



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



**MEVCUT PÜLVERİZATÖRLERE TAKILABİLEN
AKILLI PÜSKÜRTME SİSTEMİNİN
PERFORMANSINA ETKİLİ BAZI
PARAMETRELERİN OPTİMİZASYONU**

Doktora Tezi

Ünal ÜRKMEZ

Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

İzmir

2023

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**MEVCUT PÜLVERİZATÖRLERE TAKILABİLEN
AKILLI PÜSKÜRTME SİSTEMİNİN
PERFORMANSINA ETKİLİ BAZI
PARAMETRELERİN OPTİMİZASYONU**

Ünal ÜRKMEZ

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin GÜLER

Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı
Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Doktora Programı

İzmir
2023

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Doktora Tezi olarak sunduğum “Mevcut Pülverizatörlere Takılabilen Akıllı Püskürtme Sisteminin Performansına Etkili Bazı Parametrelerin Optimizasyonu” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, döküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışması ile elde edilmeyen bütün bilgi, yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

06 / 09 / 2023

Ünal ÜRKMEZ

ÖZET**MEVCUT PÜLVERİZATÖRLERE TAKILABİLEN AKILLI
PÜSKÜRTME SİSTEMİNİN PERFORMANINA ETKİLİ BAZI
PARAMETRELERİN OPTİMİZASYONU**

ÜRKMEZ, Ünal

Doktora Tezi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin GÜLER

Eylül 2023, 92 sayfa

Ürünleri hastalık, zararlı ve yabancı otlara karşı koruyarak kayıpsız bir şekilde hasat zamanına kadar ulaştırmayı amaçlayan bitki koruma uygulamaları diğer tüm tarımsal ürünlerde olduğu gibi bağ yetiştiriciliğinde de önemli bir tarımsal faaliyettir. Ülkemiz 2021 yılı verilerine göre üzüm üretiminde Dünya’da 6.sıradadır. Bağ alanları başta Ege Bölgesi olmak üzere tarımsal alanların önemli bölümünü oluşturmakta, hasat edilen ürünler yurtdışına ihraç edilerek ülke ekonomisine katkıda bulunmaktadır. Bağcılık’ta ürün hassasiyeti ve bölge ikliminden dolayı yılda 27’ye varan sayılarda ilaçlama yapılmaktadır. İlaçlama işlemleri Dünya’da ve ülkemizde yaygın olarak klasik yardımcı hava akımlı pülverizatör ile yapılmaktadır. Klasik yardımcı hava akımlı pülverizatörler yapısı gereği sabit basınç ve sabit sıvı debisi üretmesi sebebi ile tekdüze ve yüksek hacim uygulaması yapmaktadır. Bu durum ürünler üzerinde yüksek kalıntı sorunu oluşmasına ayrıca kimyasalların hedef dışı bölgelere (toprak, hava, su kaynakları) sürüklenmesine sebep olmaktadır. Böylece maliyetler artmakta, ürünler ihraç edilememekte ve hedef dışına sürüklenen kimyasallar ile de çevre kirliliğine sebep olunmaktadır. Son zamanlarda tekdüze ilaçlamanın sebep olduğu olumsuz durumları engellemek amacıyla hedef bitki algılama ve hacim hesaplaması yaparak değişken oranlarda ilaçlama yapan akıllı pülverizatörler kullanılmaya başlanmıştır. Ancak yüksek maliyetlerinden dolayı kullanımı yaygınlaşmamıştır.

Bu tezin amacı üretim maliyeti daha uygun olan akıllı püskürtme sisteminin klasik yardımcı hava akımlı pülverizatöre takılarak değişken oranlı uygulama

yapar hale getirilmesi ve sistemin gerçek bağ arazi koşullarında en uygun çalışma koşullarının belirlenmesidir. Bu kapsamda bağın üç farklı yetiştirme dönemlerinde optimizasyon amaçlı tepki yüzeyleri metodolojisi kullanılarak denemeler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada belirlenen bağımsız değişkenler ilerleme hızı, hava debisi, püskürtme oranı ve püskürtme derinliğidir. Çalışma neticesinde birikimi maksimize eden, sürüklenmeyi minimize eden bununla birlikte bu iki özelliği aynı anda sağlayan çoklu cevap optimizasyonu verilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çiçeklenme öncesi dönemde araziden elde edilen verilere ve istatistiki tahminlere göre birikimin maksimum, sürüklenmenin minimum değerinde olmasını sağlayacak bağımsız değişken verileri ilerleme hızının $4,61 \text{ km.h}^{-1}$, hava debisinin $25486 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, püskürtme oranının $0,05 \text{ l.m}^{-3}$ püskürtme derinliğinin ise $1,33 \text{ m}$ olduğu değer olarak tespit edilmiştir. Koruk dönemi uygulamalarında da çalışma koşullarının optimizasyonu gerçekleştirilmiş olup bu dönemde optimum değerler; ilerleme hızı $4,5 \text{ km.h}^{-1}$, hava debisi $22733 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, püskürtme oranı $0,08 \text{ l.m}^{-3}$, püskürtme derinliği $1,79 \text{ m}$ şeklinde belirlenmiştir. Üçüncü gelişim dönemi olan meyve tatlanma döneminde belirlenen optimum seviyeler ise ilerleme hızının $4,5 \text{ km.h}^{-1}$, hava debisinin $24425 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, püskürtme oranının $0,112 \text{ l.m}^{-3}$ püskürtme derinliğinin ise $1,9 \text{ m}$ olduğu değer olarak tespit edilmiştir. Akıllı püskürtme sistemi ile yapılan uygulamalarda bitki tacı üzerinde yeterli birikim sağlanmıştır. Bununla birlikte akıllı püskürtme sistemi, sistemin devre dışı bırakıldığı sabit norm uygulaması yapan geleneksel pülverizatöre oranla hedef dışı sürüklenmeleri büyük oranda azaltarak daha çevreci bir uygulama meydana getirmiştir. Akıllı püskürtme sisteminin devre dışı bırakılarak oluşturulan geleneksel pülverizatör ile gerçekleşen sürüklenme miktarları akıllı püskürtme sistemine göre çiçeklenme öncesi dönemde 14 kat, koruk döneminde 14,9 kat meyve tatlanma döneminde ise 19 kat olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte değişken oranlı uygulamalar neticesinde akıllı püskürtme sisteminde sıvı ve pestisit tasarrufu sağlanmıştır. Dönemlere göre akıllı püskürtme sistemi çiçeklenme öncesi dönemde %55, koruk döneminde %40 ve meyve tatlanma döneminde ise %38 daha az sıvı ve pestisit püskürtmüştür.

Anahtar sözcükler: Hassas tarım, Değişken oranlı uygulamalar, Tepki yüzeyleri metodolojisi, Birikim, Sürüklenme

ABSTRACT**OPTIMIZATION OF SOME PARAMETERS AFFECTING THE
PERFORMANCE OF A RETROFITTED INTELLIGENT SPRAYER**

ÜRKMEZ, Ünal

PhD Thesis, Department of Agricultural Engineering and Technologies

Thesis Advisor: Prof. Dr. Hüseyin GÜLER

September 2023, 92 pages

Plant protection which aims to protect agricultural products against diseases, pests and weeds until harvest time is an important agricultural activities in vineyard as in all other agricultural products. Turkey takes the sixth place in grape production and the first place in raisin production in the world. Viticultural area, especially in the Aegean region constitutes important part of agricultural areas in Turkey and Vineyard products contribute to the Turkish economy due to exporting abroad. Due to the both agricultural product sensitivity and climate of region plant protection is performed up to 27 times during the vegetation season. Generally plant protection products are applied by conventional air-assisted orchard sprayer in our country as well as in the world. Conventional air assisted produce high volume application constant pressure and constant flow due to its structure. This situation cause high residue amount on the agricultural product also droplets including chemical drift off-target area such as soil, air and water source. Thus spraying cost increase, crops can not be exported and environmental pollution is occurred in the region. Lately smart sprayers are produced which applies variable rate according to canopy size calculation with the aim of decreasing harmful results caused by conventional air assisted sprayers. However, their use has not become widespread due to the high costs. The aim of study is retrofit the smart spraying system which is more cost-effective on the conventional air assisted orchard sprayer and provide it to produce variable rate application also determine the most suitable working conditions of the system in the real vineyard fields. For this purpose experiments were carried out in three growing period to optimize the

working conditions by using respond surface methodology. The determined dependent variables are forward speed, air flow, spray rate and spray depth. It's aimed to determine the best variables data which maximize deposit on the canopy and minimize airborne drift simultaneously as a multiple optimization on each growing period. Optimum values in the pre-flowering growing period were determined as 4,61 km/h for forward speed, 25482 m³/h for air flow, 0,05 l/m³ for spray rate and 1,33m for spray depth. In the second growing period named as fruit set optimum values were determined as 4,5 km/h for forward speed, 22733 m³/h for air flow, 0,08 l/m³ for spray rate and 1,79 m for spray depth. In the third and last growing period named as ripening period optimum values were determined as 4,5 km/h for forward speed, 24425 m³/h for air flow, 0,116 l/m³ for spray rate and 1,9 m for spray depth. In the study smart spraying systems while providing sufficient deposit on the canopy also decreased high amount of the airborne drift in comparison with conventional sprayer. Conventional sprayer produced 14 times more drift in the pre-flowering period, 14,9 times more drift in the fruit set period and 19 times more drift in the ripening period. However chemical saving with smart spraying systems in comparison with conventional sprayer in the pre-flowering, fruit set and ripening period were determined as respectively 55%, 40%, 38%.

Keywords: Precision farming, Variable rate application, Respond surface methodology, Deposit, Drift.

ÖNSÖZ

Bağ yetiştiriciliği ülkemiz koşullarında tarımsal, gıda ve ticari anlamda büyük öneme sahiptir. Özellikle Ege bölgesinde birçok tarımsal işletmenin geçim kaynağını oluşturmaktadır. Üretim aşamasında hastalık, zararlı ve yabancı ot gibi birçok faktör tarafından olumsuz olarak etkilenmektedir. Bağcılıkta üzüm kalitesinin bozulmaması hastalık ve zararlılardan etkilenmemesi amacıyla klasik yardımcı hava akımlı pülverizatör ile kimyasal mücadele uygulamaları yaygın bir şekilde yapılmaktadır. Klasik yardımcı hava akımlı pülverizatörler ile yapılan uygulamalarda sabit basınç ve sabit debi oluşturan tekdüze kimyasal uygulaması yapılmaktadır. Bu tip pülverizatörler boş bölgeleri ve yaprak alan büyüklüğünü dikkate almadan püskürtme yapmaktadır. Bu durum bitki üzerinde yüksek kalıntı oluşmasına ve kimyasal içerikli damlaların yoğun bir şekilde hedef dışı bölgelere sürüklenmesine sebep olmaktadır.

Yüksek kalıntı sebebiyle hasat edilen ürünler ihraç edilemeyerek ekonomik anlamda üreticiler ve ülkemiz açısından olumsuz bir durum meydana getirmektedir. Hedef dışına sürüklenen damlaların gereksiz maliyetlere sebep olması da ekonomiyi olumsuz etkileyen bir diğer unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun yanında hedef dışına sürüklenen kimyasal içerikli damlacıklar yere ve havaya sürüklenerek atmosferi, toprağı, su kaynaklarını kirletmektedir. Bu durum insan sağlığını, hayvan sağlığını ve çevreyi tehdit etmektedir.

Akıllı pülverizatörler hedef bitki varlığını algılayarak ve hacim hesaplamasına göre değişken oranda uygulamalar yaparak kalıntı ve sürüklenme gibi sorunların önüne geçmektedir. Özellikle ülkemiz koşullarında olduğu gibi Dünya’da da üreticiler açısından kullanımının yaygınlaşması son derece yavaş bir şekilde gerçekleşmektedir.

Ürün edinme maliyeti, akıllı pülverizatörlerin kullanımının yaygınlaşmasının önündeki en büyük engellerden biridir. Halihazırda üreticilerin yoğun olarak kullanmakta olduğu klasik yardımcı hava akımlı pülverizatörlerin akıllı püskürtme sistemi elemanları ile donatılarak değişken oranlı uygulama

Bu tez gerekli elemanlar ile modifiye edilen bir akıllı püskürtme sisteminin klasik yardımcı hava akımlı pülverizatöre monte edilerek kullanılması ve sistemin bağcılık uygulamalarında optimum çalışma koşullarının belirlenmesine yönelik hazırlanmıştır.

06 / 09 / 2023

Ünal ÜRKMEZ

İÇİNDEKİLERSayfa

İÇ KAPAK	ii
KABUL ONAY SAYFASI	iii
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI.....	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ	xi
İÇİNDEKİLER	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xviii
TABLolar DİZİNİ.....	xxii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxv
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	6
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	11
3.1 Gereç	11
3.1.1 Traktör	11
3.1.2 Yardımcı hava akımlı pülverizatör	11

İÇİNDEKİLER (devam)Sayfa

3.1.3 Hava yönlendirme ünitesi	12
3.1.4 Lazer sensör	12
3.1.5 Selenoid valf	13
3.1.6 Röle kart.....	13
3.1.7 Bilgisayar	14
3.1.8. İlerleme hız ölçüm aleti.....	14
3.1.9 Püskürtme memeleri	14
3.1.10 Basınç regülatörü	16
3.1.11 Sıvı iletim hortumları	16
3.1.12 Filtre kağıtları.....	16
3.1.13. İz maddesi	17
3.1.14 Taşınabilir meteoroloji istasyonu.....	17
3.1.15 Elektrik motoru frekans konvertörü.....	17
3.1.16 Alüminyum direkler.....	18
3.1.17 Saf su üretim cihazı.....	18
3.1.18 Orbital çalkalayıcı	19

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.1.19 Spektrofotometre	19
3.1.20 Termo Anemometre	20
3.2 Yöntem	20
3.2.1 Tepki yüzeyleri metodolojisi ve optimizasyon.....	20
3.2.2 Ön denemeler ve akıllı püskürtme sisteminin kalibrasyonu.....	25
3.2.3 Hacim hesaplaması	28
3.2.4 Arazi denemeleri.....	30
3.2.5 Laboratuvar çalışmaları	32
3.2.6 İstatistik analizler	33
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	36
4.1 Çiçeklenme Öncesi Döneme Ait Deneme Sonuçları ve Optimizasyon.....	36
4.1.1 Çiçeklenme öncesi döneme ait birikim miktarı sonuçları	36
4.1.2 Çiçeklenme öncesi döneme ait sürüklenme miktarı sonuçları	41
4.1.3 Çiçeklenme öncesi döneme ait çoklu optimizasyon sonuçları	46
4.2 Koruk Dönemine Ait Deneme Sonuçları ve Optimizasyon.....	51
4.2.1 Koruk dönemine ait birikim miktarı sonuçları	51

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.2.2 Koruk dönemine ait sürüklenme miktarı sonuçları ve optimizasyon	56
4.2.3 Koruk dönemine ait çoklu cevap optimizasyon sonuçları	60
4.3 Meyve Tatlanma Dönemine Ait Deneme Sonuçları ve Optimizasyon Verileri	63
4.3.1 Meyve tatlanma dönemine ait kanopi birikim miktarı sonuçları	64
4.3.2 Meyve tatlanma dönemine ait sürüklenme miktarı optimizasyon sonuçları	67
4.3.3 Meyve tatlanma dönemine ait çoklu cevap optimizasyon sonuçları.....	70
4.4 Akıllı Püskürtme Sisteminin Açık ve Kapalı Olduğu (Geleneksel Pülverizatörle) Durumlarda Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması	74
4.4.1 Çiçeklenme öncesi döneme ait sürüklenme verilerinin karşılaştırılması.....	74
4.4.2 Koruk dönemine ait sürüklenme verilerinin karşılaştırılması.....	75
4.4.3 Meyve tatlanma dönemine ait sürüklenme verilerinin karşılaştırılması	76
4.5 Akıllı Püskürtme Sistemi ile Akıllı Püskürtme Sisteminin Kapalı Olduğu Sabit Uygulama Normu Durumunda Geleneksel Pülverizatörün Püskürtülen Sıvı Miktarı Açısından Karşılaştırılması.....	78
5. TARTIŞMA	79
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	83

İÇİNDEKİLER (devam)Sayfa

KAYNAKLAR DİZİNİ.....86

TEŞEKKÜR91

ÖZGEÇMİŞ.....92

EKLER



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Denemelerde kullanılan traktör.....	11
3.2. Denemelerde kullanılan yardımcı hava akımlı bağ- bahçe pülverizatörü.....	12
3.3. Lazer sensör.....	13
3.4. Selenoid valf.....	13
3.5. Röle kart.	14
3.6. İlerleme hız ölçüm aleti.....	14
3.7. Püskürtme memesi.	15
3.8. Püskürtme meme grupları	15
3.9. Püskürtme meme plakaları- başlıkları- girdap plakaları.	15
3.10. Basınç regülatörü.....	16
3.11. Taşınabilir meteoroloji ölçüm cihazı.....	17
3.12. Elektrik motoru frekans konvertörü.	18
3.13. Saf su üretim cihazı.	18
3.14. Orbital çalkalayıcı.	19
3.15. Spektrofotometre.....	19

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.16. Termo Anemometre.	20
3.17. Hava debisi ölçüm ve kalibrasyonu.	27
3.18. Akıllı püskürtme sistemi ve elemanlarının birleştirilmesi.	27
3.19. Akıllı püskürtme sistemi değerlerinin girildiği arayüz.	29
3.20. Akıllı püskürtme sistemi ile hacim hesaplaması.	29
3.21. Akıllı püskürtme sisteminin şematik gösterimi.	30
3.22. Örnek toplama yüzeylerinin asma bitkisi içinde yerleşimi.	31
3.23. Filtre kağıtlarının asıldığı direklerin yerleşimi.	32
3.24. Spektrofotometre kontrol ve kalibrasyonu ($R^2=0,998$).	33
3.25. Deneme örneklerinin spektrofotometre cihazında ölçülmesi.	33
4.1. Çiçeklenme öncesi döneme ait pareto grafiği.	37
4.2. Bağımsız değişkenlerin birikim miktarına bireysel etkileri.	38
4.3. Birikim miktarına etki eden ikili kontur grafikleri.	38
4.4. Çiçeklenme öncesi dönemine ait sürüklenme verileri pareto grafiği.	42
4.5. Bağımsız değişkenlerin sürüklenme miktarına bireysel etkileri.	42
4.6. İlerleme hızı-hava debisi değişkenlerine göre sürüklenme grafiği.	43

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.7. İlerleme hızı-hava debisi kontur grafiği.	44
4.8. Değişken değerlere göre istenilirlik (desirabilite) kontur grafiği.	49
4.9. Değişken değerlere ait istenilirlik (Desirabilite) dağılım grafiği.	49
4.10. Çiçeklenme öncesi döneme ait birikim - sürüklenme bindirmeli (overlay) grafiği.	50
4.11. Koruk dönemi denemelerine ait pareto grafiği.	51
4.12. Bağımsız değişkenlerin birikim miktarına olan etkileri.	52
4.13. Bağımsız değişkenlere ait birikime etkili ikili interaksiyonlar.	53
4.14. Birikim tahmini noktalarını veren ilerleme hızı- hava debisi kontur grafiği.	55
4.15. Koruk dönemi uygulaması sürüklenme pareto grafiği.	56
4.16. Koruk dönemi uygulamasında bağımsız değişkenlerin sürüklenme üzerine etkileri.	58
4.17. Koruk dönemi sürüklenme miktarlarına ait tahmini tepki yüzeyleri grafiği.	59
4.18. Koruk dönemi birikim sürüklenme bindirmeli (overlay) grafiği.	62
4.19. İlerleme hızı- hava debisi değişkenlerine göre istenilirlik (desirabilite) grafiği.	62

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.20. Meyve tatlanma dönemi bağımsız değişkenlerin birikim miktarına etkileri.	64
4.21. Meyve tatlanma dönemi ilerleme hızı hava debisi kontur grafiği.	66
4.22. Meyve tatlanma dönemi uygulaması bağımsız değişkenlerin sürüklenmeye olan etkileri.	67
4.23. Meyve döneminde sürüklenmenin değişim grafiği.	69
4.24. Meyve tatlanma dönemi bindirmeli (overlay) grafiği.	73
4.25. Meyve tatlanma dönemi uygulaması çoklu cevabın istenilirlik(desirabilite) dağılım grafiği.	73
4.26. Çiçeklenme öncesi dönemi, akıllı püskürtme sistemi (APA) geleneksel pülverizatörün (APK) havaya sürüklenme değerlerinin karşılaştırılması.	75
4.27. Koruk dönemi, akıllı püskürtme sistemi (APA) geleneksel pülverizatörün (APK) havaya sürüklenme değerlerinin karşılaştırılması.	76
4.28. Meyve tatlanma dönemi, akıllı püskürtme sistemi (APA) geleneksel pülverizatörün (APK) havaya sürüklenme değerlerinin karşılaştırılması.	77
4.29. Gelişme dönemlerine göre püskürtülen sıvı miktarı tasarrufu (%).	78

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. α TYM değerleri'nin değişken sayısına bağlı değişimleri.	22
3.2. Denemede kullanılan bağımsız değişkenler.	23
3.3. Bağımsız değişkenlere ait kodlu ve kodsuz seviyelerin gösterimi.	23
3.4. Tepki yüzeyleri metodolojisi merkez esaslı dizayn deneme deseni.	24
3.5. Püskürtme oranına göre belirlenen püskürtme meme tipi, debi ve basınç değerleri.	26
3.6. İstenilirlik (desirability) fonksiyonun standart tahminleme skalası.	34
4.1. Çiçeklenme ncesi döneme ait birikim miktarı optimum verileri.	39
4.2. Deneme deseninde ölçülen değer ile istatistiki değer karşılaştırmaları.	40
4.3. İlerleme hızının periyodik artışına göre bağımsız değişken seviyeleri ve optimum değerler.	41
4.4. Deneme deseninde ölçülen değer ile istatistiki değer karşılaştırmaları.	45
4.5. Çiçeklenme ncesi dönemi sürüklenme optimum değerler.	46
4.6. Denemelerde edilen birikim miktarı ve sürüklenme miktarı verileri.	47
4.7. Deneme numaralarına ait birikim, sürüklenme, istenilirlik (desirabilite) verileri.	48

TABLOLAR DİZİNİ (devam)

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
4.8. Bağımsız değişkenlerin çoklu cevaba göre belirlenen optimum seviyeleri.	50
4.9. Çoklu optimizasyonda elde edilecek optimum veriler.....	50
4.10. Deneme deseninde ölçülen değer ile istatistiki değer karşılaştırmaları.	54
4.11. Koruk dönemi birikim miktarını maksimum veren optimum noktalar.....	55
4.12. Deneme deseninde ölçülen değer ile istatistiki değer karşılaştırmaları.	56
4.13. Koruk dönemi uygulamasında minimum sürüklenme miktarı açısından bağımsız değişkenlerin optimum seviyeleri.	59
4.14. Deneme numaralarına ait birikim, sürüklenme, istenilirlik (desirabilite) verileri.	61
4.15. Koruk dönemi çoklu optimizasyon uygulamasında bağımsız değişkenlerin optimum seviyeleri.	63
4.16. Koruk dönemi çoklu cevap optimum seviye uygulamaları ile tahmini birikim miktarı, sürüklenme miktarı ve istenilirlik değeri.....	63
4.17. Deneme deseninde ölçülen değer ile istatistiki değer karşılaştırmaları.	65
4.18. Meyve tatlanma dönemi uygulaması birikimi maksimumda sağlayan optimum ayar noktaları.	66

TABLOLAR DİZİNİ (devam)

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
4.19. Deneme deseninde ölçülen değer ile istatistiki değer karşılaştırmaları.....	68
4.20. Meyve tatlanma dönemi bağımsız değişkenlerin sürüklenmede optimum seviyeleri.....	69
4.21. Meyve tatlanma dönemi uygulamalarında birikim ve sürüklenme verileri.	70
4.22. Deneme numaralarına ait birikim, sürüklenme, istenilirlik (desirabilite) verileri.....	71
4.23. Meyve tatlanma dönemi uygulamalarına ait bağımsız değişkenlerin optimum seviyeleri.....	72
4.24. Meyve tatlanma dönemine ait elde edilecek optimum birikim miktarı sürüklenme miktarı ve istenilirlik (desirability) değeri.....	72

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
μm	Mikrometre
BG	Beygir Gücü
nM	Nanometre
V	Volt

Kısaltmalar

APA	Akıllı püskürtme sistemi açık
APK	Akıllı püskürtme sistemi kapalı
BKÜ	Bitki Koruma Ürünü
FAO	Dünya Tarım Örgütü
GPS	Küresel Konumlandırma Sistemi
NC	Normalde kapalı
PWM	Pulse Width Modulation

1. GİRİŞ

Bağcılık; Dünya’da ve Ülkemizde gerçekleştirilen tarımsal faaliyetlerin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Türkiye hem bağ alanları hem de yıllık üzüm üretimi açısından Dünya’da ilk sıralarda yer almaktadır. Ülkemiz 2021 Yılında 3 670 000 ton üzüm üretimi ile en çok üretim gerçekleştiren 6. ülke konumundadır (FAO, 2021). Bağcılık; sofralık üzüm, kurutmalık üzüm, şarap, pekmez, şıra gibi çıktılar ile tarım ve gıda sektörü başta olmak üzere farklı sektörler ile bağlantılı olarak özellikle Ege Bölgesinde birçok ailenin geçim kaynağını oluşturmaktadır.

Bağcılık’ta bir üretim sezonu boyunca toprak işlemeden hasat’a kadar birçok kültürel işleme gereksinim duyulmaktadır. Verimli ve ürün kaybı olmadan üretim yapmanın en önemli koşullarından biri de bitki koruma ve ilaçlama işlemleridir. İhmal edilen ya da uygun gerçekleştirilmeyen uygulamalarda tarımsal ürünlerde %40 dolaylarında kayıplar görülebilmekte, yoğun durumlarda ise tüm ürünün kaybı söz konusu olabilmektedir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü’nün raporuna göre Dünya’da %20-40 oranında tarımsal ürün zararlı ve hastalıklar sebebiyle kaybedilmektedir (FAO, 2021). Global ekonomide tarımsal hastalık ve zararlıların meydana getirdiği kayıplar ve bunlar ile mücadele maliyetlerini içeren toplam zarar 290 milyar dolar civarındadır (Agrios, 2015). Fungal hastalık, yabancı ot ve bitki zararlılarına karşı hassas olan bağ alanlarında ürün kayıplarının önüne geçilebilmesi amacıyla yılda 27’e varan sayılarda ilaçlama işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bağcılığın bu derece yoğun ilaçlama programına sahip olduğu düşünüldüğünde, üretici giderlerinde de önemli ölçülerde artışlar meydana gelmektedir.

Bitki koruma makinasının doğru seçilmesi kadar, ilaç uygulama dozajı ve uygulama zamanı da üretici, tüketici ve çevre açısından büyük önem teşkil etmektedir. Tarımsal ilaçların içerdiği zehirli etken maddeler, bilinçsiz ve kontrolsüz uygulamalar sebebiyle toprağa, su kaynaklarına ve atmosfere karışarak çevre açısından son derece zararlı etkilere sebep olmaktadır. Pülverizasyon işleminin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi amacıyla araştırmacılar tarafından bazı başarı kriterleri belirlenmiştir. Düzensiz pülverizasyondan ziyade kontrollü ve amaca yönelik uygulamaların hedeflendiği uygulamalarda damlaların bitki ve

kanopi üzerinde düzgün dağılım göstermeleri, uygun kaplama oranı sağlaması, hedef bitki üzerinde yeterli birikim miktarının oluşması ve hedef dışına gerçekleşen damla sürüklenmelerinin en düşük seviyelere indirilmesi, gerekli başarı kriterlerindendir (Pergher and Gubiani, 1995; Gil et al., 1998; Güler, 2002).

Uygulamalarda püskürtme memelerinden çıkan sıvı damlacıklarının hedefe ulaşmasında, hedef bitki üzerinde tutunmasında çeşitli sorunlar olabildiği gibi damlalar birçok faktörün etkisinde kalarak hedef bitki haricinde daha uzak bölgelerdeki hava, su ve toprak kaynaklarına sürüklenmektedir.

Fox (1998), çalışmalarında pülverizatör tarafından püskürtülen sıvı damlacıklarının %55'inin hedef dışına çıktığını belirtirken Bayat ve Tangolar (1994) hedef dışına gerçekleşen sürüklenmenin %67 civarı olduğunu bildirmiştir. Buharlaşma ve hedef bitki üzerinde tutunamayarak toprağa gerçekleşen ilaç sürüklenmesi gibi sebepler ile bu oran daha da fazla artabilmektedir. İlaçlama uygulamalarının başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesinde meteorolojik koşullar, operatörün beceri durumu, arazi durumu gibi dış etkenlerin yanısıra ilaçlama ekipmanı olan pülverizatör tip ve parçalarının da önemli ölçülerde etkisi bulunmaktadır. Bu kapsamda kullanılacak ilaçlama ekipmanının ile parçalarının arazi koşullarına ve ürün tipine göre seçilmesi ve uygun çalışma koşullarının oluşturulması gerekmektedir. Bu durum birikim miktarı, kaplama oranı, düşük sürüklenme gibi başarı kriterlerini doğrudan etkilemektedir (Salyani et al., 2013; Grella et al., 2017; Wang et al., 2019). Çalışma basıncı, hava debisi, püskürtme memesi tipi gibi teknik özellikler ile püskürtülen damlaların hız ve sürüklenme olasılıkları doğrudan etkilenmekte ayrıca damla boyutları değişmektedir (Vanucci et al., 1998; Pezzi and Randelli, 2000). Araştırmacılar püskürtülen damlaların boyutlarında gerçekleşen değişimlerin sürüklenme ile doğrudan ilişkili olduğunu belirtmektedirler (Hofman and Solseng, 2001; Grella et al., 2017). Ayrıca hava debisi değişimleri ile damlaların kanopi üzerinde dağılım düzgünlüğü olumsuz etkilenebilmektedir. Küçük çaplı damlacıklar rüzgar ile taşınmaya ve buharlaşmaya daha elverişli olmaları sebebiyle hedef dışı sürüklenmeye daha fazla maruz kalmaktadırlar. Çevre ve insan sağlığını doğrudan ya da dolaylı olarak olumsuz etkileyen sürüklenme üzerine gerçekleştirilen araştırmalar neticesinde, düşük rüzgar hızı, düşük sıcaklık, düşük uygulama normu, düşük

basınç, sürüklenmeyi azaltıcı memeler, hava emişli meme tipleri, rüzgar yönü tayini, uygun nisbi nem, uygun ilerleme hızı ve uygun hava debisi ile bu sorunun önüne geçilebildiği belirtilmektedir (Urkan, 2012; Nuyttens et al., 2009).

Bağcılığın yoğun ilaçlama programına sahip olduğu düşünüldüğünde yukarıda bahsi geçen düşük sürüklenme, uygun birikim miktarı, uygun kaplama oranı, damla dağılım düzgünlüğü gibi başarı kriterlerinin önemi daha da artmaktadır. Bağın farklı yetiştirme dönemlerinde farklı büyüklükte kanopi hacimlerine sahip olması hatta aynı dönemde aynı bağ içerisinde farklı büyüklükte omcaların ve boş bölgelerin bulunması ilaçlama kriterlerinin başarılı bir şekilde yerine getirilmesi zorlaşmaktadır. Bağ ilaçlamasında sıklıkla kullanılan klasik yardımcı hava akımlı pülverizatörler sabit norm, basınç ve hava debisinde ilaçlamalar yapmaktadır. Bu nedenle bağın tüm bölümlerine tekdüze ve aynı oranda sıvı püskürtmektedir. Bu durum yoğun kanopi içeren bölgeler kadar düşük yoğunlukta kanopi içeren hatta boş bölgelere de aynı miktarda püskürtme yapılması anlamına gelmektedir. Böylece bu bölgelerde gerçekleşen yüksek hacimli uygulamalar kalıntı problemlerine yol açmakta, ayrıca hedef dışına yüksek miktarda ilaç kayıplarına sebep olmaktadır.

