



T.C.

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**ELEKTRONİK TOHUM ve GÜBRE KONTROL SİSTEMİNİN
HASSAS EKİM MAKİNASINDAKİ PERFORMANSI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEZER YILDIZ

Tez Danışmanı

PROF. DR. HABİB KOCABIYIK

ÇANAKKALE – 2023



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ELEKTRONİK TOHUM ve GÜBRE KONTROL SİSTEMİNİN HASSAS EKİM
MAKİNASINDAKİ PERFORMANSI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEZER YILDIZ

Tez Danışmanı

PROF. DR. HABİB KOCABIYIK

Bu çalışma, TÜBİTAK kurumu tarafından desteklenmiş projeden üretilmiştir.

Proje No: 219O473

ÇANAKKALE – 2023

ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Sezer YILDIZ

31/08/2023

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında, çalıőmalarım süresince bir an olsun yardımlarımı benden esirgemeyen ve her zaman katkı sunan saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Habib KOCABIYIK, çalıőmalarım süresince tüm güçlükleri benimle göğüsleyen, hayatımın her aőamasında bana destekleri için kıymetli aileme, niőanlım Funda Aydın'a ve diğer bölüm hocalarıma sonsuz teőekkürlerimi sunarım.”

Sezer YILDIZ

anakkale, Ağustos 2023



ÖZET

ELEKTRONİK TOHUM ve GÜBRE KONTROL SİSTEMİNİN HASSAS EKİM MAKİNASINDAKİ PERFORMANSI

Sezer YILDIZ

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği

Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Habib KOCABIYIK

31/08/2023, 41

Bitki üretiminde, birim alana ekilen bitki sayısı ve uygulanan gübre miktarı oldukça etkilidir. Mikro-granül gübreler, bitki verimini arttırmak için yaygın olarak kullanılır. Günümüzde, mekanik güç aktarımıyla çalışan geleneksel tarım makinelerine entegre edilmiş gübreleme üniteleri kullanılmaktadır. Bu tür ünitelerin kaydırma ve sıkışma gibi dezavantajları vardır ve ayar hassasiyetleri sınırlıdır. Bu çalışmada, hassas ekim makinaları için geliştirilmiş bir elektronik hareket ve kontrol sisteminin tasarım parametrelerinin tanımlanmasıyla beraber ilerleme hızı, sıra üzeri tohum aralığı ve mikro-granül gübre normunun ekim ve gübre uygulama düzgünlüğü üzerindeki etkilerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, mekanik hareket iletim sistemine sahip, vakum prensibiyle çalışan düşey tohum diskli ekici düzen ve balta tipi gömücü ayaklı dört sıralı tek dane ekim makinası kullanılmıştır. Çalışmada makine üzerindeki tüm mekanik hareket iletim sistemleri devre dışı bırakılmıştır, bunun yerine TÜBİTAK projesi (Proje no: TOVAG 1005-2190473) kapsamında geliştirilen “Elektronik Hareket ve Kontrol Sistemi” (EHKS) makine üzerine eklenmiştir. EHKS'nin başarısının ölçümü için yapılan atölye testlerinde mısır tohumu ve mikro-granül gübre kullanılmıştır. EHKS'li hassas ekim makinasının atölye testleri 3-6-9 km/h olarak 3 farklı ilerleme hızında, 2,5-3,0-3,5 kg/da mikro-granül gübre normunda ve 20-30-40 cm olmak üzere 3 farklı sıra üzeri mesafe ayarında gerçekleştirilmiştir. Mısır tohumuyla üç farklı sıra üzeri mesafe ile yapılan çalışmalarda KETA %87,27-99,09, İO %0,00-3,33, BO %0,61-10,91 ve HD %9,56-18,11 arasında değişmiş ve ayaklar arası VK<%3 olmuştur. Mikro-granül gübre ile yapılan çalışmalarda tüm sabit hız koşullarında,

elde edilen mikro-granül normunun ortalama mutlak sapma değeri 0,0217-1,168 kg/da ve MAPE değeri %0,867-33,376 aralığındadır. Mikro-granül gübre ile yapılan çalışmalarda tüm sabit hız koşullarında ayaklar arası VK %0,799-4,321 arasında değişmiştir, makara yaklaşık 65 d/d'dan sonra teknik kapasite yönünden yetersiz kalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mısır tohumu, Mikro-granül gübre, Elektronik Hareket ve Kontrol Sistemi (EHKS), Kabul edilebilir tohum aralığı (KETA), Hassas ekim makinesi



ABSTRACT

The Performance of the Electronic Seed and Fertilizer Control System In The Precision Sowing Machine

Sezer YILDIZ

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Master of Science Thesis in Agricultural Machinery and Tehnologies Engineering

Advisor: Prof. Dr. Habib KOCABIYIK

31/08/2023, 41

In plant production, the number of plants planted per unit area and the amount of fertilizer applied are very effective. Micro-granular fertilizers are widely used to increase plant yield. Today, fertilizing units integrated into conventional agricultural machinery operating with mechanical power transmission are used. Such units have disadvantages such as scrolling and jamming, and their adjustment sensitivity is limited. In this study, it is aimed to define the design parameters of an electronic motion and control system developed for precision sowing machines, and to determine the effects of feed rate, in-row seed spacing and micro-granular fertilizer norm on sowing and fertilizer application uniformity. In the study, a vertical seed disc planter with a mechanical motion transmission system, working with the vacuum principle, and a four-row single-grain sowing machine with ax type burying feet were used. In the study, all mechanical motion transmission systems on the machine were disabled, instead the "Electronic Motion and Control System" (EHKS) developed within the scope of the TÜBİTAK project (Project no: TOVAG 1005-219O473) was added to the machine. Corn germ and micro-granular fertilizer were used in workshop tests to measure the success of EHKS. The workshop tests of the precision seed drill with EHKS were 3-6-9 km/h at 3 different speeds, 2,5-3,0-3,5 kg/da micro-granule fertilizer norm and 20-30-40 cm. It was carried out in 3 different row spacing settings. In studies with corn seed with three different row spacing, KETA ranged from 87,27%-99,09%, IO 0,00-3,33%, BO 0,61-10,91%, HD 9,56%-18,11%, and BV between feet was <3%. In the studies carried out with micro-granular fertilizer, the average absolute deviation value of the obtained micro-

granule norm was 0,0217-1,168 kg/ha and the MAPE value was between 0,867-33,376% under all constant velocity conditions. In the studies carried out with micro-granular fertilizers, the VK between the feet varied between 0,799-4,321% under all constant speed conditions, the reel was insufficient in terms of technical capacity after approximately 65 rpm.

Keywords: Corn germ, Micro-granular Fertilizer, Electronic Motion and Control System, Acceptable Range of Seeds, Precision Seed Drill



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

JÜRİ ONAY SAYFASI.....	i
ETİK BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	ix
TABLolar DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
EK ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1

İKİNCİ BÖLÜM

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

7

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL YÖNTEM

12

3.1. Materyal.....	12
3.1.1. Tek Dane Ekim Makinası.....	12
3.1.2. Elektronik hareket ve kontrol sistemi.....	14
3.1.3. Ekim makinası test düzeneği.....	15
3.1.4. Sıra üzeri ve gübre miktarı ölçüm sistemleri.....	16
3.1.5. Tohum ve Gübre.....	17
3.2. Yöntem.....	17
3.2.1. Atölye Kontrol Testleri.....	17

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM 22
ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Atölye Devir Analizleri.....	22
4.2. Atölye Test Sonuçları.....	30

BEŞİNCİ BÖLÜM 38
SONUÇ ve ÖNERİLER

KAYNAKÇA	40
EKLER	I
EK ŞEKİLLER	I
ÖZGEÇMİŞ.....	XVIII

SİMGELER VE KISALTMALAR

BDA	Bin dane ağırlığı (g)
Q	Küresellik (%)
γ	Gübre yoğunluğu (kg/l)
ECS	Electronic speed controller
PWM	Puls with modulation
PID	Proportional-integral derivate
z_h	Hedef/teorik sıra üzeri mesafe (cm)
İO	İkizlenme oranı (%)
Qmg	Mikro-granül gübre hedef oranı (kg/da)
BO	Boşluk oranı (%)
HD	Hassasiyet derecesi
r	Korelasyon katsayısı
R^2	Belirtme katsayısı
MAD	Ortalama mutlak sapma (Mean Absolute Deviation)
MAPE	Ortalama mutlak yüzde hata (<i>Mean Absolute Percentage Error</i>)
KETA	Kabul edilebilir tohum aralığı
n_1	$\leq 0,5z$ aralıkta bulunan tohum sayısı (adet)
n_2	$\geq 1,5z$ aralıkta bulunan tohum sayısı (adet)
N	Örnek sayısı (adet)
z_i	n'ci tohum/bitki aralığı (cm)
S_d	Kabul edilebilir aralıkta bulunan örneklerin standart sapması
Z_{δ}	Ölçülen sıra üzeri mesafe (cm)
VK	Varyasyon katsayısı (%)
ndh	Ekici disk hedef devri (d/d)
nd	Ekici disk devri (d/d)
ng	Granül gübre makara hedef devri (d/d)
ng	Granül gübre makara devri (d/d)
nmg	Mikro-granül gübre makara hedef devri (d/d)
nm	Mikro-granül gübre makara devri (d/d)

TABLULAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	Tek dane ekim makinasına ait bazı teknik özellikler.....	14
Tablo 2	Atölye testlerinde kullanılan tohum ve gübrelere ait bazı özellikler.....	17
Tablo 3	Geliştirilen sistemin atölye kontrol testleri tasarımı.....	19
Tablo 4	Tek dane ekim kalitesi değerlendirme ölçütleri.....	20
Tablo 5	Atölye şartlarında mısır tohumlarına ait ekim performansı değerlendirmeleri.....	31

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	Tek dane ekim makinası.....	13
Şekil 2	Ekim ve gübreleme üniteleri için makina hareket iletim sistemleri.....	13
Şekil 3	Kontrol ünitesinin ana giriş (a), ayar (b) ve izleme (c,d) katmanları	15
Şekil 4	Ekim makinası test düzeneği.....	16
Şekil 5	Sıra üzeri mesafe ölçüm düzeneği(a) ve yazılımı(b).....	16
Şekil 6	Atölye testleri hazırlıkları; sistemin montajı (a), ölçüm ve veri toplama sistemleri (b) ve elektrik motorları (c) bağlantıları.....	18
Şekil 7	Denemelerde kullanılan ekici disk ve mikro-granül gübre makarası.....	18
Şekil 8	Tohum dağılım düzgünlüğü frekans dağılımı.....	21
Şekil 9	Yüklü ve sabit hız durumunda ekici disk (a) ve gübre makaralarında (b) hedef ve ölçülen devir arasındaki ilişkiler.....	23
Şekil 10	Yüklü koşullarda ilerleme hızı ve zh 'a göre ekici disk devirlerinde MAD ve MAPE değişimleri.....	25
Şekil 11	Yüklü koşullarda ilerleme hızı ve Qmg 'a göre mikro-granül gübre makara devirlerinde MAD ve MAPE değişimleri.....	26
Şekil 12	Yüklenme durumunda değişken ilerleme hızında mikro-granül gübre makara devri değişimi.....	27
Şekil 13	Yüklenme durumunda değişken ilerleme hızında mikro-granül gübre makara devri değişimi (devamı).....	28
Şekil 14	Yüklenme durumunda değişken ilerleme hızında mikro-granül gübre makara devri değişimi (devamı).....	29
Şekil 15	Yüklü koşullarda, değişken ilerleme hızında Qmg 'a göre mikro-granül gübre makara devirlerinde MAD ve MAPE değişimleri.....	30
Şekil 16	Geliştirilen sistemde mısır tohumlarına ait teorik sıra üzeri mesafe ve ilerleme hızına göre ekim performansı değerleri değişimi.....	31

Şekil 17	Farklı hızlarda mısır tohumlarına ait deneysel sıra üzeri mesafenin hedef/teorik sıra üzeri mesafeye göre değişimi.....	32
Şekil 18	Atölyede mısır tohumlarının ekiminde ilerleme hızına göre ayaklar arası VK (%)......	33
Şekil 19	Farklı ilerleme hızı ve mikro-granül gübre normlarında elde edilen Qmgö, MAD, MAPE ve VK değerleri.....	34
Şekil 20	Mısırın sıra üzeri mesafe değişimi.....	35
Şekil 21	Tüm uygulama koşullarında mikro-granül gübre ölçülen normun hedef norma göre değişimi.....	37



EK ŞEKİLLER DİZİNİ

Ek Şekil No	Ek Şekil Adı	Sayfa No
Ek Şekil 1	Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda ekici disk devri ve değişim aralığı.....	I
Ek Şekil 2	Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda ekici disk devri ve değişim aralığı (devamı).....	II
Ek Şekil 3	Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda ekici disk devri ve değişim aralığı (devamı).....	III
Ek Şekil 4	Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda ekici disk devri ve değişim aralığı (devamı).....	III
Ek Şekil 5	Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda ekici disk devri ve değişim aralığı (devamı).....	IV
Ek Şekil 6	Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda ekici disk devri ve değişim aralığı (devamı).....	IV
Ek Şekil 7	Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda ekici disk devri ve değişim aralığı (devamı).....	V
Ek Şekil 8	Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda ekici disk devri ve değişim aralığı (devamı).....	V
Ek Şekil 9	Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda ekici disk devri ve değişim aralığı (devamı).....	VI
Ek Şekil 10	Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda ekici disk devri ve değişim aralığı (devamı).....	VI
Ek Şekil 11	Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda ekici disk devri ve değişim aralığı (devamı).....	VII
Ek Şekil 12	Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda ekici disk devri ve değişim aralığı (devamı).....	VII
Ek Şekil 13	Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda ekici disk devri ve değişim aralığı (devamı).....	VIII
Ek Şekil 14	Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda ekici disk devri ve değişim aralığı (devamı).....	VIII
Ek Şekil 15	Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda ekici disk devri ve değişim aralığı (devamı).....	IX

Ek Şekil 16	Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda mikro-granül gübre makara devri ve değişim aralığı.....	X
Ek Şekil 17	Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda mikro-granül gübre makara devri ve değişim aralığı (devamı).....	X
Ek Şekil 18	Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda mikro-granül gübre makara devri ve değişim aralığı (devamı).....	XI
Ek Şekil 19	Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda mikro-granül gübre makara devri ve değişim aralığı (devamı).....	XI
Ek Şekil 20	Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda mikro-granül gübre makara devri ve değişim aralığı (devamı).....	XII
Ek Şekil 21	Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda mikro-granül gübre makara devri ve değişim aralığı (devamı).....	XII
Ek Şekil 22	Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda mikro-granül gübre makara devri ve değişim aralığı (devamı).....	XIII
Ek Şekil 23	Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda mikro-granül gübre makara devri ve değişim aralığı (devamı).....	XIII
Ek Şekil 24	Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda mikro-granül gübre makara devri ve değişim aralığı (devamı).....	XIV
Ek Şekil 25	Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda mikro-granül gübre makara devri ve değişim aralığı (devamı).....	XIV
Ek Şekil 26	Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda mikro-granül gübre makara devri ve değişim aralığı (devamı).....	XV
Ek Şekil 27	Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda mikro-granül gübre makara devri ve değişim aralığı (devamı).....	XV
Ek Şekil 28	Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda mikro-granül gübre makara devri ve değişim aralığı (devamı).....	XVI
Ek Şekil 29	Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda mikro-granül gübre makara devri ve değişim aralığı (devamı).....	XVI
Ek Şekil 30	Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda mikro-granül gübre makara devri ve değişim aralığı (devamı).....	XVII

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Tarım, insanın beslenmesini sağlayabilmek için ürün alma amacıyla toprak üzerinde yapılan uygulamaların bütünüdür. Tarım, gayri safi yurtiçi hasılaya (GSYİH) önemli derecede katkı sağladığı ve gıda gereksinimini karşıladığı için ekonominin bel kemiği olarak tanımlanır (Anonim, 2020). Tarımsal üretim bir faaliyetler zincirini içermektedir. Özellikle bitkisel üretim dikkate alındığında, ana hatlarıyla bu faaliyetleri toprak işleme, ekim, gübreleme, koruma (yabancı ot veya zararlı), hasat ve harman olarak sıralanmaktadır. Bu uygulamaların içerisinde en kritik aşamalardan birisi, çoğaltılacak diğer bir ifade ile üretimi yapılacak tohumluğun toprak ile buluştuğu en kritik aşama olan ekim işlemidir.

Ekim, bitkisel üretim için esas bitkiyi oluşturacak olan tohumları tohum yatağına bitkinin istekleri doğrultusunda (sıra üzeri mesafe, sıra arası mesafe) belirli bir derinliğe yerleştirme ve üzerini kapatma işlemidir (Özmerzi, 1996).

Bitkilerin tümü aynı isteklerle yetişmezler, iklim ve toprak şartları, ekonomik ve sosyal etkiler sebebiyle farklı tip ekim yöntemleri geliştirilmiştir. Ekim yöntemleri serpmeye ve sıraya olarak iki ana gruba ayrılır. Elle veya makineyle yapılabilen serpmeye ekimde tohumlar tarla yüzeyinin %100'üne dağılmaktadır, sıraya ekim yapıldığında ise bu değer %10 olarak hesaplanmaktadır (Barut, 2006). Ekim işlemi 17. yy başına kadar el ile yapılmıştır. Ekim makinası ilk olarak Avrupa'da 1636'da Joseph Locatelli tarafından geliştirilmiştir. 1785 yılında günümüzde kullanılan ekim makinelerinin ilk modelini James Cook yapmıştır (Önal, 2011). Günümüzde bazı bitkilerin (mısır, ayçiçeği, bezelye vb.) ekiminde hassas ekim makineleri kullanılmaktadır. Hassas ekimin temel amacı, tohumları ekim makinesinin tohum ünitelerinden istenilen sıra üzeri aralıklarla ve ekim derinliğiyle toprağa bırakmasıdır. Hassas ekim tekniklerinin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi son yıllarda odak noktası olmuştur. Tek tip sıra arası, sıra üzeri mesafe ve ekim derinliği daha iyi filizlenme ve çıkış sağlamaktadır. Bitki dağılım tekdüzeliği, türler arası rekabeti azaltır, yabancı otların gelişmesini engeller ve böylelikle verimi artırır (Kuş, 2021). İstenilen miktardan farklı tohumun tarlaya verilmesi yanlış ekim oranlarından kaynaklanan hatalar olarak adlandırılabilir. Bu hatalar, ekim ünitesi veya engebeli tarla zemininden kaynaklanabilir. Ekim normundaki uygulama hataları sadece verim kaybına değil aynı zamanda tohum kullanım miktarıyla birlikte üretim maliyetinin artmasına da neden olabilmektedir (He, 2021).

Ekim makinalarında en önemli parçalarından birisi ekici düzenlerdir. Ekim tekniğine en uygun işlemin yapılabilmesi ekici düzenlerle ilgilidir. Ekici düzenler, ekim makinasının deposunda bulunan tohumu alıp tohum borusuna oradan da tarladaki çizilere bırakır. Ekim makinasının yıllar içerisindeki gelişimiyle farklı ekici düzen tipleri ortaya çıkmıştır. Günümüzde en yaygın ekici düzenler kesiksiz sıraya ekim yapan, ocağa ekim yapan ve tek dane ekim yapan ekici düzenlerdir (Barut, 2006).

Mekanik tek dane ekici düzenler; delikli diskler, yuvalı çarklar, çift çarklar, kaşıklı çarklar, bant, kısıkaçlı ekici düzenlerdir. Sınavari ekimlerin çoğunda tohumlar ekici düzenlerden genellikle serbest düşme ile gömücü ayaklar tarafından açılan çiziye düşmektedir. Bu düzenlerde tohum deposu uzunluğu ekim makinalarının iş genişliğinin uzunluğu kadar olması dolayısıyla makinanın ağırlığı artmaktadır.

Pnömatik etkili ekici düzenler, mekanik ekici düzenlerin bu olumsuz yanının ortadan kaldırılmak istenmesiyle yapılan çalışmalar neticesinde geliştirilmiştir. Pnömatik etkili ekici mekanizmalarda tohum havanın yardımıyla ekici organdan alınıp gömücü ayaklara taşınmaktadır. Bu düzenlerde tohum deposunun uzunluğu ekim makinasının iş genişliği kadar uzunlukta olması gerekmemektedir. Böylece iş genişliğinin depo uzunluğundan bağımsız olarak daha uzun iş genişliği olan makinalar imal edilebilmektedir.

Ekim makinaları, tohumun iyi bir çimlenme ortamına sahip olması ve bitkinin uygun bir yaşam alanı olması için tohumu toprağa uygun şekilde bırakabilmelidir. Ekim makinalarında ekici düzenler makinanın tekerinden, traktör kuyruk milinden ya da ayrı bir motordan hareketlerini alarak çalışırlar. Hareketin ekici düzenlere akatarılarak düzenli ve istenilene uygun ekim yapılması için farklı tipte dişli mekanizmaları kullanılır. Ekici düzeneklerin hareketi, ekilecek olan tohumun ekim koşulları ve makinanın özellikleri dikkate alınarak düzenlenir. Ekim makinalarının sahip olduğu dişli sistemlerinin, ekimi yapılan her türlü tohum için başarılı çalışmalarını sağlamaları açısından bazı özelliklere sahip olmaları gereklidir.

Hareket aktarım oranının değiştirilmesinde yaygın olarak kullanılan bu sistemler tohum deposu ve ekici mil arasına konumlandırılır. Basit tiplerinde tek bir ayar kolu kullanılarak tohum ya da gübre makarasının hızının değişikliği yapılabilmektedir. Bununla birlikte daha gelişmiş ekim makinelerinde iki ayrı ayar kolu kullanılarak daha fazla sayıda hız seviyesi elde edilebilmektedir.

Tarım teknolojilerindeki gelişim süreci içerisinde, bitkilerin farklı istekleri, tohumların değişik formları ve büyüklükleri sebebiyle değişik ekim yöntemleri

geliştirilmiştir. Tek dane ekim yöntemi, özellikle mısır, ayçiçeği, fasulye, şeker pancarı, pamuk, bezelye vb. çok sayıda çapa bitkilerinin ekiminde kullanılan en yaygın yöntemdir. Günümüzde, ülkemizde ve dünyada tarım makinaları imalat firmaları tarafından mekanik, pnömatik vb. ekici düzenlere ve farklı çalışma şekillerine sahip değişik modellerde tek dane ekim makinaları üretilmektedir. Bu makinalar hassas ekim makinaları olarak da adlandırılmakta ve aynı zamanda tohumluk tüketiminin azaltılması, eş zamanlı bitki çıkışı, uygun yetiştirme alanı sağlaması, bakım çalışmalarının süresinin kısaltılması, seyreltme yapmadan ekim yapılması, hasat kayıplarının ve tarla trafiğinin azaltılması (Ülger vd., 2011) gibi önemli yararlar sağlamaktadır. Bu makinalarda çoğunlukla sıra arası mesafelerin sabit olması nedeniyle sıra üzerinde tohumların istenilen mesafelerde tohum yatağına bırakılmasıyla tek dane ekimin temel prensipleri yerine getirilmiş ve bitki için uygun yaşam alanı sağlanmış olmaktadır.

Mekanik tek dane ekici düzenlerde ortaya çıkan tohum ve delik/yuva boyutunun uyumsuzluğu, tohumların dağılımlarının düzgünlüğünün bozulmaması amacıyla düşük ilerleme hızıyla ekim yapma, tohumluğun sınıflandırılmasının iyi yapılmamış ve tohumun düzgün şekilli olmaması, çok küçük tohumların kaplanmadan ekilememesi gibi sorunları çözmek için pnömatik tek tohum ekici düzenler geliştirilmiştir.

Pnömatik (negatif basınçlı) hassas ekim makinelerinin geliştirilmesine yönelik olarak, ekici diskin deliğinin şekilleri (Barut ve Akbolat, 2005), farklı vakum basıncı seviyeleri ve ekici diskin deliğinin kesit alanı (Acar, 2001), diskin konumunun tohumun dağılım düzgünlüğüne etkisi (Yazgı, 2013), vakum basıncı ve ilerleme hızının etkileri (Singh vd., 2005), ilerleme hızının ve tohum küreselliğinin ekim performansına etkileri (Yurdusever, 2006), havalı vakumlu tipteki hassas ekim makinaları için değişik ilerleme hızı ve sıra üzeri mesafenin tohum düzgünlüğü üzerindeki etkileri (Bozdoğan, 2008) ve dikey konumlu ekici disklerde tohum yakalama oranının iyileştirilmesi (Barut ve Özmerzi, 1998) üzerine bilimsel araştırmalar yapılmıştır.

Ekici düzenler genellikle hassas ekim makinalarında geliştirme sürecinde en çok çalışılan bileşen olmuştur. Çalışmalar daha çok tohum diskinin yapısal özellikleri, konumu, delik şekli ve boyutu ile vakum basıncı üzerine yapılmıştır. Hassas ekim makinalarında tekerlekten elde edilen hareket, zincir dişlisi, dişli kutusu ve mil gibi mekanik tahrik elemanları tarafından tohum diskinine iletilmektedir. Bu zincir dişli iletim sistemleri günümüzde çoğunlukla kullanılmaktadır ancak hala birçok eksiklerinden bahsedilmektedir. Özellikle tekerlekten ekici üniteye hareketin yüksek hızlarda aktarılması esnasında zincir

dişli sistemlerinde dönme ve kayma, titreşim, tutukluk ve sıkışma gibi istenmeyen durumlar oluşabilmektedir. Örneğin, farklı hassas ekim makineleri kullanılarak yapılan denemelerde makine tekerleğinde %6,08 ile %8,77 arasında negatif bir patinaj saptanmış ve ekim makinelerinin iletim organlarının iyileştirilmesinin gerekliliği ifade edilmiştir (Aykas vd., 2013).

Dünyada bazı firmaların hareket iletimini geliştirmek için özel modeller ürettikleri tespit edilmiştir. Örneğin CNH (ABD), Horsch (Almanya), Kinze (ABD), Kverneland (Norveç) firmaları tarafından hidrolik, step ve DC (doğru akım) motorları kullanarak çeşitli tasarımlar geliştirilmiştir. Ancak piyasadaki farklı tahrik sistemlerine sahip olan bu makinalar, klasik (mekanik) tahrik sistemli hassas ekim makinalarına göre çok daha pahalıdır. Bunun yanında, ekici düzenlerinde bahsedilen olumsuzlukların giderilmesi amacıyla hassas ve doğru bir şekilde ayarlanabilmesi için farklı tahrik sistemleri geliştirmeye yönelik deneysel çalışmalar devam etmektedir.

Ekim makinaları, çeşitlilikteki genetik gelişmeler ve aynı zamanda tarımsal üretim sistemlerindeki gelişimler neticesinde gübreleme, can suyu verme ve ilaçlama vb sistemler ile donatılmıştır. Gelişim süreci içerisinde birçok uygulama düzenekleriyle donatılmış olan bu sistemlerin gelişme süreci devam etmektedir. Bahsi geçen donanımların arasında üzerinde en fazla durulan ve çalışmalarla birlikte gelişmeye devam ettirilen tohum ekici düzenlerle beraber gübreleme düzenleridir. Günümüzde gübreleme düzenleri artık ekim makinelerinin parçası olmuştur.

Ekimle birlikte yapılan gübrelemede genellikle ekim makinelerine entegre edilmiş gübreleme sistemlerinden faydalanılmaktadır. Son yıllarda tohumla beraber tohum yatağına atılabilme, düşük dozda uygulama, fitotoksit etki yapmaması, kuvvetli ve hızlı kök gelişimi, vejetatif gelişimi etkileme sonucu daha iyi fiziksel yapılı bitki oluşumuna yardımcı olması gibi avantajları sebebiyle normal gübreler (klasik granül) yerine mikro-granül başlangıç gübreler tercih edilmektedir. Direk tohum ekim bölgesine ya da tohumların sıraları arasına az miktarlarda uygulanmakta (Jankowski vd., 2018; Wei Su vd., 2015) ve bu uygulama şekli nedeni ile kök bölgesinde kısmen hareketsiz besinlerin içeriğinin artmasına sebep olmaktadır. Besin maddeleri, kök büyümesini teşvik etmesinin yanında bitkilerin daha derin toprak katmanlarından besin alımına da arttırır, bununla birlikte kök bölgesinin biyolojik ve kimyasal özelliklerinde pozitif değişiklikler meydana gelir (Jankowski ve Sokólski, 2018; Nkebiwe vd., 2016). Hızlanmış büyüme, genç bitkilerin zararlılara ve hastalıklara karşı

direncini yükseltir ve aynı zamanda yabancı otlarla rekabet etme yeteneklerini en üst seviyeye çıkarır.

