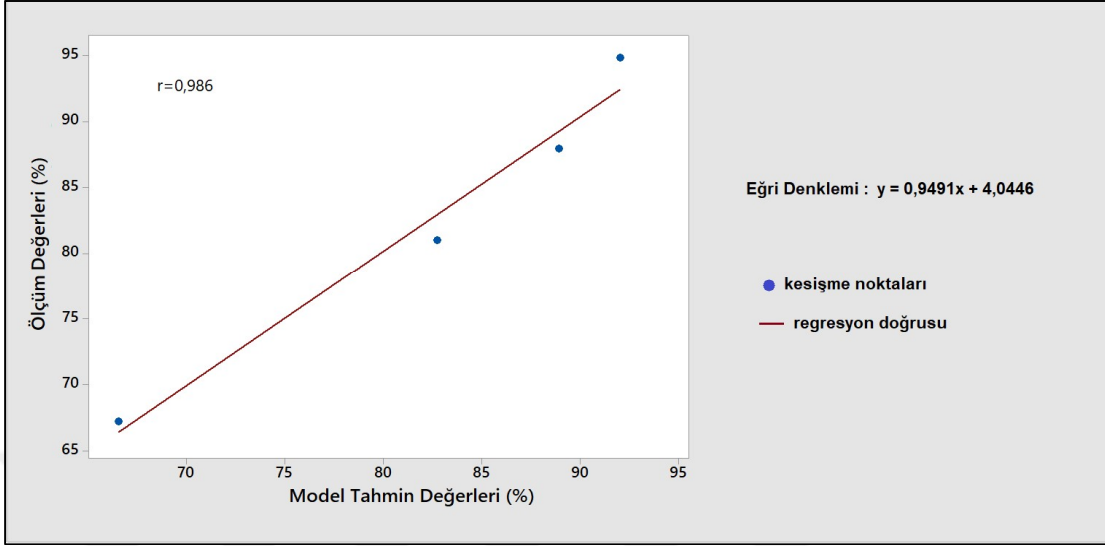


Şekil 16. Uyuz otu (*Scabiosa spp.*) bitki sapına yapılan uygulama sonucunda gelişimdeki azalma için ölçüm değerleri ve model tahmin değerlerinin karşılaştırılması

Uyuz otu (*Scabiosa spp.*) bitki sapına yapılan uygulama sonucunda alınan değer için yapılan regresyonda; bitki gelişiminin %100'e kadar durdurulabileceği ve gelişimin %90 oranında geriletilmesi için 11,04 J enerji uygulanması gerektiği gösterilmiştir.



Şekil 17. Sarı sütleğen (*Euphorbia helioscopia*) sap bölgesine yapılan uygulamaya ait doz-yanıt grafiği



Şekil 18. Sarı sütleğen (*Euphorbia helioscopia*) bitki sapına yapılan uygulama sonucunda gelişimdeki azalma için ölçüm değerleri ve model tahmin değerlerinin karşılaştırılması

Sarı sütleğen (*Euphorbia helioscopia*) bitki sapına yapılan uygulama sonucunda alınan değer için yapılan regresyonda; bitki gelişiminin %100'e kadar durdurulabileceği ve gelişimin %90 oranında geriletilmesi için 18,04 J enerji uygulanması gerektiği gösterilmiştir.

Lazer aracılığıyla bitkiye gönderilen enerjinin ne oranda soğurulacağı; lazer ışınlarının dalga boyu, uygulama süresi, ışın çapı, bitkide lazerin yönlendirildiği bölgenin rengi, sıvı içeriği gibi birçok parametreden etkilenmektedir (Mathiassen vd., 2006). Ayrıca iletilen enerjinin bitki üzerinde oluşturacağı tahribat derecesinin de bitkinin yapısal özellikleri, gelişim aşaması ve enerjinin yönlendirildiği bölgenin biyolojik fonksiyonuyla ilişkili olarak değişmesi beklenmektedir. Bu nedenle lazer uygulamasının sonuçlarının her bitki türü, bitkinin her gelişim aşaması ve uygulamanın yapıldığı bitkideki her farklı bölge için değişiklik göstermesi öngörülmektedir. Bu çalışmada 10-12 yapraklı dönemde bulunan yoğurt otu (*Galium aparine*), 4-6 yapraklı dönemdeki uyuz otu (*Scabiosa spp.*) ve 10-12 yapraklı dönemdeki sarı sütleğen (*Euphorbia helioscopia*) otunda bitki saplarına 5500 mW gücünde lazer modülü ile uygulanan 3mm ışın çapı ve 450 nm dalga boyundaki lazer ışınının etkili şekilde sonuç verdiği görülmüştür.