Bakırcı et al. (2014), tarafından yapılan bir çalışmada hasat edilmiş 87 adet farklı üzüm örneğinden 72 tanesinde pestisit kalıntısı tespit edilirken 18 adet örnekte ise kalıntı limit değerlerinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu kalıntı miktarlarının fazlalığı sebebiyle sofralık ve kuru üzümler ihraç değerini kaybederek gümrükten geri dönebilmektedir.

Tarımsal üretimde ilaçlama uygulamalarında hem maddi kayıplara hem de çevresel sorunlara sebep olan bu tür sorunların önüne geçebilmek amacıyla bitki varlığını ve yoğunluğunu dikkate alarak ilaçlama yapılması gerekmektedir. Günümüzde bu koşula olanak sağlayan hassas ve değişken oranlı ilaçlama uygulamalarına izin veren makinaların tasarım ve geliştirilme çalışmaları sürdürülmektedir. Tarımsal ilaçlama işlemlerinde çevreci yaklaşım amacıyla kullanım alanı oluşan akıllı pülverizatörler hedef bitkiyi algılamakta, hedef bitki büyüklüğü hesabı yaparak gerekli bölgeye gerekli miktarda püskürtme yapmaktadır. Hedef bitki ve yoğunluk algılanması üzerinde bulundurduğu sensör

ile sağlanmakta, gömülü bilgisayara girilen değerler çerçevesinde ise hedef bitki hacim hesaplaması sonrası püskürtülecek sıvı miktarına karar verilmektedir. Aynı zamanda algoritma ile uygulanacak hava debisine karar veren sistemler de mevcuttur ve geliştirilmesi devam etmektedir. Araştırmacılar tarafından kanopi karakteristiklerine göre değişken oranlarda püskürtme oranı uygulayan algılayıcı tipine göre lazer sensör ve ultrasonik sensör ve makine görüşü destekli prototipler geliştirilmiştir (Balsari et al., 2008; Brown et al., 2008; Escola et al., 2013). Yapılan çalışmalarda kullanılan sensör ve programlar yardımıyla, hedef bitki varlığı ve kanopi yoğunluk hesaplarının gerçek kanopi hacmiyle büyük benzerlik taşımaktadır (Gil et al., 2013; Zhang ve et al., 2018). Çalışmalarda araştırmacılar ağaç kanopi hacminin, meyve boyutlarının belirlenmesi ve tespitinde lazer sensörlerin, ultrasonik sensörlere ve diğer görüntüleme sistemlerine oranla daha hassas sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir (Zhai et al., 2011, Asaei et al., 2019). Hedef bitkiye yönelik gerçekleştirilen sensör destekli akıllı püskürtme sisteminin kullanıldığı farklı çalışmalarda da değişen oranlarda ilaçlama yapılması sebebiyle püskürtülen ilaç miktarlarında önemli ölçülerde azalmalar meydana gelmekte aynı zamanda hedef dışı kayıplar önlenabilmektedir (Llorens et al., 2010; Pekitkan and Guler, 2019; Asaei et al., 2019). Chen et al. (2013), değişken düzeyli bir ilaçlama makinası ile geleneksel pülverizatörü kıyasladıkları çalışmalarında zemine gerçekleşen ilaç sürüklenmesinin %68-90 havaya gerçekleşen ilaç sürüklenmesinin ise %70-100 oranlarında azalma gösterdiğini tespit etmiş, bununla birlikte aynı alan için herhangi bir biyolojik etkinlik kaybı olmadan %73'e kadar daha az ilaç kullanımı gerçekleştiğini bildirmişlerdir.

Tüm bu başarılı ve çevreci yaklaşıma rağmen yapılan çalışmalarda oluşturulan sistemlerin birçoğu prototip aşamasında bulunmakta, piyasaya kazandırılmış bulunan akıllı pülverizatörlerin ise tarımsal işletmeler arasında kullanımı yüksek edinim maliyeti sebebiyle son derece sınırlı kalmaktadır. Tarımsal işletmeler hem bu yüksek maliyetleri karşılamak hem de sahip oldukları geleneksel pülverizatörleri ellerinden çıkarmak istememektedirler. Böylece kullanım alanları istenilen seviyede yaygınlaşmayarak global anlamda sürdürülebilirliğin sağlanması ve çevresel kirlilikle arzu edilen mücadelenin gerçekleştirilmesi mümkün olmamaktadır.

Bununla birlikte akıllı püskürtme sisteminden en yüksek verimi elde etmek amacıyla makina çalışma koşullarının arazi ve tarımsal ürün türüne göre ayarlanması çalışma parametrelerinin optimize edilerek en uygun çalışma koşullarının belirlenmesi gereklidir. Ancak akıllı püskürtme sistemlerinde ürün bazlı optimizasyon çalışmalarında eksiklikler görülmektedir. Böylece akıllı püskürtme sistemlerinde beklenen fayda tam olarak sağlanamamaktadır.

Bağcılıkta özellikle telli sistemlerde diğer meyve ürünlerine göre gerek kanopi hacmi gerekse bitki özellikleri açısından büyük farklılık söz konusu olabilmektedir. Diğer meyve türlerinde iki ağaç arasında boşluklar bulunmaktadır. Ancak bağda iki omca arasında dal ve yapraklardan oluşan girişim bölgeleri bulunmaktadır. Bağ yapısının ve asma bitkisinin bu durumu sebebiyle akıllı püskürtme sisteminin kullanım koşullarının optimizasyonunun ayrı bir önemi bulunmaktadır. Bu çalışmada bir akıllı püskürtme sistemi modifiye edilmiş ve ülkemizde yoğun kullanımı bulunan klasik yardımcı hava akımlı pülverizatöre monte edilmiştir. Oluşturulan bu akıllı püskürtme sistemi pülverizatör kombinasyonu ile Ege Bölgesi bağcılığı koşullarında çalışmalar yapılmış olup bağın üç farklı gelişim devresinde en iyi çalışma koşulları belirlenmiş ve optimizasyonu yapılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Değişken oranlı uygulamalara izin veren akıllı pülverizatör ve akıllı püskürtme sistemleri ile çeşitli tasarım, kontrol ve tarımsal arazilerde uygulama çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Akıllı püskürtme sistemlerinin arazi koşullarına uyumunun giderek arttığı ve ilaçlama başarı kriterlerinin geleneksel pülverizatörlere göre daha fazla karşılandığı çeşitli bilimsel çalışmalarda tespit edilmiştir.

Bayat ve Tangolar (1994), Klasik yardımcı hava akımlı pülverizatör kullanarak yaptıkları çalışmada asma yapraklarının üzerine püskürtülen ilacın %33'lük kısmının hedef yüzeyde kaldığı, %67'lik kısmın ise ya hiç hedef bitkiye ulaşmadan sürüklendiği ya da ulaştıktan sonra buharlaşmaya ya da yerçekimi etkisi ile toprağa düşmeye maruz kaldığını belirtmişlerdir.

Zhu et al. (1994), çalışmalarında damla boyutlarının sürüklenme açısından önemli bir unsur olduğunu tespit ederek, 100 μm 'den küçük boyuta sahip damlaların sürüklenerek hedef dışı bölgelere gittiklerini 50 μm 'den küçük boyuta sahip damlaların ise hedef bitkiye ulaşmadan havada buharlaşmaya uğradıklarını belirtmiştir.

Pergher and Gubiani (1995), bağ çiçeklenme dönemi sonrası ve meyve tatlanma dönemlerini içeren çalışmalarında, fan hava debisinin ve ilaç uygulama hacminin kaplama oranı ile sürüklenmeye olan etkisini incelemişlerdir. Hem uygulama hacminde ve hem de hava debisinde gerçekleşen artışın kanopi üzerinde kaplama oranında azalmalara, toprağa ve havaya gerçekleşen sürüklenme oranında ise artışa sebep olduğunu belirlemişlerdir.

Fox (1998), tam vejetasyon döneminde geleneksel pülverizatör ile yaptığı çalışmada hedef bitkide oluşan damla birikimini tespit etmeye çalışmıştır. Çalışma sonucunda ağaç kanopisinin üzerine püskürtülen miktarın sadece %55'lik kısmının hedefe ulaşabildiğini %25'lik kısmın toprağa %20'lik kısmının ise diğer bölgelere sürüklendiğini tespit etmişlerdir.

Solanelles et al. (2006), ultrasonik sensör kullandıkları değişken oranlı ilaçlamaya olanak sağlayan akıllı elektronik sistemi, yardımcı hava akımlı pülverizatör üzerine bindirmişlerdir. Sistemde algoritma anlık olarak sensör-ağaç arası mesafe ve ağaç kanopi genişliği ölçümleri yardımıyla hesaplama yaparak arzu edilen uygulama hacmine göre püskürtme oranına karar vermektedir. Prototip ile yapılan ilaçlamada püskürtme memelerinden püskürtülen sıvı hacmi ile kanopi üzerindeki birikim miktarı arasındaki oranın yüksek olduğunu belirterek, klasik pülverizatöre göre daha fazla tutunma oranı tespit etmişlerdir. Ayrıca prototip ile zeytin, armut ve elma bahçelerinde sırasıyla %70, %28 ve %39 kimyasal ilaç tasarrufu sağlamışlardır.

Gil et al. (2007), ultrasonik sensör kullanımı ile anlık olarak algılama yaparak bağcılıkta değişken düzeyli ilaçlama olanaklarını araştırmışlardır. Ağaç tac hacmi hesabına göre püskürtme oranı $0,095 \text{ l m}^{-3}$ olan değişken düzeyli ilaçlama makinesi ile dekara sabit 300 l.ha^{-1} ilaç normuna sahip geleneksel pülverizatörü karşılaştırdıkları çalışmada değişken düzeyli sistemin %58 sıvı tasarrufu sağladıklarını bildirmişlerdir. Bununla birlikte iki makine arasında yapraklar üzerinde birikim miktarı karşılaştırılmasında önemli bir fark bulunmadığını belirtmişlerdir.

Jeon et al. (2011), fidanlık ilaçlama uygulamalarında değişken düzeyli ilaçlamaya olanak sağlayan bir püskürtme sistemi geliştirmişlerdir. Sistem hedef bitki kanopi büyüklüğüne göre orantılı olarak değişen oranlarda ilacı püskürtmektedir. Ultrasonik sensör, püskürtme oranı kontrol ünitesi, sıvı iletim ünitesi, mikroişlemci gibi ünitelerden oluşan sistem ile altı farklı kanopi büyüklüğüne sahip ağaç türünde arazi denemeleri gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar sistemin farklı kanopi büyüklüğünü algılayarak gerekli oranda ilacı püskürtme işlemini başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini belirtmişlerdir ($p<0,05$). İlerleme hızının değişiminin birikim miktarı ve kaplama oranında herhangi bir etkisi olmadığını belirttikleri çalışmada, yeni geliştirilen akıllı püskürtme sisteminin kanopi değişimlerine orantılı olacak şekilde tekdüze bir birikim miktarı ve kaplama oranı sağlayabileceğini belirtmişlerdir.

Zhai et al. (2011), ultrasonik sensör ile donatılmış bir platform kurarak hedef bitki kanopi yoğunluklarını tespit etmek amaçlı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada platformun gerçek zamanlı hedef tespitlerinde yüksek ölçüde doğru ölçümleme tespit etmişlerdir. Simetrik kanopiye sahip bir ağaç ile kiraz ağacı üzerinde gerçekleştirdikleri denemelerde sırasıyla %92,8 ve %90 başarılı algılama belirlemişlerdir.

Gil et al. (2013), değişen kanopi hacimlerini algılayarak püskürtülecek pestisit miktarını belirleyen bir prototip tasarlayarak, bu prototipi Merlot ve Cabernet Sauvignon cinsi üzüm çeşitlerinde farklı evrelerde denemişlerdir. Denemelerde makinenin kanopi hacimlerinde küçük değişiklikleri dahi algılayabildiğini belirtmişlerdir. Çalışmada klasik yardımcı hava akımlı pülverizatöre kıyasla %21 pestisit tasarrufu sağlandığını belirlemişlerdir.

Li et al. (2018), lazer sensör tabanlı değişken uygulamaya olanak veren bir bahçe pülverizatörü dizaynı ve deneme çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Çalışma bitkilerin farklı gelişme periyodu, kanopi büyüklüğü ve yoğunluk durumlarında gerçekleştirilmiştir. Lazer sensör ile algılanan kanopi yoğunluk ve mesafelerine göre değişken oranlarda püskürtme oranı ve hava debisi uygulanmıştır. PWM yöntemi ile selenoid valf açık kapalı kalma süreleri ve fan dönüş hızları ayarlanarak değişken oranlar elde edilmiştir. Dizaynı gerçekleştirilen akıllı pülverizatör ile geleneksel yardımcı hava akımlı pülverizatörün karşılaştırıldığı deneme çalışmalarında akıllı pülverizatörün %46 ilaç tasarrufu sağladığı, kanopi üzerinde daha fazla birikim miktarı sağladığı ve hedef dışına gerçekleşen sürüklenmeyi azalttığı tespit edilmiştir. Kanopi içerisine ilaç penetrasyonunda iki makinenin benzer sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Asaei et al. (2019), kimyasal kullanım yönetimi kapsamında bahçe pülverizatörüne makine görü sistemi, normalde açık tip selenoid valf ve elektronik karttan oluşan bir sistem bindirmişler ve sistemin zeytin ağaçlarında kimyasal kullanımı ve tasarruf yöntemlerini araştırmışlardır. Çalışmada ilerleme hızı değişiminin damla birikim miktarında önemli derecede etkili olduğunu tespit etmişler ve çalışma sonucunda oluşturulan makine görü sistemiyle klasik

pülverizatöre oranla %54 civarında daha az kimyasal kullanımı gerçekleştirildiğini bildirmişlerdir.

Gil et al. (2019), bağ ilaçlamasında optimum uygulama hacmi ve pestisit miktarını belirlemek üzere akıllı bir program tasarlamıştır. Program vasıtasıyla kaplama oranı ile damla dağılım düzgünlüğünde gelişme gerçekleştiğini tespit etmişlerdir. Bununla birlikte çalışmada pestisit ve su kullanımında %20'den daha fazla bir tasarruf edildiğini bildirmişlerdir.

Salcedo et al. (2020), Pulse Width modulation (PWM)-kontrollü püskürtme sistemleri kullanarak elma bahçelerinde gerçekleştirilen ilaçlamalarda toprağa ve yere gerçekleşen ilaç sürüklenmelerinin azaltılma koşullarını araştırmışlardır. Çalışmalarında 3 farklı makine ile arazi denemeleri gerçekleştirilmiştir. Bu makineler PWM-lazer sensör kontrollü sistem, manuel kontrollü PWM sistem ve PWM kontrolünün devre dışı bırakıldığı sistemdir. İlk sistemde kullanılan lazer sensör hedef bitki varlığını ve yoğunluğunu algılayarak anlık hesaplamalar ile uygulanacak ilaç hacmine karar vermektedir. Manuel kontrollü-PWM sisteminde herhangi bir algılayıcı kullanılmayarak elma bahçelerinde oluşturulan en iyi koşullar ile PWM kontrollü püskürtmeler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada lazer sensör ile anlık hesaplama yapılmasının ve PWM kontrollü püskürtme sisteminin beraber kullanımın hedef dışı ilaç kaybında ve kanopi üzerinde sağlanan birikim miktarında diğer sistemlere göre daha başarılı sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir.

Zürey et al. (2020), meyve bahçesi ilaçlamasında kullanılacak pülverizatörlere adapte edilmek üzere mikro kontrolör, ultrasonik sensör ve selenoid valften oluşan otomatik püskürtme sistemi oluşturmuşlardır. Araştırmacılar oluşturdukları sistemin ultrasonik sensör vasıtasıyla 5 metre uzaklığa kadar olan kanopi varlıklarını başarılı bir şekilde algılayarak selenoid valflere açma-kapama sinyali başarıyla verdiğini belirlemişlerdir.

Partel et al. (2021), lazer sensör, makine görüşü, GPS, akış kontrol sistemi ve yapay zeka birleşimiyle algılayıcı ile ilaçlama yapan bir prototip tasarlamışlardır. Prototip ağaç kanopi yoğunluğu, ağaç boyu, meyve sayı- boyut hesaplanması gibi işlemler gerçekleştirerek aynı zamanda püskürtülecek sıvı

miktarına karar vererek optimize bir uygulama hacmi elde etmektedir. Çalışmaların neticesinde ağaç boyu tespitinde %6 gibi düşük bir hata payı elde ederek, genç ağaç, yaşlı ağaç, solmuş ağaç ve ağaç olmayan materyalleri %84 oranında doğru tahminlemiştir. Buna bağlı olarak hassas ilaçlama uygulamalarında %28 oranında tasarruf sağlandığını bildirmişlerdir.

Xun et al. (2023), BBCH 72 ve BBCH 99 olmak üzere iki farklı gelişim döneminde elma bahçesinde ilaçlama yapmışlardır. Sensör destekli hassas ilaçlama makinası, en iyi uygulama koşulları ile optimize edilmiş pülverizatör ve geleneksel yardımcı hava akımlı pülverizatör olmak üzere 3 farklı tip pülverizatör denemişlerdir. Çalışmada pestisit tasarrufu ve sürüklenme azaltıcı yöntemleri incelemişlerdir. Sonuç olarak optimize edilmiş sistem ile %12, sensör destekli hassas ilaçlama makinası ile %43 pestisit tasarrufu sağlanmıştır. Geleneksel pülverizatöre göre her iki ilaçlama makinası da BBCH 72 yetiştirme döneminde %60'ın üzerinde daha az yere ilaç sürüklenmesi gerçekleştirirken, BBCH 99 gelişme döneminde sensör destekli hassas ilaçlama makinasının daha başarılı olarak %57 oranında yere gerçekleşen sürüklenmede azalma meydana getirdiği belirtilmiştir. Araştırmacılar hassas ilaçlama makinasının yaprak yoğunluğunun daha az olduğu evrelerde diğer makinalara göre hem havaya hem de yere daha az sürüklenme gerçekleştirdiğini ve daha fazla pestisit tasarrufu sağladığını tespit etmişlerdir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1 Gereç

3.1.1 Traktör

Çalışmada kullanılacak olan akıllı püskürtme sistemi ve üzerine bindirilmiş olduğu pülverizatörün çalıştırılması amacıyla 60 BG gücüne sahip Başak marka 2060 model traktör kullanılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Denemelerde kullanılan traktör.

3.1.2 Yardımcı hava akımlı pülverizatör

Denemelerde Agrotek marka 600 lt depo hacmine sahip, gerekli basınç ve hava debisi verilerini sağlayan, bağ-bahçe ilaçlamasına uygun yardımcı hava akımlı pülverizatör kullanılmıştır. Pülverizatör hedef bölgelere özel değişken oranlarda sıvı püskürtmesi amacıyla dikey 4 farklı püskürtme memesi grubu ve akıllı püskürtme sistemi bulunduracak şekilde modifiye edilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Denemelerde kullanılan yardımcı hava akımlı bağ- bahçe pülverizatörü.

3.1.3 Hava yönlendirme ünitesi

Pülverizatör fanı tarafından sağlanan havanın doğrudan hedef bitki üzerine yönlendirilmesi amacıyla alüminyum levhanın makine boyutlarına uygun bir şekilde kesilmesiyle bir hava yönlendirme ünitesi elde edilmiştir.

3.1.4 Lazer sensör

Bağın farklı yetiştirme koşullarında değişen kanopi yoğunluklarını ve boş bölgeleri algılayarak hacim hesaplaması yapılmasını sağlayan 240° görüş açısına sahip Hokuyo marka URG-04LX-UG01 model lazer sensör kullanılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Lazer sensör.

3.1.5 Selenoid valf

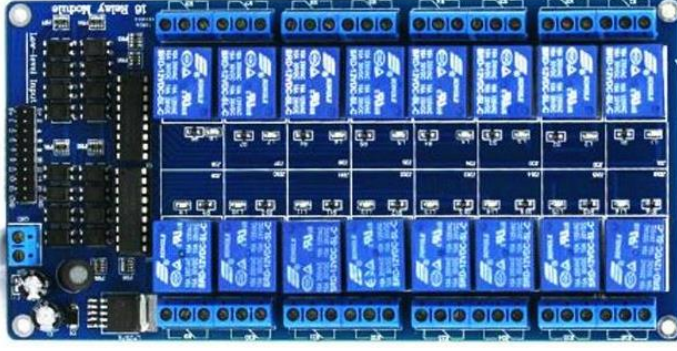
Denemelerde püskürtülecek tartrazine-su karışımının çıkışını kontrol etmek amacıyla her bir püskürtme memesini bağımsız açıp kapayabilen 12 adet 12 v 1/2" ölçüye sahip normalde kapalı (NC) tip pvd marka selenoid valf kullanılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Selenoid valf.

3.1.6 Röle kart

Selenoid valflerin açılıp kapanması amacıyla elektro devre elemanı olarak 16'lı 12v Röle kartı kullanılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Röle kart.

3.1.7 Bilgisayar

Denemelerde kullanılan lazer sensör, elektronik devre elamanları vb. oluşan akıllı püskürtme sisteminin teknik özelliklerini karşılayacak kapasitede olan Lenovo marka diz üstü bilgisayar kullanılmıştır.

3.1.8. İlerleme hız ölçüm aleti

Traktör ilerleme hızının belirlenmesi amacıyla Garmin marka Forerunner 101 model GPS hız ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil.3.6).



Şekil 3.6. İlerleme hız ölçüm aleti.

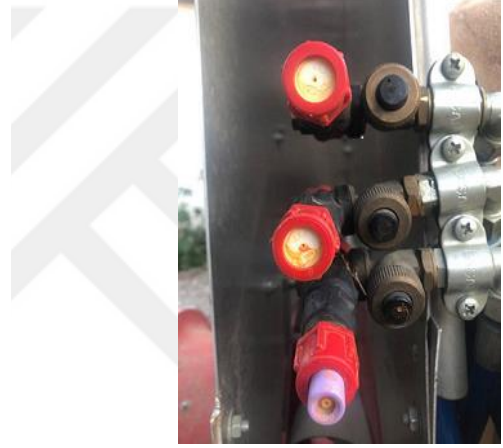
3.1.9 Püskürtme memeleri

Pülverizatör üzerinde damla kesici özellikte plastik ayarlanabilir Toyman marka turbo atomizör püskürtme memesi kullanılmıştır (Şekil 3.7). Deneme

deseninde bulunan 30 farklı denemede ilerleme hızı ve püskürtme oranı değişkenlerinin doğru bir şekilde uygulanabilmesi amacıyla damla çapının medium (236-340 μm) damla çapı olacak şekilde ve bağ ilaçlamasında ilaç normunu sağlayacak şekilde düzenlenmesi ve ön hazırlık çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.9). Şekil 3.8’de ise 3 adet püskürtme memesinden oluşan püskürtme meme grubu görülmektedir. Toplam 4 adet püskürtme meme grubundan birisidir. Her püskürtme memesi grubu bağ yüksekliğindeki kendi bölgesinden sorumlu olup akıllı püskürtme sisteminden aldığı komutla önceden belirlenmiş debi özelliklerine göre püskürtme memeleri bireysel olarak açılıp kapanarak gerekli püskürtme hacmini uygulamaktadır.



Şekil 3.7. Püskürtme memesi.



Şekil 3.8. Püskürtme meme grupları.



Şekil 3.9. Püskürtme meme plakaları- başlıkları- girdap plakaları.

3.1.10 Basınç regülatörü

Denemelerde kullanılan her bir selenoid valfin önüne püskürtme oranını ayarlama da etkili unsur olan basınç değ erlerinin istenilen seviyede tutulması amacıyla 20 bar basınç altında çalışabilen 12 adet basınç regülatörü bağ lanmıştır (Ş ekil 3.10).



Ş ekil 3.10. Basınç regülatörü.

3.1.11 Sıvı iletim hortumları

Püskürtme memesi gruplarına sıvı iletim aracı olarak yüksek basınca dayanıklı 10 mm ç apında pülverizatör hortumları kullanılmış tır.

3.1.12 Filtre kağı tları

Çalışmada bağ da asma yaprakları üzerinde ve hedef dışında gerçekleş en birikim miktarının ve belirlenebilmesi amacıyla örnek toplama yüzeyi olarak 10x10 cm ölçülerinde Filtrak GmbH marka filtre kâğı dı kullanılmış tır.

3.1.13. İz maddesi

Birikim miktarlarının filtre kağıtları üzerinde elde edilebilmesi amacıyla aynı zamanda gıda boyası olan Tartrazine kullanılmıştır. Pülverizatör depo içerisine 1g L⁻¹ oranında konularak sıvı ile birlikte kanopi üzerine püskürtülmüştür.

3.1.14 Taşınabilir meteoroloji istasyonu

Denemelerde anlık olarak rüzgar hızı, rüzgar yönü, sıcaklık, bağıl nem gibi meteorolojik değerlerin belirlenmesi amacıyla taşınabilir bir meteoroloji istasyonu kurulmuştur. Bu verilerden yararlanılarak ilaçlama işlemini olumsuz etkileyecek durumlarda çalışma yapılmamıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Taşınabilir meteoroloji ölçüm cihazı.

3.1.15 Elektrik motoru frekans konvertörü

Denemelerde kullanılacak pülverizatörün ve akıllı püskürtme sisteminin atölye ortamında çalıştırılması, püskürtme memelerinin debileri, basınçları ve fan hava debisi ayarının yapılması amacıyla ön hazırlık denemelerinde kullanılmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Elektrik motoru frekans konvertörü.

3.1.16 Alüminyum direkler

Havaya gerçekleşen sürüklenme miktarlarının ölçülmesinde alüminyumdan yapılmış iç içe geçen üç parçadan oluşan 6 metre uzunluğunda üzerinde birer metre aralıklarla filtre kağıtlarının konulduğu direkler kullanılmıştır.

3.1.17 Saf su üretim cihazı

Filtre kağıtları üzerinde bulunan tartrazin iz maddesinin çözülmesi için gerekli olan saf su Elektro-Mag marka M3 model cihaz vasıtasıyla elde edilmiştir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Saf su üretim cihazı.

3.1.18 Orbital alkalayıcı

Fitre kağıtlarında toplanan iz maddesi kalıntısının kavanozdaki suya geçmesi için çalkalama işleminde orbital çalkalayıcı kullanılmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Orbital alkalayıcı.

3.1.19 Spektrofotometre

Asma bitkisi üzerindeki filtre kağıtlarında toplanan birikim miktarı ve direkler üzerindeki filtre kağıtlarında toplanan sürüklenme miktarlarının belirlenmesi amacıyla 190-1100 nm dalga boyuna sahip “Helios ” marka Spektrofotometre kullanılmıştır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Spektrofotometre.

3.1.20 Termo Anemometre

Hava debisinin belirlenmesinde aksiyal fandan elde edilen hava hızı ölçümleri için Dwyer Instruments Inc. Üretimi Series 471 model termo anemometre kullanılmıştır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Termo Anemometre.

3.2 Yöntem

3.2.1 Tepki yüzeyleri metodolojisi ve optimizasyon

Deneme çalışmalarında tam faktöriyel çalışmalar yerine daha az deneme ile sonuç almamıza yarayan tepki yüzeyleri metodolojisi kullanılarak deneme deseni oluşturulmuş ve optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan deneme desenine bağlı olarak arazi çalışmaları gerçekleştirilerek emek, maliyet ve zamandan tasarruf elde edilmiştir.

Tepki yüzeyleri metodolojisi temel mantık olarak, sisteme ait k sayıdaki değişkene bağlı oluşan tepkilerin değişimine dayanmaktadır. Sistemin fonksiyonel ifadesi;

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (1)$$

Burada;

y: Sistem tepkisi

x_k : Bağımsız değişkenler

Gözlenen $\hat{y}$ değeri ile beklenen y değeri arasında uyumsuzluk olması sistem hatası olarak adlandırılır. Bu hata ϵ_0 ile ifade edilmektedir. Bu durumda eşitlik 2’de verilen denklem kullanılmaktadır.

$$y = f(x) + \epsilon_0 \quad (2)$$

Tepki yüzeyleri modelleri değişkenler ve değişkenlerin birbirleri arasında gerçekleşen interaksiyonları içermektedir. Kuadratik (2. derece) ve kübik (3. derece) polinomiyal denklemler şeklinde ifade edilmektedir.

Buna benzer bir polinomiyal denklem eşitlik 3’ te belirtilmiştir.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n B_i X_i + \sum_{i=1}^n B_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n B_{ij} X_i X_j + \epsilon_0 \quad (3)$$

Bu denklemde;

y : Sistemin tepkisi

β_0 : Model sabiti

$\beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij}$: Değişken katsayıları

x_i, x_j : Kodlanmış bağımsız değişken

ϵ_0 : Denemelerde bulunan hata (Box and Norman, 1987; Değirmencioğlu ve Yazgı, 2006).

Tepki yüzeyleri metodolojisine göre sırasıyla bağımsız değişkenlerin seçimi, deneme deseninin çıkarılması, kullanılacak değişkenleri kodlu-kodsuz formları, tepki ölçüm yöntemi, model denklemin çıkarılması ve model denklem uygunluk testi yapılmaktadır.

Denemede uygulanacak bağımsız değişkenler denemeyi gerçekleştiren kişi tarafından belirlenmektedir. Tepki yüzeyleri metodolojisi’nde belirlenen bağımsız değişken değerleri kodlu değerlere dönüştürülür. Kodlama çalışması aralığına uygun denklem eşitlik 4’te verilmiştir.

$$X_i = \frac{X_1 - X_0}{S_i} \quad (4)$$

Bu denklemde;

X_i : Değişken kodunu

X_1 : Çalışma aralığındaki değişken değeri

X_0 : Çalışma aralığının merkez değerini

S_i : Adım değerini ifade etmektedir (Box and Norman R., 1987; Değirmencioğlu ve Yazgı, 2006)

Denemede tepki yüzeyleri metodolojisi merkez esaslı kompozit tasarım yöntemi kullanılmıştır. Beş seviyeli tasarımda bağımsız değişken sayısına göre belirlenen α_{TYM} değerleri Tablo 3.1’de verilmiştir. Tablo 3.1’de bu değer “2” olduğu görülmektedir.

Tablo 3.1. α_{TYM} değerleri’nin değişken sayısına bağlı değişimleri.

Değişken Sayısı	± 1 ’e bağlı α_{TYM} değerleri
2	$2^{\frac{2}{4}} = 1,414$
3	$2^{\frac{3}{4}} = 1,682$
4	$2^{\frac{4}{4}} = 2,000$
5	$2^{\frac{5}{4}} = 2,378$
6	$2^{\frac{6}{4}} = 2,828$

Tez çalışmasında gerçekleştirilmek üzere belirlenen bağımsız değişkenler Tablo 3.2’de verilmiştir. Aynı zamanda her bir bağımsız değişkene ait merkez değerler ve adım değerlerine göre oluşturulmuş kodlu kodsuz değerler Tablo 3.3’te gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Denemede kullanılan bağımsız değişkenler.

X_1	İlerleme hızı (km.h^{-1})
X_2	Hava debisi ($\text{m}^3.\text{h}^{-1}$)
X_3	Püskürtme oranı (l.m^{-3})
X_4	Püskürtme derinliği (m)

Tablo 3.3. Bağımsız değişkenlere ait kodlu ve kodsuz seviyelerin gösterimi.

