

T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEK DANE EKİM MAKİNALARININ MİKROGRANÜL GÜBRE DÜZENİ İÇİN MEKATRONİK HAREKET SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

Şahin MAY

Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

ÇANAKKALE

T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DEVELOPMENT OF MECHATRONIC DRIVE SYSTEM FOR MICROGRANULAR METERING OF PRECISION PLANTERS

Şahin MAY

Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği

Anabilim Dalı

Tezin Sunulduğu Tarih: **26/06/2019**

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Habib KOCABIYIK

ÇANAKKALE

Şahin MAY tarafından Prof. Dr. Habib KOCABIYIK yönetiminde hazırlanan ve **26/06/2019** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan "**Tek Dane Ekim Makinalarının Mikrogranül Gübre Düzeni için Mekatronik Hareket Sistemi Geliştirilmesi**" başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

Prof. Dr. Bahattin AKDEMİR ……

Başkan

Prof. Dr. Habib KOCABIYIK ……

Üye (Danışman)

Doç. Dr. Anıl ÇAY ……

Üye

Prof. Dr. Levent GENÇ
Müdür
Fen Bilimleri Enstitüsü

Sıra No:……

İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Şahin MAY

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Habib KOCABIYIK, çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen eşim Rabia MAY, kızım Hilal MAY ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Şahin MAY

Çanakkale, Haziran 2019

SİMGELER VE KISALTMALAR

B	Bor
Ca	Kalsiyum
Cl	Klor
cm	Santimetre
Cu	Bakır
DC	Direct current (Doğru akım)
d/d	Devir/dakika
EDCS	Electronic drive and control system (Elektronik hareket ve control sistemi)
EHKS	Elektronik hareket ve kontrol sistemi
ESC	Electronic speed controller (Elektronik motor sürücü)
Fe	Demir
g	Gram
GPS	Global positioning system (Küresel konumlandırma sistemi)
HQi	Sistem içerisinde ayarlanan hedef (hesaplanan) gübre normu
HSi	Sistem içerisinde ayarlanan hedef (hesaplanan) makara devri
K	Potasyum
Kd	Türevsel etki katsayısı
kg	Kilogram
kg/da	Kilogram/dekar
kg/ha	kilogram/hektar
Ki	İntegral etki katsayısı
km	Kilometre
km/h	Kilometre/saat
Kp	Oransal etki katsayısı
m	Metre
MAD	Mean absolute deviation (Ortalama mutlak sapma)
MAPE	Mean absolute percent error (Ortalama mutlak yüzde hata)
Mg	Magnezyum
mm	Milimetre
Mn	Mangan
Mo	Molibden

ms	Milisaniye
N	Azot
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OMS	Ortalama mutlak sapma
OMYH	Ortalama mutlak yüzde hata
ÖQi	EHKS kullanıldığında ölçülen gübre normu
ÖSi	EHKS tarafından yönetilen gübre makarasının ölçülen devri
P	Fosfor
PID	Proportional-integral derivate (Oransal, integral ve türevsel denetleyici kontrol döngüsü yöntemi)
PLC	Programmable logic controller (Programlanabilir mantıksal denetleyici)
PWM	Pulse width modulation (Sinyal genlik modülasyonu)
rpm	Dakikadaki tur sayısı
s	Saniye
S	Sülfür
V	Volt
Zn	Çinko
Q	Uygulama normları
β_0	Intercept (Kesişim)
β_1	Slope (Eğim)
±%	Tolerans yüzdesi
%	Yüzde oranı
Ø	Çap

ÖZET

TEK DANE EKİM MAKİNALARININ MİKROGRANÜL GÜBRE DÜZENİ İÇİN MEKATRONİK HAREKET SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

Şahin MAY
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Prof. Dr. Habib KOCABIYIK
26 / 06 / 2019, 38

Birim alanda istenilen gübre miktarı, bitkisel üretim için uygulayıcıların gübre atma düzeneklerinin performanslarının belirlenmesinde en önemli kriterlerden birisidir. Yüksek doğrulukta istenilen gübre miktarını uygulamak için farklı avantajlara çeşitli uygulama yöntemi ve düzeneklerin geliştirilmesi yıllardır devam etmektedir. Bu çalışmanın amacı, hassas ekim makinalarının mikro-granül gübre düzenekleri için elektronik hareket ve kontrol sistemi geliştirmek, gübreleme doğruluğu üzerine Elektronik Hareket ve Kontrol Sistemi'nin (EHKS) etkilerini incelemek ve belirleme katsayısı (R^2), ortalama mutlak yüzde hata (OMYH), ortalama mutlak sapma (OMS), intercept (β_0) ve slope (β_1) gibi kontrol parametrelerini incelemektir. Gübre makarası hızı için yapılan denemelerin bir sonucu olarak, tüm gübre normları için R^2, OMYH, OMS, β_0 ve β_1 değerleri sırasıyla, 0.992, %2.430, 0.275 d/d, -0.073 ve 0.995 olarak belirlenmiştir. EHKS tarafından yönetilen oluklu makaranın ölçülen devri, öngörülen uygulama normu ve ilerleme hızına göre EHKS tarafından hesaplanan ayar devrine oldukça yakın olmuştur. İlave olarak, iki farklı mikro-granül gübre için tüm ilerleme hızı ve gübre uygulama normlarında EHKS kullanılarak yapılan denemelerde belirleme katsayısı (R^2) 0.991, OMYH %2.434, OMS 0.0024 kg/da, β_0 0.081 ve β_1 0.987 olmuştur. Ayrıca, EHKS tarafından elde edilen deneysel uygulama normu değerleri, hedef/istenen (ayar) değerlerine oldukça yakın olmuştur. Geliştirilen sistem, çok hızlı ve doğru sonuçlar vermiş, hızlı ve basit bir ayar olanağı, senrkronize ve eş zamanlı kontrol ve yüksek ilerleme hızlarında çalışabilme yeteneği sağlamıştır. Karmaşık kalibrasyon ve ayar prosedürüne gereksinim duyulmamıştır. Elde edilen sonuçlar,

EHKS'nin hassas ekim makinalarının mikro-granül gübre üniteleri için istenen normları uygulayabileceğini göstermiştir.

Anahtar sözcükler: Micro-granül gübre, Uygulama oranı, Elektronik hareket sistemi, Kontrol sistemi

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF MECHATRONIC DRIVE SYSTEM FOR MICROGRANULAR METERING OF PRECISION PLANTERS

Şahin MAY

Çanakkale Onsekiz Mart University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master of Science Thesis in Agricultural Machinery and Technology Engineering

Advisor: Prof. Dr. Habib KOCABIYIK

26 / 06 / 2019, 38

Desired fertilizer amount per unit area is one of the most important criteria in determining the fertilizer metering performance of applicators for plant production. Development of various application methods and metering systems with different advantages has been ongoing for years to apply the desired fertilizer amount at high accuracy. The objective of this study was to develop an electronic drive and control system (EDCS) for micro-granular fertilizer metering of precision planter and to investigate the effect of EDCS on the fertilizing accuracy and control parameters such as coefficient of determination (R^2), mean absolute percent error (MAPE), mean absolute deviation (MAD), intercept (β_0) and slope (β_1). Values for R^2, MAPE, MAD, β_0 and β_1 for all fertilizer rates were determined respectively as 0.992, 2.430%, 0.275 rpm, -0.073 and 0.995 as a result of the trials carried out for roller speed. Measured rotation speeds of fluted roller managed by the EDCS were found to be very close to the set rotation speed calculated by the EDCS with regard to forward speed and the prescribed application rates. In addition, the coefficient of determination (R^2) 0.991, MAPE 2.434%, MAD 0.0024 kg/da, β_0 0.081 and β_1 0.987 were obtained in trials performed by the EDCS at all fertilizer application rate and forward speed for two different micro-granular fertilizers. Furthermore, the experimental application rate values obtained by the EDCS were very close to the target/desired (set) value. The system yielded very fast and correct results, enabled a quick and simple setting possibility, synchronize and real-time control and the ability to work under higher forward speeds. There was no need for complex calibration and adjustment procedures. The results show that the EDCS can be used to apply desired rates for micro-granular fertilizer metering unit of precision planters.

Keywords: Micro-granular fertilizer, Application rate, Electronic drive system, Control system.

İÇİNDEKİLER

TEZ SINAVI SONUÇ FORMU ii
İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI iii
TEŞEKKÜR iv
SİMGELER VE KISALTMALAR v
ÖZET vii
ABSTRACT ix
ŞEKİLLER DİZİNİ xii
ÇİZELGELER DİZİNİ xiii
BÖLÜM 1 1
GİRİŞ 1
1.1. Gübrelerin Toprağa Verilme Şekilleri 3
BÖLÜM 2 9
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 9
BÖLÜM 3 13
MATERYAL VE YÖNTEM 13
3.1. Elektronik Hareket ve Kontrol Sistemi Tasarımı 13
3.2. Gübre Uygulayıcı 18
3.3. Deneme Düzeneği 18
3.4. Mikro-Granül Gübreler 19
3.5. Yöntem 19
3.5.1. Elektronik Hareket ve Kontrol Sisteminin Kalibrasyon ve Simülasyon Testleri 19
3.5.2. Gübre Uygulama Testleri 20
3.5.3. İstatistiksel Analizler 22
BÖLÜM 4 23
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA 23
4.1. Kalibrasyon ve Simülasyon Test Sonuçları 23
4.2. Gübre Uygulama Test Sonuçları 27
BÖLÜM 5 34
SONUÇ VE ÖNERİLER 34
KAYNAKLAR 36
ÖZGEÇMİŞ I

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Sistemin fonksiyonel yapısı 14
Şekil 3.2. Sistemin blok diyagramı 15
Şekil 3.3. Sistemin ayar ve kontrol panel ekranları görünümü 16
Şekil 3.4. Sistemin mimari yapı elemanları görünümü 17
Şekil 3.5. Gübre normu test düzeneği; 1. Hassas terazi, 2. Makina test standı, 3. Tek dane ekim makinası, 4. DC elektrik motoru, 5. Mikro-granül gübre deposu, 6. Gübre borusu, 7. Mikrogranül gübre makarası 18
Şekil 4.1. Hedef hız ile ölçülen hız arasındaki ilişki 23
Şekil 4.2. Hız ölçümlerinin OMYH değerleri; aynı harflerle gösterilen uygulamalar arasında fark yoktur p>0.05 (Tukey testi) 24
Şekil 4.3. Hız ölçümlerinin OMS değerleri; aynı harflerle gösterilen uygulamalar arasında fark yoktur p>0.05, ns: önemsiz (Tukey testi) 25
Şekil 4.4. Ayarlanmış uygulama normunda zaman (a) ve ilerleme hızına (b) göre hesaplanan (hedef) ve ölçülen devir sayıları 26
Şekil 4.5. Her iki gübre için ilerleme hızı (a) ve hedef uygulama normuna (b) göre ölçülen uygulama normu 28
Şekil 4.6. Hedef uygulama normu ile EHKS'nin gerçekleştirdiği ölçülen gübre normu arasındaki ilişkiler 29
Şekil 4.7. Tüm test koşulları için hedef uygulama normu ile EHKS'nin gerçekleştirdiği ölçülen gübre normu arasındaki ilişki 29
Şekil 4.8. İlerleme hızı (a) ve hedef gübre normuna (b) göre ölçülen gübre normunun OMYH değerlerinin değişimi 31
Şekil 4.9. İlerleme hızı (a) ve hedef gübre normuna (b) göre ölçülen gübre normunun OMS değerlerinin değişimi. 32

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. EHKS'nin uygulama performansının değerlendirilmesi için test koşulları.....21
Çizelge 4.1. Regresyon analiz sonuçları ve hatanın standart sapması.....30

BÖLÜM 1
GİRİŞ

Bitkisel üretimde toprak işlemenin ardından tohumların, yetiştirilecek bitkinin isteklerine uygun olacak şekilde toprağa yerleştirilmelerine ekim denir.

Ekim işlemi 17. yüzyılın başına kadar elle yapılmıştır. 1636 yılında Joseph Locatelli Avrupa'da ilk olarak ekim makinasını geliştirmiştir. James Cook 1785 yılında, günümüzdeki ekim makinelerinin ilk modelini yapmıştır. 1835 yılında kurulmuş olan Petersburg Teknoloji Enstitüsü'nde açılan bir model atölyesi, tarım makineleri üzerinde araştırma ve geliştirme çalışmaları yapan dünyadaki ilk kuruluştur (Önal, 2006). 1835 yılında ilk çekme tip ekim makinesi geliştirilmiştir. 1863 yılında şeker pancarı ekiminde kullanılan ismi Saksonya olan bir makinenin patenti alınmıştır. Gübre atma düzeni, ekim makinelerine 1900 yılından itibaren eklenmeye başlanmıştır. 1923 yılında Tricycle-tip traktörlerin tarıma girmesiyle, asma tip ekim makineleri de geliştirilmeye başlanmıştır. Monogerm şeker pancarı tohumlarını ekebilen tek dane ekim makinesi 1940 yılında geliştirilmiştir.

Genel olarak serpme ekim ve sıraya ekim olmak üzere iki ekim yöntemi vardır. Bu iki yöntem diğer ekim yöntemlerinin ana çatısını oluşturmaktadır. Serpme ekimde tohumlar tarla yüzeyinin %100'üne dağıtılıp yüzeyin kaplanmasına karşın sıraya ekimde ise tarla yüzeyinin %10'u kaplanmaktadır (Önal, 2006).

Değişik kaynaklarda ekim makinalarının sınıflandırma işlemleri benzer şekillerde yapılmıştır. Tek dane ekim yönteminin uygulamaya girmesiyle tek dane ekim makinaları diğer bir ifade ile hassas ekim makinaları bu sınıflandırma içerisinde yerini almıştır.

Hassas (tek dane) ekim makinaları tohumları belirli sıra üzeri ve sıra arası mesafelerde ve istenilen derinlikte tek tek ekebilen makinalardır. Traktörle çalıştırılmakta olan bu makinalar, ekici düzenin yapı özelliğine ve çalışma şekline göre mekanik ve pnömatik olarak 2 gruba ayrılmaktadır.

Önceleri sadece ekim için kullanılan ekim makinaları, biyoteknolojik çeşitlilikteki genetik gelişmelere bağlı olarak tarımsal üretim sistemlerindeki ve tarım teknolojilerindeki gelişmeler neticesinde gübreleme, ilaçlama ve can suyu verme donanımları ile donatılmaya başlanmıştır. Gelişim süreçleri içerisinde çok değişik uygulama mekanizmaları ile donatılmış ve gelişme sürecini devam ettirmektedir. Bu donanımlardan en çok üzerinde durulan ve yoğun çalışmalar sonucunda gelişim sürecini devam ettiren donanım tohum ekici

üniteler ile birlikte gübreleme üniteleridir. Günümüzde gübreleme düzenekleri artık ekim makinalarının ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir.

Tarımda kullanılan araziye, verim gücünü yükseltmek ve ürün miktarını artırmak amacıyla herhangi bir maddenin verilmesine "Gübreleme", gübrelemede kullanılan herhangi bir maddeye de "Gübre" denir. Gübrelemede iki esas amaç güdülür. Bu amaçlardan biri, toprağın önemli bitki besinlerince zenginleştirilmesi, diğeri ise biyolojik ve fiziksel özelliklerinin bitkinin iyi bir şekilde gelişmesine yarayacak bir şekilde düzenlenmesidir (Önal, 2006).

Gübreleri, organik ve mineral gübreler olmak üzere iki ana grupta toplamak mümkündür. Organik gübreler, bitki besin maddelerini bünyelerinde organik bir şekilde bulunduran gübrelerdir. Ahır gübresi, kan unu, üre v.b. gübreler bu gruba dâhildir. Mineral gübrelerde, bünyelerindeki bitki besin maddeleri anorganik bir halde bulunur (Önal 2006).

Mineral gübreler katı ve sıvı formda imal edilmektedir. Tane şekline bağlı olarak katı mineral gübreler toz, pril ve granül halinde olabilirler.

Granül çapı (Ø, mm) büyüklüğüne göre mineral gübreler;

2-5 mm Ø iri granül,

0.3-2 mm Ø ince granül,

0.1-0.3 mm Ø mikro-granül, gübreler şeklinde sınıflandırılır (Önal, 2006).

Kimyasal bileşimi ve fiziksel yapısına göre gübrenin uygulama şeklinde farklılıklar oluşmaktadır. Örneğin, banda gübrelemede gübre, tohumun 2.5-5 cm altına ve 5-7.5 cm yanına bırakılır. Fosforlu gübre, pullukla sürüm anında, pulluk çatısına monte edilmiş gübre atma düzeni yardımıyla, pulluk çizisi tabanına verilebilir. Genel kural olarak, fosforlu gübrelerden yüksek düzeyde yararın sağlanabilmesi için, gübrelerin ekim zamanı, tohuma en yakın bir yere verilmesi yeğlenmelidir (Kaçar, 1986).

