ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

Meyve Ağaçları için Değişken Oranlı Hava ve Sıvı Uygulamalı Pülverizatör Tasarımı, İmalatı ve Etkinlik Analizi

Medet İTMEÇ

Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran, 2024

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZ ONAYI

Meyve Ağaçları için Değişken Oranlı Hava ve Sıvı Uygulamalı Pülverizatör Tasarımı, İmalatı ve Etkinlik Analizi

Medet İTMEÇ

Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu Doktora Tezi 27/06/2024 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Değerlendirilmiş ve Oy Birliği ile Kabul Edilmiştir.

Jüri	: Prof. Dr. Ali BAYAT	(Danışman)	……
	: Prof. Dr. Ahmet İNCE		……
	: Doç. Dr. Cem BOĞA		……
	: Doç. Dr. Caner KOÇ		……
	: Dr. Öğr. Üyesi Alper SOYSAL		……

Bu Tez Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.
Tez No:

Prof. Dr. Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

Bu çalışma TÜBİTAK-TOVAG Birimi Tarafından desteklenmiştir.
Proje No: TÜBİTAK 1005-221O467

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

ÖZ I
ABSTRACT II
TEŞEKKÜR III
ÇİZELGELER DİZİNİ IV
ŞEKİLLER DİZİNİ VI
SİMGELER VE KISALTMALAR X
1. GİRİŞ 1
1.1. Bahçe İlaçlama ve Bahçe Pülverizatörlerinin Durumu 1
1.2. Ağaç Tacının Karakterizasyonu 6
1.3. Hava Jeti ve Geleneksel Uygulamalarda Uygun Hava Hızının Göstergeleri 8
1.4. Bahçe İlaçlamada Damla Sürüklenme Kayıpları 10
1.5. Bahçe İlaçlamada Değişken Oranlı Püskürtme Sıvısı ve Hava Akımlı Uygulamalar 12
1.5.1. Değişken Debi (Püskürtme Sıvısı) Kontrol Ünitesi 13
1.5.2. Basınç Tabanlı Akış Kontrol Ünitesi 14
1.5.3. Meme Çıkış Açıklığını Değiştirme 15
1.5.4. Değişken Konsantrasyonlu Kontrol Birimi 15
1.5.5. Değişken Oranlı Damla Taşıyıcı Hava Akımı Uygulamaları 15
1.6. Bahçe İlaçlamada Kullanılan Bahçe Pülverizatörlerinin İşletmede Enerji Kullanımı ve Verimliliği 16
1.7. Çalışmanın Önemi ve Amacı 16
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 19
2.1. Değişken Oranlı Püskürtme Debisi Kontrolü Uygulama Sistemler 19
2.2. Değişken Oranlı Hava Akımı Sağlayan Sistemler 22
2.3. Değişken Basınç Tabanlı Akış Kontrol Üniteli Sistemler 28
2.4. Değişken Konsantrasyonlu Sistemler 29
2.5. Ağaç Taç Geometrisine Bağlı Pozisyon Değiştiren Sistemler 31
2.6. Bahçe Pülverizatörlerinde Enerji Verimliliğine Yönelik Çalışmalar 32
2.7. Ağac Tacının Aerodinamiği ile ilgili Yapılan Çalışmalar 32
2.8. Sürüklenme Potansiyelinin Belirlenmesi 34
3. MATERYAL VE METOT 37
3.1. Materyal 37
3.1.1. Değişken Oranlı Püskürtme ve Hava akımı Sağlayan Bahçe Pülverizatörü Tasarım Esasları 37
3.1.2. Bahçe Pülverizatörünün Hidrolik Ünitesi 48
3.1.3. Değişken Oranlı Püskürtme Sisteminin Tasarımı 54

3.1.4. Bahçe Pülverizatöründe Enerji Besleme 56
3.1.5. Yazılım ve Donanım 57
3.1.6. Traktör 59
3.1.7. Denemelerde Kullanılan Diğer Ölçüme Cihazları 60
3.1.8. Denemelerin Yapıldığı Bahçeler 62
3.2. Metot 65
3.2.1. Bahçe Pülverizatörünün Lazer Algılama ve Zamanlama Denemeleri 65
3.2.2. Değişken Oranlı Hava Uygulayan Sistemin Hidrolik Ünite ile Adaptasyonu, Algoritması ve Doğrulama Testleri 66
3.2.3. Değişken Oranlı Püskürtme Sıvısı Uygulayan Sistemin Algoritması ve Doğrulama Testleri 72
3.2.4. Bahçe Pülverizatörünü Geleneksel ve Değişken Oranlı Çalıştıran Programlar 74
3.2.5. Bahçe Pülverizatörüyle Bahçede Gerçekleştirilen Adaptasyon ve Denemeler 75
3.2.6. Denemelerde Yapılan Diğer Ölçümler Ölçümler 82
3.2.7. Denemelerde Alınan Verilerin Değerlendirilmesi 88
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 93
4.1. Bilgisayar Programında Hesaplanan Çıktıların Doğruluğunun Değerlendirilmesi 93
4.1.1. Laboratuvar Ortamında Lazer Sensör ile Gerçekleştirilen Ölçümlerinin Doğrulanma Verileri 93
4.1.2. Değişken Oranlı Hava Akımı Uygulayan Sistemin Doğrulama Testlerinin Sonuçları 93
4.1.3. Değişken Oranlı Püskürtme Sıvısı Uygulayan Sistemin Doğrulama Testlerinin Sonuçları 94
4.2. Bahçelerde Gerçekleştirilen Hava Hızı Ölçümleri ve Adaptasyonlar 95
4.2.1. Farklı Bahçelerde Gerçekleştirilen Adaptasyonlar ve Yaprak Alan İndeksi Ölçümlerinin Karşılaştırılması 95
4.2.2. Farklı Bahçelerde Gerçekleştirilen Hava Hızı Ölçümü Sonuçları 97
4.3. Bahçede Püskürtme Sıvısıyla Gerçekleştrilen Denemeler 102
4.3.1. Denemelerde Elde Edilen İz Maddesi Birikinti Verileri 102
4.3.2. Denemelerde Elde Edilen Kaplama Verilerinin Değerlendirilmesi 112
4.3.3. Ağaç Bazlı Kaplama ve İz Maddesi Birikinti Değerlerinin Karşılaştırılması 121
4.3.3. Bahçe Denemelerinde Sürüklenme Kayıplarının Belirlenmesi 124
4.4. Farklı işletme koşulları ile yapılan çalışmalarda elde edilen yakıt tüketimi ve püskürtme sıvısı verileri 131
4.4.1. Yakıt ve Enerji Tüketimleri 131
4.4.2. Bahçe Çalışmalarında Yakıt Tüketimi 133

4.4.3. Bahçe Denemelerinden Elde Edilen Püskürtme Sıvısı Tüketimlerinin Karşılaştırılması 134
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 137
KAYNAKLAR 141
ÖZGEÇMİŞ 151

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

Meyve Ağaçları için Değişken Oranlı Hava ve Sıvı Uygulamalı Pülverizatör Tasarımı, İmalatı ve Etkinlik Analizi

Medet İTMEÇ

Danışman: Prof. Dr. Ali BAYAT

Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı

ÖZ

Ülkemizde meyve ağaçlarına ilaç uygulamak üzere yaygın olarak standart tip yardımcı hava akımlı bahçe pülverizatörleri kullanılmaktadır. Bu tip pülverizatörlerle ağaç taç hacmine bağlı olarak uygulama hacmini (L/ağaç) değiştirmek, hava akımı anlık olarak değiştirmek ve ağaçlar arasındaki boşluklarda ilacı anlık kesmek mümkün değildir. Yardımcı hava akımlı bahçe pülverizatörleri ile yapılan uygulamalarda ilaç tassarrufu sağlamak için genellikle değişken oranlı püskürtme sistemleri üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Oysa püskürtme sisteminin kontrolü ile birlikte damla taşıyıcı hava akımının da kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada; yeni tasarlanan bir yardımcı hava akımlı bahçe pülverizatörünün eksenel fanı ayrı bir hidrolik sistemle işletilerek değişken oranlı hava akımı ve aynı zamanda püskürtme sistemi üzerindeki memeler selenoid valflerle bağımsız kontrol edilerek değişken oranlı püskürtme sistemi oluşturulmuştur. Çalışmada ağaç tacının geometrisi anlık olarak lazer sensörler aracılığıyla tespit edilmiş daha sonra sensörlerle alınan bu veriler Labview isimli program sayesinde püskürtme için gerekli sıvı miktarı ve hava akımı hızını hesaplamakta kullanılmıştır. Böylece, bahçe pülverizatörü sıra arasında ilerlerken, ağacın değişen geometrilerine dolaysıyla taç hacmine bağlı olarak gerçek zamanlı hava ve püskürtme sıvısı uygulayabilecek hale getirilmiştir. Bahçe denemelerinden önce, laboratuvar ortamında pülverizatörün anlık ve kendi karar verme mekanizmasına sahip olabilmesi için ön çalışmalar gerçekleştirilmiştir Prototip olarak üretilen pülverizatör, farklı taç geometrilerine ve yaprak yoğunluklarına sahip greyfurt (YAİ=2,08), pikan cevizi (YAİ=1,67) ve Trabzon hurması (YAİ=1,49) bahçelerinde denenmiştir. Tasarlanan bahçe pülverizatörü hem değişken oranlı hem de geleneksel bahçe pülverizatörler gibi (15, 30, 45◦ fan kanat açısı ve 1680 ve 2160 dev/dak fan dönü hızında) çalıştırılabilmektedir. Denemelerde, tasarlanan bahçe pülverizatörü; 3 farklı bahçede, değişken oranlı ve geleneksel uygulama (6 farklı uygulama) olmak üzere 7 farklı işletme koşulunda çalıştırılmıştır. Gerek yeni tasarımın değişken oranlı uygulama performansı gerekse de geleneksel işletme koşullarında sağlanan etkinlikleri karşılaştırmak için ağaç üzerinde seçilen bölgelerde sağlanan ilaç (BSF iz maddesi) birikintisi miktarı ($\mu g/cm^2$) ve kaplama oranları (%), ağaç tacı dışına sürüklenen ilaç birikintisi (airborne drift), ağaç tacı altında yere ulaşan ilaç birikintisi (ground drift) ve beher işletme koşulu için enerji tüketim değerleri ölçülmüştür.. Değişken oranlı uygulamalarda geleneksel uygulamalara göre greyfurt ağacında 58,55%, pikan cevizinde 69,90%, ve Trabzon hurmasında 68,01% daha az ilaç tüketilmiştir. Geleneksel uygulama ile gerçekleştirilen denemelerde Greyfurt ve Pikan Cevizi bahçelerinde uygulama hacimleri ise 550 L/ha olarak Trabzon hurmasında uygulama hacmi 830 L/ha olarak belirlenmiştir. Belirtilen uygulama hacimleriyle çalışmada, değişken oranlı uygulamalarda greyfurt ağacı üzerinde ölçülen ortalama iz maddesi birikimi 2,77 $\mu g/cm^2$, kaplama oranı %13,74 sürüklenme kayıpları 0,96 $\mu g/cm^2$ ve yere ulaşan iz maddesi birikimi 2,88 $\mu g/cm^2$ olarak ölçülmüştür. Bu değerler pikan cevizinde sırasıyla ortalama iz maddesi birikintisi 2,79 $\mu g/cm^2$, kaplama oranı %14,79 sürüklenme kayıpları 0,78 $\mu g/cm^2$ ve yere ulaşan iz maddesi birikimi 4,86 $\mu g/cm^2$ olarak gerçekleşmiştir. Trabzon hurmasında ise iz maddesi birikintisi 2,80 $\mu g/cm^2$ ve kaplama oranı %14,20 sürüklenme kayıpları 1,41 $\mu g/cm^2$ ve yere ulaşan iz maddesi birikimi 10,08 $\mu g/cm^2$ olarak ölçülmüştür. Değişken oranlı uygulamalar genellikle geleneksel işletme koşullarına göre daha düşük iz maddesi birikinti ve kaplama değerleri sağlamıştır. Değişken oranlı uygulama ile ağaç türü fark etmeksizin yapılan denemelerde, %10 düzeylerinde yakıt tasarrufu sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Değişken Oranlı Hava ve Sıvı Uygulama, Yardımcı Hava Akımlı Bahçe Pülverizatörü, Lazer sensör, Meyve ağacı İlaçlama, İlaç birikintisi, İlaç sürüklenmesi.

CUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

PhD THESIS

Design, Manufacturing and Effectiveness Analysis of Variable Ratio Air and Liquid Applied Sprayer for Fruit Trees

Medet İTMEÇ

Advisor: Prof. Dr. Ali BAYAT

Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering

ABSTRACT

In our country, standard type air assissted orchard sprayers are widely used to apply pesticides to fruit trees. With this type of sprayers, it is not possible to change the application volume (L/tree) depending on the tree crown volume, to change the air flow instantaneously, and to instantly cut the pesticide in the gaps between trees. In applications made with air assissted orchard sprayers, studies are generally carried out on variable rate spray systems to save pesticides. However, along with the control of the spray system, the droplet carrier air flow must also be controlled. In this study; The axial fan of a newly designed air assissted orchard sprayer is operated by a separate hydraulic system, and a variable rate spray system is created by controlling the variable rate air flow and the nozzles on the spray system independently with solenoid valves. In the study, the geometry of the tree canopy was instantly detected through laser sensors, and then these data received with the sensors were used to calculate the amount of liquid and airflow velocity required for spraying, thanks to the program called Labview. Thus, as the orchard sprayer moves through the rows, it can apply real-time air and spray liquid depending on the changing geometries of the tree and therefore the canopy volume. Before the orchard trials, preliminary studies were carried out in a laboratory environment to enable the sprayer to have an instantaneous and own decision-making mechanism. The sprayer, produced as a prototype, was tested in grapefruit (LAI=2.08), pecan walnut (LAI=1.67) and persimmon (LAI=1.49) orchards with different canopy geometries and leaf densities. The designed orchard sprayer can be operated as both variable rate and traditional orchard sprayers (15, 30, 45◦ fan blade angle and 1680 and 2160 rpm fan rotation speed). In the trials, the designed orchard sprayer; it was operated in 7 different operating conditions, including variable rate and traditional application (6 different applications), in 3 different orchards. In order to compare both the variable rate application performance of the new design and the efficiencies achieved under traditional operating conditions, the amount of drift (BSF trace substance) deposits (µg/cm^2) and coverage rates (%),deposits that drifted out of the tree canopy (airborne drift) in selected areas on the tree, residue reaching the ground under the tree crown (ground drift) and energy consumption values for each operating condition were measured.In variable rate applications, 58.55% less pesticide was consumed in grapefruit trees, 69.90% in pecans, and 68.01% in persimmons compared to traditional applications. In the trials carried out with traditional application, the application volume in grapefruit and pecan orchards was determined as 550 L/ha, and the application volume in persimmon was determined as 830 L/ha. In the study with the specified application volumes, the average trace material accumulation measured on the grapefruit tree in variable rate applications was 2.77 µg/cm2, the coverage rate was 13.74%, drift losses were 0.96 µg/cm2 and the trace material accumulation reaching the ground was 2.88 µg/cm2 measured.These values were respectively: the average tracer accumulation in pecan nuts was 2.79 µg/cm2, the coverage rate was 14.79%, the drift losses were 0.78 µg/cm2 and the tracer accumulation reaching the ground was 4.86 µg/cm2. In persimmon, trace material accumulation was measured as 2.80 µg/cm2, coverage rate was 14.20%, drift losses were 1.41 µg/cm2 and tracer accumulation reaching the ground was measured as 10.08 µg/cm2. Variable rate applications generally provided lower tracer deposit and coating values than conventional operating conditions. In trials conducted with variable rate application, regardless of tree type, fuel savings of 10% were achieved.

Keywords: Variable Rate Air and Liquid Application, Air Assissted Orchard Sprayer, Laser Sensor, Orchard Spraying, Deposition, Drift.

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmamın konusunun belirlenmesinde, yürütülmesinde verdiği kıymetli yardım ve önerilerinden dolayı değerli danışman hocam Prof. Dr. Ali BAYAT' a, tezimdeki katkı ve önerilerinden dolayı Prof. Dr. Ahmet İNCE ve Doç.Dr. Cem BOĞA hocalarıma çok teşekkür ederim.

Makinenin tasarımından imalatına, bahçe ve laboratuvar denemelerine kadar verdiği katkı ve özveriden dolayı değerli Doç.Dr. Ömer Barış ÖZLÜOYMAK hocama, yine laboratuvar çalışmalarında paylaştığı değerli bilgi ve önerilerinden dolayı Yük. Zir. Müh. Hüseyin GÜÇÜM'e destek ve önerilerinden dolayı kıymetli Dr. Öğr.Üyesi Alper SOYSAL hocama çok teşekkür ederim.

Saha çalışmalarını gerçekleştirebilmem için sağladıkları destekten dolayı, değerli Doç.Dr. Meral İNCESU ve Prof.Dr. Mustafa ÜNLÜ hocalarıma, istatistik konusunda engin bilgilerini benimle paylaşan değerli arkadaşım Dr. Öğr.Üyesi Yusuf Kemal ARSLAN'a, yine laboratuvar çalışmalarında ölçümler konusunda bana destek olan değerli çalışma arkadaşım Ar.Gör.Dr. Mustafa ŞEHRİ'hocama çok teşekkür ederim.

Daima yanımda olan ve verdiği moral motivasyondan kaynaklı çok kıymetli Dr. Cem KORKMAZ'a, atölyede imalat aşamasında verdikleri emek ve yardımseverliklerinden dolayı Fevzi ŞAHBAZ'a, Seydi Vakkas GÜNDOĞAN'a, İbrahim GÜLEN'e ve Harun ÖZVAROL'a, bahçe ve laboratuvar çalışmalarında verdikleri emekten dolayı proje bursiyerlerimiz Mihriban OKUR ve Işılay AYDIN'a çok teşekkür ederim.

Projeye verdiği destekten ötürü TÜBİTAK TOVAG grubuna kendim ve hocam Prof.Dr. Ali BAYAT adına çok teşekkür ederim.

Her zaman benim için elinden geleni yapan annem ve babama, desteklerinden dolayı ablam ve yiğenlerime çok teşekkür ederim.

Bu süreçte bana katlanan, bana olan sevgilerini her zaman hissettiren kıymetli eşim Ezgi ve çocuklarım Ahmet Civan ve Zeynep Turna'ya çok teşekkür ederim.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3-1. Denemelerde kullanılan Tarım Garaj marka (1.2 mm plaket çaplı) memenin basınç-verdi ilişkisi. 56
Çizelge 3.2. New Holland TD95D'ın bazı teknik özellikleri 59
Çizelge 3.3. Denemelerde kullanılan bahçelere ait özellikler ve denemeler esnasındaki ağaçların durumu. 63
Çizelge 3.4. Farklı gerilim değerlerinde elde edilen hava jetinin dağılımının (%) değerlendirilmesi 68
Çizelge 3.5. Tasarlanan makinanın bahçe koşullarında fan işletilme paremetreleri 78
Çizelge 3.6. Tasarlanan makinenin bahçelerde püskürtme sıvısı ve hava uygulama şekli 79
Çizelge 4.1. Farklı yüzeylerde gerçekleştirilen Lazer sensör ölçüm değerlerinin el ile (şerit metre) ölçüm değerleri ile karşılaştırılması 93
Çizelge 4.2. Denemelerde ölçülen hava hızlarının ağaç türü ve işletme koşullarındaki interaksiyonları. 97
Çizelge 4.3. Bahçe denemelerinde gerçekleştirilen yükseklik boyunca iz maddesi birikintisi ölçümleri ile ağaç türü ve operasyonel farklılıkların istatiksel analizi. 102
Çizelge 4.4. Yatay ve işletme koşulları ikili interaksiyonlarının iz maddesi birikintisi verisi üzerindeki etkileri 103
Çizelge 4.5. Bahçe denemelerinde gerçekleştirilen ilerleme doğrultusu boyunca iz maddesi birikintisi ölçümleri ile ağaç türü ve operasyonel farklılıkların istatiksel analizi. .. 106
Çizelge 4.6. Düşey ve işletme koşulu ikili interaksiyonlarının iz maddesi birikintisi verisi üzerindeki etkileri 107
Çizelge 4.7. Düşeylerdeki iz maddesi birikintisi değerlerinin karşılaştırılması. 107
Çizelge 4.8. Bahçe denemelerinde gerçekleştirilen püskürtme doğrultusu boyunca iz maddesi birikintisi ölçümleri ile ağaç türü ve operasyonel farklılıkların istatiksel analizi. .. 110
Çizelge 4.9. Bahçe denemelerinde gerçekleştirilen yükseklik boyunca kaplama ölçümleri ile ağaç türü ve işletme koşullarının farklılıkların istatiksel analizi. 113
Çizelge 4.10. Bahçe denemelerinde Yatay Boyunca Kaplama İndeksinin karşılaştırılması 115
Çizelge 4.11. Bahçe denemelerinde gerçekleştirilen püskürtme doğrultusu boyunca kaplama ölçümleri ile ağaç türü ve işletimdeki farklılıkların istatiksel analizi. 116
Çizelge 4.12. Bahçe denemelerinde ilerleme doğrultusu boyunca kaplama oranı indeksinin karşılaştırılması 118
Çizelge 4.13. Bahçe denemelerinde gerçekleştirilen püskürtme doğrultusu boyunca kaplama verileri ile ağaç türü ve operasyonel farklılıkların istatiksel analizi. 119
Çizelge 4.14. Bahçe denemelerinde Püskürtme Doğrultusu Boyunca kaplama oranı İndeksinin karşılaştırılması. 121

Çizelge 4.15. Seçilen püskürtme yöntemlerine göre ağaç bazlı kaplama ve iz maddesi değerleri, ortalama ve dağılım düzgünlüğünü CV(%) karşılaştırılması 123
Çizelge 4.16. Bahçe denemelerinde yer kayıplarının iz maddesi birikintisi verileri ile ağaç türü ve operasyonel farklılıkların istatiksel analizi..... 124
Çizelge 4.17. Bahçe denemelerinde havada asılı duran damlaların oluşturduğu iz maddesi birikintisi verileri ile ağaç türü ve operasyonel farklılıkların istatiksel analizi. 127
Çizelge 4.18. Farklı ağaç türleri ve işletme koşullarında yer kayıpları (C) ve sürüklenme kayıplarının (D) karşılaştırılması 130
Çizelge 4.19. Geleneksel uygulamalara göre değişken oranlı uygulamanın (VR7) sürüklenme azaltma 131
Çizelge 4.20. Fan İşletme paremetrelerine bağlı olarak, ölçülen yakıt tüketimi, hidromotor yağ basıncı ve tork gereksinimi 132
Çizelge 4.21. Laboratuvar ortamında farklı gerilim değerlerinde hesaplanan operasyon verileri 133
Çizelge 4.22. Bahçe uygulamalarında gerçekleştirilen yakıt tüketimleri ve yakıt tasarrufu. 134
Çizelge 4.23. Değişken oranlı ilaç uygulama ile kesintisiz ilaç uygulama verilerinin karşılaştırılması 134
Çizelge 4.24. Değişken oranlı ilaç uygulamanın kesiksiz ilaç uygulamaya göre uygulama hacminde yaptığı tasarruf değerleri..... 135

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Yardımcı hava akımlı bahçe pülverizatörünün genel görünüşü 4
Şekil 1.2. (a) Yardımcı Hava Akımlı Bahçe Pülverizatörü Türbo ünitesi, (b) fan göbeğindeki kanat açılarını değiştirme düzeneği, (c) şaftın dönüş hızını değiştiren sistem. 5
Şekil 1.3. Schumann ve Zaman (2005)' ın matematiksel denklemlerini belirlerken kullandıkları terminoloji 7
Şekil 1.4. Ultrasonik sensör ile veri alınırken yoğun ve seyrek taçlı ağaçlarda çalışması 8
Şekil 1.5. Hava hızının ağaç vejatatif gelişimine göre ayarlanması 10
Şekil 1.6. Püskürtülen damlaların ağaç içerisinde birim mesafede yayılması..... 11
Şekil 1.7. Chen ve ark. (2012) belirlemiş olduğu sıra üzeri ağaç tacı hacmi (a), Cai ve ark. (2019)'ın belirlediği ağaç üzeri birim bölümler (b). 13
Şekil 1.8. Değişken oranlı püskürtme sisteminin şematik diyagramı 14
Şekil 2.1. Gil ve ark. (2007) tasarladıkları ağaç tacının genişliğine göre oransal ilaç uygulaması yapan bahçe pülverizatörü 19
Şekil 2.2. Jeon ve ark.(2011) tasarladıkları değişken oranlı ilaç uygulaması gerçekleştirebilen tünel tipi bahçe pülverizatörü 20
Şekil 2.3. Chen ve ark. (2012) tasarladıkları püskürtme manifoldları ve pozisyonları 21
Şekil 2.4. Liu ve ark. (2022) tasarladıkları otonom ilaçlama robotunun görseli 22
Şekil 2.5. Pai ve ark. (2009) deflektörün pozisyonunu anlık değiştirebilen sistemin görseli 23
Şekil 2.6. Khot ve Ark. (2012)'ın tasarladığı fan çıkış ağzının anlık olarak açıklığını ayarlayan sistem 23
Şekil 2.7. Wei ve ark (2016) kamyonet üzerine monte ettikleri ilaçlama ünitesi..... 24
Şekil 2.8. İris damper tasarımına ait tasarımın görsel (a), bahçede denemelerinde irisin tam açık pozisyonu (b) 26
Şekil 2.9. Fan çıkışı üzerinden yapılan ölçüm bölgeleri (a), farklı uzaklık ve yüksekliklerden yapılan ölçümlerin konumu (b) 28
Şekil 2.10. Xun ve Ark. (2023)'ın çalışmalarında kullandıkları Hardi Kule Pülverizatör (a), Fede Eksenel Fanlı Pülverizatör (b), Fede Kule Pülverizatör (c), sistemin çalışması sırasında kullanılan düzlemsel alan belirleme yönteminin görseli (d) 29
Şekil 2.11. Değişken konsantrasyonlu bahçe pülverizatörünün görseli (a), püskürtülen tarımsal ilacın derişimini ölçmek için kullanılan örnek alma ünitesi (b) 30
Şekil 2.12. Osterman ve Hocevar (2014)'ın tasarladığı ağaç tacına göre mekanik olarak pozisyon değiştirebilen bahçe pülverizatörü 31
Şekil 2.13. Fan konum açısı ve hava akım miktarı değiştirilebilen 6 fanlı bahçe pülverizatörü..... 32
Şekil 2.14. Ağacın sürüklenme katsayısını belirlemek için kurulan deney düzeneği 33

Şekil 2.15. Cross ve ark. (2001) yılında sürüklenme ve kaplamayı belirlemek için bahçeye kurdukları ölçüm düzeni 35
Şekil 2.16. Salyani ve ark. (2007) sürüklenme potansiyelini belirlerken kullandıkları yöntem 35
Şekil 2.17. Wang ve ark. (2022) kullandıkları deneme metodolojisinin görseli 36
Şekil 3.1. Tasarlanan makinanın sol yan (a), ön görünüş (b), sağ yan görünüşü (c)..... 39
Şekil 3.2. Tasarlanan bahçe pülverizatörünün sağ yan görünüşü..... 40
Şekil 3.3. Tasarlanan bahçe pülverizatörünün sol yan görünüşü 42
Şekil 3.4. Bahçe uygulaması esnasında değişken oranlı hava akımının belirlenmesi 43
Şekil 3.5. Değişken oranlı püskürtme sisteminin çalışmasına ait görsel..... 43
Şekil 3.6. Elektronik haberleşme ile değişken oranlı uygulamaların algoritmaları..... 44
Şekil 3.7. İmal edilen bahçe pülverizatörünün ana şasesi (a), yaprak yay sisteminin tekere ve şaseye bağlanması (b). 45
Şekil 3.8. Bahçe pülverizatöründe kullanılan fanın genel durumu (a), Hareketli kanatlardaki açı değiştirme sistemi (b), fan devrini değiştirmek için kullanılan transmisyon (c). 46
Şekil 3.9. Agrima HPP165 ilaç pompasının görseli (a), pompa giriş ve çıkış milinin konumu (b)..... 47
Şekil 3.10. İmal edilen bahçe pülverizatörü üzerinde kullanılan regülatör 48
Şekil 3.11. Bahçe pülverizatörünün hidrolik sisteminin devre şematiği 50
Şekil 3.12. Yağ pompasının genel görünüşü..... 51
Şekil 3.13. Dişi-dişi girişli ML 52 devir arttırıcı şanzıman..... 51
Şekil 3.14. Fanın üzerindeki transmiyona kaplinle bağlı hidromotorun görseli. 52
Şekil 3.15. Yağ tankının şase üzerindeki montajı 52
Şekil 3.16. Kaplin parçaları ile hidromotorun montaj hali (a), hidromotor tutucunun görseli (b) 54
Şekil 3.17. Değişken oranlı uygulama yapan memelerin fan üzerindeki dizilimi ve tesisatı (a), ilaç hattı üzerinde bulununan kollektörlere bağlı selenoidlerin pano içerisindeki dizilimi (b). 55
Şekil 3.18. Dağıtım vanaları (a), selenoid valfler (b)..... 55
Şekil 3.19. Elektronik aksamın besleme sistemine ait şematik diyagramı. 57
Şekil 3.20. Autodesk Inventor 2022 programı kullanılarak oluşturulan modellere ait bahçe pülverizatörünün görseli. 57
Şekil 3.21. Verilerin alınması ve karar verme mekanizmasının sunulduğu LabView 2015'e ait ara yüz görüntüsü. 58
Şekil 3.22. DT50 SICK marka lazer sensörün görseli 59
Şekil 3.23. Tasi TA8165 Digital Vana Tipi Anemometre (a), PCE.A420 kaşık tipi anemometre (b)..... 60

Şekil 3.24. Bahçe denemelerinden önce Yaprak Alan İndeksini ölçmek için kullanılan cihaz (a), Li-Cor 2000'in lens kapakları (b). 61
Şekil 3.25. Yakıt ölçerin traktöre bağlanması ve verilerin görüntülenmesi 62
Şekil 3.26. Bahçe denemelerinin gerçekleştirildiği bahçelerin uydu görüntüleri. 63
Şekil 3.27. Meyve bahçeleri hurma (az yoğun) (a), pikan cevizi (yoğun) (b), greyfurt (çok yoğun) (c) 64
Şekil 3.28. Lazer Sensörlerin ağaç taç geometrisini okuması ve bilgisayara okunan verilerin aktarılması 65
Şekil 3.29. Voltaj-Ortalama Hız İlişkisi kurulurken kullanılan programın ara yüzü. 66
Şekil 3.30. Makinenin kalibrasyonu sonrasında elde edilecek Gerilim – Fandan çıkan ortalama hava hızının grafiği. 68
Şekil 3.31. Ağaç dış tacı mesafesinin anlık alınan ölçüme göre yaklaşık hesaplanma yöntemi. 70
Şekil 3.32. Değişken oranlı püskürtme sisteminin şematik görünümü, ... 73
Şekil 3.33. Bahçe pülverizatörünün fanının ve memelerinin geleneksel çalışmasını sağlayan programın arayüzü. 74
Şekil 3.34. Değişken oranlı hava+ilaç sağlayan sistemin yazılımına ait ara yüzünün görseli. 75
Şekil 3.35. Bahçe denemelerinden önce her ağaç türüne ait $k\rho_l$ değerinin belirlenmesi esnasındaki deneysel düzenek 76
Şekil 3.36. Kendi karar verme mekanizmasının bahçe denemelerindeki durumu 77
Şekil 3.37. Bahçe denemelerinde kaplama ve iz maddesi birikintisi ölçümü ile sürüklenme ölçümüne ait örnekleme yöntemi. 81
Şekil 3.38. Tarım Garaj marka (1.2 mm plaket çaplı) püskürtme memelerinin damla çapı ölçümü. 82
Şekil 3.39. Yaprak Alan İndeksinin hesaplama yöntemi (a) ve Yaprak Alan İndeksinin görünüşteki farklılıkları (b). 83
Şekil 3.40. Ağaç tacına etkiyen güneş ışınlarının durumu (a) ve Lİ-COR 2000'in çalışma şekli (b). 84
Şekil 3.41. Ağaç Tacının alt etek kısmında gerçekleştirilen YAİ ölçümleri. 84
Şekil 3.42. Bahçe Denemelerinde her bir memeden püskürtülen ilaç miktarının ölçülmesi 85
Şekil 3.43. Laboratuvar koşullarında, gerçekleştirilen ölçümler. 86
Şekil 3.44. Belirlenen bölgelere yerleştirilen suya duyarlı kartlar ve filtre kağıtları 88
Şekil 3.45. Üzerinde fluoroşıl madde bulunan yaprağın gün ışığı ve UV ışığı altındaki görünümü. 88
Şekil 3.46. Bahçe denemelerinde elde edilen suya duyarlı kartların zarflara ve filtre kâğıtlarının kavanozlara koyulup muhafaza edilmesi. 89
Şekil 3.47. Cihaz tarafından oluşturulan Işınım Şiddeti.Konsantrasyon (ng/ml) grafiği. 90
Şekil 3.48. ImageJ ile suya duyarlı kart yüzeylerindeki kaplama oranlarının belirlenmesi 91

Şekil 4.1. Değişken oranlı hava akımının laboratuvar ortamında ahşap levhalar ile denenmesi (a) bilgisayar programında görüntülenen ortalama hava hızları ve oransal valfe gönderilen gerilim değeri (b). 94
Şekil 4.2. Değişken oranlı hava ve püskürtme sıvısı uygulayan bahçe pülverizatörünün zamanlama testleri..... 95
Şekil 4.3. Yaprak Alan İndeksi ve ağaca bağlı kp_l değerinin ilişkisi 96
Şekil 4.4. Ağaç tacının dışından en geniş taç bölgesinde ölçülen hava hızlarının ortalamalarının karşılaştırılması. 98
Şekil 4.5. Bahçe bazlı ağaç tacının dışından ölçülen ortalama hava hızlarının karşılaştırılması (aynı harfle gösterilen sutunlar..... 99
Şekil 4.6. Ağaç tacı dışından farklı yüksekliklerden ölçülen hava hızı değerleri greyfurt (a), pikan cevizi (b), Trabzon hurması (c). 101
Şekil 4.7. Farklı bahçelerde yaprak üzeri iz maddesi birikintisinin yükseklik boyunca değişimi. 105
Şekil 4.8. Farklı bahçelerde yaprak üzeri iz maddesi birikintisinin ilerleme doğrultusu boyunca değişimi. 109
Şekil 4.9. Farklı bahçelerde yaprak üzeri iz maddesi birikintisinin püskürtülme doğrultusu boyunca değişimi. 112
Şekil 4.10. Farklı bahçelerde yaprak üzeri kaplamanın yükseklik boyunca değişimi. 114
Şekil 4.11. Farklı bahçelerde yaprak üzeri kaplamanın ilerleme doğrultusu boyunca değişimi. .. 117
Şekil 4.12. Farklı bahçelerde yaprak üzeri kaplamanın püskürtülme doğrultusu boyunca değişimi. 120
Şekil 4.13. Farklı bahçelerde yer kayıplarının iz maddesi birikintisi miktarlarının farklı bölgelerdeki değişimi 126
Şekil 4.14. Farklı bahçelerde hava akımı ile sürüklenen damlaların oluşturduğu iz maddesi birikintisi miktarlarının farklı bölgelerdeki değişimi. 128

SİMGELER VE KISALTMALAR

η_{PTO} : Kuyruk mili verimi

η_{sis} : Sistem verimi

A : Ağacın rüzgâra maruz kalan ön yüzey alanı

A_C : Ağaç dilimi

C_d : ağacın direnç katsayısı

CV : Varyasyon katsayısı

D_{Di} : Ultrasonik sensörün ağaç tacına olan uzaklığı

DOİT : Değişken oranlı ilaç uygulamadaki ilaç tüketimi

DOYT : Değişken oranlı ilaç uygulamadaki yakıt tüketimini

D_r : Sıra arası mesafe

D_s : Alt alta ultrasonik sensörlerin birbirine uzaklığı

$D_{v0.5}$: Hacimsel orta çap

$f_{buharlaşan}$: Buharlaşan damlaların kütlesi

$f_{çarpıp\ düşenler}$: Yaprağa çarpıp düşen damlaları

$f_{çıkan}$: Taçtan çıkan hava ilaç karışımının kütlesi

F_D : Sürüklenme kuvvetini

f_{giren} : Ağaç tacına giren hava ilaç karışımının kütlesi

$f_{kaplama}$: Yaprak yüzeyini kaplayan damlaların kütlesi

f_{yere} : Düşen hedefe ulaşamadan doğrudan yere düşen damlalar

h : Ağaç tacının maksimum yüksekliğini

İTD : İlaç tasarruf oranı

KİT : Kesiksiz ilaç uygulamadaki ilaç tüketimi

KYT : Kesiksiz ilaç uygulamadaki yakıt tüketimini

$k\rho_l$: Ağaç taç direnci

L : Ağaç tacının derinliği

N_F : Yakıt Gücü

N_{fan} : Fan gücü

N_{PTO} : Kuyruk mili gücü

PPP : Bitki koruma ürünleri

PWM : Darbe genlik modülasyonu

q : Bir memenin debisi

S_i : İlerleme hızını

t : Süre

u : traktör hızını

V : Sıra üzerindeki ağaç hacmini

w : Ağaç tacının maksimum genişliği

YAİ : Yaprak alan indeksi

YTD: Yakıt tasarruf oranı.

μ : Aritmetik ortalama

ρ : Havanın yoğunluğunu

σ : Standart sapma

Ezgi, Ahmet Civan ve Zeynep Turna'ya

1. GİRİŞ

1.1. Bahçe İlaçlama ve Bahçe Pülverizatörlerinin Durumu

Tarımsal üretimde ürün kalitesini arttırma, ürünü bir zararlı etkisinden koruma, don veya aşırı kuraklıktan dolayı yanmayı önleme, zamanından önce olgunlaştırma gibi amaçlarla yaygın olarak bitki koruma ürünleri (PPP) kullanılmaktadır. Bu ürünlerin başında gelen ve zararlı türleriyle mücadelede kullanılan tarım ilaçları önemli yer tutmaktadır. Zararlıyla mücadelede, fiziksel ve biyolojik mücadele gibi seçenekler olmasına rağmen çoğu çiftçi daha kesin sonuçlara varabildiği ancak yanında birçok zararlı etkisi de olan kimyasal mücadeleyi tercih etmektedir. Türkiye'de 2018 yılında toplam tarım ilacı kullanım miktarı, 2017 yılına göre %10,9 artarak 60.020 ton' a yükselmiştir (Anonim, 2018). Özercan ve Taşçı (2022) yaptıkları çalışmada, 2019 yılında pestisit tüketiminin 51.297 tona düştüğünü ancak ertesi yıl ise pestisit tüketiminin 53.672 tona tekrardan yükseldiğini ifade etmişlerdir. Her yıl tarımsal üretim yapılan alanların azalmasına karşın, genellikle yıldan yıla tüketilen tarımsal ilaç miktarı da artmaktadır (Anonim, 2020). Bu durumu etkileyen önemli bir faktör de, tarımsal ilacın uygulamasının doğru şekilde gerçekleştirilememesidir.

Pülverizatörler doğru kullanılamadığında; ilaç zerrelerinin buharlaşması, havada asılı kalması, bir başka hedefe yönlenmesi veya hedef dışı alana sapması gibi sebeplerle ilaçlama etkinliği azalabilmektedir. Tarım ilacının uygulanması esnasında, tarım ilacının hedef dışına sapması olayına sürüklenme denmektedir (ASAE, 2003). İlacın bitki üzerindeki düzensiz dağılımı ve yüksek orandaki sürüklenme, zararlının yeteri kadar kontrol altına alınamamasına sebep olmaktadır. Aynı bahçede meyve ağaçları içerisinde bir bölgede yoğun ilaç zerreleri olabilirken, diğer tarafta da yetersiz ilaçlama gerçekleşebilmektedir. Balsari ve ark. (2002)'na göre bitki koruma ürünlerinin kullanımında %30-%50 arası kimyasal, operatörün bilinçsiz olması sebebiyle hedefine ulaşamamaktadır. Özellikle standart tip yardımcı hava akımlı (Turbo atomizör) bahçe pülverizatörleriyle uygulama gerçekleştirilirken, ağaç tacının küçük veya yaprakların henüz oluşmadığı dönemlerde de yüksek hava akımı ve tarımsal ilacın fazlaca kullanılması ile çok fazla ilaç damlası ağaç tacı ile buluşamamakta ve püskürtülen ilaç damlalarının ağaç üzerine çökelmeden sürüklenmesine neden olmaktadır. Yetersiz ilacın olduğu bölgede zararlı ile mücadelede istenilen sonuca ulaşılamadığı gibi ilacın fazla bulunduğu bölgede fitotoksiteden kaynaklı bitki aksamları kuruyabilmektedir. Bu durumlarda ilaçlama işlemi tekrarlanmakta, işçilik, yakıt maliyetleri artmaktadır ve tarım ürününden istenen kalite alınamamaktadır (Derksen ve Breth, 1994). Bu makineleri kullanan operatörlerin kalifiye olması beklendiği gibi, makinenin de operatör hatasına mahal vermeden ve bu hataları minimize edecek şekilde tasarlanmış olması da önemlidir. Bu sebeple, özellikle tarımsal ilaçlamada kullanılan pülverizatörlerin kısmen ya da tamamen otonom kontrollü olması önemlidir.

Özellikle meyve bahçesi uygulamalarında yapılan çalışmalarda sürüklenmenin daha fazla olabildiği bilinmektedir. Bunun sebebi tarla pülverizatörüyle yapılan uygulamalarda, tarım ürünü

püskürtme kollarının altında kaldığından, tarım ilacının rüzgâra maruziyet süresi daha kısadır ve rüzgârın etkisine maruz kalmaz ise yer çekiminin de etkisiyle bitki tacına ulaşmaktadır. Ancak bahçe uygulamalarında traktör sıra arasında ilerlerken uygulanan ilacın ağaç tacına erişebilmesi için damlalara ekstra bir kinetik enerji verilmesi gerekmektedir. Bunu hava akımıyla gerçekleştirmek mümkündür. Özellikle damla taşıyıcı hava akımının doğru kontrol edilememesi sebebiyle eğer operatör de bilinçsiz ise sürüklenme çok fazla artabilmektedir. Ganzelmeier ve ark. (1995) yaptıkları çalışmada, bahçe pülverizatörüyle yapılan ilaçlamada, tarla pülverizatörü ile uygulanan ilacın on katı kadar sürüklenmenin olduğu ortaya çıkarmışlardır. Tarım ürünü tarla pülverizatörünün püskürtme kollarının altında kaldığından ilaçlama işlemi daha kolaydır. Ancak taç hacmi yüksek ağaçların üst ve orta taçlarına ilaç zerrelerini ulaştırmak oldukça zor olabilmektedir. Ayrıca bahçe uygulamalarında ilacı ağaç tacına ulaştırmak kadar, homojen bir şekilde ağaç tacına dağıtmak da son derece önemlidir. Meyve ağaçlarına bahçe pülverizatörleriyle yapılan uygulamlarda damla taşıyan hava hızı yetersiz olduğu zamanlarda ağacın alt etek bölgesine, ağacın üst ve orta kısmına göre daha fazla ilaç gelebilmektedir. Özellikle narenciye gibi herdem yeşil ve yoğun yapraklı taca sahip ağaçlarda yıl içinde ilaçlama sayısı oldukça fazla ve zararlının taç üzerindeki lokasyonunda farklı olabilmektedir. Örneğin afit, beyazsinek vb. zararlılar için tacın sadece dış kısmının ilaçlanması yeterli iken, koşnil ve kırmızı kabuklu bitlerle mücadelede ağaç tacının tamamen ilaçla kaplanması gerekmektedir.

Günümüzde Avrupa Birliğine (AB) üye ülkelerinin tamamında iyi tarım uygulamaları ve sertifikalı ürün üretimi standartlarına uygunluk bakımından tarım ürünü üzerinde az kalıntı olması beklenmektedir. Bu sebeple pülverizatör operatörlerinin belirlenen standartlara uygun ilaçlama yapması öğretilmesi gerekmektedir. İlacın tarım ürünü üzerinde fazla birikerek kalıntı oluşturması çoğu zaman ihracatın önüne geçebilmektedir. AB ülkelerine gıda ve yem ihraç eden 10 ülkenin gönderdikleri partilerden uygun bulunmayanların sayıları ve bu ülkelerde birim alana tüketim miktarları incelendiğinde; birim alanda 0,7 kg/ha ilaç uygulanmasına rağmen, en fazla pestisit kalıntısı içeren ikinci ülke olduğumuz rapor edilmiştir (Tiryaki ve ark. 2010). Ersoy ve ark. (2011) sert kabuklu meyveler (Antep fıstığı, badem, ceviz, fındık) numunelerinde tarımsal ilaç kalıntısı çalışmıştır ve MRL değerlerinin beklenenden beş katı yüksek olduğunu bildirmiştir. Dinçay ve Civelek (2017) Muğla ili Ortaca Bölgesi'nde turunçgillerde %48'inde insektisit kalıntısı tespit etmiştir. İnsektisit kalıntı düzeylerinin 4 numunede MRL eşik değerlerini aştığı ortaya çıkarmışlardır. Tözün ve Akar (2021) 2010 yılından 2021 yılına kadar pestisit kalıntı üzerine yaptıkları derleme çalışmasında, gıda numuneleri çeşitlilik gösterse de üzüm, çilek, turunçgiller ve sık tüketilen bazı sebzelerde pestisit kalıntısının fazlaca bulunduğunu belirtmişlerdir. Özellikle Akdeniz Bölgesinde, turunçgil ilaçlama işlemi yıkama şeklinde gerçekleştirilmektedir. Bu durum da meyvelerin üzerindeki kalıntı miktarını oldukça arttırmaktadır. Sonuçlar incelendiğinde, ülkemizde ilaç uygulamasında çiftçilerin zararlıdan kurtulmak için ilaçlama yaptıkları ancak, yoğun ilaç kullandıklarından dolayı çevreye hatta tarım ürünün ihraç edilmesine dahi engel olabilmektedir. Bu

durum uzun vadede ülke ekonomisine zarar verebilmektedir. Bu nedenle kalıntı ilaçtan dolayı hem ihracat azalmakta hem de yerli pazara sunulan bu gıdalardan dolayı insan sağlığı etkilenmektedir. Fazla tarım ilacının doğaya salınımı ile çevre zarar görmektedir. İlaçlama işlemi yetersiz olduğunda, bu işlem tekrarlanabilmektedir. Birçok trafikte gerçekleşen ilaçlama işlemi ile fazla ilaç da bitki ile buluşmuş olacağından hem tarım ürünün üzerindeki kalıntı miktarı hem de fazla uygulanan tarım ilacının yaratacağı ekonomik yük artmaktadır. Bu duruma yakıt ve operatör masrafları da dahil edildiğinde başarısız işlemin faturası oldukça yükselmektedir. Sonuçta hem bireysel olarak çiftçi, hem de dolayılı yoldan ülke ekonomisi doğrudan zarar görmektedir.

Meyve ağaçlarında zararlı ile mücadelede ilaç seçimi önemli olduğu kadar, ilacın doğru şekilde uygulanması da ilaçlama etkinliğinin başarısını arttırmaktadır. Başarılı bir ilaçlamanın temel ilkelerine bakıldığında doğru ilaç, makine seçimi ve kalifiye operatör ön plana çıkmaktadır. Pergher ve ark. (1994) elma bahçelerinde geleneksel bahçe pülverizatörleriyle yaptıkları çalışmada, sürüklenme kaybının toplam dozun %14 ile %39 arasında seyredebileceğini ifade etmişlerdir. Bu sebepten dolayı bahçe tarımında ağacın tacının tamamına ilaç gönderebilecek ve ilacı taca verimli uygulayabilecek makine seçilmesi önemlidir. Bir turbo atomizörde, ağaç tacının tamamına nüfuz edebilecek miktarda hava göndermesi beklenir. Bahçe tarımında, ağaçların sıra arası mesafesi, sıra uzunluğu, ağaç tacının geometrik özellikleri, ağacın içinde bulunduğu vejetatif dönem, fenolojik dönem ve yaprak-dal gelişimi (yaprak yoğunluğu), ilaçlama etkinliğini doğrudan etkilemektedir (Garcera ve ark. 2017). Seçilen pülverizatör ne kadar iyi olursa olsun, operatörün eğitimsiz olması, ilaçlama etkinliğini yetersiz hale getirebilmektedir. Dolayısıyla bu durum bahçe pülverizatörü tasarımcılarını ve araştırmacıları otonom ilaçlama yapabilen, kendi karar mekanizmalarına sahip makineler tasarlamaya yönlendirmiştir.

Bahçe pülverizatörü imal eden ve satan firmaların genelinde çok fazla ürün çeşitliliği olmadığı görülmektedir. Buna karşın, yüksek teknolojili, kendi karar verme mekanizmasına sahip bahçe pülverizatörleri dünyada günden güne artmaktadır. Yapılan çalışmalara göre, bahçe pülverizatörüne ait %1.6'yı işaret eden projeksiyon katsayısı oranı, Türkiye'deki bahçe pülverizatörü sayısının 2023 yılında 136.867 adete kadar yükselebileceğini öngörülmüştür (Demir, 2015). Altuntaş (2020) yaptığı çalışmada gerçekten de aradan 5 sene geçmesine rağmen projeksiyon katsayısının çok değişmediğini, projeksiyon daha önce tahmin edilenden yaklaşık 2800 adet eksik çıkarak 2023 yılı için bahçe pülverizatörü beklentisinin 134.045 olduğu ortaya çıkmıştır. Tarımın genelinde mekanizasyon düzeyinin artması önemlidir. Ancak her ne kadar projeksiyon verilerinde, tarımda çalışan makine varlığının arttığını söylemek mümkün olsa da makinelerin etkinliğinin ve veriminin de artması da diğer önemli bir parametredir. Yıllara göre makinelerin tasarımları incelendiğinde, bitki koruma makineleri satıcılarının ürün gamında 10 yıl süre ile imal edilen makineler arasında büyük bir fark olmadığı da görülmektedir (Altuntaş, 2020). Bunun temel sebebi, imalatçıların Ar-Ge yapmamasından kaynaklıdır. Bununla birlikte son yıllarda birçok çiftçi geleneksel ağaç dikimlerinden vazgeçmiş ve bunların yerine tarımı kolay olması sebebiyle bodur veya yarı bodur

ağaçların dikimini tercih etmeye başlamıştır. Ancak yine de eski bahçe pülverizatörlerini kullanmaya devam etmelerinden dolayı çok fazla sürüklenme olmakta ve zararlıyla iyi bir mücadele gerçekleştirememektedirler (Landers ve Farooq, 2004). Hatta tüm sezon boyunca hangi ağaç hangi vejetatif evrede olursa olsun aynı ayarda ilaç uygulaması gerçekleştirilmektedir. Standart Yardımcı Hava Akımlı Bahçe Pülverizatörünün hassas ilaçlama yapabilmesi açısından esnekliği bulunmamaktadır. Hâlbuki dünyada bugün hassas karar verme mekanizmalı ve yüksek teknolojili makineler yaygın olarak imal edilmeye başlanmıştır. Bu sayede ağaç taç hacminin geometrisi, yaprak yoğunluğu ve zararlının popülasyonunun arttığı dönem-vejetatif dönem ilişkisi de göz önüne alınarak değişken oranlı hava ve ilaç uygulaması yapılabilmesi önemlidir. Wandkar ve ark. (2018), yaptıkları çalışmada değişken oranlı uygulamalar sayesinde %30 ile %80 arasında tarımsal ilaç kullanımının azaltılabileceğini ve daha etkin bir ilaçlama gerçekleştirilebileceğini vurgulamışlardır. Çiftçilerin ilaçlama konusundaki farkındalıkları her ne kadar eğitimlerle arttırılmaya çalışılsa da başarılı bir ilaçlamanın önemli bir bileşeni olan makine-ekipmanın daha kaliteli, yüksek teknolojili operatör hatasına mahal vermeyen özellikte olması ile ilaçlama etkinliği daha yeknesak olabilecektir.

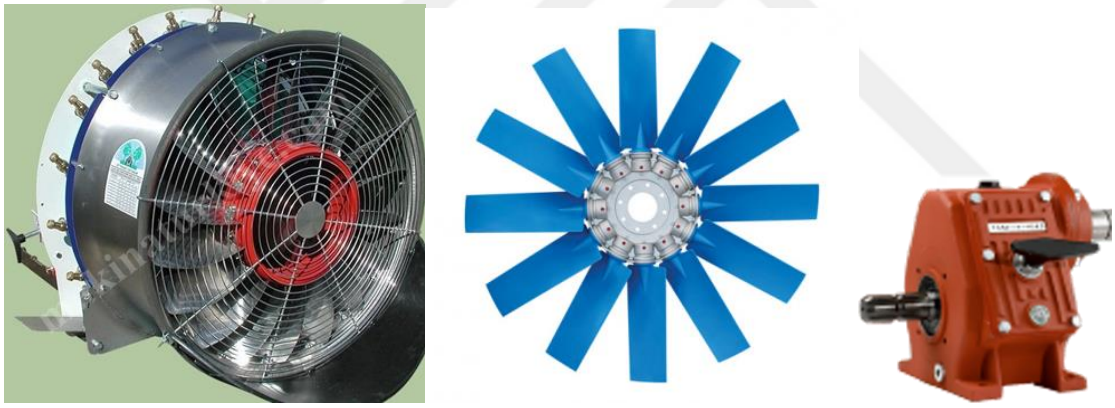
Standart tip yardımcı hava akımlı bahçe pülverizatörlerinde (Şekil 1.1) kuyruk milinden alınan tahrik ile bir pompa çalıştırılmakta, pompa depodan aldığı ilacı arzu edilen basınç ile püskürtme memelerine göndermektedir. Ancak ilaç zerrelerinin memelerden çıkış hızı yeterli seviyede olmadığından, damlaların ağaç üzerindeki yapraklara ulaşabilmesi için ilave bir itici güce ihtiyaç duyulmaktadır (Escola ve ark., 2013). Bu sebeple yine kuyruk milinden tahrik alan bir eksenel fandan sağlanan hava akımı sayesinde, memelerden çıkan damlalar ağaca taşınabilmektedir. Böylece hava akımını arkasına alan damlalar ağaç tacına daha kolay ulaşabilmektedir.



Şekil 1.1. Yardımcı hava akımlı bahçe pülverizatörünün genel görünüşü

Yardımcı hava akımlı bahçe pülverizatörlerinde kullanılan fanların yaygın bir örneği Şekil 1.2 (a)'da verilmiştir. Bu makinaların farklı ağaç türlerine göre hava akımı gönderebilmesi için üretici firmalar farklı seçenekler geliştirmiştir. Bu seçenekler Şekil 1.2b'de görülen kanatların açılarını ve şaft kademesini bir transmisyon ünitesi sayesinde değiştirmektir (Şekil 1.2c). Kanat

açılarını 15º, 30º, 45º olacak şekilde değiştirerek hava hızını değiştirmektedir. Ancak fanlarda en yüksek hava akımının 45º kanat açısında elde edildiği bilinmektedir (Liu et al. 2011). Diğer kanat açılarında ise mekanik verim düşmektedir. Şaft kademesini arttırmak ile fan dönüş hızı artacağından, fandan çıkan hava akımının miktarı yani hacimsel debi de artacaktır. Bahçe pülverizatörlerinin üreticileri bu 6 seçenekle (3 farklı açı ve 2 farklı şaft kademesi) farklı türlerdeki ağaçların yeterli oranda ilaçlanabileceğini düşünmektedirler. Çiftçilerin bu konuda bilinçsiz olması sebebiyle hava akımı doğru oranda ayarlanmadığından yaprak üzerinde yeterli miktarda kaplamanın olamaması, aşırı hava akımından kaynaklı sürüklenmenin gerçekleşmesi ve ilaç zerrelerinin ağaç tacına ulaşamaması problemleri olabilmektedir. Ayrıca 6 seçeneğin hangisinin hangi ağaç türü ve ağacın hangi vejetatif döneminde ilaçlamada kullanılacağı bilinmemekte veya çiftçilerin tecrübesine bırakılmaktadır. Yine verilen 6 seçenek ile hangi ağaç türü için yaprak yüzeyinde ne derece iyi bir kaplama gerçekleştirileceği ve ne derece sürüklenme olacağı pülverizatör imalatçıları tarafından da önerilmemektedir. Çiftçi ise hava hızına karar verirken göz kararı ağaç yapraklarının türbülansı ile belirlemekte, özellikle ağacın dış tacından ilaç zerrelerini görünce de iyi ilaçlama yapıldığını düşünebilmektedirler.



a b c

Şekil 1.2. (a) Yardımcı Hava Akımlı Bahçe Pülverizatörü Türbo ünitesi, (b) fan göbeğindeki kanat açılarını değiştirme düzeneği, (c) şaftın dönüş hızını değiştiren sistem.

Değişken ağaç tacına göre hava akımının ayarlanması ve bu değişkenliğe bağlı olarak ilaç uygulanması önemlidir. Her ne kadar imalatçı yukarıda anlatılan 6 seçeneği kullanıcıya esneklik olarak sunsa da, kullanıcı bu olasılıkları farklı meyve bahçelerinde efektif olarak kullanamamaktadır. Hatta ağaçların farklı vejetatif dönemlerinde bile yoğun gelişen taç hacimlerinde, hava akımının değişmesi gerektiğinde duruma müdahale edememektedir. Böylece hava akımı yetersiz kaldığında veya fazla olduğunda yeterli ilaçlama işlemi gerçekleştirilememektedir. Hava akımının hızını doğrudan fan kanat açısı ve şaft kademesi ile ayarlamak yerine doğrudan bu özelliklerden bağımsız bir şekilde çalışma ile daha hassas ilaçlama yapabilen makineleri yapabilmek mümkündür. Literatür incelendiğinde, bahçe pülverizatörlerinin fan ünitesinde üretilen hava akımının hızını değiştirmek için çoğunlukla kademeli olarak manuel uygulamalar (elle veya gaz pedalı ile) tasarladıkları

gözlemlenmektedir. Ancak ağaç tacının geometrisini tanıyan ve anlık olarak taca yönelik hava gönderen bir sistem ile tacın değişkenliğine bağlı hava akımının hızında da gerekli değişiklikleri operatör bilgisinden bağımsız yaparak daha iyi ilaçlama yapabilen sistemler geliştirilebilmektedir. Bunu gerçekleştirebilmek için öncelikle ağaç tac şeklini belirleyen yöntemler geliştirilmelidir.

1.2. Ağaç Tacının Karakterizasyonu

Hasas tarım amaçlı olarak meyve ağaçlarına ilaç uygulamada en önemli kriterlerinden birisi ağaç tacının geometrisini doğru varsayımlarla ve doğru matematiksel model ile belirlemektir. Ağaç tacını tanıma ve ağaç taç geometrisine uygun olarak ilaç uygulama, son yılların ilaçlama alanındaki en popüler konuları arasında yer almaktadır. Yapılan çalışmalarda, ağaç tacının birim hacminde yer alan dal ve yaprakların genellikle aynı oranda dağıldığı varsayılarak matematiksel modeller geliştirilmiştir (Hu ve ark. 2011). Sıra arasında ilerleyen traktörün bir taraftan veri alması, bir taraftan bu verileri işlemesi bir sonuca dönüştürmesi ve uygulama yapması beklenmektedir (Palleja ve Landers, 2015). Alınan verilerin doğruluğu, verileri alan cihazın çalışma koşullarına uygunluğu çok önemlidir.

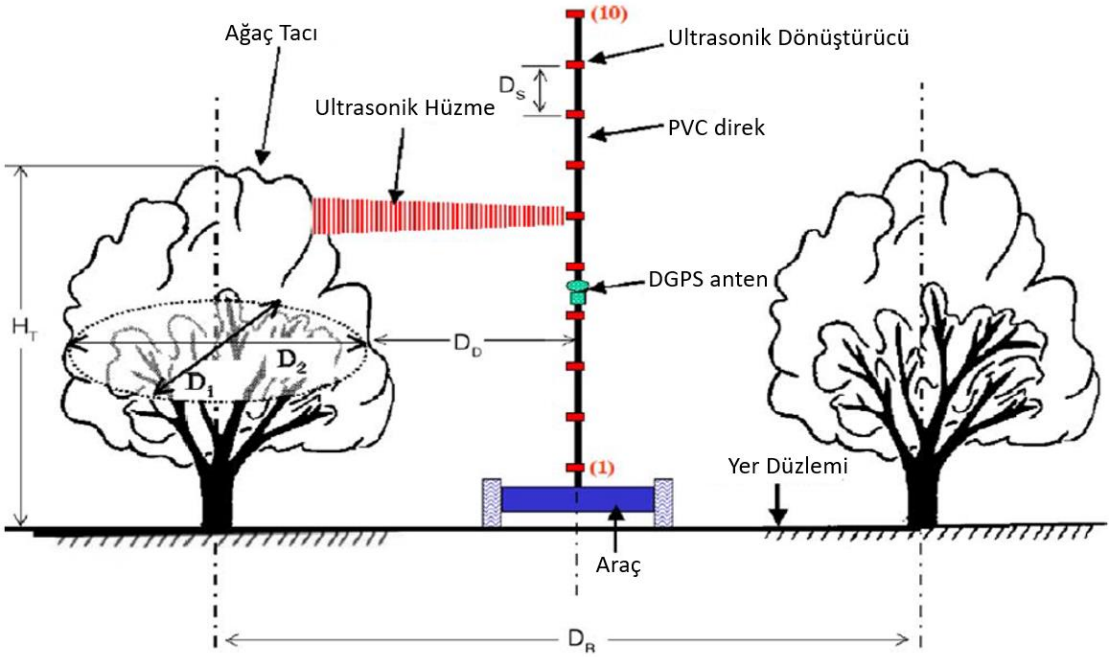
Schumann ve Zaman (2005), yaptıkları çalışmada ağaç tacını 10 farklı yükseklikten ölçmüşlerdir ve 10 farklı yükseklikte ağacı yatay dilimlere (segmentlere) ayırmışlardır. Ölçülen her bir yükseklikte ağaç merkezine olan uzaklıktan çıkarıp her bir dilimin alanını dairesel kabul edip her bölgenin alanını hesaplamışlardır (Şekil 1.3). Ultrasonik sensörün her bir alanı tarama yüksekliği ile de çarptıktan sonra da, toplam 10 bölgede hesaplanan hacmi tüme varım yöntemiyle toplayıp ağaç tacını bulmuşlardır. Ağaç tacının üzerinde hesaplanan her bir alan Eşitlik 1.1 aracılığı ile hesaplanmaktadır.

$$A_c = 2 \sum_{i=1}^{i=10} (0.5\, D_r - D_{Di}) D_s \tag{1.1}$$

Burada A_C her bir dilim için hesaplanan alanı, D_r sıra arası mesafeyi, D_{Di} herhangi bir ultrasonik sensörün bulunduğu konumdan ağaç tacına olan uzaklığı, Ds ise iki ultrasonik sensörün birbirine uzaklığıdır. Bu formülden yola çıkarak bir ağacın hacmi de Eşitlik 1.2 ile hesaplanmıştır;

$$V_{TC} = \sum_{i=1}^{i=n} t S_i A_{Ci} \tag{1.2}$$

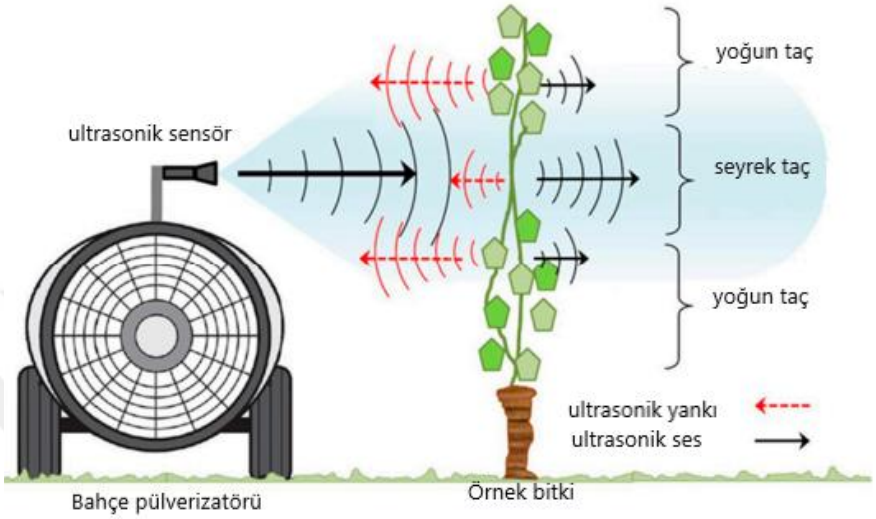
Bu formülde de A_{Ci} hesaplanan bir ağaç kesitini, n tamamlanan tarama sayısını, S_i ilerleme hızını, t ise bir taramayı bitirmek için geçen toplam süreyi ifade etmektedir.



Şekil 1.3. Schumann ve Zaman (2005)' ın matematiksel denklemlerini belirlerken kullandıkları terminoloji

Ağaç taç geometrisinin tamamını tanımlama daha çok LİDAR (Işın Algılama ve Mesafe Ölçme) sensör ile gerçekleştirilebilmektedir. LİDAR, belirli bir yerden yansıttığı ışınların ağaç tacına çarpıp geri yansıtılma sürelerini ve ışığı yansıtma değerleri kullanarak mesafeyi ölçmektedir. Bu işlem ile LiDAR aracılığıyla mesafe ölçümüyle birlikte aynı zamanda yeryüzüne ait x, y, z bilgilerini toplayarak nokta bulutu verisi üretilmekte ve ağaç tacı 3 boyutlu olarak çıkarılabilmektedir. Bu tip sensörler ile yapılan uygulamalar, daha çok harita tabanlı uygulamalar için kullanılmaktadır. Ancak sensör tabanlı uygulamaların da yapıldığı gerçek zamanlı uygulamalar da mevcuttur (Cai ve ark., 2019). LİDAR sensörler ile ağaç taç geometrisi tamamen ortaya konulduğundan, ağacın yoğunluğu da yaklaşık olarak belirlenebilmektedir (Liu ve ark., 2022). Ancak sadece mesafe ölçen ultrasonik ve lazer sensörler için ağaç taç yoğunluğu doğrudan ölçülmemekte, Yaprak Alan İndeksi (YAİ) ile ilişkilendirilerek gerçekleştirilebilmektedir. Ağaç tacını tanıma sistemleri Lazer ile tarama, veya ultrasonik sensör kullanımı ile gerçekleştirilebilmektedir (Llorens ve ark., 2011). Tumbo ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada, laboratuvar ortamında lazer ve ultrasonik sensörler ile ağaç tacı karekteristikleri için benzer sonuçlar bulmuşlardır ($R^2 > 0.85$, RMSE < 2.15 m^3) ve bu iki sensörün algı yetenekleri arasında çok büyük farklar olmadığını ortaya çıkarmışlardır. Günümüzde özellikle ultrasonik sensörlerin diğer sensörlere göre daha ekonomik olmaları nedeni ile daha fazla tercih edilmektedir. Ancak ultrasonik sensörden gönderilen ses dalgaları yayılan dalgalar halinde ilerlediği için geniş bir alanı tarayabilmektedir. Oysa lazer sensörlerde ışının gönderildiği mesafeyi tek nokta olarak ölçmek mümkündür. Bu durumların yanında, traktör üzerine adapte edilen ultrasonik sensörler titreştiğinde veya gürültü oluştuğunda gönderdiği ses dalgalarını transmitterler tarafından yeterince iyi algılayamamaktadır. Palleja ve Landers, (2015) yaptıkları çalışmada, farklı ağaç taç

yoğunluklarında yapılan çalışmalarda taç yoğunken (yoğun miktarda yaprakla kaplanmışsa) iyi sonuç alınabildiği, ancak seyrek iken de cisme çarpıp dönen ses dalgalarında ciddi oranda azalmaların olduğu bu durumun da veri alış verişini olumsuz etkileyebildiği ifade edilmiştir (Şekil 1.4). Ayrıca veri alma ortamındaki havanın bağıl nemi ve sıcaklığı da bu sensörlerin duyarlığını engellemektedir (Maghsoudi ve Minaei, 2014).