Bağımsız Değişkenler		Kodlu Seviye				
		-2	-1	0	1	2
		Kodsuz Değerler				
İlerleme hızı (km.h^{-1})	X_1	4,5	6	7,5	9	10,5
Hava debisi ($\text{m}^3.\text{h}^{-1}$)	X_2	22000	27000	32000	37000	42000
Püskürtme oranı (l.m^{-3})	X_3	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13
Püskürtme derinliği (m)	X_4	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9

Tablo 3.3’de görüldüğü üzere -2 ile +2 arasında kodlu değerler bulunmaktadır. Bu kodlu değerlere karşılık gelen kodsuz değerler ise ilerleme hızında $1,5 \text{ km.h}^{-1}$ adım değeri ile $4,5 \text{ km.h}^{-1}$ ve $10,5 \text{ km.h}^{-1}$ değerleri arasındadır. Hava debisi bağımsız değişkenine ait adım değeri $5000 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, en düşük değer $22000 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ en yüksek değer ise $42000 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ olarak, püskürtme oranına ait değerler $0,05 \text{ l.m}^{-3}$ ile $0,13 \text{ l.m}^{-3}$ aralığında adım değeri ise $0,02$ ’dir. Son bağımsız değişkenimiz olan püskürtme derinliğinde adım değeri $0,2$ olup en düşük değer $1,1 \text{ m}$, en yüksek değer ise $1,9 \text{ m}$ olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.4’te tepki yüzeyleri metodolojisince merkez esaslı kompozit dizayn yöntemine göre oluşturulan deneme deseni görülmektedir. Bağcılıkta üç farklı gelişme dönemine göre uygulanmış olan denemelerde bu desene göre hareket edilmiştir. Tablo 3.4’te görüldüğü üzere deneme deseni 6 adet merkez denemesi içermekte olup ve toplamda 30 adet deneme yapılması planlanmıştır.

Tablo 3.4. Tepki yüzeyleri metodolojisi merkez esaslı dizayn deneme deseni.

Deneme Numarası	Kodlu değişkenler			
	X ₁ İlerleme hızı (km.h ⁻¹)	X ₂ Hava D. (m ³ .h ⁻¹)	X ₃ Püskürtme oranı (l.m ⁻³)	X ₄ Püskürtme derinliği (m)
1	1 (9)	-1 (27000)	1 (0,11)	1 (1,7)
2	1 (9)	-1(27000)	-1 (0,07)	1 (1,7)
3	-1 (6)	1 (37000)	-1 (0,07)	1 (1,7)
4	2 (10,5)	0 (32000)	0 (0,09)	0 (1,5)
5	1 (9)	-1 (27000)	-1 (0,07)	-1 (1,3)
6	1 (9)	1 (37000)	-1 (0,07)	-1 (1,3)
7	0 (7,5)	0 (32000)	-2 (0,05)	0 (1,5)
8	-1 (6)	-1 (27000)	-1 (0,07)	-1 (1,3)
9	1 (9)	1 (37000)	1 (0,11)	-1 (1,3)
10	0 (7,5)	2 (42000)	0 (0,09)	0 (1,5)
11	1 (9)	1 (37000)	-1 (0,07)	1 (1,7)
12	-2 (4,5)	0 (32000)	0 (0,09)	0 (1,5)
13	-1 (6)	1 (37000)	1 (0,11)	-1 (1,3)
14	-1 (6)	-1 (27000)	1 (0,11)	-1 (1,3)
15	1 (9)	-1 (27000)	-1 (0,07)	1 (1,7)
16	1 (9)	1 (37000)	1 (0,11)	1 (1,7)
17	-1 (6)	-1 (27000)	-1 (0,07)	1 (1,7)
18	-1 (6)	0 (32000)	0 (0,09)	1 (1,7)
19	0 (7,5)	0 (32000)	0 (0,09)	-2 (1,1)
20	-1 (6)	-1 (27000)	1 (0,11)	2 (1,9)
21	-1 (6)	-1 (27000)	1 (0,11)	1 (1,7)
22	0 (7,5)	-2 (22000)	0 (0,09)	0 (1,5)
23	-1 (6)	1 (37000)	-1 (0,07)	-1 (1,3)
24	0 (7,5)	0 (32000)	2 (0,13)	0 (1,5)
25	0 (7,5)	0 (32000)	0 (0,09)	0 (1,5)
26	0 (7,5)	0 (32000)	0 (0,09)	0 (1,5)
27	0 (7,5)	0 (32000)	0 (0,09)	0 (1,5)
28	0 (7,5)	0 (32000)	0 (0,09)	0 (1,5)
29	0 (7,5)	0 (32000)	0 (0,09)	0 (1,5)
30	0 (7,5)	0 (32000)	0 (0,09)	0 (1,5)

3.2.2 Ön denemeler ve akıllı püskürtme sisteminin kalibrasyonu

Ön deneme hazırlıklarında bağımsız değişkenlerin tepki yüzeyleri metodolojisine göre ve arazi çalışma koşullarına uygun olacak şekilde belirlenmesi ve ayarlamaları gerçekleştirilmiştir. Deneme deseni oluştururken ilerleme hızı, fan debisi, püskürtme oranı gibi bağımsız değişkenleri için uygulanabilecek arazi koşullarına ve literatüre uyum sağlayan seviyeler ve adım değerleri belirlenmiştir. İlerleme hızı seviyeleri gerçek bağ koşullarında sistemin çalışmasını engellemeyecek ve operatöre kolaylık sağlayacak koşullar içerisinde tutulmuştur. Fandan elde edilebilen hava hızlarının termo anemometre cihazı ile ölçümü yapılarak hava debisi seviyeleri atölye koşullarında belirlenmiş bağ koşullarında da çalışma öncesi kontrolleri yapılmıştır. (Şekil 3.17). Püskürtme oranları bağcılıkta dekara atılması uygun görülen ilaç normuna göre ve ilerleme hızına göre ayrı ayrı hesaplanarak oluşturulmuş, buna bağlı olarak da her seviyeyi elde edecek basınç ve püskürtme meme delik çapı belirlenmiştir. Tablo 3.5’ de ilerleme hızı ve püskürtme oranı değişkenine göre kullanılması gereken püskürtme meme plaka tipleri ve basınç değerleri verilmiştir. Sistemde 4 farklı püskürtme meme grubu ve her bir meme grubunda 3 adet püskürtme memesi bulundurulmuştur. Püskürtme meme grupları pülverizatörün sağ bölümüne ilaçlama yapacak şekilde dikey olarak yerleştirilmiştir. Lazer sensör bağ kanopisini 4 ayrı bloğa ayırmakta ve sistem atılacak ilaç miktarını belirlemekte böylece her bir meme grubu kendi bölgesinden sorumlu olmaktadır. Bir adet meme grubunda kanopi hacmine göre değişkenlik sağlaması açısından püskürtme memelerinin ayrı ayrı açılıp kapanması sağlanmış, istenilen toplam püskürtme oranı elde edilmiştir. Tüm bu ön denemeler ve yazılım ile akıllı püskürtme sisteminin kalibrasyonu sonucunda makinanın kanopi yokluğunda püskürtme yapmaması, varlığında ise kanopi hacmine göre hesaplamalar ile gerekli miktarda sıvı püskürtmesi sağlanmıştır. Elektronik devreden gelen selenoid valflere bağlı kablolar, sıvı iletim hortumları, basınç regülatörleri düzenli bir şekilde birbiriyle karışmayacak şekilde sırasıyla sac levha üzerine monte edilmiş ve bağlantıları yapılmıştır. Sac levha pülverizatör deposu üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 3.18). Basınç regülatörleri ile elde edilen basınç değerleri, meme delik çapları ile püskürtme meme debisi belirlenmiştir. Ön çalışmalarda meme delik çapına uygun basınç oranını sağlayan regülatör yön ve ayar konumları belirlenmiştir.

Tablo 3.5. Püskürtme oranına göre belirlenen püskürtme meme tipi, debi ve basınç değerleri.

İlerleme hızı (km.h ⁻¹)	Püskürtme oranı (l.m ⁻³)	1.Püskürtme memesi- Basınç (bar)	2. Püskürtme memesi- Basınç (bar)	3.Püskürtme memesi- Basınç (bar)	Debi miktarları (%100)
4,5	0,05	Lechler 80005-(3)	Lechler 80067 (5)	Lechler 80067-(5)	900
4,5	0,07	Lechler 80005 (3,5)	0,8 konik h. Çgp*. (1)	0,8 konik h. Çgp.(1)	1260
4,5	0,09	Lechler 80005 (3,5)	Lechler 8001 AITX (4 bar)	Lechler 8001 AITX (4 bar)	1620
4,5	0,11	0,8 konik hüzmeli çgp (1)	0,8 mm konik.h*. (3)	0,8 mm konik. h (3)	1980
4,5	0,13	0,8 mm konik.h (1)	1.0 mm konik. 2.0 h (1,25)	1 mm konik. h (1,25)	2340
6	0,05	Lechler 80005 (3,5)	0,8 mm Çgp (1)	0,8 mm Çgp (1)	1200
6	0,07	Lechler 80067 (2)	0,8 mm konik.h (2)	0,8 mm konik.h (2)	1680
6	0,09	0,8 mm konik.h-g.p- (1)	1 mm konik.h (1,25)	1 mm konik.h (1,25)	2160
6	0,11	0,8 mm konik.h-g.p- (1)	1 mm konik.h (1,25)	1 mm konik.h (1,25)	2640
6	0,13	8001 AITX (4)	1,2 mm (2)	1,2 (2)	3120
7,5	0,05	Lechler 80067 (2)	8001 AITX (4 bar)	8001 AITX (4 bar)	1500
7,5	0,07	0,8 konik h. Çgp (1)	0,8 mm konik h. (3)	0,8 mm konik. h (3)	2100
7,5	0,09	0,8 mm konik. h (2)	1 mm konik. h (2)	1 mm konik. h (2)	2700
7,5	0,11	0,8 mm konik. h (2)	1,2 mm konik. h (2)	1,2 konik. h (2)	3300
7,5	0,13	1 mm konik. h (1,25)	1,5 mm konik. h (1,25)	1,5 mm konik. h (1,25)	3900
9	0,05	0,8 konik. h çgp (1)	0,8 mm konik. h (2)	0,8 mm konik. h (2)	1800
9	0,07	0,8 konik. h çgp (1)	1,0 mm konik. h (1,25)	1,0 mm konik. h (1,25)	2520
9	0,09	0,8 mm konik. h (2)	1,2 mm konik. h (2)	1,2 mm konik. h (2)	3240
9	0,11	1 mm konik. h (1,25)	1,5 mm konik. h (1,25)	1,5 mm konik. h (1,25)	3960
9	0,13	1 mm konik. h (1,25)	1,5 mm konik. h (2,25)	1,5 mm konik. h (2,25)	4680
10,5	0,05	0,8 mm konik. h çgp (1)	0,8 mm konik. h (3)	0,8 mm konik. h (3)	2100
10,5	0,07	8001 AITX (4)	1 mm konik. h (2)	1 mm konik. h (2)	2940
10,5	0,09	0,8 mm konik. h (2)	1,5 mm konik. h (2,25)	1,5 mm konik. h (2,25)	3780
10,5	0,11	1 mm konik. h (1,25)	1,5 mm konik. h (2,25)	1,5 mm konik. h (2,25)	4620
10,5	0,13	1 mm konik. h (1,25)	2 mm konik. h (2)	2 mm konik. h (2)	5400

*Çgp: Çift girdap plakalı- * Konik.h.: Konik hüzmeli



Şekil 3.17. Hava debisi ölçüm ve kalibrasyonu.



Şekil 3.18. Akıllı püskürtme sistemi ve elemanlarının birleştirilmesi.

3.2.3 Hacim hesaplaması

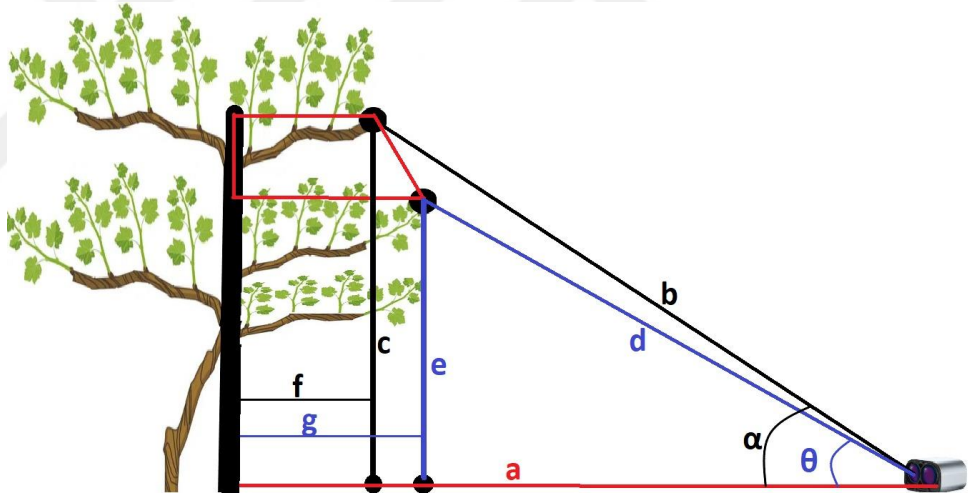
Değişken uygulamaya olanak sağlaması açısından lazer sensörün gönderdiği ışınların algıladığı mesafeler aritmetik işlemlerden geçirilerek anlık kanopi hacminin hesaplanması gerçekleştirilmiştir. Yazılım programı arayüzüne bağ ile ilgili veriler girilerek hacim hesaplamalarının yapılması sağlanmıştır. Arayüze girilen bu değerler bağ yüksekliği, kamera yüksekliği, kamera mesafesi, bağ alt seviyesi, traktör hızı, kamera emniyet mesafesi, bölüm sayısı, teorik bitki genişliği, “T” bağ genişliği olmuştur (Şekil 3.19). Bu bilgilerden teorik bitki genişliği ile “T” bağ genişliği sabit değerler olarak girilirken diğer değerler bağın ve denemenin özelliklerine göre değiştirilmiştir. Çalışmada kullanılan Hokuyo marka lazer sensörün tarama alanı 240° 'dir. Selenoid valf ve bilgisayar tepki sürelerine uyum sağlaması açısından saniyede 4 kez olacak şekilde tarama hızı belirlenmiştir. Herhangi bir hatalı algılama sonucu hacim hesaplamasında gerçekleşebilecek yanlış hesaplamaların önüne geçmek amacıyla bağın maksimum ve minimum boy değerleri ve maksimum yaprak uzaklığı belirli teorik değerler içerisinde tutulmuştur. Bu değerlerin üstünde algılanan nesneler hesaplama açısından göz ardı edilmiştir.

Programa girilen ön tanımlı mesafeler ile lazer sensörün algıladığı kanopi üst bölgesi ve alt bölgesine giden ışınların arasındaki açı değerlerinin belirlenmesi hacim hesaplamasının temelini oluşturmaktadır. Şekil 3.20'de sensörden gönderilen iki ışına göre örnek hacim hesaplaması gösterilmiştir. Hesaplamaya göre kırmızı ile işaretli bölgede ışınlar ile bir yamuk geometrik şekli oluşturulmuştur. Gönderilen iki ışının yatay ile yaptığı açılar belirlenmektedir. Açıların da yardımıyla dik üçgenler oluşturulmakta ve bu dik üçgenlere ait kenar uzunlukları bulunmaktadır. $\cos\alpha = a-f/b$ formülü ile f olarak ifade edilen ışın iz düşümü ile bitki merkez noktası arası mesafe hesaplanmaktadır. Aynı şekilde $\cos\beta = a-g/d$ 'den g ile anılan ikinci ışın iz düşümü ile bitki merkez noktası arası mesafe hesaplanmaktadır. Işınların bitki üzerindeki dikey mesafeleri ise $\sin\alpha = c/b$ 'den c, $\sin\beta = e/d$ 'den "e" mesafesi arasındaki farkın hesaplanması yardımıyla bulunmaktadır. İlerleme hızı ve yamuğun tüm kenar ölçülerinin belirlenmesi ile kanopi hacim hesaplaması yapılmakta ve hacme göre püskürtme oranı gerçekleştirilmektedir. Akıllı püskürtme sistemi ve elemanlarına ait şematik gösterim Şekil 3.21'de verilmiştir.

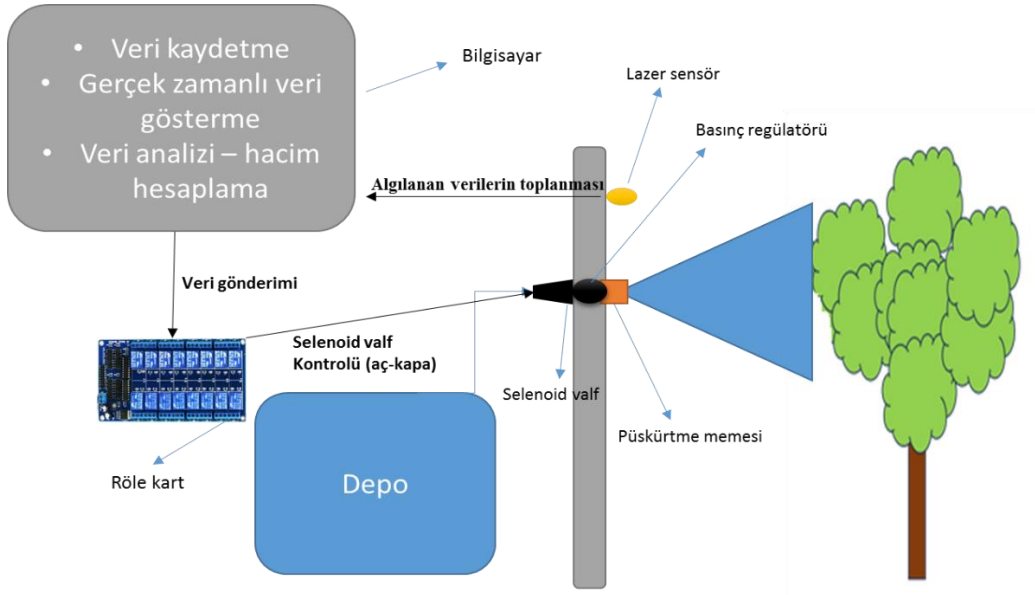
Settings

BAĞ YÜKSEKLİĞİ :	1800 mm	Kamera COM Port :	COM15
KAMERA YÜKSEKLİĞİ :	1150 mm	Kamera Bağlantı Hızı :	115200
KAMERA MESAFESİ :	950 mm	Arduino COM Port :	COM22
BAĞ ALT SEVİYESİ :	900 mm	Arduino Bağlantı Hızı :	38400
TRAKTÖR HIZI :	6 km/saat	1 Saniyedeki Tekrar Sayısı :	4
KAMERA EMNİYET MESAFESİ :	200 mm	Veri Oranı :	20
BÖLÜM SAYISI :	4		
TEORİK BİTKİ GENİŞLİĞİ :	700 mm		
T BAĞ GENİŞLİĞİ :	600 mm		

Şekil 3.19. Akıllı püskürtme sistemi değerlerinin girildiği arayüz.



Şekil 3.20. Akıllı püskürtme sistemi ile hacim hesaplaması.

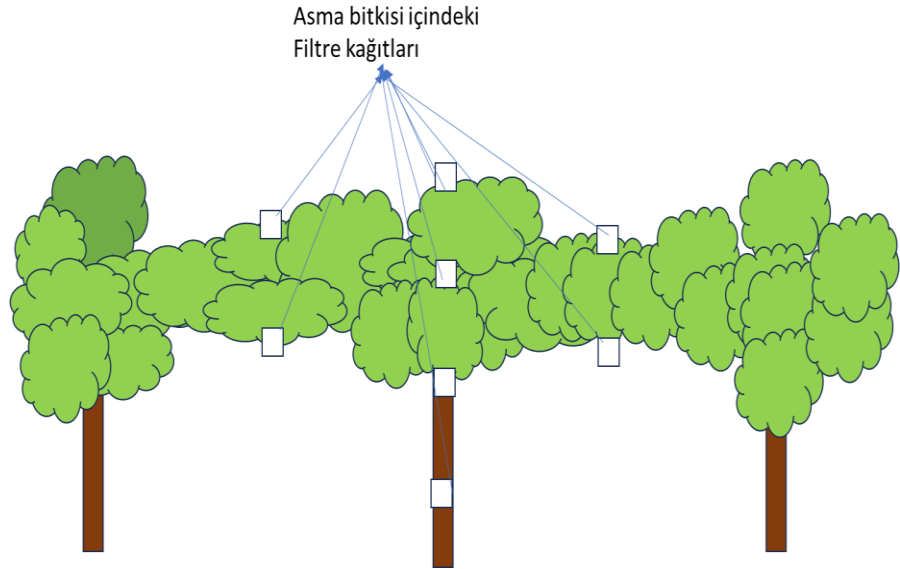


Şekil 3.21. Akıllı püskürtme sisteminin şematik gösterimi.

3.2.4 Arazi denemeleri

Arazi denemelerinde bitki tacı üzerinde birikim miktarı ile hedef dışına gerçekleşen sürüklenme miktarlarını belirlemek amacıyla asmaların içerisine ve hedef dışı bölgelere önceden 10x10 cm ölçülerinde kesilerek hazırlanmış örnek toplama yüzeyleri yerleştirilmiştir. Örnek toplama yüzeyleri olarak filtre kağıtları tercih edilmiştir. Pülverizatör depo içerisine 1g L⁻¹ oranında konulan tartrazine, sıvı ile birlikte asmalar ve asma içerisinde yer alan filtre kağıtları üzerine püskürtülmüştür. Bu kapsamda kanopi içine farklı bölgelere 8 adet filtre kağıdı yerleştirilmiştir. Örnek toplama yüzeylerinin 4 adeti bitki merkezine, diğer 4 adeti de bitki öncesi ve sonrası olmak üzere girişim bölgelerine yerleştirilmiştir (Şekil 3.22). Filtre kağıtları bitki merkezine ve bitki girişim bölgelerine olmak üzere kanopi üzerine düzgün dağılım ile yerleştirilmişlerdir. Sürüklenme miktarını belirlemek amacıyla ise bağ merkez ve girişim bölgelerinden 3 metre uzaklığa yerleştirilen 6 metre uzunluğundaki alüminyum direkler kullanılmıştır (Şekil 3.23). Filtre kağıtları birer metre aralıklarla alüminyum direklere toplam 6 adet olacak şekilde ataçlar vasıtasıyla tutturulmuştur (Urkan, 2012). Denemeler 3 tekerrürlü olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Tekrarlar aynı geçiş içerisinde elde edilmiştir. Tekerrürleri aynı geçişte elde edebilmek amacıyla örnek toplam yüzeylerinin yerleştirildiği asma bitkileri arasında 8 adet boş bitki olmasına dikkat

edilmiştir. Makinanın kararlı püskürtmeye başlaması ve türbülans etkisinin ortadan kalkması açısından örnek alınan asma bitkisinden minimum 2 metre önce püskürtme işlemine başlanmış, son tekerrür bitkisinden sonra da aynı şekilde en az 2 metre daha püskürtme işlemine devam edilmiştir. Örnek toplama yüzeylerinin 10 dakika kuruması beklendikten sonra daha önceden numaralandırılmış kavanozlara konularak laboratuvar ortamına getirilmişlerdir. Denemeler Tablo 3.4'teki tepki yüzeyleri metodolojisine göre oluşturulan deneme deseni uyarınca sırayla gerçekleştirilmiştir. Deneme öncesinde uygulanacak denemedeki bağımsız değişkenlerin özelliğine göre hazırlıklar yapılmıştır. İlerleme hızı ayarlanmış, istenilen hava debisinin elde edilmesi açısından aksiyal fanda yön ve derece ayarlamaları yapılmış, püskürtme oranı ayarı için önceden belirlenmiş meme tipleri takılmış ve basınç regülatörlerinin konumları ayarlanmıştır. Püskürtme derinliği için ise yazılım arayüzünde yer alan kamera mesafesi bölümüne püskürtme derinliği değişken değeri girilmiştir. Böylece hacim hesaplamaları o an yazılan püskürtme derinliği değerine göre yapılması sağlanmıştır. Denemeler rüzgar hızının $<5 \text{ km.h}^{-1}$ olduğu ve rüzgar yönünün ilaçlama doğrultusunda ($\pm 15^\circ$) olduğu koşullarda gerçekleştirilmiştir. Denemeler süresinde sıcaklıklar $20\text{-}27^\circ\text{C}$ aralığında ölçülmüştür.



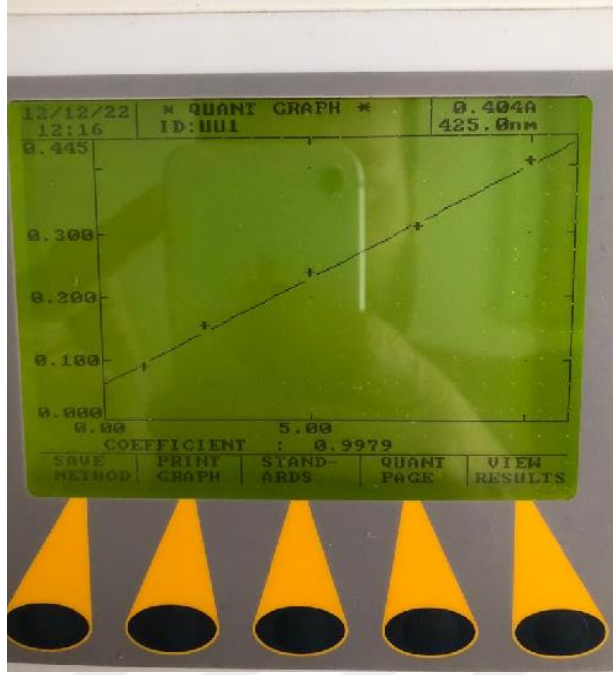
Şekil 3.22. Örnek toplama yüzeylerinin asma bitkisi içinde yerleşimi.



Şekil 3.23. Filtre kağıtlarının asıldığı direklerin yerleşimi.

3.2.5 Laboratuvar çalışmaları

Denemelerde asma bitkisi üzerinden ve direklerden toplanan filtre kağıtlarının üzerindeki birikim miktarlarının ölçümü spektrofotometre cihazı ile yapılmıştır. Spektrofotometre cihazı analiz işlemlerinden önce kalibrasyona tabi tutulmuştur. Kalibrasyon amacı ile 20 ml saf su içerisine daha önceden belirlenmiş miktarda iz maddesi içeren örnekler konularak spektrofotometrenin değer okumaları değerlendirilmiştir. Spektrofotometre cihazının uygun okuma gerçekleştirdiği dalga boyu, absorbans değerleri kaydedilerek cihaz analize hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.24). Birikim değerleri elde edilirken filtre kağıtlarının bulunduğu kavanozların içine 20 ml saf su doldurulmuştur. Bu kavanozlar 3 dakika süreyle orbital çalkalayıcı içerisinde çalkalanarak iz maddesi tartrazine'in sıvı içine homojen bir şekilde karışması sağlanmıştır. Elde edilen karışım sıvı, pipetler vasıtasıyla alınarak küvetler içine konulmuş ve spektrofotometre cihazında okumaları gerçekleştirilerek iz maddesi miktarları bulunmuştur (Şekil 3.25).



Şekil 3.24. Spektrofotometre kontrol ve kalibrasyonu ($R^2=0,998$).



Şekil 3.25. Deneme örneklerinin spektrofotometre cihazında ölçülmesi.

3.2.6 İstatistik analizler

Denemelere ait istatistik analizler ve veri optimizasyonları Statgraphics Techonologies, Inc firması tarafından geliştirilen Statgraphics. 19 analiz programı ile gerçekleştirilmiştir. İstatistiki analiz programı ile elde edilen veriler analiz

edilerek birikim miktarının maksimum değerinin, sürüklenmenin minimum değerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Bununla birlikte çoklu cevap olarak eş zamanlı birikimi maksimum noktada veren sürüklenmeyi minimumda veren istenilirlik (desirability) değerinin yüksek olduğu değerler belirlenmiştir.

Çok sayıda cevabı, maksimum noktada veren bir fonksiyonda birleştirmek amacıyla her bir değişken için ilk olarak bir istenilirlik (desirability) fonksiyonu tanımlanır. Bu istenilirlik (desirability) fonksiyonu bağımlı değişkenin istenilen değerine yaklaşımını gösteren bir ölçeği ifade etmektedir ve y değeri 0-1 arasında bir skalaya sahiptir. Lazic (2004), istenilirlik (desirability) fonksiyonunun standart tahminlemesi için bir skala önermiştir (Tablo 3.6). Bu fonksiyon, bağımlı değişkenin maksimize, minimize ya da bir hedef değer almasına bağlı olarak üç formdan bir tanesi seçilir.

Tablo 3.6. İstenilirlik (desirability) fonksiyonun standart tahminleme skalası (Lazic, 2004).

Standart tahminleme	İstenen
1,0	Mükemmel
1,0 – 0,80	Çok iyi
0,80 – 0,63	İyi
0,63 – 0,37	Yeterli
0,37 – 0,20	Kötü
0,20 – 0,0	Çok kötü

Eğer bir yanıt maksimize olacaksa, yanıtın istenilirlik (desirability) fonksiyonu aşağıdaki eşitlik 5’ te verildiği gibi tanımlanır.

$$d = \begin{cases} 0 & \hat{y} < L \\ \left(\frac{\hat{y} - L}{H - L} \right)^s, & L \leq \hat{y} \leq H \\ 1 & \hat{y} > H \end{cases} \quad (5)$$

Burada $\hat{y}$: Yanıtın tahmini değeri

L: alt sınır değeri (bu değerin altı kabul edilemez)

H: üst değeri (istenilirlik maksimumdur)

Fonksiyonun şeklini s parametresi belirler. Bu değeri $s=1$ olduğunda istenilirlik (desirability) =1'den yüksek değerde 1'e doğru doğrusal olarak yükselir. $s < 1$ olduğunda, istenilirlik (desirability) başlangıçta hızlı şekilde artmakta sonra azalmaktadır. $s > 1$ olduğunda ise; istenilirlik başlangıçta yavaş artmakta, sonrasında hızlı bir şekilde artmaktadır. Eğer maksimum seviyeye yakın olamak çok önemli ise s büyük seçilmektedir. Ya da yanıtın belli aralığı üzerinde herhangi bir nokta eşit seviyede istenilir kabul edilirse s küçük seçilebilir.

