

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yücel AVŞAR

**MEYVE AĞAÇLARINA DEĞİŞKEN ORANLI İLAÇ
UYGULAMA SİSTEMİ PROTOTİP İMALATI**

**TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ
MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

ADANA-2022

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEYVE AĞAÇLARINA DEĞİŞKEN ORANLI İLAÇ UYGULAMA
SİSTEMİ PROTOTİP İMALATI

Yücel AVŞAR

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Ali BAYAT
Yıl: 2022, Sayfa: 103
Jüri : Prof. Dr. Ali BAYAT
: Prof. Dr. Emin GÜZEL
: Doç. Dr. Ali BOLAT

Bahçe pülverizatörleri ile meyve ağaçlarına ilaç uygulamada, ağaçlar arasındaki boşluk ve taç hacmi dikkate alınmadan kesiksiz ilaçlama yapılmasından dolayı, aşırı miktarda su ve kimyasal ilaç kullanılmaktadır. Bu yaklaşım gereksiz ilaç kullanımına neden olarak ilaçlama maliyeti, insan ve çevre sağlığı gibi konuları olumsuz etkilemektedir. Bilindiği üzere, her ağacın geometrik ölçüleri ve taç yapıları (taç şekli, yaprak yoğunluğu vb) birbirinden farklıdır ve dolayısıyla başarılı bir ilaçlama için, tarımsal ilacın her ağaca farklı miktarda uygulanması gerekebilir. Bu çalışmada, değişken oranlı ilaç uygulamaları için standart bir bahçe pülverizatörü püskürtme ünitesi üzerine eklenen ultrasonik sensörler sayesinde ağaç tacı hacmi gerçek zamanlı olarak hesaplanmış ve aynı anda Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) ile işletilen hidrolik memelerle taç hacmiyle orantılı ilaç uygulamaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar kesiksiz ilaçlama ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma parametreleri olarak, ağaç tacı üzerinde seçili bölgelerdeki birikim ve kaplama değeri ve oluşan ilaç kayıpları saptanmıştır. Elde edilen sonuçlar, sadece ağaç taç geometrisi dikkate alınarak uygulanan ilaç miktarı açısından değerlendirildiğinde, değişken oranlı püskürtme yapan prototip sistem, kesiksiz püskürtme yapan geleneksel sisteme göre %48,69 ilaç tasarrufu ve %88,67 oranında ilaç kayıplarında azalma sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Bahçe Pülverizatörü, Değişken Oranlı İlaçlama, Ultrasonik Sensör, Darbe Genişlik Modülasyonu

ABSTRACT

MSc THESIS

PROTOTYPE MANUFACTURING OF A VARIABLE RATE SPRAYING SYSTEM FOR FRUIT TREES

Yücel AVŞAR

**ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF AGRICULTURAL MACHINERY AND
TECHNOLOGIES ENGINEERING**

Supervisor : Prof. Dr. Ali BAYAT
Year: 2022, Pages: 103
Jury : Prof. Dr. Ali BAYAT
: Prof. Dr. Emin GÜZEL
: Assoc Prof. Dr. Ali BOLAT

Because of the continuous spraying without regard to the trees' row space and canopy volume, excessive amounts of water and chemical pesticides are used when applying pesticides to fruit trees with conventional orchard sprayers. This approach causes unnecessary pesticide use, negatively affecting issues such as spraying costs and human and environmental health. As it is known, each tree's geometric dimensions and canopy structures (canopy shape, leaf density, etc.) are different from each other, and therefore, it may be necessary to apply different amounts of pesticides to each tree for successful spraying. In this study, the canopy volume was calculated in real time by means of ultrasonic sensors attached to the spray unit of a standard orchard sprayer for variable rate pesticide applications, and simultaneously, pesticide applications were made proportional to the canopy volume with hydraulic nozzles operated with Pulse Width Modulation (PWM). The obtained results were compared with continuous spraying. Spray deposits, coverage values, and off-target losses in selected regions of the tree canopy were determined as comparison parameters. When the obtained results were evaluated in terms of the amount of pesticide applied by considering only the tree canopy geometry, the prototype system with variable rate spraying provided a 48,69% savings in application volume and an 88,67% reduction in off-target losses compared to the conventional system with constant rate spraying.

Keywords: Orchard Sprayer, Variable Rate Spraying, Ultrasonic Sensor, PWM

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Bitki koruma ilaçları, tarımsal üretimden elde edilen ürünün kalitesi ve miktarında büyük etkisi olan, tarımsal üretimin en önemli girdilerinden birisidir. Ayrıca günümüzde tarımsal ilaç fiyatlarının her geçen gün yükselmesiyle beraber ilaç girdisinin önemi daha da ön plana çıkmaktadır.

Sahip olduğumuz tarım alanları gün geçtikçe azalmasına rağmen, kullanılan tarımsal ilaç miktarı maalesef artmaktadır ve bu da hem üretim maliyetlerini arttırmakta hem de insan ve çevre sağlığı açısından ciddi riskler oluşturmaktadır. Artan dünya nüfusu ile birlikte oluşan gıda talebini karşılayabilen, insan ve çevre sağlığına olan negatif etkileri azaltılmış, sürdürülebilir bir tarımsal üretim için, sahip olduğumuz tarımsal üretim alanlarının ve çevrenin korunması, üretim maliyetlerinin azaltılması, sahip olduğumuz kaynakların ekonomik kullanımı gibi konular günümüzde sıkça tartışılmakta ve bu konuların önemi vurgulanmaktadır. Bundan dolayı, bu çalışmada, değişken oranlı ilaçlama yaparak tarımsal ilaç kullanımında tasarruf sağlayabilecek bir bahçe pülverizatörü püskürtme ünitesi prototipi tasarlanmıştır.

Bahçelerde meyve ağaçlarına uygulanan tarımsal ilaçlama işlemlerinde kullanılan bahçe pülverizatörleri işlem boyunca kesiksiz olarak çalıştırılması nedeniyle ilaç, sadece hedef ağaçlara değil, aynı zamanda ağaçlar arası boşluklara da püskürtülmektedir. Bundan dolayı hem ilaç sarfiyatı artmakta hem de ilaç sürüklenmesi sebebiyle ilaçlamanın kalitesini ve çevre sağlığı olumsuz etkilenmektedir. Kaldı ki sürekli ağaç başına veya birim alan başına aynı oranda uygulama hacmi ile çalışan bu pülverizatörler her bitkiye eş debi ile püskürtme yapmakta ve bundan dolayı bitkilere gereğinden fazla yada az ilacın uygulanmasına sebebiyet vermektedir. Bu sorunlara çözüm oluşturabilmek amacıyla yapılan bu çalışmada, standart bir bahçe pülverizatörü püskürtme sistemine ultrasonik ve kızılötesi sensörler eklenerek hem ağacın varlık-yokluk durumu tespit edilerek sadece ağacın var olduğu durumlarda ilaçlama yapılarak

gereksiz ilaç kullanımının önüne geçilmeye çalışılmış hem de ultrasonik sensörlerle üç ayrı noktadan (taç alt, orta ve üst bölgede) alınan bitki taç çapı ölçülerine göre ağaç taç hacmi tahminini C# programlama dili ile yazılmış olan yazılım karar desteği sayesinde seçilen bölgelerdeki taç hacmi ile orantılı ilaç uygulaması (uygulama hacmi) yapılmıştır. Değişken oranlı ilaç uygulamada kullanılan püskürtme memeleri PWM ile farklı nabız oranlarında (%40- %70) işletilebilmektedir.

Prototip püskürtme sisteminin imalat ve montaj işlemleri Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Atölyesinde yapılmış ve aynı bölümün püskürtme laboratuvarında testler Ligustrum cinsi bitki üzerinde yapılmıştır. Püskürtme sıvısı olarak gerçek ilaç yerine içerisinde Brilant Sulfoflavin (BSF) bulunan bir iz maddesi kullanılmıştır

Örnek bitki materyali üzerinde taç geometrisine göre seçilen bölgelerdeki yapraklar üzerine suya duyarlı kartlar (WSP) ve filtre kağıtlar yerleştirilerek yöntemlerden elde edilen kaplama oranı ve birikim miktarı tespit edilmiştir. Ayrıca bitki materyali üzerine ulaşmayan ya da doğrudan yere ulaşan ilaç birikim miktarını ölçebilmek için de bitki materyalinin arasındaki boşluk alana sıra üzeri boyunca ve bitki tacının arka bölgesine eşit aralıklarda filtre kağıtları yerleştirilmiş ve kağıtlar püskürtme testleri sonrasında toplanıp üzerlerindeki birikim miktarı spektrofotometre cihazı ile ölçülmüştür. Püskürtme testlerinden sonra toplanan suya duyarlı kağıtlar ise tamamen kuruduktan sonra tarayıcı ile taranarak görüntüler bilgisayara aktarılıp. ImageJ görüntü işleme programı ile işlenmiş ve bu şekilde her kâğıdın ilaç kaplama oranı ve damla yoğunluğu ayrı ayrı tespit edilip not edilmiştir.

Prototip püskürtme sistemi, değişken oranlı sistem aktif ve pasif (geleneksel ilaçlama yöntemi) olmak üzere iki ayrı modda test edilmiştir. Püskürtme testleri sonucunda elde edilen veriler SPSS 26 istatistik yazılımı ile analiz edilmiştir. Yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre, ilaç kaplama oranları ve ilaç birikim miktarlarının her bir bölgede yöntemlere göre farklılığı

değerlendirildiğinde, ağaç tacının üst ve orta bölgesinde geleneksel yöntemle elde edilen kaplama oranı ve birikim miktarı daha yüksek elde edilmiştir. Havada asılı kalan ilaç miktarının her bir bölgede yöntemlere göre farklılığı değerlendirildiğinde; alt bölgede yöntemlere göre geriye sürüklenmesi farklılaşmıştır. Alt bölgede geleneksel yöntemle elde edilen havada asılı kalan ilaç miktarı daha yüksek elde edilmiştir. Doğrudan yere ulaşan ilaç miktarının her bir bölgede yöntemlere göre farklılığı değerlendirildiğinde; G1, G3 ve G4 örnekleme noktalarında yöntemlere göre yerdeki birikim miktarı farklılaşmıştır. G1, G3 ve G4 noktalarında geleneksel yöntemle elde edilen doğrudan yere ulaşan ilaç miktarı daha yüksek elde edilmiştir.

Prototip sistemin değişken oranlı ve kesiksiz ilaç uygulama ile işletilmesi, sadece ağaç taç geometrisi dikkate alınarak uygulanan ilaç miktarı açısından değerlendirildiğinde ise, değişken oranlı ilaç uygulayan prototip sistem kesiksiz ilaç uygulayan geleneksel sisteme göre %48,69 ilaç tasarrufu ve %88,67 oranında ilaç kayıplarında azalma sağlamıştır.



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konumu belirleyen, geliştirilmesinde ve gerçekleşmesinde büyük emeği olan ve tecrübeleriyle bana her zaman destek veren çok değerli Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Ali BAYAT'a çok teşekkür ederim. Çalışmamın gerçekleşmesinde desteklerini esirgemeyen Çukurova Üniversitesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü'ne, tüm akademik ve idari personeline, tez çalışmam boyunca pülverizatörün elektronik ekipmanlarının seçilmesi, işletilmesi ve görüntü işleme konularında bana bilgi ve destek veren Sayın Hocam Doç. Dr. Barış ÖZLÜOYMAK'a çok teşekkür ederim.

Çalışmamın test aşamalarında laboratuvarlarından faydalandığım ve şu an personeli olduğum Düzce Üniversitesine teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmamın yazılım kısmında, zaman ayırıp yardım eden, çalışmamda büyük emeği olan değerli abim Salih ALTUNTAŞ'a ve seminerimden tezimin tamamlanmasına kadar olan bütün süreçte her zaman yanımda olan, akademik kariyerimde her zaman tecrübelerinden faydalandığım canım ablam Tuğçe Sena ALTUNTAŞ'a minnetlerimi sunarım.

Hayatımın her anında yanımda olan, beni büyütüp bugünlere getiren anneme, babama ve tüm aileme şükranlarımı sunarım.

Doğduğum günden bugüne kadar maddi manevi her konuda yanımda olan, beni yönlendiren ve bugüne gelmemde büyük emeği olan canım halam Aynur AVŞAR'a çok teşekkür ederim.

Yazılım sisteminin oluşturulması aşamasında büyük emekler veren ve diğer konulardaki yaşadığımız problemlere de çözüm arayarak, benimle beraber geç saatlere kadar çalışan değerli arkadaşım Ahmet Kaan ÇİĞ'ya çok teşekkür ederim.

Denemeler sonucunda elde edilen verilerin istatistiksel analizinin gerçekleşmesinde büyük emeği olan Öğr. Gör. Dr. Ferhat ÜNAL'a çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ	XII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XIV
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XVIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel.....	1
1.2. Değişken Oranlı İlaç Uygulama.....	3
1.2.1. Algılama Sistemi.....	6
1.2.2. Akış Kontrol Sistemi	23
1.3. Araştırmanın Amacı ve Önemi	26
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	29
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	37
3.1. Materyal	37
3.1.1. Denemede Kullanılan Bitkisel Materyal.....	37
3.1.2. Prototip Püskürtme Sistemi	37
3.1.2.1. Elektronik Kontrol Sistemi.....	40
3.1.2.1.(1). Ultrasonik Sensör.....	41
3.1.2.1.(2). Kızılötesi Sensör	42
3.1.2.1.(3). Bilgisayar	43
3.1.2.1.(4). Arduino Geliştirme Kartı	44
3.1.2.1.(5). IRF520 MOSFET Sürücü Modülü.....	46
3.1.2.1.(6). Adaptör	47
3.1.2.2. Püskürtme Sistemi	48

3.1.2.3. Raylı Sistem	52
3.1.2.4. Yazılım programı ve algoritma	53
3.1.4. Analizde Kullanılan Cihazlar.....	58
3.2. Yöntem.....	59
3.2.1. Deneme Düzeni.....	59
3.2.2. Ağaç Taç Hacmi Hesabı	62
3.2.3. Hacme Göre Püskürtülecek İlaç Miktarı ve Görev Çevrimi Hesabı..	65
3.2.4. İlaç Kaplama Oranı (%) ve Damla Yoğunluğunun (adet/cm ²) Belirlenmesi	68
3.2.5. İlaç Kayıplarının Belirlenmesi.....	70
3.2.6. Uygulama Hacmi Tasarrufunun Belirlenmesi	75
3.2.7. İstatistiksel Analizler	75
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	77
4.1. Tasarlanan Püskürtme Sisteminin Performans Değerleri	77
4.2. Geleneksel (Kesiksiz) ve Değişken Oranlı Uygulamalarda Hedef Yüzeylerde Sağlanan İlaç Birikim Miktarları (BSF miktarı) ve Kaplama Oranlarının Belirlenmesi.....	78
4.3. Geleneksel ve Değişken Oranlı Uygulama Yöntemleri ile Hedef Yüzeylerde Sağlanan Damla Yoğunluklarının (adet/cm ²) Karşılaştırılması.....	82
4.4. Geleneksel ve Değişken Oranlı Uygulamalarda Meydana Gelen İlaç Kayıplarının Karşılaştırılması.....	83
4.4.1. Havada Asılı Kalan İlaç Miktarları (Exodrift).....	83
4.4.2. Doğrudan Yere Ulaşan İlaç Miktarı (Endodrift).....	85
4.5. Değişken Oranlı Uygulama ile Sağlanan Püskürtme Hacmi Tasarrufunun Değerlendirilmesi	88
4.6. Geleneksel ve Değişken Oranlı Uygulamalarda İlaç Kayıp Oranlarının Karşılaştırılması	90

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	93
KAYNAKLAR.....	95
ÖZGEÇMİŞ.....	103





ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1. Tarımsal ilaçlama alanında kullanılan sensörlerin birbirine karşı avantaj ve dezavantajları (Zhang ve Ark., 2018)	7
Çizelge 3.1. Prototip püskürtme sisteminde kullanılan ultrasonik sensörün teknik özellikleri	41
Çizelge 3.2. Prototip püskürtme sisteminde kullanılan kızılötesi sensörün teknik özellikleri	42
Çizelge 3.3. Bilgisayarın teknik özellikleri.....	43
Çizelge 3.4. Arduino Mega'nın teknik özellikleri	45
Çizelge 3.5. Arduino Uno'nun teknik özellikleri.....	46
Çizelge 3.6. Sürücü modülünün teknik özellikleri.....	47
Çizelge 3.7. Adaptörün teknik özellikleri	48
Çizelge 3.8. Genel maksat solenoid valfin teknik özellikleri.....	49
Çizelge 3.9. Hava Kompresörünün teknik özellikleri.....	51
Çizelge 3.10. Görev çevrim oranlarına göre memelerden püsküren sıvı miktarları.....	67
Çizelge 3.11. Spektrofluorofotometre cihazı ile okunan standart çözeltilerin okuma değerleri	72
Çizelge 4.1. Yöntemler ile elde edilen taç çapı ve toplam taç hacmi değerleri	77
Çizelge 4.2. Geleneksel ve Değişken Oranlı Uygulamada Bitki Üzerinde Seçilen Bölgelere Göre Sağlanan Ortalama Kaplama Oranları ve İstatistiksel Analizleri	79
Çizelge 4.3. Elde edilen ortalama birikim miktarları verilerinin istatistiksel sonuçları.....	80

Çizelge 4.4. Elde edilen damla yoğunluğu verilerinin istatistiksel analiz sonuçları.....	82
Çizelge 4.5. Elde edilen havada asılı kalan ilaç miktarları verilerinin istatistiksel analiz sonuçları	84
Çizelge 4.6. Doğrudan yere ulaşan ilaç miktarları verilerinin istatistiksel analiz sonuçları	85
Çizelge 4.7. Geleneksel ve Değişken Oranlı Püskürtme Testlerinde Doğrudan Yere Ulaşan Ortalama İlaç Miktarları ve Oransal Farkları.....	87
Çizelge 4.8. Değişken Oranlı İlaçlama Yönteminde Püskürtülen Sıvı Miktarı Ölçüm Sonuçları	89
Çizelge 4.9. Geleneksel İlaçlama Yönteminde Püskürtülen Sıvı Miktarı Ölçüm Sonuçları	89
Çizelge 4.10. Geleneksel ve Değişken Oranlı Püskürtme Yöntemlerinin Kullandıkları İlaç Miktarları ve Oransal Farkları	90
Çizelge 4.11. Geleneksel ve Değişken Oranlı Uygulamalardaki İlaç Kayıpları ve Oransal Farkları	91

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1.	Kimyasal uygulama teknolojisinin son yüz yıldaki değişimi	2
Şekil 1.2.	Drone tarafından haritalanan tarlaya değişken oranlı ilaçlama uygulaması	4
Şekil 1.3.	Meyve ağaçlarına uygulanan geleneksel ve değişken oranlı püskürtme yöntemlerinin ilaç tüketiminin karşılaştırılması	5
Şekil 1.4.	Kızılötesi sensörün algılama prensibi	10
Şekil 1.5.	Bir kızılötesi mesafe sensörünün yaydığını kızılötesi ışığın yansıma açısına bağlı olarak değişen çalışma prensibi ve mesafeye göre değişen çıkış voltajı grafiği	11
Şekil 1.6.	Kızılötesi sensörler ile tespit edilen hedef bitki materyalinin şekilsel özelliklerine göre püskürtme yapabilen bir değişken oranlı püskürtme sistemi	11
Şekil 1.7.	Ultrasonik sensörün çalışma prensibi ve ultrasonik sensörün yaymış olduğu ultrasonik ses dalgasının zaman içinde etmiş olduğu hareketin grafiği	12
Şekil 1.8.	Ultrasonik sensörden yayılan ultrasonik ses dalgalarının bitkinin vejetatif aksamından yansıması.....	13
Şekil 1.9.	Ultrasonik sensörler ile tespit edilen hedef bitki materyalinin taç hacmine göre değişken oranlı püskürtme yapabilen bir bahçe pülverizatörü	13
Şekil 1.10.	Ultrasonik sensörlerden hedef bitki materyaline olan uzaklığın belirlenmesi ve dikdörtgen prizma yaklaşımıyla taç hacmi hesabı	14
Şekil 1.11.	Ultrasonik sensörden alınan değişken çıkış voltajının akış miktarına çevrilmesi işlemlerinin akış diyagramı (Gil ve Ark., 2013).....	15

Şekil 1.12. Ultrasonik sensör temelli değişken oranlı bir püskürtme ünitesi elektronik sisteminin tamamının işletildiği akış diyagramı.....	16
Şekil 1.13. Ultrasonik sensör temelli değişken oranlı bir püskürtme ünitesinin algoritmasında kullanılan matematiksel eşitlikler	16
Şekil 1.14. Örnek bir LIDAR sensörün hedef bitki materyali üzerindeki ölçüm şekli ve 270° çalışma açısına sahip olan bir LIDAR sensörün ölçüm alanı	17
Şekil 1.15. LIDAR sensörün hedef bitki materyali üzerindeki yaptığı ölçümler ile elde edilen ham koordinatsal veriler	18
Şekil 1.16. LIDAR sensör temelli değişken oranlı bir püskürtme ünitesi	18
Şekil 1.17. LIDAR sensör temelli değişken oranlı bir püskürtme ünitesinin işletildiği algoritmanın akış diyagramı	19
Şekil 1.18. LIDAR sensör temelli değişken oranlı bir püskürtme ünitesinin algoritmasında kullanılan matematiksel eşitlikler	20
Şekil 1.19. (a) Yabancı otlarla mücadele etmek için tasarlanan kamera entegreli (sarı daire ile belirtilmiş alan) bir değişken oranlı püskürtme sistemi, (b) püskürtme sisteminin görüntüleme arayüzü	20
Şekil 1.20. Bilgisayarlı görme aşamaları	21
Şekil 1.21. Örnek bir çalışmadaki hedef bitki materyali görüntüsünün işleme aşamaları	21
Şekil 1.22. Kamera tabanlı oluşturulan değişken oranlı püskürtme sistemi ve sistemde kullanılan kameraların yerleşimi	22
Şekil 1.23. Bilgisayarlı görme tabanlı değişken oranlı püskürtme sisteminin akış diyagramı	23
Şekil 1.24. Bir grupta birden fazla püskürtme memesi kullanarak değişken oranlı ilaçlama yapabilen bir püskürtme ünitesi.....	24
Şekil 1.25. Bazı firmalar tarafından üretilen PWM kontrollü püskürtme sistemleri	25

Şekil 1.26.	Darbe genişlik modülasyonu sistemi ile kontrol edilen püskürtme sisteminin darbe genişliğine göre görsel şekli	25
Şekil 1.27.	Darbe genişlik modülasyonunda görev döngüsü kavramı.....	26
Şekil 3.1.	Denemede kullanılan Ligustrum bitkisinin taç biçimi	37
Şekil 3.2.	Prototip püskürtme sistemi.....	38
Şekil 3.3.	Prototip püskürtme sistemi bileşenlerinin bağlantı şeması.....	40
Şekil 3.4.	Prototip püskürtme sisteminde kullanılan ultrasonik sensör	41
Şekil 3.5.	Prototip püskürtme sisteminde kullanılan kızılötesi sensör	42
Şekil 3.6.	(a) Arduino Mega ve (b) Arduino Uno.....	45
Şekil 3.7.	Solenoid valflerin PWM ile sürülmesinde kullanılan sürücü modülü.....	47
Şekil 3.8.	Solenoid valflere enerji sağlayan adaptör.....	47
Şekil 3.9	Prototip püskürtme sisteminde kullanılan genel maksat solenoid valf.....	48
Şekil 3.10.	Denemede kullanılan cornelius fiçisi dış ve kesit görünüşü.....	50
Şekil 3.11.	Denemelerde kullanılan meme bağlantı aparatların bir arada görünümü.....	50
Şekil 3.12.	Sisteme basınçlı havayı sağlayan hava kompresörü.....	51
Şekil 3.13.	Manometre ve koç darbesi sönümleyicisinin montaj hali	52
Şekil 3.14.	Denemede kullanılan hareketli raylı sistem; (1) ana şase, (2) kılavuz raylar, (3) araba, (4) halatlı vinç, (5) meme ve sensörleri taşıyan düşey metal profiller	53
Şekil 3.15.	Prototip sistemi yöneten yazılım sisteminin veri görüntüsü.....	54
Şekil 3.16.	Kızılötesi sensör, ultrasonik sensör ve solenoid valflerin bağlı olduğu arduino kartları entegrasyonu için kullanılan yazılım metotları.....	54
Şekil 3.17.	Kızılötesi çalışmaya başladığı anda çalışma başlayan yazılım fonksiyonu	55
Şekil 3.18.	Ultrasonik sensörden gelen verileri işleyen yazılım metodu.....	55

Şekil 3.19. Ağaç tacının üst, orta ve alt bölgelerinin hacimlerini hesaplayan yazılım metodu	56
Şekil 3.20. Hesaplanan taç hacmine göre solenoid valflerin görev çevrim oranlarını hesaplayan yazılım metodu.....	56
Şekil 3.21. Yazılım sisteminde kullanılan algoritmanın akış diyagramı	57
Şekil 3. 22. Çalışmada kullanılan çalkalayıcı	58
Şekil 3.23. Analizde kullanılan spektrofotometre ve çalışma prensibi	59
Şekil 3.24. Deneme düzeninin önden görünüşü	60
Şekil 3.25. Deneme düzeninin yandan görünüşü.....	61
Şekil 3.26. Örnekleme tahtasının detay görünüşü	62
Şekil 3.27. Hacim hesabı yönteminin şematik gösterimi	63
Şekil 3.28. Denemede kullanılan bitki materyalinin taç hacminin manuel ölçülmesi	66
Şekil 3.29. Denemede kullanılan bitki materyalinin el ile ilaçlanması.....	67
Şekil 3.30. Suyu duyarlı kağıtlarının deneme düzeninde yerleştirilmiş hali (ön görünüş)	68
Şekil 3.31. Suyu duyarlı kağıtların dijital ortama aktarılmış görüntüsü	69
Şekil 3.32. Suyu duyarlı kağıtların dijital ortama aktarılmış görüntüsü	70
Şekil 3.33. Filtre kağıtlarının deneme düzenindeki yerleşiminin biçimi (ön görünüş).....	71
Şekil 3.34. Filtre kağıtlarının deneme düzenindeki yerleşiminin biçimi (üst görünüş).....	71
Şekil 3.35. Püskürtme testlerinden sonra elde edilen filtre kağıtlarının depolandığı kavanozlar.....	72
Şekil 3.36. Spektrofotometre kalibrasyon grafiği	73
Şekil 3.37. İçerisine saf su eklenen kavanozların çalkalanması	73
Şekil 3.38. Kavanozlardan alınan örneklerin spektrofotometre cihazıyla okunması	74

SİMGELER VE KISALTMALAR

PWM : Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)

DPI : Dot Per Inch (Bir inç uzunluğundaki bir kesite sığan piksel sayısı)

BSF : Brilliant Sulpho Flavin (İz Maddesi)

ms : Milisaniye

ml : Mililitre

nm : Nanometre

MPa : Megapascal



1. GİRİŞ

1.1. Genel

Tarım, insan yaşamında çok önemli bir yere sahiptir. Yaşamsal faaliyetlerimizi sürdürebilmemiz için gerekli olan bitkisel ve hayvansal ürünler, birçok süreçten geçerek sofralarımıza ulaşmakta ve hayatın devam etmesini sağlamaktadırlar. Bugün içinde bulunduğumuz Covid-19 pandemisi ile birlikte, tarımın ve tarımsal ürün arzının ne kadar hayati bir konu olduğunun, tüm dünya olarak bir kez daha farkına varmış bulunmaktayız. Karantina tedbirleri kapsamında milyarlarca insan evlere kapanmak zorunda kalırken, insanların beslenmesi için gereken bitkisel ve hayvansal ürünler, ilgili personeller tarafından durmadan üretilmeye devam etmektedir. Bu tecrübeyle görmekteyiz ki tarımsal üretimin durma gibi bir şansı bulunmamakta, her ne olursa olsun başarılı bir şekilde devam etmesi gerekmektedir.

Tarımın iki temel üretim alanından birisi olan bitkisel üretimde de her gün milyonlarca kişi, gelen gıda talebini karşılamak için üretime devam etmekte ve doğadan payımıza düşen ürünleri hasat ederek tüketiciye ulaştırmaya çalışmaktadırlar. Bir önceki cümlede "doğadan payımıza düşen ürünler" denilmiştir çünkü, **"İnsanlar ettiklerini değil, hastalık, zararlı ve yabancı otlardan arta kalanları hasat ederler..."** (Kadıoğlu, 2012). Bu ifadeden de anlaşılacağı üzere bitkisel üretimdeki verimlilik ve ürün kalitesi bitki zararlıları ile doğrudan ilişkilidir. Bitkisel ürünlerin sağlıklı bir şekilde yetiştirilmesi ve üretimdeki verimin öncelikle korunup sonrasında daha da artırılması için, zararlılarla mücadele önemlilik arz etmektedir.

Bitki zararlılarıyla mücadele edebilmek için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler; fiziksel mücadele, mekanik mücadele, biyolojik mücadele, kimyasal mücadele, kültürel önlemler, karantina tedbirleri, genetik ve biyoteknik yöntemler ve entegre mücadele olarak belirtilmektedir (Kadıoğlu, 2012).