Ekim anında gübreleme sisteminin performansını etkileyen en önemli parça gübre atıcı elemandır. Gübreleme elemanı olarak değişik şekillerde döner tipte farklı elemanlardan yararlanılmaktadır ve en yaygın olarak kullanılan oluklu makaralardır. Bu üniteler, ekici ünitelerde olduğu gibi, ekim makinası tekerinden alınan hareketin zincir-dişli, dişli grupları ve millerden oluşan mekanik hareket aktarım bileşenleri aracılığı ile yönetilmektedir.

Gübreleme normu, makaranın devrinin ya da oluşun aktif uzunluğunun değiştirilmesiyle ayarlanmaktadır, fakat genellikle yeterli performansa sahip oldukları kabul edilse bile birçok kısıtlayıcı bulunmaktadır. Ekici ünitelerdeki olumsuzluklara benzer şekilde, genellikle tekerlekten alınan hareketin, daha yüksek hız şartlarında gübreleme ünitesine aktarılması sırasında; makine tekerleğini zorlanmalardan kaynaklı kayma, zincir-dişli mekanizmalarında takılma, titreşim ve kaçırma gibi ciddi olumsuzluklar meydana gelebilmektedir.

İlerleme hızı ve gübreleme uygulama oranının arttığı zaman, uygulanan oranın varyasyonunun arttığı ve doğruluğunun azaldığı tespit edilmiştir (Forouzanmehr ve Loghavi 2012). Bu olumsuz durum, çalışma hızını sınırlamakta ve aynı zamanda iş kapasitesini düşürmektedir.

Farklı durum ise; üründen en yüksek verim alınabilmesi amacıyla, toprak analizleri ve gübre üreticilerinin önerdiği en uygun gübreleme oranıdır. Mekanik hareket aktarım sistemli makinalarda, gübreleme oranı makinanın dişli düzeninin müsaade ettiği kademeli ve sınırlı aktarım oranı ile değiştirilebilmektedir. Bu nedenle birim alana olması gerekenden az ya da daha çok gübre atılabilmekte, bu sebeple verimde değişiklik meydana gelmektedir. Bu durum işletmecilik maliyetlerini de artırabilmekte, bu sebeple yeterli bitki besin maddelerini sağlamak amacıyla bilinçsizce bir gübreleme yapılmakta ve daha çok gübre uygulaması tercih edilmektedir. Bu durumda çevresel sorunlara da yol açabilmektedir.

Hassas tarımda uygulama oranı, çok dar zaman aralıklarında aniden değişebilmesi gerekir. Bununla beraber günümüzdeki değişken düzeyli uygulayıcıların yüksek uygulama hassasiyeti ürettiği söylenemez, ilave olarak bu tip uygulayıcıların maliyetlerinin yüksek olduğu da bilinen bir gerçektir (Van Loon vd., 2018). Değişken oranlı uygulama metodunun en önemli sınırlayıcısı ise uygulayıcının başarısıdır; diğer bir deyişle ilaç, gübre ve tohum atıcı organının kontrol ve hareket sistemlerine verdiği tepki sinyallerinin ve miktarlarının doğruluk derecesidir.

Günümüzde gübreleme sistemlerinin daha duyarlı bir biçimde gübre atma ayarı için elektronik, havalı ve hidrolik kontrollü farklı ayar sistemleri üzerine çalışmalar yapılmıştır. Gübre atma sistemlerinin etkinliğini arttırmak için seviye ayarlayıcılar geliştirilmiş ve devam etmektedir. Örneğin, DC motor-doğrusal hareket (Tola vd., 2008), pnömatik (Talha vd., 2011), hidrolik motor (Koundal vd., 2012), elektrik DC motor-doğrusal hareket (Chandel vd., 2016; Tewari, 2015), doğrusal aktüatör (Van Loon vd., 2018) ve hidromotor ve oransal akış kontrol elektro-valf (Reyes vd., 2015) verilebilir. Geliştirilmiş olan bu oran ayarlayıcıların benzer yanları, bu sistemlerde gübre atım oranı ayarı için oluklu gübre makarasının aktif uzunluğunun geliştirilen sistemle yönetilmesi, bununla birlikte gübre makarası dönü hareketini sabit iletim oranında ve mekanik yolla yapmaktadır. Bahsi geçen mekanik hareket iletim düzenlerinin olumsuz durumlarının giderilmesi için Forouzanmehr ve Loghavi (2012) tarafından gübre atıcı makaranın devrini ayarlayan step motorlu ve May ve Kocabıyık (2019) DC motorlu ayarlayıcılar üzerine çalışılmıştır.

Bu çalışmada, hassas ekim makinaları için geliştirilmiş bir elektronik tahrik ve kontrol sisteminin tasarım parametrelerinin tanımlanmasına ilave olarak ilerleme hızı, sıra üzeri tohum aralığı ve mikro-granül gübre normunun ekim ve gübre uygulama düzgünlüğü üzerindeki etkilerinin tespit edilmesi ve sistemin performansının incelenmesi amaçlanmıştır.

İKİNCİ BÖLÜM

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yazgı (2013) havalı hassas ekim makinalarında plakanın konumlandırılmasının sıra üzeri tohum dağılımına etkisini incelemiştir. Çalışmada mısır ve pamuk tohumları kullanılmış, denemeler iki ayrı sıra üzeri mesafesi ve 1,0, 1,5, 2,0 m/s ilerleme hızı değerlerinde uygulanmıştır. Bu denemeler sonucunda araştırmacı; ekim ünitesi yüksek olan ekim makinalarında tohum dağılım düzgünlüğünün, alçak seviyede konumlandırılan ekim üniteli makinalardan daha düşük olduğunu belirlemiştir. Yüksek ekim üniteli makinalarda tohum dağılım düzgünlüğünün; pamuk için 50 mm ekim aralığında %80,9 - 92,5 ve 100 mm için %82,5 - 97,8; mısır için 100 mm aralığında %92,0 - 98,1 ve 200 mm için %93,2 - 100 arasında farklı değerler aldığı tespit edilmiştir. Alçak üniteli ekim makinalarında bu değerler sırasıyla; %81,3 - 94,6, %83,6 - 100, %92,6 - 100 ve %96,3 - 100 olmuştur. Sıra üzeri mesafenin artmasıyla makine performansının doğru orantılı olarak artmış olduğu saptanmıştır.

Hacıseferoğulları (2005) havalı vakumlu tipte hassas ekim makinasıyla şeker pancarı ekiminde ekim mesafesinin ve ilerleme hızının sıra üzeri bitki dağılım düzgünlüğü ve tarla çıkış oranları üzerindeki etkisini saptamak için araştırma yapmıştır. Bu araştırma, kaplanmamış ve kaplanmış monogerm pancarı tohumları kullanılarak yapılmıştır. 1,05, 1,54 ve 2,06 m/s ilerleme hızlarında, 5, 8 ve 15 cm ekim mesafesi ile tarla şarlarında denemeler yapılmıştır. İlerleme hızının artmasının, bitki dağılım düzgünlüğünü bozduğunu ve tarla çıkış oranını düşürdüğünü saptamıştır. Ekim mesafesinin artmasının ise olumlu yönde etkilediği sonucuna ulaşmıştır.

Gurjar vd. (2017) değişken düzeyli bir gübre atıcısının yükleme milinin hızında değişikliğe giderek değişken düzeyli gübre kontrol mekanizması tasarlamışlardır. Bu çalışmada, değişken düzeyli gübre uygulamaları için farklı tipte helisel ve düz makara tercih edilmiştir. Düz makaralara oranla helisel makaraların güç ihtiyacının daha düşük olduğu bulunmuştur. İlave olarak sistemin her gübre çapı için uygun olmadığı saptanmıştır.

Önal vd. (2012) vakumlu hassas ekim ünitesinin tohumlar arası dağılım düzgünlüğünün değerlendirilmesi için teorik ve deneysel verilere dayalı olarak atölyede yapışkan bant kullanılarak bir çalışma yapmışlardır. Sıra üzeri tohum dağılım düzgünlüğünü belirtmek için, ikizlenme indeksi, boşluk indeksi, kabul edilebilir tohum aralığı indeksi ve hassasiyet kriterleri kullanılmıştır. Testler sonucunda, mısır ve pamuk tohumları için ekim

plakası çevre hızının üst sınırının 0,34 m/s olduğunu saptamışlardır. Vakum basıncının 6,3 kPa durumunda, 72 delikli yerine 26 delikli vakum plakasının kullanılmasıyla, delik yörüngesinde 10 mm genişliğinde bir vakum bandı ortaya çıkmış, bunun da ekimin başarısının azalmasına sebep olan ikizlenme indeksinin artmasına sebep olduğunu belirlemişlerdir. Bu sebeple, pamuk tohumu ekimi için 60 ya da 52 delikli vakum plakasını tavsiye etmişlerdir. Pamuk tohumu için, 0,05 ve 0,10 m tohum aralığında, sırasıyla, 1,0 ve 1,5 m/s ilerleme hızlarının uygun olduğunu belirlemişler, yapılan bu aerodinamik hesaplamalar sonucunda, mısır tohumunun ekilmesinde genel olarak kullanılan 26 delikli vakum plakasının seçiminin uygunluğunu tespit etmişler. Tek dane ekim ünitesi sağa %20 (11°) meyilli çalıştırıldığı zaman, mısır ve pamuk tohumları için boşluk indeksi, ikizlenme ve besleme kalitesi gibi değerlerin düzde çalışmaya oranla açık bir şekilde azaldığını saptamışlardır.

Ning vd. (2015) uygulama makarasının değiştirilebilir aktif uzunluğuyla değişken oranlı gübreleme sistemi tasarlamışlardır. Besleme makarası aktif uzunluğunun ayarlamasına bağlı kontrol yönteminde, hızlı tepki süresine sahip yüksek hassasiyetli kontrole ulaşılmıştır. Bu sistem için servo motor tercih edilmiştir. Çalışma sonucunda, uygulama homojenliğinin kabul edilebilir seviyede olduğu görülmüştür. Besleme makarasının farklı aktif uzunlukları arasında varyasyon katsayısı %8,4 olarak saptanmıştır. Gübre uygulama miktarının 204 ile 319 kg/ha ve 319 ile 204 kg/ha aralığındaki değerlerde dinamik tepki süreleri yaklaşık 4,2 s olmuştur.

Chandel vd. (2016) dijital harita tabanlı alana özgü granül gübre uygulama sistemi tasarlamışlardır. Sistem içerisinde diferansiyel bir küresel konumlandırma sistemi kullanılarak mikrodenetleyici yardımıyla ve DC motor aktüatör kontrolüyle gübre atım oranı değiştirilmiştir. Gübreleme miktarı 5 - 300 kg/ha olarak yapılmıştır. Deneysel gübre uygulama oranı, ele alınan alandaki tahmin edilen uygulama miktarına göre %11,7 ile %15 arasında değişmiştir.

Reyes vd. (2015) değişken oranlı gübre uygulaması amacıyla otomatik bir kontrol sistemi geliştirmişler ve geliştirilen bu sistemin saha uygulamasını yapmışlardır. Bir mikrodenetleyiciyle hidromotorun hız takibi yapılmıştır. Gübre uygulaması esnasında sistemin 1 m ve 5 m'lik harita grid çözünürlükleri için tahmin edilen %12 - %14 hatalara karşı, %20-%29 arasında bir deneysel dağılım hatasıyla çalışmıştır. Deneme sonucunda sistemin 1 m'den fazla harita grid çözünürlüklerinde çalışmasını önermişlerdir.

Tewari (2015) yaptığı çalışmada, belirlenmiş bir bölgenin gübreleme haritasını ve gübreleme normlarını hesaplamıştır. GPS'den alınan anlık verilere göre 5 ile 400 kg/ha gübreleme yapılabilmesi amacıyla oluklu gübre makarasının aktif alanı için kaydırılmasının kontrol edilmesi için, kremayer ve pinyon sistemini hareket ettiren DC motor kullanılmıştır. Tarla testlerinde gübre normunda %5,56 ile %11,2 aralığında ve ortalama %8,38 bir hata tespit edilmiştir.

Aykas vd. (2013) üç tanesi yerli bir tanesi ithal olan dört değişik gömücü ayağa sahip hassas ekim makinaları ve iki farklı mısır tohumu kullanılarak Ege (İzmir) ve İç Anadolu Bölgesinde (Konya) ekim başarılarının belirlenmesi ve değişikliklerin saptanması amacıyla çalışma yapmışlar. Makine başarısını sıra üzeri bitki dağılım düzgünlüğü bazında inceleyen araştırmacılar, denemeler neticesinde; en iyi makine performansını Ege bölgesinde yerli tip (B1) (%86,8), İç anadolu bölgesinde ise yerli tip (B2) (%87,2) makineleri ile yapılan çalışmalarda bulmuşlardır. Tarla filiz çıkış derecesi Konya'da ise (B1) (%86,7), İzmir'de ithal tip (B4) (%92,1) makinalarda en yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Patinaj (negatif kayma oranı) miktarının İzmir'de %1,03 - 8,28, Konya'da %1,91 - 8,77 aralığında değişerek sınır değerini (%10) geçmediğini tespit etmişlerdir. Sıra üzeri bitki dağılım düzgünlüğü açısından yine bölgesel farklılık belirlenerek tarla çıkış oranının fazla veya düşük olmasına bağlı olmaksızın İzmir'de bütün makinalarla orta kalitede ekim yapılırken Konya'da yapılan çalışmada ise bazı makinaların yetersiz kaldığı gözlemlenmiştir.

Mikro-granül gübre normunu kademesiz şekilde ayarlamak için geliştirilen elektronik kontrol sistemiyle yapılan testler sonucunda, tüm ilerleme hızı ve gübre oranları ilişkisi için R^2 , ort mutlak yüzde hata, ort mutlak sapma, β_0 (kesişim) ve β_1 (eğim) değerleri sırasıyla %0,992, %2,430, 0,275 d/d, -0,073 ve 0,995 olarak belirlenmiştir. Geliştirdikleri sistem tarafından yönetilen makaranın ölçülen dönüş hızlarının, ilerleme hızı ve öngörülen uygulama oranları ile ilgili olarak hesaplanan (hedef) dönüş hızına çok yakın olduğu bulunmuştur. Sistem tarafından yönetilen iki farklı mikro granül gübre makarası devri için tüm test koşullarında R^2 : 0,991, MAPE: %2,434, MAD: 0,0024 kg/da, β_0 : 0,081 ve β_1 : 0,987 değerleri şeklinde gerçekleşmiş, ölçülen makara devirlerinin hedef/istenen (ayarlanan) değere çok yakın olduğu tespit edilmiştir.(May ve Kocabıyık, 2019).

Havalı hassas ekim makinasında elektrik kontrollü hareket sisteminin sıra üzeri tohum dağılım düzgünlüğüne etkisi araştırılmış. Çalışmada, hareketini elektrik motorundan alan pnömatik hassas ekim makinası ile hareketini tahrik tekerleğinden alan havalı hassas mekanik ekim makinası kullanmışlardır. Denemeleri laboratuvar ve tarlada olmak üzere

geçekleştirmişlerdir. Mısır tohumu ile laboratuvarında farklı mesafelerde (100, 150, 160 ve 200 mm) ekim denemeleri yapmışlardır. Ayçiçeği tohumu ile yine laboratuvarında farklı mesafelerde (250 mm ve 300 mm) ekim denemeleri yapmışlardır. Tarla koşullarında yapılan denemelerde iki makinede de 1,67 m/s hızda mısır için 150 mm, ayçiçeği için 250 mm aralıklarında ekim yapmışlardır. Ölçümleri ekim sonrası tesadüfi seçilen 5 m'lik uzunluklarda 3 tekrarlı olarak gerçekleştirmişlerdir. Tarla ve laboratuvarında iki makinaya da ait sıra üzeri tohum dağılım düzgünlüğü, ortalama sıra üzeri mesafe, standart sapma, kabul edilebilir tohum oranı, ikizlenme oranı, boşluk oranı, tarla çıkış derecelerini ve varyasyon katsayılarını tespit etmişlerdir. Elektrikli hareket sistemi entegre olan mibzerle 1,67 m/s hız ve 150 mm ekim aralığında ekilen mısırın laboratuvar denemelerinde kabul edilebilir tohum oranı %95,67 iken tarlada % 100 olarak bulmuşlardır. Aynı makinayla ve aynı hızda 250 mm mesafede ekilen ayçiçeği tohumunun laboratuvarında kabul edilebilir tohum oranı %98,45 iken tarlada % 100 olarak bulmuşlardır. Hareketini makina tekerleğinden alan havalı mekanik ekim makinasında 1,67 m/s hız ve 150 mm mesafede ekimi yapılan mısır tohumunun laboratuvarında kabul edilebilir tohum oranı %93 olurken tarlada %98,07 olarak tespit etmişlerdir. Mekanik ekim makinasında 250 mm aralığında ekilen ayçiçeği için laboratuvarında kabul edilebilir tohum oranı %95,2 olurken tarlada bu oran % 100 olarak tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda, iki makinayla yapılan denemelerde kabul edilebilir tohum aralığının %93 - 100 aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Tarla çıkış derecelerinin ikisi içinde %96'nın üzerinde çimlenme derecesine sahip olduğu belirlenmiştir (Torosoğlu ve Aydın, 2019).

Adana'da, tohum diski delik şeklinin, tarla şartlarında, sıra üzeri bitki dağılım düzgünlüğüne ve verim üzerine etkisini ortaya koymak amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Araştırmada 4 farklı yöntemle hazırlanan tohum yatağına, oblong, yuvarlak, kare eşkenar ve üçgen delikli tohum diskleri kullanmışlar ve mısır ekimi yapmışlardır. Ekimden sonra sıra üzeri bitki aralığı düzgünlüğünü tespit etmek için bitki aralığı ölçümleri ve hasattan sonra birim alandan alınan verimi hesaplamaları yapmışlardır. Araştırma sonucunda, delik şekillerinin, sıra üzeri bitki dağılımında ve verim üzerinde etkisi olmadığını ortaya koymuşlardır. Bunun yanında farklı toprak işleme yöntemlerinin sıra üzeri bitki dağılımı ve verimi konusunda etkili olduğunu tespit etmişlerdir. En iyi bitki dağılım düzgünlüğünün yanık-çizel parselde yuvarlak delikli tohum diskleri kullanılarak yapılan ekimde olduğunu ortaya koymuşlardır. Anızlı yakılan parsellerde ise daha iyi bitki dağılımı ve daha yüksek verim değerleri tespit etmişlerdir. Kabul edilebilir bitki sıra üzeri aralığı, çıkış yüzdesi, ve

ortalama bitki sıra üzeri aralığı değerlerini sırasıyla; anızlı parsellerde % 81,72, 85,63, ve 24,27 cm iken, anızı yakılmış olan parsellerde % 86,54, 93,13 ve 21,82 cm bulmuşlardır. En yüksek verimi ise üçgen delikli disk ile ekim yapılan denemeden almışlardır (Barut ve Akbolat, 2005).



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma, ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Araştırma ve Uygulama Atölyesinde yürütülmüştür.

3.1. Materyal

3.1.1. Tek Dane Ekim Makinası

Çalışmada, çapa bitkilerinin ekiminde kullanılan ve ülkemizde en çok imalatı gerçekleştirilen, zincir dişli hareket iletim sistemine sahip, vakum prensibiyle çalışan düşey tohum diskli ekici düzene ve balta tipi gömücü ayaklı dört sıralı tek dane ekim makinası kullanılmıştır (Şekil 1). Bu makinaya ait hareket iletim sistemi ve genel teknik özellikler Tablo 1’de verilmiştir.

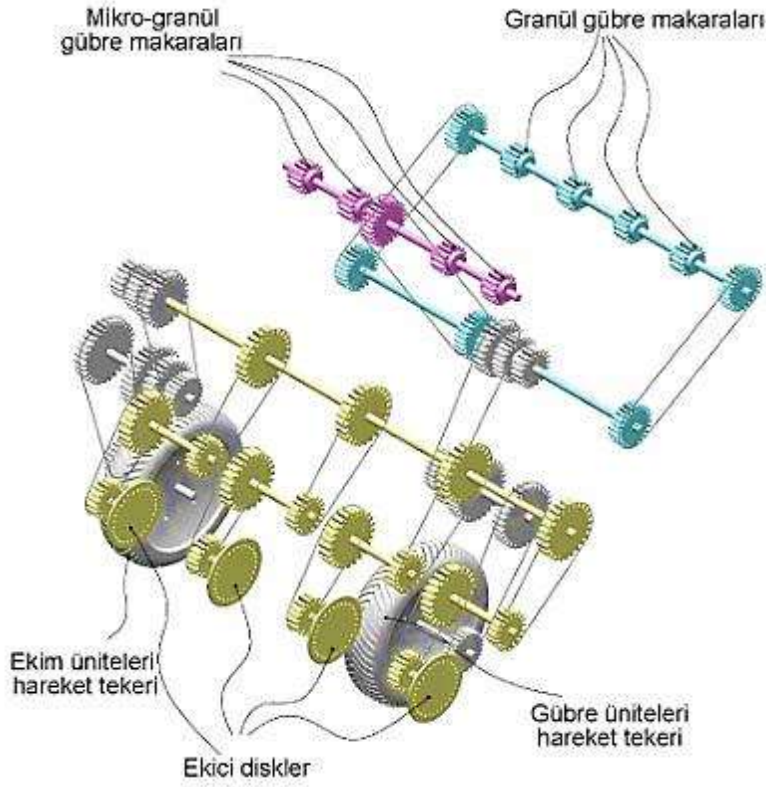
Mekanik hareket iletim sistemli makinada, tohum ekimi için, makina hareket tekerinden alınan hareket, zincir dişli yardımıyla birinci iletim oranını gerçekleştirerek 12 (3x4) farklı kombinasyonda ikinci iletim oranı değişimini sağlayan dişli kutusuna (şanzımana), buradan çıkan hareket, ortak bir mil üzerine her ekici ünite için yerleştirilmiş zincir dişli sistemiyle üçüncü iletim oranıyla ekici ünitelere ulaşmaktadır. Son olarak yeni bir zincir dişli gurubunda gerçekleşen dördüncü iletim oranıyla ekici diske hareket aktarılmaktadır. Dişli kutusundaki, dişli kombinasyonları değiştirilerek ve uygun delik sayılı tohum plakası seçilerek 3-165 cm arasında değişen farklı sıra üzeri tohum aralıkları elde edilmektedir.

Mikro-granül atım ünitesinin hareketi için ise, granül gübre için 9 (3x3) farklı kombinasyonda ikinci iletim oranı değişimini sağlayan dişli kutusundan çıkan hareketin verildiği ortak bir mil üzerine ilave bir dişli yerleştirilmektedir. İlave dişli ve mikro-granül ünitesi ortak mili üzerine yerleştirilen zincir dişli sistemi ile üçüncü transmisyon oranı gerçekleşmektedir. Buradan da her bir mikro-granül deposu için mikro-granül gübre atıcı makaraları hareketlendiren mile giriş yapmaktadır.

Çalışmada makine üzerindeki tüm mekanik hareket iletim sistemleri devre dışı bırakılmış. Tohumların sıra üzeri mesafe ve mikro-granül gübre uygulama oranları ayarı için bir TÜBİTAK projesi (Proje no: TOVAG 1005-2190473) kapsamında geliştirilen “Elektronik Hareket ve Kontrol Sistemi” (EHKS) makine üzerine eklenmiştir.



Şekil 1. Tek dane ekim makinası



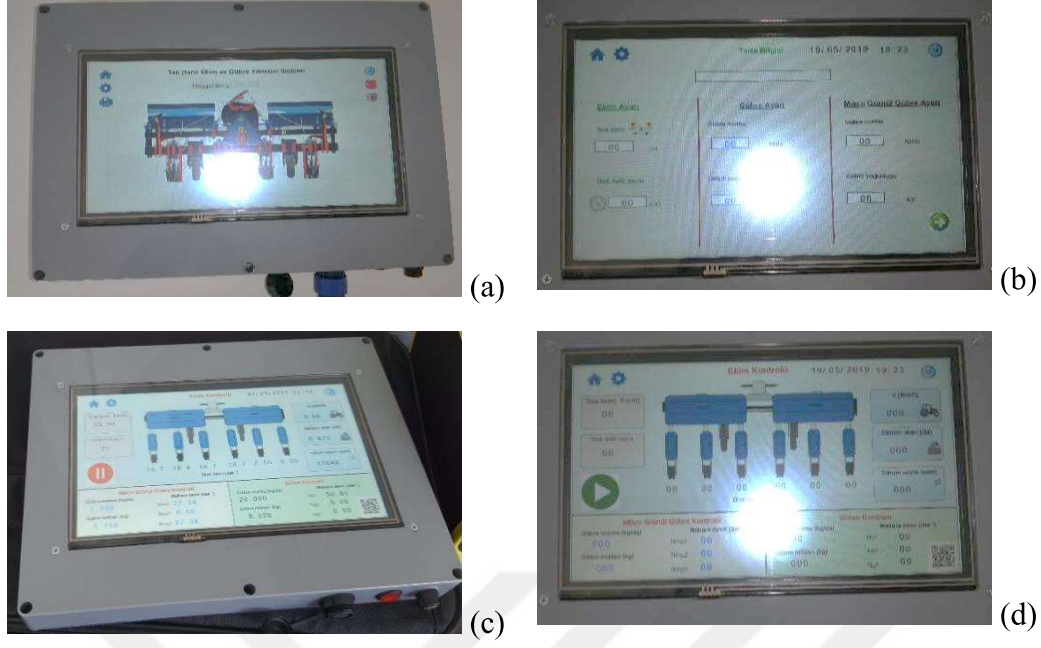
Şekil 2. Ekim ve gübreleme üniteleri için makina hareket iletim sistemleri

Tablo 1
Tek dane ekim makinasına ait bazı teknik özellikler

Teknik özellikler	Birim	Ölçüler
Ünite sayısı	Adet	4
Genişlik	mm	2,950
Yükseklik	mm	1,500
Uzunluk	mm	2,050
Tohum Depo Hacmi	Litre	4 x 38
Gübre Depo Hacmi	Litre	2 x 165
Disk Delik Sayısı	Adet	Değişken
Çalışma Hızı	km/h	6-8
Lastik Ebadı		500-15
Disk Delik Çapı	mm	1-7
Ağırlık	Kg	850
Gerekli Güç	HP	60+

3.1.2. Elektronik hareket ve kontrol sistemi

Tek dane ekimin ve gübre uygulama yönteminin temel ilkeleri ve tek dane ekim makinalarının mekanik hareket iletim sistemlerinin çalışma şekli göz önüne alınarak geliştirilen Kavramsal Tasarımdan yola çıkılmış ve EHKS'nin oluşturulması için Fonksiyonel Tasarım hazırlanmıştır. Fonksiyonel tasarımın ana hatlarını esas alan bir donanım tasarımı oluşturulmuş ve bilgisayarda simülasyonlarla istenilen başarı limitlerini belirleyen ön çalışmalar yapılmıştır. Daha sonra, araştırma için kullanılacak tek dane ekim makinasında ekim ve mikro-granül gübre ünitelerinin mekanik hareket iletim sistemleri sökülmüş ve donanımı ve yazılımı hazırlanan EHKS sistemi (Şekil 3) makine üzerine montaj edilerek ekim makinası atölye testleri için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3. Kontrol ünitesinin ana giriş (a), ayar (b) ve izleme (c,d) katmanları

3.1.3. Ekim makinası test düzeneği

Geliştirilen sistemin atölye koşullarında kontrolleri ve performans testleri, ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Araştırma ve Uygulama Atölyesine kurulu olan ekim makinaları test düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ekim makinası test düzeneği, elektronik inverter ile kontrol edilen elektrik motoru aracılığıyla 0 - 18 km/h aralığında kademesiz olarak ilerleme hızını sağlayan test platformu ve makine vakum sistemine hareket (540 d/dk) vererek sabit vakum basıncını sağlayan elektrik motoru ünitesinden oluşmaktadır (Şekil 4) (Kocabiyik vd., 2016; Çay vd., 2018).