Eğer bir yanıt minimize olacaksa, yanıtın istenilirlik (desirability) fonksiyonu aşağıdaki eşitlikte olduğu gibi tanımlanır.

$$d = \begin{cases} 1 & \hat{y} < L \\ \left(\frac{\hat{y} - H}{L - H} \right)^s, & L \leq \hat{y} \leq H \\ 0 & \hat{y} > H \end{cases} \quad (6)$$

Buradaki fonksiyon maksimizasyonun simetrisi olmakla beraber, düşük değeri 1'den başlamakta ve yüksek değeri 0'a kadar devam etmektedir. Yanıtların birleştirilmesi durumunda m sayıda yanıtın istenilirliğini (desirability) birleştirmek amacıyla; komposite fonksiyon D oluşturulur. Eğer yanıt değişkenlerin hepsi eşit önemde dikkate alınacaksa, komposite fonksiyon bu ayrı istenilirliklerin geometrik ortalamasıdır ve Eşitlik 7'de ki gibidir (Lazic, 2004; Kocabıyık vd., 2012).

$$D = \{d_1 d_2 \dots d_m\}^{1/m} \quad (7)$$

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

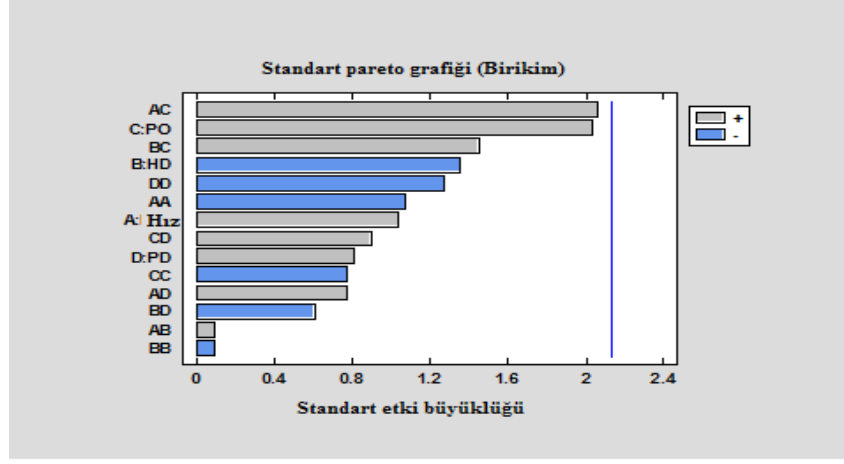
Tez çalışması kapsamında akıllı püskürtme sisteminde bağ ilaçlamasında sırasıyla çiçeklenme öncesi, koruk ve meyve tatlanma dönemi olarak 3 farklı dönemde denemeler gerçekleştirilerek bu dönemlere ait asma bitkisi bitki tacı (Canopy) içerisindeki birikim miktarı (deposit), sürüklenme (hedef dışı kayıplar) miktarları tespit edilmiş ve sistem çalışma koşullarının optimizasyonu yapılmıştır.

4.1 Çiçeklenme Öncesi Döneme Ait Deneme Sonuçları ve Optimizasyon

Bu bölümde çiçeklenme öncesi dönemde gerçekleştirilen denemelere ait optimizasyon sonuçları verilmiştir. Denemeler rüzgar hızının $<5 \text{ km.h}^{-1}$ olduğu ve rüzgar yönünün ilaçlama doğrultusunda ($\pm 15^\circ$) olduğu koşullarda gerçekleştirilmiştir. Denemeler süresinde sıcaklıklar $20-28^\circ\text{C}$ aralığında ölçülmüştür. Birikim miktarı sürüklenme miktarı ve ikisinin aynı anda optimize edildiği sonuçlara ait şekil, çizelge ve açıklamalar aşağıda verilmiştir.

4.1.1 Çiçeklenme öncesi döneme ait birikim miktarı sonuçları

Çiçeklenme öncesi dönemine ait asma bitkisi üzerinde elde edilen birikim miktarına ait veriler aşağıdaki şekil ve tablolarda yer almaktadır. Şekil 4.1’de çiçeklenme öncesi döneme ait pareto grafiği verilmiştir. Eşitlik 8’de ise model denklemi görülmektedir. Bu grafikte bağımsız değişkenlerin bireysel ve ilişkili istatistiki önem dereceleri verilmiştir. Şekil 4.1’e göre grafikte bağımsız değişkenlerin önem dereceleri düşük çıkmakla birlikte hız-püskürtme oranı ikilisi ve tek başına püskürtme oranı değişkeni diğer kombinasyonlara oranla nispeten daha büyük istatistiki önem’e sahip olduğu görülmektedir.



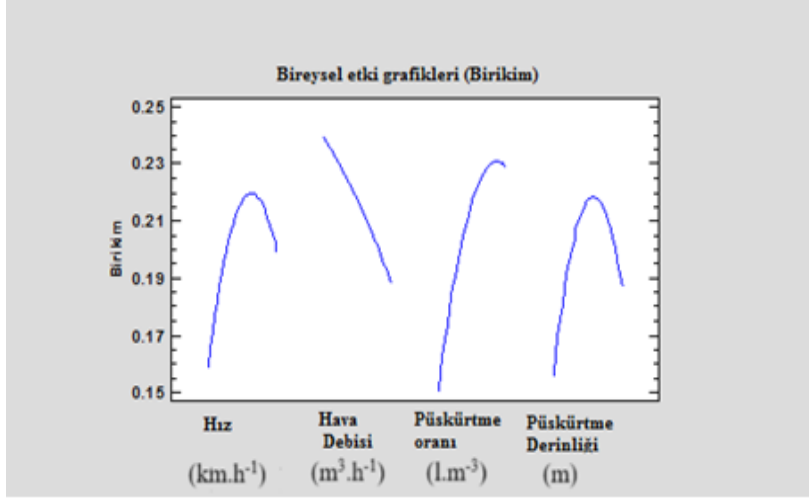
Şekil 4.1. Çiçeklenme öncesi döneme ait pareto grafiği.

$$\begin{aligned} \text{Birikim} = & 0,47235 - 0,0522812 \cdot \text{Hız} - 0,0000062264 \cdot \text{HD} - 11,3471 \cdot \text{PO} + \\ & 0,660082 \cdot \text{PD} - 0,00425824 \cdot (\text{Hız})^2 + 1,49506 \cdot 10^{-7} \cdot \text{Hız} \cdot \text{HD} + 0,807396 \cdot \text{Hız} \cdot \text{PO} + \\ & 0,0302051 \cdot \text{Hız} \cdot \text{PD} + 0,0 \cdot (\text{HD})^2 + 0,000170097 \cdot \text{HD} \cdot \text{PO} - 0,00000708818 \cdot \text{HD} \cdot \text{PD} - \\ & 17,345 \cdot (\text{PO})^2 + 2,62933 \cdot \text{PO} \cdot \text{PD} - 0,28588 \cdot (\text{PD})^2 \end{aligned}$$

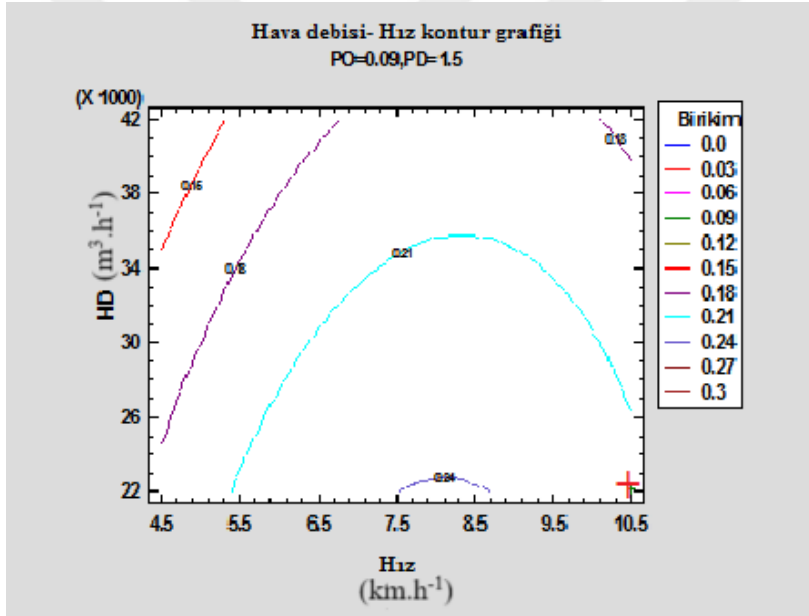
$$R^2: 55,37$$

(8)

Şekil 4.2’de ise ilerleme hızı, hava debisi (HD), Püskürtme oranı (PO), Püskürtme derinliği (PD) bağımsız değişkenleri seviyeleri artırıldıkça birikim miktarlarında meydana gelen değişimler gösterilmiştir. Bu grafikte bir bağımsız değişkenin etkisi belirlenirken diğer faktörler sabit tutulmuştur. Şekil 4.2 incelendiğinde ilerleme hızı örneğinde ilerleme hızı artırıldıkça kanopi üzerinde gerçekleşen birikim miktarı artış göstermekte fakat ilerleme hızının daha da arttırılmasıyla birikim miktarında bir miktar azalma meydana geldiği görülmektedir. Hava debisinin $22000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ile $42000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ artan seviye değişimlerinde süreklilik arz eden bir düşüş olduğu görülmektedir. Püskürtme oranının artırılması durumunda (diğer 3 değişken sabit) önce birikim miktarları artmış ancak oranın daha da arttırılmasıyla birikim miktarında hafif bir azalma görülmüştür. Püskürtme derinliğinde gerçekleştirilen seviye artışında ise grafikte bir eğri görülmekte $44 \cdot 10^{-3} \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ’ye kadar bir birikim miktarı artışına sebep olmakta daha sonra birikim miktarı ortalamasını azaltma etkisi göstermektedir. Şekil 4.3’te bağımsız değişkenlerden püskürtme oranı ile püskürtme derinliği seviyelerinin merkez değerlerde sabit tutulduğu hava debisi ve hız kontur grafiği verilmiştir. Grafikte birikim miktarının maksimum olduğu bölge artı (+) işareti ile belirtilmiştir.



Şekil 4.2. Bağımsız değişkenlerin birlikim miktarına bireysel etkileri.



Şekil 4.3. Birlikim miktarına etki eden ikili kontur grafikleri.

Çiçeklenme öncesi döneme ait tepki yüzeyleri metodolojisiyle oluşturulan deneme deseni sonucu optimizasyon amaçlı birikimin maksimize edilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda istatistik programı kullanılarak tahminlemede elde edilebilecek maksimum birikim miktarı ve bu değerlerin elde edilebildiği bağımsız değişken seviyeleri Tablo (4.1)'de verilmiştir. Bu değerlere göre ilerleme hızının $10,5 \text{ km.h}^{-1}$ hava debisinin $22115,7 \text{ (m}^3\text{.h}^{-1}\text{)}$, püskürtme oranının $0,13 \text{ (l.m}^{-3}\text{)}$, püskürtme derinliğinin ise $1,9 \text{ (m)}$ değerlerinde birikim maksimize edilmiştir. Bu koşullarda elde edilebilecek birikim miktarı $66,72 \times 10^{-3} \text{ } \mu\text{g/cm}^2$ olarak tespit edilmiştir.

Tablo 4.1. Çiçeklenme öncesi döneme ait birikim miktarı optimum verileri.

Faktör	Düşük	Yüksek	Optimum
İlerleme hızı (km.h^{-1})	4,5	10,5	10,5
Hava debisi ($\text{m}^3\text{.h}^{-1}$)	22000	42000	22115
Püskürtme oranı (l.m^{-3})	0,05	0,13	0,13
Püskürtme derinliği (m)	1,1	1,9	1,9

Tablo (4.2)'de arazi denemelerinden elde edilen analiz sonuçları ile istatistiki olarak beklenen değerler karşılaştırılmıştır. Denemelerin çoğunda benzerlik yakalanmıştır. Tabloda ölçülen değerin tahminlenen değere oranı bölümüne göz attığımızda oranın 1'den küçük olması arazi ölçümlerinde belirlenen değerlerin istatistiki programla belirlenenden fazla olduğu anlamına gelmektedir.

Tablo 4.2. Deneme deseninde ölçülen değer ile istatistiki değer karşılaştırmaları.

Deneme Numarası	Ölçülen değer	Tahminlenen değer	Ölçülen/ Tahminlenen Oranı
1	0,201917	0,217236	0,929482
2	0,085	0,155976	0,544956
3	0,118896	0,124998	0,951183
4	0,062542	0,159104	0,393087
5	0,210946	0,202451	1,041961
6	0,246149	0,271305	0,907278
7	0,214083	0,187172	1,143777
8	0,258381	0,219129	1,179127
9	0,261333	0,267429	0,977205
10	0,229375	0,19872	1,154262
11	0,2275	0,217236	1,047248
12	0,223292	0,217236	1,027878
13	0,192083	0,187015	1,027099
14	0,223333	0,217236	1,028066
15	0,198167	0,239811	0,826347
16	0,228988	0,171082	1,338469
17	0,092103	0,150551	0,611769
18	0,242857	0,209667	1,158299
19	0,220958	0,228418	0,967341
20	0,226488	0,226928	0,998061
21	0,206083	0,174556	1,180613
22	0,196148	0,170128	1,152944
23	0,21	0,217236	0,966691
24	0,193417	0,154564	1,251372
25	0,132811	0,126566	1,049342
26	0,157929	0,133267	1,185057
27	0,198542	0,196912	1,008278
28	0,185542	0,178811	1,037643
29	0,163625	0,187888	0,870865
30	0,217375	0,217236	1,00064

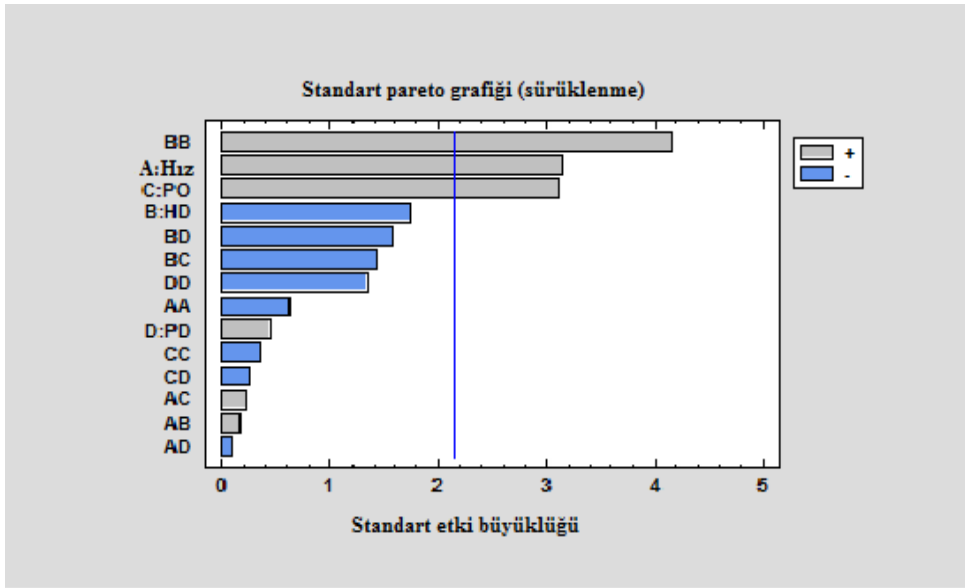
Tablo 4.3’de ilerleme hızına bağlı seviye değişikliğinde diğer değişken kombinasyonları ile tahmini birikim maksimum değerleri gösterilmiştir. Tabloda görüldüğü üzere ilerleme hızının $12,5 \text{ km.h}^{-1}$, Hava debisinin $36618 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, püskürtme oranının $0,17 \text{ l.m}^{-3}$ püskürtme derinliğinin ise $1,88 \text{ m}$ olarak uygulanması durumunda birikim miktarının $118 \times 10^{-3} \text{ } \mu\text{g/cm}^2$ olacağı program tarafından tahminlenmektedir.

Tablo 4.3. İlerleme hızının periyodik artışına göre bağımsız değişken seviyeleri ve optimum değerler.

İlerleme hızı	Hava debisi	Püskürtme oranı	Püskürtme derinliği	Tahmini birikim miktarı
7,5	32000	0.09	1,5	0,043447
8,5	30513,6	0,106868	1,59391	0,050619
9,5	31046,7	0,121924	1,67577	0,059977
10,5	32453,9	0,137745	1,74975	0,073809
11,5	34372,3	0,154177	1,81859	0,093002
12,5	36617,9	0,171033	1,88399	0,118055

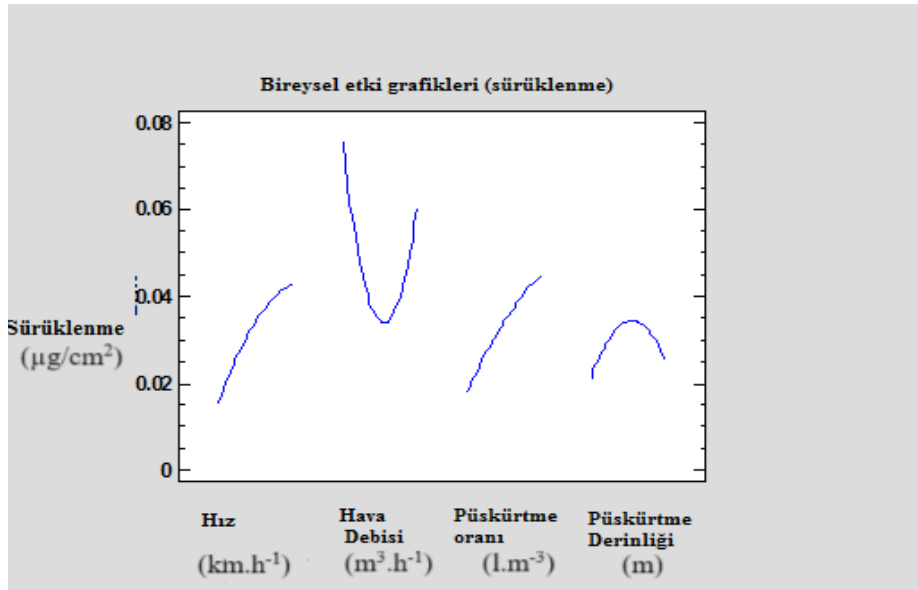
4.1.2 Çiçeklenme öncesi döneme ait sürüklenme miktarı sonuçları

Çiçeklenme öncesi döneme ait incelenen bir başka faktör ise sürüklenme miktarıdır. Çevre kirliliği, insan ve hayvan sağlığı açısından birçok olumsuz etkileri olan, uygulama etkinliğinin azalmasına ve maliyetlerinin artmasına sebep olan ilaç sürüklenmesinin önüne geçilmesi araştırmacıların en önemli amaçlarındanıdır. Tez çalışmasında akıllı püskürtme sisteminin kimyasal içerikli damlaların sürüklenmesinin olabildiğince önüne geçmesi ve sürüklenme değerlerini en düşük olarak sağlayan faktörlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sürüklenme miktarları direk üzerinde bulunan 6 adet filtre kâğıdından elde edilen ortalama iz maddesi miktarlarıdır. Analizler incelenecek olursa Şekil 4.4’de sürüklenme miktarlarında istatistiki olarak önemli bulunan bağımsız değişkenlere ait pareto grafiği verilmiştir. Grafikte A; ilerleme hızı, B; hava debisi, C; püskürtme oranı, D; harfi ise püskürtme derinliğini temsil etmektedir. Şekilde görüldüğü üzere sürüklenme analizlerinde model denkleminde bulunan ilerleme hızı, püskürtme oranı ve hava debisinin karesi model denklemde istatistiki olarak diğer değişkenlere göre daha önemli bulunmuştur.



Şekil 4.4. Çiçeklenme öncesi dönemine ait sürüklenme verileri pareto grafiği.

Şekil 4.5’de değişkenlerin bireysel olarak sürüklenmeye olan etkileri gösterilmektedir. Şekilde ilerleme hızında artışa bağlı sürüklenme miktarında artış olduğu hava debisi artışının belli bir değere kadar sürüklenmeyi azalttığı ancak daha sonra tekrar artırdığı görülmektedir. Püskürtme oranında artışlarda sürekli sürüklenme miktarı artışı gözlemlendiği bunun yanında püskürtme derinliğinin artırılması ile de ilk olarak artış sonra azalış meydana geldiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.5. Bağımsız değişkenlerin sürüklenme miktarına bireysel etkileri.

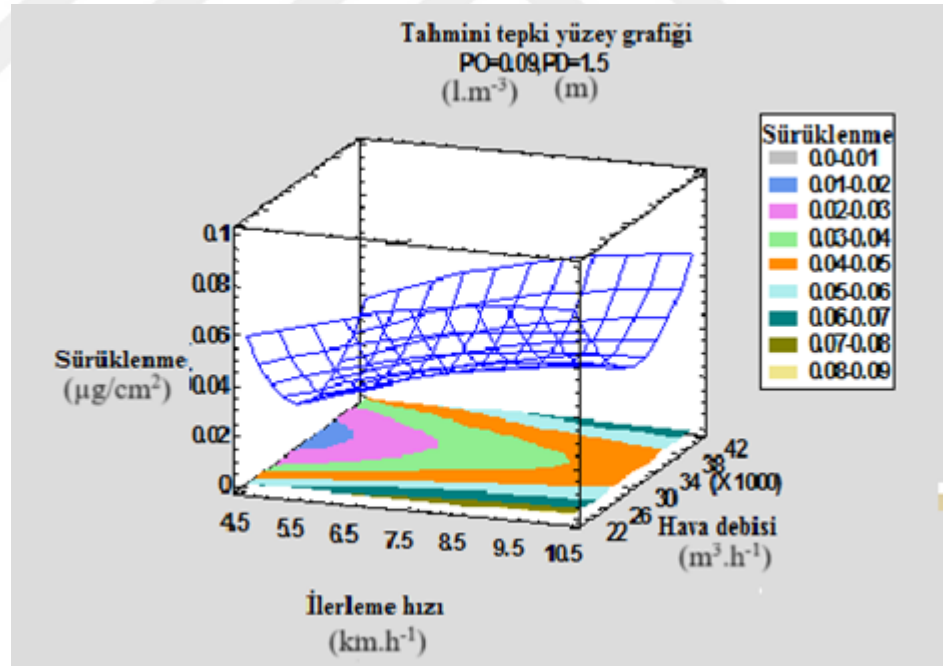
Sürüklenme miktarına ait analizler sonucunda elde edilen model denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} \text{Sürüklenme} = & -0,182331 + 0,0105455 \cdot \text{Hız} - 0,0000130349 \cdot \text{HD} + 1,97846 \cdot \text{PO} + \\ & 0,363566 \cdot \text{PD} - 0,000560833 \cdot (\text{Hız})^2 + 5,85\text{E-}8 \cdot \text{Hız} \cdot \text{HD} + 0,019125 \cdot \text{Hız} \cdot \text{PO} - \\ & 0,0007875 \cdot \text{Hız} \cdot \text{PD} + 3,36525\text{E-}10 \cdot (\text{HD})^2 - 0,0000381375 \cdot \text{HD} \cdot \text{PO} - \\ & 0,00000417375 \cdot \text{HD} \cdot \text{PD} - 1,74844 \cdot (\text{PO})^2 - 0,165938 \cdot \text{PO} \cdot \text{PD} - 0,0681094 \cdot (\text{PD})^2 \end{aligned}$$

$$R^2:76,91$$

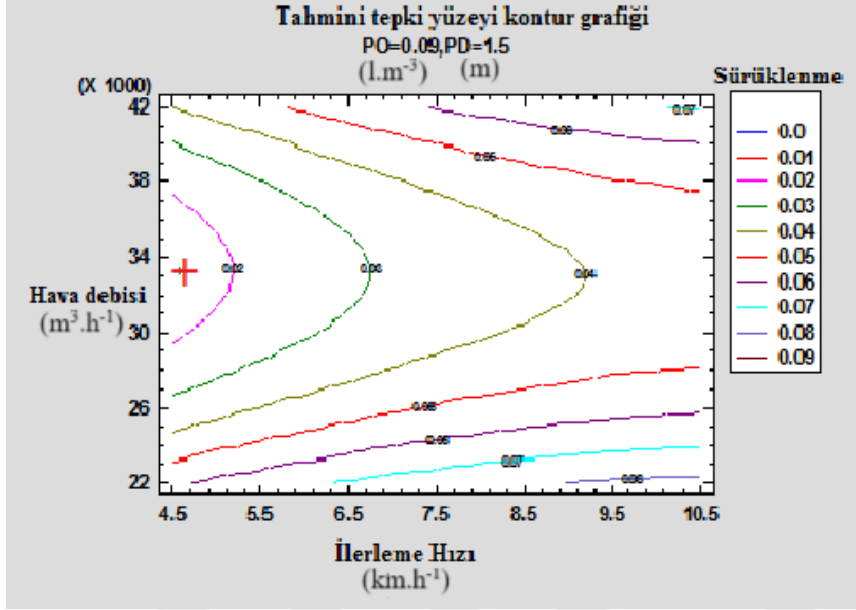
(9)

Şekil 4.6’da verilen tahmini tepki yüzeyleri grafiğinde püskürtme oranı ve püskürtme derinliği bağımsız değişkenlerinin merkez değerinde sabit tutulduğu, ilerleme hızı ve hava debisi ikili fonksiyonlarına göre oluşan grafik görülmektedir. Grafikte mavi renk ile gösterilen bölge en düşük sürüklenmenin görüldüğü bölgedir. Bu bölgeye karşılık gelen ilerleme hızı ve hava debisi değerlerinde çalışılarak düşük sürüklenme miktarı sağlanabilmektedir.



Şekil 4.6. İlerleme hızı-hava debisi değişkenlerine göre sürüklenme grafiği.

Şekil 4.7’de aynı şekilde püskürtme oranı ve püskürtme derinliği merkez değerlerinde tutulduğu koşullarda oluşan kontur grafiği gösterilmektedir. İşaretli bölge hava debisi ve ilerleme hızının sürüklenme koşullarını en düşük seviyede sağladığı kısım olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bölgede hava debisinin $33000 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, ilerleme hızının $4,5 \text{ km.h}^{-1}$ yakın bir bölgede olduğu görülmektedir.



Şekil 4.7. İlerleme hızı-hava debisi kontur grafiği.

Tablo 4.4. Deneme deseninde ölçülen değer ile istatistiki değer karşılaştırmaları.

Deneme Numarası	Ölçülen değer	Tahminlenen değer	Ölçülen/ Tahminlenen Oranı
1	0,0297	0,034215	0,86804
2	0,0369	0,021383	1,72571
3	0,03582	0,035145	1,019206
4	0,0288	0,015533	1,854177
5	0,0513	0,054983	0,933024
6	0,054	0,063465	0,850863
7	0,0504	0,050033	1,007345
8	0,0153	0,019283	0,793466
9	0,0414	0,040853	1,013402
10	0,0423	0,042803	0,98826
11	0,036	0,034215	1,05217
12	0,0378	0,034215	1,104779
13	0,0225	0,025253	0,891001
14	0,036	0,034215	1,05217
15	0,0873	0,075383	1,158094
16	0,027	0,026865	1,005025
17	0,0198	0,017903	1,105991
18	0,0198	0,031365	0,631277
19	0,0558	0,044933	1,241863
20	0,0513	0,049065	1,045552
21	0,018	0,032933	0,546573
22	0,0216	0,031365	0,688666
23	0,02475	0,034215	0,723367
24	0,0306	0,040605	0,753602
25	0,0369	0,040703	0,906578
26	0,0225	0,022253	1,011122
27	0,054	0,042503	1,270513
28	0,0261	0,025665	1,016949
29	0,0612	0,060353	1,014043
30	0,04104	0,034215	1,199474

Tablo 4.4’de arazi denemelerine ait ölçülen gerçek değerler ile bu veriler eşliğinde istatistik programının tahminleme sonuçları yer almaktadır. Ölçülen/tahminlenen değer oranlarının 1’e yakın olması tahminleme oranının yüksekliğini göstermektedir. Tahminleme oranı birçok deneme numarasında yüksek olarak tespit edilmiştir. Analizler sonucunda sürüklenmeyi minimuma indiren optimum değerler tespit edilmiştir. Bu sonuçlar Tablo 4.5’de verilmiştir. Tablo 4.5 incelendiğinde ilerleme hızının $4,59 \text{ km.h}^{-1}$, hava debisinin $33240 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, püskürtme oranının $0,05 \text{ l.m}^{-3}$ ve püskürtme derinliğinin $1,9 \text{ m}$ olduğu değerler sürüklenmenin minimum olması amacıyla uygulanması gereken değerlerdir.

Tablo 4.5. Çiçeklenme öncesi dönemi sürüklenme optimum değerler.

Değişkenler	Düşük	Yüksek	Optimum değerler
İlerleme hızı (km.h^{-1})	4,5	10,5	4,59
Hava debisi ($\text{m}^3.\text{h}^{-1}$)	22000	42000	33240
Püskürtme oranı (l.m^{-3})	0,05	0,13	0,05
Püskürtme derinliği (m)	1,1	1,9	1,9

4.1.3 Çiçeklenme öncesi döneme ait çoklu optimizasyon sonuçları

Çiçeklenme öncesi dönemine ait kanopi üzerinde birikimin maksimize edildiği ayrıca sürüklenme miktarının minimize edildiği bağımsız değişken seviyeleri tespit edilerek sistem optimizasyonu her iki veri için de ayrı ayrı ele alınmıştır. Bu bölümde ise aynı püskürtme işleminde birikimin maksimum ve sürüklenmenin minimum olarak elde edildiği durumda bağımsız değişkenlere ait optimum seviyelerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Her iki faktöre eşit önem derecesi tanımlanarak (birikim-sürüklenme) eş zamanlı elde edilebilecek maksimum birikimi ve minimum sürüklenmeyi veren optimum bağımsız değişken seviyeleri belirlenmiştir. Analizler sonucunda elde edilen istatistiki veriler aşağı bölümde verilmiştir. Tablo 4.6’da birikim ve sürüklenme miktarlarına ait deneme deseninden elde edilmiş en yüksek-en düşük birikim miktarları ve en düşük-yüksek sürüklenme miktarları verilmiştir. Çoklu optimizasyon amacıyla arzu edilen etki faktörleri, iki faktörün de eşit öneme sahip olması nedeniyle 3. derece ile derecelendirilmiştir.

Tablo 4.6. Denemelerde edilen birikim miktarı ve sürüklenme miktarı verileri.

Faktör	Miktar (Düşük)	Miktar (Yüksek)	Amaç	Etki
Birikim ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	$12,6 \times 10^{-3}$	52×10^{-3}	Maksimize	3,0
Sürüklenme ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	3×10^{-3}	$17,4 \times 10^{-3}$	Minimize	3,0

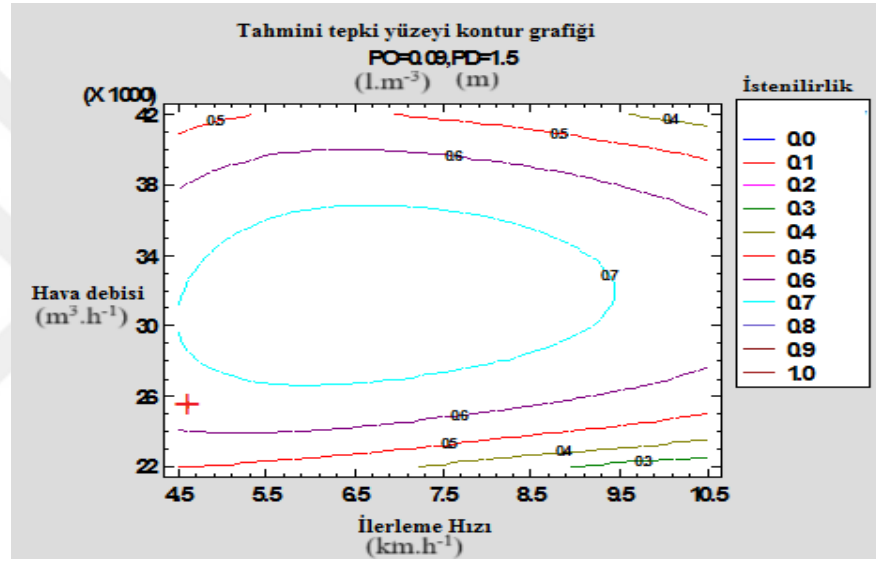
Arazi çalışmalarında uygulanan tüm deneme desenine ait birikim ve sürüklenme miktarlarında çalışmanın istenilirliğinin (Desirability) en yüksek olduğu deneme numarası Tablo 4.7’de verilmiştir. Bu deneme numarası deneme deseninde 8.sırada bulunan -1,-1,-1,-1 kodlu denemedir. Denemelerde birikimi maksimum, sürüklenmeyi minimum da tutabilecek istenilirliği en yüksek deneme çalışması olarak belirlenmiştir.

Yukarıda ifade edilen kodlu denemeye ait bağımsız değişkenlerin kodsuz – gerçek değerleri ilerleme hızının 6 km.h^{-1} , hava debisinin $27000 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, püskürtme oranının $0,07 \text{ l.m}^{-3}$, püskürtme derinliğinin $1,3 \text{ m.}$ olduğu değerlerdir. Bu değerler ile yapılan çalışmada ölçülen istenilirlik (desirability) $0,99$ tahminlenen istenilirlik (desirability) ise $0,868$ olarak tespit edilmiştir.