Mineral gübrelerin en karakteristik fizikomekanik özellikleri;

- Hacim ağırlığı, Granülometrik bileşimi, aerodinamik özellik,
- Dökülüp akma özelliği,
- Doğal yığılma açısı,
- Higroskopisite derecesi,
- Yapışkanlık,
- Zamanla katılaşma derecesi, topaklanma ve kubbe oluşumu,
- Aerodinamik katsayı,
- Sürtünme katsayısı,

- Elastiklik özelliği,
- Gübre partikülünün çarpma derecesi,
- Dane kırılma (ezilme) direnci,
- Gübre danelerinin aşınma direnci şeklinde tanımlanmaktadır.

1.1. Gübrelerin Toprağa Verilme Şekilleri

Mineral gübrenin faydalı olup olmaması veya etki derecesi, yalnız onun kalitesine ve verilen miktara değil, aynı zamanda toprağa veriliş şekline de bağlıdır.

Mineral gübreler toprağa iki şekilde verilmektedir;

- Serpme yöntemi,
- Belirli yere yerleştirme yöntemi.

Serpme gübreleme yönteminde, uygun gübre dağıtma makinaları ve tarımsal amaçlı uçaklar kullanılır. Bunlar, gübreyi bütün alana dağıtırlar, toprak işleme aletleri de gübreyi kapatarak toprağa karıştırırlar.

Belirli yere yerleştirme yönteminde, gübre kesiksiz sıra halinde (şeritvari) veya kümevari olarak verilir. Bazı durumlarda, granüle süperfosfat gübresinde olduğu gibi, gübre ile toprağı birbirine karıştırmaktan kaçınılır.

Gübre verme zamanı ve gübrenin amacı bakımından gübreleme;

- Temel (ekimden önce) gübreleme,
- Ekim sırasında gübreleme,
- Başa (vejetasyon süresinde) gübreleme olarak sınıflandırılır.

Temel gübreleme, genellikle gübrelemenin en önemli kısmıdır. Gübre serpme yöntemiyle verilir ve tam iş derinliğinde toprağa gömülür.

Ekim sırasında gübrelemede, gübre ya da tohum gömücü ayakların açtığı çizilere tohumla birlikte veya ekim sırasına paralel olarak gömücü ayakların açmış olduğu çizilere şeritvari olarak verilir. Gübreleme normu, genellikle temel gübrelemeye göre daha düşüktür.

Başa gübreleme, gübreli ara çapa makinası gibi özel makinalarla veya serpme olarak verilir. Serpme olarak gübreleme, toprak henüz tamamen çözülmeden, erken ilkbaharda gübre dağıtma makinalarıyla veya uçaklarla yapılır (Önal 2006).

Toprak verimliliği; bitkiler için topraktaki bitki besin elementlerinin tamamının düzeyini ifade eder. Optimum bitki gelişimi için toprağın değişik düzeylerde bitki besin elementlerine sahip olması gerekmektedir. Ürün gelişimini etkileyen bu elementlerin

düzeyinin belirlenmesi amacıyla toprak analizleri yapılmaktadır. Bitki besin elementleri topraktaki düzeylerine göre;

- Birincil bitki besin elementleri (Azot (N), Fosfor (P) ve Potasyum (K),
- İkincil bitki besin elementleri (Kalsiyum (Ca), Magnezyum (Mg) ve Sülfür (S)) ve
- Mikro bitki besin elementleri (Bor (B), Klor (Cl), Bakır (Cu), Demir (Fe), Mangan (Mn), Molibden (Mo), ve Çinko (Zn)) olmak üzere üç grupta toplanmaktadır (Kirişçi ve ark. 1999).

Bitki besin maddelerinin bitkinin isteği doğrultusunda toprak içerisinde dengeli halde olması verimin temel esasını oluşturur. Bununla beraber toprakta bitki besin maddelerinin dengeli hale getirilmesi için alan ya da site esaslı bitki besin maddesi eklenmesi (gübreleme) ise verimliliğin esası olmaktadır.

Hassas uygulamalı tarımda çiftçilerin en önemli beklentisi tarımsal girdilerde mümkün olduğunca azalmaya giderek, verimi yükseltmek ve optimum kar elde etmek iken, ülke yönetimlerinin ve etkin bazı çevreci kuruluşların en önemli beklentisi çevre ve doğal kaynakların korunması amacıyla kimyasal kullanımını mümkün olduğunca azaltılmasıdır (Kirişçi ve ark. 1999).

Araştırmacılar; hassas uygulamalı tarımı değişik şekillerde tanımlamaktadırlar. Yapılan bu tanımlamalardan bazıları aşağıda sunulmuştur. Hassas uygulamalı tarım: verimlilik potansiyelleri esas alınarak, tarla ve bu tarlalara ait alt bölümlerin işletilmesidir ve tarımsal işletmecilik teknolojisinin esasını oluşturur (Kirişçi ve ark., 1999).

Değişken düzeyli uygulama, hassas uygulamalı tarımın en önemli aşamasını oluşturur ve tarımın geleceği olarak görülmektedir. Tarlanın değişik bölgelerine, o bölgenin gereksinin duyduğu kadar girdi uygulaması amaçlandığından bu yolla girdi maliyeti düşürülmüş olur. Diğer taraftan da kimyasal girdilerin çevreye olan olumsuz etkileri azaltılmış olur. Bu tip uygulayıcıların maliyetleri oldukça yüksektir fakat kiralama yolu ile bu engel de ortadan kaldırılabilir (Kirişçi ve ark. 1999).

Düzey ayarlayıcılar; temel olarak kontrol elemanının oluşturduğu sinyalleri esas alarak tarımsal girdinin uygulanacak seviyesini belirler ve yönetir. Alıcının ve düzey ayarlayıcının teknik yapısına bağlı olarak sinyal girdisi elektriksel, hidrolik ve pnömatik esaslı olabilmektedir. Hidrolik ve pnömatik silindirler veya motorlar, elektrik motorları (servo, step ve DC), selonoid vanaları örnek olarak verilebilecek bazı düzey ayarlayıcılardır.

Hassas tarım uygulamalarında, önemli ve büyük bir ekonomik girdi olan gübreyi toprağa vermede kullanılan düzey uygulayıcılar üzerine sıklıkla durulmuş ve değişik tipte

gübre uygulayıcılar geliştirilmiştir. Geliştirilen bu uygulayıcılar çoğunlukla farklı kimyasal ve fiziksel yapıya sahip mineral gübrelerin uygulanmasında kullanılmaktadır.

Mineral gübreler ürün verimini artırmak ve toprak verimliliğini sağlamak için tarımda yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu gübrelerin kullanımı 20. yüzyılın başlangıcından buyana artış göstermiştir. Gübreleme stratejik ürünlerin üretilmesinde ürün verimini artırmanın ana faktörlerinden biri olmuştur ve küresel gıda tedariğinde önemli bir rol oynamıştır. Mineral gübrelerin toplam tüketimi 1920'den bu yana yaklaşık 100 kat artmıştır (Roberts, 2009).

Bitkisel üretimde gübre miktarının artırılması ürün veriminde daha fazla bir artışın olacağı anlamına gelmemektedir. Toprakta yeterli bitki besin elementlerini sağlamak için bilinçsiz bir gübreleme yoluna gidilmekte ve genellikle aşırı ve gereksiz gübre uygulaması yapılmaktadır. Fakat verim, yalnızca besin alımının ve kullanımın etkinliğinin maksimize edilmesiyle geliştirilebilir. Bu durum, bitkilerin özgül besin gereksinimleri için gübre dozu ve bitkilerin besin gereksinimi ve büyüme aşamaları için gübre uygulama periyotlarıyla sağlanabilir (Roberts, 2007). Bu nedenle, gübre verme zamanı ve gübrenin amacı bakımından gübreleme basitçe; I-temel (ekimden önce) gübreleme, II-ekim sırasında gübreleme, III- başa (vejetasyon süresinde) gübreleme olarak sınıflandırılır. Bu aşamalarda kullanılan katı mineral gübreler tane şekline bağlı olarak toz, pril ve granül halinde olabilirler.

Ekim sırasında yapılan gübrelemede genel olarak ekim makinalarına monte edilmiş gübreleme sistemlerinden yararlanılmaktadır. Son yıllarda tohumla birlikte tohum yatağına uygulanabilme, fitotoksit etki yapmaması, düşük dozda uygulama, hızlı ve kuvvetli kök gelişimi, vejetatif gelişimi etkileyerek daha iyi fiziki yapıda bitki oluşumunu teşvik etmesi (Crista ve ark. 2014; Anonymous 2019) gibi avantajları nedeniyle klasik granül gübreler yerine mikro-granül starter gübreler kullanılmaya başlanmıştır. Mikro-granül gübreler doğrudan tohum bölgesine veya tohum sıraları arasına az miktarlarda uygulanır (Wei Su ve ark. 2015; Jankowski ve ark. 2018). Bu uygulama yöntemi nedeniyle kök bölgesinde nispeten hareketsiz besinlerin içeriğinin artmasına neden olur. Besinler kök büyümesini teşvik eder ve bitkilerin daha derin toprak horizonlarından besin alımını arttırır, rhizospherin kimyasal ve biyolojik özelliklerinde avantajlı değişiklikler yapar, (Jankowski ve Sokólski 2018; Nkebiwe ve ark. 2016). Hızlandırılmış büyüme, genç bitkilerin hastalık ve zararlılara karşı direncini arttırır ve böylece aynı zamanda yabancı otlarla rekabet etme yeteneklerini en üst düzeye çıkarır.

Ekim işlemi sırasında istenilen düzeyde gübrenin atılması oldukça önemlidir. Gübreleme ünitesinin performansını doğrudan etkileyen en önemli bileşen ise gübre atıcı organdır. Gübre atıcı organ olarak büyük oranda değişik formlarda döner tip elemanlardan yararlanılır ve en yaygın olanı oluklu makaralardır. Gübreleme makinalarından farklı olarak, ekim makinaları üzerinde bulunan gübreleme ünitelerinin gelişim süreçleri içerisinde çoğunlukla gübre makarasının yapısal özellikleri, konumu, oluk şekli ve büyüklüğü üzerine bazı çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Gurjar ve ark. 2017). Bu üniteler, ekim makinası tekerleğinden alınan hareketin zincir-dişli, dişli grupları ve miller gibi mekanik hareket iletim bileşenleri vasıtasıyla çalıştırılmaktadır. Gübre normu gübre makarasının devrinin ya da aktif oluk uzunluğunun değiştirilmesi ile ayarlanmaya çalışılmaktadır, ancak genellikle yeterli performansta oldukları kabul edilmesine rağmen birçok kısıtlayıcıya sahiptir. Özellikle tekerlekten alınan hareketin, yüksek hızlarda gübre ünitesine aktarılması esnasında; makine tekerleğindeki zorlanmalardan kaynaklı patinaj, zincir-dişli sistemlerindeki kaçırma, titreşim ve takılmalar gibi önemli olumsuzluklar olabilmektedir. Forouzanmehr ve Loghavi (2012) yaptıkları çalışmada, ilerleme hızı ve gübre uygulama normu arttığı zaman, uygulama normunun doğruluğunun azaldığını ve varyasyonun arttığını tespit etmişlerdir. Bu olumsuzluklar çalışma hızını aynı zamanda iş kapasitesini sınırlamaktadır. Diğer önemli bir konu ise; üründen maksimum verim sağlanabilmesi için, toprak analizleri ve gübre üreten firmaların çalışmaları sonucunda tavsiye edilen optimum gübreleme normudur. Mekanik hareket iletim sistemine sahip makinalarda, gübre normu makinanın şanzıman sisteminin izin vermiş olduğu sınırlı ve kademeli iletim oranının değiştirilmesi ile ayarlanabilmektedir. Bu yüzden birim alana gereğinden az ya da fazla gübre atılabilmekte ve bu nedenle verimde de değişiklik meydana gelebilmektedir. Bu husus aynı zamanda işletme maliyetlerini artırabilmektedir. Bu nedenle toprakta yeterli bitki besin elementlerini sağlamak için bilinçsizce bir gübreleme yoluna gidilmekte ve çoğunlukla daha fazla ve gereksiz gübre uygulama tercih edilmekte bu da çevresel sorunları beraberinde getirmektedir.

Özellikle kimyasalların kullanımı ile ilgili olumsuzluklar, verimlilik potansiyelleri esas alınarak, tarlalar ve bu tarlalara ait alt bölümlerin işletilmesi ve tarımsal işletmecilik teknolojisinin esasını oluşturan hassas uygulamalı tarım ile çözülmeye çalışılmaktadır. Değişken düzeyli uygulama tekniği bu konuda en iyi işletmecilik yöntemlerinden biridir ve bu yolla girdi maliyeti düşürülmüş olur. Diğer taraftan da kimyasal girdilerin çevreye olan olumsuz etkileri azaltılmış olur. Hassas tarım uygulamalarında uygulamaların düzeyi, çok küçük zaman aralıklarında birden değişebilmelidir. Bununla beraber halen mevcut olan

değişken olan değişken düzeyli uygulama araçları böylesine yüksek uygulama çözünürlüğü ürettiği söylenemez. Ayrıca bu tip uygulayıcıların maliyetleri oldukça yüksek olduğu da bir gerçektir (Van Loon ve ark. 2018). Değişken düzeyli uygulama yönteminin en önemli kısıtlayıcısı ise uygulayıcının performansıdır diğer bir deyişle tohum, gübre ve ilaç uygulama organının hareket ve kontrol sistemlerine verdiği tepkilerin doruluğudur.

Son yıllarda gübre atıcı ünitelerin daha hassas bir şekilde gübre normu ayarı için hidrolik, pnömatik ve elektronik kontrollü çeşitli ayar sistemleri üzerine çalışılmalar yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Gübreleme ünitelerinin etkinliğini artırmak için düzey ayarlayıcılar geliştirilmiştir, örnek olarak, DC motor-linear action (Tola ve ark. 2008), pnömatik (Talha ve ark. 2011), hidrolik motor (Koundal ve ark. 2012), DC motor-linear action (Tewari 2015; Chandel ve ark. 2016), linear actuator (Van Loon ve ark. 2018) ve hydraulic motor and proportional flow control electro-valve (Reyes ve ark. 2015) verilebilir. Geliştirilen bu düzey ayarlayıcıların ortak noktası, bu sistemlerde gübre norm ayarı için oluklu makaranın aktif alanının geliştirilen sistemle değiştirilmesi, buna karşın gübre makarası dönüş hareketini mekanik yolla ve sabit iletim oranında yapmasıdır. Yukarıda bahsedilen mekanik hareket sistemlerinin olumsuzluklarının aşılması amacıyla Forouzanmehr ve Loghavi (2012) tarafından gübre makarasının devrini değiştiren step motorlu gübre normu ayarlayıcı üzerine çalışılmıştır. Ancak, geliştirilen alternatif hareket iletim sistemlerinin henüz laboratuvar test aşamalarında olduğu ve ticari üretim için kullanılmadığı da ifade edilmektedir.

Normal granül yapıdaki mineral gübrelerden (uygulama normu: 100-500 kg/ha) farklı olarak mikro-granül gübreler ürüne göre 20-40 kg/ha gibi düşük normlarda uygulanması ve 0.3-1.5 mm arasında tanecik çapına (Ø) sahip olması nedeniyle, normal mineral gübrelerin (Ø: 2-5 mm) uygulanmasında kullanılan gübre atma düzenekleri kullanılamamaktadır. Bu gübrelerin uygulanması için bazı tarım makinaları imalatçıları tarafından ekim makinalarına özellikle hassas ekim makinalara monte edilen bazı mikro-granül uygulayıcılar geliştirilmiş ve çiftçilerin kullanımına sunulmuştur. Fakat bu uygulayıcıların başarıları ile ilgili herhangi bir deneysel sonuç ya da veriye ulaşılamamıştır.

Dünya genelinde, birkaç firmanın, ekim makinasına mikro-granül gübre düzenekleri monte edilmiş özel model ürünleri olduğu görülmektedir. Örnek olarak, Gaspardo (Italy), SEPEBA-EBRA (France), Gungor (Turkey) ve Horstine (Germany) firmaları, mikro-granül gübre uygulayıcısının çalıştırılması için mekanik hareket iletim sisteminin kullanıldığı bazı tasarımları geliştirmişlerdir. Ancak, bu sistemlerin performanslarının ve başarılarının ne olduğu ile ilgili bilimsel bir çalışmaya rastlanılamamıştır. Bunlara ek olarak, ekim

makinalarıyla yapılan çalışmalarda bahsedilen olumsuzlukların giderilebilmesi ve farklı ve kademesiz gübre normunun hassas ve doğru bir şeklide ayarlanabilmesi amacıyla değişik hareket iletim sistemi geliştirilme çalışmaları hala devam etmektedir.

Bu tez çalışmasında, tek dane ekim makinalarında değişik fiziksel özelliklere sahip mikro-granül gübrelerin uygulama işleminde, gübre normunun kademesiz olarak ayarlanmasını sağlayacak elektronik hareket iletim sisteminin tasarımı ve geliştirilmesi temel amaç olarak ele alınmıştır. Ayrıca, çalışma, aşağıda sıralanan bazı özel amaçları da kapsamıştır;

- Elektronik hareket iletim sisteminin test edilmesi,
- İlerleme hızı ve gübre normunun sistemin başarısına etkileri,

BÖLÜM 2
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

(Üngör 2009) çalışmasında, önceden koordinatları ve sınırları bilinen bir tarlayı gridlere bölmüştür. Her bir gride farklı gübreleme miktarı uygulanmıştır. Bu sistemde her bir grid genişliği gübre dağıtma makinasının iş genişliği kadar kabul edilmiştir. GPS ile belirlenen koordinata gübre atma makinasının kapak açıklığı iki adet step motor ile değiştirilerek uygulama yapılmıştır. Geliştirilen ara yüz programı ile gübreleme yapılan tarla adı, çiftlik adı, çiftçi adı, gübre normu, gübre türü gibi birçok veri kaydedilmiştir.