Şekil 1.4. Ultrasonik sensör ile veri alınırken yoğun ve seyrek taçlı ağaçlarda çalışması (Palleja ve Landers, 2015)

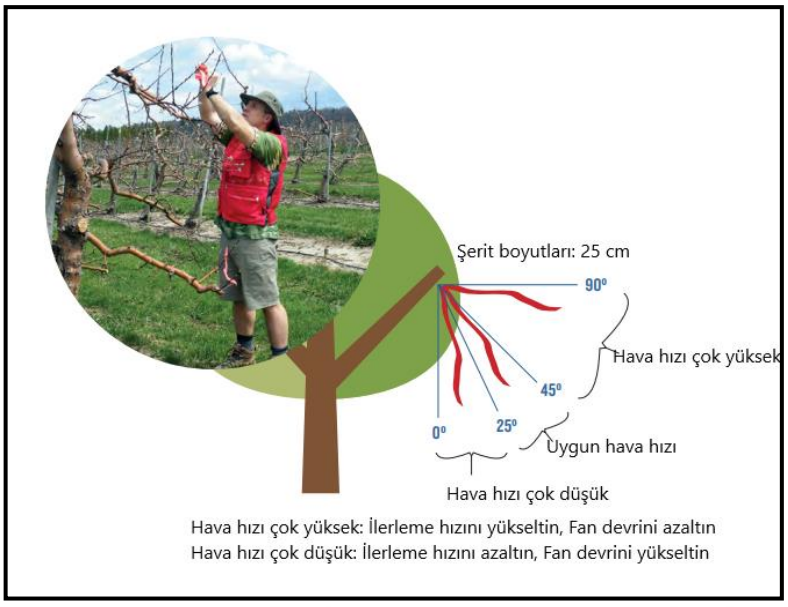
1.3. Hava Jeti ve Geleneksel Uygulamalarda Uygun Hava Hızının Göstergeleri

Hava Jetinin Kararlılığı

Bahçe pülverizatörünün turbo fan ünitesinin damlaları ağaca iyi taşıması kadar, verimli ve düzgün hava jetinin olması da önemlidir. Hava jeti profilinin düzgün olmasından kasıt TS ISO 9898 standardına göre pülverizatörün turbo ünitesinde sağlı-sollu saptırılan hava akımının damlalarla buluştuğu hava çıkış ağzında, standartla belirlenen bölgelerdeki hava hızının ortalama hava hızına göre değişimi ifade edilmektedir. Standarda göre belirlenen bölgelerden anemometreler ile ölçüm gerçekleştirilip, bu ölçümler sonucunda okunan değerlerin standart sapması ve varyasyon katsayısı belirlenmektedir. Varyasyon katsayısının büyük olması (CV>%30), hava jetinde kararsızlık yani aşırı türbülansların olduğunu, küçük olması ise hava jetinin kararlı olduğunu göstermektedir. Duga ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada farklı tasarıma sahip bahçe pülverizatörlerinin (standart tip, kuleli, üst üste iki fanlı) üç boyutlu hot wire anemometre (sıcak tel anemometre) ile hava hızlarını ölçmüşlerdir ve ölçülen bölgelere göre akış analiz programında hava jeti profilini belirlemişlerdir. Buna göre en düzgün hava jetinin eksenel fanlı bahçe pülverizatörüne ait olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca bu makine ile yapılan bahçe uygulamalarında da ilacın homojen şekilde dağıldığını görmüşlerdir.

Geleneksel Uygulamalarda Damla Taşımada Uygun Hava Hızının Göstergeleri

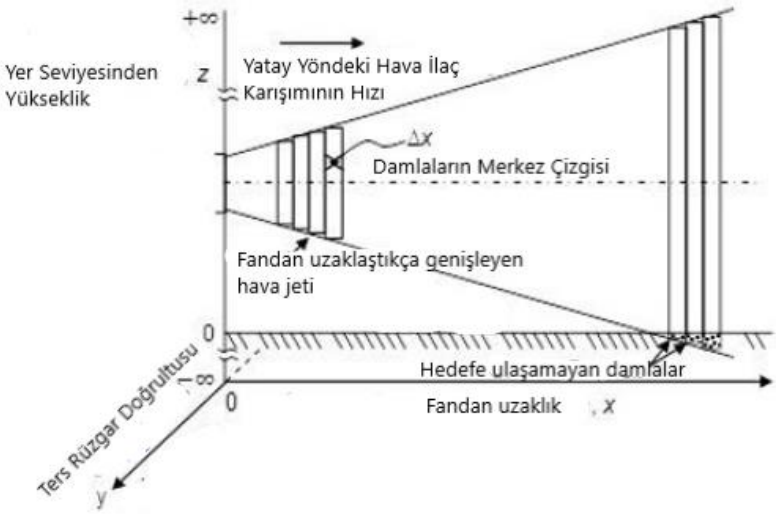
Yardımcı hava akımlı bahçe pülverizatörleriyle çalışmada, hedef ağacın çeşidi ve büyüklüğüne göre seçilmesi için gerekli hava hızı konusunda yeterli bilgi bulunmamaktadır (Bayat ve ark. 2020). Bazı çalışmalarda, hava hızının ağaç üzerindeki ilaç dağılımını etkilediği, yüksek hava hızlarında ilacın ağaç dışına sürüklendiği ve yüksek hava hızının yaprakları hava akımı ile paralel doğrultuda yönlendirdiği ortaya çıkmıştır (Holownicki ve ark., 2002, Marucco ve ark.,2008, Triloff, 2013). Bahçede ilaç uygulama esnasında hava akımının yeterli oranda olup olmadığını anlamak için ağaç gelişim periyoduna bağlı olarak, daha az sürüklenme ve hedef yüzeylerde iyi bir ilaç tutunması (birikimi) için Şekil 1.5' te verilen pratik yöntem kullanılmaktadır (Deveau, 2015). Bu pratik yöntemin uygulanması için, genellikle hafif yapıda uçuşabilen 25 cm boylarında kesilmiş plastik şeritler ağaç tacının dış bölümüne, hava akımı ile aynı yönde olacak şekilde dal uçlarına bağlanmaktadır. Eğer bağlanan şerit (güvenlik şeritleri), düşey düzlemde 25°- 45° derecelik açılar içinde uçuyor ise hava hızının uygun olduğuna karar verilmektedir. Ancak bu iki açı arasındaki fark oldukça büyüktür. Buna karşın, Tsatsarelis (1979) yaptığı çalışmada iyi bir yaprak yüzeyi kaplaması için, düz yapraklı ağaçlar çıkış tarafında maximum hava hızını 3 m/s olarak belirlemiştir. Balsari ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada yuvarlak yapraklılarda, yaprak yüzeyinde iyi bir kaplama için, ağaç tacının çıkışında hava hızının 5 m/s olması gerektiğini ifade etmişlerdir Dolayısıyla ağaç türü veya yaprak türü değişse de hava hızının ağaç tacından çıkışı sonra 3 ile 5 m/s arasında olması beklenmektedir. Yüksek damla taşıma hızlarında damlanın hedefe çökme veya hedefle buluşma ortamı kötüleşmekte iken, düşük türbülanslı bölgelerde damlanın hedefle buluşma ihtimali artmaktadır. Hava hızı yetersiz olduğunda, damlalar tacın orta kısımlarına taşınamamakta, fazla olduğunda ise tacın dış kısmına sürüklenebilmektedir. Hava hızının belirli bir aralıkta olması ile önceki kullanımın aksine ağaç yarı tacına ilacı çökeltmek kolay olacaktır. Ortam şartlarının da ilaç damlalarının ağaç tacı üzerinde kalmasında önemli bir etmen olduğu bilinmektedir. Bu sebeple bahçe uygulamalarında ilaç ağaçtan çıktıktan sonra ne gibi etkenlere maruz kaldığı bilinmelidir.



Şekil 1.5.Hava hızının ağaç vejatatif gelişimine göre ayarlanması (Deveau, 2015)

1.4. Bahçe İlaçlamada Damla Sürüklenme Kayıpları

Yardımcı Hava Akımlı Bahçe Pülverizatörünün eksenel fanından uygulanan hava jeti ağacın tacının içerisine girdikten sonraki akımın durumunu tanımlamak için ise, yaprak ve dalların yoğunluğuna bağlı olarak geliştirilen farklı matematiksel modeller mevcuttur. Bunun sebebi atmosfer ortamındaki hava direnci ile ağaç tacı içerisindeki direncin farklı olmasıdır. Ağacı üzerinde yer alan yapraklar ve dallar havaya karşı direnç oluşturacağından, hava jetinin bu bölgede farklı bir matematiksel model ile çözülmesi gerekir. Bu konuyla ilgili Larbi ve Salyani (2012a) püskürtülen sıvının geometrisi ile ilgilenmişlerdir (Şekil 1.6a). Jetin açık atmosferde nasıl yayıldığını ortaya koymuşlardır. Larbi ve Salyani (2012b) ikinci çalışmalarında bu geometrinin ağaç tacı içerisinde nasıl yayıldığını ortaya koyan bir matematiksel model ortaya koymuşlardır (4). Şekil 1.6b'de de görüleceği üzere, püskürtülen damlaların soldan sağa doğru gittiği düşünüldüğünde soldaki her bir dikdörtgene göre sağdaki dikdörtgenin içerisinde bulunan havanın kinetik enerjisi azalmış, bunun yanında havanın ihtiva ettiği damla miktarı da azalmıştır. İyi bir ilaçlama etkinliğinde zararlı türü için önerilen ilaç uygulama hacminin birim ağaç hacmi içinde homojendağılması beklenmektedir.



(a)



b

Şekil 1.6. Püskürtülen damlaların ağaç içerisinde birim mesafede yayılması (Larbi ve Salyani, 2012a) (a) ve püskürtülen sıvının ağaç içerisinde ilerlerken dal ve yaprağa bağlı olarak değişen ilaç+hava (kütle akısı) karışımın değişimi (Larbi ve Salyani, 2012b) (b).

Buna göre Larbi ve Salyani (2012b) ağaç içerisindeki kayıpları gösteren kütle akısına transferine ait matematiksel modeli aşağıdaki gibi açıklamışlardır;

$$\frac{dm_x(t)}{dt} = f_{giren,x}(t) - f_{çıkan,x}(t) - f_{buharlaşan,x}(t) - f_{kaplama,x}(t) - f_{çarpıp\ düşenler,x}(t) - f_{yere\ düşen,x}(t) \quad (1.3)$$

Burada, hava ilaç karışımı ağaç tacının içerisinde ilerlerken, f_{giren} ağaç tacına giren hava ilaç karışımının kütlesi, $f_{çıkan}$ taçtan çıkan hava ilaç karışımının kütlesi, $f_{buharlaşan}$ buharlaşan damlaların kütlesi, $f_{kaplama}$ yaprak yüzeyini kaplayan damlaların kütlesi, $f_{çarpıp\ düşenler}$ yaprağa çarpıp düşen damlaları, f_{yere} düşen hedefe ulaşamadan doğrudan yere düşen damlaları ifade etmektedir. Matematiksel modelde de görüldüğü gibi ağaca gönderilen ilaç damlalarının bir kısmı hava hızı

yüksekse doğrudan tacı terketmekte (sürüklenme kayıpları), küçük zerreler buharlaşmakta, bir kısmı yaprak yüzeyini kaplamakta, bir kısmı ağaca çarpıp yere düşmekte (yere ulaşan kayıplar), özellikle iri damlalar veya yeterince hava akımını arkasına alamayan damlalar da taca ulaşamadan yere düşmektedir. Denklem 1.3 te de görüldüğü üzere ağaç tacına giren ilaç zerrelerin ağaçta kalma olasılığını arttırmak için kayıplar göz önüne alınarak, daha iyi bir ilaçlama mümkündür. Ortam sıcaklığı çok yüksek iken ilaçlama yapmak veya ilacı çok küçük zerreler halinde uygulamak buharlaşma miktarını arttırmaktadır. Bu durumu engellemek için doğru ortam koşulları ve püskürtme basıncını değiştirmek mümkün olabilmektedir. Ağaç tacında ilacın tutunabilmesi için yayıcı yapıştırıcılar da tercih edilebilir (İtmeç ve ark., 2022). Buharlaşan ve çarpıp düşen damlalar hariç diğer olası sürüklenme etkilerini azaltmak, yüksek teknoloji içeren bir pülverizatör ile mümkündür. Ancak burada yüksek teknolojili pülverizatörden beklenti; hava akımını ağaç tacına göre değişken oranlı olarak gerçek zamanlı ayarlama özelliği ve ağacın değişen taç hacmine göre değişken oranlı tarımsal ilaç uygulama özelliği olmalıdır.

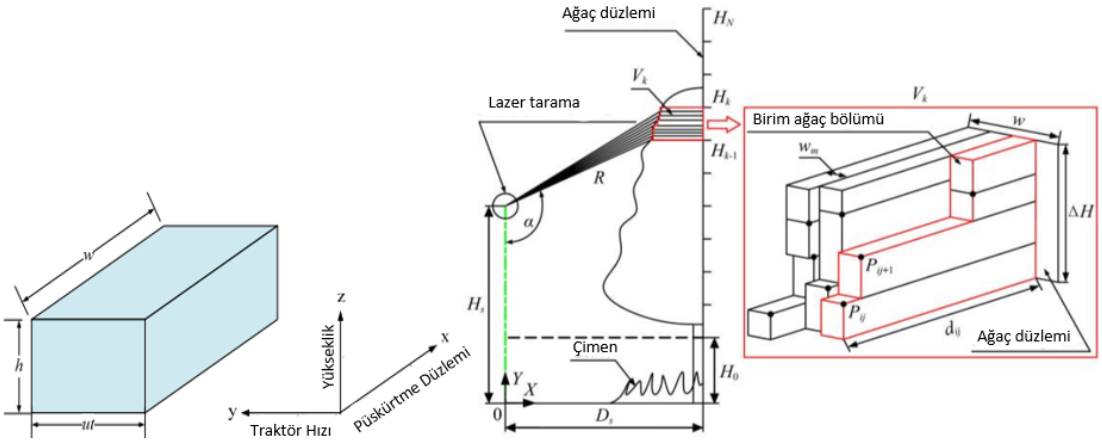
1.5. Bahçe İlaçlamada Değişken Oranlı Püskürtme Sıvısı ve Hava Akımlı Uygulamalar

Hassas tarımda, uygulanacak ilacın ilgili bölgeye arzu edilen bir şekilde ve miktarda uygulanmasına değişken oranlı uygulama denilmektedir (Grisso ve ark., 2011). Değişken oranlı uygulama, tekdüze ve kesiksiz bir uygulamadan farklıdır. Değişken oranlı uygulama sayesinde ilaçlama işlemleri uygulama yapılacak bahçedeki her bir ağacın geometrik özelliklerine göre yapılabilmektedir. Değişken oranlı uygulamalar harita tabanlı veya sensör tabanlı olarak yapılabilir. Harita tabanlı değişken oranlı uygulamalar önceden planlanmaktadır. Sensör tabanlı olan değişken oranlı uygulamalar ise ilgili alanın verilerini algılayıp aynı zamanda karar verme yetisine sahiptirler. Değişken oranlı ilaç uygulama ile ağaç tacına daha hassas ilaçlama yapıldığından dolayı, ilaç tüketimi azalmaktadır. Zararlıyla daha iyi mücadele edilebilmekte, çevreye salınan zararlı kimyasalların önüne geçilmekte ve daha az trafikte ilaçlama gerçekleştirildiğinden daha az enerji harcanmakta böylece tarım ürünün birim maliyeti oldukça düşmektedir. Değişken oranlı uygulama için öncelikle ağaç tacının doğru karakterizasyonu (tacın geometrik ölçüleri, yaprak yoğunluğu), turbo ünitesinin jetine ait hava akımın yeterliliği ve bahçe uygulamalarındaki damla kayıpları göz önüne alınmalıdır. Xiongkui ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada sensör teknolojisi sayesinde elde ettikleri ağaç tacının belirlenmesi ile değişken oranlı ilaç uygulama sayesinde %50 ile %75 arasında tarımsal ilaçtan tasarruf ederek etkin bir ilaçlama gerçekleştirilebileceğini ifade etmişlerdir. Ayrıca bunun için yeni bir pülverizatör imal etmeden, mevcut şase üzerinde bazı modifikasyonlar ile yapılabileceğini de ifade etmişlerdir.

Günümüzde çoğu ilaçlama operatörü, çiftçi veya ziraat mühendisi, iyi bir ilaç kaplaması için bahçede yer değiştirmesi gereken hava hacmini geleneksel bir yöntem ile belirleyip hesaplamaktadır Chen ve ark. (2012) geleneksel yöntem ile sıra üzerindeki ağaç hacmini şu şekilde hesaplamışlardır (Şekil 1.7a);

$$V = h.w.u.t \tag{1.4}$$

Burada; V sıra üzerindeki ağaç hacmini (m^3), h ağaç tacının maksimum yüksekliğini, w ağaç tacının maksimum genişliği (m), u traktör hızını (m/s), ve t ise süre (s) olarak ifade edilmiştir. Burada hesaplama yeterince hassas değildir. İlgili çalışmada 1 m^3 ağaç hacmi için, 0,1-0,13 L püskürtme sıvısı kullanılmıştır. Ancak buna karşın Cai ve ark. (2019), yaptıkları çalışmada, Lidar sensör ile ağacın dallarını birim ağaç hacmi haline getirerek ağaç tacının geometrisini doğrudan bir dikdörtgenler prizması haline getirmek yerine, birden fazla dikdörtgenler prizması haline getirerek daha hassas bir ağaç taç geometrisi belirlemişlerdir (Şekil 1.7b). Buna göre de yaptıkları çalışmada 0,1 L/m^3 ilaç uygulamasını PWM (pulse width modulation) ile gerçekleştirmişlerdir. Ancak değişen sensör teknolojileri ile sensör tabanlı ve anlık gerçek zamanlı ağaç tacını belirlemek ve buna göre karar vermesini beklemek hem daha zor hem de daha gerçekçi bir çözümdür. Buna göre ağaç tacı hassas olarak belirlenip, değişken oranlı uygulama gerçekleştirmek daha etkin olmuştur. Böylece ağaç tacına gönderilecek havanın hızı veya püskürtülecek tarımsal ilaç miktarı da bu yöntemle daha iyi belirlenmektedir.



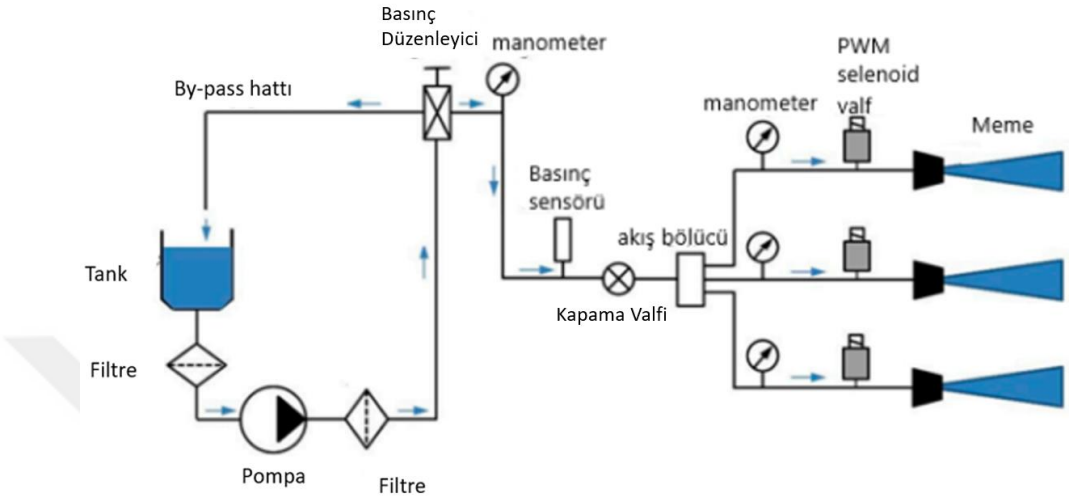
a b

Şekil 1.7. Chen ve ark. (2012) belirlemiş olduğu sıra üzeri ağaç tacı hacmi (a), Cai ve ark. (2019)'ın belirlediği ağaç üzeri birim bölümler (b).

1.5.1. Değişken Debi (Püskürtme Sıvısı) Kontrol Ünitesi

Geleneksel bahçe ilaçlamada, kesiksiz ilaç uygulama ile çok yoğun pestisit kullanılmaktadır. Ağacın taç genişliği ve yüksekliğine bağlı olarak sıra üzerini de büyük bir dikdörtgenler prizmasına benzeterek yapılan uygulamada, sıra üzeri boşluklara da ilaç atılmakta, değişen ağaç tacına yönelik herhangi bir modifikasyon yapılmadan tek düze ve kesiksiz ilaç uygulanmaktadır. Araştırmacılar, değişken oranlı ilaçlamanın ilk örneklerinde, ağaç tacı olmadığı anlarda meme grubunun tamamının açılmasını ve kapatılmasını gerçekleştiren sistemlere yönelmişlerdir (Walklate ve ark., 2003). Böylece sıra üzerinde ağaçlar arası boş kısımlara ilaç uygulanmamış ve tasarruf sağlanmıştır. Değişken oranlı püskürtme sisteminin şematik diyagramı Şekil 1.8'de sunulmuştur. Burada en hassas

bölüm darbe genişlik modülasyon (PWM) selenoid valflerin olduğu kısımdır. Sistem değişken oranlı ilaç uygulamasını 3 farklı şekilde yapabilmektedir. Bunlar; çalışma basıncını değiştirme, PWM ile görev döngüsü (duty cycle) kontrolü, ve memelerin orifis çapını anlık değiştirmektir (Wei ve ark., 2023).



Şekil 1.8. Değişken oranlı püskürtme sisteminin şematik diyagramı (Wei ve ark., 2023)

PWM selenoidler aç kapa yaparak, bitkiye değişken oranlı ilaç uygulaması gerçekleştirmektedir. PWM görev döngüsünde %0 görev döngüsü, vananın tamamen kapalı olduğunu, %100 görev döngüsü ise vananın tamamen açık olduğunu göstermektedir. Cai ve ark., (2019) yaptıkları çalışmada PWM görev döngüsünün %20 ile %70 aralığında değiştiğinde iyi bir kaplama gerçekleştirilebileceğini vurgulamıştır.

1.5.2. Basınç Tabanlı Akış Kontrol Ünitesi

Basınca dayalı akış hızı kontrol ünitesinin prensibi, işletme basıncını anlık olarak ayarlayarak değişken oranlı uygulama yapmaktır. Çalışma basıncını anlık değiştirmenin iki yöntemi vardır. Bunlar; regülatörden çalışma basıncını anlık değiştirme ve ilaç pompasının dönüş hızının ayarlanmasıdır. Bu tipte değişken oranlı ilaç uygulamanın avantajları basit modifikasyonlarla gerçekleştirilebilir olmaları ve ucuz olmalarıdır. Ancak istenen sürede istenen basıncı ayarlamakta zorluk yaşanması ve basınç dalgalanmaları yaratmalarından kaynaklı çok fazla tercih edilmemektedirler (Han ve ark., 2001). Basınca dayalı akış kontrol ünitesiyle karşılaştırıldığında, PWM tabanlı püskürtme ünitesi nispeten sabit bir basınç ve buna bağlı olarak kararlı püskürtme sağlamaktadır. Bu tip uygulamalar daha çok araştırmacılar tarafından nadiren tercih edilmekte ve yaygın olarak çiftçiler tarafından kullanılmamaktadır.

1.5.3. Meme Çıkış Açıklığını Değiştirme

Bu yöntem ile memeden çıkan damlalar anlık değişen çıkış deliğine bağlı olarak daha dar veya geniş bir meme plaketinden çıkmaktadırlar. Bunu gerçekleştirebilmek için memenin ilaç giriş bölümüne bir diyafram koyulmaktadır. Sıvının basıncı arttırıldığında veya azaltıldığında bu diyaframdan kaynaklı geçen sıvının miktarı da değişmektedir. Ancak burada kesit daraltılmakta, sıvının hızı artmakta buna karşın püskürtme basıncı artmaktadır. Bu memeden çıkan damlalar eş büyüklükte olamamaktadır (Womac ve Bui, 2002).

1.5.4. Değişken Konsantrasyonlu Kontrol Birimi

Bu yöntem hat üzerinde (inline mixing) dozajlama yöntemiyle, zararlının veya ağacın yoğun olduğu yerlere daha yüksek konsantrasyonlu uygulama gerçekleştirmektedir. Bu tarz uygulamalar için farklı uygulamalar bulunmaktadır. Bu uygulamalarda, bölgeye özel (site specific) tarımsal ilacın derişim oranlarını arttırıp azaltma söz konusudur. Ancak konsantrasyonu bölgeye göre değiştirirken, bu durum meme içerisinde damla oluşumunu etkilemektedir. Damla oluşumunun en önemli koşullarından biri olan vizkozite, konsantrasyona bağlı olarak değişince kontrollü damla oluşumu da daha zor hale gelebilmektedir. (Shen ve Zhu, 2015).

1.5.5. Değişken Oranlı Damla Taşıyıcı Hava Akımı Uygulamaları

Bahçe tarımında hassas ilaçlama gerçekleştirilirken, değişken oranlı uygulamalarda çoğunlukla ağaç tacının genişlemesine veya daralmasına (geometrik ölçülere göre) bağlı olarak ilaçlama yapılması önemlidir. Ancak memelerden gönderilen damlaları ağaç tacına ulaştırmak için gerekli olan damla taşıyıcı yardımcı hava akımı daha önemlidir. Miranda-Fuentes ve ark.(2017) 'na göre yaprak yüzeyinde yetersiz kaplama gerçekleştiğinde iki işlem yapılabilir. Bunlar pülverizatör püskürtme sistemini iyileştirmek veya hava akımını daha iyi hale getirmektir. Aynı çalışmada hava akımı da ağaç tacına daha iyi uyarlanırsa problemin büyük oranda azalacağını ifade etmişlerdir. Eğer ağaç tacı ve yaprak yoğunluğu ile ağaç üzerine gönderilen hava miktarı arasında doğrudan bir ilişki olduğu göz önünde bulundurulursa, yalnızca püskürtülen ilacın dozunu ayarlamak yetersiz olabilmektedir. Hedef yüzeylerde iyi bir kaplama ve yeterli ilaç birikimi için yardımcı hava akımlı bahçe pülverizatörlerinden gönderilen hava miktarının doğru karakteristikte ve yeterli miktarda olması gerekmektedir.

Özellikle ağaç tacı içindeki zararlı ve hastalık kontrolü için damlaların ağaç tacı içerisine penatrasyonu son derece önemlidir. Bunun için hava akımı ile damlalar ağaç tacı içerisine penetre olmalıdır. Dal, yaprak, hava direnci, ortam nem ve sıcaklığı gibi sebeplerle kütle transferini etkileyebilecek sorunların ortadan kalkması için doğru miktarda hava akımı uygulamak önemlidir.

Meyve ağaçlarına ilaç uygulamada değişken oranlı ilaç uygulamaları konusunda ülkemizde ve dünyada birçok çalışma yapılmaktadır. Ancak yapılan çalışmaların önemli bir bölümü püskürtme sisteminin aç/kapa mantığına dayalı olup anlık olarak doğrudan taç hacmi ile orantılı sistemler

konusunda sınırlı sayıda çalışmalar yapılmaktadır. Oysa taç ölçülerine bağlı sadece püskürtme miktarının regüle edilmesi, sadece ilaç tasarrufu sağlarken gerçek zamanlı olarak fan hava kapasitesi düzenlenmediğinden ilaç sürüklenmesi artabilmekte ve fanı işletmek için gerekli yakıttan herhangi bir tasarruf sağlanamamaktadır. Bunun yanında, fanın hava kapasitesinin gerçek zamanlı olarak düzenlenmesi ile ağaç tacı içerisine yeterli miktarda nüfuz eden hava ile tarımsal ilaç taç içerisinde daha fazla tutunabilmektedir.

1.6. Bahçe İlaçlamada Kullanılan Bahçe Pülverizatörlerinin İşletilmesinde Enerji Kullanımı ve Verimliliği

Bahçe tarımında ilaçlama yaparken, damlaları ağaca tek düze ve sürüklenme olmadan taşımak kadar, bu işlemi enerji verimliliği açısından daha verimli bir şekilde gerçekleştirmek de son derece önemlidir. Bahçe pülverizatörlerinin de en çok enerji tüketen ünite, turbo fan ünitesidir. Bu üniteyi verimli bir hale getirmek ile ilaçlama işleminde kullanılan enerji dolayısıyla işletme masrafları da azaltacaktır. Turbo fan ünitelerinin verimliliğini arttırmak için yapılan çalışmalar, Fan kanatlarının sayısını optimize etmek (5-12 adet), rotor ile fan muhafazası arasındaki boşluğu azaltmak, kanat tasarımının geometrisini değiştirmek, akışa engel olan parçaları daha aerodinamik hale getirmektir (İzadi ve Falahat, 2008; Patel ve Patel, 2012). Bu ünitenin verimli bir şekilde çalışabilmesi için 480 dev/dak kuyruk mili devri (PTO) kullanılmakta ve çoğu imalatçı tarafından da bu kademe önerilmektedir (Salcedo ve ark., 2021). Bunun en önemli sebebi 540dev/dak'da yoğun enerji tüketimi olmasındandır. Ancak yaprak yoğunluğu az olan bir elma bahçesinde ve yaprak yoğunluğu yüksek olan bir narenciye bahçesinde aynı miktarda hava kullanmak doğru bir uygulama olmamaktadır. Hava hızlarının iyi bir ilaç kaplaması için doğru ayarlanması gerektiği gibi, enerji tüketiminin de ağaç taç yoğunluğu arttığında artması, ağaç taç yoğunluğu azaldığında ise azalması beklenmektedir. Bu sebeple, değişken oranlı hava akımı sağlayan ünite, hava akımını arttırdığında yüksek enerji harcamalı, hava akımını azalttığında ise daha az enerji harcamalıdır. Holownicki ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada Değişken Oranlı Hava akımı uygulamış ve bu sayede yalnızca iyi bir ilaçlama işlemi gerçekleştirememenin yanında enerji tüketimini de %50 oranında azaltabilmişlerdir.

1.7. Çalışmanın Önemi ve Amacı

Meyve ağaçlarının ilaçlanması esnasında çoğu çiftçi türbo bahçe pülverizatörünün hangi ayarda kullanması gerektiğini bilmemektedir. Çok fazla bahçe pülverizatörü imal edilmesine rağmen, bu pülverizatörlerde çiftçiye herhangi bir ayar önerilmemekte, böylece bahçenin durumuna göre ilaçlama yapma konusu operatörün inisiyatifine bırakılmaktadır. Genellikle yüksek oranda hava akımı ile "yıkama" şeklinde yüksek hacimli uygulamalar gerçekleştirildiğinden, ilaçlama işleminin başarısı düşerken çevresel risklerde artmaktadır. Operatör de ağacın taç geometrisi, bahçe içerisindeki dikim düzeni ve yoğunluğu, ağacın türü, vejetatif gelişimi, fenolojik dönemi ne olursa

olsun aynı şekilde tarımsal ilaç uygulayabilmektedir. Bu sebeple de tarım ürünü üzerinde yoğun tarımsal ilaç kalıntısı oluşabilmekte, doğaya alınan yoğun tarımsal ilaç ile toprak kirliliğini arttırmakta toprak içerisinde yaşayan ayrıştırıcı mikroorganizma, bazı yararlı mantarları yok edebilmekte ve tarım yapılabilecek alanları da azaltabilmektedir. Ancak kendi karar verme mekanizmasına sahip, operatör hatasına mahal vermeyecek düzeyde bir bahçe pülverizatörünün geliştirilmesi ile memelerden ağaç tacına gönderilecek tarımsal ilaç ve bahçe pülverizatöründen gönderilecek hava akımının miktarının değişken oranlı ayarlanabilmesi ile daha verimli ve etkin bir ilaçlama işlemi gerçekleştirilebilecektir.

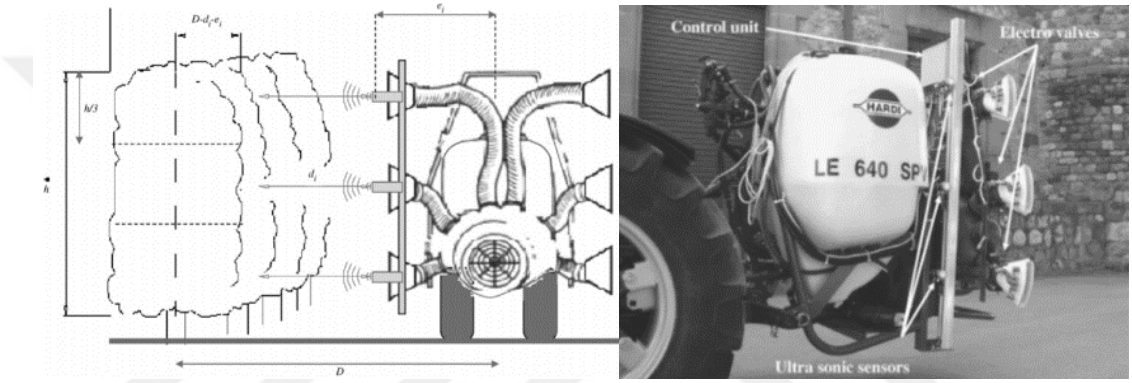
Yardımcı Hava Akımlı Bahçe Pülverizatörü ile ilaçlama yapılırken hava akımının yüksek/düşük seçilmesi sebebiyle, damlalar ya ağaç tacına ulaşamakta ya da tacı terk ederek hedef yüzeylerin dışına sürüklenmektedir. Ayrıca uygulanan ilaç miktarı fazla olduğunda da ürün üzerinde kalıntı miktarı fazla olabilmekte veya ilaç çevreye kontrolsüz bir şekilde yayılabilmektedir. Bunun yanında ağaç sıklığı ve taç ölçüleri değişen her bahçeye aynı oranda ilaç uygulamak yerine, bahçedeki her ağacın taç geometrisine ve yoğunluğuna bağlı olarak ilaç uygulaması yapmak sayesinde zararlı ile daha iyi mücadele edeceği düşünülmektedir. Traktör sıra arasında ilerlerken anlık veri alabilen, aldığı veriyi anlık olarak iyi bir kaplama için ne kadar hava akımı gerekliyse hesaplayan ve uygulayan, bunun yanında tacın geometrik yapısına bağlı olarak da ağaç tacına değişken oranlı ilaç miktarını belirleyen ve uygulayan bir bahçe pülverizatörü ile iyi ilaç uygulamaları gerçekleştirebilmektedir. Bugün birçok tasarımcı ve imalatçı, bahçe pülverizatörü yaparken kullanıcıya hava akımını farklı miktarlarda uygulayabilmesi için farklı seçenekler tanımadığını, bu konuda esnekliğin ne kadar arttırılırsa o kadar hassas ilaçlamanın gerçekleştirilebileceğini, bu sebeple her bahçede hatta her ağaç için değişken oranlı püskürtme sıvısı ve hava akımı uygulamak gerektiğini ifade etmişlerdir (Endalew ve ark. 2010; Garcia-Ramos ve ark. 2012; Holownicki ve ark. 2017; Salcedo ve ark. 2022). Yukarıda belirtilen sorunları gidermek için bu çalışmanın amaçları aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

- (1)Standart tip yardımcı hava akımlı bir bahçe pülverizatörü üzerinde gerekli değişiklik ve eklentileri yaparak, ağaç taç yapısına bağlı olarak otonom karar mekanizmalı değişken oranlı püskürtme ve hava akımı sağlayan bir pülverizatör tasarlamak ve prototipini imal etmek,
- (2)Geliştirilen pülverizatörle faklı tür meyve ağaçlar üzerinde sağlanan damla birikimi, kaplama oranı ve oluşan ilaç kayıplarını ölçerek, sonuçları geleneksel yardımcı hava akımlı uygulamalarla karşılaştırmak,
- (3)Geliştirilen pülverizatörün işletilmesinde kullanılan enerji gereksinimini, geleneksel pülverizatör enerji tüketimi ile karşılaştırmaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Değişken Oranlı Püskürtme Debisi Kontrolü Uygulama Sistemler

Gil ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada ultrasonik sensör kullanarak bir üzüm bağında ağaç tacını genişliğini hesaplama yöntemini denemişlerdir. Yaptıkları çalışmada eksenel fanın çıkış tarafına birer dikme takıp memeleri bu dikmelere yerleştirmiştir (Şekil 2.1). Memeler ağaç tacının geometrisine göre selenoid valfler sayesinde açılıp kapanmaktadır ve ayrıca oransal ilaçlama için dozaj amaçlı kullanılan selenoidler tercih edilmiştir. Çalışmada ağaç tacı üç bölüme ayrılmış bu bölümlere çerçeve içerisinde filtre kâğıtları yerleştirilmiştir. Yapılan ölçümlerde değişken oranlı uygulama ile geleneksel uygulamalara göre %57 ilaç tasarrufu sağlandığı görülmüştür.

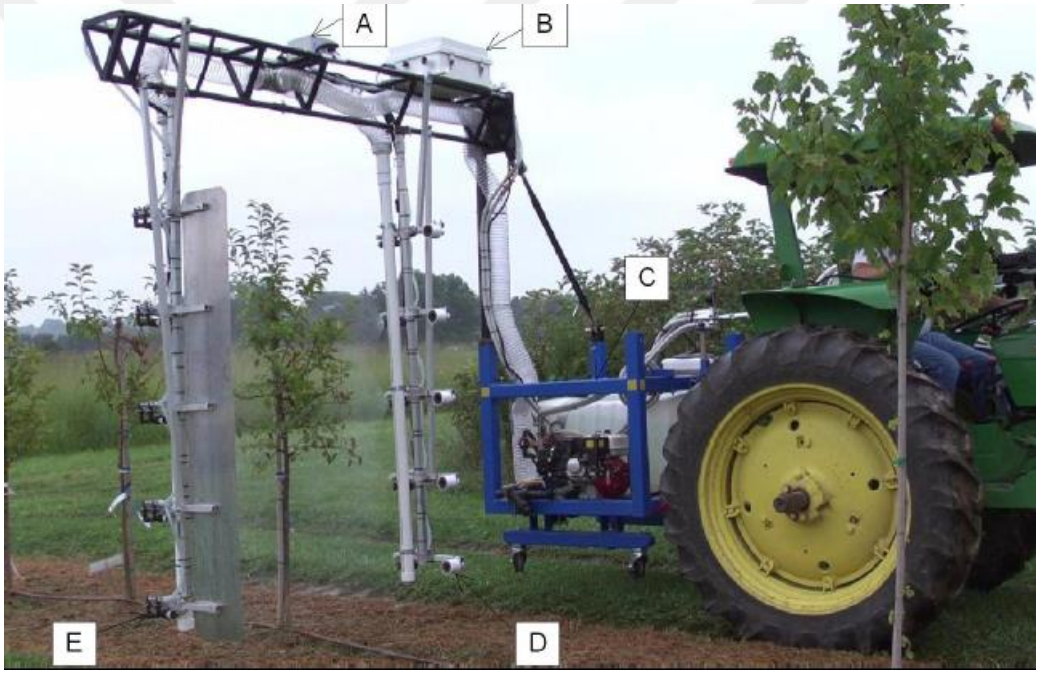


Şekil 2.1. Gil ve ark. (2007)tasarladıkları ağaç tacının genişliğine göre oransal ilaç uygulaması yapan bahçe pülverizatörü

Chen ve Ark. (2011) yaptıkları çalışmada lazer sensör kullanarak ağaç tacını taramış, ahtapot tipli (tek bir tarafta 5 ayrı hava çıkışı) bahçe pülverizatöründe darbe genişlik modülasyon (PWM) sistemi kullanarak ağaç tacına uygun, ilacı hava ile taşıyan bir sistem tasarlamışlardır. Geliştirilen değişken oranlı ilaçlama sistemi sayesinde ağaç tacının geometrisine uygun olarak ilaçlama yapabilmişlerdir. Geliştirilen sistem ile piyasadaki geleneksel bahçe pülverizatörlerinin ilaçlama performansları karşılaştırılmış, hedef yüzeylerde suya duyarlı kartlar ve naylon filtrelerle yapılan örneklemelerle yapılan çalışmada aynı damla çaplarında daha iyi kaplama yapıldığı görülmüştür. Ağaç yapraklanmaya başladığı evreden yapraklanmanın bittiği evreye kadar geçen sürede farklı yaprak yoğunluklarında deney verileri elde edilmiştir. Ayrıca ilaç normu değiştirilmeden boşluklara ve hedef dışına atılan ilaç miktarı azaltılarak, geleneksel makinelere göre aynı bölgeye atılan ilaç miktarı % 73'e kadar düşürülmüştür.

Jeon ve ark. (2011) tünel şeklinde bir bahçe pülverizatörü tasarlamış, bu pülverizatör ile değişken oranlı ilaç uygulaması gerçekleştirmiştir (Şekil 2.2). Sensörler ile PWM'li püskürtme memeleri arasında yatayda 0,36 m mesafe vardır, böylece karar verme ve tarımsal ilacı göndermek için zaman kazanma söz konusudur. Denemelerden önce, Lİ-COR 2000 ile Yaprak Alan İndeksi (YAİ) ölçülmüş; fındık (*Carpinus Betulus*), Kiraz (*Prunus Cistena*) ve Akçaağaç (*Acer*

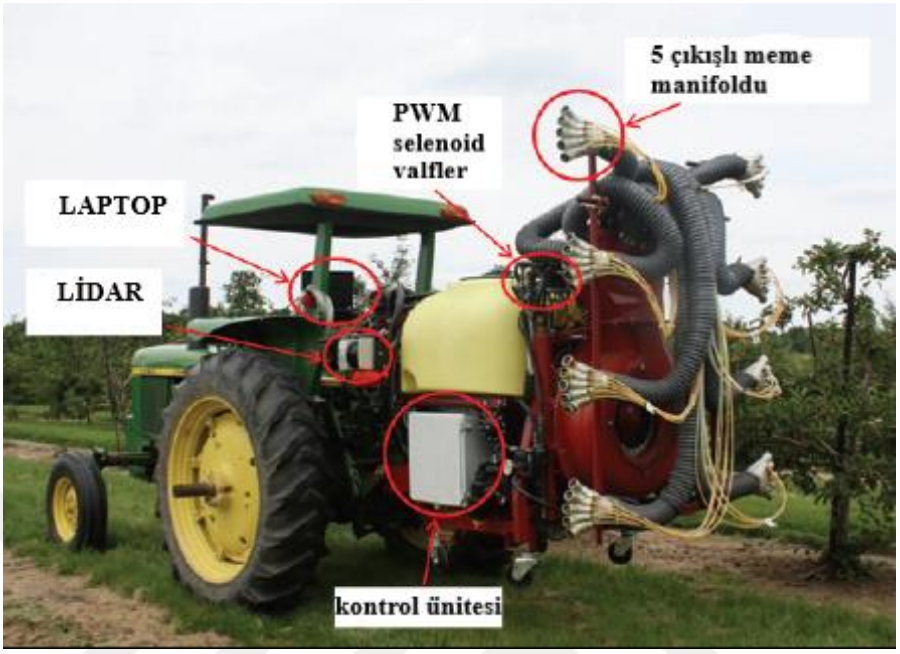
Palmatum)'ın YAİ değerleri sırasıyla, 3,21; 1,36; 0,97 bulunmuştur. Bu değerlere bakılarak yoğun ağaçlara fazla ilaç gönderilmiştir. Sistem %90 görev döngüsü ile 935 L/ha ilaç normu ve %50 görev döngüsü ile 550 L/ha ilaç normu verebilmektedir. Değişken oranlı ilaç uygulama sistemi ile geleneksel (555 L/ha ve 1000 L/ha) uygulama sonuçları karşılaştırılmıştır. Buna göre farklı tipteki ağaçlar üzerinde geleneksel uygulama ile gerçekleştirilen uygulama ile ağaç üzerindeki ilaç miktarının dağılımı (CV%) çok fazla dalgalanma gösterirken, değişken oranlı uygulama ile yapılan uygulamada ağaç türü değişse bile dağılım oranının %32 ile %39 arasında değişkenlik göstermiştir. Değişken oranlı ilaç uygulama sistemi ile her bir ağacın taç hacmi değişken olarak belirlenmiş bunun yanında geleneksel uygulama ile sıra üzeri ağaç taç hacmi yöntemi ile esnek olmayan ilaçlama gerçekleştirilmiştir. Sıra üzeri ağaç taç belirleme yöntemi ile 1000 L/ha ilaç normunda yapılan uygulamaya göre değişken oranlı ilaç uygulama ile %94 oranında daha az ilaç kullanılarak benzer oranda yaprak yüzeyi kaplaması elde edilmiştir.



Şekil 2.2. Jeon ve ark.(2011) tasarladıkları değişken oranlı ilaç uygulaması gerçekleştirebilen tünel tipi bahçe pülverizatörü, (A) mikro denetleyici, (B) veri kaydedici, (C) tarımsal ilaç dağıtım ünitesi, (D) ultrasonik memeler, (E) PWM'li püskürtme memeleri

Chen ve Ark. (2012) yaptıkları çalışmada asılır tip bir bahçe pülverizatörü tasarlamışlardır. Tasarladıkları yardımcı hava akımlı bahçe pülverizatörü alt alta yerleştirilmiş 5 adet püskürtme ünitesinden oluşturulmuştur (Şekil 2.3). Bu püskürtme ünitelerinin her birinden hava ve ilaç karışımı püskürtülebilmektedir. Traktöre monte edilen Lidar sensör sayesinde traktör sıra arasında ilerlerken her bir ağacın taç geometrisi taranmakta ve ağaç taç geometrisi bilgisi veri değerlendirme ünitesine gönderilmektedir. Değerlendirilen verilere göre veri değerlendirme ünitesi farklı seviyelerdeki hangi püskürtme ünitesinin çalışıp çalışmayacağına karar vermekte ve püskürtme ünitelerine giden veriler burada ağaç tacına göre ilgili memeleri açmaktadır. Manifold üzerindeki memelerden hem ilaç

püskürtülmekte hem de manifoldun içerisinden gelen hava ile damlalar ağaç tacına taşınmaktadır. Anlık traktör hızına (3,2 km/h ve 6,4 km/h) da bağlı olarak yapılan bu işlem ile traktör hızının artmasına ve azalmasına da tepki verebilmektedir.



Şekil 2.3. Chen ve ark. (2012) tasarladıkları püskürtme manifoldları ve pozisyonları

Pekitkan ve Ark. (2015) yaptıkları çalışmada eksenel fana sahip yardımcı hava akımlı bahçe pülverizatöründeki hava çıkış bölgeleri için yaptıkları kule tipi hava yönlendirme ünitesi ile fan tarafından oluşturulan hava jetini ağaca daha iyi yönlendirmeyi amaçlamışlardır. Burada hava akımı sabit olup, ilaç uygulama hacmi oransal olarak değiştirilmiştir. Kullandıkları lazer sensör sayesinde ağaç tacı taranmış, bu taca göre ilaç miktarı daha etkili olarak uygulanmıştır. Suya duyarlı kâğıtlar ve filtre kâğıtları sayesinde görüntü işleme ve florometrik yöntemlerin sonuçları değerlendirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Geleneksel makinalarla yapılan karşılaştırmalara göre %50 daha az ilaç kullanılmıştır.

Salcedo ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada aynı bahçe pülverizatörünün üzerine manuel kontrol edilen PWM, değişken oranlı kontrol edilen PWM ve geleneksel meme sistemi karşılaştırılması yapmışlardır. Elma bahçesinde yapılan denemelerde her sıra üzerinde birbirinden bağımsız 3 farklı ağaç üzerindeki kaplama oranları ölçülmüştür. Deney sonuçları, Manuel PWM ve geleneksel püskürtme sisteminin değişken oranlı sisteme göre daha fazla ilaç tükettiğini ortaya koymuştur.

Liu ve ark.(2022) yaptıkları otonom hassas ilaçlama yapabilen robotun (PSVR) üzerinde 10 adet ilaçlama memesi ve 8 adet deflektör (hava yansıtıcı) eleman bulunmaktadır (Şekil 2.4). Hava yansıtıcılar ve memeler, fanın orta eksenine göre simetrik dizilmiştir. Buna göre 1 ile 8, 2 ile 7, 3 ile 6 ve 4 ile 5 numralı deflektörler simetrik olarak eş hareketler sergilemekte, bölgesel hareketlerle

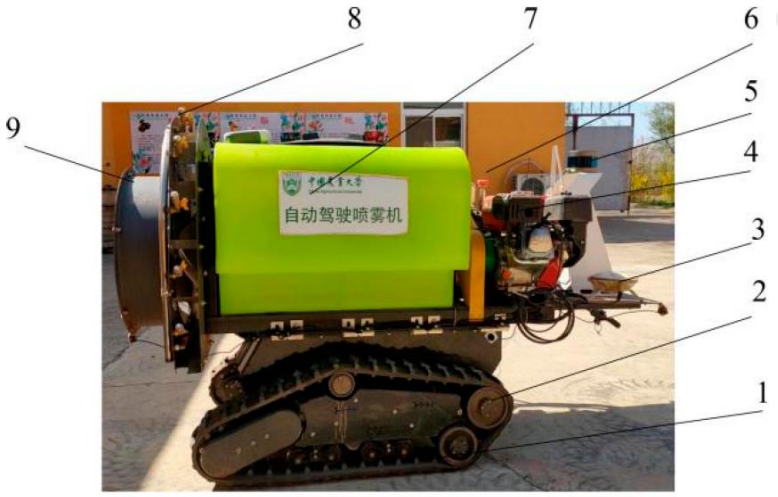
ağacın üst orta ve alt tacına değişken oranlı hava gönderebilmektedir. Lidar sensörün algıladığı veriler ile hava akımının hızı 15 m/s ile 23 m/s arasında değiştirilebilmektedir. Püskürtme sistemi LİDAR sensörün okuduğu cismin hacmi 0,1m^3'ten az olması durumunda ilaçlama yapılmamaktadır. Bunun dışında;

$$q = 1{,}51k_x - 0{,}05 \tag{2.1}$$

Değişken oranlı ilaç uygulama için Eşitlik 2.1 kullanılmıştır. Burada k_x selenoid valfin görev döngüsü, q ise bir memenin debisi (L/min)'dır. Ağaç taç hacmi ile PWM görev döngüsü arasındaki ilişki ise şu şekilde düzenlenmiştir:

$$k_x = \frac{100uPV + 1}{30{,}2 + m_p} \tag{2.2}$$

u 0,1 L/m^3'tür; P, farklı bölgelere ayrılmış kanopi koşulları (alt kısım için 1,0; alt kısım için 1,1 orta ve üst için 1,3); V ise ağaç tacının hacmi, m_p memelerin sayısıdır. Sistemde çalışan algoritma sayesinde PSVR'ın geleneksel makinelere göre; %32,46 daha az ilaç tükettiği, havada asılı kalan veya sürüklenen damlaların miktarını %44,34 azalttığı, ağaca ulaşmayıp yere dökülen damlaları ise %58,14 oranında azalttığı ortaya çıkmıştır.

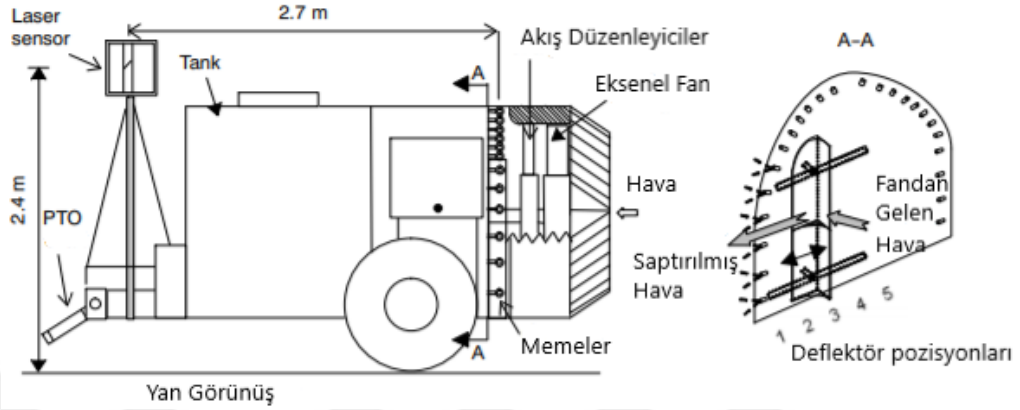


Şekil 2.4. Liu ve ark. (2022) tasarladıkları otonom ilaçlama robotunun görseli (1-Hassas değişken Oranlı İlaçlama Yapan Robot, 2-Çavuş dişli, 3-GPS sistemi, 4- Benzinli motor, 5-LİDAR, 6- İlaç pompası, 7-İlaç Tankı, 8-Değişken Oranlı İlaçlama Yapabilen PWM memeler, 9-Eksenel Fan.)

2.2. Değişken Oranlı Hava Akımı Sağlayan Sistemler

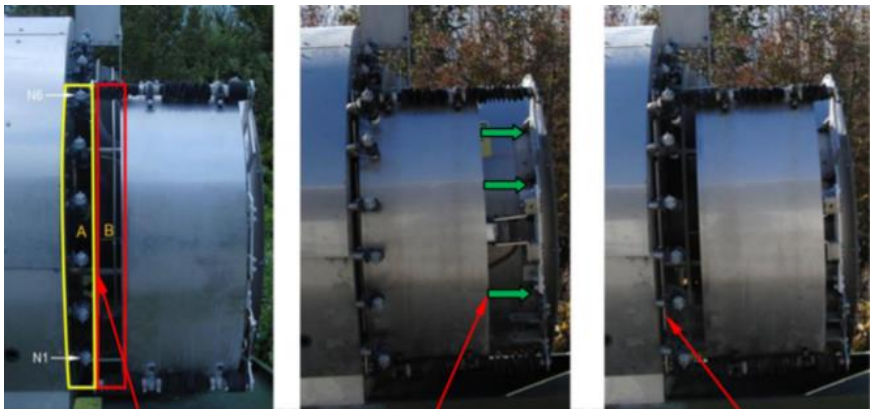
Pai ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada eksenel fanlı bir bahçe pülverizatörünün hava çıkış ünitesini baştan tasarlamışlardır. Tasarladıkları ünite içerisine yerleştirilen hava yönlendirici eleman sayesinde eksenel fandan gelen hava memelere yönlendirilebilmektedir (Şekil 2.5). Bir lazer sensör

yardımıyla hava ağacın taç geometrisi anlık olarak okunmaktadır. Alınan veri ile hava yansıtıcının pozisyonu değiştirilerek ağaca gönderilen hava akımı miktarı değiştirilmektedir. Buna göre, sağlanan hacimsel hava debisi 7.6 ile 1.9 m^3/h arasında değiştirilebilmektedir. Bu sayede sürüklenme % 37 azaltılmıştır.



Şekil 2.5. Pai ve ark. (2009) deflektörün pozisyonunu anlık değiştirebilen sistemin görseli

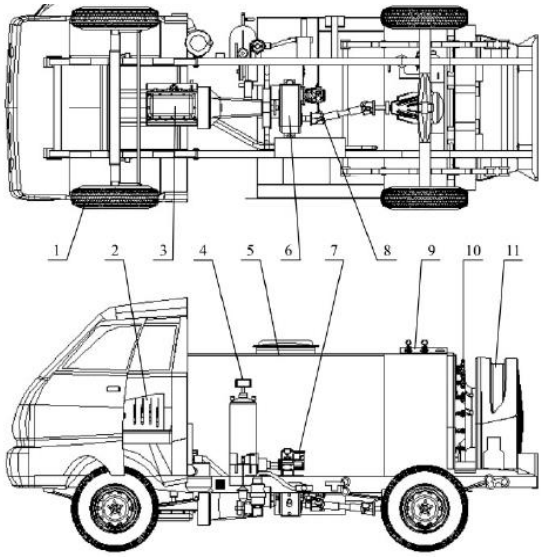
Khot ve Ark. (2012) çalışmalarında eksenel fana sahip bir yardımcı hava akımlı bahçe pülverizatöründe hava akımının memelere yönlendirildiği kısımda fan çıkış açıklığı ayarlanabilen bir sistem tasarlamışlardır (Şekil 2.6). Açıklık azaldığında hava hızı arttığından damlalar taç yüksekliği fazla olan ağaçlara daha kolay erişmişlerdir Bahçe pülverizatörünün etkinliği incelenirken traktörün arka tarafından bakıldığında sol tarafa karşılık gelen ağaçlar üzerindeki ilaçlama etkinliği ve hava debisi ölçülmüştür. Statik ve hareketli yapılan çalışmalarda hava akımının % 70 daha verimli kullanıldığı ve kullanılan pestisitlerin de % 50 daha az kullanıldığı ortaya çıkmıştır. Bu çalışma, hava çıkış açıklığını değiştirilerek, oransal hava uygulamanın iyi bir yöntem olmadığı gerekçesiyle Wei ve ark (2023) tarafından eleştirilmiştir. Çünkü fan yüksek devirde dönmektedir ve havanın çıkış tarafındaki ağzı kısılarak fandan çıkan havanın zorlanarak çıkmasına sebep olmaktadır. Üretilen hava akımın da ekonomik olması da önemlidir.



Şekil 2.6. Khot ve Ark. (2012)'ın tasarladığı fan çıkış ağzının anlık olarak açıklığını ayarlayan sistem

Gu ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada bahçe pülverizatörünün (Chen ve Ark. 2012; geliştirdikleri makine ile aynı) radyal fanının emiş tarafının açıklığını arttırıp azaltarak (0,13 m; 0,18 m; 0,39 m) farklı yaprak alan indekse sahip (13,5; 2,5; 1,5) ağaçlara gönderdikleri hava akımının hızını, yüksek yaprak alan indeksine sahip olana daha yüksek hava akımı uygulayacak şekilde değişken oranlı olarak uygulayabilmişlerdir. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen denemelerde, bodur çalı tipi ağaçlar tercih edilmiş hava akımının ağaç tacından çıkışındaki bölümünden sıcak tel anemometre ile hava hızı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Buna göre ağaç tacı genişledikçe hava akımının hızının düştüğü ve fan emiş tarafının açıklığının en geniş olduğu pozisyonda daha yüksek hava akımı oluşabileceğini ortaya koymuşlardır.

Wei ve ark., (2016) bir kamyonetin şasesinin üzerine ilaçlama ünitesi monte etmişlerdir. Kamyonun kuyruk milinden alınan tahrik ile hem ilaç pompası hem de bir şanzıman vasıtasıyla hidrolik sistemin yağ pompası çalıştırılmaktadır (Şekil 2.7). Yağ pompasının basınçlandırdığı yağ, fan miline bağlı hidromotora tahrik vermektedir. Ancak kontrol ünitesindeki manuel kollar ile fanın dönüş hızları ayarlanabilmektedir. İlaçlama sistemi ise, infrared sensör ile aldığı veri ile çalışmaktadır. Infrarered sensöre gelen kızılötesi ışınlar için belirli bir eşik değeri belirlenmiş, bu eşik değeri aşıldığında yani ağaç sezildiğinde püskürtme sistemi devreye girmektedir. Çalışmada hem geleneksel püskürtme sistemi hem de değişken oranlı püskürtme sistemi uygulama ile fan devri, 0 dev/dak, 800 dev/dak, 1300 dev/dak, 1800 dev/dak olarak çalıştırılmıştır. Bodur armut bahçelerinde yapılan denemelerde, farklı dönemelerde dikildiği için farklı vejetatif gelişime sahip ağaçlara ilaçlama yapılmıştır. Bu ağaçların en olgun olanlarının bulunduğu sıra üzerindeki ağaçların ortalama Yaprak Alan İndeksi (YAİ) 2,24 olarak bulunmuştur. Suya duyarlı kartlar ile ilaçlama başarısı ölçülmüş en iyi ilaç kaplaması 1300 dev/dak fan devri ile, en yüksek sürüklenme ise 1800 dev/dak fan devrinde oluşmuştur.



Şekil 2.7. Wei ve ark (2016) kamyonet üzerine monte ettikleri ilaçlama ünitesi (1-Teker, 2-Kontrol Grubu, 3-Güç ünitesi, 4-Su tankı (el yıkama için), 5-İlaç Tankı, 6-Şanzıman, 7- İlaç Pompası, 8- Yağ Pompası, 9- Infrared Sensör, 10-Memeler, 11-Fan.

Petrovic ve ark. (2019) yılında yaptıkları çalışmada ilaç normunu (A_1:200L/ha ve A_2:250 L/ha), meme tipini (B_1:Lechler TR 8002 C ve B_2: Lechler ITR 8002 C) ve hava akımını (C_1:12m/s ve C_2:18m/s) değiştirerek sonuçları geleneksel sistemle karşılaştırmışlardır. Makinenin üzerinde kullanılan eksenel fan 5 farklı kademede oransal olarak çalıştırılabilmektedir. Ağaç tacına gönderilecek hava akımını belirlemede 2 kademe kullanılmış bu kademeler aşağıdaki formülle belirlemişlerdir:

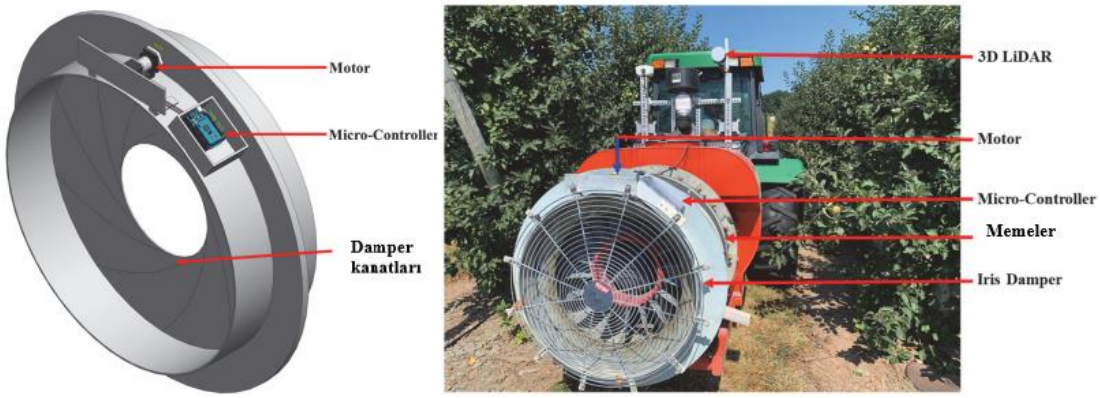
$$Q_z = \frac{1000.v.b_m.h_m}{f} \tag{2.3}$$

Burada Q_z ağaca gönderilen hava debisi (m^3/h), v ilerleme hızı (km/h), b_m püskürtme genişliği (m), h_m ağaç taç yüksekliği (m), f yapraklanma faktörü olarak hesaplamaya dahil edilmiştir. Burada yapraklanmanın dolayısıyla ağaç tacının yoğunluğunun değişmesinin göz önüne alınması daha sağlıklı bir ilaçlama işlemi gerçekleştirilmesini sağlamıştır. Sensör verisi ile bu hesaplama gerçekleştirildikten sonra, belirlenen hava akımı değeri 2 kademeden hangi kademe için uygunsa o kademe değeri ile anlık çalıştırılmaktadır. Çalışmanın sonuçlarında, geleneksel bahçe pülverizatörü ile karar verme sistemine sahip akıllı bahçe pülverizatörünün yaprak yüzeyinde benzer oranda kaplama yaptığını vurgulamışlardır. Ancak bunun yanında özellikle $\underline{A_2B_2C_2}$ çalışmasında sürüklenmenin yer kayıplarının daha az olduğunu, bahçe pülverizatörünün 5 m ötesinde ölçülen sürüklenmenin geleneksel makinede hassas makineye 2 kat fazla olduğunu, bahçe pülverizatörünün 10 m ötesinde ise geleneksel makinede akıllı bahçe pülverizatörüne göre sürüklenmenin 5 kat civarında arttığını istatiksel olarak belirtişlerdir.

Grella ve ark. (2022) değişken oranlı hava akımı ile YAİ arasında doğrudan bir ilişki olup olmadığını araştırmışlardır. Üzüm bağlarında yapılan denemelerde altı farklı üzüm çeşidinin BBCH57 erken dönem ve BBCH89 geç dönem fenolojik gelişimlerinde ilaç uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Bahçedeki denemelerde erken fenolojik (BBCH57) dönemdeki ağaçlara düşük (400 dev/dak), orta (700 dev/dak) ve yüksek (1000 dev/dak) fan devirlerinde, geç fenolojik (BBCH89) dönemlerde düşük (700 dev/dak), orta (1300 dev/dak), yüksek (1750 dev/dak) fan devirlerinde hava akımı gönderilmiş, 2 farklı traktör hızında (4 km/h ve 8 km/h) denemeler gerçekleştirilmiştir. Bahçe pülverizatörünün turbo fan kısmı doğrudan PTO ile beslenmemiş, elektrik motoru sayesinde değişken oranlı hava akımı uygulama gerçekleştirilebilmiştir. Sonuçlarda istatiksel olarak fenolojik gelişim dönemi ile uygulanan hava akımının arasında bir interaksiyondan söz edilip edilemeyeceği de çalışılmış sonuçlarda ise bu interaksiyonun istatiksel olarak anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır. Erken dönemde 1000 dev/dak ile geç dönemde ise 1300 dev/dak da daha iyi yaprak yüzeyi kaplaması elde edildiğini ifade etmişlerdir. Özellikle traktör hızı 4 km/h iken ve düşük faz hızlarında her iki fenolojik dönem için daha iyi yaprak yüzeyi kaplaması elde edildiğini ifade etmişlerdir.

Ayrıca YAİ ile ağaç tacına gönderilen hava akımı arasında doğrudan bir korelasyon olduğunu bildirmişlerdir.

Mahmud ve ark. (2022), yaptıkları çalışmada, bahçe pülverizatörünün orta kısmına bir "İRİS" tasarlamışlardır (Şekil 2.8a). Eski tip fotoğraf makineleri gibi açılıp kapanan bu iris ile fanın içerisine emilen havanın miktarını değiştirmişlerdir. İrisin açıklığı 5 farklı kademede ayarlanabilmektedir. Makine 3 farklı ağaç taç yoğunluğuna sahip elma bahçesinde (Goldrush, Gala, Fuji) denenemiştir (Şekil 2.8b). Üç boyutlu Lidar sensör ile algılanan ağaç tacı ile makine, ağacın yoğunluğuna göre 5 farklı iris damper açıklığında ilaç göndermiştir. Her bahçeden 5 farklı ağaca uygulama yapılmış ve bu ağaçların her biri de birer tekerrür kabul edilerek denemeler gerçekleştirilmiştir. İris damper 1. pozisyondayken emiş ağzında bir engel yoktur, ancak kademe arttırıldıkça emiş ağzı daraltılmaktadır. Ancak en açık pozisyondan en kapalı pozisyona geçmek yaklaşık 3s sürdüğünden işlem biraz ağır ilerlemektedir. Gala türündeki elma bahçesinde, iris damperin pozisyonu 1 iken, üst, orta ve alt taçlarda sırasıyla yaklaşık %40, %60 ve % 70 kaplama elde edilmiştir. Ancak Pozisyon 2'de üst, orta ve alt taçlarda % 5 civarında daha yüksek kaplama elde edilmiştir. Kısacası, iyi bir kaplama için her zaman yüksek oranda kaplamanın iyi olmayacağını, hava hızının ağaç tacına oranla ayarlanması gerektiğini bunun yanında da ağaç yoğunluğun damla geçirgenliğini etkilediklerini ifade etmişlerdir.



(a) (b)

Şekil 2.8. İris damper tasarımına ait tasarımın görsel (a), bahçede denemelerinde irisin tam açık pozisyonu (b)

Grella ve ark. (2023) yaptıkları çalışmada, kuyruk milinden (PTO) alınan tahrik ile bir jeneratörü çalıştırmışlardır. Makinanın sağından ve solundan ultrasonik sensörler ile ağaç tacı verileri alınmış, bu alınan veriler ile ağaç taç yoğunluğu belirlenmiştir. Bu veriyi de jeneratörün beslediği motora, bir inverter sayesinde taç yoğunluğu bilinen ağaca değişken oranlı hava akımı uygulaması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca fanın üzerine 8 adet PWM meme de dizilmiştir. Makine ile hem geleneksel, hem de hava akımı ve ilaçlama özelliği değişken oranlı olarak farklı vejetatif dönemlerde (BBCH 65, BBCH89) üzüm bağlarında gerçekleştirilmiştir. Yapılan makine ile geleneksel uygulama ile farklı vejetatif dönemdeki bitkiler için BBCH65-10.065 m^3/h, BBCH89-13.900 m^3/h hava debisi

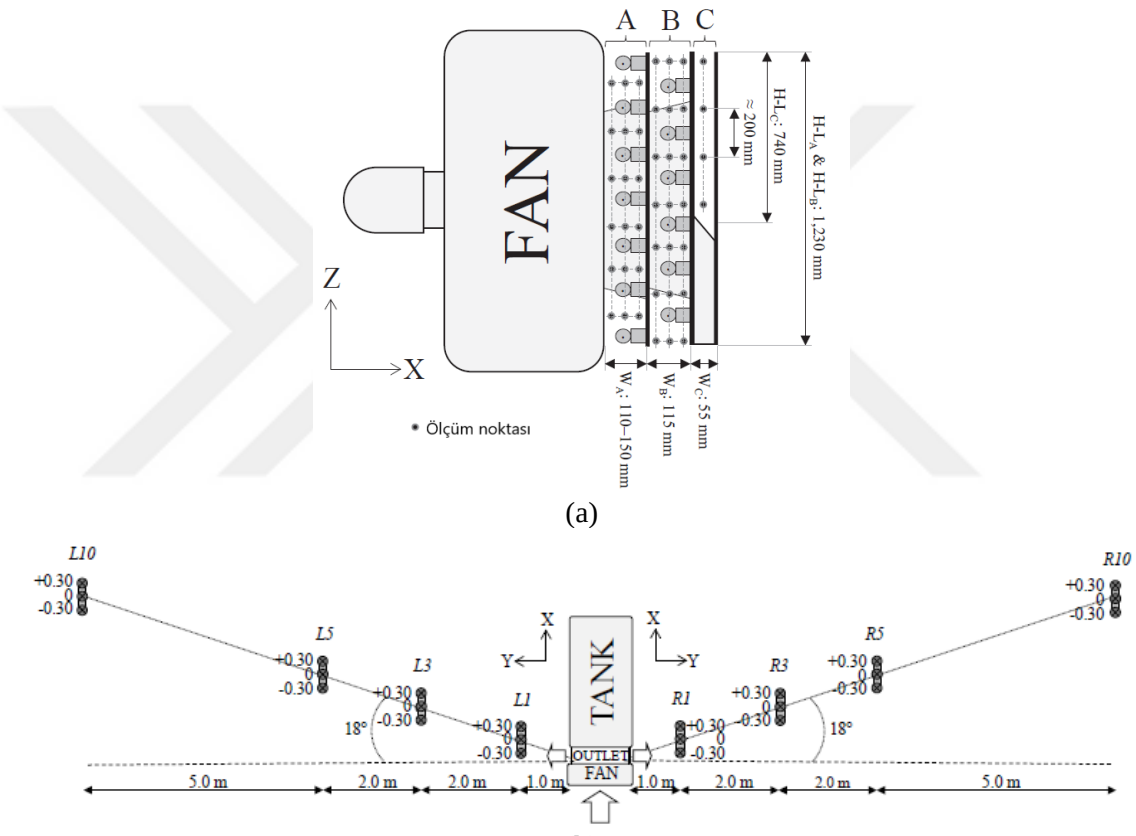
uygulama, kendi karar verme mekanizmasına sahip sistemle ise BBCH65-10.065 m^3/h, BBCH89-13.900 m^3/h hava debisi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Sistemin karar verme şekli önceden elde edilen deneysel verilere göre yapılmış olup, herhangi bir matematiksel model vb kullanılmamıştır.