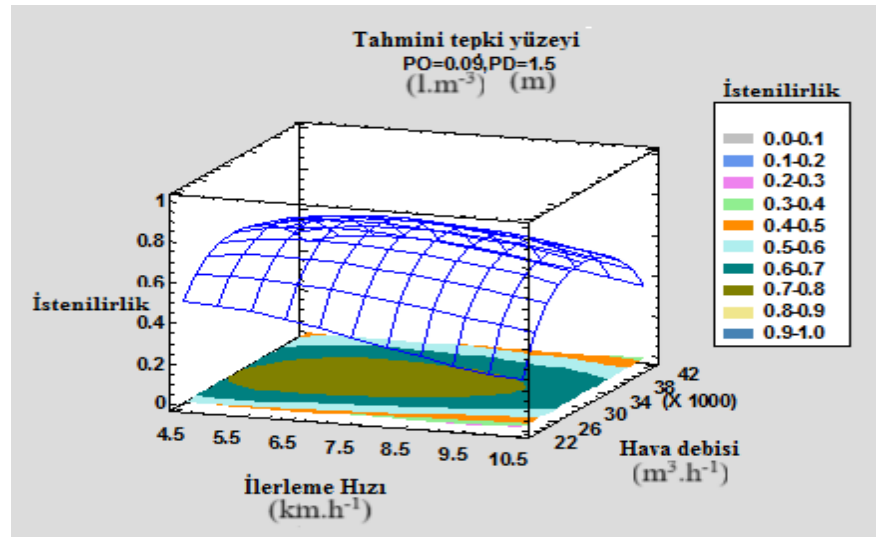
Tablo 4.7. Deneme numaralarına ait birikim, sürüklenme, istenilirlik (desirabilite) verileri.

Deneme Numarası	Birikim	Sürüklenme	Tahminlenen istenilirlik	Ölçülen istenilirlik
1	0,040382	0,00594	0,697539	0,729329
2	0,017	0,00738	0,659254	0,280481
3	0,023779	0,00704	0,454472	0,436853
4	0,012508	0,00576	0,673078	0.0
5	0,042188	0,01026	0,510403	0,570732
6	0,049228	0,0108	0,508071	0,626127
7	0,042816	0,01008	0,534004	0,561021
8	0,051676	0,00306	0,868061	0,992547
9	0,052266	0,00828	0,792272	0,781197
10	0,045874	0,00846	0,591032	0,631323
11	0,0455	0,0072	0,697539	0,737625
12	0,044658	0,00756	0,697539	0,550588
13	0,038416	0,0045	0,724957	0,764165
14	0,044666	0,0072	0,697539	0,713091
15	0,039632	0,01746	0,352001	0.0
16	0,045796	0,0054	0,678271	0,829563
17	0,01842	0,00396	0,632547	0,36859
18	0,04857	0,00396	0,752258	0,07966
19	0,04419	0,01116	0,644918	0,502615
20	0,045296	0,01026	0,656391	0,656383
21	0,041216	0,0036	0,633904	0,817481
22	0,039228	0,00432	0,62068	0,751242
23	0,042	0,00495	0,697539	0,737302
24	0,038682	0,00612	0,518619	0,684119
25	0,026562	0,00738	0,445618	0,491886
26	0,031584	0,0045	0,556115	0,630711
27	0,039708	0,0108	0,600789	0,487638
28	0,037108	0,00522	0,686438	0,713767
29	0,032724	0,01224	0,498725	0,428935
30	0,043474	0,008208	0,697539	0,68405

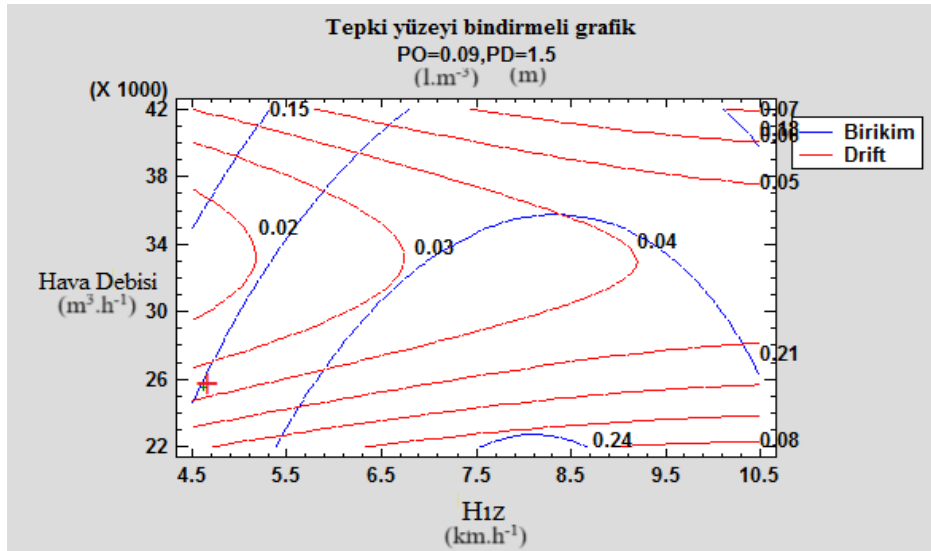
Şekil 4.8’ de değişken değerlere ait kontur grafiği şekil 4.9’da ise istenilirlik (desirability) grafiği verilmiştir. Bu bölgede püskürtme oranı ve püskürtme derinliği verileri merkez seviyelerinde sabit tutularak ilerleme hızı ve hava debisi verilerinde optimum değerlerin ve en yüksek istenilirlik (desirability) fonksiyonunun elde edildiği noktalar görülmektedir. İşaretli bölgelerde hava debisi ve ilerleme hızı değerleri uygulanarak en yüksek istenilirliğe sahip birikimin maksimumda–sürüklenmenin minimumda olduğu noktalar elde edilebilecektir. Şekil 4.10’da sürüklenme ve birikim verilerine ait bindirmeli grafiği bulunmaktadır.



Şekil 4.8. Değişken değerlere göre istenilirlik (desirability) kontur grafiği.



Şekil 4.9. Değişken değerlere ait istenilirlik (Desirability) dağılım grafiği.



Şekil 4.10. Çiçeklenme öncesi döneme ait birikim - sürüklenme bindirmeli (overlay) grafiği.

Tablo 4.8’de kanopi üzerinde birikimin maksimum ve sürüklenmenin minimum seviyelerde tutulabildiği optimum seviyeler gösterilmektedir. Tablo 4.8’e göre akıllı püskürtme sisteminde ilerleme hızının $4,61 \text{ km.h}^{-1}$, fan hava debisinin $25486 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, püskürtme oranının $0,05 \text{ l.m}^{-3}$ ve püskürtme derinliğinin ise $1,33 \text{ m}$ olduğu bölgelerde en optimum değerler elde edilebilecektir. Bu değişken seviyeleri ile yapılan çalışmada istenilirlik fonksiyonu 1,0 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca bu değerlerin uygulanmasıyla Tablo 4.9’da belirtildiği üzere birikimin $52,4 \times 10^{-3} \text{ } \mu\text{g/cm}^2$ sürüklenme miktarının da $0,66 \times 10^{-3} \text{ } \mu\text{g/cm}^2$ olarak optimum noktanın yakalanacağı görülmektedir.

Tablo 4.8. Bağımsız değişkenlerin çoklu cevaba göre belirlenen optimum seviyeleri.

Faktör	Düşük seviye	Yüksek seviye	Optimum seviye
İlerleme hızı (km.h^{-1})	4,5	10,5	4,61
Hava debisi ($\text{m}^3.\text{h}^{-1}$)	22000	42000	25486
Püskürtme oranı (l.m^{-3})	0,05	0,13	0,05
Püskürtme derinliği (m)	1,1	1,9	1,33

Tablo 4.9. Çoklu optimizasyonda elde edilecek optimum veriler.

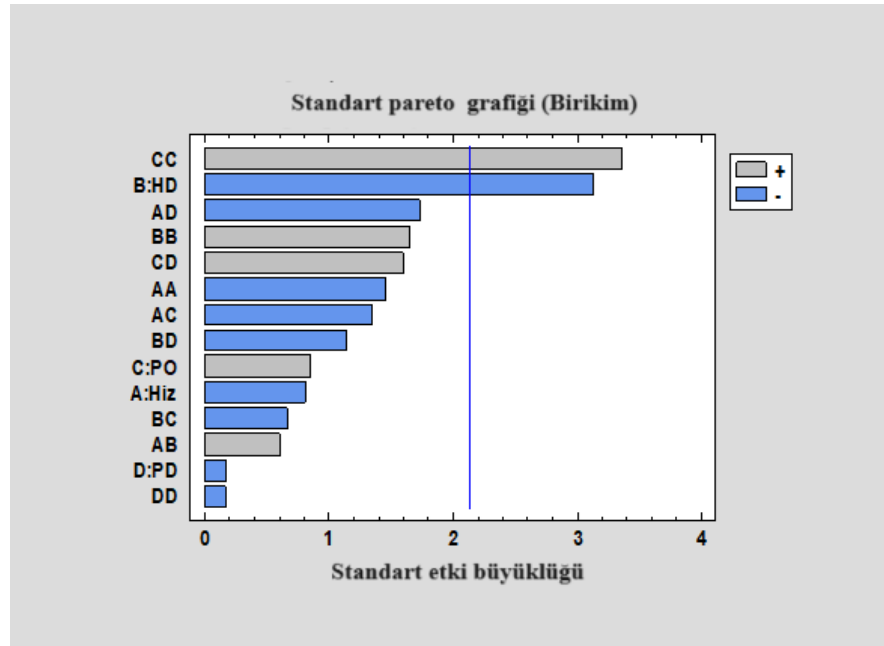
Response	Optimum
Birikim ($\mu\text{g/cm}^2$)	$52,4 \times 10^{-3}$
Sürüklenme ($\mu\text{g/cm}^2$)	$0,66 \times 10^{-3}$

4.2 Koruk Dönemine Ait Deneme Sonuçlar ve Optimizasyon

Koruk dönemi çalışmalarımızdan ikinci dönemi ait dönemi içermekte olup tepki yüzeyleri metodolojisi uyarınca oluşturulan deneme desenine göre uygulama çalışmaları bu dönemde de gerçekleştirilmiştir. Bu dönem çalışmalarında çiçeklenme öncesi dönemde olduğu gibi, birikim miktarını maksimize eden optimizasyon verisi, hedef dışına gerçekleşen sürüklenme miktarını minimize eden optimizasyon verisi ve üçüncü olarak da aynı deneme deseninde birikim miktarının maksimize edildiği ve sürüklenmenin minimize edildiği çoklu optimizasyon verileri değerlendirilmiştir.

4.2.1 Koruk dönemine ait birikim miktarı sonuçları

Koruk dönemi ait birikim miktarının maksimize edilmesi amaçlı yürütülen denemelerin laboratuvar sonuçları aşağıdaki grafik ve tablolar'da gösterilmiştir. Şekil 4.11'de koruk dönemi denemelerine ait pareto grafiği verilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere koruk dönemi denemelerinde püskürtme oranı - püskürtme oranı kombinasyonu ile hava debisi değişkeni analizlerde (Statgraphichs-Statgraphics Technologies, Inc) istatistiki olarak önemi bulunmuştur.



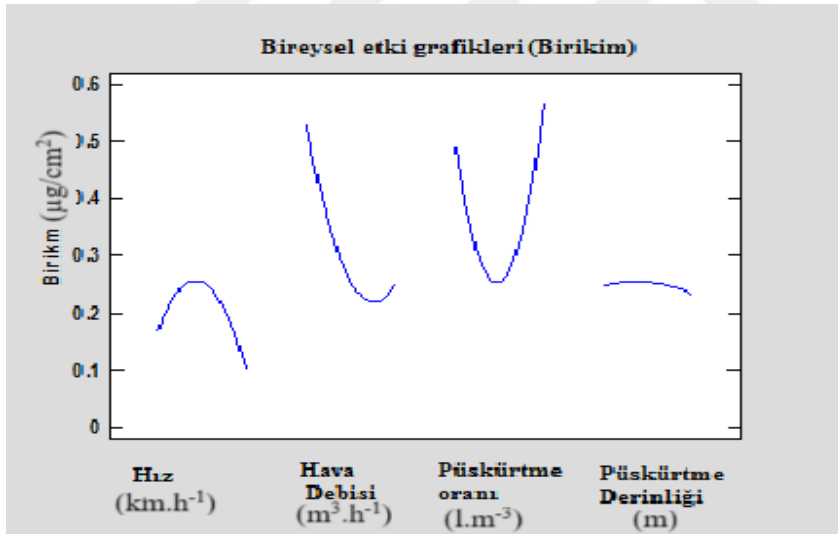
Şekil 4.11. Koruk dönemi denemelerine ait pareto grafiği.

Tepki yüzeyleri metodolojisiince oluşturulan model denklemi ve analizi R^2 değerleri aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Birikim} = & -0,0176484 + 0,458563 \cdot \text{Hız} - 0,0000543438 \cdot \text{HD} - 31,314 \cdot \text{PO} + \\ & 1,42185 \cdot \text{PD} - 0,0132573 \cdot (\text{Hız})^2 + 0,00000216797 \cdot \text{Hız} \cdot \text{HD} - 1,20553 \cdot \text{Hız} \cdot \text{PO} - \\ & 0,154919 \cdot \text{Hız} \cdot \text{PD} + 1,34791\text{E-}9 \cdot (\text{HD})^2 - 0,00017645 \cdot \text{HD} \cdot \text{PO} - \\ & 0,0000306598 \cdot \text{HD} \cdot \text{PD} + 172,085 \cdot (\text{PO})^2 + 10,6412 \cdot \text{PO} \cdot \text{PD} - 0,0851091 \cdot (\text{PD})^2 \end{aligned}$$

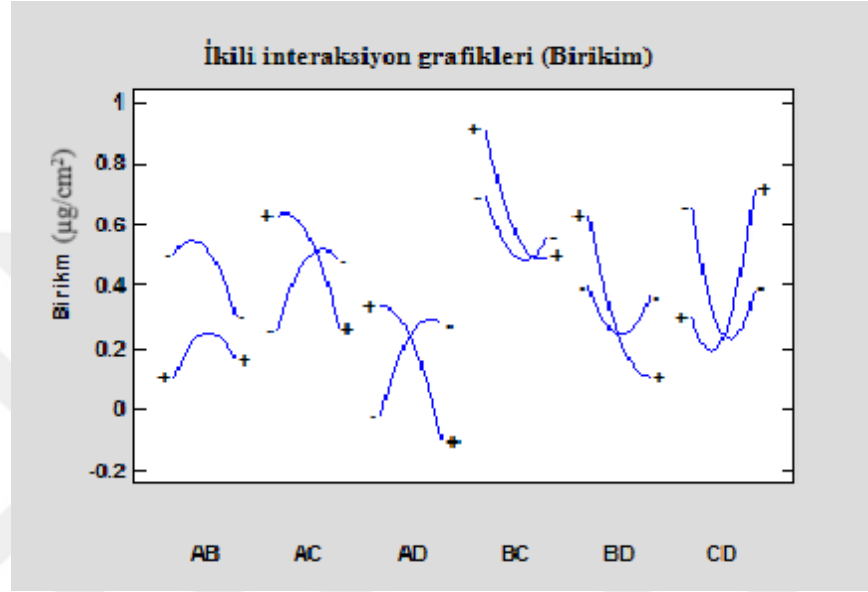
$$R^2 = 71,83 \quad (10)$$

Şekil 4.12’de değişkenlerin bireysel olarak birikim miktarı üzerine etkileri gösterilmektedir. Şekilde bağımsız değişkenlerimizden ilerleme hızı, hava debisi, püskürtme oranı ve püskürtme derinliğinin TYM deneme grubunda kodlu seviyelerden küçük değerden büyük değere doğru gidildikçe diğer bir deyişle değerler artırıldıkça kanopi üzerinde birikim miktarını ne şekilde etkilediği görülmektedir.



Şekil 4.12. Bağımsız değişkenlerin birikim miktarına olan etkileri.

Şekil 4.13’de ise bağımsız değişken ikililerinin interaksionları görülmektedir. Çizgilerin kesiştiği yerler ikilinin birikim miktarını maksimum olarak veren noktaları olarak belirlenmiştir. Şekilde A- ilerleme hızı, B: hava debisi, C: püskürtme oranı, D: püskürtme derinliğini temsil etmektedir. Tablo 4.10’da koruk dönemi çalışmaları ölçülen ve bu veriler ile istatistiki olarak elde edilen sonuç karşılaştırmaları verilmiştir.

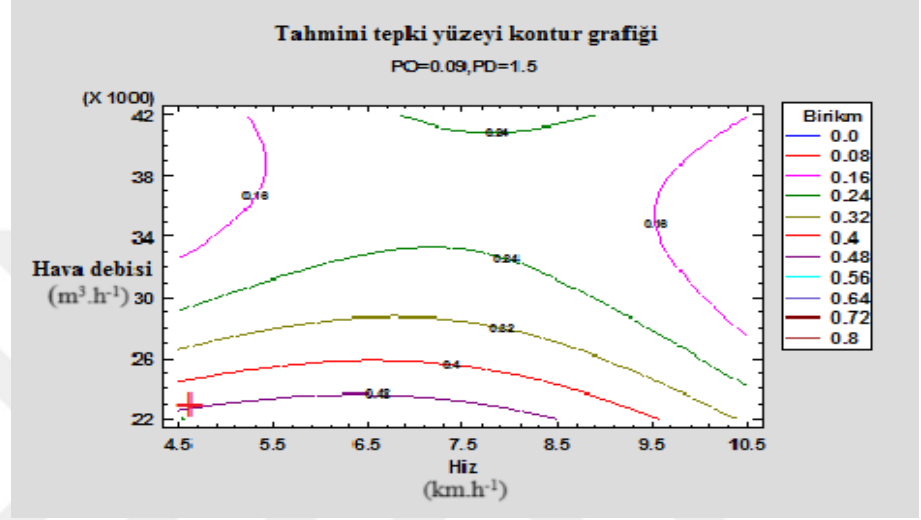


Şekil 4.13. Bağımsız değişkenlere ait birikime etkili ikili interaksionlar.

Tablo 4.10. Deneme deseninde ölçülen değer ile istatistiki değer karşılaştırmaları.

Deneme Numarası	Ölçülen değer	Tahminlenen değer	Ölçülen/ Tahminlenen Oranı
1	0,217129	0,254476	0,85324
2	0,270286	0,412462	0,655299
3	0,420083	0,567218	0,740602
4	0,251911	0,254476	0,98992
5	0,223667	0,239369	0,934403
6	0,204333	0,170552	1,198069
7	0,393	0,34862	1,127302
8	0,175458	0,180466	0,97225
9	0,2335	0,384472	0,607326
10	0,241667	0,250051	0,966471
11	0,255104	0,233349	1,093229
12	0,165685	0,189043	0,876441
13	0,393	0,382738	1,026812
14	0,379042	0,420212	0,902026
15	0,295714	0,254476	1,162051
16	0,1585	0,165553	0,957397
17	0,130542	0,099769	1,308437
18	0,221671	0,252388	0,878295
19	0,227595	0,254476	0,894367
20	0,689042	0,614628	1,121072
21	0,243881	0,295942	0,824084
22	0,260083	0,32284	0,80561
23	0,393028	0,381435	1,030393
24	0,291167	0,248368	1,172321
25	0,704095	0,492407	1,429905
26	0,621417	0,526146	1,181073
27	0,241792	0,254476	0,950156
28	0,291042	0,335446	0,867627
29	0,411298	0,257117	1,599653
30	0,292714	0,254476	1,150262

Şekil 4.14’de hava debisi ve ilerleme hızına bağlı birikime ait kontur grafiği verilmiştir. Kontur grafiğine göre koruk dönemi uygulamasında ilerleme hızı ve hava debisinde elde edilebilecek maksimum ve minimum birikim miktarları görülmektedir. Artı (+) işareti ile gösterilen bölge birikim değerinin en yüksek olarak karşımıza çıkan noktadır. Grafik’te püskürtme oranı ve püskürtme derinliği sabit tutulmuştur.



Şekil 4.14. Birikim tahmini noktalarını veren ilerleme hızı- hava debisi kontur grafiği.

Tablo 4.11. Koruk dönemi birikim miktarını maksimum veren optimum noktalar.

Faktör	Düşük seviye	Yüksek seviye	Optimum seviye
İlerleme hızı (km.h ⁻¹)	4,5	10,5	4,545
Hava debisi (m ³ .h ⁻¹)	22000	42000	22000
Püskürtme oranı (l.m ⁻³)	0,05	0,13	0,13
Püskürtme derinliği (m)	1,1	1,9	1,89
Maksimum birikim miktarı 298x10 ⁻³ µg/cm ²			

Tablo 4.11’de birikim miktarını maksimum veren bağımsız değişkenlerin optimum noktaları belirlenmiştir. 298x10⁻³ µg/cm² birikim miktarının elde edilebileceği durumda ilerleme hızının 4,55 km.h⁻¹, hava debisinin 22000 m³.h⁻¹, püskürtme oranının 0,13 l.m⁻³ püskürtme derinliğinin 1,89 m olduğu noktaları optimum noktalar olarak belirlemiştir.

4.2.2 Koruk dönemine ait sürüklenme miktarı sonuçları ve optimizasyon

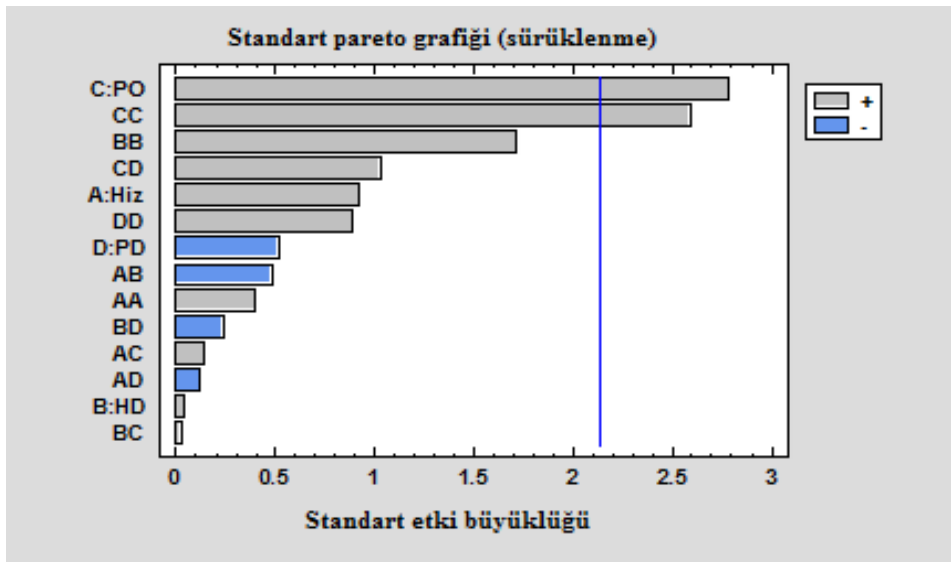
Koruk dönemine ait yapılan deneme çalışmalarında elde edilen sonuçlara ve Tepki yüzeyleri metodolojisi analiz sonuçlarına göre elde edilen model denklemi ve R^2 değeri aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Sürüklenme} = & 0,32268 + 0,001596 \cdot \text{Hız} - 0,00000573705 \cdot \text{HD} - 2,73474 \cdot \text{PO} - \\ & 0,148161 \cdot \text{PD} + 0,000306667 \cdot (\text{Hız})^2 - 1,455\text{E-}7 \cdot \text{Hız} \cdot \text{HD} + 0,0105 \cdot \text{Hız} \cdot \text{PO} - \\ & 0,0009 \cdot \text{Hız} \cdot \text{PD} + 1,1895\text{E-}10 \cdot (\text{HD})^2 + 4,5\text{E-}7 \cdot \text{HD} \cdot \text{PO} - 5,4\text{E-}7 \cdot \text{HD} \cdot \text{PD} + \\ & 11,2594 \cdot (\text{PO})^2 + 0,582188 \cdot \text{PO} \cdot \text{PD} + 0,0383438 \cdot (\text{PD})^2 \end{aligned}$$

$$R^2: 55,77$$

(11)

Şekil 4.15'te koruk dönemi uygulamasına ait hedef dışına sürüklenme miktarı üzerine etkili olan bağımsız değişkenlerin bireysel ve interaktif etkilerini gösteren pareto grafiği verilmiştir. Şekil 4.15 görüldüğü üzere bireysel püskürtme oranı ve püskürtme oranının karesinin etki derecesi istatistiki olarak önemli bulunmuştur. Tablo 4.12'de koruk döneminde sürüklenme verilerine ait gerçek ölçülen değerler ve bu verilere dayanarak tahminlenen verilere ait görülmektedir.

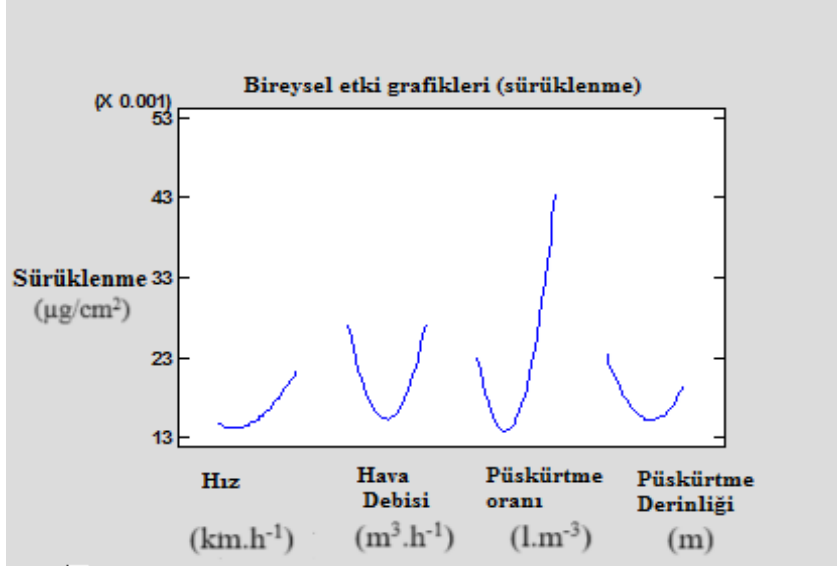


Şekil 4.15. Koruk dönemi uygulaması sürüklenme pareto grafiği.

Tablo 4.12. Deneme deseninde ölçülen değer ile istatistiki değer karşılaştırmaları.

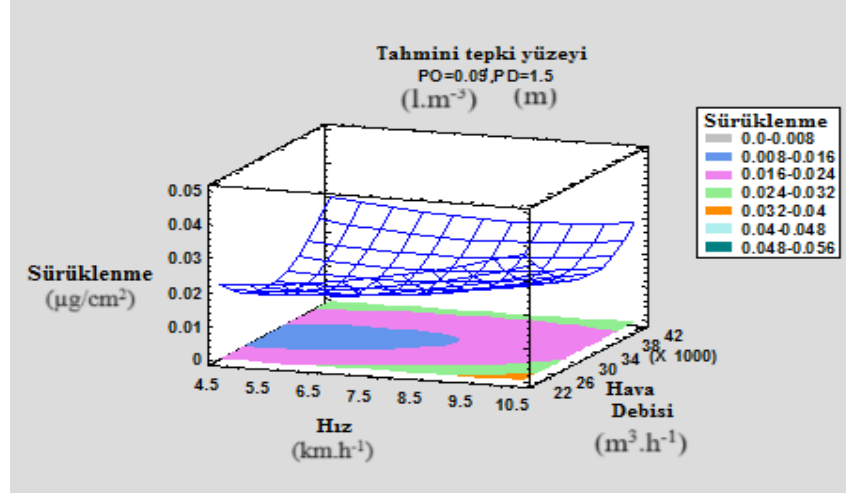
Deneme Numarası	Ölçülen değer	Tahminlenen değer	Ölçülen/ Tahminlenen Oranı
1	0,01566	0,01524	1,02755906
2	0,0225	0,024191	0,93009028
3	0,036	0,04359	0,82587749
4	0,01773	0,01524	1,16338583
5	0,01575	0,028196	0,55858591
6	0,018	0,014595	1,23329908
7	0,0306	0,030409	1,00628765
8	0,0378	0,031721	1,19163209
9	0,00864	0,014794	0,58402844
10	0,0288	0,023059	1,24898087
11	0,0171	0,01947	0,87827427
12	0,01575	0,015956	0,98707712
13	0,036	0,024694	1,45786172
14	0,02934	0,025234	1,16273079
15	0,01386	0,01524	0,90944882
16	0,009	0,016009	0,56219431
17	0,01026	0,021405	0,47932726
18	0,0306	0,027285	1,12149533
19	0,0153	0,01524	1,00393701
20	0,0342	0,029066	1,1766244
21	0,0351	0,019211	1,82705922
22	0,0171	0,019736	0,8664238
23	0,0333	0,034744	0,95844438
24	0,01791	0,02328	0,7693299
25	0,02277	0,02292	0,9934555
26	0,01593	0,026985	0,59032796
27	0,01548	0,01524	1,01574803
28	0,0351	0,031451	1,1160111
29	0,04104	0,030589	1,34167192
30	0,01341	0,01524	0,87992126

Şekil 4.16’da ilerleme hızı, hava debisi, püskürtme oranı ve püskürtme derinliği bağımsız değişkenlerinin seviyeleri artırıldıkça sürüklenmeye olan bireysel etkileri görülmektedir. Şekil incelendiğinde ilerleme hızının artışının sürüklenmeyi artırdığı, hava debisinde artış ile ilk olarak azalan sonra artan bir eğri olduğu, püskürtme oranının 0,05 l.m⁻³ ile başlayarak sonra artırılması ile birlikte sürüklenme verilerinde ilk başlarda azalış gerçekleşmektedir. Püskürtme oranının seviyesinin daha da artırılması ile birlikte ise sürüklenme artış göstererek en yüksek seviyesine çıkmıştır. Püskürtme derinliğinin en düşük olduğu (-2 kodlu değeri) seviyelerde sürüklenmenin maksimum noktada olduğu görülmektedir. Püskürtme derinliğinin artırılması ile birlikte sürüklenme azalıp en düşük noktayı gördükten sonra tekrar yükselişe geçmektedir.



Şekil 4.16. Koruk dönemi uygulamasında bağımsız değişkenlerin sürüklenme üzerine etkileri.

Şekil 4.17’de ise püskürtme oranı ve püskürtme derinliğinin merkez seviyelerinde sabit tutulduğu, ilerleme hızı ve hava debisi ikilisine bağlı grafik oluşturulmuştur. Renkli yerlerde sürüklenme miktarına ait veriler görülmektedir. Grafikte sürüklenmenin mavi renge yaklaşan bölgelerde minimum miktarı sağladığı görülmektedir. Bu bölgedeki değerlerin uygulanması ile minimum sürüklenme miktarları elde edilebilecektir.



Şekil 4.17. Koruk dönemi sürüklenme miktarlarına ait tahmini tepki yüzeyleri grafiği.

Hedef dışına sürüklenmeyi minimumda tutabilecek dört bağımsız değişken seviyeleri Tablo 4.13’ de verilmiştir. İlerleme hızının $5,97 \text{ km.h}^{-1}$, hava debisinin $31374 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, püskürtme oranının $0,075 \text{ l.m}^{-3}$ ve püskürtme derinliğinin $1,65 \text{ m}$ olduğu seviyeler sürüklenmenin minimumda tutulduğu seviyeler olarak belirlenmiştir. Bu koşullar uygulandığında sürüklenmenin tahmini değeri $2,4 \times 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{cm}^2)$ olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.13. Koruk dönemi uygulamasında minimum sürüklenme miktarı açısından bağımsız değişkenlerin optimum seviyeleri.