Jafari ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada, helisel beslemeli rulo tipi ekim makinesinin gübre miline DC motoru bağlamışlar ve değişken hızlı kontrol cihazı tasarlanmıştır. Tepki süreleri incelenmiştir. Dinamik testlerde hektara 87.5 kg (düşük) ve 262.5 kg (yüksek) olarak gübreleme yapılmıştır. Bulgularında geçiş tepki süreleri düşükten yükseğe 7.4 s, yüksekten düşüğe 5.2 s olarak bulunmuş ve sigmoid denklemler ile uyum göstermemiştir.

Koundal ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada, PWM valfi, Raven E-Pro II bilgisayarı, hidro-motor ve helisel makara kullanmışlardır. 1 km/h ile 4 km/h ilerleme hızları arasında hidro-motorun devirleri 70 d/d ile 265 d/d olarak hesaplanmıştır. Bu hızlarda yapılacak denemelerde 648 kg/ha ile 2808 kg/ha gübreleme hesaplanmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda 1 km/h hızda gübreleme hatası %8.62 olarak saptanmıştır. 4 km/h hızda ise %11.35 hata ölçülmüştür. En ideal hata %3.69 ile 3.5 km/h uygulama hızında ve hidro-motorun 236 d/d devrinde belirlenmiştir.

Forouzanmehr ve Loghavi (2012) yaptıkları çalışmada, bir tarlanın önceden gübre ihtiyaç haritasını çıkarmışlar ve buna bağlı olarak uygulama normlarına göre gübreleme kontrol sistemi tasarlamışlar. Laboratuvar ortamında ilerleme hızı 3, 6 ve 9 km/h hızlarında; 75, 125 ve 175 kg/ha gübre normunda gübreleme denemeleri yapılmıştır. Sonuç olarak gübre türünün önemli bir değişken olmadığını ancak ilerleme hızının ve gübre normunun gübreleme doğruluğu üzerine önemli bir etkisi olduğu görülmüştür. Devamında, saha denemelerinde ise; gübre uygulayıcının tepki sürelerinde küçük gecikmeler ve kabul edilebilir hassasiyet görülmüştür. Gübreleme işlemi sonucunda uygulama oranı hatasının genel ortalaması %5.4 olarak ölçülmüştür. En zorlayıcı koşullarda (9 km/h hız, 175 kg/ha gübre normunda) uygulama oranı hatası %9'dur (15 kg/ha). Çalışmanın sonucunda, gübreleme hızını sınırlandırarak daha verimli sonuçlar alınacağı belirtilmiştir.

Chattha ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada, gübreleme kontrol ünitesi tasarlamışlardır. Gübre uygulaması için µEye kamera ve PLC kullanılmıştır. Kontrol ünitesi,

gübre oranını her bir nozul için <%5 tolerans ile güvenilir ve verimli bir şekilde çalışmıştır. Görüntü işleme ile yeşillik (bitkili alan) ve çıplak alan tespiti 0.21 s (210 ms) süre ile belirlenebilmiştir. Alınan verilerin işlenmesi 2.38 s'de tamamlanmıştır. Görüntünün işlenmesi ve gerekli tepkinin oluşması için geçen sürenin telafisi ölçüm yapılan alan ile işlem yapılan alan arasının geniş tutulmasıyla sağlanmıştır.

Tewari (2015) yapmış olduğu çalışmada, belirli bir bölgenin gübreleme haritası ve gübreleme normları hesaplanmıştır. GPS'den alınan anlık verilere göre 5 ile 400 kg/ha gübreleme yapılabilmesi için oluklu gübre makaranın kaydırılmasının kontrol edilmesi amacıyla, kremayer ve pinyon düzenini hareket ettiren DC motor kullanılmıştır. Tarla testlerinde gübre normunda %5.56 ile %11.2 arasında değişen ve ortalama %8.38 bir hata gözlenmiştir. Geliştirilen program kabul edilebilir bir doğruluk oranıyla eş zamanlı olarak gridleri tespit edebilmiştir.

Maleki ve ark. (2008) yapmış oldukları çalışmada toprak sensörü ile alınan verinin işlenmesi ve gübre aplikatörünün uygun oranın ayarlanması için bir hesaplama zamanının gerekliliği vurgulanmıştır. Bu işlem zamanını elde etmek için toprak sensörünü traktörün önüne koyarak hesaplama ile gübreleme arasında gecikme sağlanmıştır. Ayrıca traktör hızındaki her 1 km/h hız artışı için 0.5 m'lik bir sensör pozisyon kayması gerektiğini saptamışlar. Yapılan bu işlemlerin toplam gecikme süresini karşılamak için gerekli olmadığını, gerekli gecikme süresini telafi etmek için gübre aplikatöründe sinyal iletiminde yapay bir gecikme süresi eklenmesini önerilmişlerdir.

Tola ve ark. (2008) yapmış oldukları çalışmada değişken hızlı ve gerçek zamanlı gübre normu kontrol sistemi geliştirmeye çalışmışlardır. Geliştirilen sistemdeki sonuçlar şu şekildedir; hedef gübre uygulamasının otomatik ayarı için kontrol mesafesinin 3 m'den büyük olması istenmiştir. %7 'den daha büyük hataya sahip olan mevcut sistemlere göre %5 genel sistem hatasına sahip olan bu sistemin değişken oranlı gübre uygulamaları için daha uygun olduğunu göstermiştir. Sistemin 3 m'lik olan kontrol mesafesindeki hız geçişlerindeki tepkime süresinin 0.95 - 1.90 s arasında oluğu saptanmıştır.

Gurjar ve ark. (2017) değişken oranlı gübre aplikatörünün besleme milinin hızını değiştirerek değişken oranlı gübre ölçme mekanizması tasarlamışlardır. Değişken oranlı gübre uygulamaları için farklı şekillerde ve tipte helisel ve düz makara kullanılmıştır. Helisel makaralar için gerekli olan güç gereksinimi düz makaralara göre daha düşüktür. Yapılan çalışmada sistemin her gübre çapı için uygun olmadığı görülmüştür.

Alameen ve ark. (2019) değişken oranlı granül gübre uygulaması için kontrol sistemi tasarlanmışlardır. 3 ile 12 km/h hızları arasında yapılan denemeler sonucunda geliştirilen

sistemin ±%2.6 genel hata ile granül gübreleme için verimli olduğu saptanmıştır. Geliştirilen sistemde uygulama oranında 1 kg bir değişim için tepki süresinin 6 – 11 ms arasında değiştiği görülmüştür.

Chandel ve ark. (2016) dijital harita tabanlı alana özel granül gübre uygulama sistemi geliştirmişlerdir. Bu sistemde diferansiyel bir küresel konumlandırma sistemi kullanılarak mikrodenetleyici yardımı ve DC motor aktüatör kontrolü ile gübreleme miktarı değiştirilmiştir. Gübre uygulama oranı 5– 300 kg/ha olarak denenmiştir. Gübre uygulama oranı, belirlenen griddeki öngörülen uygulama oranına göre %11.7 ile %15 arasında değişkenlik göstermiştir.

Reyes ve ark. (2015) değişken oranlı gübre uygulaması için otomatik kontrol sistemi geliştirmişler ve saha uygulaması yapmışlardır. Bu sistemde bir mikrodenetleyici ile hidro-motorun hız kontrolü yapılmıştır. Gübre uygulamalarında sistemin 1 m'lik ve 5 m'lik grid harita çözünürlükleri için öngörülen %12-%14 hatalara karşı, %20-29 arasında bir deneysel dağılım hatası ile çalışmıştır. Sonuç olarak sistemin 1 m'den yüksek grid harita çözünürlüklerinde çalışması öngörülmüştür.

Radite ve ark. (2010), Endonezya'da değişken hız özeliklerine sahip makineler teknolojik olarak gelişmiş ve pahalı oldukları için uygun maliyette bir prototip bir gübreleme aplikatörü geliştirmişlerdir. PID kontrol ile DC motor hız kontrolü sağlanmıştır. Makinenin değişken hız kontrollerinde PID katsayıları için merdiven basamağı tepkisine kesin yanıt alınması gerektiği ifade edilmiştir.

Su ve ark. (2015) besleme makarasının ayarlanabilir aktif uzunluğu ile değişken oranlı gübreleme sistemi tasarlanmıştır. Besleme makarasının aktif uzunluğunu ayarlamaya dayanan kontrol yönteminde, tek bir kontrol değişkeni ve hızlı tepki süresine sahip yüksek hassasiyetli kontrol elde edilmiştir. Bu sistem için servo motor kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, uygulama homojenliği kabul görmüştür. Besleme silindirinin farklı aktif uzunlukları arasında varyasyon katsayısı %8.4' olmuştur. Gübre uygulama oranının 204 - 319 kg/ha ile 319– 204 kg/ha arasındaki ayarlarında dinamik tepki süreleri yaklaşık 4.2 s'dir.

Diskli gübre dağıtma makinalarının enine gübre dağılım düzgünlüğünün ortaya konulmasında, granüle süperfosfat gübresi ile yapılan denemelerde, standartlığı sağlamak için OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) standart kontrol gübresi kullanılmaktadır. OECD standart kontrol gübresi, 4 mm yuvarlak delikli elekten geçen, 2 mm yuvarlak delikli eleğin üzerinde kalan gübre fraksiyonuna verilen isimdir. Granüle süperfosfat gübresiyle yapılan denemelerde 2-4 mm Ø gübre fraksiyonu kullanılır.

Granül çapı (Ø, mm) büyüklüğüne göre mineral gübreler;

2-5 mm Ø iri granül,

0.3-2 mm Ø ince granül,

0.1-0.3 mm Ø mikro-granül, gübreler şeklinde sınıflandırılır.

Dane çapı (d) ile partiküllerin havada maksimum uçuş uzaklıkları (s_{max}) arasında ilişki vardır. d<1 mm ve fırlatma hızı v_1=12-20 m/s ise, fırlatma uzaklığı 2-3 m'dir. Bu halde, diskli gübre dağıtma makinasının iş genişliği 3-4 m olmaktadır. Kritik dane çapı 1 mm'dir (Heege, Rühle 1967). 1.0 mm'den daha küçük daneli gübrenin diskli gübre dağıtma makinasıyla dağıtımında kalite düşük olduğu gibi, iş genişliği de azalır. 0.1-0.8 mm irilikteki granüllerin diskli gübre dağıtma makinasıyla dağıtımında iş genişliği 3 m olmaktadır (Önal 2006).

Çok sayıda yeni teknolojik gelişmenin yaşandığı yirminci yüzyılın sonunda bazı teknolojiler çok kısa sürede ve kolay bir şekilde yaygınlaşırken bazılarına geçiş için belli bir süre ve deneyim gerekmektedir. Hassas uygulamalı tarım da böyle bir özelliğe sahiptir. Bunun en önemli nedeni ise yapılacak yatırımın oldukça yüksek miktarda olmasından kaynaklanan risk faktörüdür. Böyle bir durumda teknolojinin kullanıcıları hemen adaptasyon yerine "*bekle ve gör*" politikasını uygulayarak birkaç yıl beklemekte ve teknoloji hakkında bilgi toplamakta, daha sonra kararını vermektedir (Kirişçi ve ark. 1999).

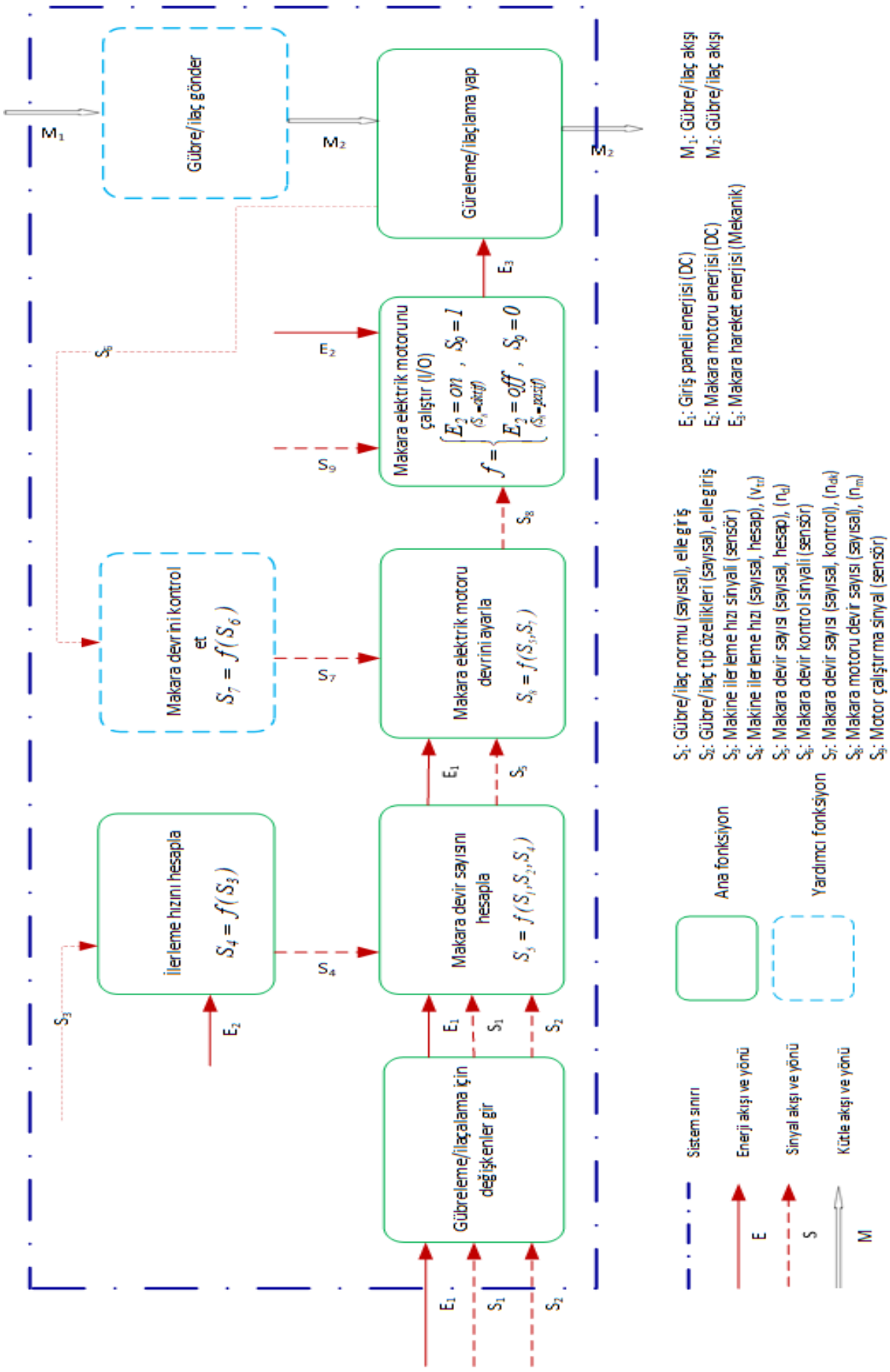
Hassas uygulamalı tarım, veri toplama aşamasından uygulama aşamasına kadar çok değişik teknoloji gerektiren bir tarım tekniğidir. Veri toplama ve işleme aşaması, uygulama aşamasına göre daha az maliyete sahiptir. Değişken düzeyli bir uygulama aracı oldukça pahalıdır fakat be dezavantaj makine kiralama yolu ile giderilebilir (Kirişçi ve ark. 1999).