Salas ve ark. (2022), yaptıkları çalışmada, bahçe pülverizatörünün fanının bağlantısını kuyruk mili (PTO) ile kesip, fanı doğrudan akü ile besleyerek elektrik ile çalıştırmışlardır. Fana tahrik veren elektrik motoruna farklı miktarlarda akım göndererek, fanın dönüş hızını değiştirmişlerdir. ISO 9898:2000 standardına uygun olarak fanın ilgili çıkış bölgelerinden hava akımının hızının ortalamasını tespit etmişlerdir. Fan çıkış ağzı ile ortalama fan çıkış hızının ilişkisinden, ortalama debiyi bulmuşlardır. Çalışmalarında, üretilen 5 farklı hava debisinin (A_1, A_2, A_3, A_4, A_5) ağaç tacının çıkış tarafında ne kadar hava oluşturabileceğini ve yaprak yüzeyi üzerinde ne kadar kaplama gerçekleştirilebileceğini araştırmışlardır. Buna göre gönderilen maksimum hava akımı ile ağaç tacının giriş tarafında 17,6 m/s hava hızı, ağaç tacının çıkış tarafında ise 4,9 m/s hava hızı elde etmişlerdir. Ayrıca en yüksek hava hızında ağacın orta tacında %31,9 oranında kaplama elde ettiklerini, ağaca gönderilen hava akımın azaltılması ile birlikte bu kaplama miktarlarının da arttığını ifade etmişlerdir. Hava uygulanan ağaç tacının iç (P_1) ve dış tarafından (P_2) da farklı yüksekliklerden hava hızları ölçülmüştür. Denemelerde, 3D ultrasonik anemometre ile ölçümler gerçekleştirmiştir. Üç eksende hava hızları ölçüldüğünden dolayı, türbülans yoğunluğu da hesaplanarak yaprak yüzeyi kaplama ile türbülans yoğunluğunun ilişkisini belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmanın sonuçlarına göre, türbülans arttıkça daha yüksek kaplama elde edilemeyeceği, iki bileşen arasında doğrudan bir ilişki kurulamayacağı ortaya çıkmıştır.

Yukarıda hava akımı değiştirilen sistemler incelendiğinde hava çıkış açıklığının değiştirildiği görülmektedir. Bu durumda memelerin bulunduğu bölgede türbülansların gerçekleşebileceği ve yapılan işlemin mekanik veriminin oldukça düşük olduğu net bir şekilde anlaşılmaktadır. Çünkü fan yüksek devirde dönmektedir ve havanın çıkış tarafındaki ağzı kısılarak fandan çıkan havanın zorlanarak çıkmasına sebep olmaktadır. Üretilen hava akımın da ekonomik olması önemlidir. Her bir yaprak ve dalın, hava akımı boyunca birer direnç oluşturduğu göz önüne alındığında, ilaç damlalarının ağaca daha iyi nüfus edebilmesi için yeterli hava hacminin yer değiştirmesi gerekir. Farklı tipteki bahçe pülverizatörlerinde üretilen hava akımı her bir ağaç türüne göre uyarlanabilmeli ve makine tasarımları da bu bakış açısıyla yapılmalıdır. Bu sebeple, her bir ağaç türü için ayrı bir ilaçlama makinesi tasarlanması yerine ilaçlama etkinliği daha esnek yapabilen ve farklı tipte ağaçlara uyarlanabilen bir makine tasarlanması sayesinde kullanıcının işletme giderleri ve amortisman giderleri doğrudan azalabilmektedir.

Salcedo ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada bahçe pülverizatörünün turbo fan kısmının farklı seçeneklerde ne gibi hava akımı oluşturacağını belirlemişlerdir. Bunun için, fan kanat açılarını (20°,25°,30°) ve fan hava çıkış açıklığını (110mm ve 150mm) değiştirerek, Şekil 2.9a'da gösterilen yerlerden ölçümler gerçekleştirmişlerdir. Fan kanat açıları, anlık olarak bir uzaktan kumanda ile değiştirilebilmektedir. Bununla birlikte, farklı uzaklıklardan (1m, 3m, 5m, 10m) farklı azimut

açılarında (+30°,0°,-30°), yerden farklı yüksekliklerde (0-4m, 0,25m'lik aralıklar ile) hava akımının hızlarını 3D anemometre ile ölçmüşlerdir (Şekil 2.9b). Böylece 6 farklı seçenek ile hava jetindeki 3 eksendeki (u, v, w) hava hızlarını ölçmüşlerdir. Ana eksen üzerindeki hız bileşenlerinin açısal durumu da ortaya konularak, bir düzlem üzerindeki hız vektörünün büyüklüğü doğrultusu ortaya konulmuştur. Hava jetinin iyi düzeyde olabilmesi için, tek bir eksendeki hava hızının yüksek olması, diğer eksenlerdeki hava hızlarının da sıfıra yakın olması beklenmektedir. Bu durum türbülansın az olduğunun göstergesidir fakat fan çıkışından 10 m ötede bile %42 oranında türbülans oluştuğu anlaşılmıştır. Fanın da sağa dönüşünden kaynaklı sol taraftaki hava jeti ile sağ taraftaki hava jetinin aynı olmadığı ortaya çıkmıştır.

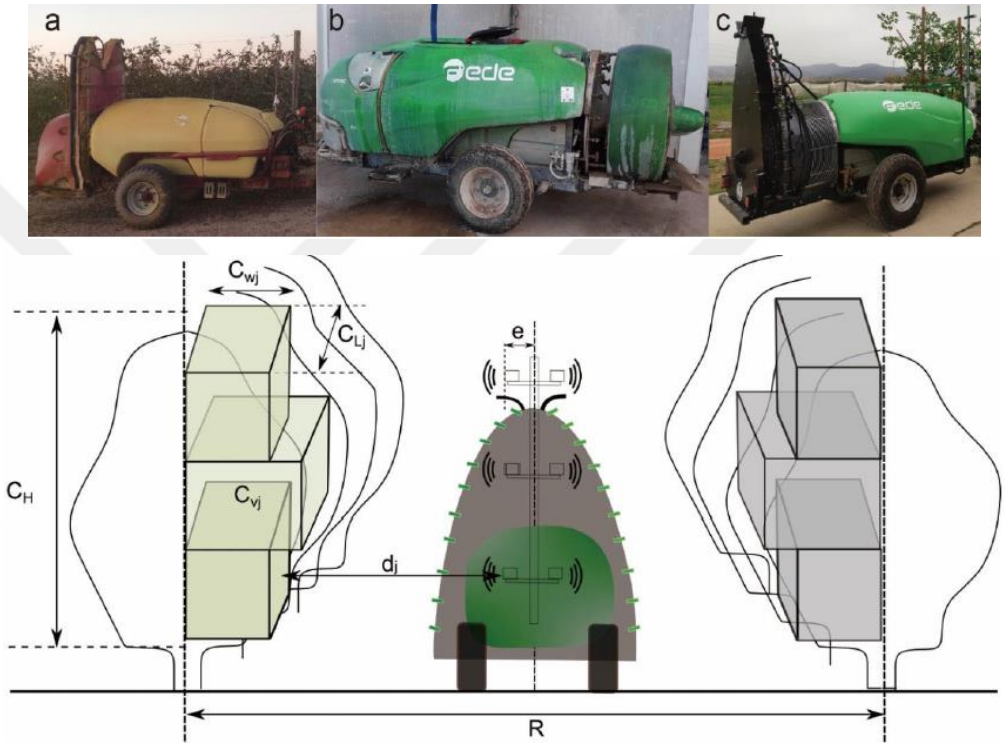


Şekil 2.9. Fan çıkışı üzerinden yapılan ölçüm bölgeleri (a), farklı uzaklık ve yüksekliklerden yapılan ölçümlerin konumu (b)

2.3. Değişken Basınç Tabanlı Akış Kontrol Üniteli Sistemler

Xun ve ark., (2023) yaptıkları çalışmada geleneksel 2 farklı bahçe pülverizatörünün (Şekil 2.10a ve Şekil 2.10b) ilaçlama etkinliğini üzerinde yeni tip püskürtme sistemi olan yeni bir bahçe pülverizatörünün (Şekil 2.10c) ilaçlama etkinliği ile karşılaştırmışlardır. ISO22866-2005 standartına göre gerçekleştirilen denemelerde elma bahçelerinde 2 farklı vejetatif dönemde ilaçlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.10d'de görüldüğü gibi ağacı 3'e bölmüş (üst, orta alt tac) ve bu bölümler için 4'er adet meme yerleştirilmiş daha sonra da düzlemsel alan belirleme (Wall Shape Canopy)

yöntemiyle anlık bu yüzeylerin taç genişliklerini hesaplamışlardır. Her bir ultrasonik sensör bulunduğu düzlemde ağaç algılamadığında ilgili memelere ilaçlama yaptırmamıştır. Değişken oranlı basınç uygulayan bu sistem 4-14 bar aralığını 40-85 cm taç genişliğine göre kalibre edip, her 4,5cm taç genişlediğinde 1 bar basınç arttırılacak şekilde bilgisayar programını düzenlemiş, taç genişlediğinde anlık ilaçlama basıncı arttırılmış, taç daraldığında ise azaltılmıştır. Geliştirilen ilaçlama sistemi geleneksel sistem ile karşılaştırıldığında, çarpıp düşen ve ağaca ulaşmayan damlaların 1. Vejetatif evrede %60 oranında azaldığı görülmüştür. Bunun yanında da 2. Vejetatif evrede sürüklenmenin etkisi %57 oranında azaltılmıştır.



Şekil 2.10. Xun ve Ark. (2023)'ın çalışmalarında kullandıkları Hardi Kule Pülverizatör (a), Fede Eksenel Fanlı Pülverizatör (b), Fede Kule Pülverizatör (c), sistemin çalışması sırasında kullanılan düzlemsel alan belirleme yönteminin görseli (d)

2.4. Değişken Konsantrasyonlu Sistemler

Zhang ve ark. (2020) yapmış oldukları asılır bahçe pülverizatörünün üzerine değişken konsantrasyonlu uygulama ünitesi yerleştirmişlerdir (Şekil 2.11a). Yapılan çalışmada, belirli miktar su ve tarımsal ilaç konsantreler karıştırıcıya ayrı ayrı enjekte edilmiştir. Ön karıştırma tankında karıştırıldıktan sonra karışım daha sonra asıl karışım tankına aktarılmıştır. Karışım daha sonra değişken debilerde PWM memelere iletilmiştir. Böylece, hem tarımsal ilacın konsantrasyonu anlık değiştirilmiş, hem de PWM memelerin görev süreleri anlık değiştirilmiştir. Daha önce bu tarz uygulamalarda, ilaç konsantrasyonu değiştiğinde damla oluşumunu etkileyen viskozitenin değişikliğinin de olabileceği ve damla oluşumunu etkileyebileceği ifade edilmişti. Araştırmacılar bu durumun farkında olduklarından dolayı, tarımsal ilaç tankında floroşıl madde ile birlikte vizkozite

düzenleyici madde de kullanmışlardır. Bahçe pülverizatörü, farklı derişimlerde ağaç tacına uygulama gerçekleştirdiğinden dolayı, ilaçlama kalitesini ölçmek için doğrudan suya duyarlı kart veya filtre kağıdı yerine kollektörler ağaca asılmış, böylece kollektöre gelen sıvıların bir cam şişeye akması sağlanıp bu sıvıların derişimleri ölçülmüştür (Şekil 2.11b). Konsantrasyon oranı, %1 olarak ayarlanıp uygulama gerçekleştirildikten sonra yapılan uygulamalarda ilaç konsantrasyonunun farklı örneklerdeki dağılımını % 2,85 olarak tespit etmişlerdir.



a

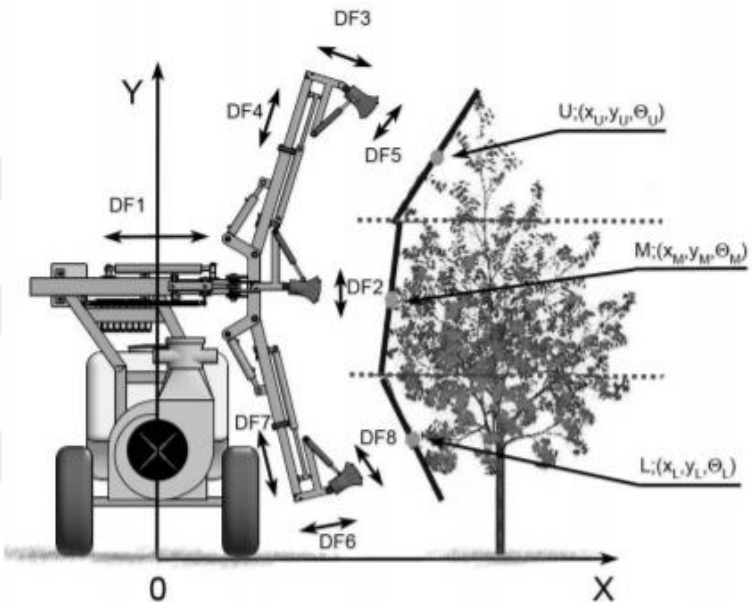


b

Şekil 2.11. Değişken konsantrasyonlu bahçe pülverizatörünün görseli (a), püskürtülen tarımsal ilacın derişimini ölçmek için kullanılan örnek alma ünitesi (b) (Zhang ve ark. 2020)

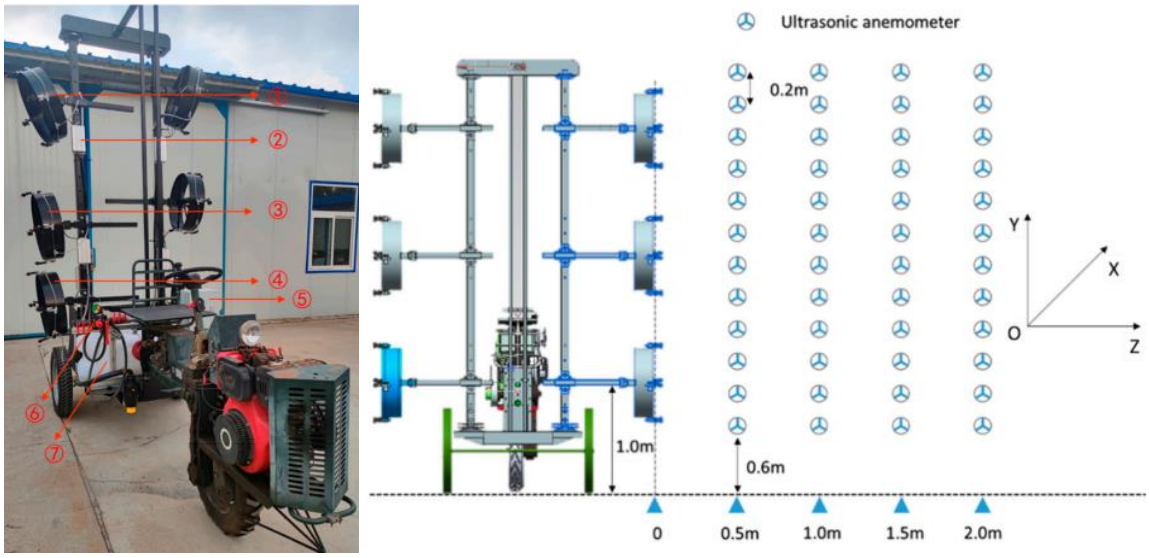
2.5. Ağaç Taç Geometrisine Bağlı Pozisyon Değiştiren Sistemler

Osterman ve Hocevar (2014) yaptıkları çalışmada ahtapot tip bahçe pülverizatörünün kollarını mekanik olarak ağaç tacına göre anlık olarak ayarlayabilen bir sistem geliştirmişlerdir. Üç farklı püskürtme ünitesine hava akımı radyal bir fandan sağlanmaktadır (Şekil 2.12). LIDAR teknolojisi kullanılan bu bahçe pülverizatöründe ağaç tacı anlık olarak taranmaktadır. Buna göre üç farklı püskürtme ünitesi alınan verilere göre ilgili ağaç tacına göre açılarını değiştirerek, ağaç tacının şekline yakın bir konum almaktadır. Böylece oluşturulan şekil ile hava jeti ağaç tacına daha iyi adapte olabilmektedir. Bu sayede % 75 daha az pestisit atılabileceği ortaya konulmuştur.



Şekil 2.12. Osterman ve Hocevar (2014)'ın tasarladığı ağaç tacına göre mekanik olarak pozisyon değiştirebilen bahçe pülverizatörü

Li ve ark. (2022) tasarladıkları bahçe pülverizatörü ile yaprak duvarına bakan fan sayısını arttırmış, bu fanların her birinin yaprak duvarına bakan konum açıları değiştirilmiştir. Denemelerde tacın alt üst ve orta bölümlerine fanların her birinden yaprak duvarına farklı büyüklükte hava akımı göndermişlerdir (Şekil 2.13a). Fana devirleri 2275 dev/dak, 2635 dev/dak, 3090 dev/dak olarak değiştirilmiş, bunun yanında her bir fanın konum açısı -40°, 0° ve 20° yapılarak ayarlanmıştır. Makine sabit iken, ISO 9898:2000 standardına göre hava hızlarının ölçümleri 3D Anemometre ile laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Buna göre, farklı hava akımları ve konum açılarında üç eksende hava hızları (u, v, w) ölçülmüştür (Şekil 2.13b). İlaç uygulama yapılan deneyler kiraz ve armut bahçelerinde yapılmıştır. Buna göre, küçük yapraklı ağaçlarda daha iyi bir kaplama için yatay ve ileri yönde hava akış hızının arttırılması, iri yapraklı ağaçlarda ise daha iyi bir kaplama için de yukarı yukarıdaki fanların yukarı yönlü çevrilmesi gerekliliğini ifade etmişlerdir.



Şekil 2.13. Fan konum açısı ve hava akım miktarı değiştirilebilen 6 fanlı bahçe pülverizatörü (a) (1- Üst Fan, 2- Elektronik Hız Kontrol Ünitesi, 3- Orta Fan, 4- Alt Fan, 5-Araç Hız kontrol Ünitesi, 6- Oransal İlaç kontrol valfi, 7-İlaç Tankı), laboratuvar denemelerinde farklı uzaklıklardan yapılan deneme deseni (b) (Li ve ark. 2022)

2.6. Bahçe Pülverizatörlerinde Enerji Verimliliğine Yönelik Çalışmalar

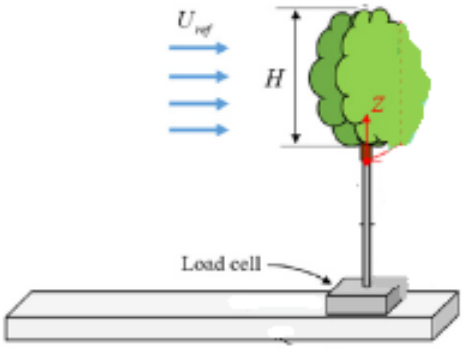
Failla ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada, fan çıkış ağzını 40 mm, 60mm ve 110 mm olarak değiştirmiş, 2 farklı fan kademesi ve 5 farklı kanat açısında denemeler gerçekleştirmiştir (3 fan açıklığı x 2 fan kademesi x 5 kanat açısı= 30 farklı olasılık). Buna göre, kanat açısı 20°'den 45° geçmesi ile yakıt tüketimi 1:3,5 transmisyon oranında %65, 1:4,5 transmisyon oranında %45 olarak artmıştır. Ancak ürettiği hava akımı da yüksek olduğundan, karşılaştırılan kanat açıları içinde en iyi olasılığın 40° olduğu ortaya çıkarılmıştır. En yüksek karbon salınımının 45° kanat açısında ve 1:4,5 kanat açısında 17,5 $kgCO_{2eq}kg^{-1}$ olduğu ortaya çıkmıştır.

İtmeç ve Bayat (2021) yaptıkları çalışmada bir bahçe pülverizatörünün 900 mm emiş ağzına sahip fanının kanat açısını 15°, 30°, 45° ; transmisyon kademesini 1:3,5 ve 1:4,5 olarak değiştirmiş ve fanın basma tarafından ortalama hava hızlarını belirlemişlerdir. Denemelerde kuyruk mili fan mili arasına torkmetre-devir ölçer yerleştirilip tork ve devir ölçümü gerçekleştirilmiştir. Enjektör hattına ve depo geri dönüşüne de yakıt ölçerler yerleştirilmiş bu iki yakıt ölçerin anlık farkından da anlık yakıt tüketimi hesaplanmıştır. Böylece yakıt gücü, PTO gücü, Fan gücü hesaplanmış ve yukarıda belirtilen 6 farklı olasılık için (3 kanat açısı x 2 transmisyon kademesi) denemeler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en verimli hava akımının 30° kanat açısı ve 1:4,5 transmisyon kademesinde fan verimi %73,25 olarak hesaplanmıştır.

2.7. Ağac Tacının Aerodinamiği ile ilgili Yapılan Çalışmalar

Manickathan ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada, bir ağacın kökünü tekerlekli bir düzlem üzerine gömmüşlerdir. Ağacın bir tarafından hava hızı uygulayıp, halatlar ile ağacın sabit durmasını sağlamışlardır. Ağacın gömülü olduğu tekerlekli düzleme bağlı halatlara bir yük hücresi (load cell)

bağlayıp ağacın üzerine gelen sürüklenme kuvvetini (F_d) buradan da sürüklenme katsayısını (C_d) hesap etmişlerdir (Şekil 2.15). Bu katsayılarda ağaç tacının porozluğu (açıklığı), yaprak yoğunluğu vejetatif ve fenelojik döneminin de etkili olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 2.14. Ağacın sürüklenme katsayısını belirlemek için kurulan deney düzeneği

Koizumi ve ark. (2016) yılında yaptıkları çalışmada, iki farklı ağaç türünün bir tarafından gelen doğal hava akımını incelemişlerdir. Ağaç tacının diğer tarafından ise hava hızının büyüklüğünü ölçerek sürüklenme katsayısını (drag coefficient) belirlemişlerdir. Buna göre, her iki ağaç türünde de doğal rüzgar hızı arttıkça sürüklenme katsayısının azalarak "0" a yakınsadığını hatta hava akımının hızı 30m/s civarında olduğunda C_d'nin 0,594 olduğu hesap etmişlerdir.

Salcedo ve ark. (2019), fanı inverterli bir motordan tahrik edip, ağaç taç yoğunluğu (ağaç taç hacmi başına yaprak alanı olarak), ağaç taç hacmi (En: 0,4m; Boy: 1,2 m Yükseklik: 1m; Hacim: 0,48m^3) ve Yaprak Alan İndeksi (YAİ=1) olan yapay bir bitki üzerine hava akımı göndermişlerdir. Hava akımının düşüşünde ağaç tacının yoğunluğunun önemini araştırmışlardır. Burada ağacın direnç katsayısını (C_d) hesaplamak için şu formülü kullanmışlardır;

$$C_d = \frac{1}{\alpha L} \ln\left(\frac{U_{txa}}{U_{txb}}\right) \tag{2.4}$$

Burada α, yaprak yoğunluğunu diğer bir deyişle metrekaredeki yaprak miktarının ağaç taç hacmine oranı (m^2/m^3), L ağaç tacının derinliği (m), U_{txa} ağaç tacına giren hava akımının yatay hız bileşeni (m/s), U_{txb} ise ağaç tacından çıkan hava hızının yatay bileşenidir. Problemin fiziğini tanımlayan matematiksel eğrinin logaritmik olmasının sebebi, yaprak ve dalların taç içerisinde sabit kabul edilmesinden dolayıdır. Aksi takdirde tüm problemin fiziğini kabul yapmaksızın matematiksel model türetmek zor olmaktadır. Yapılan statik ve dinamik denemelerde, ağaç taç yüksekliğine bağlı hava hızında düşüş gözlemlenmiştir.

Bekkers ve ark., (2022) yaptıkları çalışmada klasik sürüklenme kuvveti formülünü (Eşitlik 2.5) ağaçlar için modifye edip yeni bir matematiksel model geliştirmişlerdir (Eşitlik 2.6). Buna göre;

$$F_D = 0.5\rho C_D A U_\infty^2 \quad (2.5)$$

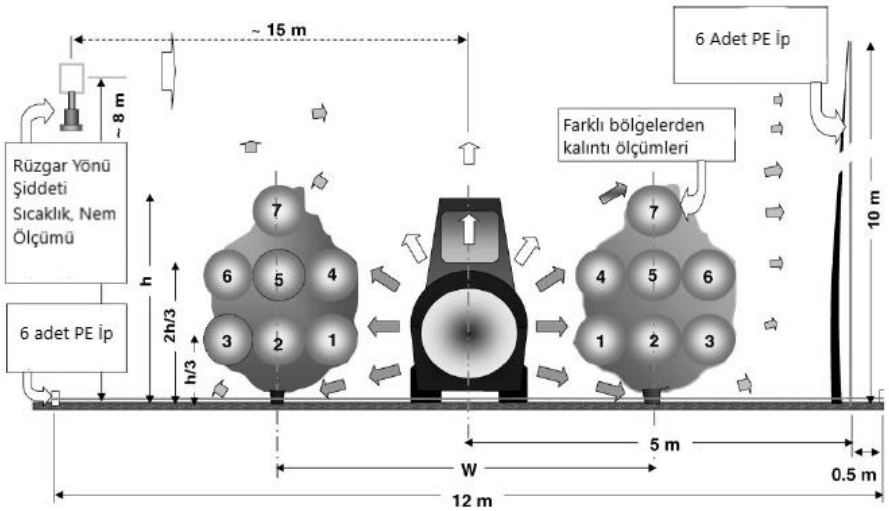
Formülde F_D sürüklenme kuvvetini (N), C_D sürüklenme katsayısını (boyutsuz); A, ağacın rüzgâra maruz kalan ön yüzey alanını (m^2), ρ havanın yoğunluğunu (kg/m^3), U_∞ ise ağaca gelen hava akımının hız büyüklüğünü ifade etmektedir. Diğer taraftan Vogel üssel fonksiyonu ile genellikle rüzgâra maruz kalan ağaç veya ağaç topluluklarının matematiksel modellenmesi gerçekleştirilmektedir. Vogel üssel fonksiyonunun $E = a + b$ şeklindeki üssel değerlerinin sürüklenme katsayısına ve ağaca maruz kalan yüzey alanına yansımasının matematiksel modeli, özellikle yüksek hava hızlarına çıkıldığında tercih edilmektedir;

$$F_d = \begin{cases} 0.5\rho C_d A U_\infty^2 & U_\infty \leq U_0 \\ 0.5\rho \left(C_d \left[\frac{U}{U_0}\right]^a \right) \left(A \left[\frac{U}{U_0}\right]^b \right) U_\infty^2 & U_0 > U_\infty \end{cases} \quad (2.6)$$

Bu denklemlerde U_o (m/s) ağaca giren havanın hızını; E, a ve b ise türetilen üssel matematiksel modelin katsayılarını ifade etmektedir. Eşitlik 2.5'in bileşenleri, Eşitlik 2.6'da da kullanılmıştır. Eşitlik 2.6' da yer alan U_o <1m/s iken hava hızı ağaçta her hangi bir değişiklik yapmaz ancak diğer durumlarda, ağacı yatırır. Bu yatma durumunda da ağacın geometrisinde ister istemez değişiklikler de oluşur. Bu durum da ağacın aerodinamiğini değiştirebileceğini ifade etmişlerdir.

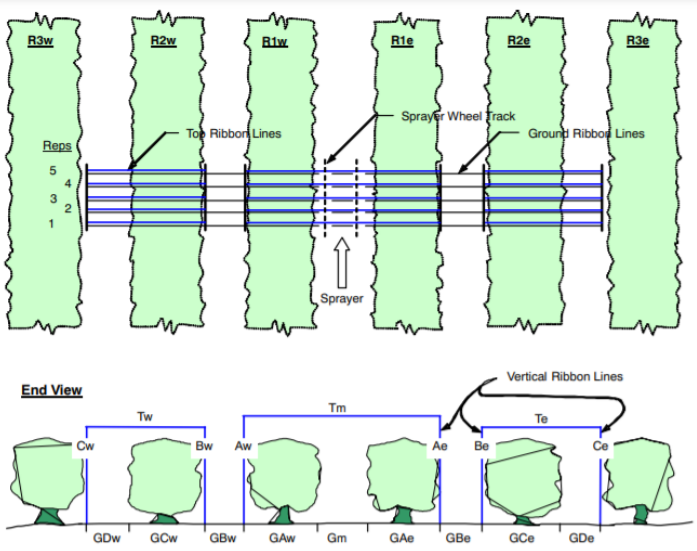
2.8. Sürüklenme Potansiyelinin Belirlenmesi

Cross ve ark., (2001) yılında yaptıkları çalışmada 5,6 km traktör hızında, ağaca uygulanan tarımsal ilacın debisini 3,8 L/min, 11 L/min ve 29 L/min olarak belirleyip hava debisini 11,3 km/h olarak ayarlamışlardır. Bu şekilde memeden gönderilen ilaç miktarının yaprak yüzeyi kaplama ve sürüklenme potansiyeli üzerinde çalışma yapmışlardır. Bodur elma bahçesinde 3 farklı yılın aynı döneminde gerçekleştirilen bu çalışmada, ağaç tacının dışından 6 farklı bölgeden ve yer zemininden de 6 farklı bölgeden sürüklenme potansiyeli ölçülmüş; ağaç tacı üzerinden 7 bölgeden de kaplama miktarları ölçülmüştür (Şekil 2.15). Wei ve ark. (2016) aynı şekilde sürüklenme potansiyelini belirlerken benzer yöntemi kullanmışlardır.



Şekil 2.15. Cross ve ark. (2001) yılında sürüklenme ve kaplamayı belirlemek için bahçeye kurdukları ölçüm düzeni

Salyani ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada, farklı tipteki pülverizatörlerin sürüklenme potansiyelini belirlerken pamuk şeritler kullanmışlardır buna göre Şekil 2.16'daki gibi ağaçların taçlarının dış taraflarına numune alma üniteleri kurmuşlardır. Deney sonrasında bu pamuk şeritleri bölgesel parçalamış ve florometrik özellikleri değerlendirmişlerdir. Böylece; yer kayıpları, ağaç dışına sürüklenme miktarlarını ölçebilmişlerdir.



Şekil 2.16. Salyani ve ark. (2007) sürüklenme potansiyelini belirlerken kullandıkları yöntem

Wang ve ark., (2022) otonom benzin motorlu bir ilaçlama makinesini limon bahçesinde denemişlerdir. Makine üzerinde ağaç tacını algılamak için LiDAR sensör ve cihazın konumunu belirlemek için RTK bulunmaktadır. Bu cihazlar sayesinde ağaç taç yoğunluğu belirlenmekte, makinenin sıra üzerine olan mesafesi anlık belirlenmekte ve sıra üzerinde belirli bir hizada gitmesi sağlanmaktadır. Makinenin ilaçlama başarısını ölçmek için boyar madde kullanmış, bu boyar maddenin de ağaç üzerindeki deneme desenini Şekil 2.17'deki gibi kurmuştur. Her denemede 3 farklı

yükseklikten 5 farklı örnek almış, bu 5 örneğin ortalamalarını ve standart sapmalarını alarak diğer yüksekliklerdeki operasyonel farklılıkları ortaya çıkarmışlardır. Benzer sürüklenme ölçme metodolojisini Jejcic ve ark. (2011) de kullanmışlardır.



Şekil 2.17. Wang ve ark. (2022) kullandıkları deneme metodolojisinin görseli

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

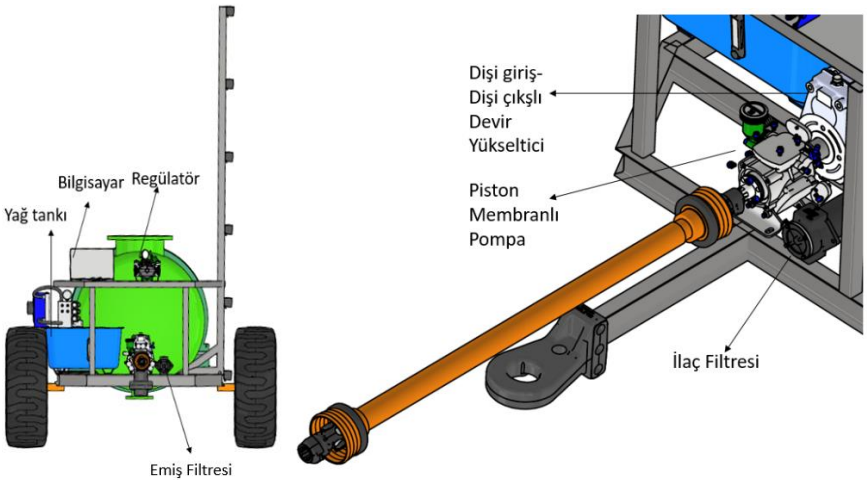
3.1.1. Değişken Oranlı Püskürtme ve Hava akımı Sağlayan Bahçe Pülverizatörü Tasarım Esasları

Bu çalışmada, farklı ağaç taç geometrisine sahip ve farklı ağaç taç yoğunluğundaki meyve ağaçlarına gerçek zamanlı olarak değişken oranlı hava akımı ve aynı zamanda değişken oranlı püskürtme sıvısı uygulayabilen bir yardımcı hava akımlı bahçe pülverizatörü tasarımı ve prototip imalatı hedeflenmiştir. Bu amaca ulaşmak için tasarlanan pülverizatörün standart tip bahçe pülverizatörlerinden farkları bulunmaktadır. Bu farklılıklar (1) türbo fanın traktör kuyruk mili dönü hızından bağımsız olarak bir hidrolik sistemle işletilmesi, (2) püskürtme sistemi üzerindeki memelerin ayrı ayrı olarak selonoid valflerle kontrol edilmesi ve (3) fanın dönü hızı ve püskürtme sıvısı gereksiniminin bir algoritma ile işletebilen bir otomasyon sistemi kullanılması olmuştur.

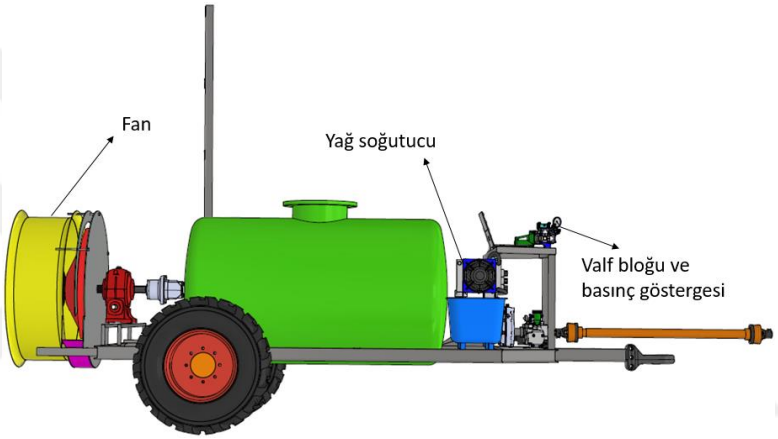
Bahçe Pülverizatörünün Genel Özellikleri ve Bileşenlerinin Şase Üzerine Yerleşimi

Yardımcı Hava Akımlı Bahçe pülverizatörüne ait şase, Autodesk Inventor 2022 isimli Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) programında tasarlanmıştır. Pülverizatörün ön tarafında pompanın üzerindeki muhafazanın üzerine hem bilgisayar hem de elektrik pano ile sürücü kartlar yerleştirilmiştir. Bu muhafazanın altına da ilaç pompası, pompanın tahrik mili traktör kuyruk mili ile aynı eksende olacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 3.1a). İlaç pompasının erkek-erkek çıkışlı olması sebebiyle şanzıman pompanın kuyruk mili tarafına değil de, diğer tarafına yerleştirilmiştir. Şanzımanın giriş ve çıkışları dişi-dişi olması sebebiyle, dişi girişlerden birisi pompanın çıkış miline, diğeri ise yağ pompasının frezeli miline monte edilmiştir. Böylece, şanzıman aldığı tahriki yağ pompasına iletmektedir. Yağ pompası, makinenin ön tarafına yakın konumlandırıldığı için yağ tankı (180 L) da yağ pompasının hemen arkasına yerleştirilmiştir. Kapasitesi 1000 L olan deponun da pozisyonu yağ tankının hemen arkasına gelecek şekilde ve ağırlığı tekerleklere binecek şekilde konumlandırılmıştır. Turbo fan ünitesi de ilerleme yönünün ters yönünden hava emiş yapacağı için, önünde engel bulunmayacak şekilde makinenin en arka pozisyonuna yerleştirilmiştir. Ayrıca hidrolik yağ soğutucunun yönü de önünde engel bulunmayacak şekilde, ilerleme yönünün tersine bakmaktadır (Şekil 3.1b). Makine deneysel amaçlı tasarlandığından memeler tek taraflı olaraki lazersensörler ile aynı yöne bakacak şekilde pozisyonlanmıştır. Makinenin üzerinde bulunan parçaların şase üzerindeki konumları, çizim programındaki "Ağırlık Merkezini Belirleme" komutu göz önüne alınarak yapılmıştır. Böylece devrilme, şahlanma gibi olası kazaların önüne tasarımsal olarak geçilmiştir. Bahçe pülverizatörü lazer sensörlerin bulunduğu direk, yol konumda kapanabilmekte, iş konumunda da açılabilmektedir. Bu direk fan çıkışındaki püskürtme sisteminin 20 cm ötesinde konumlandırılmıştır (Şekil 3.1c). Çünkü bahçe denemelerinde traktör 1,8 km/h (0,5

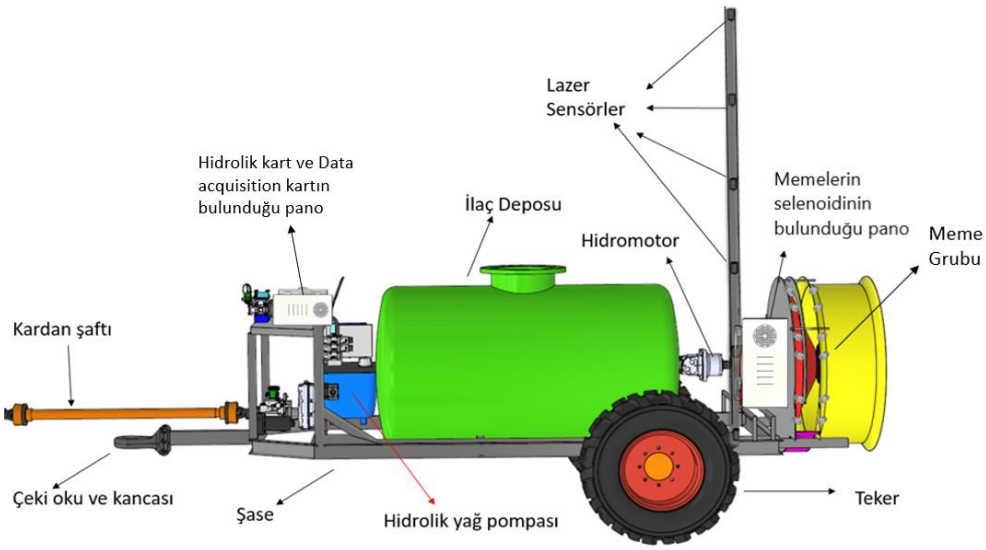
m/s) hız ile hareket etmektedir. Lee ve Ehsani, (2009) yaptıkları çalışmada ağaç tacını doğru algılama için düşük hızlarda traktörün ilerlemesinin uygun olacağını belirtmişlerdir. Bu sebeple makine 20 cm'lik bir mesafeyi 0,4 s' de geçmektedir. Sistem bu kadar sürede de gerekli matematiksel işlemleri yapıp karar verme mekanizmasını çalıştırabilmektedir. Sistemin cevap verme süresine bağlı olarak traktörün ilerleme hızı 1. Vites 1. Kademe olarak belirlenmiştir. Bunun sebebi, ağaç tacı algılandıktan sonra hem değişken oranlı hava akımı, hem de değişken oranlı püskürtme sisteminin hemen devreye girecek olmasından dolayıdır. Ayrıca püskürtme sisteminin selenoidleri fanın hemen arkasına monte edilen bir panonun içerisine yerleştirilmiştir. İçinde veri toplama kartı ve hidrolik kartın bulunduğu pano da regülatörün arkasına monte edilmiştir. Yapılan tasarıma göre çalışma durumunda makinenin zemininden yüksekliği 3200 mm, dıştan dışa genişliği 1600 mm ve çeki okundan itibaren uzunluğu da 3150 mm olarak belirlenmiştir.



a



b

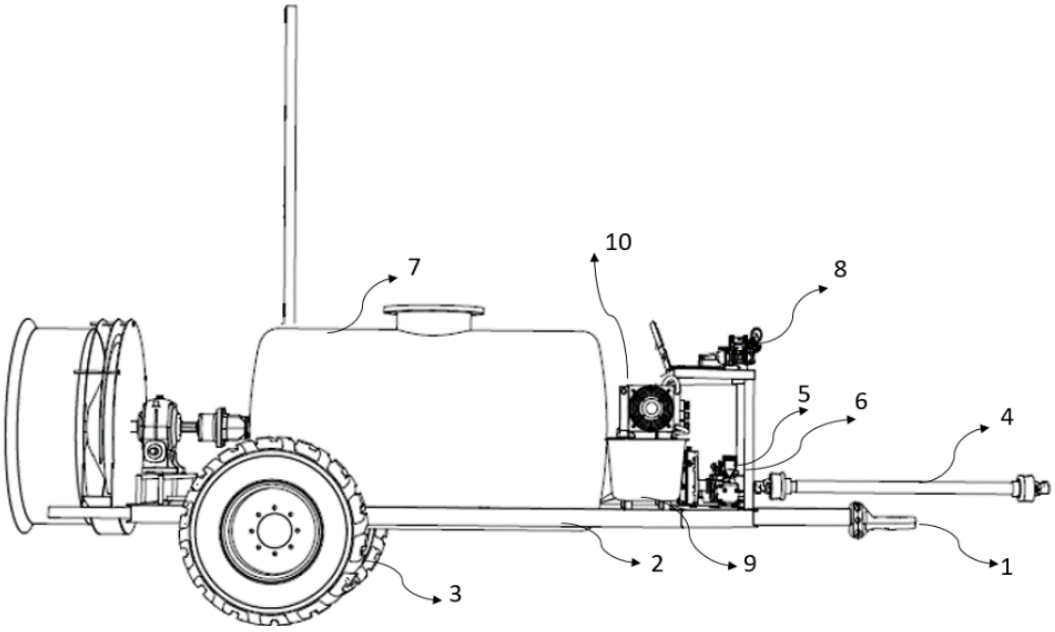


c

Şekil 3.1. Tasarlanan makinanın sol yan (a), ön görünüş (b), sağ yan görünüşü (c)

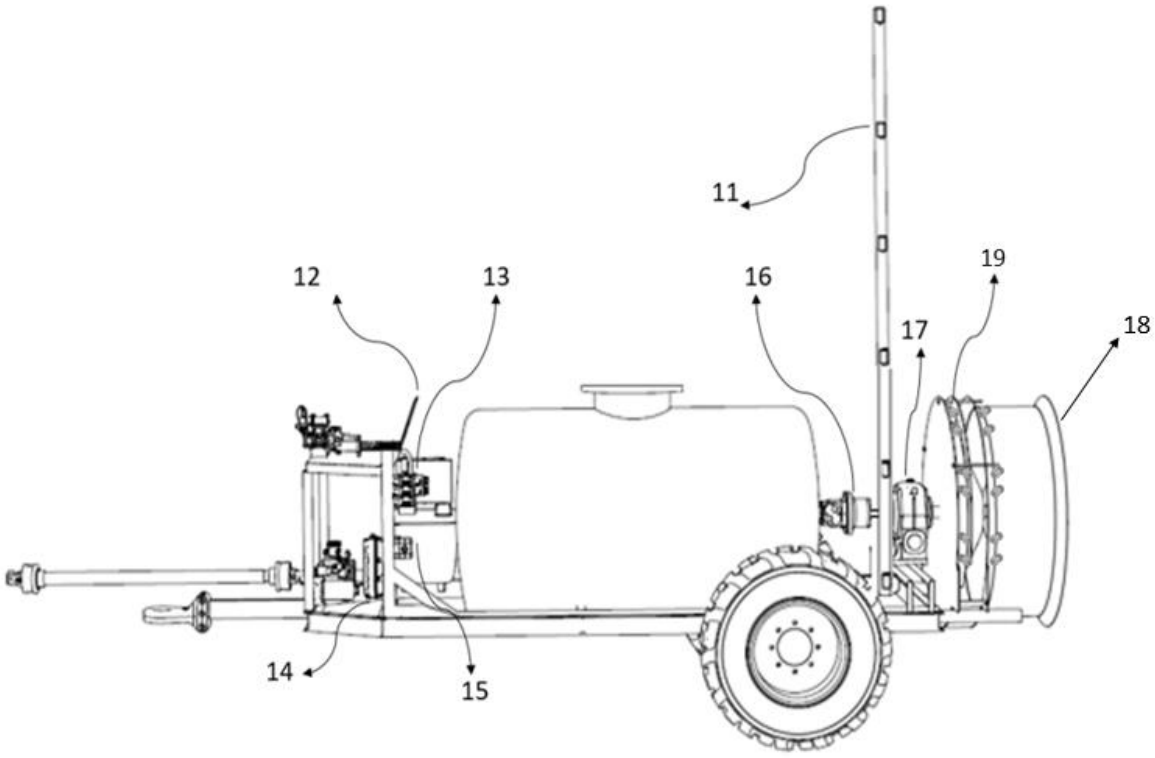
Bahçe Pülverizatörünün Çalışma Prensibi

Tasarıma ait sol yan görünüşün verildiği Şekil 3.2'de görüldüğü gibi, çeki kancası (1) makinenin şasesine (2) kaynak edilmiştir ve bahçe pülverizatörü çekilir tip olması sebebiyle sistem tekerler (3) üzerinde hareket edebilmektedir. Traktörün kuyruk milinden alınan tahrik, bir kardan mili (4) yardımıyla iki taraflı mil giriş çıkışlı (erkek-erkek) ilaç pompasına (5) tahrik vermektedir. İlaç filtresi (6), ilaç deposundan (7) püskürtme sıvısını basınçsız hortumlar ile almakta ve ilaç pompasına iletmektedir. İlaç pompasından çıkan basınçlı püskürtme sıvısı regülatöre (8) gelmektedir. Burada basıncı, arzu edilen uygulama basıncına ayarlanan püskürtme sıvısı, yüksek basınç hortumlarıyla memelere taşınmaktadır. Hidrolik sistem ile de bahçe pülverizatörünün turbo fan ünitesi çalıştırılabilmektedir. Hidrolik sistemin çalışması için kullanılan hidrolik yağ hidrolik yağ (9) deposundan alınmaktadır. Sistemde çalışıp depoya geri dönen yağ bir fanlı soğutucundan geçtikten sonra hidrolik soğutucudan (10) geçmekte ve soğumaktadır. Tasarlanan bahçe pülverizatörünün, fan kısmı doğrudan hidrolik tahriklidir. Grella ve ark. (2023) yaptıkları çalışmada, özellikle havanın değişken oranlı ayarlanması esnasında, PTO'nun istenilen bir devirde çalıştırılıyor olmasına rağmen, özellikle fazla bakım yapılmayan ve eskiyen traktörlerde zaman zaman bu ayarlanan devrin üstüne çıkıldığı veya altına inilidiğini ifade etmişlerdir. Bu sebeple kendi çalışmalarında, PTO'dan sadece tahrik alan ve sabit akım oluşturabilen bir jeneratör ile çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada da, bir anlamda bu durumun önüne geçilmek için tamamen hidrolik ünite tercih edilmiştir. Ayrıca fanın hidrolik olarak çalıştırılması sayesinde, fan değişken oranlı hava akımı uygulayabilmektedir.



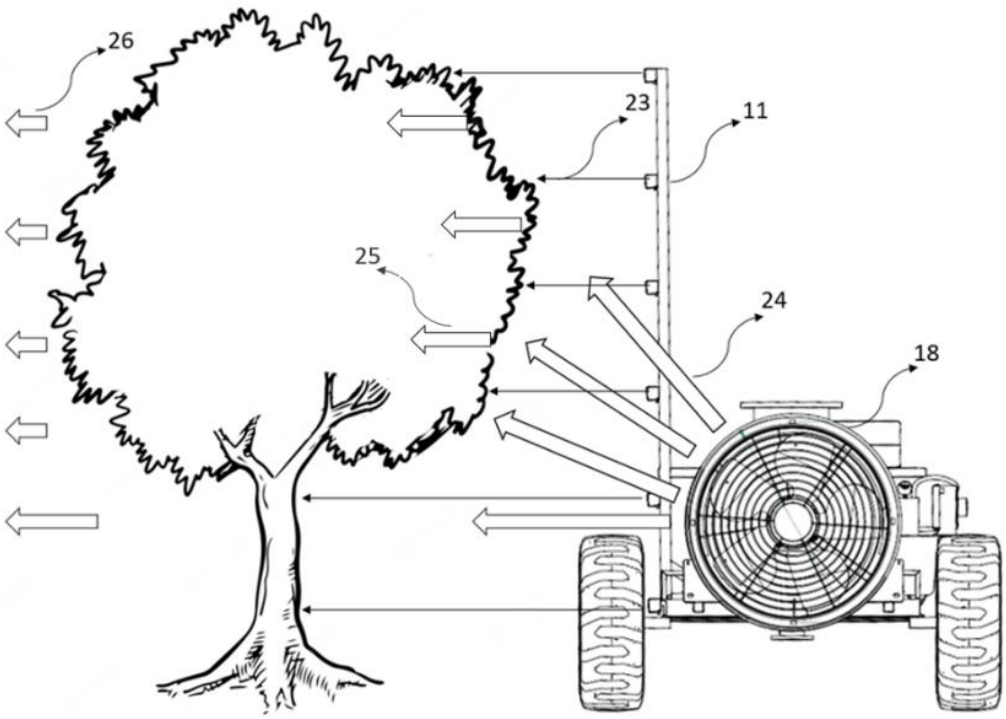
Şekil 3.2. Tasarlanan bahçe pülverizatörünün sağ yan görünüşü (1-Çeki Kancası, 2-Şase, 3- Teker, 4- Kardan Mili, 5-ilaç pompası, 6- İlaç filtresi, 7-İlaç deposu, 8- Regülatör, 9-hidrolik yağ tankı, 10-yağ soğutucu eşanjör ve fan)

Tasarlanan prototipte ağaç tacının geometrisi; iki adet üst taç, iki adet orta taç, iki adet de alt tacın ölçülerini alan lazer sensör (11) aracılığıyla belirlenmektedir (Şekil 3.3). Ağaç tacının ölçülen verileri anlık olarak bir bilgisayara (12) iletilmektedir. Bilgisayarda ağaç tacına gönderilmesi gerekilen ortalama hava hızı hesaplanmaktadır. Bu hesap yapılırken, bahçe pülverizatörün ağacın tacına uzaklığı, tacın anlık geometrisi, ağaç yaprak yoğunluğu koşulları göz önüne alınmaktadır. Bu veriler ile ağaç tacının içindeki hava hızı ve hava hızının serbest atmosferdeki hava hızları hesaplanmakta buna göre de fandan gönderilecek hava hızı, fan devri esas alınarak anlık olarak belirlenmektedir. Daha sonra fanın verdiği ortalama hava hızına karşılık gelen ve oransal valfin selenoidine (13) gönderilen gerilim değeri bilgisayar programı tarafından belirlenmektedir. Bilgisayardan belirlenen gerilim değeri, valf bloğunun üzerinde bulunan oransal kontrollü selenoid valfin uçlarına gönderilmektedir. Bu sayede oransal kontrollü valfin içerisinde yer alan popetin açılma miktarı değişmektedir. Buna bağlı olarak oransal kontrollü valften geçen yağ miktarı azalıp artmaktadır. Yukarıdaki bölümlerde de ifade edildiği gibi ilaç pompası hem tahriki alan hem de aldığı tahriki iletebilen (erkek-erkek giriş çıkışlı) bir özelliğe sahiptir. Bu pompanın çıkış mili hareketini devir arttırıcı bir şanzımana (14) (1:3 tahvil oranlı) iletmektedir. Bu şanzıman ile ilaç pompasından gelen devir (540 dev/dak) arttırılarak, yağ pompasının (15) randımanlı çalışabilmesi için gerekli olan devire ulaşabilmek mümkündür. Oransal kontrollü valfin selenoid uçlarına gönderilen gerilim sayesinde popet açıklığı değiştirilerek, hidromotora (16) gönderilen yağ miktarı anlık olarak değişmekte ve hidromotorun dönüş miktarı artıp azalmaktadır. Hidromotorun mili bir adet devir arttırıcı şanzımana (17) (1:3,5 ve 1:4,5 tahvil oranlı) kaplinle bağlanmıştır. Şanzımanın mili de doğrudan bahçe pülverizatörünün turbo fan (18) ünitesine bağlanmıştır. Böylece hidromotorun devri değiştiğinde fanın da devri değişmektedir. Böylece, püskürtme memelerinden (19) çıkan püskürtme sıvısı, değişken oranlı uygulanan hava akımı arkalarına aldıklarında ağaç üzerinde daha iyi bir kaplama elde edebilecektir.

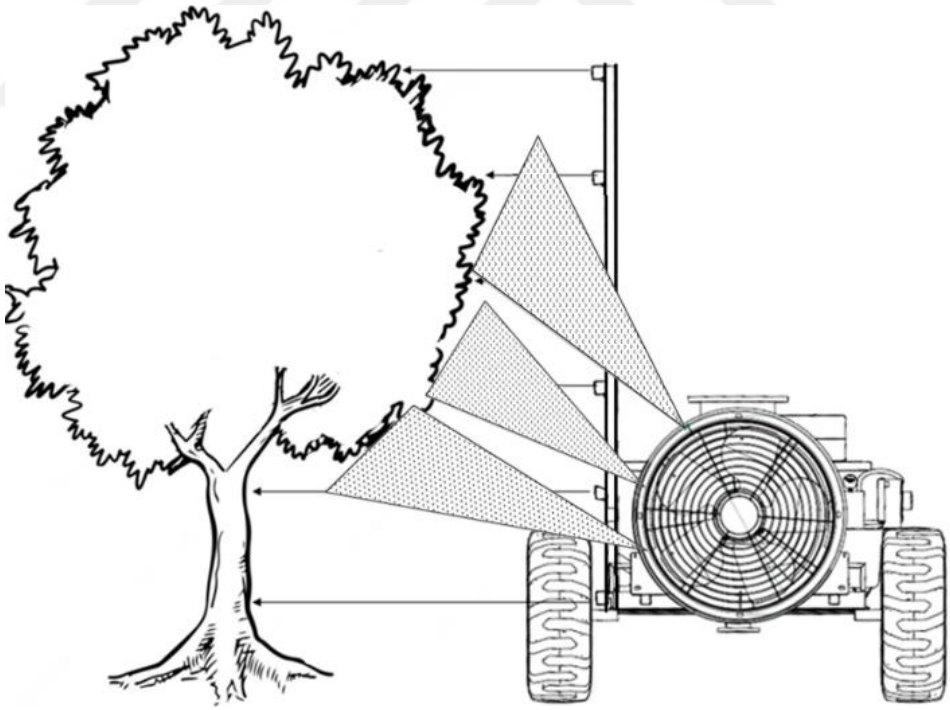


Şekil 3.3. Tasarlanan bahçe pülverizatörünün sol yan görünüşü (11-Lazer Sensör, 12-Bilgisayar, 13-Valf Bloğu, 14- Şanzıman, 15-yağ pompası, 16- Hidromotor, 17-Fan Şanzımanı, 18-Turbo Fan, 19- Püskürtme memeleri)

Bahçe Pülverizatörünün üzerindeki bilgisayara, sensörlerin yerleştirildiği yer ile ağaç gövdesi arasındaki mesafe, ağaç tacının çıkışındaki hava hızı ve ağacın geometrik özelliğine bağlı aerodinamik sayı, programın işletilebilmesi için elle girilmektedir. Lazer sensör ile alınan veriler ile bilgisayarda gerçekleştirilen bazı hesaplamalar sayesinde, turbo fanın (18) ağaç tacına göndereceği hava hızının büyüklüğü belirlenmektedir. Lazer sensörler ile ağaç tacının geometrisi yaklaşık olarak anlık (23) belirlenmektedir. İyi bir kaplama için gerekli hava hızı (24) belirlenirken; ağaca girmesi (25) ve ağaçtan çıkması (26) gereken hava hızları ağacın yoğunluğuna göre belirlenmiştir (Şekil 3.4). Aynı şekilde, bilgisayara girilen ağaç gövdesine uzaklık verisi ve anlık lazer sensörler ile ölçülen ağaç taç geometrisine bağlı olarak püskürtme sistemi çalışmaktadır (Şekil 3.5). Ağacın üst, alt ve orta taca bölünerek bu bölgelere bakan sensör gruplarının, yine gruplandırılmış memelere komutlar vermesi ile değişken oranlı ilaçlama gerçekleştirilmektedir. Ağaç tacının bölgesel olarak daralıp genişlemesi de göz önüne alınarak bu işlemler gerçekleştirilmektedir. Aynı sensörlerden hem püskürtme sistemi hem de değişken oranlı hava uygulama sistemi beslendiğinden, her iki sistem eş zamanlı olarak devreye girmektedir.



Şekil 3.4. Bahçe uygulaması esnasında değişken oranlı hava akımının belirlenmesi (11-Lazer Sensör, 18- Turbo Fan, 23-Lazer sensörün ağaç tacına uzaklığı, 24-Turbo fandan çıkan hava hızı, 25- Ağaca giren hava hızı, 26-Ağaçtan çıkan hava hızı)

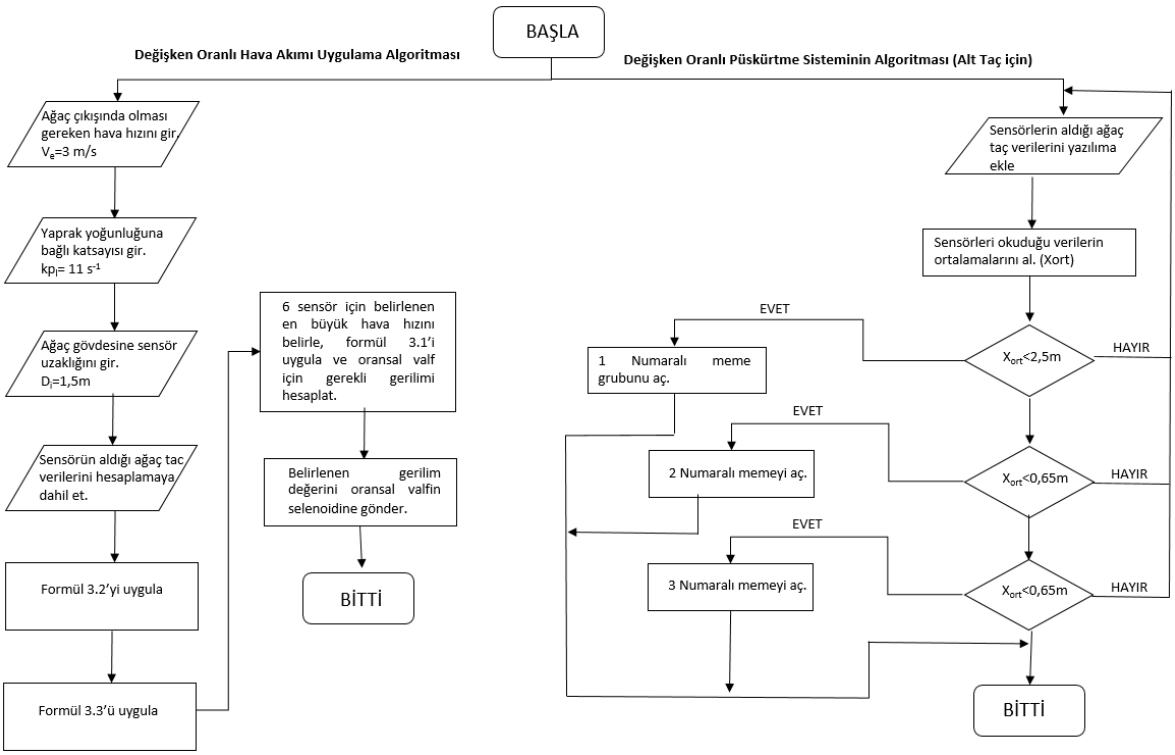


Şekil 3.5. Değişken oranlı püskürtme sisteminin çalışmasına ait görsel.

Değişken oranlı hava uygulama ve değişken oranlı püskürtme sisteminin nasıl çalıştığına dair algoritmalar ve varsayımlar Şekil 3.6'da bir akış diyagramı uzerinde ayrı ayrı verilmiştir. Değişken Oranlı Hava Uygulama sisteminin algoritmasında, ağacın taç yoğunluğuna ve aerodinamik katsayısına bağlı değer, ağacın çıkışında elde edilmek istenen hava hızı, ağaç gövdesine olan uzaklık

verileri bilgisayar programına manuel elle girilmiştir. Bilgisayar programında serbest atmosferdeki hava hızı düşümü, ağacın içerisindeki hava hızı düşümü göz önüne alınarak, ağaç tacında iyi bir ilaç kaplama için gerekli ortalama hava hızları belirlenmiştir. Belirlenen ortalama hava hızı değeri gerilim değerine dönüştürülmüş, bu gerilim de oransal valfin selenodine gönderilerek turbo fanın istenilen büyüklükte hava hızı gönderilmesi amaçlanmıştır. Serbest atmosferdeki hava hızının düşümü belirlenmiş, ağaç tacından çıkan hava hızının büyüklüğü literatürden (Tsartelis, 1979; Balsari ve ark., 2008) alınmış, ağaç tacı içindeki hava hızının düşümü belirlenmiş, hidrolik sistem ile makinenin birbirine uyumuna bağlı amprik formül sayesinde de oransal valfin selenoidine gönderilecek gerilim miktarı anlık belirlenmiştir

Turbo fanın çıkış tarafına dizili memeler, ağaç tacına uzaklık verisine göre anlık açılmakta ve kapanabilmektedir. Püskürtme sisteminin algoritması sadece alt taç için olan kısmı Şekil 3.6'da verilmiştir. Orta ve üst taçlarda da aynı algoritmalar uygulanmış ancak orta ve üst taçlara bakan sensörlerden veri alınıp yine bu bölgelere püskürtme sıvısı gönderen memelere aç/kapa emirleri verilmiştir. Ağacın alt, orta ve üst taçlarına püskürtme sıvısı gönderen 4'er adet (her bölge için) meme kullanılmıştır. Bu meme gruplarından alt taca püskürtme sıvısı gönderen memeler, bir cisim algılamadığında çalışmamakta, bir cisim algılandığında 2 meme aynı anda devreye girmekte, ağaca yakınlık arttığında 3. Meme devreye girmekte, ağaca daha fazla yaklaşıldığında 4. Meme de devreye girmektedir. Böylece PWM sisteminde yapılan %50, %75 ve %100 görev döngülerine benzeyen bir çalışma gerçekleştirilebilmiştir. Orta ve üst taçlara bakan lazer sensörlerin aldığı verilere göre oluşturulan algoritma da aynıdır.



Şekil 3.6. Elektronik haberleşme ile değişken oranlı uygulamaların algoritmaları.

Bahçe Pülverizatörünün Bileşenleri

Pülverizatör Şasesi

Geleneksel bahçe pülverizatörüne nazaran eksenel fanın doğrudan bir şaftla çalıştırılması yerine hidrolik olarak çalıştırılması, çalışmanın en önemli bölümü olduğundan dolayı, pülverizatörün üzerinde geleneksel pülverizatörlerden farklı olarak birçok ünite ve parça bulunmaktadır. Bahçe pülverizatörü tasarlanırken şase üzerindeki ekipmanların pozisyonları, ünite ve parçaların işleyiş sırası, makinenin ağırlık merkezi, hareketi alabilme ve aktarabilme, ağacın tacının ölçüsünü alabilme gibi özellikler göz önüne alınarak şase üzerine yerleştirilmişlerdir. Makinenin çekilir tip olarak yapılması planlanmıştır. Bunun sebebi; yağ tankı, fan, ilaç tankı pompa ve eksenel fan gibi ağır parçaların traktörde şahlanmaya sebep olabilecek olmasından dolayıdır. Şase NPI 80 çeliğinden tasarlanmış ve gazaltı kaynağı ile kaynak edilmiştir. Şasenin çeki okunun bulunduğu tarafta, pompa ve diğer ekipmanların zarar görmemesi için bir küçük muhafaza montaj edilmiştir (Şekil 3.7a). Şasede İKİZLER marka yaprak yay kullanılmıştır. Çekilir tip bahçe pülverizatörünün tekerleri PETLAS (10./75-15.3), jant ise UYSAL (9.00 x 15.3) markadır (Şekil 3.7b).



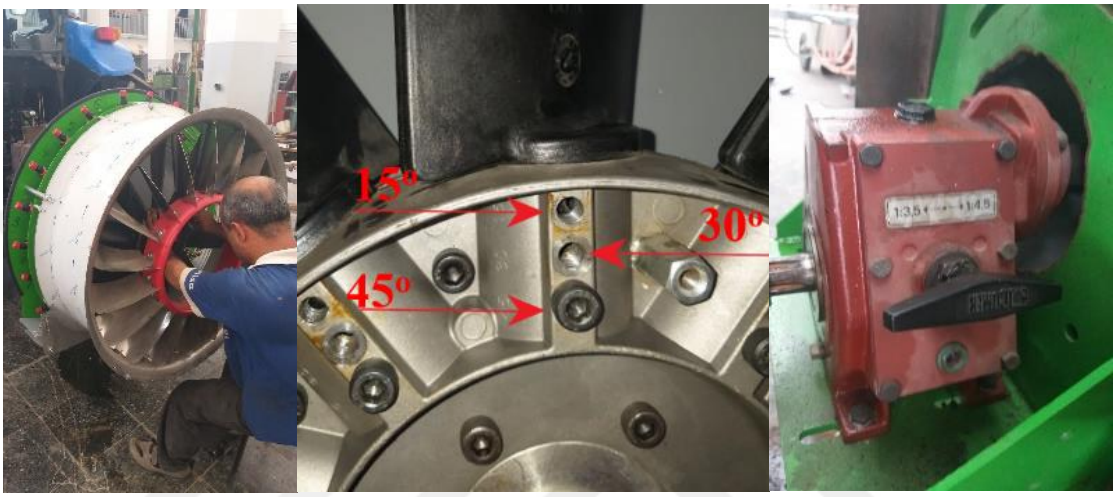
a b

Şekil 3.7. İmal edilen bahçe pülverizatörünün ana şasesi (a), yaprak yay sisteminin tekere ve şaseye bağlanması (b).

