

**ENTOMOPATOJEN NEMATOD ÜRÜNLERİNİN
UYGULANMASI İÇİN BİR ROBOTİK SİSTEM
TASARIMI VE OPTİMİZASYONU**

Hilal ERDOĞAN



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENTOMOPATOJEN NEMATOD ÜRÜNLERİNİN UYGULANMASI İÇİN BİR
ROBOTİK SİSTEM TASARIMI VE OPTİMİZASYONU**

Hilal ERDOĞAN
0000-0002-0387-2600

Prof. Dr. Halil ÜNAL
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Hilal ERDOĞAN tarafından hazırlanan “ENTOMOPATOJEN NEMATOD ÜRÜNLERİNİN UYGULANMASI İÇİN BİR ROBOTİK SİSTEM TASARIMI VE OPTİMİZASYONU” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Halil ÜNAL

- | | | | |
|---------------|---|--|------|
| Başkan | : | Prof. Dr. Halil ÜNAL
0000-0001-5830-2050
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Ziraat Fakültesi,
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı | İmza |
| Üye | : | Prof. Dr. Ali BAYAT
0000-0002-7104-9544
Çukurova Üniversitesi,
Ziraat Fakültesi,
Tarım Makineleri ve Teknoloji Mühendisliği Anabilim Dalı | İmza |
| Üye | : | Prof. Dr. İsmail Alper SUSURLUK
0000-0002-0699-1752
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Ziraat Fakültesi,
Bitki Koruma Anabilim Dalı | İmza |
| Üye | : | Prof. Dr. Bahadır SAYINCI
0000-0001-7148-0855
Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi,
Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı | İmza |
| Üye | : | Doç. Dr. Ferhat KURTULMUŞ
0000-0002-7862-6906
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Ziraat Fakültesi,
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı | İmza |

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

.././....

B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

.../.../.....

Hilal ERDOĞAN

TEZ YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Danışman Adı-Soyadı
Tarih

Öğrencinin Adı-Soyadı
Tarih

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum
anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum
anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

ÖZET

Doktora Tezi

ENTOMOPATOJEN NEMATOD ÜRÜNLERİNİN UYGULANMASI İÇİN BİR ROBOTİK SİSTEM TASARIMI VE OPTİMİZASYONU

Hilal ERDOĞAN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Halil ÜNAL

Dünya nüfusunun artışına bağlı olarak gıda ihtiyacını karşılamak ve sürdürülebilir tarımın gereği, en iyi kalitede ürünü en uygun maliyetle üretmek için hassas tarım uygulamaları günden güne artmaktadır. Hassas tarımın gereği, doğru girdiyi, doğru miktarda, doğru yere, doğru zamanda ve doğru şekilde uygulamak için robotik sistemler tarımsal faaliyetlerin her aşamasında kullanılmaktadır. Robotik sistemler ile birim alandan maksimum ürün elde edilirken, çevreye zarar en aza indirilmek istenmektedir. İhtiyaca göre pestisit uygulamaları ön plandadır, böylelikle arazinin her yeri değil gerekli yerler ilaçlanmaktadır. Bu çalışmada, kimyasal mücadeleye alternatif olan biyolojik mücadele ajanı olan entomopatojen nematodların hassas uygulanmasına yönelik bir robotik sistem tasarlanmıştır. Robotik sistemin tüm sac kısımları 2 mm alüminyum, plastik kısımları 20 mm delrin malzemeden imaldir. Tüm bağlantı elemanları sökülebilirdir bu sayede kolaylıkla taşınabilir. CNC kontrol kartına yüklenen G-kodlar sayesinde step motorlara hareket verilmektedir. Mekanik, hidrolik ve pnömatik gibi geleneksel karıştırma sistemlerine karşın yeni bir çalkalama metodu olan salıncak yöntemi kullanılmıştır. Peristaltik pompa ile dozajlama sağlanmıştır. Step motorların peristaltik pompa ile uyumu, Arduino kullanılarak her noktaya aynı ya da her noktaya farklı dozajlama imkânı sağlayan yazılım sayesinde optimize edilmiştir. Robotik sistem ile iki farklı entomopatojen nematod türünün (*Steinernema feltiae* ve *Heterorhabditis bacteriophora*), farklı dozlar (0.1, 0.2, 0.4, 0.8 g ve 60 000, 120 000, 240 000 adet) ve hacimler (25, 50, 100 ve 5, 15, 45 ml) ile denemeleri gerçekleştirilmiştir. Denemeler sonucu bazı kombinasyonların arasında istatistiksel olarak farklılık olmasına rağmen ticari doz değeri olan cm²'ye 50 adet nematod uygulamasından dolayı robotik sistemin hassas uygulama yaptığını söylemek mümkündür.

Anahtar Kelimeler: Hassas tarım, robot, biyolojik kontrol, entomopatojen nematod
2022, xiv + 113 sayfa.

ABSTRACT

PhD Thesis

A ROBOTIC SYSTEM DESIGN AND OPTIMIZATION FOR THE APPLICATION OF ENTOMOPATHOGENIC NEMATODE PRODUCTS

Hilal ERDOĞAN

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biosystems Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Halil ÜNAL

Depending on the increase in the world population, precision agriculture practices are increasing day by day to meet the food need and to produce the best quality product at the most affordable cost, as a requirement of sustainable agriculture. Robotic systems are used at every stage of agricultural activities to apply the right input in the right amount to the right place at the right time and in the right way as a requirement of precision agriculture. With robotic systems, it is desired to minimize the damage to the environment while obtaining the maximum crop from the unit area. Chemical applications according to needs are at the forefront so that necessary places are sprayed, not all parts of the land. In this study, a robotic system was designed for the precision application of entomopathogenic nematodes, which is an alternative to chemical control. All sheet metal parts of the robotic system are made of 2 mm aluminum, and plastic parts 20 mm Delrin material. All fasteners are detachable, so they can be easily transported. Thanks to the G-codes loaded on the CNC control card; the stepper motors are activated. In contrast to traditional agitating systems such as mechanical, hydraulic, and pneumatic, a new agitation method, the swing method, was used. Dosing is provided with a peristaltic pump. The compatibility of the stepper motors with the peristaltic pump has been optimized by using Arduino software that allows dosing the same to each point or different to each point. The robotic system tested two different entomopathogenic nematode species (*Steinernema feltiae* and *Heterorhabditis bacteriophora*) with different doses (0.1, 0.2, 0.4, 0.8 g and 60 000, 120 000, 240 000 IJs) and volumes (25, 50, 100 ml and 5, 15, 45 ml). Although there is a statistical difference between some combinations due to the trials, it is possible to say that the robotic system performs sensitive applications due to the application of 50 nematodes per cm², which is the commercial dose value.

Key words: Precision agriculture, robot, biological control, entomopathogenic nematode
2022, xiv + 113 pages.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıŐmasının yürütölmesi için gerekli zemini hazırlayan, bilgi ve tecrübeleriyle beni aydınlatan, yol gösteren ve hiçbir zaman emeğini esirgemeyen çok değerli danıŐmanım Sayın Prof. Dr. Halil Ünal' a sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Lisans, Yüksek Lisans ve Doktora eğitimim süresince eğitim hayatıma katkıda bulunan Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakóltesi' nin değerli Öğretim Üyelerine teŐekkürü bir borç bilirim.

Tasarım ve üretim sürecinde bana desteklerini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Tufan Can ULU, Turan TopbaŐtekin, Remzi Sert, Nedim Din, Mustafa Ayęün, Emre Dede, Sayit izme, Murat Akkurt, End System, Star Metal, ON6 Metal ve Star Hareketli Taşıyıcı firmasına katkılarından dolayı teŐekkürlerimi sunarım.

Son olarak eğitim hayatımın başlangıcından itibaren yanımda bulunan ve bana maddi manevi her türlü imkânı sağlayarak hiçbir konuda desteklerini esirgemeyen sevgili aileme sonsuz Őükranlarımı sunarım.

Hilal ERDOĞAN

.../.../.....

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	8
2.1. Tarımda Hassas Tarım Teknikleri ve Robot Kullanımı.....	8
2.1.1. Yabancı ot kontrolü robotları.....	8
2.1.2. Ekim robotları.....	13
2.1.3. Hastalık ve böcek tespiti robotları.....	14
2.1.4. Ürün takibi robotları.....	16
2.1.5. Püskürtme robotları.....	18
2.1.6. Hasat robotları.....	20
2.1.7. Bitki/Tesis yönetim robotları.....	23
2.2. Entomopatojen nematodların uygulanması.....	26
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	32
3.1. EPN uygulaması için kullanılan robotik sistem: NEMABOT.....	32
3.2. EPN temini ve yetiştirilmesi.....	46
3.3. Uygulama.....	47
3.4. İstatistiksel analizler.....	52
3.5. Değerlendirme ölçütleri.....	52
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	53
4.1. Robotik sistemin (Nemabot) tasarım sonuçları.....	53
4.2. <i>Steinernema feltiae</i> ile yapılan deneme sonuçları.....	56
4.3. <i>Heterorhabditis bacteriophora</i> ile yapılan deneme sonuçları.....	60
4.4. NEMABOT üretim maliyeti.....	65
5. SONUÇ.....	66
KAYNAKLAR.....	69
EKLER.....	83
EK 1 G-kodlar.....	84
EK 2 Yazılım.....	109
ÖZGEÇMİŞ.....	112

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
cm	Santimetre
da	Dekar
g	Gram
h	Saat
km	Kilometre
kPa	Kilopascal
L	Litre
m	Metre
m ²	Metrekare
ml	Mililitre
mm	Milimetre
Nm	Newton metre
s	Saniye
V	Volt
\$	Dolar
%CV	Varyasyon katsayısı
Ø	Çap
°C	Santigrat

Kısaltmalar	Açıklama
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
BNDVI	Blue Normalised Difference Vegetation
CCD	Charged-Coupled Device
CNC	Computer Numerical Control
DC	Direct Current
DoD	Drop on Demand
DSLR	Digital Single-Lens Reflex
EPN	Entomopatojen Nematod
GIS	Geospacial Information Systems
GPS	Global Positioning System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GRVI	Green-Red Vegetation Index
IJ	İnfektif Jüvenil
IMU	Inertial Measurement Unit
IoT	Low-cost Internet of Things
IPM	Integrated Pest Management
İHA	İnsansız Hava Aracı
IR	Infrared
LED	Light-Emitting Diode
LiDAR	Light Detection and Ranging
NDVI	Normalised Difference Vegetation

NIR	Near Infrared
NS	Not Significant
NSGA	Non-dominated Sorting Genetic
PCT	Patent Cooperation Treaty
PM	Powdery Mildew
RGB	Red Green Blue
RPM	Revolutions Per Minute
RTK	Real Time Kinematic
RVI	Ratio Vegetation Index
SSCM	Site-specific Crop Management
TSWW	Tomato Spotted Wilt Virus
UV	Ultraviyole
YUDAB	Yurtdışı Araştırma Bursu

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1.	EPN'lerin hayat döngüsü 6
Şekil 2.1.	Robot Weedy'nin ot kontrol aktüatörü ve sensor sistemi 11
Şekil 2.2.	İsteğe bağlı herbisit uygulamasının görseli 12
Şekil 2.3.	(A) Doğal aydınlatma koşullarında görüntü elde etmek için mobil platform (B) Yapay bulut aydınlatma koşullarında görüntü elde etmek için mobil platform 16
Şekil 2.4.	Mobil robot sistemi 20
Şekil 2.5.	Domates koparma işlemi..... 22
Şekil 2.6.	Parabug firmasının uygulamalar için kullandığı İHA görüntüsü 24
Şekil 2.7.	Koppert firmasının geliştirdiği biyolojik mücadele uygulama ürünleri 25
Şekil 2.8.	Tüm püskürtme çubuğu konfigürasyonlarının şeması 30
Şekil 3.1.	Sistemin perspektif görünümü..... 34
Şekil 3.2.	Sistemin taşıyıcı masasının patlatılmış görünümü 35
Şekil 3.3.	Tekerlekli paletli Sparkfun marka mini mikro switch 35
Şekil 3.4.	Sistemin karıştırma elemanının patlatılmış görünümü 37
Şekil 3.5.	Salıncak motoru 38
Şekil 3.6.	Sistemin peristaltik pompasının patlatılmış görünümü 39
Şekil 3.7.	Sistemin köprü sacının patlatılmış görünümü 40
Şekil 3.8.	Sistemin X ve Y düzleminde hareketini sağlayan kızak/ray ve araba 40
Şekil 3.9.	4 eksen TB6560 CNC kontrol kartı (solda), Arduino UNO R3 (sağda) 41
Şekil 3.10.	Sistemin dikey hareket elemanının patlatılmış görünümü 42
Şekil 3.11.	Sistemin kolunun patlatılmış görünümü 43
Şekil 3.12.	Sistemin X–Y–Z düzleminde hareket kabiliyeti için kullanılan makineelemanları 44
Şekil 3.13.	Sistemin pano görüntüsü A) Dış kapak B) İç kısım 45
Şekil 3.14.	Entomopatojen nematodların mikroskop görüntüsü 46
Şekil 3.15.	EPN üretimi için kullanılan kuyulu kap (A) ve White Trap düzeneği (B) 47
Şekil 3.16.	Örnek G-kodlar 49
Şekil 3.17.	CNC kontrol kartı ara yüzü (A), robotun dozajlama için izlediği yol (B) 49
Şekil 3.17.	CNC kontrol kartı ara yüzü (A), robotun dozajlama için izlediği yol (B) (devam) 50
Şekil 3.18.	Robot sistemin çalıştığı yazılım satırların bir kısmı 51
Şekil 4.1.	25 ml süspansiyon içerisinde uygulanan farklı dozlardaki İJ sayısının atım düzgünlüğü 57
Şekil 4.2.	50 ml süspansiyon içerisinde uygulanan farklı dozlardaki İJ sayısının atım düzgünlüğü 57
Şekil 4.3.	100 ml süspansiyon içerisinde uygulanan farklı dozlardaki İJ sayısının atım düzgünlüğü 58
Şekil 4.4.	25 – 50 – 100 ml için dozajlamanın hacimsel düzgünlüğü 60

Şekil 4.5.	5 ml süspansiyon içerisinde uygulanan farklı dozlardaki IJ sayısının atım düzgünlüğü	61
Şekil 4.6.	15 ml süspansiyon içerisinde uygulanan farklı dozlardaki IJ sayısının atım düzgünlüğü	61
Şekil 4.7.	45 ml süspansiyon içerisinde uygulanan farklı dozlardaki IJ sayısının atım düzgünlüğü	62
Şekil 4.8.	5 – 15 – 45 ml için dozajlamanın hacimsel düzgünlüğü	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa
Çizelge 3.1.	Parça referanslarının açıklaması	33
Çizelge 4.1.	25 – 50 – 100 ml uygulama için istatistiki veriler	58
Çizelge 4.2.	25 – 50 – 100 ml için tüm uygulamaların ortalama, standart sapma ve hataları ile CV (varyasyon katsayısı) değerleri	59
Çizelge 4.3.	5 – 15 – 45 ml uygulama için istatistiki veriler	62
Çizelge 4.4.	5 – 15 – 45 ml için tüm uygulamaların ortalama, standart sapma ve hataları ile CV (varyasyon katsayısı) değerleri	63
Çizelge 4.5.	NEMABOT üretimi için maliyet tablosu	65

1. GİRİŞ

Eskiden tarım operasyonlarının gücü öncelikle insan emeğiydi. Daha sonra yük hayvanları güç kaynağı olarak kullanıldı. 1858’de buhar motorlarının geliştirilmesiyle mekanik güç birincil kaynak haline geldi. 1889’da içten yanmalı motorlu ilk traktör yapıldı. İçten yanmalı motorlarla çalışan traktörler, buharla çalışan traktörlerden daha hafif ve daha güçlüydü. 1930’larda yüksek sıkıştırımlı dizel motor, traktörler için benimsendi ve çok popüler oldu. Günümüzün modern traktörü, hidrostatik tahrikli, çekme kuvvetini ve çalışma derinliğini kontrol eden elektro-hidrolik servolara ve ergonomik olarak tasarlanmış, klimalı operatör kabinine sahip çok gelişmiş bir makinedir (Fitzgerald, 1991; Goering, 2008). Küresel konumlandırma sistemleri (GNSS-Global Navigation Satellite System) ve coğrafi bilgi sistemleri (GIS-Geospatial Information Systems) gibi teknolojilerdeki gelişmeler, toprak değişkenliği verimlilik verilerinin uygulamayı kontrol eden bir yerleşik bilgisayarda depolandığı, yaygın olarak hassas tarım olarak bilinen kavramın geliştirilmesine yol açmıştır (Marinoudi, Sørensen, Pearson ve Bochtis, 2019; Reina, Milella ve Galati, 2017). Gübreler, pestisitler ve herbisitler gibi kimyasalların uygulanma oranları da takip edilmektedir. Bununla birlikte, dünyanın pek çok yerinde, özellikle III. Dünya ülkelerinde, hayvan ve insan emeğinin, çiftçilik operasyonları için ana güç kaynağı olmaya devam ettiği belirtilmelidir. En gelişmiş ülkelerde bile, ürünlerin hassas yapısı nedeniyle taze meyve ve sebze hasat işlemleri için hala el emeği kullanılmaktadır. Mekanizasyon düzeyi, insan emeğinin mevcudiyetine ve her ülkedeki sanayileşme düzeyine bağlıdır (Pedersen, Fountas, Have ve Blackmore, 2006).

Tarımda mekanizasyon, çiftçilik için işgücü taleplerinin azaltılmasında ve diğer endüstrilerin geliştirilmesinde önemli bir faktördü. Dünya genelinde 1900’de ABD gibi gelişmiş ülkelerin nüfusunun yaklaşık üçte ikisi çiftlikle uğraşıyordu. Şu anda gelişmiş ülkelerin nüfusunun sadece %3’ü tarımla uğraşmaktadır. Tarımsal mekanizasyon, tarımı geçimlik ihtiyaçtan büyük bir endüstriye dönüştürdü. Bugün, parasal değerde, tarım sektöründen yapılan ihracat, ülkelere silah satışından sonra ikinci sırada yer almaktadır. Ancak tarımda mekanizasyon, yoğun sermaye ve enerji demektir. Enerji maliyetleri ve makine satın almak için sermayenin gücü, bir toplumdaki mekanizasyon düzeyini belirler.

Bu nedenle, üretim tarımı birçok zorlukla karşı karşıyadır. Artan enerji maliyetleri, küresel pazarda daha fazla rekabet ve çevreyle ilgili artan endişeler, ziraat mühendislerinin tarımı üretken ve uygun fiyatlı tutmak için yüzleşmeleri gereken yeni zorluklar ortaya koyuyor. Tarım makineleri alanı dinamiktir ve üretim tarımının değişen ihtiyaçlarını karşılamak için gelişmeye devam edecektir (Fando ve Klavdieva, 2021).

Tarım sektörü umut verici görünen yeni teknolojiler ile veriye dayalı tarıma geçiş yapılmaktadır. Mikroişlemciler de dahil olmak üzere elektronik bilimi, modern tarım ekipmanlarının ayrılmaz bir parçası haline geldi. Mekatronik sistemler, bu tür kullanımların sadece bir örneğidir. Bir diğeri, hassas tarım olarak da adlandırılan sahaya özel ürün yönetimidir (SSCM-Site Specific Crop Management) (Defterli, Shi, Xu ve Ehsani, 2016; Slaughter, Giles ve Downey, 2008).

Konvansiyonel tarımda tarlalar tekdüze olarak işlenir. Örneğin, tarlanın kendisi tekdüze olmasa bile gübre uygulama oranı tüm tarlada sabit kalır. Mesela, engebeli arazide, bir tepeye yakın toprak yağış tutamazken, tepenin eteğine yakın toprak fazlaca su tutabilir. Hassas tarımın amacı, mekânsal farklılıklardan yararlanarak üretimi avantajlı hale getirmektir. Örneğin bu belirtilen arazinin engebeli yapısından dolayı her noktada su tutma kapasitesinin farklılığı gübreleme açısından da farklılık göstermektedir. Bir başka deyişle arazide bulunan yabancı ot dağılımı bölgeye göre farklılık gösterebilir. İlaçlamayı her bölgeye yapmak çevreye ve insana daha da zararlı olacaktır. Aynı şekilde zararlı böceklerin popülasyonu da bölgeye göre değişiklik gösterebilir. Yerinde olmayan ilaçlama da sıkıntılara ve dolayısı ile maliyet açısından zarara yol açacaktır (Kai, Gao-di, Yun-fa ve Yu, 2003).

“Akıllı tarım” olarak da bilinen hassas tarımın kökenleri, ilk olarak 1970’ler ve 1980’lere uzanan endüstriyel üretimde uygulanan gelişmelere dayanmaktadır. Algılama, teknolojilerinin ve otomasyonun konuşlandırılması yoluyla uygulamada gerçekleştirilen verimliliği artırmak için izleme ve müdahale tekniklerinin kullanımı ile ilgilidir. Hassas tarımın gelişimi, mekânsal ve zamansal değişkenliği daha iyi ele alma arzusu tarafından yönlendirilmiştir. Amaç, girdileri daha etkili yollarla azaltmak ve hedeflemek için daha akıllı makineleri kullanmaktır. Otonom sistemlerin gelmesi; bize atıkları azaltan,

ekonomik uygulanabilirliği artıran, çevresel etkiyi azaltan ve gıda sürdürülebilirliğini artıran küçük, akıllı makinelere dayalı yeni bir esnek tarım ekipmanı yelpazesi geliştirme fırsatı vermektedir (Usery, Pocknee ve Boydell, 1995). Robotik teknolojilerinin, örneğin ıslak topraklarda hareket edebilme, gece çalışabilme vb. gibi fırsatlar yaratma konusunda önemli bir potansiyeli vardır. Ayrıca, sahada robotik platformlar tarafından toplanan duyuşsal veriler toprak, tohumlar, çiftlik hayvanları, ürünler, maliyetler, çiftlik ekipmanları, su ve gübre kullanımı hakkında zengin bilgiler sağlayabilir. Düşük maliyetli nesnelerin interneti (IoT- Low-cost Internet of Things), teknolojileri ve gelişmiş mantıksal çözümleme, çiftçilerin hava durumu, sıcaklık, nem, fiyatlar vb. ile ilgili verileri analiz etmelerine ve verimi nasıl optimize edecekleri, planlamayı nasıl iyileştirecekleri gibi çevre hakkında daha akıllı kararlar alma konusunda hatta ihtiyaç duyulan kaynak düzeyi ve israfı en aza indirmek ve verimi arttırmak için bu kaynakların ne zaman ve nereye dağıtılacağını belirlemek gibi öngörüler sağlamaya şimdiden yardımcı olmaya başlamıştır (Fountas ve diğerleri, 2020; Stone, Benneweis ve Van Bergejik, 2008).

Küresel olarak tarım sistemleri artık yabancı otları, böcekleri ve hastalıkları kontrol etmek için büyük ölçekli sentetik pestisit uygulamalarına bağımlı hale gelmiştir. Kimyasal güvenliğin ve çevresel etkilerin daha iyi anlaşılması, birden fazla ürünün geri çekilmesine yol açarak çiftçilere sunulan aktif bileşenlerin sayısını azaltmıştır. Ayrıca, her zamankinden ileri seviye düzenleme ve kayıt maliyetleri, tarım pazarına giren yeni pestisitlerin sayısını azaltmaktadır. Bu nedenle, pestisit kullanımını gerektirmeyen veya kullanımını azaltan ürünler üretmenin yeni yollarını bulmak için küresel bir ihtiyaca gerek vardır. Artık yabancı otları yönetmek için kamera yardımcı çapalar, hassas püskürtücüler veya lazerler kullanarak herbisit ihtiyacını azaltan bir dizi ürün ayıklama robotu vardır. Gelişme döneminde olmasına rağmen, bu teknoloji büyük umut vaat etmektedir. Ayrıca robotlara yerleştirilen yeni sensörler, hem zararlıları ve hastalıkları tespit ederek hem de böcek ilacı ve fungusit uygulamasını hassas bir şekilde yaparak pestisit kullanımını azaltmaktadır. Robotlar, örneğin, ürün zararlılarına ve hastalıklarına karşı koymak için biyopestisitlerin doğru ve düşük maliyetli dağılımı için entegre zararlı kontrolü (IPM- Integrated Pest Management) sistemlerinin bir parçası olarak da kullanılabilir (Cowan ve Gunby, 1996; Huang, Chen, Tan, Chen ve Liu, 2019; Shoemaker, 1973). Diğer bir tarımsal savaş yöntemi olan biyolojik mücadele yöntemi

kimyasal mücadeleye alternatif en başarılı ve uygulanabilir yöntem olduğu tespit edilmiştir (Eilenberg, Hajek ve Lomerve, 2001).

Biyolojik kontrol ya da biyolojik mücadele; başka bir organizmayı kontrol etmek için avcı böceklerin (predatör) ve parazitoidlerin kullanımı olarak tanımlanır. Biyolojik mücadele ajanı olarak bilinen entomopatojen nematodlar (EPN'ler) farklı iklim koşullarında ve hemen hemen tüm coğrafyada yaşayabildikleri için geniş uygulama alanına sahiptirler (Griffin, Downes ve Block, 1990; Hominick, 2002; Hominick, Reid, Bohan ve Briscoe, 1996; Poinar, 1990). Geniş konukçu enfekte etme özelliğine sahip olmasından dolayı her toprak altı zararlının larvasına karşı etkilidir (Peters, 1996). Konukçu dışında insanlara, hedef olmayan organizmalara ve çevreye karşı olumsuz etkisinin olmamasından dolayı güvenilirdirler (Lacey ve diğerleri, 2015). Aktif bir şekilde farklı konukçu arama yetenekleri (arayıcı, tuzakçı gibi) EPN'leri konukçulara karşı avantajlı kılmaktadır (Grewal, Selvan ve Gaugler, 1994; Lewis, Gaugler ve Harrison, 1992). Damla sulama, el spreyleri, yağmurlama sulama ve pülverizatörler gibi geleneksel birçok tarım alet ve makinası ile rahatlıkla uygulanabilirler (Georgis, 1990; Koppenhöfer, 2000; Shapiro-Ilan, Arthur ve Lacey, 2017; Wright, Peters, Schroer ve Fife, 2005). Piyasada kullanılan pestisit ve gübreler ile uyumlu (De Nardo ve Grewal, 2003; Rovesti, Heinzpeter, Tagliente ve Deseö, 1988; Ulu, Sadıç ve Susurluk, 2016) ve büyük alanlarda uygulama için *in vitro* sıvı kültürde büyük ölçekli olarak üretilebilmeleri (Ehlers, Lunau ve Krasomil-Osterfeld, 1988; El-Sadawy, 2011), EPN'lerin pestisitlerin yerine güvenilebilir bir alternatif olduğunu göstermiştir (Ulu, 2018).

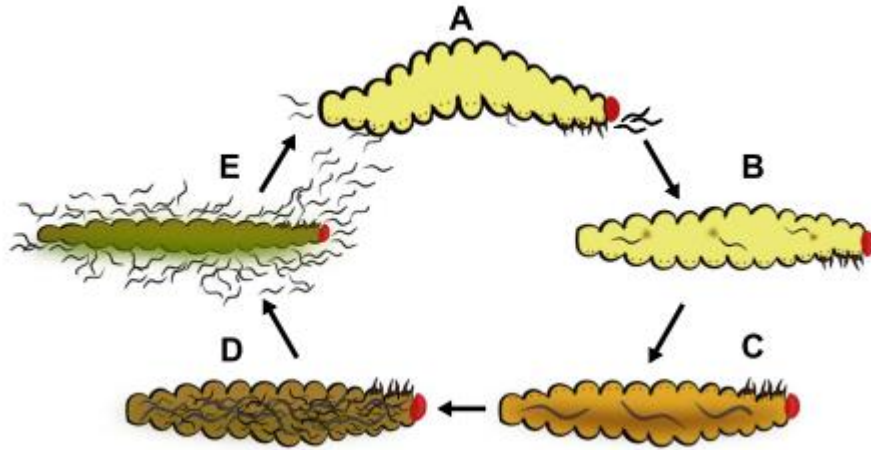
İlk olarak 1920'lerde keşfedilen EPN'ler, 1950'den itibaren artan bir ilgi gördü ve 1980'lerde ticarileşmeleri başladı (Ehlers, 2005; Piedra Buena, López-Cepero ve Campos-Herrera, 2015). Entomopatojen nematodlar, Nemata şubesi, Secernentea sınıfı, Rhabditida takımının Heterorhabditidae ve Steinernematidae familyalarına bağlı, biyolojisinin %90'ından fazlasını toprakta geçiren, canlılıklarının devamı için konukçu bir böceğe ihtiyaç duyan obligat endoparazit canlılardır. Mikroskobik ölçülerde olan EPN'lerin boyları ortalama 500-1000 µm arasındadır ve türe göre değişiklik göstermektedir (Lewis ve Clarke, 2012; Nguyen ve Smart, 1995).

EPN'ler, diğer tüm nematodlarda olduğu gibi yumurta, dört adet jüvenil ve ergin olmak üzere üç farklı döneme sahiptir. EPN'lerin konukçu dışında yaşıyan en önemli evresi olan ve üçüncü dönem jüvenillerin (J3) özel formu olan infektif jüvenilleri (IJ), toprak altında aylarca aktif şekilde konukçularını arayabilme ve beslenmeden yaşayabilme özelliğine sahiptirler (Glazer, 2002; Susurluk ve Ehlers, 2008b; Ulu, 2018).

Türe göre değişmekle birlikte IJ'ler Enterobacteriaceae familyasına ait ve gram-negatif olan bakteriler ile simbiyotik ilişki içerisindedirler. Bu simbiyont bakteriler konukçu böceğin ölümünde ve EPN'lerin üremesinde önemli rol oynar. Simbiyotik bakteriler konukçu böcek içerisine girdikten sonra hızla çoğalmaya başlar ve kitinaz, proteaz, lipaz, vb. diğer bileşikleri salgılayarak konukçu böceğin sindirilmesi ve sonunda ölmesine neden olur. EPN türleri ile bakterisi arasında bir özelleşme bulunmaktadır. *Heterorhabditis* türü EPN'ler *Photorhabdus* spp. bakterileriyle, *Steinernema* türleri ise *Xenorhabdus* spp. bakterileri ile simbiyotik ilişki içerisindedirler (Akhurst, 1983; Boemare, Laumond ve Mauleon, 1996; Ulu, 2018).

Aktif biçimde konukçularını arayan IJ'ler konukçuya temas ettiklerinde ağız, anüs, stigma vb. doğal açıklıklardan, konukçuda bulunabilecek yaralardan veya *Heterorhabditis* türlerinin ağız kısmında bulunan diş benzeri çıkıntılar sayesinde intersegmental zarı parçalayarak giriş yapar (Bedding ve Molyneux, 1982). IJ'ler larvanın hemosölüne (vücut boşluğu) ulaştıktan sonra ağız ve anüslerinden simbiyotik bakterilerini konukçuya bırakırlar. Simbiyotik bakteri larva hemolimfinde (vücut sıvısı) çoğalmaya başladıktan sonra yukarıda bahsedilen bileşikler sayesinde 36-48 saat içerisinde larva kan zehirlenmesi (septisemi) nedeniyle ölür ve konukçunun kadavrası EPN'lerin üremesi için uygun bir besin ortamı (biomass) haline dönüşür (Kaya ve Gaugler, 1993; Susurluk, 2008). Konukçu böceğin EPN'lerin üremesi için uygun bir ortam haline gelmesinden sonra besin sinyalini alan IJ'ler (Shapiro-Ilan, Hiltpod ve Lewis, 2018), buldukları dinlenme döneminden çıkarak dördüncü dönem jüvenil (J4) dönemine geçerler ve döngülerine devam ederler. *Heterorhabditis* türlerinde IJ evresinde ergin döneme geçen bireyler hermafrodit olur ve eşeysiz (automictic) ürer. İkinci ve sonraki döllerin erginlerinde ise hermafrodit oranı azalır, dişi ve erkek bireyler oluşarak eşeyli (amphimictic) üreme gerçekleşir. *Steinernema* türlerinde ise bu hermafrodit

bireyler oluşmamaktadır. Konukçu böceğin büyüklüğüne göre değişmekle birlikte konukçuda üç döl kadar üreyebilen EPN'ler, besin tükenmeye başladıktan sonra üçüncü juvenil dönemdeyken dördüncü döneme geçmezler ve IJ formuna dönüşürler (Ulu, 2018). Larva içerisindeki besin tamamen bittiğinde ise larvanın kütikulasını parçalarlar ve toprağa geçerek yeni konukçularını aramaya başlarlar (Şekil 1.1) (Bal, Taylor ve Grewal, 2014).



Şekil 1.1. EPN'lerin hayat döngüsü

A) Enfekte olmamış bir konukçuya IJ'ler bulaşır. B) Konukçuya girdikten sonra IJ'ler simbiyotik bakterileri serbest bırakır ve istila eder. C) Bakteriler çoğalır ve IJ'ler ergin olurlar. D) Ergin dönemler döl verir. E) Besin kaynakları tükenir ve yeni ortaya çıkan IJ'ler tükenmiş bir kavadradan dağılır ve yeni konukçu ararlar (Baiocchi, Lee, Cho ve Dillman, 2017).