BÖLÜM 3
MATERYAL VE YÖNTEM

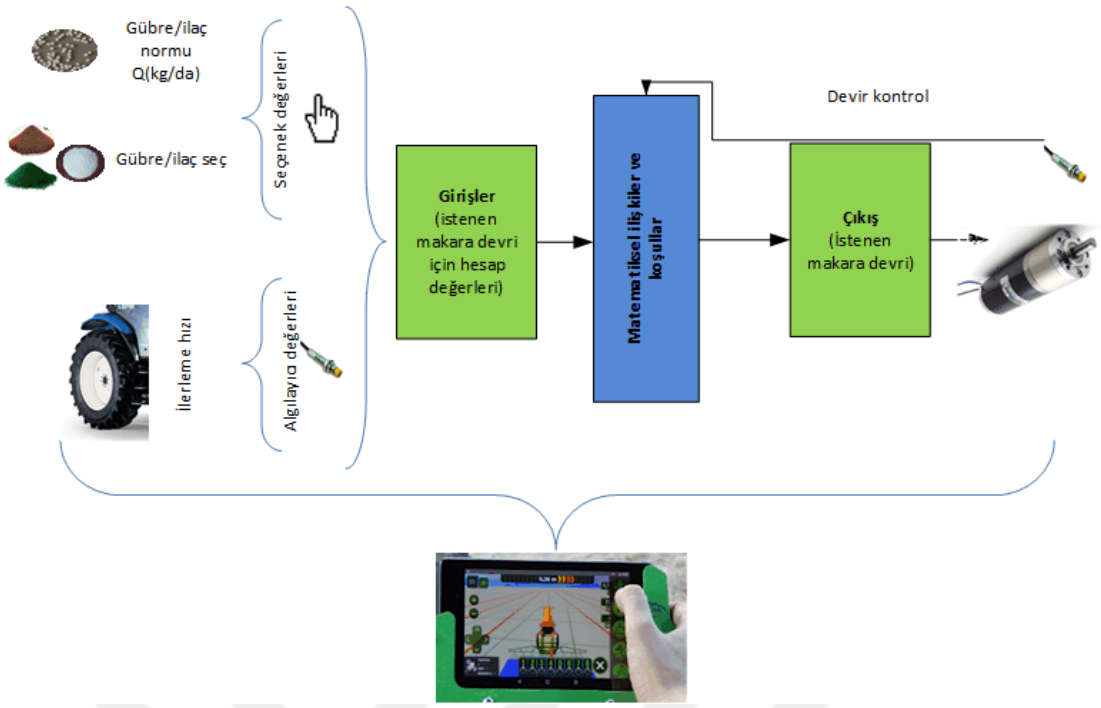
Araştırma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Araştırma ve Uygulama Atölyesinde laboratuvar ortamında yürütülmüştür.

3.1. Elektronik Hareket ve Kontrol Sistemi Tasarımı

Tek dane ekim makinalarının üzerinde bulunan gübre atma düzenlerinin mekanik hareket iletim sistemlerinin çalışma prensibi göz önünde bulundurularak geliştirilen Kavramsal Tasarım yaklaşımından yola çıkılmış ve elektronik hareket ve kontrol sisteminin (EHKS) Fonksiyonel ve Şematik Tasarımları oluşturulmuştur (Şekil 3.1. ve 3.2). EHKS üç ana üniteden oluşmaktadır. Birinci ünite kullanımı basit operatör ara yüzünü içeren kontrol panelidir. Kontrol paneli, istenilen mikro-granül uygulama normunun ayarlanmasının yanında gübre makarasının devri, toplam gübre miktarı, gübrelenen alan, ilerleme hızı gibi ilgili kontrol parametrelerinin eş zamanlı izlenmesi için kullanılmıştır (Şekil 3.3.). İkinci ünite, işlemci, elektronik hız kontrolörü (ESC) sürücü modülü ve gübre makarasının devrini (d/d) ve makinanın ilerleme hızını belirlemek için sensörleri içermektedir (Şekil 3.4.). İşlemci, sensörlerden gelen sinyal ve fonksiyonel algoritmaları kullanarak gübre makarasının istenen devrini hesaplar. Sistemin son ünitesi, DC elektrik motorları, gübre ünitesi ve konnektör, encoder ve kablo gibi diğer destek elemanlarından oluşmaktadır (Şekil 3.5.). Gübre makarasının devri, 5 V gerilim çalışan ve 3000 pulse sinyal çözünürlüğüne sahip bir optik enkoder ile izlenmiştir.



Şekil 3.1. Sistemin fonksiyonel yapısı



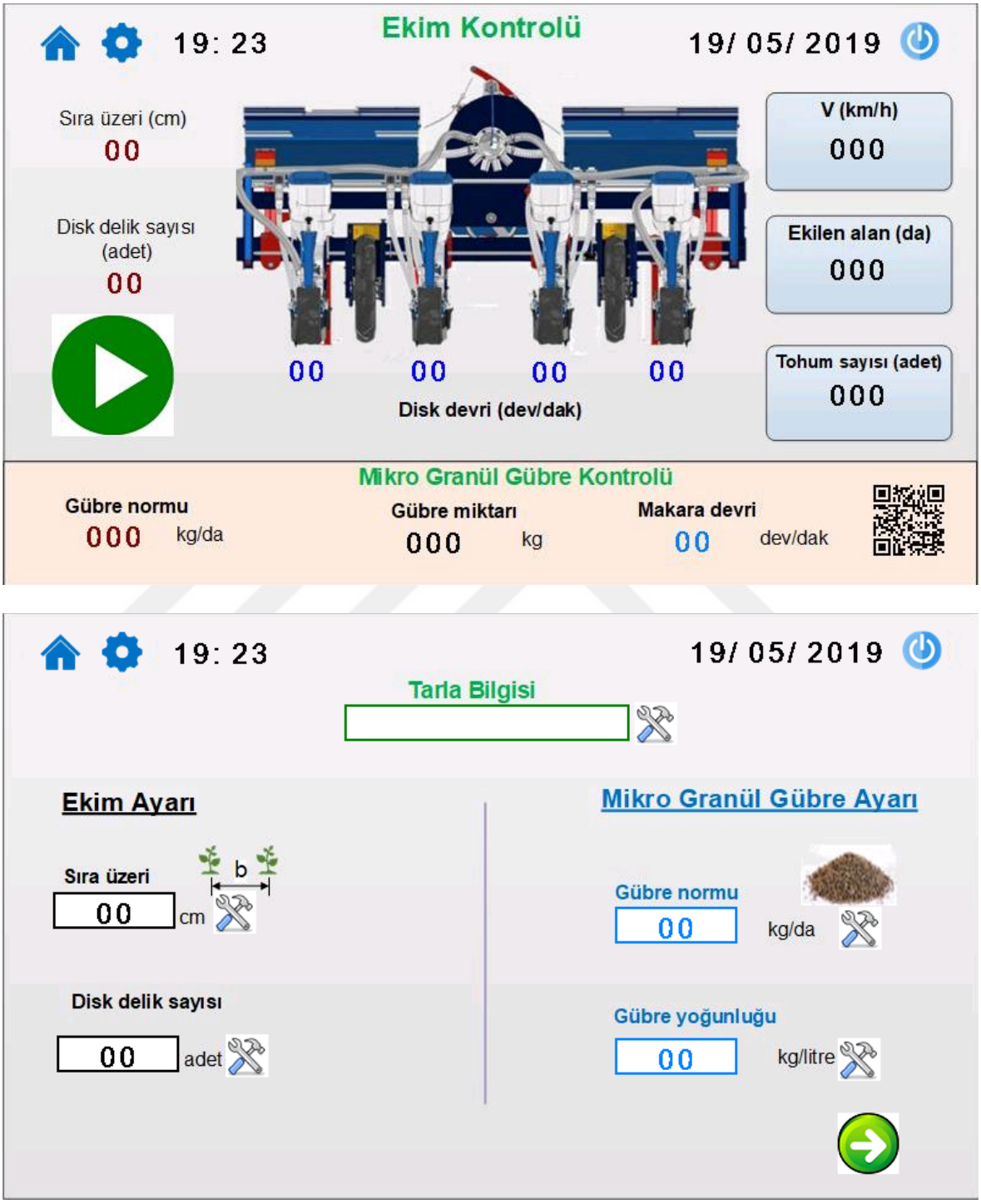
Şekil 3.2. Sistemin blok diyagramı

Elektrik motoru devri (Revolutions per minute (rpm)) ESC (electronic speed controller) motor sürücüsü ile yönetilmiştir. Motor hız kontrol yöntemi olarak Pulse width modulation (PWM) hız control yöntemi kullanılmıştır. Self-control için Proportional-Integral Derivate (PID) tekniği ile desteklenmiş, kapalı çevrimli kontrol/geri beslemeli kontrol (close loop/feedback controller) uygulanmıştır. Tekli mikrodenetleyici platformu oluşturulmuş ve miktordenetleyici motor hızını kontrol etmektedir. C tabanlı programlama dili ve program için Arduino derleyicisi kullanılanılmış ve 32bit ARM Cortex-M4 72MHz CPU'ya sahip mikrodenetleyiciye yüklenmiştir. Devre şema tasarımı Proteus V8.5 (Labcenter Electronic Ltd, Nort Youkshire, İngiltere) yazılımı kullanarak gerçekleştirilmiştir. Giriş ve çıkış verileri, insan makine arayüzü (Human Machine Interface (HMI) olarak Nextion 7.0″ HMI TFT LCD Touch Display Module kullanılarak eş zamanlı olarak izlenmiştir. HMI yazılımı için Grafik Kullanıcı Arayüzü (Graphical User Interface (GUI)) Nextion Editor kullanılarak tasarlanmıştır.

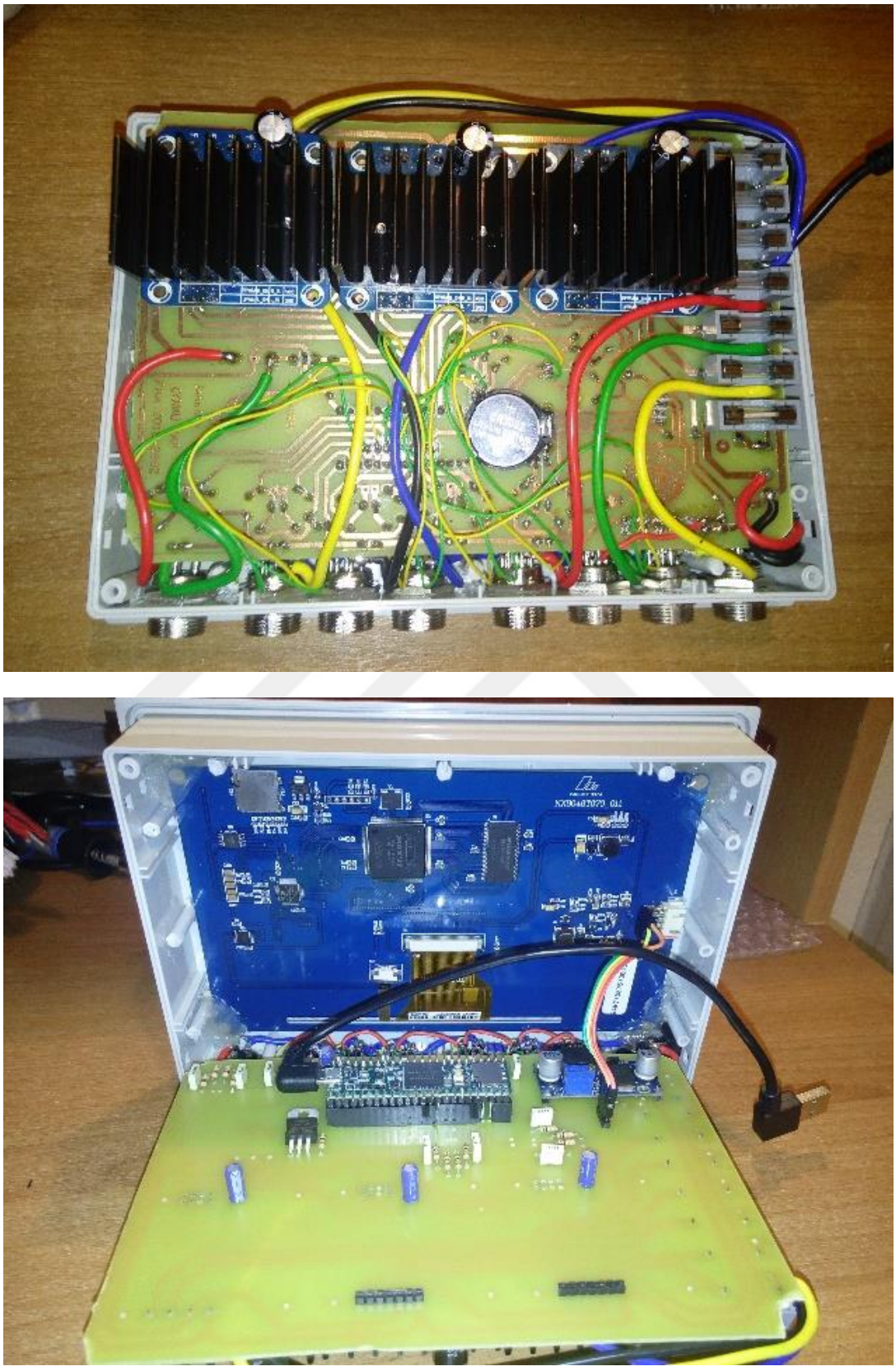
Çalışma kapsamında, tek dane ekim makinalarına eklenerek mekanik olarak hareketlendirilen mikro-granül gübre atma mekanizması EHKS ile donatılarak modifiye edilmiştir. Makinanın hareket tekerleğinden aldığı hareketi çeşitli zincir dişlilerle gübre atma ünitesine ileten mekanik hareket sistemi tamamen devre dışı bırakılmıştır.

Geliştirilen EHKS'de ise mikro-granül gübre atma ünitesi, PWM tekniği kullanılarak ESC motor sürücü ile yönetilen elektrik motoruyla hareketlendirilmektedir. Geri beslemeli

(Close loop system) bir sistem tasarlandığı için PID kullanılmıştır. Sitem tasarımı, elektronik bileşenler ve simülasyon testleri ile ilgili ayrıntılı bilgi bu çalışmanın daha önceki bölümlerde detaylarıyla açıklanmıştır.



Şekil 3.3. Sistemin ayar ve kontrol panel ekranları görünümü



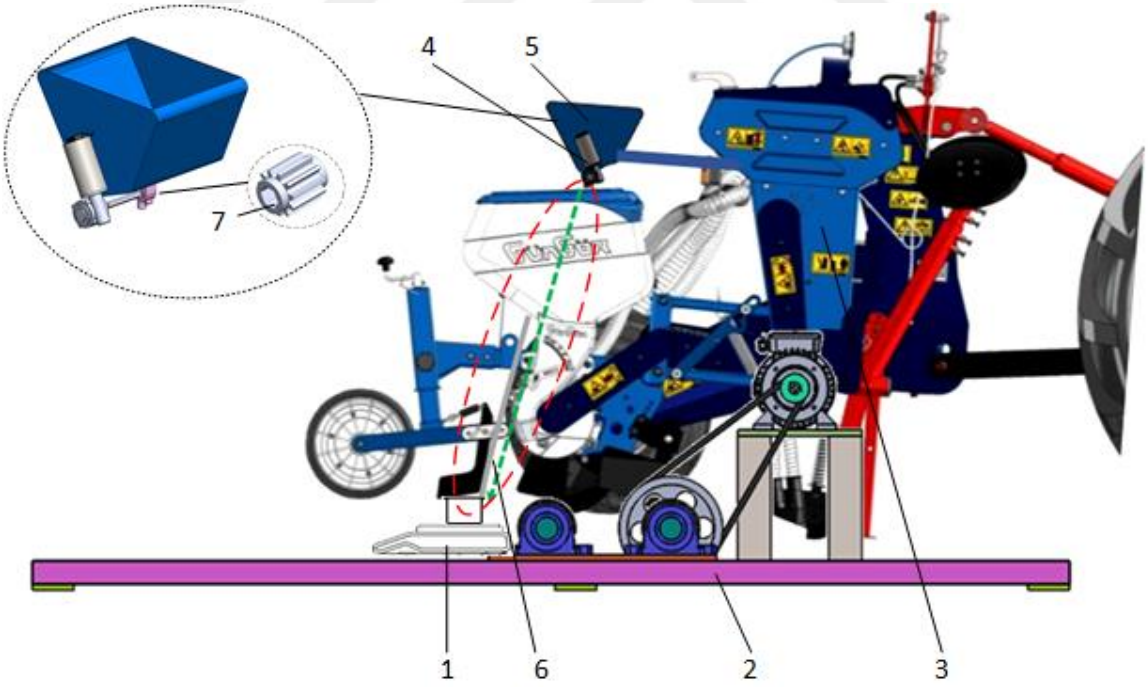
Şekil 3.4. Sistemin mimari yapı elemanları görünümü

3.2. Gübre Uygulayıcı

Son yıllarda tek dane ekim makinalarına eklenerek mekanik olarak hareketlendirilen mikro-granül gübre atma mekanizması modifye edilerek elektronik hareket ve kontrollü yeni bir gübre atma ünitesi geliştirilmiştir. Geliştirilen gübre atma sistemi depodan gübrenin taşınması için oluklu besleme makarası ile donatılmıştır. Gübre deposunun hacmi 5 litre ve gübre atıcı oluklu makaranın çapı 28.00 mm, uzunluğu 25.00 mm ve oluk sayısı 11 dir. Değişik gübre normunun elde edilmesi amacıyla oluklu makaranın hareketlendirilmesi için 12V DC fırçalı elektrik motoru kullanılmıştır (Şekil 3.5).

3.3. Deneme Düzeneği

Geliştirilen EHKS'nin başarısını test etmek için, ekim makinası test düzeneği kullanılarak bir deney standı oluşturulmuştur (Şekil 3.5.). Ekim makinası test düzeneği, elektronik varyator ile kontrol edilerek 0-18 km/h aralığında kademesiz ilerleme hızını sağlayabilmektedir. Test düzeneği, sabit hız ve anlık hız değişimi koşullarına imkan vererek tarla şartlarında çalışma koşullarını oluşturabilmektedir.