Turbo Fan ünitesi

Bahçe pülverizatöründe kullanılan eksenel fan piyasadan hazır olarak satın alınmış olup, kullanılan fan (HEBESAN Marka ve Tic. Bursa) çapı 900 mm'dir. Fana girişte 20 adet sabit kanatlar bulunmaktadır, bu kanatlar havanın giriş ekseni ile 55º açı yapacak şekilde konumlandırılmıştır (Şekil 3.8a). Böylece, emilen hava sabit kanatlardan geçtikten sonra hareketli kanatlara daha kolay ulaşmaktadır. Hareketli kanatların ortasındaki mil PTO'ya (Traktör kuruk mili) bir transmisyon ünitesi ile bağlanmıştır. Bu sebeple PTO devri, fanın dönüş hızını doğrudan belirlemektedir. Hareketli kanatlar toplam 10 adet olup 36º açıyla alüminyum fan göbeği üzerine dizilmişlerdir. Eksenel fanın hareketli kanatlar vasıtasıyla içeri emilen havanın kinetik enerjisini arttırmaktadır. Hareketli kanatlar 15º, 30º ve 45º kanat açılarında fan göbeği üzerinde ayarlanabilmektedir (Şekil 3.8b). Böylece, sabit fan devrinde farklı kanat açıları ile farklı büyüklüklerde hava akımı gönderebilmek mümkündür. PTO ile fan mili arasında 1:3,5 ve 1:4,5 tahvil oranlarında çalışabilen

bir transmisyon ünitesi vardır (Şekil 3.8c). Bu ünite sayesinde hidromotordan gelen devir 3,5 veya 4,5 katına çıkarılarak kullanıcıya farklı büyüklüklerde hava akımını ağaca gönderebilme şansı tanınmıştır. Transmisyon girişindeki mil, doğrudan hidromotor sayesinde hareket etmektedir. Fanın dönüş hızı doğrudan bağlı olduğu hidromotorun hızını arttırması durumunda hızını arttırmakta, azaltması durumunda da azaltmaktadır. İmalatçı farklı kanat açıları ve transmiyon ünitesinin farklı transmisyon oranları sayesinde kullanıcıya sabit fan giriş mili devrinde 6 farklı seçenek ile farklı kapasitelerde hava akımı gönderme esnekliğini tanımıştır.



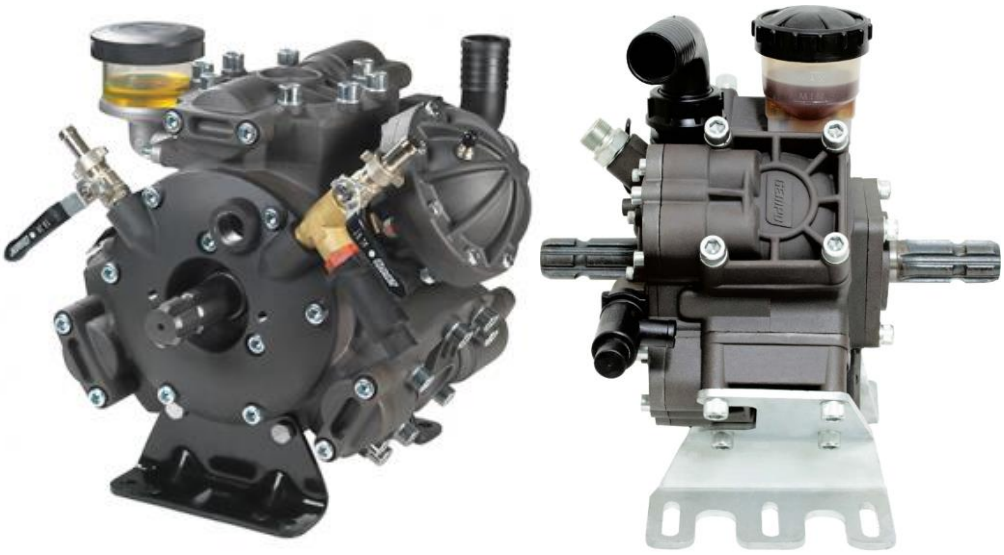
a b c

Şekil 3.8. Bahçe pülverizatöründe kullanılan fanın genel durumu (a), Hareketli kanatlardaki açı değiştirme sistemi (b), fan devrini değiştirmek için kullanılan transmisyon (c).

Hareketli kanatlarda kinetik enerjisi arttırılan hava buradan arka kısımdaki deflektör ünitesine gelir ve hava bu bölümde fanın çevresine dizilmiş olan memelere yönlendirilir. Fanın çıkış açıklığı 0,24 m^2 giriş açıklığı ise 0,64 m^2 olarak hesaplanmıştır.

Pülverizatör Pompası

Tasaralanan bahçe pülverizatöründe ilaç pompası piston membranlı Agrima HPP165 tercih edilmiştir (Şekil 3.9a). Pompa üzerinde 4 adet piston ve membran bulunmaktadır. Pompanın emiş hattı boyunca depodan gelen sulandırılmış ilaç, pompa tarafından basınçlandırılarak, regülatöre iletilmektedir. Pompanın basınçlandırdığı püskürtme sıvısının bir miktarı, pompanın üzerindeki vanalar yardımıyla doğrudan depoya verilebilmektedir. Bu sayede hem sistemdeki fazla basınç by-pass edilmekte hem de depo içerisindeki ilacın karıştırılması sağlanmaktadır. Pompanın maksimum debisi 165 L/dak ve maksimum çalışma basıncı ise 50 bar dır. Ayrıca pompa mili erkek-erkek çıkışlıdır (Şekil 3.9b). Böylece doğrudan PTO'dan aldığı hareketi ters tarafta bulunan şanzımana iletebilmektedir. Pompa, hem hareketi kendi elemanlarına iletmekte hem de makinenin diğer bileşenlerine aktarabilmektedir.



a b

Şekil 3.9. Agrima HPP165 ilaç pompasının görseli (a), pompa giriş ve çıkış milinin konumu (b)

Pülverizatör Deposu

Bahçe pülverizatörünün depo kapasitesi 1000L olarak belirlenmiştir. Depo malzemesi paslanmaz çelik olarak seçilmiş, böylece depo tarımsal ilacın olası korozif etkilerinden etkilenmeyecek, ayrıca bahçe denemeleri esnasında bahçe ortamından kaynaklı hasar görmeyecektir. Depo makinenin şasesine doğrudan oturtulmuş ve 2 adet çelik kuşak ile cıvata somunlu olarak şaseye bağlanmıştır. Deponun alt tabanında yer alan 2''vana küresel kollu vana ile basınçsız bir hortum sayesinde depodaki ilaçlı su filtreye girmektedir. Deponun üzerinde ayrıca pompadan gelen karıştırıcı hattının girişi için 1/4'' bir giriş de mevcuttur. Deponun ters tarafında ayrıca bir boşaltma tapası mevcuttur.

Emiş Filtresi

Depodan gelen ilacın içerisindeki tortu, yabancı nesneleri ayrıştırmak için pompa girişinden önce Toyman marka 160L/dak debi için uygun Emiş filtresi (50 Mesh) yerleştirilmiştir. Depodan gelen tarımsal ilaç filtreye düşük basınç dayanımlı flexi hortum ile taşınmakta buradan da tekrar bir flexi hortumla pompaya gönderilmektedir.

Regülatör ve Akış Yönlendirme Düzeni

Regülatör, bahçe pülverizatörlerinde ilaç normunu ayarlamak için kullanılmaktadır. Pompadan çıkan ve basınçlandırılan tarımsal ilacın hangi basınçta memelere gönderileceğini belirlemede regülatör kullanılmaktadır. Memelerin, ilaç normu-basınç tablosuna bakılarak arzu edilen meme verdisi ve ilaç normuna bakılarak çalışma basıncı belirlenmektedir. Çalışmada kullanılan regülatör, Bymatic markadır. Regülatörün üzerindeki manometreye bakılarak ve 1 numaralı kol sağa veya sola çevrilerek tarımsal ilacın memelere gönderilen basıncı arttırılıp azaltılmaktadır (Şekil 3.10). Böylece pompadan gelen tarımsal ilacın basıncı ayarlanmaktadır.

Regülatör üzerindeki 2 numaralı kol saat 04.00 pozisyonunda duruyorken püskürtme sıvısı sadece fanın üzerinde bulunan sağ taraftaki memelere, 08.00 pozisyonunda ise sol taraftaki memelere ilaç göndermektedir. Aynı kol saat 12.00 pozisyonunda pompadan basılan ilacı doğrudan tanka vererek karıştırma sağlamakta, saat 02.00 pozisyonunda kuyudan su çekmekte, saat 06.00 pozisyonunda ise fanın üzerindeki hem sağ hem de sol taraftaki tüm memelere ilaç beslemektedir. Çalışmalarda, basınç regülatörü 1 numaralı koldan 10 bar'a ayarlanarak ve 2 numaralı kol saat 06.00 pozisyonundayken denemeler gerçekleştirilmiştir. Bu basınçta çalışılmasının sebebi memelere giden akışa yol verip akışı kesen selenoidler maksimum 10 bar da çalışabilmesinden dolayıdır. Fanın üzerinde 2 sıra halindeki memelerin her ikisine de ayrı ayrı püskürtme sıvısı beslendiğinden dolayı, her iki meme grubuna da püskürtme sıvısı gönderilmiştir. Ancak fan üzerindeki memelerin her ikisi sadece tek tarafta bulunmakta ve bir algoritma ile çalışmaktadır.



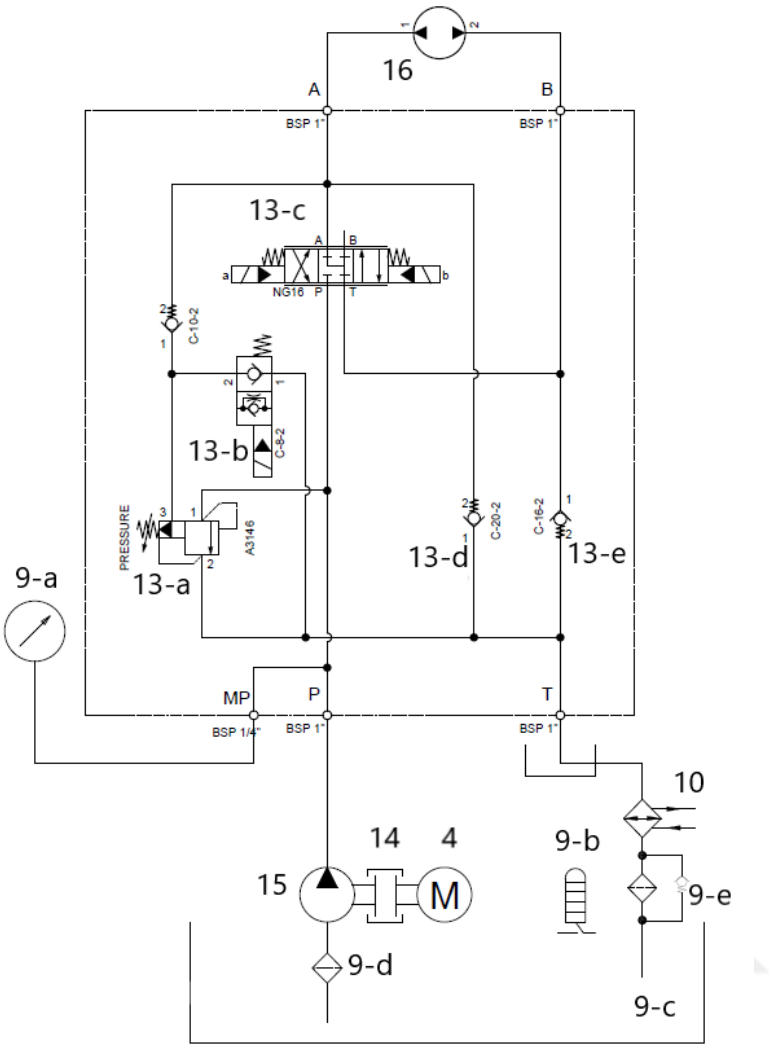
Şekil 3.10. İmal edilen bahçe pülverizatörü üzerinde kullanılan regülatör

3.1.2. Bahçe Pülverizatörünün Hidrolik Ünitesi

Hidrolik Ünitenin Çalışma Prensibi

Hidrolik devre Şekil 3.11'deki devre şemasına bağlı olarak tasarlanmıştır. Yağ tankının üzerinde yer alan manometre (9a) ile yağ basıncı anlık olarak kontrol edilmektedir. Yağ seviye göstergesinden (9b) sistemde kullanılan hidrolik yağın (9c) miktarını görebilmek mümkündür. Depodan çıkışta yüksek basınç ve devirde çalışan elemanlara zarar gelmemesi için bir adet yağ filtresi (9d), depoya geri dönüşte (9e) sistemin içerisinde yer alan elemanlardan gelebilecek toz, metal talaşı vb. sistemde istenmeyen kirlilikleri tutan bir geri dönüş filtresi bulunmaktadır. Depo geri dönüşünden önceki filtreye girişten önce de yağ hidrolik soğutucuya (10) girmektedir. Kardan milinden (4) alınan hareketin bir şanzıman (14) vasıtasıyla devri arttırılmakta, bu sayede şanzımana

bağlı yağ pompasının (15) da devri artmakta ve bu pompadan çıkan yağın basıncı da artmaktadır. Bu şanzıman sayesinde yağ pompası randımanlı çalışabilmektedir. Basınç emniyet valfi (13a) ile hidrolik pompanın gönderdiği yağ basıncı fazla yükseldiğinde veya oransal valf tam açık olmayan konumunda sisteme gelen fazla basıncı, tanka deşarj etmektir. Popet valfi 2 yollu 2 konumlu (2/2) (13b) olarak seçilmiştir ve seleonid tahriklidir. Bu valf A hattına pilot yağ uyarısı göndererek sistemde devamlı yağ olmasını sağlamaktadır. Sistemin en önemli parçası olan 4 yollu 3 konumlu oransal kontrollü hidrolik valf (13c) de selenoid etkili olup (a) ve (b) kolları selenoid kumanda taraflarından ±10 V (DC) olarak beslenmektedir. Bu sayede selenoid kollara gelen elektriksel gerilim ile 3 konumdan en sağdaki veya en soldaki aktif hale geçmektedir. Bu kollara sinyal gelmediğinde de A, B ve T hatlarında basınç ve yağ olmamaktadır. Oransal valfin (b) selenoidine düşük voltaj verildiğinde valfin içerisinde bulunan popetler az açılmakta dolayısıyla A hattına az oranda yağ vermektedir. Bu selenoide gelen voltajın miktarı arttığında valfin açıklığı daha da artmakta böylece valfin yağ geçirgenliği artmaktadır. A hattından gelen basınçlı yağ, daha önce pilot valfin de doldurduğu hatta basınçlı yağı yükleyerek, hidromotorun çalışmasına imkan vermektedir. Kinetik enerjisini hidromotora (16) veren yağ, hidromotoru tank geri dönüş hattından terk etmektedir. Sistemde bulunan çek valfler ise (13-d ve 13-e) hem basma hem de emme hatlarının yağsız kalmasını engellemekte ve bu hatlarda belirli bir basınç altında yağ olması durumunda açılmayarak sistemi korumaktadırlar.



Şekil 3.11. Bahçe pülverizatörünün hidrolik sisteminin devre şematiği (9-a/manometre, 9-b/yağ seviye göstergesi, 9-c/hidrolik yağ, 9-d/depo çıkış yağ filtresi, 9-e/depo dönüş yağ filtresi, 10- yağ soğutucu,13-a/basınç emniyet valfi, 13-b/Popet valfi, 13-c/oransal kontrollü hidrolik valf, 13-d/çek valf, 13-e/çek valf, 14-şanzıman, 15- yağ pompası, 16-hidromotor).

Hidrolik Sistemin Bileşenleri

Yağ Pompası

Yağ pompası, hidrolik sistemde yapılacak iş için pistona ya da hidromotora gerekli yüksek basınçlı yağı gönderen pompadır. Çalışmada kullanılan pompa, yağ tankından aldığı yağı basınçlandırdıktan sonra valf bloğuna göndermektedir. Yağ pompasının (ASC DKP30.610. CAB02SN) bir tam turda verdiği yağ miktarı 61 cm^3'tür (Şekil 3.12). Yağ pompası 540 dev/dak ile döndüğünde ve bu devir bir şanzıman aracılığıyla 3 katına çıkartıldığından dolayı (1620 dev/dak), pompa bir dakika içerisinde, yaklaşık olarak 98,8 L yağ basmaktadır. Mil tahriki kamalıdır.



Şekil 3.12. Yağ pompasının genel görünüşü

Şanzıman

Kuyruk milinden gelen dönüş hareketi ilaç pompası vasıtasıyla bir şanzımana (ML52 dişi-dişi) iletilmektedir. Bu şanzıman (Şekil 3.13) 1:3 tahvil oranında çalışmaktadır. Bu sayede yağ pompasının randımanlı çalışabilmesi için gerekli devri (>1300 dev/dak) sağlamada yardımcı olmaktadır. Şanzımanın giriş çıkış tahriki dişi-dişidir.



Şekil 3.13. Dişi-dişi girişli ML 52 devir arttırıcı şanzıman

Hidromotor

Fanın en yüksek kanat açısı olan 45º'de 540 dev/dak'da çalışırken tork ihtiyacının 650 Nm olduğu bir torkmetre ile ölçülmüştür. Buna göre fan devrini değiştirecek hidromotorun devri 540 dev/dak ve torku da 650 Nm' den % 10 fazla olacak şekilde güvenlikli olarak seçilmiştir. Hidromotor (OMS 160) ise bir tam tur döndermek için 160 cm^3 yağ gerekmektedir (Şekil 3.14). Buna göre yağ pompasının bastığı yağ miktarı hidromotora gönderildiğinde, hidromotorun dönüş devri 617 dev/dak hıza sahip olacaktır. Bu devir hidromotorun maksimum devri olup kuyruk milinin verdiği dönüş hızından (540 dev/dak) oldukça fazladır. Ayrıca bu dönüş hızında hidromotorun maksimum devirdeki tork değeri de 600 Nm'dir. Bu tork değeri 900 mm çapındaki bir fanı tam randımanlı çalıştırabilmek için yeterlidir. Fan giriş milinde 540 dev/dak istendiğinden, yağ pompasına bağlı kuyruk milinin 480 dev/dak ile dönmesi bile yeterli olacaktır. Ancak arada ilaç pompasının da

çalıştığı düşünüldüğünde bu devir biraz daha yükselebilir. Sonuç itibariyle kuyruk milinden 540 dev/dak almak yerine kuyruk mili 540E (480 dev/dak) ile çalıştırılarak, hidromotora bağlı fan da 540 dev/dak'da çalıştırılabilir. Hidromotor tahriki kaplin ile fan miline iletilmektedir.



Şekil 3.14. Fanın üzerindeki transmiyona kaplinle bağlı hidromotorun görseli.

Yağ Tankı

Yağ pompası maksimum yükte 98,8 L/dak yağ bastığı için, bir dakikada basacağı hacmin yaklaşık iki katı büyüklükte yağ tankı seçilmiştir (180 L). Hidrolik sistemde Mobil DTE 20 kullanılmıştır. Yağ tankının geri dönüş hattı üzerinde 150 mesh'lik yağ filtresi bulunmaktadır. Ayrıca yağ tankının üzerine valf bloğu da monte edilmiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Yağ tankının şase üzerindeki montajı

Valf Bloğu

Yağ pompasından gelen yağ, valf bloğunda valf bloğu üzerinde Popet valfi (2/2) ve oransal kontrollü hidrolik valf selenoid (Duplomatic NG16) etkilidir. Blok üzerindeki en önemli valf oransal kontrollü (4/3) selenoid valftir. Bunun sebebi fanın değişken oranlı olarak dönmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca blok üzerinde çek valfler (tek yönlü akış için), sıfırlama valfi (pilot uyarıyı kapatmak için), basınç ayar valfi (sistemdeki fazla basıncı tanka göndermek için) de bulunmaktadır (Şekil 3.15).

Valf Sürücü Kartı

Oransal valfin değişken oranlı olarak hidromotora yağ göndermesini sağlayan, oransal valfe gelecek voltaj miktarını değiştiren ünitedir. NG 16 Duplomatic marka val sürücü kart tercih edilmiştir.

Yağ Soğutucu Ünite

Sistemde çalışma esnasında yoğun sirküle edilen yağın soğutulması gerekmektedir. Sistemde çalışıp gelen yağ tank öncesinde yağ soğutucu (MG 2005K yağ soğutucu) sisteme girmekte burada soğuduktan sonra depoya girip tekrar devir daim olmaktadır. Yağı soğutmanın sebebi, yağın sıcaklığı arttıkça yağ vizkozitesi düşmekte bu durumda da verimli bir çalışma gerçekleşmemektedir. Ayrıca hidrolik yağın ömrü de azalacaktır. Yağ tankı üzerinde bir fan ve kanatlı eşanjör bulunmaktadır. Eşanjör girişindeki termostat sayesinde, yağ belirli bir sıcaklığa geldiğinde yağ soğutucu fan devreye girmektedir.

Hidrolik Yağ Hortumları

Hidrolik Ünitenin tüm sistemi maksimum 180 bar basınçta çalışmaktadır. Ancak buna rağmen, hidrolik hortumlar 220 bara dayanabilecek sağlamlıktadır. Hidrolik yağ hortumları 3/8'' olarak seçilmiştir. Tesisatın ilgili bölümlerinde alınan ölçülerde kesilip uçlarına elemanlar takılarak monte edilmiştir (Şekil 3.15).

Kaplin ve Hidromotoru Mil Ekseninde Tutan Eleman

Hidromotorun hareketi doğrudan EMS DK 38 marka kaplin ile fan miline aktarılmıştır (Şekil 3.16a). Çalışmada hidromotor ile fanın şanzımanını hem aynı eksende tutan hem de içerideki kapline bir nesnenin sarılmasını veya çarpmasını engellemek amacıyla hidromotor tutucu imal edilmiştir (Şekil 3.16b).



a b

Şekil 3.16. Kaplin parçaları ile hidromotorun montaj hali (a), hidromotor tutucunun görseli (b)

3.1.3. Değişken Oranlı Püskürtme Sisteminin Tasarımı

Püskürtme Sisteminin Çalışma Prensibi

Hava hızının ağaç tacına göre oransal ayarlanmasının yanında, ağaç tacına gönderilen püskürtme sıvısının da ağaç taç geometrisine göre oransal ayarlanması da değişken oranlı hava ve püskürtme sıvısı uygulamanın aynı anda yapılabilmesi için gereklidir. Pompadan basınçlandırılarak memelere gönderilen püskürtme sıvısı, iki ayrı koldan on/off selenoid valflere gelmektedir. Şekil 3.17a'da görüldüğü gibi fan çıkış ağzının sol tarafındaki memeler tek bir selenoidle beslenmekte (tek giriş), ancak ayrı ayrı devreye giren memelerin elektrik beslemeleri ayrı ayrı yapılmaktadır. İlacın uygulanması için kullanılan püskürtme memeleri, bahçe pülverizatörünün eksenel fanın tek bir çıkış tarafına (makineye arkadan bakıldığında sol taraf) 2 sıra halinde ilaçlama memeleri monte edilmiştir. Turbo fanın monte edildiği profillerin arka tarafına sıvı hattının selenoidleri bir pano içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 3.17a). Püskürtme sisteminde toplam yedi adet on/off selenoid valf bulunmakta bu valflerden birisi altı adet memeye gönderilen ilacı anlık açmakta ve kesmekte, diğer altı adet on/off selenoid ise diğer sıra üzerindeki her bir memeyi ayrı ayrı kontrol etmektedir. Bu selenoidlerin pano içerisindeki dizilimi Şekil 3.17b'de sunulmuştur.



a b

Şekil 3.17. Değişken oranlı uygulama yapan memelerin fan üzerindeki dizilimi ve tesisatı (a), ilaç hattı üzerinde bulununan kollektörlere bağlı selenoidlerin pano içerisindeki dizilimi (b).

Püskürtme Sisteminin Bileşenleri

Dağıtım Vanaları ve Selenoid Valfler

Regülatörden çıkan püskürtme sıvısı, 7 adet çıkışı olan dağıtım vanalarına gelmektedir (Şekil 3.18a). Bu dağıtım vanalarının her birinin çıkışına genel amaçlı Tork marka selenoid valf kullanılmıştır (Şekil 3.18b). Selenoid valfler normalde kapalı konumdadır ve sinyal geldiği zaman sadece açılıp kapanabilmektedir. Bu valfler maksimum 10 bar basınçta kullanılmaya uygundur.



a b

Şekil 3.18. Dağıtım vanaları (a), selenoid valfler (b)

Püskürtme Memeleri

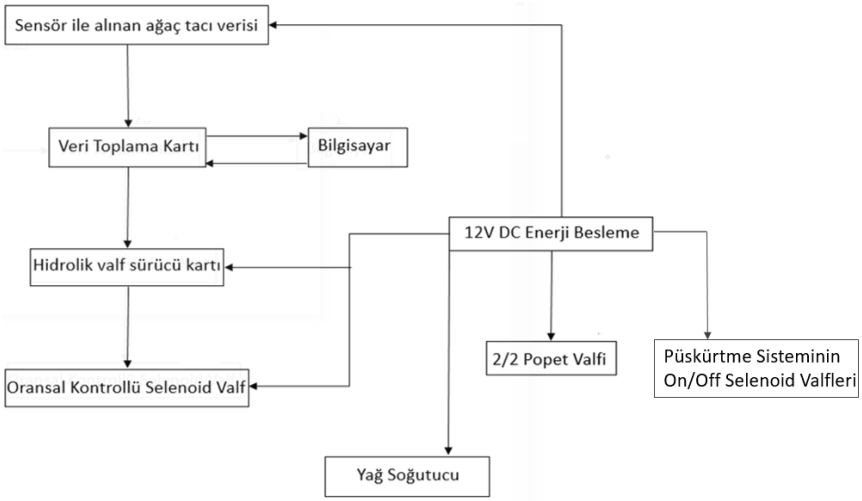
Bu çalışmada düşük uygulam hacmi ile yüksek kaplama oranlarına ulaşmak için yerli pazarda satılan Tarım Garaj marka (1.2 mm plaket çaplı) memeler tercih edilmiştir. Bu memelerin 10 bar çalışmasındaki damla çapı ($D_{v0.5}$) 118 µm ve bu basınçtaki meme verdisi 830 mL/dak olarak ölçülmüştür (Çizelge 3.1). Püskürtme sistemindeki valfler maksimum 10 bar'a dayanabildiğinden dolayı, damla çapı ölçümleri de maksimum 10 bar olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.1. Denemelerde kullanılan Tarım Garaj marka (1.2 mm plaket çaplı) memenin basınç-verdi ilişkisi.

Basınç (kPa)	Verdi (mL/dak)	Damla Çapı $D_{v0.5}$ (µm)
200	355	183
300	395	171
400	460	165
500	545	159
600	640	146
700	685	138
800	725	132
900	805	124
1000	830	118

3.1.4. Bahçe Pülverizatöründe Enerji Besleme

Bahçe pülverizatörüne ait elektronik enstrümanlara ilişkin şematik diyagram Şekil 3.19'da sunulmuştur. Hidromotor hattında devamlı yağ olmasını sağlayan popet valfi ve yağ soğutucu da doğrudan traktör aküsünden beslenmektedir. Hidrolik valf sürücü kartı, traktör aküsünden sağlanan 12 V DC gerilim kaynağı ile beslenmektedir. Bilgisayar tarafından ağaç tacına gönderilmesi planlanan ortalama hız verisi hesaplandıktan sonra makinanın ilgili ortalama hız verisini ağaca gönderebilmesi için oransal kontrollü valfin selenoid uçlarına gönderilmesi gereken gerilim değeri de bir matematiksel fonksiyon ile hesaplanmıştır. Hesaplanan bu gerilim değeri hidrolik valf sürücü kartına sistem tarafından bildirilmektedir. Bu kart sayesinde bilgisayar tarafından hesaplanan gerilim değeri oransal kontrollü valfin selenoidine iletilmektedir. Sensörlerin dizili bulunduğu direğin ağaç gövdesine olan uzaklığı, yaprak yoğunluğuna ve aerodinamik yapısına bağlı kpl (m^2/m^3) değeri, ağacın arkasından okunması gerekilen hava hızı değeri (m/s) bilgisayar programına harici olarak girilmektedir. Lazer sensörlere gereken enerji, yine traktör aküsünden 12V DC olarak sağlanmaktadır. Bilgisayarda ortalama hava hızı-gerilim grafiğine bağlı olarak belirlenen gerilim değeri, hidromotora gönderilecek yağ miktarını belirlediğinden oransal hidrolik valfin kartına iletilir. Sistemin en önemli parçası olan 4 yollu 3 konumlu oransal kontrollü hidrolik valf de selenoid etkili olup, selenoidin a ve b uçlarına selenoid kumanda taraflarından ±10 V olarak beslenmektedir. Veri toplama kartının analog çıkışından elde edilen gerilim değerleri sayesinde oransal valfin açıklığı değiştirilmektedirAyrıca püskürtme sisteminin memelerine giden püskürtme sıvısını açıp kapatmaya yarayan selenoid on/off valfler de yine doğrudan traktör aküsünden beslenmiştir.



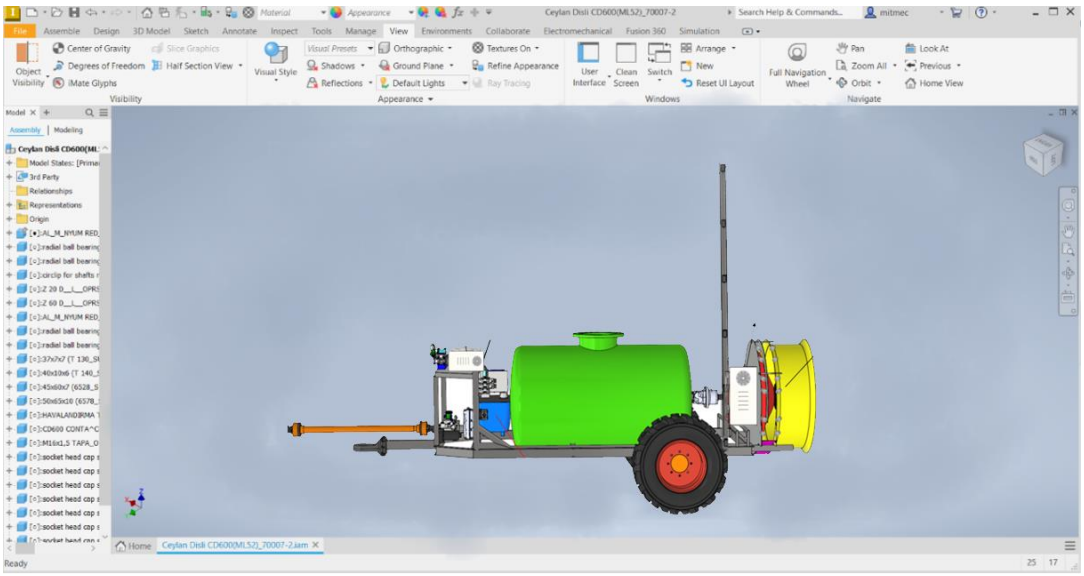
Şekil 3.19. Elektronik aksamın besleme sistemine ait şematik diyagramı.

3.1.5. Yazılım ve Donanım

Yazılımlar

Tasarım Programı

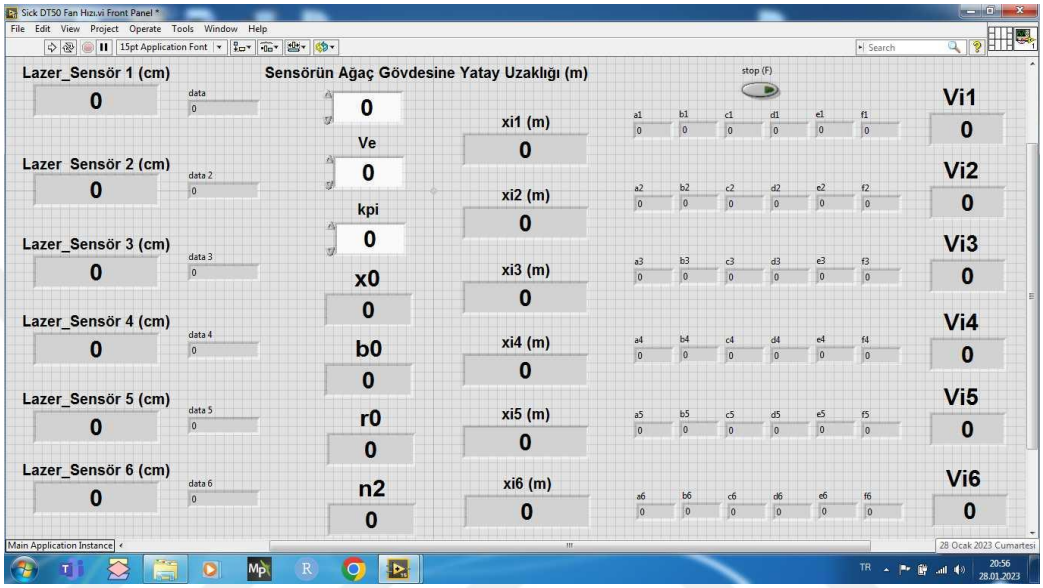
Makinenin tasarımı, teknik resimlerinin hazırlanması, imalat resimlerinin oluşturulması Autodesk Inventor 2022 isimli program ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.20). Bu program sayesinde tasarlanan makinede önceden karşılaşılabilecek montaj zorlukları gözden geçirilmiştir. Ayrıca bu program ile makinenin ağırlık merkezi hakkında bilgi sahibi olunmuştur.



Şekil 3.20. Autodesk Inventor 2022 programı kullanılarak oluşturulan modellere ait bahçe pülverizatörünün görseli.

Programlama Dili

Sensörler ile algılanan ağaç taç ölçülerinin algılandıktan sonra veriye dönüştürülmesi, bazı katsayı ve değerler ile matematiksel modellere göre hesaplamalar yapma ve karar verme amacıyla LabView 2015 (32-Bit) programı kullanılmıştır. Bu programda verileri karşılaştırma, mantıksal döngüler ile cihaz yönetimi yapılmıştır. Ön denemelerde kullanılan programa ait bir ekran görüntüsü Şekil 3.21'de sunulmuştur.



Şekil 3.21. Verilerin alınması ve karar verme mekanizmasının sunulduğu LabView 2015'e ait ara yüz görüntüsü.

Görüntü İşleme Programı

Suya duyarlı kartların, yüzeyindeki kaplama yüzdelerini ölçmek için ImageJ 64 bit isimli görüntü işleme programı kullanılmıştır. Her bir bölgeden alınan suya duyarlı kartlar tarayıcıda tarandıktan sonra, bu programa aktarılarak kaplama oranı % olarak bulunmuştur.

Donanım

Tasarım Bilgisayarı

Autodesk Inventor 2022 yüksek işlemci gücü gerektiren bir tasarım programı olduğundan, yapılan çalışmalar ASUS marka Intel(R) Core(TM) i7-6700HQ CPU @ 2.60GHz 2.59 GHz bilgisayarda yapılmıştır. Ayrıca Görüntü İşleme Programı ImageJ'de bu bilgisayar ile işletilmiştir.

Yazılım Bilgisayarı

Sensörlerden gelen veri, bir laptop bilgisayarda işlenmiştir. Bu bilgisayar, ASUS marka ve IntelCore i5-5200CPU@2.20GHZ kapasiteye sahiptir. Bahçe denemelerinde, bilgisayar şarj edildikten sonra traktör kabininin içerisine yerleştirilmiş sistem traktör kabininden kontrol edilmiştir.

Lazer Sensörler

Denemeler, gündüz gerçekleştirildiğinden gündüz algılaması yüksek olan lazer sensörler (DT50 SİCK marka) sensörler tercih edilmiştir (Şekil 3.22). Bu sensörler doğrudan tozlu, nemli ortamlarda çalışabilmektedir. Tam olarak tarım uygulamaları için imal edilen lazer sensörlerdir. Denemelerde, 6 adet sensör 50 cm ara ile düşey düzlemde duran bir profil üzerine aynı hizada olacak şekilde monte edilmiştir. Böylece, tacı 3m yüksekliğe kadar olan ağaçların hedeflenen geometrik ölçüleri alınabilmiştir.



Şekil 3.22. DT50 SICK marka lazer sensörün görseli

DAQ Kartı

DAQ kartının (NI USB-6003) analog giriş kısmından, lazer sensörlerden gelen veriler alınmıştır. Dijital çıkış kısmından da ilaçlama sisteminin selenoidlerine çıkışlar gönderilerek açma ve kapatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Hava hızında oransal değişiklik yapabilmek için veri toplama kartının analog çıkışı kullanılarak oransal hava değişimi sağlanmıştır.

3.1.6. Traktör

Denemelerde New Holland TD95D traktör kullanılmıştır. Bu traktöre ait bazı özellikler Çizelge 3.2'de sunulmuştur (Anonim, 2004). Traktör bahçe ve laboratuvar denemelerinde kuyruk mili 540E (480 dev/dak) olarak çalıştırılmıştır. Bu çalışmada traktör ilerleme hızı 1.8 km/h (1.Vites 1. Kademe) olarak tercih edilmiştir.

Çizelge 3.2. New Holland TD95D'ın bazı teknik özellikleri

Maksimum Güç (kW/HP)	70/95
Maks. Güçte Motor Devri (dev/dak)	2500
Silindir Sayısı / Aspirasyon	4/Turbo
Silindir Hacmi (L)	3.9
Maksimum Tork (Nm)	345
Yakıt Depo Kapasitesi (L)	116
Dişli Kutusu	12+12
İlerleme Hız Aralığı (Tekçeker) (km/h)	1.8-30
Motor Devri@540E (dev/dak)	1715

3.1.7. Denemelerde Kullanılan Diğer Ölçüme Cihazları

Anemometreler

Laboratuvar denemelerinde fan çıkış ağzından hava hızları ölçülmüştür. Bu ölçümlerde Tasi TA8165 Digital Vana Tipi Anemometre (0-45m/s) ile ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.23a). Bahçe Denemelerinde bir direğe üst üste dizilmiş 4 adet kaşık tipi anemometre kullanılmıştır. Bu anemometreler (PCE-A420) ile ağaç tacının dış tarafında (Pülverizatör püskürtme ve hava çıkış ağzına en uzak taç dış yüzeyi) hava hızı ölçülmüştür. Bu anemometrenin hız ölçüm aralığı 0-20 m/s'dir (Şekil 3.23b).



a b

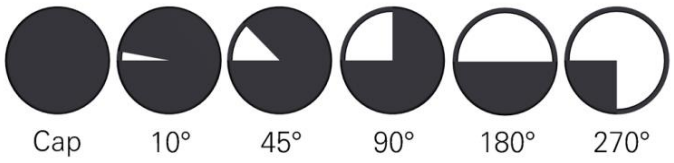
Şekil 3.23. Tasi TA8165 Digital Vana Tipi Anemometre (a), PCE-A420 kaşık tipi anemometre (b)

Yaprak Alan İndeks Ölçer

Denemelerde, her bir ağaç türünün Yaprak Alan İndeksi değerini belirlemek için Li-Cor 2000 marka yaprak alan ölçme cihaz kullanılmıştır (Şekil 3.24a). Bu cihazın ışınımı ölçen gözünün üzerine farklı tiplerde lens kapakları yerleştirilmektedir (Şekil 3.24b). Bu kapaklar lensin bir bölümünü kapatarak güneş ışığının bir kısmının lens içerisine geçmesine yardımcı olmaktadır. Ölçümler gerçekleştirilirken havanın tam açık olmasının beklenmediği gibi, tam bulutlu olması da istenmektedir. Havanın az bulutlu olduğu günlerde 270º'lik kapak kullanılırken, havanın daha yoğun bulutlu olduğu günlerde ise 45º'lik kapak kullanılmaktadır.



a



b

Şekil 3.24. Bahçe denemelerinden önce Yaprak Alan İndeksini ölçmek için kullanılan cihaz (a), Li-Cor 2000'in lens kapakları (b).

Damla Çapı Ölçüm Cihazı

Denemelerde kullanılacak memenin farklı basınçlardaki damla çapı ölçümü Malvern STP5399, (Malvern, UK) marka cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Damla çapı ölçüm işlemleri Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı'na Bağlı TAMTEST'te gerçekleştirilmiştir.

Tarayıcı

Suyda Duyarlı kartların taranıp, kaplama yüzdelerini ölçmek amacıyla, EPSON WF2520 marka tarayıcı kullanılmıştır. Burada taranan suya duyarlı kartlar ImageJ programı ile kaplama yüzdesi belirlenmiştir.

Spektrofotoflorometre

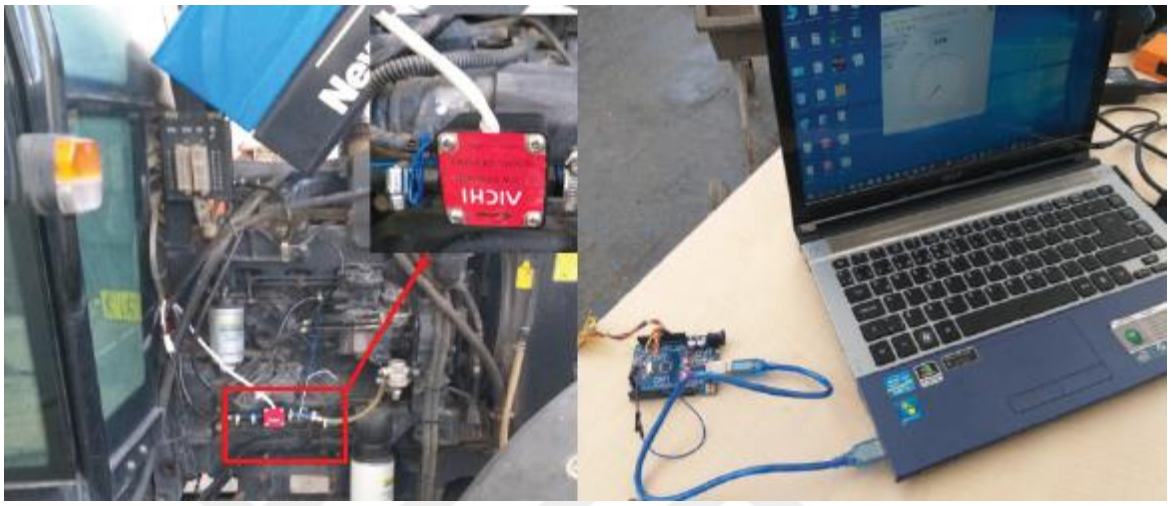
Bahçe denemelerinde elde edilen iz maddesi birikintisi birikmiş filtre kağıtlarının saf su-methanol karışımında çözdürüldükten sonra, sıvı içerisindeki iz maddesi birikintisi materyal Shimadzu RF 6600 spektrofotoflorometre ile ölçülmüştür. Cihazda BSF iz maddesi extension filtresi için 460 nm, emisyon filtresi için de 500 nm dalga boyları kullanılmıştır.

Çalkalama Cihazı

Bahçe denemelerinde elde edilen filtre kağıtlarının su ve methanol çözeltisinde iyi çözünebilmesi için Nüve marka SL 350 model çalkalama cihazı tercih edilmiştir.

Yakıt Ölçer

Denemeler gerçekleştirilirken yapılan işlerde ne kadar yakıtın tüketildiği 2 adet AICHI OF05ZAT (Aichi Tokei Denkei Co. Ltd. Japonya) marka debimetre ile ölçülmüştür. Bu debimetrelerden birisi motor girişine diğeri ise yakıt tankı geri dönüşüne bağlanarak aradaki fark bir data logger aracılığıyla ölçülmüştür (Şekil 3.25).



Şekil 3.25. Yakıt ölçerin traktöre bağlanması ve verilerin görüntülenmesi

Tork ve Devir Ölçer

Traktörün kuyruk mili ile PTO arasına devir ölçme özelliği de olan Torkmetre yerleştirilmiştir. Torkmetre, mil uzunluğu 230 mm olup, torkmetrenin bağlantı kısmı PTO mili (frezeli) 6 kanallı olarak imal edilmiştir. Kardan miline doğrudan takılabilen bu torkmetre ile anlık olarak devir de ölçülebilmektedir. Torkmetre pompa ile kardan mili arasına takılmıştır.

Dijital Devir Ölçer

Hidromotorun devri Smart Sensor AR 926 lazerli devir ölçer ile anlık olarak ölçülmüştür. Bu dijital devir ölçer, hidromotorun devrini ölçmek amacıyla kullanılmıştır.

3.1.8. Denemelerin Yapıldığı Bahçeler

Bahçe denemeleri Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Döner Sermaye İşletmesine ait tarım arazilerinde bulunan Trabzon Hurması (*Diospyros kaki*) (1), Pikan Cevizi (*Carya illinoinensis*) (2) ve Greyfurt (*Citrus paradisi*) (3) bahçelerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.26). Bu bahçelerin tercih edilme sebebi, ağaç taç yoğunluklarının birbirinden farklı olması ve meyve dönemlerinin birbirlerine yakın döneme denk gelmesinden dolayıdır. Ancak vejetatif gelişimleri birbirinden farklıdır.



Şekil 3.26. Bahçe denemelerinin gerçekleştirildiği bahçelerin uydu görüntüleri.

Deneye konu olan bahçelerin konumu, taç yoğunluğu, ağaçların yaşı, bahçenin dikim ölçüleri, deneme yapılırken ki fenolojik dönemleri ve bu dönemlerdeki olası zararlılar Çizelge 3.3' de sunulmuştur.

Çizelge 3.3. Denemelerde kullanılan bahçelere ait özellikler ve denemeler esnasındaki ağaçların durumu.

Ağaç	Konumu	Taç yoğunluğu	Ağacın Yaşı	Bahçenin Dikim Ölçüleri	Fenolojik Dönemi	Uygulama Döneminde Olası Zararlılar
Greyfurt	37°01'48"N 35°22'07"E	Çok Yoğun	10	6m x 6m	BBCH73[a]	Sarı ve kırmızı kabuklu bit[d]
P. Cevizi	37°01'30"N 35°22'38"E	Orta Yoğun	10	6m x 6m	BBCH77[b]	Sarı ve siyah afit[b]
T.Hurması	37°01'55"N 35°22'08"E	Az yoğun	10	4m x 4m	BBCH87[c]	Portakal güvesi[e]

[a] Meyvenin rengi yavaş yavaş yeşilden sarıya dönmeye başlar (Agusti ve ark., 1995).
[b] Kabuk oluşumu tamamlanmak üzeredir, meyve oluşumu %70 oranındadır (Han ve ark., 2017).
[c] Meyve toplanmaya hazır, hasat sonrası da olgunlaşabilir (Guan ve ar., 2021).
[d] Meyve döneminde kimyasal mücadele ile popülasyonu azaltma. (Anonim, 2017).
[e] Meyve döneminde yoğunlukla Portakal Güvesi (*Cryptoblabes gnidiella*) popülasyonunda artış görülmektedir(Elekçioğlu, 2019).

Fenolojik dönem ve vejetatif gelişim bağlı olarak denemelerde kullanılan ağaçların taçlarındaki yaprak yoğunlukları kendi aralarında değişkenlik göstermektedir. Bu bahçelerin seçilme sebebi, seçilen bahçelerdeki ağaç taç yoğunluğu değişmesi durumunda değişken oranlı uygulamanın sağlıklı çalışıp çalışmadığını ortaya koymaktır. Tasarlanan makinenin farklı bahçelerde çalışabilme esnekliğini sağlaması durumunda operatörün ayar vermesine gerek kalmayacaktır. Sadece bilgisayar programına ilgili veriler girilecektir. İlgili veriler kullanıcıya zaten sunulacağından hata riski kalmamaktadır. Bu bahçe denemelerinde tercih edilen ağaçlardan hurma ağaçlarının ortalama taç yüksekliği 3,1 m, taç genişliği ise yaklaşık 2,5 m civarındadır (Şekil 3.27.a). Pikan cevizi ağaçlarının ortalama taç yüksekliği 4,2 m ve taç genişliği ise 3,0m'yi bulmaktadır(Şekil 3.27.b). Greyfurt ağaçlarının ortalama taç yüksekliği 3,3 m ve taç genişliği ise 3,5 m'dir(Şekil 3.27.c).



a



b



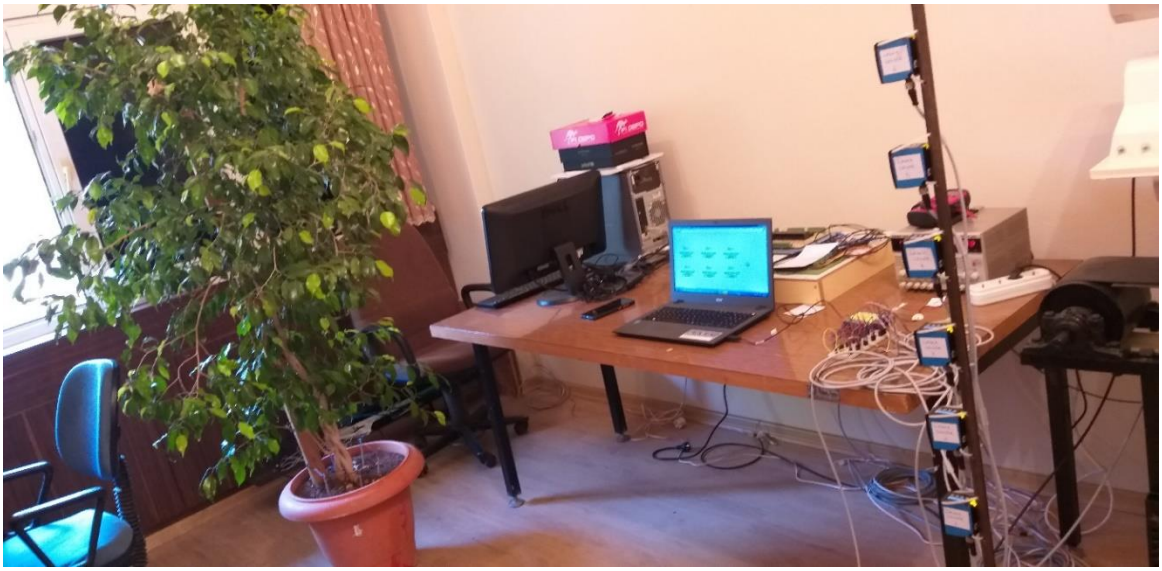
c

Şekil 3.27. Meyve bahçeleri hurma (az yoğun) (a), pikan cevizi (yoğun) (b), greyfurt (çok yoğun) (c)

3.2. Metot

3.2.1.Bahçe Pülverizatörünün Lazer Algılama ve Zamanlama Denemeleri

Lazer sensörlerin doğru ölçüm yapması değişken oranlı hava ve püskürtme sıvısı uygulayan sisteminin başarısı açısından çok önemlidir. Bu sebeple lazer sensörlerin hassas ve doğru ölçüm yaptığını belirlemek oldukça önemlidir. Lazer sensörlerden alınan bilgi veri toplama kartının Analog girişinden alınarak veri toplama kartı bilgisayara bağlanmıştır. Yazılım sayesinde elde edilen 4…20 mA sensör çıkış verileri mesafe verilerine dönüştürülmüştür. Ayrıca lazer sensörlerin okuduğu değerler bir veri toplama kartı üzerinden bilgisayar programına iletilmektedir. Laboratuvar denemelerinde lazer sensörlerin doğru ölçüm yapılıp yapılmadığı gün ışığında denenmiştir. Bahçe pülverizatörünün sensör direğindeki gibi sensörler alt alta dizilmiş ve alınan ölçümlerin sonuçları da bilgisayar ekranında doğrudan anlık olarak görülmüştür. Seçilen DT50 sensörün en önemli özelliği, tozlu ve güneşli ortamlarda da ölçüm yapabilmesidir. Lazer sensörlerin mesafe ölçmedeki duyarlılıkları, öncelikle sensörden çıkan lazerin bir ahşap yüzeye çarptırılarak saptanmıştır. Denemelerde, ahşap levha ile sensörün arasındaki mesafe bilgisayar ekranında gözlemlenmiştir. Ayrıca, denemelerde her sensörden ayrı ayrı gerçekleştirilen ölçümlerin tekrarı, ahşap levhanın pozisyonu sabit tutularak şerit metre ile tekrarlanmıştır. Yakın sonuçların elde edildiği görüldükten sonra, aynı deneme bir süs bitkisinin tacı üzerinde yürütülmüştür (Şekil 3.28). Buna göre, önce lazer ışınının temas ettiği yapraklar işaretlenmiş, sistem kapatıldıktan sonra yaprak ile lazer sensörün arasındaki mesafe manuel olarak ölçülmüştür. Ölçümler gün ışığında; yakın, orta, uzak bölgelerden gerçekleştirilmiş böylece farklı uzaklıklarda ve farklı yüzeylerde ölçümlerin farklı olup olmadığı da ortaya konulmuştur.

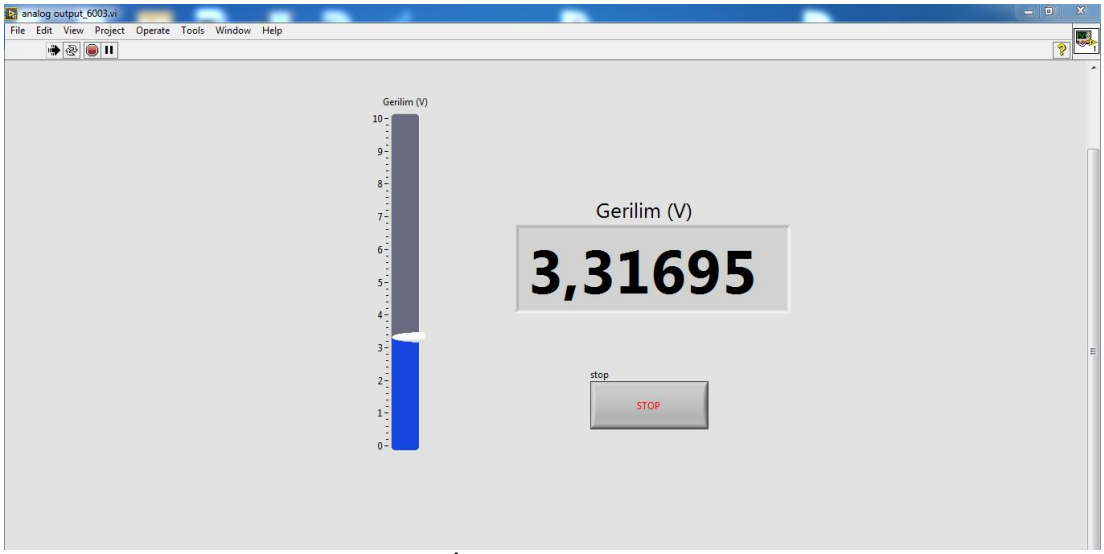


Şekil 3.28. Lazer Sensörlerin ağaç taç geometrisini okuması ve bilgisayara okunan verilerin aktarılması

3.2.2. Değişken Oranlı Hava Uygulayan Sistemin Hidrolik Ünite ile Adaptasyonu, Algoritması ve Doğrulama Testleri

Değişken Oranlı Hava Uygulayan Sistemin Hidrolik Ünite ile Adaptasyonu

Pülverizatör üzerindeki hidromotora gönderilen yağ miktarı oransal kontrollü bir selenoid valf ile kontrol edilmektedir. Bu valf ±10 V (DC) selenoid beslemeli olarak çalıştığından dolayı, valf içerisindeki popetin yarattığı açıklık selenoid uçlara gelen gerilim ile ayarlanmaktadır. Bu valflerin açıklığı, içerisinden geçen yağ miktarını belirlediğinden hidromotorun devrini kontrol etmektedir. Hidromotor, oransal kontrollü selenoid valfe verilen gerilim 0V iken dönmemekte, 10 V iken maksimum devirde dönmektedir. Ancak ara değerlerde (örn. 4V) hidromotorun kaç devirde dönebileceği bilinmemektedir. Bahçe pülverizatörünün kendi karar verme mekanizması olduğundan sistemde selenoid kontrollü oransal valfe hangi miktarda voltaj gönderildiğinde, hidromotorun kaç devirde döneceği ve buna bağlı olarak fan çıkışında ne kadar ortalama hava hızı alındığının da belirlenmesi önemlidir. Bahçe içerisinde çalışma esnasında ağacın değişen taç genişliğine bağlı olarak hava akımının miktarını değiştirebilmek için Voltaj-Ortalama Hava Hızı ilişkisi kurulmuştur. Buna göre öncelikli olarak ISO TS 9898 standardına göre, fanın çıkış alanı göz önüne alınarak fanın basma tarafından 26 bölgeden hava hızı (denemelerde fanın tek bir tarafı kullanılacağından 52 bölge yerine 26 bölgeden ölçüm yapılmıştır) ölçümü gerçekleştirilmiştir. Bu denemeler için girilen voltaj değerini doğrudan valfe ileten özel bir program yazılmıştır. Bu program sayesinde, istenilen gerilim değerinde hava hızı ölçülebilmiştir. Şekil 3.29 üzerinde görüldüğü gibi sürgülü bir buton yapılarak istenilen voltaj değeri oransal valfe sürülebilmiştir. Bahçe denemeleri öncesinde, bahçe pülverizatörünün jet karakteristiği oluşturulurken veya toplam debisi belirlenirken ilgili standarttan yararlanılarak yapılan çalışmalar da mevcuttur (Salcedo ve ark., 2021; Salas ve ark., 2022).

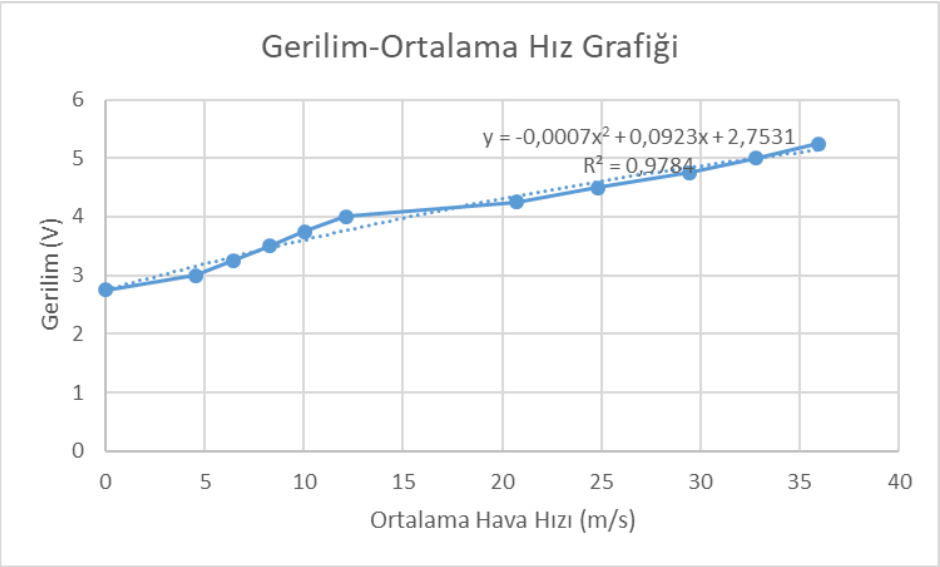


Şekil 3.29. Voltaj-Ortalama Hız İlişkisi kurulurken kullanılan programın ara yüzü.

Denemelere gerilim değeri 0V ile başlanmış ve 0,25V aralıklarla voltaj arttırılarak her defasında fanın belirlenen 26 bölgesinden hava hızı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Fan ve hidrolik sistemin birbirine uyarlanması aşamasında, fanın dönebilmesi için gerekli torku 2,75V ile 5,25V arasında alabildiği görülmüştür. Daha sonra ölçülen hava hızlarından fanın ilgili gerilim değerinde verdiği ortalama hava hızı belirlenmiş, gerilim-ortalama hava hızı ilişkisi kurulmuştur (Şekil 3.30). Denemelerde, oransal valfe gönderilen voltaj 2,75V olana kadar eksenel fan için gerekli tork oluşmadığından dönüş hareketi başlamamıştır. Oransal valfe gönderilen gerilim 5,5V olduğunda, bir önceki uygulamadan alınan hava hızı ölçümü olan 5,25V ile 5,5V gerilim değerleri arasında fanın verdiği hızların benzer olduğu anlaşılmıştır. Burada oransal valfin selenoidine hangi gerilim değeri uygulanırsa uygulansın verdiği hava akımının değişmeyeceği anlaşılmıştır. Ayrıca tam bir değişiklik olup olmadığını kontrol etmek için, oransal valfe 10V gerilim uygulanmış ortalama hava hızı değerlerinde bir değişiklik yine de gözlemlenmemiştir. Deneyde elde edilen veriler, Ortalama Hava hızı-Gerilim grafiğinde yerleştirilmiş, bu noktaların birleştirilmesiyle bir eğri elde edilmiş, bu eğrinin grafiği bir fonksiyona eğri uydurma (curve fit-Microsoft Excel 2010) yöntemiyle, bir ikinci dereceden matematiksel denkleme (Eşitlik 3.1) dönüştürülmüştür. Formülde elde edilen R^2 değeri oldukça yüksek olduğundan ($R^2 \approx 0{,}98$), matematiksel modelin yeterince eğriye yaklaşabildiği anlaşılmaktadır. Elde edilen amprik matematiksel model ile ile bahçe pülverizatörünün voltaj-hava hızı ilişkisi kurulumu belirlenmiştir.

$$y = -10^{-4}x^2 + 10^{-4}x + 2{,}7531 \tag{3.1}$$

Elde edilen denklemde x değeri fanın çıkışından ölçülen ortalama hava hızının büyüklüğü (m/s), y değeri ise oransal valfin selenoidlerine gönderilmesi gereken anlık gerilim (V) değeridir. Literatürde, ağaç tacının genişliğine göre PWM görev döngüsünü anlık değiştirebilen sistemler için benzer amprik denklemler mevcuttur (Gil ve ark., 2007; Chen ve ark., 2012). Ancak bu çalışmalar, püskürtme sıvısının oransal ayarlanması ile ilişkilidir. Temelde bu amprik denlemlerin amacı anlık karar verme sistemlerinde, sistemin ölçtüğü veriyi bir cevaba dönüştürürken doğrudan gerilim değerine dönüştürerek, operatörden bağımsız çalışmasını sağlamaktır. Denemelerde elde edilen matematiksel denklem ile hava akımı anlık olarak ağacın geometrisine ve yoğunluğuna göre ayarlanabilecektir. Bu matematiksel model literatürden alınan ve hava hızının serbest atmosferde düşümünü hesaplayan formül ile hava hızının ağaç tacı içerisindeki hız düşümünü belirleyen formüllerle birlikte kullanılarak, bahçe pülverizatörünün ağaç tacına ne kadar hava akımı göndermesi gerektiğini belirlemekte kullanılmışlardır. Böylece bilgisayar lazer sensörden aldığı mesafe verisi ile önce iyi bir kaplama için gerekli hava verisini literatürden alınan matematiksel modellerle belirlemiş, daha sonra da eğri uydurma yöntemiyle belirlenen amprik formül ile de oransal valfin selenoidine ne kadar voltaj gönderilmesi gerektiğini hesaplamıştır. Hava hızı anlık hesaplanan ortalama hava hızı oransal valfin selenoidine gönderilen gerilim değeri ile sağlanabilmiştir. Bu sayede sistem operatörden bağımsız karar verme mekanizması ile uygulamalar gerçekleştirilebilir hale gelmiştir.



Şekil 3.30. Makinenin kalibrasyonu sonrasında elde edilecek Gerilim – Fandan çıkan ortalama hava hızının grafiği.

Turbo fandan çıkan hava hızı 26 bölgeden ölçülüp denemelerin yapılacağı tek taraf için hava jetinin dağılım düzgünlüğü hakkında fikir sahibi olunmak istenmiştir. Bu sebeple ölçülen hava hızı verilerinin varyasyon katsayısı (Eşitlik 3.2) hesaplanmıştır.

$$CV=\sigma/\mu \tag{3.2}$$

Burada CV değeri % cinsinden hesaplanmakta, σ standart sapma, μ ise aritmetik ortalamadır. CV(%) değeri yüksek olduğunda turbo fanın hava jeti kararsız anlamına gelmektedir (İtmeç ve Bayat, 2021). Laboratuvar ortamında oransal valfin selenoidine gönderilen farklı gerilim değerlerinde; hesaplanan CV (%)nin ilgili gerilim değerinde hava jetininin ne derece iyi olduğunu görmek için kullanılan bir veridir. Hava jetinin ortalama hızının büyüklüğü kadar hava jetinin daha kararlı halde olması da önemlidir. Oransal valfin selenoidine gönderilen gerilimin arttırıldıkça, hava jetinin daha kararlı hale geldiği görülmektedir. Salcedo ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada kararlı bir jetin eşik değeri için varyasyon katsayısının CV<%30 olmasını beklemektedirler. Bu durum fanın çıkış tarafından alınan hava ölçümlerinin, düşük gerilim değerlerinde birbirinden daha uzak değerlerde olduğunun göstergesidir (Çizelge 3.4). Ancak bu durumda, denemelerde kullanılan fanın jetinin düzgün olduğu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 3.4. Farklı gerilim değerlerinde elde edilen hava jetinin dağılımının (%) değerlendirilmesi

Gerilim	**3V**	**3,25V**	**3,5V**	**3,75V**	**4V**	**4,25V**	**4,5V**	**4,75V**	**5V**	**5,25V**
CV (%)	18,13	18,25	19,95	19,27	20,51	14,57	14,4	14,03	9,06	10,21

Değişken Oranlı Hava Akımı Uygulayan Sisteminin Algoritması

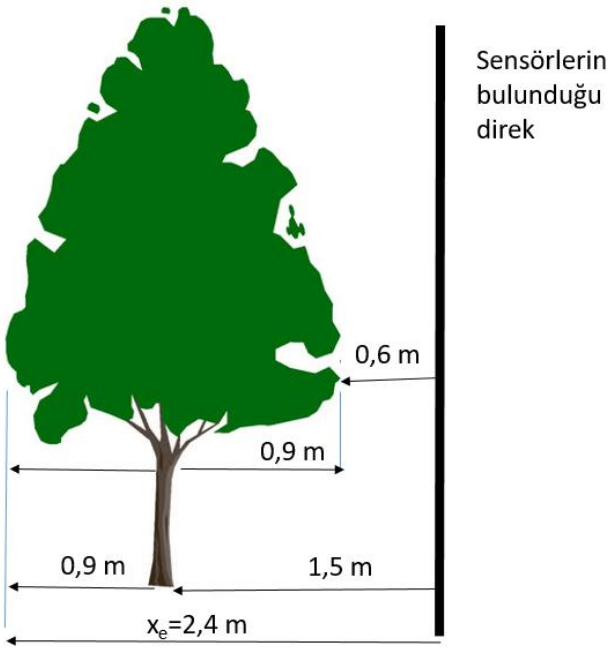
Değişken oranlı uygulama esnasında turbo fandan ağaç taç hacmine bağlı olarak gönderilmesi gerekilen hava hızı belirlenirken, atmosferde ve ağacın içindeki kayıplar o bölgedeki ağaç tacı için hesaplanmış ve bu kayıplar göz önüne alınarak ağaç tacına hava akımı göndermek amaçlanmıştır. Yaprak yüzeyinde iyi bir ilaç kaplama için fandan çıkması gereken hava hızının belirlenmesi için öncelikle hava hızı (fandan çıkan hava akımın serbest atmosferdeki sürtünmelerden kaynaklı düşümü ve bitki aksamlarının hava akımı karşısında gösterdiği direnç kaynaklı düşümü) kayıpların tespit edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada iyi bir yaprak yüzeyi kaplaması için ağaç tacının terk eden hava hızının 3 m/s olması gerektiği kabul edilmiştir. Bahçe pülverizatörünün değişken oranlı hava uygulama sistemine ait bilgisayar programının algoritması hazırlanırken ağaç tacından hava hızının çıkış hızı 3 m/s kabul edilip kayıplar bu hız değerinin üzerine eklenmiştir. Ağaçtan çıkan hava hızının çıkış büyüklüğünün üstüne, hava akımının ağaç tacının içerisinde yatay eksen boyunca kaybettiği hava hızı önce hesaplanmış sonra da eklenmiştir. Bu sebeple ağaç taç geometrisi sensörler yardımıyla ölçülmüş ve traktör ilerlemesi esnasında ağaç gövdesinin anlık değişen geometrisi ağaç gövdesine göre simetrik kabul edilerek, ilgili bölgede hava akımının ağaç içerisinde aldığı yol belirlenmiştir. Buna göre de ağaç içerisindeki hava hızı kayıpları (serbest atmosfer ve taç içi sürtünme kaynaklı) hesaplanmıştır. Bu hesabın yapılabilmesi için literatürden alınan Eşitlik 3.3 kullanılmıştır (Frisio ve ark., 2015).

$$v_x = v_{xe}\frac{G(x_e)}{G(x)} - \frac{k\rho_l}{16}\left[(2x - x_i + r_o) - (2x_e - x_i + r_o)\frac{G(x_e)}{G(x)}\right] \quad (3.3)$$

Bu verilere bağlı $G(x_e)$ havanın çıkış tarafındaki geometrik özellik fonksiyonu ve $G(x)$ havanın herhangi bir noktadaki geometrik özellikleri fonksiyonu; r_o fan göbeğine olan uzaklığı, x_i tacın başladığı yeri, x fanın ağaç tacına olan uzaklığı, x_e ağacın tacının bittiği mesafenin uzaklığıdır. Formülde k aerodinamik katsayı, ρ_l yaprak yoğunluğudur (m^2/m^3) ve $k\rho_l$ değeri ağaç taç direnci olarak ifade edilmiştir. Formülde, ağaç içindeki hava hızının düşüm miktarı yaprak yoğunluğu da göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Bu açıdan değişken oranlı hava uygulayan sistemin bilgisayarına ait algoritmanın mimarisi, değişken oranlı sistem aynı geometrik ölçüdeki, ağaç içi yaprak yoğunluğu farklı iki ağaca farklı büyüklüklerde hava akımı gönderebilecek şekilde inşa edilmiştir.