Biyolojik mücadele ajanlarının olumsuz olarak nitelendirilebilecek özelliklerinden bazıları; üretim, formülasyon ve depolama maliyetlerinin fazla olması, etkinliğinin pestisitlere göre nispeten düşük olması, uygulama sonuçlarının çok hızlı görülebilmesi, uygulama sırasından uzmanlık gerektirmesi ve hassas bir uygulama yönteminin belirlenememesi olarak sıralanabilir. Bu gibi nedenlerden dolayı, biyolojik mücadelenin yaygınlaşabilmesi için, dünya genelinde yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırmaların büyük bir kısmı, biyolojik mücadele ajanlarının etkinliğini artırmak için davranış üzerine çalışmalar yapmak (Erdogan ve diğerleri, 2021a, 2021b; Kaplan ve diğerleri, 2020), üretim ve depolama maliyetlerini azaltmak, üretim verimini artırmak,

kullanım kolaylığı sağlayan formülasyonlara geçiş yapmak gibi amaçlara yönelmiştir (Vemmer ve Patel, 2013; Ulu, 2018).

Bu çalışmada, hassas tarımın ilkelerini yerine getirerek doğru girdiyi doğru miktarda, doğru yere, doğru zamanda ve doğru şekilde EPN uygulaması yapmak üzere prototip bir robotik sistem tasarlanmış ve üretilmiştir. Bu sayede EPN'leri istenen konuma, istenen süspansiyon (EPN+su) içerisinde istenen EPN sayısı için uygulamalar yapılmıştır. NEMABOT ile uygulanan tüm kombinasyonlar için robotun hacimsel olarak uygulama hassasiyetinin ve EPN miktarı bakımından atım düzgünlüğü ile EPN canlılığı test edilmiştir. Ekonomik olarak pestisitlere nazaran pahalı olan biyolojik mücadele ajanlarının etkin kullanımını amaçlanmıştır. Robotik sistem için patent başvurusu yapılmış ve PCT (Uluslararası patent raporu- Patent Cooperation Treaty) raporu (PCT/TR2019/050768) patentlenebilir yani tüm istemler A kodlu olarak kabul edilmiştir. Yurt içinde ise tescillenmiştir (TR2018 14310 B). YÖK'ün öncelikli alanlarından biri olan Sürdürülebilir/Etkin Tarım kapsamına giren bu çalışma ile bilime yenilik getirme, tarım alanları ve su kaynaklarının kimyasal mücadele nedeni ile oluşacak kirliliğin indirgenmesi amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Tarımda Hassas Tarım Teknikleri ve Robot Kullanımı

Tarımsal süreçlerde kullanılan robotik sistemleri; 1-yabancı otların ayıklanması, 2-tohum ekimi, 3-hastalık ve böcek tespiti, 4-ürün izleme (bitki izleme ve fenotipleme), 5-ilaçlama, 6-hasat ve 7-bitki/tesis yönetim robotları olarak sınıflandırmak mümkündür (Blackmore, Fountas, Gemtos ve Griepentrog, 2009).

2.1.1. Yabancı ot kontrolü robotları

Yabancı ot kontrolü, ürün üretim döngüsü içindeki en çok tekrarlanan, sıkıcı ve zaman alıcı faaliyetlerden biridir. Özellikle gelişmekte olan ülkeler ve küçük çiftlikler için, yabancı ot yönetimi işgücü ihtiyacının %40' ından fazlasını oluşturmaktadır. Yabancı ot yönetimi en zor görevlerden biri olmasının yanı sıra, özellikle emek gerektiren ürünlerde yüksek işçilik maliyeti de dâhil olmak üzere en maliyetli görevlerden biridir. Ayrıca, ürün üretimi sırasında tarladan yabancı otları arındırmak, bitki sağlığını ve verimini artırmak için büyük miktarlarda herbisit kullanıldığından, çevre üzerinde olumsuz etkisi olan bir tarla operasyonudur. Örnek olarak, pirinç, buğday ve mısırdaki küresel tahmini kayıp potansiyelinin %46,2-61,5' ini yabancı otların ve %27,3-33,7' sini haşerelerin neden olduğunu göstermektedir (Oerke, 2006, Utstumo ve diğerleri, 2018).

Geleneksel olarak, ayıklama için mekanik ve kimyasal ayıklama olmak üzere iki yaklaşım vardır. Mekanik yabancı ot temizleme; yabancı ot bitkilerini kopararak, yakarak veya keserek yok etme görevini tanımlar. Bahsedilen üç mekanik ayıklama yönteminin her biri için çeşitli araçlar mevcuttur. Yabancı otların mekanik yollarla uzaklaştırılabilmesi için sistemin önce üzerinde çalışacağı sırayı algılaması, ardından yabancı otları kesmesi veya koparması gerekir. Mekanik ot yolma robotları ile kaydedilen sıra tespitindeki hassasiyet 25 mm' den azdır (Bakker, Van Asselt, Bontsema, Müller ve Van Straten, 2006; “Naio”, 2022). Ek olarak, sunulan iki farklı yöntem (mekanik ve kimyasal) için %65-90 ve daha yüksek oranlar sunan sistemler geliştirilmiştir. Bunların dışında, performans ölçütleri sağlanamayan bir dizi ticari mekanik ot yolma robotları vardır (Kim, Kim, Hong, Han ve

Lee, 2012; Reiser, Sehsah, Bumann, Morhard ve Griepentrogark, 2019; “Vitirover”, 2022).

Öte yandan, kimyasal ot temizleme, yabancı otlara toksik etkisi olan herbisitlerin püskürtülmesi ve böylece yabancı otların ortadan kaldırılması anlamına gelir. Oldukça az emek gerektirdiği için popüler olmuştur. Herbisit üreticileri ayrıca, yalnızca yabancı otlar için toksik olan ve ekinler için toksik olmayan, tüm tarlaya kapsamlı bir şekilde püskürtmeye izin veren aktif bileşenler geliştirmişlerdir. Bununla birlikte, özellikle AB' de birçok kimyasal maddenin kullanımı kısıtlanmaya gidilmektedir veya çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkiler nedeniyle yakında kısıtlanacaktır. Ayrıca, yabancı otlar kimyasal direnç geliştirmektedirler ve bu da onların yok edilmesini zorlaştırmaktadır. Herbisitlerin neden olduğu kirliliği azaltmak ve dirençli yabancı otlarla mücadele için önerilen ana çözüm, tüm tarlaya değil, yalnızca yabancı otlara püskürtülen seçici / nokta püskürtmedir. Bu, yabancı otların ayıklanması yani belirlenmesi için daha fazla çalışma saati harcanmasını gerektirecektir. İşin iyi yanı, bilgisayarla görme teknolojilerindeki son gelişmeler, üreticilerin bu işlemi otomatikleştirmesine ve üst düzey yazılımlar ile püskürtme / ot ayıklama robotlarına entegre edilmesine izin vermektedir (Mengüç ve Elibüyük, 2014).

Mekanik ot yolma robotları gibi, sistemin yabancı otları tespit etme etkinliği, kimyasal ot yolma robotları için en kritik performans ölçütleri arasındadır. Bitki sırasındaki yabancı otları algılayan ve seçici olarak bu yabancı ot yapraklarına herbisit damlacıkları atan bir sistem olan Drop on Demand (DoD) sistemi kullanılarak, kimyasal robotlar arasında en yüksek etkinlik %100 olarak tespit edilmiştir (“Asterix”, 2022; Utstumo ve diğerleri, 2018). İdeal koşullar altında %85' in üzerinde etkinlik (yabancı ot algılama ve imha), EcoRobotix (2022) ayıklama robotu tarafından vurgulanmaktadır. Bir dizi ticari kimyasal ayıklama robotik sistemi mevcut olsa da neredeyse hiç performans ölçütü yoktur (“BlueRiver”, 2022; “Ibex”, 2022). Ayıklama için kullanılan algılama sensörleri benzer performans seviyeleri ortaya koymaktadır. Tüm robotlar, Kırmızı-Yeşil-Mavi (RGB-red green blue), kızılötesi (IR-infrared) ve web kameralarının en yaygın olarak kullanıldığı bir kamera kullanır. Akustik mesafe sensörleri, jiroskoplar, lazer mesafe bulucular gibi

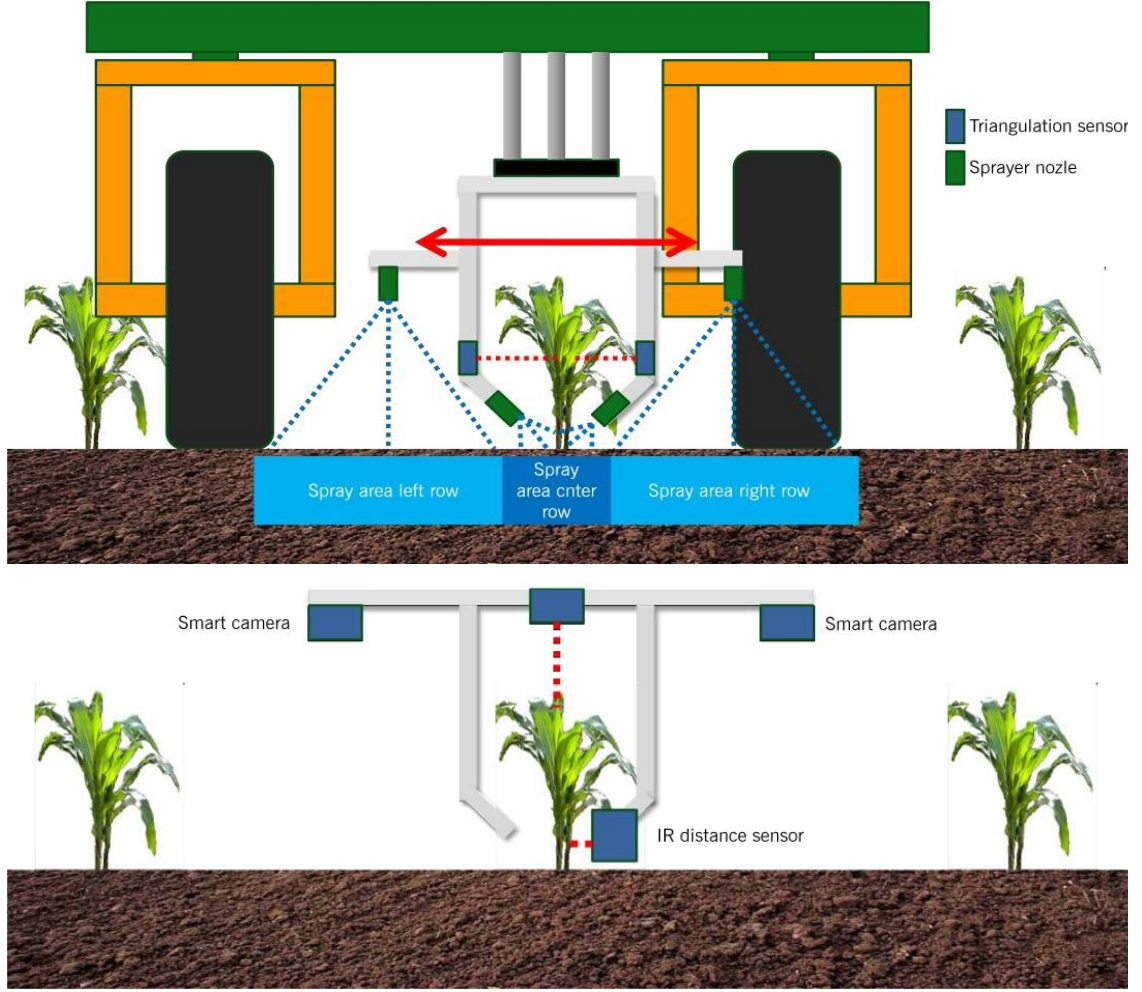
sistemler kullanarak robotun çevresini ve yabancı otlara göre göreceli konumunu belirlemesine olanak tanıyan sensörler de vardır (Van Evert ve diğerleri, 2006).

Lee, Slaughter ve Giles (1999), geliştirmiş oldukları robotik sistem ile domates tarlasında yabancı ot kontrolü tespiti üzerine çalışma yapmışlardır. Algılama sensörü olarak renkli kamera kullanmışlar ve yabancı ot tespitini gerçekleştirmişlerdir. Denemelerinde yabancı otların %24,2' si yanlış tespit edilerek ilaçlanmış ve yabancı otların %52,4' ü ilaçlanmamıştır.

Bakker ve diğerleri (2006), yabancı ot tespiti için renkli kamera kullanmışlardır. Şeker pancarında mekanik olarak yabancı ot kontrolü yapmışlardır. Elde ettikleri sıra algılama hassasiyeti <25 mm iken sıra üzeri yabancı ot temizleme oranı %90' lara ulaşmıştır.

Van Evert ve diğerleri (2006), patates ve mısır ürünlerinde yabancı ot ile mücadele etmişlerdir. Geliştirmiş oldukları sistem ile yabancı otları web kamerası ve katı hal jiroskopu ile tespit etmişlerdir. Kimyasal mücadele yöntemi kullanmışlardır. Patates ürünü için yabancı ot tespiti %98 iken, mısır için %89 algılama doğruluğu ile çalışmışlardır.

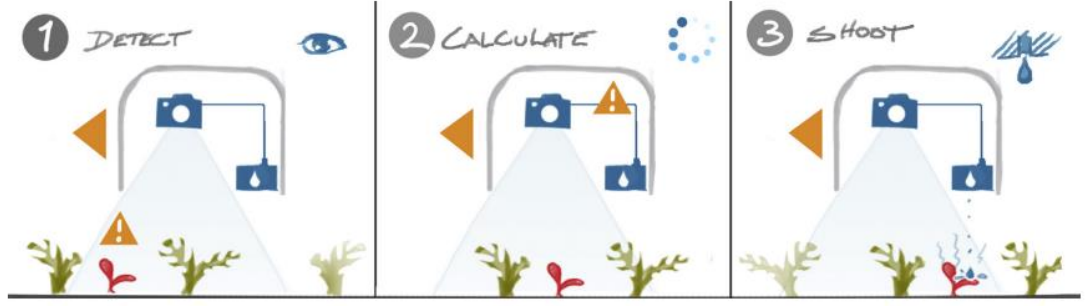
Klose, Thiel, Ruckelshausen ve Marquering (2008), geliştirmiş oldukları robotik sistem üzerinde kameralar kullanarak yabancı ot tespiti sağlamışlardır. Kimyasal mücadele yöntemi için spreyleme mesafesini belirlemede optik ve akustik sensörler kullanmışlardır (Şekil 2.1). Çalışmaların sonucunda başarılı bir şekilde bitkiyi tespit edip ilaçlama yapmışlardır fakat herhangi bir performans ölçütü kaydedilmemiştir.



Şekil 2.1. Robot Weedy'nin ot kontrol aktüatörü ve sensor sistemi (Klose ve diğerleri, 2008)

Kim ve diğerleri (2012), geliştirmiş oldukları robotik sistemde çeltik bitkisinde yabancı ot algılaması üzerine çalışmışlardır. Araştırmalarında lazer mesafe bulucu ve ataletsel ölçüm cihazı (Inertial Measurement Unit—IMU) gibi algılama sensörleri kullanmışlardır. Robot ile yabancı otlarla mekanik olarak mücadele etmişler ve 62 mm' den daha düşük hassasiyet elde etmişlerdir.

Utstumo ve diğerleri (2018), RGB kızıl ötesi kameralar ile havuç bitkisinde yabancı ot tespiti yapıp, DoD yöntemi ile %100 etkinlik sağlamışlardır. Kamera ile sıra üzerinde yabancı ot tespit edilip, püskürtme tetiklenmektedir. Yabancı ot hacmine göre talep edilen damla miktarı uygulanmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. İsteğe bağlı herbisit uygulamasının görseli (Utstumo ve diğerleri, 2018)

Reiser ve diğerleri (2019), üzüm bağlarında bitkiler arasında yabancı ot ile mücadele etmek için robotik bir çapalama makinası geliştirmişlerdir. Elektronik ve mekanik sonar sensörleri ile asma gövdelerini tespit etmişlerdir. Elektronik devre ile ultrasonik speaker'dan ses dalgasının yayılma anı ile bu ses dalgasının engele çarpıp yansiyarak ultrasonik mikrofon tarafından algılanması arasındaki zaman ölçülmüş ve bu zamanın ikiye bölünüp ses hızı ile çarpılması sonucunda da engel ile ultrasonik sensör arasındaki mesafe hesaplanmıştır. Bu yöntemle %82 hassasiyetde yabancı ot ile mekanik olarak mücadele etmişlerdir.

EcoRobotics (2022) firması tarafından geliştirilen “ARA” isimli robot ile, sadece hedef bitkiye hassas bir şekilde yüzey püskürtme işlemi gerçekleştirilmektedir. Maksimum 7 km/h hızla çalışabilen robot, günde 96 hektarı kontrol edebilecek kapasitededir. Gece ve gündüz çalışabilmektedir. Üzerinde 4 cm aralıklı 156 memeli bir kol bulunmaktadır.

Naio (2022) firmasının geliştirmiş olduğu üç farklı robot, yabancı ot mücadelesinde ticari olarak kullanılmaktadır. “OZ” adı ile satılan robot, ufak alanlar için Gerçek Zamanlı Kinematik anlamına gelen Real Time Kinematic (RTK), bir baz istasyonunun yakınında yüksek konumlandırma performansı sağlayan bir cihazla yönlendirme sayesinde tamamen otonom olarak çalışmaktadır. Diğer bir robot “DİNO”, RTK-GPS ve diğer sensörlerden gelen bilgileri bir araya getiren bir yönlendirme sistemi sayesinde 2 cm hassasiyetle tarlalarda otonom olarak gezinmektedir. DİNO, ekim sıralarını algılar ve aletleri bitkilere mümkün olduğunca yakın olacak şekilde konumlandırır. Üzüm bağları için özel olarak tasarlanmış “TED” isimli robot ise, hassas bir şekilde mekanik olarak yabancı ot mücadelesinde kullanılmaktadır.

2.1.2. Ekim robotları

Ekim, ürün üretim döngüsündeki temel görevlerden biridir ve işçilik maliyetine önemli ölçüde katkıda bulunur. Tohum ekme makineleri, hassas tohum ekme çözümleri sunmak için geliştirilmiştir. Son çalışmalar bitki yoğunluklarının yüksek verim için önemini gösterdiğinden, hassas ekim bilim camiasında daha fazla ilgi görmüştür ve bu da son yıllarda tohum ekme robotlarının geliştirilmesine yol açmıştır (Testa, Reyneri ve Blandino, 2016).

Mevcut yayınlanan kaynaklar incelendiğinde, tohumlama robotları için hedeflenen başlıca ürünler, buğday, çeltik ve mısır için ön planda olacak şekilde esas olarak tahıllardır (Haibo, Shuliang, Zunmin ve Chuijie, 2015; Ruangurai, Ekpanyapong, Pruetong ve Watewai, 2015). Diğer taraftan Fendt (2022) firması tarafından yapılan ve tohum ekme robotlarından oluşan akıllı bir filo veya bağımsız birimler olarak kullanılabilen ticari ekim robotlarında ilerleme kaydedilmiştir. Tohumlama için en önemli bilgi tohumun ekileceği derinlik ve konumdur. Dolayısı ile kodlama, tekerlek pusulaları ve yer değiştirme sensörlerini birleştirmek için kuvvet, basınç ve açı sensörleri kullanılmaktadır.

Katupitiya (2014), buğday ekimi üzerine robotik sistem geliştirmişlerdir. Kuvvet, yer değiştirme ve açı sensörlerinden faydalanmışlardır. Yol izleme hatası ± 5 cm' dir ve açı hataları yaklaşık sıfırdır.

Haibo ve diğerleri (2015), sinyal, açı, basınç ve kızılötesi sensörler kullanarak buğday ekimi üzerine robotik bir sistem geliştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar %93,3 hassasiyet göstermektedir.

Ruangurai ve diğerleri (2015), çeltik tarlasında otomatik olarak gezinmenin yanı sıra, ekim noktası başına çeltik tohumu sayısını ve ekim noktaları arasındaki mesafeyi kontrol etme yeteneğine sahip bir makine geliştirmişlerdir. Bir tarla testinde, düşen tohum sayısı için %92' lik bir doğruluk ve bırakma yerinde sadece yaklaşık 5 cm' lik bir hata saptamışlardır.

FarmDroid (2022) firması, bir küresel konumlandırma (GPS-Global Positioning System) sinyali kullanarak, ekim sırasında ekinlerin yerleşimini işaretleyen ve ardından hem sıralar arasında hem de sıralar üzerinde mekanik ot kontrolü gerçekleştiren güneş paneli tahrikli bir tarla robotunu “FarmDroid FD20” geliştirmiştir. Ekimdeki hassasiyet, ürünü yakından izlemeyi mümkün kılar ve böylece manuel yabancı ot kontrolü ihtiyacını en aza indirir veya tamamen ortadan kaldırır. Robot üzerinde yer alan dört güneş paneli, bir pil paketi için güç üretmektedir.

Fendt (2022) firması tarafından geliştirilen “XAVER” ve “MARS” isimli robotik ekim makinaları, hassas ekimini planlamak, izlemek ve doğru bir şekilde kayıt altına almak için sürüler halinde çalışan küçük robotlar ve bulut tabanlı bir çözüm kullanmaktadırlar. Her tohumun konumu ve ekim zamanı doğru bir şekilde kaydedilir. Tohumun tam olarak nereye ekildiğini bilmek bir sonraki tarımsal faaliyetler için kolaylık sağlamaktadır.

2.1.3. Hastalık ve böcek tespiti robotları

Hastalık ve böcek yönetiminde erken tespit ve konvansiyonel sistemlerin yetersiz kalması sebebi ile robotik uygulamalar son zamanlarda dikkat çekmiştir. Hastalık tespiti, üretim döngüsünün önemli bir parçasıdır. Çünkü hastalıklar erken aşamada tespit edilmezse önemli ekonomik hasara/kayba neden olabilir. Böcek tespiti için robot kullanımı çok fazla ilgi görmemektedir. Zararlı böcekler, yaprağın altında, tomurcukların içinde ve hatta yeraltında bile bulunabildiklerinden doğru bir şekilde tespiti zordur.

Hastalık tespiti esas olarak görsel bir görevdir ve bu nedenle tüm robotlar görüş tabanlı bir sistem içerir. Tespit doğruluğu, tespit edilen hastalıklı bitkilerin toplam hastalıklı bitki sayısına oranı olarak tanımlanır. Genellikle tüm robotlar, düşük maliyetli ve kullanımı kolay bir renkli kamera kullanır. İkinci en çok kullanılan kamera türü, orta derecede pahalı olan ve daha karmaşık yüksek hesaplama gücü gerektiren multispektral bir kameradır. Prensipinde, çoklu/hiper-spektral sensörlü tüm sistem konfigürasyonları, renkli kameralarla birleştirilmiştir. Bu noktada, daha karmaşık sistemi kullanmanın her zaman en iyi sonuçları vermediğini belirtmekte fayda vardır. Daha basit hastalık tespit robotları, esas olarak RGB kamera ile görüntü almaya dayanır (Schor ve diğerleri, 2016, 2017).

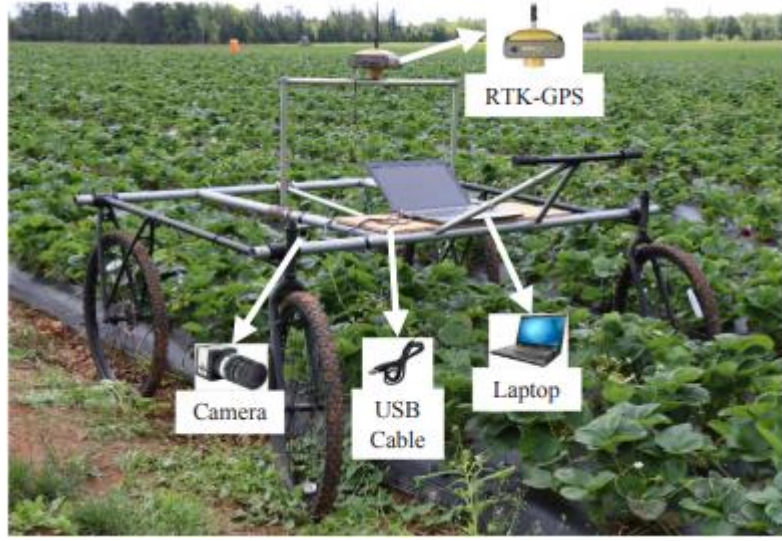
Pilli, Nallathambi, George ve Diwanjive (2015), pamuk ve yer fıstığında hastalık tespiti için çalışmalar yapmışlardır. Pamukta bakteriyel yanıklık ve magnezyum eksikliği tespiti ile yer fıstığında da yaprak beneği ve antraknoz tespiti için RGB kamera kullanmışlardır. Yer fıstığı çalışmalarında elde ettiği hastalık tespit etme hassasiyeti %83-96 arasındadır. Pamuk hastalıklarının tespiti için %90 ve fazlası doğruluk elde etmişlerdir.

Schor ve diğerleri (2016, 2017) sera biber bitkilerinde külleme (PM-powdery mildew) ve domates lekeli solgunluk virüsünün (TSWV-tomato spotted wilt virus) tespiti için renkli kamera kullanmışlardır. Bu yöntem yüksek doğruluk gösterirken (%90), multispektral kamera kullanımı ile bu iki hastalık için sırasıyla %80 ve %61 doğruluk elde etmişlerdir.

Liu, Hu, Zhao, Bai ve Wangve (2019) domates ve çeltik bitkilerinde *Pyralidae* böcek tespiti için RGB kamera kullanarak bir makine tasarlamışlardır. Elde ettikleri deneysel sonuçlar, robot aracın otomatik olarak haşere görüntülerini yakalayabildiğini ve arazide %94,3 tanıma doğruluğu sağlayabildiğini göstermişlerdir.

Rey, Aleixos, Cubero ve Blascove (2019), zeytin ağaçlarında *Xylela fastidiosa* bakteri tespiti için bir dizi sensörü birleştiren farklı bir yaklaşım tasarlamışlardır. Normalize edilmiş farklı bitki örtüsü indeksi (BNDVI-Blue Normalised Difference Vegetation Index) modunda, sayısal tek mercek yansımali (DSLR-Digital Single-Lens Reflex) kamera, yakın kızılötesi (NIR-Near infrared) aralığında hiperspektral sistem, ışık tespiti-uzaklık tayini sensörü (LiDAR-Light Detection and Ranging) ve termal kamera kullanmışlardır. Hastalık tespiti için herhangi bir hassasiyet bilgisi verilmemiştir.

Sultan Mahmud, Zaman, Esau, Price ve Prithiviraj (2019), çilek bitkisinde doğal aydınlatma ve yapay bulut aydınlatma koşullarına (artificial cloud lighting conditions) dayalı bir makine görme sistemi ile külleme yaprağı hastalığını tespit etmişlerdir. Araştırma bulgusuna göre iki farklı aydınlatma koşulunda sırasıyla %72 ve %95 arasında doğruluk saptamışlardır (Şekil 2.3).



A



B

Şekil 2.3. (A) Doğal aydınlatma koşullarında görüntü elde etmek için mobil platform (B) Yapay bulut aydınlatma koşullarında görüntü elde etmek için mobil platform (Sultan Mahmud ve diğerleri, 2019)

2.1.4. Ürün takibi robotları

Bitki izleme, yetiştiricilerin yüksek verim ve kalite sağlamak için gerçekleştirdiği en eski uygulamalardan biridir. Bitki stresinin izlenmesi, renk değişikliği, solma, yapraklarda veya bitki üzerindeki lekeler ya da genel olarak bitkide herhangi bir anormallik semptomları gözlenmektedir. Uzaktan algılama teknolojisi ilerledikçe, insan gözüyle görülmesi bile yetiştiricinin bitki sağlığını ve stresini izlemesi için yeni sensörler

günümüzde kullanılmaktadır. Sıcaklık için termal kameralar ve kızılötesi termometreler kullanılmaktadır (Bayati ve Fotouhi, 2018). Ayrıca bitki sağlığı, fotosentez yeteneği ve daha fazlası hakkında yararlı bilgiler sağlayan Oranlı Bitki Örtüsü İndeksi (RVI-Ratio Vegetation Index), Normalize edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) vb. gibi çeşitli bitki örtüsü indeksleri dalga boylarını birleştirerek kullanılmaktadır (Wang, Hu, Hou, Ning ve Zhang, 2018; Xue ve Su, 2017). Günümüzde sensörlerin yüksek maliyetli olmasına rağmen çeşitli ürün izleme robotları kullanılmaktadır. Nicelleştirilmiş performans ölçütleri olmamasına rağmen, ürün izleme robotlarının çoğu, özellikle meyve bahçesi/ağaç veya üzüm bağları için geliştirilmiştir (“Grape”, 2022; “Vinescout”, 2022).

CO₂ konsantrasyon seviyelerinin ürün gelişimi üzerinde önemli bir etkisi olabilir. Bu kapsamda, toprak besin maddeleri ve bitki büyümesi gibi tarımsal bilgilerin toplanması için Iida, Kang, Taniwaki ve Umeda (2008) “Hexapod” robotunu geliştirmişlerdir ve CO₂ seviyesini 2500 ppm’e kadar gözlemlemişlerdir.

Çeşitli kamera türleri (RGB, hiperspektral, multispektral vb.) ve LiDAR gibi sensörler hacim, bitki örtüsü ve bitki sağlığını izlemek için robotlara dahil edilmiştir. Üzüm bağları genellikle engebeli veya dağlık arazilerde yetiştirildiğinden robotlar bir dizi zorlukların üstesinden gelmek zorundadır (Dos Santos ve diğerleri, 2015).

Bietresato, Carabin, Vidoni, Gasparetto ve Mazzetto (2016), laboratuvar koşullarında ve Vidoni ve diğerleri (2017), yarı yapılandırılmış ortamlarda deneysel olarak değerlendirmeler yapmış ve bir dizi sensör kullanılarak meyve bahçesi gölgelik hacminin ve canlılığının tahmini için bir ürün izleme robotu geliştirmişlerdir ve oldukça güvenilir olduğunu savunmuşlardır.

Bayati ve Fotouhi (2018) kamera ve sensörler kullanarak kanola gibi ürünler için ölçüm hatası %2,5’e varan ürün izleme robotu geliştirmişlerdir. Özel durumlar için hatayı azaltmak üzere platform bir örtü üzerine monte edilmiştir.

Vaeljaots, Lehiste, Kiik ve Leemet (2018), genel ürün izleme robotu geliştirmişler ve toprak örnekleme gibi tarımsal işlemleri gerçekleştirmişlerdir.

Earthsense (2022) firması mısır, soya, buğday vb. ürünler için uygun “TERRASENTIA” isimli bir robot geliştirmiştir.

Bitki izleme robotlarının gelişimine paralel olarak fenotipleme robotları da geliştirilmektedir. Bitki izleme ve bitki fenotiplemenin pek çok ortak noktası vardır. Çünkü her iki durumda da denetim altındaki bitki/meyve hakkında mümkün olduğunca fazla bilgi toplamak için görüş sistemleri kullanılır. Aradaki fark, fenotipleme robotlarının daha çok morfoloji, bitki büyümesi ve ürün performansına katkıda bulunan özelliklere odaklanması, bitki izleme robotlarının ise bitkinin durumuna, sağlığına ve kimyasal bileşimine odaklanmasıdır (Deery, Jimenez-Berni, Jones, Sirault ve Furbank, 2014). Mueller-Sim, Jenkins, Abel ve Kantor (2017), sorgum bitkisi saha denemelerinde tamamen otonom fenotipleme robotu geliştirmişler ve %96'ya kadar sap algılama başarısı elde etmişlerdir. Bu robot ile ayrıca ışık penetrasyonunu, yaprak dikliğini, yaprak nekrozunu (doku çürümesi) ve Yeşil-Kırmızı Bitki İndeksini (GRVI-Green-Red Vegetation Index) ölçmüşlerdir.

2.1.5. Püskürtme robotları

İlaçlama robotları, herbisit püskürtücülerin kullanıldığı yabancı ot mücadelesinin yanı sıra, zararlılar (hastalıklar ve böcekler) ve ayrıca sıvı gübreler için kullanılabilir. Alınan koruyucu önlemler ne olursa olsun, çiftçi toksik aktif maddelere büyük miktarlarda maruz kalmaktadır. Bu nedenle, olası sağlık tehlikelerini önlemek için ilaçlama robotlarının kullanılması önemlidir. Bilgisayarlı görme ve yapay zekânın hızlı gelişimiyle, robotik püskürtücüler, ürün boyunca geleneksel tek tip ilaçlamaya kıyasla seçici ilaçlamaya olanak tanıyan yeni zekâ sistemlerine sahiptir. Robotlar bu tür teknolojileri kullanabilir, tarımın çevresel etkisini ve tüketicilerin pestisitlere maruz kalmasını azaltabilir ve hedeflenen organizmaların bu maddelere karşı direnç geliştirmesini önleyebilir (Fountas ve diğerleri, 2020).