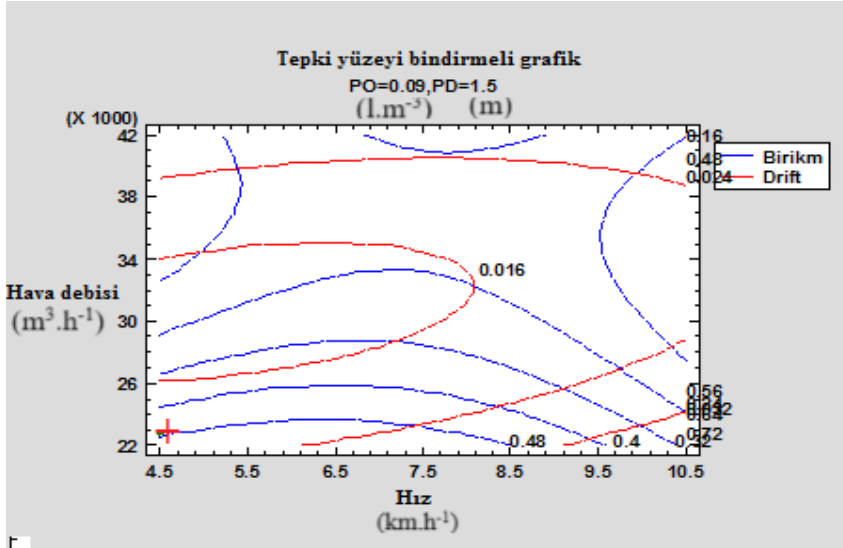
Faktör	Düşük seviye	Yüksek seviye	Optimum seviye
İlerleme hızı (km.h^{-1})	4,5	10,5	5,97
Hava debisi ($\text{m}^3.\text{h}^{-1}$)	22000	42000	31374
Püskürtme oranı (l.m^{-3})	0,05	0,13	0,075
Püskürtme derinliği (m)	1,1	1,9	1,65

4.2.3 Koruk dönemine ait çoklu cevap optimizasyon sonuçları

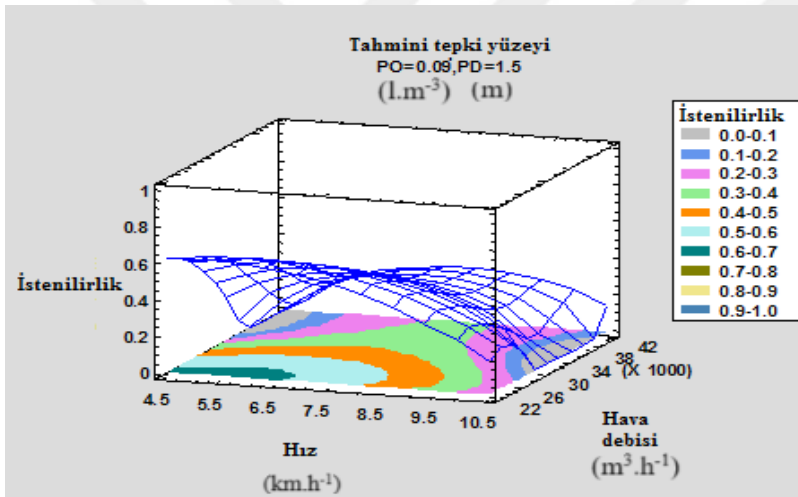
Bu bölümde aynı püskürtme işlemi içerisinde eş zamanlı olarak birikim miktarının maksimum ve sürüklenmenin minimum olduğu optimum bölgeler tespit edilmiş ve bu bölgeleri veren bağımsız değişken seviyeleri belirlenmiştir. Optimizasyon ve istatistik analizlerine ait grafik ve çizelgeler aşağıda verilmiştir. Şekil 4.18’de püskürtme oranı ve püskürtme derinliğinin merkez değerlerinde sabit tutulduğu ilerleme hızı ve hava debisine ait bindirmeli kontur grafiği gösterilmektedir. Artı (+) işareti ile işaretlenen bölgede optimum noktalar istenilirliğin en yüksek olduğu bölgedir. Şekil 4.19’da da hava debisi-ilerleme hızı istenilirlik grafiği gösterilmektedir. Renklendirme alanları istenilirliğe (desirabilite) göre ulaşabilecek maksimum birikim ve minimum sürüklenme noktalarını göstermektedir. İlerleme hızı ve hava debisinin istenilirliği en yüksek veren renk skalasında bulunan değerleri birikimin maksimum sürüklenmenin minimum olarak elde edileceği değerlerdir. Birikim ve sürüklenme verileri, bunlara ait ölçülen- tahminlenen istenilirlik verileri ve ölçülen değer tahminlenen değer oranları Tablo 4.14’de verilmiştir. Tepki yüzeyleri metodolojisine uygun gerçekleştirilen denemelerde deneme deseninde 9. Sırada bulunan kodlu seviyeleri -1,-1,-1,1 olan deneme ölçülen istenilirliği en yüksek deneme numarası olmuştur.

Tablo 4.14. Deneme numaralarına ait birikim, sürüklenme, istenilirlik (desirabilite) verileri.

Deneme Numarası	Birikim	Sürüklenme	Tahminlenen istenilirlik	Ölçülen istenilirlik	Ölçülen/ Tahminlenen
1	0,217129	0,01566	0,414807	0,343885	0,8290
2	0,270286	0,0225	0,505578	0,373389	0,7385
3	0,420083	0,036	0,0	0,280228	-
4	0,251911	0,01773	0,414807	0,39018	0,9406
5	0,223667	0,01575	0,274255	0,355998	1,2981
6	0,204333	0,018	0,238613	0,302472	1,2676
7	0,393	0,0306	0,353215	0,383991	1,0871
8	0,175458	0,0378	0,158224	0,0884943	0,5593
9	0,2335	0,00864	0,598868	0,423685	0,7075
10	0,241667	0,0288	0,340056	0,270543	0,7956
11	0,255104	0,0171	0,345443	0,400586	1,1596
12	0,165685	0,01575	0,281008	0,218691	0,7782
13	0,393	0,036	0,470998	0,2668	0,5665
14	0,379042	0,02934	0,496372	0,395546	0,7969
15	0,295714	0,01386	0,414807	0,491512	1,1849
16	0,1585	0,009	0,217161	0,219553	1,0110
17	0,130542	0,01026	0,0	0,0	-
18	0,221671	0,0306	0,300315	0,226267	0,7534
19	0,227595	0,0153	0,414807	0,366649	0,8839
20	0,689042	0,0342	0,558492	0,453399	0,8118
21	0,243881	0,0351	0,440781	0,190337	0,4318
22	0,260083	0,0171	0,469522	0,408514	0,8701
23	0,393028	0,0333	0,291558	0,330647	1,1341
24	0,291167	0,01791	0,33557	0,447131	1,3325
25	0,704095	0,02277	0,594009	0,750925	1,2642
26	0,621417	0,01593	0,546999	0,814422	1,4889
27	0,241792	0,01548	0,414807	0,391174	0,9430
28	0,291042	0,0351	0,32516	0,226501	0,6966
29	0,411298	0,04104	0,266808	0,0	0,0000
30	0,292714	0,01341	0,414807	0,491043	1,1838



Şekil 4.18. Koruk dönemi birikim sürüklenme bindirmeli (overlay) grafiği.



Şekil 4.19. İlerleme hızı- hava debisi değişkenlerine göre istenilirlik (desirabilite) grafiği.

Tablo 4.15’de ise birikimin maksimum, sürüklenmenin minimumda tutulabilmesi amacıyla analizi yapılan çoklu cevap optimizasyonu görülmektedir. Tabloya göre ilerleme hızının $4,5 \text{ km.h}^{-1}$, hava debisinin $22733 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, püskürtme oranının $0,084 \text{ l/m}^3$ ve püskürtme derinliğinin $1,79 \text{ m}$ olarak seçildiği durumlarda optimum sonuçlar elde edilebilecektir.

Tablo 4.15. Koruk dönemi çoklu optimizasyon uygulamasında bağımsız değişkenlerin optimum seviyeleri.

Faktör	Düşük seviye	Yüksek seviye	Optimum seviye
İlerleme hızı (km.h ⁻¹)	4,5	10,5	4,5
Hava debisi (m ³ .h ⁻¹)	22000	42000	22733
Püskürtme oranı (l.m ⁻³)	0,05	0,13	0,084
Püskürtme derinliği (m)	1,1	1,9	1,79

Tablo 4.16’da optimum noktaları belirlenen bağımsız değişkenlerin uygulanması sonucu elde edilecek birikim miktarı, sürüklenme miktarı ve istenilirlik değerleri verilmiştir. Tablo 4.16’da görüldüğü üzere değişkenlerin optimum seviyeleri uygulanması durumunda birikim miktarının $126,6 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{cm}^2$ sürüklenme miktarının ise $4,6 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{cm}^2$ olması tahmin edilmektedir.

Tablo 4.16. Koruk dönemi çoklu cevap optimum seviye uygulamaları ile tahmini birikim miktarı, sürüklenme miktarı ve istenilirlik değeri.

Tepki	Optimum
Birikim ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	$126,6 \times 10^{-3}$
Sürüklenme ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	$4,6 \times 10^{-3}$
İstenilirlik (Desirability)	0,7

4.3 Meyve Tatlanma Dönemine Ait Deneme Sonuçları ve Optimizasyon Verileri

Meyve tatlanma döneminde asma yaprakları ile üzümlerin en olgun ve en yoğun olduğu dönemdir. Bu durum hedef bitki büyüklüğünün en yüksek hacimde olduğu anlamına da gelmektedir. Önceki deneme desenine göre uygulama çalışmaları bu dönemde de gerçekleştirilmiştir. Bu döneme ait kanopi üzerinde gerçekleşen birikim miktarını maksimize eden optimizasyon verisi, hedef dışına gerçekleşen sürüklenme miktarını minimize eden optimizasyon verisi üçüncü olarak da aynı deneme deseninde birikimi miktarının maksimize edildiği ve sürüklenmenin minimize edildiği çoklu optimizasyon verileri değerlendirilmiştir.

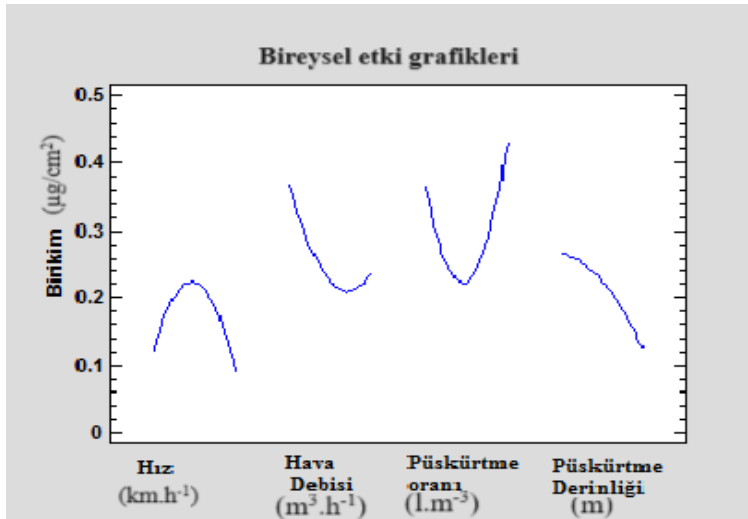
4.3.1 Meyve tatlanma dönemine ait kanopi birikim miktarı sonuçları

Meyve tatlanma döneminde gerçekleştirilen denemeler sonucunda birikimin maksimize edilmesi hedeflerden bir tanesidir. Verilerin analizleri sonucunda ortaya çıkan model denklem ve R^2 değerleri aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} \text{Birikim} = & -1,55163 + 0,449404 \cdot \text{Hız} - 0,00000599499 \cdot \text{HD} - 19,5325 \cdot \text{PO} + \\ & 1,71319 \cdot \text{PD} - 0,0131336 \cdot (\text{Hız})^2 + 0,00000199969 \cdot \text{Hız} \cdot \text{HD} - 1,00067 \cdot \text{Hız} \cdot \text{PO} - \\ & 0,154611 \cdot \text{Hız} \cdot \text{PD} + 7,81509\text{E-}10 \cdot (\text{HD})^2 - 0,000185753 \cdot \text{HD} \cdot \text{PO} - \\ & 0,0000325247 \cdot \text{HD} \cdot \text{PD} + 109,115 \cdot (\text{PO})^2 + 9,45365 \cdot \text{PO} \cdot \text{PD} - 0,180208 \cdot (\text{PD})^2 \end{aligned}$$

$$R^2 = 66,83 \quad (12)$$

Şekil 4.20’de birikim optimizasyonu amacıyla yapılan deneme analizlerinde bağımsız değişkenlerin bireysel olarak birikim miktarına olan etkileri görülmektedir. Şekilde ilerleme hızı artışı ile birikimde ilk olarak artış daha sonra azalış meydana geldiği, hava debisinin artışının birikim miktarında büyük bir miktarda azalışa yüksek seviyelerde ise bir miktar artışa sebep olduğu görülmektedir. Püskürtme oranının birikime etkisine bakıldığında merkez seviyeye kadar artışlarda birikimde azalma, merkez seviyeden yüksek seviyelere çıkıldıkça birikimde artış meydana getiren bir etki göstermektedir. Püskürtme derinliği seviye artışları ise birikim miktarını düzenli olarak azaltan bir etkiye sahip olmaktadır. Tablo 4.17’de bu döneme ait elde edilen birikim miktarı analizleri ve bu miktarlara ait istatistiki tahminleme oranları görülmektedir.

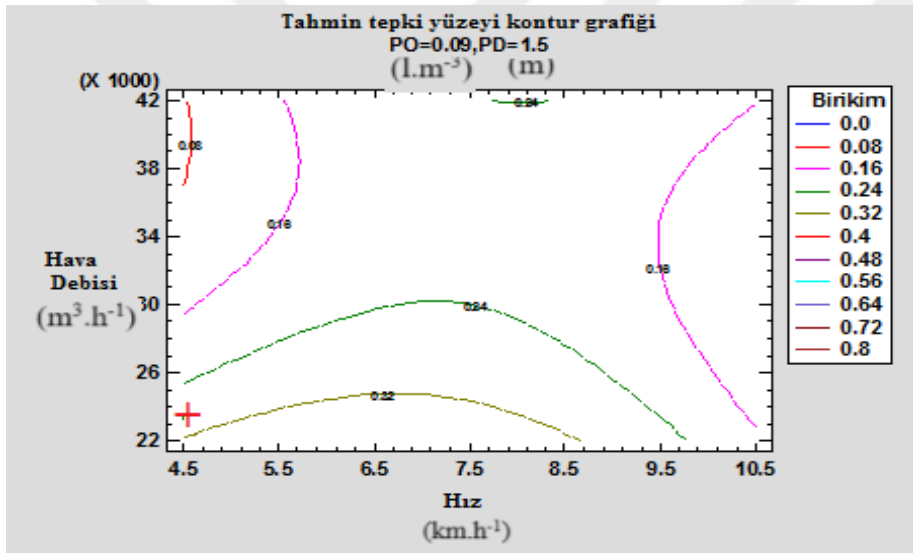


Şekil 4.20. Meyve tatlanma dönemi bağımsız değişkenlerin birikim miktarına etkileri.

Tablo 4.17. Deneme deseninde ölçülen değer ile istatistiki değer karşılaştırmaları.

Deneme Numarası	Ölçülen değer	Tahminlenen değer	Ölçülen/ Tahminlenen Oranı
1	0,23475	0,25703	0,913318
2	0,190458	0,275939	0,690218
3	0,119012	0,110982	1,072354
4	0,293167	0,252845	1,159473
5	0,240042	0,355304	0,675596
6	0,199714	0,165605	1,205966
7	0,37	0,334854	1,104959
8	0,692375	0,610056	1,134937
9	0,490375	0,379794	1,29116
10	0,37	0,38235	0,9677
11	0,244292	0,275939	0,885312
12	0,395161	0,380498	1,038536
13	0,2625	0,290059	0,904988
14	0,216333	0,237268	0,911766
15	0,401458	0,253213	1,585456
16	0,226583	0,237246	0,955055
17	0,42275	0,521252	0,811028
18	0,603708	0,366981	1,645066
19	0,208542	0,204492	1,019805
20	0,225458	0,219257	1,028282
21	0,257917	0,275939	0,934688
22	0,351833	0,366116	0,960988
23	0,271274	0,338326	0,801812
24	0,159903	0,165287	0,967426
25	0,239125	0,366507	0,652443
26	0,219583	0,275939	0,795766
27	0,258625	0,275939	0,937254
28	0,149333	0,11612	1,286023
29	0,213125	0,241367	0,882991
30	0,281048	0,275939	1,018515

Şekil 4.21’de püskürtme oranı ve püskürtme derinliği değişkenlerinin merkez değerlerinde tutulduğu koşullarda kontur grafiği gösterilmektedir. Artı (+) işareti ile işaretli bölge meyve tatlanma döneminde hava debisi ve ilerleme hızının optimum seviyede maksimum birikim sağladığı kısım olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bölgede hava debisinin $23500 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, ilerleme hızının $4,5 \text{ km.h}^{-1}$ ’te yakın bir bölgede olduğu görülmektedir. Tablo 4.18 ’de meyve tatlanma dönemine ait birikim optimizasyon verileri verilmiştir. İlerleme hızının $4,5 \text{ km.h}^{-1}$, hava debisinin $23445 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, püskürtme oranı $0,13 \text{ l.m}^{-3}$, püskürtme derinliği $1,9 \text{ m}$ olduğu durumlarda kanopi üzerinde elde edilen birikim miktarının maksimum değeri elde edilebilecektir ve tahmini birikim miktarı $205,2 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{cm}^2$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.21. Meyve tatlanma dönemi ilerleme hızı hava debisi kontur grafiği.

Tablo 4.18. Meyve tatlanma dönemi uygulaması birikimi maksimumda sağlayan optimum ayar noktaları.

Faktör	Düşük seviye	Yüksek seviye	Optimum seviye
İlerleme hızı (km.h^{-1})	4,5	10,5	4,5
Hava debisi ($\text{m}^3.\text{h}^{-1}$)	22000	42000	23445
Püskürtme oranı (l.m^{-3})	0,05	0,13	0,13
Püskürtme derinliği (m)	1,1	1,9	1,9

4.3.2 Meyve tatlanma dönemine ait sürüklenme miktarı optimizasyon sonuçları

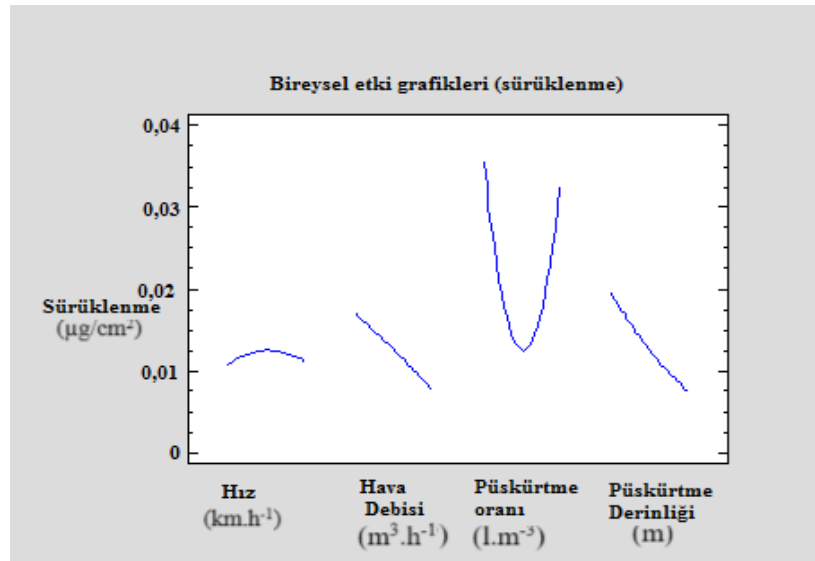
Meyve tatlanma dönemine ait sürüklenme analizi model denklemi ve R^2 değerleri aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Sürüklenme: } & -0,0160809 + 0,00293165 \cdot \text{Hız} + 0,00000603325 \cdot \text{HD} - 2,27314 \cdot \text{PO} \\ & + 0,0616001 \cdot \text{PD} - 0,000161343 \cdot (\text{Hız})^2 - 1,8825 \cdot 10^{-7} \cdot \text{Hız} \cdot \text{HD} + 0,0871875 \cdot \text{Hız} \cdot \text{PO} - \\ & 0,00151875 \cdot \text{Hız} \cdot \text{PD} - 0,0000180563 \cdot \text{HD} \cdot \text{PO} - 0,00000233437 \cdot \text{HD} \cdot \text{PD} + \\ & 13,1549 \cdot (\text{PO})^2 - 0,127969 \cdot \text{PO} \cdot \text{PD} + 0,00639319 \cdot (\text{PD})^2 \end{aligned}$$

$$R^2: 62,97$$

(13)

Bağımsız değişkenlerin meyve dönemi sürüklenmeye ait bireysel katkıları Şekil 4.22’de verilmiştir. Hava debisi ile püskürtme derinliği değişkenlerinin kodlu seviyelerden -2, +2 arasındaki artışı sürüklenmede azalışa sebep olmaktadır. Püskürtme oranında -2 – 0 aralığında gerçekleşen değişim sürüklenmede azalmaya sebep olurken 0 ve +2 aralığındaki seviye değişikliği ise sürüklenme artışı meydana getirmektedir. İlerleme hızında ise değişimlerin çok fazla etkili olmadığı Şekil 4.22’den görülebilmektedir. Tablo 4.19’da arazi ölçüm verileri ve tahminleme verileri verilmiştir. Ayrıca bunların benzerlik dereceleri incelenmiştir.

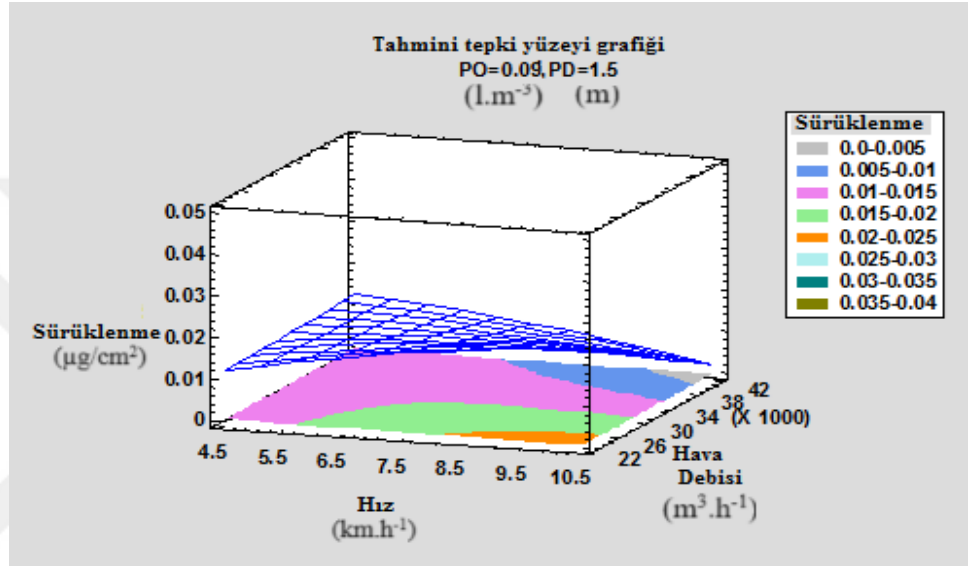


Şekil 4.22. Meyve tatlanma dönemi uygulaması bağımsız değişkenlerin sürüklenmeye olan etkileri.

Tablo 4.19. Deneme deseninde ölçülen değer ile istatistiki değer karşılaştırmaları.

Deneme Numarası	Ölçülen değer	Tahminlenen değer	Ölçülen/ Tahminlenen Oranı
1	0,0315	0,02264	1,391349
2	0,01557	0,016527	0,942106
3	0,009	0,018067	0,49814
4	0,0135	0,019612	0,688347
5	0,02205	0,020392	1,081322
6	0,02277	0,019747	1,153104
7	0,0144	0,012648	1,138529
8	0,0243	0,02309	1,052408
9	0,03825	0,034807	1,098911
10	0,027	0,020596	1,310928
11	0,0162	0,016527	0,980226
12	0,0324	0,033226	0,975137
13	0,0171	0,018425	0,928092
14	0,00639	0,009076	0,704048
15	0,0396	0,025803	1,534711
16	0,0135	0,019492	0,692602
17	0,0324	0,040342	0,803129
18	0,0252	0,019023	1,324733
19	0,01665	0,012082	1,37806
20	0,027	0,024543	1,100114
21	0,0144	0,016527	0,871312
22	0,0198	0,019921	0,993921
23	0,0324	0,032555	0,995242
24	0,02133	0,017137	1,244697
25	0,0108	0,022966	0,470258
26	0,01575	0,016527	0,952998
27	0,01494	0,016527	0,903986
28	0,009	0,013773	0,653457
29	0,0171	0,015487	1,104138
30	0,01431	0,016527	0,865866

Şekil 4.23'deki verilerde püskürtme oranı ve püskürtme derinliğinin merkez seviyelerinde sabit tutulduğu ve ilerleme hızı- hava debisi ikili analizlerine göre gri renk ile boyalı bölgede en düşük sürüklenme miktarı sağlanmaktadır. İşaretlenmiş bölgenin ilerleme hızında merkez değere yaklaşık bir değer, hava debisinde ise 42000 m³.h⁻¹ olan üst değere yaklaşık değer olduğu görülmektedir. Renk skalasına göre farklı sürüklenme miktarı değerleri ve bunları sağlayan bağımsız değişken değerleri belirlenebilmektedir.



Şekil 4.23. Meyve döneminde sürüklenmenin değişim grafiği.

Meyve tatlanma döneminde minimum sürüklenme miktarı sağlanması amacıyla yapılan optimizasyon çalışmasında bağımsız değişken seviyelerinin ilerleme hızında 4,5 km.h⁻¹, hava debisinde 40679 m³.h⁻¹, püskürtme oranında 0,10459 l.m⁻³ ve püskürtme derinliğinde ise 1,9 m olması gerektiği Tablo 4.20'de görülmektedir.

Tablo 4.20. Meyve tatlanma dönemi bağımsız değişkenlerin sürüklenmede optimum seviyeleri.

Faktör	Düşük seviye	Yüksek seviye	Optimum seviye
İlerleme hızı (km.h ⁻¹)	4,5	10,5	4,5
Hava debisi (m ³ .h ⁻¹)	22000	42000	40679
Püskürtme oranı (l.m ⁻³)	0,05	0,13	0,10459
Püskürtme derinliği (m)	1,1	1,9	1,9

4.3.3 Meyve tatlanma dönemine ait çoklu cevap optimizasyon sonuçları

Meyve tatlanma döneminde tepki yüzeyleri metodolojisine göre oluşturulan deneme desenine uygun yapılan çalışmalarda akıllı püskürtme sistemi ile elde edilen birikim miktarının maksimize edilirken eş zamanlı olarak hedef dışına sürüklenmenin minimize edildiği optimum değerler ve bu değerlere ait grafik, şekil ve çizelgeler aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.21’de meyve tatlanma dönemine ait akıllı püskürtme sistemi ile yapılan denemeler sonucu elde edilen birikim ve sürüklenme miktarlarına ait belirlenen minimum ve maksimum değerler verilmiştir. Denemelerde elde edilen minimum birikim miktarı $23,8 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{cm}^2$, maksimum birikim miktarı $138,4 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{cm}^2$ olarak belirlenirken, sürüklenme miktarlarında ise minimum ve maksimum değerler sırasıyla $1,28 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ve $7,92 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{cm}^2$ olarak bulunmuştur.

Ayrıca Tablo 4.21’de görüldüğü üzere; birikim miktarının maksimum olduğu bölge ve sürüklenmenin minimumda olduğu bölgelerin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca bu iki faktörün önem seviyeleri de 3,0 olarak belirlenerek eşit derecede önemli olarak vurgulanmıştır. İstatistik programı bu veriler ışığında bağımsız değişkenlerin uygulanması gereken değerlerini ve sonuç olarak elde edilecek birikim ve sürüklenme miktarlarını verecektir.

Tablo 4.21. Meyve tatlanma dönemi uygulamalarında birikim ve sürüklenme verileri.

Sonuç	Düşük	Yüksek	Amaç	Etki
Birikim $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	$23,8 \times 10^{-3}$	$138,4 \times 10^{-3}$	Maksimize	3,0
Sürüklenme $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	$1,28 \times 10^{-3}$	$7,92 \times 10^{-3}$	Minimize	3,0

Oluşturulan deneme desenine göre uygulanan 30 adet denemede çoklu optimizasyon analizlerinde istenilirliği en uygun sonuç veren çalışma numarası 0,652 istenilirlik (desirabilite) oranı ile -1, -1, +1, +1 kodlu değere sahip 8 nolu deneme numarası olmuştur. Bu deneme numarasında birikim miktarı $138,4 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{cm}^2$ sürüklenme miktarı ise $4,86 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{cm}^2$ olarak tespit edilmiştir. Tablo 4.22’de denemelerde elde edilen birikim ve sürüklenme

miktarları verilmiştir. Aynı tabloda ölçülen ve tahminlenen istenilirlik verileri de görülmektedir.

Tablo 4.22. Deneme numaralarına ait birikim, sürüklenme, istenilirlik (desirabilite) verileri.

Deneme Numarası	Birikim	Sürüklenme	Tahminlenen istenilirlik	Ölçülen istenilirlik	Ölçülen/ Tahminlenen
1	0,23475	0,0315	0,350617	0,221887	1,580
2	0,190458	0,01557	0,436068	0,300274	1,452
3	0,119012	0,009	0,0	0,000896389	0
4	0,293167	0,0135	0,374814	0,488583	0,767
5	0,240042	0,02205	0,488225	0,333991	1,461
6	0,199714	0,02277	0,220409	0,267077	0,825
7	0,37	0,0144	0,552731	0,576338	0,959
8	0,692375	0,0243	0,652508	0,678752	0,961
9	0,490375	0,03825	0,256204	0,162262	1,578
10	0,37	0,027	0,512659	0,407533	1,257
11	0,244292	0,0162	0,436068	0,392373	1,111
12	0,395161	0,0324	0,295854	0,323138	0,915
13	0,2625	0,0171	0,436136	0,411765	1,059
14	0,216333	0,00639	0,435394	0,411992	1,056
15	0,401458	0,0396	0,311833	0,0	-
16	0,226583	0,0135	0,353354	0,383989	0,920
17	0,42275	0,0324	0,0	0,338896	0
18	0,603708	0,0252	0,517658	0,605434	0,855
19	0,208542	0,01665	0,351472	0,328493	1,069
20	0,225458	0,027	0,281547	0,2654	1,060
21	0,257917	0,0144	0,436068	0,428755	1,017
22	0,351833	0,0198	0,505348	0,492034	1,027
23	0,271274	0,0324	0,284858	0,239945	1,187
24	0,159903	0,02133	0,233647	0,198076	1,179
25	0,239125	0,0108	0,464976	0,426228	1,090
26	0,219583	0,01575	0,436068	0,354921	1,228
27	0,258625	0,01494	0,436068	0,425217	1,025
28	0,149333	0,009	0,0	0,220742	0
29	0,213125	0,0171	0,393628	0,333478	1,180
30	0,281048	0,01431	0,436068	0,463906	0,939

Tablo 4.23’de bağımsız değişkenleri düşük ve yüksek seviyeler arasında uygulanabilecek optimum değerler belirtilmiştir. Bu değerlerin uygulanması ile birikimin maksimum, sürüklenmenin minimum olduğu, istenilirliğin de en yüksek seviyeyi gösterdiği çalışma koşulları elde edilebilecektir.