Hızlı şekilde çoğalan bitki zararlıları ile mücadele planlanırken kullanılacak mücadele yönteminin olabilecek en hızlı şekilde hedef zararluya etki etmesi, potansiyel ürün kayıpların önlenmesinde hayati öneme sahiptir. Hızlı bir şekilde uygulanabilmesi ve diğer yöntemlere göre daha etkili olmasından dolayı, bitki zararlılarıyla mücadele yöntemleri arasından en çok tercih edilen mücadele yöntemi, kimyasal mücadele yöntemidir. Yapılan çalışmalarda tarım ilacı kullanılmadan yapılan bitkisel üretimlerde %60'lara varan ürün kayıpları olduğu rapor edilmiştir. Bundan dolayı ilaçlama, bitkisel üretimin vazgeçilmez bir parçası olarak gözükmemektedir (Tiryaki, Canhilal ve Horuz, 2010; Kadioğlu, 2012; Arslan ve Çiçekgil, 2018).

1900'lü yılların başında tarımsal ilaçlama işlemlerinde kullanılan basit ekipmanlar ve makineler, zaman içinde gelişim göstererek günümüzde yerini daha çok otomasyonlarla donatılmış pülverizatörlere devretmekle yüz yüze kalmıştır. Geleneksel pülverizatörler etki oranı, işçi ve ilaçlama maliyeti, uygulama süresi, kullanım kolaylığı gibi konularda eski makinelerle kıyasla çok daha başarılı olmuştur (Şekil 1.1). Ancak günümüzde özellikle artan çevresel risk baskıları, artan tarım ilacı ve yakıt fiyatları nedeniyle daha teknolojik ve insan hatasını minimize eden püskürtme sistemlerinin devreye alınmasını zorunlu kılmaktadır.



Şekil 1.1. Kimyasal uygulama teknolojisinin son yüz yıldaki değişimi (Bode ve Bretthauer, 2008)

1980'li yılların başında dillendirilen değişken oranlı ilaçlama teknolojisi her ne kadar pülverizatörlerde kullanılmaya başlansa da tasarlanan sistemler prototip olarak kalmış ve sahaya ulaşamamıştır. Günümüzde meyve bahçelerinde yapılan ilaçlama işlemleri, genel olarak halen sabit oranda uygulama hacimlerinde yapılmaktadır (Maghsoudi ve Ark., 2015; Overbeck ve Ark., 2019).

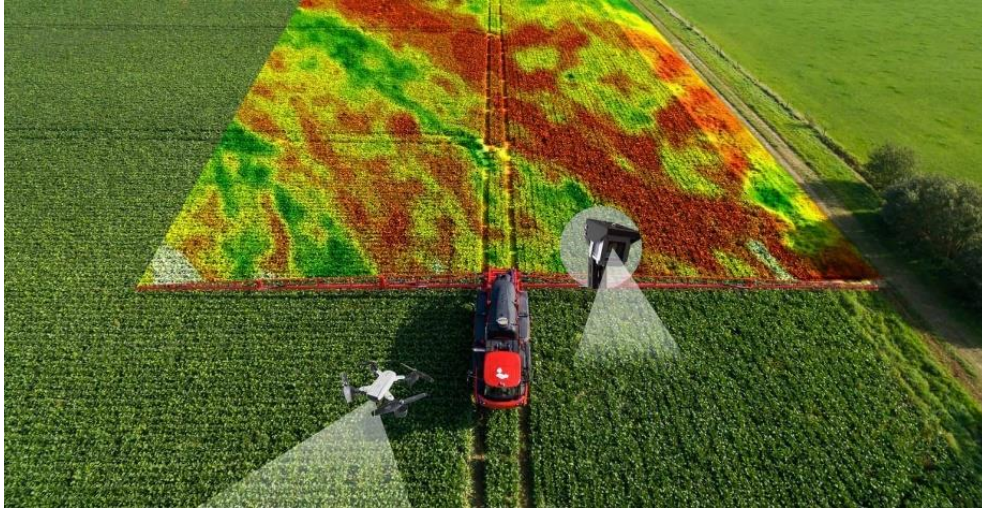
İlaçlama işleminden önce hedef bahçeye uygulanacak uygulama hacmi, farklı metotlara göre hesap edildikten sonra, tüm ağaçlara sabit debi ile püskürtme işlemi yapılmaktadır. Oysa hedef ağaçların sahip olduğu farklı boyut, hacim, yaprak alan indeksi, vb. özelliklerinden dolayı her ağaca püskürtülmesi gereken sıvı hacmi birbirinden farklıdır (Solanelles ve Ark., 2006; Stajenko ve Ark., 2012).

Hedef ağaçlara gereğinden fazla ilaç püskürtülmesi çevre kirliliği, ilaçlama maliyetinin yükselmesi, tarımsal ürünlerin güvenliğinin tehlikeye girmesi gibi sonuçlara neden olurken gereğinden az püskürtülen ilaç da bitki zararlılarının ilaç direncini yükselterek ilerde yapılacak ilaçlama işlemlerinin etki oranını düşürmektedir. Bu nedenlerden dolayı hem bitki koruma ürünlerinin kullanımını azaltmak hem de daha başarılı bir ilaçlama yapabilmek amacıyla çevre dostu püskürtme teknikleri geliştirilmiştir (Gil ve Ark., 2007; Kadioğlu, 2012). Başlangıçta daha çok sadece hedef bitki üzerine püskürtme otomasyonu yeterli iken günümüzde artık buna ilave olarak beher ağacın ayrı ayrı değerlendirilip taç hacmine göre uygulama yapılması hedeflenmektedir. Böylece hem ağaç üzerinde istenen düzeyde ilaç ulaşmış olacak ve sadece aç/kapa sistemlerine göre daha çok ilaç tasarrufu sağlanacaktır. Bu şekilde değişken oranlarda uygulama hacminde ilaçlama yapabilmek için öncelikle, taç hacminin bir takım sensör ya da görüntü alıcılarla algılanıp hesaplanması, hesaplanan hacme göre püskürtme sıvısının ilgili hedef bölgeye püskürtülmesi gerekmektedir.

1.2. Değişken Oranlı İlaç Uygulama

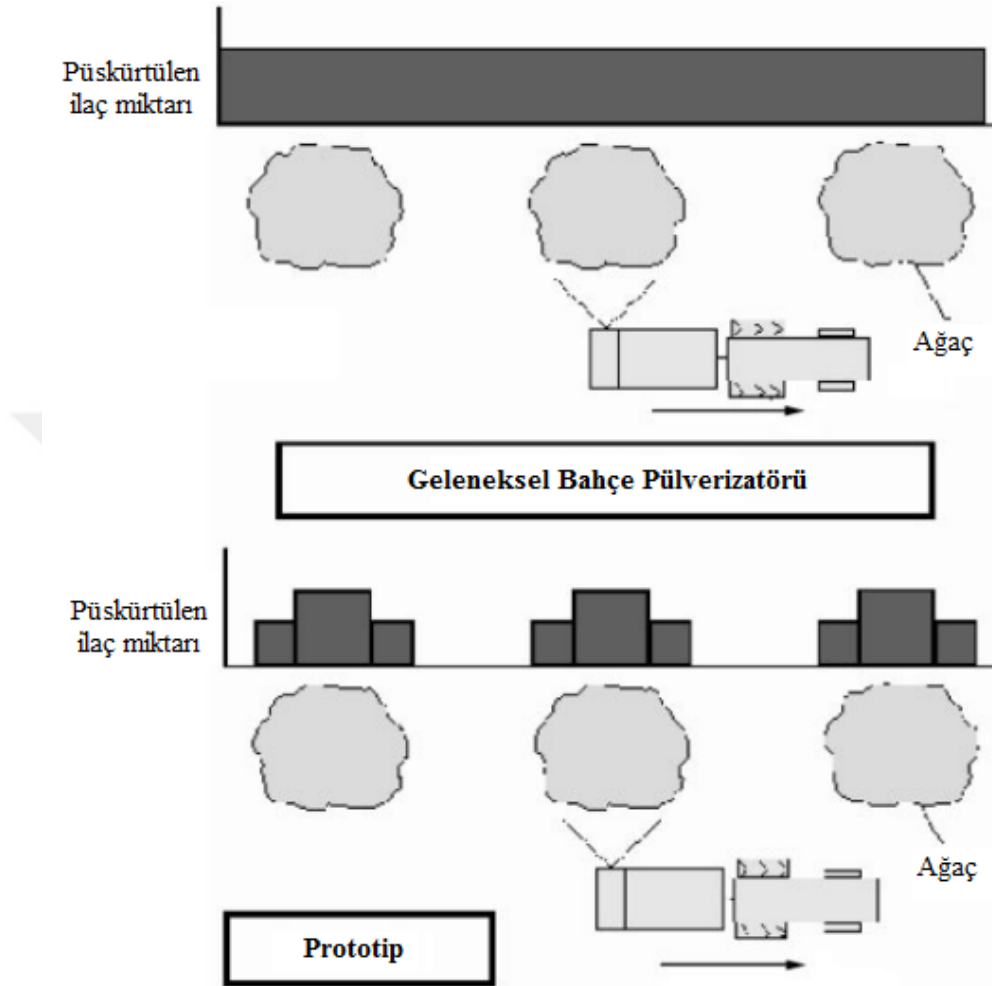
İlaçlama yapılacak hedef bitkinin elektronik sistemler, sensörler veya kameralar aracılığıyla anlık olarak hesap edilen taç hacmi, yaprak alan indeksi,

hedefin varlık-yokluk durumu, ağaç tacı yoğunluk durumu vb. diğer özelliklerine göre akış oranının anlık olarak değiştirildiği veya akışın durdurulduğu ve bu sayede hedef bitkiye sadece gereken miktarda ilaç püskürtmeyi hedefleyen ilaçlama yöntemine **değişken oranlı ilaçlama**, yöntemi uygularken kullanılan tüm elemanların oluşturduğu yapıya ise **değişken oranlı ilaçlama sistemi** denilmektedir. Hem tarla ve hem de bahçe pülverizatörlerinde kullanılabilen değişken oranlı ilaçlama sistemleri, koşullara göre değişen püskürtme kontrolü ile ilaç tasarrufu sağlamaktadırlar (Şekil 1.2.).



Şekil 1.2. Drone tarafından haritalanan tarlaya değişken oranlı ilaçlama uygulaması (Anonim, 2021a)

Geleneksel pülverizatörler ile kıyaslandığında, değişken oranlı ilaçlama yapabilen prototip sistemler kayda değer ölçüde ilaç tasarrufu sağlayabilmektedir. Özellikle bahçe pülverizatörlerinde kullanılan değişken oranlı ilaçlama sistemlerinde, hedef ağaca sadece gereken miktarda ilaç uygulamakla kalmayıp, ayrıca ağaçlar arası boşluklarda püskürtme otomatik olarak durdurulmakta ve bu sayede gereksiz ilaç kullanımı önlenmektedir (Şekil 1.3.).



Şekil 1.3. Meyve ağaçlarına uygulanan geleneksel ve değişken oranlı püskürtme yöntemlerinin ilaç tüketiminin karşılaştırılması (Moltó, Martín ve Gutiérrez, 2001)

Yapılan bilimsel çalışmalarla değişen oranlı pülverizatörlerin ilaç sarfiyatında %28 den %70 e kadar tasarruf sağlayabileceği görülmüştür. Ayrıca değişken oranlı pülverizatörler gereksiz ilaç püskürtmediği için ilaçlama işlemi boyunca ilaç deposunun tekrar doldurulma sayısı düştüğünden dolayı toplam ilaçlama süresinde yaklaşık %29 bununla bağlantılı olarak da işçi ve yakıt

maliyetlerinde %28 tasarruf sağlayabildiği tespit edilmiştir. Sağladığı bu tasarruflar ile değişken oranlı ilaçlama sistemleri 1 ha arazi için yıllık ilaçlama harcamalarını yaklaşık 1585 \$ azaltabileceği rapor edilmiştir (Colaço ve Ark., 2018; Manandhar ve Ark., 2020)

Sağladığı ilaç tasarrufu ile hassas tarımda önemli bir konu olan değişken oranlı ilaçlama için geçmişten günümüze kadar birçok sistem geliştirilmiştir. Her biri farklı çalışma prensibine sahip olan bu sistemler genel olarak; algılama sistemi ve akış kontrol sistemi olmak üzere iki alt başlıkta incelenebilir.

1.2.1. Algılama Sistemi

Değişken oranlı ilaçlama sisteminde hedef bitki parametrelerinin doğru bir şekilde ve gerçek zamanlı olarak hesap edilmesi en önemli görevlerden birisidir. Sistemde kullanılan elektronik ekipmanların ölçüm kabiliyeti ve çalışma hızı, ilaçlama başarısını doğrudan etkilediğinden dolayı, bu zorlu görevde algılamanın başlangıcı ve değişken oranlı ilaçlama sistemlerinin temel elemanı olan sensörlerin seçimi kilit rol oynamaktadır.

Değişken oranlı ilaçlama sistemi ile ilgili yapılan bilimsel çalışmalarda birçok sensör çeşidi kullanılmıştır. En çok kullanılan sensörler;

1. LIDAR sensörler
2. Kızılötesi sensörler
3. Ultrasonik sensörler
4. Stereo vision ve diğer kamera sistemleridir.

Farklı prensiplere göre çalışan bu sensörlerin birbirine göre avantajları ve dezavantajları Çizelge 1.1 de özetlenmiştir.

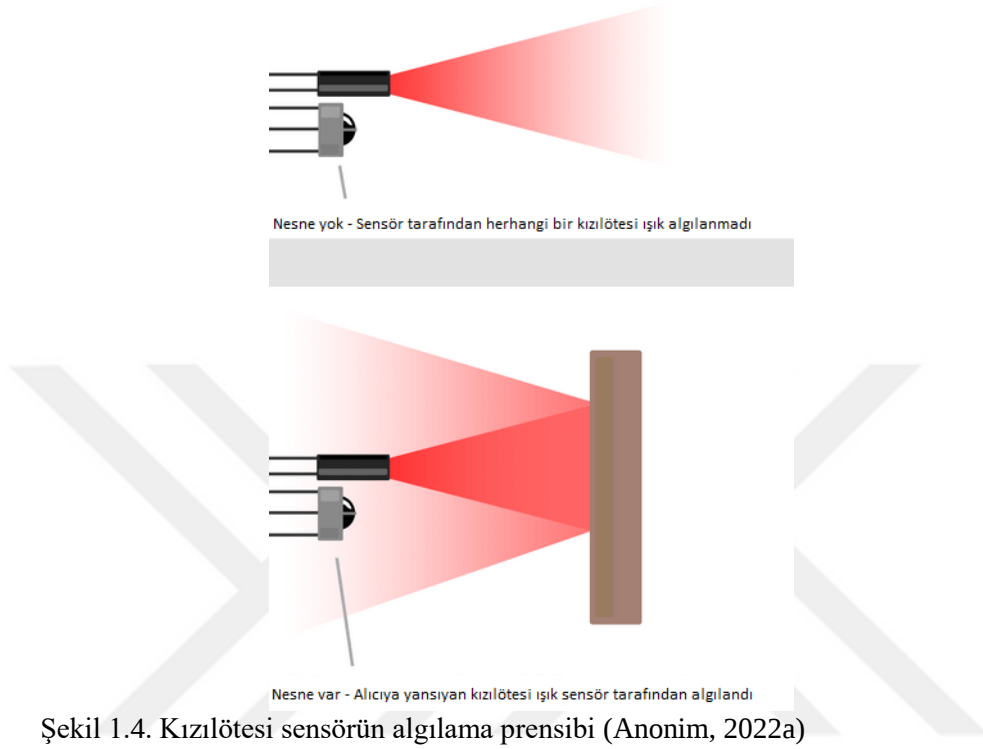
Çizelge 1.1. Tarımsal ilaçlama alanında kullanılan sensörlerin birbirine karşı avantaj ve dezavantajları (Zhang ve Ark., 2018)

Sensörler	Ölçüm Prensibi	Avantajlar	Dezavantajlar
Kızılötesi sensörler	Mutlak sıfırın üzerinde bir sıcaklığa sahip tüm nesneler, çevreye radyasyon şeklinde ısı enerjisi yayar. Kızılötesi sensörler, kendi görüş alanlarındaki nesnelerden yayılan kızılötesi ışığı ölçer. Nesnelerden yayılan veya yansıyan kızılötesi radyasyonu algılayarak çalışır.	1-) Sıcaklık ve nemin algılama sonuçları üzerinde çok az etkisi vardır. 2-) Atmosfer koşullarından nispeten bağımsız bir ölçüm gerçekleşir.	1-) Ağaç tacının 3 boyutlu özelliklerinin doğru bir şekilde ölçülmesi için şu an kullanılamıyor. 2-) Bitki görünümü, ışık yoğunluğu, yer değiştirme sürati ve bitki alanı, algılama etkisi üzerinde belirgin etkilere sahiptir. 3-) Tarımdaki uygulamalar için yetersiz uzamsal çözünürlük. 4-) Kısa menzil mesafesi, karmaşık devre.
Ultrasonik sensörler	Ses dalgalarını kullanarak bir nesneye olan mesafeyi ölçer. Ultrasonik ses dalgasının bir cisimden yansıyıp alıcıya geri gelme süresinin belirlenmesi mantığıyla çalışır.	1-) Sağlamlık ve düşük fiyat, ultrasonik sensörleri tarımsal uygulamalar için cazip hale getirir. 2-) Uygulaması nispeten kolaydır.	1-) Ultrasonik dalga ışınlarının geniş sapma açısı, alınan ölçümlerin çözünürlüğünü ve doğruluğunu sınırlar. 2-) Ortak tarım alanlarını kapsayacak şekilde kullanılması için beraberinde birçok birimin kullanılması gerekmektedir.

LIDAR sensörler	Darbeli bir lazer ışını kullanılarak bir lazer yayıcıdan bir nesneye veya yüzeye olan mesafenin ölçümüne dayalıdır. Uçuş süresi LIDAR, bir lazer darbesinin sensör ile hedef arasında seyahat etmesi için geçen süreyi ölçer.	1-) Yüksek ölçüm hızı, nokta bulutlarının hızlı bir şekilde elde edilmesini sağlar. 2-) Uygun algoritmaları uygulamak, dijital yeniden yapılandırma ve ağaçların yapısını, yüksek hassasiyetle tanımlamayı mümkün kılar. 3-) Boy, genişlik, hacim, yaprak alan indeksi, yaprak yoğunluğu gibi bitkiden elde edilecek olan bilgiler yeterli hassasiyetle elde edilebilir.	1-) Ağaç taç hacminin ölçümü, LIDAR'dan ağaçların merkezine olan mesafenin ve LIDAR'ın oryantasyon açısının belirlenmesindeki hatalara karşı çok hassasdır. 2-) Motorlu karasal LIDAR bu hata kaynaklarını kontrol etmek, tahmin etmek veya düzeltmek için ek cihazlar veya prosedürlere ihtiyaç duyar.
-----------------	--	---	---

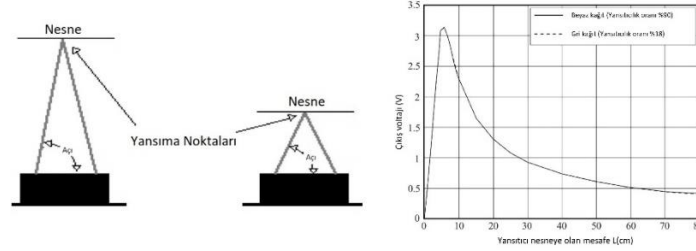
Stereo vision	Binoküler bir dijital kamera kullanılarak aynı anda alınan iki monoküler alan görüntüsünü birleştirerek bir 3D alan görüntüsü sağlar. Nesnelerin orijinal kamera koordinat dizilerini gerçek dünya koordinatlarına dönüştürmek için bilgisayar algoritmaları gereklidir.	1-) Bitkilerin ve ağaç bitkilerinin gerçekçi 3D görüntüsünü sağlar. Ürün boyutu ve hacmi gibi üretim yönetimi için önemli olan bitki fiziksel parametreleri dahil olmak üzere doğrudan 3B bitki örtüsü yapısını ölçer.	1-) Lazer tabanlı sistemlerden daha az doğruluk sunar ve uygun kalibrasyon ve kayıt prosedürlerine ihtiyaç duyar. 2-) Birkaç görüntü birlikte işlendiğinde, veri dosyalarının büyüklüğü önemli ölçüde artar. Bundan dolayı da 3D bilginin işlenmesi ve depolanması karmaşılaşır ve uzun işlem süreleri gerekir. Gerçek zamanlı işlem gerektiğinde sorun daha kritik hale gelir.
---------------	--	--	--

Kızılötesi sensörler vericileri vasıtasıyla yaydıkları kızılötesi ışığın etraftaki nesnelerden yansımalarını alıcıları vasıtasıyla algılayıp, yayılan kaynağın alıcılarına yansıma yoğunluğu veya yansıma açısına göre cisimlerin kendilerine olan uzaklığını veya menzillerinde bir cisim olup olmadığını tespit ederek bağlı olduğu sisteme direkt olarak çıkış verebilirler (Şekil 1.4.).



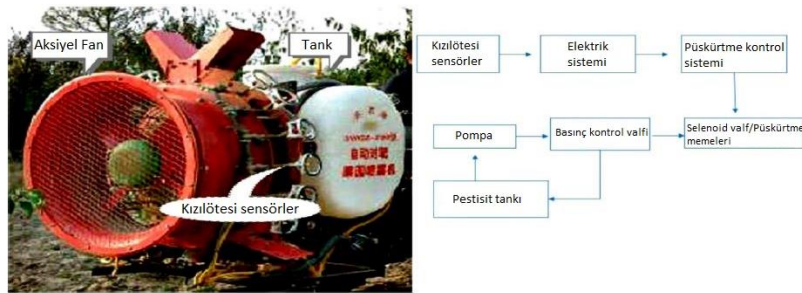
Şekil 1.4. Kızılötesi sensörün algılama prensibi (Anonim, 2022a)

Tak ve kullan pratikliğinde olan kızılötesi sensörler, üzerinde çalıştırılacağı elektronik devreye bağlantıları yapıp, gerekli ise tanımlayıcı yazılımsal kod blokları da yazıldıktan hemen sonra, kullanıma hazır hale gelmekte ve sensörlerden anlık olarak elde edilen değişken çıkış voltajı veya var-yok verileri ek bir işleme gerek olmadan oluşturulan algoritmalarda direkt olarak işlenebilmektedir (Şekil 1.5.).



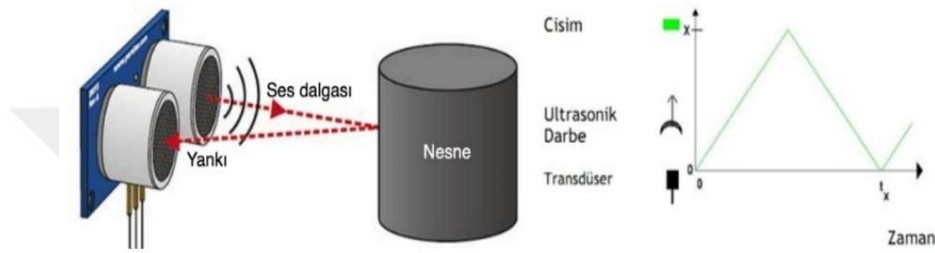
Şekil 1.5. Bir kızılötesi mesafe sensörünün yaydığı kızılötesi ışığın yansımaya açısına bağlı olarak değişen çalışma prensibi ve mesafeye göre değişen çıkış voltajı grafiği (Anonim, 2022b; Patil, ve Ark., 2016)

Kızılötesi sensörlerin sağladığı anlık mesafe veya var-yok verileri farklı algoritmalarla işlenerek bu bilgilerden hedef bitki materyalinin varlık-yokluk durumu, şekilsel özellikleri gibi bilgiler türetilip değişken oranlı ilaçlama sistemlerinde kullanılabilir. Kızılötesi sensörle yapılan bir çalışmada hedef bitki materyalinin üst, orta ve alt bölümünü kapsayacak şekilde yerleştirilen kızılötesi sensörlere gelen sinyaller işlenerek, sinyallerin güç durumu ilaçlama boyunca gerçek zamanlı olarak denetlenmiştir. Kızılötesi sensörden gelen sinyaller bir elektronik devre yardımı ile işlenerek sinyal gücü belirlenen eşik değerinin üzerinde iken ilgili bölgedeki solenoid valf açılmış, sinyal gücü eşik değerinin altında kaldığında ise solenoid valf kapatılmıştır. Hedef tespit mantığı ile çalışan sistem kullanılarak %50- %75 oranında ilaç tasarrufu sağlanabileceği rapor edilmiştir (Şekil 1.6.).



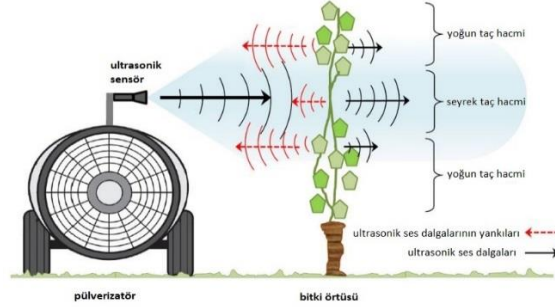
Şekil 1.6. Kızılötesi sensörler ile tespit edilen hedef bitki materyalinin şekilsel özelliklerine göre püskürtme yapabilen bir değişken oranlı püskürtme sistemi (Abbas ve Ark., 2020)

Ultrasonik sensörler, kızılötesi sensörlerden farklı olarak algılamada ışık yerine ultrasonik ses dalgalarını kullanmaktadır. Ultrasonik sensör vericisinden yayılan ses dalgalarının etraftaki nesnelerden yansımalarını alıcıları vasıtasıyla algılayıp, yayılan ses dalgalarının alıcılarına geri gelme süresini hesaplayarak nesnelerin kendilerine olan uzaklığını tespit edebilmektedir (Şekil 1.7.).



Şekil 1.7. Ultrasonik sensörün çalışma prensibi ve ultrasonik sensörün yaymış olduğu ultrasonik ses dalgasının zaman içinde etmiş olduğu hareketin grafiği (Anonim, 2022c; Anonim, 2022d)

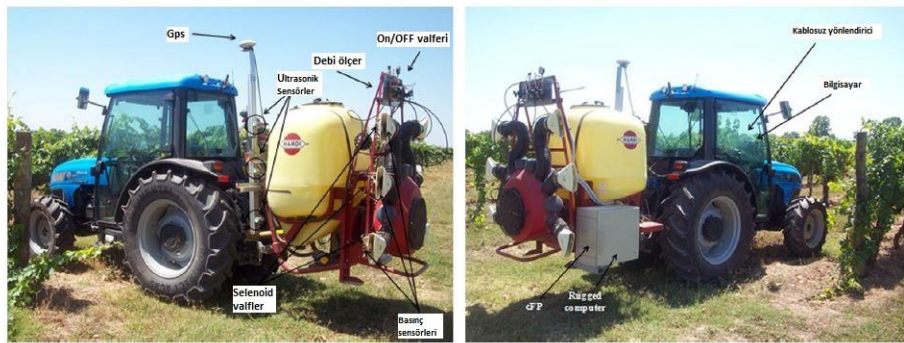
Ultrasonik sensörler kullanılarak oluşturulan değişken oranlı püskürtme sistemlerinde sensörlerden anlık olarak çıkış alınan değişken voltaj değerleri veya mesafe bilgileri, oluşturulan algoritmalarda direkt olarak işlenebilmektedir. Ultrasonik sensörlerden yayılan ultrasonik ses dalgaları hedef bitki materyalinin vejetatif aksamından yansıyarak ultrasonik sensöre geri gelmekte ve oluşan bu yankılar ultrasonik sensör tarafından algılanarak değişken voltaj çıkış değerlerine dönüştürülmektedir. Bitkinin taç hacminin yoğunluğu ne kadar fazla ise ultrasonik sensöre gelen yankılar da bir o kadar şiddetli olmaktadır (Şekil 1.8.).



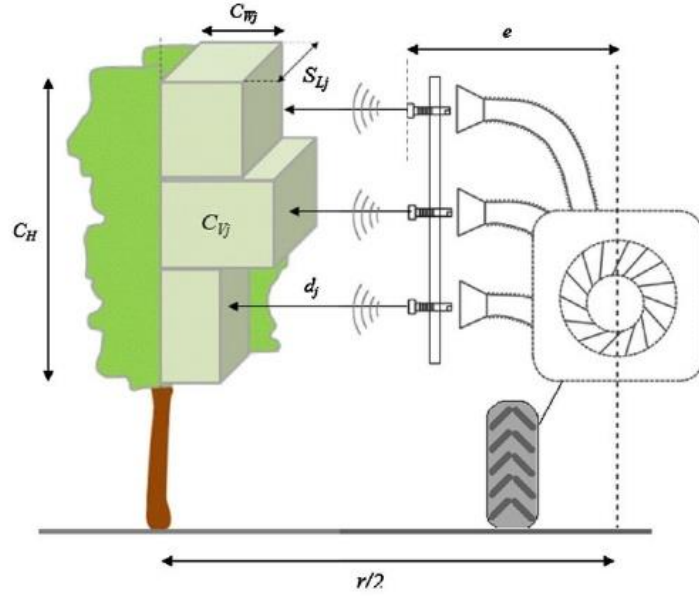
Şekil 1.8. Ultrasonik sensörden yayılan ultrasonik ses dalgalarının bitkinin vejetatif aksamından yansması (Palleja and Landers, 2015)

Ultrasonik sensörden alınan çıkış voltaj verileri oluşturulan sistemlerde işlenerek anlamlı hale getirilmekte ve tasarlanan çalışma presiplerine göre işleme katılmaktadır. Değişken oranlı püskürtme sistemlerinde kullanılan ultrasonik sensörler mesafe bilgisi, yaprak yoğunluğu, bitki materyalinin varlık-yokluk durumu gibi bilgilerin elde edilmesi için kullanılmaktadır.