Sammons, Furukawa ve Bulgin (2005), salatalık bitkisi ile çalışarak geliştirdikleri sistemi denemişlerdir. Darbe, kızılötesi sensörleri ve endüktif sensörler kullanarak testlerini

gerçekleştirmişlerdir. Üst yaprak örtüsünün pestisit ile kaplanması %95, alt yaprak örtüsünün kaplanmasını %80 olarak ve son olarak aşırı püskürtme oranını %20 olarak tespit etmişlerdir. Sistemin çalışma başarısını %95 olarak belirlemişlerdir.

Singh, Burks ve Lee (2005), sera ilaçlamalarında kullanılacak altı tekerlekli diferansiyel direksiyonlu bir prototip araç platformunu geliştirmişlerdir. Güç, iki bağımsız sürücüden tekerleklere zincir ve zincir dişlisi aracılığıyla iletilmiştir. Ultrasonik sensörler tarafından sağlanan menzil bilgilerini kullanarak, simüle edilmiş sera koridorlarında aracın gezinmesi için “Bulanık Mantık Tabanlı Orantısal Türevli” bir kontrolör geliştirmişlerdir.

Ogawa, Kondo, Monta ve Shibusawa (2006), ultrasonic sensör ve kamera kullanarak asma yaprağının altına kimyasal püskürtebilen bir robot geliştirmiş ve testlerini yapmışlardır. Deneysel sonuçlardan robot sisteminin hassas püskürtme işlemini ve hassas çalışma kaydının mümkün kılındığını gözlemlemişlerdir.

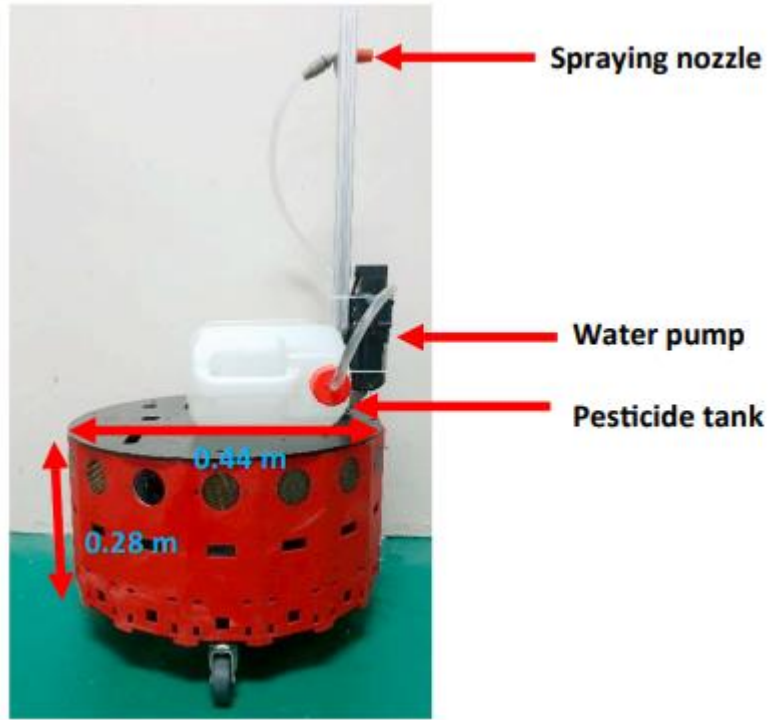
Søgaard ve Lund (2007), geliştirdikleri robotik sistemi, kontrollü iç ortam koşullarında denemişlerdir. Püskürtme işleminin 1 cm’ den daha az doğrulukta uygulanabileceğini ve uygulama hızının geleneksel yöntemlere göre iki kat hızlı olabileceğini saptamışlardır.

Sanchez-Hermosilla, Rodriguez, Gonzalez, Luis ve Berenguel (2010), geliştirdikleri robot sistem ile sera içerisinde denemeler yapmışlar ve navigasyon testlerinde boyuna, yanal ve oryantasyon hatalarının kayma değişimi dahil edilerek sifıra yakın olduğunu tespit etmişlerdir. Orta ve kısa menzilli sonar cihazı kullanmışlardır. Püskürtme sistemini, farklı çalışma noktaları boyunca test etmişlerdir.

Oberti ve diğerleri (2013), sera ortamında saksıda yetiştirilen asma ile çalışmalar yürütmüşlerdir. RGB kamera kullanarak hastalıklı bölgeleri tespit edip ilaçlama yapmışlardır. Robotik seçici püskürtmenin duyarlılığını %85 olarak belirlemişler, ancak toplam sağlıklı alanın %8’ inin gereksiz ilaçlandığını saptamışlardır.

Underwood ve diğeri (2015), bir mobil robot üzerinde bir manipölator koluna bağı ince bir püskürtme memesi kullanarak, sebze tarlasında bitkilere bireysel olarak hassas ilaçlama yapmak için bir sistem tasarlamışlardır. “Ladybird” adını verdikleri bu sistemde hiperspektral kamera, stereo görüş, termal ve monoküler kamera kullanmışlardır.

Mahmud, Abidin, Mohamed, Rahman ve Iida (2019), bir tür kavun çeşidi olan kantalup ile denemeler yapmışlardır. Geliştirdikleri tasarım (Şekil 2.4) ile mobil robotun en iyi rotaları belirlemesi için çeşitli algoritmalar geliştirip sisteme uygulamışlardır. Baskın olmayan sıralama genetik algoritması III’ ün (NSGA-III Non-dominated sorting genetic algorithm) NSGA-II’ ye göre daha iyi kalitede sonuç elde edildiğini doğrulamışlardır.



Şekil 2.4. Mobil robot sistemi (Mahmud ve diğeri, 2019)

2.1.6. Hasat robotları

Hasat, tarımdaki tüm üretim döngülerinin bir parçası olmasına rağmen, emek yoğun ve tekrarlayan görevlerden biridir. Hasadı otomatikleştirmek için özel şirketler ve üniversiteler/araştırma merkezleri tarafından birkaç robotik sistem geliştirilmiştir. İki tür robotik hasat makinesi vardır: toplu (her meyve/sebze hasat edilir) ve seçici (sadece olgun ve hasata hazır meyveler toplanır). Seçici robotik hasatın iki ana performans ölçütü;

toplama hızı ve toplama oranıdır (yani, hasata hazır meyve sayısından başarılı bir şekilde seçilen meyve sayısı (Hayashi ve diğerleri, 2014). Hasat, ürün olgunlaştığında belirli bir zaman diliminde yapılmalı ve ürünün büyük bir kısmı hasat edilmeli, ürüne ve bitkiye zarar vermeden yapılmalıdır. Hasat robotlarının çoğu, özellikle hasat sırasında işçilik maliyeti nedeniyle yüksek üretim maliyetinden muzdarip olan katma değeri yüksek olan çileklere odaklanmıştır (Feng, Qiu, Jiang ve Guo, 2012).

Ceres, Pons, Jiménez, Martín ve Calderón (1998), geliştirdikleri sistemde meyveyi kavrayıp koparma süresini bir meyve için 2 saniye olarak saptamışlardır. Bunun için basınç sensörü, kızılötesi algılama sensörü (IR) ve kamera kullanmışlardır.

Umeda, Kubota ve Iida (1999), karpuz hasadı için bir sistem geliştirmişler ve en yüksek toplama oranını %66,7 olarak tespit etmişlerdir. CCD (Charged-copuled device) kamera ve vakum sensörü kullanmışlardır.

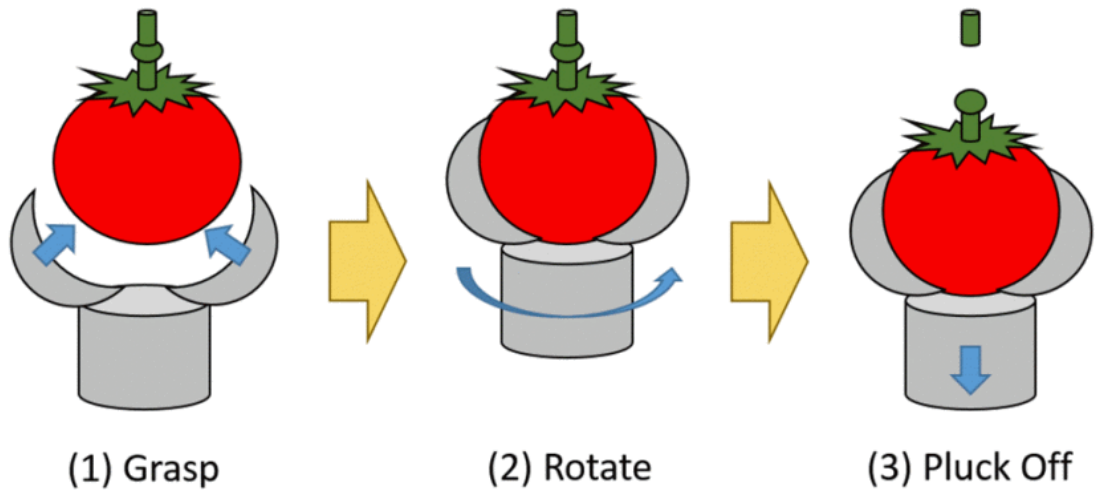
Edan, Rogozin, Flash ve Miles (2000), kavun hasadı için iki siyah beyaz CCD kamera, yakınlık sensörü, uzak ve yakın görüş sensörü kullanarak bir robot geliştirmişler ve 15 saniyede bir meyve hasadı gerçekleştirmişlerdir. En yüksek toplama oranını %85,67 olarak belirlemişlerdir.

Hayashi, Ganno, Ishii ve Tanaka (2002), geliştirdikleri sistem ile patlıcanı 64,1 saniyede hasat etmeyi başarmışlardır. Bunun için CCD kamera ve fotoelektrik sensörü kullanmışlardır. En yüksek toplama oranını %62,5 olarak belirlemişlerdir.

Pilarski ve diğerleri (2002), bir çift video kamera ve navigasyon için küresel konumlandırma sensörü ile donatılmış bilgisayar kontrollü bir biçme makinası tasarlamışlardır. Bu sistem tüm tarla için hasat operasyonlarını planlayabilir ve ardından ekin (yonca) sıralarını keserek, ardışık sıraları kesmek için dönerek, tarlada kendini yeniden konumlandırarak ve beklenmedik engelleri tespit ederek işlevini yürütebilmektedir.

Silwal ve diğerkleri (2016), elma hasadı için geliştirdikleri robotik sistemde renkli kamera ve uçuş süresine dayalı üç boyutlu kamera kullanmışlardır. En yüksek hasat oranını %84 olarak belirlemişler ve bir elmayı 7,5 saniyede hasat etmeyi başarmışlardır.

Yaguchi, Nagahama, Hasegawa ve Inaba (2016), domates hasadı için robotik bir sistem geliştirmişler ve domatesi 23 saniyede hasat etmeyi başarmışlardır. Hasat oranını en yüksek %60 olarak tespit etmişlerdir. Stereo ve playstation kamerası kullanmışlardır. Geliştirdikleri sistem domatesi önce kavrayıp (1), daha sonra döndürüp (2) ve son olarak kopararak (3) hasat işlemini gerçekleştirmektedir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Domates koparma işleminin (Yaguchi ve diğerkleri, 2016)

Feng, Zou, Fan, Zhang ve Wang (2018), kiraz domatesi hasadı için kamera ve lazer sensöründen yararlanmışlardır. Ancak kiraz domatesler salkım şeklinde olduğundan kesme şeklinde hasat işlemini gerçekleştirmişlerdir. Bir salkım kiraz domatesini 8 s' de keserek %83 hasat oranını elde etmişlerdir.

Xiong, Peng, Grimstad, From ve Isler (2019), çilek hasadını 10,6 saniyede gerçekleştirmişlerdir. Hasat oranını %53,6 olarak belirlemişlerdir. Çileği algıladıktan sonra biri pasif diğerk hareketli kol ile kesme yönteminden yararlanmışlardır. RGB kamera ve kızılötesi sensörler kullanmışlardır.

Ticari olarak geliştirilmiş bir sürü farklı hasat robotları günümüzde mevcuttur. Genellikle çilek (“Agrobot”, 2022; “Dogtooth”, 2022; “Harvest Croo Robotics”, 2022; “Octinion”, 2022), elma (“Abundant Robots”, 2022; “FF Robotics”, 2022), domates (“Metomotion”, 2022, “Root-AI”, 2022), turunçgil (“Energid”, 2022), dolmalık biber (“Sweeper”, 2022) ve kuşkonmaz (“Cerescon”, 2022) üzerine yoğunlaşmış ve piyasada bu robotlar halihazırda bulunmaktadır. Piyasada bulunan bu robot sistemler kesme, koparma ve vakum yöntemleri ile hasat işlemini gerçekleştirmektedirler.

2.1.7. Bitki/Tesis yönetim robotları

Ana saha operasyonlarına ek olarak, bitki mimarisine odaklanan robotlar da mevcuttur. Daha spesifik olarak, malzeme taşıma, budama/inceltme ve ip sarmaya odaklanırlar. Malzeme taşıma, üretim döngüsünde çok önemli bir görev değildir, ancak bitki fidanlıkları gibi yetiştirme operasyonlarında çok önemlidir (“Harvest Automation”, 2022; “Vision Robotics”, 2022).

Şerbetçi otu bitkisinin büyümesi sırasında sarılması için ip sarma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu durum, yoğun iş gücü ve maliyet gerektirmektedir. He, Zhou, Zhang ve Charvet (2016), bu amaçla 0,19 m/s hızla hareket ederken %97’ ye varan bir başarı oranı elde eden ip sarma robotu geliştirmişlerdir. Botteril ve diğerleri (2017) ile Zahid ve diğerleri (2020), asmaların ve elma ağaçlarının budanması için güneş ışığını örtecek şekilde tasarlanan, yani sıra üzerinde giderken bir kabin gibi hareket eden robotik sistemler geliştirmişlerdir. Kesici ile monte edilmiş altı eklemlili bir robot kolu ve LED ışıklarla birlikte kameralar kullanılarak budama işlemini gerçekleştirmektedirler.

Görüldüğü üzere robotik sistemlerin tarımın hemen hemen her alanında kullanıldığı ve günden güne gelişme gösterdiği açıktır. Literatür ve ticari robotlar incelendiğinde büyük bir oranda tarımsal savaş mücadelesi için mekanik sistemler ya da kimyasal ilaçlamayı en aza indirecek şekilde uygulama yapan robotlar geliştirilmiştir. Bu kapsamda, bu tez konusu ile biyolojik mücadelede de robotik sistem kullanımına öncülük etmek istenilmektedir. Biyolojik mücadele, zararlıların popülasyonlarını düşürmek için kimyasal maddeler yerine popülasyonlarını düşürecek diğer canlıların kullanılması ile

zararlı popülasyonunu ekonomik zarar eşiği altında tutmak amacıyla yapılan çalışmalardır. Biyolojik mücadele için bazı hassas tarım teknikleri ve yöntemler mevcuttur ancak çok sınırlıdır. Örneğin Parabug (2022) firması özellikle Amerika ve Avustralya bölgesinde insansız hava aracıyla araziye, zararlı ile mücadele edecek faydalı böcekler uygulamaktadır (Şekil 2.6). Çileklerden büyük fındık ağaçlarına, küçük parsellerden büyük tarlalara kadar uygulamalar yapmışlardır.



Şekil 2.6. Parabug firmasının uygulamalar için kullandığı İHA görüntüsü

Koppert (2022) firması faydalı böcek uygulamaları için bir sistem geliştirmiştir. 30 L' ye kadar malzeme taşıyan tamburlu bir sistem içine faydalı böcekleri koyduktan sonra karıştırılması sağlanmaktadır. Hava yolu ile karışımı sıralar üzerine uygulamaktadır. Bu sistem Natutec Drive (Şekil 2.7-a) olarak isimlendirilmiştir. Aynı şekilde firmanın diğer bir ürünü olan Natutec Drone' da (Şekil 2.7-b) faydalı böcekleri drone ile uygulamaktadır. Özellikle EPN uygulamaları için geliştirilmiş robot veya otomatik sistemler mevcut değildir. Ancak EPN uygulamaları için konvansiyonel sistemler kullanılmaktadır.



A



B

Şekil 2.7. Koppert firmasının geliştirdiği biyolojik mücadele uygulama ürünleri
A) Natutec Drive B) Natutec Drone

2.2. Entomopatojen nematodların uygulanması

EPN uygulaması, belirli limitler içerisinde raf ömrünü koruma ve kullanım kolaylığı sağlayan çeşitli formülasyonlarla kolaylaştırılmıştır (Shapiro-Ilan, Arthurs ve Lacey, 2017). EPN formülasyonları, aljinat ve poliakrilamid jelleri, aktif kömür, diyatomik toprak (ince silisli toprak, yosun kumu), kil, macun, turba, vermikülit, poliüretan sünger ve suda dağılabilen granülleri içermektedir (Shapiro-Ilan, Han ve Dolinski, 2012). Kullanıcı dostu olan ve kolayca tanka eklenip püskürtülebilen formülasyonlar en çok arzu edilenlerdir. Vermikülit ve diyatomlu toprak şu anda popüler formülasyonlardır. EPN etkinliği, formülasyonların iyileştirilmesi yoluyla arttırılabilir. Örneğin, kuruma ve UV'ye karşı koruma sağlayarak yer üstü uygulamalarına izin veren formülasyonlar, EPN kullanımını genişletebileceği öngörülmektedir. *Steinernema pictipes* EPN türü içeren püskürtülebilir bir jel olan Barricade ürünü, ağaç kemirme zararlısı gibi hedef zararlıları öldürmek için toprak üstünde kullanılabilir. Toprak üstü EPN uygulamalarını geliştirmek için kullanılan kitosan ve odun unu köpüğü (organik sistemlere uygun olabilen) gibi diğer katkı maddelerinin de etkisi incelenmiştir (Koppenhöfer, Shapiro-Ilan ve Hiltbold, 2020; van Niekerk ve Malan, 2015).

EPN'ler, çeşitli püskürtücüler veya sulama sistemleri dahil olmak üzere çoğu standart tarım ekipmanı kullanılarak uygulanabilir (Shapiro-Ilan ve diğerleri, 2017). Optimum uygulama, çevresel koşullar (nem ve UV radyasyonundan kaçınma), uygun uygulama oranları, meme ve püskürtücü tipi vb. dahil olmak üzere çeşitli faktörlere bağlıdır. EPN etkinliği, farklı uygulama yaklaşımlarıyla geliştirilebilir. Örneğin, sulu sprelerdeki geleneksel uygulamalara göre, nematodların foretik konaklarla (örneğin bir keneyi kuşun uzaklara taşınması gibi) uygulanması (Shapiro-Ilan ve Brown, 2013), enfekte konaklarında (Dolinski, Shapiro-Ilan ve Lewis, 2015) veya kriptik habitatlara (gizli saklı ulaşılması güç yerler mesela toprağın içi, mağaralar, kayaların altı gibi) ulaşan önceden enfekte olmuş konaklarda (Gumus, Karagoz, Shapiro-Ilan ve Hazir, 2015) etkinliğin arttırılması amaçlanmıştır. Bazı bitki uçucuları, nematod davranışını yönlendirerek ve bulaşıcılığı artırarak EPN etkinliğini hızlandırmak için kullanılabilir (Willett, Alborn, Stelinski ve Shapiro-Ilan, 2018). Ayrıca, EPN etkinliğini doğrudan artıran diğer güçlendiriciler, etkinliğin artmasına yol açacaktır. Örneğin, enfekte olmuş konakçı maseratı veya

askarozit (ascaroside) bazlı nematod feromonları, EPN enfektivitesini ve yayılmasını artırabilir ve toprak zararlılarına karşı etkinliğini iyileştirdiği çalışmalarda gözlemlenmiştir (Erdogan ve diğeri, 2021a; Oliveira-Hofman ve diğeri, 2019; Shapiro-Ilan ve diğeri, 2019; Wu, Kaplan, Lewis, Alborn ve Shapiro-Ilan, 2018).

Wright, Witkowski, Echtenkamp ve Georgis (1993), mısır kök kurdu (*Diabrotica virgifera*) ile mücadele için pivot sulama sistemi ile EPN uygulaması yapmışlardır. Denemelerde *Steinernema carpocapsae* (Sc) türü EPN kullanmışlardır. Bir hektar alana 1,2 milyar adet ve 2,5 milyar adet olan iki EPN uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Meme çıkışlarını takip etmişler ve hareket halindeki EPN' leri canlı olarak kabul etmişlerdir. 1,2 milyar ile yapılan denemede 15 ml su içerisinde ortalama 41 adet EPN tespit edilmiş iken, 2,5 milyar ile yapılan denemede ise aynı miktar su içinde ortalama 94 adet EPN saptanmıştır.

Kakouli-Duarte, Labuschagne ve Hague (1997), denemelerinde Sc ve *Heterorhabditis megidis* (Hm) EPN türlerini kullanmışlardır. İki farklı damla sulama sistemi ile uygulama yapmışlardır. Bunlar çift hatlı T-Tape ile tek hatlı T-Tape damla sulama borularıdır. Çift hatlı olanın tek hatlıya göre daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Çilek bitkisinde *Otiorynchus sulcatus* larvaları ile mücadele etmişlerdir.

Mason, Matthews ve Wright (1998), iki farklı döner diskli memeler ile EPN uygulaması yapmışlardır. Lahana yaprak güvesine (*Plutella xylostella*) karşı mücadele etmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre damlalarda nematod dağılımının düzgün olmadığını tespit etmişlerdir. Yoğun bir şekilde kümeleşip tek damlada birikmelerin fazla olduğunu bazı damlalarda ise hiç EPN olmadığını bildirmişlerdir.

Hayes, Fitzpatrick ve Webster (1999), EPN uygulaması için yağmurlama sulama ve tarla pülverizatörü ile uygulama gerçekleştirmişlerdir. Denemelerde 2 da' lık araziye yaptıkları uygulamalar sonucu farklı noktalardan aldıkları 20 örneklemedeki EPN miktarlarına bakmışlardır. Yağmurlama sulamada 5 noktada herhangi bir EPN görülmemiştir fakat pülverizatör ile olan denemede her noktada EPN ye rastlanmıştır ancak bazı noktalarda olması gerekenden iki kat fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Tanka koydukları miktar ile

denemeler sonucu uygulanması beklenen EPN sayılarının da denk gelmediğini gözlemlemişlerdir.

Susurluk (2008), çalışmasında şeker pancarı kurdu (*Bothynoderes punctiventris*) ile Türkiye'den izole edilmiş *Steinernema feltiae* (TUR-S3), *Steinernema weiseri* (BEY) ve *Heterorhabditis bacteriophora* (TUR-2) türü EPN' ler ile farklı toprak sıcaklığı ve derinlik koşullarında mücadele etmiştir. EPN kaynaklı ölümlerin genellikle toprak sıcaklığı 15 °C' den 25 °C' ye yükseldikçe arttığını ancak larvaların toprakta daha derine yerleştirildiğinde ölümlerin azaldığını tespit etmiştir.

Susurluk ve Ehlers (2008a), çalışmalarında kara asma bit larvası (*Otiorynchus sulcatus*) ile *Heterorhabditis bacteriophora* EPN türü ile mücadele etmişlerdir. Çilek bitkisi köklerini EPN süspansiyona daldırarak saksılara dikmişlerdir. EPN' lerin çökmesini azaltmak ve çilek köklerine tutunmayı arttırmak için süspansiyona karboksimetil selüloz ilave etmişlerdir. Kara asma bit larvalarının ölüm oranının %90 ile %96 arasında değiştiğini tespit etmişlerdir.

Susurluk ve Ehlers (2008b), çalışmalarında *Heterorhabditis bacteriophora* EPN türü için farklı ürünler (patates, buğday, bezelye, kolza ve bakla) üzerine uygulayarak toprakta kalıcılığını test etmişlerdir. Uygulamayı 240 m²' lik parsellere 10 l su içerisinde 120 x 10⁶ IJ olacak şekilde püskürterek gerçekleştirmişlerdir. Bitki örtüsünün gelişmesi yani yaprakların toprak yüzeyini kaplaması ile IJ' lerin toprağa ulaşmasının zor olduğunu gözlemlemişlerdir. Uygulanan EPN' lerin merada %77 ve patateste %78' i toprağa ulaşırken, buğday ve bezelyede %50' den az, kolzada %5 ve baklada %6 olarak tespit etmişlerdir.

Susurluk (2011), çalışmasında laboratuvarındaki kanola bitkileri üzerinde lahana sineğine (*Delia radicum*) karşı *Steinernema feltiae*' nin mücadele potansiyelini, lahana sineği larvası ile bulaşık olan alanlardaki kalıcılığını, nematodun lahana sineği larvası ve/veya kanola köklerinin bulunduğu ortamda besin arama davranışlarını incelemiştir. *Steinernema feltiae* EPN türünün laboratuvar denemelerinde 12 hafta kalıcılık gösterdiğini saptamıştır. Kum ile doldurulmuş Y-olfaktometre düzeneği kullanarak *S.*

feltiae' nin *D. radicum* ve kanola köklerine doğru besin arama davranışlarını tek tek ve kombine ederek 8 ve 15 °C' de denemiştir. En fazla nematod yöneliminin her iki sıcaklık değerinde de larvaya karşı olduğunu tespit etmiştir.

Susurluk, Kumral, Bilgili ve Açıköz (2011), çalışmalarında *Heterorhabditis bacteriophora*' nin çimde yeni bir zararlı olan *Dorcadion pseudopreissi*' ye karşı etkinliğini arazide incelemişlerdir. Dişi ve erkek *D. pseudopreissi*' nin bulunduğu kafesleri iki tür çim (*Lolium perenne* ve *Festuca arundinacea*) alan üzerine yerleştirmişler ve böcekler nemli toprak yüzeyine yumurtlarını bıraktıktan sonra kafesleri almışlardır. Parsellerin yarısına 0,5 milyon IJ/m² olacak şekilde uygulama yapmışlardır. *D. pseudopreissi*' nin zarar verdiği alan, her iki çim türünde de nematod uygulaması ile önemli ölçüde azaltıldığını belirlemişlerdir.

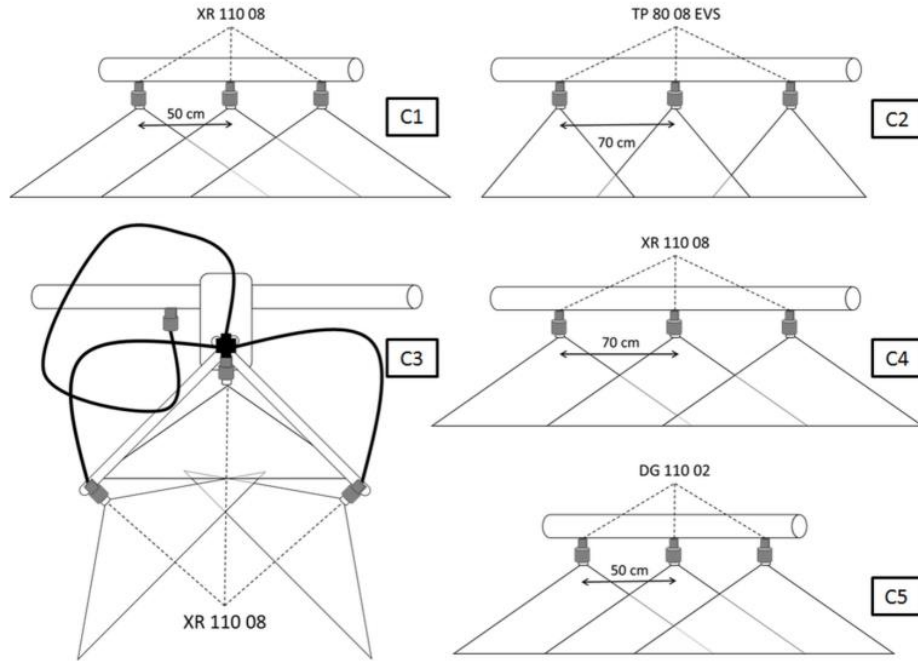
Brusselman ve diğerleri (2012), lahana ve karnabaharın tabanına ve alt yapraklarına EPN iletimi için fan ile desteklenmiş 5 memeli yönlendirmeli tip bir püskürtme bumu ile Twinjet püskürtme memeleri kullanmışlardır. EPN' lerin yaklaşık %40' ının lahana bitkisinin dibine ulaşmadığını ve uygulanan EPN' lerin lahana yapraklarının alt tarafına ulaşma oranı %27,2 iken, bu rakam karnabahar için sadece %2,64' tür. Meme tipinin EPN' lerin damlacık içindeki sayılarını etkilediğini saptamışlardır.

Beck ve diğerleri (2013), üç farklı meme çeşidi ile EPN uygulaması gerçekleştirmişlerdir. TeeJet XR 110 02 meme tipinin çıkış ağzının *Sc* için çok küçük olduğunu kanıtlamışlardır. TeeJet XR 110 08 meme ile yayıcı kullanarak EPN' lerin yaprak üzerinde kalıcılığını gözlemlemişlerdir.

Beck ve diğerleri (2014a), lahana kurdu (*Delia radicum*) ile mücadele için *Steinernema feltiae* (*Sf*) çeşidi EPN kullanmışlardır. Spreyleme ve yüzeyi ıslatarak üç farklı dozda (50-100-200 bin) EPN uygulaması yapmışlar ve sadece en yüksek dozun spreyleme yöntemi ile kurtları geçici olarak azalttığını tespit etmişlerdir. Diğer dozların ve uygulama yöntemlerinin arasında herhangi bir fark gözlemlenmemiş ve etkisinin olmadığını savunmuşlardır.

Beck ve diğeri (2014b), lahanaya güvesi (*Mamestra brassicae*) ile üç farklı püskürtme meme tipi kullanarak (TeeJet XR 110 08, XR 110 04 ve TeeJet TP 80 04 EVS) EPN püskürterek mücadele etmişlerdir. EPN etkinliğini toprak üzerinde arttırmak için yapıcı-yapıştırıcı kullanmışlar ve başarılı sonuçlar bulduklarını belirtmişlerdir.

Beck ve diğeri (2015), pırasa bitkisinde trips (*Thrips tabaci*) zararlısı ile denemelerini gerçekleştirmişlerdir. 5 farklı meme tipi ile denemelerini kurmuşlardır (Şekil 2.8). C1 olarak adlandırdıkları konfigürasyon, toplamda 7 adet Teejet XR 110 08 meme içermekte ve standart broadcast sprey bomu kullanmışlardır. Memeler arası mesafe 50 cm' dir. C2 olarak adlandırdıkları konfigürasyon, bant üzerine uygulama yapan bum üzerine 6 adet TeeJet TP 80 08 EVS meme 70 cm aralıklarla monte edilmiştir. C3 olarak adlandırdıkları konfigürasyonda, bum üzerinde üç adet TeeJet XR 110 08 meme sıra üzeri uygulama kitine monte edilmiştir. C4 olarak adlandırdıkları konfigürasyonda, 70 cm aralıklarla toplamda dört adet TeeJet XR 110 08 meme monte edilmiştir. C5 olarak adlandırdıkları konfigürasyonda, 50 cm aralıklarla toplamda beş adet TeeJet DG 110 02 meme monte edilmiştir. Geleneksel püskürtme bomu ile karşılaştırıldığında, sıra üzeri yönlendirme uygulama tekniği (C3), pırasa yapraklarının üst ve alt tarafında daha eşit bir EPN birikimi sağladığını saptamışlardır.



Şekil 2.8. Tüm püskürtme çubuğu konfigürasyonlarının şeması (Beck ve diğeri, 2015)

Raja ve diğeri (2015), dört farklı uygulama yöntemi (1-EPN tarafından istila edilmiş kadavra larva yöntemi, 2-Şırınga ile toprak üzerine EPN uygulaması, 3-Filit pompa ile uygulama, 4-Serum şişesi ile damlatarak uygulama) denemeleri ve EPN etkinliğini test etmişlerdir. Uygulamalarında EPN' lerin düşmanı olan akarların (*Sancassania polyphyllae*) varlığında da yöntemlerini denemişler ve üç günlük kadavra larva uygulaması üzerine olumsuz bir etkisi olduğunu, ancak kadvralar 6 ve 9 günlükken önemli bir etkisinin olmadığını tespit etmişlerdir. Akar olmadan yaptıkları denemelerde uygulama yöntemlerinin hepsi başarılı olmuştur.

Shapiro-Ilan, Cottrell, Mizell ve Horton (2016), Kuzey Amerika' da çekirdekli meyvelerin başlıca zararlılarından biri olan şeftali kurdu (*Synanthedon exitiosa*) ile *Sc* EPN türü uygulayarak mücadele etmişlerdir. Denemelerini iki yıl boyunca yürütmüşlerdir. Uygulama yöntemleri standart bahçe pülverizatörü, sırt pompası, filit pompa ve su kabı kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Her iki yılda da gerçekleştirilen denemeler sonucu en düşük verim filit ve su kabı ile yapılan uygulamalardan elde etmişlerdir.

Jaffuel, Sbaiti ve Turlings (2020), EPN' leri çeşitli kimyasallar ile birleştirerek boncuk şeklinde kapsüle etmişlerdir. Bu EPN içeren kapsülleri salatalık böceğinin zararlısı olan *Diabrotica balteata* larvalarında test etmişlerdir.