Şekil 4. Ekim makinası test düzeneği

3.1.4. Sıra üzeri ve gübre miktarı ölçüm sistemleri

Geliştirilerek ekim makinası üzerine montaj yapılan elektronik hareket ve kontrol sisteminin (EHKS) yönettiği ekici disklerin sağlamış olduğu sıra üzeri tohumlar arası mesafenin belirlenmesi için, ÇOMÜ, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümündeki 1,2 ms tepki süresine ve 0,9 mm çözünürlüğe sahip optoelektronik ölçüm sistemi ve bu ölçüm sistemi için tasarlanan yazılım (Şekil 5) kullanılmıştır (Kocabıyık vd., 2022). Mikro-granül gübre makaralarının atmış olduğu gübre miktarı gübre ölçüm düzeneği (May ve Kocabıyık, 2019) ile ölçülmüştür.





Şekil 5. Sıra üzeri mesafe ölçüm düzeneği(a) ve yazılımı(b)

3.1.5. Tohum ve Gübre

EHKS sisteminin başarısının ölçümü için yapılan atölye testlerinde mısır tohumu ve mikro-granül gübre kullanılmıştır. Atölye testlerinde kullanılan tohumlara ve mikro-granül gübreye ait bazı özellikler Tablo 2’ de verilmiştir.

Tablo 2
Atölye testlerinde kullanılan tohuma ve gübrelere ait bazı özellikler

Tohum	a (mm)	b (mm)	c (mm)	Ø (%)	BDA (g)		
Mısır <i>Syngenta / Sincero</i>	10,37 ±1,20	8,50 ±0,65	6,33 ±0,86	78,37 ±14,06	375,72 ±7,75		
Gübre				D (mm)	Ø (%)	γ (kg/L)	
Mikro-granül gübre <i>(SumiAgro-Umostart Super Zn (11-48-0+Zn))</i>				0,8-1,3	98	0,9	

a: uzunluk, b: genişlik, c: kalınlık, Ø: küresellik, BDA: bin dane ağırlığı, D: çap, γ: yoğunluk, ±sd

3.2. Yöntem

3.2.1. Atölye Kontrol Testleri

Geliştirilen EHKS'nin laboratuvar simülasyon testleri sonrası yazılım ve donanımında gerekli görülen revizyonlar gerçekleştirilmiştir. Daha sonra atölyede yüklü durumda yazılım ve donanımın uyumu ve uygunluğu için ekim makinasına montajı yapılmış ve sistemin kontrolü test edilmiştir (Şekil 6). Yüklenme durumunun yazılımın ve donanımın tepkilerini test etmek için ilk önce laboratuvardaki simülasyon test koşullarındaki benzer şekilde hesaplanan ve ölçülen disk ve makara devirin grafiksel analizleri yapılmış ve daha sonra tohum ve gübre testleri gerçekleştirilmiştir.



(a)



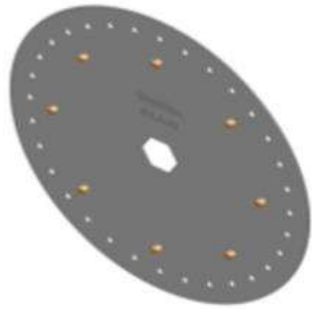
(b)



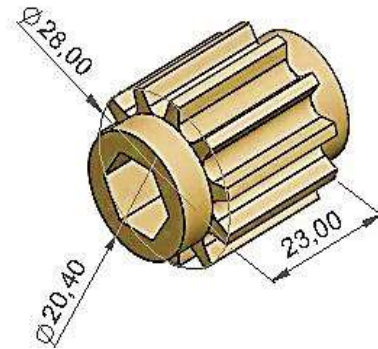
(c)

Şekil 6. Atölye testleri hazırlıkları; sistemin montajı (a), ölçüm ve veri toplama sistemleri (b) ve elektrik motorları (c) bağlantıları

Testlerde tohumluğun ekimi için ekim makinası üretici firma tarafından tohumluk için önerilen 32 delik sayısına ve $\text{Ø}4,5$ mm delik çapına sahip ekici disk kullanılmıştır. Mikro-granül gübre atımı için Türkiye'deki hemen hemen tüm ekim makinası üretici firmaların kullanmakta olduğu 11 oluklu mini gübre makarası kullanılmıştır (Şekil 7).



$\text{Ø}4.5 \times 32$ delikli



Şekil 7. Denemelerde kullanılan ekici disk ve mikro-granül gübre makarası

Elektronik tohum ve gübre kontrol sistemli hassas ekim makinasının atölye testleri 3-6-9 km/h olmak üzere 3 farklı ilerleme hızında, 2,5-3,0-3,5 kg/da mikro-granül gübre normunda ve 20-30-40 cm olmak üzere 3 farklı sıra üzeri mesafe ayarında gerçekleştirilecektir. Testler makine üreticisi tarafından önerilen ortalama 70 mbar sabit vakum basıncında gerçekleştirilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3
Geliştirilen sistemin atölye kontrol testleri tasarımı

v (km/h)	Ekim ünitesi		Gübreleme ünitesi	
	zh (cm)	Kontrol değerleri	Qmg (kg/da)	Kontrol değerleri
3,0	20	Ekim parametreleri (KETA, BO, İO, HD)	2,5	Belirtme (R^2) ya da korelasyon katsayısı (r), keşim (β_0), eğim (β_1), ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) ve ortalama mutlak sapma (MAD)
	30		3,0	
	40		3,5	
6,0	20		2,5	
	30		3,0	
	40		3,5	
9,0	20		2,5	
	30		3,0	
	40		3,5	

Sistemin gerçekleştirdiği tohum atma işlemi sonucunda ekim kalitesinin tarifinde kullanılan ekim parametreleri (performans göstergeleri) olan ikizlenme Oranı (İO), boşluk oranı (BO), kabul edilebilir tohum aralığı (KETA) ve hassasiyet derecesi (HD) Kocabıyık vd. (2016, 2022) ve Cay vd. (2018a)'ne göre aşağıdaki eşitliklerle belirlenmiş ve Aykas vd. (2013) ve Önal vd. (2012)'ne göre değerlendirilmiştir (Tablo 4).

Tablo 4
Tek dane ekim kalitesi değerlendirme ölçütleri (Önal vd., 2012)

KETA/KEBA (%)	İO (%)	BO (%)	Değerlendirme
> 98,6	< 0,7	< 0,7	Çok İyi
> 90,4 ≤ 98,6	≥ 0,7 < 4,8	≥ 0,7 < 4,8	İyi
> 82,3 ≤ 90,4	≥ 4,8 < 7,7	≥ 4,8 < 10,0	Orta
< 82,3	>7,7	>10,0	Yetersiz

İkizlenme oranı (İO): istenilen teorik (hedef) sıra üzeri aralığın (z_h) yarısına eşit ve daha az tohum sayısının ($\leq 0,5 z_h$), toplam ölçüm yapılan tohum sayısına oranıdır.

$$İO = \frac{n_1}{N} \quad (1)$$

Boşluk oranı (BO): istenilen teorik (hedef) sıra üzeri aralığın (z_h) 1,5 katına eşit ve daha büyük tohum sayısının ($\geq 1,5 z_h$), toplam ölçüm yapılan tohum sayısına oranıdır.

$$BO = \frac{n_2}{N} \quad (2)$$

Kabul edilebilir tohum aralığı (*KETA*): istenilen teorik (hedef) sıra üzeri aralığın (z_h) yarısından daha büyük ve 1,5 katından daha küçük olan tohum sayılarının toplamının, toplam ölçüm yapılan tohum sayısına oranıdır ($0,5z_h < KETA < 1,5z_h$).

$$KETA = 100 - (İO + BO) \quad (3)$$

Hassasiyet derecesi (HD): teorik sıra üzeri dağılımının değişkenliği belirten bir kriterdir. Aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır. Hassasiyet derecesinin tek dane ekimdeki üst sınır değeri %29 olarak önerilmektedir (Raoufat ve Mahmoodieh, 2005).

$$HD = \frac{S_d}{z_h} \quad (4)$$

Eşitliklerde:

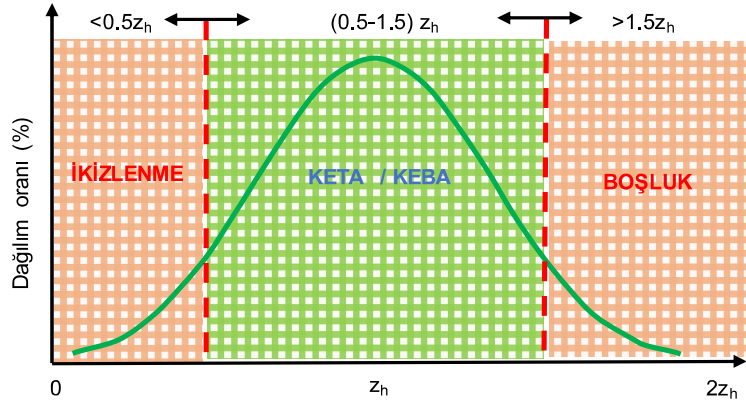
n_1 : $\leq 0,5z_h$ aralıkta bulunan tohum sayısı (adet),

n_2 : $\geq 1,5z_h$ aralıkta bulunan tohum sayısı (adet),

N : Toplam örnek sayısı (adet),

z_h : Teorik (hedef) sıra üzeri mesafe (cm)

S_d : Kabul edilebilir aralıkta bulunan örneklerin standart sapması.



Şekil 8. Tohum dağılım düzgünlüğü frekans dağılımı

Gübre hareket iletim sistemi kontrolü için, hedef gübre oranı ve geliştirilen EHKS'nin uyguladığı gübre oranı arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. EHKS'nin gerçekleştirdiği gübre oranının, hedef gübre oranına yakınlığı, aşağıda eşitlikleri verilen ortalama mutlak yüzde hata (mean absolute percentage error (MAPE)) ve ortalama mutlak sapma (mean absolute deviation (MAD)) (Bovas ve Ledolder, 1983; Cay vd., 2017; May ve Kocabiyik, 2019; Kocabiyik ve ark, 2022) belirlenerek karşılaştırılmıştır. Bunlara ilave olarak, hedef ve ölçülen gübre normları arasındaki ilişkiler, belirtme ve korelasyon katsayısı, kesişim (β_0) ve eğim (β_1) değerleri incelenerek belirlenmiştir.

$$MAPE = \left(\frac{100}{n}\right) \sum_{i=1}^n \left| \frac{e_i}{HQ_i} \right| \quad (5)$$

$$MAD = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n |e_i| \quad (6)$$

$$e_i = |HQ_i - ÖQ_i| \quad (7)$$

Burada;

HQ_i : Hedef gübre normu (ayar norm) (kg/da),

$ÖQ_i$: Sistem tarafından gerçekleştirilen gübre normu (kg/da),

n : Ölçüm sayısıdır (adet)

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

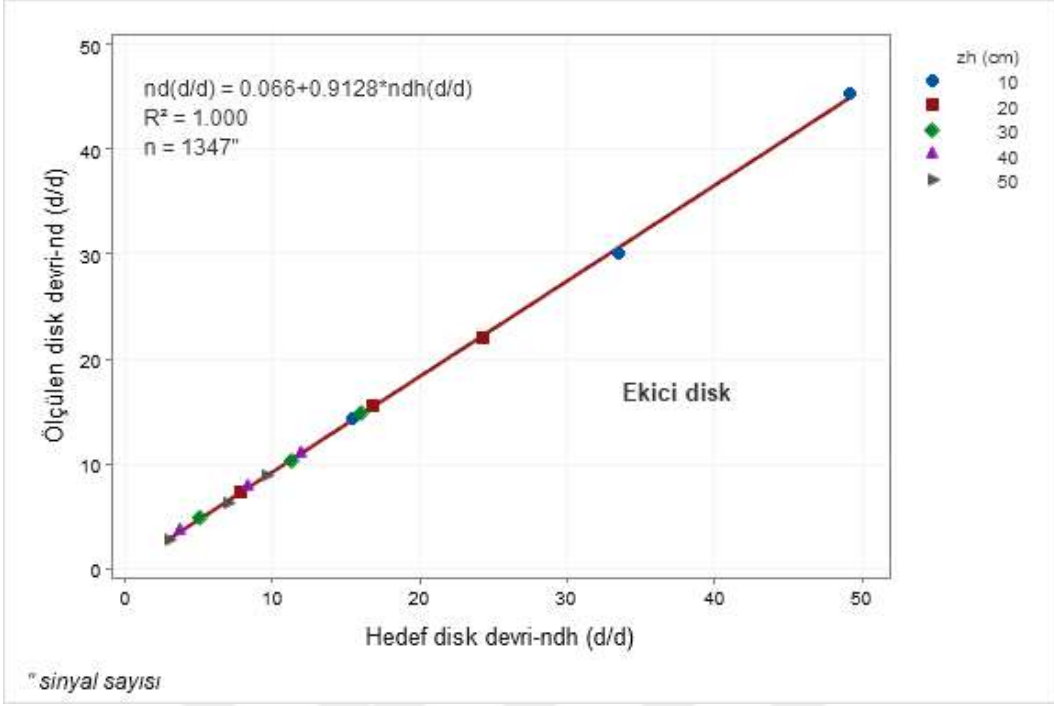
ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Atölye Devir Analizleri

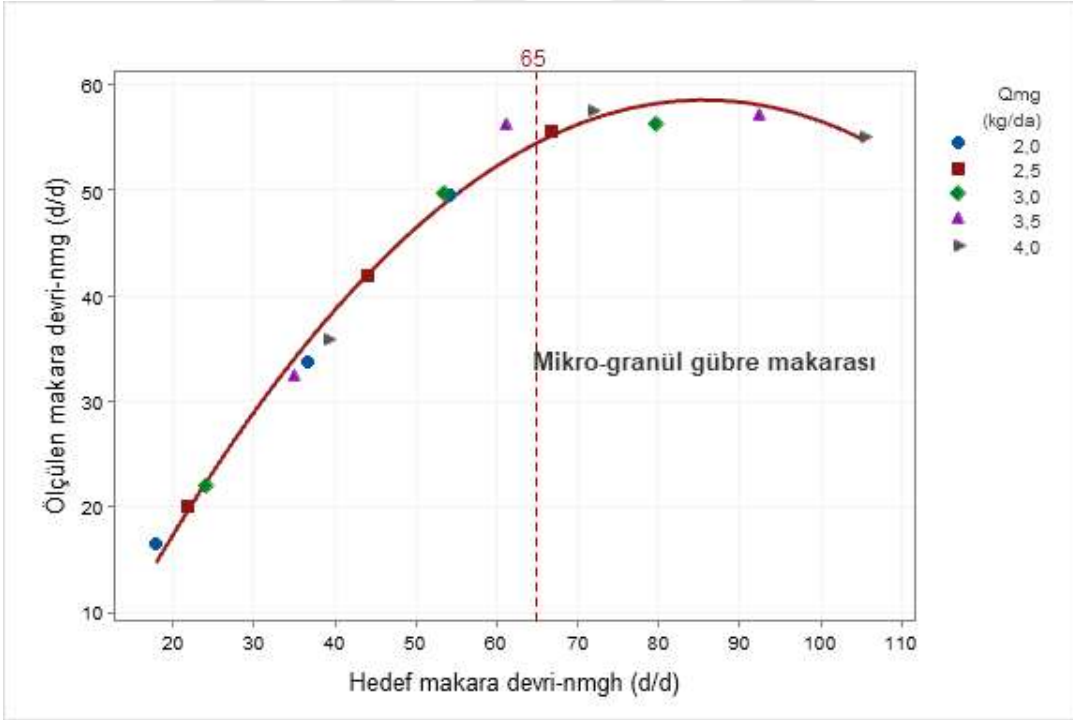
Geliştirilen EHKS ekim makinası üzerine montaj yapılarak atölyede gerçekleştirilen devir kontrol testlerinde tüm ilerleme hızlarında ve kontrol değişkenleri dikkate alınarak, ekici disk ve mikro-granül gübre makaralarında ölçülen devirlerinin hedef devirlere göre değişimi Şekil 9 verilmiştir.

Tohum ekimi işleminde kontrol değişkenlerine göre ölçülen disk devirleri hesap devirlerine aynı gerçekleşmiş ($R^2=1,00$) (Şekil 9) kesişim değeri 0'a (sıfıra) ve eğim değerleri ise 1'e oldukça yakın olmuştur. Fakat mikro-granül gübre atım işleminde makara 60 d/d' ya kadar karalı şekilde ölçülen makara devri hesap devri ile benzer şekilde hareket etmiş, bu devirden sonra hesap devrinden uzaklaşmalar başlamıştır. Özellikle $Q_{mg}=4,0$ kg/da ve 9 km/h ilerleme hızı koşullarında bu sapma belirgin şekilde ortaya çıkmıştır. Çünkü bu yüksek ilerleme hızında makaranın bu yüksek gübre normunu karşılayabilmek için daha yüksek devirlerde dönmesi gerekmektedir. Fakat mikro-granül gübre makarasının düşük oluk kapasitesi nedeniyle hesaplanan devir motor devrinin üzerine çıkmakta ve çalışma sınırlarını aşmaktadır.

Ekici diskleri ve mikro-granül gübre makaralarını hareketlendiren motorlarda sabit ilerleme hızı koşullarında ölçülen motor devirlerinin (n_d ve n_{mg}) yazılım tarafından hesaplanan makara devrinden (n_{dh} ve n_{mgh}) sapmaları oldukça benzer olmuştur. Ele alınan sabit ilerleme hız koşulunda hedef/hesap devri ile ölçülen devir arasındaki ekici disk ve mikro-granül gübre makarası için fark simülasyon koşullardan daha fazla olmuştur. Aynı şekilde, hesaplanan ve ölçülen motor devirleri biraz daha geniş bir değişim aralığında hareket etmiş tohum ve gübre için alt kontrol limiti 0 (sıfır) olurken üst kontrol limitlerinde artış olmuştur (Şekil 9).



(a)

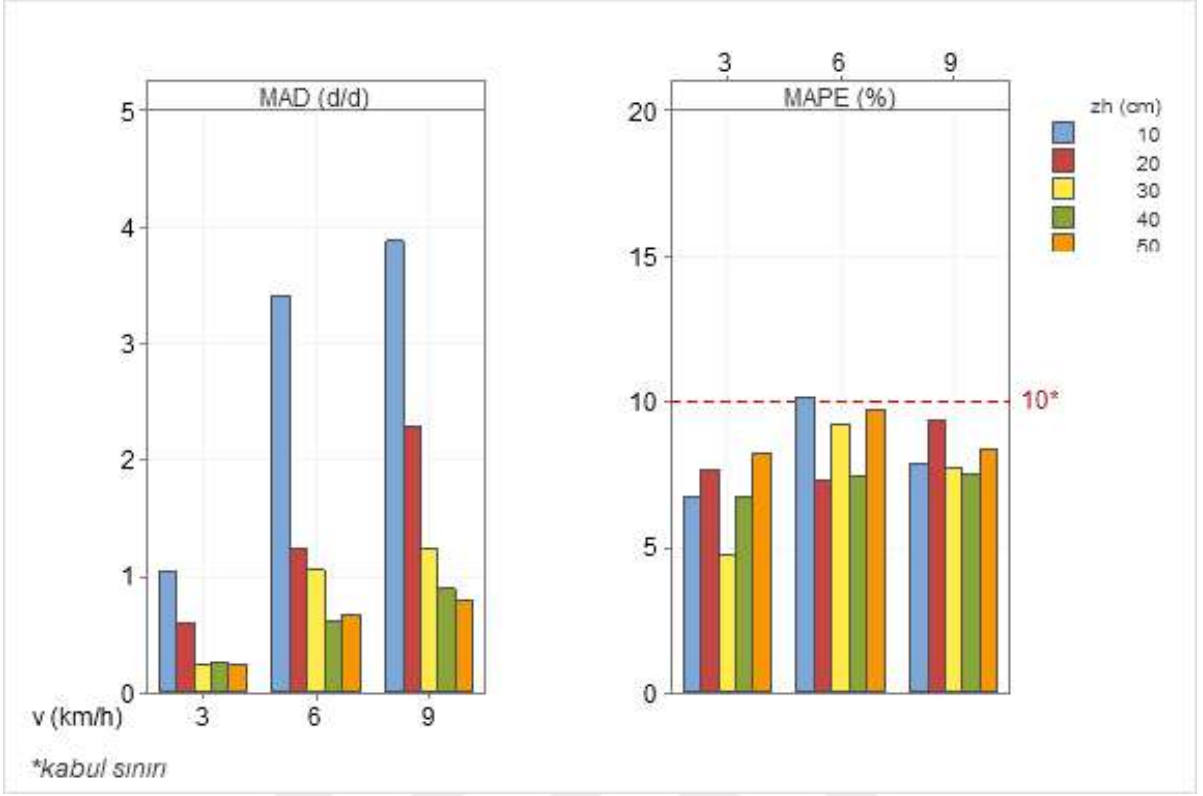


(b)

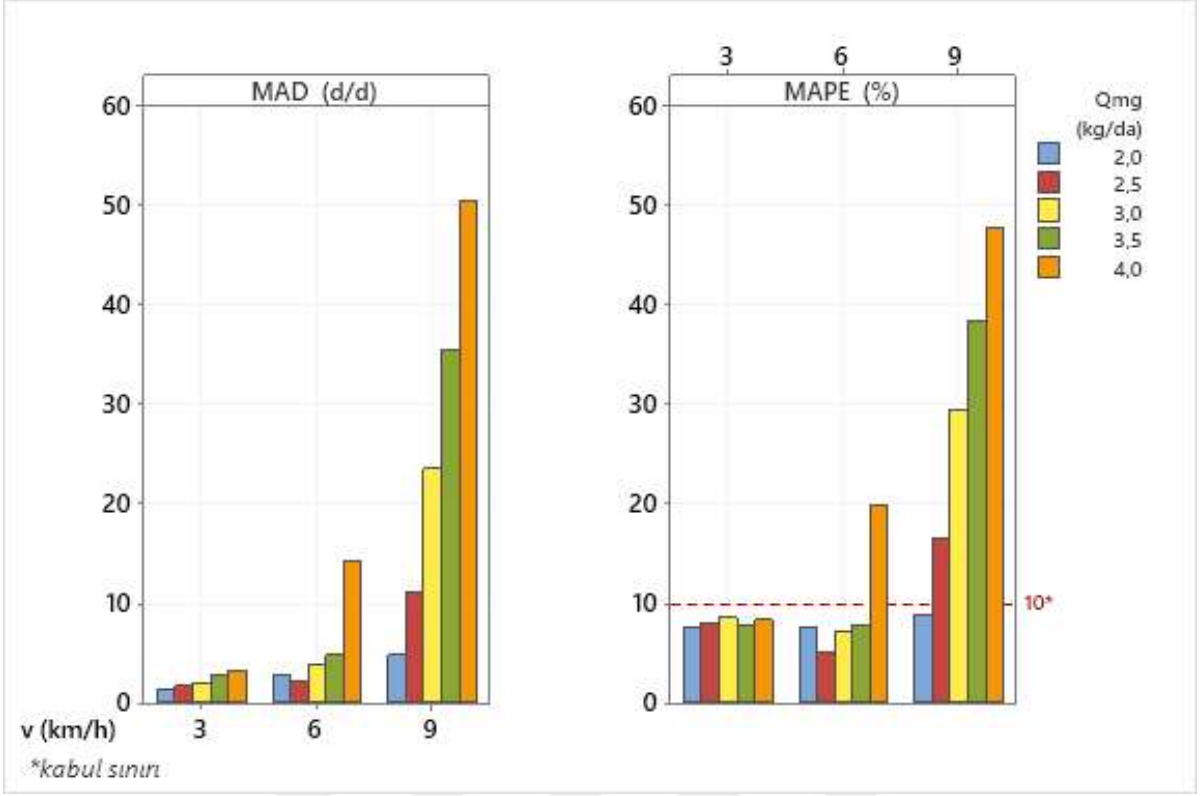
Şekil 9. Yüklü ve sabit hız durumunda ekici disk (a) ve gübre makaralarında (b) hedef ve ölçülen devir arasındaki ilişkiler

Makinanın imalatında ekici disk taşıyan ve hareketlendiren mil haricinde, ekici diskin ve gübre makaralarının çalışma yuvası ve yataklarında yuvarlanmalı elemanlar yerine sürtünmeli elemanlar kullanılmıştır. Doğrudan plastik-plastik sürtünmeli şekilde yataklandırılmıştır. Ayrıca ekici disk kalınlığının düşük olması ve vakum altında esneyerek şekil değiştirmesi nedeniyle tohum hücresi duvarındaki plastik organlara yapışma özelliği göstermektedir. Kullanılan plastik parçaların işlevleri nedeniyle dönen organlarda çok fazla sürtünme oluşmakta ve elektrik motoru sürtünmeyi yenip hesap devrini yakalamak için çok hızlı tepkiler verebilmektedir. Bu ani tepkiler dalgalanmalara neden olabilmektedir (Şekil 9). Bununla birlikte, EHKS sistemi, makinanın yüklü çalışma koşullarında yani tohum ve gübre depolarının doldurulduğu, vakumun devreye girdiği ve ekici diskin ve gübre makaralarının sürtünmeye maruz kaldığı koşullarda çalışmaya zorlanmıştır. Bu zorlama şartlarında ve sabit ilerleme hızlarında ekici disk devirlerinde 0,62-3,88 d/d ve mikro-granül gübre makaralarında 1,29-6,93 d/d (9 km/h ve 6 km/h ve 4 kg/da deneme noktaları hariç) aralığında ölçülen değerler hesap değerlerden ortalama mutlak bir sapma göstermiştir (Şekil 10). Ekici plakalar rulmanlı yataklı bir mil ile yönetildikleri için sürtünmeden kaynaklı sapma miktarı gübre makaralarında meydana gelen ortalama mutlak sapma (MAD) miktarından düşük olmuştur.

Tüm sabit ilerleme hızı koşullarında ve tüm sıra üzeri mesafelerinde ekici disk devirlerinde %10'dan daha düşük bir ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) gerçekleşmiştir. Bir diğer ifade ile %90'dan daha yüksek bir doğruluk oranıyla hedef devir yakalanmıştır. Mikro-granül gübre uygulamasında ise 9 km/h hız ve tüm gübre normu ve 6 km/h hız ve 4 kg/da deneme noktaları hariç diğer tüm noktalarda MAPE %10'dan düşük gerçekleşmiştir.