Ultrasonik sensörler ile oluşturulmuş bir değişken oranlı püskürtme sisteminde ultrasonik sensörden alınan anlık çıkış voltajı değerleri eşitlikler kullanılarak sensör-ağaç arası mesafe bilgisine dönüştürülmüş ve dikdörtgen prizma yaklaşımıyla hedef bitki materyalinin taş hacmi anlık olarak tahmin edilmiştir. (Şekil 1.9 ve Şekil 1.10.)

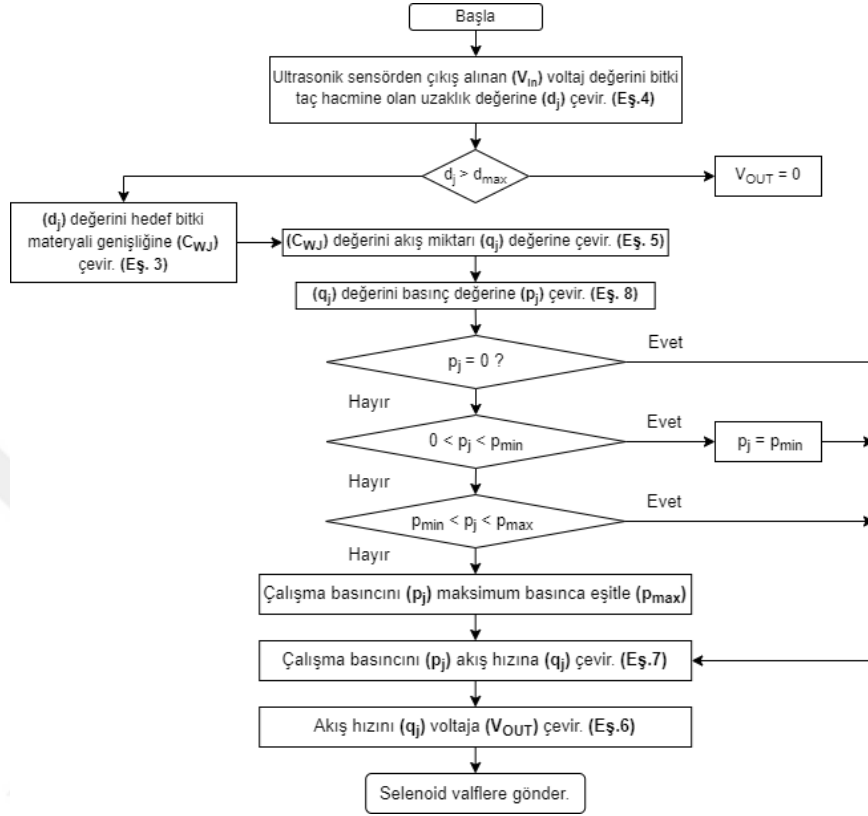


Şekil 1.9. Ultrasonik sensörler ile tespit edilen hedef bitki materyalinin taş hacmine göre değişken oranlı püskürtme yapabilen bir bahçe pülverizatörü (Gil ve Ark., 2013)

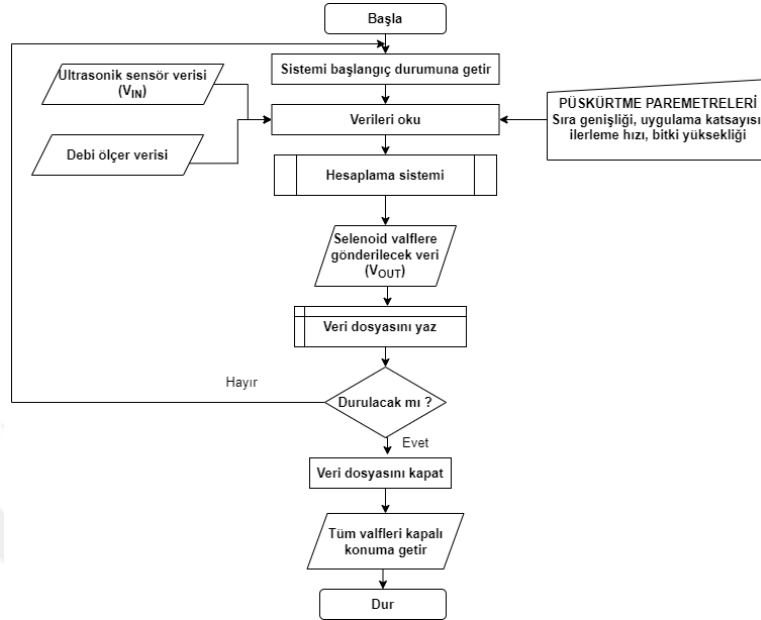


Şekil 1.10. Ultrasonik sensörlerden hedef bitki materyaline olan uzaklığın belirlenmesi ve dikdörtgen prizma yaklaşımıyla taç hacmi hesabı (Gil ve Ark., 2013)

Oluşturulan sistemde ultrasonik sensörden alınan değişken voltaj verileri oluşturulan eşitlikler yardımıyla işlenerek önce hedef bitki materyalinin hacim bilgisi tahmin edilmiş sonrasında belirlenen hacim için gerekli olan akış miktarı belirlenerek seleneoid valflere gereken voltaj değerleri gönderilmektedir (Şekil 1.11.). Ultrasonik sensörün ölçümünden akış hızının değiştirilmesine kadar olan bütün süreçte işletilen akış diyagramı ve kullanılan tüm eşitlikler Şekil 1.12 ve Şekil 1.13’de ayrıca verilmiştir.



Şekil 1.11. Ultrasonik sensörden alınan değişken çıkış voltajının akış miktarına çevrilmesi işlemlerinin akış diyagramı (Gil ve Ark., 2013)



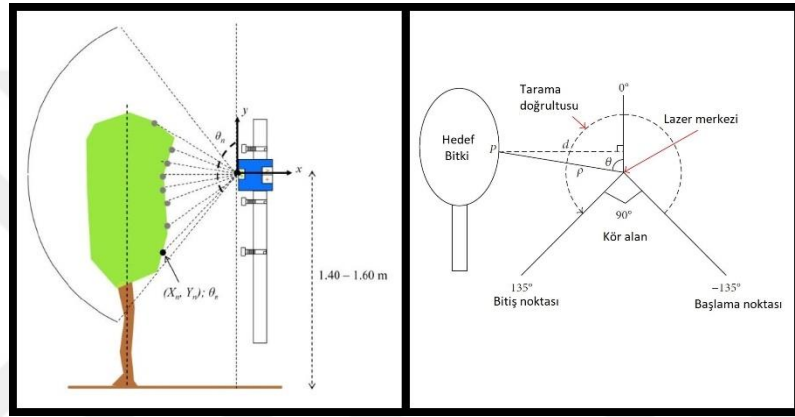
Şekil 1.12. Ultrasonik sensör temelli değişken oranlı bir püskürtme ünitesi elektronik sisteminin tamamının işletildiği akış diyagramı (Gil ve Ark., 2013)

$$\begin{aligned}
 (1) \quad C_{vj} &= \frac{1.000}{60} \times C_{wj} \times C_{Hj} \times V & (5) \quad q_j &= 60 \times C_{wj} \times \frac{1}{3} C_H \times S_{Hj} \times f \times i_o \\
 (2) \quad q_j &= C_{vj} \times i_o & (6) \quad V_{out} &= 0.2354 \times e^{5.4304q_j} \\
 (3) \quad C_{wj} &= r/2 - d_j - e & (7) \quad q_n &= 0.2262 \times p_j^{0.4487} \\
 (4) \quad d_j &= -14.215 \times V_m + 181.21 & (8) \quad p_j &= 24.336 \times q_n^{2.0655}
 \end{aligned}$$

C_{vj}	j bölgesinde birim zamanda püskürtme yapılacak toplam hacim m^3 /dakika	V_m	ultrasonik sensör tarafından yayılan elektriksel çıkış sinyali (V)
C_{wj}	j bölgesindeki bitki taş hacmi genişliği (genişliğin yansı) (m)	S_{Hj}	j bölgesindeki taş hacmi uzunluğu (m)
C_{Hj}	j bölgesindeki bitki taş hacmi yüksekliği (m)	f	sistemin örnekleme frekansı (Hz)
V	ilerleme hızı (km/saat)	V_{out}	selenoid valfe gönderilen elektriksel çıkış sinyali (V)
q_j	j bölgesindeki akış hızı (litre/dakika)	q_n	püskürtme memesi akış hızı (litre/dakika)
i_o	uygulama katsayısı (litre/ m^3)	p_j	j bölgesi için basınç (bar)
r	sıra arası mesafe (m)	p_{min}	3 bar
d_j	sensör ile bitki taş hacmi yüzeyi arası mesafe (m)	p_{max}	11 bar
e	sensör ile pülverizatör merkez eksenli arasındaki mesafe (m)		

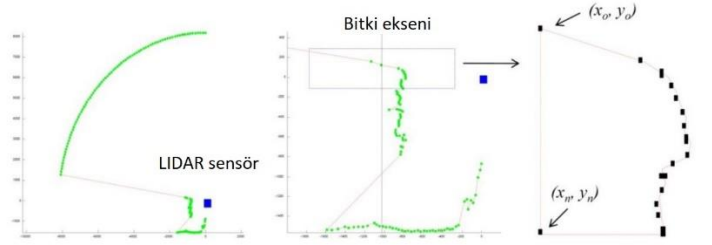
Şekil 1.13. Ultrasonik sensör temelli değişken oranlı bir püskürtme ünitesinin algoritmasında kullanılan matematiksel eşitlikler (Gil ve Ark., 2013)

Ultrasonik sensörlerde, yayılan ultrasonik ses dalgaları çarptığı nesnelerden yansiyarak mesafe bilgisini oluştururken, LIDAR sensörlerde, sensör tarafından etrafa yayılan darbeli lazer ışığın yansıma süresi algılanarak mesafe bilgisi oluşturulmaktadır. Farklı çalışma açılarına sahip olabilen LIDAR sensörler menzil alanı boyunca sürekli olarak tarama yaparak çevresini algılayıp saniyede binlerce noktasal veri sağlayabilmektedir (Şekil 1.14).



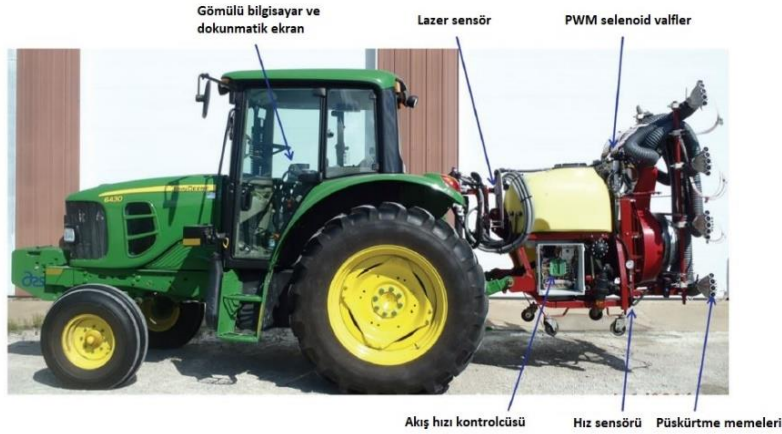
Şekil 1.14. Örnek bir LIDAR sensörün hedef bitki materyali üzerindeki ölçüm şekli ve 270° çalışma açısına sahip olan bir LIDAR sensörün ölçüm alanı (Llorens ve Ark., 2011; Shen ve Ark., 2017)

LIDAR sensör çalışması esnasında tüm menzil alanını taradığından dolayı, elde edilen verilerin içerisinde gökyüzü ve yeryüzü doğrultusunda olan istenmeyen nokta verileri de bulunabilmektedir. Daha sağlıklı ölçüm verileri elde edebilmek için elde edilen noktasal verilerin bilgisayarda depolandıktan sonra işlenerek filtre edilmesi gerekmektedir (Şekil 1.15).



Şekil 1.15. LIDAR sensörün hedef bitki materyali üzerindeki yaptığı ölçümler ile elde edilen ham koordinatsal veriler (Llorens ve Ark., 2011)

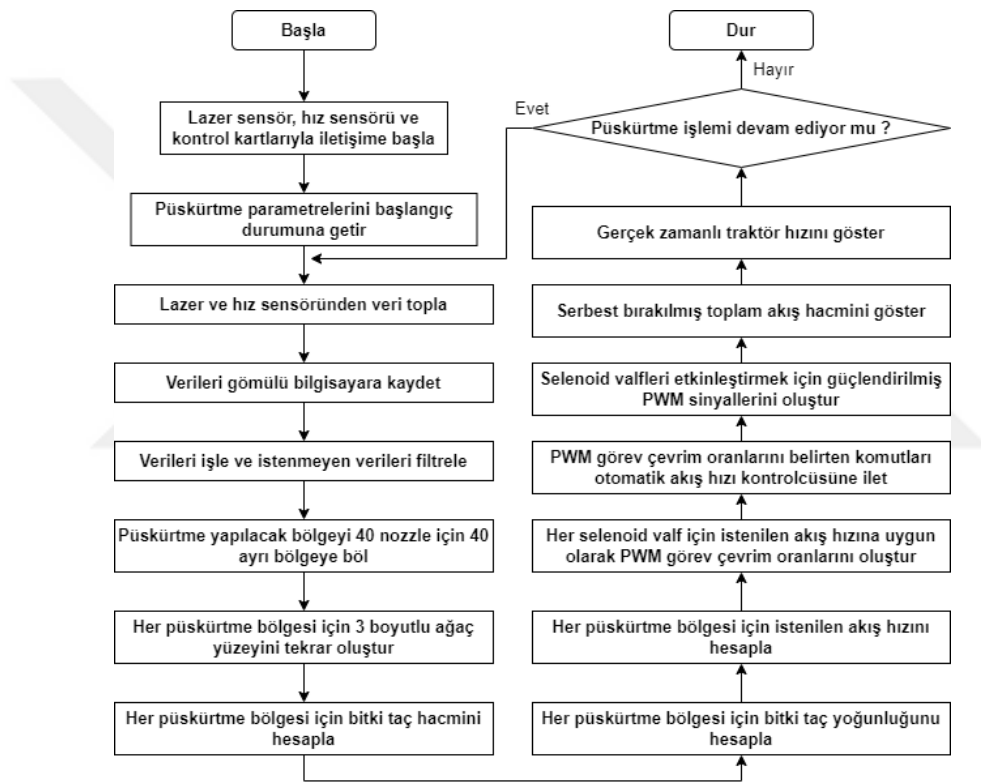
Shen ve Ark. (2017), LIDAR sensör kullanılarak oluşturulmuş bir değişken oranlı püskürtme sisteminde hedef bitki taç hacmi tahmin edilerek darbe genişlik modülasyonu ile kontrol edilen solenoid valfler aracılığıyla değişken oranlı püskürtme yapmışlardır (Şekil 1.16).



Şekil 1.16. LIDAR sensör temelli değişken oranlı bir püskürtme ünitesi (Shen ve Ark., 2017)

LIDAR sensörün yapmış olduğu ölçüm verileri ve radar hız sensörüyle elde edilen ilerleme hızı verileri filtre edilerek işlenmiş, algoritmada oluşturulan formüllere göre pülverizatörün sağında ve solunda 20 adet olmak üzere toplam 40 püskürtme memesinin hedeflediği bölgelerin taç hacimleri ayrı ayrı hesap

edilmiştir. Sonrasında taç hacmi hesap edilen bölgelerin taç hacmi yoğunluğu da hesap edilerek ilgili bölge için gerekli olan solenoid valf görev çevrim oranı belirlenmiştir. Belirlenen görev çevrim oranlarına göre darbe genişlik modülasyonu ile üretilen sinyaller akış hızı kontrolcüsüne iletilerek solenoid valfler sürülmüştür. Sistemde kullanılan algoritmanın akış diyagramı ve algorithmada kullanılan eşitlikler Şekil 1.17. ve Şekil 1.18.'de verilmiştir.



Şekil 1.17. LIDAR sensör temelli değişken oranlı bir püskürtme ünitesinin işletildiği algoritmanın akış diyagramı (Shen ve Ark., 2017)

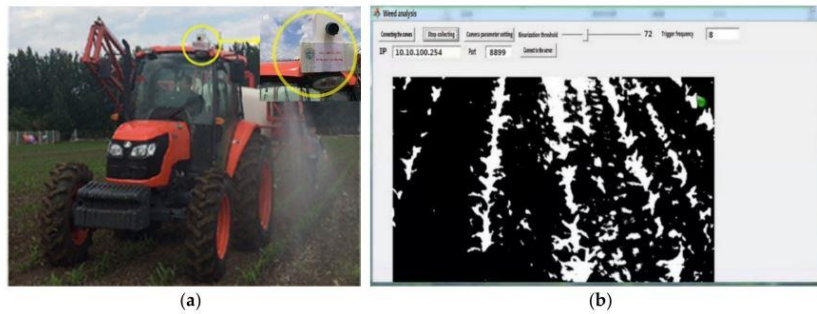
$$(1) \quad Q_i = h \cdot w_i \cdot v \cdot \rho \cdot \nabla$$

$$(2) \quad DUC_i = \frac{Q_i - 78.8}{11.6}$$

Q_i	i numaralı püskürtücü meme için hesap edilen akış hızı (ml/dakika)
h	her bir püskürtücü memenin kapladığı taç hacmi bölgesinin yükseliği (0.15 m)
w_i	i numaralı püskürtücü memenin hedeflediği taç hacmi bölgesinin derinliği (m)
v	ilerleme hızı (m/sn)
ρ	i numaralı püskürtücü memenin hedeflediği taç hacminin yoğunluk değeri (0...1)
∇	birim taç hacmine püskürtülecek sıvı miktarı, püskürtme oranı (l/m ³)
DUC_i	i numaralı püskürtücü meme ile montajlanmış selenoid valf için hesaplanan görev çevrim oranı (%)

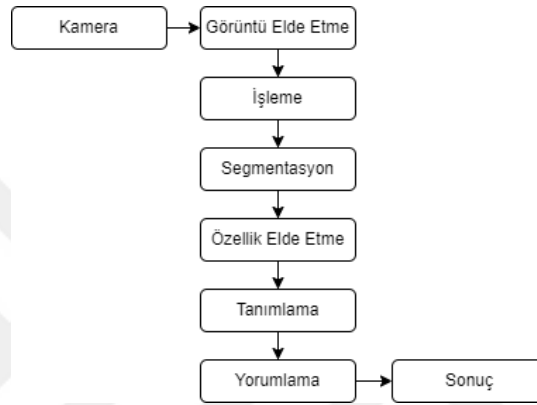
Şekil 1.18. LIDAR sensör temelli değişken oranlı bir püskürtme ünitesinin algoritmasında kullanılan matematiksel eşitlikler (Shen ve Ark., 2017)

LIDAR, ultrasonik ve kızılötesi sensörlerden farklı olarak bilgisayarlı görme sistemleri de değişken oranlı püskürtme sistemlerinde kullanılmaktadır. Kameralar sayesinde oluşturulan hedef bitki materyallerinin dijital görüntüleri, belirlenen görüntü işleme yöntemleri ile işlenerek, hedef bitki materyalinin taç hacmi büyüklüğü, taç hacmi yoğunluğu, taç hacmi derinliği, renk yoğunluğu, renk özellikleri, varlık-yokluk durumu gibi özellikleri tespit edilebilmektedir. Elde edilen bu özellikler de değişken oranlı püskürtme sistemlerindeki yönetimsel algoritmalarda kullanılabilmektedir (Şekil 1.19).

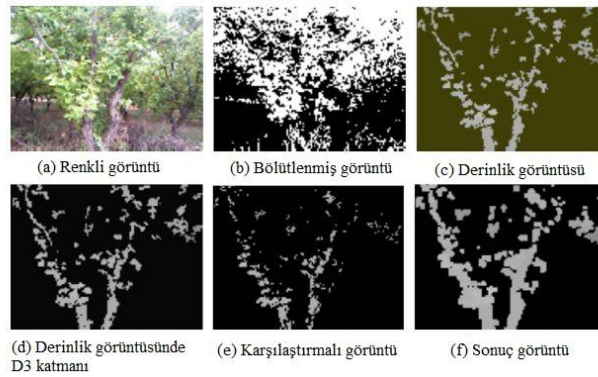


Şekil 1.19. (a) Yabancı otlarla mücadele etmek için tasarlanan kamera entegreli (sarı daire ile belirtilmiş alan) bir değişken oranlı püskürtme sistemi, (b) püskürtme sisteminin görüntüleme arayüzü (Xu ve Ark., 2018)

Bilgisayarlı görme sistemlerinde, kameralar sayesinde elde edilen görüntülerin işlenmesi birçok basamaktan oluşabilmektedir. Görüntülerin kameralar ile elde edilmesiyle başlayan bu süreçte, elde edilen görüntüler, oluşturulan görüntü işleme yöntemine göre işlenerek sonuçlandırılmaktadır (Şekil 1.20. ve Şekil 1.21.).



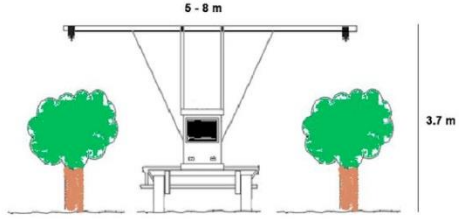
Şekil 1.20. Bilgisayarlı görme aşamaları (Abbas ve Ark., 2020)



Şekil 1.21. Örnek bir çalışmadaki hedef bitki materyali görüntüsünün işleme aşamaları (Xiao, Ma ve Gao, 2017)

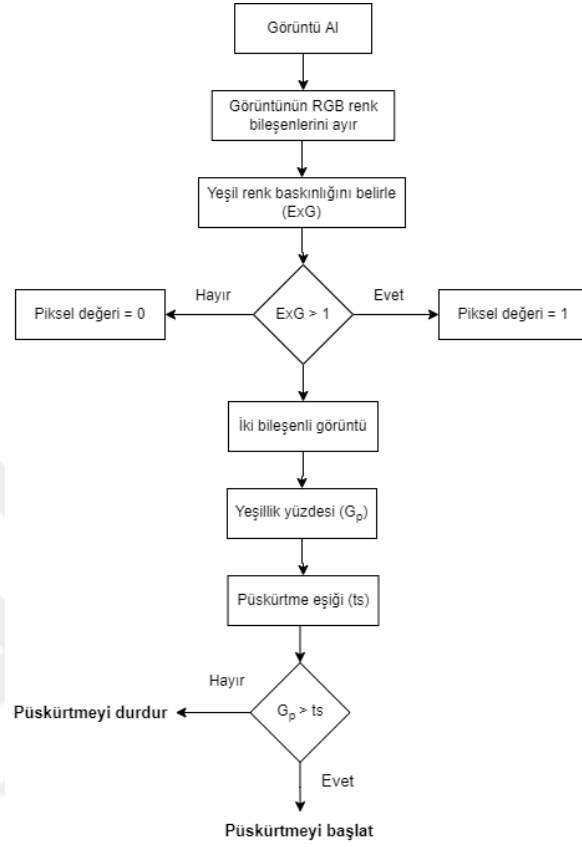
Bilgisayarlı görme tabanlı oluşturulan değişken oranlı bir püskürtme sisteminde kameralar tarafından alınan hedef bitki materyali görüntülerinin yeşil

renk baskınlığı gerçek zamanlı olarak denetleyerek meyve bahçelerindeki ağaçlara püskürtme gerçekleştirirken, sıra üstü ağaçlar arası boşluklarda püskürtmeyi durdurmak hedeflenmiştir (Asaei ve Ark, 2019). Püskürtücü sistemin önünde bulunan T şeklindeki tepe aparatının iki ucuna yerleştirilen kameralar ile sıralardaki ağaçlardan görüntüler elde edilmiş ve görüntüler işlenerek 135 derece açılı şekilde tasarlanan püskürtme kollarına yerleştirilen püskürtme memeleri ile sadece hedef bitki materyaline püskürtme yapılmaya çalışılmıştır (Şekil 1.22.).



Şekil 1.22. Kamera tabanlı oluşturulan değişken oranlı püskürtme sistemi ve sistemde kullanılan kameraların yerleşimi (Asaei, Jafari and Loghavi, 2019)

Püskürtme sisteminde kameralar ile hedef ağaçlardan alınan görüntüler renk bileşenlerine ayrılarak görüntüdeki yeşil renk baskınlığı denetlenmiştir. Görüntüdeki tespit edilen yeşil renk oranı belirlenen eşik değerinin üzerinde ise solenoid valfler açılarak püskürtme başlatılmış, eşik değerinin altında ise püskürtmeye son verilmiştir. Sistemin akış diyagramı şekil 1.23.'de verilmiştir.



Şekil 1.23. Bilgisayarlı görme tabanlı değişken oranlı püskürtme sisteminin akış diyagramı (Asaei, Jafari and Loghavi, 2019)

1.2.2. Akış Kontrol Sistemi

Değişken oranlı ilaçlama sisteminde sensörler gerekli ölçümleri yaptıktan sonra hedef ağaç için püskürtülmesi gereken ilaç miktarı elektronik sisteme gömülü olan yazılım vasıtasıyla hesaplanmaktadır. İlgili değer belirlendikten sonra, akış kontrol sistemine gerekli sinyaller iletilerek doğru oranda ilacın ağaca püskürtülmesi sağlanmaktadır.

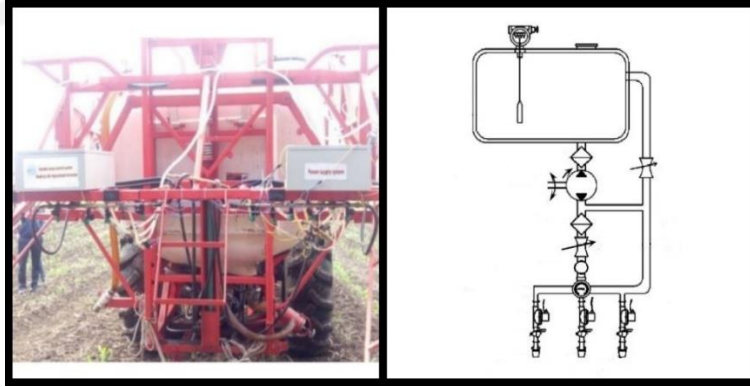
Yapılan bilimsel çalışmalarda, püskürtülecek uygulama hacminin gerçek zamanlı olarak ayarlanması için farklı yöntemler kullanılmaktadır.

Bu yöntemler;

- Çalışma basıncını değiştirmek
- Pülverizatörün ilerleme hızını değiştirmek
- Farklı debilerde püskürtme yapan memeler kullanmak
- Darbe genişlik modülasyonu teknolojisi (PWM) ile solenoid valfi aç-kapa yapmaktır.

Yapılan bilimsel çalışmalarda çalışma basıncını değiştirmek suretiyle yapılan anlık akış kontrolünün püskürtülen ilahtaki damla çaplarını değiştirerek ilaç dağılımının kötüleşmesine sebep olacağı, pülverizatör ilerleme hızını değiştirmenin ise zor bir yöntem olduğu rapor edilmektedir (Zhai ve Ark., 2012).

Farklı debilerde püskürtme yapan memeler kullanmak ise her ne kadar farklı uygulama hacimlerinde püskürtme yapma imknı sağlasa da fazlaca meme ve solenoid valf kullanımı pülverizatörü daha karmaşık ve daha pahalı hale getirmektedir (Şekil 1.24.).