Erdoğan, Ulu ve Kuşçu (2020), EPN uygulaması için en çok kullanılan yöntemlerden biri olan damla sulama yöntemi üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışmalarında dört farklı tipteki damlatıcılardan (hat içi kısa yol, hat içi uzun yol, hat içi silindirik ve katif) çıkan EPN sayısının düzgünlüğü üzerine denemeler kurmuşlardır. Çalışmalarını 4 farklı basınç (0,5–1–1,5–2 bar) altında yürütmüşlerdir. Basınç farkının EPN' lerin çıkışına bir etkisinin olmadığını fakat katif damlatıcının dolayısı ile debisi yüksek damlatıcı tipinin en iyi EPN çıkışı gösterdiğini saptamışlardır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. EPN uygulaması için kullanılan robotik sistem: NEMABOT

Tasarımı yapılan ve üretilen sistem, biyolojik mücadele kapsamında kullanılan nematodların istenen noktaya istenen miktarda bırakılmasını sağlayan sistem olup, sistemin hareketine tahrik sağlayan tahrik merkezi, peristaltik pompanın konumlandırıldığı içerisinde EPN'lerin muhafaza edildiği depo, sistemin dozajlama yapmasını sağlayan peristaltik pompa, sistemde kullanılan EPN'lerin homojen olarak dağıtılmasında kullanılan karıştırma elemanı, karıştırma elemanının nematod uygulaması sırasında Z alt plastiği ve/veya Z üst plastiğe irtibatlandırılan unsurlara dikey ekseninde kılavuzluk eden dikey hareket elemanı, dikey hareket elemanının irtibatlandırıldığı derinlik ekseninde hareket etmesini sağlayan köprü sacı, köprü sacını yatay ekseninde hareket ettiren kolonu içermektedir.

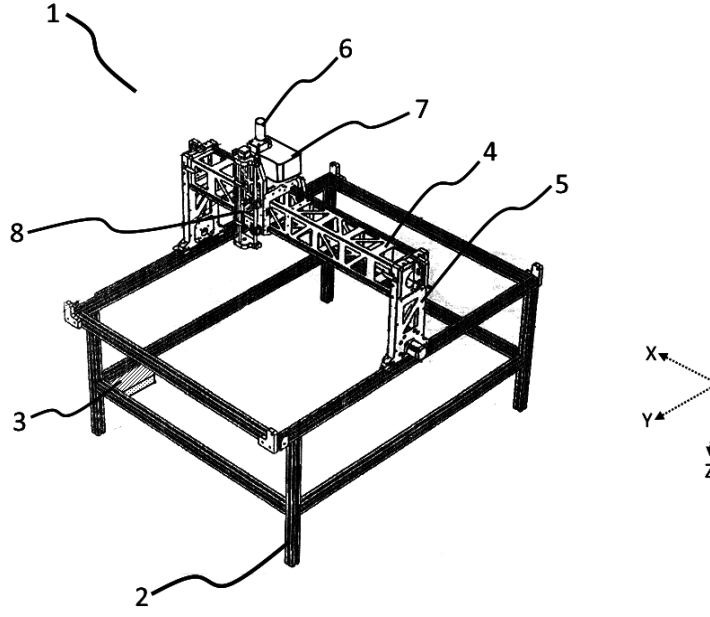
Sistemin yapısal ve karakteristik özellikleri ve tüm avantajları, aşağıda verilen şekillerin ve bu şekillere referanslar yapılmak suretiyle (Çizelge 3.1) detaylı şekilde verilmiştir.

Şekil 3.1' de sistemin (1) perspektif görünümü verilmektedir. Biyolojik mücadele kapsamında kullanılan nematodların istenen noktaya, istenen miktarda bırakılmasını sağlayan sistem (1) olup, özelliği;

- sistemin (1) hareketine tahrik sağlayan tahrik merkezi (3),
- peristaltik pompanın (6) konumlandırıldığı içerisinde EPN'lerin muhafaza edildiği depo (7),
- sistemin (1) dozajlama yapmasını sağlayan peristaltik pompa (6),
- sistemde (1) kullanılan EPN'lerin homojen olarak dağıtılmasında kullanılan karıştırma elemanı (9),
- karıştırma elemanının (9), toprağın altına veya üzerine nematod uygulaması sırasında, Z alt plastiği (31) ve/veya Z üst plastiğe (30) irtibatlandırılan unsurlara dikey ekseninde (Z) kılavuzluk eden dikey hareket elemanı (8),
- dikey hareket elemanının (8) irtibatlandırıldığı, yatay ekseninde (X) hareket etmesini sağlayan köprü sacı (4),
- köprü sacını (4) derinlik ekseninde (Y) hareket ettiren kolon (5) içermektedir.

Çizelge 3.1. Parça referanslarının açıklaması

Ref.Parça adı no	Ref.Parça adı no	Ref.Parça adı no
1 Sistem	23 Emiş pompası alt sacı	45 Kolon iç sacı
2 Taşıyıcı masa	24 Silikon hortum	46 Kolon dış sacı
3 Tahrik merkezi	25 Taşıyıcı plastik	47 Y kolon plastiği
4 Köprü sacı	26 Taşıyıcı yan sacı	48 Kolon atkı plastiği
5 Kolon	27 Çevre sacı	49 Kolon araba bağlantı plastiği
6 Peristaltik pompa	28 Dar araba	50 Step motor bağlantı sacı
7 Depo	29 Vidalı milli step motor	51 Switch sacı
8 Dikey hareket elemanı	30 Z üst plastiği	52 Step motor
9 Karıştırma elemanı	31 Z alt plastiği	53 Step motor bağlantı plastiği
10 Salıncak motoru	32 İndüksiyonlu rulman mili	54 Step motor destek plastiği
11 Motor bağlantı elemanı	33 Lineer rulman	55 Step motor karşı plastik
12 Kayış kasnak mekanizması	34 Burç	56 Masa bağlantı plastiği
13 Krank mili	35 Burç plastiği	57 Switch pulu
14 Krank diski	36 Mikro switch	58 Switch bağlantı sacı
15 Krank sacı	37 Gijon	59 Masa ayakları
16 Salıncak mili	38 Switch rampası	60 Pompa gövdesi
17 Salıncak sacı	39 Dozajlama aparatı	61 Hortum yatağı
18 Depo mili	40 Köprü ön sacı	X Yatay eksen
19 Depo kapağı	41 Köprü arka sacı	Y Derinlik ekseni
20 Peristaltik pompa motoru	42 Kızak	Z Dikey eksen
21 Emiş pompası üst sacı	43 Köprü kolon bağlantı sacı	
22 Rotor	44 Kablo kanal sacı	



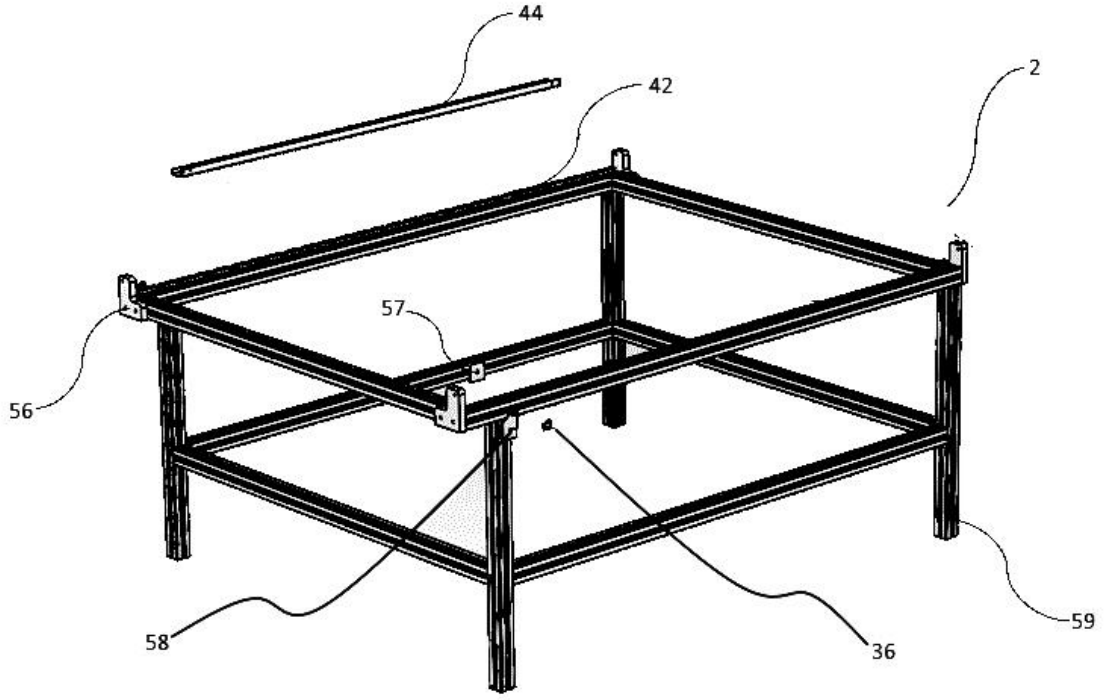
Şekil 3.1. Sistemin perspektif görünümü

(robotun ölçüleri 1200x1330x1600 mm, çalışma alanı 1.56 m²)

(1-sistem, 2-taşıyıcı masa, 3-tahrik merkezi, 4-köprü sacı, 5-kolon, 6-peristaltik pompa, 7-depo, 8-dikey hareket elemanı, x-yatay eksen, y-derinlik eksen, z-dikey eksen)

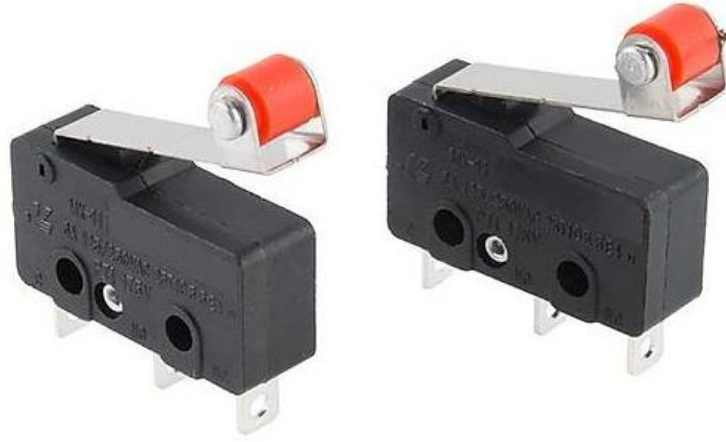
Şekil 3.2’ de sistemin (1) taşıyıcı masasının (2) patlatılmış görünümü verilmektedir. Taşıyıcı masa (2), sistemin (1) ve/veya tüm unsurlarının konumlandırıldığı tekerlekli paletli Sparkfun marka mini mikro switch (36), kızak (42), kablo kanal sacı (44), masa bağlantı plastiği (56), switch pulu (57), switch bağlantı sacı (58), masa ayaklarını (59) içermektedir. Ayrıca taşıyıcı masa (2) alüminyum profilden mamuldür.

Sistemin (1) çalışması mekanik, elektrik-elektronik ve yazılım olarak incelenmektedir. Mekanik olarak incelendiğinde, sistemin (1) tüm sac kısımları 2 mm alüminyum, plastik kısımları 20 mm Termoplastik malzeme olan “Delrin” malzemedен imal edilmiştir. Bu sayede sistem (1) hem hafif hem de sağlam yapıda olmaktadır. Delrin malzeme talaşlı imalata uygun, alüminyum ile estetik bir görünüme kavuşmaktadır. Sistemin (1) bütün parçaları birbirine cıvata ve somun bağlantı elemanları ile bağlanmıştır. Böylelikle montajı kolay, sökölüp takılması hızlı olmaktadır.



Şekil 3.2. Sistemin taşıyıcı masasının patlatılmış görünümü

(2-taşıyıcı masa, 36-mikro switch (Şekil 3.3), 42-kızak, 44-kablo kanal sacı, 56-masa bağlantı plastiği, 57-switch pulu, 58-switch bağlantı sacı)



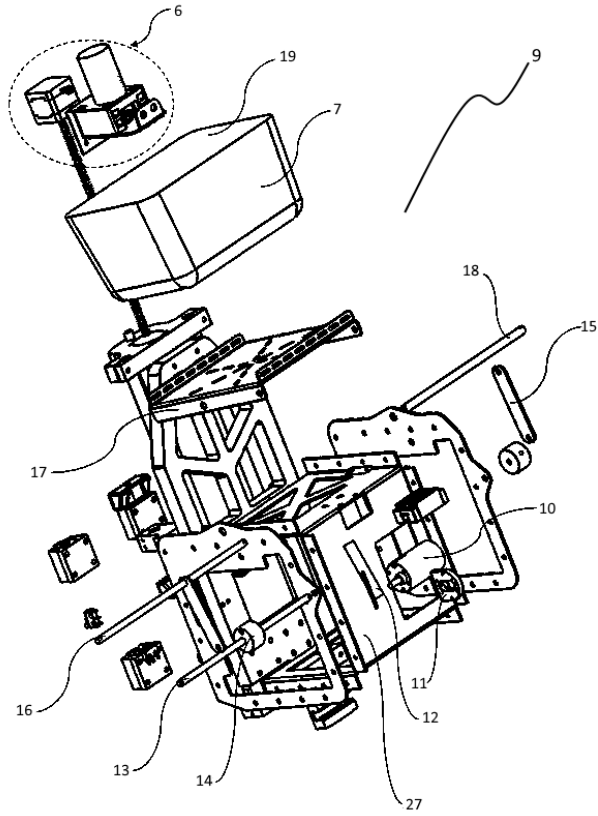
Şekil 3.3. Tekerlekli paletli Sparkfun marka mini mikro switch

(Ölçüleri: 19.8 x 15.8 x 10.3 mm)

Şekil 3.4' te sistemin (1), karıştırma elemanının (9) ve Şekil 3.6' da peristaltik pompasının (6) patlatılmış görünümleri verilmektedir. EPN'lerin karıştırma elemanı (9) ile sürekli

karıştırılması gerekmektedir. Çünkü yararlı nematodlar çökme eğilimindedirler (Schroer, Ziermann ve Ehlers, 2005). Bu sebeple karıştırma elemanı (9);

- depo (7) ve deponun (7) içine yabancı maddelerin girmesini engelleyen depo kapağının (19) konumlandırıldığı salıncak sacı (17),
- salıncak sacının (17) depoyu (7) sallayarak içerisindeki sıvıda bulunan EPN'lerin homojen olarak dağılmasını sağlayan depo mili (18),
- depo miline (18) krank sacı (15) ile hareket aktaran krank mili (13),
- krank miline (13) konumlandırılarak krank milinden (13) aldığı hareketle merkezden kaçık olarak krank sacının (15) dairesel hareketini doğrusal harekete çeviren krank diski (14),
- salıncak sacına (17) ve krank miline (13) irtibatlandırılarak dikey ekseninde (Z) hareket sağlayan salıncak mili (16),
- krank miline (13) hareket aktaran kayış kasnak mekanizması (12),
- kayış kasnak mekanizmasına (12) tahrik sağlayan 12V 200 RPM Redüktörlü DC salıncak motoru (10),
- salıncak motorunu (10) köprü sacı (4) üzerinde hareket sağlayan çevre sacına (27) sabitleyen motor bağlantı elemanı (11) içermektedir.



Şekil 3.4. Sistemin karıştırma elemanının patlatılmış görünümü

(6-peristaltik pompa, 7-depo, 9-karıştırma elemanı, 10-salıncak motoru (Şekil 3.5), 11-motor bağlantı elemanı, 12-kayış kasnak mekanizması, 13-krank mili, 14-krank diski, 15-krank sacı, 16-salıncak mili, 17-salıncak sacı, 18-depo mili, 19-depo kapağı, 27-çevre sacı)

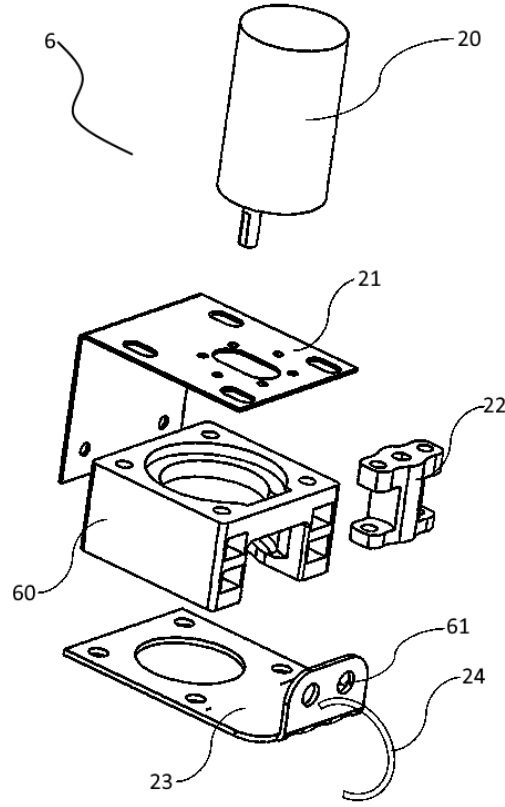
Sistem (1) üzerinde dairesel hareketi doğrusal harekete çeviren kayış kasnak mekanizması (12) kullanılarak salıncak motoru (10) ile hareketlendirilen ve deponun (7) da üzerinde bulunduğu karıştırma elemanı (9), deponun (7) içerisindeki EPN'lerin sürekli olarak karıştırmaktadır. Böylece çökme engellenirken homojen bir dağılım da gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.5. Salıncak motoru

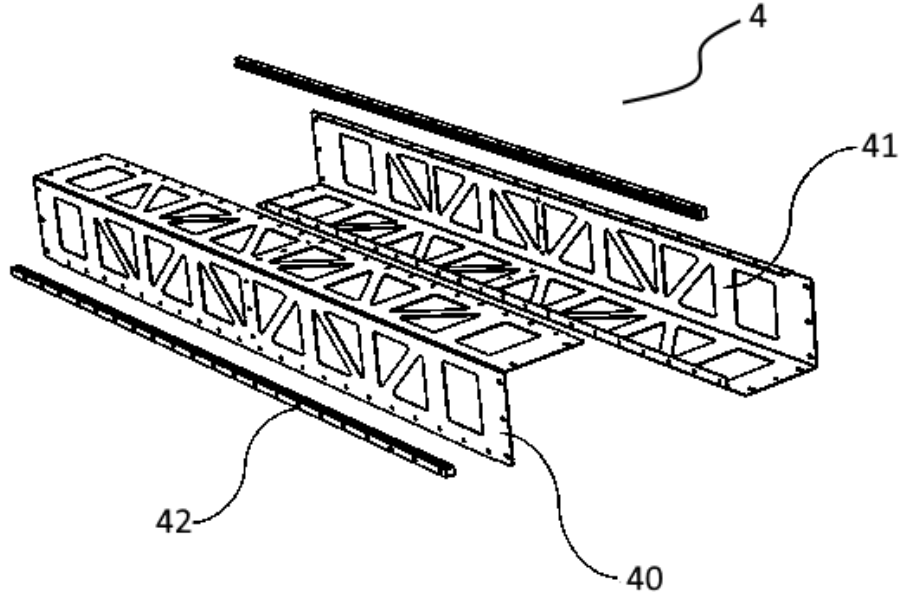
(12 V 200 RPM Redüktörlü DC motor, Motor çapı 37 mm' dir. Mil çapı 6 mm, mil uzunluğu ise 17 mm' dir. Motorun uçtan uca uzunluğu 86 mm' dir. Motorun ağırlığı 175 gram' dır. Dişli kutusu ve tüm redüktör sistemi metaldir. Motorun ön yüzünde montaj için M3 vidalama delikleri mevcuttur.)

Peristaltik pompa (6) ile depodan (7), nematodlara zarar vermeden ve istenen miktardaki su içerisinde, istenen EPN sayısı kadar süspansiyon emilip, toprak yüzeyine bırakılmaktadır. Peristaltik pompa (6) en az bir pompa gövdesi (60) haiz; peristaltik pompayı (6) sisteme (1) irtibatlandıran emiş pompası üst sacı (21) ve emiş pompası alt sacı (23), depodan (7) EPN emişini sağlayan 12V 60 RPM Redüktörlü DC peristaltik pompa motoru (20), peristaltik pompa motoruna (20) dönüş yaparak sıvı ileten rotor (22) ve emiş pompası alt sacına (23) konumlandırılarak silikon hortuma (24) yataklık yapan hortum yatağı (61) içermektedir.

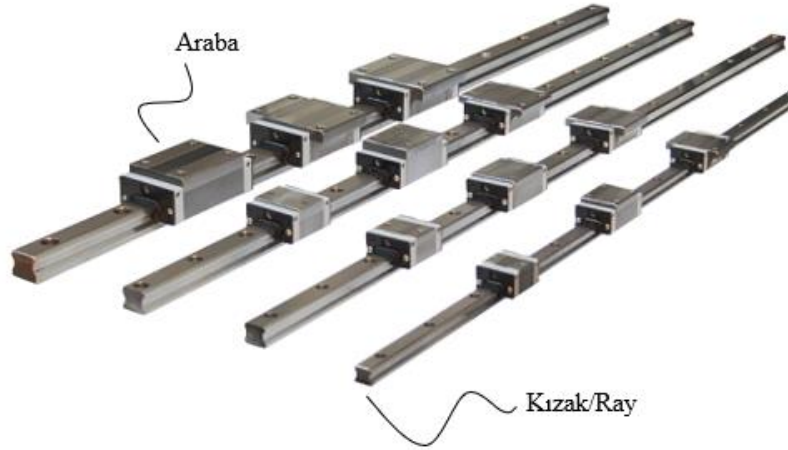


Şekil 3.6. Sistemin peristaltik pompasının patlatılmış görünümü (pompa debisi 7 m/s)
(6-peristaltik pompa, 20-peristaltik pompa motoru, 21-emiş pompası üst sacı, 22-rotor, 23-emiş pompası alt sacı, 24-silikon hortum, 60-pompa gövdesi, 61-hortum yatağı)

Şekil 3.7 'de sistemin (1) köprü sacının (4), Şekil 3.10' da dikey hareket elemanının (8) ve Şekil 3.11 'de kolonunun (5) patlatılmış görünümü verilmektedir. Sistem (1) kızaklar/raylar (ASR 15R RAY 4000 H G-TEN) üzerinde ve bu kızaklara uygun arabalar (GTS 15 BN Dar Alçak Araba G-TEN) ile hareket etmektedir. Yatay ekseninde (X) hareket sağlanabilmesi için kızaklar köprü sacına (4) yerleştirilmektedir. Derinlik ekseninde (Y) hareket için taşıyıcı masaya (2) kızaklar konumlandırılmaktadır. Köprü sacı (4) köprü ön sacı (40), köprü arka sacı (41) ve kızak (42) içermektedir. Kızaklar (42) yatay eksen (X) ve derinlik eksen (Y) üzerinde hareket sağlamak amacı ile tercihen köprü sacına (4), ve taşıyıcı masaya (2) ikişer adet olarak konumlandırılmaktadır.



Şekil 3.7. Sistemin köprü sacının patlatılmış görünümü
(4-köprü sacı, 40-köprü ön sacı, 41-köprü arka sacı, 42-kızak/ray (Şekil 3.8))

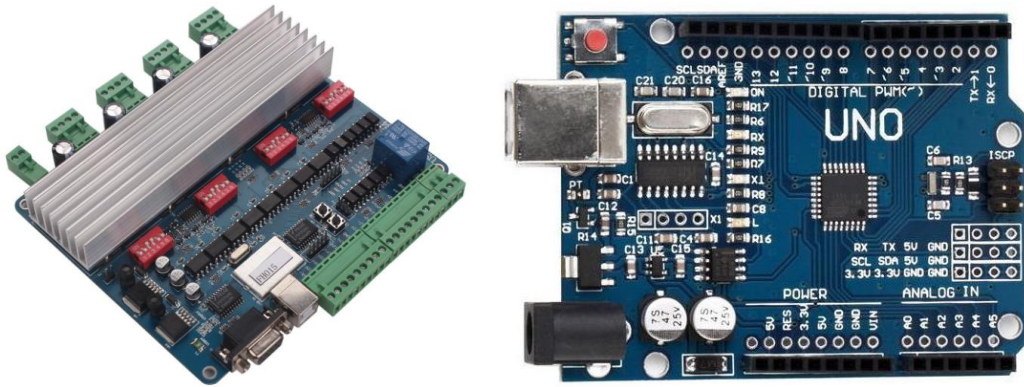


Şekil 3.8. Sistemin X ve Y düzleminde hareketini sağlayan kızak/ray ve araba

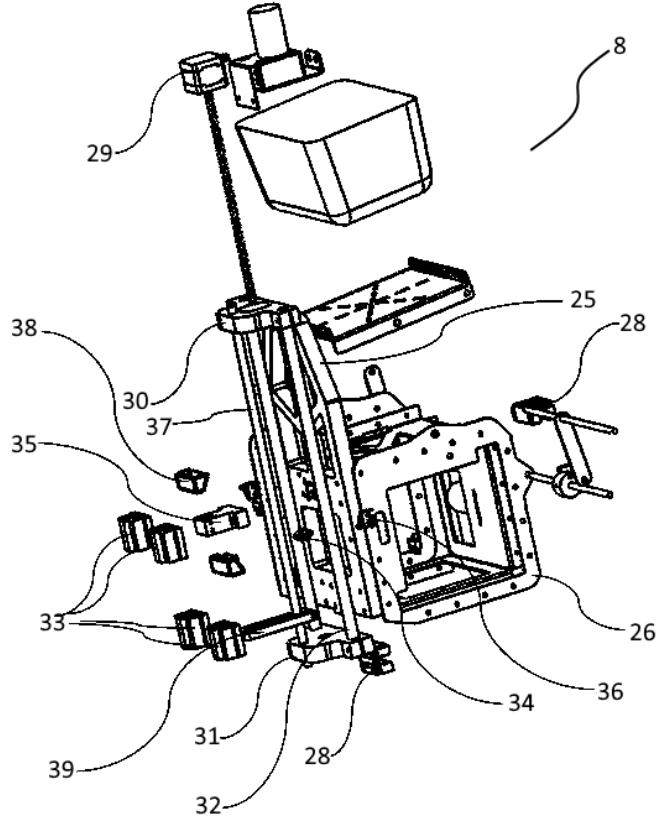
Dikey hareket elemanına (8) irtibatlandırılan SCE Ø12 UU kafesli yuvarlak lineer rulmanlar ile dikey ekseninde (Z) aşağı veya yukarı hareket sağlanmaktadır. Dikey hareket elemanı (8)

- yatay (X) ve derinlik ekseninde (Y) sistemin (1) hareketini sağlayan taşıyıcı plastik (25),
- taşıyıcı plastiğe (25) konumlandırılarak çevre sacı (27), karıştırma elemanı (9) ve/veya deponun (7) irtibatlandırıldığı taşıyıcı yan sacı (26),

- çevre sacı (27) ve/veya taşıyıcı plastiğe (25) konumlandırılarak derinlik ekseninde (X) hareket sağlayan dar araba (28),
- dikey eksendeki (Z) Ø12 krom gijonun (37) hareketine tahrik sağlayan 28 cm Bipolar NEMA 17 200 Adım 42x38 mm 2.8V PL-2268 vidalı milli step motor (29),
- dikey hareket elemanında (8) konumlandırılmasını sağlayan Z üst plastiği (30) ile Z alt plastiği (31) arasında irtibatlandırılan gijon (37),
- Z alt plastiğine (31) irtibatlandırılarak, vidalı milli step motordan (29) aldığı tahrik ile lineer rulman (33) içerisinden geçerek dikey eksen (Z) hareket sağlayan indüksiyonlu rulman mili (32),
- vidalı step motora (29) irtibatlandırılan burç (34) ile montajlanarak mikro switchlerin (36) konumlandırılmasını sağlayan burç plastiği (35),
- yatay eksen (X), derinlik eksen (Y) ve/veya dikey eksen (Z) hareketlerinin kontrol verilerinin 4 Eksen TB6560 CNC kontrol kartına (Şekil 3.9) ve dozajlama verilerinin Arduino UNO (Şekil 3.9) mikro denetleyici sistem alıcısına aktarılmasını sağlayan mikro switch (36),
- gijon (37) ile irtibatlandırılarak dozajlama ve dikey eksen (Z) azami konumu sınırlandıran switch rampası (38),
- hortum yatağından (61) geçerek depoya (7) irtibatlandırılan silikon hortumun (24) diğer ucuna konumlandırılarak EPN' li süspansiyonu yüzeye bırakan aparat (39) içermektedir.



Şekil 3.9. 4 eksen TB6560 CNC kontrol kartı (solda), Arduino UNO R3 (sağda)



Şekil 3.10. Sistemin dikey hareket elemanının patlatılmış görünümü

(Z eksenli strok mesafesi ayarlanabilir 250 mm)

(8-dikey hareket elemanı, 25- taşıyıcı plastik, 26-taşıyıcı yan sacı, 28-dar araba, 29-vidalı milli step motor (Şekil 3.12-a), 30-z üst plastiği, 31-z alt plastiği, 32-indüksiyonlu rulman mili, 33-lineer rulman (Şekil 3.12-b), 34-burç, 35-burç plastiği, 36-mikro switch 37-gijon, 38-switch rampası, 39-dozajlama aparatı)

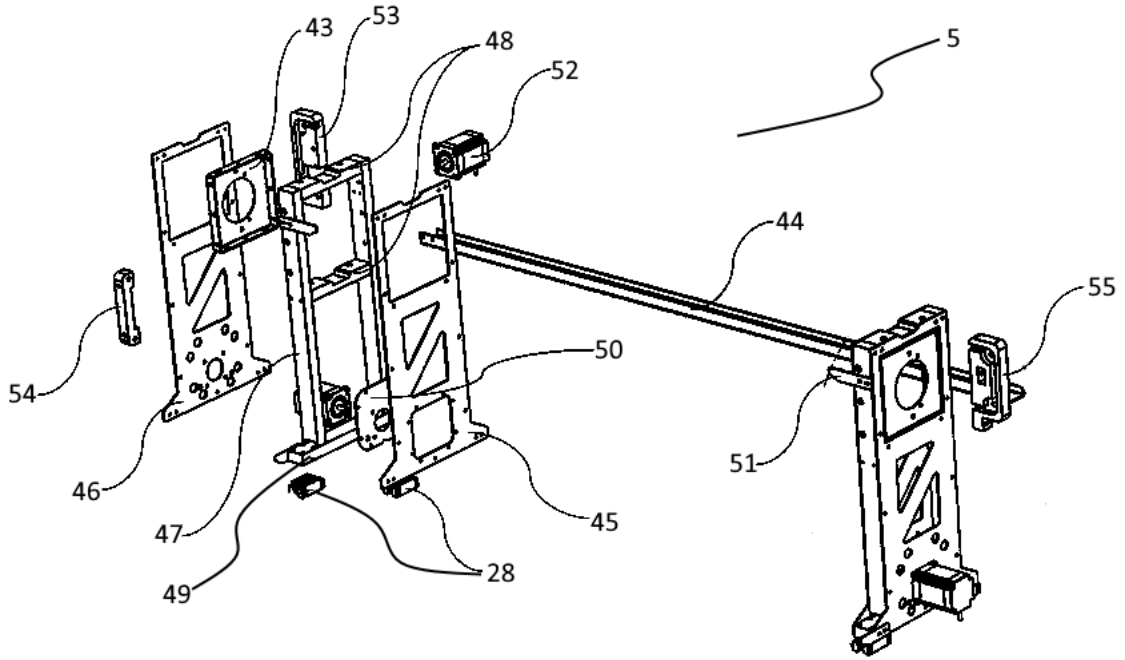
Derinlik ekseninde (Y) hareket için kayış kasnak sistemi kullanılmaktadır. Yatay eksen (X) hareket için zincir-dişli sistemi kullanılmaktadır. Dikey eksen (Z) vidalı milli step motor (29) sonsuz vidalı mil olduğu için bir burç (34) sayesinde sabitlenerek aşağı yukarı hareketi sağlanmaktadır.