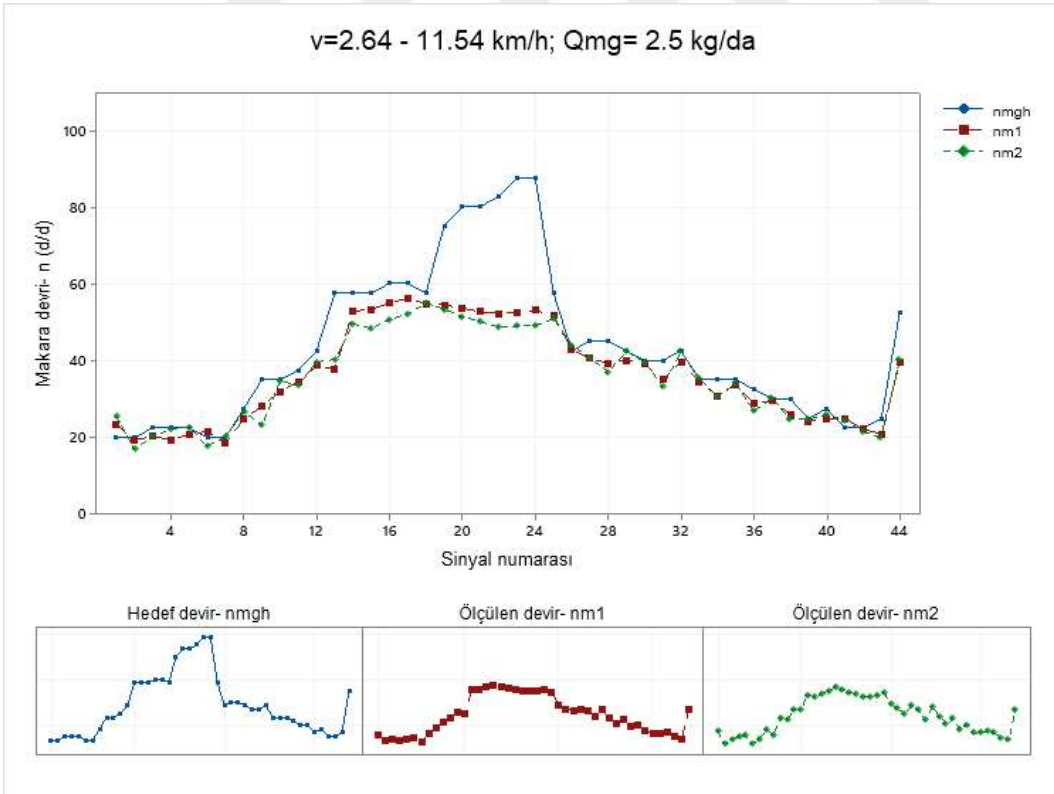
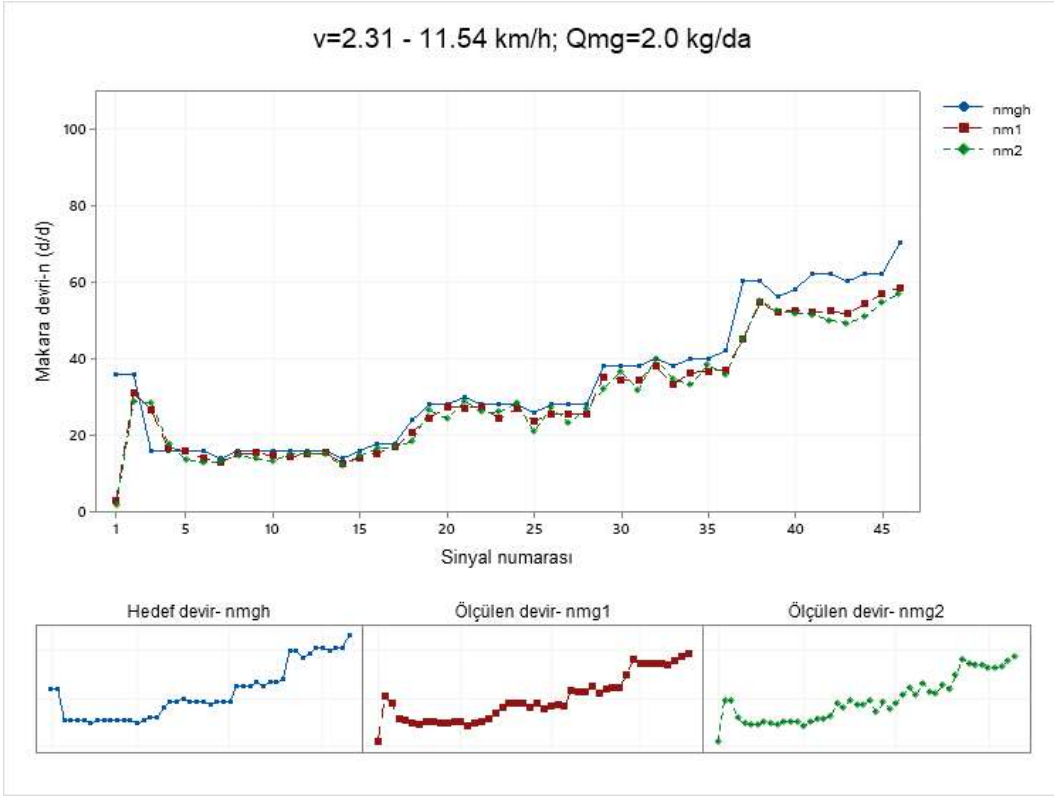


Şekil 10. Yüklü koşullarda ilerleme hızı ve z_h 'a göre ekici disk devirlerinde MAD ve MAPE değişimleri

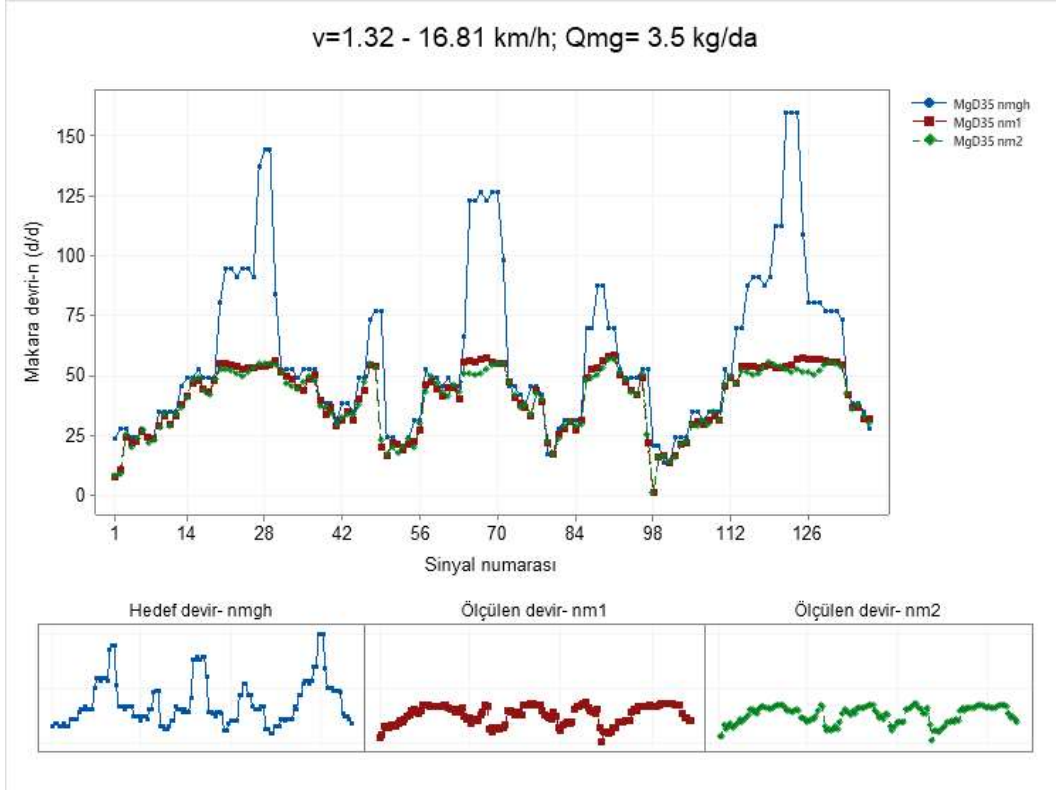
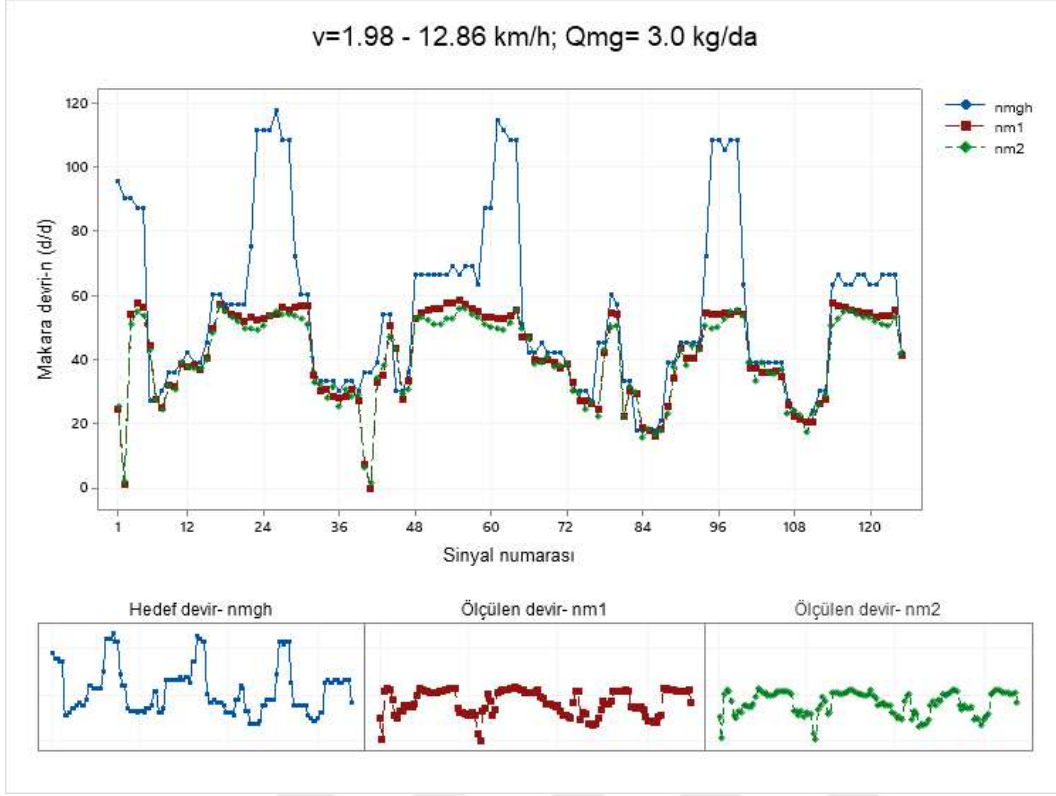


Şekil 11. Yüklü koşullarda ilerleme hızı ve Q_{mg} 'a göre mikro-granül gübre makara devirlerinde MAD ve MAPE değişimleri

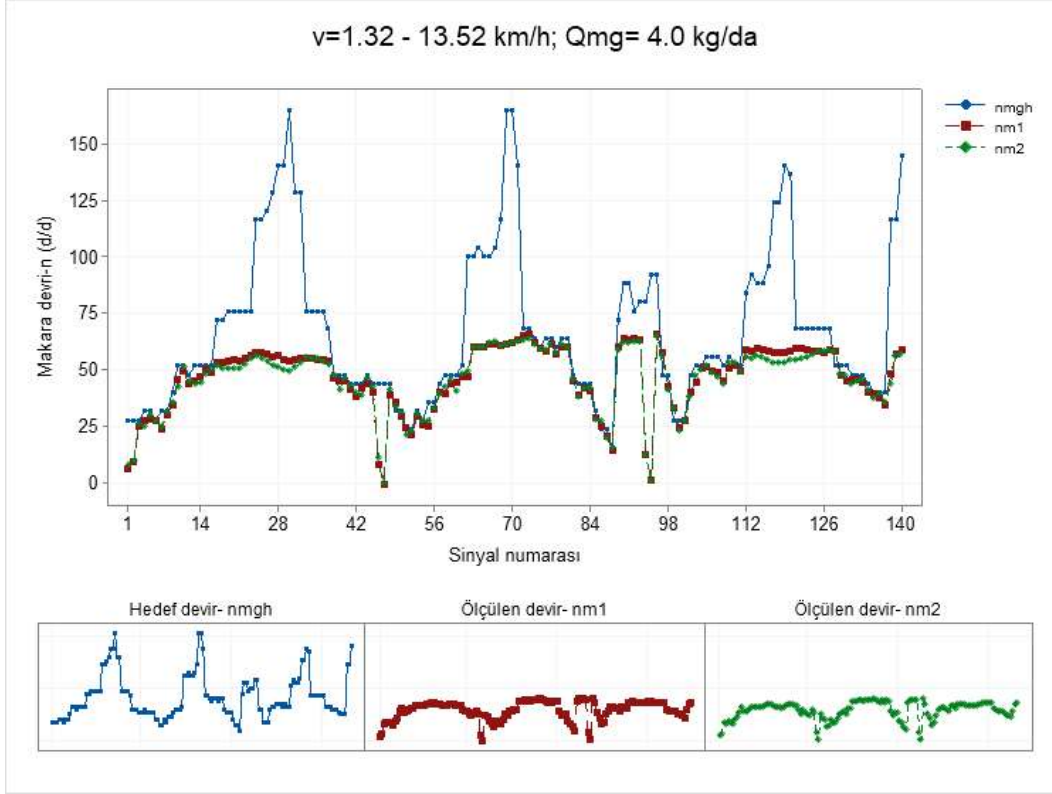
Gübre uygulamalarında anlık değişim şartlarına uyum açısından, geliştirilen sistemin tepki karakteristiği olarak, tesadüfî hız değişim koşullarında, hesaplanan makara devri ve sistem tarafından yönetilen makaranın tepki devirleri ölçülmüştür. Test süresince, farklı gübre uygulama normlarında, hedef/hesaplanan ve ölçülen gübre makarası devirlerinin ilerleme hızına göre değişimleri Şekil 11'de verilmiştir. İlerleme hızında meydana gelen anlık değişim koşullarında, hesaplanan (hedef) makara devrine ($nmgh$ (d/d)) karşı motorlar oldukça kısa sürede tepki vermiş, ölçülen makara devirleri hedef makara devriyle birebir örtüşen bir yol izlemiştir. Değişken hız koşullarından dolayı, makaranın hem hedef hızı hem de ölçülen hızında biraz dalgalanma olmuştur. İlerleme hız değişiminden gelen sinyallere göre sistem 250 ms'den daha düşük tepki süresiyle yeni hedef hızı belirlemiş ve makara motorunu komut göndermiştir. Gübre uygulamasında, gübre makaraları 1100 ms (1,1 s)'den daha kısa sürede hedef makara devrine ulaşılmıştır.



Şekil 12. Yükleme durumunda değişken ilerleme hızında mikro-granül gübre makara devri değişimi

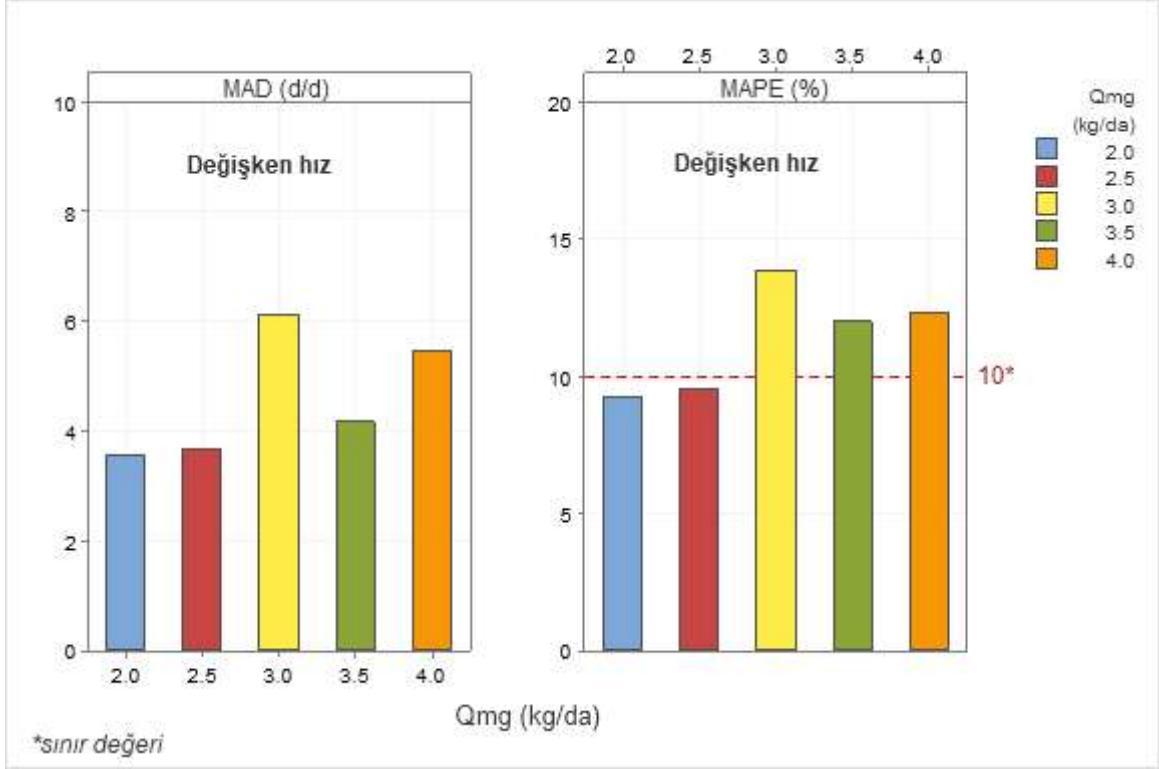


Şekil 13. Yükleme durumunda değişken ilerleme hızında mikro-granül gübre makara devri değişimi (devamı)



Şekil 14. Yükleme durumunda değişken ilerleme hızında mikro-granül gübre makara devri değişimi (devamı)

Değişken ilerleme hız koşullarında ve mikro-granül gübre uygulama oranlarında makara devirlerinin MAD değeri 3,57-6,12 d/d ve MAPE değeri %9,28-13,85 aralığında değişmiştir. Ortalama mutlak sapma (MAD) düşük seviyelerde olmasına karşın MAPE değeri olan %10 kabul sınırı civarında olmuş, 3 ve 6 km/h sabit ilerleme hızı koşullarındaki değerlerden daha yüksek olmuştur. Değişken ilerleme hızı koşullarının testleri sırasında, sistemi zorlamak için 0-16 km/h hız aralığı uygulanmıştır. Mikro-granül gübre makarasının oluk hacminin oldukça küçük yapılı olması nedeniyle yüksek hız şartlarında makaranın hedef normu gerçekleştirebilmesi için oldukça yüksek devirlerde dönmesi gerekmektedir. Özellikle 8 km/h ilerleme hızının aşılmasında hedef makara devri 65 d/d üzerine çıkmaktadır. Bu durum mikro-granül gübre makarasını yöneten motorun sınır değerini aşmaktadır. Bu nedenle motor sınır değerini aşan hedef makara devirlerine ulaşamamakta ve makara devri sınır devirde kalmaktadır. Bu sebeple sınır değerden sonraki makara devirlerinin MAD ve MAPE değerleri yüksek olmaktadır (Şekil 15).



Şekil 15. Yüklü koşullarda, değişken ilerleme hızında Qmg'a göre mikro-granül gübre makara devirlerinde MAD ve MAPE değişimleri

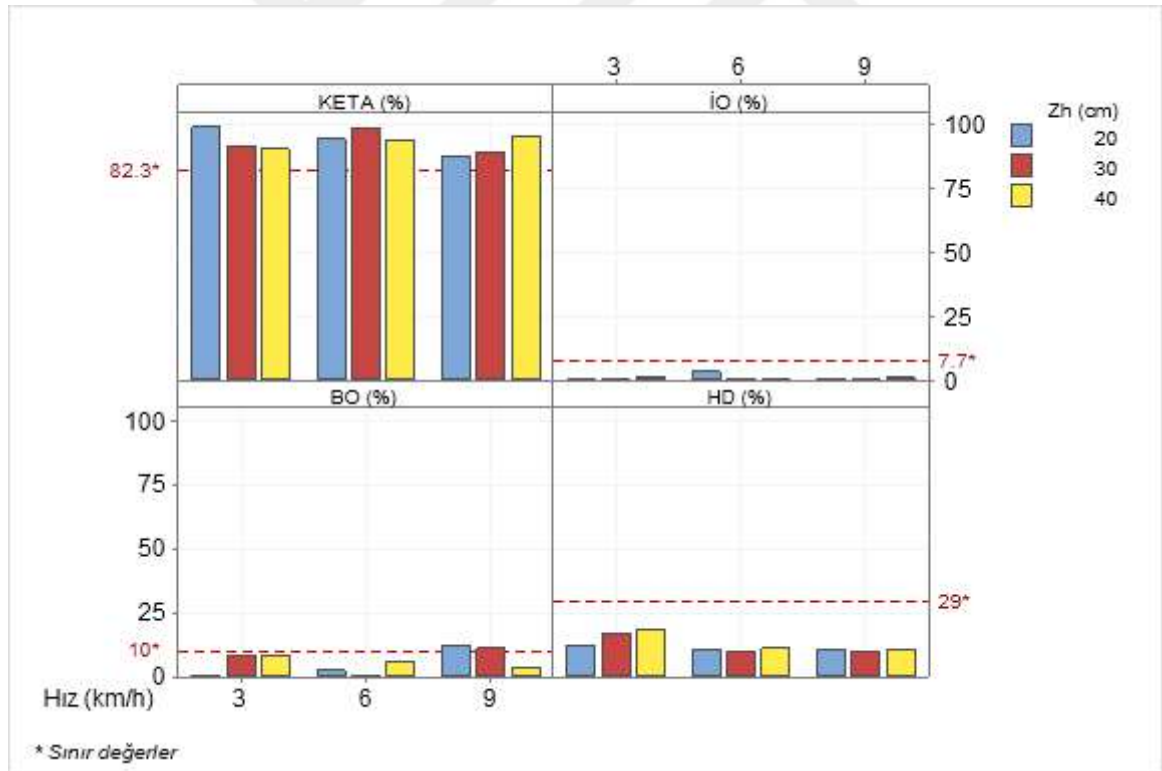
4.2. Atölye Test Sonuçları

Mısır tohumu ve Ø4,5 mm x 32 delikli ekici disk ile 3, 6 ve 9 km/h sabit ilerleme hızlarında, EHKS'nin kullanıldığı 3 farklı sıra üzeri mesafede gerçekleştirilen denemelerden elde edilen kabul edilebilir tohum aralığı (KETA), ikizlenme oranı (İO), boşluk oranı (BO) ve hassasiyet derecesi (HD) ve değerlendirme sonuçları Tablo 5'de ve Şekil 16'de verilmiştir. Tüm çalışma koşullarında KETA %87,27 ile 99,09, İO %0 ile 3,33 ve BO %0,61 ile 10,91 arasında değişim göstermiştir. Aynı çalışma koşullarında HD %9,56 ile 18,11 arasında gerçekleşmiştir. Tüm koşullarda ekim kalitesi *çok iyi*, *iyi* ve *orta* seviyede gerçekleşmiştir (Tablo 5). Ekim kalitesi, hassasiyet derecesi (HD) bakımından ele alındığı zaman, tüm ilerleme hızı ve sıra üzeri mesafeler için yapılan çalışmalarda HD değerleri %29'dan düşük olup önerilen kabul edilebilir aralıkta yer almışlardır.

Tablo 5

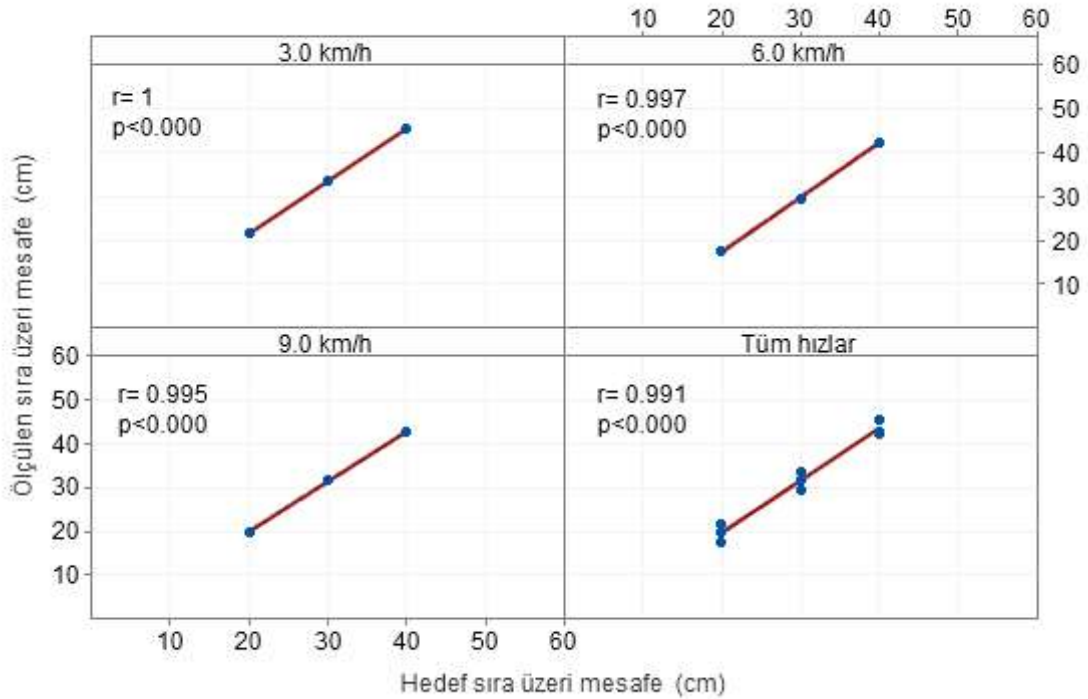
Atölye şartlarında mısır tohumlarına ait ekim performansı değerlendirmeleri

v (km/h)	Z _h (cm)	Z _ö (cm)	KETA (%)	İO (%)	BO (%)	HD (%)	Değerlendirme
3	20	21,46	99,09	0,30	0,61	12,02	Çok iyi
	30	33,65	91,52	0,30	8,18	16,69	İyi
	40	45,31	90,30	1,21	8,48	18,11	İyi
6	20	17,50	94,24	3,33	2,42	10,49	İyi
	30	29,27	98,79	0,61	0,61	9,56	Çok iyi
	40	42,38	93,94	0,00	6,06	11,10	İyi
9	20	19,89	87,27	0,30	12,42	10,82	Orta
	30	31,65	89,09	0,00	10,91	9,67	Orta
	40	42,52	95,45	0,91	3,64	10,63	İyi

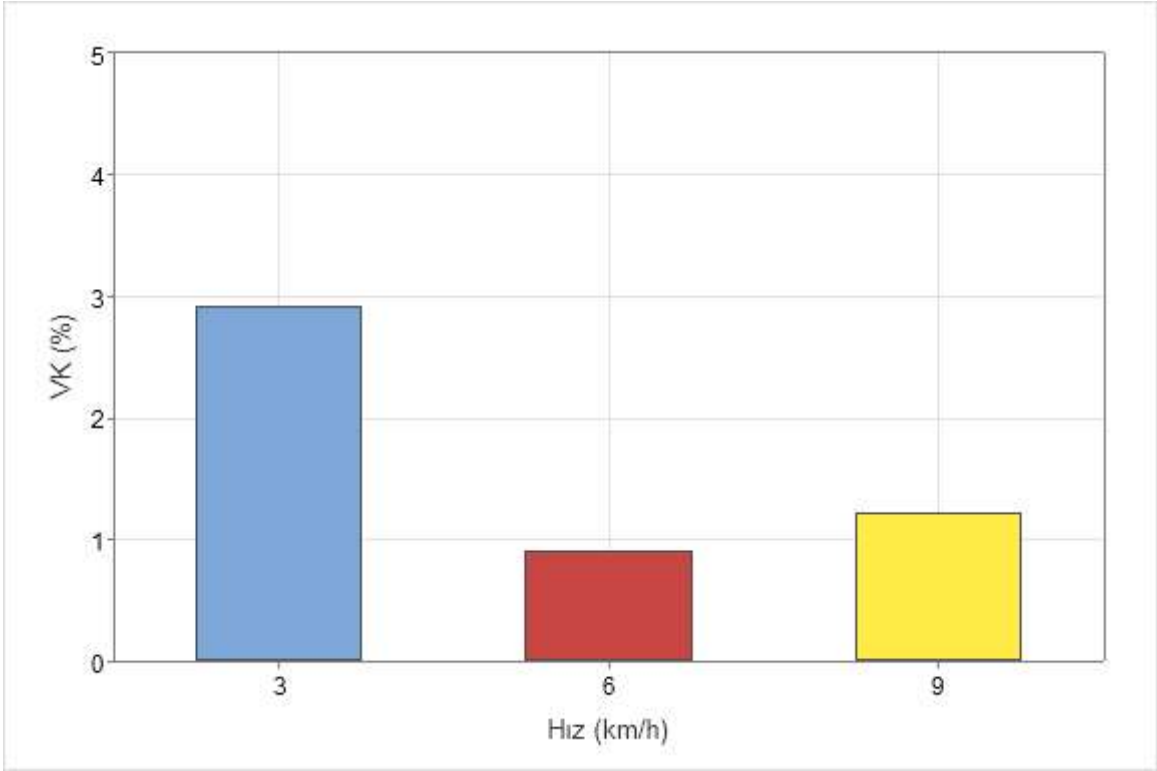


Şekil 16. Geliştirilen sistemde mısır tohumlarına ait teorik sıra üzeri mesafe ve ilerleme hızına göre ekim performansı değerleri değişimi

Geliştirilen sistemle elde edilen deneysel sıra üzeri mesafe değerleri hedef/teorik sıra üzeri değerlere oldukça yakın olmuş ve oldukça yüksek r değerleri 0,991 ile 1,00 meydana gelmiştir. Yüksek hız ve düşük sıra üzeri koşullarda disk devrinin yüksek olması nedeniyle tohumların diski terk ederken merkez kaç kuvvetin etkisiyle savrulması sonucu sıra üzerinde boşluk oluştuğu yani BO değerinin artmasına neden olduğu ve böylece deneysel sıra üzeri mesafenin hedef sıra üzeri mesafeden farklılaşmasına neden olduğu belirgin şekilde görülmüştür (Şekil 17). Ekim makinalarının bir diğer başarı göstergesi de ayaklar arası düzensizlik değerleridir. Bunun için en çok kullanılan gösterge ayaklar arası ya da üniteler arası varyasyon katsayısıdır (VK) değeridir. Yapılan testler sonucunda üç sabit ve aynı zamanda değişken ilerleme hızında elde edilen ayaklar arası $\%VK$ ekim makinaları için önerilen $\%3$ 'den düşük bulunmuştur (Şekil 18). Bu durum sistemin ayrı ayrı motor sürücüsüyle kontrol edilmesine rağmen disk motorlarının oldukça yakın bir senkronizasyonda çalışmasından kaynaklandığını ifade etmek mümkündür.