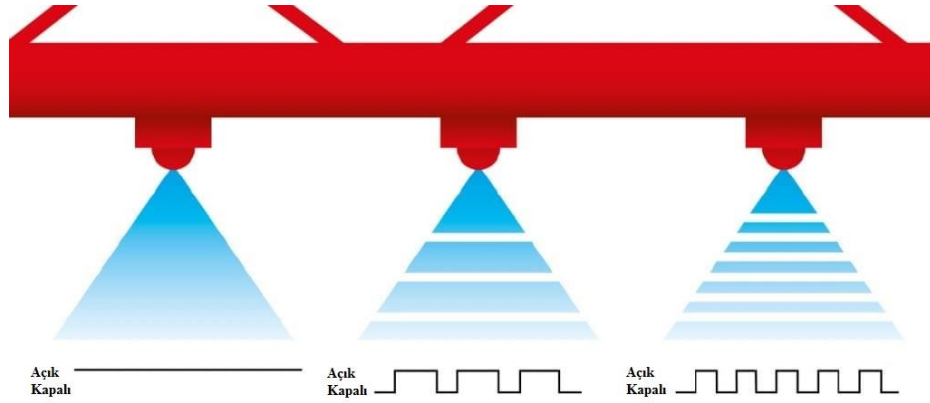
Şekil 1.24. Bir grupta birden fazla püskürtme memesi kullanarak değişken oranlı ilaçlama yapabilen bir püskürtme nitesi (Xu ve ark., 2018)

Darbe genişlik modülasyonu (pulse width modulation) ise son yıllarda ilaçlama alanında yaygınlaşmaya başlayan bir teknolojidir (Şekil 1.25.). Bu yöntemde solenoid valflere kare dalgalar gönderilmekte ve gönderilen bu kare

dalgalar ile sabit basınçta çalışmakta olan valf saniyede defalarca açılıp kapatılarak istenilen oranda sıvının püskürtülmesi sağlanmaktadır. Bu sayede çalışma basıncı değişmeden akış oranı değiştirilmekte ve dolayısıyla bitkiye uygulanan uygulama hacmi miktarı değişmektedir (Şekil 1.26.).

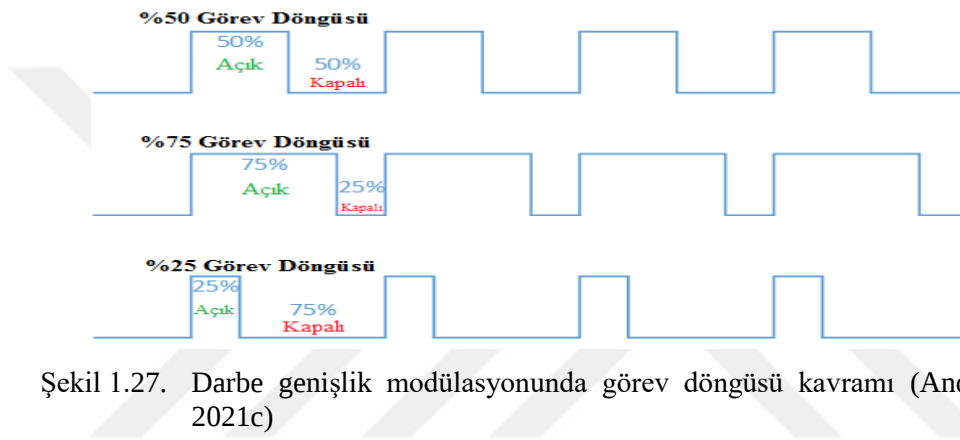


Şekil 1.25. Bazı firmalar tarafından üretilen PWM kontrollü püskürtme sistemleri (Anonim, 2022e; Anonim, 2022f)



Şekil 1.26. Darbe genişlik modülasyonu sistemi ile kontrol edilen püskürtme sisteminin darbe genişliğine göre görsel şekli (Anonim, 2021b)

Darbe genişlik modülasyonu (pulse width modulation) teknolojisinde solenoid valf, görev döngüsü (duty cycle) oranı değiştirilerek kontrol edilmektedir. Şekil 1.27’de görülmekte olan kare dalgaların üst kısmında valf açılarak akışa izin vermekte alt kısmında ise kapanarak akış kesilmektedir. Bir zaman periyodunda solenoid valfin kapalı kalma süresi ne kadar fazla olursa, valften geçen sıvı miktarı da o kadar az olmaktadır. Dolayısıyla püskürtülen ilaç miktarı da azalmaktadır.



Şekil 1.27. Darbe genişlik modülasyonunda görev döngüsü kavramı (Anonim, 2021c)

1.3. Araştırmanın Amacı ve Önemi

Günümüzdeki tarımsal ilaçlama işlemlerinde bitkiye gereğinden fazla ilaç atılmaktadır. Fazladan atılan tarımsal ilaçlar canlıların yaşamını kötü etkilemekte ve üretim maliyetlerini yükseltmektedir. Üretim maliyetlerinin yükselmesi kâr oranını azaltmakta ve elde edilen gelirin azalmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı tarımsal üretimde önemli bir girdi olan ilaçlama işleminde tasarrufun artırılması hem doğaya verilen zararın azaltılmasına fayda sağlayacak hem de üretim maliyetini düşürerek ürünlerden elde edilen kârın artırılmasına katkıda bulunacaktır (Kızılay ve Akçaöz, 2009; Doğan ve Karpuzcu, 2019).

Türkiye’deki toplam tarım alanı 2001’de 40.967.000 hektar iken 2020 yılında 38.063.000 hektar alana gerileyerek yaklaşık %7,09 oranında azalmıştır. Kullanılan toplam tarımsal ilaç miktarına bakıldığında da 2006’dan 2020’ye kadar

45.376 ton ilaçtan 53.672 ton'a yaklaşık %18,28 lik bir artış gözlemlenmektedir. Değişen bu rakamlara bakıldığında birim tarım arazisine daha fazla ilaç kullanıldığı görülmektedir. Türkiye’de tarım ilaçlarının pazar payının yaklaşık 4,5 milyar TL ve bu payın %65'inin ithal edilen ilaçlara ödendiğini düşünürsek bu alanda yapılacak tasarruf ülkemiz ekonomisine fayda sağlayacaktır (Anonim, 2022g, 2022h; Anonim, 2018).

Ayrıca yapılan bazı bilimsel çalışmalarda tarımsal üretim maliyetlerinde ilaçlama işleminin toplam üretim maliyetine oranı;

- Turunçgil üretiminde yaklaşık %11,52- 244 TL/da (Subaşı ve Ark., 2013),
- Yarı bodur ve bodur elma üretiminde sırasıyla %24- 172 TL/da ve %23- 182 TL/da (Kanat, Çelik ve Çay, 2017),
- Armut üretiminde %13- 483 TL/da (Afacan Erbaşlar, 2014),
- Yağlık zeytin üretiminde %10- 114 TL/da (Özalp, Kahraman ve Yılmaz, 2016),
- Antep fıstığı üretiminde %9- 100 TL/da (Sandal ve Yurddaş, 2019)
- Fındık üretiminde %7,5- 54 TL/da (Yıldız ve Dağdemir, 2017) olarak rapor edilmiştir.

Yukarıda örnek olarak verilen bazı meyve ağaçlarının ilaçlama maliyetini değişken oranlı ilaçlama teknolojisi ile azaltmak mümkün olabilir.

Bu çalışmanın amaçları; (1) son yıllarda yaygınlaşan akış kontrol sistemi olan PWM teknolojisini standart tip meme ve solenoid valflere uygulamak, (2) ultrasonik sensörler yardımıyla ağaç taç hacmini belirlemek, (3) taç hacmi ile orantılı ilaçlama yapmak ve elde edilen sonuçları geleneksel ilaçlama sistemi ile karşılaştırmaktır.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Moltó ve ark. (2001), yapmış oldukları çalışmada, yardımcı hava akımlı bahçe pülverizatörüne ultrasonik sensörler ekleyerek ağaç yaprak hacmine göre değişken oranlı ilaçlama yapan bir prototip geliştirmişlerdir. Yüksek, düşük ve sıfır olmak üzere 3 ayrı çalışma basıncı için gerekli olan hidrolik devreler tasarlanmış, ultrasonik sensörden gelen sinyallere göre mikrokontrolcü vasıtasıyla gönderilen emirlere göre akış hızı değiştirilmiştir. Düşük akış hızı için kısma valfleri kullanılmıştır. Ultrasonik sensör ilaçlama esnasında memelerin ağaca olan uzaklığını anlık olarak ölçmüş eğer ağaca olan uzaklık fazla ise düşük basınç, uzaklık az ise de yüksek basınç işletilmiştir. Hedef ağaçların başlangıç ve bitişlerinde ultrasonik sensör ile ağaç arası mesafe fazla olduğu durumlarda düşük akış gerçekleştirilmiş, hedef ağacın merkezine gelindiğinde ultrasonik sensör ile ağaç arası mesafenin az olduğu durumlarda ise yüksek akış işletilerek ilaçlama gerçekleştirilmiştir. Sıra üzerinde ağaçlar arası boşluklarda ise makine ilaçlama yapmayı durdurmuştur. Prototip püskürtme sisteminin Navelina çeşit portakal bahçesinde yapılan testleri sonucunda yaklaşık %37 ilaç tasarrufu sağladığı rapor edilmiştir.

Zaman ve ark. (2005), yapmış oldukları çalışmada, DGPS (diferansiyel küresel konumlandırma sistemi) ve ultrasonik sensör ile desteklenen prototip püskürtme sistemi gerçek zamanlı olarak ağaç hacmini tahmin etmiş ve tahmin edilen hacme göre gübre uygulaması yapılmıştır. Makinede dikey olarak konumlandırılmış direğin üzerine 10 adet ultrasonik sensör monte edilmiş, ortalama 1,3 m/s hız ile yapılan uygulama sırasında alınan ölçümlere göre ağaç hacimleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Küçük, Orta ve Büyük boyutlardan olmak üzere toplam 3 ayrı grup ve her grupta 4 ağaç olmak üzere rastgele 12 ağaçtan alınan yaprak örneklerindeki nitrojen seviyeleri ölçülmüştür. Prototip püskürtme sisteminin gübre maliyetinde yaklaşık %39 tasarruf sağladığı rapor edilmiştir.

Solanelles ve ark. (2006), yapmış oldukları çalışmada, yardımcı hava akımlı bahçe pülverizatörüne ultrasonik sensörler ve solenoid valfler eklenerek bir prototip tasarlanmıştır. Montaj işlemleri laboratuvarda tamamlandıktan sonra makine bahçede test edilmiştir. Memelerin bulunduğu iki ayrı kol ve her bir kolda üç adet nozzle olmak üzere toplam altı adet meme, ilaçlama makinesine monte edilmiş ve memelerin bağlı olduğu bu kolun 80 cm önüne iki adet ultrasonik sensör yerden 120 cm ve 200 cm yüksek olacak şekilde yerleştirilmiştir. İlaçlama sırasında istenen basınçtan daha düşük değerlerden kaçınmak için her bir memeye basınç kontrol valfi bağlanmıştır. İlaç akış hızı, ultrasonik sensörlerden ölçülen ağaç genişliği ve bahçedeki maksimum ağaç genişliği arasındaki bağıntıya göre anlık olarak değiştirilmiştir. Tasarlanan prototip zeytin, armut ve elma bahçelerinde farklı ağaç geometrileri üzerinde test edilmiştir. Yapılan testler sonucunda prototip püskürtme sistemi geleneksel püskürtme sistemine göre, zeytin bahçesinde %70, armut bahçesinde %28 ve elma bahçesinde %39 ilaç tasarrufu sağladığı rapor edilmiştir.

Gil ve ark. (2007), yapmış oldukları çalışmada, yardımcı hava akımlı ilaçlama makinesine yerleştirilen 3 adet ultrasonik sensör ile bitki boyutlarını ölçülmüş ve bu ölçülere göre değişken oranlı ilaçlama yapılarak sonuçlar geleneksel ilaçlama makinesi ile kıyaslanmıştır. Yapılan denemeler İspanya'da bulunan Catalonia Polytechnic Üniversitesine ait araştırma arazisinde Cabernet Sauvignon çeşit üzüm bahçesinde gerçekleştirilmiştir. Her on santimetrede bir, bitki hacmi 3 farklı yükseklik için (alt, orta, üst) tahmin edilip ölçülen hacme göre solenoid valflere gönderilen voltaj değerleri ile akış hızı değiştirilmiştir. Bahçedeki sıralar arası mesafe 3 metre, sıra üstü mesafe ise 2 metre olarak belirtilmiştir. Denemeler iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada geleneksel ilaçlama makinası sabit oranla (300 litre/hektar) ilaçlama yapmış ikinci aşamada ise prototip püskürtme sistemi ağaç boyutlarına göre değişken oranlı ilaçlama gerçekleştirmiştir. Geleneksel ilaçlama makinesi ile kıyaslandığında ultrasonik sensör destekli prototip püskürtme sistemi ortalama %58 daha az ilaç sarfiyatına

rağmen yapraklardaki ilaç kaplama oranının geleneksel ilaçlama makinesi ile benzer olduğu bildirilmiştir.

Jeon ve ark. (2011), yapmış oldukları çalışmada, deneysel olarak yeni tasarladıkları değişken oranlı ilaçlama makinesini ilaç birikimi, kaplama oranı ve damla yoğunluğu konularında geleneksel ilaçlama makinesi ile kıyaslamışlardır. Geleneksel makinenin üzerine eklenen beş adet ultrasonik sensör ve darbe genişlik modülasyonu kontrollü solenoid valfler sayesinde hedef ağacın taç hacmi hesap edilip her ağaç için gereken miktarda ilacın atılması için solenoid valfin darbe genişlik oranları gerçek zamanlı olarak değiştirilerek püskürtme yapılmıştır. Altı farklı çeşit üzerinde yapılan testlerde; ilaç birikimini ölçmek için, %56 gözenekli 51x51 mm monofilament nylon ızgara, kaplama oranını ve damla yoğunluğunu ölçmek için 26x76 mm suya duyarlı kağıtlar kullanılmış, bu numune alıcılar denemelerde kullanılan ağaçların taçlarının içlerine yerleştirilmiştir. Her püskürtme aşamasından sonra numune alıcılar toplanıp ayrı ayrı cam şişelere veya kâğıt saklama kabına koyularak muhafaza edilmiştir. Sonrasında ızgaralar 15 ml saf su ile cam kavanozun içerisine koyularak yıkanmış ve bu çözeltilerden 4 ml örnek alınarak spektrometrede analiz edilmiştir. Suya duyarlı kağıtlar ise 24 saat kurumaya bırakıldıktan sonra 600 dpi çözünürlüğündeki tarayıcı ile taranıp kaplama oranları ve damla yoğunluğunu belirlemek için bilgisayar programı ile analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarında değişken oranlı ilaçlama işleminin, geleneksel sabit oranlı ilaçlama ile kıyaslandığında %86, ağaç sıra hacmi esas alınarak yapılan ilaçlama ile kıyaslandığında ise %70,8'e varan ilaç tasarrufu sağladığı rapor edilmiştir.

Llorens ve ark. (2010), yapmış oldukları çalışmada, geleneksel ilaçlama uygulaması ile değişken oranlı ilaçlama, Merlot, Cabernet Sauvignon ve Tempranillo olmak üzere 3 ayrı üzüm çeşidinde 2 farklı büyüme aşamasında uygulanıp karşılaştırılmıştır. Prototip makinenin sol tarafına dikey olarak konumlandırılan direğin üzerine 3 adet meme ve 3 adet ultrasonik sensör ayrıca akış hızını ayarlamak için kullanılacak solenoid valfler monte edilmiştir. Hedef

ağaç alt, orta, üst olmak üzere 3 ayrı bölgeye ayrılmış ve ultrasonik sensörden gelen sinyallere göre meme ile ağaç arası mesafe ölçülerek ağaç yarıçapı hesap edilmiştir. Elde edilen bu veriler ile uygulanacak ilaç hacmi anlık olarak hesap edilmiştir. Değişken oranlı ve geleneksel ilaçlama uygulamalarındaki farklılıkları tespit etmek için numune ağaçlar 12 ayrı bölgeye ayrılmış ve 3 tekerrürlü yapılan denemeler sonucunda numune ağaçlardan toplanan yaprak örnekleri saklama poşetlerine alınarak laboratuvarında analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda ultrasonik sensörlerle desteklenmiş değişken oranlı ilaçlama makinesinin, geleneksel ilaçlama makinesi ile ilaçlama uygulamasındaki yaprak kaplama oranına benzer kaplama oranları sağladığı, ayrıca uygulama hacminde yaklaşık ortalama %58 tasarruf sağladığı rapor edilmiştir.

Xiongkui ve ark. (2011), yapmış oldukları çalışmada, yardımcı hava akımlı bahçe pülverizatörünü kızılötesi sensörle desteklemiş, ağaç tacının varlığını ve yokluğunu tespit ederek uygulanan ilaç miktarında tasarruf sağlamayı amaçlamışlardır. Ağacın üst, orta ve alt kısımlarını algılayabilecek şekilde yerleştirilen 3 adet kızılötesi sensör yardımcı hava akımlı bahçe pülverizatörüne monte edilmiş ve sensörler ağaç tacına yaklaşık 40-60 cm uzaklıktayken denemeler gerçekleştirilmiştir. Kızılötesi sensörler ağaç tacını tespit ettiğinde ilaçlama yapılmış tespit etmediğinde ise solenoid valfler kapatılarak ilaçlama işlemi durdurulmuştur. Yapılan testlerin sonucunda hedef tespit eden yeni ilaçlama makinasının pestisit kullanımını %50-%75 oranında azaltabileceği belirtilmiştir.

Jejcic ve ark. (2011), yapmış oldukları çalışmada, ultrasonik sensörlerle desteklenmiş yardımcı hava akımlı pülverizatörü ile elma bahçesinde denemeler yapmış, yeni tasarlanan ilaçlama makinesi ile makinenin ilk halini kıyaslamışlardır. Ultrasonik sensörler sayesinde ağacın varlığı ve yokluğu tespit edilmiş bu sayede ilaçlama başlatılmış veya durdurulmuştur. Hedef ağaç taçlarının ve ağaçlar arası boşlukların üst, orta ve alt kısmında konumlandırılan suya duyarlı kağıtlar ve yapay yapraklar sayesinde ilaç kaplama ve depolanma oranları her iki makine için belirlenmiştir. Ağaçların tüm konumlarında yeni tip ilaçlama makinesinin kaplama

oranını önemli derecede etkilemediği, akış hızını azalttığından dolayı yapraklarda %10 daha az ilaçlama depolandığı belirlenmiştir. Makinenin ilk hali ile kıyaslandığında yeni tasarlanan ilaçlama makinesinin, akış hızında 0,29 l/min kadar tasarruf sağladığı, püskürtme memelerinin toplam çalışma süresini 53,56 saniyeden 42.74 saniyeye indirdiği ve yaklaşık %20,2 ilaç tasarrufu sağladığı rapor edilmiştir.

Önler (2012), yaptığı çalışmada, radyal fanlı turbo atomizör'e ultrasonik sensör, anahtarlama devre ve mikro denetleyici devre, solenoid valf, elektronik kontrol ünitesi ve püskürtme memelerinden oluşan sistemi ekleyerek, hedef ağaçların gerçek zamanlı olarak hesap edilen yaprak alan indeksine göre değişken oranlı ilaç püskürtmeyi amaçlamıştır. Makinenin sol ve sağ tarafına toplam dört adet kol ve her bir kol'a farklı debilere sahip üç adet püskürtme memesi monte edilmiştir. Gerçek zamanlı olarak hesap edilen yaprak alan indeksi değerine bağlı ağaç taç hacmine göre gerekli olan akış oranı belirlenip, uygun memenin solenoid valf vasıtasıyla açılması sağlanıp hedef ağaca doğru oranda ilaç püskürtülmeye çalışılmıştır. Denemeler Granny Smith (*Malus domestica* 'Granny Smith') ve Gala (*Malus domestica* Royal Gala) çeşidi 5 yaşındaki elma ağaçlarında test edilmiştir. Numune ağaçlara ilaç birikim miktarını belirlemek için suya duyarlı kağıtlar yerleştirilmiş ve bu kağıtlar deneme sonrasında toplanıp analiz edilmiştir. 100 s boyunca yapılan testlerin sonucunda klasik ilaçlama sistemi toplam 12.5 l ilaç püskürtürken yeni tasarlanan sistemin 5.6 l ilaç püskürttüğü rapor edilmiştir.

Stajnko ve ark. (2012), yapmış oldukları çalışmada, ultrasonik sensörler tabanlı bir otomatik ilaçlama makinesi prototipi geliştirmişlerdir. Algılama sistemi ve kullanılan algoritma laboratuvar koşullarında tasarlanıp test edilmiş, sonrasında bahçe koşullarında doğrulanmıştır. Prototipte memelerin ön tarafına yerleştirilen bir direğin üzerine 3 adet ultrasonik sensör aralıklı bir şekilde monte edilmiş ve sensörlerden gelen sinyallere göre ağaç tacının varlığı veya yokluğu tespit edilmiştir. Traktörün hızına göre solenoid valflere gecikmeli olarak aç kapa emri verilip bu sayede uygulanan ilaç miktarında tasarruf yapılması amaçlanmıştır.

Ultrasonik sensöre yansıyan sinyaller yeterince yüksek ise solenoid valfler açılıp ilaçlama yapılmış, değil ise solenoid valfler kapatılıp ilaçlama işlemi durdurulmuştur. Prototip püskürtme sisteminin başarısını değerlendirmek için 5 adet numune ağaç seçilmiş ve bu ağaçlarının iç bölgesine 9 adet, ağaçlar arasındaki boşluklara 3 adet olmak üzere toplam 12 adet suya duyarlı kâğıt yerleştirilmiştir. 6 yaşındaki "Gala" çeşidi elma bahçesinde yapılan testin sonucuna göre tasarlanan prototip püskürtme sistemi %48,15'e varan bir ilaç tasarrufu sağlamış, ağaç tacının bazı bölgelerinde bu oran %37,7'ye kadar gerilerken ağaçlar arası boşluklarda %65,1'e kadar artmıştır.

Wei ve ark. (2015), yapmış oldukları çalışmada, meyve bahçelerinde ilaç tasarrufu sağlamak için hedef tespit eden kızılötesi sensör destekli akıllı insektisit ilaçlama makinesi tasarlamışlardır. Traktörün ön tarafına yerleştirilen kızılötesi sensörler sayesinde ağaç tacı tespit edilmiş, traktörün anlık hızına göre solenoid valflere gecikmeli aç kapa emri verilerek ağaç arası boşluklara ilaç atılmasını önlemeye çalışmışlardır. 0,3 m/sn, 1,0 m/sn, 1,5 m/sn traktör hızlarında 4 farklı vişne ağacında yapılan testlerde ağaç tacının başarılı bir şekilde tespit edilebildiği ve çalışma basıncının 0.50 MPa'dan daha düşük olduğu durumlarda solenoid valflerin %100 başarı ile açılıp kapandığı rapor edilmiştir.

Maghsoudi ve ark. (2015), yapmış oldukları çalışmada, alt, orta ve üst olmak üzere 3 ayrı yüksekliğe yerleştirilen ultrasonik sensörlerden gelen sinyaller yapay sinir ağları tarafından yorumlanmış, pompa ile meme boru hattının ortasına eklenen 3 adet servomotor ile vanaların açıklık ayarı değiştirilmiş ve bu sayede ilaç akış hızı anlık olarak değiştirilmiştir. Prototip makine tekerleğine montaj edilen enkoder sayesinde aracın ilerlemesi hesap edilerek ağaç tacının genişliğinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Ultrasonik sensörlerden gelen sinyaller yapay sinir ağları ile yorumlanmış ve ağaç hacmi hesap edilmeye çalışılmıştır. Yapılan denemelerin sonucunda prototip püskürtme sistemi geleneksel püskürtme sistemi ile kıyaslandığında, ilaçlama kalitesinde herhangi önemli bir fark bulunmamasına

rağmen, ağaç üst bölgesinde %41,3, orta bölgede %25,6 ve alt bölgede yaklaşık %36,5 olmak üzere ortalama %34,5 ilaç tasarrufu sağladığı rapor edilmiştir.

Tewari ve ark. (2018), yapmış oldukları çalışmada, sensör tabanlı otomatik ilaçlama makinesi tasarlamışlardır. Tasarlanan makine Hindistan'da bir nar araştırma bahçesinde test edilmiştir. Ultrasonik sensör tabanlı olan bu ilaçlama makinesinde memelerin montajlandığı direk üç eşit uzunluğa bölünmüş ve her bir bölüme üç adet turbojet meme ve ultrasonik sensör monte edilmiştir. Ultrasonik sensör ağaç tacı tespit ettiğinde ilaçlama yapılmış, sıra üzeri boşluklarda ise ilaçlama otomatik olarak kapatılmıştır. Sabit oranlı ve sensör destekli olarak yapılan denemelerde, turbojet meme ve içi boş konik meme olmak üzere 2 ayrı meme kullanılarak karşılaştırılmıştır. Makinenin ilaç kaplama oranında ki başarısını değerlendirmek için, test edildiği bahçede 24 adet numune ağaç belirlenmiş ve ağaçların ilaçlama yapılan yüzeyine 6 adet ve ağaç tacının içine 3 adet olmak üzere suya duyarlı kağıtlar yerleştirilmiştir. Yapılan testlerin sonucunda uygulanan ilaç miktarları kıyaslandığında, ultrasonik sensör tabanlı makinenin sıra üzeri boşluklarda cm^2 ye yaklaşık 172 damla ve daha az ilaç atarak ilaç tasarrufu sağladığı tespit edilmiştir. Ultrasonik sensör tabanlı turbo memeli ilaçlama makinesinin %26 ilaç tasarrufu sağladığı ve ilaçlama işleminde turbo memenin içi boş konik memeden daha başarılı olduğu belirtilmiştir.

Overbeck ve ark. (2019), yapmış oldukları çalışmada, kızılötesi sensörler ile desteklenen prototip püskürtme sisteminin testlerinde, kızılötesi sensörler 15 cm arayla dik bir çubuğa yerleştirilmiş ve memelerin 2,8 metre önüne konumlandırılmıştır. Memelerin bağlandığı solenoid valflere gecikmeli aç-kapa emri verilerek ilaç sarfiyatında tasarruf sağlanması amaçlanmıştır. Kızılötesi sensörler ağaçlar arası boşluk algıladığında solenoid valflere kapa emri gönderilerek akış durdurulmuş ağaç tacı tespit edildiğinde de solenoid valfler açılarak ilaçlama başlatılmıştır. Prototip püskürtme sistemi keskin ve güvenli olmak üzere iki farklı modda denenmiştir. Yaprakların yoğun olduğu durumda

keskin mod'un %41 güvenli mod'un %0, genç ağaçlarda keskin mod'un %69 güvenli mod'un ise %30 ilaç tasarrufu sağladığı belirtilmiştir.

Salcedo ve ark. (2020), yapmış oldukları çalışmada, darbe genişlik modülasyonu ile kontrol edilen yardımcı hava akımlı pülverizatörü ile 2 yaşındaki elma ağaçlarında ilaçlama testleri gerçekleştirip, yapraklardaki ilaç birikimini ve kaplama oranını belirlemeye çalışmıştır. Pülverizatöre; el ile kontrol edilen darbe genişlik modülasyonu kontrollü sistem (sabit oranlı ilaçlama), lazer sensör destekli darbe genişlik modülasyonu kontrollü sistem (değişken oranlı ilaçlama), lazer sensör destekli sistem (sabit oranlı ilaçlama) olmak üzere toplam 3 ayrı sistem eklenmiş ve bu üç sistemin ağaçlar üzerindeki ilaç birikim miktarı ve ilaç kaplama oranları kıyaslanmıştır. Yapılan denemelerde ilaç birikimini ve kaplama oranını ölçmek için, 38 mm çapında paslanmaz çelikten yapılan tel süzgeç ve 26 x 76 mm ölçülerinde suya duyarlı kâğıt kullanılmıştır. Bu numune alıcılar, Her dört sıradan rasgele seçilen 3 ağacın üst, orta, alt, sol ve sağ olmak üzere toplam 5 bölgesine yerleştirilmişlerdir. Numune alıcılar, ilaç damlalarını başarılı bir şekilde yakalayabilmek için ağacın dış tarafına, pülverizatör memelerinin püskürtme yaptığı yüzeye paralel olarak konumlandırılmıştır. 73,8 metre uzunluğundaki sıra üzerinde yapılan püskürtme testlerinin sonucunda, lazer sensör destekli darbe genişlik modülasyonu kontrollü sistemin uygulama hacminin 55 L/ha, el ile kontrol edilen darbe genişlik modülasyonu kontrollü sistemin 169 L/ha ve lazer sensör destekli sistemin 232 L/ha olduğu rapor edilmiştir. Lazer sensör destekli darbe genişlik modülasyonu kontrollü sistemin uygulama hacminin bu kadar düşük olmasının nedeninin, sistemin ağaçlar arasındaki boşlukta ilaçlama yapmayı kesip, ilaçlama yapılacak her bir ağaç için hacim hesabı yaptıktan sonra gereken miktarda ilaç püskürttüğünden kaynaklandığı belirtilmiştir. Ayrıca ilaç kaplama oranları incelendiğinde lazer sensör destekli darbe genişlik modülasyonu kontrollü sistemin yüksek bir homojenlik sağladığı, ilaç birikimi ve kaplama oranı arasında diğer iki sistemden daha güçlü bir ilişki bulunduğu rapor edilmiştir.

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Denemede Kullanılan Bitkisel Materyal

Çalışmada bitki tacına ait gerek geometrik ölçülerin gerekse taç hacminin manuel olarak daha hassas belirlenmesi için meyve ağacı yerine taç şekli belli geometrik biçime sahip (budama ile şekillendirilmiş) Ligustrum (Kurtbağrı) cinsi çalı tipi bitkiler kullanılmıştır (Şekil 3.1.). Bitki tacının ultrasonik sensörlerden alınan verilerle hesaplanması esnasında potansiyel çevresel etkileri kontrol altına almak ve püskürtme ünitesini hassas düzenlerle işletmek için denemeler laboratuvar koşullarında yürütülmüştür. Şekil 3.1’de verilen Ligustrum bitkisinin taç yüksekliği 1,8 m ve en geniş taç çapı ise 0,86 m olarak ölçülmüştür.