Çalışmalar esnasında ağaç tacının en dış yüzeyinin pülverizatör üzerindeki sensöre olan uzaklığı (x_e) ağacın dış taç mesafesi olarak dikkate alınmıştır (Şekil 3.31). Tasarlanan makinenin ağaç gövdesine olan uzaklığından (denemelerde her ağaç türü için farklı ölçüler belirlenmiş görsel için 1,5m), anlık ölçümlerde sensörün ağacın o bölgedeki tacına olan uzaklığı x_i (0,6 m) çıkarıldığında geriye ağaç tacının yarı taç genişliği (0,9 m) kalmaktadır. Ağacın her iki yarı hacminin ağaç gövdesine göre simetrik olduğu varsayıldığında, sensör direğinin ağaç dış tacına olan mesafesi olan x_e (2,4 m) hesaplanmaktadır. Bu mesafe hava akımının ağaç içerisinde yatayda kat edeceği yol

olarak dikkate alınmıştır. Bu mesafeye bağlı olarak, hava akımının ağaç içerisindeki düşümü de hesaplanmıştır. Her ne kadar fandan çıkan hava hızı yönlendiricilerin etkisiyle tam yatay olarak hareket etmese de, bu açısal değişikliklerin hava hızındaki azalmaya etkisi ihmal edilmiştir.



Şekil 3.31. Ağaç dış tacı mesafesinin anlık alınan ölçüme göre yaklaşık hesaplanma yöntemi.

Ağaç çıkışındaki hava hızı ve ağacın içindeki hava hızı düşümü bilindiğinden, Eşitlik 3.3'te ağaca girişteki hava hızının ne kadar olması gerektiği hesaplanmıştır. Ağaç tacının girişi (ilaç uygulama tarafı) ile fandan çıkış arasındaki bölgede hava hızı serbest atmosferde sürtünmelerden dolayı düşmektedir. Fan ile ağaç tacı arasındaki bölgenin uzunluğu (x_o) anlık sensörler ile ölçüldükten sonra ağaç tacına giren havanın hızı hesaplandığından, fandan ağaca gönderilmesi gereken ortalama hava hızı Eşitlik 3.4 ile hesap edilmiştir (Fox, ve ark. 1982).

$$v_x = 3.8 \left[\frac{n_2 \,.\, b_o \,.\, r_o}{(x - x_o)(x + r_o)}\right]^{0.5} .\, v_{xo} \tag{3.4}$$

Burada x(m) fanın ağaç tacına olan uzaklığını, x_o (m) jet çıkış mesafesi,n_2 jet teorisinde kullanılan integral kat sayısı (boyutsuz), r_o fan yarıçapı, b_o jet açıklığının yarısının ölçüsü (m) V_{xo} jetten çıkan hava hızı, V_x de herhangi bir x uzaklığında sürtünmelere bağlı düşüm sonucunda hava hızının (m/s) son değeridir..

Ağaç tacına giren hava akımının hızının doğru hesaplanması için; ağaç tacından çıkış hızı ve yaprak yoğunluğuna bağlı aerodinamik katsayılar da bilindiğinden dolayı öncelikle ağaç tacına giren havanın giriş hızı hesaplanmış, daha sonra serbest atmosferdeki hava hızı düşümleri de göz önüne alınarak fandan gönderilmesi gereken ortalama hava hızının büyüklüğü belirlenmiştir. Bahçe

pülverizatörünün hidrolik sisteme uyarlanmasında elde edilen amprik matematiksel model ile de ortalama hız verisi, gerilime dönüştürülerek ağaca gönderilcek hava hızı yazılan algoritma ile gerçek zamanlı olarak hesaplanmıştır.

Değişken Oranlı Hava Uygulayan Sistemin Doğrulama Testleri

Sıra arasında ilerleyen bahçe pülverizatörü ilaçlama yapacağı ağaçların yanından geçerken anlık değişen taç geometrilerine bağlı olarak hava hızını da anlık değiştirebilecek şekilde tasarlanmıştır. Lazer sensörlerin üst üste sıralı halde bulunduğu direk, traktör ilerleme yönüne göre turbo fandan 20 cm daha önde olacak şekilde montaj gerçekleştirilmiştir. Bu sayede ağaç tacındaki değişimler lazer sensörler tarafından algılandıktan sonra ilgili formüller sırasıyla bilgisayar tarafından hesaplanmış ve hava akımı anlık uygulanmıştır. Bahçe denemelerinden önce değişken oranlı hava akımının doğru zamanda ve doğru büyüklükte uygulanıp uygulanmadığını göstermek için 2 ayrı ön çalışma gerçekleştirilmiştir:

Statik Çalışma

a) A*hşap Levha ile Gerçekleştirilen Denemeler*

Ahşap levha (0,8mx0,25mx2cm ölçülerinde) ile gerçekleştirilen laboratuvar denemelerinde, program çalıştırılmadan önce ağaç çıkışındaki istenen hava hızı 3m/s, ağaç gövdesine olan uzaklık 1,25 m, ve kp_l değeri 2 olarak manuel girilmiştir. Denemelerde, sensör direği yan yatırılmış, sensörlere ahşap levhalar tek tek ve çoklu olarak yakınlaştırılmıştır. Böylece fanın devreye girip girmediği izlenmiştir.

b) Süs Bitkisi ile Gerçekleştirilen Denemeler

Ahşap levhalar ile gerçekleştirilen denemeler sonrasında, daha önce lazer sensörlerin doğru çalışıp çalışmadığını görmek amacıyla kullanılan süs bitkisi de lazer sensörlere yaklaştırılmıştır. Böylece bahçe denemeleri öncesinde poroz yapıda, ağaca yakın özellikte bir cisim ile denemeler gerçekleştirilmiştir.

Dinamik Çalışma

Bahçe denemelerinden önce, atölye ortamında bahçe pülverizatörü traktöre takılmış, bahçe pülverizatörünün gerekli tüm yazılımları ve donanımları çalıştırılmıştır. Traktör, süs bitkisinin yanından geçerken, ağacı algılar algılamaz hesapladığı hava akımını anlık gönderip göndermeyeceği denenmiştir. Ayrıca hava akımı ile püskürtme sisteminin eş zamanlı olarak ağaca püskürtme sıvısı+hava akımını gönderip gönderemeyeceğinin değerlendirilmesi de gerçekleştirilmiştir.

3.2.3. Değişken Oranlı Püskürtme Sıvısı Uygulayan Sistemin Algoritması ve Doğrulama Testleri

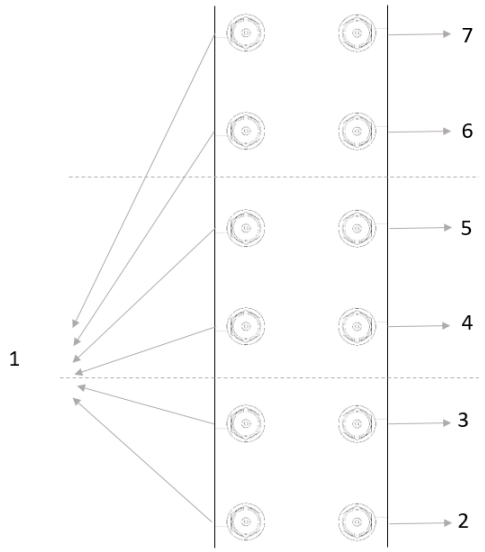
Değişken Oranlı Püskürtme Sıvısı Uygulayan Sistemin Algoritması

Püskürtme sistemi kollarının üzerinde, on/off valflerden birisi 6 tane memeye aynı anda ilaç sağlayabilmekte (1), diğer koldan sağlanan püskürtme sıvısı da her bir memeye (2, 3, 4, 5, 6 ve 7) on/off selenoid valfler tarafından beslenebilmektedir (Şekil 3.32). Bahçe Pülverizatörünün ön bölgesinde alt alta sıralanan lazer sensörler ile ağacın varlığı anlaşıldığı anda (<2,5m) püskürtme sırasında devamlı açık olacak olan memeleri yöneten valf açılmakta (1) ve 6 adet ilaçlama memesinden sıvı püskürtülmekte, sensörden veri gelmediği anda ise bu valf devamlı olarak kapalı kalmaktadır. İlaçlama memelerinden 2 ve 3 nolu olanlar ağacın alt tacına, 4 ve 5 nolu olanlar ağacın orta tacına, 6 ve 7 nolu olanlar ise ağacın üst tacına püskürtme yapacak şekilde düzenlenmiştir. Lazer sensörlerin yerden yukarı doğru sıralamada en alttan ikisi, alt taca püskürtme sıvısının ne kadar gönderileceğini belirlemekte kullanılmaktadır. Aşağıdan yukarı doğru 3. ve 4. sıralardaki sensörler orta taca ilaç gönderen memeler için veri almakta, en üstteki lazer sensörler (5. ve 6.) ise üst taç için veri almaktadır. Çift olarak çalışan bu lazer sensörler, pülverizatör sıra arasında ilerlerken bulundukları bölgeden aldıkları veriyi bilgisayara iletmektedir.

Çalışmada, püskürtme sisteminin algoritmasının sadece ağacın alt tacına göre hazırlanmış hali Eşitlik 3.5'te sunulmuştur. Alt taç için 1 ve 2 numaralı lazer sensörler, bulundukların yerin ağaç tacına olan -mesafelerini doğrudan bilgisayara ulaştırılmakta ve bilgisayar programında ise tacın o bölgedeki genişlikleri ölçülmektedir. İki sensör ile belirlenen alt taç ölçüsünün ortalaması;

$$X_{ort}=\begin{cases} x < 0{,}4m\ ise, & 2\ ve\ 3'\text{ü}\ aç \\ 0{,}4m < x < 0{,}65m\ ise, & 2'yi\ aç\ ve\ 3'\text{ü}\ açma \\ 0{,}65m < x\ ise, & 2'yi\ ve\ 3'\text{ü}\ açma. \end{cases} \quad (3.5)$$

şeklinde belirlenmektedir. Diğer ağaç bölümleri için de ilgili valfler benzer algoritma ile tek tek devreye girmektedir. Tasarlanan sistemde hava çıkış ağzındaki meme sayısı arttırılıp, düşük verdili memeler seçilerek sistem tasarlanmıştır. Böylece tacın her bölümüne püskürtme sıvısı gönderen 4 meme bulunmaktadır. Bu memelerin dördünün yüksek debili tek bir meme gibi davrandığı düşünüldüğünde, herhangi bir nesneyi sensörler algıladığı anda meme %50 verdi ile çalışacak, 0,4m<x<0,65m olduğunda %75 verdi ile çalışacak, x<0,4m olduğunda ise tam kapasite çalışmaktadır. Püskürtme sisteminin cevap süresi de anlıktır. Bu sayede ağacın ilgili taç bölümüne eş zamanlı olarak değişken oranlı hava ve püskürtme sıvısı gönderilebilmektedir. Xun ve ark., (2023)'ın yaptığı çalışmada, değişen taç ölçülerinde taç genişliği değiştikçe püskürtme basıncını arttırıp azaltan bir algoritme tercih etmişlerdir. Bu algoritmada kullanılan ölçüler mevcut çalışmadaki algoritmaya gömüşmüştür. Benzer bir algoritmayla tasarlanan sistem ile lazer sensörden alınan taç verisi ile ağaca gönderilen püskürtme sıvısı miktarı oransal hale getirilmiştir.



Şekil 3.32. Değişken oranlı püskürtme sisteminin şematik görünümü,

Değişken Oranlı Püskürtme Sıvısı Sistemin Doğrulama Testleri

Bahçe pülverizatöründe turbo fan üzerinde 12 adet meme eklenmiştir. Bu memeler, ağacın alt, orta ve üst tacı için ayrı ayrı 4'erli gruplara ayrılmıştır. Püskürtme sisteminin algoritmasında, ağacın alt tacına bakan en alttaki iki lazer sensör olduğu ifade edilmiştir. Bu iki lazer sensörden herhangi birisi 2,5m'den daha yakın bir mesafede bir nesneye rastlanması sonucunda ağacın alt tacına bakan 4 memeden 2 memenin selenoid valfleri açık pozisyona geçmektedir. Eşitlik 3.5'te sunulan algoritmada da görüleceği üzere alt taca bakan lazer sensörlerin okuduğu mesafe verilerinin ortalaması, 0,4m'den küçük ise geriye kalan 2 meme de açılmakta (4 meme de açık), 0,4'ile 0,65m aralığında olduğunda ise bu 2 memeden 1'i açılmaktadır (3 meme açık). Bu algoritma ağacın orta ve üst tacı için de aynı şekilde gerçekleştirilmiştir. Püskürtme sisteminin doğru çalışıp çalışmadığını anlamak için 2 ayrı deneme yapılmıştır.

Statik Çalışma

a) *Ahşap Levha ile Gerçekleştirilen Püskürtme Sistemine Ait Denemeler*

Statik çalışmalarda, traktör kontağı kapatılmıştır. Bu sayede püskürtme sıvısı uygulamadan da selenoidlerin açılıp açılmadığı denenmiştir. Sensörlere ve selenoid valflere aküden besleme yapılmıştır. Bunun sebebi püskürtme memelerini açıp kapatan selenoid valflerin açma kapatma sesleri bu şekilde daha kolay duyulmuştur. Ahşap levha; alt, orta ve üst taca bakan lazer sensörlerin algoritmalarının doğru çalışıp çalışmadığını görebilmek için ilgili mesafelere gelindiğinde tetiklenme olup olmadığı incelenmiştir. Her bölge için lazer sensörlerin mesafe verisi 0,4m; 0,65m ve 2,5 m olduğunda tetiklenmenin çalışıp çalışmadığı ortaya konulmuştur. Denemelerde, sensör direği yan yatırılmış, sensörlere ahşap levhalar tek tek ve çoklu olarak yakınlaştırılmıştır.

b) *Süs Bitkisi ile Gerçekleştirilen Püskürtme Sistemine Ait Denemeler*

Ahşap levhalar ile gerçekleştirilen denemelerden sonra, her lazer sensör ile püskütrme memelerine püskürtme sıvısı gönderen selenoidlerin sorunsuz çalıştığı anlaşıldıktan sonra süs bitkisi de lazer sensörlere yaklaştırılmıştır. Püskürtme sisteminin tetiklenmesinin gerçekleşmesi de, selenoidlerden gelen açma kapama seslerinden anlaşılmıştır.

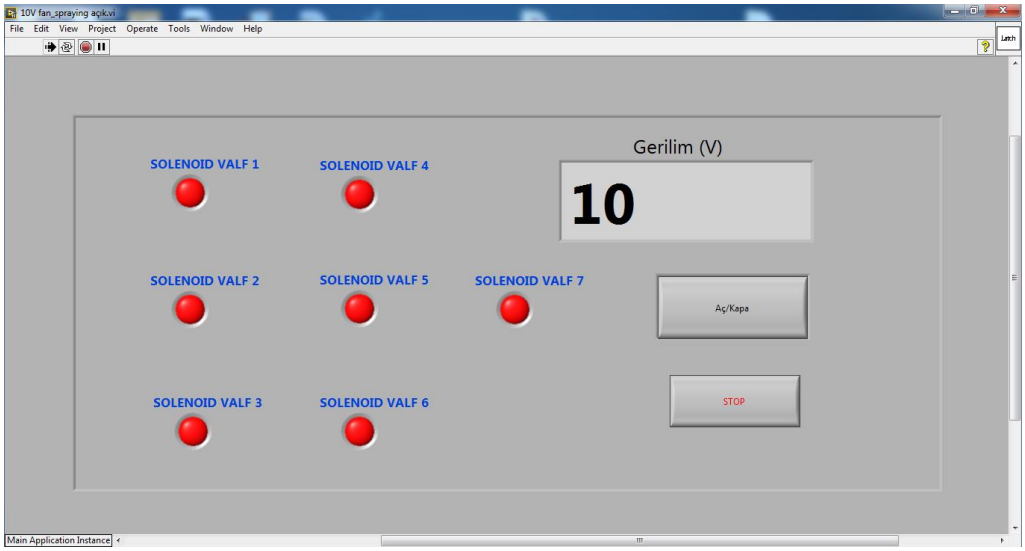
Dinamik Çalışma

Bahçe denemelerinden önce, atölye ortamında bahçe pülverizatörüne traktöre takılmış, tüm sistemlere enerji verilmiş, bahçe pülverizatörünün gerekli tüm yazılımları ve donanımları çalıştırılmıştır. Traktör, süs bitkisinin yanından geçerken, hava akımı ile püskürtme sisteminin eş zamanlı olarak ağaca püskürtme sıvısı+hava akımını gönderip gönderemeyeceği üzerine çalışılmıştır.

3.2.4. Bahçe Pülverizatörünü Geleneksel ve Değişken Oranlı Çalıştıran Programlar

Bahçe Pülverizatörünü Geleneksel Çalıştıran Program

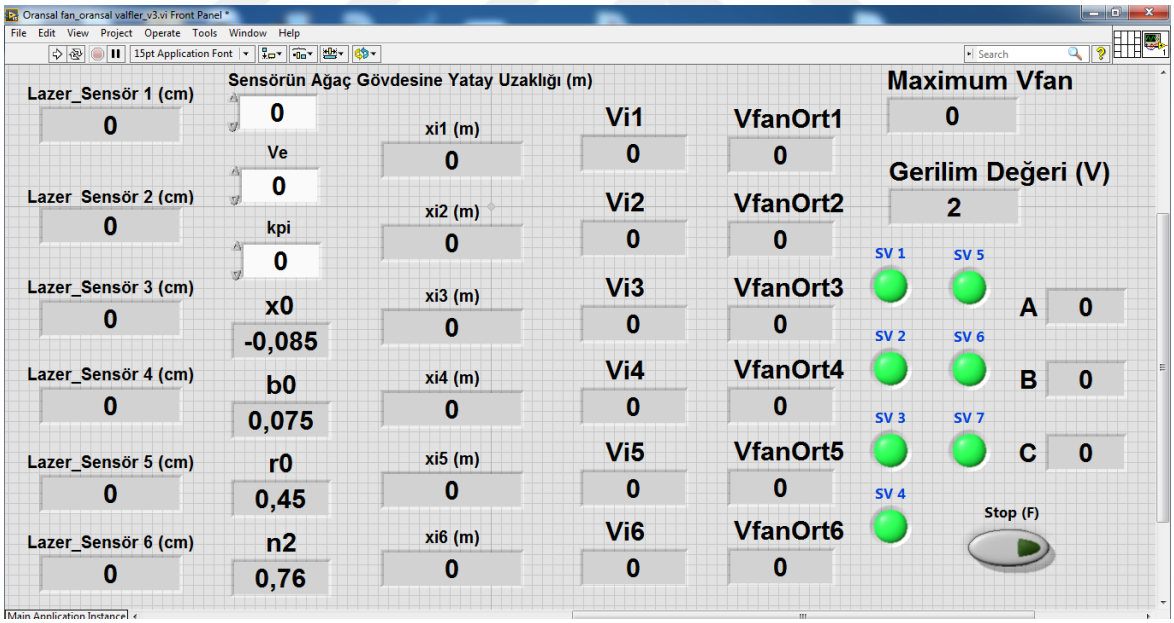
Bahçe denemelerinde geleneksel makinelerin ilaç uygulama etkinliği ile değişken oranlı ilaç+hava uygulayabilen bahçe pülverizatörünün etkinliği karşılaştırıldığından geleneksel (kesiksiz püskürtme) makineler için bir program hazırlanmıştır (Şekil 3.33). Bu programda oransal valfin selenoidine 10V gerilim uygulanmış ve doğrudan tüm memelerin selenoidlerine "AÇ" komutu verilmiştir. Bu durumdayken, traktörün kuyruk milinden alınan tahrik ile bahçe pülverizatörünün ilaç pompası 480 dev/dak' da çalıştırılmıştır. İlaç pompasına bağlı şanzıman bu devri 3 katına çıkararak hidromotorun 540 dev/dak'da çalışması sağlanmıştır.



Şekil 3.33. Bahçe pülverizatörünün fanının ve memelerinin geleneksel çalışmasını sağlayan programın arayüzü.

Bahçe Pülverizatörünü Değişken Oranlı Çalıştıran Program

Değişken oranlı hava akımı ve değişken oranlı ilaç uygulayan sistemin arayüzü Şekil 3.34'te verilmiştir. Lazer sensörlerin anlık gerçekleştirdiği ölçümler, ilgili lazer sensörden alınan veri ile hesaplanıp ağaç tacına gönderilmesi gerekilen hava akımının büyüklüğü ve bu verinin karşılaştırılmalı büyüklüğü, oransal valfin selenoidine gönderilen gerilim miktarı programın arayüzünde anlık görülmektedir. Bununla birlikte, memelerden hangisi açık (yeşil) hangisi kapalı (kırmızı) durumda iken pozisyonları da arayüz ekranında görülebilmektedir. Burada, bahçe pülverizatörünün kullanıcısı programı başlatmadan önce Sensörün Ağaç gövdesine olan uzaklığı, Ağaç tacının dışındaki hava hızı (3m/s-5m/s) (Tsartelis, 1979; Balsari ve ark., 2008) ve $k\rho_l$ değerlerinin manuel olarak girmesi beklenmektedir. Bu değerlerden özellikle en önemli parametre olan $k\rho_l$ değerinin programa değişken girilmesi sayesinde, ağacın taç yoğunluğuna bağlı bir aeorodinamik bileşen olmasından dolayı aynı geometrik özellikte fakat farklı yoğunluktaki ağaçlara farklı hava akımları gönderebilen yapıda olması sağlanmıştır. Bu değer öncelikle ilgili ağaca belirli bir uzaklıktan bilinen bir hava hızı gönderilip ağacın dış tacından da ortalama hava hızı ölçülerek kayba göre belirlenmiştir. Bu sebeple ağaç yarı tacının ölçüsü (Sensörlerin bulunduğu yerin ağaç gövdesine uzaklığı)'de programa girilmektedir.



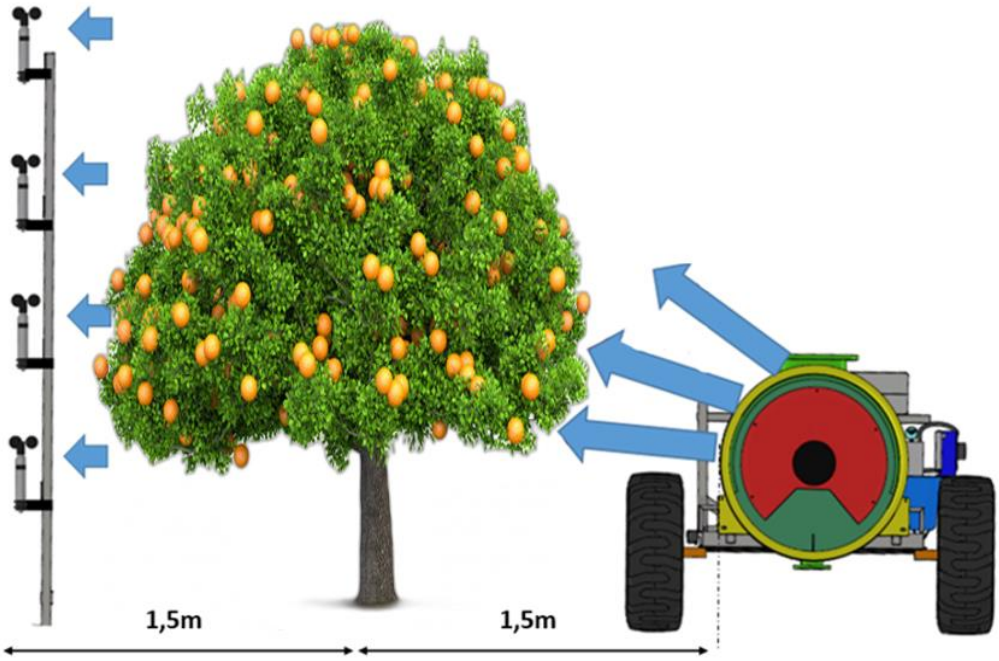
Şekil 3.34. Değişken oranlı hava+ilaç sağlayan sistemin yazılımına ait ara yüzünün görseli.

3.2.5. Bahçe Pülverizatörüyle Bahçede Gerçekleştirilen Adaptasyon ve Denemeler

Bahçe Pülverizatörünün Bahçedeki Adaptasyon çalışmaları

Laboratuvar denemelerinde hidrolik sistem ile turbo fan arasında bir adaptasyon gerçekleştirilip bir amprik matematiksel model elde edilmiştir. Bahçe denemelerinden önce de bahçe pülverizatörünün çalışacağı bahçedeki ağaçların özelliklerine göre bahçe pülverizatörünün bahçeye adaptasyonu gerçekleştirilmiştir. Her bahçenin yaprak tipi, ağaç taç geometrisi vejetatif gelişimi,

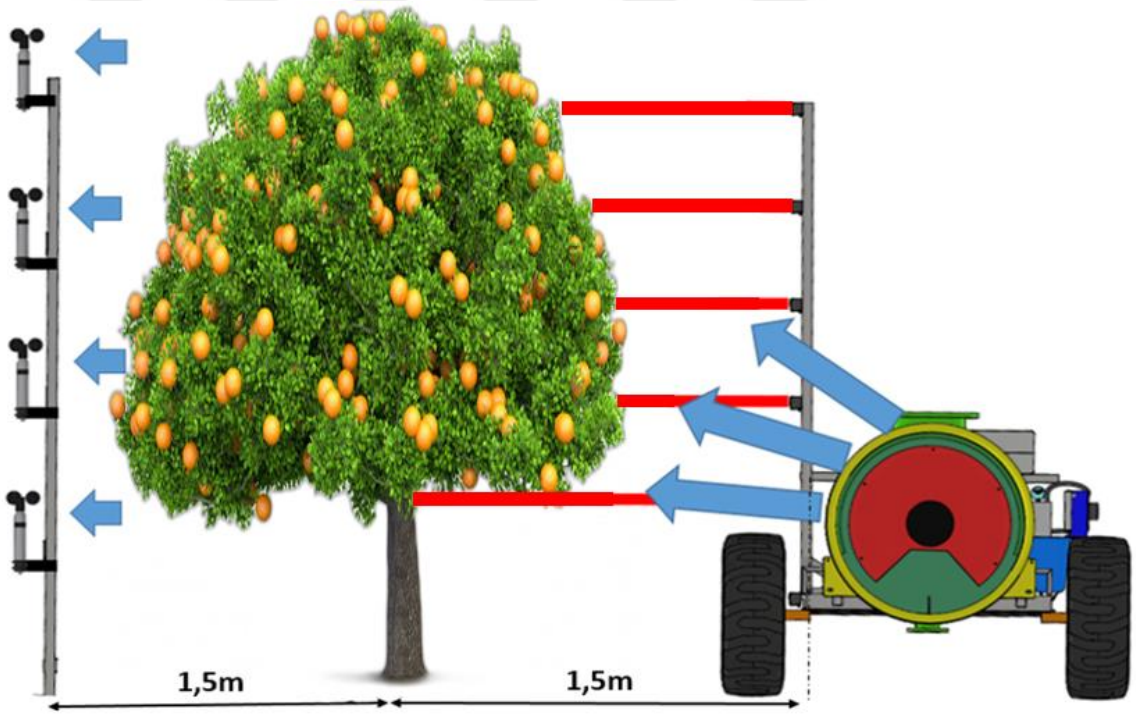
fenolojik dönemi ve yaprak dal gelişimi farklı olduğundan dolayı, anlık karar verme mekanizmasına sahip bahçe pülverizatörünün farklı türden ağaçları ilaçlayabilmesi için bu adaptasyon çalışmaları yapılmıştır. Bahçe çalışmalarında da hava akımının hızının ağaç tacının dış tarafından ölçülerek, yaprak yoğunluğu da göz önüne alınarak hava akımının ağaç tacına göre uyarlaması yapılmıştır. Bahçe pülverizatöründen uygulama yapılırken, ağaç tacının etkisiyle hava akımınının ne derece düştüğünü ve kp_l değerini tespit etmek için denemelerde kullanılacak ağaçlar anemometreler ile bahçe pülverizatörün ortasında olacak şekilde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.35). Ağaç karakterine bağlı aerodinamik katsayı belirlenirken lazer sensörlere ihtiyaç olmadığından, lazer sensörler geleneksel çalışmada devre dışı bırakılmıştır. Bahçe denemelerine başlamadan önce oransal valfe gönderilen hangi voltaj değerinde bahçe pülverizatöründen gönderilen hava akımının miktarının hangi değerde olduğu bilindiğinden dolayı (45° kanat açısı ve 1:4,5 tahvil oranında max ortalama hız 36,52 m/s), ağaç çıkışındaki hava akımının hızı da ölçülmüş bu sayede her bir ağaç türü için ağaç içerisindeki hava hızının düşüm miktarı belirlenmiştir. Bu sebeple 3 farklı bahçede 5 farklı ağaca hava akımı gönderilmiş, oransal valfin selenoidine 5,25V gerilim uygulanmış, bunun sonucunda 4 adet anemometre ile 4 farklı yükseklikten hava hızları 1'er metre ara ile ölçülmüştür. Böylece Eşitlik 3.3 ve 3.4'teki denklemler kullanılarak giriş hızı ve çıkış hızları formüle girilmiş formül terse çözülerek ağacın ve bahçe pülverizatörünün geometrik özelliklerine bağlı olarak kp_l değeri belirlenmiştir. Denemelerde değişken oranlı uygulama gerçekleştirilirken greyfurt ağacının gövdesinden 1,75m, Pikan cevizinden 1,50 m, Trabzon Hurmasından ise 1,25 m uzaklıktan hava hızı ölçümü gerçekleştirilmiştir. Bu mesafelerdeki farklılık seçilen ağaç çeşitlerinin sıra arası dikim farklılığından kaynaklanmaktadır.



Şekil 3. deneysel düzenek.(Pikan Cevizi Örneğindeki ölçüler kullanılmıştır.)

Ağaç tacının dış yüzeyinde hava hızının ölçülmesi

Çalışmanın başarı kriterlerinden birisi de değişken oranlı hava uygulayan sistemin gönderdiği hava akımının ağaç tacının arka tarafında ölçülen büyüklüğünün, iyi bir kaplama gerçekleştirilebilmesi için 3-5 m/s arasında olmasıdır. Bahçe denemelerinden önce matematiksel model ve uyarlamalar ile kendi karar verme mekanizmasına sahip sistemin doğru çalışıp çalışmadığını test edilmiştir. Ayrıca mevcut durumda imalatçı tarafından çiftçiye sunulan çalışma koşulları belirlenmiştir. Tasarlanan makinenin oransal valfine 5,25 V verildiğinde geleneksel bahçe pülverizatörü gibi işletilebilmiştir. Geleneksel bahçe pülverizatörü gibi çalışırken de lazer sensörlere ihtiyaç olmadığından, lazer sensörler geleneksel çalışmada devre dışı bırakılmıştır. Buna göre fan mili 540 dev/dak (New Holland Traktör 540E'ye denk gelmektedir.) devrinde dönerken 3 fan kanat açısı ve 2 transmisyon kademesi ile hava hızları ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Denemeler, 3 bahçede ve her bahçede 5 farklı ağacın arkasından taç yarı genişlikleri (T.Hurması:1,25m; P.Cevizi: 1,5m; Greyfurt:1,75m) kadar öteden 4 farklı yükseklikte hava hızları ölçülmüştür (Şekil 3.36).



Şekil 3.35. Kendi karar verme mekanizmasının bahçe denemelerindeki durumu. (Pikan Cevizi Örneğindeki ölçüler kullanılmıştır.)

Denemelerde geleneksel uygulamalar (6 olasılık) ile değişken oranlı hava uygulama sistemi ile Çizelge 3.5'teki deneme deseninde 3 farklı bahçede çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen operasyonların her birine bir işletme koşu ismi verilmiş böylece sonuçlar anlatılırken anılması da kolay olmuştur. Kendi karar verme mekanizmasında makine 1:4,5 tahvil oranında ve 45° kanat açısında çalışılmıştır. Bunun sebebi 0-2160 dev/dak (4,5 x480 dev/dak) daha geniş bir aralıktır

ve her taç genişliği değişiminde bu aralıkta fan devri değişkenlik göstermiştir. Tasarlanan makine toplam 7 farklı işletme koşulunda bahçede çalıştırılarak etkinlik değerleri saptanmıştır.

Çizelge 3.5. Tasarlanan makinanın bahçe koşullarında fan işletilme paremetreleri

Pülverizatör İşletme koşulları*	Fan Kademesi	Fan Dönüş Hızı (dev/dak)	Ortalama Hava Hızı /m/s)	Kanat Açısı(°)	Fan Sistemi
G1*	3,5	1680	23,61	15	Tam Açık
G2*	3,5	1680	28,71	30	Tam Açık
G3*	3,5	1680	32,65	45	Tam Açık
G4*	4,5	2160	26,25	15	Tam Açık
G5*	4,5	2160	30,03	30	Tam Açık
G6*	4,5	2160	36,52	45	Tam Açık
VR7*	4,5	Değişken Oranlı	Değişken Oranlı	45	Değişken Oranlı

*:G1,2,3,4,5 ve 6: fanın geleneksel işletilmesi koşulunu, VR7 ise değişken oranlı fan koşulunu göstermektedir.

Bahçe Pülverizatörü ile Püskürtme Sıvısı Uygulamaları, Hedef Yüzeylerdeki İlaç Birikimi, Kaplama ve Kayıpların Örnekleme Yöntemleri

Bahçe pülverizatörünün turbo fan ünitesi bir bilgisayar programı ile hem geleneksel, hem de değişken oranlı olarak çalışabilmektedir. Traktörün kuyruk mili 540E (480 dev/dak'ya tekâmül etmektedir) ile çalıştırıldığında, ilaç pompası gerekli basınca ulaşabilmektedir. Bunun haricinde traktörün kuyruk milinin devri 540E iken hidromotor randımanlı çalışabilmekte ve fan milinin giriş devri 540 dev/dak olarak çalışabilmektedir. Ayrıca yazılan program ile püskürtme sisteminin tüm memelerden ilaç gönderilebilmekte veya sistem değişken oranlı ilaç püskürtme de gerçekleştirebilmektedir. Tasarlanan makinenin püskürtme sistemi Çizelge 3.6'da da verilen işletme koşullarında, üç farklı bahçede de kullanılmıştır. Denemelerde, ağaç taç yoğunluğu yüksek olan ve dikim sıklığı hurmaya göre daha seyrek olan Greyfurt ve Pikan Cevizi ağaçlarının ağaç başına uygulama hacimleri 1,95 L/ağaç, uygulama hacimleri ise 550 L/ha olarak belirlenmiştir. Buna karşın, Trabzon hurmasında ağaç başına uygulama hacmi 1,33 L/ağaç iken uygulama hacmi 830 L/ha olarak belirlenmiştir.

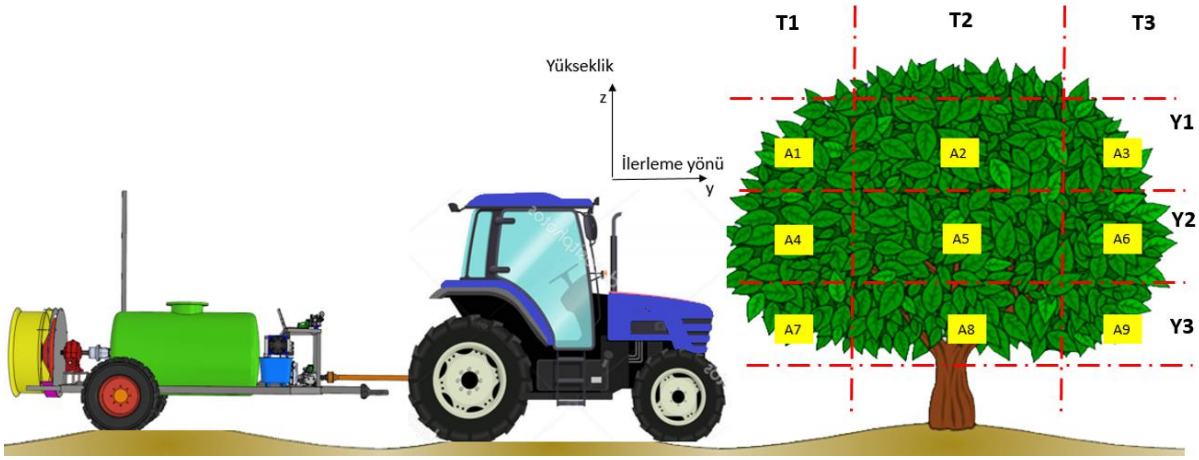
Çizelge 3.6. Tasarlanan makinenin bahçelerde püskürtme sıvısı ve hava uygulama şekli

Pülverizatör İşletme koşulları	Fan Dönüş Hızı (dev/dak)	Kanat Açısı(°)	Fan hava akımı Sistemi	Püskürtme Sistemi	Püskürtme basıncı (kPa)
G1	1680	15	Tam Açık	Tam Açık	1000
G2	1680	30	Tam Açık	Tam Açık	1000
G3	1680	45	Tam Açık	Tam Açık	1000
G4	2160	15	Tam Açık	Tam Açık	1000
G5	2160	30	Tam Açık	Tam Açık	1000
G6	2160	45	Tam Açık	Tam Açık	1000
VR7	Değişken	45	Değişken Oranlı	Değişken Oranlı	1000

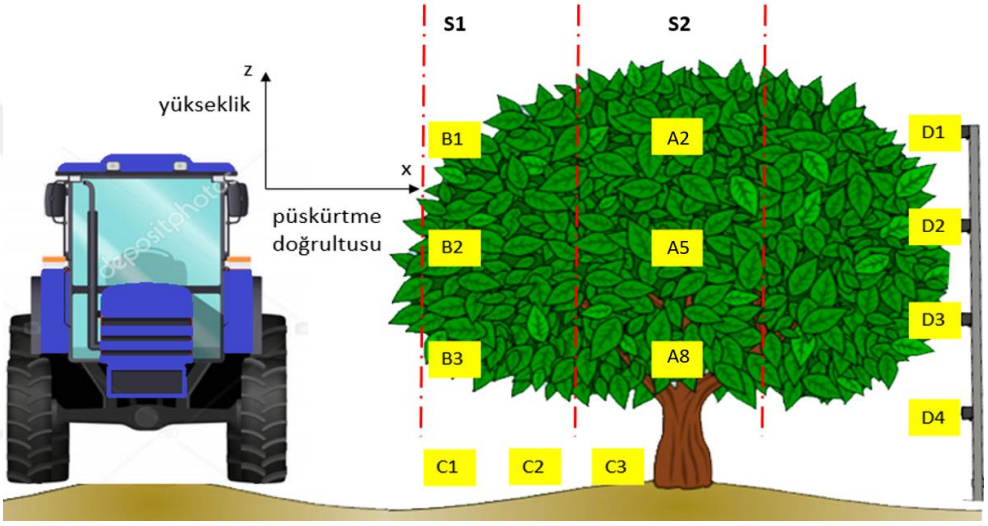
*:G1,2,3,4,5 ve 6: fanın geleneksel işletilmesi koşulunu, VR7 ise değişken oranlı fan koşulunu göstermektedir.

Bahçe denemelerinde belirtilen işletme koşullarında ağaç tacı üzerinde seçilen yükseklik ve bölgelerde tutunan birikinti miktarı (depozit) ve kaplama oranlarının yanı sıra ağaç üzerinde tutunamayıp veya doğrudan yere akan ilaç kayıpları (ground deposition) ve ağaç tacı dışına sürüklenen kayıplar (airborn drift) ayrı ayrı belirlenmiştir. Denemelerde gerçek ilaç yerine iz maddesi birikintisi ve ilaç kayıplarını belirlemek için içerisinde %0,1 Brilliant Sulfo Flavin (BSF) çözeltisi hedef yüzeylere püskürtülmüştür. Ağaç üzerinde örnekleme yerlerinin belirlenmesinde Zhu ve ark., (2008)'de kullandığı yöntem ile Chen ve ark. (2013)'te kullandığı yöntem kullanılmıştır. Yer kayıpları ve havada asılı kalan damlaların oluşturduğu kayıplarda ise; Cross ve ark. (2001) ile Salyani ve ark. (2008)'in kullandığı yöntem ile aynıdır. Seçilen hedeflerdeki kaplama miktarını belirlemek için filtre kağıtları ve kaplama oranını belirlemek için suya duyarlı kartlar kullanılmıştır. Şekil 3.37a'da görüldüğü üzere ağacın gövdesinin bulunduğu eksen 9 bölgeye (A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9) ayrılmış ve ağacın orta tacına gelen ilacın kaplama oranı (suya duyarlı kartlar ile) ve iz maddesi birikintisi miktarları (filtre kâğıtları ile) belirlenmiştir. Doğrudan bu bölgelerde ölçülen sonuçlarda değerlendirilmemiş, bu veriler püskürtme doğrultusu, ilerleme doğrultusu ve yükseklik boyunca verileri belirleyecek şekilde karşılaştırmalar yapılmıştır. Yatay boyunca karşılaştırma Y1, Y2 ve Y3 bölgelerindeki iz maddesi birikintisi ve kaplama değerlerinden elde edilmiştir. Şekil 3.39a'da görüleceği üzere A1, A2 ve A3 bölgelerinden alınan verilerin tamamı Y1; A4, A5 ve A6 bölgelerinden alınan verilerin tamamı Y2; A7, A8 ve A9 bölgelerinden alınan verilerin tamamı ise Y3 olarak kabul edilmiştir. İlerleme doğrultusu boyunca T1, T2 ve T3 bölgelerindeki iz maddesi birikintisi verileri karşılaştırılmıştır. İlerleme doğrultusu boyunca iz birikintisi ve kaplama değerleri düşey boyunca alınmış olup A1, A4 ve A7 bölgelerinden alınan veriler T1; A2, A5 ve A8 bölgelerinden alınan veriler T2; A3, A6 ve A9 bölgelerinden alınan veriler de T3 olarak isimlendirilmiştir. Püskürtme derinliği boyunca elde edilen iz birikintisi ve kaplama verilerinin karşılaştırmaları ise S1 ve S2 değerlerinin karşılaştırılması ile yapılmıştır. Sonuçlar sunulurken, püskürtme derinliği boyunca iz maddesi birikintisi ve kaplama etkinliği ortaya konurken B1, B2, B3

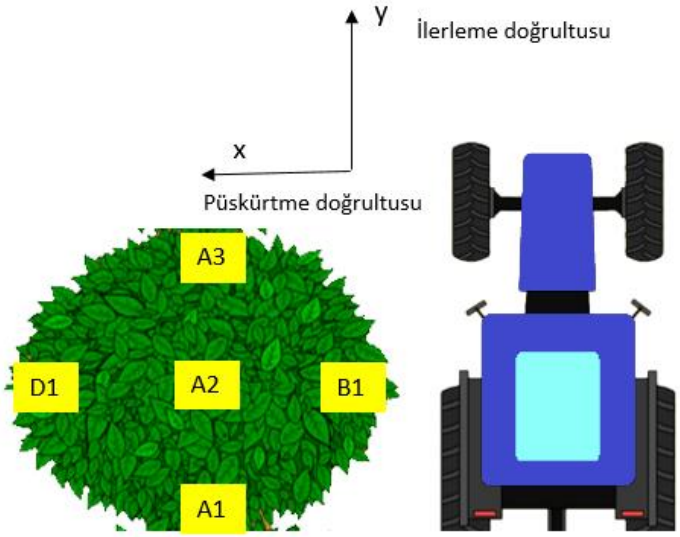
bölgeleri S1 (ağacın dışı) düşeyi, bu düşeyin hemen arkasında ve ağacın orta kısmında yer alan A2, A5 ve A8 bölgelerinin oluşturduğu düşey ise S2 (ağacın içi) olarak anılmıştır (Şekil 3.37b). B1, B2 ve B3 bölgeleri ile bir düşey bölge oluşturulmuş ve bu bölgeye S1 adı verilmiştir. Ağacın ortasında bulunan A2, A5 ve A8 bölgelerinin oluşturduğu düşey bölgeye da S2 düşeyi ismi verilmiştir. İz maddesi birikintisi ve kaplama değerleri karşılaştırılırken, yükseklik boyunca üst üste satırlardan Y1 A1, A2 ve A3 verilerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. İlerleme doğrultusu boyunca ardışık düşeylerden T1 A1, A4 ve A7 verilerinin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Benzer şekilde püskürtme derinliği boyunca S1 hesaplanırken de B1, B2 ve B3 verilerinin ortalamaları hesaplanarak iz birikintisi ve kaplama değerleri bulunmuştur. İlaçlama işlemleri sırasında, sürüklenme miktarlarını ölçmek için de ağaç kökünden makineye doğru 30 cm aralıklarla 3 bölgede yere ulaşan kayıplar (endodrift) iz maddesi birikintisi olarak ölçülmüştür. Bu bölgedeki filtre kağıtlarına C1, C2, C3 kod isimleri verilmiştir. Ağaç dış tacından 1 m ötede havada asılı kalan (exodrift) ve hedefe ulaşmayan damlaların iz maddesi birikintisi miktarları da ölçülmüştür. Bir direğin üzerinde 4 farklı yükseklikten 1'er metre ara ile filtre kağıtları yerleştirilmiş ve filtre kağıdı tutturulan bölgelere D1, D2, D3 ve D4 isimleri verilmiştir. Denemelerde A grubu olarak alınan örneklerin tamamı ağacın tam ortası ve hizasından alınmıştır (Şekil 3.37c).



a



b



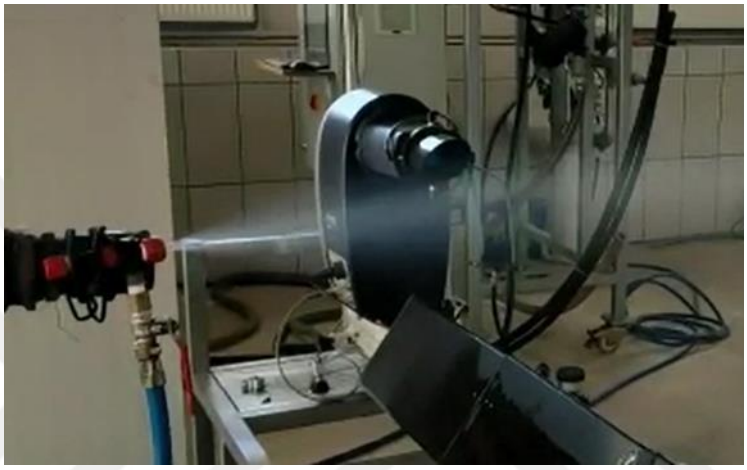
c

Şekil 3.36. Bahçe denemelerinde kaplama ve iz maddesi birikintisi ölçümü ile sürüklenme ölçümüne ait örnekleme yöntemi.

3.2.6. Denemelerde Yapılan Diğer Ölçümler Ölçümler

Damla Çapı Ölçümü

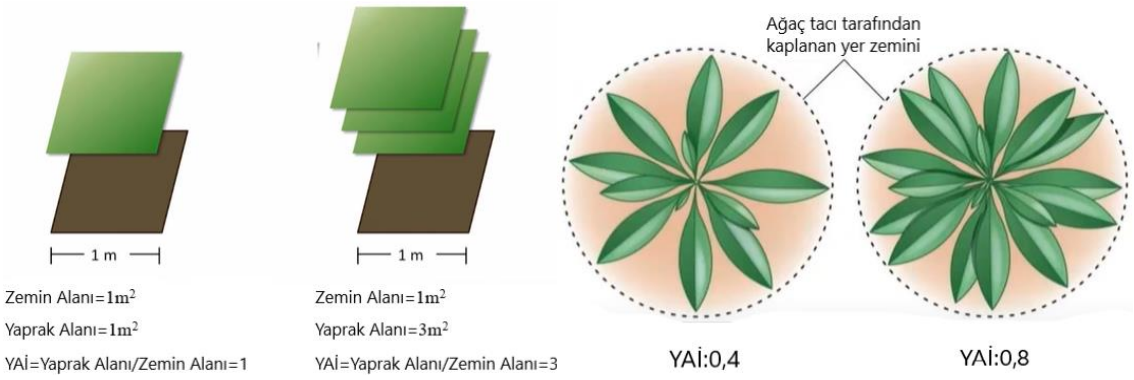
Damla çapı ölçümleri Malvern STP5399 (Malvern, UK) marka cihaz ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.38). Bu cihazda bir başlıktan lazer ışını gönderilmekte, diğer başlıktan ise bir optik encoder ile gelen lazerin ne kadarının kırıldığı göz önüne alınarak damla çapları ölçülmektedir. Denemelerde, Tarım Garaj marka (1.2 mm plaket çaplı) memeler ile 9 farklı basınçta, 3 tekerrürlü olarak damla çapları ölçülmüştür. Denemelerde lazer demetlerinin 60 s boyunca püskürtme deseninin orta bölümündeki damla çaplarını taraması sağlanmıştır.



Şekil 3.37. Tarım Garaj marka (1.2 mm plaket çaplı) püskürtme memelerinin damla çapı ölçümü.

Yaprak Alan İndeksinin Ölçümü

Yaprak Alan İndeksi (YAİ), bitki örtüsüne ait yaprak yüzeyinin aynı bitkinin kapladığı toprak yüzey alanına oranı olarak bilinmektedir (Şekil 3.39a). Yaprak Alan İndeksi, bitki topluluklarının bulunduğu büyük alanlarda yaprak yoğunluğunu vurgulamanın bir nicelikli ifadesidir. Yaprak Alan İndeksi, fotosentez yapan aktif yüzeyi, verim tahminini, bitkinin terleme yüzey alanını, biokütle miktarını, bitkinin içerisinde bulunduğu fenolojik ve vejetatif dönemini, ağacın içerisine girebilen ışık miktarını, gölgelenme miktarını ve ağaç taç yapısını belirlemekte kullanılmaktadır. Yaprak katmanlarının üst üste çokluğu, yaprakların oryantasyonu, ölçüm yapılan bölgenin iklim ve toprak koşullarına bağlı olarak Yaprak Alan İndeksini arttırmaktadır (Chen ve ark., 1995) (Şekil 3.39b).

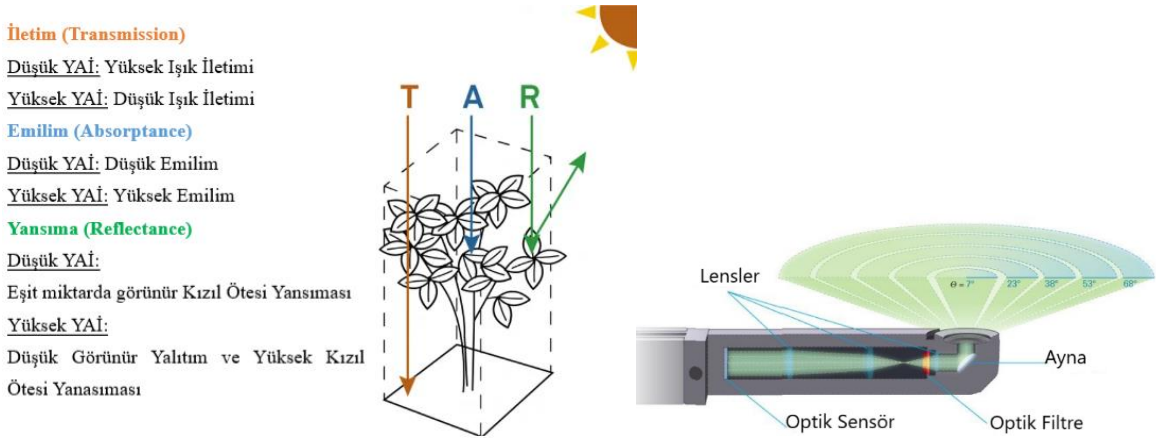


a b

Şekil 3.38. Yaprak Alan İndeksinin hesaplama yöntemi (a) ve Yaprak Alan İndeksinin görünüşteki farklılıkları (b).

Geleneksel yöntem ile Yaprak Alan İndeksinin hesaplanmasında ağacın alt bölgesinden $1m^2$'lik bir alan belirlenmektedir. Ağacın bu alan üzerindeki iz düşümünün tamamında bulunan yapraklar tek tek toplanmakta ve her bir yaprak yüzey alanı hesaba katılarak $1m^2$ zemin üzerine gelen toplam yaprak yüzey alanı belirlenmektedir. Ancak bu yöntem tahribatlı olmasının yanında meşakkatli, zaman alan ve işçiliği fazla olan bir işlemdir. (Jonckheere ve ark., 2004).

Güneşten radyasyon ile yayılan güneş ışınları ağaç tacı ile buluştuğunda 3 farklı durum gözlemlenir. Bunlar; İletim (Tranmission), Emilim (Absorptance), Yansıma (Reflectance) olarak adlandırılmaktadır (Şekil 3.40a) (Campbell, 2024). İletim tüm ağaç tacını yararak ilerler, emilim ağaç tacı tarafından emilir ve burada enerjiye dönüşen fotonlar fotosentez ile bitkinin biokütlesinin artmasına yardımcı olur. Yansıyan ışınlar ise ağacın tacından yansıyan ışınlardır ve gözümüze ağacın görünmesini sağlamaktadırlar. Bu unsurlardan iletim ve yansımayı ölçmek mümkün olup, emilimdeki radyasyon doğrudan fotosenteze dönüştüğünden ölçülemez. Bu çalışmada yaprak alan indeksi ölçümlerinde Li-COR 2000 cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ile ölçüm yaparken boşluk kesri yöntemi (Gap Fraction Method) ile ağacın boşluklu yapısına bağlı güneş ışınlarının geliş pozisyonları güneşin yörüngesine göre 5 farklı açı ile bölünemektedir (Şekil 3.40b). Gelen ışınların yaprak katmanlarına ne oranda gölgelenme sağladığı ortaya çıkarılabilmektedir. Güneş ışınlarının yaprak katmanları tarafından gölgelenmesi ile oluşan blokaj ile YAİ ölçülebilmektedir (Anonim, 1992). Ayrıca güneşin ölçüm yapılan gün içerisindeki konumu, bulutluluğu da göz önüne alınmaktadır.



a b

Şekil 3.39. Ağaç tacına etkiyen güneş ışınlarının durumu (a) ve Lİ-COR 2000'in çalışma şekli (b).

Li-COR 2000 isimli cihazın kullanımının bir gereği olarak denemeler yapılırken havanın hafif bulutlu olması ve saat 11.00 ile 14.00 arasında (güneşin tepe konumuna yakın bölgelerde) olması durumu göz önüne alınarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümler esnasında her bir bahçede, 5 farklı ağaç için öncelikli olarak açık alandaki ışınım miktarı ölçülmüş, daha sonra da dört tekerrür ile ağacın etek kısmının altından 4 farklı pozisyonda ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.41).



Şekil 3.40. Ağaç Tacının alt etek kısmında gerçekleştirilen YAİ ölçümleri.

Ağaç Başına Uygulama Hacminin Ölçülmesi

Çalışmada, bahçe pülverizatörünün değişken oranlı ilaç+hava uygulayan sistemi ile geleneksel çalışma sisteminin ilaçlama işlemleri esnasında ilaç tüketimi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. İlaç tüketiminin belirlenmesi için tüm memelerin başlarına balonlar geçirilmiş

(Şekil 3.42) ve 3 ağaç boyunca ilerlemeleri sağlanmıştır. Böylece değişken oranlı ilaç uygulamada ağaç tacını görerek bir karar verme mekanizmasından ne kadar ilaç püskürtüleceği belirlenmiş ve buna göre sistemin kesiksiz ilaçlamaya göre uygulama hacminde sağladığı tasarruf belirlenmiştir.



Şekil 3.41. Bahçe Denemelerinde her bir memeden püskürtülen ilaç miktarının ölçülmesi

Bahçe denemelerinde, her bahçe için ayrı ayrı olmak üzere değişken oranlı uygulama ile elde edilen ilaç tüketim değerleri, kesiksiz ilaç tüketim değerleri ile karşılaştırılarak ilaç tasarrufu değeri (%) ortaya konulmuştur. Bunun için şu şekilde bir eşitlik kullanılmıştır.

$$\text{İ}TD = \frac{DO\text{İ}T - K\text{İ}T}{K\text{İ}T} \tag{3.5}$$

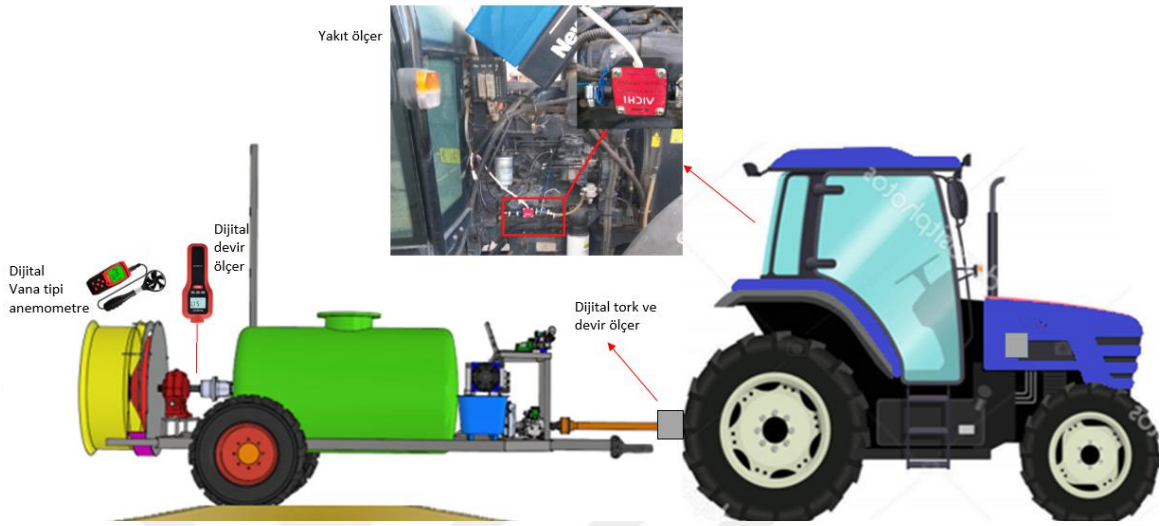
Eşitlik 3.5'te; *DOİT* değişken oranlı ilaç uygulamadaki ilaç tüketimini (mL), *KİT* Kesiksiz ilaç uygulamadaki ilaç tüketimini (mL), *İTD* ise ilaç tasarruf değerini (%) göstermektedir.

Laboratuvar ve Bahçede Enerji Tüketim Değerlerinin Belirlenmesi

Laboratuvarda Enerji Tüketim Etüdü

Hidrolik sistemin bahçe pülverizatörüyle olan ilişkisi belirlendikten sonra yakıt tüketimi tork ölçümü ve hidromotorun üzerinden devir ölçümü gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, 2,75V-5,25V arasında çalışan sistem için tork ve devir ölçümü bir torkmetre ile PTO ile kardan mili arasından gerçekleştirilmiştir. Ayrıca hidromotor milinin devri de dijital bir takometre ile ölçülmüştür. Traktörün motor enjektör girişine ve yakıt deposu dönüşüne takılan 2 adet debimetrenin farkı ile anlık ve toplam yakıt tüketimi de ölçülmüştür (Şekil 3.43). Böylece değişken oranlı hava ve ilaç uygulama esnasında ve laboratuvar ortamında yakıt tüketimi ve tork da ölçülmüştür. Laboratuvar ortamında makinenin gerilim-ortalama hız ilişkisi kurulurken ayrıca ilgili voltajda hidrolik ünitedeki

basınç değeri (bar), fan devri (dev/dak), tork (Nm), yakıt tüketimi (L/h) de ölçülmüştür. Ancak bu veriler traktör sabit iken 3 tekerrürlü olarak yapılmış olup, denemeler esnasında traktörün gaz ibresi 540E üzerindeyken, kanat açısı 45 ° ve transmisyon oranı 1:4,5 olacak şekilde denemeler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.42. Laboratuvar koşullarında, gerçekleştirilen ölçümler.

Bahçe denemelerinde, her bahçe için ayrı ayrı olmak üzere değişken oranlı uygulama ile elde edilen yakıt tüketim değerleri, kesiksiz yakıt tüketim değerleri ile karşılaştırılarak yakıt tasarrufu değeri (%) ortaya konulmuştur. Hesaplama için şu kullanılmıştır:

$$YTD = \frac{DOYT - KYT}{KYT} \tag{3.6}$$

Eşitlik 3.6'da; DOYT değişken oranlı ilaç uygulamadaki yakıt tüketimini (mL), KYT kesiksiz ilaç uygulamadaki yakıt tüketimini (mL), YTD ise yakıt tasarruf değerini (%) göstermektedir.

Denemelerde fan gücü hesaplanırken, aşağıdaki formül kullanılmıştır (Çengel ve Cimbala, 2004):

$$N_{fan} = \dot{m}\left(k\frac{V^2}{2}\right) \tag{3.7}$$

Burada $\dot{m}$ havanın kütlesel debisini (kg/s), kinetik enerji düzeltme faktörünü (k=1.1), V ise hava hızı (m/s), N_{fan} da fanın gücü (kW) olarak ifade edilmiştir. Bu veriler ortalama hava hızı göz önüne alınarak hesaplanmıştır.

Kuyruk milinden ölçülen devir ve tork değerleri ile kuyruk mili gücü hesaplanmıştır (Erzurumlu, 2018);

$$N_{PTO} = \frac{M_d n}{9550} \quad (3.8)$$

Eşitlikte M_d Tork değerini (Nm), n ise devir sayısını (dev/dak) ve N_{PTO} ise kuyruk mili gücünü (kW) ifade etmektedir.

Traktörün demeler esnasında tükettiği yakıta bağlı olarak motorunda üretilen toplam yakıt gücü aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Erzurumlu, 2018):

$$N_F = \frac{BxH}{3600} \quad (3.9)$$

Yakıt gücü hesaplanırken B saatlik yakıt tüketimi (kg/h), H yakıtın özgül enerjisini (kg/kJ) ve NF ise yakıt gücünü (kW) göstermektedir.

Fan verimi ve sistem verimi bahçe pülverizatörünün işletilmesi esnasındaki işlemin başarısını görebilmek açısından önemlidir. Fan verimi ve sistem verimi sırasıyla şu şekilde hesaplanmaktadır (İtmeç ve Bayat2021):

$$\eta_{PTO} = \frac{N_{fan}}{N_{PTO}} \quad (3.10)$$

ve

$$\eta_{sis} = \frac{N_{fan}}{N_F} \quad (3.11)$$

Burada, η_{PTO} ve η_{sis} ile yapılan işletme koşullarının ne derece yüksek verimle gerçekleştirildiğini gözlemlemek için hesaplanmıştır. Böylece değişken oranlı hava akımı uygulayan sistemin az yakıt tüketerek çok iş yapılıp yapılmadığı, diğer bir deyişle değişken oranlı uygulamanın enerji tüketimi açısından ne derece başarılı olduğu ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Yukarıda bahsedilen veriler, laboratuvar ortamında makine sabit iken gerçekleştirilen ölçümlerden elde edilen verilerle hesaplanan verilerdir. Bunun yanında, bahçe pülverizatörünün değişken oranlı ilaç ve hava uygulayan sistemi ile geleneksel çalışma sistemi bahçe denemelerinde, püskürtme sıvısı uygulandığı esnada (dinamik ölçüm) yakıt tüketimi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Geleneksel çalışma sistemi ve değişken oranlı ilaç ve hava uygulayan sistemin yakıt tüketiminin karşılaştırılması, traktörün gaz ibresi 540E üzerindeyken, kanat açısı 45 ° ve transmisyon oranı 1:4,5 olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

3.2.7. Denemelerde Alınan Verilerin Değerlendirilmesi

Spektroflorometre ile hedef yüzeyler üzerindeki birikinti miktarının ölçülmesi

Ağaç tacında daha önceden belirlenen bölgelere, suya duyarlı kartlar ile yan yana filtre kâğıtları da yaprak yüzeyine tutturulmuştur. Filtre kâğıdının temel kullanım amacı, püskürtme sıvısı uygulama esnasındaki yaprak yüzeyinde oluşan iz maddesi birikintisi miktarını ölçebilmektir. Denemelerde dairesel (42.5 mm çapında), WHATMAN (4) marka filtre kâğıdı kullanılmıştır. Denemelerde, kaplama miktarını ölçebilmek için ağacın muhtelif bölgelerine suya duyarlı kartlar tutturulmuştur. Bu kartların özelliği, su damlaları üzerine geldiğinde rengi sarıdan maviye dönmektedir (Şekil 3.44). Denemelerde, SYNGENTA marka (26x76mm) suya duyarlı kartlar tercih edilmiştir. Uygulanan püskürtme sıvısının iz maddesi birikintisi miktarını ölçmek amacıyla, 1 g/L çözelti hazırlanmıştır. Denemelerde kullanılan BrilliantSulfoFlavin (BSF) WALDECK marka, olup UV ışını altında floroşıl özellik göstermektedir (Şekil 3.45). Bu karışım, bahçe pülverizatörünün 1000L tankına doldurulup bahçe denemelerinde kullanılmıştır.



Şekil 3.43. Belirlenen bölgelere yerleştirilen suya duyarlı kartlar ve filtre kağıtları



Şekil 3.44. Üzerinde fluoroşıl madde bulunan yaprağın gün ışığı ve UV ışığı altındaki görünümü.

Deneylerde ağaç üzerine yerleştirilen suya duyarlı kartların değerlendirilmesi için mektup zarfları kullanılmıştır. Bu kartlar iyice kuruduktan sonra zarfa konulmuştur böylece üzerindeki lekenin dağılması engellenmiştir. Ayrıca filtre kâğıtlarının değerlendirilmesi için 250 mL hacimde kavanozlar tercih edilmiştir (3.46). Kavanozların içerisine MERCK Marka %99 saflık derecesinde methanol konulmuştur. Methanol(%33)+Saf Su (%67) karışımı 100mL eklenerek 5 dakika bir

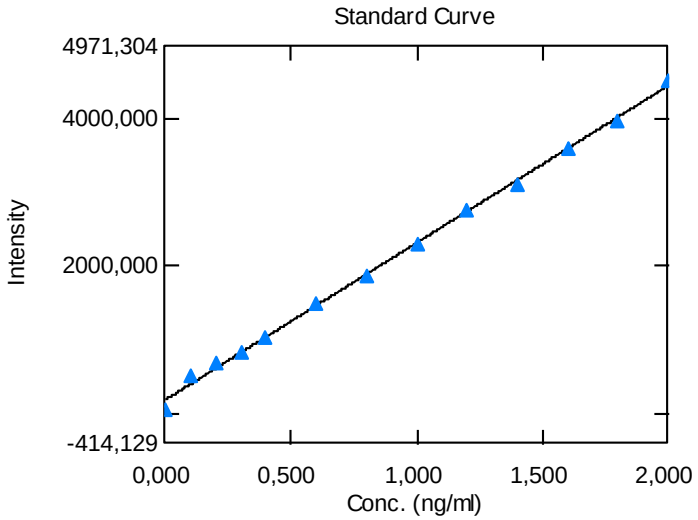
çalkalayıcı ile çalkalanmış, filtre kâğıdı üzerindeki iz maddesi birikintisi gıda boyasının (BSF) kavanoz içindeki çözücü sıvıya geçmesi sağlanmıştır. Bahçe denemelerinde elde edilen filtre kâğıtlarının su ve methanol çözeltisinde iyi çözünebilmesi için Nüve marka SL 350 model çalkalama cihazı tercih edilmiştir.

Deneylerde ağaç üzerine yerleştirilen suya duyarlı kartların değerlendirilmesi için mektup zarfları kullanılmıştır. Bu kartlar iyice kuruduktan sonra zarfa konulmuştur böylece üzerindeki mürekkebin akması engellenmiştir. Ayrıca filtre kağıtlarının değerlendirilmesi için 250 mL hacimde kavanozlar tercih edilmiştir (Şekil 3.46).



Şekil 3.45. Bahçe denemelerinde elde edilen suya duyarlı kartların zarflara ve filtre kâğıtlarının kavanozlara koyulup muhafaza edilmesi.