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada; 450 nm dalga boyunda ışık veren diyot lazer kullanılarak 10-12 yapraklı dönemde bulunan yoğurt otu (*Galium aparine*), 4-6 yapraklı dönemdeki uyuz otu (*Scabiosa spp.*) ve 10-12 yapraklı dönemdeki sarı sütleğen (*Euphorbia helioscopia*) otunda bitki saplarına yapılan uygulamanın bu otların kontrolünde etkili şekilde kullanılabileceği gösterilmiştir. Sapa yapılan uygulamada bitki gelişimini %90 oranında azaltması beklenen enerji dozu olan ED₉₀ değerleri yoğurt otu için 14,42 J, uyuz otu için 11,04 J ve sarı sütleğen otu için de 18,04 J olarak belirlenmiştir. En verimli etki uyuz otu bitkisinin sapına yapılan uygulamada elde edilmiştir. Mathiassen vd. (2006) tarafından öne sürülen, apikal meristeme lazer uygulamasının kotiledon dönemde etkili olduğu ve daha ileri dönemlerde bitki gelişimini durdurmaya tek başına yeterli olmayacağı teziyle bağdaşan şekilde; 10-12 yapraklı dönemde bulunan yoğurt otu (*Galium aparine*) ve 4-6 yapraklı dönemdeki uyuz otu (*Scabiosa spp.*) bitkilerine apikal meristem hedeflenerek aynı dozlarda yapılan uygulamalarda ise daha düşük oranda etki görülmüştür. Bu durum; kotiledon dönemden daha ileri gelişim aşamasında apikal meristemde oluşturulan hasara rağmen bitkinin diğer meristemler sayesinde gelişimini devam ettirebileceği şeklinde yorumlanmıştır. İleri gelişim aşamalarındaki yabancı otlarda lazer uygulaması yapılacaksa apikal meristem yerine bitki sapının hedeflenmesinin enerji verimliliği ve yüksek oranda yabancı ot kontrolü sağlanabilmesi açısından daha iyi bir alternatif olduğu ortaya koyulmuştur. Farklı yabancı otlar ve farklı gelişim aşamaları için bitki sapına yöneltilen lazer uygulamasının etkinliği konusunda daha ileri çalışmalar yapılması, farklı lazer türleri ve dalga boyları ile çeşitlendirilerek geniş bir veri tabanı oluşturulması gereksinimi bulunmaktadır. Lazerle yabancı ot kontrolünün pratikte uygulanabilmesi; görüntü işleme yaparak bitki tanıyabilen, kültür bitkisinin bulunduğu alanlar için ayrı değerlendirme yapabilen ve otonom olarak bitkileri çeşitli açılardan hedefleyip çok faktörlü bir değerlendirme sonrasında mümkün olan en etkin noktadan gerekli enerji dozlarını uygulayabilen sistemlerin tasarlanmasını gerektirmektedir. Bu nedenle görüntü işleme metodları kullanılarak tanılanan bitkinin apikal meristeminin yanında mümkün olan durumlarda bitki sapını da hedeflemeye yönelik ileri çalışmalara ve bu amaca yönelik otonom sistemlerin tasarlanmasına ihtiyaç vardır.

KAYNAKÇA

- Bayat, A. , Bolat, A. ve İtmeç, M. (2017). “Termal Yöntemlerle Tarımda ve Şehir Yaşam Alanlarında Yabancı Ot Kontrolünün Teknik Yönden Değerlendirilmesi”. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, C.6, ICAFOF Özel Sayı, 192-197. <https://doi.org/10.17100/nevbiltek.331894>.
- Tiryaki, O., Canhilal, R. ve Horuz S. (2010). “Tarım İlaçları Kullanımı ve Riskleri”. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26 (2), 154-169.
- Uygur, S. ve Uygur, F. N. (2010). “Yabancı Otların Biyolojik Mücadelesi”. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi*, 1 (1), 79-95.
- Yıldız, T., Özkaraman, F. ve Kandemir, D. (2018). “Organik Tarımda Bazı Yeni Yöntemlerle Yabancı Ot Kontrolü” *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6 (2), 213-218
- Kaierle S., Marx, C., Rath, T. and Hustedt, M. (2013). “Find and Irradiate — Lasers Used for Weed Control” *Laser Technik Journal*, 10 (3), 44-47. <https://doi.org/10.1002/latj.201390038>.
- Çay, A., Büyükcan, M. B., Adakaya, S. ve Yağız, Z. (2015). “Diyot lazer ile farklı enerji dozu ve ışın çapı uygulamalarının yabancı ot gelişimi üzerindeki etkileri”. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 11 (3), 215-220.
- Heisel, T., Schou, J., Christensen, S. and Andreasen, C. (2000). “Cutting weeds with CO₂ laser”. *Weed Research*, 41, 19-29.
- Heisel, T., Schou, J., Andreasen, C. and Christensen, S. (2002). “Using laser to measure stem thickness and cut weed stems”. *Weed Research*, 42, 242-248.
- Hernandez, A. C., Dominguez, P. A., Cruz, O. A., Ivanov, R., Carballo, C. A. and Zepeda, B. R. (2010). “Laser in agriculture”. *International Agrophysics*, 24, 407-422.
- Marx, C., Barcikowski, S., Hustedt, M., Haferkamp, H. and Rath, T. (2012a). “Design and application of a weed damage model for laser-based weed control”. *Biosystems Engineering*, 113, 148-157.

- Marx, C., Pastrana, P., Julio, C., Hustedt, M., Barcikowski, S., Haferkamp, H. and Rath, T. (2012b). "Investigations on the absorption and the application of laser radiation for weed control". *Landtechnik*, 67, 95-101.
- Mathiassen, S. K., Bak, T., Christensen, S. and Kudsk, P. (2006). "The effect of laser treatment as a weed control method". *Biosystems Engineering*, 95 (4), 497-505.
- Şahin, Y.Z. ve Çay, A. (2019). "Yabancı Ot Kontrolünde Kimyasal Olmayan Bazı Yöntemlerin Otonom Sistemlere Uyarlanabilirliğinin Değerlendirilmesi", 32. *Ulusal Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Kongresi*, 4-6 Eylül 2019, Çanakkale, 1 (1), 44-44.
- Tu, M., Hurd, C. and Randall, J. M. (Eds.). (2001). *Weed Control Methods Handbook: Tools & Techniques for Use in Natural Areas*. U.S. Government Documents (Utah Regional Depository).
- Wöltjen, C., Haferkamp, H., Rath, T. and Herzog, D. (2008). "Plant growth depression by selective irradiation of the meristem with CO₂ and diode lasers". *Biosystems Engineering*, 101, 316-324.
- Seefeldt, S. S., Jensen, J. E. And Furst, E. P. (1995). "Log-logistic analysis of dose-response relationship". *Weed Technology*, 9, 218-227.