Tablo 4.24’de ise değişkenlerin optimum seviyelerinin uygulanması sonucu elde edilebilecek değerler gösterilmiştir. Buna göre birikim miktarı $138,4 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{cm}^2$, sürüklenme miktarı $3,4 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{cm}^2$ olabilecek ve değerlere ait istenilirlik oranı ise 0,825 olacaktır.

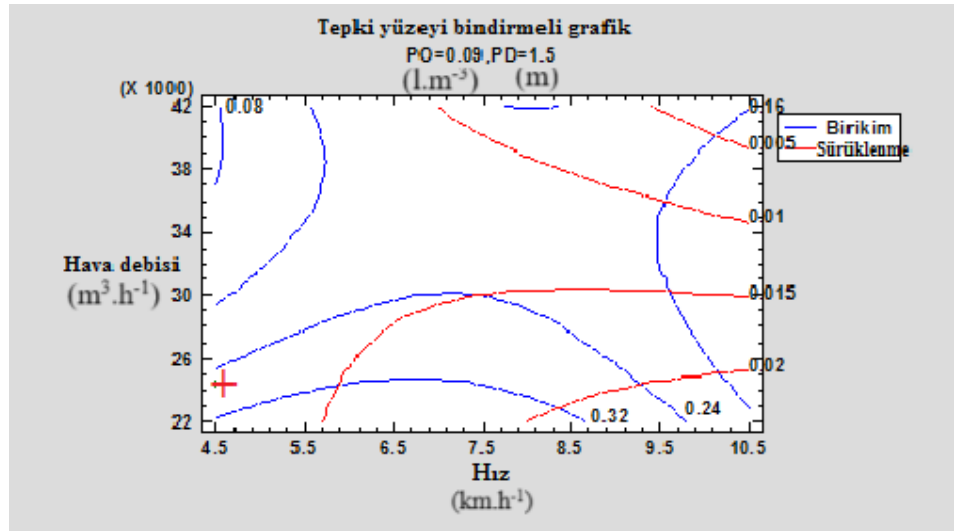
Tablo 4.23. Meyve tatlanma dönemi uygulamalarına ait bağımsız değişkenlerin optimum seviyeleri.

Faktör	Düşük	Yüksek	Optimum
İlerleme hızı (km.h^{-1})	4,5	10,5	4,5
Hava debisi ($\text{m}^3.\text{h}^{-1}$)	22000	42000	24425
Püskürtme oranı (l.m^{-3})	0,05	0,13	0,1116
Püskürtme derinliği (m)	1,1	1,9	1,9

Tablo 4.24. Meyve tatlanma dönemine ait elde edilecek optimum birikim miktarı sürüklenme miktarı ve istenilirlik (desirability) değeri.

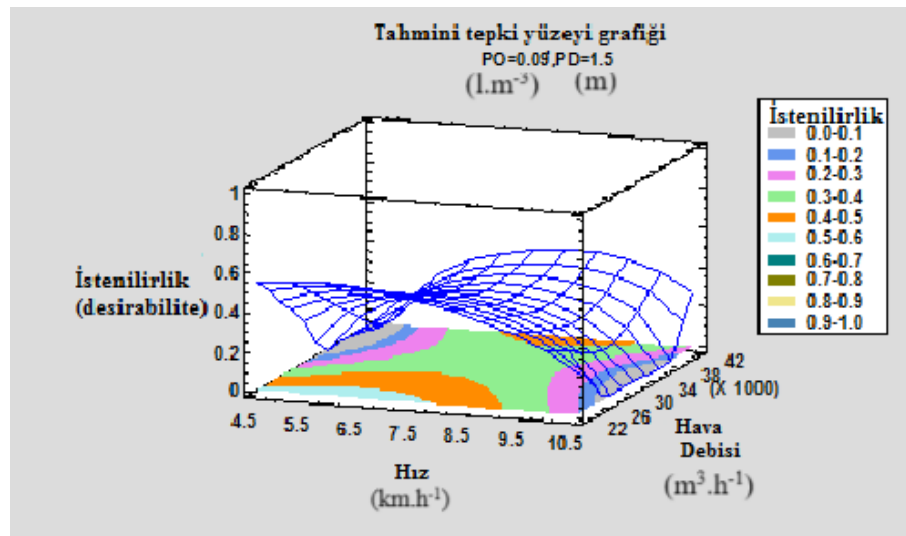
Sonuç	Optimum
Birikim ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	$138,4 \times 10^{-3}$
Sürüklenme ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	$3,4 \times 10^{-3}$
İstenilirlik (Desirabilite)	0,825

Şekil 4.24’de meyve tatlanma dönemine ait bindirmeli ikili kontur grafiği görülmektedir. Grafikte püskürtme oranı ve püskürtme derinliği merkez seviyelerde sabit tutulmuş buna göre ilerleme hızı ve hava debisi değişkenlerine göre oluşan ikili kontur grafiği verilmiştir. Artı (+) ile gösterilen bölge ilerleme hızı ve hava debisinin optimum değer noktalarıdır. Grafiğe göre hem ilerleme hızında hem de hava debisinde düşük seviyelerde uygulama yapıldığında istenilirlik yüksek çıkabilecektir.



Şekil 4.24. Meyve tatlanma dönemi bindirmeli (overlay) grafiği.

Şekil 4.25’de benzer şekilde püskürtme oranı ve püskürtme değerlerinin merkez seviyelerde sabit tutulduğu ve ilerleme hızı ile hava debisi değişkenleri ikilisine göre oluşturulmuş grafik görülmektedir. Şekilde ilerleme hızı ve hava debisi değerlerinin seviye değişimlerine göre birikim miktarı-sürüklenme miktarı çoklu cevap optimizasyonuna göre oluşan istenilirlik değerleri verilmiştir. Birikim miktarının maksimum sürüklenmenin minimumunda tutulması amacıyla istenilirliği en yüksek veren noktalarındaki değerler uygulanarak en uygun uygulama koşulları elde edilebilecektir.



Şekil 4.25. Meyve tatlanma dönemi uygulaması çoklu cevabın istenilirlik(desirabilite) dağılım grafiği.

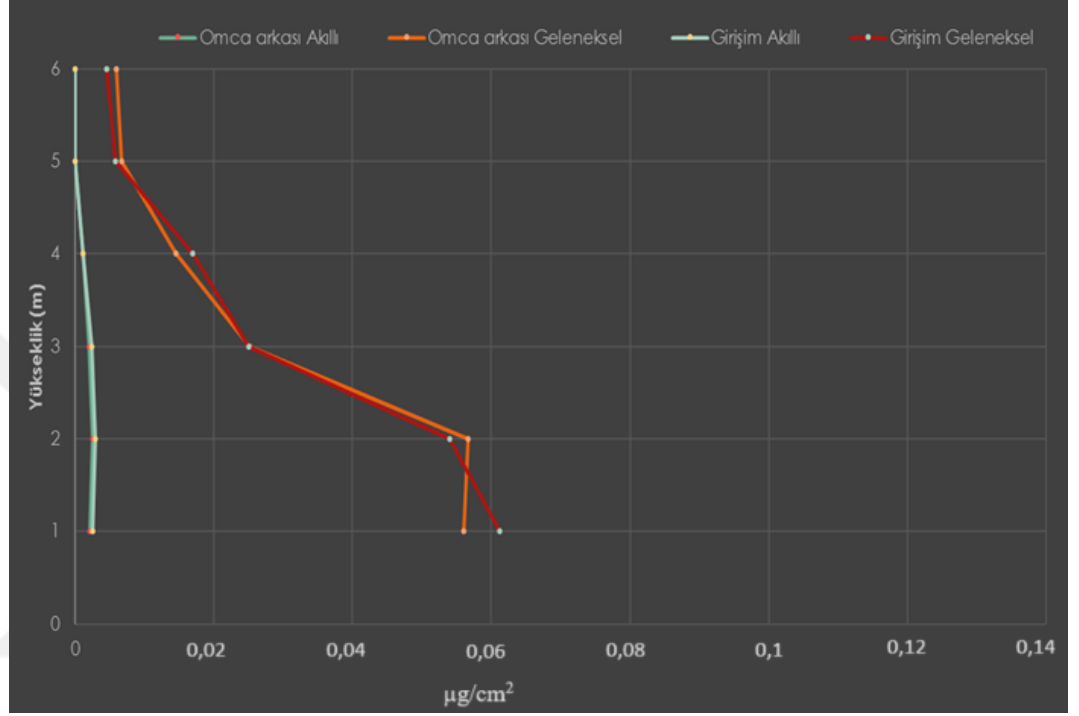
4.4 Akıllı Püskürtme Sisteminin Açık ve Kapalı Olduğu (Geleneksel Pülverizatörle) Durumlarda Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

Bu bölümde bağcılık koşullarında denenerek optimizasyonu gerçekleştirilen akıllı püskürtme sistemi ile aynı koşullarda akıllı püskürtme sisteminin kapalı olduğu sabit uygulama normu durumunda elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Geleneksel pülverizatör verilerinin elde edilmesi amacıyla, geleneksel pülverizatör üzerine bindirilmiş olan akıllı püskürtme sisteminin elemanları devre dışı bırakılarak uygulamalar yapılmıştır.

4.4.1 Çiçeklenme öncesi döneme ait sürüklenme verilerinin karşılaştırılması

Çiçeklenme öncesi uygulama döneminde akıllı püskürtme sisteminin açık olduğu pülverizatörle ile yapılan denemelerden minimum sürüklenme sağlayan deneme sonuçları ile akıllı püskürtme sisteminin kapalı olduğu sabit uygulama normu durumunda (geleneksel pülverizatör) elde edilen verilerin karşılaştırma grafiği Şekil 4.26'da verilmiştir. Şekil 4.26 incelendiğinde omca arkası ve omca arası girişim bölgeleri arkası bölgelerde havaya gerçekleşen sürüklenme miktarlarının karşılaştırmaları görülmektedir. Akıllı püskürtme sistemi kapalı (APK) olduğu sabit uygulama normu durumunda geleneksel pülverizatör ile yapılan denemelerde belirlenen sürüklenme miktarları hem omca arkası bölgede hem de girişim bölgesi arkası bölgede akıllı püskürtme sisteminin açık olduğu pülverizatöre (APA) göre çok daha yüksek olarak belirlenmiştir. Akıllı püskürtme sisteminin açık olduğu ve kapalı olduğu her iki durumda da kendi içerisinde sürüklenme miktarları ilk metrelerde daha yüksek bulunurken üst bölgelere doğru sürüklenme miktarı azalmaktadır. Omca arkası sürüklenme değerleri incelendiğinde sabit norm uygulayan geleneksel pülverizatör (APK) 1. metrede akıllı püskürtme sistemine göre 12,6 kat 2. metrede 15,6 kat, 3. metrede 12,2 kat 4. metrede 13,8 kat daha yüksek sürüklenmeye sebep olduğu belirlenmiştir. Akıllı püskürtme sisteminde 5. ve 6. metrede herhangi bir sürüklenme değeri tespit edilmezken bu akıllı püskürtme sisteminin kapalı olduğu sabit uygulama normu durumunda (geleneksel pülverizatör) 5. metrede $6,4 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 6. metrede

$2,6 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{cm}^2$ olarak belirlenmiştir. Girişim bölgelerinde de akıllı püskürtme sisteminde 5. ve 6. metrelerde sürüklenme gerçekleşmemiştir. Diğer yüksekliklerde geleneksel pülverizatör (APK) akıllı püskürtme sistemine göre 1. metrede 10,6 kat, 2. metrede 13,7 kat, 3. metrede 20,9 kat ve 4. metrede 11,33 kat daha yüksek değerde sürüklenme oluşturmuştur.

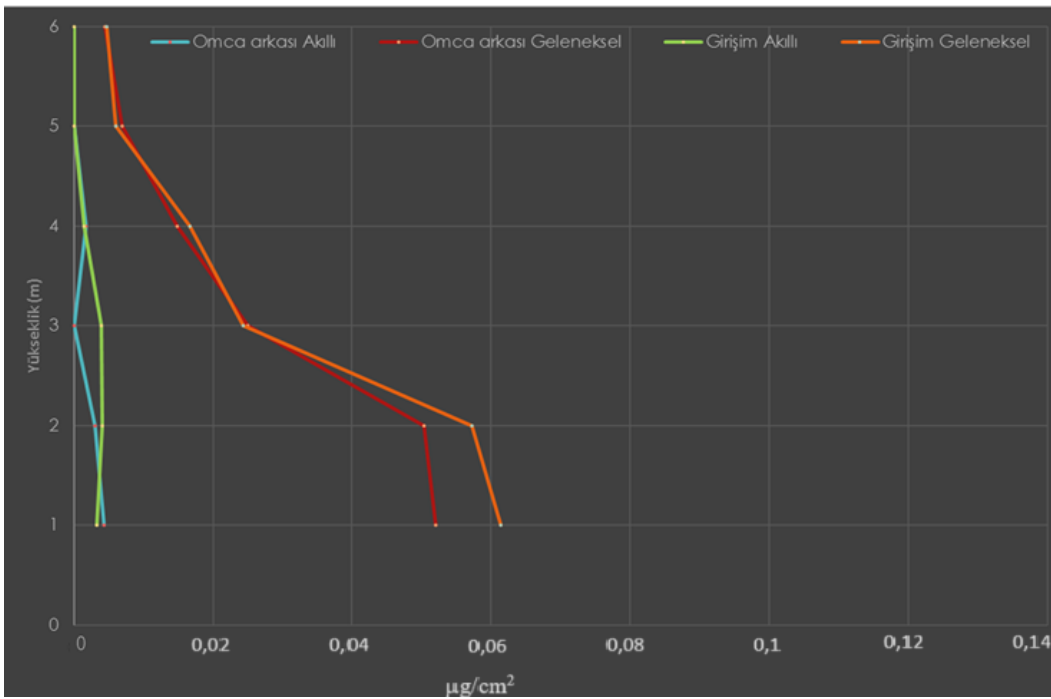


Şekil 4.26. Çiçeklenme öncesi dönemi, akıllı püskürtme sistemi (APA) geleneksel pülverizatörün (APK) havaya sürüklenme değerlerinin karşılaştırılması.

4.4.2 Koruk dönemine ait sürüklenme verilerinin karşılaştırılması

Koruk dönemine ait sürüklenme verilerinde akıllı püskürtme sistemi ile akıllı püskürtme sisteminin kapalı olduğu sabit uygulama normu durumundaki geleneksel pülverizatörün (APK) karşılaştırmalı grafiği Şekil 4.27’de gösterilmiştir. Geleneksel pülverizatör (APK), havaya gerçekleşen sürüklenmelerde tüm yüksekliklerde, akıllı püskürtme sisteminden daha yüksek sürüklenmeye sebep olmuştur. Şekil 4.27 ayrıntılı incelendiğinde omca arkasına gerçekleşen sürüklenmede geleneksel pülverizatör (APK) ile yapılan çalışmada akıllı püskürtme sistemine göre 1. metrede 12,1 kat, 2 metre yükseklikte 16,8 kat 4 metre yükseklikte 8,7 kat daha yüksek sürüklenme tespit edilmiştir. Akıllı

püskürtme sistemi ile 3. metre, 5. metre ve 6. metrelerde sürüklenme tespit edilmezken geleneksel pülverizatörle (APK) omca arkasındaki bu yüksekliklere sırasıyla $24 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{cm}^2$; $7 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ve $4,4 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{cm}^2$ sürüklenme gerçekleşmiştir. Omcalar arası girişim bölgesi arkalarında havaya gerçekleşen sürüklenme miktarlarında ise geleneksel pülverizatör ile akıllı püskürtme sistemi arasında 1. metrede 18,6 kat, 2 metrede 14 kat, 3. metrede 6,3 kat, 4. metrede 11,9 kat sürüklenme gerçekleşmiştir. 5. ve 6. metre yükseklikte akıllı püskürtme sistemi ile sürüklenme gerçekleşmez iken geleneksel pülverizatör (APK) ile 5. metrede $5 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{cm}^2$, 6. metrede $4,8 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{cm}^2$ sürüklenme tespit edilmiştir.

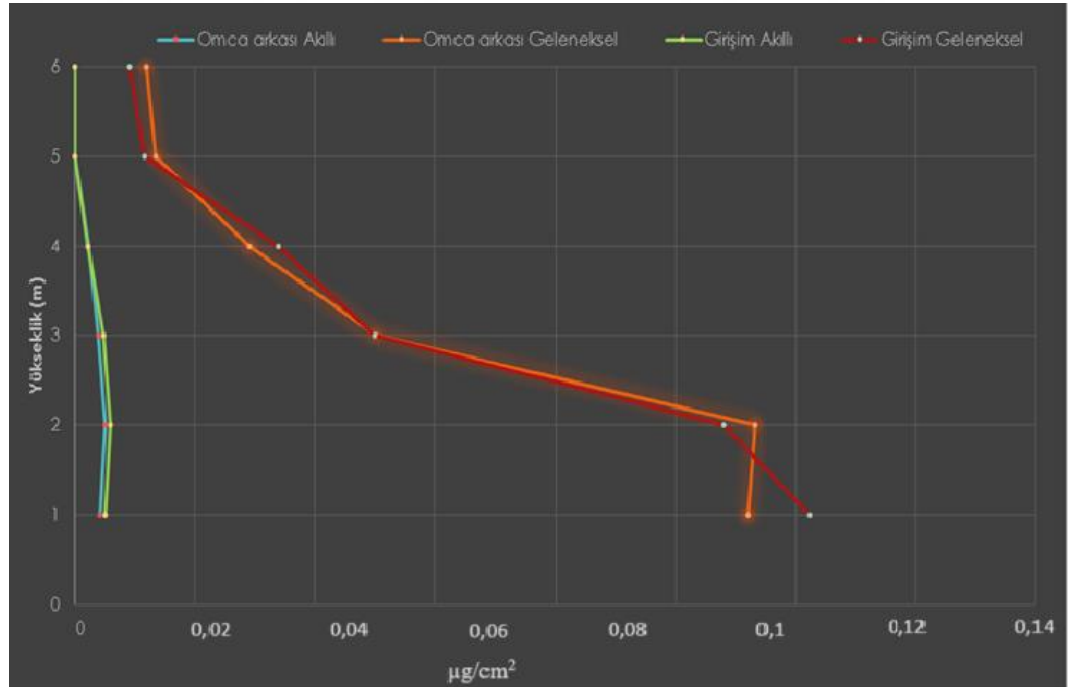


Şekil 4.27. Koruk dönemi, akıllı püskürtme sistemi (APA) geleneksel pülverizatörün (APK) havaya sürüklenme değerlerinin karşılaştırılması.

4.4.3 Meyve tatlanma dönemine ait sürüklenme verilerinin karşılaştırılması

Gelişim dönemlerinden üçüncüsü olan meyve tatlanma döneminde akıllı püskürtme sistemi (APA) ile akıllı püskürtme sisteminin kapalı olduğu (APK) sabit uygulama normu durumunda (geleneksel pülverizatör) havaya gerçekleşen sürüklenme veri kıyaslamaları Şekil 4.28’de verilmiştir. Şekil 4.28 incelendiğinde geleneksel pülverizatör (APK) ile gerçekleştirilen denemelerde akıllı püskürtme

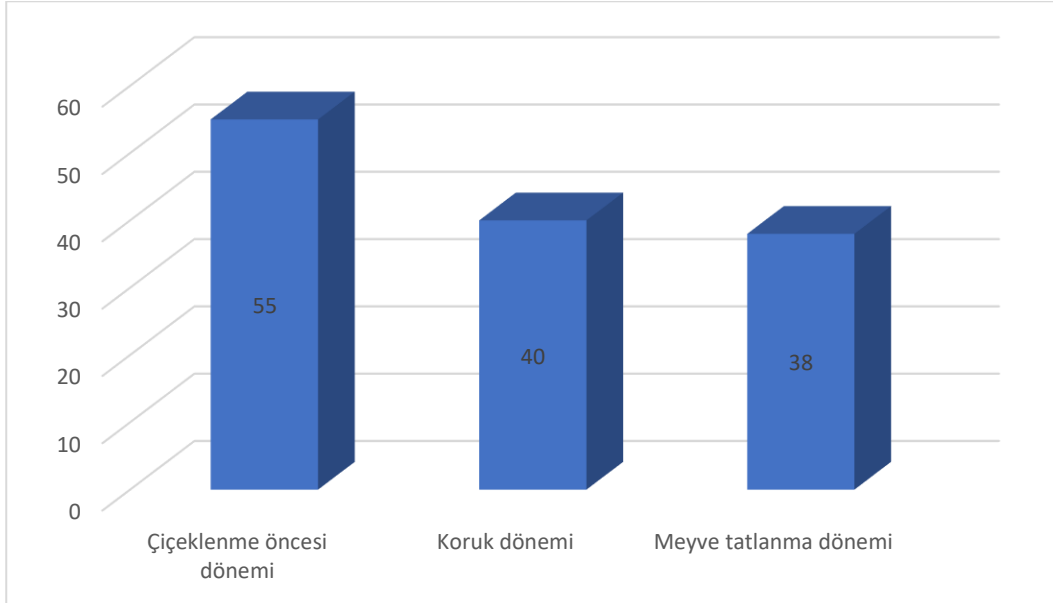
sistemine (APA) göre tüm yüksekliklerde havaya olan sürüklenme daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Omca arkasına yerleştirilen direklerden elde edilen havaya sürüklenme verileri incelendiğinde geleneksel pülverizatör (APK) ile akıllı püskürtme sistemi verileri arasında 1. metrede 26 kat, 2. metrede 21,7 kat, 3 metre yükseklikte 12,6 kat, 4 metre yükseklikte 12,2 kat daha yüksek miktarda sürüklenme tespit edilmiştir. 5 metre ve 6 metre yükseklikte akıllı püskürtme sistemi herhangi bir sürüklenmeye sebep olmazken, geleneksel pülverizatörde (APK) sürüklenme bu yüksekliklerde $1,32 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ve $1,2 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{cm}^2$ olarak tespit edilmiştir. Bağ girişim bölgesinde gerçekleşen sürüklenme miktarlarında da geleneksel pülverizatör (APK), akıllı püskürtme sistemine göre yüksek miktarda sürüklenmeye sebep olmuştur. Aşağıdan yukarıya doğru incelendiğinde geleneksel pülverizatörün (APA), 1 metre yükseklikte 23,5 kat, 2 metre yükseklikte 18,1 kat, 3 metre yükseklikte 10,4 kat 4 metre yükseklikte 14,9 kat daha yüksek miktarda sürüklenme oluşturduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında geleneksel pülverizatörün 5. metrede $5,8 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{cm}^2$, 6. metrede $4,8 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{cm}^2$ sürüklenme oluşturduğu belirlenirken akıllı püskürtme sistemi ile bu yüksekliklerde sürüklenme tespit edilmemiştir.



Şekil 4.28. Meyve tatlanma dönemi, akıllı püskürtme sistemi (APA) geleneksel pülverizatörün (APK) havaya sürüklenme değerlerinin karşılaştırılması.

4.5 Akıllı Püskürtme Sistemi ile Akıllı Püskürtme Sisteminin Kapalı Olduğu Sabit Uygulama Normu Durumunda Geleneksel Pülverizatörün Püskürtülen Sıvı Miktarı Açısından Karşılaştırılması

Denemelerde akıllı püskürtme sistemi ile gerçekleştirilen uygulamalarda asma bitkisi üzerinde gerekli birikim miktarının sağlanması arzu edilirken aşırı doz uygulamalarından kaçınılmaktadır. Aynı şekilde hacme göre uygulama yapıldığından dolayı gereksiz alanlar ilaçlanmamakta böylece hedef dışı sürüklenmelerin önüne geçilmektedir. Çalışmamızda üç gelişim döneminde bu özellikler sağlandığı gibi aynı zamanda püskürtülen sıvı miktarlarında da tasarruf elde edilmiştir. Gelişim dönemlerine göre incelediğimizde akıllı püskürtme sisteminin dönemlerdeki yaprak alanına oranla sıvı miktarı püskürttüğü, geleneksel pülverizatörün ise büyük oranda eşit miktarda sıvı püskürttüğü gözlemlenmiştir. Şekil 4.29'da görüldüğü üzere akıllı püskürtme sistemi, geleneksel pülverizatöre göre çiçeklenme öncesi dönemde %55 koruk döneminde %40 ve meyve tatlanma döneminde ise %38 oranında püskürtülen sıvı ve pestisit miktarında tasarruf sağlanmıştır.



Şekil 4.29. Gelişim dönemlerine göre püskürtülen sıvı miktarı tasarrufu (%).

5. TARTIŞMA

Çiçeklenme öncesi birikim miktarını maksimum noktada veren değerler ilerleme hızının $10,5 \text{ km.h}^{-1}$, hava debisinin, $22115 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, püskürtme oranının $0,13 \text{ l.m}^{-3}$ ve püskürtme derinliğinin $1,9 \text{ m}$ olduğu durumda elde edilmiştir. İlerleme hızı değişkeninin bu çalışmada deneme deseninin uygulama değerlerinde en yüksek değere eşit olduğu görülmektedir. Birikim miktarının yüksek elde edilmesi amaçlandığında bu verileri yüksek hızda elde edebilme imkânı sağlaması birim zamanda daha fazla alanın ilaçlanması anlamına gelmektedir. Hava debisinin ise en düşük değer olan $22000 \text{ m}^3/\text{h}^{-1}$ 'e yakın çıkması daha düşük hava debisi uygulayarak maksimum birikim miktarını sağlanabildiğini göstermektedir. Bu durum yakıt tüketiminin düşürülmesi açısından faydalı olacaktır. İtmeç and Bayat (2021), yaptıkları çalışmada hava debisini maksimumda sağlayan verilerin uygulanması ile yakıt tüketiminin arttığını belirtmişlerdir. Bağımsız değişkenlerden biri olan püskürtme oranının artışı da birikim miktarını arttırmıştır. Çiçeklenme öncesi döneme ait çalışmada sürüklenmeyi minimum değerde veren optimum değerleri incelediğimizde ilerleme hızının $4,59 \text{ km.h}^{-1}$ ile en düşük değere yakın bir değer çıktığı belirlenmiştir. Bu durum birikim miktarının optimize edilmesi durumunda elde edilenin tam tersidir. Bu bağlamda akıllı püskürtme sistemi çiçeklenme öncesi dönemde kullanılması durumunda sürüklenme veya birikim miktarından önemli olduğu düşünülen unsura göre ilerleme hızının seçilmesi uygun olacaktır. Hava debisi değeri ise merkez değere yakın değerde çıkarak $33240 \text{ m}^3/\text{h}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Püskürtme oranı optimum değeri de $0,05 \text{ l/m}^3$ çıkarak püskürtülen miktarın azaltılmasının havaya gerçekleşen sürüklenme değerini de azalttığı görülmektedir. Çelen and Durgut, (2008), yardımcı hava akımlı pülverizatörlere yaptıkları çalışmada ilerleme hızının azaltılmasının sürüklenmeyi azaltıcı bir etki meydana getirdiğini belirlemişlerdir. Bu veri bizim çalışmamızdaki sürüklenme ile alakalı optimum hız değeri ile tutarlılık göstermektedir. Püskürtme derinliği değeri ise birikim maksimizasyonunda olduğu gibi aynı değerde ($1,9 \text{ m}$) çıkmıştır.

Çiçeklenme öncesi döneme ait çoklu cevap optimizasyon verileri incelendiğinde bağımsız değişkenlere ait tüm optimum değerlerin düşük seviyelerde olduğu görülmektedir. Hem çoklu cevap optimizasyonunda hem de

sürüklenmenin minimuma indirilmesi gereken tekli optimizasyonda düşük hız uygulanması sonucu başarı kriterlerinin daha etkili bir şekilde sağlandığı belirlenmiştir. Bununla birlikte Urkan (2012) yaptığı çalışmada hava debisi ile uygulama hacminin düşük tutulması ile en düşük sürüklenme miktarını ölçmesi çalışmamızdaki bu değerlerle tutarlılık göstermektedir.

Yaprak yoğunluğunun arttığı koruk döneminde ilerleme hızı ve hava debisi çiçeklenme dönemine benzer bir şekilde sonuçlar vererek düşük değerlerde uygulama ile birikim miktarına olumlu etkide bulunmuştur. Hızın ve hava debisinin düşük değerlerde uygulanması ile daha kararlı bir uygulama elde edilmesi ve damlacıkların bitki tacı içerisinde tutunmasına katkıda bulunmuştur. Püskürtme oranında ve püskürtme derinliğinde yüksek değerler uygulanması birikim miktarını arttıran etki göstermektedir. Koruk döneminde ilerleme hızı ve püskürtme derinliği çiçeklenme öncesi dönemdeki gibi benzer oranlarda uygulanarak sürüklenmeyi azaltıcı etki göstermiştir. Ancak sürüklenme amacı ile hava debisi ve püskürtme oranında değişiklikler yapılması gerekmektedir. Püskürtme oranı azaltılarak doğru orantılı olarak hedef dışına giden miktar azalmıştır. Genel anlamda koruk döneminde her iki kriteri eş zamanlı olarak sağlanması gerektiğinde ilerleme hızının ve hava debisinin azaltılması, püskürtme derinliği ile püskürtme oranının ise artırılması gerekmektedir. İlerleme hızının düşük uygulandığında başarı kriterlerinin sağlanması, akıllı püskürtme sistemi elemanlarının algılama ve cevap verme sürelerini kaliteleştirmektedir. Hava debisindeki düşük tutulması gereksinimi de damlaların bitki tacı içerisinde tutunumu artırdığını göstermektedir. Püskürtme oranının artırılması ile birlikte de hava debisinin düşük uygulanması, yüksek oranda püskürtülen damlaların sürüklenmeye maruz kalmadan bitki tacı üzerinde birikimi artırıcı etki yapmaktadır. Cross et al. (2003), düşük hava debisi uygulamasının sürüklenmeyi azaltıcı, birikimi arttırıcı bir özellik sergilediğini bildirmiştir. Aynı şekilde Pergher and Petris (2008), bağ koşullarında meyve tatlanma ve koruk döneminde hava debisinin düşük olduğu denemelerde bitki tacı üzerindeki birikimin yüksek bulunduğunu bildirmişlerdir. Çalışmalarda belli miktarı aşmayan hava debisinin bağ koşullarında gerekli birikimi sağlaması açısından yeterli olduğu sonucuna varılabilir. Dekeyser ve et al. (2014), yapay bağ ortamında yüksek hava debisi uygulanmasının ağaç arkasına gerçekleşen sürüklenmeyi artırdığını tespit

etmişlerdir. Bu durum çalışmamızdaki çoklu cevap optimizasyonu ve sürüklenmeyi minimumda veren optimum hava debisi verileri ile benzerlik göstermektedir.

Değerlendirilen gelişim dönemlerinde son dönem olan meyve tatlanma döneminde birikim miktarını maksimum olarak veren optimum değerler bu dönemle yakın bitki tacı hacmine sahip olan koruk döneminde tespit edilen optimum değerler ile büyük benzerlik göstermektedir. Burada akıllı püskürtme sisteminin bitki tacı algılamasının doğruluğunu göstermesi açısından önemlidir.