Şekil 3.5. Gübre normu test düzeneği; 1. Hassas terazi, 2. Makina test standı, 3. Tek dane ekim makinası, 4. DC elektrik motoru, 5. Mikro-granül gübre deposu, 6. Gübre borusu, 7. Mikrogranül gübre makarası

3.4. Mikro-Granül Gübreler

Hassas ekim makinalarının üzerine eklenen gübre atma düzenekleriyle, gübre üretici firmaların değişik fiziksel ve mekanik özelliklere sahip çeşitli mikro-granül gübrelerin toprağa atılması yapılmaktadır. Bu nedenle, geliştirilen sistemin başarısının kontrol testleri için Umostart Super Zn 11-48-0+Zn (Sumi Agro, Turkey) ve Physiostart 8-28-0+23+ME (Timac Agro S.A.S., Saint Malo, France) mikro-granül gübreleri kullanılmıştır. Umostart Super Zn ve Physiostart mikro-granül gübrelerinin kütle yoğunluğu sırasıyla 0.90 ve 0.88 kg/l ve granül çapı 0.5-1.0 ve 0.5-1.2 mm'dir. Gübrelerin N, P, S, Ca, Mg ve Zn yönünden ağırlıkça kimyasal içerikleri ise sırasıyla 11, 48, 0, 0, 0.1 ve %1 diğeri 8, 28, 23, 14, 3 ve %2 dir.

3.5. Yöntem

3.5.1. Elektronik Hareket ve Kontrol Sisteminin Kalibrasyon ve Simülasyon Testleri

Kontrol testlerine başlamadan önce gübre makarasını kontrol eden 12V DC elektrik motorunun kararlılığını artırmak ve tepki süresini azaltmak için PID katsayıları Kp, Ki ve Kd değerleri self adaptation tekniği ile belirlenmiş. Ayrıca, gübre makarasının kararlı şekilde ilk harekete başlaması için hareket veren elektrik motorunun ortalama 1 V gerilime ihtiyaç duyduğu tespit edilmiş ve EHKS'nin yazılımının hazırlanmasında dikkate alınmıştır.

Geliştirilen sistem 2.0, 2.5, 3.0 ve 3.5 kg/da sabit normlarda gübre atacak şekilde ayarlanmış. Ekim makinası test düzeneğinin elektronik varyatörü kontrol edilerek 0-10 km/h aralığında randomize anlık hız değişimleri elde edilmiş ve dinamik çalışma koşulları sağlanmıştır. Her bir sabit gübre normunda, EHKS'nin hesaplamış olduğu (hedef/referans) makara devri ile elektrik motorunun enkoderinden ölçülen makara devri, ilerleme hızı değişim periyodu süresince kayıt edilmiştir. Çiftçilerin kullanıma sunulan mikro-granül gübrelerin yoğunlukları 0.8-1.2 kg/l arasında değişmektedir. Çalışmanın bu aşamasında, uygulama normuna karşılık hedef olarak kullanılacak makara devrinin hesaplanmasında 0.9 kg/l yoğunluk dikkate alınmıştır. Ayrıca, hesaplanan (hedef) ve ölçülen makara devirlerini düzeltme için herhangi bir filtre kullanılmamıştır.

Hedef devir ile ölçülen makara devri arasındaki ilişkiler her bir gübre normu için ayrı ayrı incelenmiştir. Ayrıca tüm gübre normu için elde edilen hedef ve ölçülen makara devirleri topluca değerlendirilmiştir. Bunlara ek olarak, ölçülen makara devir değerlerinin hedef devir değerlerine yakınlığı, ortalama mutlak yüzde hata (OMYH) ve ortalama mutlak sapma değerleri (OMS) belirlenerek karşılaştırılmıştır (Bovas & Ledolder 1983; Çay ve ark.

2017). Daha yüksek belirleme katsayısı (R^2), daha düşük OMYH ve OMS değeri, 0'a (sıfır) daha yakın intercept (β_0) değeri ve 1'e (bir) daha yakın slope (β_1) değeri, olması daha iyi sistem performansı demektir. OMYH ve OMS değerleri aşağıdaki eşitliklerle hesaplanmıştır.

$$OMYH = \left({}^{100}/_{n}\right) \sum_{i=1}^{n} \left|\frac{e_i}{HS_i}\right|$$

$$OMS = \left({}^{1}/_{n}\right) \sum_{i=1}^{n} |e_i|$$

$$e_i = |HS_i - \text{Ö}S_i|$$

Burada;

ÖSi : EHKS tarafından yönetilen gübre makarasının ölçülen devri,

HSi : Sistem içerisinde ayarlanan hedef (hesaplanan) makara devri.

3.5.2. Gübre Uygulama Testleri

Gübre atma sistemlerinde performansı etkileyen en önemli etkenlerden birisi makine ilerleme hızıdır (Forouzanmehr & Loghavi 2012; Reyes ve ark. 2015). Bununla birlikte, mikro-granül gübre üreticileri, ürüne bağlı olarak ekim sırasında 2 ile 4 kg/da arasında değişen gübre normu önermektedirler. Bu nedenlerle, EHKS'nin kontrol testleri, 2 farklı marka gübre kullanılarak, 3-9 km/h ilerleme hızı aralığında 4 sabit ve 0-10 km/h arasında değişken ilerleme hızlarında (3.0, 5.0, 7.0 ve 9.0 km/h sabit ve 0.0-10.0 km/h değişken) ve 2.0-4.0 kg/da aralığında 5 farklı hedef gübre uygulama normu (2.0, 2.5, 3.0, 3.5 ve 4.0 kg/da) ayalarında gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3.1.). Bir deneme kombinasyonu 1.5 da alanın gübrelenmesi yapılacak şekilde test edilmiştir. Her bir deneme kombinasyonu için 3 tekrarlı gübre miktarı ölçümü yapılmış ve gerçekleştirilen gübre normu hesaplanmıştır. Gübre miktarının ölçümü 0.01 hassasiyetli hassas terazi ile yapılmıştır. Geliştirilen EHKS'deki ayar girişleri, hedef/referans değerler olarak kullanılmıştır. Gübre normu, geliştirilen ve gübre atıcı makara devrini istenilen gübre normuna (0.0-8.0 kg/da) göre kademesiz olarak değiştirebilen EHKS ile yönetilmiştir.

Çizelge 3.1. EHKS'nin uygulama performansının değerlendirilmesi için test koşulları

Bağımsız Değişkenler	**Değişken seviyeleri**	**Kontrol parametreleri**
İlerleme hızı (km/h)	3.0, 5.0, 7.0, 9.0, 0-10.0	Uygulama normu, Belirtme katsayısı (R^2), Kesim (β_0), Eğim (β_1), Ortalama Mutlak Yüzde Hata (OMYH) ve Ortalama Mutlak Sapma (OMS)
Hedef uygulama normu (kg/da)	2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0	

Hedef gübre uygulama normu ve geliştirilen EHKS'nin gerçekleştirdiği gübre normu arasındaki ilişkiler her bir gübre için ayrı ayrı incelenmiştir. Bunlara ek olarak, EHKS'nin gerçekleştirdiği gübre normunun, hedef gübre normuna yakınlığı, ortalama mutlak yüzde hata (OMYH) (Bovas ve Ledolder, 1983; Karimi ve ark., 2015; Cay ve ark., 2017) ve ortlama mutlak sapma (OMS) belirlenerek karşılaştırılmıştır. OMYH, skaler büyüklükten bağımsız bir değeri ifade ettiği için farklı veri setlerinin gerçek değeri tahmin etme karşılaştırmalarında çoğunlukla kullanılan yöntemlerden birisidir. Bunlara ilave olarak, hedef ve ölçülen gübre normları arasındaki ilişkilerin tanımlanmasında kullanılan coefficient of determination (R^2), intercept (β_0), slope (β_1) ve hata (ε) değerleri incelenmiştir. Daha yüksek belirleme katsayısı (R^2), daha düşük OMYH ve OMS değeri, 0'a (sıfır) daha yakın intercept (β_0) değeri ve 1'e (bir) daha yakın slope (β_1) değeri, olması daha iyi sistem performansı demektir. OMYH ve OMS değerleri aşağıdaki eşitliklerle hesaplanmıştır.

$$OMYH = \left({}^{100}/_{n}\right) \sum_{i=1}^{n} \left| \frac{e_i}{HQ_i} \right|$$

$$OMS = \left({}^{1}/_{n}\right) \sum_{i=1}^{n} |e_i|$$

$$e_i = |HQ_i - \text{Ö}Q_i|$$

Burada;

ÖQi : EHKS kullanıldığında ölçülen gübre normu,

HQi : Sistem içerisinde ayarlanan hedef (hesaplanan) gübre normu.

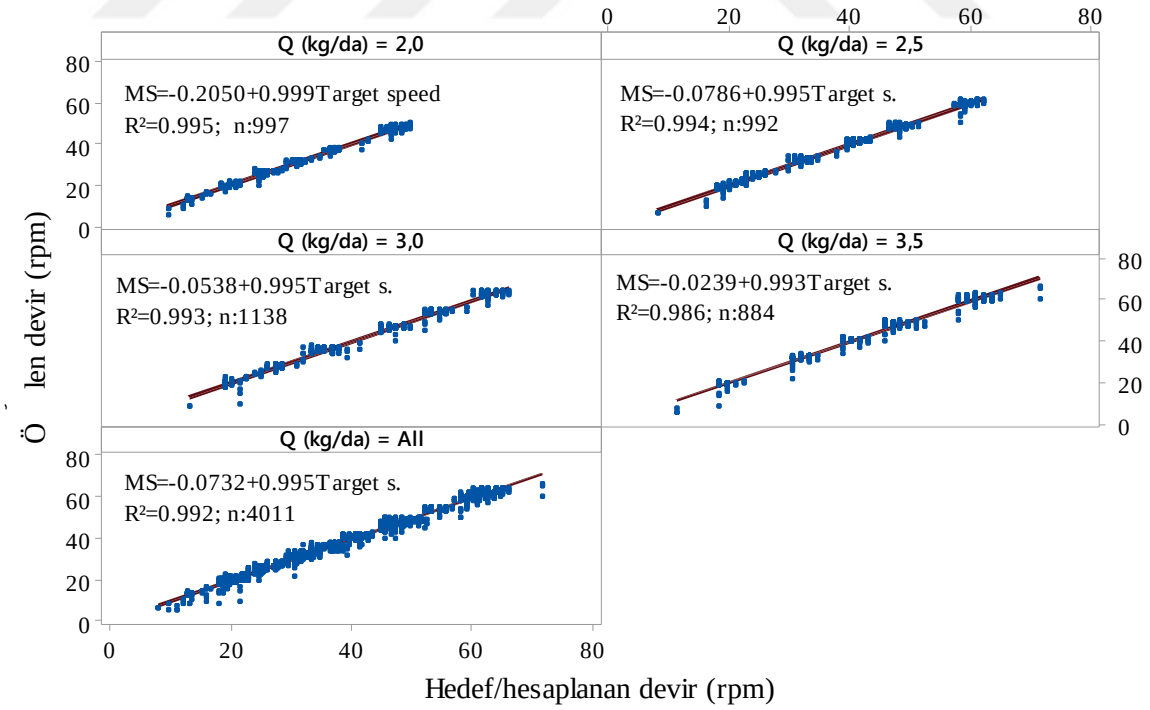
3.5.3. İstatistiksel Analizler

Simülasyon ve kontrol testlerinde, gübre norm ayarlarının, gübre makarasının hedef ve ölçülen devirleri arasındaki değişime yani geliştirilen sistemin performans göstergeleri üzerine etkileri bölünmüş parseller deneme yöntemine göre istatistiksel olarak incelenmiştir. Gübre kullanılarak yapılan testlerde ise, makina ilerleme hızı ve uygulama normu ayarlarının EHKS'nin başarı göstergeleri (OMYH ve OMS) üzerine etkileri bölünmüş parseller deneme yöntemine göre istatistiksel olarak incelenmiş. Verilerin analizinde Minitab 18 istatistik analiz programı (StatSoft, Inc. Tulsa OK, USA) kullanılmıştır. Varyans analizleri ile değişkenlerin önemlilikleri istatistiksel olarak belirlenmiş ve ortalamalar arası farklılıklar Tukey çoklu karşılaştırma testi ile ortaya konulmuştur.

BÖLÜM 4
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

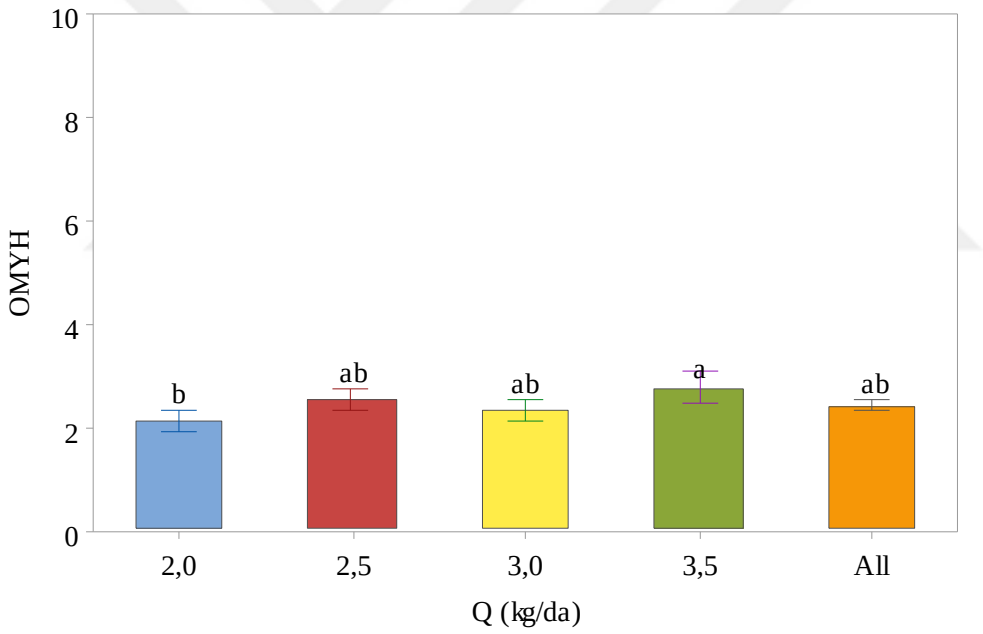
4.1. Kalibrasyon ve Simülasyon Test Sonuçları

Gübre testleri öncesi yapılan kalibrasyon çalışmalarında, farklı gübre uygulama normu ayarlarında, gübre makarası motorundan ölçülen makara devrinin EHKS tarafından hesaplanan yani set edilen gübre makarası devrine (hedef devir) göre değişimleri şekil 4.1'de görülmektedir. Belirtme katsayısı (R^2) 0.986 ile 0.995 arasında değişmiştir. 2.0, 2.5, 3.0 ve 3.5 kg/da uygulama norm ayarları için sırasıyla 0.995, 0.994, 0.993 ve 0.986 olmuştur. Tüm uygulama normları için ölçülen değerler birlikte değerlendirildiğinde belirtme katsayısı 0.992 olmuştur (Şekil 4.1.). Bu yüksek belirtme katsayıları, geliştirilen sistemin gübre makarası için hesaplanan hedef makara devrini sağalmada oldukça yüksek başarıya sahip olduğunun bir göstergesidir. Belirtme katsayısına ilave olarak, tüm uygulama normlarında regresyonel eşitliklerin intercept (β_0) ve slope (β_1) değerleri sırasıyla, -0.2050 ile -0.0239 ve 0.9924 ile 0.9955 arasında değişmiştir (Şekil 4.1). Intercept değerleri (0) sıfıra, slope değerleri ise 1'e çok yakın olmuştur.



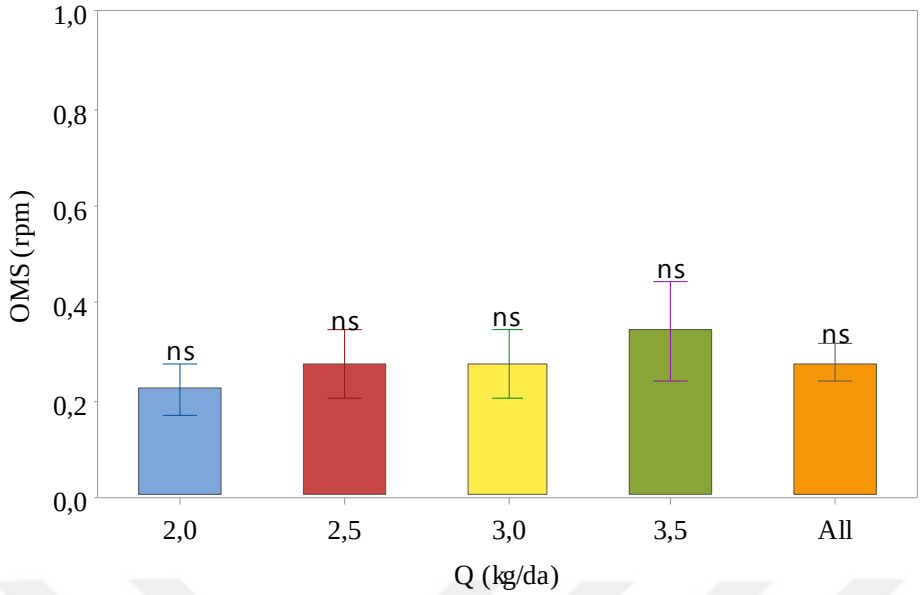
Şekil 4.1. Hedef hız ile ölçülen hız arasındaki ilişki

Lineer oransal ilişki, tek başına sistem başarısını belirlemesi için yeterli değildir. Bu sebeple hatalarında incelenmesi gereklidir. Ortalama mutlak yüzde hata (OMYH) 2.766% ile en yüksek 3.5 kg/da ve 2.131% ile en düşük 2.0 kg/da gübre normu ayarı için yapılan ölçümlerde elde edilmiştir (Şekil 4.2.). Tüm gübre uygulama normu (Q) ayarları birlikte değerlendirildiğinde, OMYH 2.430% olarak belirlenmiştir. Elde edilen OMYH değerlerinin tamamının oldukça düşük ve kabul edilebilir seviyede olduğu görülmüştür. Diğer bir deyişle, EHKS yaklaşık %98 doğrulukla gübre makarasının hızını yönetebilmiştir. Hedef uygulama normlarına göre gübre makarası devirlerinin OMYH değerleri arasında istatistiksel olarak fark olmasına ($p<0.003$, $F=4$) karşın birbirine oldukça yakın gruplarda yer almıştır (Şekil 4.2.). Kim ve ark. (2008) uygulamanın doğruluğunun boşaltma hızı, çalışma hızı ve ikisinin kombinasyonundan önemli derecede etkilendiğini bulmuşlar. Ayrıca, %80'in üzerinde bir doğruluğun kabul edilebilir olduğunu belirtmişlerdir.