Derinlik eksen (Y) ile yatay eksen (X) arasındaki irtibatlandırma kolon (5) ile yapılmaktadır. Kolon (5);

- köprü sacı (4) ile kolonu (5) irtibatlandıran köprü kolon bağlantı sacı (43),
- köprü kolon bağlantı sacına (43) irtibatlandırılan kolon içi sacı (45) ve/veya kolon dış sacı (46) arasında konumlandırılan Y kolon plastiği (47),

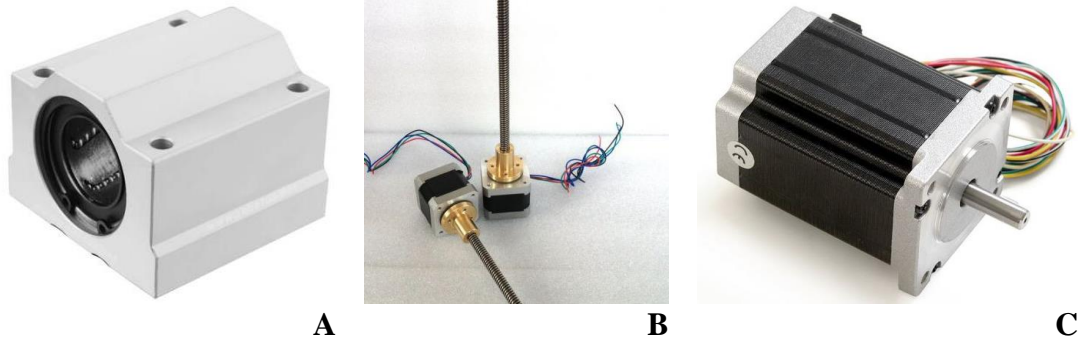
- kolon içi sacı (45) ve kolon dış sacı (46) arasında konumlandırılarak zincir geçme yuvası oluşturan kolon atkı plastiği (48),
- kolonun (5) hareketi için kılavuzluk yapan dar arabaların (28) montajlanmasını sağlayan kolon araba bağlantı plastiği (49),
- 57HS22 2.2 Nm step motor bağlantı plastiği (53), step motor destek plastiği (54) ve/veya step motor karşı plastik (55) ile üç noktadan sabitlenen step motorun (52) kolona (5) montajlanmasını sağlayan step motor bağlantı sacı (50),
- kolonun (5) hareketini ve/veya konumunun verilerini ileten mikro switchlerin (36) kolona (5) konumlandırılmasını sağlayan switch sacı (51),
- step motorlar (52) ve/veya mikro switchlerin (36) enerji ve iletişimini sağlayan kabloların konumlandırılmasını sağlayan kablo kanal sacı (44) içermektedir.

Step motor (52) tercihen yatay ekseninde (X) hareket sağlayan bir adet, derinlik ekseninde (Y) hareket sağlayan iki adet olacak şekilde konumlandırılmaktadır.



Şekil 3.11. Sistemin kolonunun patlatılmış görünümü

(5-kolon, 28-dar araba, 43-köprü kolon bağlantı sacı, 44-kablo kanal sacı, 45-kolon iç sacı, 46-kolon dış sacı, 47-y kolon plastiği, 48-kolon atkı plastiği, 49-kolon araba bağlantı plastiği, 50-step motor bağlantılı sacı, 51-switch sacı, 52-step motor (Şekil 3.12-c), 53-step motor bağlantı plastiği, 54-step motor destek plastiği, 55-step motor karşı plastik)



Şekil 3.12. Sistemin X–Y–Z düzleminde hareket kabiliyeti için kullanılan makine elemanları

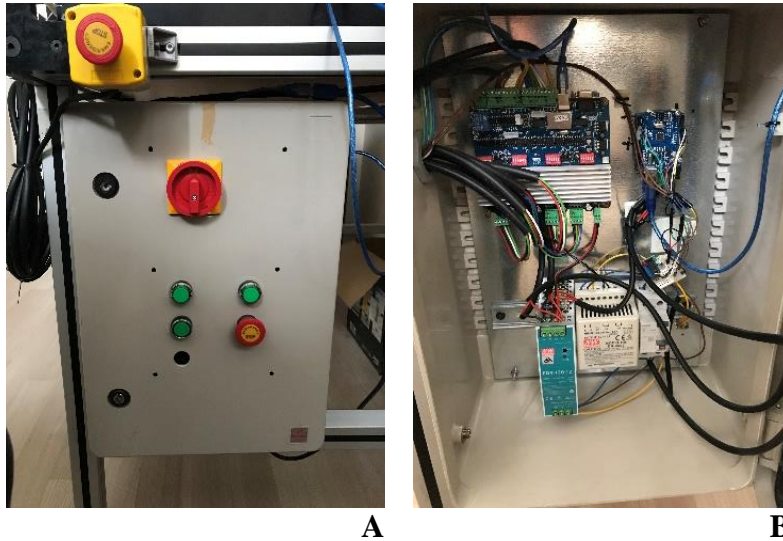
(**A**-SCE 12 UU lineer rulman, **B**-28 cm vidalı milli bipolar NEMA 17 200 adım 42x38 mm 2.8V step motor–PL-2268 (Adım açısı 1.8°, Ölçüleri 42.3x38x38 mm’ dir. Motor mil kalınlığı 5 mm’ dir. Kablo uzunluğu 16 cm’ dir. Ağırlığı 385 gram’ dır. Step motorun her bir adımda dikeyde 0.04 mm’ lik bir ilerleme olmaktadır.), **C**-57HS22–57 mm 2.2 Nm step motor (Adım açısı 1.8°, Gövde uzunluğu 76 mm’ dir. 1050 gram ağırlığındadır.))

Elektrik ve elektronik olarak incelendiğinde; sistemin (1) enerjisi monofaze 220 V prizlerinden elde edilmektedir. Buradan tahrik merkezine (3) gelen elektrik CNC kontrol kartı ve mikro işlemciye ulaşmaktadır. Step motorlar sayesinde sistem (1) dikey eksen (Z), yatay eksen (X) veya derinlik ekseni (Y) düzlemlerinde hareket etmektedir. Step motorlar CNC kontrol kartı ile kontrol edilmektedir. CNC kontrol kartı ve Arduino mikro işlemci tahrik merkezinde (3) yer almaktadır. Anahtarlar derinlik ekseni (Y) için alüminyum masa üzerinde, yatay eksen (X) için deponun (7) taşındığı köprü sacı yanında (4), dikey eksen (Z) için ise köprü sacı (4) yanına irtibatlandırılmış plastik kısımda yer almaktadır.

Programlanan G-kodlar sayesinde sistem (1) istenilen pozisyona taşınmaktadır. Sistem (1) Arduino mikro işlemci ile iletişimini mikro anahtarlar aracılığı ile sağlamaktadır. Arduino mikro işlemci peristaltik pompaya (6) hareket vermektedir. Peristaltik pompada (6) bulunan DC motor, Arduino mikro işlemci ile irtibatlandırılmaktadır. Dikey hareket elemanı (8) dikey eksende (Z) aşağı yukarı hareket etmektedir. İstedığımız yükseklikteki konuma gelindiğinde anahtar devreye girmekte ve mikro işlemci ile peristaltik pompaya (6) hareket vererek istenilen dozajlama yapması kadar çalıştırılmaktadır.

Yazılım olarak incelendiğinde; yapılan yazılım sayesinde dikey hareket elemanı (8) dikey ekseninde (Z) aşağı yukarı hareket ederken anahtarlar aracılığı ile sistemin (1) kaçınıcı bitki de ya da kaçınıcı noktada olduğu bilinmektedir. Bu verilere göre belirlenen süre kadar peristaltik pompa (6) çalıştırılmaktadır. Böylece nematodlar her noktaya aynı miktarda bırakılmaktadır. Ancak istenildiğinde sistem (1) yazılımı ile her noktaya farklı miktarda nematod bırakılması da mümkün kılınmaktadır.

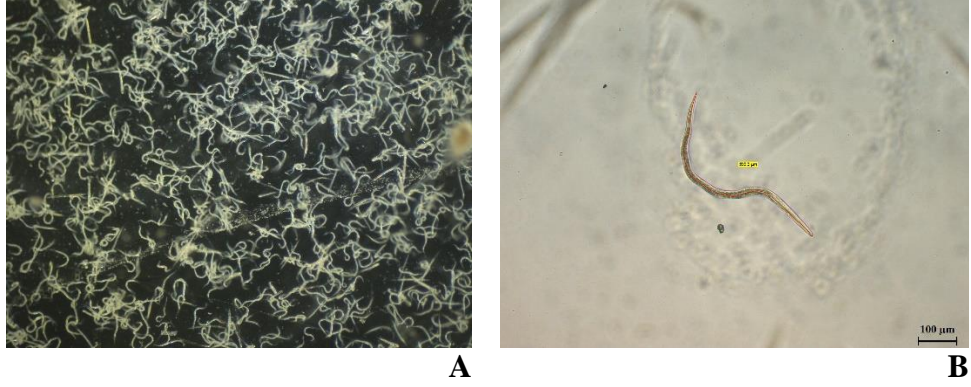
Sistemin tahrik merkezi (3) olarak adlandırdığımız elektrik panosu 300x400x180 mm standart tip polyster panodur. Pano içerisine DR 45-05 25 W 5V 5A ve 120W 12V 100A 90-132/180-264V özellikte iki adet monofaze ray montaj güç kaynağı monte edilmiştir. Bir adet 16A 30mA kaçak akım koruma rölesi bulunmaktadır. Pano üzerinde bir adet OPAŞ 1x16A kilitli açma kapama şalteri sabitlenmiştir. Pano üzerine ve alüminyum profil üzerine monte edilmiş iki adet B200E-E 40 mm emergency etiketli mantar acil stop butonu bulunmaktadır. Pano üzerinde ayrıca Arduino sıfırlama butonu ile pompayı bağımsız çalıştıran bir buton (B202HY çıkık kafalı yaylı 22 mm IP 50 çift stop kumanda butonu yeşil) yer almaktadır. Böylece denemeye başlamadan önce uygulama yapan silikon hortumun içi süspansiyon ile doldurulabilmekte ve sistemdeki hava boşaltılmaktadır. Karıştırıcı salıncak sisteminin çalıştırılması için ayrıca bir adet B200FY kalıcı kafalı yaylı 22 mm IP 50 stop kumanda yeşil buton bulunmaktadır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Sistemin pano görüntüsü **A)** Dış kapak **B)** İç kısım

3.2. EPN temini ve yetiştirilmesi

Çalışmada bitki koruma ürünü olarak ülkemizde de kullanılan EPN türlerinden olan *Steinernema feltiae* (Filipjev en02 Nemaplus e-nema, Schwentimental-Almanya) türü ile *Heterorhabditis bacteriophora* (Poinar HP88 Nemaplus e-nema, Almanya) türü kullanılmıştır (Şekil 3.14). EPN' ler toz formülasyon halinde Bioglobal A.Ş. (Antalya-Türkiye) ihracatçı firmadan temin edilmiştir. *Steinernema feltiae* ile yapılan denemeler doğrudan toz formülasyonun suda çözünmesi sonucu kullanılmıştır. *Heterorhabditis bacteriophora* ise laboratuvar koşullarında üretimine devam edilmiş, deneme için popülasyonlar elde edilince 14 günlükten genç IJ' ler denemelerde kullanılmıştır. IJ' ler deneme zamanına kadar +4 °C' de saklanmıştır.

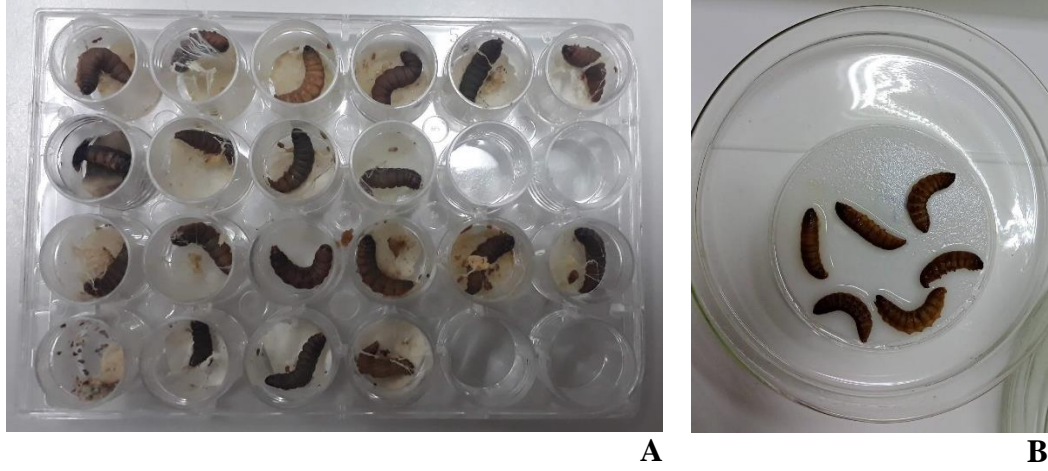


Şekil 3.14. Entomopatojen nematodların mikroskop görüntüsü

A) *Heterorhabditis bacteriophora* **B)** *Steinernema feltiae*

Heterorhabditis bacteriophora EPN türünün laboratuvar üretimi için yapılan *in vivo* üretim yönteminde, petek güvesi olarak adlandırılan *Galleria mellonella* larvasının son dönemi kullanılmıştır. EPN enfeksiyonu için 24 kuyulu hücre kapları kullanılmıştır. Hücrelerin içerisine filtre kâğıdı yerleştirilmiş ve nemlendirilmiştir. Her bir hücrenin içine *Galleria mellonella* larvası konmuş ve her larva başına yaklaşık 50 adet IJ gelecek şekilde EPN inokulasyonu yapılmış, ardından 24°C' de inkübasyona bırakılmıştır. Kuyulu kaplar parafilm ile kapatılarak muhafaza edilmiştir. Takip eden 3–4 gün içerisinde ölü larvalar White Trap adı verilen EPN hasat düzeneğine yerleştirilmiştir (Şekil 3.15). Larvalar düzenli olarak takip edilmiş ve larvalardan IJ çıkışı görüldükten

sonra yeterli popülasyon elde edilince nematodlar kültür kaplarında saklanmıştır (Erdogan ve diğerleri, 2021a; Oliveira-Hofman ve diğerleri, 2019; White, 1927).



Şekil 3.15. (A) EPN üretimi için kullanılan kuyulu kap ve (B) White Trap düzeneği

3.3. Uygulama

Uygulamalar iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada üç farklı süspansiyon hacmi (25–50–100 ml) ve dört farklı doz (0.1 – 0.2 – 0.4 – 0.8 g) *Steinernema feltiae* türü ile denemeler gerçekleştirilmiştir. Toz formülasyon içerisinde istenen miktar alınıp 2000 ml su içerisinde bırakılarak iyice karıştırılmış ve süspansiyon elde edilmiştir. Süspansiyon daha sonra sistemin tankına aktarılıp dozajlama denemesi başlatılmıştır. Toplamda 12 adet deneme kurulmuştur. Bu denemelerde her bir doz ve süspansiyon miktarı için ayrı ayrı robotik sistem ile dozajlama çalışmaları yapılmıştır. 25 ml uygulaması için 60 atım, 50 ml için 30 atım ve 100 ml için 15 atım yapılmıştır. Her bir kombinasyon için kontrol grubu oluşturulmuş ve dozajlama cam pipetler ile yapılmıştır.

İkinci aşamada ise *Heterorhabditis bacteriophora* türü ile çalışılmıştır. Deneme deseni üç farklı EPN doz miktarı (60.000 – 120.000 – 240.000 adet IJ) ve üç farklı su miktarı (süspansiyon hacmi) (5–15–45 ml) olarak belirlenmiştir. Bu denemede toz formülasyon kullanılmadığından dolayı gram üzerinden değil laboratuvar ortamında üretildiği için EPN adedi üzerinden denemeler yürütülmüştür. Her bir deneme için 3000 ml su hazırlanıp içerisinde belirlenen IJ sayısı bırakılarak süspansiyon hazırlanmıştır. Dozlar X–2X–4X olarak adlandırılmıştır. Toplamda 9 adet deneme yürütülmüştür. Bu denemelerde

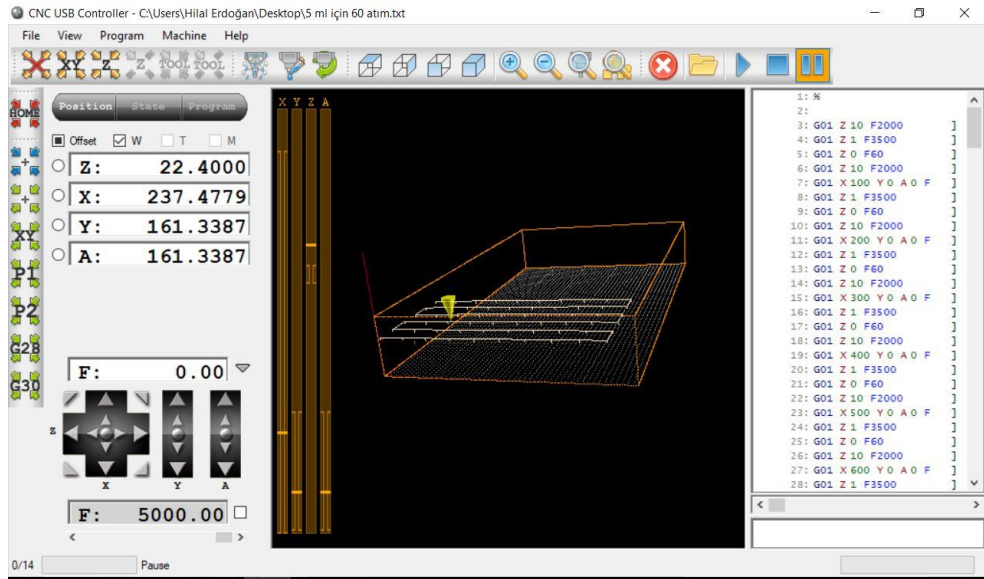
her bir doz ve su miktarı için ayrı ayrı robotik sistemle 60 atım yapılmıştır. Her bir kombinasyon için kontrol grubu oluşturulmuş ve dozajlama cam pipetler ile yapılmıştır.

Robot ile yapılan atımlar, CNC kontrol kartının ara yüzüne yüklenen G-kodlar sayesinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.16' da G-kodların bir bölümü verilmiş ve dozajlama ile bağlantısı gösterilmiştir. Her bir deneme için yazılan G-kodların tamamı EK-1' de verilmiştir. Uygulamaya başlamadan önce CNC ara yüzünden robotik sistem manuel kontrol edilerek başlangıç konumuna getirilir. X – Y ve Z konumlarının sıfır noktaları tanıtılır. Şekilde 3.16' da 5 ml – 15 ml ve 45 ml için yapılan uygulamanın G-kodları verilmiştir. Robotik sistem doğrusal hareket ettiği için her bir satır G01 kodu ile başlar. “Z” harfi dozajlama için yukarı – aşağı hareketi sağlayan bir adet vidalı step motorunu temsil eder. “Y” ve “A” harfleri ise ileri – geri hareketi sağlayan iki adet step motorunu temsil eder. Y ekseninde hareket, iki step motor tarafından sağlanmaktadır. “X” harfi ise sağa – sola hareketi sağlayan bir adet step motorunu temsil eder. “F” ile başlayan kodlar, önünde belirtilen step motorlarının hızını temsil eder. Örneğin, “Z10 F2000” ifadesi vidalı step motor 60 s' de 2000 mm yol alacaktır demektir. “Z10” ise, dozajlama noktasından yani 0 konumundan 10 mm yukarıya doğru hareket etmesi demektir. Aynı şekilde “X100 Y0 A0 F3500” ifadesi, robot X düzleminde F3500 hızında 100 mm hareket etmesi demektir. “Y” ve “A” değerleri sıfır olduğu için Y düzleminde bir hareket sözü konusu değildir. “X100 Y500 A500 F3500” kodunda ise robot Y düzleminde sıfır noktasından 500 mm mesafeye F3500 hızında yani 60 s' de 3500 mm hareket edecek şekilde ilerleyecektir. Bu şekilde robot belirlenen güzergahı takip edecektir (Şekil 3.17). Burada asıl önemli nokta, robot Z ekseninde Z0 noktasına inerken Z1 konumuna geldiğinde anahtara dokunur ve Arduino üzerinden peristaltik pompayı hareketlendirerek dozajlama yapar. Bu yüzden Z0 noktasına inerken step motorların hız ayarı çok önemlidir. Çünkü robot, dozajlama için gereken süre kadar o konumda beklemesi gerekmektedir. Peristaltik pompa debisinin 7 ml/s olduğu Şekil 3.6'da belirtilmiştir. Şekil 3.16' da ki kırmızı kutucuklar üzerinden sürenin hesabı gösterilmektedir. Örneğin “Z0 F60” ifadesi, robot Z1 konumuna geldiğinde switch sayesinde pompa devreye girecektir. F60 hızıyla Z0 konumuna inmek isteyecektir. Dolayısı ile 1 mm hareket için geçecek süre 1 s olacaktır. Çünkü F60, 60 s' de 60 mm ilerleme demektir. Oran – orantı yaparak 1 mm

için gereken süre 1 s olacaktır. Pompa, saniyede 7 ml dozajlama yaptığına göre 5 ml için gereken süre elde edilmiş olacaktır.

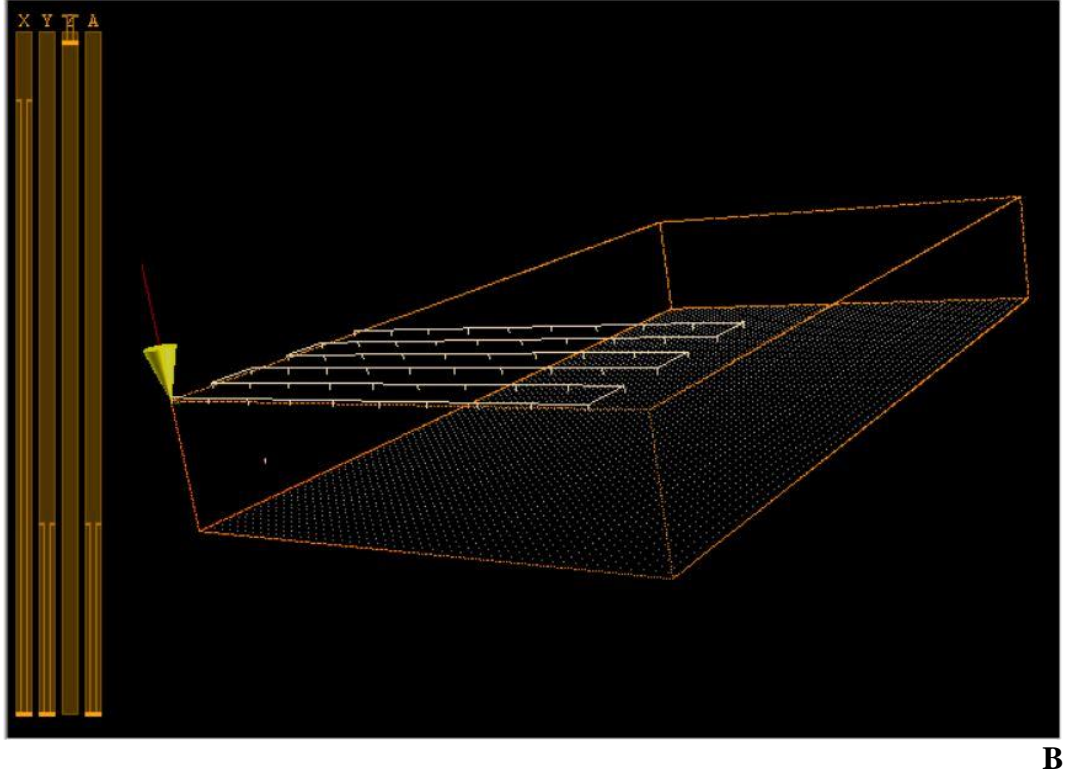
<u>5ml</u>	<u>15ml</u>	<u>45ml</u>
G01 Z 10 F2000	G01 Z 10 F2000	G01 Z 10 F2000
G01 Z 1 F3500	G01 Z 1 F3500	G01 Z 1 F3500
G01 Z 0 F60	G01 Z 0 F25	G01 Z 0 F8
G01 Z 10 F2000	G01 Z 10 F2000	G01 Z 10 F2000
G01 X 100 Y 0 A 0 F3500	G01 X 100 Y 0 A 0 F3500	G01 X 100 Y 0 A 0 F3500
G01 Z 1 F3500	G01 Z 1 F3500	G01 Z 1 F3500
G01 Z 0 F60	G01 Z 0 F25	G01 Z 0 F8
G01 Z 10 F2000	G01 Z 10 F2000	G01 Z 10 F2000
G01 X 200 Y 0 A 0 F3500	G01 X 200 Y 0 A 0 F3500	G01 X 200 Y 0 A 0 F3500
...
...
...
G01 X 200 Y 500 A 500 F3500	G01 X 200 Y 500 A 500 F3500	G01 X 200 Y 500 A 500 F3500
G01 Z 1 F3500	G01 Z 1 F3500	G01 Z 1 F3500
G01 Z 0 F60	G01 Z 0 F25	G01 Z 0 F8
G01 Z 10 F2000	G01 Z 10 F2000	G01 Z 10 F2000
G01 X 100 Y 500 A 500 F3500	G01 X 100 Y 500 A 500 F3500	G01 X 100 Y 500 A 500 F3500
G01 Z 1 F3500	G01 Z 1 F3500	G01 Z 1 F3500
G01 Z 0 F60	G01 Z 0 F25	G01 Z 0 F8
G01 Z 10 F2000	G01 Z 10 F2000	G01 Z 10 F2000
G01 X 0 Y 500 A 500 F3500	G01 X 0 Y 500 A 500 F3500	G01 X 0 Y 500 A 500 F3500
G01 Z 1 F3500	G01 Z 1 F3500	G01 Z 1 F3500
G01 Z 0 F60	G01 Z 0 F25	G01 Z 0 F8
G01 Z 10 F2000	G01 Z 10 F2000	G01 Z 10 F2000

Şekil 3.16. Örnek G-kodlar



A

Şekil 3.17. (A) CNC kontrol kartı ara yüzü, (B) robotun dozajlama için izlediği yol



Şekil 3.17. (A) CNC kontrol kartı ara yüzü, (B) robotun dozajlama için izlediği yol (devam)

Yukarıda verilen örnekte 5 ml için robotun 1 saniye o konumda bekleyeceği belirtilmişti, fakat 5 ml uygulama yeterli olacağı için pompanın çalışma süresinin hassas ayarı Arduino' ya yüklenen yazılım sayesinde gerçekleştirilmiştir. Yazılımın bir kısmı Şekil 3.18' de verilmiştir. Yazılımın tüm satırları EK-2' de yer almaktadır. Şekil 3.18' de her noktaya aynı hacimde dozajlama yapan ve istenen noktaya istenen hacmi uygulayan yazılım yer almaktadır. Robot anahtara dokunduğunda pompa devreye girer ve yazılımda belirtilen "bitkiSure" satırının karşısındaki rakam kadar çalışır. Yazılımda 1000 rakamı 1 saniyeye karşılık gelmektedir. Eğer 5 ml için, bitkiSure5 = 1000 komutu yazılır ise pompa 1 saniye çalışacaktır ifadesine karşılık gelmektedir. Eğer 1000 yerine 720 yazılır ise de pompa 5,04 ml dozajlama yapması beklenmektedir. Bu algoritma ile step motorlar ve dozajlama pompası arasında köprü oluşturulmuştur.

A

```
if (limitSayici >= 1 && limitSayici <= 499 && limitDurum == HIGH ) {  
  if ( bayrak == 0 ) {  
    bayrak = 1;  
    digitalWrite(pompaPin, LOW);  
    limitSayici++;  
    Serial.print(" Sure = ");  
    Serial.println(bitkiSure5);  
    Serial.print(" Bitki No = ");  
    Serial.println((limitSayici + 1) / 2 );  
    delay(bitkiSure8);  
    digitalWrite(pompaPin, HIGH);  
  }  
}
```

B

```
if (limitSayici >= 41 && limitSayici <= 79 && limitDurum == HIGH ) {  
  if ( bayrak == 0 ) {  
    bayrak = 1;  
    digitalWrite(pompaPin, LOW);  
    limitSayici++;  
    Serial.print(" Sure = ");  
    Serial.println(bitkiSure5);  
    Serial.print(" Bitki No = ");  
    Serial.println((limitSayici + 1) / 2 );  
    delay(bitkiSure5);  
    digitalWrite(pompaPin, HIGH);  
  }  
}  
  
if (limitSayici >= 81 && limitSayici <= 119 && limitDurum == HIGH ) {  
  if ( bayrak == 0 ) {  
    bayrak = 1;  
    digitalWrite(pompaPin, LOW);  
    limitSayici++;  
    Serial.print(" Sure = ");  
    Serial.println(bitkiSure6);  
    Serial.print(" Bitki No = ");  
    Serial.println((limitSayici + 1) / 2 );  
    delay(bitkiSure6);  
    digitalWrite(pompaPin, HIGH);  
  }  
}
```

Şekil 3.18. Robot sistemin çalıştığı yazılım satırların bir kısmı

(**A**) Her noktaya tek tip dozajlama yapan yazılım satırları, (**B**) Belirtilen noktalara farklı dozajlama yapan yazılım satırları)

3.4. İstatistiksel analizler

Elde edilen veriler JMP v13.0 istatistik programı ile analiz edilmiştir. Sonuçları değerlendirmek için One-way ANOVA analizi yapılmış ve dozajlaması yapılan IJ sayılarının ortalamaları 0.05 düzeyinde LSD testi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Grafikler, GraphPad Prism 9 programı ile düzenlenmiştir.

3.5. Değerlendirme ölçütleri

NEMABOT ile uygulanan tüm kombinasyonlar için robotun hacimsel olarak uygulama hassasiyetinin ve EPN miktarı bakımından atım/dağıtım düzgünlüğü ile EPN canlılığı test edilmiştir. Örneğin “50 ml-0.2 g” deneme için 30 atım yapılmış ve her 10 atım bir grup olup hem kendi arasında hem de kontrol grubu ile karşılaştırılmıştır. Uygulama sonrası EPN canlılığı mikroskop altında incelenmiş ve hareketli IJ’ ler canlı kabul edilmiştir (Wright ve diğerleri, 1993). Böylece robotun ilk atımdan son atımına kadarki performansı incelenmiştir. Ayrıca süspansiyon hacimleri ölçülerek hassas hacimde dozajlama performansı ölçülmüştür.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Robotik sistemin (Nemabot) tasarım sonuçları

Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Birimi tarafından desteklenen, proje numarası DDP(Z)-2018/8 olan Doktora Destek Projesi ile prototip tarımsal biyolojik mücadele robotu tasarlanmış ve üretilmiştir. Denemelerde iki farklı avlanma stratejilerine sahip EPN türü ile çalışılmıştır. *Heterorhabditis bacteriophora* (*Hb*) EPN türü arayıcı (cruiser) olarak bilinir ve larvaları toprak içerisinde takip ederek istila ederler. *Steinernema feltiae* (*Sf*) ise hem arayıcı hem tuzakçı EPN türü olarak bilinir. Tuzakçı tabiri, pusu kurarak potansiyel konukçunun geçmesini beklemek anlamına gelir. Denemelerin sonucunda bu iki EPN türünün de uygulama sonrası canlılıklarını yitirmedikleri gözlemlenmiştir. Sistemin tasarımı yapılırken EPN'lerin herhangi bir mekanik zarara uğramaması için özen gösterilmiştir. Fife, Ozkan, Derksen ve Grewal (2007), çalışmalarında santrifüj, diyafram ve rulolu pompa ile 828 kPa' a kadar çalışma basıncında EPN'leri uygulayıp canlılıklarını ölçmüşlerdir. Bilindiği üzere konvansiyonel ilaçlama makinalarında karıştırma düzeni için kullanılan üç tip yöntem bulunmaktadır. Bunlar mekanik, pnömatik ve hidrolik karıştırma yöntemleridir. Fife ve diğerleri (2007), denemelerinde hidrolik çalkalama metodu için pompalar kullanmıştır. Herhangi bir mekanik zarara uğramadıklarını fakat pompa devirdaimi sırasında termal etkilerin EPN'ler için mekanik stresten daha zararlı olabileceğini savunmuşlardır. Fife ve diğerleri (2003), yapmış oldukları diğer çalışmada pülverizasyon sırasında meydana gelecek basınç değişkenliklerinin EPN'ler üzerinde etkisinin olup olmadığını araştırmışlardır. *Heterorhabditis megidis* için maksimum çalışma basıncını 1380 kPa ve *Steinernema carpocapsae* ve *Hb* için 2000 kPa olarak belirlemişlerdir. Çalışmamızda bu tarz olumsuzlukların önüne geçebilmek için uygulamalarda peristaltik pompa kullanılmış ve EPN'lerin dibe çökmemesi için mevcut karıştırma sistemlerinden farklı olarak çalkalama metodu kullanılmıştır. Peristaltik hareket mantığı, hortumun belirli bölgelerinin bir elektrik motoruna bağlı rotor tarafından senkronize bir şekilde sıkıp gevşetilmesiyle gerçekleşen basıncın, sıvı hareketini sağladığı bir yöntemdir. Bu sayede EPN'lerin maruz kalacağı basınç çok azdır. Ayrıca gıda sanayisinde bile kullanılan silikon hortumlar vasıtası ile EPN'ler taşınmakta ve herhangi bir mekanik zedelenmeye uğraması söz konusu değildir. Karıştırma esnasında sıcaklık artışının önüne geçmek için laboratuvar

ortamında rutin yapılan EPN popülasyon tespiti gibi işlemlerde çalkalama metodu için tasarım yapılmıştır. Sistemimizde dairesel hareketi doğrusal harekete çevirerek bir salıncak sistemi ile EPN'lerin dibe çökmesinin önüne geçilmek istenmiştir.