Şekil 17. Farklı hızlarda mısır tohumlarına ait deneysel sıra üzeri mesafenin hedef/teorik sıra üzeri mesafeye göre değişimi

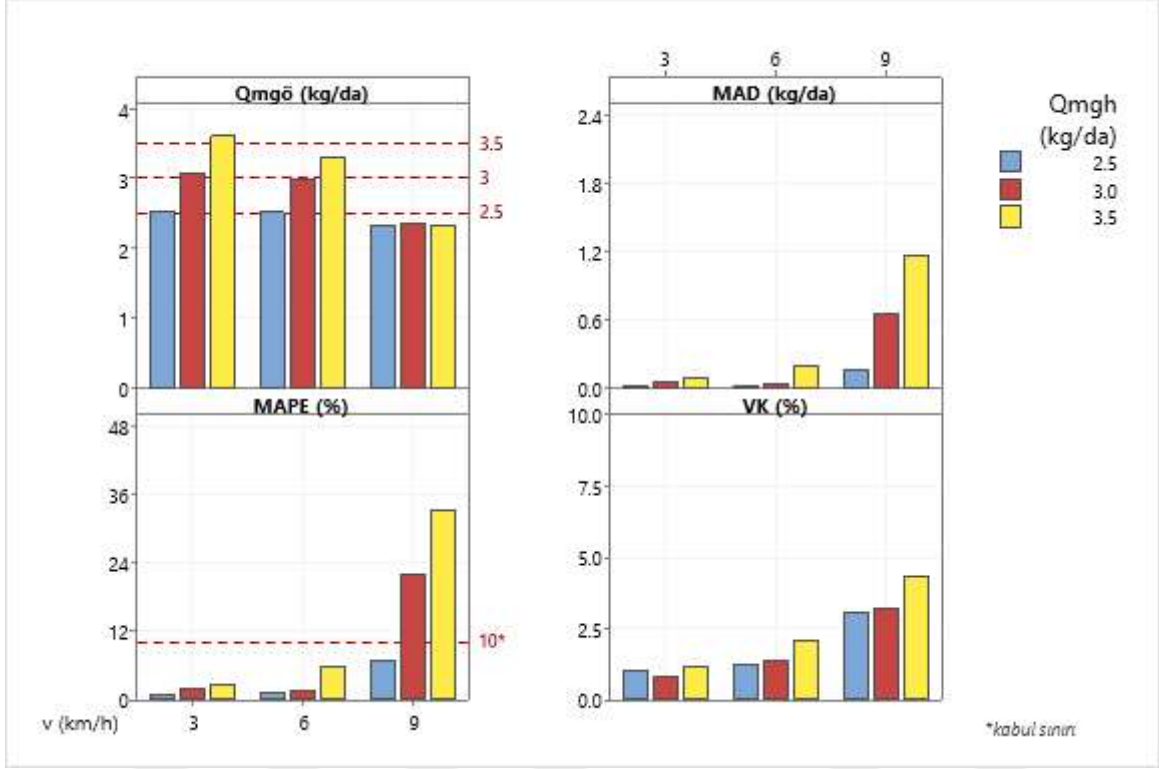


Şekil 18. Atölyede mısır tohumlarının ekiminde ilerleme hızına göre ayaklar arası VK (%)

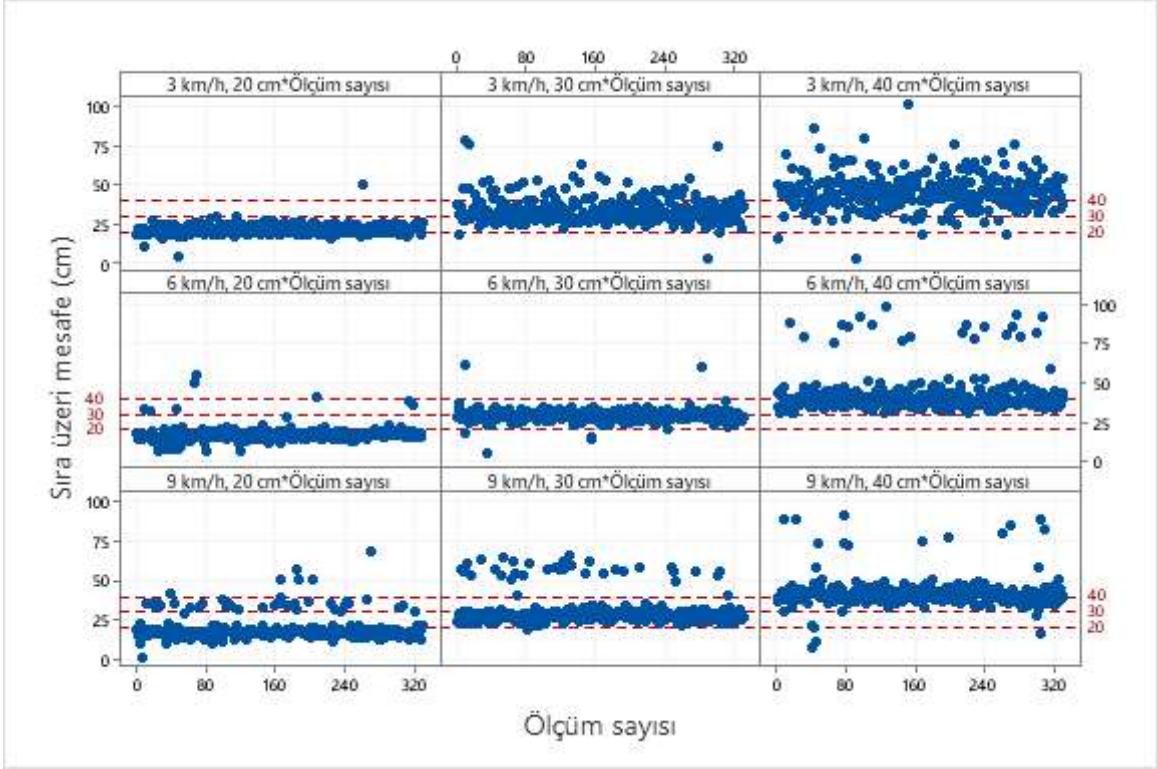
Mikro-granül gübre ile yapılan atölye çalışmalarında, ele alınan her bir ilerleme hızında ayarlanan hedef (set) mikro-granül gübre normu göre atımı gerçekleştiren (ölçülen) gübre normunun (Qmgö) değişim Şekil 19’de verilmiştir. İlerleme hızı 3 km/h ve 2,5, 3,0 ve 3,5 kg/da gübre norm ayarında ölçülen gübre normları sırasıyla 2,52, 3,06 ve 3,60 kg/da şeklinde olmuştur. İlerleme hızı 6 km/h ve aynı gübre norm ayarında sisteme girilen değere karşılık gelen ölçüm sonuçları sırasıyla 2,51, 2,99 ve 3,30 kg/da ve 9 km/h ilerleme hızı için 2,33, 2,34 ve 2,33 kg/da olarak gerçekleşmiştir. İlerleme hızının 9,0 km/h ve gübre normun 2,5 kg/da üzerine çıktığında elde edilen norm değerleri hedef değerlerden sapmaya başlamıştır.

Elde edilen (ölçülen) mikro-granül normunun hedeften ortalama mutlak sapması tüm çalışma hızlarında 0,0217-1,168 kg/da arasında değişmiş ve 3,0 km/h için %0,867-0,095, 6,0 km/h için %1,200-5,840 ve 9,0 km/h için %6,930-33,376 aralıklarında MAPE değerleri meydana gelmiştir (Şekil 19). Bu hız değerinden 3,0 ve 6,0 km/h için geliştirilen sistemin ayarlanan gübre normuna ulaşmada oldukça başarılı bir performans gösterdiğini söylemek mümkündür. Bununla birlikte ilerleme hızının 9,0 km/h ve hedef normun 2,5 kg/da’a kadar

olan ayar kademelerinde sistem ayarlanan gübre normunu gerçekleştirmede oldukça başarılı olmuş ve %10'dan daha düşük bir MAPE değeri meydana gelmiştir.



Şekil 19. Farklı ilerleme hızı ve mikro-granül gübre normlarında elde edilen Qmgö, MAD, MAPE ve VK değerleri



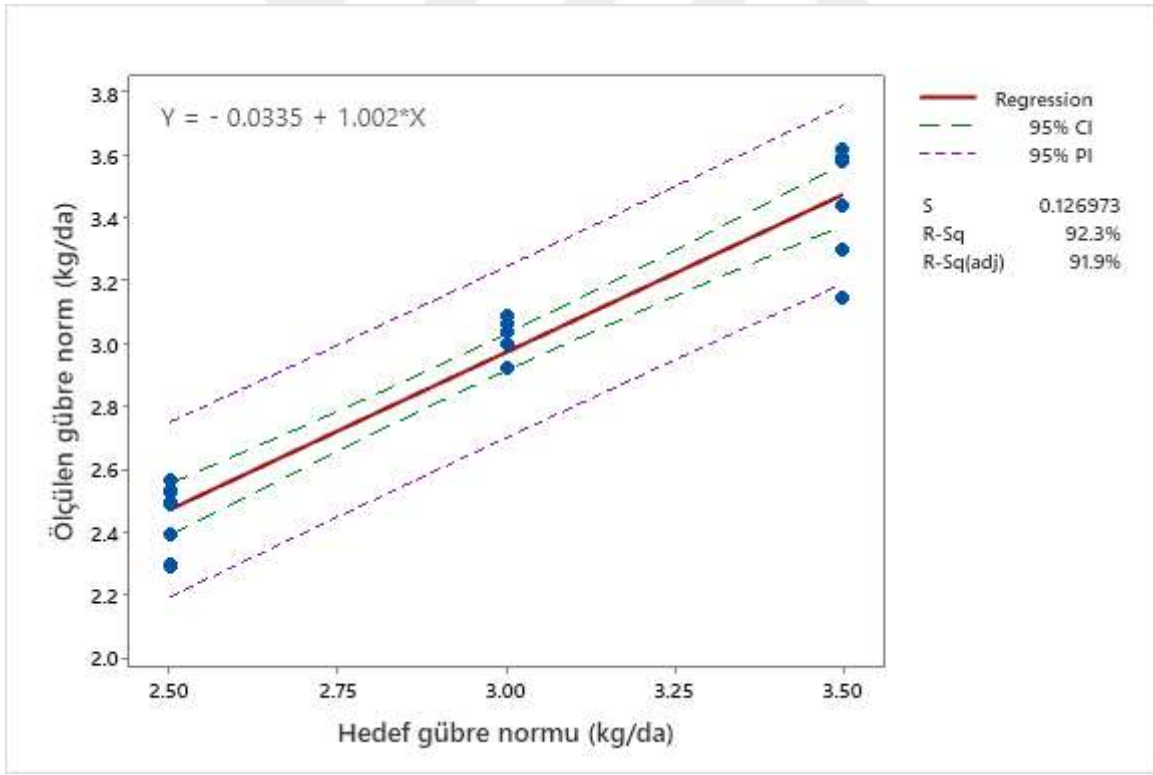
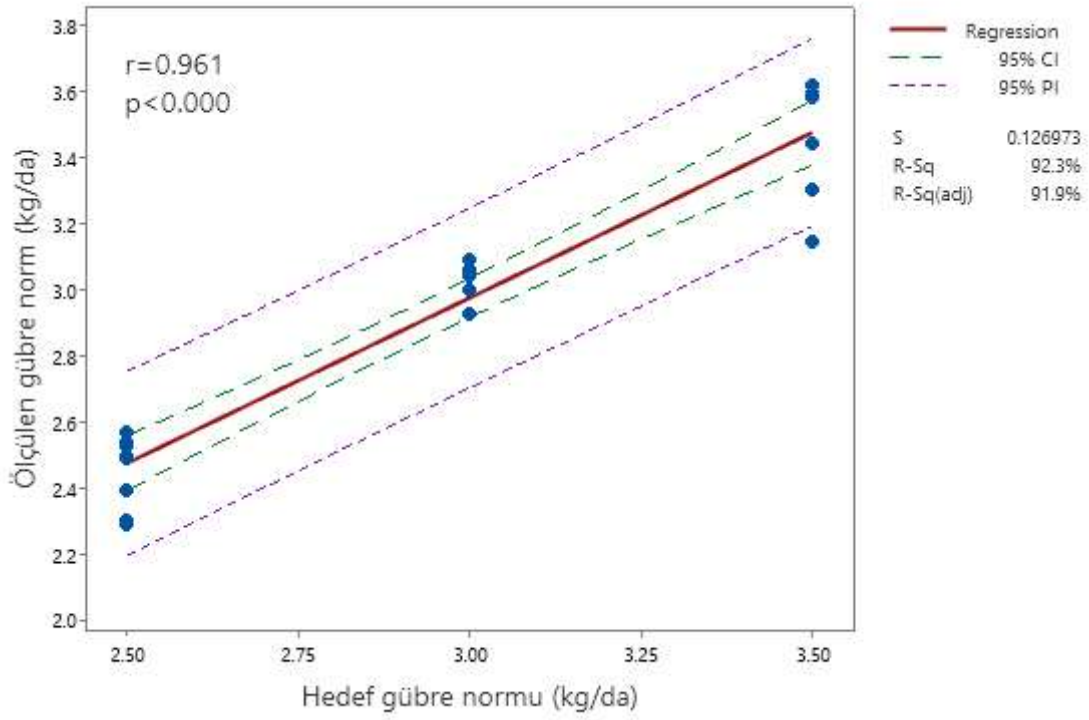
Şekil 20. Mısırın sıra üzeri mesafe değişimi

Hedef gübre normu ayarları ve 9 km/h ilerleme hızı için ölçülen gübre normu sonuçları sırasıyla; 2,32, 2,34 ve 2,33 kg/da olarak elde edilmiştir. 9 km/h ilerleme hızında özellikle 2,5 kg/da hedef normundan daha yüksek normlarda EHKS ile gerçekleştirilen gübre normu 2,34 kg/da sınırını aşmayı zorlanmış ve MAD ve MAPE değerleri oldukça yükselmiştir. Bu zorlanma ve hedeften uzaklaşma tamamen makara devirlerinden kaynaklanmamış, sistem makara motoruna doğru hesap değerini göndermiş ve istenilen makara devri ölçülmüş ve sağlanmıştır. Fakat, gübrenin akma yeteneğinin düşük olmasına ilave olarak makara devrinin yükselmesi nedeniyle makara oluklarına gübrenin dolabilmesi için yeterli zamanın oluşmaması ve merkezkaç kuvvet sebebiyle makaraya gübrenin tam olarak dolmadığı ve makaranın tam kapasiteye erişmediğini söylemek mümkündür. Başka bir deyişle sistem makara devrini sağlamada başarısız olmamış ancak makara tasarım şekilleri, boyut ve kapasite özellikleri sebebiyle belirli bir hızdan (ilerleme hızı ve makara devri) sonra gübre ile dolma da sıkıntılar yaşamıştır. Bu 9 km/h hız değeri halihazırda pratikte, gerçek çiftçi koşullarında uygulama yapılan hızın oldukça üzerinde bir hızdır ve teorik olarak düşünülen bir değerdir. Uygulamada ise 6-7 km/h üzerinde bir operasyon hızı bu tip makaralarla yapılmamasına rağmen gelecek çalışmalarda yüksek hız gereksinimi

doğduğu zaman, bu sorunun kontrol sisteminden kaynaklanmayacağı açıkça söylenebilir. Eğer daha yüksek hızlarda gübreleme ve yüksek gübre normu gerekirse bu sorunun makara şeklini ve oluk hacminin değiştirilerek ya da yüksek çalışma hızına uygun yeni mikro-granül gübre atıcı tasarımı ile aşılması mümkündür.

Tüm sabit hız ve hedef gübre normu koşulunda elde edilen ayaklar arası VK %0,799-4,321 arasında değişim göstermiş, 9 km/h sabit hız koşulları hariç tüm koşullarda %3'den küçük olmuştur (Şekil 19). İlerleme hızı, hedef gübre normu ve her iki faktör etkileşiminin MAD, MAPE ve VK üzerine etkileri istatistiki olarak önemli olmuş ortalamaların gruplara ayrılmasında tespit edilen sınır değeri belirgin şekilde kendini göstermiştir.





Şekil 21. Tüm uygulama koşullarında mikro-granül gübre ölçülen normun hedef norma göre değişimi

BEŞİNCİ BÖLÜM BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada temel olarak, hassas ekim makinaları için geliştirilmiş bir elektronik hareket ve kontrol sisteminin tasarım parametrelerinin tanımlanmasına ilave olarak ilerleme hızı, sıra üzeri tohum aralığı ve mikro-granül gübre normunun ekim ve gübre uygulama düzgünlüğü üzerindeki etkilerinin tespit edilmesi ve sistemin performansının incelenmesi amaçlanmıştır. Bununla birlikte, geliştirilen sistemin kullanılabilirliğinin incelenmesi için aşağıda sıralanan bazı özel amaçlar ele alınmıştır;

- Elektronik hareket ve kontrol sisteminin mevcut hassas ekim makinalarına uyarlanmasının (imalat, montaj, kullanım, ekonomiklik) araştırılması,
- Elektronik hareket ve kontrol sisteminin atölye koşullarında test edilmesi.

Ele alınan amaçlar doğrultusunda, geliştirilen kavramsal tasarım yaklaşımından yola çıkılmış ve EHKS'nin Fonksiyonel ve Şematik Tasarımları oluşturulmuştur. Sistemin fonksiyonel yapısına uygun yazılım hazırlanmış ve bilgisayar ortamında simülasyon testleri yapılarak donanım tasarımı hazırlanmış ve prototipler imal edilmiştir. İmal edilen donanıma yazılım yüklenmiş ve atölyede, üç farklı sabit (3,0, 6,0 ve 9,0 km/h) çalışma hızı koşullarında, mikro-granül gübre için üç farklı gübre normu değişkenleri kullanılarak geliştirilen EHKS'nin uygulama ve devir kontrol testleri gerçekleştirilmiştir. Atölye testleri sonucunda, ekimin kalitesinin tanımlanmasında kullanılan kabul edilebilir tohum/bitki aralığı (KETA/KEBA), ikizlenme oranı (İÖ), boşluk oranı (BO) ve hassasiyet derecesi (HD) ve gübreleme için ortalama mutlak sapma (MAD) ve ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) belirlenmiş, ilave olarak test değişkenlerinin etkileri araştırılmıştır.

Mısır tohumu ve üç farklı sıra üzeri mesafe ile yapılan çalışmalarda KETA %87,27-99,09, İÖ %0,00-3,33, BO %0,61-10,91 ve HD %9,56-18,11 arasında değişmiş ve ayaklar arası VK<%3 olmuştur. İki çalışma koşulu hariç diğer tüm koşullarda yapılan testlerde ekim kalitesi orta, iyi ve çok iyi olarak gerçekleşmiştir. Tüm ilerleme hızı ve sıra üzeri mesafeler için yapılan çalışmalarda HD değeri %29'dan düşük olup, ekim kaliteleri HD açısından kabul edilebilir aralıkta yer almışlardır.

Mikro-granül gübre ile yapılan çalışmalarda tüm sabit hız koşullarında, elde edilen (ölçülen) mikro-granül normunun hedeften ortalama mutlak sapma değeri 0,0217-1,168 kg/da ve MAPE değeri %0,867-33,376 aralığında değişmiştir. Mikro-granül gübre ile

yapılan çalışmalarda tüm sabit hız koşullarında ayaklar arası VK %0,799-4,321 arasında değişim göstermiş, makara yaklaşık 65 d/d'dan sonra teknik kapasite yönünden yetersiz kalmış. Diğer bir deyişle makara oluklarının dolma kapasitesi düşük olmuştur.

Makina imalatı ele alındığında, yaklaşık 820 adet ayrı makine elemanı/parçasından oluşan hassas ekim makinası EHKS ile donatıldığı zaman yaklaşık 307 adet makina elemanının/parçasının diğer bir deyişle yaklaşık %37'sinin ($307/820=0,374$) boşa çıkmış olması imalat yükünün ve makina maliyetinin azalmasının bir göstergesi olduğu söylenebilir.

Elde edilen sonuçların genel değerlendirilmesi yapıldığında bu çalışma sonucunda hassas ekim makinaları için EHKS geliştirilmesiyle ve kullanılmasıyla ilgili önerileri aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür:

- Ekimin kalitesini tanımlayan KETA/KEBA, İO, BO ve HD gibi gösterge değerleri, gübreleme için mutlak sapma ve doğruluk oranı değerleri ele alındığında geliştirilen EHKS hassas (tek dane) ekim makinalarında ekim ve gübre uygulayıcı ünitelere hareket vermek amacıyla kullanılabilmesi önerilir.

- Yüksek çalışma hızı ve düşük sıra üzeri mesafe istenildiği zaman ekim kalitesinin yeterli ve daha üstü olması koşulunu sağlamak amacıyla disk devrini azaltmak için ekici disk delik sayısının iyi optimize edilmesi gerekmektedir.

- Yüksek çalışma hızı ve yüksek gübre uygulama normlarında daha düşük sapma ve daha yüksek doğruluk oranı elde etmek için düşük makara devri sağlayan oluk hacmi yüksek makara kullanılması önerilir.

- Özellikle piyasada kullanılmakta olan mikro-granül gübre makaralarının 65 d/d'dan yüksek çalışma devrini geçmemesi önerilir.

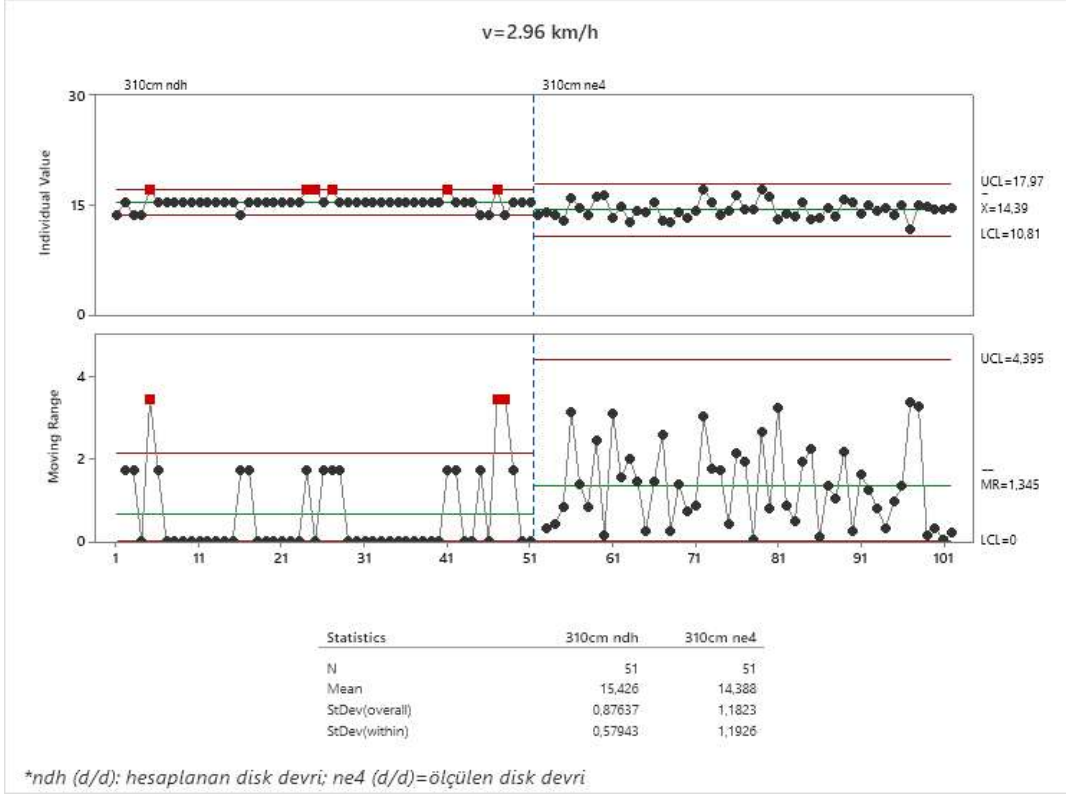
- EHKS'nin ekim makinasına mekanik olarak tam uyumunun sağlanması için ekim ve gübreleme ünitelerinde bazı yapısal iyileştirmelerle birlikte ekici disk üzerinde (kalınlık, kaliteli temas yüzeyi, delik sayısı vb) bazı düzenlemeler ve değişiklikler (oluk hacmi ve yataklandırma şekli) yapılmalıdır.