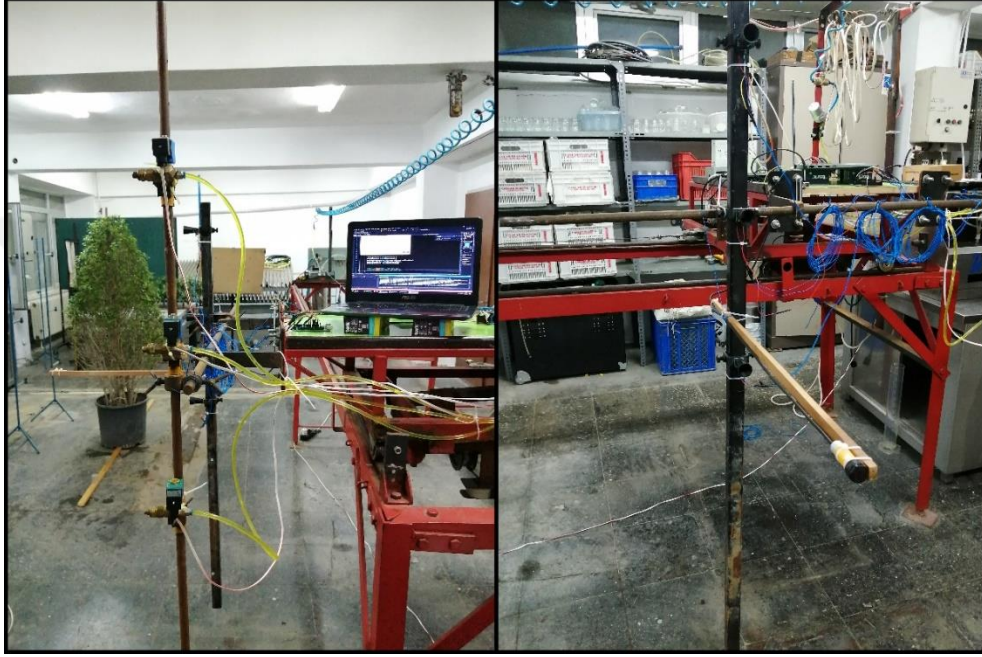


Şekil 3.1. Denemede kullanılan Ligustrum bitkisinin taç biçimi

3.1.2. Prototip Püskürtme Sistemi

Çalışmada tasarlanan ve imalatı yapılan prototip püskürtme sistemi, elektronik kontrol sistemi, püskürtme sistemi, yazılım sistemi ve püskürtme sisteminin farklı hızlarda ilerlemesini sağlayan raylı sistem olmak üzere toplam

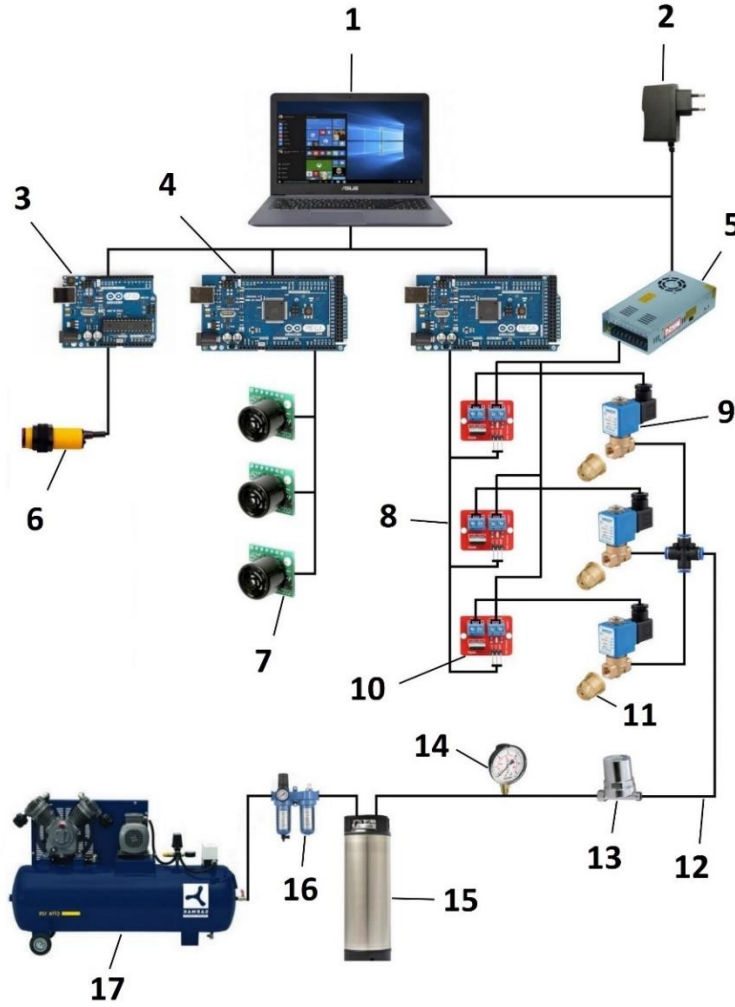
dört ana bölümden oluşturulmuştur. Prototip püskürtme sistemin tüm bileşenleri, raylı sistem üzerine monte edilmiş ve bu sayede prototip püskürtme sistemi kendi yürür biçimde test edilmiştir (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Prototip püskürtme sistemi

Prototip püskürtme sistemindeki elektronik kontrol sistemi ve püskürtme sistemini oluşturan tüm elemanlar, yazılım sistemi ile kontrol edilmiştir. İlgili sistemlerin birbirine bağlantı durumları Şekil 3.3.'de verilmiştir. Şekil 3.3'de de görüldüğü üzere prototip olarak imal edilen püskürtme sisteminde, arduino uno geliştirme kartı (3) üzerinde çalışan kızılötesi sensörden (6) gelen ağacın varlığını veya yokluğunu belirten sinyale göre sistem tetiklenmektedir. Kızılötesi sensör ağacın var olduğunu belirten sinyali ilettiğinde, bilgisayar (1) üzerinde çalışan yazılım sistemi arduiuno mega (4) üzerinde çalışan ultrasonik sensörleri (7) dinleyerek, yapılan ölçümlere göre ağacın üst, orta ve alt bölgelerinin hacim tahminlerini hesaplamaktadır. Kızılötesi sensörden ağacın artık yok olduğunu

belirten sinyal geldiğinde ise yazılım sistemi tarafından tahmin edilen hacim hesabına göre ağaç tacının teorik olarak bölünen 3 bölgesine (üst, orta ve alt) püskürtme memelerinden (11) püskürtülmesi gereken sıvı miktarlarını ayrı ayrı hesaplayarak solenoid valflerin (9) görev çevrim oranlarını belirlemektedir. Görev çevrim oranları belirlendikten sonra arduino megaya gönderilen sinyaller ile solenoid valflerin görev çalışma oranlarının bilgisini tutan yazılımsal değişkenlere ilgili değerler atanmaktadır. Kızılötesi ve ultrasonik sensörlerin gerisinden gelen püskürtme memeleri hedef bitki materyali taç hacmi sınırlarına giriş yaparken sistem tetiklenerek 220V AC (2) ile beslenen adaptörden (5) enerji alan IRF520 mosfet sürücü modülleri (10) sinyal iletim kabloları üzerinden (8) düzenli olarak tetiklenerek valflerin belirlenen görev çevrim oranlarında çalışması sağlanmaktadır. Püskürtme memeleri hedef bitki materyali taç hacmi sınırından çıkış yaparken IRF520 mosfer sürücü modülleri yazılım sistemi tarafından tetiklenerek valflerin kapalı konuma alınıp püskürtme durdurulmaktadır. Denemeler sırasında prototip püskürtme sistemi tarafından püskürtülen sıvıyı basınçlandırmak için hava kompresöründen (17) gelen basınçlandırılmış hava, şartlandırıcı (16) ile basıncı sabitlenerek sıvı basınçlandırma tankına (15) gönderilmektedir. Basınçlandırma tankının içinde bulunan püskürtme sıvısı bu şekilde basınçlandırılarak basınçlı sıvı iletim hattına (12) basılmaktadır. Sistemdeki basınç dalgalanmalarını önlemek için sıvı iletim hattına koç darbesi sönümleyicisi (13) monte edilmiş ve sistem basınç değeri manometre (14) üzerinden takip edilmiştir. Prototip üzerinde kullanılan donanımlar aşağıdaki alt başlıklarla detaylı olarak açıklanmıştır.



Şekil 3.3. Prototip püskürtme sistemi bileşenlerinin bağlantı şeması

3.1.2.1. Elektronik Kontrol Sistemi

Elektronik kontrol sistemi prototip püskürtme sisteminin en temel bölümünü oluşturmaktadır. Püskürtme sistemi üzerinde bulunan ve elektrik enerjisi ile çalışan her eleman, bu sisteme entegre şekilde bağlanmıştır. Ayrıca püskürtme sistemi de elektronik kontrol sistemi üzerinden yönetilmektedir. Bu çalışmada elektronik kontrol sistemini oluşturan elemanlar başlıklar halinde aşağıda verilmiştir.

3.1.2.1.(1). Ultrasonik Sensör

Prototip püskürtme sisteminin başarılı bir şekilde çalışabilmesi için sistemde kullanılacak sensörün hızlı ve yüksek doğruluk ile ölçüm yapabilmesi gerektiğinden dolayı, piyasadan kolayca temin edilebilecek ve fiyat/performans açısından başarılı ultrasonik sensörler araştırılmıştır. Bulunan seçenekler arasında, kullanıcılardan alınan olumlu yorumlar, ağaçlar üzerinde başarılı ölçüm yeteneği, dış ortamlarda çalışabilmeye elverişli oluşu ve uygun fiyatı göz önünde bulundurularak Maxbotix markasının LV-EZ4 model ultrasonik sensörleri tercih edilmiştir (Şekil 3.4.). Sensörün teknik özellikleri çizelge 3.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Prototip püskürtme sisteminde kullanılan ultrasonik sensör

Çizelge 3.1. Prototip püskürtme sisteminde kullanılan ultrasonik sensörün teknik özellikleri

Algılanabilen Minimum Mesafe	15.24 cm
Algılanabilen Maksimum Mesafe	645 cm
Çözünürlük	2.54 cm (15,24 cm- 645 cm arasında)
Çıkışlar	RS232 Seri, PWM ve Analog çıkış
Çalışma Gerilimi	2.5V- 5.5V
Okuma Hızı	20 Hz (Saniyede 20 okuma)
En Düşük İşletme Sıcaklığı	-40°C
En Yüksek İşletme Sıcaklığı	+65°C

3.1.2.1.(2). Kızılötesi Sensör

Denemede prototip püskürtme sistemi önünde ağacın/bitkinin var olup olmadığının bilgisi kızılötesi sensör tarafından sağlanmıştır (Şekil 3.5.). Sahip olduğu tepki süresi ile nesneleri hızlı bir şekilde algılayabilen kızılötesi sensör, prototip püskürtme sisteminde püskürtmenin başlama ve bitiş zamanını ayarlamak için kullanılmıştır. Kızılötesi sensörün teknik özellikleri çizelge 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.5. Prototip püskürtme sisteminde kullanılan kızılötesi sensör

Çizelge 3.2. Prototip püskürtme sisteminde kullanılan kızılötesi sensörün teknik özellikleri

Besleme voltajı	5v
Akım Tüketimi	25mA (min) ~ 100mA (max)
Boyutlar	1.7cm (çap) x 4.5cm (uzunluk)
Kablo uzunluğu	45cm
Nesne algılaması	saydam ya da mat
Ölçüm aralığı	3cm - 80cm (engelin yüzeyine bağlı olarak değişebilir)
NPN çıkış	(normal 1)
Çalışma sıcaklık aralığı	-25 °C ~ 55 °C

3.1.2.1.(3). Bilgisayar

Çalışmada elektronik ve püskürtme sistemlerini kontrol etmek ve ağaç taç hacminin ölçümü için gerekli olan matematiksel işlemleri gerçekleştirebilmek için Asus marka n580VD dm516t model bir bilgisayar kullanılmıştır. Kullanılan bilgisayara ait kapasite ve bazı önemli teknik özellikleri çizelge 3.3.'de verilmiştir.

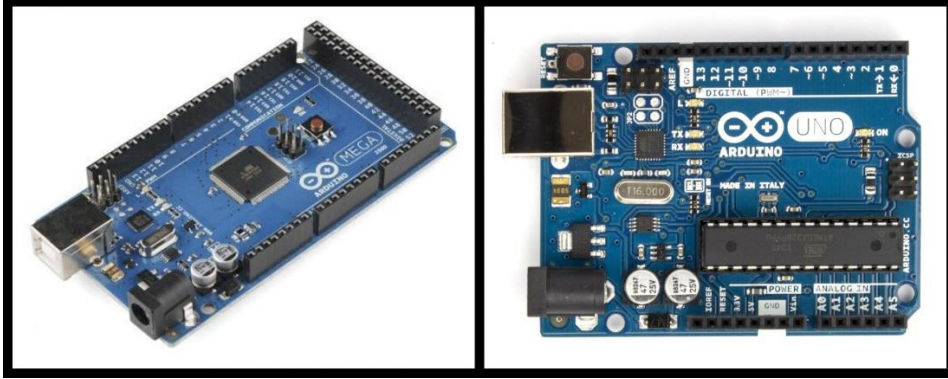
Çizelge 3.3. Bilgisayarın teknik özellikleri

Marka	Asus
Ürün Tipi	Notebook
Ürün Serisi	VivoBook Pro 15 N580VD
İşletim Sistemi	Windows 10
Ekran Boyutu	15.6 İnç
Ekran Çözünürlüğü	1920x1080 Piksel
Ekran Çözünürlük Biçimi	FHD
Genişlik	380 mm
Derinlik	256 mm
Kalınlık	19.0 mm
Ağırlık	1.99 kg
İşlemci Modeli	Intel Core i7-7700HQ
İşlemci Temel Frekans	2.80 GHz
İşlemci Çekirdeği	4 Adet
Sanal Çekirdek	8 Adet
İşlemci Önbellek	6 MB
Transistör Mesafesi	14 nm
İşlemci Teknolojileri	Intel Hyper-Threading Intel Identity Protection Technology Intel My WiFi Intel Smart Response Technology Intel Speed Shift Technology Intel SpeedStep Intel Turbo Boost 2.0 Intel Virtualization Technology Thermal Monitoring Technologies

Bellek (RAM)	16 GB
Bellek Türü	DDR4
Bellek Yuvası Özellikleri	2 Adet
Sabit Disk (HDD) Boyutu	1 TB
Sabit Disk (SSD) Boyutu	500 GB
GPU Modeli	NVIDIA GeForce GTX 1050 4GB
GPU Çekirdek Hızı	1354 MHz
GPU Azami Çekirdek Hızı	1493 MHz
GPU Transistör Mesafesi	14 nm
GPU Bellek Türü	DDR5
GPU Bellek Arayüzü	128 bit
GPU Bellek Miktarı	4 GB
Dahili Grafik Modeli	Intel HD Graphics 630
Dahili Grafik Temel Frekans	350 MHz
Dahili Grafik Azami Frekans	1.1 GHz
Dahili Grafik Diğer Özellikler	Intel Clear Video HD Technology Intel Clear Video Technology Intel InTru 3D Teknolojisi Intel Quick Sync Video4K Desteği

3.1.2.1.(4). Arduino Geliştirme Kartı

Prototip püskürtme sisteminde bulunan sensörlerden gelen sinyalleri dinlemek, gelen sinyalleri bilgisayara iletmek ve solenoid valfleri kontrol etmek için Arduino gelişme kartı kullanılmıştır. Kızılötesi sensör, ultrasonik sensörler ve mosfetler için birer tane olmak üzere sistemde toplam 3 adet Arduino kart kullanılmıştır. Her bir kart bilgisayara ayrı ayrı portlardan bağlanarak dinlenmiş ve mosfetlere gereken emirler bağlı olduğu port üzerinden iletilmiştir. Ultrasonik sensör ve mosfet için üzerinde fazlaca pin bulunan Arduino Mega, kızılötesi sensör içinse Arduino Uno modeli kullanılmıştır (Şekil 3.6.). Kartların teknik özellikleri Çizelge 3.4 ve 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.6. (a) Arduino Mega ve (b) Arduino Uno

Çizelge 3.4. Arduino Mega'nın teknik özellikleri

Mikrodenetleyici	Atmega2560
Çalışma Gerilimi	5V
Giriş Gerilimi (önerilen)	7-12V
Giriş Gerilimi (limit)	6-20V
Dijital I/O Pinleri	54 (15 tanesi PWM çıkışı)
Analog Giriş Pinleri	16
Her I/O için Akım	40 mA
3.3V Çıkış için Akım	50 mA
Flash Hafıza	256 KB (Atmega2560) 8 KB kadarı bootloader tarafından kullanılmaktadır
SRAM	8 KB (ATmega2560)
EEPROM	4 KB (ATmega2560)
Saat Hızı	16 MHz
Uzunluk	101.6 mm
Genişlik	53.4 mm
Ağırlık	36 g

Çizelge 3.5. Arduino Uno'nun teknik özellikleri

Mikrodenetleyici	ATmega328P
Çalışma Gerilimi	5V
Giriş Gerilimi (önerilen)	7-12V
Giriş Gerilimi (limit)	6-20V
Dijital G/Ç Pinleri	14 (6 tanesi PWM çıkışı)
Analog Giriş Pinleri	6
Her G/Ç için Akım	40 mA
3.3V Çıkış için Akım	50 mA
Flash Hafıza	32 KB (ATmega328) 0.5 KB kadarı bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Saat Hızı	16 MHz
Uzunluk	68.6 mm
Genişlik	53.4 mm
Ağırlık	25 g

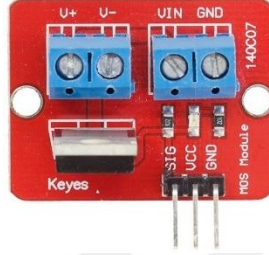
3.1.2.1.(5). IRF520 MOSFET Sürücü Modülü

Solenoid valflerin PWM ile sürülmesini sağlayan modüldür. Üzerinde modüle ismini veren ve N kanal bir mosfet olan IRF520, çıkış gösterge ledi, voltaj giriş-çıkış pinleri ve bağlantı pinleri bulunmaktadır (Şekil 3.7.).

SIG pininden tetiklenen mosfet, çalışmada arduino uno üzerinden gönderilen PWM sinyaller ile kontrol edilmiştir. Arduino üzerinden SIG pinine gönderilen PWM sinyali 0V değerinde olduğunda, mosfet üzerinden akımın geçmesine izin vermediğinden dolayı solenoid valf kapanmakta, 5V değerinde olduğunda ise akımın geçmesine izin vererek valf açılmaktadır.

Mosfet çok hızlı bir şekilde açılıp kapanabilen bir anahtarlama elemanı olduğundan dolayı, solenoid valfi saniyede defalarca açıp kapatabilmek için

çalışmada IRF520 mosfet sürücü modülü kullanılmıştır (Şekil 3.7.). Modülün teknik özellikleri Çizelge 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.7. Solenoid valflerin PWM ile sürülmesinde kullanılan sürücü modülü

Çizelge 3.6. Sürücü modülünün teknik özellikleri

Tetikleme sinyali	3.3V, 5V
Çıkış gerilimi	0-24V DC
Çıkış akımı	0-5A

3.1.2.1.(6). Adaptör

Solenoid valfleri beslemek için kullanılan metal kasa switch mod adaptörden oluşmaktadır (Şekil 3.8.). Adaptörün 3 ayrı çıkışı ve soğutucu fanı bulunmaktadır. Şehir hattından çekilen alternatif akımı, doğru akıma çevirerek mosfet sürücü modülü üzerinden valflere enerji sağlamaktadır. Adaptörün teknik özellikleri Çizelge 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.8. Solenoid valflere enerji sağlayan adaptör

Çizelge 3.7. Adaptörün teknik özellikleri

Ürün Kodu	MT-350-12
Ürün Boyutları	227*115*50
Çıkış Akımı	29A
Giriş Voltajı	100-240V AC
Güç	348W
Çıkış Gerilimi	12V DC

3.1.2.2. Püskürtme Sistemi

Denemelerde kullanılan sıvının basınçlandırılması, iletilmesi ve püskürtülmesinde görev yapan elemanlardan oluşan sistemdir. Sistemi oluşturan elemanlar aşağıdaki başlıklar altında açıklanmıştır.

Solenoid Valfler: Çalışmada normalde kapalı genel maksat solenoid valf kullanılmıştır (Şekil 3.9.). Valfin teknik özellikleri çizelge 3.8.’de verilmiştir.



Şekil 3.9 Prototip püskürtme sisteminde kullanılan genel maksat solenoid valf

Çizelge 3.8. Genel maksat solenoid valfin teknik özellikleri

Seri	S10 Serisi
Uygulama	Hava, Su, Gaz
Ölçü	1/4" Direk Çekmeli
Basınç	0...16 Bar
Kovan, Çekirdek	Paslanmaz
Gövde	Pirinç
Diyafram	NBR
Sıcaklık	-10°C...80 °C
Pozisyon	Normalde Kapalı
Bobin Gerilimi	12 V DC
Koruma Sınıfı	IP65, IP68

Sıvı basınçlandırma tankı: Denemelerde püskürtülecek sıvının basınçlandırılması için Cornelius fiçisi (tankı) kullanılmıştır (Şekil 3.10). Fiçinin üzerinde bir adet hava girişi ve bir adet sıvı çıkışı olmak üzere toplam iki yol bulunmaktadır. Bir hava kompresöründen gelen basınçlı hava, tankın içinde basınç oluşturarak içeride bulunan sıvıyı çıkış yoluna gitmeye zorlamaktadır. Bu sayede tankın içinde bulunan sıvı basınçlandırılarak püskürtme hattını besleyen hortum üzerinden memelere ulaşmaktadır.



Şekil 3.10. Denemede kullanılan cornelius fiçisi dış ve kesit görünüşü

Püskürtme memeleri: Denemelerde Spraying Systems Co. Firmasının CONEJET modeli konik hüzmeli (TX-1) püskürtme memeleri kullanılmıştır. Meme plaketi delik çapı 1. mm olup, nominal basınçtaki (40 psi; 2,75 bar) debisi 1.43 L/min olarak ölçülmüştür. Kullanılan memeler, solenoid valfe bir ara parça kullanılarak montaj edilmiştir. Denemeler sırasında oluşabilecek su sızmalarının önüne geçebilmek için meme ve solenoid valfi birbirine bağlayan ara parçanın dışlarına teflon sarılmıştır (Şekil 3.11.).



Şekil 3.11. Denemelerde kullanılan meme bağlantı aparatların bir arada görünümü

Hava Kompresörü: Denemelerde sıvı basınçlandırma tankı için gereken hava basıncını sağlamak için Sarmak marka ÇİTA 217 model pistonlu hava kompresörü kullanılmıştır (Şekil 3.12.). Püskürtme testleri gerçekleştirilmeden önce kompresör tankı basınçlı hava ile tamamen doldurularak basınçlı hava hazır bir şekilde testler gerçekleştirilmiştir. 15 bar çalışma basıncına kadar çalışabilen kompresör sayesinde testler için gerekli basınç her an sistemde hazır tutulmuştur. Kompresörün teknik özellikleri çizelge 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.12. Sisteme basınçlı havayı sağlayan hava kompresörü

Çizelge 3.9. Hava Kompresörünün teknik özellikleri

Model	Hava Emiş Kapasitesi (lt/dak)	Maks. Çalışma Basıncı (bar)	Silindir Sayısı (1. Kadem e)	Silindir Sayısı (2. Kadem e)	Depo Hac mi (lt)	Nomin al Motor Gücü (kW - HP)		Boyutlar			Ağırlık (kg)
								Uzunlu k (mm)	Genişli k (mm)	Yüksekli k (mm)	
ÇİTA 217	170	15	1	1	150	1,5	2	1.450	470	860	160

Manometre ve Koç Darbesi Sönümleyici: Denemelerde kullanılan sıvının basıncını anlık olarak takip edebilmek için PAKKENS Markasının Gliserinli manometresi, solenoid valfler hızlı bir şekilde açılıp kapanırken yaşanabilecek basınç dalgalanmalarını azaltmak için de CALEFFI markasının koç

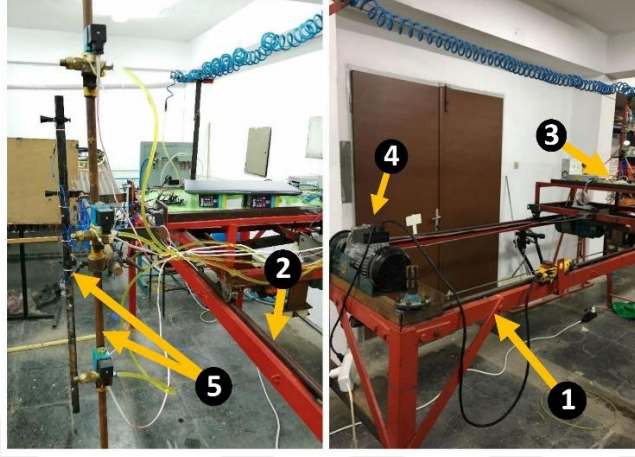
darbesi sönümleyicisi kullanılmıştır. Püskürtme sisteminde sıvı basınçlandırma tankından gelen boru hattı ilk olarak Manometreye bağlanmış, manometreden çıkan hat ise koç darbesi sönümleyicisine ve oradan bölünerek solenoid valflere yönlendirilmiştir (Şekil 3.13.).



Şekil 3.13. Manometre ve koç darbesi sönümleyicisinin montaj hali

3.1.2.3. Raylı Sistem

Prototip püskürtme sistemi, laboratuvarında mevcut bir raylı sistem üzerine monte edilerek kendi yürür bir şekilde test edilmiştir. Yaklaşık 6 metre uzunluğunda olan raylı sistem; ana şase (1), kılavuz raylar (2), araba (3) ve halatlı vinç (4) 'den oluşmaktadır. Raylar üzerinde hareket edebilen arabaya 2 adet düşey metal profil (5) monte edilmiş birinci profile ultrasonik sensörler ikinci profile ise püskürtme memeleri ve valfler sabitlenmiştir. Sistemi oluşturan; bilgisayar, adaptör, mosfetler, arduino geliştirme kartları gibi diğer elemanlar ise arabanın üzerindeki düz zemine (3) konumlandırılmışlardır (Şekil 3.14.).



Şekil 3.14. Denemede kullanılan hareketli raylı sistem; (1) ana şase, (2) kılavuz raylar, (3) araba, (4) halatlı vinç, (5) meme ve sensörleri taşıyan düşey metal profiller

3.1.2.4. Yazılım programı ve algoritma

Prototip püskürtme sistemini yönetmek için, Asus marka n580VD dm516t model bilgisayar üzerinde çalıştırılan C# programlama dili ile işletilen bir algoritma yazılmıştır. Algoritmanın yazılımında girdi veriler olarak sistem hızı, ağaç boyu, ağacın eteğinin yerden yüksekliği, ultrasonik sensörün ucundan ağaç merkezine olan mesafe ve referans hacime püskürtülmesi gereken ilaç miktarı girilmekte ve çıktı veriler ise ultrasonik sensörlerin ucundan ağaç merkezine olan mesafeler, püskürtme yapılacak toplam süre, solenoid valflerin sürüleceği görev çevrim oranları, ağacın üst, orta ve alt bölgelerinin hacim tahminlerinden oluşmaktadır. Yapılan yazılımda kızılötesi sensör ağacı algıladığı anda ultrasonik sensörlerin ölçüm yapma süreci tetiklenerek sistem çalışmaya başlamaktadır. Kızılötesi sensör ağacın yok olduğunu algıladığı anda ise algoritma yapılan hesaplamalar sonucunda elektronik elemanlara gerekli sinyalleri ileterek püskürtme sisteminin çalışmasını sağlamaktadır. Şekil 3.15’de sistem ara yüzünün ekran görüntüsü verilmiştir.