Bahçe denemelerinde elde edilen iz maddesi birikintisi birikmiş filtre kâğıtlarının saf su-methanol karışımında çözdürüldükten sonra, sıvı içerisindeki iz maddesi birikintisi materyal Shimadzu RF 6600 ile ölçülmüştür. Cihazda BSF iz maddesi extension filtresi için 460 nm, emisyon filtresi için de 500 nm dalga boyları kullanılmıştır (Şekil 3.47). Cihaza derişimleri bilinen ve konsantrasyonlarda BSF çözeltileri hazırlanmış, daha sonra cihazın bu verileri okuması sağlanmıştır. Böylece, cihazın BSF materyalinin farklı bilinen derişimlerdeki floroşıllığı ile kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur. Böylece derişim oranı bilinmeyen bir sıvı cihaza sunulduğunda cihaz daha önce kalibre edildiği için, sıvının derişimini hesaplayabilmiştir.



Şekil 3.46. Cihaz tarafından oluşturulan Işınım Şiddeti-Konsantrasyon (ng/ml) grafiği.

Cihazda okunan veriler daha sonra aşağıdaki formül yardımıyla birim alana gelen iz maddesi birikintisi miktarı hesaplanmaktadır (Bayat,1991):

$$f_x = \frac{m.V_L}{A} \tag{3.12}$$

f_x: Duyarlılık basamağına bağlı olarak florometrik katsayı (µg/cm^2)

m: Konsantrasyon faktörü (mg/ml)

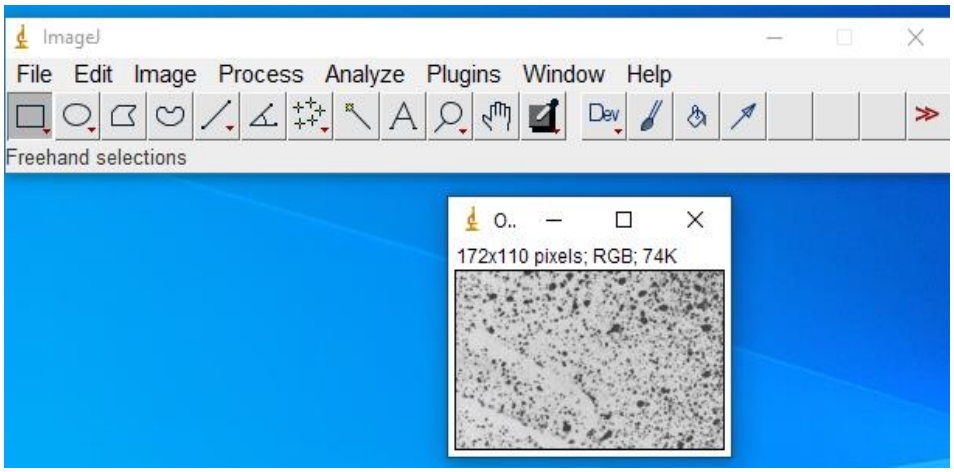
V_L: Filtre kâğıdı üzerindeki iz maddesini yıkamak için kullanılan saf su miktarı (ml)

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

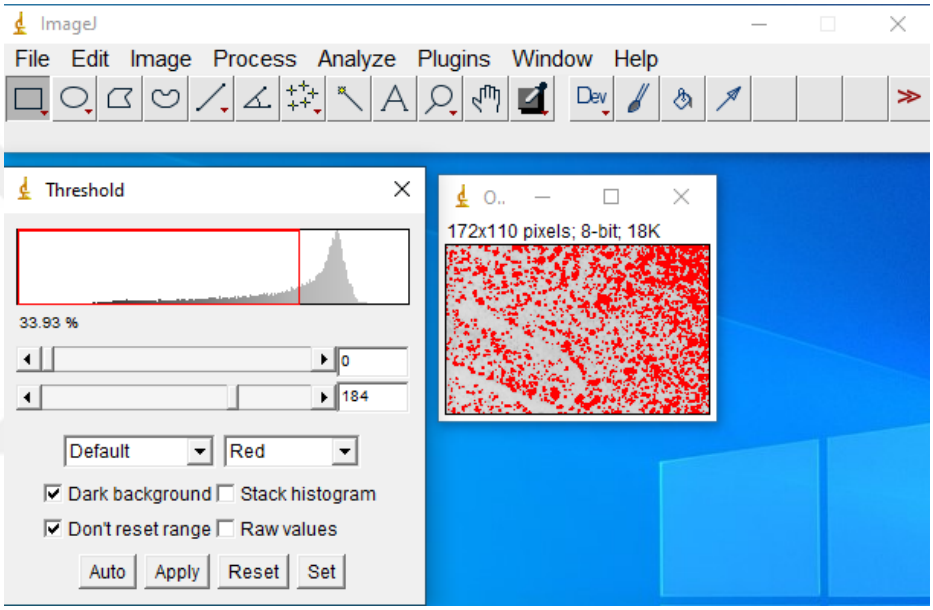
Konsantrasyon kat sayısı duyarlılığa göre değişkenlik göstermektedir. Bu dönüşüm sayesinde birim alandaki iz maddesi birikintisi miktarı ortaya çıkmıştır.

Görüntü işleme programıyla kaplama oranlarının belirlenmesi

Suya duyarlı kartların üzerindeki kaplama yüzdesi, ImageJ isimli programla belirlenmiştir. Suya duyarlı kartlar öncelikle yüksek çözünürlük oranı 600 dpi ve tarama rengi gri olarak tarayıcı ile taranmış daha sora bu resimlerin alındığı bölge, tekerrürü ve hangi ağaç üzerinden alındığı bilgisi dahilinde isimlendirilmiştir. Her bir suya duyarlı kart öncelikle ImageJ isimli görüntü işleme programında açılmıştır. Ana menü açık iken her taranan resim programın üzerine sürüklenerek bırakılmıştır (Şekil 3.45a). Daha sonra Image sekmesi Type butonuna basılarak resim kalitesinin 8 bit olması sağlanmıştır. Bu işlemin sonunda yine Image başlığında Adjust menüsünden Threshold değeri seçilerek eldeki resmin eşik değeri belirlenmiştir. Daha sonra da ilgili suya duyarlı kartların kaplama yüzdesi program tarafından hesap edilmiştir (Şekil 3.45b).



a



b

Şekil 3.47. ImageJ ile suya duyarlı kart yüzeylerindeki kaplama oranlarının belirlenmesi

Zhu ve ark. (2008) kaplama yüzdesinin belirlenmesi neticesinde % kaplama miktarının %30 üzerinde olmasını yüksek oranda ilaçlama olarak değerlendirmiş ve kaliteli bir kaplama olmadığını ifade etmişlerdir. Bazı araştırmacılar özellikle kontak etkili ilaçlarda bu oranın daha yüksek değerde olması gerektiğini ifade etmektedirler (Fessler ve ark., 2022). Ancak suya duyarlı kart üretici firması insektisit uygulamalarında 20-30 damla/cm^2 ve fungisit uygulamalarında 50-70 damla/cm^2 uygulamanın iyi bir kaplama gerçekleştiriebileceğini ifade etmiştir (Syngenta, 2004). Buna karşın, birim alandaki damla miktarının 20-30 damla/cm^2 olması durumunda, kaplamanın %30'a tekâmül edeceği de bazı araştırmacılarca ifade edilmiştir (Grella ve ark. 2022). Bu çalışmada da suya duyarlı kartlar üzerinde ölçülen kaplama değerlerin % 30 dan büyük olması aşarı kaplam olarak ele alınmış ve Chen ve ark. (2013) tarafında kullanılan Eşitlik 3.6 yardımıyla karşılaştırmalarda kullanılmak üzere kaplama indeksi (I_o) değeri hesaplanmıştır.

$$I_o = \frac{\mathrm{C} - 30}{100 - 30} \tag{3.13}$$

I_o, 0 ile 1 arasında değişen bir değer olup,. I_o= 0 olması aşırı oranda kaplama olmadığını ifade etmekte iken bu değerin 1'e yaklaşması aşırı kaplama (yıkamaya yakın) olarak kabul edilmiştir.

Verilerin Değerlendirilmesinde Kullanılan İstatiksel Yöntemler

İstatistiksel analizler esnasında IBM SPSS 20 (Armonk, NY: IBM Corp.) paket programı kullanılmıştır. İstatistiksel karşılaştırmalar için üç yönlü varyans analizi (3-way ANOVA) kullanılmıştır, bu yöntem ile üç bağımsız değişkenin bir bağımlı değişkeni nasıl etkilediği test edilmiştir. Üç bağımsız değişkenin sadece kendilerine ait anlamlılık düzeyleri (ana etkileri-main effects), kendi aralarında oluşturdukları ikili grupların etkileşim (interaksiyon) etkileri ve tüm grupların bulunduğu üçlü interaksiyon etkileri belirlenmiştir. Birden fazla grup arasında fark olup olmadığını test etmek için ANOVA kullanıldıktan sonra, hangi gruplar arasında fark olduğunu belirlemek için post-hoc testler kullanılmıştır. Bu sebeple Sıralı Bonferroni düzeltmeli ikili karşılaştırmalar İz maddesi birikintisi, Kaplama ve Hava hızlarının istatistiksel karşılaştırılmasında ve analizinde uygulanmıştır. Denemelerde hava hızı karşılaştırılması yapılırken ağaç türü ve işletme koşulları (G1, G2 vb.) bağımsız değişken, ölçülen hava hızı ise bağımlı değişkendir. Püskürtme sıvısıyla yapılan denemelerde; ağaç türü, uygulama yöntemi, örneklemin alındığı yer (yükseklik, derinlik, ilerleme doğrultusu boyunca ki pozisyonları) bağımsız değişkenler, iz maddesi birikintisi ve kaplama verileri ise bağımlı değişkenlerdir. Tukey HSD Testi ile de gruplar arasındaki farklar ortaya konulmuştur. Tüm istatistiksel testlerde $p<0,05$ olan durumlar anlamlı kabul edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Bilgisayar Programında Hesaplanan Çıktıların Doğruluğunun Değerlendirilmesi

4.1.1. Laboratuvar Ortamında Lazer Sensör ile Gerçekleştirilen Ölçümlerinin Doğrulanma Verileri

Denemelerde, farklı iki yüzeyde (ahşap yüzey ve süs bitkisinin yaprak yüzeyi) lazer sensör arasındaki mesafe (LS) lazer sensör ile ölçülüp sonuçlar, ölçüm yüzeyi ile lazer sensörün arasındaki mesafenin şerit metre (M1) ölçümü ile kıyaslanmıştır. Hedef yüzeylerde ölçümler yakın, orta ve uzak konumlardan gerçekleştirilmiştir. Hem ahşap yüzeyde, hem de süs biktisinde bilgisayar ile yapılan ölçümler ile şerit metre ile gerçekleştirilen ölçümler arasında ± %1'den az farklılık olduğu görülmüştür (Çizelge 4.1). Lazer sensör DT50'nin kullanım kılavuzunda, 2,5 m üzeri ölçümlerde bu değerin kirli ve loş ortamda ± %2,5 fark edebileceği ifade edilmiştir (Anonim, 2024). Buna göre lazer sensörlerin çalışma için elverişli durumda dolduğu ortaya çıkmıştır.

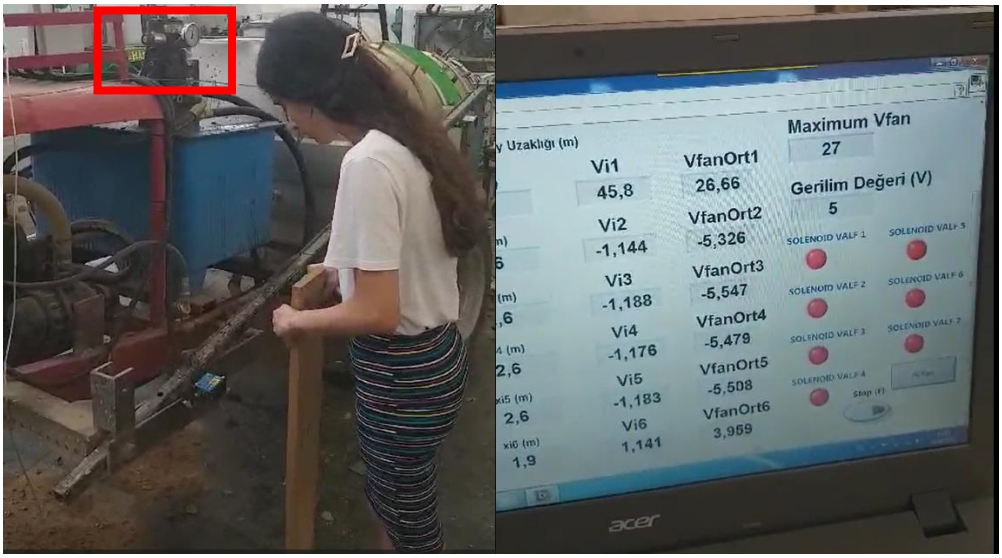
Çizelge 4.1. Farklı yüzeylerde gerçekleştirilen Lazer sensör ölçüm değerlerinin el ile (şerit metre) ölçüm değerleri ile karşılaştırılması.

		Ölçüm 1 (cm)		Ölçüm 2 (cm)		Ölçüm 3 (cm)		Ölçüm 4 (cm)		Ölçüm 5 (cm)		Ölçüm 6 (cm)	
Yüzey Tipi	Tekerrür	LS1	M1	LS2	M2	LS3	M3	LS4	M4	LS5	M5	LS6	M6
Ahşap	Yakın	63,4	62	54	53,1	48,2	48,6	57,4	58,9	35,2	36,5	42,8	43,7
	Uzak	126	127,8	132,4	133	118,2	117,6	131,2	133,2	114,6	112	167,4	168,6
	Orta	202,6	201,3	194,2	193,3	211,4	210,3	240,4	241,9	224,9	223,7	191,4	192,3
Yaprak	Yakın	48,3	49,2	63,6	64,1	61,9	62,6	64,3	66	59,3	58,6	54,7	53,3
	Uzak	163,2	162	154,6	156,1	144,7	143,2	151,3	150,4	120,6	121,4	131,4	135,2
	Orta	220	221,6	214,3	212,6	200,6	201,1	239,8	241.3	190,6	192,1	181,6	183,2

4.1.2. Değişken Oranlı Hava Akımı Uygulayan Sistemin Doğrulama Testlerinin Sonuçları

Bahçe denemeleri öncesinde, hava uygulayan sistemin tetiklenme sisteminin cevap verme durumu da kontrol edilmiştir. Ön demelerde, ahşap levhalar sensörlere yakınlaştırıldığında, yazılımdaki gerilim değerinin arttığı, bunun yanında valf bloğunun üzerindeki yağ basınç göstergesindeki (manometre) basıncın da arttığı görülmüştür (Şekil 4.1a). Programın yazılımında, eş zamanlı olarak birden fazla sensör ile alınan veriler ile ağaca gönderilmesi gereken 6 farklı hava hızı belirlenmiş bunlardan en büyüğü de gerilim değerine dönüştürülerek oransal valfin selenoidine gönderilmiştir. Sensörlerin önüne birden fazla ahşap levha konulduğunda en yakındaki ahşap levha ile sensör arasındaki mesafeye göre ağaç tacına gönderilecek hava hızı belirlenmiştir. Ahşap levha, lazer sensörlere yakınlaştırıldığında hava hızı anlık tepkiler göstererek fan devrini hesaplanan ortalama hava hızını gönderebilmek için mil dönü hızını anlık yükseltebilmiştir. Ahşap levha sensöre yakınlaştırıldıkça turbo fanın ürettiği hava akımı artmış, uzaklaştırıldıkça turbo fanın ürettiği hava akımı azalmıştır. Bu durumda, ağaç taç genişliği arttığında daha fazla akım gönderildiğinden

sistemin çalışma prensibinin doğru olduğu görülmüştür. Birden fazla lazer sensöre ahşap levha yakınlaştırılıp en yakın levhaya göre de hava akımı üretildiği görülmüştür. Zaten programın içerisinde her sensörden alınan mesafe verisine bağlı olarak gönderilmesi gerekilen hava hızı büyüklüğü de ayrı ayrı görülmektedir (Şekil 4.1b). Bu sayede de en büyük hava hızının gerçekten uygulanıp uygulanmadığı ortaya çıkmıştır. Ahşap levhalar ile gerçekleştirilen deneyler, başarılı olduğundan dolayı denemelere süs bitkisi ile devam edilmiştir. Süs bitkisi sensörlere yaklaştırıldığında, sistemin aniden ilgili mesafeye göre hava hızını belirleyip gönderdiği anlık olarak görülmüştür. Bahçe pülverizatörünün, değişken oranlı hava akımı uygulayan kısmının denemelere hazır olduğu görülmüştür.



a b

Şekil 4.1. Değişken oranlı hava akımının laboratuvar ortamında ahşap levhalar ile denenmesi (a) bilgisayar programında görüntülenen ortalama hava hızları ve oransal valfe gönderilen gerilim değeri (b).

4.1.3. Değişken Oranlı Püskürtme Sıvısı Uygulayan Sistemin Doğrulama Testlerinin Sonuçları

Statik Uygulamalar

Ahşap levha ile gerçekleştirilen denemelerde püskürtme sistemine ait algoritmanın, alt orta ve üst taca bakan memelerin, lazer sensörlerin aldığı veriler sayesinde sorunsuz çalıştığı görülmüştür. Denemelerde, ahşap levhaların lazer sensörlerin önüne yaklaştırıldığı anda anlık olarak selenoid valflerin açılma sesi duyulmuştur. Süs bitkisi ile gerçekleştirilen denemelerde de, süs bitkisinin poroz bir yapısı olmasına rağmen ölçümlerin başarılı bir şekilde gerçekleşmiştir.

Dinamik Uygulamalar

Traktör ile atölyede gerçekleştirilen doğrulama testlerinde, süs bitkisinin tacını algılayan lazer sensörler hem püskürtme sistemine hem de değişken oranlı hava uygulayan sisteme bilgi göndermiştir. Dinamik denemeler, gün ışığında porozlu bir yapıya sahip olan süs bitkisi ile

gerçekleştirilmiştir. Denemeler, tüm lazer sensörler açık ve sensör direği ise iş konumunda iken gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.2). Dinamik denemelerde, eş zamanlı olarak püskürtme sisteminin ve değişken oranlı hava uygulayan sistemin aynı anda ve anlık devreye girip devreden çıktığı görülmüştür. Yazılımın sistem kararlılığı, hidrolik sistemin devreye girip çıkması, püskürtme sıvısının algoritmasının doğru çalışıp çalışmadığı böylece gözlemlenmiş olup bu sayede gerçek denemelere başlanabileceği anlaşılmıştır.



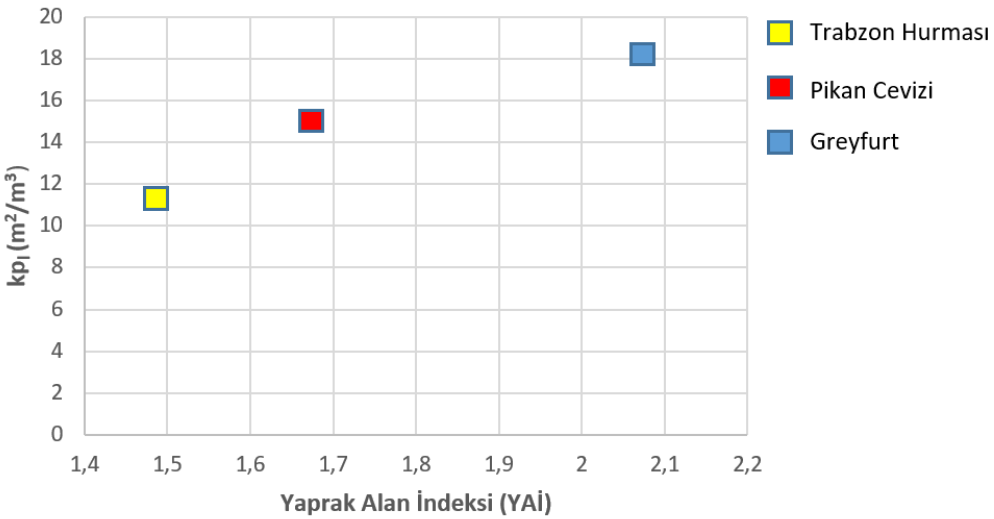
Şekil 4.2. Değişken oranlı hava ve püskürtme sıvısı uygulayan bahçe pülverizatörünün zamanlama testleri

4.2. Bahçelerde Gerçekleştirilen Hava Hızı Ölçümleri ve Adaptasyonlar

4.2.1. Farklı Bahçelerde Gerçekleştirilen Adaptasyonlar ve Yaprak Alan İndeksi Ölçümlerinin Karşılaştırılması

Püskürtme sıvısı uygulama öncesinde her ağaç türünün kp_l (m^2/m^3) değerinin belirlenebilmesi için üç farklı bahçede belirlenen 5 farklı ağaca, hava akımı gönderilmiş bu denemeler de fan kanat açısı 45º ve tahvil oranı 1:4,5 (2160 dev/dak) iken oransal valfin selenoidine 10 V gerilim değeri uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Bu sayede, ağaçlara gönderilen hava akımının büyüklüğü (35,94 m/s) bilindiğinden serbest atmosferdeki kayıplar da göz önüne alınarak, her bir ağacın içerisinde hava akımının hızının ne kadar düştüğü, ağacın dış tacında bulunan anemometreler yardımıyla belirlenmiştir. Dolayısıyla, bu veriler kullanılarak bilgisayar ortamında kp_l değerleri belirlenmiş ve daha sonra değişken oranlı uygulamalara geçilmiştir. Böylece, farklı yaprak yoğunluğuna sahip ağaç türleri için, ağaç taç geometrileri aynı olsa bile farklı miktarda hava gönderilebilen bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistemin doğru çalışmasını sağlamak için yaprak yoğunluğunun göstergesi olan Yaprak Alan İndeksi her bahçedeki ağaçların altından 4 kez ölçülmüş ve Yaprak Alan İndeksi ile bahçe denemelerinden hesaplanan kp_l arasında doğrudan bir ilişki

kurulmuştur. Araştırmada farklı ağaç türleri için hesaplanan kp_l değerleri Şekil 4.3'te verilmiştir. Buna göre yaprak yoğunluğuna bağlı kp_l değeri arttıkça, Yaprak Alan İndeksinin de arttığı görülmüştür. Bu değerlendirme neticesinde, bahçe denemelerinde Değişken Oranlı Hava Uygulama çalışması gerçekleştirilirken bilgisayar programına kp_l değeri olarak, ilgili vejetatif gelişim dönemlerinde Trabzon Hurması için 11.2, Pikan Cevizi için 14.9 ve Greyfurt için de 18.1 değeri programa girilmiştir. Frisio ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada geliştirdikleri model ile kp_l değerini şeftali, asma ve elma için sırasıyla 5.3; 12.2 ve 10.4 olarak hesaplamışlardır. Yapılan çalışmada kullanılan bağ ve bahçelerdeki kullanılan bitkiler genç olduklarından ve yaprak sıklığı az olduğundan dolayı kp_l düşük çıkmıştır. Gu ve ark. (2013) farklı Yaprak Alan İndeksine sahip 3 farklı ağaç tipinin ağaç tacını 9 farklı bölgeye ayırıp bu bölgelerden hava hızı ölçümleri gerçekleştirmiştir. Buna göre denemelerde kullanılan, ağaçların Yaprak Alan İndekslerinin 13,5 ile 1,5 arasında değiştiğini, yaprak yoğunluğu arttığında da hava geçirgenliğinin azaldığını söylemişlerdir. Özellikle ağacın orta bölgesinden gerçekleştirilen ölçümlerde hava hızının bu bölgede daha çok düştüğünü görmüşlerdir. Bunun sebebi, tacın genişlediği yerde hava hızına karşı direncin artmasındandır. Bununla birlikte Yaprak Alan İndeksi yüksek olan ağaçlarda hava hızında daha yoğun olarak düşüş gözlemlenmiştir. Grella ve ark. (2023) yaptıkları çalışmada, iyi bir yaprak yüzeyi kaplama amaçlı farklı fenelojik dönemlerinde püskürtme sıvısı ve hava akımı uygulama gerçekleştirmişlerdir. Üzüm bağlarında yapılan demelerde yaprak alan indeksi 0.5 iken 4000 m^3/ha hava gönderildiğinde, yaprak alan indeksi 1,25 olduğunda 8000 m^3/ha hava gönderildiğinde daha iyi bir yaprak yüzeyi kaplaması elde edildiği ifade edilmiştir. Bu durum, yaprak alan indeks değerinin artışının ağacı yaprak yönünden daha yoğunlaştırdığı, iyi ilaç kaplaması için de daha fazla hava akımına ihtiyaç duyulduğunun göstergesidir.



Şekil 4.3. Yaprak Alan İndeksi ve ağaca bağlı kp_l değerinin ilişkisi

4.2.2. Farklı Bahçelerde Gerçekleştirilen Hava Hızı Ölçümü Sonuçları

Ağacın dış tacından gerçekleştirilen hava hızı ölçümlerinde farklı yaprak yoğunluğundaki 3 ağaç tipi için değişken oranlı hava uygulayan sistem ile imalatçıların kullanıcıya sundukları 6 olasılığın ürettiği hava akımlarının karşılaştırılması (7 işletme koşulu) yapılmıştır. Yapılan denemelerde, her bahçeden belirlenen aynı 5 ağaç, geleneksel uygulama ve değişken oranlı hava uygulama için tekrar tekrar denemelerde tercih edilmiştir. Bunun sebebi, aynı ağaçlarda farklı hava akımlarının operasyonel olarak ne gibi farklılıklar yarattığını görmektir. Hava akımı ağacın dış tacından düşey düzlemde 4 farklı yükseklikten 1'er metre ara ile ölçülmüştür. Bahçe pülverizatörünün bahçe denemelerinde, öncelikli olarak turbo fan ünitesinden çıkan hava akımı farklı 26 bölgeden ölçülmüş daha sonra bu verilerin ortalamaları alınarak, oransal valfin selenoidine gönderilen gerilim değeri için ortalama hava hızı belirlenmişti. Böylece turbo fandan gönderilen hava hızı ortalaması alınarak tek tipe indirgendiği gibi, ağaç tacının dış tarafından farklı yüksekliklerden ölçülen hava hızının ortalaması da alınmıştır. İstatiksel değerlendirmede denemeleri yapılan 7 farklı işletme koşulunun 3 farklı bahçedeki etkileri araştırılmıştır. İki yönlü Anova ile gerçekleştirilen, istatiksel analizde farklı bahçelerdeki ağaç türlerinin ve işletme koşulları denemelerdeki veriler üzerinde, bahçede ayrı, işletme koşullarında ayrı ve bu iki bileşenin interaksiyonlarında ayrı anlamlı farklılıklar ortaya koydukları anlaşılmıştır (Çizelge 4.2). Buna göre, farklı meyve bahçelerinde, farklı hava hızı uygulamaları ile gerçekleştirilen denemelerde ağaç taçlarının dış taraflarından gerçekleştirilen ölçümlerde farklılıklar olduğu, bu durumun ağaçların yaprak yoğunluklarının farklılığı ve işletme farklılıkların yarattığı olası etkilerin istatiksel olarak $p<0,01$ önem seviyesinde mümkün olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.2. Denemelerde ölçülen hava hızlarının ağaç türü ve işletme koşullarındaki interaksiyonları.

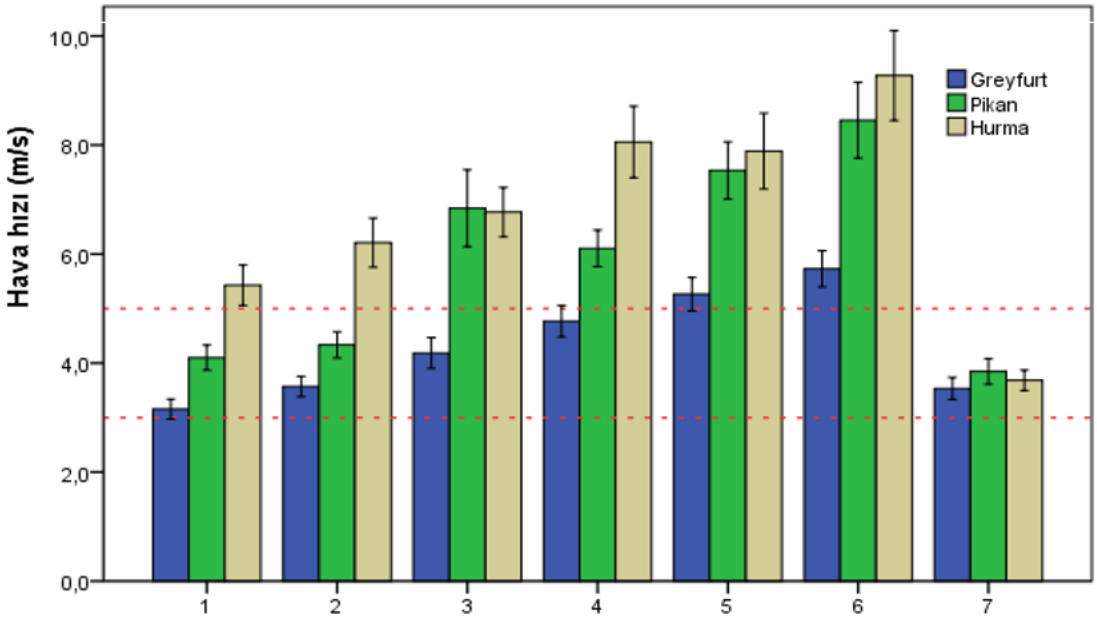
Bağımlı Değişken: Hava Hızı

Varyans Kaynağı	df	F	Sig.*
Ağaç Türü	2	53,5	0
İşletme koşulu	6	33,761	0
Ağaç Türü x İşletme koşulu	12	2,443	0,004

*: P<0,01 önem düzeyinde önemli

Ağaç çeşidi ne olursa olsun, ağaç taçlarının dış tarafında 3m/s ile 5m/s arasında bir hava hızının yakalandığı fan işletme koşulu) VR7 olmuştur (Şekil 4.4). Düşük hava hızları uygulandığında (G1 ve G2) ağaç taçlarının arka tarafında istenilen büyüklüklere yakın (Şekil 4.4'te noktalarla da işaretlenmiş 3 ve 5m/s) hava hızlarını ölçmek mümkün olmuştur. Özellikle G1 işletme koşulunda hurma bahçesi harici her bahçede hedeflenen aralıkta hava hızı ölçülebilmiştir. Değişken oranlı hava uygulama sistemi sayesinde uygulama gerçekleştirilirken makineye herhangi bir ayar yapmadan hassas bir şekilde ilaçlama yapılabileceği ortaya çıkmıştır. Greyfurt (çok yoğun), Pikan cevizi (yoğun), Trabzon hurması (az yoğun) bahçelerinde yaprak yoğunluğu değişkenlik gösterse

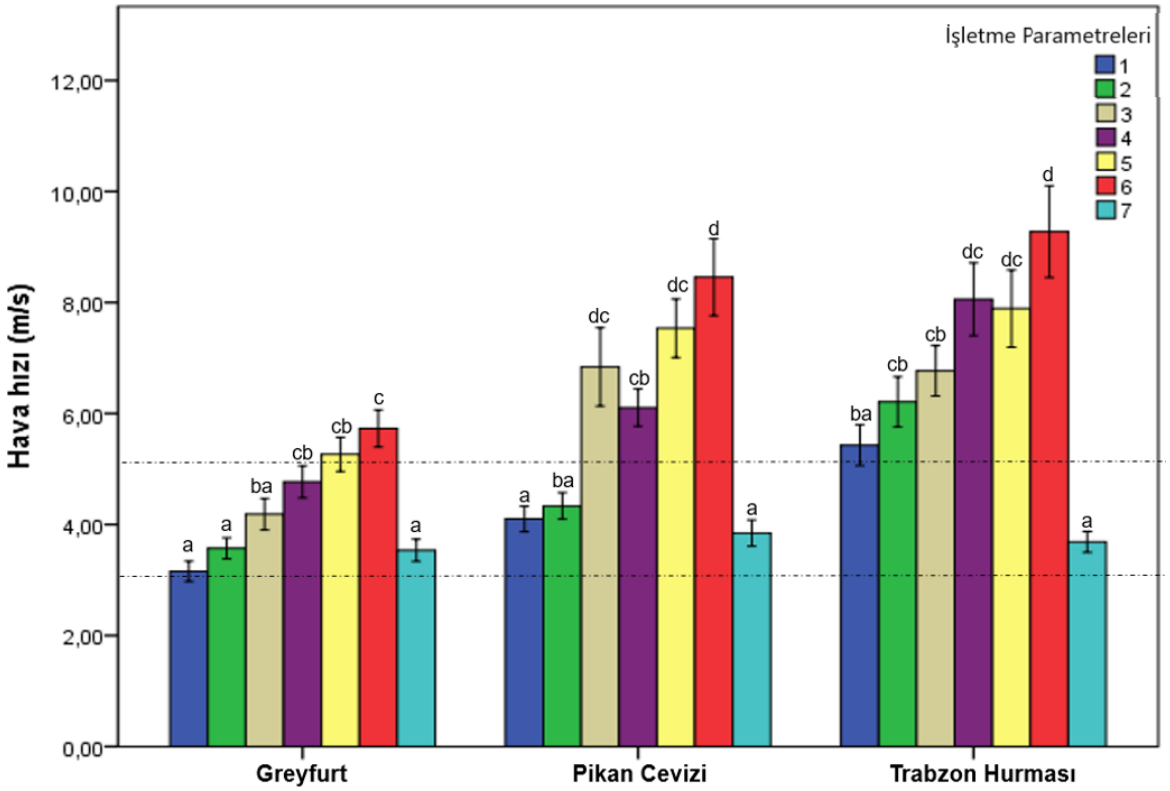
bile, değişken oranlı hava uygulama sisteminin hedeflenen aralıkta olduğu ortaya çıkmıştır. Shi ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada hava akımının ağaç içerisinde yolculuğunun artmasına bağlı olarak 1.6 m taç genişliğine sahip ağaçlarda ağaç tacının girişinde ölçülen 18 m/s lik hava hızının tacı terk ederken 4 m/s'ye kadar düşebileceğini ortaya koymuşlardır. Buna karşın taç genişliğinin 0,8 m olduğu yerlerde 18 m/s hava hızı gönderildiğinde, hava akımının hızının ağaç içerisinde 8 m/s olabileceğini ifade etmişlerdir.



Şekil 4.4. Ağaç tacının dışından en geniş taç bölgesinde ölçülen hava hızlarının ortalamalarının karşılaştırılması.

Aynı veriler bahçe tabanlı incelendiğinde, çiftçinin Greyfurt bahçesinde bahçe pülverizatörü G1, G2, G3 ve G4 seçeneklerinin iyi bir yaprak yüzeyi kaplaması için yeterli olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 4.5). Ancak yapılan İstatiksel Analiz ile veriler gruplandırıldığında, Tukey HSD Testinin sonucuna göre G4'ün G5 ile istatiksel olarak aynı grupta yer aldığı, bu grubun ağaç tacına göre simetrik dış tarafında oluşturduğu hava hızı her ne kadar 3m/s ile 5m/s arasında büyüklük olarak kalsa da istatiksel olarak G5 ile aynı büyüklükte olduğu ortaya çıkmıştır. Greyfurt ağacının kütlesel akı geçirgenliği diğer ağaçlara göre daha düşük olduğundan dolayı, greyfurt ağacına uygulama yaparken uygun hava hızı için birden fazla seçenek olacağı görülmüştür. Pikan Cevizi bahçesinde fanın G1 ve G2 seçenekleriyle ağaç tacı dışına daha az sürüklenmeye neden olacak bir hava akımı sağlandığı ve bunun bir sonucu olarak da bu hava akımı düzeyinde yaratılan türbülansla yaprak alt ve üst yüzeylerinde iyi bir ilaç maruzuyeti sağlanabileceği söylenebilir. Tukey HSD sonucununa göre bu iki grup aynı grupta yer almamasına rağmen ikisi de hava hızı büyüklüğü olarak arzu edilen aralıkta yer almıştır. Pikan Cevizi bahçesinde yapılan denemelerde, bazı geleneksel uygulamalarla değişken oranlı hava uygulama benzer sonuçlar oluşturmuştur. Trabzon Hurması bahçesinde ise Değişken Oranlı Hava uygulama (VR7) haricinde herhangi bir seçeneğin iyi bir kaplama

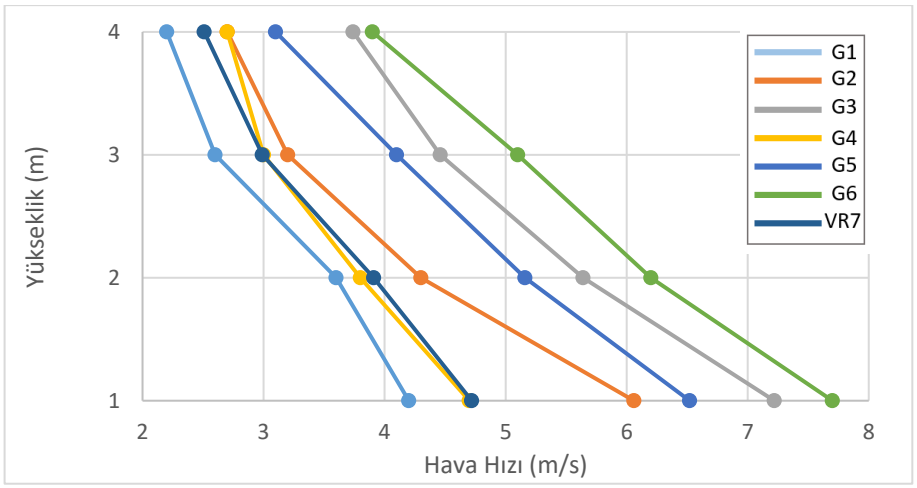
gerçekleştiremeyeceği sonucu ortaya çıkmıştır. Tukey HSD testinin sonucuna göre G1 her ne kadar VR7 ile aynı grupta yer alıyor gözükse de istenilen aralıkta (3-5 m/s) değildir. Yapılan denemeler ile geleneksel uygulamaların düşük yaprak yoğunluğuna sahip ağaçlar için uygun olmadığı da ortaya çıkmıştır. Orta ve yüksek yaprak yoğunluğuna sahip ağaçlarda bahçe pülverizatörünün tahmin edilmesi zor olsa da herhangi bir olasılığı ile tesadüfi olarak iyi bir yaprak kaplamasının mümkün olabileceği ortaya çıkmıştır. Ancak ağaç türü değişse dahi, değişen ağaç yoğunluğuna rağmen ağacın dış tacından istenen hava hızlarının alındığı tek uygulamanın VR7 olduğu ortaya çıkmıştır.



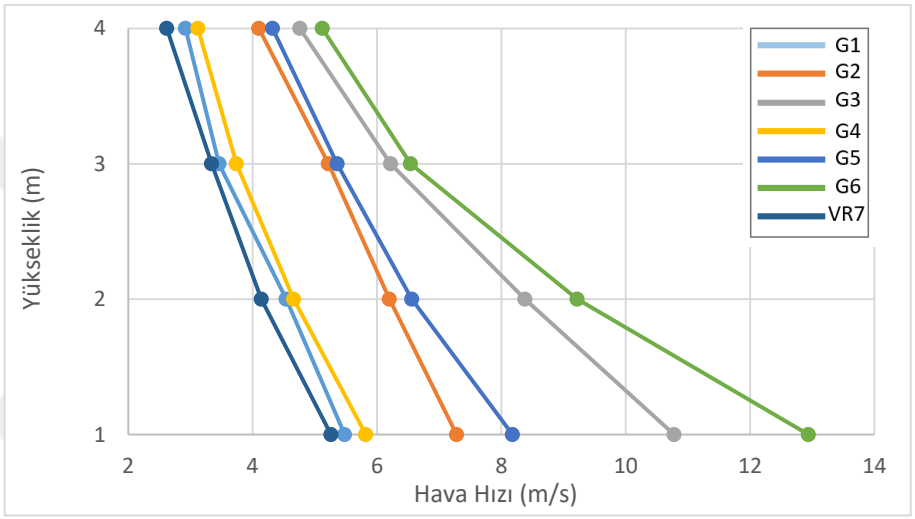
Şekil 4.5. Bahçe bazlı ağaç tacının dışından ölçülen ortalama hava hızlarının karşılaştırılması (aynı harfle gösterilen sutunlar P<0,01 önem seviyesinde farksızdır)

Farklı bahçelerde ve ağacın dış tacından farklı yüksekliklerde gerçekleştirilen hava hızı ölçümlerininin ortalamaları incelendiğinde, greyfurt bahçesinde fan dönü hızından bağımsız olarak fan kanat açısı 45º iken farklı yüksekliklerde en yüksek hava hızları ölçülmüştür (Şekil 4.6a). Hava jeti, 4 m yüksekliğinde ölçüldüğünde genellikle düşük, 1 m yüksekliğinde ölçüldüğünde ise daha yüksek çıkmıştır. Bunun bir sebebi de hava akımı yukarılara doğru çıkarken daha fazla yol almaktadır hem de yaprak yoğunluğundan dolayı daha fazla dirence maruz kalmaktadır. Greyfurt ağaçlarında, 1 m yükseklikte ölçülen hava hızı değeri G6 ile yapılan uygulamada 8 m/s'ye kadar çıkmıştır. Pikan Cevizi, Greyfurt ağacına göre daha az yaprak yoğunluğu ve taç genişliğine sahip olduğundan ağacın dış tacından farklı yüksekliklerden ölçülen hava hızlarının değerinin arttığını söylemek mümkündür (Şekil 4.6.b). Özellikle ağacın etek bölümünde hava hızlarının 14 m/s'ye yaklaşması sürüklenme değerinin artmasına sebep olmuştur. Denemelerde, Trabzon Hurması en az yaprak yoğunluğuna

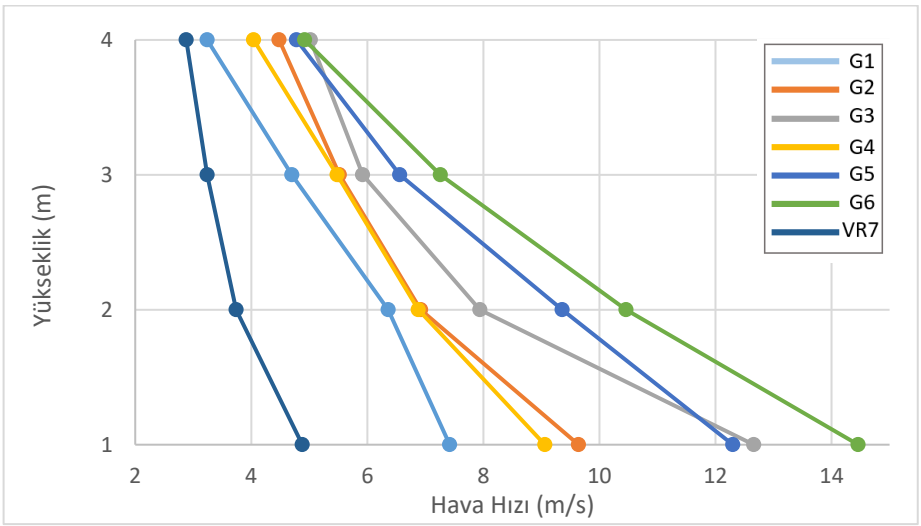
sahip olması ve en dar taç genişliğine sahip olması sebebiyle ağaç tacı dışından ölçülen en yüksek hızlar bu ağaç türünde ölçülmüştür (Şekil 4.6c). Svensson ve ark., (2003) yaptıkları çalışmada, ağaç tacının dış tarafında farklı yüksekliklerde hava hızları ölçmüşlerdir. Buna göre, elma bahçelerinde (Golden) gerçekleştirilen hava hızı ölçümlerinde hava hızlarının etek kısımlarında 14 m/s'lere çıkabileceğini ifade etmişlerdir. Benzer şekilde Salas ve ark. (2022) denemelerde kullandıkları ağaç tacının dış tarafından gerçekleştirdikleri hava hızı ölçümlerinde özellikle etek bölgesinde, 17 m/s civarında hava hızlarını ölçtüklerini ifade etmişlerdir. Ağacın orta ve üst taçlarına çıkıldığında ise havanın kinetik enerjisinin düşmesinden dolayı ölçülen hava hızının da oldukça azaldığı görülmüştür. Salcedo ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada benzer bahçe pülverizatörü ile sıra arasından hava hızı uygulamış ve ağaç tacının dış tarafından ölçüm gerçekleştirmişlerdir. Deneme materyali olarak farklı yaprak yoğunluğunda yapay bitkiler kullanmış ve ağacın aerodinamik katsayısının değişmesine bağlı olarak, ağacı terk eden hava hızında düşüşleri görülebileceğini ifade etmişlerdir. Özellikle tacın üst tarafında bu durumun daha fazla gerçekleşebileceğini ifade etmişlerdir.



a



b



c

Şekil 4.6. Ağaç tacı dışından farklı yüksekliklerden ölçülen hava hızı değerleri greyfurt (a), pikan cevizi (b), Trabzon hurması (c).

4.3. Bahçede Püskürtme Sıvısıyla Gerçekleştrilen Denemeler

4.3.1. Denemelerde Elde Edilen İz Maddesi Birikinti Verileri

Ağaç Tacı Yüksekliği Boyunca İz Maddesi Birikintisi Ölçümleri

Farklı yükseklikteki iz maddesi birikintisi verileri, ağaç türü ve daha önceden grup olarak tanımlanan geleneksel ile değişken oranlı uygulama sonucunda elde edilen verilerin istatiksel analizleri yapılmıştır. İşletme farklılıkların ortaya konulduğu işletme koşulları, ağaç yoğunluğunun bir göstergesi olan ağaç türü, düşey düzlemde iz maddesi birikintisi verilerinin karşılaştırılması için kurulan yatay bileşenlerinin kendi içerisindeki varyans analizi sonuçları ve interaksiyonları incelenmiştir (Çizelge 4.3). Buna göre, operasyonel farklılık olan işletme koşulları, yatay ve ağaç türü bileşenlerinin ayrı ayrı etkilerinin istatiksel olarak anlamlılık düzeyinin oldukça önemli olduğu görülmüştür (önem seviyesi. $p<0,05$). İkili interaksiyon etkilerinden yalnızca işletme koşulları x yatay interaksiyonu anlamlı çıkmamıştır. işletme koşulları ve yatay verileri iz maddesi birikintisi üzerinde anlamlı istatiksel oluşturmamıştır. Burada işletme koşullarının benzer iz maddesi birikintisi oluşturduğu anlamı çıkmaktadır. Bu sebeple ağaç türünden bağımsız olarak her bir ağaç türünün verileri ayrıştırılarak bu interaksiyonun etkileri ağaç türü bazında incelenmiştir. Ağaç türüne bakılmaksızın tüm veriler birlikte değerlendirildiği için üçlü interaksiyon etkisi incelendiğinde anlamlı olmadığı görülmüştür (Sig. $p<0,05$). Bundan dolayı her bir bahçenin denemeleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.3. Bahçe denemelerinde gerçekleştirilen yükseklik boyunca iz maddesi birikintisi ölçümleri ile ağaç türü ve operasyonel farklılıkların istatiksel analizi.

Bağımlı Değişken:İz Birikintisi

Varyans Kaynağı	df	F	Sig*.
İşletme koşulları	6	720,06	0
Yatay	2	107,74	0
AğaçTürü	2	353,63	0
İşletme koşulları x Yatay	12	0,454	0,94
İşletme koşulları x AğaçTürü	12	37,146	0
Yatay x AğaçTürü	4	0,841	0,5
İşletme koşulları x Yatay x AğaçTürü	24	0,382	0,997

*: P<0,05 önem düzeyinde önemli

Üç yönlü Anova analizinde, üçlü interaksiyon anlamsız çıkmasından dolayı, işletme koşulları x yatay alt interaksiyonları ağaç türü bazında incelenmiştir (Çizelge 4.4). Ağaç türü bileşeninden bağımsız olarak yapılan değerlendirmelerde, her bir ağaç türünün verileri kendi içerisinde tekil olarak incelendiğinde İşletme koşulları ve yatay bileşenlerinde veriler istatiksel olarak anlamlıdır (Sig. $p<0,05$). Buna göre yatay verisi değiştiğinde veya operasyonel uygulama yöntemi olan işletme koşulları değiştiğinde verilerin anlamlı olarak değiştiği ortaya çıkmıştır. Ancak her iki bileşenin interaksiyonları incelendiğinde istatiksel olarak işletme koşulları ve yatay etkisine bağlı olarak verilerin önemsiz olduğu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.4. Yatay ve işletme koşulları ikili interaksiyonlarının iz maddesi birikintisi verisi üzerindeki etkileri

Bağımlı Değişken: İz maddesi birikintisi

Ağaç Türü	Varyans Kaynağı	df	F	Sig*.
	İşletme Koşulu	6	87,79	0
Greyfurt	Yatay	2	15,844	0
	İşletme Koşulu x Yatay	12	0,095	1
	İşletme Koşulu	6	518,737	0
Pikan Cevizi	Yatay	2	59,559	0
	İşletme Koşulu x Yatay	12	1,019	0,434
	İşletme Koşulu	6	724,103	0
Trabzon Hurması	Yatay	2	100,625	0
	İşletme Koşulu x Yatay	12	0,938	0,511

*: P<0,05 önem düzeyinde önemli

Veriler istatiksel olarak değerlendirilmiş, verilerin istatiksel olarak anlamlı olması neticesinde karşılaştırılmaları yapılmıştır (Şekil 4.7). Buna göre, yükseklik boyunca bahçe tipi ve işletme koşullar farketmeksizin, yükseklik arttıkça iz maddesi birikintisi azaldığını söylemek mümkündür. Jejčič ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada değişken oranlı püskürtme sistemi tasarlamış, ağaç tacını 9 bölgeye ayırmış ve bu 9 bölgedeki püskürtme sıvısı iz maddesi birikintilerini ölçmüşlerdir. Toplam üç adet püskürtme memesinin kullanıldığı denemelerde, püskürtme sistemi 10 bar basınç altında çalışırken sistemin toplam debisi maksimum 4,35 l/min olacak şekilde değişken oranlı uygulama gerçekleştirmişlerdir. Ağacın alt taçlarında, 5 µl/cm^2 iz maddesi birikintisi ölçümleri gerçekleştirilirken, üst tacında 1,59 µl/cm^2 iz maddesi birikintisi ölçümü gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte yüksek yaprak yoğunluğu olan ağaç türlerindeki penetrasyon direncinin fazla olması nedeniyle iz maddesi birikintisi oranının yükseklik farketmeksizin düşük, yaprak yoğunluğunun düşük olduğu ağaçlarda da yaprak yüzeyindeki iz maddesi birikintisi miktarlarının daha yüksek olduğu görülmüştür. İşletme koşullarının farklılıkların her birinin yaprak yüzeyinde yer yer benzerlikler yarattığı görülse de, çoğunlukla yaprak yüzeyinde farklı oranda iz maddesi birikintisi oluşturdukları gözlemlenmiştir.

Greyfurt ağaçlarında, düşük hava hızı ile gerçekleştirilen uygulama ile değişken püskürtme sıvısı ve hava uygulayan sistemin gerçekleştirdiği uygulama neticesinde yaprak yüzeyinde benzer iz maddesi birikintisi oluşturduğu istatiksel olarak ortaya çıkmıştır. Farklı yüksekliklerde, istatiksel olarak işletme koşulların yarattığı etkilerin bozulmadığı görülmüştür. Hava hızının yüksek olduğu işletme koşulları olan G3, G5 ve G6 değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında, G5 ve G6'nın yaprak yüzeyinde yoğun iz maddesi birikintisi bıraktığı görülmüştür. Ancak, greyfurt ağacının yaprak yoğunluğunun yüksek olması sebebiyle geçirimliliği az olduğundan en yüksek hava hızlarında dahi yaprak yüzeyinde bıraktığı iz maddesi birikintisi miktarı, diğer ağaçlarda yapılan uygulamalardaki kadar olamamıştır. En düşük iz maddesi birikintisinin değişken oranlı uygulamada elde edildiği,

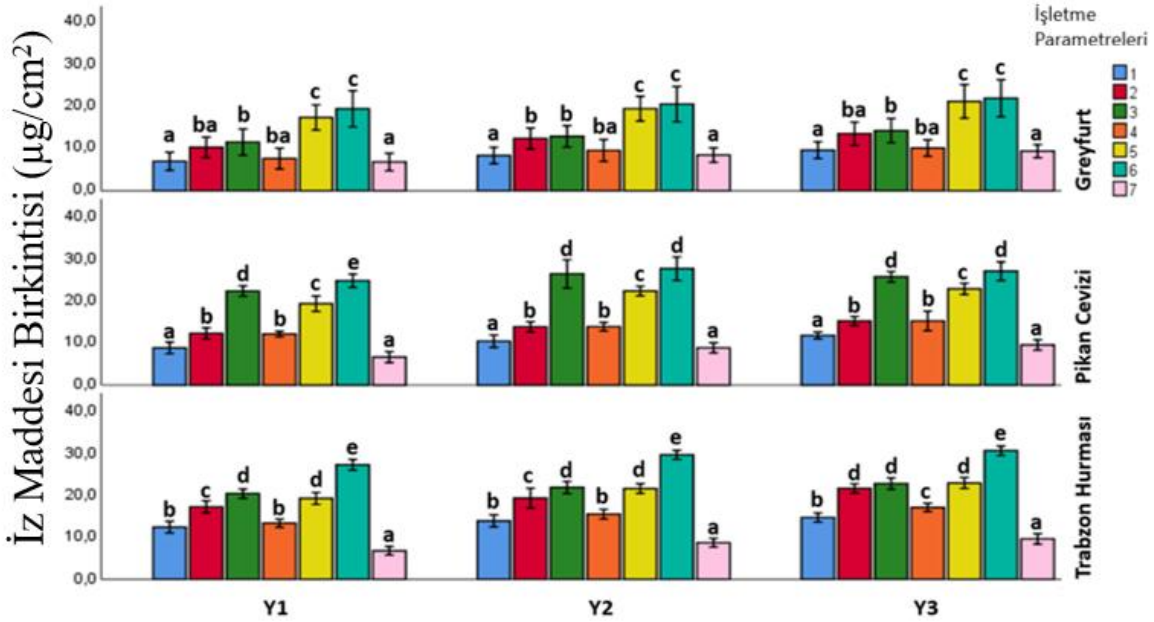
farklı yatay bölgelerdeki iz maddesi birikinti değerlerinde de büyük farklılıkların olmadığı görülmüştür.

Pikan Cevizi bahçesindeki denemelerde elde edilen veriler incelendiğinde, iz maddesi birikintisinin Y1, Y2 ve Y3 yüksekliklerinde arttığı görülmektedir. Bunun sebebi Pikan Cevizinin yaprak yoğunluğunun nispeten Greyfurt'a göre daha düşük olmasından dolayıdır. Bu sebeple uygulanan püskürtme sıvısı Pikan Cevizi Ağacına daha iyi nüfuz edebilmiştir. İstatiksel olarak değişken oranlı uygulama olan VR7'nin, G1 ile istatiksel olarak benzer iz maddesi birikintisi değerlerini oluşturabileceği ortaya çıkmıştır. G3, G5 ve G6'nın hava akımı değerleri oldukça yüksektir, buna karşın kendi içlerinde G3 ve G6 çoğunlukla aynı grupta yer alıyorken, G5'in yaprak yüzeyinde oluştuduğu iz maddesi birikintisi miktarının daha düşük seviyelerde olduğu gözlemlenmiştir. Denemelerde G2 ve G4'ün yaprak yüzeyi iz maddesi birikintisi miktarı bakımından istatiksel olarak benzer etkiyi yarattığı görülmüştür.

Trabzon Hurması en düşük yaprak yoğunluğunun olduğu ağaç türü olduğundan, bu bahçede yapılan tüm denemelerde yaprak yüzeyindeki iz maddesi birikintisi miktarı tüm operasyonel farklılıklarda artmıştır. Değişken Oranlı uygulama olan VR7 istatiksel olarak diğer gruplara nispeten daha az iz maddesi birikintisi sağlamıştır. Buna karşın, yaprak yoğunluğu da düşük olduğundan hava hızının yüksek olduğu gruplar olan G3, G5 ve G6'da yüksek iz maddesi birikintisi elde edilmiştir. Bunun sebebi, yaprak yoğunluğu çok sık olmadığından penetrasyonun artmasıdır. Ancak grafiğin tamamı incelendiğinde, Değişken oranlı uygulamanın Y1, Y2 ve Y3 yüksekliklerinde ağaç türü fark etmektesizin aynı oranda iz maddesi birikintisi sağladığı görülmektedir.

Değişken oranlı püskürtme sıvısı ve hava uygulama sisteminin diğerlerine göre daha düşük miktarda iz maddesi birikintisi bıraktığını söylemek mümkündür. Ancak değişken oranlı uygulama yapan sistem yükseklik arttıkça, farklı yüksekliklerdeki değişiklikleri kompanze edememiş, iz maddesi birikintisi değeri yukarıdan aşağıya değişkenlik göstermiştir. Farklı yüksekliklerde tek düzelik yakalanması zor olmasına rağmen, aynı yükselikte (Örneğin Y1) farklı ağaçlarda benzer iz maddesi birikintisi değeri yakalamak değişken oranlı uygulama sisteminin başarısı olarak gözümektedir. Ancak diğer geleneksel uygulamalarda aynı işletme koşul için ve aynı yatay değeri göz önüne alındığında farklı bahçelerdeki iz maddesi birikintisi miktarları arasında farklar olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumda, işletme koşullar içerisinden doğrudan geleneksel bir uygulamanın seçilmesi yerine, değişken oranlı sistem ile uygulama gerçekleştirmek daha tekdüze sonuçlar alınmasına yardımcı olmuştur. Özellike hava hızının farklı ağaç türlerine göre doğru ayarlanabilmesi sayesinde, ağaç türü değişse dahi aynı yüksekliklerde benzer iz maddesi birikintisi miktarları oluşmuştur. Chen ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada bir ağaç türünün farklı fenolojik dönemlerinde 3 farklı bahçe pülverizatörüyle uygulama gerçekleştirmişlerdir. Geleneksel uygulamalar ile gerçekleştirilen uygulamalarda ağaç üzeri iz maddesi birikintisi miktarı, 8 $\mu l/cm^2$ olmasına karşın değişken oranlı uygulama uygulayan pülverizatörler aynı bölgedeki iz maddesi birikintisi miktarı 2 $\mu l/cm^2$ civarında gerçekleşmiştir. Pikan Cevizi bahçesinde, geleneksel uygulama ile yüksek oranda

hava akımı uygulandığında (28 µl/cm^2), değişken oranlı uygulama yapan sisteme göre iz maddesi birikintisi oranının (8 µl/cm^2) daha yüksek olduğu, literatüre benzer şekilde değişken oranlı uygulama sayesinde iz maddesi birikintisinın ¼ oranında azaltıldığı görülmüştür. Wei ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada değişken oranlı püskürtme ve geleneksel püskürtmenin iz maddesi birikintisi etkilerini ağaç üzerindeki farklı bölgelerden ölçmüşlerdir. Denemelerde kullanılan ağaçların yaprak alan indeksi ortalama 2,12 'dir. Hem geleneksel hem de değişken oranlı gerçekleştirilen püskürtme işlemlerinde farklı fan hızlarında, ilerleme doğrultusu boyunca, püskürtme doğrultusu boyunca ve yükseklik boyunca iz maddesi birikintisi ölçümlerini incelmişlerdir. Değişken oranlı uygulama ile gerçekleştirilen uygulamalarda, hava hızı ne olursa olsun iz maddesi birikintisi miktarı geleneksel uygulamaya göre düşük çıkmıştır. Bunun yanında, fan dönüş hızı 800 dev/dak'dan 1800 dev/dak'ya çıkarıldığında ağaç üzerinde iz maddesi birikintisi örneği alınan tüm bölgelerde iz maddesi birikintisi miktarının arttığı görülmüştür. Bunun yanında aynı fan devrinde ağacın alt eteklerdeki iz maddesi birikintisi miktarı 4,62 µl/cm^2 iken ağaç tacının üst kısımlarındaki iz maddesi birikintisinin 1,23 µl/cm^2 olabileceği vurgulanmıştır. Grella ve ark. (2023) yaptıkları çalışmada farklı fenelojik dönemlerde püskürtme sıvısıyla üzüm bağlarında denemeler gerçekleştirmişlerdir. Fenelojik dönemlerdeki farklılıklar yaprak yoğunluğunun değiştiğini fiade etmektedir. Buna göre erken fenelojik dönemde aynı bölgeden alınan iz maddesi birikintisi verisi, geç dönemde alınan iz maddesi birikintisi verisinin 1,5 katı civarındadır. Bu dönem içerisinde yaprak alan indeksi de 2,5 kat kadar artmıştır.



Şekil 4.7. Farklı bahçelerde yaprak üzeri iz maddesi birikintisinın yükseklik boyunca değişimi. (aynı harfle gösterilen sutunlar P<0,01 önem seviyesinde farksızdır)

Traktör İlerleme Doğrultusu Boyunca İz Maddesi Birikintisi Verilerinin Değerlendirilmesi

Denemelerde, traktör ilerleme doğrultusu boyunca alt alta bulunan bölgelerdeki iz maddesi birikintileri, geleneksel uygulamalar ve değişken oranlı uygulamalarla farklı ağaç türlerinde gerçekleştirilen püskürtme sıvılarının veriler ile elde edilmiştir. Değişken oranlı uygulama ve geleneksel uygulamalarının yer aldığı işletme koşulu, ağaç yoğunluğunun bir göstergesi olan ağaç türü, bloklar halinde iz maddesi birikintisi verilerinin karşılaştırılması için kurulan düşey bileşenlerinin kendi içerisindeki interaksiyonları incelenmiştir (Çizelge 4.5). Tek ilerleme hızında yapılan denemelerde, operasyonel farklılık olan işletme koşulu, düşey ve ağaç türü bileşenlerinin ayrı ayrı etkilerinin istatiksel olarak anlamlılık düzeyinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür (Sig. $p<0,05$). İkili interaksiyon etkilerinden yalnızca işletme koşulu*düşey interaksiyonu anlamlı çıkmamıştır. Farklı işletme koşullar, benzer iz maddesi birikintisi etkilerini oluşturabilmiştir. Bunun sebebi, ağaç türünden bağımsız olarak operasyonel farklılıkların gruplar arasında bir etkisinin olmamasından dolayıdır. Bu sebeple ağaç türünden bağımsız olarak her bir ağaç türünün verileri ayrıştırılarak bu interaksiyonun etkileri ağaç türü bazında incelenmiştir. Üçlü interaksiyon etkisi incelendiğinde anlamlılık düzeyinin yüksek olmasından dolayı interaksiyon etkisinin anlamlı olmadığı görülmüştür (Sig. $p<0,05$). İstatiksel analizde ağaç türüne bakılmaksızın tüm veriler birlikte değerlendirildiğinden aslında birbirinden bağımsız olan farklı bahçelerdeki iz maddesi birikintisi miktarlarının verilerinin birbirini etkilememesi ve ilişkisiz olmasından dolayıdır.

Çizelge 4.5. Bahçe denemelerinde gerçekleştirilen ilerleme doğrultusu boyunca iz maddesi birikintisi ölçümleri ile ağaç türü ve operasyonel farklılıkların istatiksel analizi.

Bağımlı Değişken: İz maddesi birikintisi

Varyans Kaynağı	df	F	Sig.
AğaçTürü	2	529,496	0
İşletme Koşulu	6	1078,16	0
Düşey	2	227,57	0
AğaçTürü x İşletme Koşulu	12	55,619	0
AğaçTürü x Düşey	4	24,439	0
İşletme Koşulu x Düşey	12	1,328	0,198
AğaçTürü x İşletme Koşulu x Düşey	24	1,307	0,151

*: P<0,01 önem düzeyinde önemli

Ağaç türü bileşeninden bağımsız olarak yapılan İstatiksel Analizde, her bir ağaç türünün verileri kendi içerisinde incelendiğinde tekil olarak işletme koşulları ve düşey bileşenlerinde veriler istatiksel olarak anlamlıdır (Sig. $p<0,05$). Buna göre, farklı İşletme koşularıyla yapılan denemelerde düşeyler arasında farklılıklar ortaya çıkmıştır. Düşey veya işletme koşulu değiştiğinde verilerin anlamlı olarak değiştiği görülmüştür (Çizelge 4.6). Ancak her iki bileşenin interaksiyonları incelendiğinde istatiksel olarak işletme Koşulu ve düşey etkisine bağlı olarak veriler sadece greyfurt bahçesinde anlamlı olarak ortaya çıkmıştır. Ancak bahçe farketmeksizin işletme koşulları değiştiğinde düşeyler arasındaki iz maddesi birikintisi miktarları değişkenlik göstermektedir. Ancak

işletme koşullardan bağımsız olarak, düşey değiştiğinde ise T2 düşeyinin, T1 ve T3 düşeylerinden istatiksel olarak farklı olduğu ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.7). Buna karşın T1 ve T3 düşeyleri arasında anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür. Bunun sebebi örneklerin alındığı yerler ile alakalıdır. T1 ve T3 ağaç gövdesi ile aynı hizada olmasına rağmen, uygulama yapılan yer ile bu örneklem bölgelerinin bulunduğu yer arasında dallar ve yapraklar bulunmamaktadır (Şekil 3.42c). Bu sebeple, bu bölgelere püskürtme sıvısının nüfuz etmesi daha kolay olmuştur. Buna karşın ağaç tacının orta kısmına yerleştirilen A2, A5 ve A8 örneklerinden elde edilen T2 düşeyindeki iz maddesi birikintisi miktarının düşük olmasının sebebi bu düşeye püskürtme sıvısının daha az nüfuz etmesidir. Tüm ağaç türlerinde düşey T2'nin ağaç tacının iç konumunda olması sebebiyle kenardaki düşeylere göre buradaki iz maddesi birikintisi miktarı nispeten düşük olmuştur. T1 ve T3 düşeylerindeki iz maddesi birikintisi miktarları açık olmasından dolayı, bu düşeylerdeki iz maddesi birikintisi miktarları benzer olarak ortaya çıkmıştır. Bu durum farklı işletme koşullar için, ağaç türü değişse dahi düşeyler boyunca homojen bir püskürtme sıvısının uygulamasının gerçekleştirilebildiği ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.6. Düşey ve işletme koşulu ikili interaksiyonlarının iz maddesi birikintisi verisi üzerindeki etkileri

Bağımlı Değişken: İz maddesi birikintisi

Ağaç Türü	Varyans Kaynağı	df	F	Sig.
Greyfurt	İşletme Koşulu	6	321,012	0
	Düşey	2	259,177	0
	İşletme Koşulu x Düşey	12	4,001	0
Pikan Cevizi	İşletme Koşulu	6	397,2	0
	Düşey	2	28,487	0
	İşletme Koşulu x Düşey	12	0,353	0,977
Trabzon Hurması	İşletme Koşulu	6	460,175	0
	Düşey	2	35,05	0
	İşletme Koşulu x Düşey	12	0,309	0,987

*: P<0,01 önem düzeyinde önemli

Çizelge 4.7. Düşeylerdeki iz maddesi birikintisi değerlerinin karşılaştırılması.