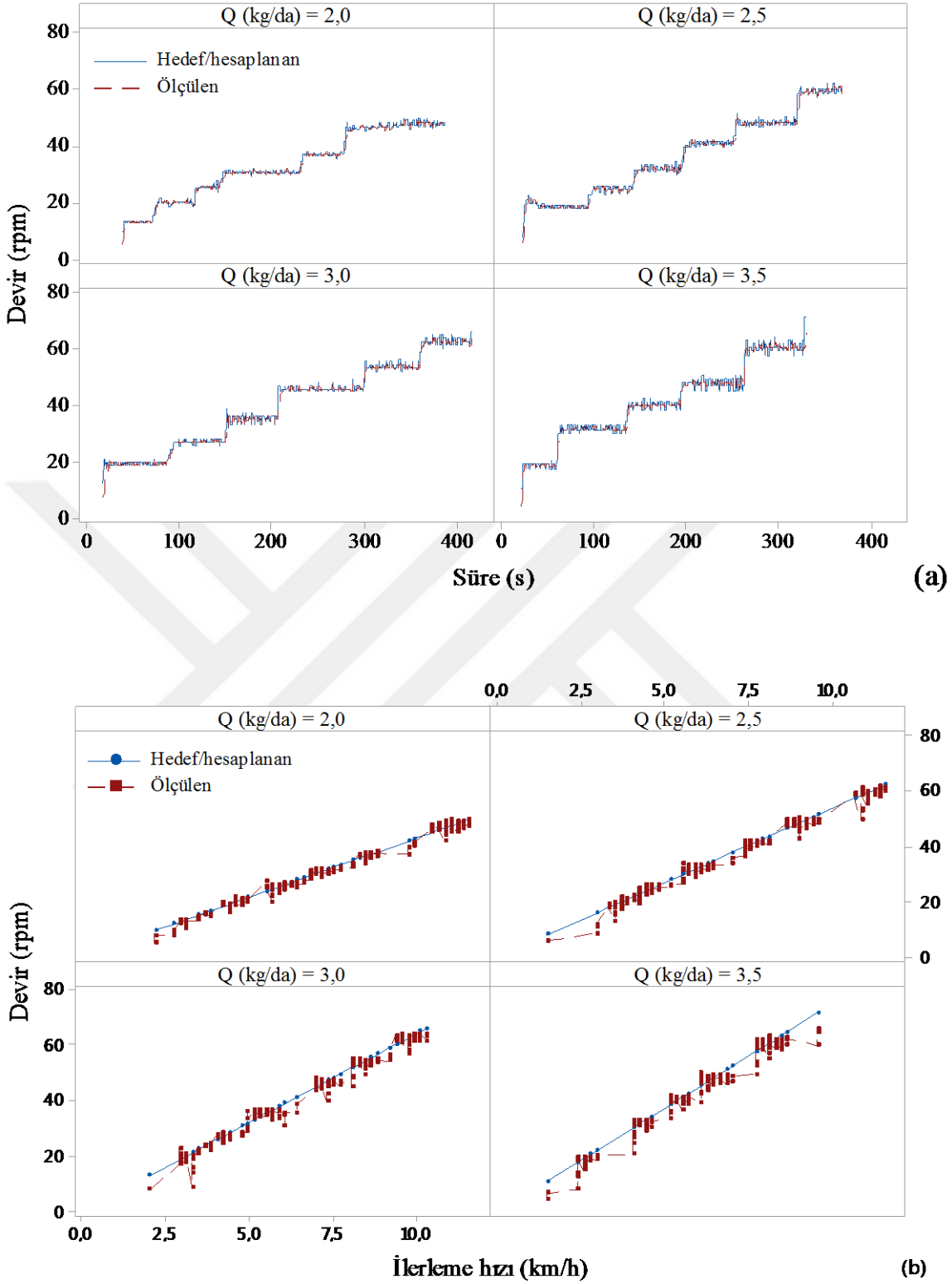
Şekil 4.2. Hız ölçümlerinin OMYH değerleri; aynı harflerle gösterilen uygulamalar arasında fark yoktur $p>0.05$ (Tukey testi)

Geliştirilen sistem tarafından yönetilen gübre makarası enkoderinden elde edilen makara devri değerlerinin hesaplanan/set değerlerden ortalama mutlak sapmaları Şekil 4.3'de görülmektedir. Ortalama mutlak sapma (OMS) değerleri 0.220 ile 0.342 d/d arasında değişim göstermiştir ve tüm normlar ele alındığında 0.275 d/d olmuştur. Hedef gübre uygulama normlarına göre mutlak sapmalar arasındaki fark istatistiki açıdan önemsiz olmuştur ($p<0.316$, $F=1.18$).



Şekil 4.3. Hız ölçümlerinin OMS değerleri; aynı harflerle gösterilen uygulamalar arasında fark yoktur p>0.05, ns: önemsiz (Tukey testi)

Anlık değişim şartlarına uyum bakımından, geliştirilen sistemin tepki karakteristiği olarak, tesadüfü hız değişim koşullarında, uygulama oranına göre hesaplanan makara devrine karşı EHKS tarafından yönetilen makaranın tepki devri ölçülmüştür. Test süresince, hedef/hesaplanan ve ölçülen gübre makarası devirlerinin değişimi Şekil 4.4'de görülmektedir. Hedef devirden %5'den daha fazla sapma gösteren, ölçülen devirlerin oranı, uygulama normuna göre %7.82 ile 12.67 arasında değişim göstermiştir. En düşük oran 2.0 kg/da ve en yüksek oran 3.5 kg/da uygulama normu set ayarlarında elde edilirken tüm normlar ele alındığında sapma oranı %10.57 olmuştur. Dinamik hız koşullarından dolayı, makaranın hem hedef hızı hem de ölçülen hızında biraz dalgalanma (fluctiation) olmuştur. Hedef hızı yakalamak için EHKS 250 ms'den daha düşük tepki süresine sahip olmuştur. Set edilen uygulama normlarına göre makara devrindeki %5 sapma oranlarındaki değişimler, OMS'nin değişimine benzer olmuştur (Şekil 4.4 ve 4.5). Sapmaların büyük bir bölümü ilk hızlanma periyodunda oluşmuştur bir diğer deyişle makinanın ilk harekete geçme aşamasında hızlanmanın kararsızlığından kaynaklandığı söylenebilir. Ayrıca uygulama normu değerlerindeki artışa bağlı olarak makara devrinin artması %5 sapma oranında artışa neden olmuş fakat bu değişim istatistiksel olarak önemsiz olmuştur.

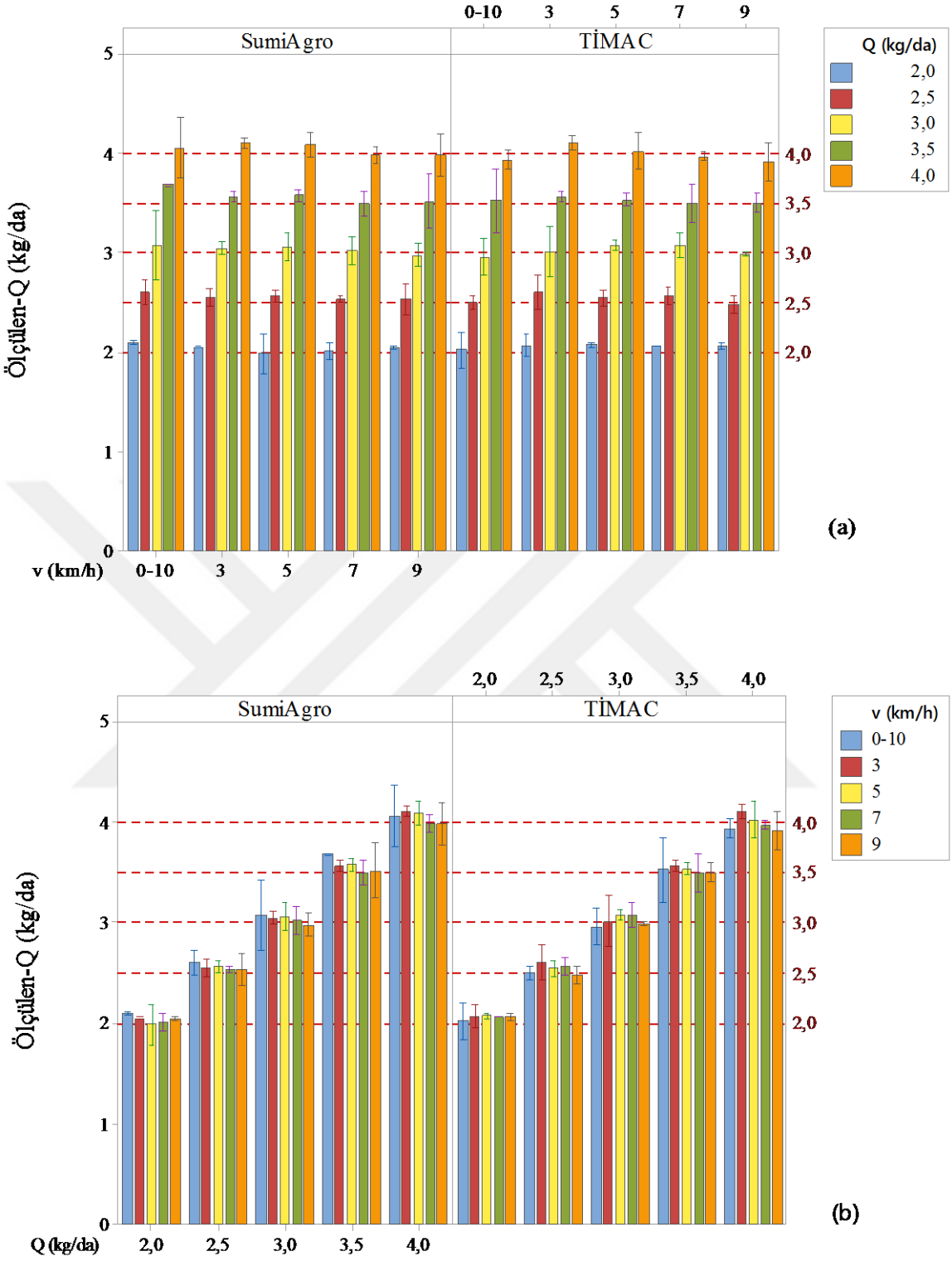


Şekil 4.4. Ayarlanmış uygulama normunda zaman (a) ve ilerleme hızına (b) göre hesaplanan (hedef) ve ölçülen devir sayıları

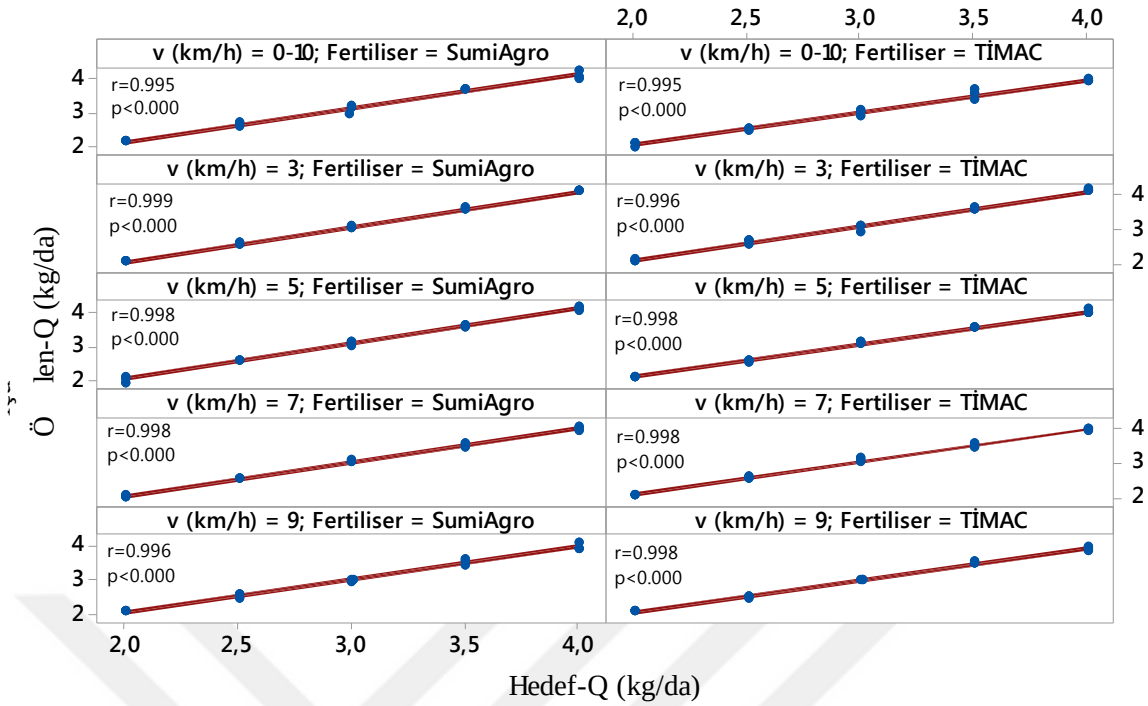
Kim ve ark. (2008) gübre makarasının muhtemel tork kararsızlığı sebebiyle, hedef hız sabit kalırken, makaranın hızı (ölçülen) biraz dalgalanma gösterdiğini bulmuşlar. Bununla birlikte, uygulama normu değiştiği zaman, motor hızının 0.60-1.01 s aralığında stabil hale gelebildiğini ve uygulama normu tepki süresinin 1.5 ile 3.03 s arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Başka bir çalışmada ise, kademe değişim ayarlarının kontrol tepki süresi 0.95-1.90 s aralığında belirlenmiştir (Tola ve ark. 2008)

4.2. Gübre Uygulama Test Sonuçları

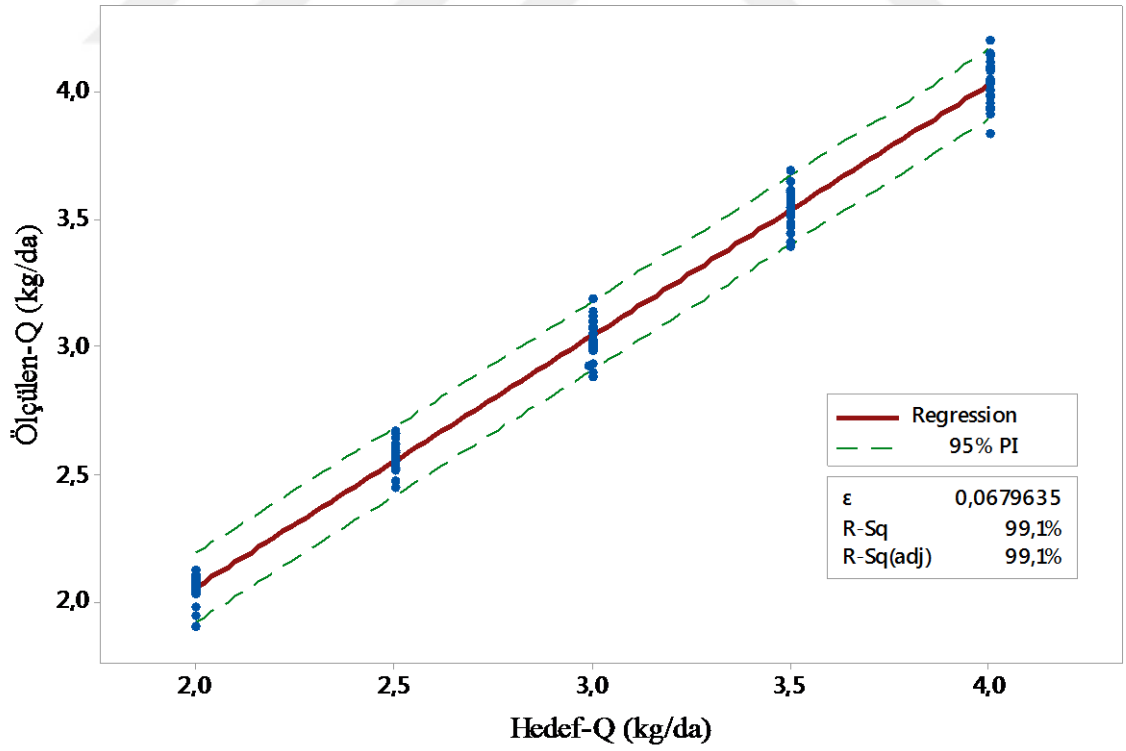
İki farklı mikro-granül gübre ile yapılan çalışmalarda, farklı çalışma hızlarına ve hedef gübre normlarına göre, EHKS kullanılarak atılan yani ölçülen gübre normu değerleri şekil 4.6. ve 4.7.'de görülmektedir. Her iki gübre için tüm test koşullarında, EHKS, %96-99 arasında değişim gösteren ve ortalama %98 gibi oldukça yüksek bir uygulama doğruluğuna sahip olmuştur. Ayrıca, micro-granül gübreler için sabit ilerleme hızı koşullarında, hedef gübre normu değişimlerine karşılık ölçülen gübre normu değişimleri arasındaki ilişkiler şekil 4.8'de görülmektedir. Belirleme katsayısı (R^2) 0.987 ile 0.999 arasında değişmiştir. Tüm çalışma koşullarında en düşük R^2 0-10 km/h dinamik (rastgele) hız değişim koşulunda elde edilirken, en yüksek R^2 Umostart Super mikro-granül gübrenin kullanıldığı 3 km/h sabit hız koşulunda gerçekleşmiştir (Şekil 4.9.). Her iki gübre ve tüm ilerleme hızları için ölçülen değerler birlikte değerlendirildiğinde belirtme katsayısı (R^2) 0.991 olmuştur (Şekil 4.9.). Bu yüksek belirtme katsayıları, geliştirilen sistemin hedef gübre normunu sağalmada oldukça yüksek başarıya sahip olduğunun bir göstergesidir. Belirtme katsayısına ilave olarak, her iki gübre için tüm ilerleme hızlarında regresyonel eşitliklerinin intercept (β_0) ve slope (β_1) değerleri sırasıyla -0.014 ile+0.193 ve 0.942 ile 1.044 arasında değişmiştir (Çizelge 4.1.). Intercept değerleri sıfıra, slope değerleri ise 1'e çok yakın olmuştur.