EPN'ler için en büyük iki sorun teşkil etmektedir. Bunlardan bir tanesi üretim zorluğu ve saklama koşulları diğeri ise etkin kullanımıdır. EPN'ler pestisitlere nazaran pahalı olduklarından hassas olarak uygulanması kaçınılmazdır. Dünya genelinde yönelim, tarımsal faaliyetlerin her alanında robotik sistemlerin kullanımı yönündedir. Tarımsal süreçlerin hemen hemen her aşamasında çevreye duyarlı tarla trafiğini en aza indiren toprak işlemeden hasat dönemine kadar ki kısımlarda robot teknolojileri faaliyete geçmektedir. Her yıl The AG Robotic Forum FIRA (2022) tarafından düzenlenen fuarlarda tarımda robotik sistemlerin ne kadar büyük çaplı şirketler meydana getirdiği görülmektedir. Özellikle kimyasal ilaçlama robotlarının gelişimi ön plandadır. Çünkü konvansiyonel sistemler ile yapılan ilaçlamaların hassasiyet kontrolü son derece zordur. Ayrıca konvansiyonel sistemler ile arazide uygulanmasına gerek olmayan kısımlar bile ilaçlanmaktadır. Pestisitlerin biyolojik mücadele ajanlarına göre ucuz olmasına rağmen robot teknolojileri ile kullanılmasından ötürü bu çalışmada EPN'lerin robot teknolojilerine entegrasyonu düşünülmüştür.

1990'lerden bu yana birçok uygulama yöntemi denenmesine rağmen, EPN'ler için hiçbir uygulama yöntemi robotik bir sisteme dayandırılmamıştır. Mevcut EPN uygulama teknikleri şu şekilde genel kategorilere ayrılabilir: 1- El tipi aplikatörler (sırt pülverizatörleri, sulama kapları, el tipi püskürtme tabancaları ve filitler), 2- Doğrudan mekanize sistemler (yağmurlama sulama, mikro püskürtücüler, pülverizatörler, sulama tankerleri), 3- Yer üstü sulama (pivot sulama sistemleri, damla sulama sistemleri ve karık içi sulama), 4- Yer altı sulama hatları 5- Diğer yöntemler (zaman içinde IJ'lerin ortaya çıkacağı kadvralar, EPN'lerin jel kapsül ve granül halinde uygulanması) (Hayes ve diğerleri, 1999; Jaffuel ve diğerleri, 2020; Kagimu ve Malan, 2019; Kakouli-Duarte ve diğerleri, 1997; Mason ve diğerleri, 1998; Raja ve diğerleri, 2015; Shapiro-Ilan ve diğerleri, 2012; Wright ve diğerleri, 1993). Belirtilen bu uygulama yöntemleri için EPN'lerin varlığı ve canlılığı, uygulamadan sonra toprak örnekleri alınarak tespit edilmiştir. Ayrıca uygulama düzgünlüğünün ölçülmesi için araziye ya da uygulama alanına petri

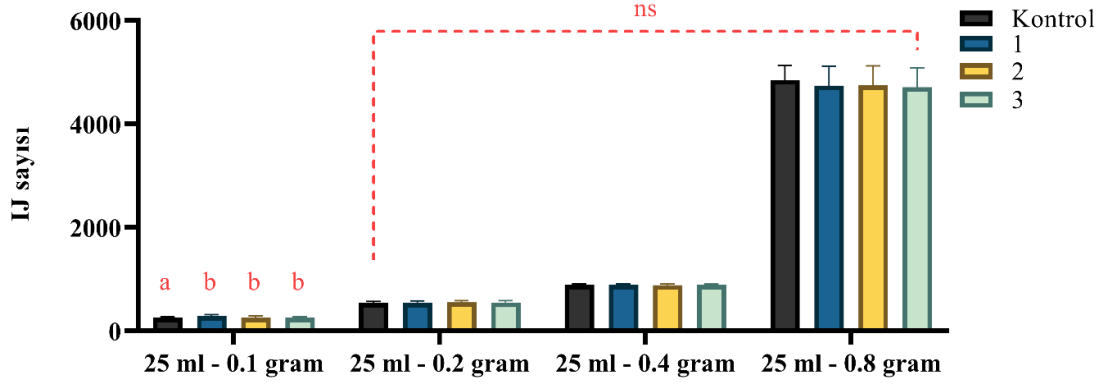
kapları yerleştirilmiş ve ardından bu petri kaplarındaki EPN'ler sayılmıştır. Ancak arazinin her tarafına uygulanması söz konusudur ve uygulama sonrası Mason ve diğerleri (1998), bazı damlacıklarda EPN varlığına rastlamamışlardır. Arazinin her tarafına eşit olarak dağılmadığını tespit etmişlerdir. Bu çalışmada tasarlanan robotik sistem ile arazinin ya da uygulama alanının her noktasına değil bitkinin çevresine olacak şekilde ve adet hassasiyetli EPN uygulanması mümkün kılınmıştır.

Konvansiyonel sistemlerin arasında EPN uygulaması için en çok tercih edilen yöntem damla sulama yöntemidir. Erdoğan ve diğerleri (2020), çalışmalarında farklı tipteki damlatıcıların EPN uygulaması üzerine araştırmalarını yapmışlar ve debisi düşük olan damlatıcılardan EPN'lerin çıkış oranını %50' nin altında bulmuşlardır. Damlatıcılar arasında çıkış oranının eşit olmadığı gözlemlenmiştir. Arrington, Kennedy ve Abney (2015), damla sulama ile patates arazisinde kök kurdu (Coleoptera: Elateridae) ile mücadele için *Sc* uygulamışlardır. Kök kurduna karşı EPN'lerin etkili olmadığını savunmuşlardır ancak Sandhi, Shapiro-Ilan, Sharma ve Reddy (2020), yapmış oldukları laboratuvar denemelerinde EPN'lerin kök kurduna karşı etkili olduğunu savunmuşlardır. Burada iki etken ön plana çıkabilir. *Sc* tuzakçı bir EPN çeşididir ve uygulama alanında kök kurdu ile karşılaşmamış olabilir. Farklı bir avlanma stratejisine sahip, örneğin arayıcı tip EPN kullanılabilir ya da EPN'lerin etkin kullanımı için davranış özelliklerini değiştiren feromonlar ile kullanılması tercih edilebilir. Kaplan ve diğerleri (2020), elde ettikleri feromonu, *Sc* EPN çeşidi üzerinde denemişler ve normalde kum tanelerinde kuyrukta bekleyen *Sc* arayıcı tip EPN gibi etrafa dağılmıştır. İkincisi Arrington ve diğerleri (2015), EPN'leri Netafim Streamline 630 ile uygulamışlardır fakat bu damlatıcı debisi düşük ve çıkış oranının az olduğu damlatıcı tipidir. Bu durum da kök kurdu ile mücadeleyi etkilemiştir. EPN'ler için uygulama zordur ve etkinlik için etmenler çok fazladır. Uygulandıktan sonra EPN'lerin doğru yerde konumlanmaları ve istenilen konuma yönelmelerinin de önemli olduğu görülmüştür. EPN'ler ile ilgili bir dizi faktör, uygulama başarısı için kritik öneme sahiptir. Bunları yaşamsal (biyotik) ve yaşam dışı (abiyotik) faktörler olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu kapsamda YUDAB (Yurtdışı Araştırma Bursu) bursu ile Idaho Üniversitesi Entomoloji, Bitki Patolojisi ve Nematoloji laboratuvarında çalışmalara katılım gerçekleştirilmiştir ve robotik sistemin ilerideki uygulamaları için EPN davranışı üzerine ve toprak yüzeyine uygulandıktan sonra

dağılımı (dispersal) ile ilgili çalışmalar yürütülmüştür (Erdogan ve diğerleri, 2021a; Erdogan ve diğerleri, 2021b; Kaplan ve diğerleri, 2020). Bu bağlamda EPN'lerin arazide konumlandırma başarısının sağlanması üzerine tasarlanan robotik sistemin önemi vurgulanmaktadır. Bitki çevresine uygulanan EPN'lerin zararlılar ile karşılaşma olasılığı en yüksek düzeydedir. Ayrıca uygulama düzgünlüğünün yani EPN adedinin her noktaya istenen miktarda olmasının önemi de açıkça görülmektedir. Aşağıda robotik sistemin sonuçları detaylı bir şekilde gösterilmektedir.

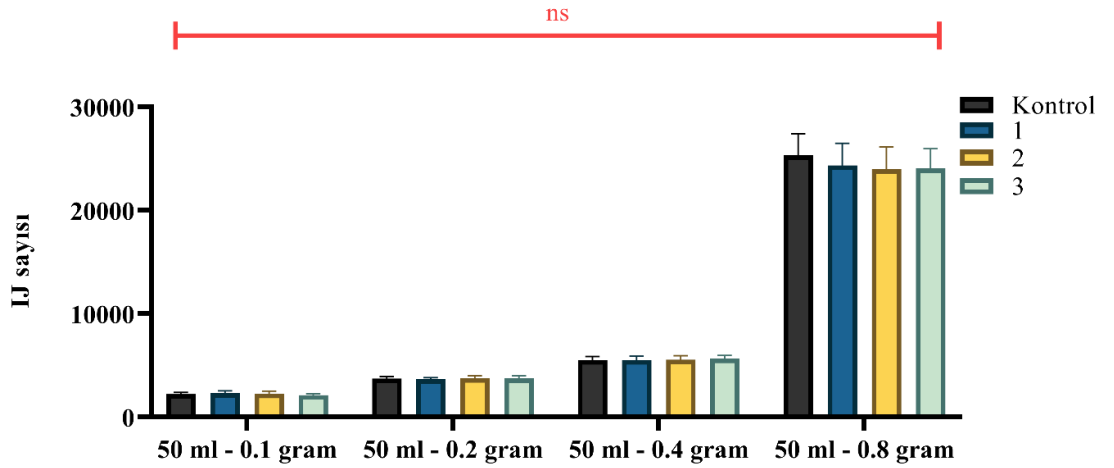
4.2. *Steinernema feltiae* ile yapılan deneme sonuçları

Bu bölümde toz formülasyon halindeki EPN paketinden 0.1 – 0.2 – 0.4 ve 0.8 gram toz alınmış 2000 ml su içerisine karıştırılarak süspansiyon elde edilmiştir. Daha sonra sırasıyla 25 – 50 ve 100 ml olacak şekilde robotik sistem ile uygulanmış ve tüm kombinasyonların uygulama sonucu EPN miktarı sayılmıştır. Şekil 4.1'de 25 ml süspansiyon ile tüm dozların uygulanması sonrası EPN adetlerinin dağılımı gösterilmektedir. Şekillerdeki 1, 2 ve 3 ile gösterilen numaralar robotun atım esnasındaki ilk grubu, ikinci grubu ve üçüncü grubu temsil etmektedir. Tüm bu gruplar kendi aralarında ve kontrol grubu ile karşılaştırılmıştır. 25ml-0.1g ($F=9.6243$; $df=3, 76$; $P\leq 0.0001$) dışındaki uygulamalar arasında fark görülmemiştir. 25ml-0.1 gram için ortalama değerler sırasıyla 253 ± 6 ; 287 ± 6 ; 259 ± 5 ; ve 250 ± 5 adet olarak tespit edilmiştir. EPN'lerin uygulanması için ticari doz değeri 50 IJ/cm^2 olduğuna göre ortalamalardaki bu ufak farklılıkların göz ardı edilebileceği düşünülmektedir. Sonuçların aynı grupta çıkabilme ihtimaline karşı Bonferroni düzeltmeli non-parametrik test ile analiz edilmiş fakat herhangi bir fark görülmemiştir.



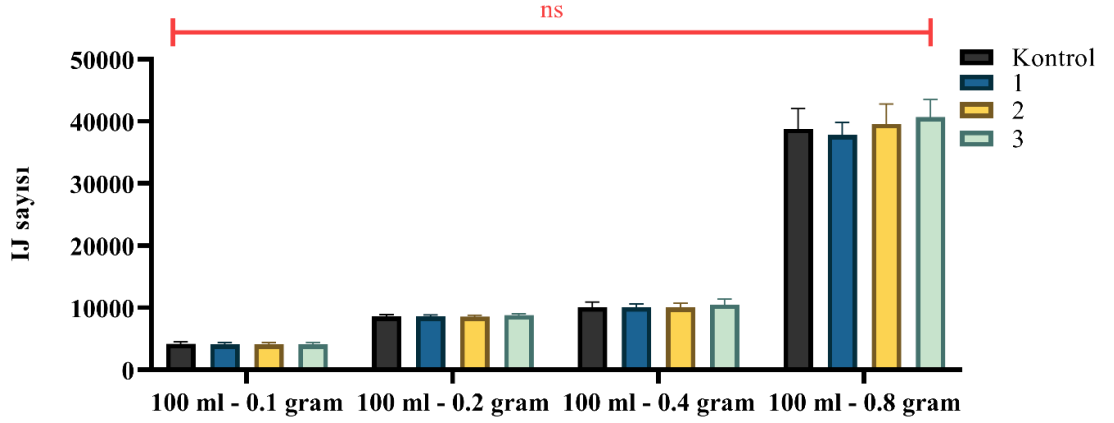
Şekil 4.1. 25 ml süspansiyon içerisinde uygulanan farklı dozlardaki IJ sayısının atım düzgünlüğü (ns: not significant, önemsiz)

Şekil 4.2’de 50 ml süspansiyon ile tüm dozların uygulanması sonrası EPN adetlerinin dağılımı gösterilmektedir. 50 ml doz uygulamalarında gruplar arasında ve kontrol grubu ile herhangi bir fark görülmemiştir.



Şekil 4.2. 50 ml süspansiyon içerisinde uygulanan farklı dozlardaki IJ sayısının atım düzgünlüğü

Şekil 4.3’de 100 ml süspansiyon ile tüm dozların uygulanması sonrası EPN adetlerinin dağılımı gösterilmektedir. 100 ml doz uygulamalarında gruplar arasında ve kontrol grubu ile herhangi bir fark görülmemiştir.



Şekil 4.3. 100 ml süspansiyon içerisinde uygulanan farklı dozlardaki IJ sayısının atım düzgünlüğü

25 – 50 ve 100 ml uygulamaları için istatistiki veriler Çizelge 4.1’de verilmiştir. Ayrıca uygulamaların ortalama, standart sapma, standart hata ve varyasyon katsayısı değerleri (CV) Çizelge 4.2’de ayrıntılı bir şekilde belirtilmiştir. Uygulamaların CV değerleri incelendiğinde en yüksek %11,12 ile 25ml-0.1g uygulamasının ikinci grubunda görülmüştür. Varyasyon katsayısı, deney sonuçlarının güvenilirliğinin bir göstergesidir ve %30 veya daha fazla olduğunda verilerin güvenilir olmadığı kabul edilir. Dolayısı ile yapılan denemelerin sonucunda verilerin güvenilir olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.1. 25 – 50 – 100 ml uygulama için istatistiki veriler

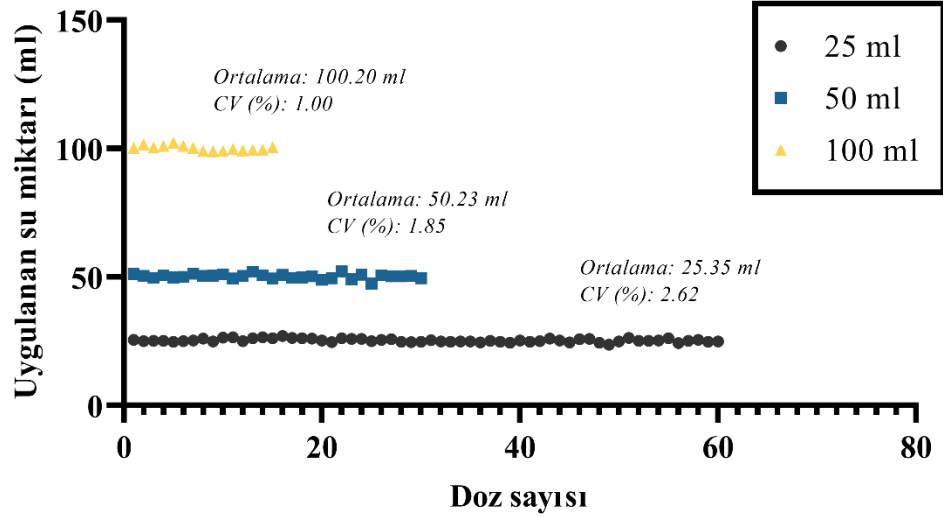
Uygulamalar	F	df	P değeri
25 ml – 0.1 g	9.6243	3, 76	<0.0001
25 ml – 0.2 g	0.6656	3, 76	0.5758
25 ml – 0.4 g	0.7021	3, 76	0.5537
25 ml – 0.8 g	0.6135	3, 76	0.6083
50 ml – 0.1 g	1.5060	3, 36	0.2295
50 ml – 0.2 g	0.4255	3, 36	0.7359
50 ml – 0.4 g	0.4041	3, 36	0.7509
50 ml – 0.8 g	0.8436	3, 36	0.4790
100 ml – 0.1 g	0.1277	3, 16	0.9423
100 ml – 0.2 g	0.8218	3, 16	0.5007
100 ml – 0.4 g	0.4087	3, 16	0.7489
100 ml – 0.8 g	0.8946	3, 16	0.4653

Çizelge 4.2. 25 – 50 – 100 ml için tüm uygulamaların ortalama, standart sapma ve hataları ile CV (varyasyon katsayısı) değerleri

Uygulamalar	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	CV (%)
25 ml – 0.1 g (Kontrol)	253	22	6	8,59
25 ml – 0.1 g (1)*	287	26	6	9,01
25 ml – 0.1 g (2)	259	29	5	11,12
25 ml – 0.1 g (3)	250	21	5	8,47
25 ml – 0.2 g (Kontrol)	542	26	6	4,86
25 ml – 0.2 g (1)	544	32	7	5,91
25 ml – 0.2 g (2)	555	30	7	5,40
25 ml – 0.2 g (3)	548	33	7	6,01
25 ml – 0.4 g (Kontrol)	893	14	3	1,55
25 ml – 0.4 g (1)	887	23	5	2,58
25 ml – 0.4 g (2)	885	20	4	2,25
25 ml – 0.4 g (3)	886	19	4	2,13
25 ml – 0.8 g (Kontrol)	4 848	282	63	5,81
25 ml – 0.8 g (1)	4 735	377	84	7,95
25 ml – 0.8 g (2)	4 740	381	85	8,03
25 ml – 0.8 g (3)	4 705	376	84	7,98
50 ml – 0.1 g (Kontrol)	2 210	166	26	7,53
50 ml – 0.1 g (1)	2 300	240	76	10,45
50 ml – 0.1 g (2)	2 270	241	76	10,60
50 ml – 0.1 g (3)	2 210	155	49	7,01
50 ml – 0.2 g (Kontrol)	3 650	202	64	5,55
50 ml – 0.2 g (1)	3 755	160	51	4,26
50 ml – 0.2 g (2)	3 730	222	70	5,94
50 ml – 0.2 g (3)	3 710	270	85	7,28
50 ml – 0.4 g (Kontrol)	5 520	374	118	6,78
50 ml – 0.4 g (1)	5 525	373	118	6,75
50 ml – 0.4 g (2)	5 660	404	128	7,14
50 ml – 0.4 g (3)	5 500	299	95	5,43
50 ml – 0.8 g (Kontrol)	25 300	2 121	671	8,38
50 ml – 0.8 g (1)	24 340	2 143	678	8,81
50 ml – 0.8 g (2)	23 980	2 150	680	8,97
50 ml – 0.8 g (3)	24 070	1 903	602	7,91
100 ml – 0.1 g (Kontrol)	4 200	326	146	7,76
100 ml – 0.1 g (1)	4 090	307	137	7,51
100 ml – 0.1 g (2)	4 120	256	115	6,22
100 ml – 0.1 g (3)	4 110	315	141	7,67
100 ml – 0.2 g (Kontrol)	8 620	259	116	3,00
100 ml – 0.2 g (1)	8 600	245	110	2,85
100 ml – 0.2 g (2)	8 560	270	121	3,16
100 ml – 0.2 g (3)	8 800	274	122	3,11
100 ml – 0.4 g (Kontrol)	10 100	843	377	8,34
100 ml – 0.4 g (1)	10 120	507	227	5,01
100 ml – 0.4 g (2)	10 080	669	299	6,63
100 ml – 0.4 g (3)	10 520	870	389	8,27
100 ml – 0.8 g (Kontrol)	38 800	3 280	1467	8,45
100 ml – 0.8 g (1)	37 820	2 014	900	5,33
100 ml – 0.8 g (2)	40 700	3 230	1445	7,94
100 ml – 0.8 g (3)	38 800	2 840	1270	7,32

*1 – 2 ve 3 rakamları uygulamalardaki grupları temsil etmektedir.

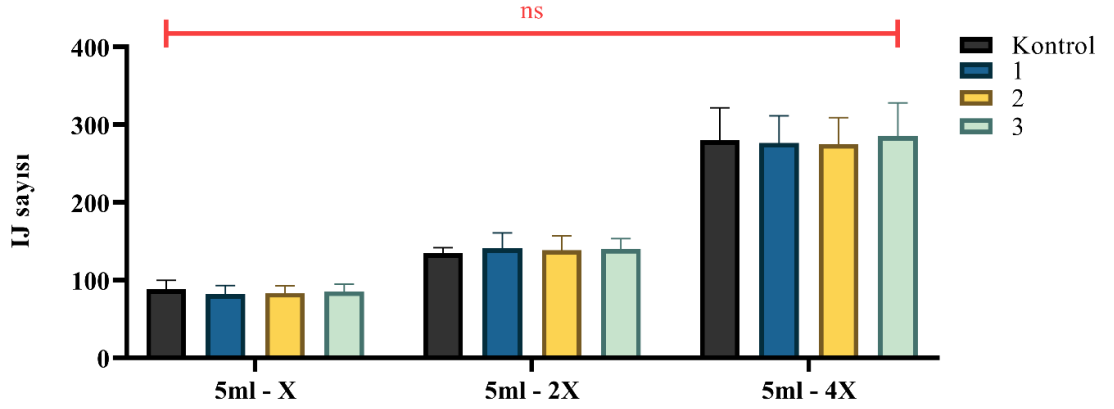
Robotik sistemin her bir atım sırasında eşit şekilde süspansiyon hacmini uygulayıp uygulamadığı test edilmiştir. Şekil 4.4’de görüldüğü üzere 25 ml için ortalama 25,35 ml ve CV’ sı %2,62 olarak, 50 ml için ortalama 50,23 ml ve CV’ sı %1,85 olarak ve 100 ml için ortalama 100,20 ve CV’ sı %1 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.4. 25 – 50 – 100 ml için dozajlamanın hacimsel düzgünlüğü

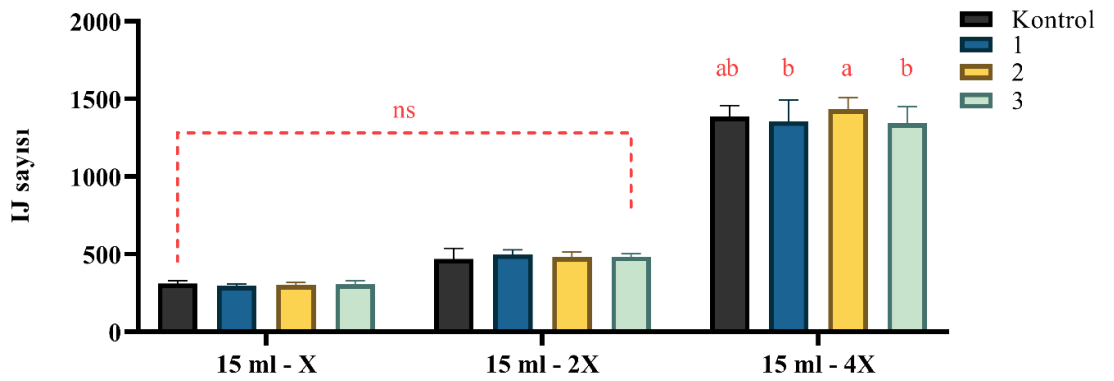
4.3. *Heterorhabditis bacteriophora* ile yapılan deneme sonuçları

Bu bölümde laboratuvar koşullarında EPN üretimi yapılarak denemeler yürütülmüştür. Toz formülasyonun suda tam çözünmeme ihtimalinden dolayı ilk denemede görülen farklılığın sebebi olarak düşünülmüştür. Daha kontrollü bir şekilde popülasyon hazırlayarak denemelerin yapılması tasarlanmış ve sistemi daha da zorlayarak uygulanan süspansiyon hacimleri minimum seviyede tutulmuştur. Üç farklı doz miktarı (60 000 – 120 000 – 240 000 adet) belirlenip 3000 ml su içerisine karıştırılarak süspansiyon elde edilmiştir. Dozlar X – 2X ve 4X olarak adlandırılmıştır. Daha sonra sırasıyla 5 – 15 ve 45 ml olacak şekilde robotik sistem ile uygulanmış ve tüm kombinasyonların uygulama sonucu EPN miktarı sayılmıştır. Şekil 4.5’de 5 ml süspansiyon ile tüm dozların uygulanması sonrası EPN adetlerinin dağılımı gösterilmektedir. Şekillerdeki 1 – 2 ve 3 ile gösterilen numaralar robotun atım esnasındaki ilk grubu, ikinci grubu ve üçüncü grubu temsil etmektedir. Tüm bu gruplar kendi aralarında ve kontrol grubu ile karşılaştırılmıştır. 5 ml ile yapılan doz kombinasyonları arasında herhangi bir fark görülmemiştir.



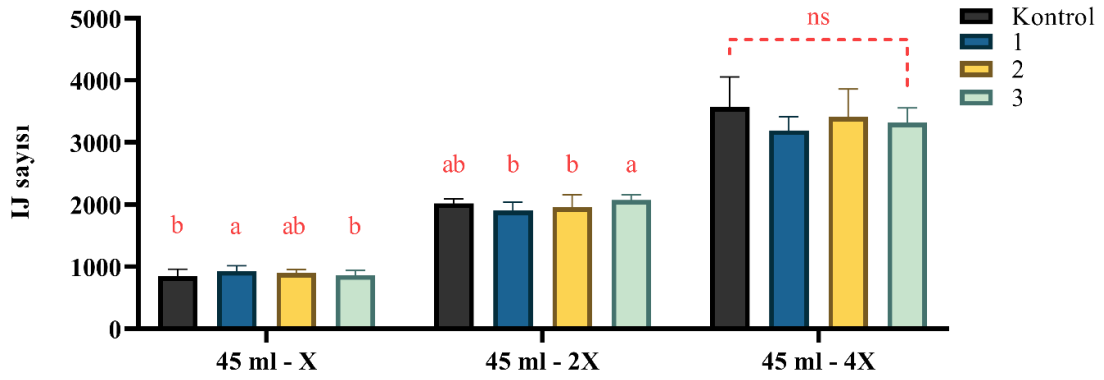
Şekil 4.5. 5 ml süspansiyon içerisinde uygulanan farklı dozlardaki IJ sayısının atım düzgünlüğü

Şekil 4.6’da 15 ml süspansiyon ile tüm dozların uygulanması sonrası EPN adetlerinin dağılımı gösterilmektedir. 15ml-X ve 15ml-2X uygulamalarında gruplar arasında ve kontrol grubu ile herhangi bir fark görülmemiştir. 15ml-4X ($F=3.1068$; $df=3, 76$; $P<0.0314$) uygulamasında gruplar ve kontrol grubu arasında fark görülmüştür. 15ml-4X uygulaması için ortalama değerler sırasıyla $1\ 386 \pm 72$; $1\ 356 \pm 136$; $1\ 434 \pm 74$; ve $1\ 345 \pm 106$ adet olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.6. 15 ml süspansiyon içerisinde uygulanan farklı dozlardaki IJ sayısının atım düzgünlüğü

Şekil 4.7’de 45 ml süspansiyon ile tüm dozların uygulanması sonrası EPN adetlerinin dağılımı gösterilmektedir. 45ml-4X doz uygulamalarında gruplar arasında ve kontrol grubu ile herhangi bir fark görülmemiştir. 45ml-X ($F=3.1068$; $df=3, 76$; $P=<0.0314$) ve 45ml-2X ($F=1.4699$; $df=3, 76$; $P=<0.2294$) uygulamaları arasında gruplar ve kontrol arasında farklılık gözlemlenmiştir. 45ml-X uygulaması için ortalama değerler sırasıyla 849 ± 113 ; 930 ± 84 ; 897 ± 61 ; ve 865 ± 75 adet olarak tespit edilmiştir. Ayrıca 45ml-2X uygulaması için ortalama değerler sırasıyla 2019 ± 76 ; 1957 ± 154 ; 1957 ± 203 ; ve 2075 ± 82 adet olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.7. 45 ml süspansiyon içerisinde uygulanan farklı dozlardaki IJ sayısının atım düzgünlüğü

5 – 15 ve 45 ml uygulamaları için istatistiki veriler Çizelge 4.3’te verilmiştir. Ayrıca uygulamaların ortalama, standart sapma, standart hata ve varyasyon katsayısı değerleri (CV) Çizelge 4.4’te ayrıntılı bir şekilde belirtilmiştir. Uygulamaların CV değerleri incelendiğinde en yüksek %14,98 ile 5ml-4X uygulamasının kontrol grubu ile üçüncü grubunda görülmüştür.

Çizelge 4.3. 5 – 15 – 45 ml uygulama için istatistiki veriler

Uygulamalar	F	df	P değeri
5 ml – X	1.2716	3, 76	0.2902
5 ml – 2X	0.6767	3, 76	0.5690
5 ml – 4X	0.2826	3, 76	0.8378
15 ml – X	1.5758	3, 76	0.2022
15 ml – 2X	0.8446	3, 76	0.4737
15 ml – 4X	3.1068	3, 76	0.0314
45 ml – X	3.5472	3, 76	0.0184
45 ml – 2X	3.3414	3, 76	0.0236
45 ml – 4X	1.4699	3, 76	0.2294

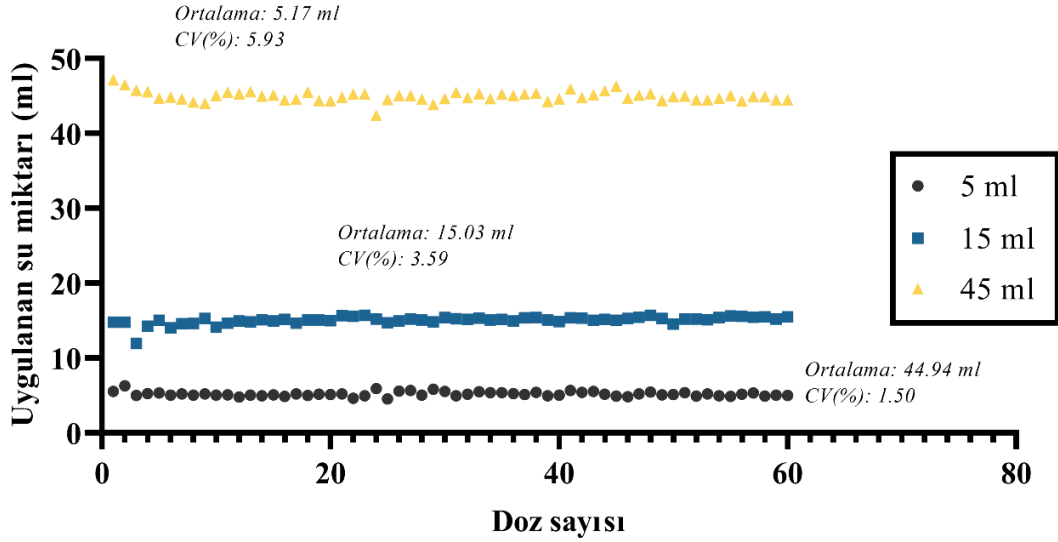
Çizelge 4.4. 5 – 15 – 45 ml için tüm uygulamaların ortalama, standart sapma ve hataları ile CV (varyasyon katsayısı) değerleri

Uygulamalar	Ortalama	Standart sapma	Standart hata	CV (%)
5 ml – X (Kontrol)	88	12	3	13,44
5 ml – X (1)*	82	11	3	13,78
5 ml – X (2)	83	10	2	11,58
5 ml – X (3)	86	9	2	10,78
5 ml – 2X (Kontrol)	135	7	2	5,33
5 ml – 2X (1)	141	20	4	13,81
5 ml – 2X (2)	138	19	4	13,60
5 ml – 2X (3)	140	13	3	9,38
5 ml – 4X (Kontrol)	280	42	9	14,98
5 ml – 4X (1)	277	35	8	12,65
5 ml – 4X (2)	275	34	8	12,45
5 ml – 4X (3)	285	43	10	14,98
15 ml – X (Kontrol)	310	16	4	5,28
15 ml – X (1)	300	11	2	3,61
15 ml – X (2)	302	17	4	5,77
15 ml – X (3)	307	21	5	6,90
15 ml – 2X (Kontrol)	483	63	14	12,99
15 ml – 2X (1)	499	29	7	5,86
15 ml – 2X (2)	481	33	7	6,93
15 ml – 2X (3)	484	21	5	4,36
15 ml – 4X (Kontrol)	1 386	72	16	5,19
15 ml – 4X (1)	1 356	136	30	10,04
15 ml – 4X (2)	1 434	74	17	5,14
15 ml – 4X (3)	1 345	106	24	7,91
45 ml – X (Kontrol)	849	113	25	13,28
45 ml – X (1)	930	84	19	9,01
45 ml – X (2)	897	61	14	6,83
45 ml – X (3)	865	75	17	8,62
45 ml – 2X (Kontrol)	2 019	76	17	3,77
45 ml – 2X (1)	1 957	154	34	7,86
45 ml – 2X (2)	1 957	203	45	10,35
45 ml – 2X (3)	2 075	82	18	3,97
45 ml – 4X (Kontrol)	3 569	489	109	13,71
45 ml – 4X (1)	3 360	263	59	7,82
45 ml – 4X (2)	3 410	450	101	13,20
45 ml – 4X (3)	3 347	241	54	7,19

*1 – 2 ve 3 rakamları uygulamalardaki grupları temsil etmektedir.