KAYNAKÇA

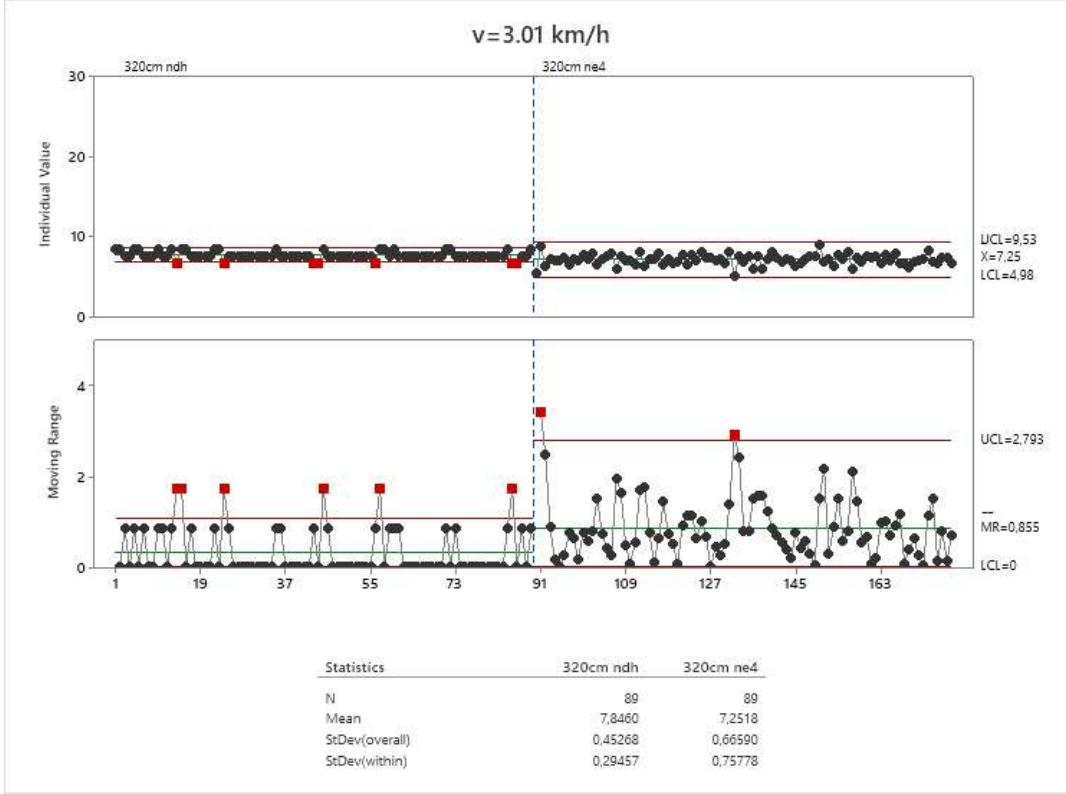
- Aykas, E., Yalçın, H., & Yazgı, A. (2013). *Balta Tipi Gömücü Ayağa Sahip Tek Dane Ekim Makinalarının Farklı Bölgelerde Mısır Ekiminde Ekim Performanslarının Karşılaştırılması*. İzmir: Tarım Makinaları Bilimi Dergisi.
- Barut, Z. (2006). "Ekim Makinaları": *Tarım Makinaları 2 (ed)*. Öztekin, S.,: Nobel Kitapevi. Adana.
- Barut, Z., & Akbolat, D. (2005). Tarla Koşullarında Tohum Plakası Delik Şekillerinin Bitki Dağılım Düzgünlüğü ve Verime Etkisi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 101-108.
- Chandel, N. S., Mehta, C. R., Tewari, V. K., & Nare, B. (2016). *Digital map-based site-specific granular fertilizer application system*. Current Science.
- F.Reyes, J., WilsonEsquivel, DanielCifuentes, & RodrigoOrtega. (2015). *Field testing of an automatic control system for variable rate fertilizer application*. Computers and Electronics in Agriculture.
- Gurjar, B., Sahoo, P. K., & Kumar, A. (2017). *Design and Development of Variable Rate Metering System for Fertilizer*. New Delhi: Journal of Agricultural Engineering.
- Haciseferoğulları, H. (2005). *VAKUMLU TİP PNÖMATİK HASSAS EKİM MAKİNASI İLE ŞEKER PANCARI EKİMİNDE SIRA ÜZERİ BİTKİ DAĞILIM DÜZGÜNLÜĞÜ VE TARLA ÇIKIŞ ORANLARI ÜZERİNE EKİM MESAFELERİNİN VE İLERLEME HIZLARININ ETKİSİ*. Konya: Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi.
- Kuş, E. (2021). Field-scale evaluation of parameters affecting planter vibration in single seed planting. *Measurement*, 109959.
- May, Ş., & Kocabıyık, H. (2019). *Design and development of an electronic drive and control system for micro-*. Çanakkale : Computers and Electronics in Agriculture.
- Ning, S., 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.
- Önal, İ. (2011). Ekim, Bakım Gübreleme Makinaları . *Ege Üniversitesi Yayınları*.
- Önal, İ., Değirmencioğlu, A., & Yazgı, A. (2012). *An evaluation of seed spacing accuracy of a vacuum type precision metering unit based on theoretical considerations and experiments*. İzmir: Turkish Journal of Agriculture and Forestry.
- Özmerzi, A. (1996). Bahçe Bitkilerinin Mekanizasyonu. *Akdeniz Üniversitesi Basımevi*, 148.
- Singh, R., Singh, G., & Saraswat, D. (2005). *Optimisation of Design and Operational Parameters of a Pneumatic Seed*. ScienceDirect.
- Tewari, V. K. (2015). *Application of Microcontroller Interfaced with DGPS for Variable Rate Fertilizer Applicator*. American Society of Agricultural and Biological Engineers.

- Torosoğlu, M. K., & Aydın, C. (2019). Pnömatik Tek Dane Ekim Makinasında Elektrikli Hareket Sisteminin Mısır ve Ayçiçeği Tohumlarının Sıra Üzeri Tohum Dağılım Düzgünlüğüne Etkisi. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi* .
- Ülger, P., Kayıšođlu, B., Eker, B., Akdemir, B., Pınar, Y., Bayhan, Y., . . . Çelen, İ. H. (2011). *Tarım Makinaları İlkeleri (3. Baskı), Hiperlink Yayınları*. İstanbul.
- World Bank. (2020). Smart irrigation monitoring and control strategies for improving water use efficiency in precision agriculture: A review. *Agricultural Water Management*, 107324.
- Xiantao He, D. Z. (2021). Design and experiment of a GPS-based turn compensation system for improving the seeding uniformity of maize planter. *Computers and Electronics in Agriculture*, 106250.
- Yazgı, A. (2013). *Pnömatik tek dane ekim makinalarında ekici plaka konumunun sıra üzeri tohum dağılım düzgünlüğüne etkisi*. İzmir: Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi.
- Yurdusever. (2006). *Hassas Ekim Makinalarında İlerleme Hızının Farklı Küresellik Katsayısındaki Tohumların Dağılımı Üzerine Etkisi*. Adana.

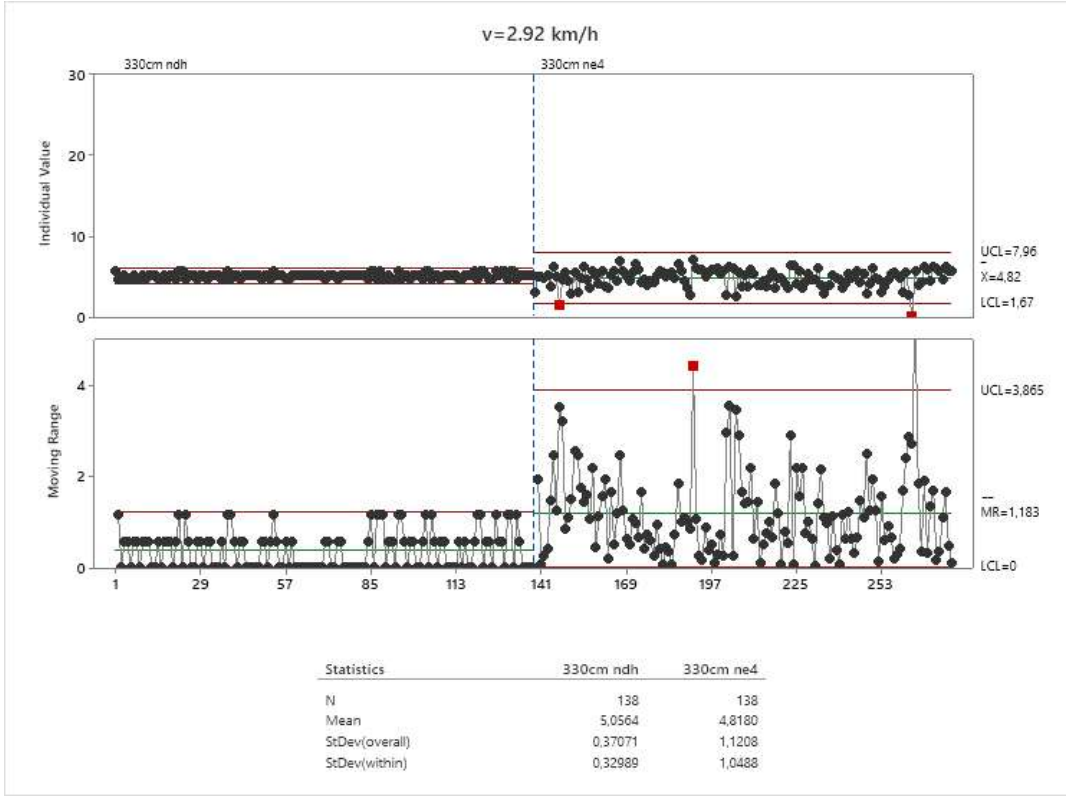
EKLER EK ŞEKİLLER



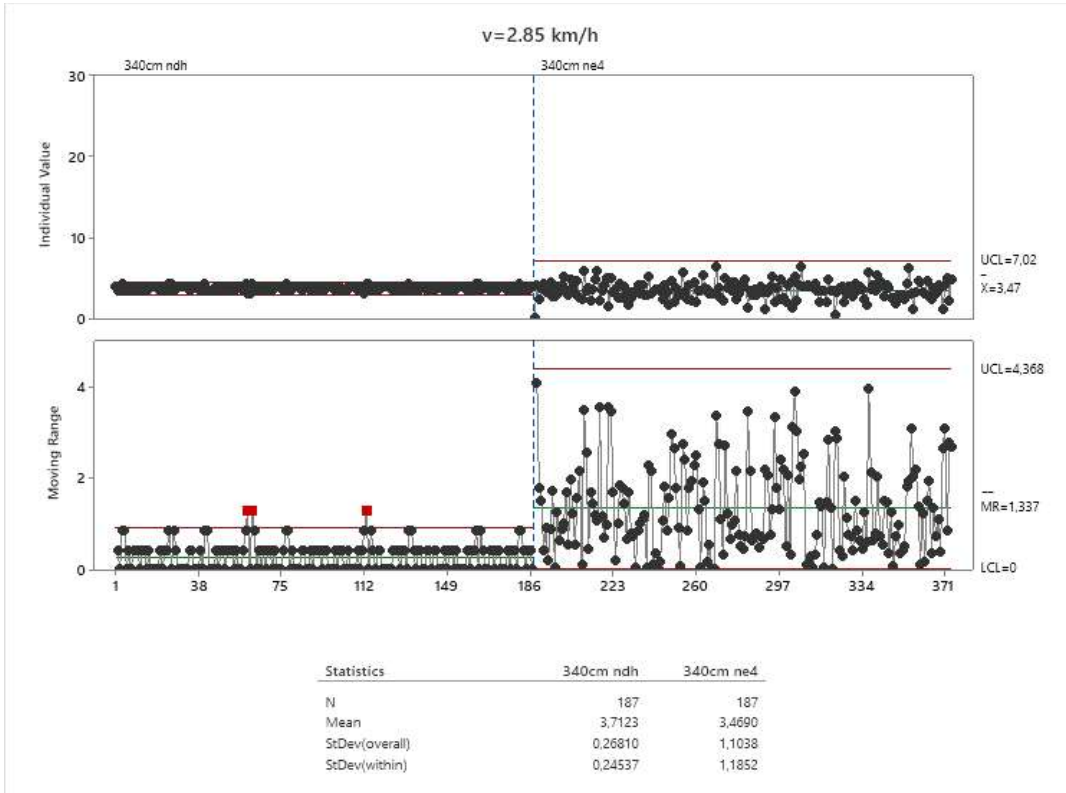
Ek Şekil 1. Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızında ekici disk devri ve değişim aralığı



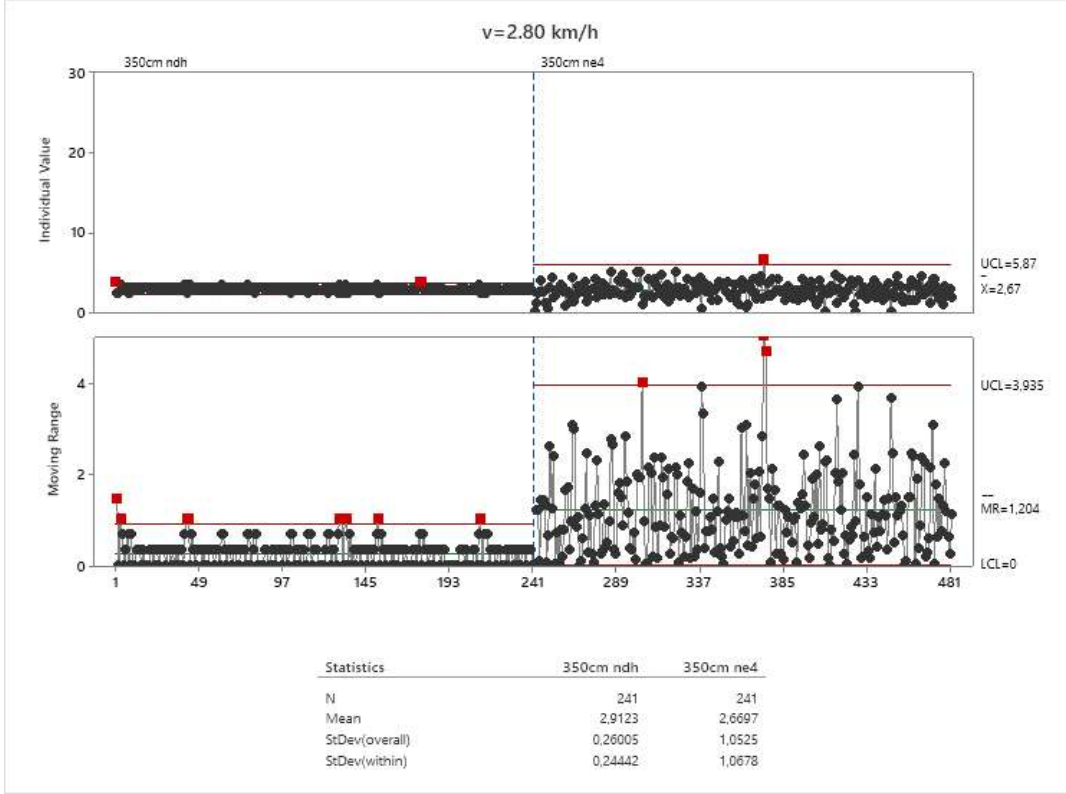
Ek Şekil 2. Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda ekici disk devri ve değişim aralığı (devamı)



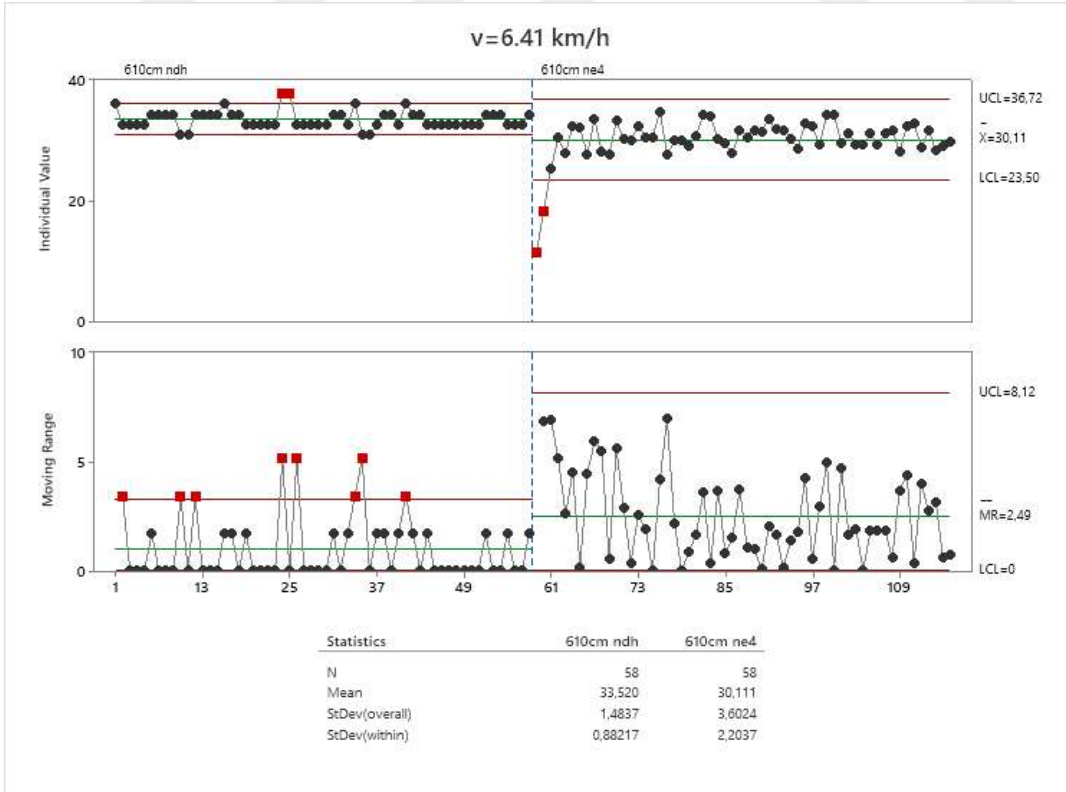
Ek Şekil 3. Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda ekici disk devri ve değişim aralığı (devamı)



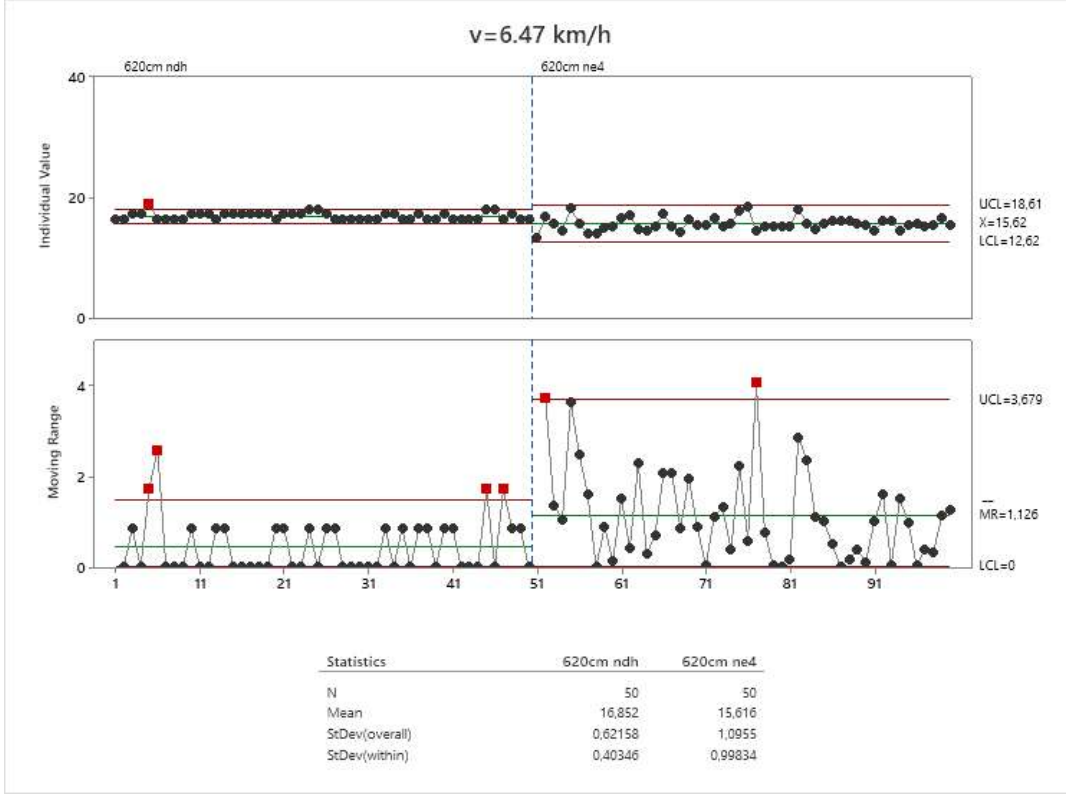
Ek Şekil 4. Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda ekici disk devri ve değişim aralığı (devamı)



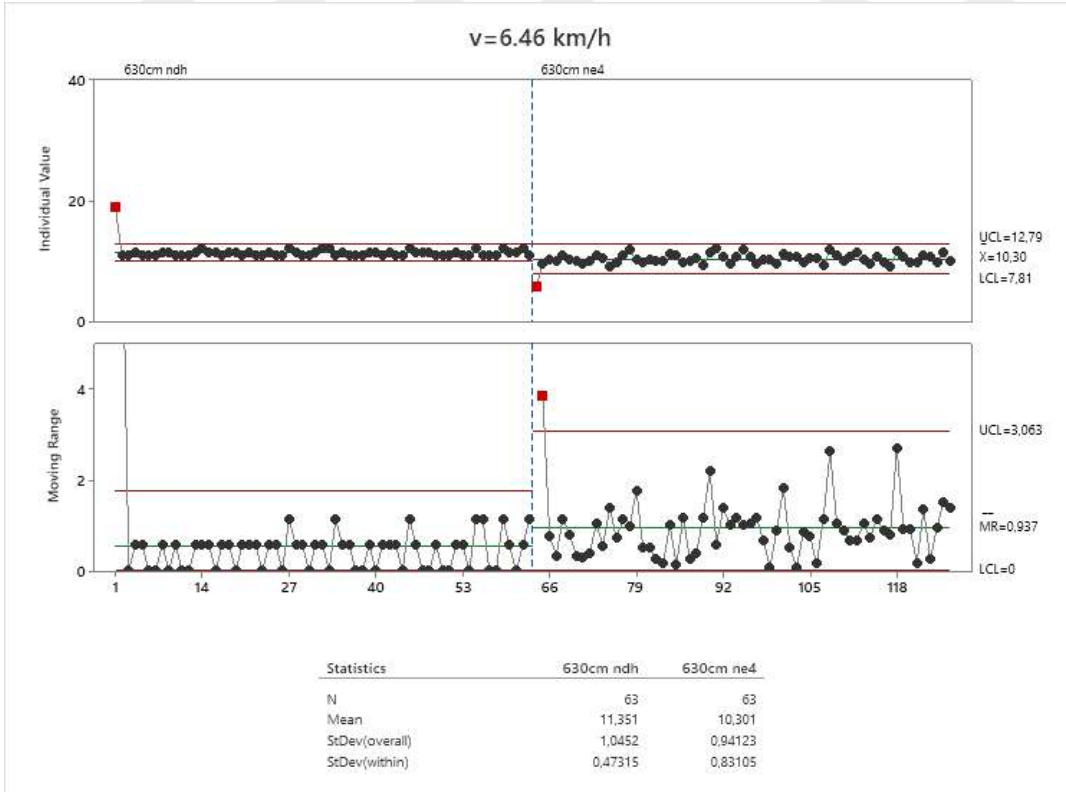
Ek Şekil 5. Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda ekici disk devri ve değişim aralığı (devamı)



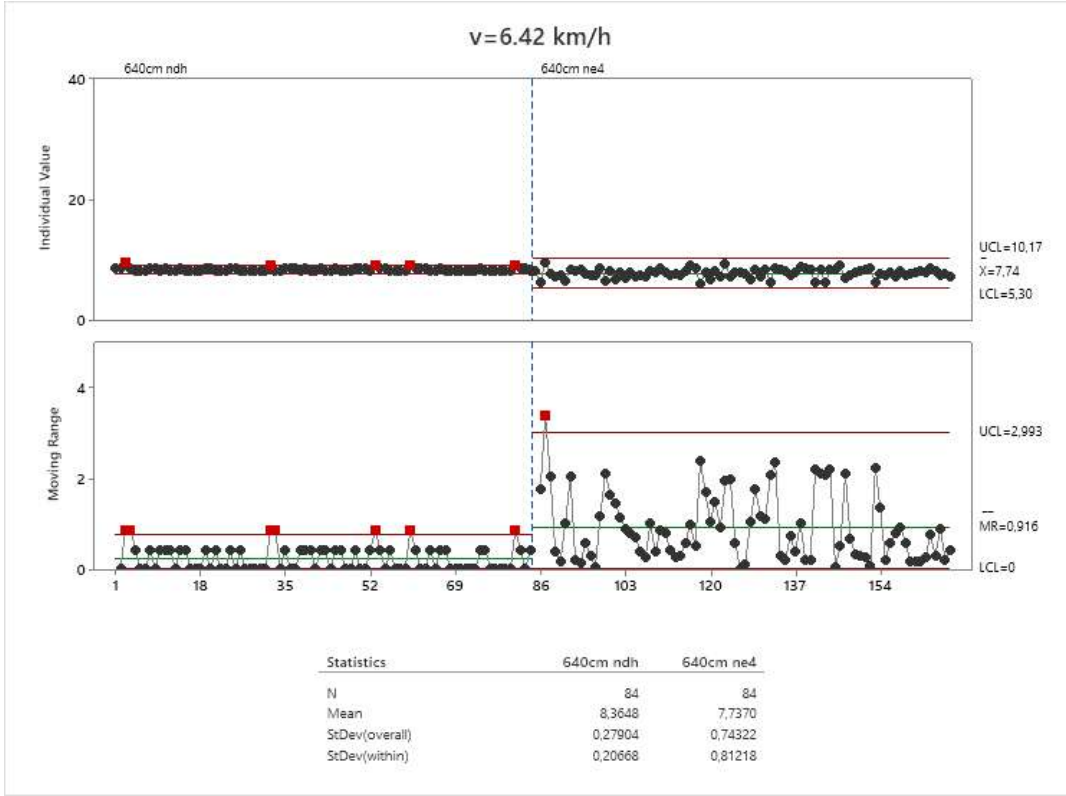
Ek Şekil 6. Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda ekici disk devri ve değişim aralığı (devamı)



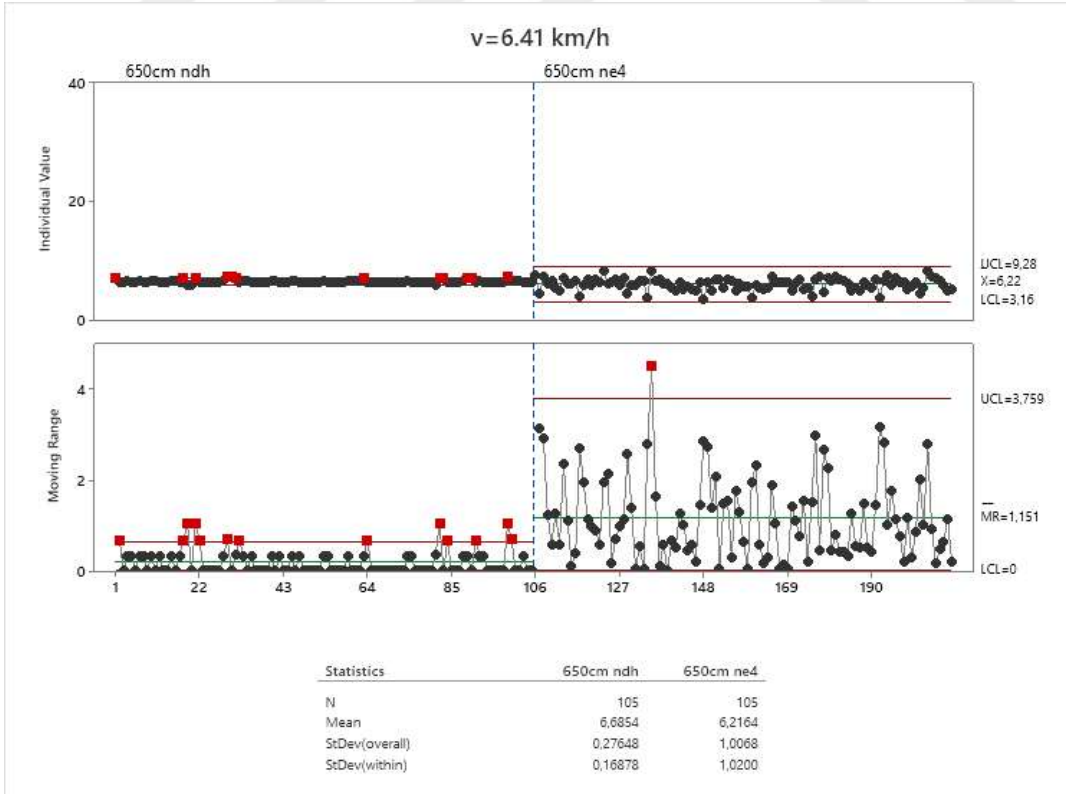
Ek Şekil 7. Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda ekici disk devri ve değişim aralığı (devamı)