Şekil 4.5. Her iki gübre için ilerleme hızı (a) ve hedef uygulama normuna (b) göre ölçülen uygulama normu



Şekil 4.6. Hedef uygulama normu ile EHKS'nin gerçekleştirdiği ölçülen gübre normu arasındaki ilişkiler

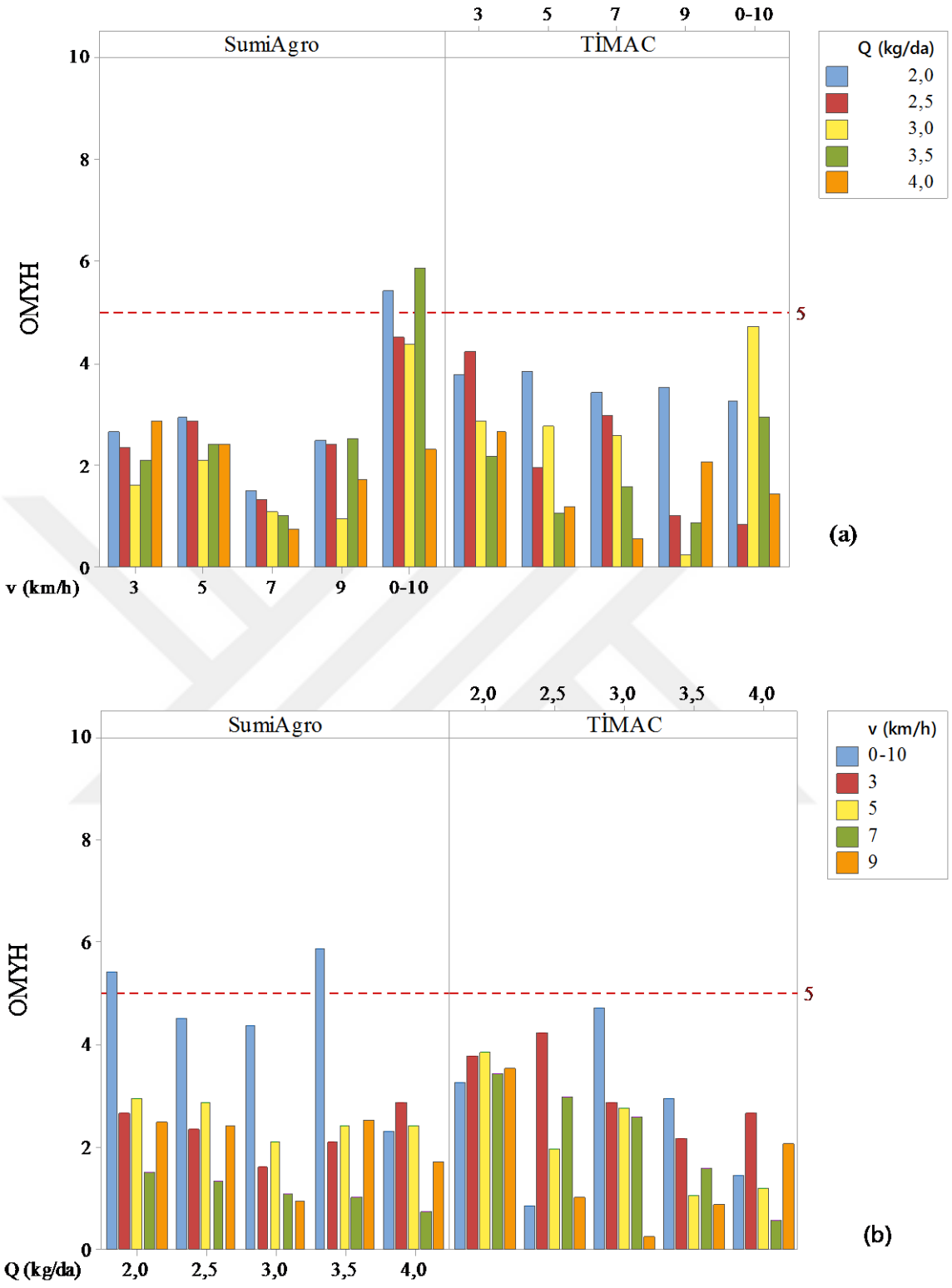


Şekil 4.7. Tüm test koşulları için hedef uygulama normu ile EHKS'nin gerçekleştirdiği ölçülen gübre normu arasındaki ilişki

Çizelge 4.1. Regresyon analiz sonuçları ve hatanın standart sapması

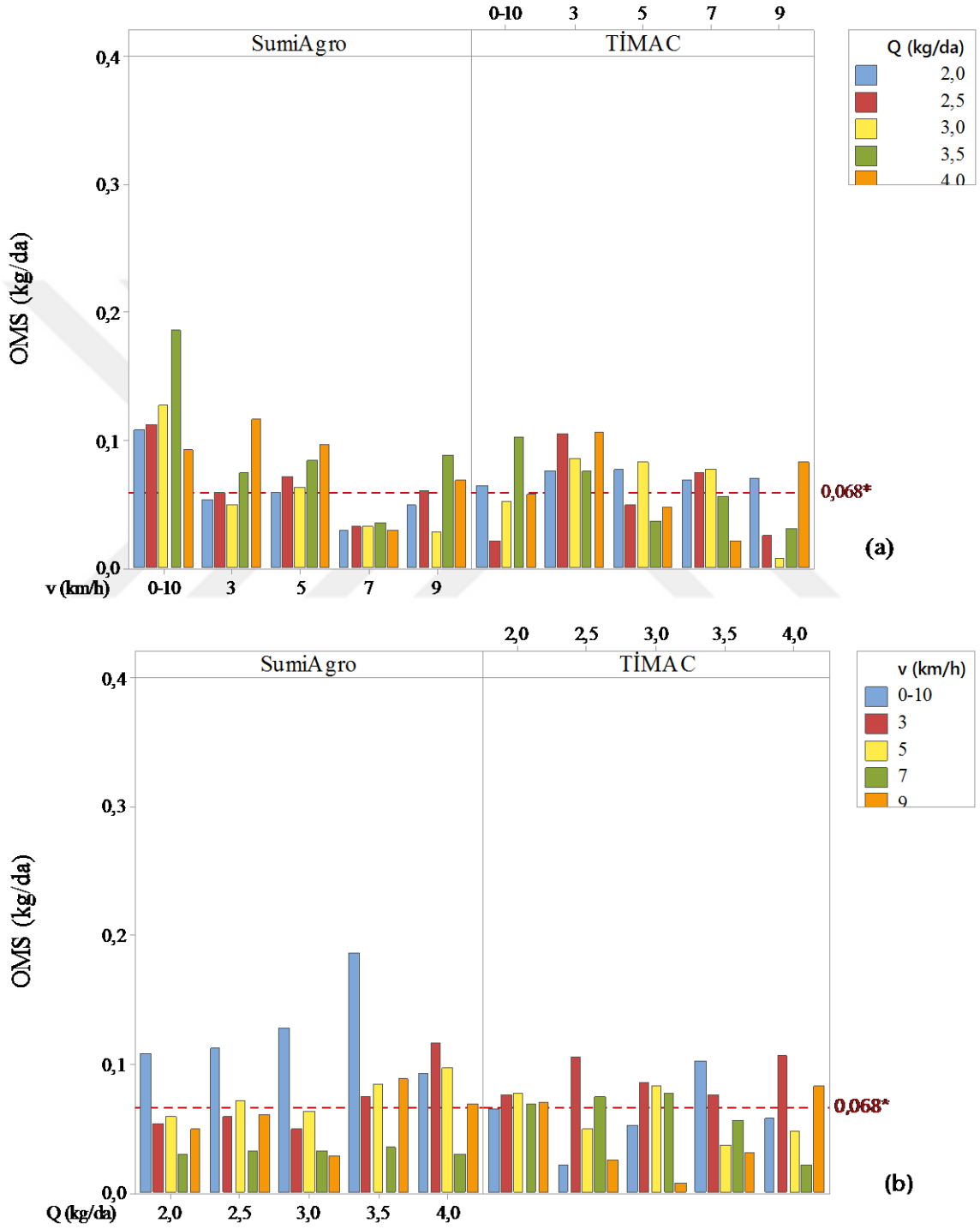
Gübre	V (km/h)	β_0	β_1	R^2	ε (kg/da)
Sumi Agro (Umostart Super Zn)	3	-0.014	1.028	0.999	0.0257
	5	-0.072	1.044	0.996	0.0496
	7	+0.066	0.983	0.997	0.0381
	9	+0.100	0.972	0.992	0.0652
	0-10	+0.120	0.997	0.987	0.0863
Timac Agro (Physiostart)	3	+0.057	1.007	0.993	0.0642
	5	+0.118	0.979	0.997	0.0379
	7	+0.193	0.950	0.996	0.0454
	9	+0.168	0.942	0.996	0.0475
	0-10	+0.076	0.972	0.990	0.0751
For all		+0.081	0.987	0.991	0.0680

Lineer oransal ilişki, tek başına sistem başarısını belirlemesi için yeterli değildir. Bu sebeple hatalarında incelenmesi gereklidir. Ortalama mutlak yüzde hata (OMYH) %0.265 ile %5.870 arasında değişim göstermiştir. Rastgele değişen ilerleme hızı şartlarında iki gübre normu (2.0 ve 3.5 kg/da) hariç tüm çalışma koşullarında OMYH %5'in altında olmuştur (Şekil 4.8). Her iki gübre ve tüm ilerleme hızı ve tüm gübre normu ayarları birlikte değerlendirildiğinde, OMYH 2.434% olarak hesaplanmıştır. Elde edilen OMYH değerlerinin tamamının oldukça düşük ve kabul edilebilir seviyede olduğu görülmüştür. Gübre uygulama normlarının OMYH değerleri arasında arasındaki fark istatistiki açıdan önemsiz olmuştur (Şekil 4.8). Bu çalışmanın önceki bölümünde, kalibrasyon ve simülasyon testleri sırasında gübresiz yapılan denemelerde, hedef makara hızından ölçülen makara hızının sapma hatası için belirlenen OMYH değeri 2.131 ile 2.766 arasında değişmiş, genel olarak 2.430% olarak bulunmuştur. Motor hızları (hedef-ölçülen) ve gübrelerle yapılan testlerdeki uygulama normu (hedef-ölçülen) için belirlenen OMYH değerleri tamamen benzer olmuştur. Geliştirilen sistem, gübre makarasına hareket veren elektrik motorunun hızında ve torkunda değişikliğe neden olabilecek, gübrelerin fiziksel özelliklerinden (sürtünme, adhezyon, akıcılık, farklı granül çapı vb) kaynaklanan olumsuzlukların üstesinden gelmiştir. Böylece EHKS, değişik uygulama normlarında gübre makarasının kararlı şekilde çalışmasını sağlamıştır. Uygulanan geri besleme (close loop) tekniği ve sistemin tepki hızının oldukça başarılı olduğu söylenebilir.



Şekil 4.8. İlerleme hızı (a) ve hedef gübre normuna (b) göre ölçülen gübre normunun OMYH değerlerinin değişimi

Geliştirilen EHKS'nin kontrolünde, atılan gübre normunun hedef gübre normundan ortalama mutlak sapmaları (OMS) Şekil 4.9'de görülmektedir. Ortalama mutlak sapma değerleri 0.0008 ile 0.1980 kg/da arasında değişim göstermiştir ve tüm uygulama normları birlikte değerlendirildiğinde 0.0676 kg/da gibi oldukça küçük olmuştur. Gübre set normlarına göre mutlak sapmalar arasındaki fark istatistiki açıdan önemsiz olmuştur.



Şekil 4.9. İlerleme hızı (a) ve hedef gübre normuna (b) göre ölçülen gübre normunun OMS değerlerinin değişimi

Değişik hız koşullarında ve farklı gübre normlarında yapılan testlerde ortaya çıkan, R^2 (0.987-0.999) değerleri oldukça yüksek ve OMYH (%0.265-%5.870) değerleri oldukça düşük olmuştur. OMYH ve R^2 değerlerindeki meydana gelen değişim aralığının, geliştirilen EHKS'nin performansında önemli değişimlere neden olmadığı için kabul edilebilir sınır aralıklarında oldukları söylenebilir. Mikro-granül gübrelerin fiziksel özellikleri, gübre ve gübre makarası arasındaki sürtünme vb etkileşimler, gübre granüllerinin gübre borusundaki akışı etkileyen unsurların bu sapmalara neden olduğu söylenebilir. Sonuç olarak, ele alınan her iki gübre, tüm uygulama normu ve ilerleme hızı koşulları için geliştirilen EHKS ile istenilen normda mikro-granül gübre atma başarısı (EHKS doğrusallığı (accuracy): %98; R^2= 0.991; OMYH: %2.434; OMS: 0.068 kg/da; β_0=0.081 ve β_1=0.987) oldukça yüksek olmuştur (Şekil 4.6, 4.7 ve Çizelge 4.1). İlave olarak, ölçülen gübre normu sapmalarının tamamı oldukça düşük ve kabul edilebilir sınırlarda olmuş ve EHKS istenilen (set edilen=ayarlanan) normda gübreyi atmayı başarıyla yapabilmiştir. Genel olarak, ekim makinaları üreticileri ve standartlar (ISO 7256/1), ekim işlemi sırasında ve ekim makinalarının testlerinde ilerleme hızının 6-6.5 km/h olmasını önermektedirler. Zincir dişli vb mekanik aktarım organları devre dışı bırakıldığı için, önerilen bu hızlardan daha yüksek hızlarda EHKS iyi performanslar göstermiş ve iş kapasitesinin artmasına yardımcı olmuştur. Sürekli rastgele anlık hız değişimine zorlanan (0-10 km/h) test koşullarında dahi EHKS sistemi gübre makarasını düşük hata oranları ile yönetmiş, doğruluk derecesi yüksek mikro-granül gübre normu uygulaması gerçekleştirebilmiştir.

Bu çalışmada sabit ve anlık ilerleme hızı değişimlerinin EHKS'nin performansı üzerine etkisi tespit edilememesine karşın Forouzanmehr ve Loghavi (2012) yaptıkları çalışmada, ilerleme hızı ve gübre uygulama normunun, uygulama normunun doğruluğuna önemli etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır. Alameen ve ark. (2019) benzer sonuçlar bulunmuştur. Farklı kontrol sistemlerinin etkinliklerinin araştırıldığı çalışmalarda, değişik ilerleme hızı ve farklı uygulama normu koşullarında sistemin uygulama hatasını %8.38 (Tewari, 2015), %9 (Forouzanmehr ve Loghavi, 2012), %3.69-11.35 (Koundal ve ark., 2012), %6 (Talha ve ark., 2011), %5 (Tola ve ark., 2008) olarak belirlemişler.