Bağımlı Değişken: İz maddesi birikintisi

(I) Düşey	(J) Düşey	Ortalama Fark (I-J)	Std. Hata	Sig.[b]	95% Güven Aralığı	
					Alt Bant	Üst Bant
T1	T2	3,211*	0,173	0	2,796	3,626
	T3	0,039	0,173	1	-0,375	0,454
T2	T1	-3,211*	0,173	0	-3,626	-2,796
	T3	-3,171*	0,173	0	-3,586	-2,757
T3	T1	-0,039	0,173	1	-0,454	0,375
	T2	3,171*	0,173	0	2,757	3,586

*: P<0,01 önem düzeyinde önemli

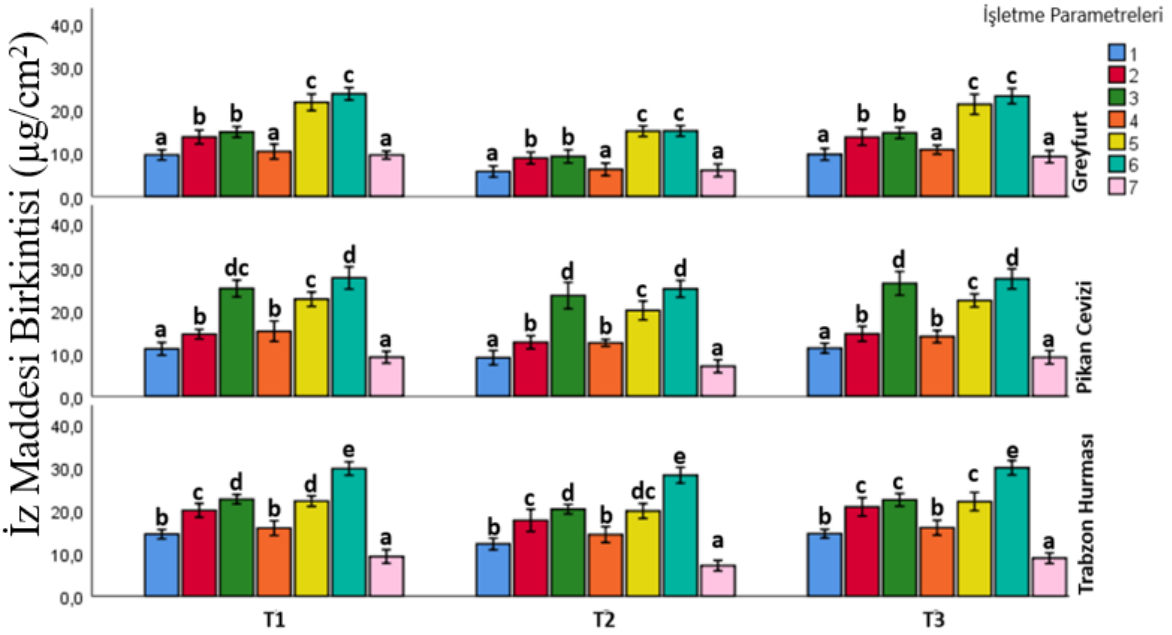
Greyfurt ağaçlarında yapılan denemelerde farklı düşeylerde, tüm işletme koşullar ile gerçekleştirilen uygulama neticesinde yaprak yüzeyinde benzer büyüklükte iz maddesi birikintisi oluştuğu bu durumun da bahçe pülverizatörünün, traktör ilerleme doğrultusu boyunca tek düze püskürtme sıvısı uyguladığı görülmüştür (Şekil 4.8). İstatiksel olarak VR 7 (Değişken Oranlı hava ve Püskürtme sıvısı uygulama), G1 ve G4'ün iz maddesi birikintisi etkisi benzer çıkmıştır. Hava hızının yüksek olduğu işletme koşulları olan G3, G5 ve G6 değerlerinin karşılaştırılması yapıldığında, G5 ve G6'nın yaprak yüzeyinde yoğun iz maddesi birikintisi bıraktığı görülmüştür. Ancak, greyfurt ağacının yaprak yoğunluğunun yüksek olması sebebiyle geçirimliliği az olduğundan en yüksek hava hızlarında dahi yaprak yüzeyinde bıraktığı iz maddesi birikintisi miktarı, diğer ağaçlar kadar olamamıştır. Bunun bir sebebi de Greyfurt ağacının ağaç taç geometrisinin diğer ağaçlara göre fazla olmasıdır. Özellikle T2 kolunun verileri incelendiğinde, geçirimliliğin azalmasından ötürü yaprak yüzeyi iz maddesi birikintisinın azaldığı, hava hızı arttırılsa dahi iz maddesi birikintisinın çok artmadığı ortaya çıkmıştır. Değişken oranlı hava ve püskürtme sıvısı uygulama sistemi, ilerleme boyunca T2 düşeyindeki iz maddesi birikintisi miktarı az olsa da diğer düşeylerde iz maddesi birikintisi miktarı daha yüksek çıkmıştır.

Pikan Cevizi bahçesindeki iz maddesi birikintisi verileri incelendiğinde, Greyfurt ağaçlarındaki uygulamaya göre iz maddesi birikintisinın T1, T2 ve T3 düşeylerinde arttığı görülmektedir. Yatay boyunca iz maddesi birikintisi incelemesinde olduğu gibi düşey boyunca Pikan Cevizinin yaprak yoğunluğunun nispeten Greyfurt'a göre daha düşük olmasından dolayı iz maddesi birikintisi miktarı artmıştır. Bu sebeple uygulanan püskürtme sıvısı Pikan Cevizi Ağacına daha iyi nüfuz edebilmiştir. İstatiksel olarak değişken oranlı uygulama olan VR7'nin, G1 ile istatiksel olarak benzer iz maddesi birikintisi değerlerini oluşturabileceği ortaya çıkmıştır. G3, G5 ve G6'nın hava akımı değerleri oldukça yüksektir, buna karşın kendi içlerinde G3 ve G6 çoğunlukla aynı klasmanda yer alıyorken, G5'in yaprak yüzeyinde oluştuduğu iz maddesi birikintisi miktarının daha düşük seviyelerde olduğu gözlemlenmiştir.

Trabzon Hurması en düşük yaprak yoğunluğunun olduğu ağaç türü olduğundan, bu bahçede yapılan tüm denemelerde yaprak yüzeyindeki iz maddesi birikintisi miktarı tüm operasyonel farklılıklarda artmıştır. Değişken Oranlı uygulama olan VR7 istatiksel olarak diğer gruplara nispeten daha az iz maddesi birikintisi yaratmıştır. Buna karşın, yaprak yoğunluğu da düşük olduğundan hava hızının yüksek olduğu gruplar olan G3, G5 ve G6'da yüksek iz maddesi birikintisi elde edilmiştir. Bunun sebebi, yaprak yoğunluğu çok yüksek olmadığından penetrasyonun artmasıdır. Ancak grafiğin tamamı incelendiğinde, Değişken oranlı uygulamanın T1, T2 ve T3 düşeylerinde ağaç türü fark etmektesizin aynı oranda iz maddesi birikintisi yapabildiği görülmektedir. Sadece T2 düşeyi bölgesi konumu itibariyle daha az iz maddesi birikintisi ihtiva etmektedir.

Değişken oranlı püskürtme sıvısı uygulama sistemi ile uygulamada T1 ve T3 düşeylerinde görülen benzer iz maddesi birikintisi oranları püskürtme sisteminin doğru şekilde çalıştığını göstermektedir. Çünkü örneklerin yerleştirildiği yerler, ağacın benzer taç geometrisine sahip

yerlerdir. Dolayısıyla buraya eş oranda sıvı püskürtülmüş ve yaklaşık iz maddesi birikintisi ölçülmüştür. Ancak T2 düşeyinin bulunduğu yerde, taç genişliği arttığından dolayı püskürtme sistemi T1 ve T3 düşeylerine göre daha fazla ilaç gönderilmesine rağmen, değişken oranlı püskürtme sıvısının yaprak yüzeyinde oluşturduğu iz maddesi birikintisi miktarı yine de düşük olmuştur. Bunun benzer şekilde temel sebebi ağaçların bu bölgedeki geçirgenliklerinin azalmasıdır. Wei ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada ilerleme doğrultusu boyunca, mevcut çalışmada olduğu gibi T1 ve T2 düşeylerini karşılaştırmışlardır. Hava hızı farketmeksizin T1 düşeyindeki iz maddesi birikintisi miktarını fan devri 1800 dev/dak'da 3.30 µl/cm^2 bulurken, T2 düşeyinin tamamı ağacın gövdesi içerisinde kaldığından bu bölgedeki iz maddesi birikintisi miktarını 2,88 µl/cm^2 olarak bulmuşlardır.



Şekil 4.8. Farklı bahçelerde yaprak üzeri iz maddesi birikintisinin ilerleme doğrultusu boyunca değişimi. (aynı harfle gösterilen sütunlar P<0,01 önem seviyesinde farksızdır).

Püskürtme doğrultusu boyunca iz maddesi birikintisi verilerinin değerlendirilmesi

Bahçe denemelerinde püskürtme doğrultusu boyunca, püskürtme sıvısının farklı derinliklerde ne kadar iz maddesi birikintisi oluşturduğunu görebilmek için Ağaç 2 bölüme ayrılmıştır. Bahçelerde püskürtme sıvısı ile yapılan denemelerde, S1 ve S2 düşeylerinin üzerindeki iz maddesi birikintisi miktarının, püskürtme doğrultusu boyunca ne kadar değiştiği gözlemlemek için yapılan bu bu araştırmada farklı bahçelerde farklı işletme koşullar için ağaç yarı taç hacmi ilaçlanırken ağaç derinliği boyunca iz maddesi birikintisi miktarının ne ölçüde değiştiği görülmek istenmiştir. Denemelerde, değişken oranlı uygulama ve geleneksel uygulamalarının yer aldığı işletme koşulları, ağaç yoğunluğunun ve geçirimliliğinin göstergesi olan ağaç türü, püskürtme sıvısının uygulandığı yerden ağacın gövdesinin bulunduğu yere kadar kısıma kadar ki verilerin karşılaştırılması için kullanılan Püskürtme bileşenlerinin kendi içerisindeki interaksiyonları

incelenmiştir (Çizelge 4.8). Tek ilerleme hızında yapılan denemelerde, operasyonel farklılık olan işletme koşulları, püskürtme ve ağaç türü bileşenlerinin ayrı ayrı etkilerinin istatiksel olarak anlamlılık düzeyinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür (Sig. p<0,05). Bununla birlikte, ikili interaksiyon etkilerinden tamamı anlamlı çıkmıştır. Üçlü interaksiyon etkisi incelendiğinde üç bileşenin iz maddesi birikintisi üzerindeki ortak etkilerinin anlamlılık düzeyinin yüksek olmasından dolayı interaksiyon etkisinin anlamlı olduğu görülmüştür (Sig. p<0,05). Bu durum ile ağaç türü fark etmeksizin, farklı işletme koşullarda yapılan denemelerde S1 ve S2 arasında farklılık olduğunu ortaya çıkarılmıştır. Ağaç yaprak yoğunluğuna ve operasyonel farklılıklara bağlı olarak da iz maddesi birikintisi verilerinin değiştiğini söylemek mümkündür. Püskürtme x işletme koşulları interaksiyonları kendi içerisinde anlamlı çıktığından dolayı bahçe bazlı bu veriler tekrardan ikili interaksiyonlu olarak incelenmemiştir.

Çizelge 4.8. Bahçe denemelerinde gerçekleştirilen püskürtme doğrultusu boyunca iz maddesi birikintisi ölçümleri ile ağaç türü ve operasyonel farklılıkların istatiksel analizi.

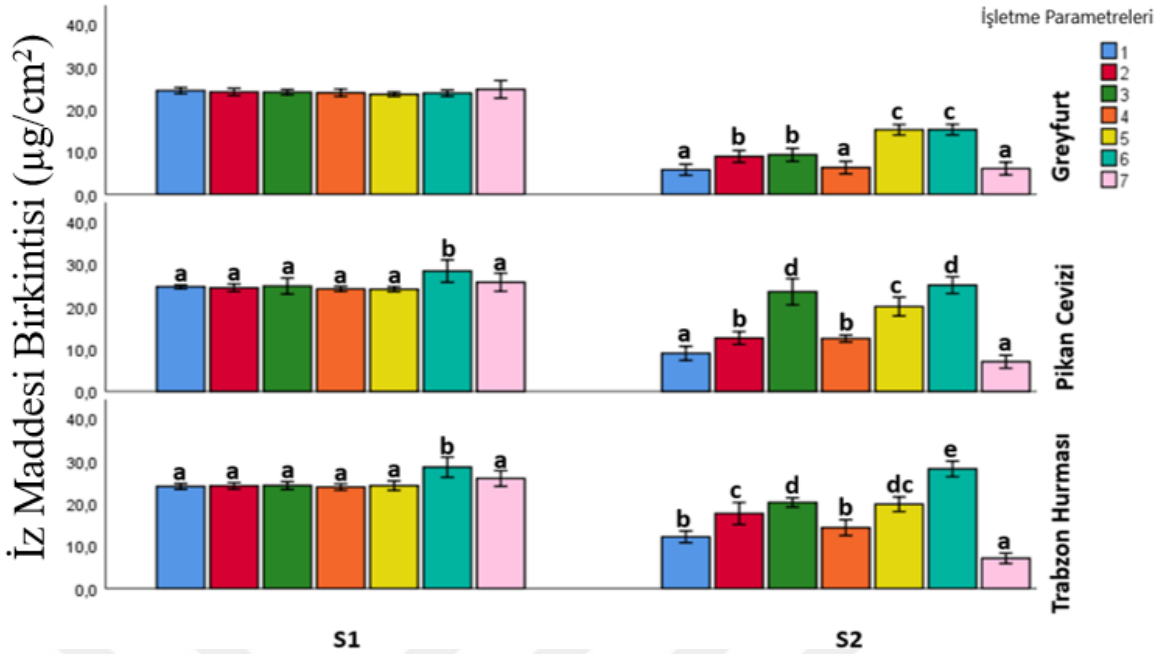
Bağımsız Değişken: İz maddesi birikintisi

Varyans Kaynağı	df	F	Sig*.
AğaçTürü	2	280,693	0
İşletme Koşulu	6	223,788	0
Püskürtme	1	4596,518	0
AğaçTürü x Püskürtme	12	19,377	0
AğaçTürü x Püskürtme	2	160,311	0
İşletme Koşulu x Püskürtme	6	170,57	0
AğaçTürü x İşletme Koşulu x Püskürtme	12	12,248	0

*: P<0,01 önem düzeyinde önemli

Yapılan tüm denemelerde S1 düşeyindeki iz maddesi birikintisi miktarı, işletme koşulu farketmeksizin tüm S2 düşeyindaki tüm işletme koşullardan daha yüksek olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.9). Bunun sebebi, S1 düşeyinin her ağaç türünde püskürtme sıvısı uygulanan tarafa daha yakın olmasından dolayıdır. Ancak farklı yoğunluktaki ağaç türlerinde geçirimlilik farklı olduğundan dolayı, ağacın orta bölgesinde bulunan S2 düşeyinde az yoğun ağaçlarda daha fazla iz maddesi birikintisi oluşmuştur. Bu durumun iki sebebi vardır: birincisi yaprak yoğunluğunun az olması diğeri az yoğun ağaçlarda taç genişliğininin düşük olmasıdır. İşletme koşulları içerisinde hava hızının yüksek olduğu uygulamalarda daha yüksek oranda iz maddesi birikintisi oluşmuştur. Bunun sebebi, hava akımı yüksek olduğundan dolayı, tacın iç bölgelerine doğru yüksek hava akımının etkisiyle daha iyi taşınmıştır. Ancak değişken oranlı sistemde kp_l değerlerinin doğru büyüklükte girilebilmesi sayesinde, farklı ağaçlarda geçirgenlik değişse dahi hava akımı ağaçlara doğru şekilde ayarlanabilmiştir. Bunun göstergesi farklı ağaç türlerinde, değişken oranlı uygulama ile gerçekleştirilen uygulamalarda S2 düşeyinde VR7 verileri tüm ağaç türlerinde birbirine yakın çıkmıştır. Bu durum, ağaç türü değişse dahi, değişken oranlı hava uygulama sisteminin hava akımını doğru ayarlaması sayesinde S2 düşeylerinde benzer iz maddesi birikintisi elde edildiği görülebilir.

Püskürtme sisteminin algoritması, ağacın tacının o andaki genişliğine bağlı olarak çalışmaktadır. Denemelerde farklı bahçelerde uygulama yapılan yerin, ağacın gövdesine olan uzaklığının farklı olduğu belirtilmişti. Püskürtme mesafeleri, ağacın taç genişliğinin maksimum olduğu bölgelere göre belirlenmiştir. Buna püskürtme sisteminin de, değişken oranlı hava akımı uygulama sistemi ile birlikte bir uyum içerisinde olduğu, ağaç tacının en geniş olduğu bölgede daha fazla sıvı göndererek ve hava akımının miktarını arttırarak, farklı ağaç türlerinde tek düze bir püskürtme sıvısı uyguladığı görülmektedir. Jejčič ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada, bahçe denemelerinde değişken oranlı uygulama gerçekleştirmiş, aynı yükseklikte püskürtme sıvısının uygulandığı taraftaki iz maddesi birikintisi miktarı, ağacın orta gövdesine yakın kısımdaki iz maddesi birikintisi miktarının 1,5 katı olarak gerçekleşmiştir. Bunun yanında, Salyani ve Farooq (2003) yaptıkları çalışmada ağaca farklı ilaç normlarında ağaca farklı fanlarla (4 kanat 18'' fan, 9 kanat 22'' fan, 9 kanat 28'' fan, 9 kanat 32'' fan) hava akımı uygulandığında, püskürtme derinliği boyunca iz maddesi birikintisi miktarının nasıl değişeceğini incelemişlerdir. Ağacın derinliği boyunca iki farklı yükseklikten 7 farklı ağaç gövdesi boyunca derinlikten iz maddesi birikintisi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Buna göre aynı fanla yapılan denemelerde ilaç normu 250 L/ha, 980 L/ha ve 3590 L/ha ilaç normlarıyla denemeler gerçekleştirilmiş püskürtme derinliği boyunca iz maddesi birikintisinın aynı kaldığı tespit edilmiştir. Ancak ağaca gönderilen hava akımı arttırıldığında, iz maddesi birikintisi miktarının da artabileceği ifade edilmiştir. Püskürtme derinliği boyunca, püskürtme yapılan bölgeden itibaren ilk 2 m' de iz maddesi birikintisinın değişkenlik gösterdiği, 2 m'den sonraki mesafelerde iz maddesi birikintisinın azaldığı ve sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Yüksek hava akımı uygulandığında ve farklı ilaç normlarında püskürtme sıvısı uygulandığında iz maddesi birikintisinın değişebileceği de ifade anlaşılmıştır. Denemelerde 7 farklı örneğin alındığı yer, S1 ve S2 şeklinde iki bölgeye ayrılmış püskürtme yapılan taraftaki S1 üzerindeki kaplamanın S2 üzerinde oluşan kaplamanın 3 katı kadar kaplama oluşturduğu görülmüştür. Bunun yanında, püskürtme yapılan yere yakın bölge olan S1 bölgesinde 9 kanat-32'' fan kullanılmadığı sürece iz maddesi birikintisiların istatiksel olarak farklı olmadığı görülmüştür. Bu, hava akımının yüksek olduğunda istatiksel olarak farklılığının olduğu anlamına gelmektedir.



Şekil 4.9. Farklı bahçelerde yaprak üzeri iz maddesi birikintisinin püskürtülme doğrultusu boyunca değişimi. (aynı harfle gösterilen sütunlar P<0,01 önem seviyesinde farksızdır).

4.3.2. Denemelerde Elde Edilen Kaplama Verilerinin Değerlendirilmesi

Ağaç Tacı Yatay Düzlem Boyunca Kaplama Verilerinin Değerlendirilmesi

Farklı bahçelerde püskürtme sıvısı ile gerçekleştirilen denemelerde iz maddesi birikintisinın ölçülmesi için kullanılan filtre kâğıtları ile yan yana olacak şekilde suya duyarlı kartlar da yerleştirilmiştir. Böylece, kaplama yüzdeleri de ortaya çıkarılmıştır. İz maddesi birikintisi verilerinde de olduğu gibi, ağaç tacının farklı yüksekliklerindeki kaplama verileri Y1, Y2 ve Y3 yüksekliklerinde değerlendirilmiştir. Bu yüksekliklerde elde edilen kaplama verileri, ağaç türü ve önceden tanımlanan geleneksel ile değişken oranlı uygulama gruplara göre analiz edilmiştir. Operasyonel farklılıkların tanımlandığı işletme koşulları, ağaç yoğunluğunu belirleyen ağaç türü ve düşey düzlemdeki kaplama verilerinin karşılaştırılması için belirlenen Yatay bileşenlerinin etkileşimleri incelenmiştir (Çizelge 4.9). Bu analize göre, işletme koşulları, yatay ve ağaç türü bileşenlerinin ayrı ayrı etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Sig. p<0,05). Ancak, yatay*ağaç türü etkileşimi anlamsız bulunmuştur. Bunun yanında üçlü interaksiyon etkisi de anlamsız olmuştur. Bu durumun sebebi, ağaç türünden bağımsız olarak tüm verilerin birlikte değerlendirilmesinden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.9. Bahçe denemelerinde gerçekleştirilen yükseklik boyunca kaplama ölçümleri ile ağaç türü ve işletme koşullarının farklılıkların istatiksel analizi.

Bağımsız Değişken: Kaplama

varyans kaynağı	df	F	Sig*.
Yatay	2	71,595	0
AğaçTürü	2	48,765	0
İşletme koşulları	6	53,507	0
Yatay x AğaçTürü	4	0,129	0,972
Yatay x İşletme koşulları	12	2,293	0,003
AğaçTürü x İşletme koşulları	12	6,695	0
Yatay x AğaçTürü x İşletme koşulları	24	0,246	1

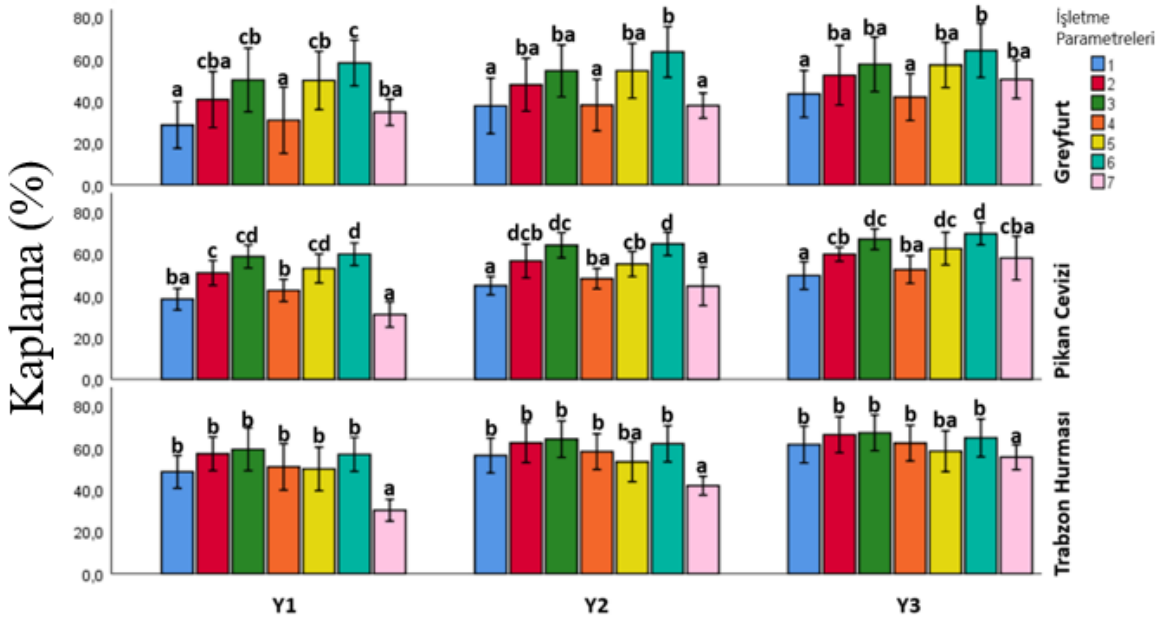
*: P<0,01 önem düzeyinde önemli

Greyfurt ağaçlarında, düşük hava hızlarıyla yapılan uygulamalarda istatistiksel olarak benzer kaplama miktarları görülmüştür (Şekil 4.10). Hatta aynı bölgedeki kaplama verilerine göre operasyonel İşletme koşulları arasındaki farklar daha az çıkmıştır. Cross ve ark. (2001) yaptıkları çalışmada ağacın üst taçlarında oluşan kaplama miktarının, alt taca göre %50 daha az olduğunu ifade etmişlerdir. Benzer şekilde, ağacın üst tacından alt tacına doğru inildiğinde kaplamanın arttığı görülmektedir. Bu ağaç tipinde ağaç tacının yoğunluğu yüksek, ağaç taç genişliği fazla ve yaprak duvarının geçirgenliği az olduğundan dolayı, yüksek hava hızlarında daha yüksek oranda kaplama elde edilmiştir. Değişken oranlı hava uygulama ile geleneksel uygulamalar karşılaştırıldığında, greyfurt bahçesinde özellikle düşük hava hızı uygulama (G1 ve G4) ile değişken oranlı uygulamanın (VR7) kaplama verilerinin istatiksel olarak daha yakın olduğu görülmüştür.

Pikan Cevizi bahçesinde, suya duyarlı kartlarla yapılan denemelerde kaplama yüzdelerinin ağacın üst tacından alt eteklerine doğru inildiğinde arttığı görülmektedir. Greyfurt ağacı ile karşılaştırıldığında, yaprak duvarının daha fazla geçirgen olduğu bilinmektedir. Buna bağlı olarak gerçirimlik az olduğundan dolayı Greyfurt bahçelerinde yapılan uygulamalara göre daha yüksek kaplama oranları elde edilmiştir. Değişken oranlı uygulama olan VR7'nin, G1 ile G4'e istatistiksel olarak benzer kaplama değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Her ne kadar istatiksel olarak aynı klasmanda yer almasa da geçiş gruplarında bulunmalarından dolayı benzer kaplama oranlarının elde edildiği ortaya çıkmıştır. G3, G5 ve G6'nın yüksek hava akımlarına sahip olduğu, ancak G6'nın istatiksel olarak diğerlerine göre daha az kaplama bıraktığı görülmüştür. Özellikle pikan cevizinde, genelde geçiş grupları oluştuğundan veriler arasında büyük farklılıklar yok gibi gözükse de düşük hava hızları ile yüksek hava hızlarının yarattığı kaplama etkileri istatiksel olarak farklıdır.

Trabzon Hurması ağaçları, en düşük yaprak yoğunluğuna sahip olduğu için, yapılan tüm denemelerde yaprak yüzeyindeki kaplama yüzdesinin arttığı görülmüştür. Değişken oranlı uygulama olan VR7'nin, diğer gruplara göre daha kaplama oluşturduğu belirlenmiştir. Özellikle ağacın üst mertebelerinde diğer uygulamalar istatiksel olarak benzer etkiyi yaratmış, VR7 ise daha düşük seviyelerde kaplama yüzdesi oluşturmuştur.

Değişken oranlı uygulama sisteminin, farklı ağaç tiplerinde benzer kaplama düzeylerini elde ettiği görülmüştür. Bu durum makinenin tasarlanma sebebplerinden birinin doğrudan karşılandığını göstermektedir. Ağaç yaprak yoğunluğu değişse dahi, değişken oranlı uygulama yapan sistemin farklı ağaç türlerinde ve aynı taç bölgelerinde benzer kaplama yüzdelerini elde ettiği görülmüştür. Kaplama oranları incelendiğinde, kaplama miktarlarının %30 (insektisit için yeterli kaplama düzeyi) ile %70 (fungisit için yeterli kaplama düzeyi) arasında değiştiği görülmektedir (Matthews ve ark., 2014). Farklı araştırmacılar, kaplama yüzdelerini farklı büyüklüklerde belirlemektedir ancak biyolojik etkinlik de önemlidir. Gil ve ark. (2014) yaprakları çalışmada asmada külleme hastalığı (fungal hastalık) için %20 kaplamanın yeterli olacağını ifade etmişlerdir. Buna karşın Salcedo ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada %30 üzeri kaplamanın fazla ilaç kullanımı oluşturduğunu ifade etmişlerdir. Zhu ve ark. (2008) suya duyarlı kartlar, 600 dpi'da değerlendirildiğinde % 70 kaplamada küçük damlaların tam olarak seçilemediği ve tam kaplama (saturated) ile bir farkı olmadığını ifade etmişlerdir.



Şekil 4.10. Farklı bahçelerde yaprak üzeri kaplamanın yükseklik boyunca değişimi.

Ağaç yüzeyindeki kaplama yüzdeleri için farklı yüzdeler elde edilmiştir. Ancak doğru kaplama yüzdesinin belirlenmesi ile fazla ilaç kullanımının önüne geçilebilmekte, yeteri kadar tarımsal ilaç kullanarak zararlı ile mücadele edilebilmektedir. Kaplama indeksi, kaplama miktarının %30 ve üzerinde olması yüksek oranda ilaçlama olarak değerlendirilmektedir (Salas ve ark., 2022). Uygulama hacmi arttırıldığında, kaplama indeksi değişebilmektedir. Yatay boyunca Kaplama İndeksi verileri incelendiğinde, işletme koşul fark etmeksizin ağacın etek bölgelerinde kaplama indeksi artmaktadır. Yaprak yoğunluğu yüksek olduğu bilinen Greyfurt ağacının üst tacında, G1 ile gerçekleştirilen denemelerde Y1 (-) değer bulunmuştur (Çizelge 4.10). Kaplama indeksinin (+)

değerde olması ve 0 ile 1 aralığında olması beklenmektedir. Ancak bu değerin 0'a yakın olması kaplama indeksinin düşük olması ve işlem başarısının yüksek olması anlamına gelmektedir. Ağacın yoğun olduğu bölgelerde, düşük uygulama hacimlerinde kaplama indeksi (-) olarak çıkabilmektedir (Fessler ve ark. 2020). Bu durum, kaplamanın da oldukça yetersiz olduğunu göstermektedir. Değişken oranlı uygulama ile gerçekleştirilen uygulamalarda, Kaplama İndeksi değeri 0'a yakın ve (+) değerdedir. Geçirgenliği az olan ağaç türlerinde, Kaplama indeksi daha düşük çıkmaktadır.

Çizelge 4.10. Bahçe denemelerinde Yatay Boyunca Kaplama İndeksinin karşılaştırılması

Ağaç Türü	İşletme koşulları	Bölgeler		
		Y_1	Y_2	Y_3
Greyfurt	G1	-0,02	0,11	0,19
	G2	0,15	0,25	0,32
	G3	0,29	0,35	0,39
	G4	0,01	0,11	0,17
	G5	0,28	0,35	0,39
	G6	0,40	0,48	0,49
	VR7	0,07	0,11	0,29
Pikan Cevizi	G1	0,12	0,21	0,28
	G2	0,30	0,38	0,42
	G3	0,41	0,48	0,53
	G4	0,18	0,26	0,32
	G5	0,33	0,36	0,46
	G6	0,42	0,49	0,56
	VR7	0,01	0,21	0,40
Trabzon Hurması	G1	0,26	0,38	0,45
	G2	0,39	0,46	0,52
	G3	0,42	0,49	0,53
	G4	0,30	0,40	0,46
	G5	0,29	0,33	0,41
	G6	0,38	0,46	0,50
	VR7	0,00	0,17	0,37

Traktör İlerleme Doğrultusu Boyunca Kaplama Verilerinin Değerlendirilmesi

Farklı bahçelerde değişken oranlı ve geleneksel uygulama modlarında püskürtme sıvısı uygulayarak elde edilen kaplama verileri traktör ilerleme doğrultusu boyunca karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.11). Değişken oranlı uygulamaların ve geleneksel uygulamaların bulunduğu işletme koşulları, ağaç yoğunluğunu gösteren ağaç türü faktörüyle birlikte, kaplama verilerinin karşılaştırılması için kurulan düşey bileşenlerinin içsel etkileşimleri incelenmiştir. Yapılan denemelerde, İşletme koşulları, düşey ve ağaç türü faktörlerinin ayrı ayrı etkileri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Sig. $p<0,05$). İkili etkileşimler incelendiğinde tüm ikili interaksiyonlar anlamlıdır. Bunlardan en önemlisi, işletme koşulları*düşey interaksiyonu istatiksel olarak anlamlı çıkmamıştır. Bunun sebebi bazı işletme koşulların, kaplama üzerinde benzer etki yaratmasından dolayıdır. Farklı bahçelerde yapılan denemeler birbirinden farklı değerlendirilmiştir. Veriler ayrıca değerlerndirilirken farklı ağaç tiplerindeki farklılıklar ayrıca karşılaştırılmıştır. Üçlü etkileşim

incelendiğinde, etkileşimin anlamlı olmadığı ortaya çıkmıştır (Sig. p<0,05). Bu durumda üç değişkenin de doğrudan kaplama etkisi üzerinde etkili olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.11. Bahçe denemelerinde gerçekleştirilen püskürtme doğrultusu boyunca kaplama ölçümleri ile ağaç türü ve işletimdeki farklılıkların istatiksel analizi.

Bağımlı Değişken: Kaplama

Varyans kaynağı	df	F	Sig.
AğaçTürü	2	109,806	0
Düşey	2	451,79	0
İşletme koşulları	6	120,484	0
AğaçTürü * Düşey	4	21,324	0
AğaçTürü * İşletme koşulları	12	15,076	0
Düşey * İşletme koşulları	12	1,058	0,394
AğaçTürü * Düşey * İşletme koşulları	24	1,174	0,26

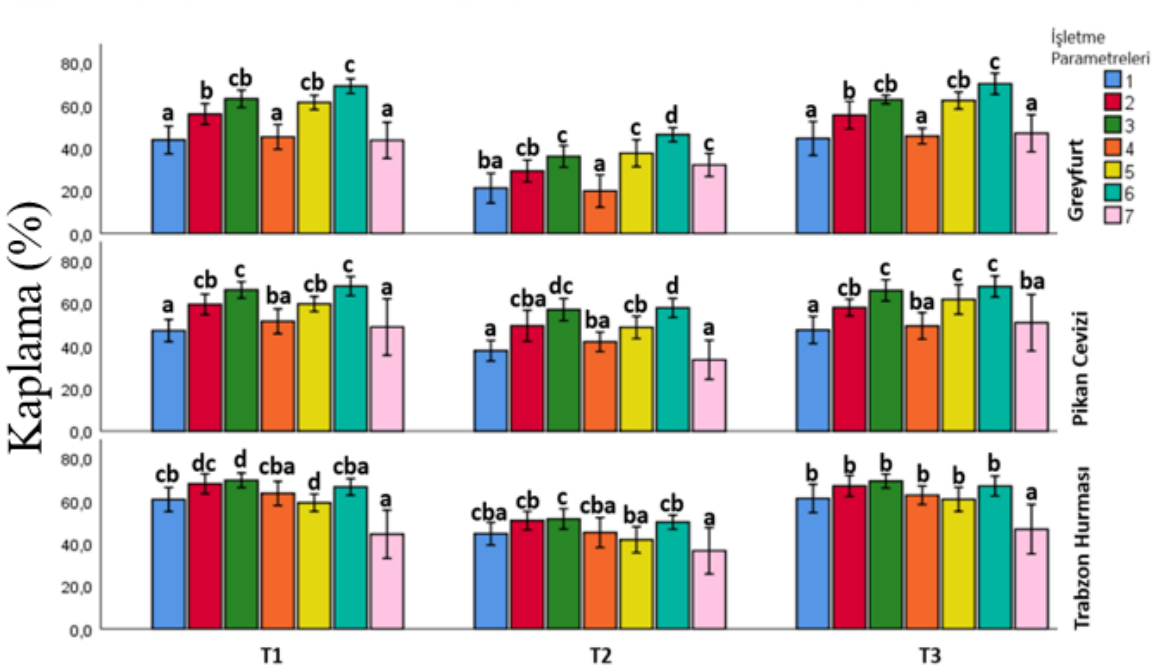
*: P<0,01 önem düzeyinde önemli

Greyfurt bahçesinde yapılan denemelerde, tüm işletme koşullar ile gerçekleştirilen uygulamalarda ağacın farklı düşeylerinde, yaprak yüzeyinde benzer büyüklükte kaplama oluştuğu bu durumun da bahçe pülverizatörünün, traktör ilerleme doğrultusu boyunca tek düze püskürtme sıvısı uyguladığı görülmüştür (Şekil 4.11). İstatiksel olarak VR7, G1 ve G4'ün yaprak yüzeyindeki kaplama etkisi benzerdir. Hava hızının yüksek olduğu işletme koşullar olan G3, G5 ve G6 değerlerinin karşılaştırılmasına bakıldığında, G6'nın yaprak yüzeyinde yoğun yaprak yüzeyi kaplaması oluşturduğu görülmüştür. Greyfurt ağacının yaprak yoğunluğunun yüksek olması sebebiyle özellikle ağaç taç genişliğinin yüksek olduğu T2'nin olduğu bölgede kaplama verisi diğer ağaç türlerine göre düşük çıkmıştır. Değişken oranlı hava ve püskürtme sıvısı uygulama sistemi, ilerleme boyunca T2 düşeyindeki kaplama miktarı az olsa da diğer düşeylerde kaplama miktarı daha yüksek çıkmıştır.

Pikan Cevizi bahçesindeki T1, T2 ve T3 düşeyleri boyunca veriler karşılaştırıldığında, G1 ve VR7'nin kendi içlerinde bir grup oluşturdukları, buna karşılık G3 ve G6'nın kendi içlerinde birer sınıf olduğu ortaya çıkmıştır. Diğer işletme koşullar tam karakteristik bir özellik gösterip bir tarafa yakın olamamış, geçiş grubunda kalmışladır. Pikan cevizinin yaprak yoğunluğunun nispeten greyfurta göre daha düşük olmasından dolayı, özellikle T2 düşeyinde net bir şekilde kaplama miktarı artmıştır. Pikan cevizi bahçesinde yapılan denemelerde, VR7 ile yapılan uygulamalarda da greyfurta benzer şekilde T2 düşeyinde diğer düşeylerden düşük olduğu görülmüştür.

Yaprak yoğunluğu diğer ağaç türlerine göre daha düşük olan Trabzon hurmasında yapılan denemelerde, VR7 istatiksel olarak diğer gruplara nispeten daha az kaplama yaratmıştır. Aynı geleneksel uygulamalar T1 ve T3 düşeylerinde bile farklı olarak ortaya çıkmıştır. Ancak grafiğin tamamı incelendiğinde, VR7'nin T1 ve T3 düşeylerinde ağaç türü fark etmeksizin aynı yaklaşık oranda kaplama yapabildiği görülmektedir. Bu durum püskürtme sisteminin karar verme sisteminin doğru çalıştığını ortaya koymaktadır. Değişken Oranlı püskürtme sıvısı uygulama sistemi ile

uygulamada T1 ve T3 düşeylerinde görülen benzer kaplama oranları püskürtme sisteminin doğru şekilde çalıştığını göstermektedir. Diğer geleneksel uygulamalarda ağaca uygulanan püskürtme sıvısı miktarı anlık değişkenlik göstermediğinden dolayı, T1 düşeyinde yer yer farklılıklar oluşmuştur. T3 düşeyinde ise kaplama gruplardan elde edilen kaplama verileri benzer olmuştur. Bu durum ağacın doğal gelişiminde yaprak ve dal gelişiminin farklı olmasıyla da ilgilidir. Ancak VR7 ile yapılan denemelerde, ağaç tacına göre memeler açılıp kapandığından dolayı, T1 ve T3 tek düze olarak ilaçlanabilmiştir. Chen ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada farklı fenolojik dönemlerde ilerleme doğrultusu boyunca püskürtme sıvısının yarattığı kaplama etkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada benzer olarak T1 ve T3 düşeylerinde özellikle erken fenelojik dönemlerde eş kaplama miktarları ölçülememiş ancak, tam yaprak gelişiminde T1 ve T3 düşeylerinde ölçülen kaplama verilerinin eş olduğu görülmüştür.



Şekil 4.11. Farklı bahçelerde yaprak üzeri kaplamanın ilerleme doğrultusu boyunca değişimi.

Denemelerde, traktör ilerleme doğrultusu boyunca kaplama indeksi incelendiğinde, T1 ve T3 verilerinin birbirine oldukça yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Bu durum aslında, örneklerin bulunduğu yerlerin deney verilerinin doğru alınması açısından doğru bölgeler olduğunun göstergesidir. Greyfurt bahçesinde, G1 ve VR7'nin kaplama indeksi verilerinin benzer olduğu görülmektedir. Kaplama indeksi değerlerinin 0'a yakın olması gerekliliği göz önüne alındığında, bu iki gurubun daha iyi uygulama gerçekleştirdiğini söylemek mümkündür. Ancak G1 ve G4 T2 düşeyindeki kaplama indeksi verileri (-) çıkmıştır. Dolayısıyla, kullanıcıya sunulan hiçbir varyasyon, değişken oranlı uygulama kadar esnek olmamıştır. Verilere göre değişken oranlı hava uygulama sistemi, hem ağaç tacına göre püskürtme sıvısını daha iyi ayarlayabilmiş hem de bu püskürtme sıvısını anlık hesapladığı doğru hava akımıyla, ağaç tacına daha uygun şekilde ulaştırmıştır.

Çizelge 4.12. Bahçe denemelerinde ilerleme doğrultusu boyunca kaplama oranı indeksinin karşılaştırılması

Ağaç Türü	İşletme koşulları	Bölgeler		
		T1	T2	T3
Greyfurt	G1	0,20	-0,13	0,21
	G2	0,37	-0,01	0,36
	G3	0,47	0,09	0,47
	G4	0,22	-0,14	0,22
	G5	0,45	0,11	0,46
	G6	0,56	0,23	0,57
	VR7	0,20	0,03	0,24
Pikan Cevizi	G1	0,25	0,11	0,25
	G2	0,42	0,28	0,40
	G3	0,52	0,39	0,51
	G4	0,31	0,17	0,28
	G5	0,42	0,27	0,45
	G6	0,54	0,40	0,54
	VR7	0,27	0,05	0,30
Trabzon Hurması	G1	0,44	0,21	0,45
	G2	0,54	0,30	0,53
	G3	0,57	0,31	0,56
	G4	0,48	0,22	0,47
	G5	0,42	0,17	0,44
	G6	0,52	0,29	0,53
	VR7	0,21	0,09	0,24

Püskürtme Doğrultusu Boyunca Kaplama Oranı Verilerinin Değerlendirilmesi

Bahçe denemelerinde püskürtme doğrultusu boyunca, püskürtme sıvısının ağacın içine doğru ne kadar nüfuz edebildiğini görebilmek amacıyla, ağaç yarı tacı 2 bölüme ayrılmıştır. Bu 3 bölge ile bir düşey oluşturulmuş ve bu düşeye S1 adı verilmiştir. Ağacın iç orta bölgesinde bulunan A2, A5 ve A8 bölgelerinin oluşturduğu düşeye da S2 düşeyi ismi verilmiştir. Ağacın yarı taç hacminde 2 kısmı temsil eden bu düşeyler ile püskürtmenin ağaç derinliği boyunca ne derece etkin olduğu denenmiştir. Farklı bahçelerde farklı işletme koşullar ile püskürtme sıvısı uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Denemelerde, değişken oranlı uygulama ve geleneksel uygulamalarının yer aldığı işletme koşulları, ağaç yoğunluğunun ve geçirimliliğinin göstergesi olan ağaç türü, püskürtme sıvısının uygulandığı yerden ağacın gövdesinin bulunduğu yere kadar kısıma kadar ki verilerin karşılaştırılması için kullanılan püskürtme bileşenlerinin kendi içerisindeki interaksiyonları incelenmiştir (Çizelge 4.13). Yapılan denemelerde, işletme koşulları, püskürtme ve ağaç türü bileşenlerinin ayrı ayrı etkilerinin istatiksel olarak anlamlılık düzeyinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür (Sig. $p<0,05$). Diğer taraftan, ikili interaksiyon etkilerinden tamamı anlamlı çıkmıştır. Bu etkilerden en önemlisi işletme koşulları*püskürtme interaksiyonunun anlamlı çıkmasıdır. Çünkü her bir deneme bahçe bazlı diğerinden farklı sonuçlar doğurabilir. Ağaç türünün etkileri, ağaç taç geometrisi ve yaprak yoğunluğunun etkileri vurgulanırken kullanılmıştır. Üçlü interaksiyon etkisi

incelendiğinde üç bileşenin kaplama üzerindeki ortak etkilerinin anlamlılık düzeyinin yüksek olmasından dolayı interaksiyon etkisinin anlamlı olduğu görülmüştür (Sig. p<0,05). Bu durum ile ağaç türü fark etmeksizin, farklı işletme koşullarda yapılan denemelerde S1 ve S2 düşeylerindeki kaplama verileri arasında farklılık olduğunu ortaya çıkarılmıştır.

Çizelge 4.13. Bahçe denemelerinde gerçekleştirilen püskürtme doğrultusu boyunca kaplama verileri ile ağaç türü ve operasyonel farklılıkların istatiksel analizi.

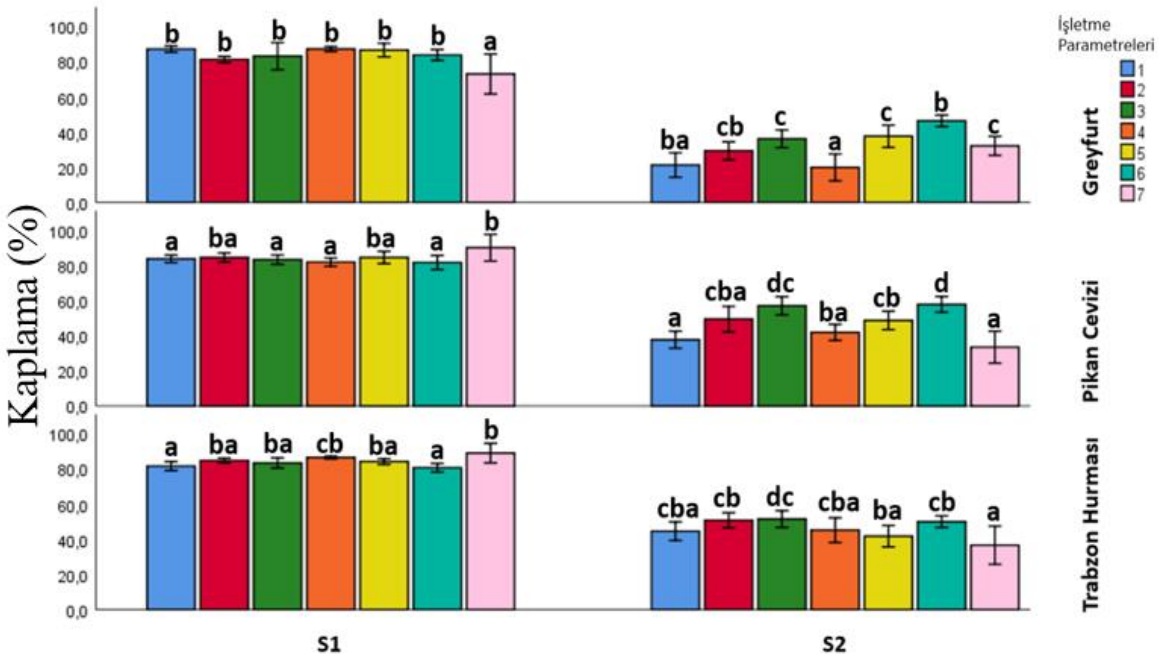
Bağımlı Değişken: Kaplama

Varyans Kaynağı	df	F	Sig.
AğaçTürü	2	90,727	0
İşletme koşulları	6	18,487	0
Püskürtme	1	6155,667	0
AğaçTürü x İşletme koşulları	12	4,724	0
AğaçTürü x Püskürtme	2	67,18	0
İşletme koşulları x Püskürtme	6	28,866	0
AğaçTürü x İşletme koşulları x Püskürtme	12	11,267	0

*: P<0,01 önem düzeyinde önemli

Yapılan tüm denemelerde, aynı ağaç türünde kendi işletme koşulları içerisinde tüm S1 düşeyindeki kaplama miktarları, tüm S2 düşeyindeki kaplama miktarlarından daha yüksek olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.12). Bunun sebebi, S1 düşeyinin her ağaç türünde püskürtme sıvısı uygulanan tarafa daha yakın olmasından dolayıdır. Ancak farklı yoğunluktaki ağaç türlerinde geçirimlilik farklı olduğundan dolayı, ağacın orta bölgesinde bulunan S2 düşeyinde az yoğun ağaçlarda daha fazla kaplama oluşmuştur. Bu sebeple S1 düşeyi, püskürtme sıvısının uygulandığı tarafa daha yakın olduğundan, her ağaç türünde daha yoğun bir kaplama oluşmuştur. Ancak, farklı yoğunluktaki ağaç türlerinde geçirimlilik farklı olduğu için, S2 düşeyinde bulunan daha az yoğun ağaçlarda daha fazla kaplama oluşmuştur. Değişken oranlı uygulama sistemi, S1 bölgesinde greyfurt ağacı için daha az kaplama sağlarken, Trabzon hurması ve pikan cevizi ağaçlarında bu bölgede daha yoğun kaplama oluşturablmiştir. S1 bölgesinde geleneksel uygulamalar arasında çok büyük anlamlı farklılıklar olmasa da, değişken oranlı uygulama diğerlerinden istatiksel olarak farklı çıkmıştır. S2 bölgesindeki kaplama verileri incelendiğinde, işletme koşullar içerisinde hava hızının yüksek olduğu uygulamalarda daha yüksek oranda kaplama oluşmuştur. Bunun sebebi, hava akımı yüksek olduğundan dolayı, tacın iç bölgelerine doğru yüksek hava akımının etkisiyle püskürtme sıvısının daha iyi taşınmış olmasından dolayıdır. Buna karşın değişken oranlı sistemde kp_l değerlerinin doğru büyüklükte hesaplanıp programa girilebilmesi sayesinde, farklı ağaçlarda geçirgenlik değişse dahi hava akımı ağaçlara doğru şekilde ayarlanabilmiştir. Böylece farklı ağaç türlerinde, değişken oranlı uygulama ile gerçekleştirilen uygulamalarda S2 düşeyinde VR7 verileri birbirine yakın çıkmıştır. Bu sonuca göre, ağaç türü değişse dahi değişken oranlı hava uygulama sisteminin hava akımını doğru ayarlaması ve ağaca püskürtülecek sıvı miktarını doğru ayarlaması sayesinde S2 düşeylerinde benzer kaplama elde edildiği görülmüştür. Chen ve ark. (2013) aynı ağacın farklı fenolojik dönemlerinde

yaptıkları çalışmada, ağacın iç kesimlerinde yaprağa durmadan önceki dönemde kaplama miktarı %90 mertebesindeyken, yaprak gelişimi tamamlandıktan sonraki fenolojik dönemindeki denemelerde ölçülen yaprak yüzeyi kaplamanın %50'lere düştüğünü ifade etmişlerdir. Bunun yanında, Chen ve ark.(2012) yaptıkları çalışmada farklı ağaç yoğunluklarında ağaç derinliğinde püskürtme doğrultusu boyunca kaplamanın değişimini incelemişlerdir. Ağaç derinliğinde püskürtme doğrultusu boyunca yapılan ilaç uygulama işleminde, değişken oranlı uygulama ile çok yoğun yapraklı ağaçlarda uygulamada çok efektif sonuçlar alınamamıştır. Farklı yoğunluklardaki ağaç türlerinde, değişik kaplama ölçümleri gerçekleşmiştir. Buna karşın değişken oranlı uygulama yapan sistemin ağaç türü ve yaprak yoğunluğu değişse dahi benzer bölgelerde benzer kaplama oluşturması beklemektedir. Benzer şekilde Wang ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada, ağacın orta tacında kaplama ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Buna göre taç genişliğinin artmasına bağlı olarak, ağacın orta kısmında, yani tacın en geniş olduğu yerde kaplama yüzdesi %46 iken, alt etekte %50, üstte ise %60 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4.12. Farklı bahçelerde yaprak üzeri kaplamanın püskürtülme doğrultusu boyunca değişimi.

Greyfut bahçesinde yapılan denemelerde, düşük hava hızlarında kaplama indeksi (-) olarak çıkmıştır (Çizelge 4.14). Bu durum, ağacın orta bölgesindeki kaplamanın düşük olması anlamına gelmiştir. Kaplamanın çok yüksek olması her zaman iyi bir uygulama olduğu anlamına gelmemektedir. Uygulamanın tek düze ve yeterli olması, ilaçlama başarısı için daha önemlidir. Hava hızının yüksek olduğu gruplarda, S2 düşeyinde daha yüksek değerler görülmüştür. Kaplama indeksi değerinin 0'a yakın ve (+) değerde olması yeterli ve istenen kaplamadan fazla olmaması (overspray) önemlidir. Fessler ve ark. (2020), yaptıkları çalışmada aynı yükseklikte ağacın derinliği boyunca 1 m ara ile örnek alma noktaları belirlemiş ve bu bölgelere suya duyarlı kartlar yerleştirilmiştir.

Uygulama Hacmi 0,09 L/m^3 iken, ağaç derinliği boyunca 1 m'de kaplama indeksi 0,9, 2m'de kaplama indeksi 0.7, 3m'de kaplama indeksi 0.4, 4m'de kaplama indeksi 0.4 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.14. Bahçe denemelerinde Püskürtme Doğrultusu Boyunca kaplama oranı İndeksinin karşılaştırılması.

Ağaç Türü	İşletme koşulları	Bölgeler	
		S1	S2
Greyfurt	G1	0,82	-0,13
	G2	0,73	-0,01
	G3	0,76	0,09
	G4	0,82	-0,15
	G5	0,81	0,11
	G6	0,77	0,23
	VR7	0,61	0,03
Pikan Cevizi	G1	0,77	0,11
	G2	0,78	0,28
	G3	0,76	0,39
	G4	0,74	0,16
	G5	0,78	0,27
	G6	0,74	0,40
	VR7	0,86	0,05
Trabzon Hurması	G1	0,74	0,21
	G2	0,78	0,30
	G3	0,76	0,31
	G4	0,81	0,30
	G5	0,17	0,77
	G6	0,73	0,29
	VR7	0,84	0,09

4.3.3. Ağaç Bazlı Kaplama ve İz Maddesi Birikinti Değerlerinin Karşılaştırılması

Bahçe denemelerinde, elde edilen kaplama ve iz maddesi birikinti değerleri incelendiğinde değerlerin paralellik gösterdiği görülmüştür (Çizelge 4.15). Ağaç tacında, ağacın üst taçlarından alt eteklere inildiğinde ağaç türü ve işletme koşulları farketmeksizin iz maddesi birikintisi ve kaplamanın arttığı görülmüştür. Ayrıca ağaç tipi Greyfurt (çok yoğun) iken kaplama ve iz maddesi birikintisi değerlerinin daha az olduğu, pikan cevizi (orta yoğun) ve Trabzon hurması (az yoğun) ağaçlarına gidildiğinde daha bu ağaçların greyfurta göre nispeten daha seyrek olması sebebiyle üzerlerindeki iz maddesi birikintisi ve kaplama verileri artmıştır. Ancak ağaç tipi değişkenlik gösterse de, VR7 ile gerçekleştirilen uygulamalarda iz maddesi birikintisi verilerinin ortalama olarak neredeyse aynı değerde olduğu ortaya çıkmıştır. Hava hızının arttığı uygulamalarda, iz maddesi birikintisi ve kaplamanın daha da arttığı gözlemlenmiştir. Geleneksel uygulamalarla yapılan denemelerde, yaprak yoğunluğu fazla olan, greyfurt ağacında yapılan uygulamalarda, %CV değerinin oldukça yüksek olduğu, diğer ağaçlarda ise düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ağacın farklı bölümlerine yerleştirilen örneklerin üzerindeki iz maddesi birikintisi ve kaplama verileri

yaprak yoğunluğu fazla olan ağaçlarda daha farklı gerçekleştiğinden dolayıdır. Buna karşın daha az yoğun olan diğer ağaç türlerinde, ağaç üzerindeki iz maddesi birikintisi ve kaplama verileri ağaç üzerinde daha homojen yayıldığı söylenebilir. Bu durum CV% değerinin düşük olmasından anlaşılabilmektedir. Fakat buna karşın değişken oranlı uygulama ile gerçekleştirilen uygulamalarda % CV değerleri düşük yoğunluklu ağaçlarda daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi, aslında çalışmanın amaçlarından biri de olan farklı bölgelere değişken miktarda sıvı yönlendirilmesidir.

Çizelge 4.15. Seçilen püskürtme yöntemlerine göre ağaç bazlı kaplama ve iz maddesi değerleri, ortalama ve dağılım düzgünlüğünü CV(%) karşılaştırılması

		G1		G2		G3		G4		G5		G6		VR7	
Ağaç Türü	Bölge	µg/cm²	%	µg/cm²	%	µg/cm²	%	µg/cm²	%	µg/cm²	%	µg/cm²	%	µg/cm²	%
Greyfurt	Y1	7,05	28,54	10,38	40,68	11,63	50,02	7,7	30,84	17,51	49,76	19,57	58,11	6,89	34,59
	Y2	8,43	37,68	12,49	47,76	13,01	54,38	9,64	38,05	19,59	54,39	20,71	63,36	8,52	37,79
	Y3	9,71	43,35	13,63	52,36	14,36	57,52	10,22	41,85	21,34	57,16	22,09	64,09	9,48	50,32
	T1	9,64	43,82	13,81	55,96	14,97	63,11	10,42	45,23	21,86	61,39	23,83	69,07	9,6	45,63
	T2	5,78	21,21	8,9	29,26	9,29	36,09	6,27	19,85	15,17	37,58	15,2	46,32	6,06	32,11
	T3	9,76	44,54	13,78	55,47	14,74	62,71	10,86	45,64	21,4	62,34	23,32	70,17	9,23	46,95
	Ort	2,80	12,17	4,06	15,64	4,33	17,99	3,06	12,30	6,49	17,92	6,93	20,62	2,77	13,74
	CV%	59%	79%	51%	66%	51%	56%	59%	81%	41%	51%	46%	42%	54%	54%
P.Cevizi	Y1	8,87	38,19	12,32	50,71	22,42	58,52	12,18	42,37	19,42	52,8	24,89	59,64	6,66	30,88
	Y2	10,47	44,65	13,9	56,42	26,52	63,89	13,95	47,99	22,44	54,93	27,78	64,54	8,87	44,41
	Y3	11,83	49,45	15,28	59,62	25,83	66,76	15,3	52,31	22,95	62,29	27,17	69,42	9,58	57,82
	T1	11,03	47,15	14,44	59,41	25,07	66,22	15,11	51,47	22,58	59,6	27,53	68,02	9,08	48,82
	T2	8,96	37,70	12,54	49,42	23,43	56,98	12,42	41,84	19,95	48,65	24,99	57,78	6,98	33,45
	T3	11,18	47,44	14,51	57,92	26,26	65,98	13,89	49,36	22,28	61,76	27,33	67,82	9,06	50,84
	Ort	3,46	14,70	4,61	18,53	8,31	21,02	4,60	15,85	7,20	18,89	8,87	21,51	2,79	14,79
	CV%	35%	34%	25%	24%	20%	20%	28%	28%	21%	29%	15%	22%	44%	71%
T.Hurması	Y1	12,45	48,53	17,28	57,14	20,44	59,27	13,39	50,94	19,3	49,95	27,31	56,87	6,8	30,25
	Y2	13,93	56,33	19,36	62,42	21,91	64,14	15,53	58,18	21,65	53,33	29,7	61,95	8,72	41,95
	Y3	14,73	61,57	21,69	66,27	22,82	67,15	17,14	62,25	22,97	58,39	30,68	64,75	9,64	55,56
	T1	14,42	60,65	19,96	68,02	22,54	69,67	15,83	63,52	22,11	59,16	29,68	66,53	9,23	44,39
	T2	12,14	44,62	17,64	50,78	20,23	51,54	14,32	45,18	19,81	41,78	28,13	50,04	7,1	36,64
	T3	14,54	61,16	20,74	67,03	22,41	69,34	15,91	62,67	22	60,72	29,88	66,97	8,83	46,73
	Ort	4,57	18,49	6,48	20,65	7,24	21,17	5,12	19,04	7,10	17,96	9,74	20,40	2,80	14,20
	CV%	25%	39%	27%	33%	15%	33%	26%	39%	20%	40%	13%	32%	42%	61%

4.3.3. Bahçe Denemelerinde Sürüklenme Kayıplarının Belirlenmesi

Yere Ulaşan Kayıplar (Ground deposits)

Bahçe denemelerinde, yapılan tüm uygulamaların yaprak üzeri iz maddesi birikintisi ve kaplama miktarlarının ölçülmesinin yanında, hedefe ulaşamayan damlaların yarattığı sürüklenmenin etkileri de ortaya konmaya çalışılmıştır. Bu sebeple, ağacın püskürtme yapılan tarafından ağacın gövdesine doğru 30 cm aralıklarla 3 adet numune alma bölgesi belirlenmiş, bu bölgeler en dıştan içeri doğru C1, C2, C3 olarak isimlendirilmiştir (Şekil 3.37b). Denemelerde, bu bölgelere yerleştirilen filtre kağıtları ile ağaca ulaşamayıp yere düşen sürüklenme kayıpları belirlenmiştir. Denemelerde, tüm uygulama tiplerinin yer aldığı işletme koşulları, ağaç yoğunluğunun ve geçirimliliğinin göstergesi olan ağaç türü, yer zeminine yerleştirilen örnekler yer, bileşenlerinin iz maddesi birikintisi üzerindeki etkileri incelenmiştir (Çizelge 4.16). Yapılan denemelerde, operasyonel farklılık olan İşletme koşulları, yer ve ağaç türü bileşenlerinin ayrı ayrı etkilerinin istatiksel olarak anlamlılık düzeyinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür (Sig. $p<0,05$). İkili interaksiyon etkisi olan işletme koşulları*yer interaksiyonunun anlamlı çıkması önemlidir. Çünkü bu durum, işletme koşullarının değişmesinin yer kayıpları üzerinde anlamlı fark oluşturduğunu göstermektedir. Üçlü interaksiyon etkisi incelendiğinde üç bileşenin kaplama üzerindeki ortak etkilerinin anlamlılık düzeyinin yüksek olmasından dolayı interaksiyon etkisinin anlamlı olduğu görülmüştür (Sig. $p<0,05$). Bu durum farklı bahçelerde işletme koşullarının, yer kayıpları üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.16. Bahçe denemelerinde yer kayıplarının iz maddesi birikintisi verileri ile ağaç türü ve operasyonel farklılıkların istatiksel analizi.

Bağımlı Değişken: İz Maddesi Birikintisi

Varyans Kaynağı	df	F	Sig.
AğaçTürü	2	233,756	0
İşletme koşulları	6	764,157	0
Yer	2	130,644	0
AğaçTürü x İşletme koşulları	12	10,678	0
AğaçTürü x Yer	4	6,025	0
İşletme koşulları x Yer	12	11,252	0
AğaçTürü x İşletme koşulları x Yer	24	3,678	0

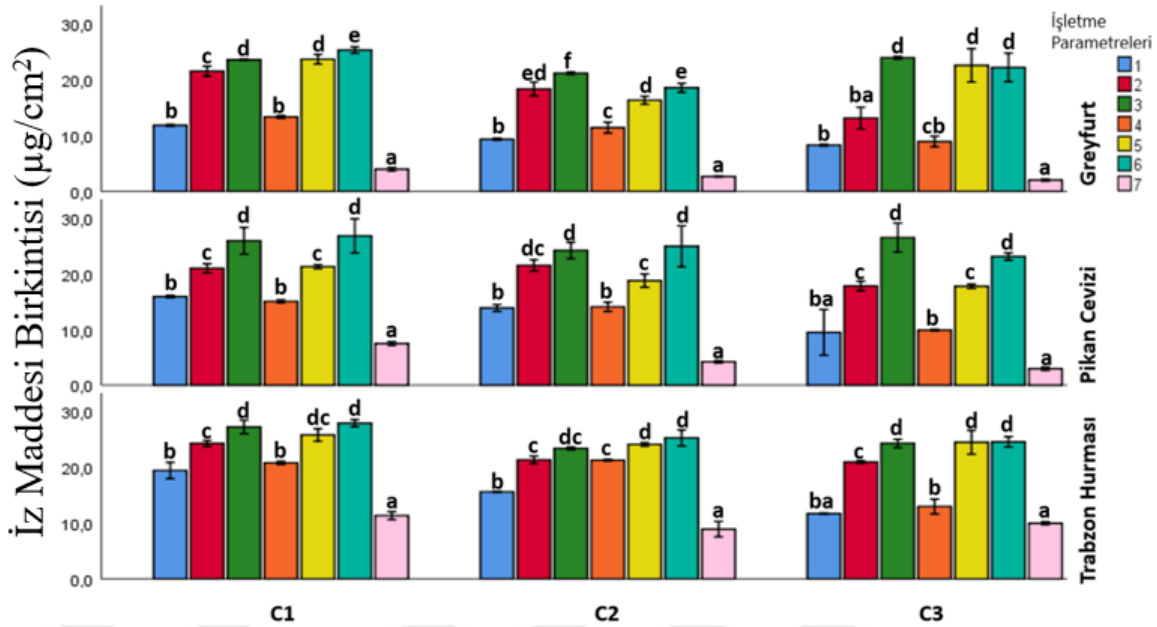
*: P<0,01 önem düzeyinde önemli

Bahçe denemelerinde sürüklenme ile yer kayıpları incelendiğinde, greyfurt bahçesinde yapılan denemelerde ağacın geçirgenliğinin az olmasından dolayı, bu bahçede yapılan denemelerde yer kayıpları diğer ağaç türlerine göre daha az olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.13). Püskürtme uygulamasının yapıldığı yerden ağacın gövdesine doğru iz maddesi birikintileri incelendiğinde ağacın gövdesine yakın bölgelerde, daha düşük miktarlarda iz maddesi birikintisi elde edildiği görülmektedir. Cross ve Ark. (2001) yaptıkları çalışmada, bahçe uygulamasında ağaçlarına altına

sürüklenme ölçümü için polietilen ipler koyup yer kayıplarını ölçmüşlerdir. Taç geometrisi büyük ve yoğun ağaçlarda, yere akıp geçen püskürtme sıvısının daha az olduğunu tespit etmişlerdir. Küçük taç hacmine sahip ve az yoğun ağaçlarda, düşük hava akımıyla gerçekleştirilen uygulamalarda daha fazla yer kaybının oluştuğunu ifade etmişlerdir. Bunun sebebi hava akımını yeterince arkasına alamayan damlalar, ağaç tacına ulaşamadan yere akmaktadır. Ağacın dışından, ağaç gövdesine gelindikçe yer kayıplarının da azaldığı görülmüştür. Buna karşın Gil ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada değişken oranlı veya geleneksel uygulamalarda yer kayıplarının çok fazla fark etmediğini istatiksel olarak ortaya koymuşlardır. Hangi uygulama tipi olursa olsun, ağacın yapraklarında biriken ve akan damlaların yer zeminine inebileceğini vurgulamışlardır.

Traktör ilerleme hızı ve memelerden uygulanan püskürtme sıvısı miktarı değişmeyecek şekilde gerçekleştirilen uygulamalarda, özellikle hava akımının yüksek olduğu uygulamalar olan G3, G5 ve G6'da özellikle C1 bölgesinde yoğun iz maddesi birikintisi oluştuğu görülmüştür. Bu bölgede düşük hava hızıyla gerçekleştirilen uygulamalarda, greyfurt ağacının düşük geçirgenliğine rağmen yüksek iz maddesi birikintisi elde edilmiştir. Düşük hava hızlarıyla gerçekleştirilen uygulamaların özellikle C1 bölgesinde daha yoğun iz maddesi birikintisi oluşturmasının sebebi, hava hızının yetersiz olmasından kaynaklanmaktadır. Değişken oranlı sistemin çalışmasına ait farklı bölgelerdeki iz maddesi birikintisi miktarları incelendiğinde, iz maddesi birikintisinın oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bu uygulama sayesinde, ağacın gövdesine yaklaştıkça iz maddesi birikintisinın daha da azaldığı ortaya çıkmıştır. Değişken oranlı hava ve püskürtme sıvısı uygulayan sistem ile hem hava akımı damlaları ağaç tacına taşıyabilecek oranda gönderilmiş hem de ağacın geometrisine bağlı olarak püskürtme sisteminin tetiklenemsine bağlı olarak püskürtme sıvısı uygulama gerçekleştirilmiştir.

Pikan cevizi ve Trabzon hurması bahçelerinde yapılan denemelerde, yaprak yoğunluğu greyfurt bahçesine nispeten az olduğundan dolayı, bu bahçelerdeki geçirimlilik daha fazladır. Bu sebeple, yere akan veya hedefe ulaşamayan damlalar yere yerleştirilen örneklerde daha fazla iz maddesi birikintisi oluşturmuşlardır. Pikan cevizi bahçesinde, özellikle yüksek hava hızlarında kütlesel akı daha fazla olduğu için, G3 ve G6 ile yapılan denemelerde yüksek iz maddesi birikintisi tespit edilmiştir. Püskürtme yapılan ağacın dış tacından ağacın gövdesine doğru katedilirken, iz maddesi birikintisi miktarının daha da az olduğu görülmüştür. Değişken oranlı sistem ile gerçekleştirilen uygulamada, greyfurt bahçesindeki kadar az olmasa da Trabzon hurması ve pikan cevizi bahçelerinde yapılan diğer uygulamalara göre iz maddesi birikintisi verileri daha düşük gerçekleşmiştir. Trabzon Hurması bahçesinde yapılan denemelerde, özellikle C1 bölgesinde yüksek hava hızı uygulayan işletme koşullarında daha yüksek oranda iz maddesi birikintisi elde edilmiştir. Bu ağacın diğer ağaçlara göre daha seyrek (bare) yaprak ve dal yoğunluğu olmasından dolayı yere akan veya hedefe yetişemeyen damlalar çok olmuştur.



Şekil 4.13. Farklı bahçelerde yer kayıplarının iz maddesi birikintisi miktarlarının farklı bölgelerdeki değişimi. (aynı harfle gösterilen sütunlar P<0,01 önem seviyesinde farksızdır).