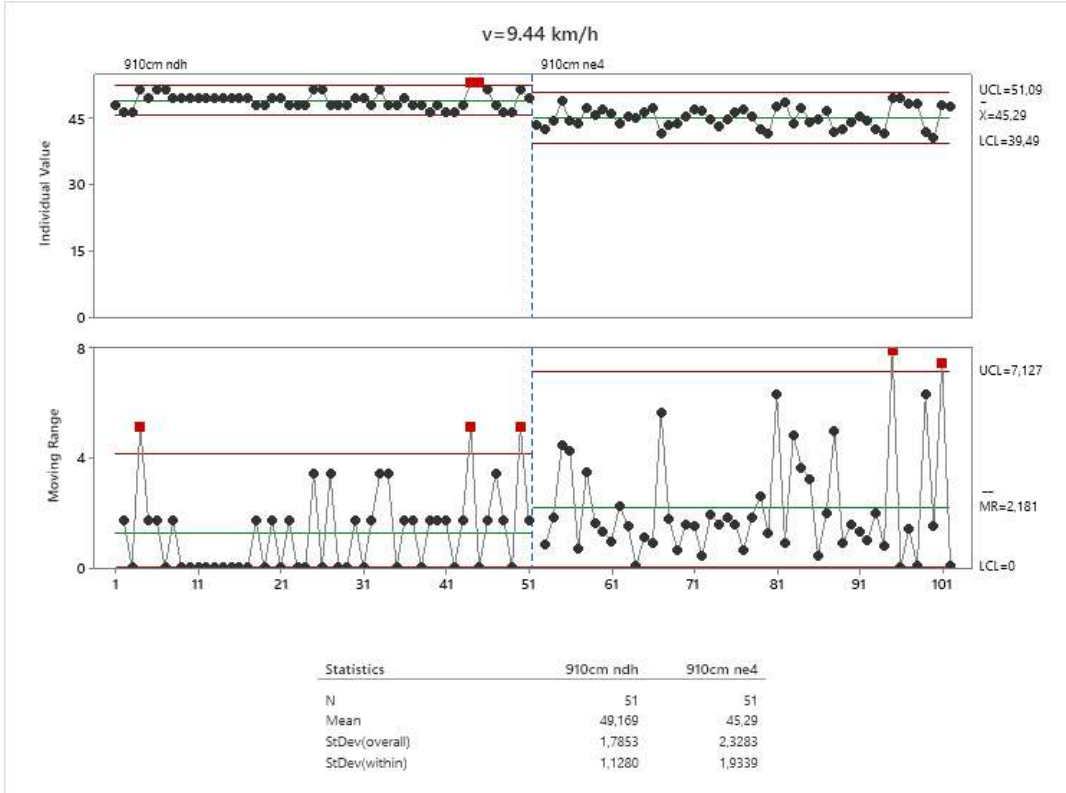
Ek Şekil 8. Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda ekici disk devri ve değişim aralığı (devamı)



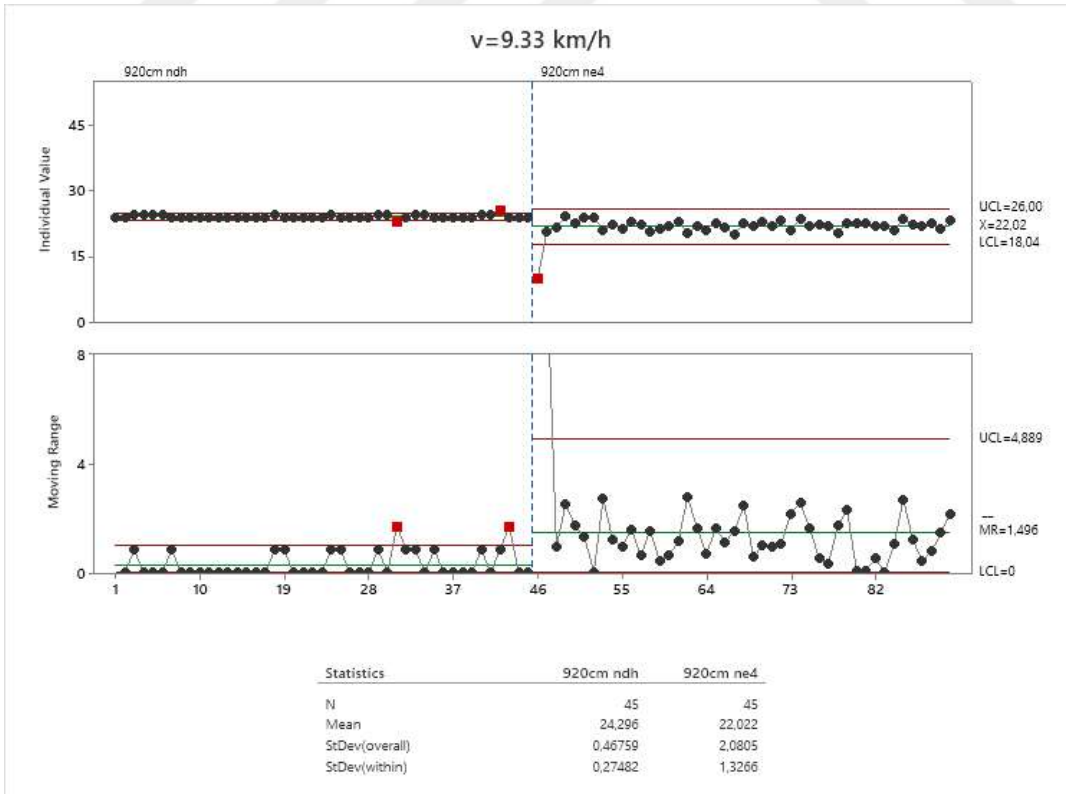
Ek Şekil 9. Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda ekici disk devri ve değişim aralığı (devamı)



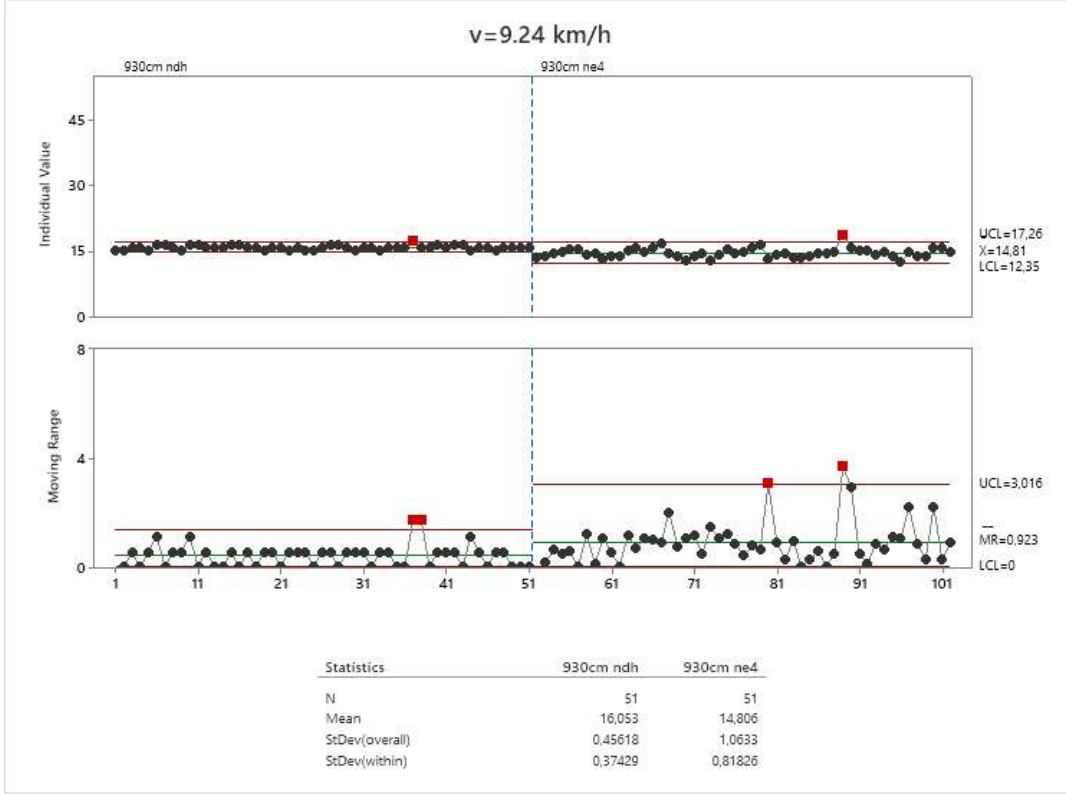
Ek Şekil 10. Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda ekici disk devri ve değişim aralığı (devamı)



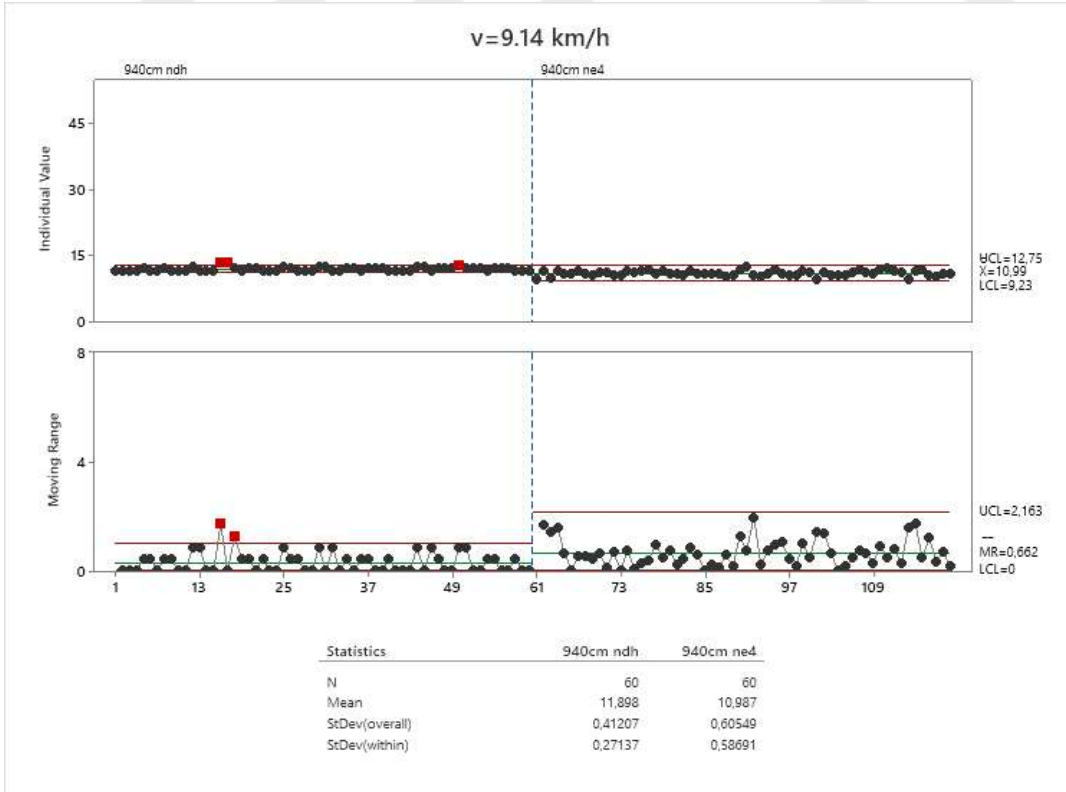
Ek Şekil 11. Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda ekici disk devri ve değişim aralığı (devamı)



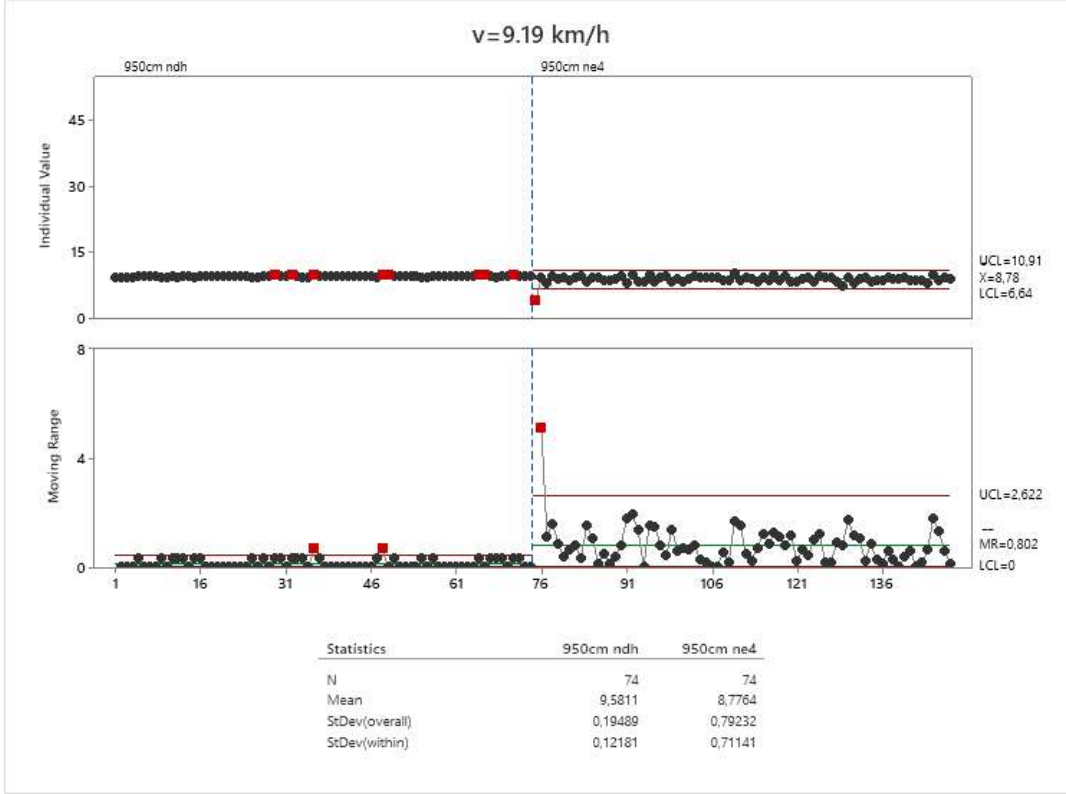
Ek Şekil 12. Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda ekici disk devri ve değişim aralığı (devamı)



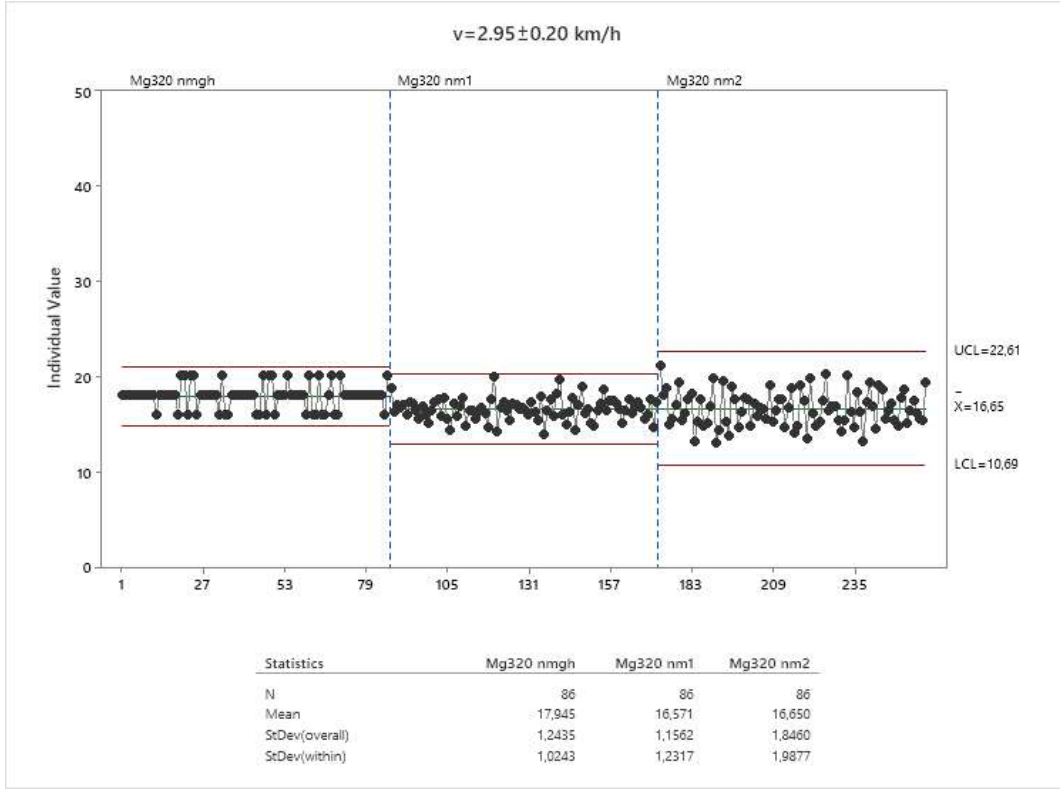
Ek Şekil 13. Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızında ekici disk devri ve değişim aralığı (devamı)



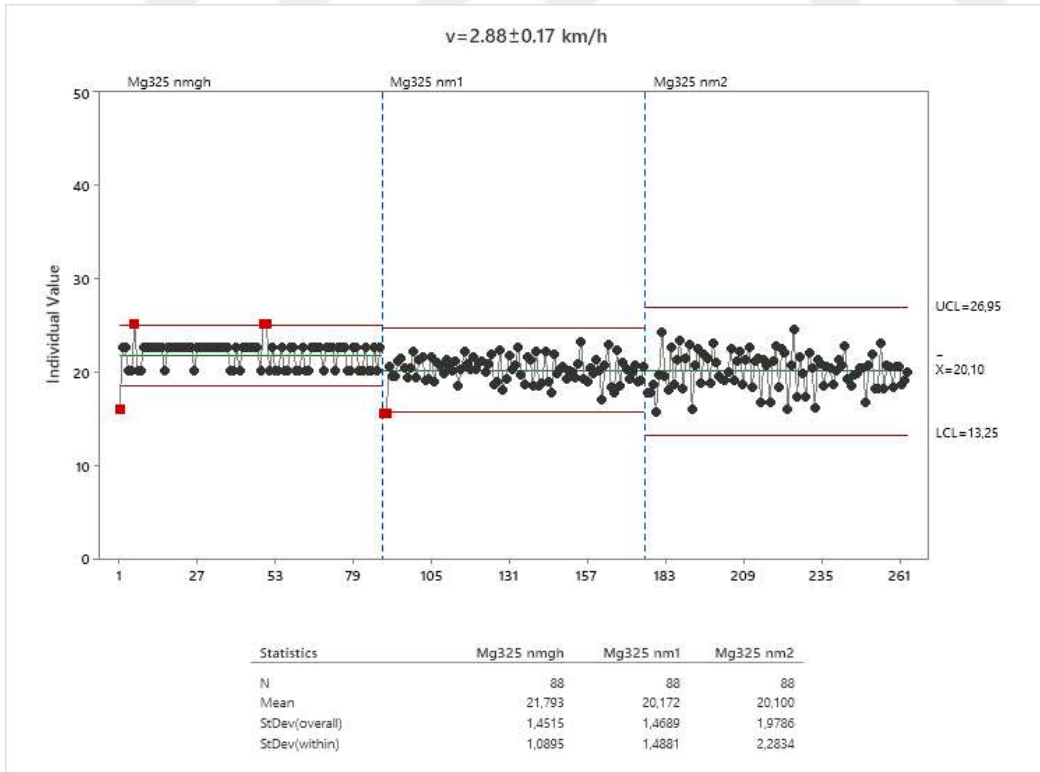
Ek Şekil 14. Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızında ekici disk devri ve değişim aralığı (devamı)



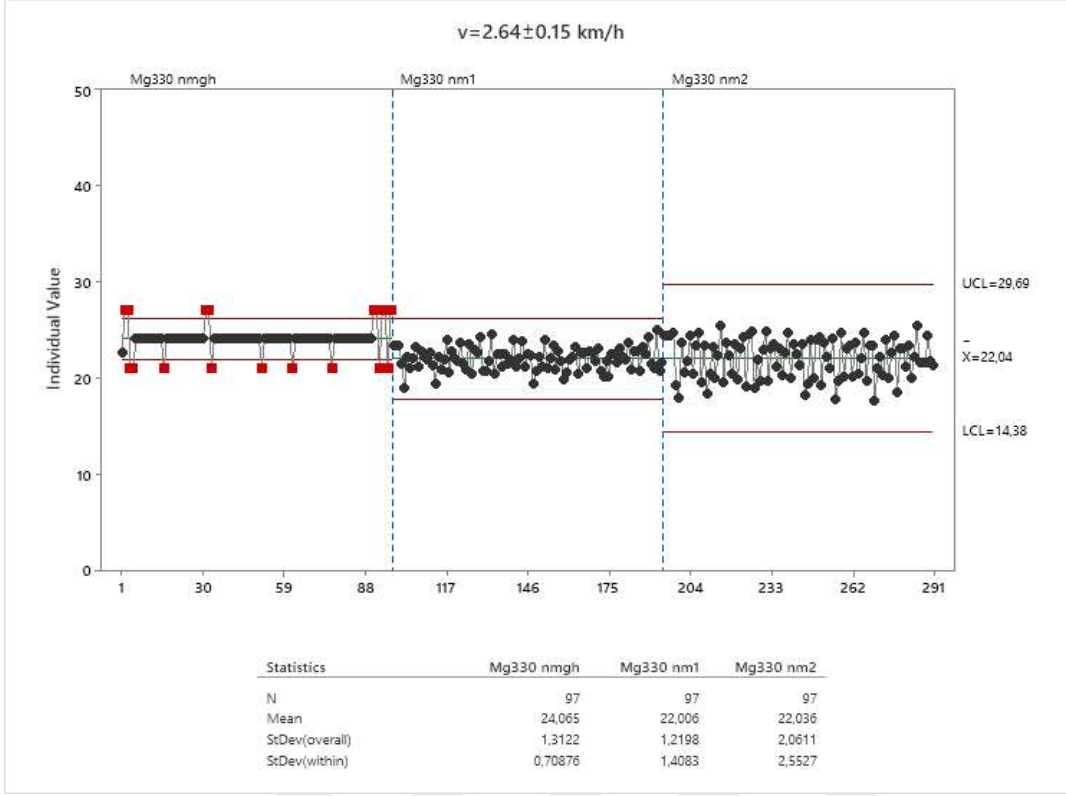
Ek Şekil 15. Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda ekici disk devri ve değişim aralığı (devamı)



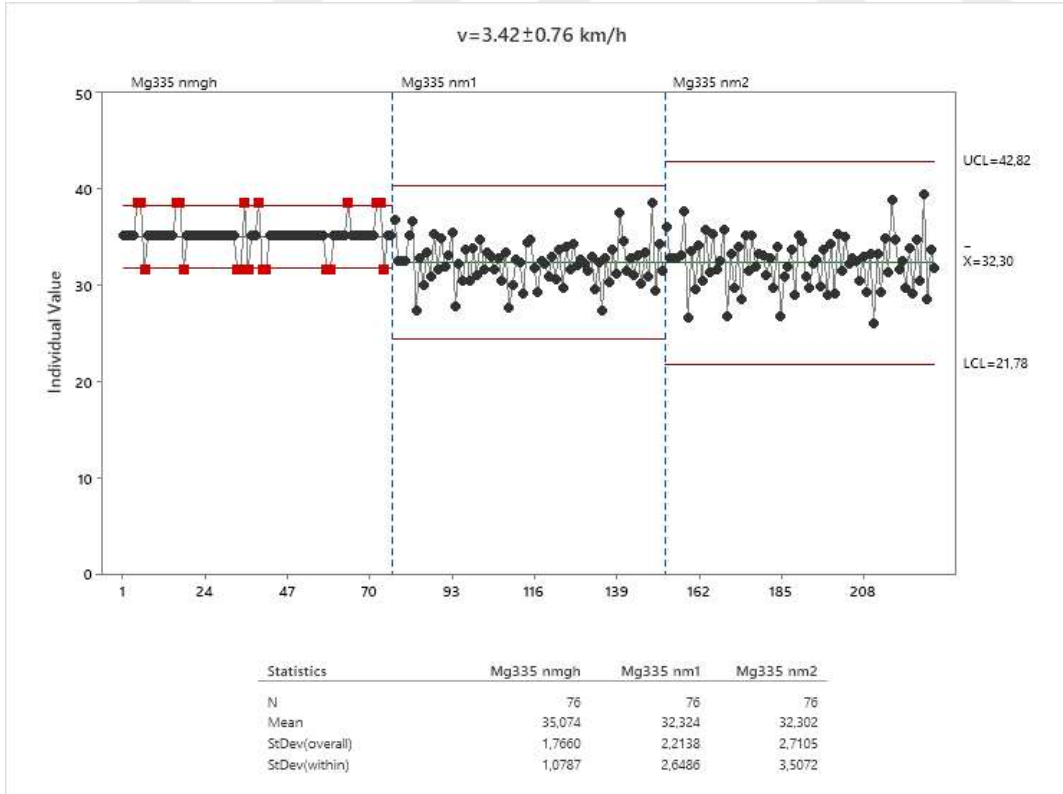
Ek Şekil 16. Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda mikro-granül gübre makara devri ve değişim aralığı



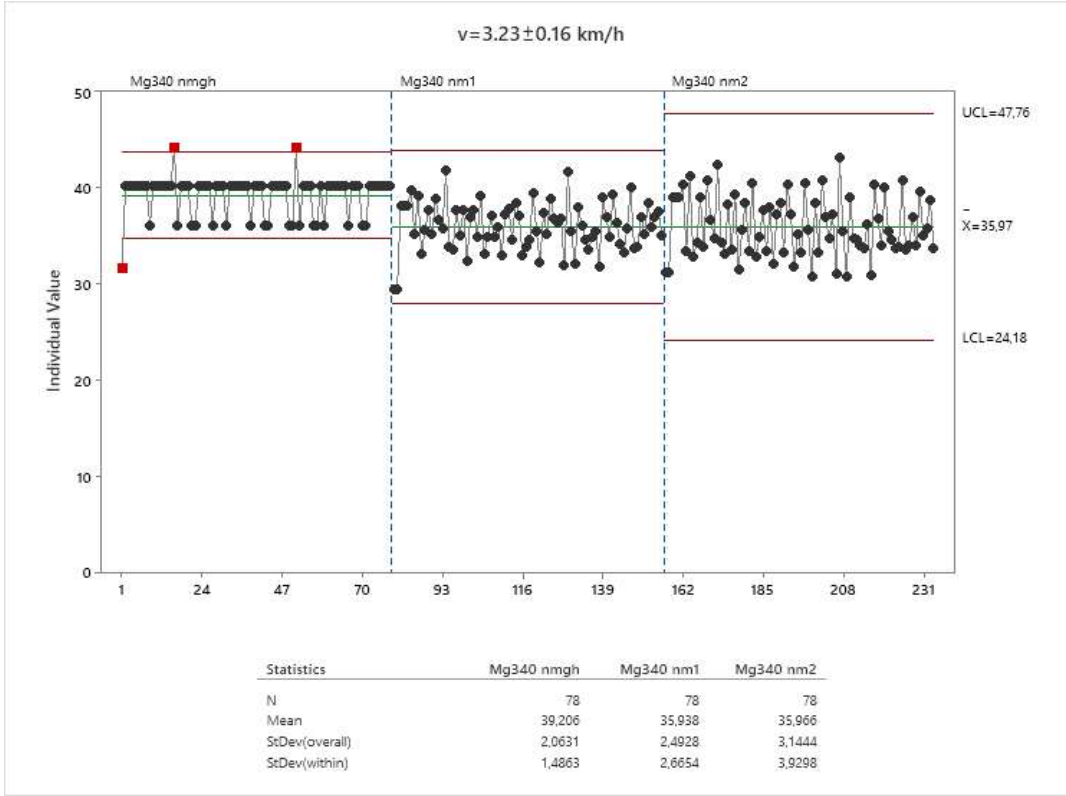
Ek Şekil 17. Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda mikro-granül gübre makara devri ve değişim aralığı (devamı)