BÖLÜM 5
SONUÇ VE ÖNERİLER

Tek dane ekim makinalarında mikro-granül gübre normunu kademesiz olarak ayarlanmasına olanak sağlayacak elektronik hareket ve kontrol sisteminin (EHKS) tasarımı ve geliştirilmesi hedeflenmiştir. Sistemin fonksiyonel yapısına uygun yazılım gerçekleştirilmiş, donanım tasarımı hazırlanmış. Geliştirilen elektronik hareket ve kontrol sistemi değişik gübre normu ayarlarında simülasyon test yapılmış ve performans sonuçları karşılaştırılmıştır. Ayrıca, beş farklı gübre normu ve çalışma hızı koşullarında iki farklı mikro-granül gübre kullanarak performans değerlendirmeleri yapılmıştır. Elektronik hareket ve kontrol sistem ile elde edilen gübre normu ortalama değerler, hedef gübre normu oldukça yakın bulunmuştur. 2.0 -3.5 kg/da hedef gübre normu aralığında belirtme katsayısı (R^2) 0.986 ile 0.995 arasında değişmiştir. Tüm gübre normlari için ölçülen değerler birlikte değerlendirildiğinde belirtme katsayısı 0.992 olmuştur. Bu yüksek belirtme katsayıları, geliştirilen sistemin gübre makarası için hesaplanan hedef makara devrini sağalmada oldukça yüksek başarıya sahip olduğunun bir göstergesidir. Belirtme katsayısına ilave olarak, tüm gübre normlarında regresyonel eşitliklerinin intercept (β_0) ve slope (β_1) değerleri sırasıyla -0.2050 ile -0.0239 ve 0.9924 ile 0.9955 arasında değişmiştir. İntercept değerleri sıfıra (0), slope değerleri ise 1'e çok yakın olmuştur. Tüm gübre normu ayarları birlikte değerlendirildiğinde, sistemin %2.434 olarak oldukça düşük ve kabul edilebilir seviyede bir OMYH değerine sahip olmuştur. Geliştirilen sistemle yönetilen gübre makarası devrinde 0.275 d/d gibi oldukça küçük mutlak sapmanın oluştuğu belirlenmiştir. Hesaplanan ve ölçülen makara devirleri için filtre kullanılarak dalgalanmalar (fluctations) sönümlenerek ve hata oranı ve sapma miktarı daha da azaltılabilir.

Değişken çalışma hızlarında ve farklı gübre norm ayarlarında elektronik hareket ve kontrol sistemle belirgin bir başarı yakalanmıştır. Kullanım açısından genel değerlendirme yapıldığında elektronik hareket ve kontrol sistemi; mikro-granül gübre için önerilen optimum gübre normu ayar olanağı, hızlı ve basit ayar ve eş zamanlı kontrol, yüksek hızda çalışma olanağı sağlamıştır. Ek olarak konu üzerine yapılan çalışmaların hemen hemen hepsinin yüksek uygulama normuna sahip ve iri granüllü gübrelerle yapıldığı görülmüştür. Bu çalışmalarla karşılaştırıldığında, bu geliştirilen sistemle doğrusallığı daha yüksek başarı ölçütleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, iki farklı mikro-granül gübre kullanarak yapılan performans değerlendirmelerinde, her iki gübre için farklı çalışma hızlarının tamamında

ayarlanan uygulama normu (hedef norm), deneysel (ölçülen) gübre normu ile oldukça benzer olmuştur.

Belirtme katsayısı (R^2) 0.987 ile 0.999 arasında değişim göstermiş ve her iki gübre ve tüm ilerleme hızları için ölçülen gübre normu değerleri birlikte değerlendirildiğinde belirtme katsayısı (R^2) 0.991 olmuştur. İlave olarak, her iki gübre için tüm ilerleme hızlarında regresyonel eşitliklerinin intercept (β_0) ve slope (β_1) değerleri sırasıyla -0.014 ile +0.193 ve 0.942 ile 1.044 arasında değişmiş ve sırasıyla sıfır (0) ve 1'e oldukça yakın intercept ve slope değerleri oluşmuştur. Ayıca, her iki gübre için tüm ilerleme hızı ve tüm gübre normu ayarları birlikte değerlendirildiğinde, gübre normunda kabul edilebilir seviyede %2.434 gibi oldukça düşük OMYH ve 0.0024 kg/da gibi oldukça az mutlak sapma (OMS) meydana gelmiştir.

Tüm değerlendirmeler sonucunda, geliştirilen sistemin, istenilen norma (target rate) oldukça yakın mikro-granül gübreyi uygulamasına ilave olarak, yüksek R^2, sıfıra (0) yakın intercept ve 1'e yakın slope değerlerine sahip ilişkilerin bulunması ve aynı zamanda düşük OMYH ve oldukça az OMS sağlaması alternatif bir hareket ve kontrol sistemi olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Bu değerler, geliştirilen sistemin hedef gübre normunu sağalmada oldukça yüksek başarıya sahip olduğunun bir göstergesidir. İleriki çalışmalarda elektronik hareket ve kontrol sisteminin ekim makinasına mekanik olarak tam uyumunun sağlanabilmesi için gübre atım ünitesi tasarımlarında bazı yapısal iyileştirmeler ile gübre makarası tipi, oluk sayısı, oluk şekli (düz/helisel) ve makara boyutlarının optimize edilmesi gerektiği önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Alameen A.A., Al-Gaadi K.A., Tola E.K., 2019. Development and performance evaluation of a control system for variable rate granular fertilizer application. *Computers and Electronics in Agriculture*, 160(March), pp.31–39.

Anonymous 2019. Micro-granular Fertilizer for Starter Applications. , pp.1–6. Available at: www.compo-expert.com [Accessed January 16, 2019].

Bovas A. , Ledolder J., 1983. *Statistical Methods for Forecasting* 2005th ed., Hoboke, New Jersey: A John Wiley & Sons, Inc., Publication.

Cay A., Kocabıyık H., Karaaslan B., May Ş., Khurelbaatar M., 2017. Development of an Opto-electronic Measurement System for Planter Laboratory Tests. *Measurement*, 102, pp.90–95.

Chandel N.S., Mehta C.R., Tewari V.K., Nare B., 2016. Digital map-based site-specific granular fertilizer application system. *Current Science*, 111(7), pp.1208–1213.

Chattha H.S., Zaman Q.U., Chang Y.K., Read S., Schumann A.W., Brewster G.R., Farooque A.A., 2014. Variable rate spreader for real-time spot-application of granular fertilizer in wild blueberry. *Computers and Electronics in Agriculture*, 100, pp.70–78.

Crista F., Boldea M., Radulov I., Crista L., Lato A., Dragomir C., Berbecea A., Okros A., Lato I., 2014. Changing the quality of maize grain after applying micro-granular fertilizers. *Research Journal of Agricultural Science*, 46(1), pp.166–171.

Forouzanmehr E., Loghavi M., 2012. Design, development and field evaluation of a map-based variable rate granular fertilizer application control system. *Agric. Eng. Int: CIGR Journal*, 14(4), pp.255–261.

Gurjar B., Sahoo P.K., Kumar A., 2017. Design and Development of Variable Rate Metering System for Fertilizer Application. *Journal of Agricultural Engineering*, 54(3), pp.12–21.

Jafari M., Hemmat A., Sadeghi M., 2010. Development and performance assessment of a DC electric variable-rate controller for use on grain drills. *Computers and Electronics in Agriculture*, 73(1), pp.56–65.

Jankowski K.J., Sokolski M., Bogucka B., Dubis B., 2018. Micro-granulated starter fertilizer effects on growth and productivity of winter oilseed rape. *Agronomy Journal*, 110(6), pp.2250–2258.

Jankowski K.J., Sokólski M., 2018. The effect of a micro-granular starter fertilizer on the biomass quality of winter oilseed rape. *Journal of Elementology*, 23(4), pp.1243–1255.

Kaçar B., 1986. *Gübreler ve Gübreleme Tekniği* 3. Baskı., Ankara: T.C. Ziraat Bankası Kültür Yayınları No:20.

Karimi H., Navid H., Mahmoudi A., 2015. Online Laboratory Evaluation of Seeding-Machine Application by An Acoustic Technique. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 13(1), pp.1–8.

Kim Y.J., Kim H.J., Ryu K.H., Rhee J.Y., 2008. Fertiliser application performance of a variable-rate pneumatic granular applicator for rice production. *Biosystems Engineering*, 100(4), pp.498–510.

Kirişçi V., Keskin M., Say S.M., Keskin S., 1999. *Hassas uygulamalı Tarım Teknolojisi*, Ankara: Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti.

Koundal A., Singh M., Sharma A., Mishra P.K., Sharma K., 2012. Development and evaluation of an experimental machine for variable rate application of granular fertilizers. *Proceedings of the International Conference on Sensing Technology, ICST*, pp.370–373.

Maleki M.R., Ramon H., De Baerdemaeker H., Mouazen A.M., 2008. A study on the time response of a soil sensor-based variable rate granular fertiliser applicator. *Biosystems Engineering*, 100(2), pp.160–166.

Nkebiwe P.M., Müller T., 2016. Fertilizer placement to improve crop nutrient acquisition and yield: A review and meta-analysis. *Field Crops Research*, 196, pp.389–401.

Önal İ., 2006. *Ekim, Bakım, Gübreleme Makinaları (3. Basım)*, İzmir: Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No:490.

Radite P.A.S., Hermawan W., Budiyanto B., Azis A., 2010. AFITA 2010 International Conference, The Quality Information for Competitive Agricultural Based Production

System and Commerce. In *Development of Variable Rate Fertilizer Applicator Module Based on 8-bit Embedded System*. Bogor, Indonesia, pp. 93–98.

Reyes J.F., Esquivel W., Cifuentes D., Ortega R., 2015. Field testing of an automatic control system for variable rate fertilizer application. *Computers and Electronics in Agriculture*, 113, pp.260–265.

Roberts T.L., 2007. Right product, right rate, right time, and right place … the foundation of best management practices for fertilizer. In Fertilizer Best Management Practices: General Principles, Strategy for their Adoption, and Voluntary Initiatives vs. Regulations. In *IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices, 7-9 March*. Brussels, Belgium, pp. 29–32.

Roberts T.L., 2009. The role of fertilizer in growing the world's food. *Better Crops with Plant Food*, 93(2), pp.12–15.

Su N., Taosheng X., Liangtu S., Rujing W., Yuanyuan W., 2015. Variable rate fertilization system with adjustable active feed-roll length. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 8(4), pp.19–26.

Talha Z., Tola E. Kheiralla A.F., 2011. Pneumatic system for granular fertilizer flow rate control. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 8(3), pp.688–693.

Tewari V.K., 2015. Application of Microcontroller Interfaced with DGPS for Variable Rate Fertilizer Applicator. , pp.1–8.

Tola E., Kataoka T., Burce M.E.C., Okamoto H.D.I., Hata S.I., 2008. Granular fertiliser application rate control system with integrated output volume measurement. *Biosystems Engineering*, 101(4), pp.411–416.

Üngör M.G., 2009. *Tarım Makinalarında Değişken Miktarlı Uygulama Olanağı Veren Uygulama Haritası Programının Geliştirilmesi*. Namık Kemal Üniversitesi.

Wei S., Liu B., Liu X., Li X., Ren T., Cong R., Lu J., 2015. Effect of depth of fertilizer banded-placement on growth, nutrient uptake and yield of oilseed rape (Brassica napus L.). *European Journal of Agronomy*, 62, pp.38–45.

Van Loon J., Speratti A.B., Govaerts B., 2018. Precision for smallholder farmers: A small-scale-tailored variable rate fertilizer application kit. *Agriculture*, 8(4), pp.1–14.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Şahin MAY

Doğum Yeri: CİDE

Doğum Tarihi: 01/04/1987

EĞİTİM DURUMU

Lise Öğrenimi: Çan Endüstri Meslek Lisesi, Elektronik Bölümü (2001-2004)

Önlisans Öğrenimi: Trakya Üniversitesi, Tekirdağ Meslek Yüksekokulu, Endüstriyel Elektronik (2004-2006)

Lisans Öğrenimi: Selçuk Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Elektronik Öğretmenliği (2008-2012)

Yüksek Lisans Öğrenimi: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı (2016-2019)

Bildiği Yabancı Diller: İngilizce

BİLİMSEL FAALİYETLERİ

a) Yayınlar -SCI -Diğer

- ✓ May Ş and Kocabıyık H., "Design and development of an electronic drive and control system for micro-granular fertilizer metering unit COMPUTERS AND ELECTRONICS IN AGRICULTURE, vol 162, pp.921-930, 2019.
- ✓ Çay A., Kocabiyik H., May Ş., "Development of an electro-mechanic control system for seed-metering unit of single seed corn planters Part II: Field performance", COMPUTERS AND ELECTRONICS IN AGRICULTURE, vol.145, pp.11-17, 2018.
- ✓ Çay A., Kocabiyik H., May Ş., "Development of an electro-mechanic control system for seed-metering unit of single seed corn planters Part I: Design and laboratory simulation", COMPUTERS AND ELECTRONİCS IN AGRİCULTURE, vol.144, pp.71-79, 2018
- ✓ Çay A., Kocabiyik H., Karaaslan B., May Ş., Khurelbaatar M., "Development of an opto-electronic measurement system for planter laboratory tests", MEASUREMENT, vol.102, pp.90-95, 2017.

b) Bildiriler -Uluslararası -Ulusal

- ✓ Karaaslan B., May Ş., Çay A., Kocabiyik H., "Developing Fuel Measurement System for Liquid Fuel Engines ", 3rd International Conference on Advanced Technology & Sciences (ICAT'16), KONYA, TÜRKIYE, 1-3 Eylül 2016, pp.184-184
- ✓ Kocabiyik H., Çay A., Karaaslan B., May Ş., Khureelbataar M. , "Electro-mechanic Control System for Pneumatic Precision Corn Planters", 5th International conference on Machine Control & Guidance – Vichy, France, October 5-6th, 2016, Vichy, FRANSA, 5-7 Ekim 2016, pp.1-1.
- ✓ Kocabiyik H., Çay A., Karaaslan B., May Ş., Khurelbaatar M., "Testing of developed electro-mechanic drive system for seed metering of precision planters under laboratory conditions with sunflower seeds", 2nd International Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS 2016), Sarejova, BOSNA HERSEK, 24-28 Mayıs 2016, pp.354-354
- ✓ Karaaslan B., Yücel M., May Ş., "Meslek Yüksekokullarında LabVIEW Kullanımının Avantajları", International Symposium on Post-Secondary Vocational Education and Training - Uluslararası Yükseköğretimde Mesleki Eğitim ve Öğretim Sempozyumu (ISVET 2016), ÇORUM, TÜRKIYE, 12-15 Ekim 2016, pp.30-31
- ✓ Karaaslan B., May Ş., "Web Tabanlı Akıllı Ev Otomasyonu", 1. International Mediterranean Science and Engineering Congress - 1. Uluslararası Akdeniz Bilim ve Mühendislik Kongresi (IMSEC 2016), ADANA, TÜRKIYE, 26-28 Ekim 2016, pp.1372-1372
- ✓ Karaaslan B., May Ş., Yücel M., "LabVIEW Tabanlı Kablosuz Akıllı Ev Otomasyonu", Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı (TOK 2016), ESKİŞEHİR, TÜRKIYE, 29 Eylül - 1 Ekim 2016, ss.575-579
- ✓ May Ş., May R., Yücel M., Karaaslan B., "LabVIEW İle Bitki Yetiştirme Odası Otomasyonu", 3. Ulusal Meslek Yüksekokulları Sosyal ve Teknik Bilimler Kongresi (MESTEK 2016), AYDIN, TÜRKIYE, 28-30 Nisan 2016, ss.462
- ✓ Yücel M., May Ş., Karaaslan B., "Güneş Takip Sistemlerinde LabVIEW Otomasyonu Kullanımı", 3. Ulusal Meslek Yüksekokulları Sosyal ve Teknik Bilimler Kongresi (MESTEK 2016), AYDIN, TÜRKIYE, 28-30 Nisan 2016, ss.358
- ✓ Karaaslan B., May Ş., Yücel M., "LabVIEW Tabanlı Akıllı Ev Otomasyonu", 3. Ulusal Meslek Yüksekokulları Sosyal ve Teknik Bilimler Kongresi (MESTEK 2016), AYDIN, TÜRKIYE, 28-30 Nisan 2016, ss.962

c) Katıldığı Projeler

- "Tek Dane Ekim Makinaları için Elektro-Mekanik Hareket İletim Sistemi Tasarımı ve Geliştirilmesi", TÜBITAK Projesi, TOVAG-114O656, Bursiyer, 2016.

İŞ DENEYİMİ

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl:

- Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çan Meslek Yüksekokulu – 6Yıl / 2547 Sayılı Kanunun 31.Maddesi Uyarınca Görevlendirilen Öğretim Görevlisi
- Çan Halk Eğitim Merkezi – 5Yıl / Kurs Öğretmeni
- Çan Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi – 3Yıl / Ücretli Öğretmen
- Çanakkale Teknoloji Geliştirme Bölgesi A.Ş.- Çanakkale Teknopark – Şahin MAY İşletmesi – 2Yıl / İşletme Sahibi

İLETİŞİM

E-posta Adresi: sahin.may@hotmail.com