Robotik sistemin her bir atım sırasında eşit şekilde süspansiyon hacmini uygulayıp uygulamadığı test edilmiştir. Şekil 4.8’de görüldüğü üzere 5 ml için ortalama 5,17 ml ve

CV' sı %5,93 olarak, 15 ml için ortalama 15,03 ml ve CV' sı %3,59 olarak ve 45 ml için ortalama 44,94 ve CV' sı %1,50 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.8. 5 – 15 – 45 ml için dozajlamanın hacimsel düzgünlüğü

Tasarımı yapılan ve prototip olarak üretilen robotik sistem ile yapılan denemeler sonucu rakamsal olarak yani ticari doz olarak çok büyük farklılıklar görülme de istatistiki olarak bazı uygulama gruplarında farklılıklar tespit edilmiştir. Toz formülasyon (ticari) ya da laboratuvar ortamında üretilen EPN'ler arasında uygulamalarda atım düzgünlüğüne etki edecek bir farkın olmadığı gözlemlenmiştir. Çünkü her iki denemede de gruplar arasında farklılıklar görülmüştür. Gruplar arasındaki farklılığın sebebi karıştırma düzeninden kaynaklanabilir. Çünkü EPN'lerin özgül ağırlıkları suyun özgül ağırlığından fazla olduğu için zamanla dibe çökerler. Çalışılan canlı bir ürün ve homojen olarak suda çözünmeyen bir çözelti olduğundan bu tür problemler ile karşılaşmak mümkündür. Laboratuvar ortamında mikro pipetlerle bile sürekli aynı EPN adedini yakalamak mümkün değildir. Ayrıca mikron düzeyinde canlılar olduğu için hortum içerisinde en ufak yüzey pürüzlülüğü bozuk olan yerlere takılma ve cidara yapışma gibi sorunlar görülebilmektedir. Diğer bir sorunda depoda uygulama sırasında azalan süspansiyon hacmi EPN adet miktarına etki edebilir. Sammons ve diğerleri (2005), çalışmalarında pestisit uygulamalarına rağmen aşırı püskürtme oranını %20 olarak tespit etmişlerdir. Pestisitler çözelti olmasına rağmen uygulamada her yere eşit dağılım konusunda sıkıntılar

yaşanması EPN'ler ile yapmış olduğumuz denemelerdeki farklılığın normal olduğunun göstergesidir. Ayrıca Oberti ve diğerleri (2013), ilaçlama sırasında sağlıklı alanın %8'inin gereksiz ilaçlandığını saptamışlardır. EPN'ler için konvansiyonel makinalar dışında özel olarak üretilen makinalara rastlanılmamıştır. Son teknoloji olarak kabul edebileceğimiz drone ile EPN uygulaması yapılmış fakat Berner ve Chojnacki (2017), denemelerinde uygulanan süspansiyon hacminin CV değerini %80,2 bulurken EPN dağılımı için CV değerini %46,2 olarak tespit etmişlerdir. Bu sonuçlara bakılarak hassas bir uygulama yapılamadığının göstergesidir. Yapmış olduğumuz tüm denemelerde CV değerleri %15'in altında kalarak güvenilir sonuçların elde edildiği saptanmıştır.

4.4. NEMABOT üretim maliyeti

Prototip olarak imal edilen NEMABOT üretim maliyeti 2 158 \$'dır. Detaylı maliyet tablosu Çizelge 4.5'te verilmiştir. Sarf malzeme kalemi içerisinde tüm bağlantı elemanları, elektrik kabloları, ısı ile daralan makaronlar, kablo kanalı, giyon, mil, 3D yazıcıdan üretilen parçalar vb. malzemeler yer almaktadır. Fiyatlara KDV dahil değildir.

Çizelge 4.5. NEMABOT üretimi için maliyet tablosu

Ürün	Miktar	Birim Fiyat (\$)	Toplam Fiyat (\$)
Sigma profil light 45x45	18 metre	13,30	239,40
Bilyalı araba 15' lik	4 adet	10,50	42,00
Ray 15' lik	6 metre	21,46	128,76
Kafesli rulman	4 adet	4,00	16,00
Delrin plaka 20 mm	1 adet	78,94	78,94
CNC işçilik (delrin parçalar)	1 adet	263,15	263,15
Alüminyum sac plaka 2 mm	2 adet	69,40	138,8
Lazer kesim + Abkant büküm	1 adet	158,00	158,00
Step motor	3 adet	30,60	91,80
Vidalı milli step motor	1 adet	61,19	61,19
DC motor	2 adet	14,09	28,18
CNC kontrol kartı	1 adet	166,44	166,44
Arduino UNO	1 adet	9,30	9,30
Micro switch	6 adet	1,38	8,28
Elektrik panosu	1 adet	40,26	40,26
120W güç kaynağı	1 adet	43,50	43,50
25W güç kaynağı	1 adet	20,00	20,00
Kaçak akım rölesi	1 adet	46,44	46,44
1x16 aç kapa şalter	1 adet	5,80	5,80
Acil stop butonu	2 adet	4,43	8,86
Çıkık kafa yaylı kumanda butonu	2 adet	4,23	8,46
Kalıcı kafa yaylı kumanda butonu	1 adet	4,50	4,50
Sarf malzeme	1 adet	550,00	550,00
Genel Toplam			2 158 \$

5. SONUÇ

Dünya’da her geçen gün etkisini giderek artıran tarımda robot kullanımı, tarımsal faaliyetlerin tüm aşamalarında etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle üzerinde durulan en önemli konu ilaçlama üzerine kullanılan robotlardır. Bitki zarar düzeyini tespit edip, talebe göre ilaçlama yaparak pestisit kullanımını minimize etme yönelimi vardır. Biyolojik kontrol üzerine genellikle drone ile faydalı böcek uygulama yönünde firmalar hizmet vermektedir. Bu uygulamalar toprak üzerine yani bitki yeşil aksamına yönelik uygulamalardır. Toprak altında zararlılarla mücadele edecek entomopatojen nematodlar (EPN’ler) ile ilgili geliştirilmiş bir sistem bulunmayıp konvansiyonel sistemler ile uygulamalar yapılmıştır. Uygulamalar sonrası etkinlik ve doz tespiti kısıtlı kalmıştır. Bu noktada, bu araştırmada tamamen EPN uygulamasına yönelik prototip bir robotik sistem tasarlanmış ve üretilmiştir. Robotik sistemin bağlantı elemanları sökülebilir makine elemanları ile monte edilmiştir. Tüm sac kısımlar, 2 mm alüminyum malzemeden ve plastik kısımlar 20 mm delrin malzemeden üretilmiştir. Böylece robot, taşınması kolay ve estetik bir görünüme sahip olmuştur. EPN’lerin homojen dağılımı için mevcut karıştırma sistemlerinin dışında yeni bir yöntem denenmiştir. EPN’lerin herhangi bir mekanik zarara uğramaması için peristaltik pompa ile uygulamalar yapılmıştır. Robotik sistem için patent başvurusu yapılmış ve PCT (Uluslararası patent raporu- Patent Cooperation Treaty) raporu (PCT/TR2019/050768) patentlenebilir yani tüm istemler A kodlu olarak kabul edilmiştir. Yurt içinde ise “Biyolojik mücadele kullanılan bir sistem” adı altında tescillenmiştir (TR2018 14310 B). Yürütülen tez ile pestisitlere alternatif EPN kullanımı teşvik edilmekte, etkin kullanımı için hassas tarımın ilkelerine uyulmakta ve öncelikli alanlar kapsamında sürdürülebilir tarım ve akıllı tarım uygulamaları yerine getirilmektedir. Sistem sayesinde EPN’ler, istenen konuma, istenen süspansiyon (EPN+su) hacminde ve istenen infeksiif jüvenil (IJ) miktarı kadar uygulanmaktadır.

Çalışmada iki farklı EPN türü ile denemeler yürütülmüştür. Bunlar *Heterorhabditis bacteriophora* (Hb) ve *Steinernema feltiae* (Sf) türleridir. Sonuçlara göre robotik sistem, konum olarak ve süspansiyon hacmi olarak uygulamalarını kontrollü bir şekilde gerçekleştirmiştir. Robotik sistemin atım düzgünlüğünü test etmek için uygulama başlangıcından sonuna kadar ki kısımlar üç gruba ayrılmıştır. Bu gruplar hem kendi

arasında hem de laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen kontrol grubu ile test edilmiştir. *Sf* ile yürütülen çalışmalarda sadece 25 ml-0.1 g uygulamasında gruplar arasında fark bulunmuştur. *Hb* ile yürütülen çalışmalarda ise 15 ml-4X, 45 ml-X ve 45 ml-2X uygulamalarında istatistiksel olarak farklar belirlenmiştir. Bu farkların sebebi çalkalama sistemi olabilir, ya da uygulama esnasında uygulama yapılan silikon hortumlardaki herhangi bir yüzey pürüzlülüğüne takılma gibi problemlerden kaynaklanmış olabilir. Laboratuvar ortamında bile mikro pipetler ile uygulama yaparken plastik uçlara yapışma ihtimali görülmektedir. Bu farkların olduğu grupların ortalama EPN adedi incelendiğinde, en yüksek ortalama 2.019 ve en düşük ortalama 1.957 adet olup aradaki fark 62 adet olarak görülmüştür. Ticari satılan EPN'ler için literatürde geçerli olan miktar cm^2 'ye 50 adet IJ olarak öngörülmektedir. Bu bakımdan bu farklılığın göz ardı edilmesi mümkün olmaktadır. Mevcut sistemlerin başında damla sulama yöntemi ile uygulamalar gelmektedir. Fakat yapılan çalışmalarda damlatıcı tipinin ve her damlatıcıdan farklı sayıda IJ çıktığı gözlemlenmiştir. Pülverizasyon sırasında bazı uygulamalarda damlacıkların içinde IJ olmadığı bu yüzden homojen bir şekilde arazide dağılım gösterilmediği saptanmıştır. Robotik sistem ile hassas bir şekilde uygulama gerçekleştirilmiş ve arazinin her yerine uygulama yerine bitki etrafına uygulanarak mevcut EPN paketinin daha etkin kullanılması öngörülmüştür.

Prototip olarak geliştirilen robotik sistem ile elde edilen olumlu sonuçlar neticesinde gelecekte sisteme kamera entegre edilerek bitkiyi algılaması hatta bitki üzerinde zarar tespiti yaparak EPN dozunu belirleyip uygulama yapmak mümkün olabilecektir. Ayrıca bu sistem ile sulama ve gübreleme yapmak da mümkündür. Bitki etrafını kaplayacak şekilde uygulamalar yapılarak zararlıların kaçma şansının önüne geçilebilir ve bu yönde denemeler kurulabilir. Ayrıca EPN davranışlarını etkileyen çeşitli feromon ve maseratlar ile EPN'lerin davranışları üzerinde olumlu etki yaparak uygulama sonrası performansı artırılabilir.

EPN'lerin etkin kullanımı üzerine çalışmalar günden güne artmaktadır. EPN'ler için önemli sorunlardan biri olan uygulamanın konusu ülkemiz için yeni sayılabilecek bir konudur. Bu tez çalışmasında, EPN'lerin hassas uygulanmasına yönelik ilk defa robotik bir sistem ile denenmesi, ülkemizde ve Dünya'da ilk çalışmalardan biri olma özelliği

taşımaktadır. PCT raporunda tüm istemlerin patentlenebilir olmasından dolayı çalışmanın önem taşıdığı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abundant Robots. (2022). Erişim adresi: <https://waxinvest.com/projects/abundant-robots/>
- Agrobot. (2022). Erişim adresi: <https://www.agrobot.com/>
- Akhurst, R. J. (1983). Taxonomic study of *Xenorhabdus*, a genus of bacteria symbiotically associated with insect pathogenic nematodes. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 33(1), 38-45. <https://doi.org/10.1099/00207713-33-1-38>
- Arrington, A. E., Kennedy, G. G. ve Abney, M. R. (2016). Applying insecticides through drip irrigation to reduce wireworm (*Coleoptera: Elateridae*) feeding damage in sweet potato. *Pest Management Science*, 72(6), 1133-1140. <https://doi.org/10.1002/ps.4089>
- Asterix. (2022). Erişim adresi: https://www.adigo.no/portfolio/precision_spraying_robot/?lang=en
- Baiocchi, T., Lee, G., Cho, D. H. ve Dillman, A. R. (2017). Host seeking parasitic nematodes use specific odors to assess host resources. *Scientific Reports*, 7(1), 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-06620-2>
- Bakker, T., Van Asselt, K., Bontsema, J., Müller, J. ve Van Straten, G. (2006). An autonomous weeding robot for organic farming. In *Field and Service Robotics* (ss. 579-590). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-33453-8_48
- Bal, H. K., Taylor, R. A. J. ve Grewal, P. S. (2014). Ambush foraging entomopathogenic nematodes employ sprinting emigrants for long distance dispersal in the absence of hosts. *Journal of Parasitology*, 100, 422-432. <https://doi.org/10.1645/12-165.1>
- Bayati, M. ve Fotouhi, R. (2018). A mobile robotic platform for crop monitoring. *Advances in Robotics and Automation*, 7(1), 1000186. <https://doi.org/10.4172/2168-9695.1000186>
- Beck, B., Brusselman, E., Nuyttens, D., Moens, M., Pollet, S., Temmerman, F. ve Spanoghe, P. (2013). Improving foliar applications of entomopathogenic nematodes by selecting adjuvants and spray nozzles. *Biocontrol Science and Technology*, 5, 507-520. <https://doi.org/10.1080/09583157.2013.777692>
- Beck, B., Brusselman, E., Nuyttens, D., Moens, M., Temmerman, F., Pollet, S., Weyenberg, S. V. ve Spanoghe, P. (2014b). Improving the biocontrol potential of entomopathogenic nematodes against *Mamestra brassicae*: effect of spray application technique, adjuvants and an attractant. *Pest Management Science*, 70, 103-112. <https://doi.org/10.1002/ps.3533>

- Beck, B., Spanoghe, P., Moens, M., Pollet, S., Temmerman, F. ve Nuyttens, D. (2014a). Improving control of the cabbage root fly with entomopathogenic nematodes. *Aspects of Applied Biology*, 122, 125-134.
- Beck, B., Spanoghe, P., Moens, M., Pollet, S., Temmerman, F. ve Nuyttens, D. (2015). Foliar applied entomopathogenic nematodes *Steinernema feltiae* are not suitable for controlling *Thrips tabaci* in leek. *Bulletin of Insectology*, 68(2), 287-298.
- Bedding, R. A. ve Molyneux, A. S. (1982). Penetration of insect cuticle by infective juveniles of *Heterorhabditis* spp. (Heterorhabditidae: Nematoda). *Nematologica*, 28(3), 354-359. <https://doi.org/10.1163/187529282X00402>
- Berner, B. ve Chojnacki, J. (2017). Influence of the air stream produced by the drone on the sedimentation of the sprayed liquid that contains entomopathogenic nematodes. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 62(3), 26-29.
- Bietresato, M., Carabin, G., Vidoni, R., Gasparetto, A. ve Mazzetto, F. (2016). Evaluation of a LiDAR-based 3D-stereoscopic vision system for crop-monitoring applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 124, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.03.017>
- Blackmore, B. S., Fountas, S., Gemtos, T. A. ve Griepentrog, H. W. (2009). A specification for an autonomous crop production mechanization system. *Acta Hortica*, 824, 201-216. <https://doi.org/10.17660/ActaHortica.2009.824.23>
- BlueRiver. (2022). Erişim adresi: <https://bluerivertechnology.com/>
- Boemare, N., Laumond, C. ve Mauleon, H. (1996). The Entomopathogenic Nematode-Bacterium Complex: Biology, Life Cycle and Vertebrate Safety. *Biocontrol Science and Technology*, 6(3), 333-346. <https://doi.org/10.1080/09583159631316>
- Botterill, T., Paulin, S., Green, R., Williams, S., Lin, J., Saxton, V., ... ve Corbett-Davies, S. (2017). A robot system for pruning grape vines. *Journal of Field Robotics*, 34, 1100-1122. <https://doi.org/10.1002/rob.21680>
- Brusselman, E., Beck, B., Pollet, S., Temmerman, F., Spanoghe, P., Moens, M. ve Nuyttens, D. (2012). Effect of the spray application technique on the deposition of entomopathogenic nematodes in vegetables. *Pest Management Science*, 68(3), 444-453. <https://doi.org/10.1002/ps.2290>
- Ceres, R., Pons, J. L., Jiménez, A. R., Martín, J. M. ve Calderón, L. (1998). Design and implementation of an aided fruit-harvesting robot (Agribot). *Industrial Robot*, 25, 337-346. <https://doi.org/10.1108/01439919810232440>
- Cerescon. (2022). Erişim adresi: <https://www.cerescon.com/EN/sparter>
- Cowan, R. ve Gunby, P. (1996). Sprayed to death: Path dependence, lock-in and pest control strategies. *The Economic Journal*, 106, 521-542. <https://doi.org/10.2307/2235561>

- De Nardo, E. A. B. ve Grewal, P. S. P. (2003). Compatibility of *Steinernema feltiae* (Nematoda: Steinernematidae) with pesticides and plant growth regulators used in glasshouse plant production. *Biocontrol Science and Technology*, 13(4), 441-448. <https://doi.org/10.1080/0958315031000124495>
- Deery, D., Jimenez-Berni, J., Jones, H., Sirault, X. ve Furbank, R. (2014). Proximal remote sensing buggies and potential applications for field-based phenotyping. *Agronomy*, 4(3), 349-379. <https://doi.org/10.3390/agronomy4030349>
- Defterli, S. G., Shi, Y., Xu, Y. ve Ehsani, R. (2016). Review of robotic technology for strawberry production. *Applied Engineering in Agriculture*, 32, 301-318. <https://doi.org/10.13031/aea.32.11318>
- Dogtooth. (2022). Erişim adresi: <https://dogtooth.tech/>
- Dolinski, C., Shapiro-Ilan, D.I. ve Lewis, E. E. 2015. Insect cadaver applications: pros and cons. In *Nematode Pathogenesis of Insect and Other Pests*, ss. 207-230. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-18266-7_8
- Dos Santos, F. N., Sobreira, H., Campos, D., Morais, R., Moreira, A. P. ve Contente, O. (2015, Nisan). Towards a reliable monitoring robot for mountain vineyards. In *Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions*, ss. 37-43. <https://doi.org/10.1109/ICARSC.2015.21>
- EarthSense. (2022). Erişim adresi: <https://www.earthsense.co/>
- EcoRobotix. (2022). Erişim adresi: <https://ecorobotix.com/en/>
- Edan, Y., Rogozin, D., Flash, T. ve Miles, G. E. (2000). Robotic melon harvesting. *IEEE Transactions on Robotics Automation*, 16, 831-835. <https://doi.org/10.1109/70.897793>
- Ehlers, R. U. (2005). Forum on Safety and Regulation. Nematodes as biocontrol agents, 107-114. <https://doi.org/10.1079/9780851990170.0107>
- Ehlers, R. U., Lunau, S., Krasomil-Osterfeld, K. ve Osterfeld, K. H. (1998). Liquid culture of the entomopathogenic nematode-bacterium-complex *Heterorhabditis megidis/Photorhabdus luminescens*. *BioControl*, 43, 77-86. <https://doi.org/10.1023/A:1009965922794>
- Eilenberg, J., Hajek, A. ve Lomer, C. (2001). Suggestions for unifying the terminology in biological control. *BioControl*, 46, 387-400. <https://doi.org/10.1023/A:1014193329979>
- El-Sadawy, H. A. (2011). Mass production of *Steinernema* spp. on in-vitro developed solid medium. *World Applied Sciences Journal*, 14(6), 803-813. <http://www.idosi.org/.../1.pdf>
- Energid. (2022). Erişim adresi: <https://www.energid.com/industries/agricultural-robotics>

- Erdogan, H., Cruzado-Gutierrez, K., Stevens, G., Shapiro-Ilan, D., Kaplan, F., Alborn, H. ve Lewis E. (2021b). Nematodes Follow a Leader. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 740351. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.740351>
- Erdogan, H., Stevens, G., Stevens, A., Shapiro-Ilan, D., Kaplan, F., Alborn, H. ve Lewis E. (2021a). Infected host responses across entomopathogenic nematode phylogeny. *Journal of Nematology*, 53, 1-9. <https://doi.org/10.21307/jofnem-2021-105>
- Erdoğan, H., Ulu, T. C. ve Kuşçu, H. (2020). The effect of different dripper properties on entomopathogenic nematode application in drip irrigation. *Kahramanmaraş Sütçü İmam üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(1), 230-236. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.533723>
- Fando, R. A. ve Klavdieva, M. M. (2021). N.A. Borodin's first hand study of the USA power farming experience: The lessons from history. *AMA-Agricultural Mechanization in Asia Africa and Latin America*, 51, 82-86.
- FarmDroid. (2022). Erişim adresi: <https://farmdroid.dk/en/welcome/>
- Fendt. (2002). Erişim adresi: <https://www.fendt.com/int/xaver>
- Feng, Q., Zheng, W., Qiu, Q., Jiang, K. ve Guo, R. (2012, Mayıs). Study on strawberry robotic harvesting system. In *Proceedings of the CSAE 2012 IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering*, (Vol. 1, ss. 320-324). <https://doi.org/10.1109/CSAE.2012.6272606>
- Feng, Q., Zou, W., Fan, P., Zhang, C. ve Wang, X. (2018). Design and test of robotic harvesting system for cherry tomato. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11, 96-100. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181101.2853>
- FF Robotics. (2022). Erişim adresi: <https://www.ffrobotics.com/>
- FIRA. (2022). Erişim adresi: <https://www.fira-agtech.com/c/fira>
- Fife, J. P., Derksen, R. C., Ozkan, H. E. ve Grewal, P. S. (2003). Effects of pressure differentials on the viability and infectivity of entomopathogenic nematodes. *Biological Control*, 27(1), 65-72. [https://doi.org/10.1016/S1049-9644\(02\)00183-4](https://doi.org/10.1016/S1049-9644(02)00183-4)
- Fife, J. P., Ozkan, H. E., Derksen, R. C. ve Grewal, P. S. (2007). Effects of pumping on entomopathogenic nematodes and temperature increase within a spray system. *Applied Engineering in Agriculture*, 23(4), 405-412. <https://doi.org/10.13031/2013.23480>
- Fitzgerald, D. (1991). Beyond tractors—The history of technology in american agriculture. *Technology and Culture*, 32, 114-126. <https://doi.org/10.2307/3106015>

- Fountas, S., Mylonas, N., Malounas, I., Rodias, E., Santos, C. H. ve Pekkeriet, E. (2020). Agricultural robotics for field operations. *Sensors*, 20, 2672. <https://doi.org/10.3390/s20092672>
- Georgis, R. (1990). Formulation and application technology. *Entomopathogenic nematodes in biological control*, 173-191.
- Glazer, I. (2002). Survival biology. *Entomopathogenic nematology*, 169-187.
- Goering, C. E. (2008). A century of tractor development: 1907-2007. *Transactions of The ASABE*, 51, 379-383. <https://doi.org/10.13031/2013.24376>
- Grape. (2022). Erişim adresi: <https://www.grape-project.eu/home/>
- Grewal, P., Selvan, S. ve Gaugler, R. (1994). Thermal adaptation of entomopathogenic nematodes: niche breadth for infection, establishment, and reproduction. *Journal of Thermal Biology*, 19(4), 245-253. [https://doi.org/10.1016/0306-4565\(94\)90047-7](https://doi.org/10.1016/0306-4565(94)90047-7)
- Griffin, C. T., Downes, M. J. ve Block, W. (1990). Tests of Antarctic soils for insect parasitic nematodes. *Antarctic Science*, 2(3), 221-222. <https://doi.org/10.1017/S095410209000030X>
- Gumus, A., Karagoz, M., Shapiro-Ilan, D. I. ve Hazir, S. (2015). A novel approach to biocontrol: release of live insect hosts pre-infected with entomopathogenic nematodes. *Journal of Invertebrate Pathology*, 130, 56-60. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2015.07.002>
- Haibo, L., Shuliang, D., Zunmin, L. ve Chuijie, Y. (2015). Study and experiment on a wheat precision seeding robot. *Journal of Robotics*, 696301. <https://doi.org/10.1155/2015/696301>
- Harvest Automation. (2022). Erişim adresi: <https://www.public.harvestai.com/>
- Harvest Croo Robotics. (2022). Erişim adresi: <https://www.harvestcroorobotics.com/>
- Hayashi, S., Ganno, K., Ishii, Y. ve Tanaka, I. (2002). Robotic harvesting system for eggplants. *Japan Agricultural Research Quartely*, 36, 163-168. <https://doi.org/10.6090/jarq.36.163>
- Hayashi, S., Yamamoto, S., Tsubota, S., Ochiai, Y., Kobayashi, K., Kamata, J., ... ve Peter, R. (2014). Automation technologies for strawberry harvesting and packing operations in Japan. *Journal of Berry Research*, 4, 19-27. <https://doi.org/10.3233/JBR-140065>
- Hayes, A. E., Fitzpatrick, S. M. ve Webster, J. M. (1999). Infectivity, distribution, and persistence of the entomopathogenic nematode *Steinernema carpocapsae* all strain (Rhabditida: Steinernematidae) applied by sprinklers or boom sprayer to dry-pick cranberries. *Journal of Economic Entomology*, 92(3), 539-546. <https://doi.org/10.1093/jee/92.3.539>

- He, L., Zhou, J., Zhang, Q. ve Charvet, H. J. (2016). A string twining robot for high trellis hop production. *Computers and Electronics in Agriculture*, 121, 207-214. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.12.012>
- Hominick, W. M., Reid, A. P., Bohan, D. A. ve Briscoe, B. R. (1996). Entomopathogenic nematodes: Biodiversity, geographical distribution and the convention on biological diversity. *Biocontrol Science and Technology*, 6(3), 317-332. <https://doi.org/10.1080/09583159631307>
- Hominick, W.M. (2002). Biogeography. *Entomopathogenic nematology* (ss. 115-143). Wallingford: CABI. <https://doi.org/10.1079/9780851995670.0115>
- Huang, L., Chen, X., Tan, X., Chen, X. ve Liu X. (2019). A stochastic predator-prey model for integrated pest management. *Advances in Difference Equations*, 2019(1), 1-10. <https://doi.org/10.1186/s13662-019-2291-1>
- Ibex. (2022). Erişim adresi: <http://www.ibexautomation.co.uk/>
- Iida, M., Kang, D., Taniwaki, M., Tanaka, M. ve Umeda, M. (2008). Localization of CO₂ source by a hexapod robot equipped with an anemoscope and a gas sensor. *Computers and Electronics in Agriculture*, 63, 73-80. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.01.016>
- Jaffuel, G., Sbaiti, I. ve Turlings, T. C. J. (2020). Encapsulated entomopathogenic nematodes can protect maize plants from *Diabrotica balteata* larvae. *Insects*, 11, 1-7. <https://doi.org/10.3390/insects11010027>
- Kagimu, N. ve Malan, A. P. (2019). Formulation of South African entomopathogenic nematodes using alginate beads and diatomaceous earth. *BioControl*, 64(4), 413-422. <https://doi.org/10.1007/s10526-019-09945-1>
- Kai, A., Gao-di, X. I. E., Yun-fa, L. ve Yu, X. (2003). Design of farmland GIS for precision agriculture. *Chinese Geographical Science*, 13, 20-24. <https://doi.org/10.1007/s11769-003-0079-3>
- Kakouli-Duarte, T., Labuschagne, L. ve Hague, N. G. M. (1997). Biological control of the black vine weevil, *Otiorhynchus sulcatus* (Coleoptera: Curculionidae) with entomopathogenic nematodes (Nematoda: Rhabditida). *Annals of Applied Biology*, 131(1), 11-27. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1997.tb05393.x>
- Kaplan, F., Perret-Gentil, A., Guirintano, J., Stevens, G., Erdogan, H., Schiller, K. C., ... ve Shapiro-Ilan, D. (2020). Conspecific and heterospecific pheromones stimulate dispersal of entomopathogenic nematodes during quiescence. *Scientific Reports*, 10(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62817-y>
- Katupitiya, J. (2014). An autonomous seeder for broad acre crops. In *Proceedings of the American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting*, ss. 169-176. <https://doi.org/10.13031/aim.20141883199>

- Kaya, H. K. ve Gaugler, R. (1993). Entomopathogenic Nematodes. *Annual Review of Entomology*, 38(125), 181-206. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.38.010193.001145>
- Kim, G. H., Kim, S. C., Hong, Y. K., Han, K. S. ve Lee, S. G. (2012). A robot platform for unmanned weeding in a paddy field using sensor fusion. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, ss. 904-907. <https://doi.org/10.1109/CoASE.2012.6386466>
- Klose, R., Thiel, M., Ruckelshausen, A. ve Marquering, J. (2008). Weedy-a sensor fusion based autonomous field robot for selective weed control. In *Proceedings of the Conference: Agricultural Engineering—Land-Technik*, ss. 167-172.
- Koppenhöfer, A. M. (2000). Nematodes. In *Field Manual of Techniques in Invertebrate Pathology* (ss. 283-301). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-1547-8_11
- Koppenhöfer, A. M., Shapiro-Ilan, D. ve Hiltbold, I. (2020). Entomopathogenic nematodes in sustainable food production. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 125. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00125>
- Koppert. (2022). Erişim adresi: <https://www.koppert.com/natutec-drive/>
- Lacey, L. A., Grzywacz, D., Shapiro-Ilan, D. I., Frutos, R., Brownbridge, M. ve Goettel, M. S. (2015). Insect pathogens as biological control agents: Back to the future. *Journal of Invertebrate Pathology*, 132, 1-41. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2015.07.009>
- Lee, W. S., Slaughter, D. C. ve Giles, D. K. (1999). Robotic weed control system for tomatoes. *Precision Agriculture*, 1(1), 95-113. <https://doi.org/10.1023/A:1009977903204>
- Lewis, E. E. ve Clarke, D. J. (2012). Nematode parasites and entomopathogens. In *Insect Pathology*, 395-424. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384984-7.00011-7>
- Lewis, E. E., Gaugler, R. ve Harrison, R. (1992). Entomopathogenic nematode host finding: response to host contact cues by cruise and ambush foragers. *Parasitology*, 105(2), 309-315. <https://doi.org/10.1017/S0031182000074230>
- Liu, B., Hu, Z., Zhao, Y., Bai, Y., Wang, Y. (2019). Recognition of pyralidae insects using intelligent monitoring autonomous robot vehicle in natural farm scene. *arXiv:physics, 1903*, 10827. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1903.10827>
- Mahmud, M. S. A., Abidin, M. S. Z., Mohamed, Z., Rahman, M. K. I. A. ve Iida, M. (2019). Multi-objective path planner for an agricultural mobile robot in a virtual greenhouse environment. *Computers and Electronics in Agriculture*, 157, 488-499. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.01.016>

- Marinoudi, V., Sørensen, C. G., Pearson, S. ve Bochtis, D. (2019). Robotics and labour in agriculture. A context consideration. *Biosystems Engineering*, 184, 111-121. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.06.013>
- Mason, J. M., Matthews, G. A. ve Wright, D. J. (1998). Appraisal of spinning disc technology for the application of entomopathogenic nematodes. *Crop Protection*, 17(5), 453-461. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(98\)00042-8](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(98)00042-8)
- Mengüç, Ç. ve Elibüyük, İ. Ö. (2014). Yabancı otlarda herbisitlere dayanıklılık ve yönetimi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 7(2), 19-22.
- Metomotion. (2022). Erişim adresi: <https://www.metomotion.com/>
- Mueller-Sim, T., Jenkins, M., Abel, J. ve Kantor, G. (2017, Mayıs). The Robotanist: A ground-based agricultural robot for high-throughput crop phenotyping. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, ss. 3634-3639. <https://doi.org/10.1109/ICRA.2017.7989418>
- Naio. (2022). Erişim adresi: <https://www.naio-technologies.com/en/oz/>
- Nguyen, K. B. ve Smart, G. C. (1995). Morphometrics of Infective Juveniles of *Steinernema* spp. and *Heterorhabditis bacteriophora* (Nemata: Rhabditida). *Journal of Nematology*, 27(2), 206-12.
- Oberti, R., Marchi, M., Tirelli, P., Calcante, A., Iriti, M., Hocevar, M., ... ve Ulbrich, H. (2013). Selective spraying of grapevine's diseases by a modular agricultural robot. *Journal of Agricultural Engineering*, 44, 149-153. <https://doi.org/10.4081/jae.2013.271>
- Octinion. (2022). Erişim adresi: <http://octinion.com/products/agricultural-robotics/rubion>
- Oerke, E. C. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, 144(1), 31-43. <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>
- Ogawa, Y., Kondo, N., Monta, M. ve Shibusawa, S. (2006). Spraying robot for grape production. *Springer Tracts in Advanced Robotics*, 24, 539-548. https://doi.org/10.1007/10991459_52
- Oliveira-Hofman, C., Kaplan, F., Stevens, G., Lewis, E., Wu, S., Alborn, H. T., Perret-Gentil, C. ve Shapiro-Ilan, D. I. (2019). Pheromone extracts act as boosters for entomopathogenic nematodes efficacy. *Journal of Invertebrate Pathology*, 164, 38-42. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2019.04.008>
- Parabug. (2022). Erişim adresi: <https://www.parabug.solutions/>
- Pedersen, S. M., Fountas, S., Have, H. ve Blackmore, B. S. (2006). Agricultural robots-system analysis and economic feasibility. *Precision Agriculture*, 7, 295-308. <https://doi.org/10.1007/s11119-006-9014-9>