Sürüklenme Kayıpları

Denemelerde, farklı bahçelerde gerçekleştirilen uygulamalarda yaprak üzeri iz maddesi birikintisi ve kaplama miktarlarının ölçülmesi yanında, yüksek hava akımının etkisiyle ağaç tacının içinden geçen ve ağaç üzerinde bir yüzeye tutunamayıp hava akımı ile sürüklenen (airborne) damlaların oluşturduğu iz maddesi birikintisi ile işletme koşullarından hangisinin hangi ağaç türünde sürüklenmeyi azaltabilecek durumda olduğu da belirlenmeye çalışılmıştır. Denemeler esnasında hava akımı ile sürüklenen damlaların oluşturduğu iz maddesi birikintisi belirlemek için bir direk üzerine 1m ara ile filtre kâğıtları yerleştirilmiştir. Düşey düzlem boyunca, en yüksek pozisyonda duran bölge D1, olacak şekilde yukarıdan aşağıya doğru D2, D3 ve D4 bölgelerinde oluşan iz maddesi birikinti miktarları ölçülmüştür (Şekil 3.37b). Denemelerde, tüm uygulama tiplerinin yer aldığı işletme koşulları, ağaç yoğunluğunun ve geçirimliliğinin göstergesi olan ağaç türü, havada asılı kalan damlaların bıraktığı iz maddesi birikintisi ölçmek için farklı yüksekliklerden alınan hava, bileşenlerinin iz maddesi birikintisi üzerindeki etkileri incelenmiştir (Çizelge 4.17). Yapılan denemelerde, işletme koşulları, hava ve ağaç türü bileşenlerinin ayrı ayrı etkilerinin istatiksel olarak anlamlılık düzeyinin yüksek olduğu görülmüştür (Sig. p<0,05). Bununla birlikte bu verilerin ikili interaksiyon etkisi olan işletme koşulları*hava interaksiyonunun anlamlı çıkması işletme koşul değiştiğinde iz maddesi birikintisinın arttığı anlamına gelmektedir. Üçlü interaksiyon etkisi incelendiğinde üç bileşenin kaplama üzerindeki ortak etkilerinin anlamlılık düzeyinin yüksek olmasından dolayı interaksiyon etkisinin anlamlı olduğu görülmüştür (Sig. p<0,05). Buna göre farklı bahçelerde işletme koşullar, havada asılı kalan damlaların yarattığı iz maddesi birikintisi üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.17. Bahçe denemelerinde havada asılı duran damlaların oluşturduğu iz maddesi birikintisi verileri ile ağaç türü ve operasyonel farklılıkların istatiksel analizi.

Bağımlı Değişken: İz maddesi Birikintisi

Varyans Kaynağı	df	F	Sig.
AğaçTürü	2	800,085	0
İşletme koşulları	6	851,57	0
Hava	3	1790,863	0
AğaçTürü x İşletme koşulları	12	71,356	0
AğaçTürü x Hava	6	293,943	0
İşletme koşulları x Hava	18	68,067	0
AğaçTürü x İşletme koşulları x Hava	36	48,648	0

*: P<0,01 önem düzeyinde önemli

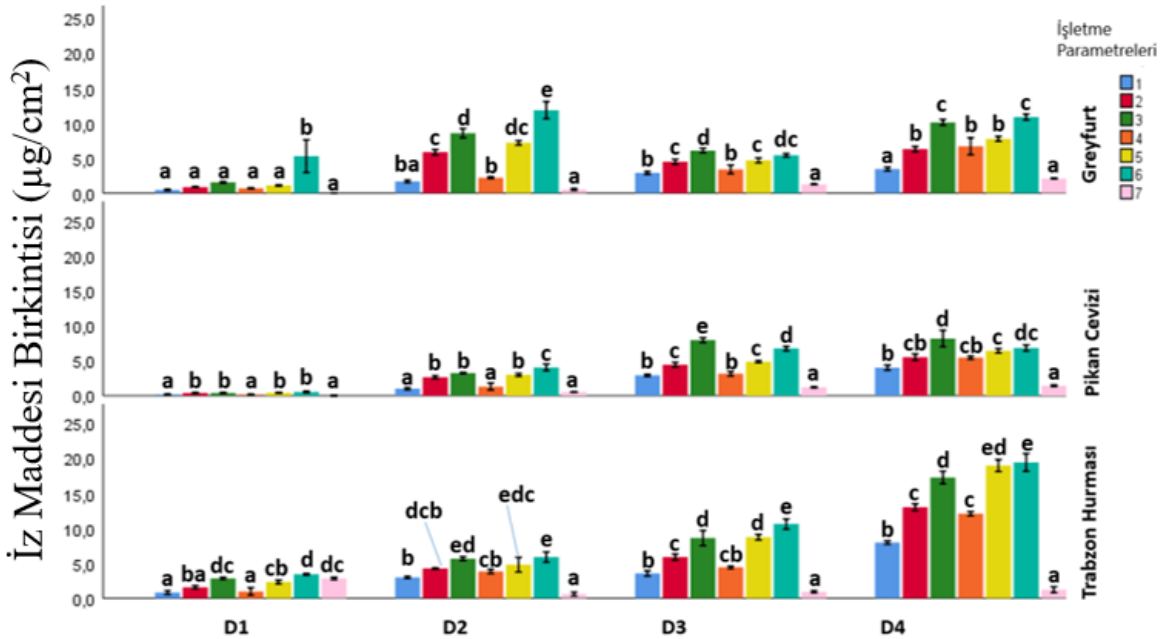
Havada kalan damlaların, farklı ağaç türlerinde ve farklı yüksekliklerde ne gibi bir etki yarattığı, hangi işletme koşulları ile daha az sürüklenme elde edildiğinin belirlenmesi için iz maddesi birikintisi verileri incelendiğinde, yerden 4m yukarıdaki iz maddesi birikintisi verilerinin (D1 bölgesi), tüm bahçelerde ve gruplarda düşük olduğu görülmektedir (Şekil 4.14). Ancak özellikle diğerlerine göre daha seyrek ağaç türü olan Trabzon hurmasında, bu yükseklikte daha yoğun birikmiştir. Bunun sebebi bu ağacın geçirgenliği diğer ağaçlara göre daha az olmasındandır. Sürüklenmenin ölçüldüğü daha aşağıdaki bölgelere inildikçe, işletme koşulu ve ağaç türü farketmeksizin tüm denemelerde iz maddesi birikintisi artmıştır.

Greyfurt bahçesinde yapılan denemelerde, G6 ile gerçekleştirilen uygulamada D1 bölgesinde daha yoğun iz maddesi birikintisi görülmüştür. Denemelerde farklı ağaçlar da kullanıldığından ve her birinin yaprak dal gelişimi farklı olduğundan elde edilen verilerin standart sapmaları değişkenlik göstermiştir. Ağacın üst tacına yakın pozisyondaki D2 bölgesinde en çok iz maddesi birikintisi G3 ve G6 denemelerinde gerçekleşmiştir. Özellikle, greyfurt ağacının D3 bölgesindeki yaprak yoğunluğu fazla olduğundan dolayı bu bölgedeki geçirimlilik de azdır. Bu sebeple, D3 bölgesinde biriken iz maddesi birikintisi miktarı diğer bölgelere nazaran düşük olmuştur. Düşey doğrultu boyunca iz maddesi birikintisi ölçülen en alçak pozisyondaki yer olan D4 bölgesinde, G3 ve G6 diğerlerinden yüksek iz maddesi birikintisi bırakmıştır. Bu iki uygulamanın benzer özelliği, ikisinde de hava akımının büyüklüğünün fazla olmasıdır. G1 hariç diğer işletme koşullarının tamamı daha yüksek iz maddesi birikintisi oluşturduğundan istatiksel olarak grupları da farklı olmuştur. Değişken oranlı uygulama olan VR7 de G1 ile aynı grupta yer almıştır. Ancak her ne kadar istatiksel olarak aynı grupta yer alsalar da nicel olarak VR7 daha az iz maddesi birikintisi oluşturmuştur. Bu durum, değişken oranlı uygulamanın geleneksel tüm uygulamalardan daha az sürüklenme etkisi yarattığını ortaya koymaktadır.

Pikan cevizi bahçesinde gerçekleştirilen denemelerden elde edilen iz maddesi birikintisi ölçümlerine göre tüm bölgelerde G1, G4 ve VR7 ile gerçekleştirilen denemelerde daha az iz maddesi birikintisi elde edilmiştir. Yüksek hava hızlarının uygulandığı uygulamalarda diğer gruplara göre daha fazla iz maddesi birikintisi oluşmuştur. Greyfurt ağacına göre daha az yoğun olan bu ağaç

türünde, özellikle D3 ve D4 bölgelerinde değişken oranlı uygulama (VR7) ile gerçekleştirilen işlemlerde daha az iz maddesi birikintisi oluşmuştur. Bunun sebebi, sistemin ağacın geometrisini doğru tanıması ve ağaca gönderilecek hava hızı belirlenirken, kp_l değerinin doğru belirlenmiş olmasındandır. Ancak değişken oranlı uygulama sistemi (VR7) her ne kadar diğer işletme koşullarından daha başarılı olsa dahi, sürüklenme sadece azaltılabilmiş ancak tamamen ortadan kaldırılamamıştır.

Trabzon Hurması bahçesinde yapılan denemelerde, en üst örnek olan D1 bölgesinde dahi daha yüksek miktarda iz maddesi birikintisi oluşmuştur. Özellikle D4 bölgesine inildiğinde burada iz maddesi birikintisi tüm işletme koşullarında artmıştır. Daha önce de ifade edildiği gibi bahçe uygulamalarında iyi bir uygulama için, yer kayıpları ve havada asılı kalan damlaların azaltılması gerekmektedir. Değişken oranlı sistemin hava ve püskürtme sıvısının iyi ayarlayabilmesi sayesinde alt seviyelerde dahi yüksek iz maddesi birikintisi olmamış, geliştirilen sistem ile püskürtme sıvısı, ağacın yarı taç hacmine iyi çökertilebilmiştir. Cross ve ark. (2001) yaptıkları çalışmada, ağaç tacının dış tarafına yerden 10 m yükseklikten başlayarak sürüklenme ölçümü için, polietilen ipler yerleştirip sürüklenmeyi ölçmüşlerdir. Yapılan ölçümlerde yerden 4m yükseklikten daha üst pozisyonlarda iz maddesi birikintisi oluşmadığı bildirilmiştir. Buna karşın geniş taç hacmine sahip ağaçlara yüksek hava hızıyla gerçekleştirilen denemelerde, hava hızının yüksek olduğu uygulamalarda dahi iz maddesi birikintisi miktarlarının az olduğu ifade edilmiştir. Özellikle yoğun iz maddesi birikintisi birikiminin 2,5m ile 3m arasında oluştuğu gözlemlenmiştir. Benzer tüm bahçelerde bu yüksekliklerde yoğun iz maddesi birikintisi ölçümü gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.14. Farklı bahçelerde hava akımı ile sürüklenen damlaların oluşturduğu iz maddesi birikintisi miktarlarının farklı bölgelerdeki değişimi.

Ağaç Bazlı Sürüklenme ve Yere Akan Kayıpların Karşılaştırılması

Yer kayıpları ve sürüklenen damlaların bıraktıkları iz maddesi birikintisi değerleri Çizelge 4-18'de sunulmuştur. Ağacın dışından ağacın iç bölgesine doğru ilerledikçe yer kayıplarının azaldığı, püskürtme yapılan bölgede yer kayıplarının daha yoğun olduğu görülmüştür. Geçirgenliği fazla olan ağaç türlerinde yer kayıplarının daha fazla, geçirgenliği az olan ağaç türlerinde ise yer kayıplarının daha az olduğu gözlemlenmiştir. İşletme koşullarından, hava akımının büyüklüğü arttırıldığında yer kayıplarının da arttığı, ağaç türü farketmeksizin ortaya konulmuştur. Tüm yer kayıplarının ortalama değerleri karşılaştırıldığında, değişken oranlı uygulamanın (VR7) diğerlerinden daha az iz birikintisi maddesi ortaya konulduğu gözlemlenmiştir.

Sürüklenme kayıplarının oluşturduğu etkiler incelendiğinde, deneme planında direğin en üst noktasında bulunan D1 bölgesinde en az iz maddesi birikintisi değerinin en az olduğu gözlemlenmiştir. Direk üzerindeki örneklem bölgelerinde, yukarıdan aşağıya inildikçe, iz birikinti maddesinin miktarının arttığı görülmüştür. Ayrıca ağaca gönderilen hava akımı arttırıldıkça, kalıntının arttığı da gözlemlenmiştir. Ağacın özellikle etek kısmında daha fazla hava akımı oluşabildiğinden bu bölgede daha fazla iz maddesine rastlanmıştır. Ağacın geçirgenliği arttığında, direk üzerindeki örneklem bölgelerinden alınan iz maddesi birikintisi değerleri de artmıştır. Ancak gerçirgenlik azaldıkça, ağacın dış tarafından alınan sürüklenme ölçümü için alınan verilerde, özellikle en üst noktadaki örneklem bölgesindeki iz birikinti maddesinin uyuglama tipi farketmeksizin oldukça azaldığı da gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.18. Farklı ağaç türleri ve işletme koşullarında yer kayıpları (C) ve sürüklenme kayıplarının (D) karşılaştırılması

		G1	G2	G3	G4	G5	G6	VR7
Ağaç Türü	Bölge	µg/cm2	µg/cm2	µg/cm2	µg/cm2	µg/cm2	µg/cm2	µg/cm2
	C1	11,83	21,55	23,62	13,35	23,68	25,34	3,96
	C2	9,34	18,34	21,17	11,42	16,34	18,57	2,65
	C3	8,27	13,14	23,95	8,92	22,59	22,21	2,02
	Cortalama	9,81	17,68	22,91	11,23	20,87	22,04	2,88
Greyfurt	D1	0,44	0,84	1,53	0,67	1,09	6,97	0
	D2	1,68	5,4	8,57	2,2	7,18	15,19	0,52
	D3	2,89	4,47	6,09	3,38	4,67	5,4	1,26
	D4	3,44	6,3	10,12	6,69	7,75	10,87	2,07
	Dortalama	2,11	4,25	6,58	3,24	5,17	9,61	0,96
	C1	15,88	20,96	25,9	15,02	21,23	26,76	7,46
	C2	13,84	21,47	24,16	14,04	18,75	24,9	4,19
	C3	9,45	17,78	26,46	9,85	17,72	23,07	2,94
	Cortalama	13,06	20,07	25,51	12,97	19,23	24,91	4,86
P.Cevizi	D1	0,16	0,37	0,39	0,14	0,4	0,51	0
	D2	0,99	2,63	3,23	1,31	2,98	4,04	0,51
	D3	2,91	4,42	7,94	3,14	4,85	6,74	1,19
	D4	4.00	5,51	8,17	5,44	6,42	6,82	1,43
	Dortalama	1,35	3,23	4,93	2,51	3,66	4,53	0,78
	C1	19,44	24,29	27,26	20,82	25,82	27,93	11,34
	C2	15,62	21,35	23,42	21,29	24,13	25,3	8,92
	C3	11,72	20,96	24,31	12,99	24,51	24,59	9,99
	Cortalama	15,59	22,20	25,00	18,37	24,82	25,94	10,08
T.Hurması	D1	0,83	1,58	2,85	0,98	2,33	3,43	2,85
	D2	2,98	4,25	5,66	3,84	4,8	5,9	0,61
	D3	3,56	5,89	8,6	4,42	8,74	10,62	0,94
	D4	7,96	13,01	17,26	12,09	18,97	19,42	1,23
	Dortalama	3,83	6,18	8,59	5,33	8,71	9,84	1,41

Geleneksel uygulamalarla karşılaştırıldığında değişken oranlı uygulamanın farklı ağaç türlerinde yarattığı yer kayıpları ve sürüklenme etkilerinin sürüklenme azaltma oranı (%) ile ortaya konulmuştur (Çizelge 4.19). Değişken oranlı uygulama, yüksek hava akımı uygulanan geleneksel uygulamalar ile karşılaştırıldığında yer kayıpları maksimum %86,95 sürüklenme kayıpları ise %89,98 oranında olmuştur. Ağaç geçirimliliği azaldıkça özellikle yer kayıplarının değişken oranlı uygulama ile azaldığı ancak yüksek geçirgenliğe sahip ağaçlara göre daha az azaldığı ortaya çıkmıştır. Geçirgenliği az olan ağaçlarda, değişken oranlı uygulama sayesinde yer kaybı %61,13 ve sürüklenme kaybı %85,70 geleneksel uygulamara göre daha az çıkmıştır.

Çizelge 4.19. Geleneksel uygulamalara göre değişken oranlı uygulamanın (VR7) sürüklenme azaltma

		G1	G2	G3	G4	G5	G6
Greyfurt	C	70,69%	83,73%	87,45%	74,38%	86,22%	86,95%
	D	54,44%	77,37%	85,37%	70,25%	81,39%	89,98%
P.Cevizi	C	62,75%	75,77%	80,93%	62,50%	74,71%	80,48%
	D	42,18%	75,79%	84,14%	68,79%	78,63%	82,72%
T.Hurması	C	35,34%	54,58%	59,66%	45,10%	59,37%	61,13%
	D	63,27%	77,23%	83,62%	73,61%	83,84%	85,70%

4.4. Farklı işletme koşulları ile yapılan çalışmalarda elde edilen yakıt tüketimi ve püskürtme sıvısı verileri

4.4.1. Yakıt ve Enerji Tüketimleri

Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen denemelerde, hidrolik sistem ve turbo fanın yazılım ile adaptasyonu sağlanarak bir matematiksel model oluşturulmuştur. Matematiksel model oluşturulurken değişken oranlı valfin selenoidlerine farklı büyüklüklerde gerilimler uygulanarak farklı fan dönü hızları elde edilmiştir. Fandan ölçülen ortalama hava hızları belirlenirken eş zamanlı olarak yağ basıncı (bar), fan devri (dev/dak), fan giriş mili devri (dev/dak), tork (Nm), yakıt tüketimi (L/h) değerleri de ölçülmüştür (Çizelge 4.20). Buna göre oransal valfin selenoidine gönderilen gerilim değeri attırıldıkça, ortalama hava hızının arttığı ortaya çıkmıştır Sabit kuyruk mili devrinde (540E-1750 dev/dak), sonuçlarda da görüleceği üzere fan dönüş hızı arttıkça, kuyruk milinden çekilen tork ve yakıt tüketimi artmıştır. Laboratuvar denemelerinde değişken oranlı hava akımı sağlayan fanın yakıt tüketiminin 4,25 L/h ile 9,17 L/h aralığında ölçülmüştür. Ancak sıra arasında ilerlerken kendi karar verme mekanizması sayesinde, ağaçlara gönderilen hava akımı değişken olacağından dolayı çeki gücüyle birlikte düşünüldüğünde, geleneksel uygulamaya göre daha düşük tüketimlerin elde edileceği görülmüştür. Ayrıca makine statik durumdayken geleneksel çalıştırıldığında (Oransal valfin selenoidine 10V uygulandığında) ise 9,17L/h yakıt tüketiminin olacağı görülmüştür. Bu değerlerin New Holland TD95 traktörün TAMTEST tarafından yapılan denemelerinde alınan sonuçlara yakın olduğu görülmüştür (Anonim, 2004). Erzurumlu (2018) yaptığı çalışmada New Holland TD95 Traktörün kuyruk milini 540E‘de çalıştırmış ve traktör statik

konumdayken ve traktöre hiçbir tarım alet ve makinasına bağlı değilken yakıt tüketimini 7,42 L/h olarak bulmuştur. Traktörün pülverizatöre bağlıyken ki durumunda tükettiği yakıt değeri göz önüne alındığında elde edilen sonuçlar benzerdir.

Çizelge 4.20. Fan İşletme paremetrelerine bağlı olarak, ölçülen yakıt tüketimi, hidromotor yağ basıncı ve tork gereksinimi

Gerilim (V)	Fan Devri (dev/dak)	Yağ Basıncı (bar)	Tork (Nm)	Yakıt Tüketimi (L/h)
3	158	70	52	4,25
3,25	270	85	63	4,64
3,5	464	95	78	5,12
3,75	640	105	93	5,53
4	837	115	115	5,88
4,25	1197	125	152	6,43
4,5	1367	140	254	7,12
4,75	1674	150	345	7,79
5	2075	170	397	8,49
5,25	2430	180	496	9,17

Laboratuvar denemelerinde alınan ölçümlerle, ortalama hava hızı (m/s), , hacimsel debi (m^3/h), fan gücü (kW), PTO gücü (kW), yaklaşık yakıt gücü (kW) ve fan verimi (%) ile sistem verimi (%) de hesaplanmıştır. (Çizelge 4.21). Denemelerde, çapı 900 mm olan eksenel fan ile ortalama hava hızı 35,94 m/s kadar çıkmıştır. Endalew ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada, 800 mm çapında emiş ağzı olan bir fanın çıkış tarafında 30 m/s ortalama hava hızını yakalayabilmişlerdir. Denemelerde, fan mili dönüş devri arttığında, boyutu itibariyle (900 mm emiş çapı) fandan beklenilen hacimsel debilere ulaşıldığı görülmektedir (Bayat ve ark., 2020). Ancak değişken oranlı hava ilaç püskürtme sisteminin çalışma prensibi düşünüldüğünde, kuyruk milinden sabit bir devir alınmaktadır. Bu devir, oransal valfin selenoidine gönderilen gerilim değeri düşük de olsa yüksek de olsa sabittir. Hidrolik sistemin yüke binmesi sebebiyle, sistemden çekilen tork miktarı artmaktadır. Özetle, PTO hep aynı devri vermektedir ancak oransal valfin selenoidine gönderilen gerilim arttığında fanı döndürmek için gerekli güç artmaktadır. Bu duruma bağlı olarak PTO gücü maksimum gerilim değerinde 21,91 kW olarak hesaplanmıştır. Kuyruk mili gücünün yakın gücünün yüzde 90'ı civarında olması beklenmektedir. Işıktepe ve Sümer (2010) yaptıkları çalışmada, 3 farklı traktörün, PTO'daki tork değerini, yakıt tüketim değerlerini ölçmüşlerdir. Yapılan çalışmada kullanılan traktörlerden birisi de New Holland TD 85 olup bu traktör, deneylerde kullanılan traktörün bir alt modelidir. Çalışmalarda, PTO devrinin 540 dev/dak olması durumunda 9 L/h yakıt tüketiminin olduğu ve PTO gücünün de benzer şekilde 20 kW civarında olduğu görülmüştür. Hidrolik aktarımla gerçekleştirilen denemelerde, fan verimi %44,35 ve sistem verimi %37,73 olarak hesaplanmıştır. İtmeç ve Bayat (2021) yaptıkları çalışmada, aynı büyüklükteki fanla yaptıkları çalışmada fan veriminin % 72,2 ve sistem veriminin %51,59 civarında çıkabileceğini vurgulamışlardır. Burada, Fan mili, PTO'dan

doğrudan bir kuyruk mili ile beslendiğinde sistem veriminin arttığı da ortaya çıkmaktadır. En yüksek gerilim değeri olan 5,25V selenoidlere doğrudan uygulandığında, makine doğrudan geleneksel makine gibi çalışmaktadır. Ancak değişken oranlı sistem çalıştığında hep pik değerde çalışma olmayacak, harcanan güç değişkenlik de gösterecektir. Değişken oranlı uygulama ile çalışma her ne kadar püskürtme sıvısı uygulama açısından iyi olsa dahi, enerjinin işe dönüşmesi anlamında yeterince verimli değildir. Bunun yanında değişken oranlı uygulamada, geleneksel uygulamaya göre daha az enerji harcanmaktadır, ancak harcanan enerjinni verimi oldukça düşüktür.

Çizelge 4.21. Laboratuvar ortamında farklı gerilim değerlerinde hesaplanan operasyon verileri

Fan Devri (dev/dak	Ortalama Hava Hızı (m/s)	Hacimsel Debi (m^3/h)	Fan Gücü (kW)	PTO Gücü (kW)	Yakıt Gücü (kW)	Fan Verimi (%)	Sistem Verimi (%)
158	4,52	5.058,31	0,02	2,61	11,94	0,74	0,16
270	6,45	7.216,02	0,06	3,17	13,04	1,77	0,43
464	8,25	9.236,85	0,12	3,92	14,38	3,00	0,82
640	10,03	11.227,55	0,21	4,67	15,54	4,52	1,36
837	12,10	13.535,47	0,37	5,78	16,52	6,41	2,24
1197	20,69	23.154,53	1,86	7,64	18,06	24,28	10,27
1367	24,80	27.750,57	3,19	12,77	20,00	25,02	15,97
1674	29,46	32.968,57	5,36	17,34	21,88	30,88	24,47
2075	32,77	36.676,65	7,37	19,95	23,85	36,95	30,91
2430	35,94	40.215,15	9,72	21,91	25,76	44,35	37,73

4.4.2. Bahçe Çalışmalarında Yakıt Tüketimi

New Holland TD95 marka traktör, kuyruk mili 540E'de çalışıyorken 1. Vites ve 1. Kademede ilerleme hızı, 1,8 km/h'dir. Bu çalışma koşulunda, 3 farklı bahçede gerçekleştirilen değişken oranlı hava ve ilaç uygulama işlemlerinin yakıt tüketimi sonuçları Çizelge 4.22'de sunulmuştur. Farklı ağaç türlerinde sistemin tetiklenmesine bağlı püskürtme sıvısı ve hava akımı uygulandığından, her bir ağaç türünün ilaçlanmasında 1 m mesafenin ilaçlanabilmesi için tüketilen yakıt miktarı farklı gerçekleştirmiştir. Değişken oranlı uygulama ile uygulama gerçekleştirirken ağacın bulunmadığı bölgede, daha az enerji harcandığından geleneksel uygulamaya göre daha az yakıt harcanmıştır. Değişken oranlı ilaçlama sayesinde, Greyfurt bahçesinde ilaçlamada %9,87, Pikan Cevizi bahçesinde ise yakıt tasarrufu %14,78 olarak gerçekleşmiştir. Yaprak yoğunluğu azaldıkça, daha az yakıt tüketildiği ortaya konulmuştur. Buna karşın geçirgenliği diğer ağaç türlerine göre daha fazla olan Trabzon Hurması Ağacında daha az yakıt tasarrufu (%12,24) gerçekleşmiştir. Bunun sebebi Pikan Cevizinin, Trabzon Hurmasına göre daha seyrek dikilmesinden dolayıdır. Çünkü değişken oranlı çalışmada, yardımcı hava akımlı bahçe pülverizatörü diğer ağaç türlerinde daha az çalışırken Trabzon Hurmasında ağaçlar sık dikili olduğundan makinede daha az tasarruf elde edilmiştir. Değişken oranlı ilaç uygulamanın birçok bilinen avantajının yanında, daha az tarımsal ilaç ile daha etkin bir kaplama sağlamak en önemlilerindendir. Ancak yapılan işlemlerin ayrıca az yakıtla

gerçekleşmesi de önemlidir. Holownicki ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada Değişken Oranlı Hava akımı uygulayan sistem ile daha ekonomik bir ilaçlama gerçekleştirmiş ve yakıt tüketimini %50 oranında azaltmışlardır. Failla ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada, yüksek fan hızıyla bahçe ilaçlamanın yakıt tüketimini arttırmanın yanında karbon salınımıı da arttıracağını ortaya koymuştur. Dolayısıyla değişken oranlı hava uygulamanın bir diğer avantajı da yakıt tüketimini azaltarak, karbon emisyonlarını azaltmaktır. Salyani ve Farooq (2003) yaptıkları çalışmada, düşük hava hızlarıyla yapılan uygulamaların, yüksek hava hızlarıyla yapılan uygulamalara göre %67 oranında daha düşük enerjiyle yapılabileceğini ortaya koymuşlardır.

Çizelge 4.22. Bahçe uygulamalarında gerçekleştirilen yakıt tüketimleri ve yakıt tasarrufu.

Uygulamanın Yapıldığı Bahçe	Kesintisiz Uygulamada Harcanan Toplam Yakıt Miktarı (mL/m)	Değişken Oranlı Uygulamada Yakıt Miktarı (mL/m)	Yakıt Tasarrufu (%)
Greyfurt	126,58	114,08	9,87%
P.Cevizi	118,42	100,92	14,78%
T.Hurması	81,67	71,67	12,24%

4.4.3. Bahçe Denemelerinden Elde Edilen Püskürtme Sıvısı Tüketimlerinin Karşılaştırılması

Denemelerde farklı bahçelerde değişken oranlı ilaç püskürtme sisteminin meme bazlı ne kadar püskürtme sıvısı tüketiği ortaya konulmaya çalışılmıştır. Böylece ağaç taç geometrisine bağlı olarak tetiklenen memelerin ne ayrı ayrı ne kadar püskürtme sıvısı verdiği ortaya konulmuştur. Taç yoğunluğu yüksek olsa greyfurt ağaçlarında daha fazla tarımsal püskürtme sıvısı tüketilirken, taç yoğunluğu az olan ağaçlarda daha az püskürtme sıvısı tüketilmiştir (Çizelge 4.23).

Çizelge 4.23. Değişken oranlı ilaç uygulama ile kesintisiz ilaç uygulama verilerinin karşılaştırılması

Uygulamanın Yapıldığı Bahçe	1 No'lu Meme grubu (mL)	2 No'lu Meme (mL)	3 No'lu Meme (mL)	4 No'lu Meme (mL)	5 No'lu Meme (mL)	6 No'lu Meme (mL)	7 No'lu Meme (mL)
Greyfurt	5810	435	65	450	50	300	0
P.Cevizi	4150	200	0	50	0	265	165
T.Hurması	3320	135	0	85	0	0	0

Denemelerde bahçe pülverizatörünün değişken uygulamaları ilaç uygulama sisteminin kendi tetiklenme mekanizmasının değişken ağaç taç genişliklerinde, kesiksiz ilaç uygulamaya nispeten ne kadar ilaç tüketildiği ortaya konulmak istenmiştir. Buna göre kesintisiz uygulamaya göre tasarlanan püskürtme sisteminin %58.55 -69.90 oranlarında uygulama hacmi tasarrufu yaptığı ortaya çıkmıştır. Gil ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada da değişken oranlı uygulama sayesinde geleneksel uygulamaya nazaran % 58 civarında ilaç tasarrufunun yapılabileceğini ifade etmişlerdir. Ayrıca sonuçlara bakıldığında püskürtme algoritmasının doğru bir şekilde çalıştığı görülmektedir. Tacın genişlediği yerlerde (artan ağaç taç hacmi nedeniyle) ilaç tüketimi artmış, tacın daraldığı kısımlarda

ise (azalan taç hacmi nedeniyle) ilaç tüketimi azalmıştır (Çizelge 4.24). Xiongkui ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada sensör teknolojisi sayesinde elde ettikleri ağaç tacının belirlenmesi ile değişken oranlı ilaç uygulama sayesinde %50 ile %75 arasında püskürtme sıvısından tasarruf ederek etkin bir ilaçlama gerçekleştirilebileceğini ifade etmişlerdir.

Çizelge 4.24. Değişken oranlı ilaç uygulamanın kesiksiz ilaç uygulamaya göre uygulama hacminde yaptığı tasarruf değerleri

Uygulamanın Yapıldığı Bahçe	Değişken Oranlı Uygulamada Harcanan Toplam İlaç Miktarı (mL)	Kesintisiz Uygulamada Harcanan İlaç Miktarı (mL)	Uygulama hacmi Tasarrufu (%)
Greyfurt	7110	17153	58,55%
P.Cevizi	4830	16047	69,90%
T.Hurması	3540	11067	68,01%

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bahçe Pülverizatörüyle yapılan bahçe denemelerinde bahçe pülverizatörü ile sağlanan hava akımının ağaç tacına bağlı olarak değişimi ile ilgili aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Ağaç tacı Yaprak Alan İndeksi ile ağaca ait aerodinamik katsayı ve yaprak yoğunluğunun göstergesi olan kp_l (m^2/m^3) değeri arasında doğrudan bir ilişki olduğu görülmüştür. Buna göre YAİ arttıkça kp_l de artmaktadır.
2. Literatürde 3m/s ile 5m/s aralığında ağaç tacının dış tarafında hava hızı oluştuğunda iyi kaplama oluşabileceği ifade edilmiştir. Değişken oranlı hava uygulama sistemi ile yapılan hava uygulamalarında değişen ağaç geometrilerine rağmen, önceden belirlenen kp_l değerleri sayesinde ağaç tacının dış kısmında literatürdeki hava hızlarına ulaşılabilmiştir.
3. Bahçe Pülverizatörüyle geleneksel uygulamaların özellikle ağacın alt etek bölgesinde daha fazla hava akımı oluşturduğu, bu bölgede Greyfurt ağacı için 8 m/s, Pikan Cevizinde 13 m/s, Trabzon Hurmasında 14,2 m/s olduğu görülmüş olmasının yanında değişken oranlı uygulamalarda taç dışında sağlanan hava akımı hızı hedeflenen 3-5 m/s sınır aralığında tutulabilmiştir.

Püskürtme sıvısı ile yapılan bahçe denemelerinde iz maddesi birikintisi ve kaplama ile ilgili şu sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Püskürtme sıvısı ile gerçekleştirilen uygulamalarda, beklendiği gibi standart tip yardımcı hava akımlı bahçe pülverizatörü ile yapılan geleneksel ve değişken oranlı uygulamalarda ağaç tacının üst bölümünden alt eteklerine doğru inildikçe iz maddesi birikintisi ve kaplama değerlerinin arttığı görülmüştür. Ayrıca, farklı ağaç türlerinde aynı uygulamaların iz maddesi birikintisi ve kaplama verileri incelendiğinde yaprak yoğunluğu yüksek ağaçlarda daha az kaplama, yaprak yoğunluğu düşük ağaçlarda ise daha yüksek kaplama verileri elde edilmiştir. Ancak değişken oranlı uygulamada ağaç türüne göre bu değişimler daha düşük düzeyde olmuştur. Örneğin, değişken oranlı uygulama ile farklı türdeki ağaçların bulunduğu bahçelerde yapılan uygulamalarda, farklı yükseklikteki iz maddesi birikintisi değerinin ortalama 10 $\mu g/cm^2$ olduğu ve CV değerinin %42 ile %54 aralığında değiştiği kaplama oranının ise %54 ile %71 sınırları arasında değiştiği görülmüştür.
2. Traktör ilerleme doğrultusu boyunca düşeydeki örnekler incelendiğinde, tam ağaç gövdesiyle aynı hizada ve düşeyde yer alan, peşpeşe sıralı 3 örneklem bölgesinden ağaç gövdesinin hizasında bulunan örneklerde (2. Sıradaki) iz maddesi birikintisi ve kaplama değeri düşük çıkmıştır. Bu bölge hariç diğer iki bölgenin (1 ve 3. Sıradakiler) iz birikintisi

ve kaplama verilerinin birbirleriyle hemen hemen aynı değerde olduğu görülmüştür. Ağacın gövdesinin üzerinde bulunan örneklem bölgesinde diğer bölümlere göre daha az iz birikintisi ve kaplama oluşmuştur. Bunun sebebi, bu bölgenin (2. Sıradaki) daha iç pozisyonda olmasından dolayıdır. Değişken oranlı gerçekleştirilen uygulamalar ile ağaç gövdesinin üst kısmından alınan bölgelerdeki iz birikintisi ve kaplama verileri sırasıyla Greyfurt için 6,06 μg/cm^2 ve %32,11, Pikan Cevizi için 6,98 μg/cm^2 ve %33,45, Trabzon Hurması için 7,1 μg/cm^2 ve %36,64 olarak gerçekleşmiştir.

3. Ağaç türü fark etmeksizin geleneksel uygulamalarla yapılan püskürtme işlemlerinde, ağaca gönderilen hava akımının büyüklüğü arttıkça derinlik (tac dışından taç içine doğru) boyunca iz maddesi birikintisi ve kaplama değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Değişken Oranlı Uygulama ile yapılan denemelerde, ağaç türü ne olursa olsun taç genişliği farklı türlerde değişmesine rağmen, her üç ağaç tipinde ortalama 7 μg/cm^2 civarında iz maddesi birikintisi değeri oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu durum, bahçe pülverizatörünün farklı ağaç türlerinde başarılı bir şekilde, ağaç taç verilerini sezinlediğini, kpl değerinin doğru hesaplandığını, bununla birlikte doğru oranda hava ve püskürtme sıvısının doğru anda ağacın ilgili bölümüne püskürtebildiğini göstermektedir.
4. Farklı uygulama koşulları için hesaplanan kaplama oranı indeksleri dikkate alındığında 0'a en yakın ve pozitif kaplama oranı indeksi değişken oranlı uygulamada elde edilmiştir. Bu durum yeterli düzeyde kaplamanın elde edildiğini ortaya koymaktadır. Değişken oranlı uygulamanın, tüm uygulama tiplerinde daha iyi bir kaplama elde ettiğini, biyolojik etkinliğin ise ayrıca değerlendirilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Geleneksel uygulama ile yapılan denemelerden hiç birisi, her ağaç türünde istenilen aralıkta olamamıştır. Bir ağaç türünde iyi bir kaplama etkisi yaratırken diğerinde kötü sonuçlar vermiştir.

Püskürtme sıvısı ile yapılan bahçe denemelerinde ilaç kayıplarının (sürüklenen ve toprağa ulaşan) verilerinin karşılaştırılması ile şu sonuçlar elde edilmiştir:

1. Yardımcı hava akımlı bahçe pülverizatörünün geleneksel işletme paremetreleri ile işletilmesinde, ağaç türü ve işletme koşullarına bağlı olarak doğrudan toprağa ulaşan ve ilaç kaybı olarak değerlendirilen iz maddesi birikim değerleri değişkenlik göstermiştir. Geleneksel işletme koşullarında en yüksek yer kayıpları kanat açısı 45º ve fan dönüş hızı 2160 dev/dak (G6) işletme koşulunda Trabzon hurması ağacına yapılan uygulamalarda elde edilmiştir. Tüm ağaç türlerinde en düşük yere ulaşan ilaç kayıpları değişken oranlı uygulama ile elde edilmiştir. Geleneksel uygulamalarla karşılaştırıldığında değişken oranlı uygulama yapan sistemin greyfurt ağaçlarında yer kayıplarını %86,95 oranında azalttığı ortaya çıkmıştır.

2. Tüm ağaç türlerinde, değişken oranlı uygulama diğer uygulamalara göre daha az sürüklenmeye neden olduğu ortaya görülmüştür. Değişken oranlı uygulama yapan sistemin greyfurt bahçesinde %89,98, pikan cevizinde %82,72 ve Trabzon hurması bahçesinde %85,70 kadar sürüklenmeyi azaltabildiği ortaya çıkmıştır.
3. Sürüklenme verileri ile kaplamanın bir göstergesi olan kaplama oranı indeksi verileri birlikte incelendiğinde, farklı türden ağaçlarla yapılan denemelerde en iyi kaplamanın değişken oranlı uygulama ile gerçekleştirildiği, buna karşın yine bu uygulama ile sürüklenen püskürtme sıvısının da daha az olduğu görülmüştür. Bu sayede, tasarlanan makine ile hem daha iyi bir kaplama başarısı elde edilmiş, hem de daha az sürüklenme oluşmuştur.

Yapılan yardımcı hava akımlı bahçe pülverizatörü sayesinde çalışma neticesinde değişken oranlı sistemin işletimi ilgili için şu çıktılar elde edilmiştir:

1. Yapılan denemelerde, değişken oranlı sistemin çalışması esnasında fan veriminin %44,35 olabildiği ortaya çıkmıştır. Değişken oranlı uygulama sayesinde, her ne kadar yakıt tüketimi ve ilaç tüketimi ve kayıplar azalsa da, değişken oranlı uygulama sisteminin fanının işletme açısından değerlendirildiğinde, geleneksel uygulamaya göre verimi oldukça azalmıştır. Çünkü PTO sürekli olarak 540E'de çalıştırılmakta, buna karşın fan gerektiğinde devreye girmektedir.
2. Çalışmada tasarlanan Bahçe Pülverizatörü sayesinde hem daha az yakıt tüketimi hem de daha az ilaç tüketimi gerçekleştirilebileceği ortaya konulmuştur. Greyfurt bahçesinde %58,55 Pikan Cevizi Bahçesinde %69,90 Trabzon hurması bahçesinde ise %68,01 kesiksiz ilaçlamaya (geleneksel uygulamaya) göre uygulama hacmi tasarrufu gerçekleştirilmiştir. İlaç tüketiminin yanında, değişken oranlı uygulama ile %12,24 yakıt tasarrufu sağlanmıştır.

Yapılan makinenin inovatif yönleri değerlendirildiğinde ise şu özellikler ön plana çıkmaktadır:

1. Bahçe Pülverizatörü herhangi bir ağaç türünde, herhangi bir fenolojik dönem ve vejetatif dönemde ilgili bahçede ilaçlama yapmadan önce kp_l'yi hesaplayabilmektedir. Hem ilaç uygulayabilmenin yanında, çalışacağı bahçede ön adaptasyon yapılarak bahçe özelliklerini tanıması açısından inovatif bir makine ortaya konulmuştur.
2. Tasarlanan Bahçe Pülverizatörünün özellikle fan işletim tarafının hidrolik ile çalıştırılması sayesinde, operatöre 6 farklı olasılık dışında, daha esnek istenilen devirde çalıştırmayı sağlayan değişken oranlı hava uygulama sistemi sağlanmıştır. Bilgisayardaki

yazılım sayesinde, lazer sensörler ile alınan verilerle hesaplanan ortalama hava hızı ağaçlara uygulanmıştır. Böylece, kullanıcıya kendi karar verme mekanizmasına sahip anlık karar verebilen bir bahçe pülverizatörü sunulmuştur. Bununla birlikte değişen ağaç tac geometrisine bağlı olarak ağacın üst orta ve alt etek kısımlarına değişken oranlı uygulama yapabilen püskürtme sistemi de değişken oranlı hava uygulayan sisteme akuple edilmiştir. Böylece hava akımı ve püskürtme sıvısı eş zamanlı olarak ağaç tacının değişen geometrisine anlık olarak uygulanabilmiştir.

Geliştirilen yardımcı hava akımlı bahçe pülverizatörünün gerek imalat sanayinde gerekse çiftçiler tarafından benimsenmesi için aşağıdaki çalışmaların yapılması gerekmektedir.

1. Bahçe Pülverizatörü deneysel amaçla imal edildiğinden sadece tek bir tarafa hava ve ilaç uygulayacak şekilde yapılmıştır. Bundan sonraki süreçte turbo ünitenin sağlı sollu olarak işletilebilmesi için gerekli donanımlar ilave edilmelidir.
2. Her ne kadar bu projede değişken oranlı hava hacmi sağlanmış ise de, mevcut turbo ünitenin hava çıkış ağzı ağaç tacı düşey yüksekliği boyunca havayı yönlendirecek bir konstrüksiyona sahip değildir. Bundan dolayı da denemelerde ağaç düşey yüksekliği boyunca gerek iz maddesi birikintisi gerekse kaplama oranlarında uniform olmayan bir değişiklik gözlenmiştir. Bu sorunuda giderebilmek için mevcut hava çıkış ünitesine konveyör tipi çıkış ağzı ilave edilerek ağaç tacı mimarisine göre hava yönderilmesi üzerinde çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

A. Landers, M. Farooq, Reducing spray drift from orchards: a successful case study. (2004) N. Y. Fruit Q. 12(3), 23–26

Agusti, M.; S. Zaragoza; H. Bleiholder; L. Buhr; H. Hack; R. Klose; R. Stauss (1995). "Escala BBCH para la descripción de los estadios fenológicos del desarrollo de los agrios (Gén. Citrus)". Levante Agricola. 3: 189–199.

Altuntaş, E. (2020). Türkiye'deki Tarım Makineleri Kullanım Projeksiyonunun Tahmini. In Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi (Vol. 6, Issue 3, pp. 506–516). Uluslararasi Tarim ve Yaban Hayati Bilimleri Dergisi. https://doi.org/10.24180/ijaws.728023.

Anonim, (1992). LAI-2000 Plant Canopy Analyzer Operating Manuel. Li-Cor Inc. Nebraska, ABD.

Anonim, (2004). New Holland TD95 Marka Traktörün Test Raporu. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Tarım Alet ve Makinaları Test Merkezi Müdürlüğü. Ankara. Rapor No: 1379/2253 TGK.7

Anonim (2017). Turunçgil Entegre Mücadele Teknik Talimatı. T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı. Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Bitki Sağlığı Araştırmaları Daire Başkanlığı

Anonim, (2018). Çevresel Göstergeler. Tarım İlacı (Pestisit) Kullanımı Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/tarim-ilaci-pestisit-kullanimi-i-85834. Ankara.

Anonim, (2020). Bitkisel Üretim Verileri. Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı. https://www.tarimorman.gov.tr/sgb/Belgeler/SagMenuVeriler/BUGEM.pdf. Ankara.

Anonim, (2024). Sick marka DT50 Lazer Sensörün DataSheet ve Manuel'i. Erişim Adresi: https://www.bpx.co.uk/dbdocument/110324/1047616.pdf. Erişim Tarihi: 12.03.2024.

ASAE, (2003). Terminology and Definitions for Agricultural Chemical Application, ASAE S327.2 FEB03.

Balsari, P., Marucco, P., & Oggero, G. (2002). Spray applications in Italian apple orchards: Target coverage, ground losses and drift. In 2002 ASAE Annual Meeting (p. Paper Number: 02–1002). American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Balsari, P., Marucco, p., Oggero, G., Tamagnone, M., (2008). Study of optimal air velocities for pesticide application in vineyard. Aspects of Applied Biology 84, 417–423.

Bayat, A. (1991). Turunçgil İlaçlamasında Klasik Püskürtme Yöntemleri ve Elektrostatik Yükleme Yöntemi Etkinliğinin Belirlenmesi Üzerinde Bir AraĢtırma. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana.

Bayat, A., Bolat.A., İtmeç, M. (2020). Yardimci Hava Akimli Bahçe pülverizatörleri ve Kalibrasyonu.Gece Kitaplığı Ankara. Birinci Basım. ISBN • 978-625-7938-87-7. SYF 14.

Bekkers, C. C. A., Angelou, N., & Dellwik, E. (2022). Drag coefficient and frontal area of a solitary mature tree. In Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics (Vol. 220, p. 104854). Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.jweia.2021.104854

Campbell, G., S., (2024,12,21). The Researcher's complete guide to Leaf Area Index (LAI). www.metergroup.com. https://www.metergroup.com/en/meter-environment/education-guides/researchers-complete-guide-leaf-area-index-lai.

Chen Y., Ozkan H.E., Zhu Z., Derksen, R., C., Krause, C., R. (2013). Spray Deposition inside Tree Canopies from a Newly Developed Variable-Rate Air-Assisted Sprayer. In Transactions of the ASABE (pp. 1263–1272). American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). https://doi.org/10.13031/trans.56.9839

Chen Y., Zhu Z.,Ozkan H.E., (2012). Development of A Varıable-Rate Sprayer with Laser Scanning Sensor to Synchronize Spray Outputs To Tree Structures. Transactions of the ASABE Vol. 55(3): 773-781. ISSN 2151-0032.

Chen, J. M., & Cihlar, J. (1995). Plant canopy gap-size analysis theory for improving optical measurements of leaf-area index. In Applied Optics (Vol. 34, Issue 27, p. 6211). Optica Publishing Group. https://doi.org/10.1364/ao.34.006211.

Chen, Y., Zhu, H., Ozkan, E.(2011). An experimental variable-rate sprayer for nursery and orchard applications. Transactions of the ASABE Vol. 55(3): 773-781

Cross, J. V., Walklate, P. J., Murray, R. A., & Richardson, G. M. (2001). Spray deposits and losses in different sized apple trees from an axial fan orchard sprayer: 1. Effects of spray liquid flow rate. In Crop Protection (Vol. 20, Issue 1, pp. 13–30). Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/s0261-2194(00)00046-6

Çengel Y., A., Cimbala J., M., (2004).Fluid Mechanics:Fundamentals and Applications. McGrawHill New York, USA. 5th Edition.

Derksen, R., C., Breth, D., I. (1994) Orchard air-carrier sprayer application accuracy and spray coverage evaluations. App. Eng. Agri. 10(4). 463-470.

Deveau, J. 2015.Airblast 101 A Handbook of best practices inairblast spraying. http://sprayers101.com/wpcontent/uploads/2016/04/43656_OMAFRA_2015_Airblast_101_eBook_a8-FINAL.pdf

Dinçay O., Civelek H.,S. (2017) Muğla ili Ortaca Bölgesi turunçgil ekosistemlerindeki insektisit kalıntılarının belirlenmesi. Türkiye Entomoloji Bülteni. 2017;7(1):31-40.

Duga A., T., Ruysen, K., Dekeyser, D., Nuyttens, D., Bylemens, D., Nicolai, B., M., Verboven, P. (2015). Spray deposition profiles in pome fruit trees: Effects of sprayer design, training system and tree canopy characteristics. Crop Protection 67 (2015) 200-213.

Elekçioğlu, N. (2019). Adana da Trabzon Hurması Bahçelerinde Portakal Güvesi [Cryptoblabes gnidiella Milliere, 1867 (Lepidoptera: Pyralidae)] nin Popülasyon Değişimi, Zarar Oranı ve Mücadelesi. In Cukurova University, Agriculture Faculty (Vol. 2, Issue 34, pp. 149–160). Cukurova University, Agriculture Faculty. https://doi.org/10.36846/cjafs.2019.7

Endalew, A.,M., Debaer C., Rutten, N., Vercammen, J., Delele, M.,A., Ramon, H., Nicolaï, B.,M., Verboven, P. (2010). A new integrated CFD modelling approach towards air-assisted orchard spraying—Part II: Validation for different sprayer types. Computers and Electronics in Agriculture 71 (2010) 137–147. Doi: https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.11.007

Ersoy N., Tatlı Ö., Evcil E., Çoşkun L.,Ş., Özcan S., Erdoğan E. (2011). Sert Çekirdekli ve Sert Kabuklu Meyve Türlerinde Bazı Pestisit Kalıntıları. Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences. 2011;25(1):75-83

Erzurumlu, D., Y. (2018). Tarım Traktörlerinde Kullanılan Klima Sistemlerinin Traktör Verimi ve Özgül Yakıt Tüketimine Etkileri. Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6(3): 285-290, 2018. ISSN: 2148- 127X. (in Turkish) Doi: https://doi.org/10.24925/turjaf. v6i3.285-290.1676

Escolà, A., Rosell-Polo, J. R., Planas, S., Gil, E., Pomar, J., Camp, F., Llorens, J., & Solanelles, F. (2013). Variable rate sprayer. Part 1 – Orchard prototype: Design, implementation and validation. In Computers and Electronics in Agriculture (Vol. 95, pp. 122–135). Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.02.004

Failla, S., Bisaglia, C., Schillaci, G., Longo, D., & Romano, E. (2020). Sprayer Axial Fan Layout Affecting Energy Consumption and Carbon Emissions. In Resources (Vol. 9, Issue 11, p. 136). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/resources9110136.

Fessler, L., Fulcher, A., Lockwood, D., Wright, W., & Zhu, H. (2020). Advancing Sustainability in Tree Crop Pest Management: Refining Spray Application Rate with a Laser-guided Variable-rate Sprayer in Apple Orchards. In HortScience (Vol. 55, Issue 9, pp. 1522–1530). American Society for Horticultural Science. https://doi.org/10.21273/hortsci15056-20

Fox, R. D., Brazee, R. D., Reichard, D. L., Hall, F.R. (1982). Power in an Air Sprayer Jet. Transactions of the ASAE 1982.

Frisio, D., Baldoin, C., Pezzi, F., (2015). Mathematical modeling of the dynamics of air jet crossing the canopy of tree crops during pesticide application. Applied Mathematical Sciences, Vol. 9, 2015, no. 26, 1281 – 1296.

Ganzelmeier, H., Rautmann, D., Spangenberg, R., Streloke, M., Herrmann, M., Wenzelburger, H.-J., Walter, H.-F., (1995). Studies on the spray drift of plant protection products. Technical report, Federal Biological Research Centre for Agriculture andForestry, Berlin.

Garcera, C., Fonte, A., Molto, E., Chueca, P. (2017). Sustainable Use of Pesticide Applications in Citrus: A Support Tool for Volume Rate Adjustment. Int. J. Environ. Res. Public Health 2017, 14, 715

Gil, E., Escola, A., Rosell, J., R., Planas, S., Val, L., (2007). Variable rate application of plant protection products in vineyard using ultrasonic sensors. Crop Protection 26 (2007) 1287–1297.

Gil, E., Gallart, M., Llop, J., Ercilla, M., Domènech, F., Masip, P. (2014). Effect of low-drift nozzles on the biological effectiveness to control powdery mildew in vineyards. A: Workship on Grapevine Downy and Powdery Mildew. "Procedings of the 7th International Workshop on Grapevine Downy and Powdery Mildew". Vitoria - Gasteiz: Dıputacıón Foral De Álava, 2014, p. 51-54. ISBN: 978-84-7821-827-1.

Grella, M., Gioelli, F., Marucco, P., Zwertvaegher, I., Mozzanini, E., Mylonas, N., Nuyttens, D., Balsari, P., (2022). Field assessment of a pulse width modulation (PWM) spray system applying different spray volumes: duty cycle and forward speed effects on vines spray coverage. Precis. Agric. 23, 219–252. https://doi.org/ 10.1007/s11119-021-09835-6.

Grella, M., Marucco, P., Mozzanini, E., Athanasakos, L., Biglia, A., Comba, L., Gil, E., Fountas, S., Balsari, P., & Gioelli, F. (2023). Effects of canopy density-based airblast fan airflow adjustment on vines spray deposit. In Precision agriculture ’23. 14th European Conference on Precision Agriculture. Wageningen Academic Publishers. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-947-3_14

Gu, J., Zhu, H., Ding, W. (2013). Air velocity distributions inside tree canopies from a variable-rate air-assisted sprayer. In 2013 ASABE Annual International Meeting. 2013 ASABE Annual International Meeting. American Society of Agricultural and Biological Engineers. https://doi.org/10.13031/aim.20131594711.

Guan, C., Che, Q., Zhang, P., Huang, J., Chachar, S., Ruan, X., Wang, R., & Yang, Y. (2021). Codification and description of growth stages in persimmon (Diospyros kaki Thunb.) using the extended BBCH scale. In Scientia Horticulturae (Vol. 280, p. 109895). Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109895

Han, M., Peng, F., & Marshall, P. (2018). Pecan phenology in Southeastern China. In Annals of Applied Biology (Vol. 172, Issue 2, pp. 160–169). Wiley. https://doi.org/10.1111/aab.12408

Han, S.; Hendrickson, L.L.; Ni, B.; Zhang, Q. (2001). Modification and testing of a commercial sprayer with PWM solenoids for precision spraying. Appl. Eng. Agric. 2001, 17, 591–594.

Holownicki, R., Doruchowski, G., Godyn, A., Swiechowski, W.,(2002). The effect of air ject velocity on spray deposition in apple orchard. Aspects of Applied Biology no:66, page.277-284.

Hołownicki, R., Doruchowski, G., Świechowski, W., Godyń, A., & Konopacki, P. J. (2017). Variable air assistance system for orchard sprayers; concept, design and preliminary testing. In Biosystems Engineering (Vol. 163, pp. 134–149). Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.09.004

Hu,K., Fu, Z., Ji, R., Wang, J., Qi, L. (2011) Design and Development of Variable Rate Spraying System Based on Canopy Volume Measurement. 5th Computer and Computing Technologies in Agriculture (CCTA), Oct 2011, Beijing, China. pp.402-413.

Işıktepe M., Sümer S.,K., (2010). Comparing operational charachteristics of 540 rpm and 750 rpm pto in tractors through laboratory tests. Anadolu J. Agric. Sci., 2010,25(3):168-174. Doi: https://doi.org/10.7161/ ANAJAS.2010.25.3.168-174.

İtmeç, M., Bayat, A. (2021). Determination of the optimum operating parameters of an axial fan used on the conventional air blast orchard sprayer. J. Agric. Environ. Food Sci., 5(3), 395-402.

İtmeç, M., Bayat, A., Bolat, A., Toraman, M., C., Soysal, A.(2022) Assessment of Spray Drift with Various Adjuvants in a Wind Tunnel. Agronomy, 12, 2377. https://doi.org/10.3390/agronomy12102377

Jejčič, V., Godeša, T., Hočevar, M., Širok, B., Malneršič, A., Štancar, A., Lešnik, M., Stajnko, 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. In Transactions of the ASABE (Vol. 54, Issue 6, pp. 1997–2007). American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). https://doi.org/10.13031/2013.40648.

Jonckheere, I., Fleck, S., Nackaerts, K., Muys, B., Coppin, P., Weiss, M., & Baret, F. (2004). Review of methods for insitu leaf area index determination. In Agricultural and Forest Meteorology (Vol. 121, Issues 1–2, pp. 19–35). Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.08.027

Khot L.,R., Ehsani R., Albrigo G., Larbi P., A., Landers A., Campony J., Wellington C., (2012). Air Assisted sprayer adapted for precision horticulture:Spray patterns and deposition assessments in small-sized citrus canopies. Biosystem Engineering 113 (2012) 76-85.

Koizumi, A., Shimizu, M., Sasaki, Y., & Hirai, T. (2016). In situ drag coefficient measurements for rooftop trees. In Journal of Wood Science (Vol. 62, Issue 4, pp. 363–369). Springer Science and Business Media LLC. https://doi.org/10.1007/s10086-016-1556-5

Larbi, P., A., Salyani, M. (2012a). Model To Predict Spray Deposition in Citrus Airblast Sprayer Applications: Part 1. Spray Dispersion. Transactions of the ASABE Vol. 55(1): 29-39.

Larbi, P., A., Salyani, M. (2012b). Model To Predict Spray Deposition in Citrus Airblast Sprayer Applications: Part 2. Spray Deposition. Transactions of the ASABE Vol. 55(1): 41-48.

Lee, K., H., Ehsani, R. (2009). A Laser Scanner Based Measurement System for Quantification of Citrus Tree Geometric Characteristics. In Applied Engineering in Agriculture (Vol. 25, Issue 5, pp. 777–788). American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). https://doi.org/10.13031/2013.28846

Li, T.; Qi, P.; Wang, Z.; Xu, S.; Huang, Z.; Han, L.; He, X. (2022). Evaluation of the Effects of Airflow Distribution Patterns on Deposit Coverage and Spray Penetration in Multi-Unit Air-Assisted Sprayer. Agronomy 2022, 12, 944. https:// doi.org/10.3390/agronomy12040944.

Liu, L., Liu, Y., He, X., & Liu, W. (2022). Precision Variable-Rate Spraying Robot by Using Single 3D LIDAR in Orchards. In Agronomy (Vol. 12, Issue 10, p. 2509). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/agronomy12102509

Liu, S., H., Huang R., F., Chen L., J. (2011). Performance and inter-blade flow of axial flow fans with different blade angles of attack. Journal of the Chinese Institute of Engineers Vol. 34, No. 1, January 2011, 141–153.

Llorens, J., Gil, E., Llop, J., Escola, A. (2011). Ultrasonic and LIDAR Sensors for Electronic Canopy Characterization in Vineyards: Advances to Improve Pesticide Application Methods. Sensors 2011, 11, 2177-2194.

Maghsoudi H., ve Minaei, S. (2014) A review of applicable methodologies for variable-rate spraying of orchards based on canopy characteristics. J. Crop Prot. 2014, 3 (4):531-542

Mahmud, M. S., Zahid, A., He, L., Zhu, H., Choi, D., Krawczyk, G., & Heinemann, P. (2022). Development of an Automatic Airflow Control System for Precision Sprayers Based on Tree Canopy Density. In Journal of the ASABE (Vol. 65, Issue 6, pp. 1225–1240). American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). https://doi.org/10.13031/ja.14972

Manickathan, L., Defraeye, T., Allegrini, J., Derome, D., & Carmeliet, J. (2018). Comparative study of flow field and drag coefficient of model and small natural trees in a wind tunnel. In Urban Forestry & Urban Greening (Vol. 35, pp. 230–239). Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.09.011

Marucco, P., Tamagnone, M., Balsari, P. (2008). Study of air velocity Adjustment to maximise sprey deposition in peach orchard. Agricultural Engineering International, vol.X. ISSN:1682-1130.method of pesticide dose expression: application to broadcast spraying of apple trees. Ann. Appl. Biol. 143, 11–23.

Matthews G., A., Bateman R, Miller P. (2014). Pesticide application methods. West Sussex, UK: Wiley Blackwell.

Miranda-Fuentes ,A., Rodríguez-Lizana A., Cuenca A., Gonzalez- Sanchez E.,J., Blanco-Roldan G.,L., Gil- Ribes J.,A. (2017). Improving plant protection product applications in traditional and intensive olive orchards through the development of new prototype air-assisted sprayers. Crop Protection 94 (2017) 44-58.

Osterman, A., Hocevar M. (2014). LIDAR-based control of automated orchard sprayer. Proceedings International Conference of Agricultural Engineering.

Özercan, B., & Taşcı, R. (2022). Investigation of Pesticide Use in Türkiye in Terms of Provinces, Regions and Pesticide Groups. In Ziraat Mühendisliği (Issue 375, pp. 75–88). Ziraat Muhendisligi. https://doi.org/10.33724/zm.1120599

Pai, N., Salyani, M., Sweeb, R. D. (2009). Regulating Airflow of Orchard Airblast Sprayer Based On Tree Foliage Densıty. Transactions of the ASABE Vol. 52(5): 1423-1428.

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 (2015) 108–117.

Patel J.,S., Patel S., M., (2012). Parameter Affecting the Performance of Axial Fan Performance. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) Vol. 1 Issue 3, May – 2012 ISSN: 2278-0181.

Pekitkan, F., G., Güler, H., Kavdır, İ., (2015). Bağlarda Etkin İlaçlama İçin Değişken Düzeyli Püskürtme Sistemi Tasarımı. Doktora Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir.

Pergher, G., Gubiani, R., Gasparinetti, P., Del Cont Bernard, D.(1994) Voluntary testing of plant protection equipment in Northern Italy. Acta Hort. 372, 59-66.

Petrovic, D., Banaj, D., Banaj, A., Barac, Z., Vidakovic, I., Tadic, V. (2019). The Impact of Conventional and Sensor Spraying on Drift and Deposit in Cherry Orchard. In Tehnicki vjesnik - Technical Gazette (Vol. 26, Issue 5). Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod. https://doi.org/10.17559/tv-20171206133147.

Salas, B., Salcedo, R., Ortega, P., Grella, M., & Gil, E. (2022). Use of ultrasound anemometers to study the influence of air currents generated by a sprayer with an electronic control airflow system on foliar coverage. Effect of droplet size. In Computers and Electronics in Agriculture (Vol. 202, p. 107381). Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107381

Salcedo, R., Fonte, A., Grella, M., Garcerá, C., & Chueca, P. (2021). Blade pitch and air-outlet width effects on the airflow generated by an airblast sprayer with wireless remote-controlled axial fan. In Computers and Electronics in Agriculture (Vol. 190, p. 106428). Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106428

Salcedo, R., Garcera, C., Granell, R., Molto, E., & Chueca, P. (2015). Description of the airflow produced by an air-assisted sprayer during pesticide applications to citrus. In Spanish Journal of Agricultural Research (Vol. 13, Issue 2, p. e0208). Instituto Nacional de Investigacion y Tecnologia Agraria y Alimentaria (INIA). https://doi.org/10.5424/sjar/2015132-6567

Salcedo, R., Pons, P., Llop, J., Zaragoza, T., Campos, J., Ortega, P., Gallart, M., & Gil, E. (2019). Dynamic evaluation of airflow stream generated by a reverse system of an axial fan sprayer using 3D-ultrasonic anemometers. Effect of canopy structure. In Computers and Electronics in Agriculture (Vol. 163, p. 104851). Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.06.006.

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. In Computers and Electronics in Agriculture (Vol. 178, p. 105794). Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105794

Salyani M. and M. Farooq. (2003). Sprayer air energy demand for satisfactory spray coverage in citrus applications, Proc. Fla. State Hort. Soc.116: 298-304.

Salyani, M., Farooq, M., Sweeb, R.,D. (2007). Spray Deposition and Mass Balance in Citrus Orchard Applications. Transactions of the ASABE Vol. 50(6): 1963-1969.

Schumann, A.,W., Zaman, Q.,U. (2005) Software Development For Real-Time Ultrasonic Mapping Of Tree Canopy Size. Computers and Electronics in Agriculture 47 (2005) 25–40.

Sert Kabuklu Meyve Türlerinde Bazı Pestisit Kalıntıları. Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences.2011;25(1):75-83.

Shen, Y., Zhu, H. (2015). Embedded Computer-Controlled Premixing Inline Injection System for Air-Assisted Variable-Rate Sprayers. In Transactions of the ASABE (pp. 39–46). American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). https://doi.org/10.13031/trans.58.11037

Shi, R.; Sun, H.; Qiu, W.; Lv, X.; Ahmad, F.; Gu, J.; Yu, H.; Zhang, Z. (2022). Analysing Airflow Velocity in the Canopy to Improve Droplet Deposition for Air-Assisted Spraying: A Case Study on Pears. Agronomy 2022, 12, 2424. https://doi.org/10.3390/agronomy12102424

Sidahmed, M. M., Brown, R. B. (2001). Simulation of Spray Dispersal and Deposition from a Forestry Airblast Sprayer — Part I: Air Jet Model. Transactions of the ASAE Vol. 44(1): 5–10.

Svensson, S., A., Brazee, R., D., Fox, R., D., Williams, K., A. (2003). Air Jet Velocities in and Beyond Apple Trees From A Two Fan Cross Flow Sprayer. In Transactions of the ASAE (Vol. 46, Issue 3). American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). https://doi.org/10.13031/2013.13587.

Syngenta. (2004). A user card containing the recommended droplet density in the target area. Basel, Switzerland: Syngenta Crop Protection AG.

Tiryaki, O., Canhilal, R., Horuz, S. (2010). Tarım ilaçları kullanımı ve riskleri. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 26(2): 154-169 (2010).

Triloff, P., Knoll, M., Lind, K., Herbst, E., Kleisinger, S. (2013). Low-Loss-Spray-Application-The scientific basis. Julius-Kühn-Archiv, (439), 127-134.

Tsatsarelis, C. (1979) Amortissement interne-externe des rameaux des arbres. Rivista di Ingegneria Agraria, 2 (1979), 17-25.

Tumbo, S., D., Salyani, M., Whitney, J., D., Wheaton, T., A., Miller, W., M. (2002) Investigation of Laser And Ultrasonic Ranging Sensors For Measurements Of Citrus Canopy Volume. Applied Engineering in Agriculture Vol. 18(3): 367–372.

Walklate, P.J., Cross, J.V., Richardson, B., Baker, D.E., Murray, R.A., (2003). A generic method of pesticide dose expression: Application to broadcast spraying of apple trees. In Annals of Applied Biology (Vol. 143, Issue 1, pp. 11–23). Wiley. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2003.tb00264.x

Wandkar, S. V., Bhatt, Y. C., Jain, H. K., Nalawade, S. M., & Pawar, S. G. (2018). Real-Time Variable Rate Spraying in Orchards and Vineyards: A Review. In Journal of The Institution of Engineers (India): Series A (Vol. 99, Issue 2, pp. 385–390). Springer Science and Business Media LLC. https://doi.org/10.1007/s40030-018-0289-4

Wang, S., Song, J., Qi, P., Yuan, C., Wu, H., Zhang, L., Liu, W., Liu, Y. He, X. (2022) Design and development of orchard autonomous navigation spray system. Front. Plant Sci. 13:960686. doi: 10.3389/fpls.2022.960686

Wei, Q., Sanqin, Z., Weimin, D., Chengda S., Jiang, L., Yinian, L., Jiabing, G. (2016). Effects of fan speed on spray deposition and drift for targeting air-assisted sprayer in pear orchard.Int J Agric & Biol Eng,2016;9(4):53－62

Wei, Z.; Xue, X.; Salcedo, R.; Zhang, Z.; Gil, E.; Sun, Y.; Li, Q.; Shen, J.; He, Q.; Dou, Q.; (2022). Key Technologies for an Orchard Variable-Rate Sprayer: Current Status and Future Prospects. Agronomy, 13, 59. https://doi.org/10.3390/ agronomy13010059.

Womac, A.R.; Bui, Q.D.(2002) Design and tests of a variable-flow fan nozzle. Trans. ASAE 2002, 45, 287–295.

Xiongkui, H., Aijun, Z., Yajia, L. and Jianli, S. (2011). Precision orchard sprayer based on automatically infrared target detecting and electrostatic spraying techniques. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 4: 35-40.

Xun, L., Campos, J., Salas, B., Fabregas, F. X., Zhu, H., & Gil, E. (2023). Advanced spraying systems to improve pesticide saving and reduce spray drift for apple orchards. In Precision Agriculture (Vol. 24, Issue 4, pp. 1526–1546). Springer Science and Business Media LLC. https://doi.org/10.1007/s11119-023-10007-x

Zhang, Z., Zhu, H., Hu, C., Wei, Z., & Salcedo, R. (2020). Graphical user interface design for premixing in-line injection system attached to a variable-rate. In 2020 ASABE Annual International Virtual Meeting, July 13-15, 2020. 2020 ASABE Annual International Virtual Meeting, July 13-15, 2020. American Society of Agricultural and Biological Engineers. https://doi.org/10.13031/aim.202000099

Zhu, H., Zondag, R.,H., Derksen, R., C., Reding, M., Krause, C.,R., (2008). Influence of spray volume on spray deposition and coverage within nursery trees. J. Environ. Hortic. 26(1), 51–57 (2008)

ÖZGEÇMİŞ

Medet İTMEÇ, ilk, orta ve lise eğitimimi Adana' da tamamladı. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü ve Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği bölümünü bitirdi. 2017 yılında Çukurova Üniversitesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı.

Evli ve iki çocuk babasıdır.