Valf Yüzdeleri	Hacim Yüzdeleri	Anlık	En Küçük	Hacim (cm ³)
Valf 1 40	Sensör1 0,1	77	73,92	43909
Valf 2 40	Sensör2 0,3	75	64,32	94428
Valf 3 70	Sensör3 0,6	61	53,76	172070

Şekil 3.15. Prototip sistemi yöneten yazılım sisteminin veri görüntüsü

Şekil 3.15’de verilen ara yüzde COM9, COM5 portu sırasıyla kızılötesi sensör, ultrasonik sensör veri girişlerini, COM4 portu ise solenoid valflere gönderilen veri çıkışını oluşturmaktadır. Yazılım çalıştırıldığında bağlan komutu ile ilgili yazılım metotları çalıştırılarak elektronik elemanlarla iletişim başlatılmaktadır (Şekil 3.16.).

```
private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    try
    {
        if (kizilOtesiSensorAcikMi == false)
        {
            try
            {
                kizilOtesiPortu.PortName = comboBox1.SelectedItem.ToString();
                kizilOtesiPortu.BaudRate = 9600;
                kizilOtesiPortu.Open();
                kizilOtesiSensorAcikMi = true;
                Thread childThread2 = new Thread(agacTrigge);
                childThread2.Priority = ThreadPriority.Highest;
                childThread2.IsBackground = false;
                childThread2.Start();
                button1.Text = "Bağlantıyı Kes";
                SystemOn = true;
                Thread childThread3 = new Thread(showData);
                childThread3.Priority = ThreadPriority.Highest;
                childThread3.IsBackground = false;
                childThread3.Start();
            }
            catch (Exception err)
            {
                MessageBox.Show(err.Message);
            }
        }
    }
}

private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
{
    try
    {
        if (ultraSonicSensorAcikMi == false)
        {
            try
            {
                ultraSonicPortu.PortName = comboBox2.SelectedItem.ToString();
                ultraSonicPortu.BaudRate = 9600;
                ultraSonicPortu.Open();
                button2.Text = "Bağlantıyı Kes";
                ultraSonicSensorAcikMi = true;
                SystemOn = true;
            }
            catch (Exception err)
            {
                MessageBox.Show(err.Message);
            }
        }
    }
}

private void button3_Click(object sender, EventArgs e)
{
    try
    {
        if (ValfPortuAcikMi == false)
        {
            try
            {
                valfPortu.PortName = comboBox3.SelectedItem.ToString();
                valfPortu.BaudRate = 9600;
                valfPortu.Open();
                button3.Text = "Bağlantıyı Kes";
                ValfPortuAcikMi = true;
                SystemOn = true;
            }
            catch (Exception err)
            {
                MessageBox.Show(err.Message);
            }
        }
    }
}
```

Şekil 3.16. Kızılötesi sensör, ultrasonik sensör ve solenoid valflerin bağlı olduğu arduino kartları entegrasyonu için kullanılan yazılım metotları

Portlarla bağlantılar başlatıldıktan sonra kızılötesi sensörün bağlı olduğu COM9 portu yazılım tarafından sürekli olarak dinlenilmektedir. Kızılötesi sensör hedef bitki materyalini algıladığını belirten sinyali yazılım sistemine ilettiği anda yazılım sisteminde bulunan kronometre aktif hale gelerek çalışmaya başlamakta ve

kızılötesi sensörden aksi sinyal gelene kadar kronometre çalışmaya devam etmektedir. Bu şekilde püskürtme yapılacak toplam süre yazılım tarafından tespit edilmektedir (Şekil 3.17.).

```
public void agacTrigger()
{
    int toplam1 = 0;
    int toplam2 = 0;
    while (SystemOn && kizilOtesiSensoruKimi == true)
    {
        for (int i = 0; i < 10; i++) if (agacVarMiArr[i]) toplam1 += 1;
        for (int i = 10; i < 20; i++) if (agacVarMiArr[i]) toplam2 += 1;
        if ((toplam1 < 3 && toplam2 > 4 && agacBegisimKalinligindaMi == false))
        {
            agacBegisimKalinligindaMi = true;
            agac_degeri = 1;
            UT11.agacsuresi = 0;
            UT11.degerlerIsifirma();
            sw_agacsuresi.Reset();
            sw_agacsuresi.Start();

            Thread childThread = new Thread(GayacBaslat);
            childThread.Priority = ThreadPriority.Highest;
            childThread.Start();
            Console.WriteLine("//////////AGAC GELDI ////////////");
        }
        else if (toplam2 < 5 && toplam1 > 8 && agac_degeri == 1)
        {
            agac_degeri = 0;
            sw_agacsuresi.Stop();
            UT11.agacsuresi = (double)sw_agacsuresi.ElapsedMilliseconds;
            agacBegisimKalinligindaMi = false;
            UT11.AgacHaberUal();
        }
    }
}
```

Şekil 3.17. Kızılötesi çalışmaya başladığı anda çalışma başlayan yazılım fonksiyonu

Kızılötesi sensör hedef bitki materyalini var olarak algıladığı süre boyunca ultrasonik sensörlerin bağlı bulunduğu COM5 portu dinlenilerek ultrasonik sensörlerin yapmış olduğu ölçümler doğrultusunda ağaç tacının üst, orta ve alt bölgelerinin hacim tahminleri sürekli olarak hesap edilip güncellenmekte ve tahmin edilen bu hacimlere göre püskürtülmesi gereken sıvı miktarı hesaplandıktan sonra bu değer esas alınarak valflerin görev çevrim oranları da belirlenmektedir. (Şekil 3.18., Şekil 3.19. ve Şekil 3.20.).

```
private void ultrasonikPortu_DataReceived(object sender, System.IO.Ports.SerialDataReceivedEventArgs e)
{
    Control.CheckForIllegalCrossThreadCalls = false;
    try
    {
        string indata = "0x00";
        string[] indataArr = { "0", "0", "0", "0" };
        try
        {
            if (ultraSonicSensoruKimi == true)
            {
                indata = ultraSonicPortu.ReadLine();
                indata = indata.Replace("0x", "").Replace(" ", "").Trim();
            }
        }
        catch
        {
            return;
        }
        try
        {
            indata = (indata.Split("\r")[0]);
            indataArr = indata.Split(",");
        }
        catch { }

        if (indataArr.Length > 2)
        {
            if (agac_degeri == 1)
            {
                Console.WriteLine(indata);
                if ((int.Parse(indataArr[0]) > 10 && (int.Parse(indataArr[0]) < UT11.sensor_senver_arasi_uzaklik))
                {
                    UT11.sensor2_aralik = (int.Parse(indataArr[0]));
                    UT11.hacim hesaplanir();
                }
                if ((int.Parse(indataArr[1]) > 10 && (int.Parse(indataArr[1]) < UT11.sensor_senver_arasi_uzaklik))
                {
                    UT11.sensor2_aralik = (int.Parse(indataArr[1]));
                    UT11.hacim hesaplanir();
                }
                if ((int.Parse(indataArr[2]) > 10 && (int.Parse(indataArr[2]) < UT11.sensor_senver_arasi_uzaklik))
                {
                    UT11.sensor2_aralik = (int.Parse(indataArr[2]));
                    UT11.hacim hesaplanir();
                }
            }
        }
        catch (Exception) { }
    }
}
```

Şekil 3.18. Ultrasonik sensörden gelen verileri işleyen yazılım metodu

```

public static void HesaplamaGuncelle()
{
    sensor1_hacim = yukseklik * (Math.PI * (sensor_merkez_arasi_uzaklik - sensor1_enkucuk) * (sensor_merkez_arasi_uzaklik - sensor1_enkucuk));
    sensor2_hacim = yukseklik * (Math.PI * (sensor_merkez_arasi_uzaklik - sensor2_enkucuk) * (sensor_merkez_arasi_uzaklik - sensor2_enkucuk));
    sensor3_hacim = yukseklik * (Math.PI * (sensor_merkez_arasi_uzaklik - sensor3_enkucuk) * (sensor_merkez_arasi_uzaklik - sensor3_enkucuk));
    valfYuzdesiHesapla();
}

```

Şekil 3.19. Ağaç tacının üst, orta ve alt bölgelerinin hacimlerini hesaplayan yazılım metodu

```

public static void valfYuzdesiHesapla()
{
    double tempIlac = (AtilacakIlac) / ornekAgacHacmi;

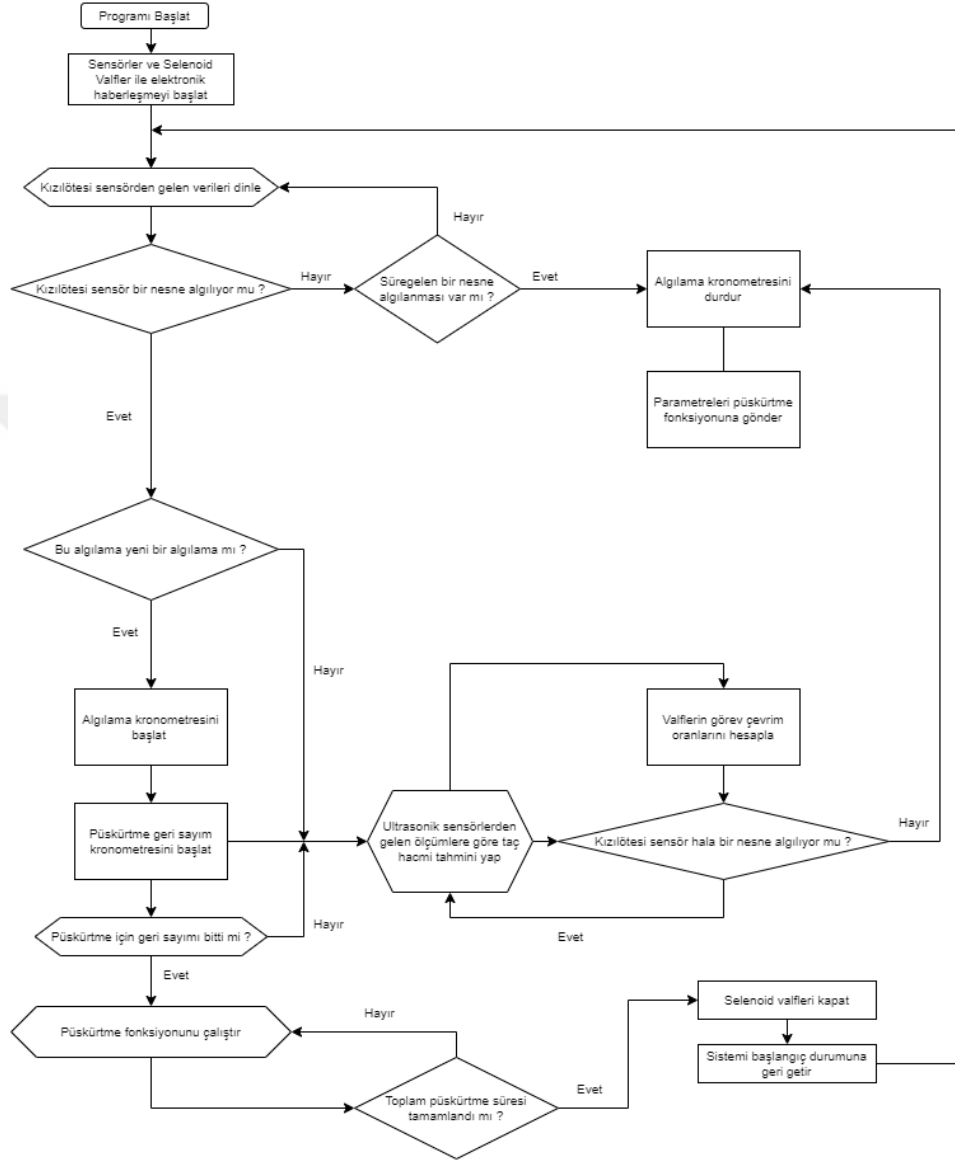
    double valf1 = ((sensor1_hacim/2.0) * tempIlac) / ((agacSuresi + nz800lucumGecikmesi) / (1000));
    double valf2 = ((sensor2_hacim/2.0) * tempIlac) / ((agacSuresi + nz800lucumGecikmesi) / (1000));
    double valf3 = ((sensor3_hacim/2.0) * tempIlac) / ((agacSuresi + nz800lucumGecikmesi) / (1000));

    List<double> list = new List<double> { valf1_40/10, valf1_50/10, valf1_60/10, valf1_70/10, valf1_100/10 };
    double closest = list.Aggregate((x, y) => Math.Abs(x - valf1) < Math.Abs(y - valf1) ? x : y);
    int valf1Calisma = list.IndexOf(closest);
    switch (valf1Calisma)
    {
        case 0:
            list = new List<double> { valf2_40 / 10, valf2_50 / 10, valf2_60 / 10, valf2_70 / 10, valf2_100 / 10 };
            closest = list.Aggregate((x, y) => Math.Abs(x - valf2) < Math.Abs(y - valf2) ? x : y);
            int valf2Calisma = list.IndexOf(closest);
            switch (valf2Calisma)
            {
                case 0:
                    list = new List<double> { valf3_40 / 10, valf3_50 / 10, valf3_60 / 10, valf3_70 / 10, valf3_100 / 10 };
                    closest = list.Aggregate((x, y) => Math.Abs(x - valf3) < Math.Abs(y - valf3) ? x : y);
                    int valf3Calisma = list.IndexOf(closest);
                    switch (valf3Calisma)
                    {

```

Şekil 3.20. Hesaplanan taç hacmine göre solenoid valflerin görev çevrim oranlarını hesaplayan yazılım metodu

Kızılötesi sensörden ağacın artık var olmadığını belirten sinyal geldiğinde ise kronometre çalışmayı sonlandırılarak püskürtme yapılacak toplam süre bilgisi belirlenmektedir. Solenoid valflerin hesaplanan en güncel görev çevrim oranları COM4 portu üzerinden bağlı bulunan Arduino geliştirme kartına gönderilerek ilgili değişkenlere atanarak püskürtme öncesi valflerin sürüleceği görev çevrim oranları güncellenmektedir. Kızılötesi sensör hedef bitki materyalini var ve yok olarak algıladığı anda geriye doğru sayan iki kronometre vasıtasıyla solenoid valfler hedef bitki materyali sınırlarına girerken ve çıkarken açılıp kapatılarak püskürtme işlemi gerçekleştirilmektedir. Yazılım sisteminde kullanılan algoritmanın akış diyagramı Şekil 3.21.'de verilmiştir.



Şekil 3.21. Yazılım sisteminde kullanılan algoritmanın akış diyagramı

3.1.4. Analizde Kullanılan Cihazlar

Araştırmada gerçek ilaç yerine BSF iz maddesi kullanıldığından hedef yüzeyler üzerindeki birikim miktarının analizinde aşağıdaki cihazlar kullanılmıştır.

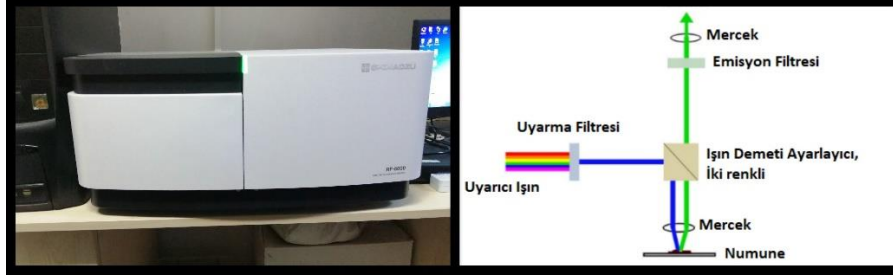
Hassas Teraz: Testlerde püskürtülecek çözeltiyi hazırlarken kullanılacak olan BSF iz maddesini tartmak için Sartorius marka hassas terazi kullanılmıştır.

Çalkalayıcı: Püskürtme testlerinden sonra örnek bitki materyali üzerinden toplanan filtre kağıtlarındaki BSF iz maddesinin saf suya kolayca karışabilmesi için Nüve marka SL 350 model çalkalama cihazı kullanılmıştır. Cihaz, üzerinde bulunan plastik kasa sayesinde aynı anda 24 kavanozu çalkalayabilmektedir (Şekil 3.22.).



Şekil 3. 22. Çalışmada kullanılan çalkalayıcı

Spektrofluorofotometre: Çalışmada püskürtme testleri sonrasında filtre kağıtları üzerinde biriken BSF birikim miktarlarını ölçmek için Shimadzu marka RF-6000 model bir spektrofluorofotometre kullanılmıştır (Şekil 3.23.). Cihazda BSF iz maddesi tayininde uyarma filtresi için 460 nm, emisyon filtresi için de 500 nm dalga boyları kullanılmıştır.



Şekil 3.23. Analizde kullanılan spektrofotometre ve çalışma prensibi

Tarayıcı: Testler sonucunda suya duyarlı kartlar (26 mm x 76 mm ölçülerinde) üzerindeki damlaların kapladığı alanı hesaplamak için suya duyarlı kağıtlar Epson marka WF-2520 model bir cihazda her inç için 600 yüz nokta olan çözünürlükte (600 dpi) taranarak dijital görüntüler elde edilmiştir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Deneme Düzeni

Denemelerde ağaç tacı üzerinde tutunamayıp, tacın arka cephesine sürüklenerek (exodrift) ve bitkiler arasındaki boşluğa düşen BSF miktarını (endodrift) ölçebilmek için, bitki materyalinin arka tarafına 3 adet örnekleme direği, yerdeki ilaç birikim miktarını ölçebilmek için ise bitki tacının merkez eksenindeki zeminin soluna ve sağına olmak üzere toplam 2 adet örnekleme tahtası yerleştirilmiştir (Şekil 3.24. ve 3.25.).



Şekil 3.24. Deneme düzeninin önden görünüşü



Şekil 3.25. Deneme düzeninin yandan görünüşü

Direkler bitki materyalinin merkezinden 70 cm uzakta ve 60 cm aralıklarla aynı eksende olacak şekilde konumlandırılmışlardır. Direklerin 50, 100 ve 150 cm'sinde bulunan kısaçlara filtre kağıtları tutturulmuş ve geriye ulaşan BSF miktarının analizi için gerekli örnekler bu sayede elde edilmiştir.

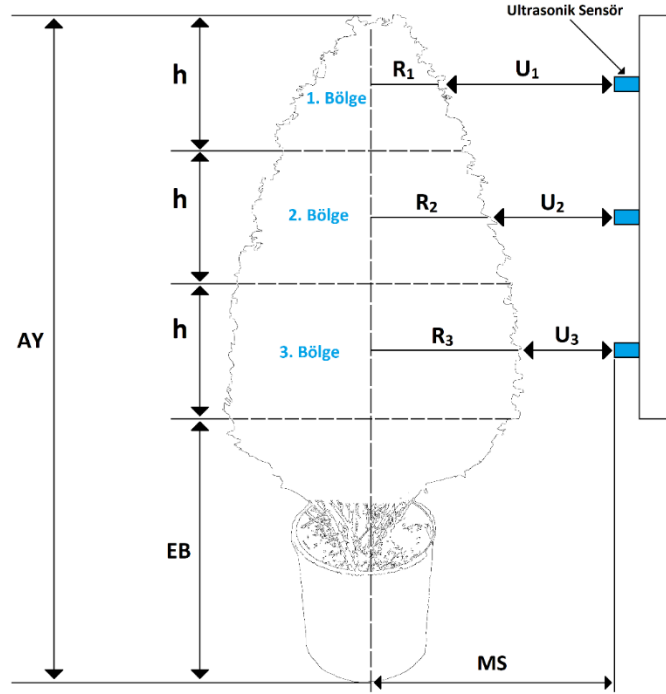
Zeminde bitki materyalinin solunda ve sağında bulunan 90 cm uzunluğundaki örnekleme tahtalarının 30. ve 60. cm'sine denk gelen noktaları işaretlenmiş ve bu işaretlenen noktalara birer adet olmak üzere toplamda 4 adet cam kavanoz yerleştirilmiştir. Yerdeki ilaç miktarını temsilen BSF birikim miktarını hesaplayabilmek ve her tekrarda aynı noktadan başarılı bir şekilde örnek alabilmek için kullanılan filtre kağıtları bu kavanozların üstüne konumlandırılmıştır (Şekil 3.26.).



Şekil 3.26. Örnekleme tahtasının detay görünüşü

3.2.2. Ağaç Taç Hacmi Hesabı

Püskürtme yapılacak hedef ağacın taç hacmini hesaplayabilmek için ağaç tacının sahip olduğu çap değerleri kullanılmıştır. Bu maksatla ağaç boyundan etek boyu çıkartıldıktan sonra kalan uzunluk, ağacın üst, orta ve alt olmak üzere 3 bölgesindeki hacmi ayrı ayrı hesap edebilmek için 3 eşit parçaya bölünmüş ve bu bölünmüş olan 3 uzunluğun orta noktalarından ultrasonik sensörlerle yapılan ölçümler, ultrasonik sensörlerin ağaç merkezine olan uzaklığından (merkez sabiti) çıkarıldığı zaman hedef bölgenin yarı çapı tahmin edilebilmiştir. Ağaç taç hacmi hesabında kullanılan temel mantığın şematik gösterimi Şekil 3.27’de verilmiştir.



Şekil 3.27. Hacim hesabı yönteminin şematik gösterimi

Burada;

AY : Ağaç yüksekliği (cm),

EB : Etek boyu (cm),

MS : Merkez sabiti (ağaç merkezinden ultrasonik sensöre olan uzaklık miktarı) (cm),

U_1 : Ultrasonik sensörün birinci bölge merkezine olan uzaklık miktarı (cm),

U_2 : Ultrasonik sensörün ikinci bölge merkezine olan uzaklık miktarı (cm),

U_3 : Ultrasonik sensörün üçüncü bölge merkezine olan uzaklık miktarı (cm),

R_1 : Birinci bölgenin orta noktasının yarıçap uzunluğu (cm),

- R_2 : İkinci bölgenin orta noktasının yarıçap uzunluğu (cm),
 R_3 : Üçüncü bölgenin orta noktasının yarıçap uzunluğu (cm),
 h : Birinci, ikinci ve üçüncü bölgenin eş yüksekliğini (cm), temsil etmektedir.

Püskürtme testleri gerçeklemeden önce ağacın boyu, etek boyu ve ultrasonik sensörlerin ağaç merkezine olan uzaklığı (merkez sabiti) metre yardımı ile ölçülüp elde edilen veriler yazılım sistemine kaydedilmiştir. Yazılım algoritmasında, sistemde hali hazırda bulunan bu veriler kullanılarak ağacın boyundan etek boyu çıkartıldıktan sonra kalan uzunluk, 3 eşit parçaya bölünmüştür. Hedef bölge eş uzunluklarının hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$h = \frac{AY - EY}{3} \quad (3.1)$$

Eşitlikte;

- h : Birinci, ikinci ve üçüncü bölgenin eş yüksekliği (cm),
 AY : Ağaç yüksekliği (cm),
 EY : Ağaç etek yüksekliğidir. (cm)

Püskürtme testleri esnasında, hedef ağaç kızılötesi sensör tarafından algılandığı anda ultrasonik sensörlerin yaptığı ölçümler yazılım sistemi tarafından sürekli olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen anlık ölçümler merkez sabiti (MS) değerinden büyük ise yarıçap hesabına katılmamış, küçük ise ilgili bölgenin yarıçapı tahmininde kullanılmıştır. Ultrasonik sensörler ile elde edilen anlık ölçüm değerinin MS değerinden çıkarılmasıyla ilgili bölgenin yarıçap uzunluğu tahmin edilmiştir. Kızılötesi sensörün hedef ağacı algıladıktan sonraki algılama yok sinyaline kadar ultrasonik sensör ölçümleri devam etmiş ve ilgili bölgelerin hacim hesabında hesaplanan en büyük yarıçap esas alınmıştır. Bölgelerin yarıçap uzunluğunun belirlenmesinde aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$R_X = MS - U_X \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte;

- MS : Merkez sabiti (ağaç merkezinden ultrasonik sensöre olan uzaklık miktarı) (cm),
 U_X : Ultrasonik sensörün ilgili bölgeye olan anlık uzaklığı (cm)
 R_X : İlgili bölgenin orta noktasının hesap edilen yarıçap uzunluğu (cm)

Hacim hesabı yapılacak bölgenin orta noktasının yarıçapı belirlendikten sonra ilgili değer kullanılarak daire alanı formülünden hesaplanan yüzey alanı, her bölge için aynı olan yükseklik değeri ile çarpılarak hacim değerine dönüştürülmüştür. Hacim hesabında kullanılan eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$V_X = (\pi \times R_X^2) \times h \quad (3.3)$$

Bu eşitlikte;

- V_X : İlgili bölgenin hesap edilen hacim miktarıdır (cm³).
 R_X : İlgili bölgenin orta noktasının hesap edilen yarıçap uzunluğu (cm)
 h : Birinci, ikinci ve üçüncü bölgenin eş yüksekliğidir (cm).

3.2.3. Hacme Göre Püskürtülecek İlaç Miktarı ve Görev Çevrimi Hesabı

Denemelerde birim hacme püskürtülecek referans ilaç miktarını belirlemek ve ultrasonik sensörlerin ölçüm doğruluğunu kontrol edebilmek için, bitki materyalinin taç çapı metre yardımıyla ölçülüp yazılım algoritmasında kullanılan yöntemle göre öncelikle taç hacmi hesaplanmıştır (Şekil 3.28.).



Şekil 3.28. Denemede kullanılan bitki materyalinin taç hacminin manuel ölçülmesi

Bitki taç hacmi hesaplandıktan sonra, bitki materyalinin üzerine suya duyarlı kağıtlar yerleştirilip, el tipi mekanik ilaçlama pompası yardımıyla ilaçlama yapılmıştır (Şekil 3.29.). Suya duyarlı kağıtlarda yeterli miktarda kaplama oranına (yıkanma olmadan tamamen damlalarla kaplama düzeyi) ulaşıldığı düşünüldükten sonra ilaçlama sonlandırılıp, işleme başlamadan önce tam olarak doldurulan ilaçlama pompasının deposundaki eksilen su miktarı saptanarak bitkiye püskürtülen sıvı miktarı not alınmıştır. Tespit edilen sıvı miktarı, prototip püskürtme sistemi ile gerçekleşen püskürtme denemelerinin hazırlık sürecinde test edilerek optimize edilmiştir. Böylelikle denemelerde kullanılan nihai referans ilaç miktarı belirlenmiştir.



Şekil 3.29. Denemede kullanılan bitki materyalinin el ile ilaçlanması

Denemelerde, solenoid valflerin hesaplanan hacim değerlerine göre çalışacakları görev çevrim oranlarını belirleyebilmek için sabit basınç altında, püskürtme memelerinin debi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Kullanılan 3 püskürtme memesinden püsküren sıvı miktarı dereceli kaplara doldurularak ölçülüp ayrı ayrı not alınmış ve elde edilen veriler yazılım sisteminde kodlanmıştır. Bu sayede her solenoid valf, püskürtmeyi gerçekleştireceği bölgeye gereken ilaç miktarına göre işletilebilmiştir. Solenoid valflerin farklı görev çevrimlerinde, püskürtme memelerinden püsküren sıvı miktarları Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Çizelge 3.10. Görev çevrim oranlarına göre memelerden püsküren sıvı miktarları

Görev Çevrimi	Püskürtme debisi (ml/sn)		
	1. Meme	2. Meme	3. Meme
40%	5,7	5,8	6,0
50%	7,4	7,3	7,8
60%	8,5	8,7	9,0
70%	9,5	9,5	9,8
100%	11,7	12,7	13,2

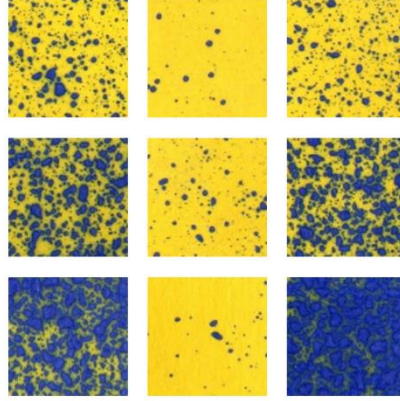
3.2.4. İlaç Kaplama Oranı (%) ve Damla Yoğunluğunun (adet/cm²) Belirlenmesi

Püskürtme testlerinde uygulanan ilacın, kaplama oranını ve damla yoğunluğunu tespit edebilmek için bitki materyalinin üst, orta ve alt kısmındaki yüzeylerine ikiye adet ve iç kısmının üst, orta ve alt kısmına birer adet olmak üzere bitki materyalinin üzerine toplam 9 adet suya duyarlı kâğıt yerleştirilmiştir (Şekil 3.30.).