- Peters, A. (1996). The natural host range of *Steinernema* and *Heterorhabditis* spp. and their impact on insect populations. *Biocontrol Science and Technology*, 6(3), 389-402. <https://doi.org/10.1080/09583159631361>
- Piedra Buena, A., López-Cepero, J. ve Campos-Herrera, R. (2015). Entomopathogenic nematode production and application: regulation, ecological impact and non-target effects. In *Nematode pathogenesis of insects and other pests* (ss. 255-282). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-18266-7_10
- Pilarski, T., Happold, M., Pangels, H., Ollis, M., Fitzpatrick, K. ve Stentz, A. (2002). The demeter system for automated harvesting. *Autonomous Robots*, 13, 9-20. <https://doi.org/10.1023/A:1015622020131>
- Pilli, S. K., Nallathambi, B., George, S. J. ve Diwanji, V. (2015, Şubat). eAGROBOT – A robot for early crop disease detection using image processing. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Electronics and Communication Systems (ICECS)*, ss. 1684-1689. <https://doi.org/10.1109/ECS.2015.7124873>
- Poinar Jr, G. O. (1990). Taxonomy and biology of Steinernematidae and Heterorhabditidae. *Entomopathogenic nematodes in biological control*, 54.
- Raja, R. K., Hazir, C., Gümüş, A., Asan, C., Karagoz, M. ve Hazir, S. (2015). Efficacy of the entomopathogenic nematode *Heterorhabditis bacteriophora* using different application methods in the presence or absence of a natural enemy. *Turkish Journal of Agriculture Forestry*, 39, 277-285. <https://doi.org/10.3906/tar-1410-33>
- Reina, G., Milella, A. ve Galati, R. (2017). Terrain assesment for precision agriculture using vehicle dynamic modelling. *Biosystems Engineering*, 162, 124-139. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.06.025>
- Reiser, D., Sehsah, E. S., Bumann, O., Morhard, J. ve Griepentrog, H. W. (2019). Development of an autonomous electric robot implement for intra-row weeding in vineyards. *Agriculture*, 9(1), 18. <https://doi.org/10.3390/agriculture9010018>
- Rey, B., Aleixos, N., Cubero, S., Blasco, J. (2019). XF-ROVIM. A field robot to detect olive trees infected by *Xylella fastidiosa* using proximal sensing. *Remote Sensing*, 11(3), 221. <https://doi.org/10.3390/rs11030221>
- Root-AI. (2022). Erişim adresi: <https://root-ai.com/>
- Rovesti, L., Heinzpeter, E. W., Tagliente, F. ve Deseö, K. V. (1988). Compatibility of pesticides with the entomopathogenic nematode *Heterorhabditis bacteriophora* Poinar (Nematoda: Heterorhabditidae). *Nematologica*, 34(4), 462-476. <https://doi.org/10.1163/002825988X00422>
- Ruangurai, P., Ekpanyapong, M., Pruetong, C. ve Watwai, T. (2015). Automated three-wheel rice seeding robot operating in dry paddy fields. *Maejo International Journal of Science and Technology*, 9(3), 403-412. <https://doi.org/10.14456/mijst.2015.31>

- Sammons, P. J., Furukawa, T. ve Bulgin, A. (2005, Aralık). Autonomous pesticide spraying robot for use in a greenhouse. In *Proceedings Australasian Conference on Robotics and Automation* (Vol. 1, No.9). Canberra, Australia, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation.
- Sanchez-Hermosilla, J., Rodriguez, F., Gonzalez, R., Luis, J. ve Berenguel, M. (2010). A mechatronic description of an autonomous mobile robot for agricultural tasks in greenhouses. In *Mobile Robots Navigation*, IntechOpen.
- Sandhi, R. K., Shapiro-Ilan, D., Sharma, A. ve Reddy, G. V. (2020). Efficacy of entomopathogenic nematodes against the sugarbeet wireworm, *Limoniuss californicus* (Mannerheim)(Coleoptera: Elateridae). *Biological Control*, 143, 104190. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104190>
- Schor, N., Bechar, A., Ignat, T., Dombrovsky, A., Elad, Y. ve Berman, S. (2016). Robotic disease detection in greenhouses: Combined detection of powdery mildew and tomato spotted wilt virus. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 1(1), 354-360. <https://doi.org/10.1109/LRA.2016.2518214>
- Schor, N., Berman, S., Dombrovsky, A., Elad, Y., Ignat, T. ve Bechar, A. (2017). Development of a robotic detection system for greenhouse pepper plant diseases. *Precision Agriculture*, 18(3), 394-409. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9503-z>
- Schroer, S., Ziermann, D. ve Ehlers, R. U. (2005). Mode of action of a surfactant–polymer formulation to support performance of the entomopathogenic nematode *Steinernema carpocapsae* for control of diamondback moth larvae (*Plutella xylostella*). *Biocontrol Science and Technology*, 15(6), 601-613. <https://doi.org/10.1080/09583150500088694>
- Shapiro-Ilan, D. I. ve Brown, I. (2013). Earthworms as phoretic hosts for *Steinernema carpocapsae* and *Beauveria bassiana*: implications for enhanced biological control. *Biological Control*, 66, 41-48. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2013.03.005>
- Shapiro-Ilan, D. I., Cottrell, T. E., Mizell-III, R. F. ve Horton, D. L. (2016). Curative control of the peachtree borer using entomopathogenic nematodes. *Journal of Nematology*, 48(3), 170-176. <https://doi.org/10.21307/jofnem-2017-024>
- Shapiro-Ilan, D. I., Han, R. ve Dolinski, C. (2012). Entomopathogenic nematode production and application technology. *Journal of Nematology*, 44, 206-217. https://doi.org/10.1007/978-3-319-18266-7_9
- Shapiro-Ilan, D. I., Hiltpod, I. ve Lewis, E. E. (2018). Ecology of invertebrate pathogens: nematodes. In *Ecology of Invertebrate Disease*, 415-440. <https://doi.org/10.1002/9781119256106.ch11>
- Shapiro-Ilan, D. I., Kaplan, F., Oliveira-Hofman, C., Schliekelman, P., Alborn, H. T., Lewis, E. E. (2019). Conspecific pheromone extracts enhance entomopathogenic infectivity. *Journal of Nematology*, 51, e2019–e2082. <https://doi.org/10.21307/jofnem-2019-082>

- Shapiro-Ilan, D., Arthur, S. P. ve Lacey, L. A. (2017). Microbial control of arthropod pests of orchards in temperate climates. In *Microbial Control of Insect and Mite Pests*, 253-267. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803527-6.00017-2>
- Shapiro-Ilan, D., Arthurs, S. P., Lacey, L. A. (2017). Microbial control of arthropod pests of orchards in temperate climates. *Microbial Control of Insect and Mite Pests*, 253-267. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803527-6.00017-2>
- Shoemaker, C. (1973). Optimization of agricultural pest management II: Formulation of a control model. *Mathematical Biosciences*, 17, 357-365. [https://doi.org/10.1016/0025-5564\(73\)90076-X](https://doi.org/10.1016/0025-5564(73)90076-X)
- Silwal, A., Davidson, J., Karkee, M., Mo, C., Zhang, Q. ve Lewis, K. (2016). Effort towards robotic apple harvesting in Washington State. In *Proceedings of the 2016 American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting, American Society of Agricultural and Biological Engineers*. <https://doi.org/10.13031/aim.20162460869>
- Singh, S., Burks, T. F., Lee, W. S. (2005). Autonomous robotic vehicle development for greenhouse spraying. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 48(6), 2355-2361. <https://doi.org/10.13031/2013.20074>
- Slaughter, D. C., Giles, D. K. ve Downey, D. (2008). Autonomous robotic weed control systems: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61, 63-78. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2007.05.008>
- Søgaard, H. T. ve Lund, I. (2007). Application accuracy of a machine vision-controlled robotic micro-dosing system. *Biosystems Engineering*, 96, 315-322. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.11.009>
- Stone, M. L., Benneweis, R. K. ve Van Bergejik, J. (2008). Evolution of electronics for mobile agricultural equipment. *Transactions of The ASABE*, 51(2), 385-390. <https://doi.org/10.13031/2013.24374>
- Sultan Mahmud, M., Zaman, Q. U., Esau, T. J., Price, G.W. ve Prithiviraj, B. (2019). Development of an artificial cloud lighting condition system using machine vision for strawberry powdery mildew disease detection. *Computers and Electronics in Agriculture*, 158, 219-225. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.02.007>
- Susurluk, I. A. (2008). Potential of the entomopathogenic nematodes *Steinernema feltiae*, *S. weiseri* and *Heterorhabditis bacteriophora* for the biological control of the sugar beet weevil *Bothynoderes punctiventris* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Pest Science*, 81(4), 221-225. <https://doi.org/10.1007/s10340-008-0209-x>
- Susurluk, I. A. ve Ehlers, R. U. (2008a). Sustainable control of black vine weevil larvae, *Otiorhynchus sulcatus* (Coleoptera: Curculionidae) with *Heterorhabditis bacteriophora* in strawberry. *Biocontrol Science and Technology*, 18(6), 635-640. <https://doi.org/10.1080/09583150802090026>

- Susurluk, I. A. ve Ehlers, R. U. (2008b). Field persistence of the entomopathogenic nematode *Heterorhabditis bacteriophora* in different crops. *BioControl*, 53, 627-641. <https://doi.org/10.1007/s10526-007-9104-2>
- Susurluk, A. (2011). Potential of *Steinernema feltiae* (Rhabditida: Steinernematidae) as a biological control agent against the cabbage maggot, *Delia radicum* (Diptera: Anthomyiidae) in oilseed rape. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 35, 413-419. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tbtkagriculture/issue/11590/138163>
- Susurluk, I. A., Kumral, N. A., Bilgili, U. ve Açıkgöz, E. (2011). Control of a new turf pest, *Dorcadion pseudopreissi* (Coleoptera: Cerambycidae), by the entomopathogenic nematode *Heterorhabditis bacteriophora*. *Journal of Pest Science*, 84, 321-326. <https://doi.org/10.1007/s10340-011-0358-1>
- Sweeper. (2022). Erişim adresi: <http://www.sweeper-robot.eu/>
- Testa, G., Reyneri, A. ve Blandino, M. (2016). Maize grain yield enhancement through high plant density cultivation with different inter-row and intra-row spacings. *European Journal of Agronomy*, 72, 28-37. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.09.006>
- Ulu, T. C. (2018). *Heterorhabditis bacteriophora* HBH hibrit ırkının in vitro katı kültürde üretiminin optimizasyonu (Doktora Tezi). Yüksek Öğretim Kurulu Başkanlığı Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No: 528422).
- Ulu, T. C., Sadıç, B. ve Susurluk, I. A. (2016). Effects of different pesticides on virulence and mortality of some entomopathogenic nematodes. *Invertebrate Survival Journal*, 13, 111-115. <https://doi.org/10.25431/1824-307X/isj.v13i1.111-115>
- Umeda, M., Kubota, S. ve Iida, M. (1999). Development of “STORK”, a watermelon-harvesting robot. *Artificial Life and Robotics*, 3, 143-147. <https://doi.org/10.1007/BF02481130>
- Underwood, J.P., Calleija, M., Taylor, Z., Hung, C., Nieto, J., Fitch, R. ve Sukkarieh, S. (2015). Real-time target detection and steerable spray for vegetable crops. In *Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation: Robotics in Agriculture Workshop*, Seattle, WA, USA, ss. 26-30.
- Usery, E. L., Pocknee, S. ve Boydell, B. (1995). Precision farming data management using geographic information systems. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 61(11), 1383-1391.
- Utstumo, T., Urdal, F., Brevik, A., Dørum, J., Netland, J., Overskeid, Ø., Berge, T.W. ve Gravdahl, J. T. (2018). Robotic in-row weed control in vegetables. *Computers and Electronics in Agriculture*, 154, 36-45. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.08.043>

- Vaeljaots, E., Lehiste, H., Kiik, M. ve Leemet, T. (2018). Soil sampling automation case-study using unmanned ground vehicle. *Engineering for Rural Development*, 17, 982-987. <https://doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N503>
- Van Evert, F. K., Van Der Heijden, G. W. A. M., Lotz, L. A. P., Polder, G., Lamaker, A., De Jong, A., ... ve Van Der Zalm, T. (2006). A mobile field robot with vision-based detection of volunteer potato plants in a corn crop. *Weed Technology*, 20(4), 853-861. <https://doi.org/10.1614/WT-05-132.1>
- van Niekerk, S. ve Malan, A. P. (2015). Adjuvants to improve aerial control of the citrus mealybug *Planococcus citri* (Hemiptera: Pseudococcidae) using entomopathogenic nematodes. *Journal of Helminthology*, 89, 189-195. <https://doi.org/10.1017/S0022149X13000771>
- Vemmer, M. ve Patel, A. V. (2013). Review of encapsulation methods suitable for microbial biological control agents. *Biological Control*, 67(3), 380-389. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2013.09.003>
- Vidoni, R., Gallo, R., Ristorto, G., Carabin, G., Mazzetto, F., Scalera, L. ve Gasparetto, A. (2017, Kasım). Byelab: An agricultural mobile robot prototype for proximal sensing and precision farming. In *Proceedings of the ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition* (Vol. 58370), American Society of Mechanical Engineers. <https://doi.org/10.1115/IMECE2017-71216>
- Vinescout. (2022). Erişim adresi: <http://vinescout.eu/web/>
- Vision Robotics. (2022). Erişim adresi: <https://www.visionrobotics.com/vr-grapevine-pruner>
- Vitirover. (2002). Erişim adresi: <https://www.vitirover.fr/en-home>
- Wang, Y., Hu, X., Hou, Z., Ning, J. ve Zhang, Z. (2018). Discrimination of nitrogen fertilizer levels of tea plant (*Camellia sinensis*) based on hyperspectral imaging. *Journal of Science Food and Agriculture*, 98(12), 4659-4664. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8996>
- White, G. F. (1927). A method for obtaining infective nematode larvae from cultures. *Science*, 66(1709), 302-303. <https://doi.org/10.1126/science.66.1709.302.b>
- Willett, D. S., Alborn, H. T., Stelinski, L. L. ve Shapiro-Ilan, D. I. (2018). Risk taking of educated nematodes. *PLoS ONE* 13, e0205804. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205804>
- Wright, D. J., Peters, A., Schroer, S. ve Fife, J. P. (2005). Application technology. *Nematodes as biocontrol agents*, 91-106. <https://doi.org/10.1079/9780851990170.0091>
- Wright, R. J., Witkowski, J. F., Echtenkamp, G. ve Georgis, R. (1993). Efficacy and persistence of *Steinernema carpocapsae* (Rhabditida:Steinemematidae) applied

- through a center-pivot irrigation system against larval com rootworms (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Economic Entomology*, 85(5), 1348-1354. <https://doi.org/10.1093/jee/86.5.1348>
- Wu, S., Kaplan, F., Lewis, E., Alborn, H. T. ve Shapiro-Ilan, D. I. (2018). Infected host macerate enhances entomopathogenic nematode movement towards hosts and infectivity in a soil profile. *Journal of Invertebrate Pathology*, 159, 141-144. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2018.10.007>
- Xiong, Y., Peng, C., Grimstad, L., From, P. J. ve Isler, V. (2019). Development and field evaluation of a strawberry harvesting robot with a cable-driven gripper. *Computers and Electronics in Agriculture*, 157, 392-402. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.01.009>
- Xue, J., ve Su, B. (2017). Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *Journal of sensors*, 1353691. <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>
- Yaguchi, H., Nagahama, K., Hasegawa, T. ve Inaba, M. (2016). Development of an autonomous tomato harvesting robot with rotational plucking gripper. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, ss. 652-657. <https://doi.org/10.1109/IROS.2016.7759122>
- Zahid, A., He, L., Zeng, L., Choi, D., Schupp, J. ve Heinemann, P. (2020). Development of a robotic end effector for apple tree pruning. *Transactions of the ASABE*, 63(4), 847-856. <https://doi.org/10.13031/trans.13729>

EKLER

EK 1 G-kodlar

EK 2 Yazılım

EK 1 G-kodlar

25 ml uygulamaları için 60 atım

%

G01 Z50 F2000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X100 Y0 A0 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X200 Y0 A0 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X300 Y0 A0 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X400 Y0 A0 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X500 Y0 A0 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X600 Y0 A0 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X700 Y0 A0 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X800 Y0 A0 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X900 Y0 A0 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000

G01 X900 Y100 A100 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X800 Y100 A100 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X700 Y100 A100 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X600 Y100 A100 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X500 Y100 A100 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X400 Y100 A100 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X300 Y100 A100 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X200 Y100 A100 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X100 Y100 A100 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X0 Y100 A100 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X0 Y200 A200 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X100 Y200 A200 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000

G01 X200 Y200 A200 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X300 Y200 A200 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X400 Y200 A200 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X500 Y200 A200 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X600 Y200 A200 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X700 Y200 A200 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X800 Y200 A200 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X900 Y200 A200 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X900 Y300 A300 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X800 Y300 A300 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X700 Y300 A300 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F120
G01 Z50 F2000
G01 X600 Y300 A300 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000

G01 X500 Y300 A300 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X400 Y300 A300 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X300 Y300 A300 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X200 Y300 A300 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X100 Y300 A300 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X0 Y300 A300 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X0 Y400 A400 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X100 Y400 A400 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X200 Y400 A400 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X300 Y400 A400 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X400 Y400 A400 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X500 Y400 A400 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000

G01 X600 Y400 A400 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X700 Y400 A400 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X800 Y400 A400 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X900 Y400 A400 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X900 Y500 A500 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X800 Y500 A500 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X700 Y500 A500 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X600 Y500 A500 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X500 Y500 A500 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X400 Y500 A500 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X300 Y500 A500 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X200 Y500 A500 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000

G01 X100 Y500 A500 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
G01 X0 Y500 A500 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F150
G01 Z50 F2000
%

50 ml uygulamaları için 30 atım

%

G01 Z50 F2000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F70
G01 Z50 F2000
G01 X100 Y0 A0 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F70
G01 Z50 F2000
G01 X200 Y0 A0 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F70
G01 Z50 F2000
G01 X300 Y0 A0 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F70
G01 Z50 F2000
G01 X400 Y0 A0 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F70
G01 Z50 F2000
G01 X500 Y0 A0 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F70
G01 Z50 F2000
G01 X600 Y0 A0 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F70
G01 Z50 F2000
G01 X700 Y0 A0 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F70
G01 Z50 F2000

G01 X800 Y0 A0 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F70
G01 Z50 F2000
G01 X900 Y0 A0 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F70
G01 Z50 F2000
G01 X900 Y100 A100 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F70
G01 Z50 F2000
G01 X800 Y100 A100 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F70
G01 Z50 F2000
G01 X700 Y100 A100 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F70
G01 Z50 F2000
G01 X600 Y100 A100 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F70
G01 Z50 F2000
G01 X500 Y100 A100 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F70
G01 Z50 F2000
G01 X400 Y100 A100 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F70
G01 Z50 F2000
G01 X300 Y100 A100 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F70
G01 Z50 F2000
G01 X200 Y100 A100 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F70
G01 Z50 F2000
G01 X100 Y100 A100 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F70
G01 Z50 F2000
G01 X0 Y100 A100 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F70
G01 Z50 F2000

G01 X0 Y200 A200 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F70
G01 Z50 F2000
G01 X100 Y200 A200 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F70
G01 Z50 F2000
G01 X200 Y200 A200 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F70
G01 Z50 F2000
G01 X300 Y200 A200 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F70
G01 Z50 F2000
G01 X400 Y200 A200 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F70
G01 Z50 F2000
G01 X500 Y200 A200 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F70
G01 Z50 F2000
G01 X600 Y200 A200 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F120
G01 Z50 F2000
G01 X700 Y200 A200 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F70
G01 Z50 F2000
G01 X800 Y200 A200 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F70
G01 Z50 F2000
G01 X900 Y200 A200 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F120
G01 Z50 F2000
G01 X900 Y300 A300 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F70
G01 Z50 F2000
G01 X800 Y300 A300 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F120
G01 Z50 F2000

G01 X700 Y300 A300 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F70
G01 Z50 F2000
%

100 ml uygulamaları için 15 atım

%

G01 Z50 F2000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F40
G01 Z50 F2000
G01 X100 Y0 A0 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F40
G01 Z50 F2000
G01 X200 Y0 A0 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F40
G01 Z50 F2000
G01 X300 Y0 A0 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F40
G01 Z50 F2000
G01 X400 Y0 A0 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F40
G01 Z50 F2000
G01 X500 Y0 A0 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F40
G01 Z50 F2000
G01 X600 Y0 A0 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F40
G01 Z50 F2000
G01 X700 Y0 A0 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F40
G01 Z50 F2000
G01 X800 Y0 A0 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F40
G01 Z50 F2000

G01 X900 Y0 A0 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F40
G01 Z50 F2000
G01 X900 Y100 A100 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F40
G01 Z50 F2000
G01 X800 Y100 A100 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F40
G01 Z50 F2000
G01 X700 Y100 A100 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F40
G01 Z50 F2000
G01 X600 Y100 A100 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F40
G01 Z50 F2000
G01 X500 Y100 A100 F3000
G01 Z10 F3000
G01 Z0 F40
G01 Z50 F2000
%

5 ml uygulamaları için 60 atım

%

G01 Z10 F2000
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X100 Y0 A0 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X200 Y0 A0 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X300 Y0 A0 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000

G01 X400 Y0 A0 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X500 Y0 A0 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X600 Y0 A0 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X700 Y0 A0 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X800 Y0 A0 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X900 Y0 A0 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X900 Y100 A100 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X800 Y100 A100 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X700 Y100 A100 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X600 Y100 A100 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X500 Y100 A100 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X400 Y100 A100 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000

G01 X300 Y100 A100 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X200 Y100 A100 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X100 Y100 A100 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X0 Y100 A100 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X0 Y200 A200 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X100 Y200 A200 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X200 Y200 A200 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X300 Y200 A200 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X400 Y200 A200 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X500 Y200 A200 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X600 Y200 A200 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X700 Y200 A200 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000

G01 X800 Y200 A200 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X900 Y200 A200 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X900 Y300 A300 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X800 Y300 A300 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X700 Y300 A300 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X600 Y300 A300 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X500 Y300 A300 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X400 Y300 A300 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X300 Y300 A300 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X200 Y300 A300 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X100 Y300 A300 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X0 Y300 A300 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000

G01 X0 Y400 A400 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X100 Y400 A400 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X200 Y400 A400 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X300 Y400 A400 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X400 Y400 A400 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X500 Y400 A400 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X600 Y400 A400 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X700 Y400 A400 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X800 Y400 A400 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X900 Y400 A400 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X900 Y500 A500 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X800 Y500 A500 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000

G01 X700 Y500 A500 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X600 Y500 A500 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X500 Y500 A500 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X400 Y500 A500 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X300 Y500 A500 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X200 Y500 A500 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X100 Y500 A500 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
G01 X0 Y500 A500 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F60
G01 Z10 F2000
%

15 ml uygulamaları için 60 atım

%

G01 Z10 F2000
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X100 Y0 A0 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X200 Y0 A0 F3500

G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X300 Y0 A0 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X400 Y0 A0 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X500 Y0 A0 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X600 Y0 A0 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X700 Y0 A0 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X800 Y0 A0 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X900 Y0 A0 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X900 Y100 A100 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X800 Y100 A100 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X700 Y100 A100 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X600 Y100 A100 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X500 Y100 A100 F3500

G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X400 Y100 A100 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X300 Y100 A100 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X200 Y100 A100 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X100 Y100 A100 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X0 Y100 A100 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X0 Y200 A200 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X100 Y200 A200 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X200 Y200 A200 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X300 Y200 A200 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X400 Y200 A200 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X500 Y200 A200 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X600 Y200 A200 F3500

G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X700 Y200 A200 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X800 Y200 A200 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X900 Y200 A200 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X900 Y300 A300 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X800 Y300 A300 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X700 Y300 A300 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X600 Y300 A300 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X500 Y300 A300 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X400 Y300 A300 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X300 Y300 A300 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X200 Y300 A300 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X100 Y300 A300 F3500

G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X0 Y300 A300 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X0 Y400 A400 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X100 Y400 A400 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X200 Y400 A400 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X300 Y400 A400 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X400 Y400 A400 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X500 Y400 A400 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X600 Y400 A400 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X700 Y400 A400 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X800 Y400 A400 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X900 Y400 A400 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X900 Y500 A500 F3500

G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X800 Y500 A500 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X700 Y500 A500 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X600 Y500 A500 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X500 Y500 A500 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X400 Y500 A500 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X300 Y500 A500 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X200 Y500 A500 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X100 Y500 A500 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
G01 X0 Y500 A500 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F25
G01 Z10 F2000
%

45 ml uygulamaları için 60 atım

%

G01 Z10 F2000
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8

G01 Z10 F2000
G01 X100 Y0 A0 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X200 Y0 A0 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X300 Y0 A0 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X400 Y0 A0 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X500 Y0 A0 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X600 Y0 A0 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X700 Y0 A0 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X800 Y0 A0 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X900 Y0 A0 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X900 Y100 A100 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X800 Y100 A100 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X700 Y100 A100 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8

G01 Z10 F2000
G01 X600 Y100 A100 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X500 Y100 A100 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X400 Y100 A100 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X300 Y100 A100 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X200 Y100 A100 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X100 Y100 A100 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X0 Y100 A100 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X0 Y200 A200 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X100 Y200 A200 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X200 Y200 A200 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X300 Y200 A200 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X400 Y200 A200 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8

G01 Z10 F2000
G01 X500 Y200 A200 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X600 Y200 A200 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X700 Y200 A200 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X800 Y200 A200 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X900 Y200 A200 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X900 Y300 A300 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X800 Y300 A300 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X700 Y300 A300 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X600 Y300 A300 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X500 Y300 A300 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X400 Y300 A300 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X300 Y300 A300 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8

G01 Z10 F2000
G01 X200 Y300 A300 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X100 Y300 A300 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X0 Y300 A300 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X0 Y400 A400 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X100 Y400 A400 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X200 Y400 A400 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X300 Y400 A400 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X400 Y400 A400 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X500 Y400 A400 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X600 Y400 A400 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X700 Y400 A400 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X800 Y400 A400 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8

G01 Z10 F2000
G01 X900 Y400 A400 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X900 Y500 A500 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X800 Y500 A500 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X700 Y500 A500 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X600 Y500 A500 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X500 Y500 A500 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X400 Y500 A500 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X300 Y500 A500 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X200 Y500 A500 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X100 Y500 A500 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
G01 X0 Y500 A500 F3500
G01 Z1 F3500
G01 Z0 F8
G01 Z10 F2000
%

EK 2 Yazılım

```
int limitPin = 5;
int pompaPin = A1;
int resetPin = 7;
unsigned long limitSayici = 0;
int limitDurum = 0;
int sonlimitDurum = 0;
int resetDurum = 0;
int bayrak = 0;
word bitkiSure0 = 200;
word bitkiSure1 = 2000;
word bitkiSure2 = 3000;
word bitkiSure3 = 2000;
word bitkiSure4 = 2000;
word bitkiSure5 = 2678;
word bitkiSure6 = 5692;

void setup() {
  pinMode(limitPin, INPUT);
  pinMode(resetPin, INPUT);
  pinMode(pompaPin, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  limitDurum = digitalRead(limitPin);
  resetDurum = digitalRead(resetPin);
  digitalWrite(pompaPin, HIGH);

  if (resetDurum == HIGH) {
    limitSayici = 0;
    delay(50);
  }
  if (limitDurum != sonlimitDurum) {
    bayrak = 0;
    delay(50);
    if (limitDurum == HIGH) {
      limitSayici++;
      Serial.print("Sayici=");
      Serial.println(limitSayici);
    }
  }
  sonlimitDurum = limitDurum;
  if (limitSayici == 1 && limitDurum == HIGH ) {
    if ( bayrak == 0 ) {
```

```

    bayrak = 1;
    digitalWrite(pompaPin, LOW);
    limitSayici++;
    Serial.print(" Sure = ");
    Serial.println(bitkiSure1);
    Serial.print(" Bitki No = ");
    Serial.println((limitSayici + 1) / 2 );
    delay(bitkiSure1);
    digitalWrite(pompaPin, HIGH);
}
}

if (limitSayici >= 3 && limitSayici <= 7 && limitDurum == HIGH ) {
    if ( bayrak == 0 ) {
        bayrak = 1;
        digitalWrite(pompaPin, LOW);
        limitSayici++;
        Serial.print(" Sure = ");
        Serial.println(bitkiSure0);
        Serial.print(" Bitki No = ");
        Serial.println((limitSayici + 1) / 2 );
        delay(bitkiSure2);
        digitalWrite(pompaPin, HIGH);
    }
}

if (limitSayici == 9 && limitDurum == HIGH ) {
    if ( bayrak == 0 ) {
        bayrak = 1;
        digitalWrite(pompaPin, LOW);
        limitSayici++;
        Serial.print(" Sure = ");
        Serial.println(bitkiSure5);
        Serial.print(" Bitki No = ");
        Serial.println((limitSayici + 1) / 2 );
        delay(bitkiSure2);
        digitalWrite(pompaPin, HIGH);
    }
}

if (limitSayici >= 11 && limitSayici <= 499 && limitDurum == HIGH ) {
    if ( bayrak == 0 ) {
        bayrak = 1;
        digitalWrite(pompaPin, LOW);
        limitSayici++;
        Serial.print(" Sure = ");
        Serial.println(bitkiSure0);
        Serial.print(" Bitki No = ");

```

```
Serial.println((limitSayici + 1) / 2 );  
delay(bitkiSure0);  
digitalWrite(pompaPin, HIGH);  
}  
}  
}
```

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hilal ERDOĞAN
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa 24/11/1987
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Bursa Atatürk Anadolu Lisesi
Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Bursa Uludağ Üniversitesi

İletişim (e-posta) : hilalerdogan@uludag.edu.tr

Yayınları

Erdoğan, H., Ünal, H. ve Lewis, E. E. (2021). Entomopathogenic nematode dispensing robot: NEMABOT. *Expert Systems with Applications*, 172, 114661. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114661>

Erdogan, H., Cruzado-Gutierrez, K., Stevens, G., Shapiro-Ilan, D., Kaplan, F., Alborn, H. ve Lewis, E. (2021). Nematodes Follow a Leader. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 786. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.740351>

Erdogan, H., Stevens, G., Stevens, A., Shapiro-Ilan, D., Kaplan, F., Alborn, H. ve Lewis, E. (2021). Infected host responses across entomopathogenic nematode phylogeny. *Journal of Nematology*, 53. <https://doi.org/10.21307/jofnem-2021-105>

Alibas, I., Yilmaz, A., Asik, B. B. ve **Erdoğan, H.** (2021). Influence of drying methods on the nutrients, protein content and vitamin profile of basil leaves. *Journal of Food Composition and Analysis*, 96, 103758. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103758>

Kaplan, F., Perret-Gentil, A., Giurintano, J., Stevens, G., **Erdogan, H.**, Schiller, K. C., ... ve Shapiro-Ilan, D. (2020). Conspecific and heterospecific pheromones stimulate dispersal of entomopathogenic nematodes during quiescence. *Scientific reports*, 10(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62817-y>

Erdoğan, H., Ulu, T. C. ve Kuşçu, H. (2020). The Effect of Different Dripper Properties on Entomopathogenic Nematode Application in Drip Irrigation. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(1), 230-236. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.533723>

Unal, H., Arslan, S. ve **Erdogan, H.** (2017). Effect of altitude and vacuum pressure on flow rate of vacuum pumps on milking machines driven by gasoline engine and a generator. *Agronomy Research*, 15(2), 602-614.

Erdoğan, H. ve Işık, E. (2017). The effect of batch drying at different temperatures on seed germination, physical, and seedling properties of paddy (*Oryza sativa* L.). *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 31(1), 137-142.

Ünal, H., **Erdoğan, H.**, Gürcan, S., Satioğlu, S. ve Özgür, F. (2017). Sıvı gübre dağıtma makinasının farklı çalışma hızlarındaki işletme özelliklerinin belirlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 31(1), 49-60.

Alibaş, İ., **Erdoğan, H.**, Yılmaz, A., & Alibaş, K. (2016). Biogas Potential in Görükle Campus of Uludağ University. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 10(29), 79-88.

Unal, H. ve **Erdogan, H.** (2016). Determination of the physical properties of different types of milk claws and air leaks in the claw according to rotameter-milk bucket methods. *Agronomy Research*, 14(2), 590-603.