Sürüklenmeyi minimum seviyede tutulması amacıyla bağımsız değişkenlerden ilerleme hızının çoğu dönem optimizasyonunda olduğu gibi düşük seviyelerde uygulanması gerekmektedir. Hava debisi değerinin $40679 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ olduğu görülmekle birlikte yüksek hava debisinin sürüklenme üzerinde azaltıcı etkisi görülmüştür. Boş bölgelere uygulama yapılmayıp tamamen bitki tacı üzerine püskürtülen damlaların sürüklenme olanağı bulmadan hızlıca hedef bitki üzerine ulaştığı bu bağlamda düşünülebilir. Dönemler arasında kıyaslama yapıldığında sürüklenmede minimum değerleri sağlayan optimum hava debisi miktarı ve püskürtme oranı değerleri en yüksek meyve tatlanma döneminde tespit edilmiştir. Bitki tacı hacminin biraz daha artması ve salkım büyüklüklerinin en yüksek olduğu hale gelmesi sebebiyle yüksek hava debisi ile yüksek oranda püskürtme oranının damlaların büyük çoğunluğunun bitki tacı içine tutunmasına sebep olduğu söylenebilir. Aynı zamanda akıllı püskürtme sisteminin bitki varlığı tespitinin ve hacim hesaplamasının yeterli derecede başarılı olması bu duruma katkıda bulunmaktadır.

Çoklu cevap optimizasyon verilerinde ilerleme hızının ve hava debisinin optimum seviyelerinin düşük değerlerde olduğu görülmüştür. Püskürtme oranı ve püskürtme derinliği verileri ise yüksek değerlerde optimum değerleri sağlamıştır. Püskürtme oranı verisi optimum koşulları sağlamak amacıyla meyve tatlanma dönemindeki yüksek bitki tacı hacmi ile yüksek seviyelere ihtiyaç duymuştur. Diğer dönemler ile karşılaştığında yaprak alan indeksi arttıkça optimum püskürtme oranı değeri artış göstermiştir. Birikim açısından değerlendirildiğinde akıllı

püskürtme sisteminin bitki hacmini doğru algılayarak maksimum birikim amacı ile püskürtme oranını yani püskürtülen sıvı miktarını artırmaktadır.

Akıllı püskürtme sistemi çalışma yapılan tüm yetiştirme dönemlerinde sabit norm uygulayan akıllı püskürtme sisteminin devre dışı bırakıldığı (geleneksel pülverizatör) sisteme göre sürüklenme miktarında önemli derecede azalma meydana getirmiştir. Akıllı püskürtme sistemi ile yeterli birikim miktarının sağlanması yanında pestisit ve sıvı miktarında tasarruf sağlamıştır. Boatwright et al. (2020), akıllı pülverizatör ile geleneksel pülverizatörü şeftali bahçesi koşullarında 3 farklı gelişim döneminde karşılaştırmış, akıllı pülverizatörün geleneksel pülverizatöre oranla havaya sürüklenmenin akıllı pülverizatörle yapılan uygulamalarda azaldığını özellikle bu azalmanın çiçeklenme döneminde daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. Partel et al. (2021) olgun, genç ve ölü ağaç varlığının bulunduğu portakal bahçelerinde akıllı pülverizatör ile yaptıkları çalışmada ağaç türlerinin tespitinde %84 oranında başarı sağlamışlardır. Aynı zamanda %28 sıvı pestisit tasarrufu sağlamışlardır. Akıllı püskürtme sistemlerinin bitki tacı algılama ve hesaplamalara göre değişen oranda sıvı püskürtme özelliği hem bu çalışmada hem de bizim çalışmamızda başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Hem toplam hem de dönemsel olarak sürüklenme azalışı bizim çalışmamızla tutarlıdır. Bu bağlamda gerek çevre kirliliği, insan sağlığı, hayvan sağlığı gerekse maliyetlerin düşürülmesi açısından da akıllı püskürtme sistemi olumlu sonuçlar vererek tarımsal üretime ekonomik, çevreci ve olumlu katkıda bulunmaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmasının tamamlanması ile modifiye edilerek geleneksel yardımcı hava akımlı pülverizatöre takılan akıllı püskürtme sisteminin bağ üretim sezonunda 3 ayrı gelişim döneminde optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. İlerleme hızı, hava debisi, püskürtme oranı ve püskürtme derinliği değişkenlerinin uygulanması gereken optimum değerler belirlenmiştir. Böylece akıllı püskürtme sisteminin başarı kriterlerinden olan birikim miktarının yeterli birikim sağlayacak şekilde artırılması, sürüklenme miktarının ise azaltılması amacıyla gerekli veriler belirlenmiştir. Bununla birlikte akıllı püskürtme sisteminin geleneksel pülverizatörle karşılaştırmaları yapılarak, pestisit-su tüketimi ve sürüklenme verileri incelenmiştir. Geleneksel pülverizatör ile çalışma durumu aynı pülverizatörde bulunan akıllı püskürtme sisteminin devre dışı bırakılmasıyla sağlanmıştır. Bu tez çalışmasında elde edilen veriler aşağıda özetlenmiştir.

Tez çalışmasında çiçeklenme öncesi dönemde akıllı püskürtme sisteminin havaya gerçekleşen sürüklenme miktarını azaltmada önemli derecede etkili olduğu belirlenmiştir. Akıllı püskürtme sisteminin devre dışı bırakıldığı geleneksel pülverizatör (APK) örnek alınan 6 metrelik direklerin üzerinde tüm yüksekliklerde sürüklenme meydana getirmiş fakat akıllı püskürtme sistemi ile yapılan çalışmalarda 5 metre ve üstünde sürüklenme belirlenmemiştir. 1 ile 4 metre yüksekliklerinde ise geleneksel pülverizatör (APK) akıllı püskürtme sistemine göre 10,6 ile 20,9 (3 metre-girişim bölgesi) kat aralığında değişen miktarlarda daha fazla sürüklenme meydana getirmiştir. Ayrıca Çiçeklenme öncesi dönemde akıllı püskürtme sistemi geleneksel pülverizatörden (APK) %55 daha az pestisit ve su püskürttüğü tespit edilmiştir.

Çiçeklenme öncesi dönemde akıllı püskürtme sisteminin tez çalışmasında belirlenen en uygun çalışma koşulları ilerleme hızının $4,61 \text{ km.h}^{-1}$, fan hava debisinin $25486 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, püskürtme oranının $0,05 \text{ l.m}^{-3}$ ve püskürtme derinliğinin ise $1,33 \text{ m}$ olduğu koşullar olarak belirlenmiştir. İstatistik programı bu değişken seviyeleri ile yapılan çalışmada İstenilirlik (desirabilite) fonksiyonu 1,0; birikim miktarını $52,4 \times 10^{-3} \text{ } \mu\text{g/cm}^2$ ve sürüklenme miktarını da $0,66 \times 10^{-3} \text{ } \mu\text{g/cm}^2$ belirlemiştir.

İkinci gelişme dönemi olan koruk döneminde de akıllı püskürtme sistemi bitki tacı içerisinde yeterli birikim miktarını sağlarken sürüklenme miktarında da geleneksel pülverizatörden çok daha çevreci sonuçlar vermiştir. Akıllı püskürtme sistemi ile yapılan çalışmada omca arkası bölgede 3, 5, ve 6. Metrelerde sürüklenme görülmemiştir. Girişim bölgesinde de 5. ve 6. metrelerde sürüklenme tespit edilmemiştir. Geleneksel pülverizatör (APK) ile yapılan çalışmalarda ise tüm yüksekliklerde sürüklenme tespit edilmiştir. Akıllı püskürtme sistemi özellikle girişim bölgesi 1. metrede geleneksel pülverizatörden (APK) 18,6 kat daha az sürüklenmeye sebep olmuştur. Ayrıca bu dönemde akıllı püskürtme sistemi ile geleneksel pülverizatöre (APK) oranla %40 kimyasal tasarrufu sağlanmıştır.

Koruk dönemine ait en uygun çalışma koşullarını incelediğimizde ilerleme hızının $4,5 \text{ km.h}^{-1}$ hava debisinin $22733 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, püskürtme oranının $0,084 \text{ l.m}^{-3}$ püskürtme derinliğinin 1,79 m olduğu koşullarda en yüksek birikim miktarı ile en düşük sürüklenme miktarı verileri elde edilebilecektir. Bu koşullar uygulandığında tahmini birikim miktarı $126,6 \times 10^{-3} \mu\text{g/cm}^2$, sürüklenme miktarı $4,6 \times 10^{-3} \mu\text{g/cm}^2$, istenilirliği ise 0,7 olmuştur.

Son gelişme dönemi olan meyve tatlanma döneminde de diğer iki dönemde benzer şekilde sürüklenme, püskürtülen toplam pestisit ve su miktarı gibi özelliklerde akıllı püskürtme sistemi geleneksel pülverizatöre (APK) oranla başarı kriterlerini daha iyi yerine getirmiştir. Akıllı püskürtme sistemi ile omca arkası ve girişim bölgelerinde 5 ve 6. metrelerde sürüklenme tespit edilmemiştir. Diğer bölgelerde ise geleneksel pülverizatör (APK) ile akıllı püskürtme sistemine kıyasla en düşüğü 10,4 kat (girişim bölgesi 3. metre) en yükseği 26 kat (omca arkası 1.metre) olmak üzere yüksek sürüklenme miktarları tespit edilmiştir. Akıllı püskürtme sisteminin pestisit ve su tasarrufu ise meyve tatlanma döneminde %38 olarak tespit edilmiştir.

Akıllı püskürtme sisteminin meyve tatlanma dönemi uygulamasında en uygun çalışma koşulları ilerleme hızının $4,5 \text{ km.h}^{-1}$, hava debisinin $24425 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, püskürtme oranının $0,112 \text{ l.m}^{-3}$ ve püskürtme derinliğinin 1,9 m olduğu koşullar olarak belirlenmiştir. Bu koşullar ile uygulama yapıldığında birikim miktarının en

yüksek ve sürüklenme miktarının en düşük olduğu sonuçlar elde edilebilecektir. İstatistik programına göre istenilirlik (desirabilite) değeri 0,825 olacak şekilde tahmini birikim miktarı $138,4 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{cm}^2$, sürüklenme miktarı ise $3,4 \times 10^{-3} \mu\text{g}/\text{cm}^2$ tespit edilmiştir.

Tez çalışması sonucunda bağ yetiştiriciliğinde akıllı püskürtme sistemi birikim, sürüklenme ve pestisit- su tasarrufu gibi kriterleri başarıyla sağlamıştır. Bu durum üretici giderlerini azalttığı gibi ilaçlama sebebiyle oluşan çevre kirliliğinin önüne geçecektir.

Bağda kimyasal mücaledede sıklıkla kullanılan klasik yardımcı hava akımlı pülverizatörlere gerekli ekipman ve uygun tekniklerle akıllı püskürtme sisteminin takılması ve böylece değişken oranlı uygulama yapan pülverizatörlerin tarımsal üretime katılması değerlendirilmelidir.

Üretime katılan akıllı püskürtme sistemi ile özellikle Ege Bölgesi bağcılığında tez çalışmasında optimum koşulları tespit edilen değerlerin uygulanması daha başarılı bir uygulama yapılmasını sağlayacaktır.

İlerleme hızının artırılması ile birlikte başarı kriterlerinin de artışına sebep olan ya da benzer sonuçları veren çalışmalar yapılmalıdır. Böylece birim zamanda daha fazla alan ilaçlanarak iş başarısı artırılmış olacaktır.

Akıllı püskürtme sisteminin önemli elemanlarından olan selenoid valflerin PWM (Sinyal genişlik modülasyonu) kontrollü tipleriyle yeni çalışmalar yapılarak geniş sıvı debi seçenekleri oluşturulabilir. Ayrıca PWM kontrollü sistemler ile tek meme üzerinden debi seçeneği sağlanacağı için püskürtme memesi sayısı azaltılacaktır. Böylece akıllı püskürtme sisteminin daha kullanışlı ve pratik hale getirilmesi sağlanabilir.

Akıllı püskürtme sisteminin elde edilen optimum çalışma koşulları ile Ege Bölgesi bağcılığında yoğun olarak görülen hastalık ve zararlılara karşı biyolojik etkinlikleri araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Agrios, G. N.**, 2005, Plant pathology, Elsevier Academic Press, London 992 p.
- Asaei, H., Jafari, A. and Loghavi, M.**, 2019, Site-specific orchard sprayer equipped with machine vision for chemical usage management, Computers and Electronics in Agriculture, 162:431-439 pp.
- Bakırcı, G.T., Acay, D.B.Y., Bakırcı, F. and Ötleş, S.**, 2014, Pesticide residues in fruits and vegetables from the aegean region, Food Chemistry, 160, 379-392 pp.
- Balsari, P., Doruchowski, G., Marucco, P., Tamagnone, M., Van de Zande, J. and Wenneker, M.**, 2008, System for Adjusting the Spray Application to the Target Characteristics, Agricultural Engineering International the CIGR EJournal, 8 (002).
- Bayat, A. ve Tangolar, S.**, 1994, Bağ ilaçlamada farklı tip pülverizatörlerin terbiye sistemlerine göre sağladıkları etkinliklerin saptanması, Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 9 (4): 135-150 s.
- Boatwright, H., Zhu, H., Clark, A. and Schnabel, G.**, 2020, Evaluation of the intelligent sprayer system in peach production, Plant disease, (104) 3207-3212 pp.
- Box, G.E. and Norman R.D.**, 1987, Empirical Model-Building and Response Surfaces. New York: John Wiley and Sons.
- Brown, D.L., Giles, D.K., Oliver. M.N. and Klassen, P.**, 2008, Targeted spray technology to reduce pesiticide in runoff from dormant orchards, Crop protection (27) 545-552 pp.
- Chen, Y., Zhu, H., Özkan., E. and Krause, C.R.**, 2013, Spray drift and off-target loss reduction with a precision air -assisted sprayer Transactions of the Asabe 56 (6) 1273 p.
- Cross, V.J., Walklate, P., Murray, R.A. and Richardson, G.M.**, 2003, Spray deposits and losses in different sized apple trees from an axial fan orchard sprayer: 3. Effects of air volumetric flow rate, Crop protection 22 (2), 381-394 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Çelen, İ.H. and Durgut, M.R.**, 2008, The Effect of the Air Blast Sprayer Speed on the Chemical Distribution in Vineyard, Pakistan Journal of Biological Sciences, 11 (11) 1472-6.
- Değirmencioğlu, A. ve Yazgı, A.**, 2006, Tepki yüzeyleri metodolojisi optimizasyon esaslı çalışmalara ilişkin teorik esaslar ve tarımsal mekanizasyon uygulamaları, Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 2(2) 111-115 s.
- Dekeyser, D., Foque, D., Duga, A.T., Verboven, P., Hedrickx, N. and Nuyttens, D.**, 2014, Spray deposition assessment using different application techniques in artificial orchard trees, Crop protection 64, 187-197 pp.
- Escola, A., Rosell- Polo, J.R., Planas, S., Gil, E., Pomar, J., Camp, F., Llorens, J. and Solnalles, F.**, 2013, Variable rate sprayer Part 1 – Orchard prototype, design, implementation and validation Computers and Electronics in Agriculture, (95) 122-135 pp.
- FAO**, 2021, <https://www.fao.org/faostat/> (Erişim tarihi: 19 Aralık 2021)
- Fox, R.D., Derksen, R.C., Brazee, R.D. and Özkan, H.E.**, 1998, Drift measurement: Methods and Techniques. Fabe Department, The Ohio State University, 16 p.
- Gil, E., Barrufet, J.M., Cluet, M. and Teruel, J.A.**, 1998, Improvement of the pesticide applications in Vineyard. Relationship between methodology of Application and Quality Parameters, 98- A-015.
- Gil, E., Escolà, A., Rosell, J.R., Planas, S. and Val, L.**, 2007, Variable rate application of plant protection products in vineyard using ultrasonic sensors. Crop Protection, vol. 26, 1287-1297 pp.
- Gil, E., Llorens, J., Llop, J., Fabregas, X., Escola, A. and Rosell-Polo J.R.**, 2013, Variable rate sprayer. Part 2- vineyard prototype: design implementation and validation, Computers and Electronics in Agriculture, (95) 136-150 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Gil, E., Campos, J., Ortega, P., Llop, J., Grass, A., Armengol, E., Salcedo, R. and Gallart, M.**, 2019, Computers and Electronics in Agriculture, (160) 117-130 pp.
- Güler, H.**, 2002, Değişken hava akımı ve ilaç Püskürtme Yöntemlerinin Tele Alınmış Bağlarda ilaç dağılım düzgünlüğüne olan etkileri Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- Grella, M., Gallart, M., Marucco, P., Balsari, P. and Gil, E.**, 2017, Ground deposition and airborne spray drift assesment in vineyard amd orchard: the influence of enviromental variables and sprayer settings. Sustainability 9 (5) 728 p.
- Hofman, V. and Solseng, E.**, 2001, Reducing Spray Drift. AE-120, Agricultural and Biosystems Engineering.
- İtmeç, M. and Bayat, A.**, 2021, Determination of the optimum operating parameters of an axial fan used on the conventional air blast orchard sprayer, nternational Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences" (JAEFS) Dergisi, 5 (3) 405-412 pp.
- Jeon, H.Y., Zhu, H., Derksen, R., Özkan, E. and Krause, C.**, 2011, Evaluation of ultrasonic sensor for variable- rate spray applications, Computers and Electronics in Agriculture, (75)213-211.
- Kocabıyık, H., Sümer, K.S., Tuncel, B.N., Büyükcan, B. ve Yılmaz, N.**, 2012, İnfrared kurutma yönteminin domates kurutmada kullanılması ve kurutulmuş domatesin bazı kalite özellikleri ve özgül enerji tüketimi üzerine etkilerinin belirlenmesi. TÜBİTAK Proje Raporu, Proje No: 109 O 578.
- Lazic, Z.R.**, 2004, Design of experiments in chemical engineering, Wiley- VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, Weinheim 620 p.
- Li, L., He, X., Song, J., Liu, Y., Zeng, A., Liu.Y., Liu, C. and Liu, Z.**, 2018, Design and experiment of variable rate orchard sprayer based on laser scanning sensor, International Journal of Agricultural and Biological Engineering, (11): 101-108 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Llorens, J., Gil, E., Llop, J. and Escola, A.,** 2010, Variable rate dosing in precision viticulture: use of electronic devices to improve application efficiency. Crop protection 29 (3): 239-248 pp.
- Nuytens, D., De Schamphelre, M., Verboven, P., Brusselman, E. and Dekeyser, D.,** 2009, Droplet size and velocity characteristics of agricultural sprays, Transaction of the ASAE 52 (5), :1471-1480 ISSN 001-2351.
- Urkan, E.,** 2012, Farklı tip memelerle bağ ilaçlamasında pülverizatör performansının ve sürüklenmenin belirlenmesi Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 118 s.
- Partel, V., Costa, L. and Ampatzidis, Y.,** 2021, Smart tree crop sprayer utilizing sensor fusion and artificial intelligence, Computers and Electronics in Agriculture, (191).
- Pekitkan, G. and Güler, H.,** 2019, Development of a Smart Sprayer for Effective Application in Vineyards, Fresenius Environmental Bulletin Vol 22 (11A) 8357-8367 pp.
- Pergher, G. and Gubiani, R.,** 1995, The effect of spray application rate and airflow rate on foliar deposition in a hedgedrow vineyard, Agricultural engineering Res. (61): 205-216 pp.
- Pergher, G. and Petris, R.,** 2008, The Effect of Air Flow Rate on Spray Deposition in a Guyot-trained Vineyard, Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript ALNARP 08 010.
- Pezzi, F. and Rondelli, V.,** 2000, The performance of an Air-Assisted Sprayer Operating in Vines J. Agric. Eng. Res. 76, 331-340 pp
- Salcedo, R., Zhu, H., Zhang, Z., Wei, Z., Chen, L., Özkan, E. and Falchieri, D.,** 2020, Foliar deposition and coverage on young apple trees with PWM-controlled spray systems Computers and Electronics in Agriculture, (178).
- Salyani, M., Miller, D.R., Farooq, M. and Sweeb, R.D.,** 2013, Effects of sprayer operating parameters on airborne drift from citrus air- carrier sprayers, Agricultural Engineering CIGR Journal 15 (1) 27-36 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Solanelles, F., Escola, A., Planas, S., Rosell, J.R., Camp, H. and Gracia, F.,** 2006, An electronic control system for pesticide application proportional to the canopy width of tree crops, *Biosystems Engineering* 95 (4) 473-481 pp.
- Vanucci, D., Pochi, D. and Raparelli, E.,** 1998, Spraying in vineyard evaluation of ari-borne spray by aspirated air sampler, *Agricultural Mechanization Research Institute-Operative Machinery Division, Roma/İtalya*.
- Wang, L., Yue, X., Liu, Y., Wang, J. and Wang, H.,** 2019, An intelligent vision based sensing approach for spraying droplets deposition detection, *Sensors*, (933) 19 p.
- Xun, L., Campos, J., Salas, B., Fabregas, X.F., Zhu, H. and Gil, E.,** 2023, Advanced spraying systems to improve pesticide savings and reduce spray drift for apple orchards, *Precision Agriculture*, 24: 1526-1546 pp.
- Zhai, C., Wang, X., Liu, D.Y., Ma, W. and Mao, Y.J.,** 2011, Nozzle flow model of high pressure variable- rate spraying based on pwm technology, *Advanced Materials Research*, (422) 208-217 pp.
- Zhang, Z., Wang, X., Lai, Q. and Zhang, Z.,** 2018, Review of variable-rate sprayer applications based on real- time sensor technologies, *Automation in agriculture: Securing food supplies for future generations in Tech Publishing London, UK* 53-79 pp.
- Zhu, H., Reichard, D.L., Fox, R.D., Brazee, R.D. and Özkan, H.E.,** 1994, Simulation of drift of discrete sizes of water droplets from field sprayers *Transactions of the ASAE*, 37 (5): 1401-1407.
- Zürey, Z., Sabancı, K. and Balcı, S.,** 2020, Automatic nozzle control system with ultrasonic sensor for orchard sprayers, *European Journal of Technique*, (2): 267-273 pp.

TEŞEKKÜR

Doktora tez çalışmamın oluşturulması, yürütülmesi ve sonuçlandırmasında katkılarıyla bana rehberlik eden, değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, her zaman destek olan, birlikte çalışmaktan büyük memnuniyet duyduğum danışman hocam Sn. Prof. Dr. Hüseyin GÜLER'e; tez süreci içerisinde tüm katkılarından dolayı tez izleme komitesi üyesi hocalarım Prof. Dr. Adnan DEĞİRMENCİOĞLU ve Prof. Dr. Ferit TURANLI'ya; tez değerlendirmesinde ve istatistiksel hesaplamalarda yardımlarından dolayı Prof. Dr. Habip KOCABIYIK'a; çalışmamın uygulama aşamasında atölye, arazi ve laboratuvar işlerinde yardımlarını esirgemeyen Dr. Erkan ÜRKAN, Zir. Müh. Bakıcan EMİR, Mustafa ÖZOĞUL ve Arş. Gör. Hürkan Tayfun VAROL'a, yazılım konusunda desteklerinden dolayı Zir. Müh. Hakan VURAN'a; değerlendirme aşamasında bilgi ve tecrübelerine danıştığım Arş. gör. Utku ŞANVER, Dr. Fırat KÖMEKÇİ ve Dr. Ceren KÖMEKÇİ'ye, her türlü desteklerini hissettiğim Ege üniversitesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği bölümü Öğretim üyeleri ve Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği bölümü Öğretim üyeleri'ne hayatımın her alanında her türlü maddi manevi desteklerini esirgemeyen sevgili babam Nadir ÜRKMEZ, annem Ayşe ÜRKMEZ ve kardeşim A. Fatih ÜRKMEZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

06 / 09 / 2023

Ünal ÜRKMEZ

ÖZGEÇMİŞ

Ünal ÜRKMEZ ilkokul eğitimini Türk Hava Kurumu ilkokulunda, ortaokul eğitimini Ahmet Tütüncüoğlu orta okulunda, lise eğitimini Dünder Çiloğlu Anadolu Lisesinde tamamladı. Üniversite eğitimini Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği bölümünde 2010 yılında tamamladı. 2010 yılında Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği bölümünde Araştırma görevlisi kadrosuna atanarak yüksek lisans eğitimini Aynı bölümde tamamladı. 2016 yılında 2547 sayılı kanunun 35. Maddesi gereğince Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalına Araştırma Görevlisi olarak atanarak 2023 yılına kadar görev yaptı. Akademik hayatına Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği bölümünde devam etmektedir.

EKLER

EK 1. Çiçeklenme öncesi döneme ait birikim miktarı varyans analizi

Ek 2. Çiçeklenme öncesi döneme ait sürüklenme verileri varyans analizi

EK 3. Koruk dönemi birikim miktarı varyans analizi

EK 4 . Koruk dönemi sürüklenme verileri varyans analizi

Ek 5. Meyve dönemi birikim miktarı verileri varyans analizi

Ek 6. Meyve dönemi sürüklenme verileri varyans analizi

Ek 1. Çiçeklenme öncesi döneme ait birikim miktarı varyans analizi

Kaynak	Kareler toplamı	Df	Kareler ortalaması	F - oranı	P-Değeri
A:Hız	0.00235422	1	0.00235422	1.07	0.3171
B:HD	0.00404393	1	0.00404393	1.84	0.1950
C:PO	0.00909491	1	0.00909491	4.14	0.0600
D:PD	0.00144514	1	0.00144514	0.66	0.4301
AA	0.00251784	1	0.00251784	1.15	0.3014
AB	0.0000201167	1	0.0000201167	0.01	0.9250
AC	0.00938719	1	0.00938719	4.27	0.0565
AD	0.00131378	1	0.00131378	0.60	0.4514
BB	0.0000196615	1	0.0000196615	0.01	0.9259
BC	0.00462925	1	0.00462925	2.11	0.1673
BD	0.000803877	1	0.000803877	0.37	0.5543
CC	0.0013203	1	0.0013203	0.60	0.4503
CD	0.00176983	1	0.00176983	0.81	0.3837
DD	0.00358666	1	0.00358666	1.63	0.2208
Total error	0.0329631	15	0.00219754		
Total (corr.)	0.0738561	29			
R ²	55,37				

EK 2. Çiçeklenme öncesi döneme ait sürüklenme verileri varyans analizi

Kaynak	Kareler toplamı	Df	Kareler ortalaması	F - oranı	P-Değeri
A:Hız	0.00111548	1	0.00111548	9.91	0.0066
B:HD	0.000338851	1	0.000338851	3.01	0.1033
C:PO	0.00109593	1	0.00109593	9.73	0.0070
D:PD	0.0000224654	1	0.0000224654	0.20	0.6615
AA	0.0000436753	1	0.0000436753	0.39	0.5428
AB	0.00000308003	1	0.00000308003	0.03	0.8708
AC	0.00000526703	1	0.00000526703	0.05	0.8317
AD	8.93025E-7	1	8.93025E-7	0.01	0.9302
BB	0.00194141	1	0.00194141	17.24	0.0009
BC	0.000232715	1	0.000232715	2.07	0.1711
BD	0.000278723	1	0.000278723	2.48	0.1365
CC	0.000013416	1	0.000013416	0.12	0.7347
CD	0.00000704902	1	0.00000704902	0.06	0.8058
DD	0.000203581	1	0.000203581	1.81	0.1987
Total hata	0.00168887	15	0.000112591		
Total (kor.)	0.00731396	29			
R ²	76,909				

EK 3. Koruk dönemi birikim miktarı varyans analizi

Kaynak	Kareler toplamı	Df	Kareler ortalaması	F - oranı	P-Değeri
A:Hiz	0.00751515	1	0.00751515	0.66	0.4310
B:HD	0.112415	1	0.112415	9.80	0.0069
C:PO	0.00839507	1	0.00839507	0.73	0.4058
D:PD	0.000338364	1	0.000338364	0.03	0.8659
AA	0.0244048	1	0.0244048	2.13	0.1653
AB	0.0042301	1	0.0042301	0.37	0.5528
AC	0.0209277	1	0.0209277	1.82	0.1969
AD	0.0345597	1	0.0345597	3.01	0.1031
BB	0.0311463	1	0.0311463	2.71	0.1202
BC	0.00498152	1	0.00498152	0.43	0.5199
BD	0.0150404	1	0.0150404	1.31	0.2702
CC	0.12996	1	0.12996	11.33	0.0042
CD	0.0289879	1	0.0289879	2.53	0.1328
DD	0.000317889	1	0.000317889	0.03	0.8700
Total error	0.172099	15	0.0114733		
Total (corr.)	0.610924	29			
R²	71,83				

Ek 4. Koruk dönemi sürüklenme verileri varyans analizi

Kaynak	Kareler toplamı	Df	Kareler ortalaması	F - oranı	P-Değeri
A:Hiz	0.0000695642	1	0.0000695642	0.84	0.3740
B:HD	1.35E-7	1	1.35E-7	0.00	0.9683
C:PO	0.000640873	1	0.000640873	7.74	0.0140
D:PD	0.0000217742	1	0.0000217742	0.26	0.6156
AA	0.0000130587	1	0.0000130587	0.16	0.6969
AB	0.0000190532	1	0.0000190532	0.23	0.6384
AC	0.0000015876	1	0.0000015876	0.02	0.8917
AD	0.0000011664	1	0.0000011664	0.01	0.9071
BB	0.000242556	1	0.000242556	2.93	0.1077
BC	3.24E-8	1	3.24E-8	0.00	0.9845
BD	0.0000046656	1	0.0000046656	0.06	0.8156
CC	0.000556355	1	0.000556355	6.72	0.0204
CD	0.0000867692	1	0.0000867692	1.05	0.3223
DD	0.0000645227	1	0.0000645227	0.78	0.3914
Total error	0.00124261	15	0.0000828408		
Total (corr.)	0.00280964	29			
R²	55,77				

Ek 5. Meyve dönemi birikim miktarı verileri varyans analizi

Kaynak	Kareler toplamı	Df	Kareler ortalaması	F - oranı	P-Değeri
A:Hiz	0.000674133	1	0.000674133	0.06	0.8057
B:HD	0.0168647	1	0.0168647	1.57	0.2297
C:PO	0.00270603	1	0.00270603	0.25	0.6232
D:PD	0.0120265	1	0.0120265	1.12	0.3070
AA	0.0240235	1	0.0240235	2.23	0.1558
AB	0.00359887	1	0.00359887	0.33	0.5715
AC	0.0144194	1	0.0144194	1.34	0.2650
AD	0.0344226	1	0.0344226	3.20	0.0938
BB	0.0195532	1	0.0195532	1.82	0.1975
BC	0.00552065	1	0.00552065	0.51	0.4847
BD	0.0169257	1	0.0169257	1.57	0.2289
CC	0.0524074	1	0.0524074	4.87	0.0433
CD	0.0228791	1	0.0228791	2.13	0.1653
DD	0.00142946	1	0.00142946	0.13	0.7205
Total error	0.16132	15	0.0107546		
Total (corr.)	0.486368	29			

Ek 6. Meyve dönemi sürüklenme verileri varyans analizi

Kaynak	Kareler toplamı	Df	Kareler ortalaması	F - oranı	P-Değeri
A:Hiz	6.83438E-8	1	6.83438E-8	0.00	0.9725
B:HD	0.0000991665	1	0.0000991665	1.78	0.2021
C:PO	0.00000170859	1	0.00000170859	0.03	0.8634
D:PD	0.000108743	1	0.000108743	1.95	0.1828
AA	0.00000362555	1	0.00000362555	0.07	0.8021
AB	0.0000318943	1	0.0000318943	0.57	0.4611
AC	0.000109464	1	0.000109464	1.96	0.1814
AD	0.00000332151	1	0.00000332151	0.06	0.8104
BB	4.90486E-10	1	4.90486E-10	0.00	0.9977
BC	0.0000521645	1	0.0000521645	0.94	0.3487
BD	0.0000871889	1	0.0000871889	1.56	0.2302
CC	0.000761736	1	0.000761736	13.67	0.0022
CD	0.00000419226	1	0.00000419226	0.08	0.7876
DD	0.00000179913	1	0.00000179913	0.03	0.8598
Total error	0.000836012	15	0.0000557341		
Total (corr.)	0.00225809	29			