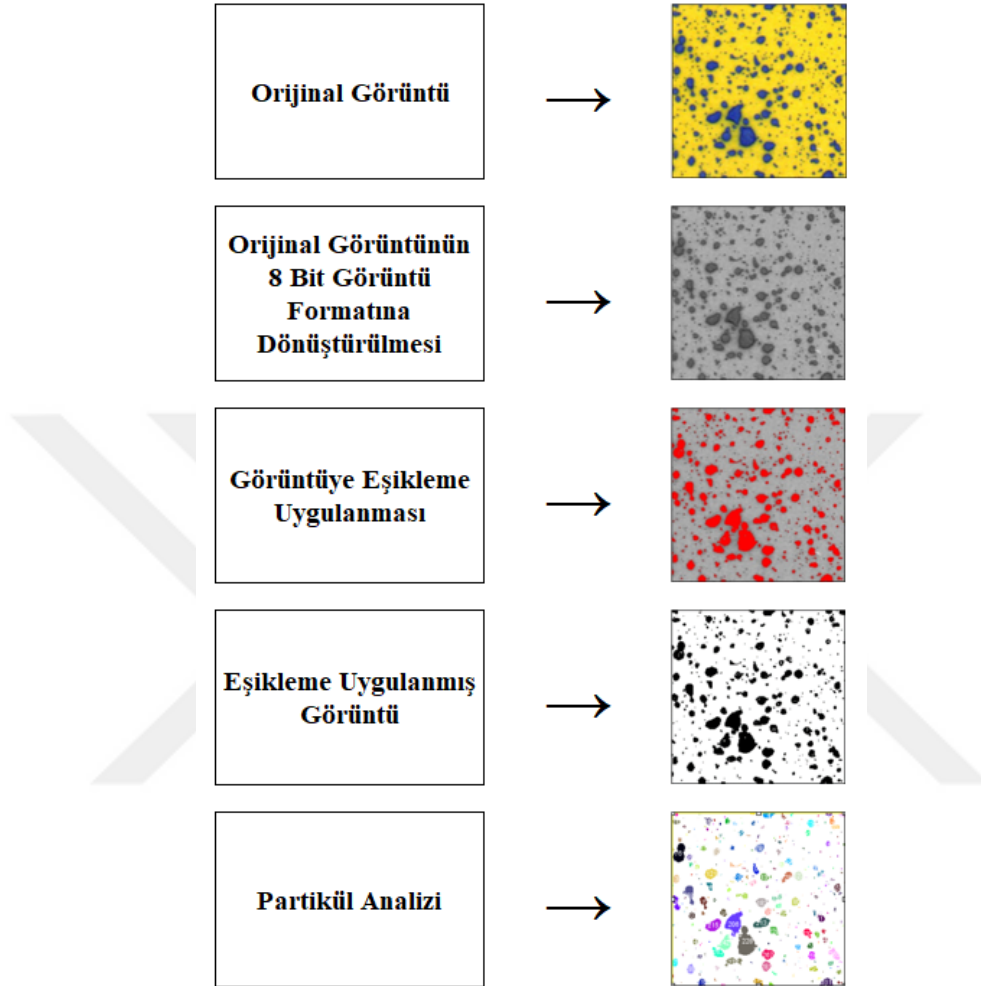
Şekil 3.30. Suya duyarlı kâğıtlarının deneme düzeninde yerleştirilmiş hali (ön görünüş)

Püskürtme testlerinden sonra toplanan suya duyarlı kâğıtlar tamamen kuruduktan sonra tarayıcı ile her inç için 600 yüz nokta olan çözünürlükte (600 dpi) taranarak görüntüler bilgisayara aktarılmıştır (Şekil 3.31.).



Şekil 3.31. Suya duyarlı kağıtların dijital ortama aktarılmış görüntüsü

Bilgisayara aktarılan suya duyarlı kağıtların görüntüleri, ImageJ görüntü işleme programı ile işlenerek her kâğıdın ilaç kaplama oranı ve damla yoğunluğu ayrı ayrı tespit edilip not edilmiştir. Görüntü işleme aşamaları Şekil 3.32’de verilmiştir.

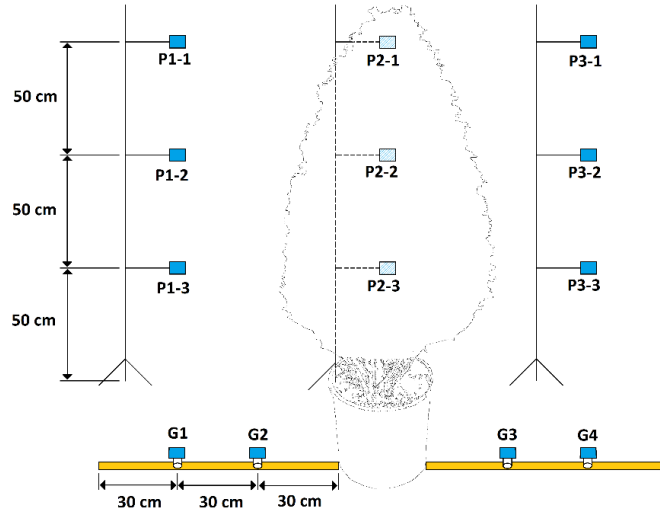


Şekil 3.32. Suya duyarlı kağıtların dijital ortama aktarılmış görüntüsü

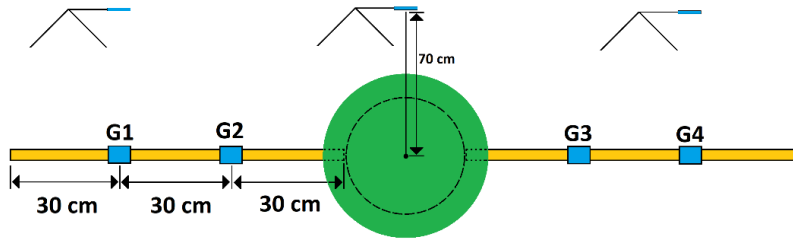
3.2.5. İlaç Kayıplarının Belirlenmesi

Denemelerde doğrudan yere ulaşan ilaç (BSF) miktarını ölçmek için bitki materyalinin bulunduğu saksının sağına ve soluna 30 cm ara ile 2 adet olmak üzere toplam 4 adet filtre kâğıdı, uygulanan ilacın havada asılı kalan (exodrift) miktarını belirlemek için de bitki materyalinin soluna, sağına ve tam arkasına gelecek şekilde 3 adet metal direk konumlandırılmış ve her metal direk 3 adet olacak şekilde toplam 9 adet filtre kâğıdı ellişer santimetre dikey aralıklarla metal direklerin

üzerine yerleştirilmiştir. Filtre kağıtlarının yerleşimini gösteren teknik resim, Şekil 3.33 ve Şekil 3.34’de verilmiştir.



Şekil 3.33. Filtre kağıtlarının deneme düzenindeki yerleşiminin biçimi (ön görünüş)



Şekil 3.34. Filtre kağıtlarının deneme düzenindeki yerleşiminin biçimi (üst görünüş)

Her bir püskürtme testi gerçekleştirildikten sonra filtre kağıtları dikkatlice toplanmıştır. Toplanan filtre kağıtları her biri ayrı kavanoza olacak şekilde muhafaza altına alınıp kavanozlar numaralandırılarak sıralanmıştır (Şekil 3.35.).

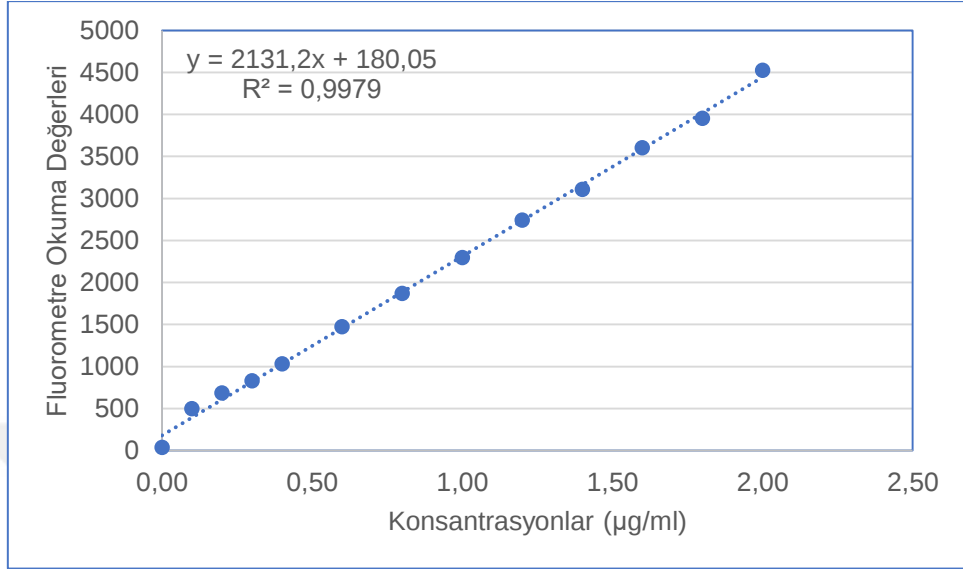


Şekil 3.35. Püskürtme testlerinden sonra elde edilen filtre kağıtlarının depolandığı kavanozlar

Filtre kağıtlarında tutulan iz maddesi birikim miktarının fluorometrik değerlerini belirlemek için, Çizelge 3.11’de verilen BSF iz maddesi kullanılarak oluşturulmuş standart çözeltilerin spektrofotometre ile okunmasıyla elde edilen bir kalibrasyon grafiği kullanılmıştır (Şekil 3.36.).

Çizelge 3.11. Spektrofotometre cihazı ile okunan standart çözeltilerin okuma değerleri

Çözelti Konsantrasyonu ($\mu\text{g/ml}$)	Spektrofotometre Okuma Değerleri
0,00	34,657
0,10	496,510
0,20	682,361
0,30	828,280
0,40	1030,786
0,60	1474,083
0,80	1867,870
1,00	2293,778
1,20	2740,895
1,40	3108,499
1,60	3601,510
1,80	3954,669
2,00	4522,518



Şekil 3.36. Spektrofluorofotometre kalibrasyon grafiği

Filtre kağıtlarında tutulan iz maddesini saf suya aktarabilmek için, kavanozlara 50 ml saf su eklenerek 20 dakika boyunca çalkalayıcıda çalkalanmıştır (Şekil 3.37.).



Şekil 3.37. İçerisine saf su eklenen kavanozların çalkalanması

Çalkalanan kavanozlardan pipet tabancası yardımı ile alınan sıvı örnekleri, spektrofotometre cihazı ile tek tek okunmuş ve elde edilen ölçüm değerleri not edilmiştir (Şekil 3.38.).



Şekil 3.38. Kavanozlardan alınan örneklerin spektrofotometre cihazıyla okunması

Elde edilen ölçüm değerleri Şekil 3.36’da verilen denklemdeki yer alan “y” katsayısının yerine koyularak ilgili örneğin konsantrasyon faktörü (m) elde edilmiştir. İlgili örneğin konsantrasyon faktörü elde edildikten sonra, aşağıdaki eşitlik kullanılarak (Bayat, 1991) birim örneklem yüzeyi üzerinde biriken BSF miktarı $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ olarak hesaplanmıştır.

$$f_x = \frac{m \cdot V_L \cdot 1}{A} \quad (3.4)$$

Bu eşitlikte;

f_x : Birim örneklem yüzeyi üzerinde biriken iz maddesi miktarı ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)

m: Konsantrasyon faktörü ($\mu\text{g}/\text{ml}$)

V_L : Filtre kâğıdı üzerindeki iz maddesini yıkamak için kullanılan saf su miktarı (ml)

A: İz maddesi toplama yüzey alanı (cm^2)

3.2.6. Uygulama Hacmi Tasarrufunun Belirlenmesi

Denemelerde yapılan uygulama hacmi tasarrufunu belirlemek için aşağıda belirtilen basit eşitlikten yararlanılmıştır. Kesiksiz ilaçlama yöntemi ve değişken oranlı ilaçlama yönteminin birim zamandaki püskürtme sıvısı hacimsel miktarları (ml/s) tespit edildikten sonra, belirlenen zaman periyodunda kesiksiz ilaçlama yönteminin birim zamandaki püskürtülen sıvı miktarı (ml/s) referans alınarak değişken oranlı püskürtme sisteminin yapmış olduğu uygulama hacmindeki tasarruf oranı belirlenmiştir.

$$To = \frac{(G - D)}{G} \times 100 \quad (3.5)$$

Bu eşitlikte;

- To : İlgili zaman periyodunda değişken oranlı püskürtme yönteminin sağlamış olduğu uygulama hacmi tasarruf oranı (%)
- G : İlgili zaman periyodunda geleneksel yöntem kullanılarak püskürtülen toplam sıvı miktarı (ml).
- D : İlgili zaman periyodunda değişken oranlı püskürtme yöntemi kullanılarak püskürtülen toplam sıvı miktarı (ml)

3.2.7. İstatistiksel Analizler

Denemelerde yapılan püskürtme testleri sonucunda elde edilen ilaç birikim miktarı ve kaplama oranı verileri SPSS 26 istatistik yazılımı ile analiz edilmiştir. Yapılan istatistiksel analizde püskürtme testleri sonucunda elde edilmiş verilerin, bölge (alt, orta, üst) ve yöntem (değişken oranlı ve geleneksel) göre kendi içindeki değişimleri belirlemek için iki gruplu değişkenlerde bağımsız örneklem t testi, 2'den fazla gruplu değişkenlerde tek yönlü varyans analizi yaklaşımı kullanılmıştır. Farklı grupları belirlemede çoklu karşılaştırma testlerinden Duncan testi uygulanmıştır. Yapılan analizde anlamlılık düzeyi 0,05 alınmıştır.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Tasarlanan Püskürtme Sisteminin Performans Değerleri

Değişken oranlı uygulamalar için tasarlanan sistem ve manuel ölçümlerle hesaplanan ağaç taç çapı ve toplam hacim ölçümleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Yöntemler ile elde edilen taç çapı ve toplam taç hacmi değerleri

Ölçüm Yöntemi	Ölçüm Ortalamaları			
	Üst Bölge Taç Çapı (cm)	Orta Bölge Taç Çapı (cm)	Alt Bölge Taç Çapı (cm)	Toplam Hacim (cm ³)
Prototip Sistem	41,16	61,64	81,48	314540,01
Manuel	42,00	61,00	86,00	333851,55
Yöntemler Arasındaki Ölçüm Farkı (%)	2,04	-1,04	5,55	6,14

Ultrasonik sensörlerle elde edilen ölçüm değerleri manuel olarak elde edilen ölçüm değerleri ile kıyaslandığında, ultrasonik sensörün elde ettiği ölçümler manuel ölçüm değerlerine göre üst bölgede %2,04, orta bölgede %-1,04 ve alt bölgede %5,55 farklı olmuştur (Çizelge 4.1.).

Elde edilen bu ölçüm değerlerine göre hesaplanan toplam taç hacmi kıyaslandığında ise prototip sistem tarafından tespit edilen toplam taç hacmi değeri manuel ölçümlerle hesap edilen toplam taç hacmi değerine göre %6,14 daha küçük olmuştur.

Kapalı laboratuvar ortamında gerçekleşen denemeler yürütülürken, ultrasonik sensörden yayılan ultrasonik ses dalgalarının, laboratuvarın içindeki nesnelerden veya laboratuvar duvarlarından geri yansiyarak yanlış ölçümlere sebep olabildiği gözlemlenmiştir. Her ne kadar bu sorun ile ilgili önlemler alınıp testler

başarıyla gerçekleştirilmiş olsa da ultrasonik sensörler kullanılarak yapılacak olan çalışmaların açık alanda yapılması gerektiği tecrübesi edinilmiştir.

Ultrasonik sensörün hatalı ölçümler yapmasının bir diğer sebebinin de ultrasonik sensörün çalışma hızına ve algılama alanına bağlı olarak ölçüm noktalarının atlanması olduğu söylenebilir. En fazla hatalı ölçüm gerçekleşen alt bölgede, manuel olarak taç çapı ölçülürken yeni yapraklanan veya yapraksız dallar da hesaba katılmıştır fakat ultrasonik sensörlerle yapılan ölçümler esnasında nispeten ince yapılı bu dalları algılayamaması veya sistemin ilerleme ve ölçüm hızına bağlı olarak algılayamadan devam etmesinden dolayı manuel ölçümlere göre hesaplanan taç çapı değeri ortalama %5,55 ve buna bağlı olarak toplam hacim değeri ortalama %6,14 oranında daha düşük olmuştur. Bu tecrübeyle, değişken oranlı püskürtme sistemi tasarımlarında, noktasal algılama yaparak hedef bitki materyalinin taç geometrisini daha hassas algılayabilecek LIDAR sensör gibi gelişmiş sensörlerin kullanılmasının, ölçüm doğruluğu ve taç hacmi hesaplama başarısının artmasına katkı sağlayacağı söylenebilir.

4.2. Geleneksel (Kesiksiz) ve Değişken Oranlı Uygulamalarda Hedef Yüzeylerde Sağlanan İlaç Birikim Miktarları (BSF miktarı) ve Kaplama Oranlarının Belirlenmesi

Ortalama kaplama oranının her bir bölgede yöntemlere göre farklılığı istatistiksel olarak değerlendirildiğinde; üst bölgede $t=-3,668$; $p=0,004$ düzeyinde anlamlı ve orta bölgede $t=-3,545$; $p=0,003$ düzeyinde anlamlı olarak yöntemlere göre ortalama kaplama oranları farklılaşmıştır. Üst ve orta bölgede geleneksel püskürtme yöntemi ile elde edilen ortalama kaplama oranlarının, değişken oranlı püskürtme yöntemiyle elde edilen ortalama kaplama oranları ile farkları anlamlı olmuştur (Çizelge 4.2.).

Çizelge 4.2. Geleneksel ve Değişken Oranlı Uygulamada Bitki Üzerinde Seçilen Bölgelere Göre Sağlanan Ortalama Kaplama Oranları ve İstatistiksel Analizleri

Yöntem	Kaplama Oranı (%)						F (p)
	Üst Bölge		Orta Bölge		Alt Bölge		
	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma	
Değişken Oranlı	14,609 ^a	13,367	39,311 ^b	25,81	66,131 ^c	32,780	9, 340 (<0,001)
Geleneksel	52,917 ^a	28,342	81,360 ^b	24,502	79,798 ^b	22,068	3,651 (0,041)
t (p)	-3,668 (0,004)		-3,545 (0,003)		-1,038 (0,315)		

Aynı satırdaki farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık vardır ($p < 0,05$).

Ortalama kaplama oranlarının her bir yöntem bakımından bölgelere göre farklılığı istatistiksel olarak değerlendirildiğinde; değişken oranlı püskürtme yöntemi hedef bölgelerde, bölgelere göre değişim $F=9,340$; $p < 0,001$ düzeyinde anlamlı ve geleneksel yöntem hedef bölgelerde, bölgelere göre değişim $F=3,651$; $p=0,041$ düzeyinde anlamlı elde edilmiştir. Değişken oranlı püskürtme uygulanan tüm bölgelerde, elde edilen ortalama kaplama oranlarının birbirleri ile farkı anlamlı olmuştur. Geleneksel yöntemin uygulandığı bölgelerde ise orta ve alt bölgede elde edilen ortalama kaplama oranlarının, üst bölgede elde edilen ortalama kaplama oranı ile farkları anlamlı olmuştur.

Ortalama birikim miktarının her bir bölgede yöntemlere göre farklılığı istatistiksel olarak değerlendirildiğinde; üst bölgede $t=-3,206$; $p=0,011$ düzeyinde anlamlı ve orta bölgede $t=-2,842$; $p=0,021$ düzeyinde anlamlı olarak yöntemlere göre ortalama birikim miktarı farklılaşmıştır. Üst ve orta bölgede geleneksel püskürtme yöntemiyle elde edilen ortalama birikim miktarlarının, değişken oranlı püskürtme yöntemiyle elde edilen ortalama birikim miktarlarıyla farkları anlamlı olmuştur (Çizelge 4.3.).

Çizelge 4.3. Elde edilen ortalama birikim miktarları verilerinin istatistiksel sonuçları

Yöntem	Birikim Miktarı (µg/cm ²)						F (p)
	Üst Bölge		Orta Bölge		Alt Bölge		
	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma	
Değişken Oranlı	0,095 ^a	0,151	0,621 ^a	0,582	1,509 ^b	1,280	6,898 (0,004)
Geleneksel	0,976 ^a	0,811	4,069 ^b	3,593	3,158 ^{ab}	2,184	3,719 (0,039)
t (p)	-3,206 (0,011)		-2,842 (0,021)		-1,954 (0,073)		

Aynı satırdaki farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık vardır ($p < 0,05$).

Ortalama birikim miktarının her bir yöntem bakımından bölgelere göre farklılığı istatistiksel olarak değerlendirildiğinde; değişken oranlı püskürtme yöntemi hedef bölgelerde bölgelere göre değişim $F=6,898$; $p=0,004$ düzeyinde anlamlı ve geleneksel yöntem hedef bölgelerde bölgelere göre değişim $F=3,719$; $p=0,039$ düzeyinde anlamlı elde edilmiştir. Değişken oranlı püskürtme yöntemiyle alt bölgede elde edilen ortalama birikim miktarının, üst ve orta bölgede elde edilen ortalama birikim miktarı ile farkları anlamlı olurken, geleneksel yöntemle orta bölgede elde edilen ortalama birikim miktarının, üst bölgede elde edilen ortalama birikim miktarı ile farkı anlamlı olmuştur.

Püskürtme yöntemleri sağladıkları kaplama oranı ve birikim miktarı açısından karşılaştırıldığında geleneksel yöntem değişken oranlı püskürtme yöntemine göre ağaç tacının üst ve orta bölgesinde daha fazla kaplama ve birikim miktarı sağlamış ve bu bölgelerde anlamlı farklılıklar oluşmuştur. Ağaç tacının alt bölgesinde ise iki yöntemin sağladığı kaplama oranları ve birikim miktarları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar oluşmamıştır. Püskürtme testleri sırasında değişken oranlı püskürtme sisteminin üst, orta ve alt bölümündeki hidrolik memeleri sırasıyla %40, %40 ve %70 görev çevrim oranı ile işletirken

geleneksel püskürtme sisteminin tüm hidrolik memeleri %100 açık olarak işletmiştir. Üst ve orta bölgede, yöntemlerin elde etmiş olduğu kaplama oranı ve birikim miktarları arasında anlamlı farklılıkların, değişken oranlı püskürtme sisteminde hidrolik memeler %40 açık olarak işletilirken, geleneksel sistemde %100 açık olarak işletildiğinden kaynaklandığı söylenebilir. Alt bölgede ise değişken oranlı püskürtme sisteminin hidrolik memesi %70 açık olarak işletilirken geleneksel sistem %100 olarak işletilmesine rağmen elde edilen kaplama oranı ve birikim miktarı değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık oluşmamıştır. Alt bölgede anlamlı bir farkın oluşmamasının sebebinin de yöntemlerin işletildiği görev çevrim oranlarının birbirine yakın olması ve dolayısıyla püskürtülen ilaç miktarları farkının da üst ve orta bölgelerdeki farka göre daha az olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Yöntemler seçilen bölgelerdeki sağladıkları kaplama oranı ve birikim miktarı açısından kendi içerisinde değerlendirildiğinde ise üst ve orta bölgelerdeki elde edilen kaplama oranı ve birikim miktarlarının birbirinden farklılaşmasının, püskürtme şekline ve püskürtme memelerinin ağaç taç hacmine olan uzaklıkların farklı olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Öyle ki, değişken oranlı püskürtme yönteminde üst ve orta hidrolik memeler aynı görev çevrim oranları ile işletilmesine karşın elde ettikleri kaplama ve birikim miktarları birbirinden farklıdır. Üst hidrolik meme ağaç tacının sahip olduğu geometrik özellikten dolayı, ağaç tacına daha uzak mesafeden püskürtme gerçekleştirirken (denemelerde ölçülen değer 73,92 cm), orta hidrolik meme ağaç tacına üst hidrolik memeden daha yakın mesafeden (denemelerde ölçülen değer 64,32 cm) püskürtme yapmaktadır. Dolayısıyla üst hidrolik memeden püskürtülen sıvının bir kısmının, püskürtüldüğü doğrultuda hedef bitki materyaline ulaşmadan yer çekiminin etkisiyle orta ve alt bölgeye doğru sürüklendiği düşünülmektedir. Değişken oranlı püskürtme yönteminde üst bölgede ortalama %14,6 kaplama oranı elde edilirken aynı görev çevrim oranı ile işletilen orta bölgede ortalama %39,3 kaplama oranı elde edilmesinin ve yine üst bölgede 0,111 µg/cm² birikim miktarı elde edilirken

orta bölgede ortalama $0,727 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ birikim miktarı elde edilmesinin bundan dolayı olduğu düşünülmektedir. Geleneksel yöntemde tüm hidrolik memeler %100 açık olarak işletilmesine rağmen üst bölgede ortalama %52,917 kaplama oranı elde edilirken orta bölgede %81,360 kaplama oranı elde edilmesi ve ayrıca üst bölgede $1,142 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ birikim miktarı elde edilirken orta bölgede $4,761 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ birikim miktarı elde edilmiş olması, bu yaklaşımı destekler niteliktedir.

4.3. Geleneksel ve Değişken Oranlı Uygulama Yöntemleri ile Hedef Yüzeylerde Sağlanan Damla Yoğunluklarının (adet/cm^2) Karşılaştırılması

Ortalama damla yoğunluğunun her bir bölgede yöntemlere göre farklılığı istatistiksel olarak değerlendirildiğinde; orta bölgede değişken oranlı püskürtme yöntemiyle elde edilen ortalama damla yoğunluğunun, geleneksel püskürtme yöntemiyle elde edilen ortalama damla yoğunluğuyla farkı $t=3,312$; $p=0,004$ düzeyinde anlamlı olmuştur (Çizelge 4.4.).

Çizelge 4.4. Elde edilen damla yoğunluğu verilerinin istatistiksel analiz sonuçları

Yöntem	Damla Yoğunluğu (adet/cm ²)						F (p)
	Üst Bölge		Orta Bölge		Alt Bölge		
	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma	
Değişken Oranlı	248,889 ^a	154,958	178,556 ^{ab}	50,483	85,778 ^b	98,646	4,980 (0,016)
Geleneksel	152,000 ^a	133,924	59,222 ^a	95,582	52,444 ^a	82,058	2,471 (0,106)
t (p)	1,419 (0,175)		3,312 (0,004)		0,779 (0,447)		

Aynı satırdaki farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık vardır ($p<0,05$).

Ortalama damla yoğunluğunun her bir yöntem bakımından bölgelere göre farklılığı istatistiksel olarak değerlendirildiğinde; değişken oranlı püskürtme

yöntemi hedef bölgelerde bölgelere göre değişim $F=4,980$; $p=0,016$ düzeyinde anlamlı olmuştur. Değişken oranlı püskürtme uygulamasında alt bölgede elde edilen ortalama damla yoğunluğunun, üst bölgede elde edilen ortalama damla yoğunluğu ile farkı anlamlı olmuştur. Oysa geleneksel yöntemde, seçilen bütün bölgelerdeki damla yoğunlukları aynı grup içinde yer almıştır.

Hedef bitki materyaline ortalama %48,69 daha az ilaç püskürten değişken oranlı sistemin elde ettiği bitki materyali üzerindeki kaplama oranı ve birikim miktarı değerleri, geleneksel sistemin elde ettiği değerlerden daha düşük olsa da elde ettiği damla yoğunluk değeri başarılı bir ilaçlama için yeterli gözükmemektedir. Öyle ki, insektisit uygulamaları için 20-30 damla/cm², fungusit uygulamaları içinse 50-70 damla/cm² damla yoğunluğu, kritik eşik olarak önerilmektedir (Salcedo ve Ark., 2020; Anonim, 2022; Penido ve Ark., 2019). Bu bilgiye dayanarak, daha az ilaç püskürterek yeterli damla yoğunluğu elde edebilen değişken oranlı püskürtme sisteminin, en az ortalama kaplama ve birikim oranına sahip olduğu üst bölgede dahi, ortalama 249 adet damla ile yukarıda örnek olarak verilen bu eşik değerlerinin üzerinde bir damla yoğunluk değeri elde edebildiği sonucuna varılabilir (Çizelge 4.4.).

4.4. Geleneksel ve Değişken Oranlı Uygulamalarda Meydana Gelen İlaç Kayıplarının Karşılaştırılması

4.4.1. Havada Asılı Kalan İlaç Miktarları (Exodrift)

Havada asılı kalan ortalama ilaç miktarının yöntemlere göre farklılığı, düşey düzlemde seçilen örnekleme noktaları dikkate alınarak istatistiksel olarak değerlendirildiğinde; alt bölgede geleneksel yöntem uygulandıktan sonra havada asılı kalan ortalama ilaç miktarının, değişken oranlı püskürtme yöntemi uygulandıktan sonra havada asılı kalan ortalama ilaç miktarı ile farkı $t=-2,798$; $p=0,038$ düzeyinde anlamlı olmuştur (Çizelge 4.5.).

Çizelge 4.5. Elde edilen havada asılı kalan ilaç miktarları verilerinin istatistiksel analiz sonuçları

Yöntem	Havada Asılı Kalan İlaç Miktarı (µg/cm ²)						F (p)
	Üst		Orta		Alt		
	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma	
Değişken Oranlı	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Değişim yok
Geleneksel	0,000 ^a	0,000	0,188 ^a	0,213	0,740 ^b	0,648	5,727 (0,014)
t (p)	Değişim yok		-2,167 (0,055)		-2,798 (0,038)		

Aynı satırdaki farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık vardır ($p<0,05$).

Havada asılı kalan ortalama ilaç miktarının her bir yöntem bakımından bölgelere göre farklılığı istatistiksel olarak değerlendirildiğinde; geleneksel püskürtme yöntemi hedef bölgelerde bölgelere göre değişim $F=5,727$; $p=0,014$ düzeyinde anlamlı olmuştur. Geleneksel püskürtme yöntemi uygulanan alt bölgede elde edilen havada asılı kalan ortalama ilaç miktarının, üst ve orta bölgede elde edilen havada asılı kalan ortalama ilaç miktarı ile farkı anlamlı olmuştur.

Analiz sonuçlarından elde edilen veriler değerlendirildiğinde, değişken oranlı püskürtme testleri sonunda toplanan filtre kağıtlarında birikime rastlanmamış, geleneksel yöntemle yapılan püskürtme testleri sonunda toplanan filtre kağıtlarının ise orta ve alt bölgedeki filtre kağıtlarında birikime rastlanmıştır. Değişken oranlı püskürtme sisteminde birikime rastlanmamasının iki sebebi olabileceği düşünülmektedir. Birinci sebebin; hedef tespit mantığıyla çalışan prototip sistem hedef bitki materyalini tespit etmediği zamanlarda ilaçlama yapmadığından dolayı, ağacın solunda ve sağındaki direklerin üzerinde asılı bulunan filtre kağıtlarına herhangi bir ilaç damlasının ulaşmamış olabileceği, ikinci sebebin ise prototip sistemin hedef tespit mantığıyla çalışmasının yanı sıra, püskürtülen ilacın darbe genişlik modülasyonu sayesinde kesikli bir şekilde hedefe

doğru iletilmesinden dolayı püskürtülen ilacın geriye sürüklenmesini azaltmış olabileceği düşünülmektedir.