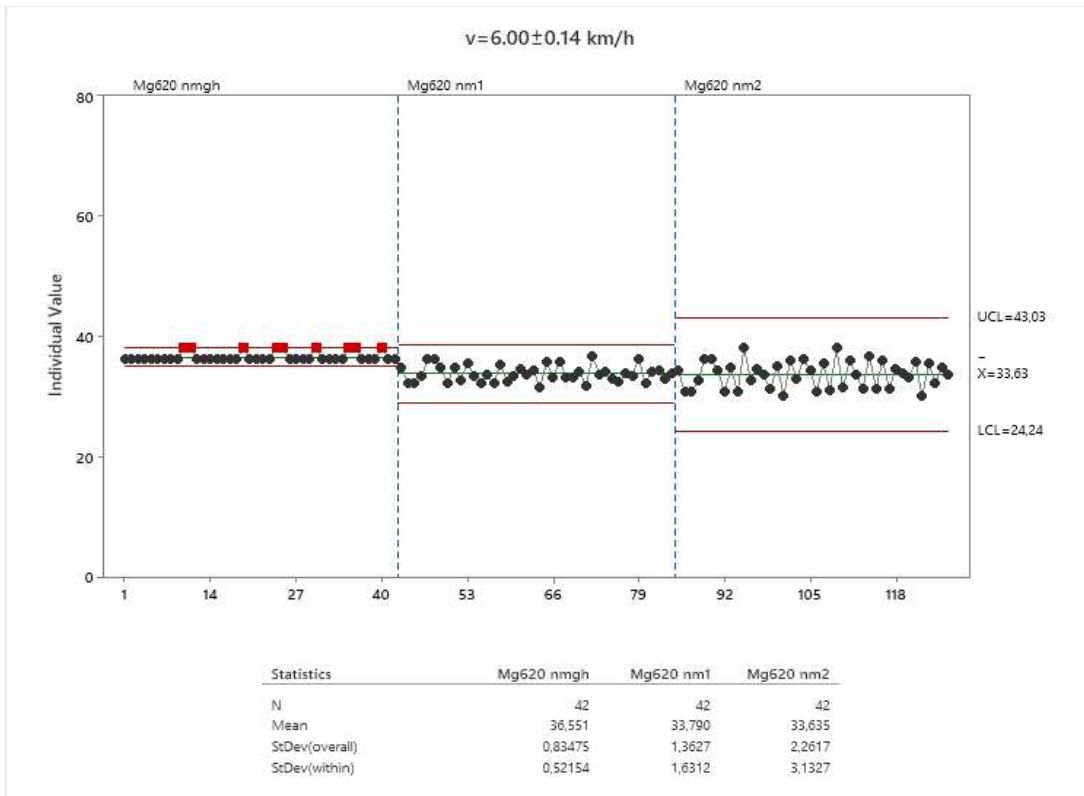
Ek Şekil 18. Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda mikro-granül gübre makara devri ve değişim aralığı (devamı)



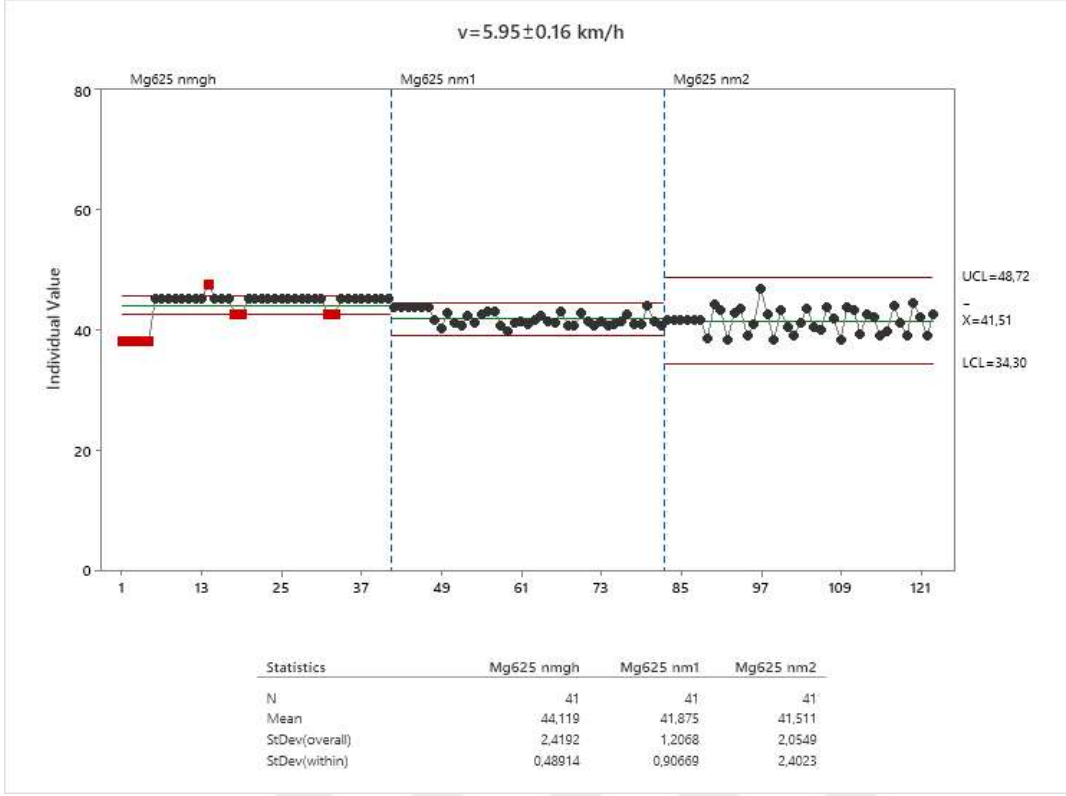
Ek Şekil 19. Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda mikro-granül gübre makara devri ve değişim aralığı (devamı)



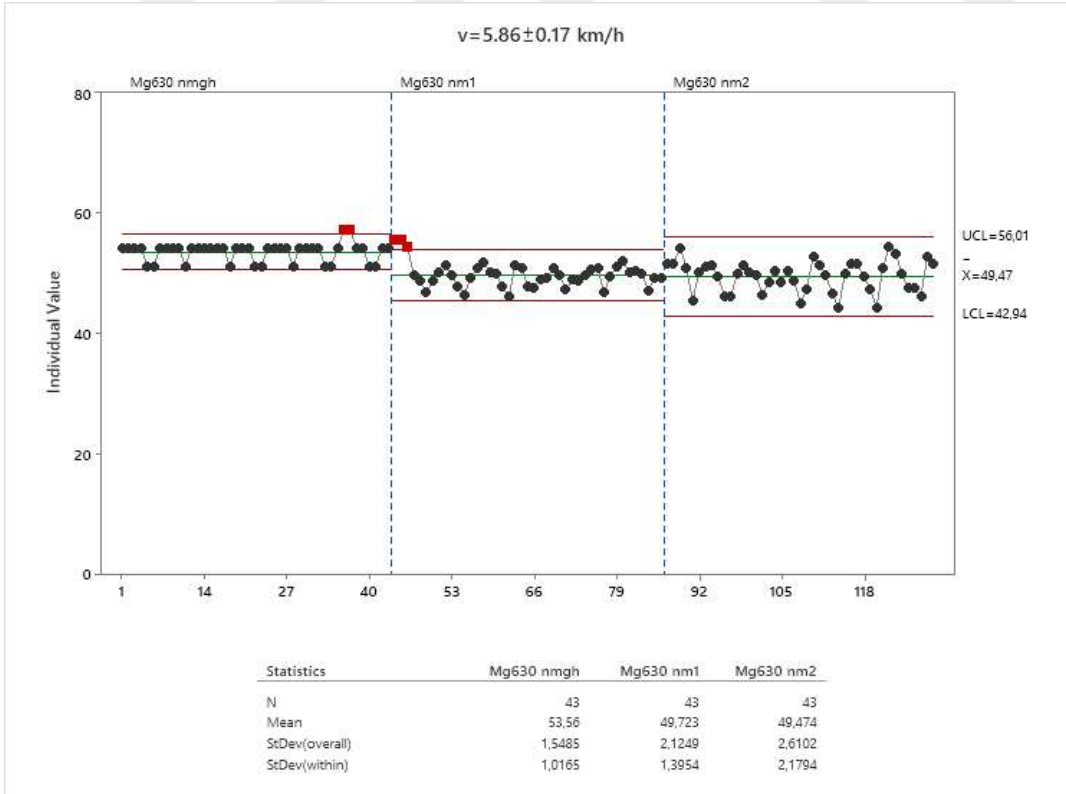
Ek Şekil 20. Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda mikro-granül gübre makara devri ve değişim aralığı (devamı)



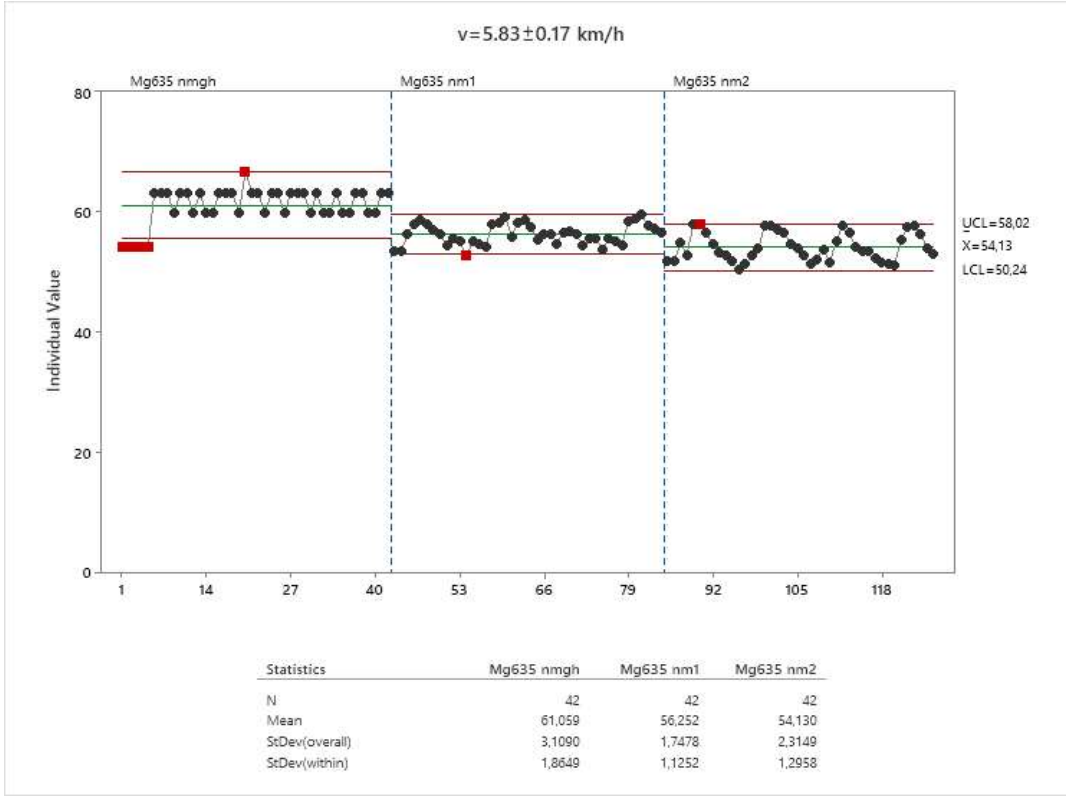
Ek Şekil 21. Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda mikro-granül gübre makara devri ve değişim aralığı (devamı)



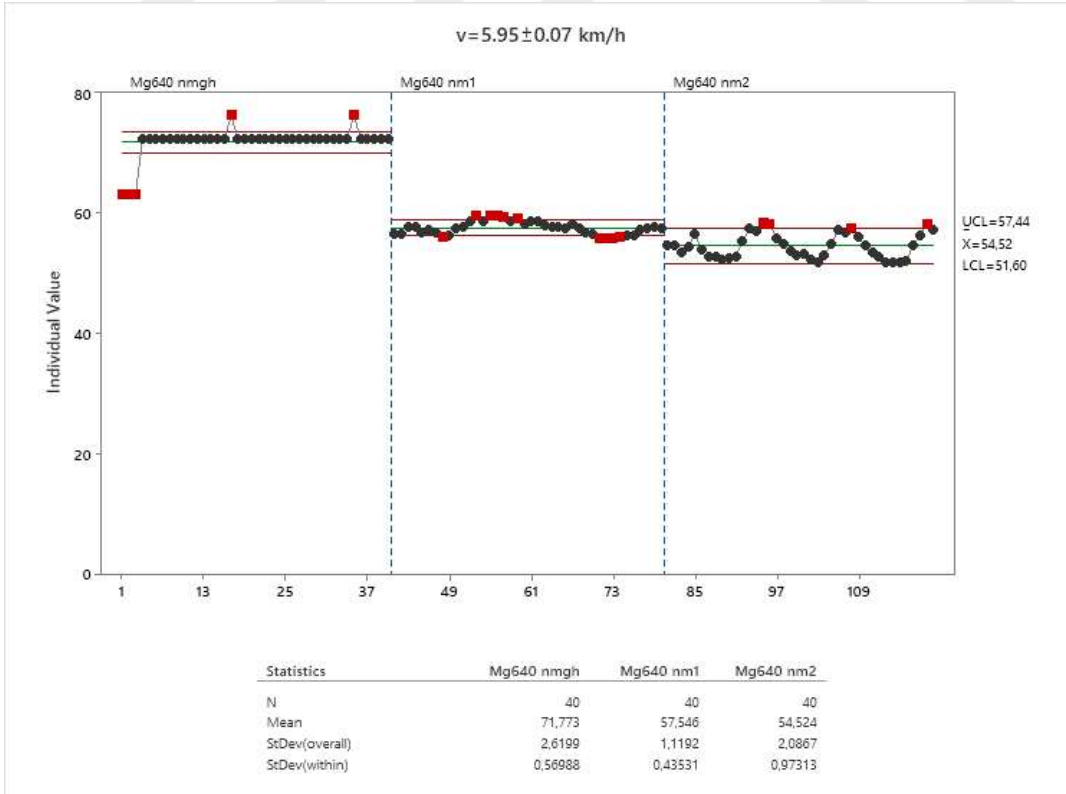
Ek Şekil 22. Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda mikro-granül gübre makara devri ve değişim aralığı (devamı)



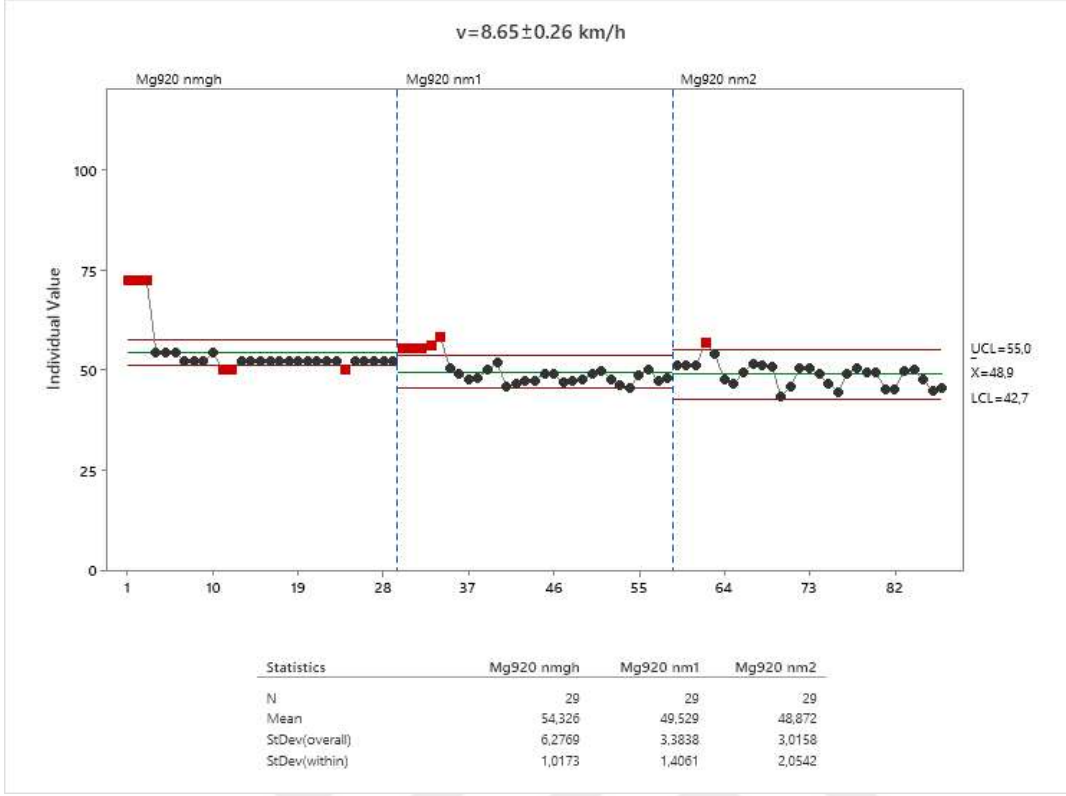
Ek Şekil 23. Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda mikro-granül gübre makara devri ve değişim aralığı (devamı)



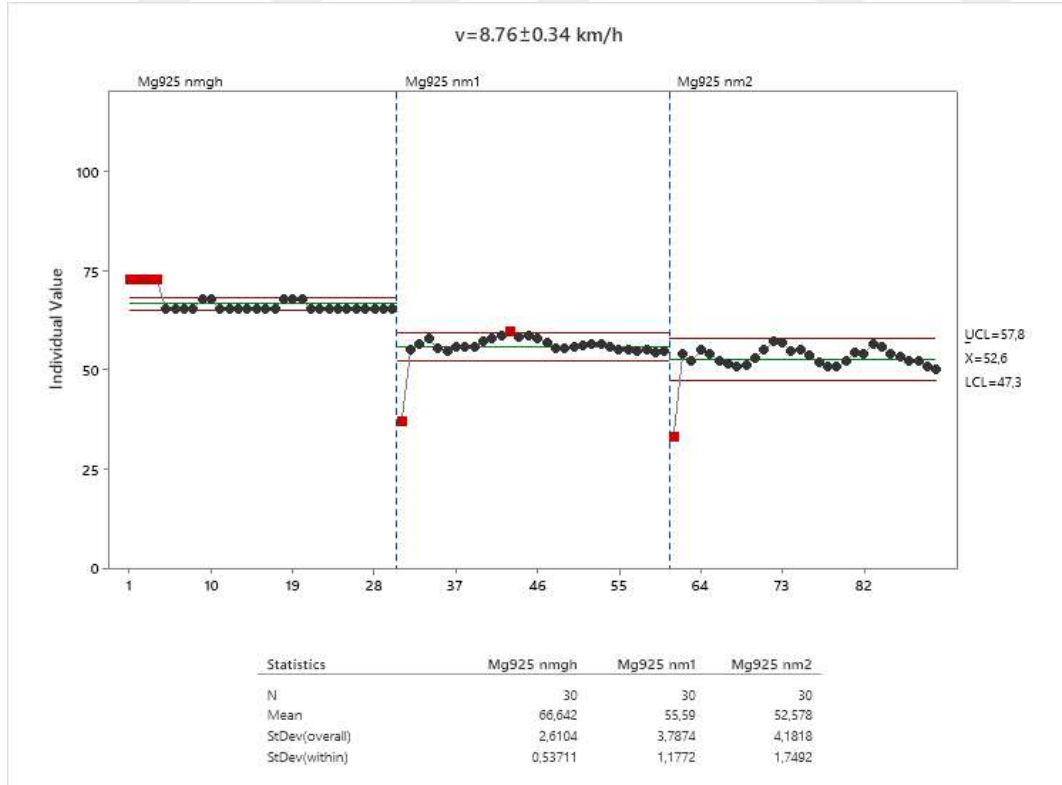
Ek Şekil 24. Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda mikro-granül gübre makara devri ve değişim aralığı (devamı)



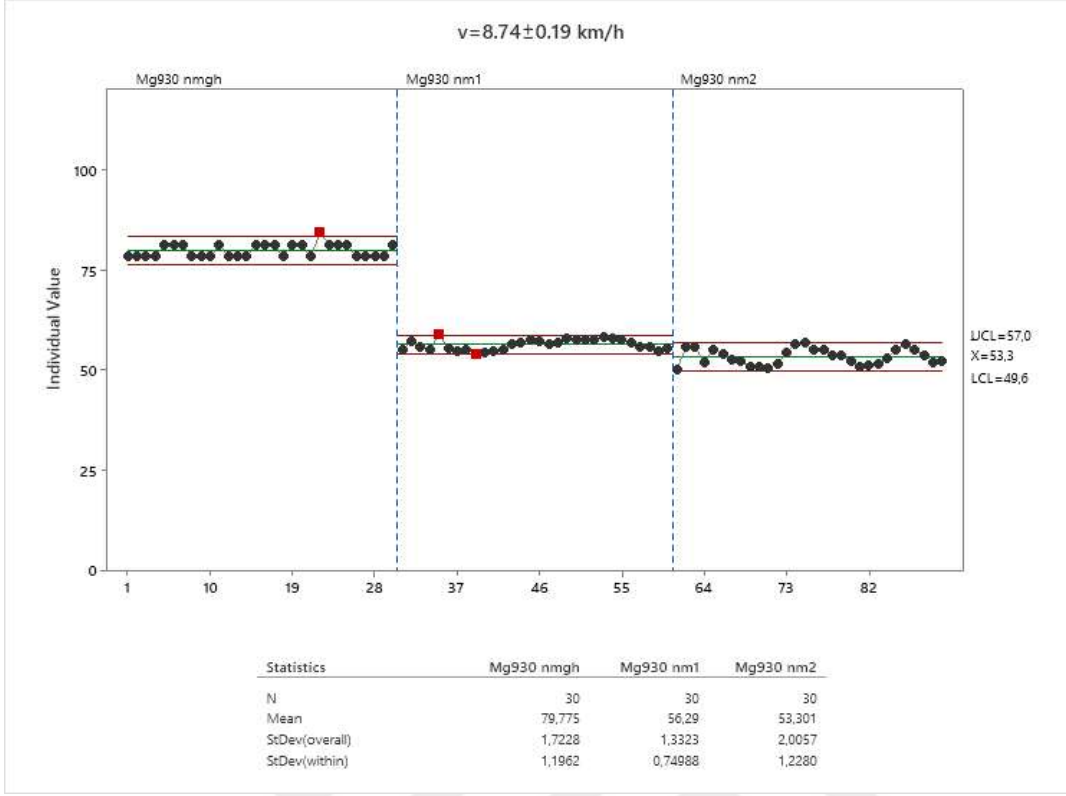
Ek Şekil 25. Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda mikro-granül gübre makara devri ve değişim aralığı (devamı)



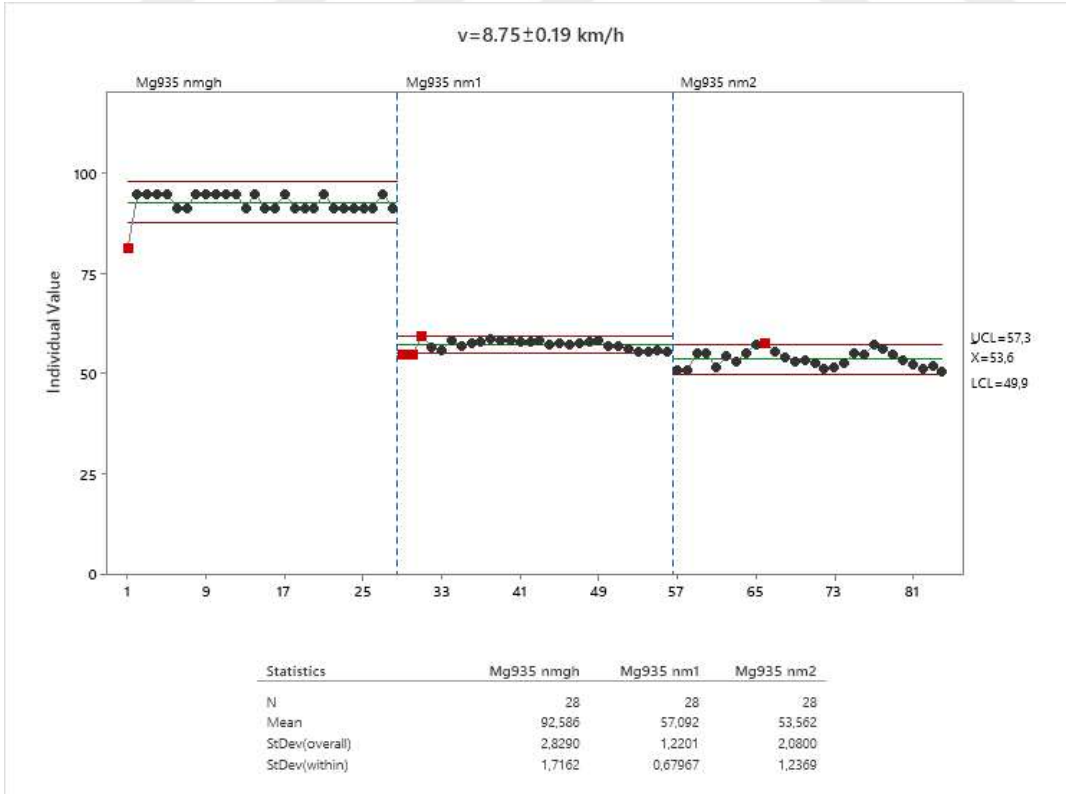
Ek Şekil 26. Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda mikro-granül gübre makara devri ve değişim aralığı (devamı)



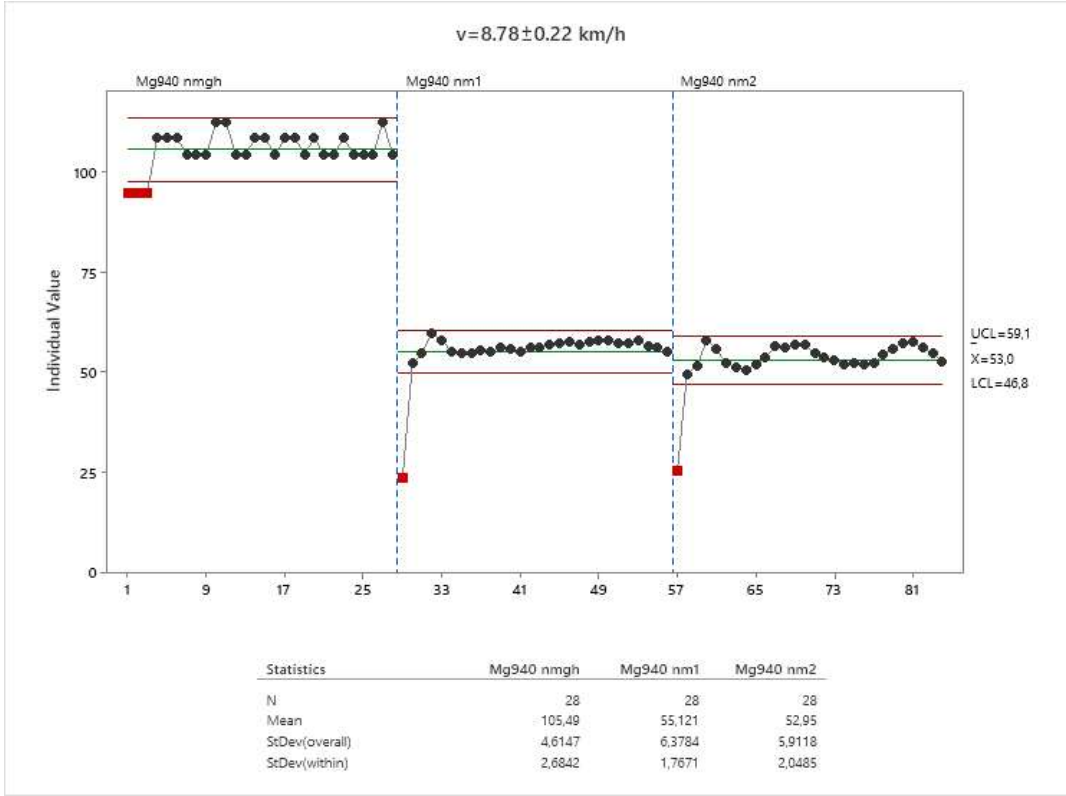
Ek Şekil 27. Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda mikro-granül gübre makara devri ve değişim aralığı (devamı)



Ek Şekil 28. Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda mikro-granül gübre makara devri ve değişim aralığı (devamı)



Ek Şekil 29. Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda mikro-granül gübre makara devri ve değişim aralığı (devamı)



Ek Şekil 30. Atölyede yüklü durumunda sabit ilerleme hızda mikro-granül gübre makara devri ve değişim aralığı (devamı)