Değişken oranlı püskürtme yapan prototip sistemin, havada asılı kalan ilaç miktarında sağlamış olduğu bu tasarruf oranına benzer olarak, yapılan bilimsel bir çalışmada test edilen prototip sistemin de havada asılı kalan ilaç miktarını %100'e kadar önlediği rapor edilmiştir (Chen ve Ark., 2013).

4.4.2. Doğrudan Yere Ulaşan İlaç Miktarı (Endodrift)

Doğrudan yere ulaşan ortalama ilaç miktarının, zemindeki örnekleme her bir konumunda (G1...G4) yöntemlere göre farklılığı istatistiksel olarak değerlendirildiğinde; G1, G3 ve G4 noktalarında geleneksel yöntemle elde edilen doğrudan yere ulaşan ortalama ilaç miktarlarının, değişken oranlı püskürtme yöntemiyle elde edilen doğrudan yere ulaşan ortalama ilaç miktarları ile farkı, G1 örnekleme noktasında $t=-11,604$; $p<0,001$ düzeyinde, G3 noktasında $t=-3,530$; $p=0,024$ düzeyinde ve G4 noktasında $t=-5,826$; $p=0,004$ düzeyinde anlamlı olmuştur (Çizelge 4.6.).

Çizelge 4.6. Doğrudan yere ulaşan ilaç miktarları verilerinin istatistiksel analiz sonuçları

Yöntem	Doğrudan Yere Ulaşan İlaç Miktarı (µg/cm ²)								F (p)
	G1		G2		G3		G4		
	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma	Ortalama	Std. Sapma	
Değişken Oranlı	0,033 ^a	0,029	0,693 ^b	0,349	0,891 ^b	0,233	0,257 ^a	0,037	10,359 (0,004)
Geleneksel	4,135 ^a	0,612	4,782 ^a	2,712	2,981 ^a	0,999	3,720 ^a	1,029	0,699 (0,579)
t (p)	-11,604 (<0,001)		-2,590 (0,061)		-3,530 (0,024)		-5,826 (0,004)		

Aynı satırdaki farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık vardır ($p<0,05$).

Doğrudan yere ulaşan ortalama ilaç miktarının her bir yöntem bakımından seçilen noktalara göre farklılığı istatistiksel olarak değerlendirildiğinde; değişken oranlı püskürtme yöntemi hedef grupta seçilen noktalara göre değişim $F=10,359$; $p=0,004$ düzeyinde anlamlı olmuştur. G2 örnekleme noktasında elde edilen doğrudan yere ulaşan ortalama ilaç miktarının, G1 ve G4 noktalarındaki doğrudan yere ulaşan ortalama ilaç miktarları ile farkı ve G3 örnekleme noktasında elde edilen doğrudan yere ulaşan ortalama ilaç miktarının, G1 ve G4 noktalarındaki doğrudan yere ulaşan ortalama ilaç miktarları ile farkı anlamlı olmuştur.

Değişken oranlı püskürtme sistemi, doğrudan yere ulaşan ilaç miktarı açısından geleneksel yöntem ile kıyaslandığında, sahip olduğu hedef tespit özelliği sayesinde, G1, G3 ve G4 örnekleme noktalarında oluşan birikim miktarlarında anlamlı farklılıklar oluşturmuştur. G2 noktasında ise kayda değer bir fark gözükmesine rağmen oluşan fark değeri istatistiksel anlamda anlamlı olmamıştır. Bunun sebebinin G2 örnekleme noktasında geleneksel püskürtme yönteminde elde edilen verilerin standart sapma değerinin yüksek olmasından dolayı olduğu söylenebilir. G2 örnekleme noktasında standart sapma değerinin yüksek çıkmasının sebebinin de en yüksek birikim değerinin elde edildiği püskürtme testi tekrarı sırasında ilacın anlık olarak pülverize edilememesi, püskürtülen ilacın hedef bitki materyalinin vejetatif organlarından sekerek G2 noktasına ulaşması, püskürtme sisteminin bağlı bulunduğu raylı sistemin hızının anlık olarak azalıp tekrar artması gibi nedenlerin herhangi birisinden dolayı oluşabileceği söylenebilir.

Püskürtme yöntemleri, doğrudan yere ulaşan ilaç miktarı açısından karşılaştırıldığında, değişken oranlı püskürtme yönteminin sadece hedef bitki materyalini tespit ettiğinde ilaç püskürtmesinden dolayı, doğrudan yere ulaşan ilaç miktarı açısından kayda değer bir oranda tasarruf sağladığı görülmektedir (Çizelge 4.7.).

Çizelge 4.7. Geleneksel ve Değişken Oranlı Püskürtme Testlerinde Doğrudan Yere Ulaşan Ortalama İlaç Miktarları ve Oransal Farkları

Püskürtme Yöntemi	Doğrudan Yere Ulaşan Ortalama İlaç Miktarı ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)				Ortalama
	G1	G2	G3	G4	
Geleneksel	4,135	4,782	2,981	3,720	3,905
Değişken Oranlı	0,033	0,693	0,891	0,257	0,469
Fark (%)	99,20	85,51	70,11	93,09	86,98

Hedef bitki materyali G2 ve G3 örnekleme noktalarının tam ortasında bulunduğundan dolayı, püskürtme testleri esnasında değişken oranlı püskürtme uygulayan prototip sistem yaklaşık olarak G2 noktasına yakın sınırlarda ilaçlamaya başlayıp G3 noktasının yakın sınırlarında ilaçlamayı sonlandırmıştır.

En yüksek ilk iki tasarruf oranı deneme düzeninin uç kısımlarındaki G1 ve G4 noktalarında elde edilmesinin bu sebepten dolayı olduğu düşünülmektedir. Hedef bitki materyaline daha yakın olan G2 ve G3 örnekleme noktalarında elde edilen tasarruf miktarının G1 ve G4 noktalarından daha az olmasının sebebinin, püskürtme işleminin kendi bölgelerinin yakınlarında başlayıp bitmesinden kaynaklandığı ve yakınlarda püskürtülen ilacın yer çekiminin etkisiyle belli oranda G2 ve G3 noktalarına ulaşarak tasarruf oranının azalmasına sebep olduğu düşünülmektedir.

G2 ve G3 örnekleme noktaları arasındaki oransal farkın da sistemsel gecikmelerden ve valflerin tamamen kapanması için belirli bir süre geçmesi gerektiğinden dolayı kaynaklandığı söylenebilir. Öyle ki, kızılötesi sensör ile algılanan bitki materyali varlık yokluk durumuna göre püskürtme yapan sistemin solenoid valf kapalı konumda iken püskürtmeye başlaması daha hızlı gerçekleşirken solenoid valf çalışmaya devam ederken boru içerisinde oluşan sıvı basıncından dolayı tamamen kapanması daha yavaş gerçekleşmektedir. Bundan dolayı da algoritma valflere kapanmasını belirten sinyali ilettiğinde valf aynı anda

kapanamamakta ve dolayısıyla hidrolik memeler ms cinsinden püskürtme yapmaya devam edebilmektedir. Buna ek olarak, püskürtme yapılacak toplam süre boyunca, her bir püskürtme periyodu (200 ms) bittiği anda tekrardan başlatılmakta ve ilgili sinyallerin iletimi ve işlenmesi sırasında yaşanan gecikmelerden dolayı periyotların başlangıç zamanları ms cinsinden ertelenebilmektedir. Sistemde yaşanan bu gecikmelerden dolayı ekstradan yapılan bu püskürtmelerin G3 örnekleme noktasındaki tasarruf oranının G2 noktasından daha az olmasına sebep olduğu düşünülmektedir.

4.5. Değişken Oranlı Uygulama ile Sağlanan Püskürtme Hacmi Tasarrufunun Değerlendirilmesi

Yapılan püskürtme testlerinin her bir tekrarında prototip püskürtme sistemi ortalama 3230,67 ms boyunca ilaçlama yapıp 75,67 ml ilaç püskürtürken, geleneksel ilaçlama yöntemi ile işletilen sistem 8843 ms boyunca ilaçlama yaparak ortalama 403,67 ml ilaç püskürtmüştür (Çizelge 4.8 ve 4.9). Aradaki bu ciddi fark, geleneksel ilaçlama yöntemi ile işletilen sistemin sürekli olarak (kesiksiz) ilaçlama yapmasından kaynaklanmaktadır. Öyle ki, değişken oranlı ilaçlama sistemi, sadece hedef bitki materyalini algıladığında ve hedef bitki materyalinin taç hacmine oranlı bir şekilde ilaç püskürtmeye programlıyken, geleneksel ilaçlama yöntemiyle işletilen sistemde, şu an bahçe tarımında sıklıkla uygulanmakta olan ilaçlama şekline benzer olarak, deneme düzenine girdiği anda hedef bitkinin varlığına bakılmaksızın sabit oranlı olarak püskürtme başlatılmış ve deneme düzeni bitene kadar devam ettirilmiştir.

Çizelge 4.8. Değişken Oranlı İlaçlama Yönteminde Püskürtülen Sıvı Miktarı Ölçüm Sonuçları

Değişken Oranlı İlaçlama Yöntemi (40,40,70 görev zamanlaması) Debi Testi Sonuçları			
Tekerrür	Zaman Periyodu (ms)	Püskürtülen Sıvı Miktarı (ml)	Saniyede Püskürtülen Sıvı Miktarı (ml)
1	3171	73	23.02
2	3293	77	23.38
3	3228	77	23.85
Ortalama	3230,67	75,67	23,42

Çizelge 4.9. Geleneksel İlaçlama Yönteminde Püskürtülen Sıvı Miktarı Ölçüm Sonuçları

Geleneksel İlaçlama Yöntemi (Full Açık) Debi Testleri Sonuçları			
Tekerrür	Zaman Periyodu (ms)	Püskürtülen Sıvı Miktarı (ml)	Saniyede Püskürtülen Sıvı Miktarı (ml)
1	8843	411	46,48
2	8843	398	45,01
3	8843	402	45,46
Ortalama	8843	403,67	45,65

Çizelge 4.8. ve 4.9.'deki 5.3 bar eş çalışma basıncı altında gerçekleşen debi ölçümlerinden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, tüm deneme düzeni boyunca geleneksel sistem ortalama 403,67 ml sıvı püskürtürken değişken oranlı püskürtme sistemi ortalama 75,67 ml püskürterek uygulama hacminde yaklaşık %81,26 tasarruf sağlamıştır. Sadece ağaç taç geometrisi dikkate alınarak uygulanan ilaç miktarı açısından değerlendirildiğinde ise geleneksel sistem 147,47 ml ilaç püskürtürken, değişken oranlı püskürtme sistemi 75,67 ml ilaç püskürterek %48,69 ilaç tasarrufu sağlamıştır (Çizelge 4.10.). Değişken oranlı püskürtme uygulayan prototip sistem ile elde edilen tasarruf oranları, uygulama hacminde sırasıyla %73,

%76, %86 ve sadece ağaç taç geometrisi esas alınarak yapılan ilaçlamada %58'e kadar ilaç tasarrufu yapılabileceği rapor edilen bazı bilimsel çalışmalarda elde edilen değerlere yakın gözükmetedir (Chen ve Ark., 2013; Llorens ve Ark., 2010; Gil ve Ark., 2007; Jeon ve Ark., 2011).

Çizelge 4.10. Geleneksel ve Değişken Oranlı Püskürtme Yöntemlerinin Kullandıkları İlaç Miktarları ve Oransal Farkları

Püskürtme Yöntemi	Püskürtülen toplam sıvı miktarı (ml)	Bitki materyaline püskürtülen toplam sıvı miktarı (ml)
Geleneksel	403,67	147,47
Değişken Oranlı	75,67	75,67
Fark (%)	81,26	48,69

4.6. Geleneksel ve Değişken Oranlı Uygulamalarda İlaç Kayıp Oranlarının Karşılaştırılması

Değişken oranlı püskürtme yöntemi, yapılan püskürtme testlerinde oluşan ilaç kayıp miktarı açısından geleneksel püskürtme yöntemi ile kıyaslandığında, değişken oranlı püskürtme uygulayan prototip sistem, sahip olduğu hedef tespit özelliği sayesinde ilaç kayıplarında %88,67 oranında azalma sağlamıştır (Çizelge 4.11.).

Çizelge 4.11. Geleneksel ve Değişken Oranlı Uygulamalardaki İlaç Kayıpları ve Oransal Farkları

Bölgeler	Doğrudan Yere Ulaşan Ortalama İlaç Miktarı ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)		Tasarruf Oranı (%)
	Geleneksel Püskürtme Yöntemi	Değişken Oranlı Püskürtme Yöntemi	
G1	4,135	0,033	99,20
G2	4,782	0,693	85,51
G3	2,981	0,891	70,11
G4	3,720	0,257	93,09
P (Üst Bölge)	0	0	-
P (Orta Bölge)	0,188	0	100
P (Alt Bölge)	0,740	0	100
Toplam	16,546	1,874	88,67



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hidrolik memelerle donatılan bir püskürtme sisteminin geleneksel yöntem ve PWM ile değişken oranlı işletilmesinde aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

- 1) Standart tip solenoid bir valfin PWM ile işletilmesinde en fazla %70 görev zamanlaması (çevrimi) ile çalışma yapılabilmektedir. Daha düşük görev zamanlamasında meme püskürtme paterninde gözle görünür bozulmalar olmaktadır.
- 2) Hidrolik meme- solenoid valf- ultrasonik sensör ve kızılötesi sensörden oluşan bir yapı, c# programlama dili ile oluşturulan bir yazılım ile değişken oranlı olarak işletilebilmektedir. Oluşturulan yazılımla bitki taç hacmi doğrudan hesaplanabilmektedir.
- 3) Geleneksel uygulamaya göre değişken oranlı ilaç uygulama sistemi, hedef bitki üzerindeki örnekleme yüzeylerinde daha düşük birikim sağlamasına rağmen, kaplama ve damla yoğunluğu açısından çoğu hastalık ve zararlı kontrolü için kabul edilen eşik değerlerden daha yüksek kaplama ve damla yoğunluğu sağlayabilmektedir.
- 4) Geleneksel yöntemle gerek doğrudan yere ulaşan gerekse uygulama sırasında havada asılı kalan birikim miktarı daha yüksek bulunmuştur. Yere ulaşan ilaç miktarı her iki yöntemde hedef bitki çevresinde benzer olmuş, ancak hedef bitkiden uzaklaştıkça bitkiler arasındaki boşlukta en az ilaç kaybı değişken oranlı uygulama ile sağlanmıştır.
- 5) Değişken oranlı püskürtme sistemi, sadece ağaç taç geometrisi dikkate alınarak uygulanan ilaç miktarında %48,69 oranında tasarruf sağlanmıştır.
- 6) Değişken oranlı püskürtme sistemi ile %88,67 oranında ilaç kayıplarında azalma sağlanmıştır.

Bu çalışmada geliştirilen ve test edilen prototip püskürtme sistemindeki hidrolik ve otomasyon sorunlarını gidermek için sisteme aşağıda belirtilen ilavelerin yapılması sistemi daha kullanışlı hale getirebilir.

- 1- Saniyede 10 kere veya daha fazla açılıp kapanabilme özelliğine sahip solenoid valfler kullanılarak daha hassas püskürtme yapılabilir.
- 2- Değişken oranlı püskürtme sistemi için özel olarak tasarlanmış, aynı anda birden fazla valfi kontrol edebilecek pwm modüllü elektronik kartlar sayesinde elektronik ve yazılımsal iş yükü hafifletilip, sistem daha hızlı çalıştırılabilir.
- 3- LIDAR sensör kullanılarak hedef bitki materyalinin taç hacmi daha doğru ve daha hassas bir şekilde hesaplanabilir.

KAYNAKLAR

- Abbas, I., Liu, J., Faheem, M., Noor, R., S., Shaikh, S., A., Solangi, K., A., Raza, S., M., 2020. Different sensor based intelligent spraying systems in Agriculture. Sensors and Actuators A: Physical, 316:
- Afacan Erbaşlar, Ö. 2014. Bursa İli Armut Üretiminde Tarımsal İlaç Kullanımının Ekonomik Analizi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa.
- Anonim, 2018. T.C. Kalkınma Bakanlığı [<https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2020/04/KimyaSanayiiCalismaGurubuRaporu.pdf>], Erişim Tarihi: 13.06.2022.
- Anonim, 2021a. Agrifac [<https://www.agrifac.com/sustainable-farming/spot-spraying/>], Erişim Tarihi: 13.06.2021.
- Anonim, 2021b. Agrifac [<https://www.agrifac.com/sustainable-farming/pulse-width-modulation-pwm-spraying/>], Erişim Tarihi: 14.05.2021.
- Anonim, 2021c. Dultmeier [<https://www.dultmeier.com/blog/agriculture/pulse-width-modulation-how-to-size-pwm-spray-nozzles/>], Erişim Tarihi: 14.05.2021
- Anonim, 2022a. Robotistan [https://maker.robotistan.com/wp-content/uploads/2017/10/IR_Prensip-min.png], Erişim Tarihi: 28.04.2022
- Anonim, 2022b. Sharp [https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf], Erişim Tarihi: 21.04.2022.
- Anonim, 2022c. Hbmacit [<https://www.hbmacit.com/wp-content/uploads/2020/01/us-sensor-works-768x359.png>], Erişim Tarihi: 21.04.2022
- Anonim, 2022d. Mcu-turkey [<https://www.mcu-turkey.com/wp-content/uploads/2011/08/22.jpg>], Erişim Tarihi: 21.04.2022

- Anonim, 2022e. No-tillfarmer [<https://www.no-tillfarmer.com/ext/resources/images/news/2016/august/Deere-Exact-Apply.jpg>], Erişim Tarihi: 14.04.2022
- Anonim, 2022f. Sprayers101 [<https://sprayers101.com/wp-content/uploads/2015/12/Figure-2-AIM-Command.jpg>], Erişim Tarihi: 14.04.2022
- Anonim, 2022g. TÜİK [<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/DownloadIstatistikselTablo?p=PVTqHaT1UAViCBEjhyAbkluqBh1YByX4rdQk/ITxmq1gBcntO53G4UVw8zd/qntk>], Erişim Tarihi: 07.03.2022
- Anonim, 2022h. TÜİK [<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/DownloadIstatistikselTablo?p=DevwBXtNYbgCTNBpTaPhLwQomi60FTNAIu54K7j3m1z3OuvYCfZ1z7a8YTLjNCdT>], Erişim Tarihi: 07.03.2022
- Anonim, 2022i. Syngenta [https://www.syngenta.com.au/sites/g/files/zhg116/f/470x170px_number-of-droplets-per-cm_table.jpg], Erişim Tarihi: 10.05.2022
- Arslan, S., Çiçekgil, Z., 2018. Türkiye’de Tarım İlacı Kullanım Durumu ve Kullanım Öngörüsü. Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi, 4(1): 1-12.
- Asaei, H., Jafari, A., Loghavi, M., 2019. Site-specific orchard sprayer equipped with machine vision for chemical usage management. Computers and Electronics in Agriculture, 162: 431-439.
- Bayat, A. 1991. Turunçgil İlaçlamasında Klasik Püskürtme Yöntemleri ve Elektrostatik Yükleme Yöntemi Etkinliğinin Belirlenmesi Üzerinde Bir Araştırma. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana.

- Bode, L., E., Bretthauer, S., M., 2008. Agricultural Chemical Application Technology: A Remarkable Past And An Amazing Future. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 51(2): 391-395.
- Chen, Y., Zhu, H., Ozkan, H., E., Derksen, R., C., Krause, C., R., 2013. Spray Drift And Off-Target Loss Reductions With A Precision Air-Assisted Sprayer. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 56(6): 1273–1281.
- Colaço, A., F., Molin, J., P., Rosell-Polo, J., R., Escolà, A., 2018. Application of light detection and ranging and ultrasonic sensors to high-throughput phenotyping and precision horticulture: Current status and challenges. Horticulture Research, 5(1):
- Doğan, F., N., Karpuzcu, M., E., 2019. Türkiye’de tarım kaynaklı pestisit kirliliğinin durumu ve alternatif kontrol tedbirlerinin incelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25(6): 734–747.
- Gil, E., Escolà, A., Rosell, J., R., Planas, S., Val, L., 2007. Variable rate application of plant protection products in vineyard using ultrasonic sensors. Crop Protection, 26(8): 1287–1297.
- Gil, E., Llorens, J., Llop, J., Fàbregas, X., Escolà, A., Rosell-Polo, J., R., 2013. Variable rate sprayer. Part 2 – Vineyard prototype: Design, implementation, and validation. Computers and Electronics in Agriculture, 95: 136-150.
- Jejčič, V., Godeša, T., Hočevan, M., Širok, B., Malneršič, A., Štancar, A., Lešnik, M., Stajniko, D., 2011. Design and Testing of an Ultrasound System for Targeted Spraying in Orchards. Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering, 57(7-8): 587-598.
- Jeon, H., Y., Zhu, H., Derksen, R., C., Ozkan, H., E., Krause, C., R., Fox, R., D., 2011. Performance Evaluation Of A Newly Developed Variable-Rate Sprayer For Nursery Liner Applications. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 54(6): 1997-2007.

- Kadıoğlu, İ., 2012. Türkiye Tarımında Bitki Koruma ve Bazı Güncel Yaklaşımların Değerlendirilmesi. *Ziraat Mühendisliği*, (359), 18–25.
- Kanat, Z., Çelik, Y., Çay, Ş., 2017. Konya İlinde Bodur ve Yarı Bodur Elma Üretiminin Maliyet Analizi. *Selcuk Journal of Agricultural and Food Sciences*, 31(1): 56–62.
- Kızılay, H., Akçaöz, H., 2009. Elma Yetiştiriciliğinde İlaç ve Gübre Kullanımında Ekonomik Kaybın İncelenmesi: Antalya İli Örneği. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 2(1): 113–119.
- Llorens Calveras, J., Gil, E., Llop Casamada, Jordi., Escolà, A., 2011. Ultrasonic and LIDAR Sensors for Electronic Canopy Characterization in Vineyards: Advances to Improve Pesticide Application Methods. *Sensors*, 11(2): 2177–2194.
- Llorens, J., Gil, E., Llop, J., Escolà, A., 2010. Variable rate dosing in precision viticulture: Use of electronic devices to improve application efficiency. *Crop Protection*, 29(3): 239–248.
- Maghsoudi, H., Minaei, S., Ghobadian, B., Masoudi, H., 2015. Ultrasonic sensing of pistachio canopy for low-volume precision spraying. *Computers and Electronics in Agriculture*, 112: 149–160.
- Manandhar, A., Zhu, H., Ozkan, E., Shah, A., 2020. Techno-economic impacts of using a laser-guided variable-rate spraying system to retrofit conventional constant-rate sprayers. *Precision Agriculture*, 21(5):1156–1171.
- Moltó, E., Martín, B., Gutiérrez, A., 2001. Pesticide Loss Reduction by Automatic Adaptation of Spraying on Globular Trees. *Journal of Agricultural and Engineering Research*, 78(1): 35–41.
- Overbeck, V., Pelzer, T., Huhs, J., Kämpfer, C., Wegener, J. K., 2019. Innovative sprayer with optimized sensor-based gap detection for precision application of plant protection products. *Acta Horticulturae*, 1242: 23–30.

- Önler, E. 2012. Ultrasonik Sensör Yardımıyla Belirlenen Yaprak Yoğunluğuna Göre Püskürtme Miktarını Ayarlayan Sistemin Tasarımı (Akıllı İlaçlama Makinası). Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ.
- Özalp, A., Kahraman, S., Yılmaz, İ., 2016. Manisa İli Soma İlçesinde Yağlık Zeytin Üretiminin Ekonomik Analizi. XII. Tarım Ekonomisi Kongresi, Isparta.
- Palleja, T., Landers, A., J., 2015. Real time canopy density estimation using ultrasonic envelope signals in the orchard and vineyard. *Computers and Electronics in Agriculture*, 115: 108–117.
- Patil, M., Abukhalil, T., Patel, S., Sobh, T., 2016. Ub Swarm: Hardware Implementation Of Heterogeneous Swarm Robot With Fault Detection And Power Management. *International Journal of Computing*, 15(3):162-176.
- Penido, É., de C., C., Teixeira, M., M., Fernandes, H., C., Monteiro, P., B., Cecon, P., R., 2019. Development and evaluation of a remotely controlled and monitored self-propelled sprayer in tomato crops. *Revista Ciencia Agronomica*, 50(1): 8–17.
- Salcedo, R., Zhu, H., Zhang, Z., Wei, Z., Chen, L., Ozkan, E., 2020. Evaluation of PWM technologies for pesticide spray applications in a two-year old apple orchard. *ASABE 2020 Annual International Meeting*, Omaha.
- Salcedo, R., Zhu, H., Zhang, Z., Wei, Z., Chen, L., Ozkan, E., Falchieri, D., 2020. Foliar deposition and coverage on young apple trees with PWM-controlled spray systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 178:
- Sandal, E., K., Yurddaş, M., 2019. Şanlıurfa İlinde Antep Fıstığı Üretimi Ve Maliyet- Kazanç Analizi. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 6(6): 442–452.

- Shen, Y., Addis, D., Liu, H., Hussain, F., 2017. A LIDAR-Based Tree Canopy Characterization under Simulated Uneven Road Condition: Advance in Tree Orchard Canopy Profile Measurement. *Journal of Sensors*, 2017:
- Shen, Y., Zhu, H., Liu, H., Chen, Y., Ozkan, E., 2017. Development of a laser-guided, embedded-computer-controlled, air-assisted precision sprayer. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 60(6): 1827-1838.
- Solanelles, F., Escolà, A., Planas, S., Rosell, J. R., Camp, F., Gràcia, F., 2006. An Electronic Control System for Pesticide Application Proportional to the Canopy Width of Tree Crops. *Biosystems Engineering*, 95(4): 473–481.
- Stajanko, D., Berk, P., Lešnik, M., Jejčič, V., Lakota, M., Štrancar, A., Hočevar, M., Rakun, J., 2012. Programmable ultrasonic sensing system for targeted spraying in orchards. *Sensors*, 12(11): 15500–15519.
- Subaşı, O., S., Uysal, O., Aktaş, E., Aydın, B., 2013. Turunçgil Üretiminde İyi Tarım Uygulamalarının Karşılaştırmalı Ekonomik Analizi: Mersin İli Örneği. *XII. Tarım Ekonomisi Kongresi*, Isparta.
- Tewari, V., K., Chandel, A., K., Nare, B., Kumar, S., 2018. Sonar sensing predicated automatic spraying technology for orchards. *Current Science*, 115(6): 1115–1123.
- Tiryaki, O., Canhilal, R., Horuz, S., 2010. Tarım ilaçları kullanımı ve riskleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(2): 154–169.
- Wei, Z., Xiu, W., Wei, D., Su, S., Wang, S., Fan, P., 2015. Design and test of automatic toward-target sprayer used in orchard. *The 5th Annual IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control and Intelligent Systems*, 697-702, China.
- Xiao, K., Ma, Y., Gao, G., 2017. An intelligent precision orchard pesticide spray technique based on the depth-of-field extraction algorithm. *Computers and Electronics in Agriculture*, 133: 30–36.

- Xiongkui, H., Aijun, Z., Yajia, L., Jianli, S., 2011. Precision orchard sprayer based on automatically infrared target detecting and electrostatic spraying techniques. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 4(1): 35–40.
- Xu, Y., Gao, Z., Khot, L., Meng, X., Zhang, Q., 2018. A real-time weed mapping and precision herbicide spraying system for row crops. *Sensors*, 18(12):
- Yıldız, Ö., Dağdemir, V., 2017. Sakarya İlinde Fındık Üretim Maliyeti. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 23(1): 37-42.
- Zaman, Q., U., Schumann, A., W., Miller, W., M., 2005. Variable Rate Nitrogen Application In Florida Citrus Based On Ultrasonically-Sensed Tree Size. *American Society of Agricultural Engineers*, 21(3): 331–335.
- Zhai, C., Wang, X., Liu, D., Ma, W., Mao, Y., 2012. Nozzle flow model of high pressure variable-rate spraying based on PWM technology. *Advanced Materials Research*, 422: 208-217.
- Zhang, Z., Wang, X., Lai, Q., Zhang, Z., 2018. Review of Variable-Rate Sprayer Applications Based on Real- Time Sensor Technologies (S. Hussmann). *Automation in Agriculture - Securing Food Supplies for Future Generations*, (<http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.73622>).



ÖZGEÇMİŞ

Yücel AVŞAR, İlkokul, ortaokul ve lise eğitimini Adana’da tamamladı. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümü’nden 2018 yılında mezun oldu. 2019 yılında askerlik görevini tamamlayarak aynı yıl Çukurova Üniversitesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitime başladı. 2020 yılında Düzce Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı.