



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAK İŞLEMEDE PATİNAJIN BULANIK MANTIK DENETLEYİCİ İLE OTOMATİK KONTROLÜ

Serhat SOYLU

DOKTORA TEZİ

Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği
Anabilim Dalı

Temmuz-2020
KONYA

ÖZET

DOKTORA TEZİ

TOPRAK İŞLEMEDE PATİNAJIN BULANIK MANTIK DENETLEYİCİ İLE OTOMATİK KONTROLÜ

Serhat SOYLU

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Kazım ÇARMAN

2020, 147 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Kazım ÇARMAN
Prof. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ
Prof. Dr. Tamer MARAKOĞLU
Dr. Öğr. Üyesi Kadir SABANCI
Dr. Öğr. Üyesi Yusuf DİLAY

Bu çalışmada, toprak işleme sırasında tarım traktöründe meydana gelen patinaj miktarını belirleyen ve sürücünün patinaj değerini anlık olarak takip edebildiği bir enstrümantasyon sistemi geliştirilmiştir. Bununla birlikte, toprak işleme esnasında patinaj miktarının belirlenen değerin (%15) üzerine çıkması durumunda sürücüyü sesli ve görsel olarak uyaran bir uyarı sistemi tasarlanmıştır. Ayrıca meydana gelen patinajı kontrol etmesi için iki ayrı otomatik kontrol sistemi geliştirilmiştir. Otomatik kontrol sistemlerinden birisi klasik on-off tabanlı diğeri ise bulanık mantık tabanlıdır. Geliştirilen otomatik kontrol sistemleri, sürekli olarak patinajı kontrol etmiş ve patinaj değerindeki artış miktarına göre toprak işleme derinliğini otomatik olarak değiştirmiştir.

Çalışmada patinaj değeri, gerçek ilerleme hızı ile tahrik tekerleklerinin dönüş hızı karşılaştırılarak hesaplanmıştır. Geliştirilen uyarı sistemi ve otomatik kontrol sistemleri bir tarım traktörüne monte edilmiş ve gerçek tarla koşullarında denemeler yapılmıştır. Otomatik kontrol sistemleri ile tasarlanan uyarı sistemi, herhangi bir otomatik kontrol veya uyarı sistemi olmadan sadece sürücünün kendi hisleriyle ve kararlarıyla gerçekleştirdiği kontrol ile ayrı ayrı karşılaştırılmıştır.

Elde edilen veriler ortalama patinaj miktarının, otomatik kontrol sistemleriyle yapılan denemelerde %10-12 aralığında, uyarı sistemiyle ve sürücü kontrolünde yapılan denemelerde ise %15'in üzerinde olduğunu göstermiştir. Ortalama yakıt tüketimi otomatik kontrol sistemleriyle 7-9 L ha^{-1} aralığında iken, uyarı sistemiyle ve sürücü kontrolünde 10-12 L ha^{-1} aralığında bulunmuştur. Otomatik kontrol sistemleriyle yapılan denemelerde ortalama çeki kuvveti 16-21 kN aralığında ölçülmüştür. Bu değerler uyarı sisteminde ve sürücü kontrolünde 23 kN'dan daha yüksek bulunmuştur. 25 cm olarak ayarlanan toprak işleme derinliği ise bulanık mantık kontrol sisteminde ortalama 22.45 cm, diğer yöntemlerde ise 24 cm'nin üzerinde ölçülmüştür. Patinaj miktarı, yakıt tüketimi, çeki kuvveti ve alan iş başarısı açısından değerlendirildiğinde sistem başarısı sırasıyla; bulanık mantık kontrol sistemiyle, on-off kontrol sistemiyle, uyarı sistemiyle ve sürücü kontrolünde elde edilmiştir. Bununla birlikte ayarlanan toprak işleme derinliğine en yakın toprak işleme derinliği değeri sırasıyla sürücü kontrolünde, uyarı sistemiyle, on-off kontrol sistemiyle ve bulanık mantık kontrol sistemiyle elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık mantık, Çeki kuvveti verimliliği, Otomatik kontrol sistemleri, Patinaj, Tarım traktörleri, Toprak işleme, Yakıt verimliliği

ABSTRACT

Ph.D THESIS

AUTOMATIC CONTROL OF WHEEL SLIP IN FIELD OPERATIONS WITH FUZZY LOGIC CONTROLLER

Serhat SOYLU

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN AGRICULTURAL MACHINERIES AND TECHNOLOGIES ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Kazım ÇARMAN

2020, 147 Pages

Jury
Prof. Dr. Kazım ÇARMAN
Prof. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ
Prof. Dr. Tamer MARAKOĞLU
Assist. Prof. Dr. Kadir SABANCI
Assist. Prof. Dr. Yusuf DİLAY

In this study, an instrumentation system has been developed that determines the amount of wheel slip occurring in the agricultural tractor during tillage and the driver can follow the wheel slip value instantly. However, an alert system has been designed to warn the driver audibly and visually if the amount of wheel slip goes out of the desired value (15%) during the activities. In addition, two separate automatic control systems have been developed to control the wheel slip. One of the automatic control systems is based on classic on-off while the other is based on fuzzy logic. The developed automatic control systems continuously controlled the wheel slip and automatically changed the tillage depth according to the increase in the wheel slip value.

In the study, the wheel slip value was calculated by comparing the actual speed with the rotation speed of the drive wheels. The developed warning system and automatic control systems were installed on an agricultural tractor and trials were carried out in real field conditions. The warning system and automatic control systems has been compared separately with the driver's own control.

The obtained data showed that the average amount of skidding was in the range of 10-12% in trials with automatic control systems, and above 15% in trials with warning system and driver control. Average fuel consumption was in the range of 7-9 L ha^{-1} with automatic control systems, while it was in the range of 10-12 L ha^{-1} with warning system and driver control. In experiments with automatic control systems, the average draft force was measured in the range of 16-21 kN. These values were higher than 23 kN in the warning system and driver control.Soil tillage depth set to 25 cm was measured as 22.45 cm in the fuzzy logic control system, while it was measured over 24 cm in other methods.As a result of comparisons, the amount of wheel slip, fuel consumption, draft force, field capacity values were obtained most efficiently, respectively, with the fuzzy logic control system, on-off control system, warning system and driver control. In addition, the soil tillage depth value closest to the set tillage depth was obtained by the driver control, warning system, on-off control system and fuzzy logic control system respectively.

Keywords: Agricultural tractors, Automatic control systems, Draft force efficiency, Fuel efficiency, Fuzzy logic, Soil cultivation, Wheel slip

ÖNSÖZ

Geleneksel toprak işleme faaliyetleri esnasında, traktörün tahrik tekerleklerinde meydana gelen aşırı patinaj durumları, özellikle yakıt verimliliği açısından istenmeyen bir durumdur. Meydana gelen aşırı patinaj nedeniyle, hem traktör motorunda üretilen güç çeki gücüne dönüştürülemeden toprakla tekerlek arasında boşa harcanmakta hem de tahrik tekerlekleri ve diğer mekanik aksam gereksiz yere aşınmaktadır.

Traktör sürücüleri, geleneksel toprak işleme faaliyetleri esnasında meydana gelen aşırı patinaj durumlarından kurtulmak için traktöre bağlı olan toprak işleme ekipmanının çalışma derinliğini azaltırlar. Bu sayede traktörle ekipman arasında oluşan çeki kuvveti azalır ve patinaj miktarı düşer. Ancak sürücüler çoğu zaman meydana gelen patinajı ya hissedemezler ya da ne kadar büyük bir patinaj meydana geldiğini tam belirleyemezler. Bu nedenle toprak işleme derinliğine müdahaleleri çoğunlukla yeteri kadar uygun olamaz.

Bu çalışmada traktörde meydana gelen patinaj miktarını elektronik sensörler yardımıyla sürekli olarak ölçen ve sürücüye gösteren bir enstrümantasyon sistemi geliştirilmiştir. Sistem aynı zamanda patinaj miktarına göre sesli veya görsel uyarı da vermek üzere tasarlanmıştır. Ayrıca iki farklı otomatik kontrol sistemi ile meydana gelen patinaj miktarına göre toprak işleme derinliğinin otomatik olarak azaltılması/artırılması sağlanmıştır.

Bu tez çalışması ülkemizde bulanık mantık denetleyiciler ile patinaj kontrolünün gerçekleştirildiği ilk çalışmadır.

Bu tez çalışmasının belirlenmesinde ve yürütülmesinde maddi ve manevi tüm imkanlarıyla bana destek olan ve yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. Kazım ÇARMAN'a teşekkür ederim. Ayrıca tez izleme komitemde yer alan ve çalışmama katkılarda bulunan kıymetli hocalarım Prof. Dr. Cevat AYDIN'a, Prof. Dr. Tamer MARAKOĞLU'na ve Prof. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmada kullanılan ekipmanların mekanik tasarımlarında, imalatlarında ve montajlarında her türlü desteği karşılıksız sunan teknisyen Fevzi DUMAN'a ve Zir. Yük. Müh. Hasan KIRILMAZ'a ayrıca teşekkür ederim.

Çalışmalara başladığım günden itibaren büyük bir sabırla yanımda olan eşim Öğr. Gör. Yasemin SOYLU'ya ve kızım Irmak SOYLU'ya da özellikle teşekkür ederim.

Serhat SOYLU
KONYA-2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Toprak İşleme ve Pulluklar 2
1.2. Traktörlerde patinaj 8
1.3. Traktörlerde üç nokta askı sistemi 14
1.4. Otomatik Kontrol Sistemleri 19
1.4.1. Açık-kapalı (On-off) kontrol 19
1.4.2. Oransal (P) kontrol 20
1.4.3. Oransal + integral (PI) kontrol 21
1.4.4. Oransal + türevsel (PD) kontrol 22
1.4.5. Oransal + integral + türevsel (PID) kontrol 23
1.4.6. Zaman oransal (TP) kontrol 23
1.4.7. Bulanık mantık (Fuzzy) kontrol 24
1.5. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı 31

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **34**

2.1. Patinaj ve Yakıt Ölçme Sistemleri 34
2.2. Toprak İşleme Derinliği ve Çeki Kuvveti Ölçme Sistemleri 39
2.3. Patinaj ve Çeki Kuvveti İçin Uyarı ve Otomatik Kontrol Sistemleri 43

3. MATERYAL VE YÖNTEM **52**

3.1. Materyal 52
3.1.1. Traktör 52
3.1.2. Pulluk 53
3.1.3. Hız ve patinaj ölçüm sensörü 53
3.1.4. Toprak işleme derinliği ölçüm mekanizması 54
3.1.5. Hidrolik ayar kolu kontrol mekanizması 55
3.1.6. Yakıt ölçüm sensörü 56
3.1.7. Çeki kuvveti ölçüm pimleri 57
3.1.8. Kontrol sistemi devre kartı 58
3.1.9. Tarla koşulları 59
3.2. Yöntem 60
3.2.1. Patinaj ve gerçek ilerleme hızı ölçümü 60
3.2.2. Toprak işleme derinliği ölçümü 62
3.2.3. Hidrolik ayar kolu kontrol sistemi 65
3.2.4. Yakıt ölçüm sistemi 67

3.2.5. Çeki kuvveti ölçüm sistemi 68
3.2.6. Kontrol sistemi kumanda tasarımı 70
3.2.7. Bulanık mantık kontrol sistemi tasarımı 72
3.2.8. On-off kontrol sistemi tasarımı 75
3.2.9. Uyarı sistemi 77
3.2.10. Kontrol kartı ve bileşenlerinin tasarımı 79
3.2.11. Sonuç gösterimi ve microSD karta kayıt yöntemi 80
3.2.12. Denemelerin planlanması, yürütülmesi ve değerlendirilmesi 81

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 82

4.1. Deneme Sonuçları 82
4.1.1. Hız ve mesafe ölçüm sistemi sonuçları 82
4.1.2. Toprak işleme derinliği ölçüm sistemi sonuçları 83
4.1.3. Hidrolik ayar kolu kontrol sistemi sonuçları 84
4.1.4. Yakıt ölçüm sistemi sonuçları 86
4.1.5. Çeki kuvveti ölçüm sonuçları 87
4.1.6. Bulanık mantık kontrol sistemi çalışma sonuçları 88
4.1.7. On-off kontrol sistemi çalışma sonuçları 91
4.1.8. Uyarı sistemi çalışma sonuçları 93
4.1.9. Sürücü kontrolünde çalışma sonuçları 96
4.2. Kontrol Yöntemlerinin Karşılaştırılması 99
4.3. Sonuçların İstatistiksel Analizi 107

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 111

5.1. Sonuçlar 111
5.2. Öneriler 113

KAYNAKLAR 115

EKLER 120

ÖZGEÇMİŞ 136

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

α : Uç demiri kaldırma açısı (^{0})
$\propto_p$: Uç demiri burun noktasındaki kama açısı (^{0})
$\propto_s$: Uç demiri kaldırma açısı (^{0})
A_p : Kulaklı pulluk parametresi
a : İş derinliği (dm)
a_m : Bir saniyede sayılan mıknatıs sayısı (adet)
$a_ö$: Ön tekerlekten sayılan mıknatıs sayısı (adet)
β : Kesme açısı (^{0})
B_p : Kulaklı pulluk parametresi
b : İş genişliği (dm)
C_p : Kulaklı pulluk parametresi
c : Kohezyon (kN m^{-2})
Ç : Tekerlek çevresi (m)
d : Sıvı akış sensöründen bir saniyede gelen darbe sayısı
d_d : Dönen yakıtı ölçen sıvı akış sensörünün bir saniyede ürettiği darbe sayısı
d_g : Giden yakıtı ölçen sıvı akış sensörünün bir saniyede ürettiği darbe sayısı
d_p : Uç demiri burun derinliği (m)
d_{td} : Sıfırlama sonrası dönen yakıtı ölçen sıvı akış sensörünün ürettiği toplam darbe
d_{tg} : Sıfırlama sonrası giden yakıtı ölçen sıvı akış sensörünün ürettiği toplam darbe sayısı
ε_b : Bağıl hata (%)
F_1 : Çalışılan toprak tipine bağlı olarak değişen boyutsuz değer
$F_ç$: Çeki kuvveti (daN)
f : Yuvarlanma direnci katsayısı
G : Traktörün ağırlığı (daN=kg)
g : Yer çekimi ivmesi (m s^{-2})
H_{cs} : Uç demiri ile çizi duvarında lateral kuvvetin etkisiyle sürtünmeden dolayı meydana gelen çeki kuvveti (kN)
H_e : Kulakta potansiyel enerjiden dolayı meydana gelen çeki kuvveti (kN)
H_{fs} : Toprağın kulak üzerinde lateral hareketinden dolayı kulakta sürtünme kuvveti bileşenlerinin meydana getirdiği çeki kuvveti (kN)
H_{mc} : Kulakta meydana gelen çeki kuvveti (kN)
H_{ms} : Kulak ile çizi duvarında lateral kuvvetin etkisiyle sürtünmeden dolayı meydana gelen çeki kuvveti (kN)
H_p : Burun noktasında meydana gelen çeki kuvveti (kN)
H_s : Uç demirinde meydana gelen çeki kuvveti (kN)
H_t : Pulluğa etki eden toplam çeki kuvveti (kN)
h : Toprak işleme derinliği (cm)
L_0 : Belirli tekerlek devrinde patinajsız alınan yol (m)
M_t : Tekerlek momenti (Nm)
m : Bozulma mesafesi oranı
N_γ : Toprak iç sürtünme açısı (ϕ) ve kaldırma açısına (α) bağlı olarak değişen boyutsuz faktör

N_a : Toprak iç sürtünme açısı (ϕ) ve kaldırma açısına (α) bağlı olarak değişen boyutsuz faktör

N_c : Toprak iç sürtünme açısı (ϕ) ve kaldırma açısına (α) bağlı olarak değişen boyutsuz faktör

n_m : Tekerlekte bulunan mıknatıs sayısı (adet)

$n_{ö}$: Ön tekerlekte bulunan mıknatıs sayısı (adet)

n_t : Tekerlek devir sayısı (min^{-1})

$\eta_ç$: Çeki verimi

η_{tr} : Dişli sisteminin mekanik tesir derecesi

P_a : Aks gücü (kW)

$P_ç$: Çeki gücü (kW)

P_e : Motor efektif gücü (kW)

P_h : Yürüme (yuvarlanma) direnci gücü (kW)

P_{hid} : Hidrolik sistem gücü (kW)

P_k : Kuyruk mili gücü (kW)

P_m : Meyil çıkma gücü (kW)

P_p : Patinaj kayıp gücü (kW)

P_t : Tekerlek gücü (kW)

P_{tr} : Dişli kayıp gücü (kW)

R : Traktörün yuvarlanma direnci

R_p : Potansiyometreden okunan değer

S : Patinaj miktarı (%)

S_O : Ortalama patinaj miktarı (%)

S_{SOAT} : Sol arka tekerlekte meydana gelen patinaj miktarı (%)

S_{SAAT} : Sağ arka tekerlekte meydana gelen patinaj miktarı (%)

s_{ay} : Aşağıdan yukarı hareket için servo motor açısı (^{0})

s_{ya} : Yukarıdan aşağı hareket için servo motor açısı (^{0})

T : Tekerlek çevre kuvveti (daN)

t : zaman (s)

V : Traktörün ilerleme hızı (km h^{-1})

V_a : Arka tekerlek hızı (km h^{-1})

V_k : Patinaj kayıp hızı (km h^{-1})

$V_{ö}$: Ön tekerlek hızı (km h^{-1})

V_t : Tekerlek hızı (km h^{-1})

w_p : Uç demiri burun genişliği (m)

w_s : Uç demiri genişliği (m)

y : Sıvı akış sensöründen geçen yakıt miktarı (L h^{-1})

y_a : Anlık yakıt tüketimi (L h^{-1})

$y_{ö}$: Ölçülen değer

y_s : Ayarlanan değer

y_t : Sıfırlama sonrası tüketilen toplam yakıt miktarı (L)

φ : Devirme açısı (^{0})

θ : Ortalama kulak açısı (^{0})

γ : Toprak hacim ağırlığı (kN m^{-3})

δ : Toprak-metal sürtünme açısı (^{0})

δ_s : Toprak-toprak sürtünme açısı (^{0})

Kısaltmalar

2WD : 2 tekerleği muharrik
4WD : 4 tekerleği muharrik
AK : Az kaldır
ASABE: Amerikan Ziraat ve Biyoloji Mühendisleri Derneği
ASAE : Amerika Ziraat Mühendisleri Derneği
AO : Analog output
BMD : Bulanık mantık denetleyici
CAK : Çok az kaldır
CCAK : Çok çok az kaldır
CCFK : Çok çok fazla kaldır
CFK : Çok fazla kaldır
CoA : Center of area
DAC : Digital analog converter
DO : Digital output
FK : Fazla kaldır
Fuzzy : Bulanık mantık
GND : Toprak/Şase
GPS : Global positioning system
HP : Beygir gücü
ISO : Uluslararası Standartlar Örgütü
ISOBUS: ISO 11783 Standartı
KL : Kaldır
KM : Kaldırma
Max : Maksimum
Min : Minimum
P : Proportional
PC : Patinaj çok
PD : Proportional + derivative
PI : Proportional + integral
PID : Proportional + integral + derivative
PN : Patinaj normal
PNC : Patinaj normal-çok
PWM : Pulse Width Modulation
PY : Patinaj yok
PYN : Patinaj yok-normal
Rx : Receive x
SAAT : Sağ arka tekerlek patinaj miktarı
SR : Yüzey düzgünsüzlüğü (%)
SS : Standart sapma
SOAT : Sol arka tekerlek patinaj miktarı
TK : Tam kaldır
TP : Time proportional
TSK : Takagi-Sugeno-Kang
TUIK : Türkiye istatistik kurumu
Tx : Transmit x
UART : Universal asynchronous receiver-transmitter

1. GİRİŞ

Modern cihaz ve tesislerin ileri tarım tekniklerine uygun bir şekilde ilkel yöntem, alet ve makinaların yerine kullanılması tarımsal mekanizasyon olgusunu oluşturmuştur. Tarımsal mekanizasyonda amaç insan iş gücünün verimini arttırmak ve yapılan işin maliyetini minimuma indirmektir. Bu, iki şekilde mümkün olabilmektedir: birim iş için sarf edilecek zamanı düşürmek ya da birim alandan elde edilen verimi arttırmak.

Hızlı nüfus artışı neticesinde tarım yapılan arazi büyüklükleri giderek azalmakta, su kaynakları hızla yok olmakta, bu nedenle de tarımda verimliliği arttırmak giderek güçleşmektedir. Geleneksel üretim teknikleri ve geleneksel tarım araçlarının yerine, ileri teknoloji ile üretilmiş araçlara ve çağdaş üretim tekniklerine geçilmesi neredeyse zorunlu hale gelmiştir. Çizelge 1.1'de 2009-2019 yılları arasında ülkemizde bulunan toplam tarım alanları ve kullanım şekillerine göre dağılımları verilmiştir.

Çizelge 1.1. 2009-2019 yılları arasında tarım alanları (x1000 Hektar) (Anonim, 2020a)

Yıllar	Toplam tarım alanı	Tahıllar ve diğer bitkisel ürünler için ekilen alan	Nadas alanı	Meyve, sebze, süs bitkileri vb. alanları	Çayır ve mera alanları
2009	38,912	16,217	4,323	3,754	14,617
2010	39,011	16,333	4,249	3,813	14,617
2011	38,231	15,692	4,017	3,905	14,617
2012	38,399	15,463	4,286	4,033	14,617
2013	38,423	15,613	4,148	4,045	14,617
2014	38,558	15,782	4,108	4,052	14,617
2015	38,551	15,723	4,114	4,097	14,617
2016	38,328	15,575	3,998	4,138	14,617
2017	37,964	15,498	3,697	4,151	14,617
2018	37,797	15,421	3,513	4,246	14,617
2019	37,712	15,387	3,387	4,320	14,617

Çizelge 1.1 incelendiğinde yıllar içerisinde toplam tarım arazilerinde düşüş yaşandığı ve buna paralel olarak tahıllar ve diğer bitkisel ürünlerin ekim ve nadas alanlarının da azaldığı görülmektedir.

Tarımda makine kullanılmaya başlamadan önce 2.7 ton buğdayın hasat edilmesi yaklaşık 300 saat sürerken, biçerdöver ile bu süre günümüzde 13 dakikadan daha az sürmektedir. 1 saatte el yordamıyla 0.11 ton mısır toplanırken, makine ile 57.6 ton hasat yapılabilmektedir. Diğer bir yandan, değişken değerli sulama sistemleri ile her yıl %15 daha az su tüketimi sağlanabilmektedir. Örnek olarak, Hindistan'da patates tarlalarında

damlama sulama yöntemi kullanılmasıyla su tüketimi %50 azaltılmış, bununla birlikte üretim verimi %31 artmıştır. 20. yüzyılın başlarında bir çiftçinin üretimi 2.5 kişiyi beslerken tarım teknolojilerinin kullanımıyla bu sayı 1960'lı yıllarda 25'e yükselmiş; tarımsal mekanizasyonun yaygınlaşmaya başlamasıyla, günümüzde 145'i geçmiştir (Anonim, 2016). Tüm bu örneklerden görüldüğü gibi, tarımsal mekanizasyon hem zaman hem de üretim maliyetlerinden tasarruf etmeye olanak sağlamaktadır.

Mileusnić ve ark. (2010) yeni ve eski toprak işleme sistemlerinin yakıt tüketimlerini analiz etmiş ve karşılaştırmışlardır. Toprak işleme mekanizasyon sistemlerindeki yeni teknik çözümlerden ve toprak işleme sürecindeki yeni teknolojik gelişmelerden yararlanarak, sistemlerin eski sistemlere göre önemli ölçüde daha az enerji tükettiğini bildirmişlerdir.

Tarımda üretim girdilerinin yaklaşık %35'i mekanizasyon girdisidir (%20 mekanizasyon + %15 yakıt). Bu nedenle yapılacak işe uygun araç seçilmesi ve doğru kullanılması oldukça önemlidir. Traktör ile tarım makinalarının optimizasyonu, toplam işletme masraflarının yaklaşık yarısını oluşturan yakıt sarfiyatının azaltılabilmesi için önemli bir kriterdir (Keleş ve Hacıseferoğulları, 2016). Birçok araştırmacı, traktör ile tarım makinalarının doğru eşleştirilmesinin, yakıt tüketiminin azaltılmasında ve genel enerji verimliliğinin artmasında etkili olabileceğine inanmaktadır (Samiei Far ve ark., 2015).

Bitkisel üretimde toplam girdiler içerisinde %25-30'lara varan maliyeti ile toprak işleme, oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle toprak işlemenin geleneksel yöntemlerden kurtulup bilimsel veriler çerçevesinde yapılması hem zaman hem de maliyet açısından önemli bir konudur. Örneğin buğday tarımı için 20 cm'den daha derin toprak işlemenin gereksiz olduğu bilinmektedir ve 20 cm yerine 25 cm işleme derinliğinde çalışmak, yakıt tüketimini %25 dolayında artırmaktadır (Anonim, 2016).

Bu çalışmada, pullukla toprak işleme esnasında traktörde meydana gelen patinajın anlık olarak ölçülmesi ve patinajın belirlenen sınır değerleri aşması durumunda traktöre bağlı toprak işleme ekipmanının çalışma derinliğinin otomatik olarak azaltılması amaçlanmıştır.

1.1. Toprak İşleme ve Pulluklar

Tarımda ileri teknolojinin ve mekanizasyonun tercih edilmesi neticesinde, üretimin tekniğe uygun şekilde yapıldığı ve bu sayede de ürün kalitesi ve verim artışına

imkân sağlandığı bilinmektedir. Ayrıca tarımda ileri teknoloji kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte son yıllarda %20'leri bulan verim artışı sağlandığı da görülmektedir (Anonim, 2016).

İşlenmemiş doğal yapıdaki topraklar, genellikle yetiştirilmek istenen bitkinin ihtiyaç duyduğu koşulları sağlayamaz ve tarım yapmaya çok da elverişli değildir. Toprağın besin maddeleri oranı mineral ve organik gübrelerle daima zenginleştirilebilirse de asıl amaç, toprağın doğal zenginliğinden maksimum derecede yararlanmak olmalıdır. Bu yüzden uygun toprak işleme aletlerini kullanarak, yetiştirilmek istenen bitkinin ihtiyacı olacak toprak koşullarını hazırlamak gerekir. İyi havalandırılmış ve nemli bir toprakta, bitkiler var olan besin maddelerinden daha iyi yararlanırlar. İyi işlenmiş bir toprakta bakteri faaliyetleri ve kimyasal etkileşimler artar. Bunun sonucunda topraktaki doğal besin maddeleri bitkilerin yararlanabileceği bir duruma gelirler. İşlenmemiş toprağın üst katmanının gömülmesi ve alt katmandaki toprağın yüzeye çıkarılması bitki büyümesi için faydalıdır (Ucgul ve Saunders, 2020). Toprak işleme aynı zamanda tohum yatağının hazırlanması, yabancı ot kontrolü, bitki gelişimini iyileştirecek toprak şartlarının sağlanması, anızın parçalanması ve topraktaki suyun düzenlenmesi gibi amaçlar için de yapılmaktadır. Toprağın iyi özelliklerini geliştirmek, kötü özelliklerini ise ortadan kaldırmak için uygulanması gereken toprak işleme yöntemleri, iklim ve toprak koşullarına ve bitki çeşitlerine göre değişim gösterebilir. Bir yöntem belli koşullarda iyi, diğer koşullarda ise olumsuz sonuç verebilmektedir (Ülger, 2011).

Kulaklı pulluk birincil toprak işleme aletidir ve toprağın ters çevrilmesini sağlamak, tohum yatağı için temel oluşturmak ve toprağı gevşeterek havalandırmak için kullanılır. Kulaklı pulluk bazı avantajlara sahip olmasına rağmen, kullanım şekline bağlı olarak ortaya çıkan yüksek çeki kuvveti nedeniyle yavaş ve maliyetli olarak kabul edilir. Bununla birlikte, toprağı ters çevirme zorunluluğu nedeniyle hala birincil toprak işlemede ilk tercih edilen ekipmandır (Ucgul ve Saunders, 2020).

Ülkemizde tarım makinaları istatistiklerine bakıldığında iki akslı traktör ve kulaklı traktör pulluğu sayılarının birbirlerine yakın olduğu, buradan çıkarımla geleneksel toprak işlemenin yoğun olarak tercih edildiği görülmektedir (Anonim, 2020b). Çizelge 1.2'de ülkemizde 2009-2019 yılları arasında kayıtlı olan iki akslı traktör ve kulaklı traktör pulluğu sayıları verilmiştir.

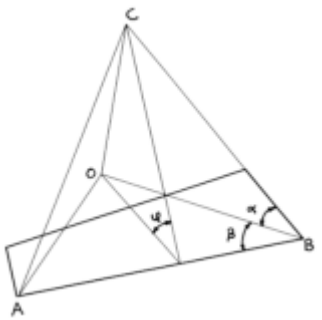
Çizelge 1.2. 2009-2019 arası iki akslı traktör ve kulaklı traktör pulluğu sayıları (Anonim, 2020b)

Yıllar	Traktör Sayısı	Kulaklı Traktör Pulluğu Sayısı
2009	1,052,509	1,002,734
2010	1,071,073	1,014,188
2011	1,089,300	1,025,892
2012	1,132,411	1,041,903
2013	1,160,009	1,045,122
2014	1,177,225	1,046,048
2015	1,190,692	1,050,237
2016	1,200,532	1,057,870
2017	1,230,961	1,071,553
2018	1,254,190	1,079,396
2019	1,275,113	1,087,743

Toprak işleme esnasında, işleme aletinin karşılaştığı direnç toprağın fiziko-mekanik özelliklerine bağlı olarak değiştiği gibi, kullanılan toprak işleme aletinin yapısına ve kullanım şekline bağlı olarak da değişir. Bu nedenle, toprak direnci sürülen alanın her yerinde aynı değildir.

Kulaklı pullukta çalışma yüzeyi iki ana parçadan oluşur. Bunlar uç demiri ve kulaktır. Uç demiri silindirik veya düz bir yüzeye sahiptir. Kulak ise genelde silindroid bir yüzeye sahip karmaşık geometrili bir yüzeydir. Tarla çalışmalarında genelde bu iki parçanın geometrik yapısı kulaklı pulluğun iş kalitesini ve enerji tüketimini belirler (Craciun, 1998).

Pullukta uç demirinin görevi toprak şeridini yatay yönde keserek topraktan ayırıp kulağa doğru yükseltmektir. Uç demiri üç temel açıya sahip olan bir uzay kama oluşturur (Şekil 1.1).



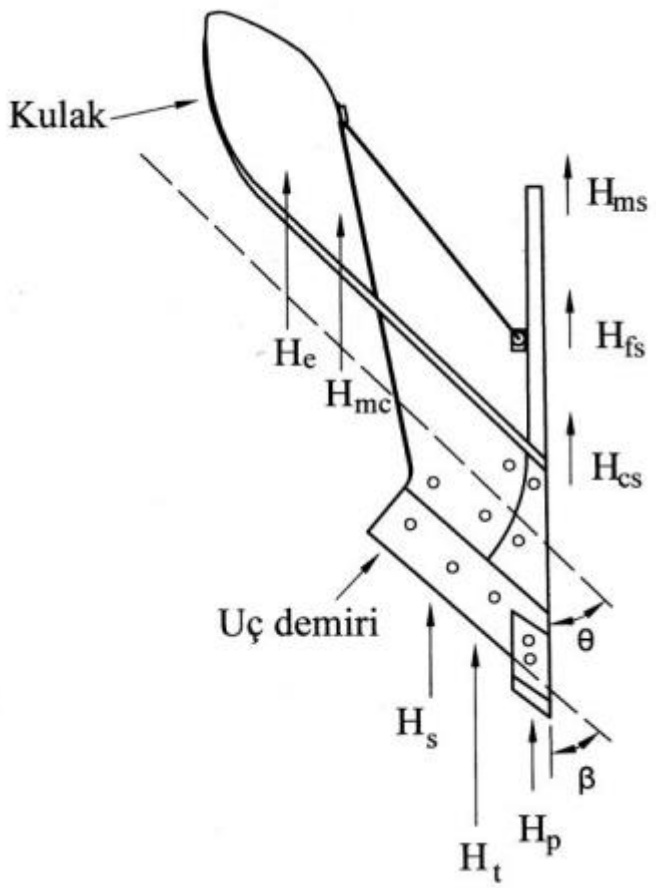
Şekil 1.1. Eğik kama şeklindeki uç demiri açıları (Boydaş, 2010)

Şekil 1.1'de; α, uç demiri kaldırma açısı olarak adlandırılır ve yüzeyi toprağı kaldıracak şekildedir. β, uç demiri keskin kenar açısıdır ve kesme açısı olarak adlandırılır. φ, uç demiri keskin kenarına dik olan açıdır ve devirme açısı olarak adlandırılır (Boydaş, 2010). Uç demiri açıları kulak tipine ve kullanım amacına göre

değişiklik gösterir. Tüm bu açılar birbirleri ile orantılıdır ve aralarındaki ilişki aşağıdaki gibidir:

$$tan\alpha = tan\beta . sin\varphi \qquad (1.1)$$

Şekil 1.2'de ise kulaklı pulluk üzerine etki eden kuvvetler gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Kulaklı pulluğa etki eden kuvvetler (Boydaş, 2010)

Burada;

H_t : Pulluğa etki eden toplam çeki kuvveti (kN),

H_p : Burun noktasında meydana gelen çeki kuvveti (kN),

H_s : Uç demirinde meydana gelen çeki kuvveti (kN),

H_{mc} : Kulakta meydana gelen çeki kuvveti (kN),

H_e : Kulakta potansiyel enerjiden dolayı meydana gelen çeki kuvveti (kN),

H_{cs} : Uç demiri ile çizi duvarında lateral kuvvetin etkisiyle sürtünmeden dolayı meydana gelen çeki kuvveti (kN),

H_{ms} : Kulak ile çizi duvarında lateral kuvvetin etkisiyle sürtünmeden dolayı meydana gelen çeki kuvveti (kN),

H_{fs} : Toprağın kulak üzerinde lateral hareketinden dolayı kulakta sürtünme kuvveti bileşenlerinin meydana getirdiği çeki kuvveti (kN),

β : Uç demiri keskin kenar açısı (^{0}),

θ : Ortalama kulak açısı (^{0})'dır.

Şekil 1.2'de verilen kulaklı pulluğun çeki kuvvetinin belirlenmesi için gerekli eşitlikler ise aşağıdaki gibidir:

$$H_p = \left[\left(\gamma d_p^2 N_\gamma + c d_p N_c\right)\left\{w_p + 0.55 d_p (m - (m-1)/3)\right\} + (\gamma v^2 N_a d_p / g)(w_p + 0.33 d_p)\right] sin(\alpha_p + \delta) \quad (1.2)$$

$$H_s = (\gamma d_s^2 N_\gamma + c d_s N_c + \gamma v^2 N_a d_s / g) w_s sin(\alpha_s + \delta) sin\beta \quad (1.3)$$

$$H_{mc} = (\gamma/g)(w_p d_p + w_s d_s) v^2 \{1 - (1 - sin\theta tan\delta) cos\theta\} \quad (1.4)$$

$$H_e = 2\gamma (w_p d_p + w_s d_s) d_s \quad (1.5)$$

$$H_{cs} = (\gamma d_s^2 N_\gamma + c d_s N_c + \gamma v^2 N_a d_s / g) w_s sin(\alpha_s + \delta) cos\beta tan\delta \quad (1.6)$$

$$H_{ms} = (\gamma/g)(w_p d_p + w_s d_s) v^2 sin\theta (1 - sin\theta tan\delta) tan\delta \quad (1.7)$$

$$H_{fs} = 0.95\gamma (w_p d_p + w_s d_s) tan\delta tan\delta_s \quad (1.8)$$

$$H_t = H_p + H_s + H_{mc} + H_e + H_{cs} + H_{ms} + H_{fs} \quad (1.9)$$

Verilen eşitliklerde;

γ : Toprak hacim ağırlığı (kN m^{-3}),

d_p : Uç demiri burun derinliği (m),

c : Kohezyon (kN m^{-2}),

w_p : Uç demiri burun genişliği (m),

v : İlerleme hızı (m s^{-1}),

g : Yer çekimi ivmesi (m s^{-2}),

$\propto_p$: Uç demiri burun noktasındaki kama açısı (^{0}),

$\propto_s$: Uç demiri kaldırma açısı (^{0}),

δ : Toprak-metal sürtünme açısı (^{0}),

δ_s : Toprak-toprak sürtünme açısı (^{0}),

w_s : Uç demiri genişliği (m),

m : Bozulma mesafesi oranı,

N_γ, N_c, N_a : Toprak iç sürtünme açısı (ϕ) ve kaldırma açısına (α) bağlı olarak değişen boyutsuz faktörlerdir (Godwin ve ark., 2007).

Toplam çeki gereksiniminin en büyük bileşenlerinden olan toprak direncine etki eden faktörler; toprak cinsi, toprak özgül ağırlığı, toprak nemi, toprak sürtünmesi, çizi derinliği ve genişliği, toprak işleme aletinin çalışma hızı, keskin kenarların keskinlik derecesi, toprak işleme aletinin yapısal özelliği, çeki aracı ile bağlantı durumu ve toprak işleme aletinin ayar durumu şeklinde sıralanabilir (Roul ve ark., 2009).

ASAE standartlarında kulaklı pulluk çeki kuvvetini hesaplamak için Eşitlik 1.10 verilmiştir.

$$F_ç = F_1.[A_p + B_p(V) + C_p(V^2)].b.a \quad (1.10)$$

Burada;

$F_ç$: Çeki kuvveti (N),

F_1 : Çalışılan toprak tipine bağlı olarak değişen boyutsuz değer,

A_p, B_p, C_p : Kulaklı pulluk parametreleri,

V : Traktörün ilerleme hızı (km h^{-1}),

b : İş genişliği (m),

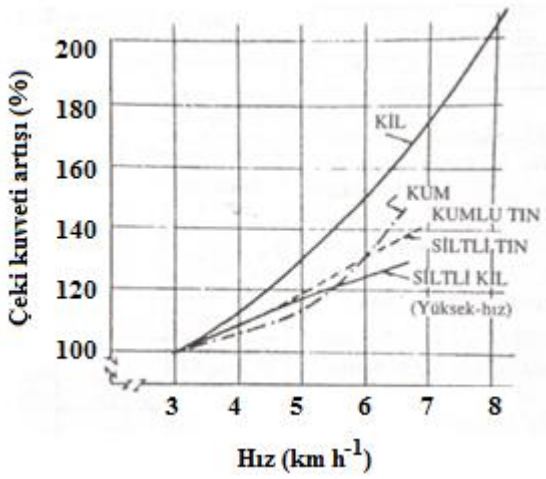
a : İş derinliği (cm)'dir.

Çalışılan toprak tipine bağlı olarak değişen boyutsuz değer ve kulaklı pulluk parametreleri ASAE standartlarında çizelge halinde verilmiştir.

Toprak işleme aletlerinin çeki kuvvetleri, aletin enerji ihtiyacının ölçülmesinde ve değerlendirilmesinde kullanılan en önemli kuvvetlerden biridir. Al-Janobi ve Al-Suhaibani (1998), çeki kuvvetinin, toprak işleme derinliği ve ilerleme hızındaki artışla yükseldiğini bildirmişlerdir. Çeşitli toprak işleme aletleri kullanarak yaptıkları karşılaştırmalarda da toprak işleme derinliği ile ilerleme hızının tüm toprak işleme

aletleri için çeki kuvveti üzerinde doğrusal etkilere sahip olduklarını göstermişlerdir. Sahu ve Raheman (2006) ise tüm toprak işleme aletleri için gereken çeki kuvvetinin çoğunlukla ekipmanının toprağı kesme hızı, kesme derinliği ve kesme genişliği ile toprağın nemi ve koni indeksi gibi parametrelerle alakalı olduğunu gözlemlemişlerdir.

Şekil 1.3'de kulaklı pullukla toprak işlemede toprak tipine göre, pulluk çalışma hızı ve çeki kuvveti ilişkisi verilmiştir. Şekil 1.3'de de görüldüğü gibi, toprak işlemede çeki kuvveti aletin çalışma hızı ile önemli derecede artmaktadır. Yapılan araştırmalarda, kulaklı pullukla toprak işlemede, pulluk hızının 3.2 km h^{-1}'ten 6.4 km h^{-1}'e çıkmasıyla çeki kuvvetinde %25'lik bir artış olduğu görülmüştür. Çalışma hızının 4.8 km h^{-1}'ten 9.6 km h^{-1}'e çıkmasıyla meydana gelen çeki kuvveti artışı ise %50 olmuştur (Ülger, 2011).



Şekil 1.3. Pulluk çalışma hızı ile çeki kuvveti ilişkisi (Ülger, 2011)

1.2. Traktörlerde patinaj

Traktörlerin önemi, özellikle tarımda mekanizasyona geçildikten sonra gittikçe artmıştır ve halen de artmaya devam etmektedir. Modern tarımsal mekanizasyonda lokomotif görevi yapan, üretim girdileri içerisinde en büyük paya sahip olan tarım aletleri traktörlerdir.

2019 sonunda yapılan istatistik çalışmasına göre ülkemiz traktör parkında bulunan iki akslı traktörlerin güç gruplarına göre sayıları Çizelge 1.3'te verilmiştir (Anonim, 2020c).

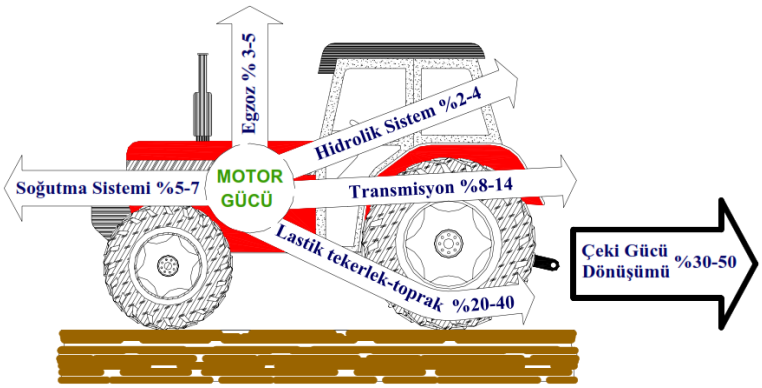
Çizelge 1.3. 2019 yılı güç gruplarına göre iki akslı traktör sayıları (Anonim, 2020c)

Traktör gücü (HP)	Adet
1-10	6,589
11-24	20,513
25-34	65,496
35-50	495,375
51-70	513,035
>70	174,105

Çizelge 1.3 incelendiğinde Türkiye traktör parkında en büyük payın %41.1 ile 51-70 HP'lik traktörlere ait olduğu görülmektedir. Hemen ardından ise %39.7 ile 35-50 HP'lik traktörler gelmektedir. 70 HP ve üzeri güçteki traktörlerin payı ise yaklaşık %14 olup, bu güçteki traktörlerin son on yıldaki artış oranı ise %106 olmuştur.

Traktör motorunda geliştirilen güç; tarım makinalarına kuyruk mili, hidrolik sistem ya da çeki elemanları ile iletilebilmektedir. Traktörden tarım makinalarına hareketin çeki kuvveti şeklinde iletimi, üç nokta bağlantı düzeni ya da çeki demiri ile yapılmaktadır. Motor gücü bu organlarda, tekerlek ve diğer yürüme organları tarafından çeki kuvvetine dönüştürülür. Yürüme organları bunun dışında, traktörün ve traktöre bağlı makinaların ağırlığını taşımak, traktörle yol arasında sönümlemeyi sağlamak, toprakta iyi bir tutunma ile etkin dümenleme sağlamak gibi işlevleri de yerine getirmektedir.

Traktör motorunda geliştirilen güç, tarım makinalarına çeki kuvveti olarak aktarılırken yüksek oranda iletim veriminin olması gereklidir. Eğer traktör gücü iyi oranda çeki kuvvetine dönüştürülemezse, traktör ile birlikte kullanılan tarım makinalarında yeterli çeki kuvvetinin sağlanabilmesi için daha fazla güç ve enerjiye ihtiyaç duyulur. Traktör motoru tarafından üretilen gücün tamamının çeki gücüne dönüştürülmesi mümkün değildir. Üretilen güç, traktör ile çekilen tarım makinaları için ihtiyaç duyulan çeki gücüne dönüştürülürken çeşitli kayıplara uğramaktadır. Şekil 1.4'te traktör motorunda üretilen gücün dağılımı verilmiştir (Sümer, 2005).



Şekil 1.4. Traktörde motor gücü dağılımı (Sümer, 2005)

Şekil 1.4'te görüldüğü gibi çeki kuvvetine dönüşmediği için kayıp olarak nitelendirdiğimiz motor gücünün bir bölümü soğutma sistemi, egzoz, hidrolik sistem ve transmisyon tarafından kullanılmaktadır. Bunların dışında, geliştirilen güçteki en büyük kayıp, %20-40 arasında değişen oranlarda tekerlek ile toprak arasında oluşmaktadır.

Traktörün kendi kendini hareket ettirebilmesi için gerekli olan güç yürüme (yuvarlanma) direnci olarak isimlendirilir. Yuvarlanma direnci aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$P_h = \frac{R.V}{360} = \frac{G.f.V}{360} \qquad (1.11)$$

Bu eşitlikte;

P_h : Yürüme (yuvarlanma) direnci gücü (kW)

R : Traktörün yuvarlanma direnci

V : Traktörün ilerleme hızı (km h^{-1})

G : Traktörün ağırlığı (daN=kg)

f : Yuvarlanma direnci katsayısı'dır.

Patinaj gücünün hesaplanmasında esas alınan değer tutunma kuvvetidir. Patinaj kayıp gücü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$P_p = \frac{T.V_k}{360} = \frac{T.(V_t - V)}{360} \qquad (1.12)$$

Burada;

P_p : Patinaj kayıp gücü (kW)

T : Tekerlek çevre kuvveti (daN)

V_k : Patinaj kayıp hızı (km h^{-1})

V_t : Tekerlek hızı (km h^{-1})

V : Traktörün ilerleme hızı (km h^{-1})'dır.

Traktörün çeki kancasında meydana gelen çeki gücü Eşitlik 1.13 ile hesaplanır.

$$P_ç = \frac{F_ç.V}{360} \quad (1.13)$$

Eşitlik 1.13'te;

$P_ç$: Çeki gücü (kW)

$F_ç$: Çeki kuvveti (daN)'dir.

Motor gücünün tekerleklere uygun biçimde ulaştırılmasını sağlayan iletim sisteminin (kavrama, vites, diferansiyel, son redüksiyon vb.) sürtünmelerine harcanan güç, dişli (transmisyon) kayıp gücü olarak isimlendirilir. Bu güç şu şekilde hesaplanabilir;

$$P_{tr} = P_e - P_t = P_e.(1 - \eta_{tr}) \quad (1.14)$$

Bu eşitlikte;

P_{tr} : Dişli kayıp gücü (kW)

P_e : Motor efektif gücü (kW)

P_t : Tekerlek gücü (kW)

η_{tr} : Dişli sisteminin mekanik tesir derecesi'dir.

Traktör bir meyilde çalışmakta ise, meyilden dolayı oluşan direncin yenilmesi için meyil çıkma gücü (P_m); kuyruk mili ile çalışıyorsa, kuyruk mili gücü (P_k) ve hidrolik çıkış ile bir hidrolik elemanı çalıştırılıyorsa, hidrolik gücü (P_{hid}) de kullanılan güçler olarak göz önüne alınır. Bütün bu kayıplar ve kullanılan güçler birlikte düşünülürse, motor efektif gücü Eşitlik 1.15 ile aşağıdaki gibi hesaplanır (Keskin ve Erdoğan, 1992).

$$P_e = P_h + P_p + P_ç + P_{tr} + P_m + P_k + P_{hid} \quad (1.15)$$

Burada;

P_m : Meyil çıkma gücü (kW)

P_k : Kuyruk mili gücü (kW)

P_{hid} : Hidrolik sistem gücü (kW)'dür.

Tekerlek ile toprak arasında, aktarma organlarında meydana gelen güç kaybını en çok patinaj ve yuvarlanma direnci etkilemektedir.

Patinaj, maksimum çekiş gücünü elde etmek için dikkate alınması gereken en önemli parametrelerden birisidir. Maksimum çekiş verimliliği, yuvarlanma direncini en aza indirerek ve patinajı optimize ederek sağlanabilmektedir. Çeki verimi, çeki gücünün aks gücüne oranı olarak tanımlanır.

$$\eta_ç = \frac{P_ç}{P_a} \tag{1.16}$$

Burada;

$\eta_ç$: Çeki verimi

$P_ç$: Çeki gücü (kW)

P_a : Aks gücü (kW)'dür.

Çeki gücü Eşitlik 1.17 ile aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$P_ç = \frac{F_ç.V}{1000} \tag{1.17}$$

Burada;

$F_ç$: Çeki kuvveti (kN)

V : Traktör ilerleme hızı (m s^{-1})'dir.

Aks gücü ise tekerlek momenti ile tekerlek devrinin bir fonksiyonudur.

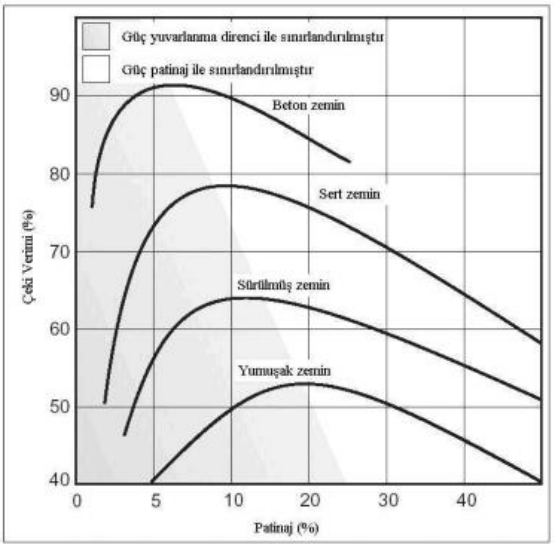
$$P_a = \frac{M_t.n_t}{9550} \tag{1.18}$$

Burada;

M_t : Tekerlek momenti (Nm)

n_t : Tekerlek devir sayısı (min^{-1})'dır.

Şekil 1.5'te farklı zeminler için patinaj ile çeki verimliliği arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Farklı zeminler için patinaj ile çeki verimi ilişkisi (Casady, 1997)

Şekil 1.5 incelendiğinde, maksimum çeki veriminin beton/asfalt yol koşullarında %6, tarla koşullarında ise %10-20 patinaj değerlerinde elde edildiği görülmektedir. Bu aralıklardan daha yüksek veya daha düşük patinaj durumlarında ise çeki veriminin maksimum değerlerden hızla uzaklaştığı izlenmektedir. Bu nedenle traktörden maksimum çeki verimi elde etmek için, patinajı ölçmek ve değerlendirmek mutlak bir zorunluluktur.

Yapılan literatür araştırmaları, toprak işleme esnasında traktörde meydana gelen patinajın, operatörün deneyimine ve yorulma seviyesine bağlı olarak yaklaşık %30 seviyelerinde ve yaklaşık 6 s'lik bir patinaj durumu neticesinde algılanabildiğini göstermektedir (Pranav ve ark., 2010). Oysa patinaj değerinin %20'den fazla olması durumu çeki veriminin düşmesine, motorun zorlanmasına ve lastik tekerleklerin aşırı aşınmasına neden olmaktadır. Ayrıca algılamada meydana gelen bu gecikme tekerleklerin daha fazla patinajda kalmasına, hem traktör aksamının (motor, lastikler vb.) hem de bağlı olan ekipmanların ömrünün kısalmasına, yakıt maliyetinin artmasına ve operatörün daha çok yorulmasına sebep olmaktadır. İstenmeyen bu durum, enerji kaybının yanında, toprakta sıkışmaya ve deformasyona neden olarak, bitkisel üretim için de önemli bir problem ortaya çıkarmaktadır (Küçüksarıyıldız, 2006).

Özellikle toprak işleme esnasında meydana gelen patinaj durumlarını önlemek için tekerlek hava basıncının azaltılması, muharrik tekerlek sayısının artırılması, harici ağırlıklar eklenmesi gibi bazı yöntemler kullanılmaktadır. Tercih edilen yöntemlerden birisi de toprak işleme derinliğinin ayarlanmasıdır (Ekinci, 2011).

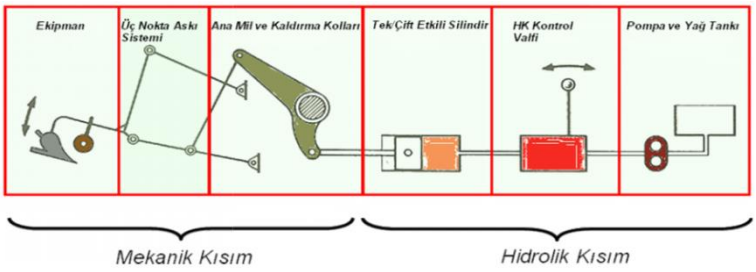
Literatürde, traktörde meydana gelen patinaj miktarını sürekli olarak ölçerek sürücüye gösteren, hatta sürücüye, patinaj miktarının yüksekliğine göre görsel ve/veya sesli uyarı yapabilen bir dizi çalışma bulunmaktadır. Bu sayede sürücünün hissedemediği bazı patinaj büyüklüklerini ekrandan görmesi, görsel ve/veya sesli uyarıyla bilgilenmesi ve patinaj miktarı daha fazla artmadan toprak işleme derinliğine müdahalede bulunması sağlanmıştır.

Tarlada, toprak koşullarındaki değişimlere bağlı olarak ortaya çıkan patinaj miktarı, hidrolik kumanda koluyla çalışma derinliğini manuel olarak değiştirerek yönetilmektedir. Ancak bu ayarlamalar istenen sonuçları elde etmek için çoğu zaman kabul edilemez derinlik değişimlerine neden olmaktadır. Benzer şekilde traktör bünyesinde bulunan çeki kontrol sistemleri de toprak işleme esnasında çeki gücünün artmasıyla, dolayısıyla patinaj miktarının yükselmesiyle, devreye girerek hidrolik kumanda koluna müdahale etmekte ve derinliği değiştirerek çeki gücünü istenen seviyeye indirmektedir. Ancak bu sistem de çoğu zaman yüksek patinaj değerlerine kadar müdahalede bulunmamakta, sonrasında ise yüksek derinlik değişimlerine neden olacak müdahalelerde bulunmaktadır.

Bu problemin olası bir çözümü, bir otomatik derinlik kontrol sistemi vasıtasıyla toprak işleme derinliğini hassas bir şekilde değiştirerek patinajı kontrol etmek olabilir. Sistem, toprak işleme faaliyeti boyunca patinajı sürekli olarak ölçmek ve önceden belirlenmiş bir aralıkta tutmak için gereklidir. Patinaj belirlenen sınır değerlerin ötesine geçtiğinde, sistem çalışma derinliğini kontrol etme ve değiştirme yetisine sahip olmalıdır. Bu tür bir otomatik kontrol sisteminin, mevcut çeki kontrol sistemine kıyasla daha hızlı ve hassas yanıtlar vermesi sağlanabilir.

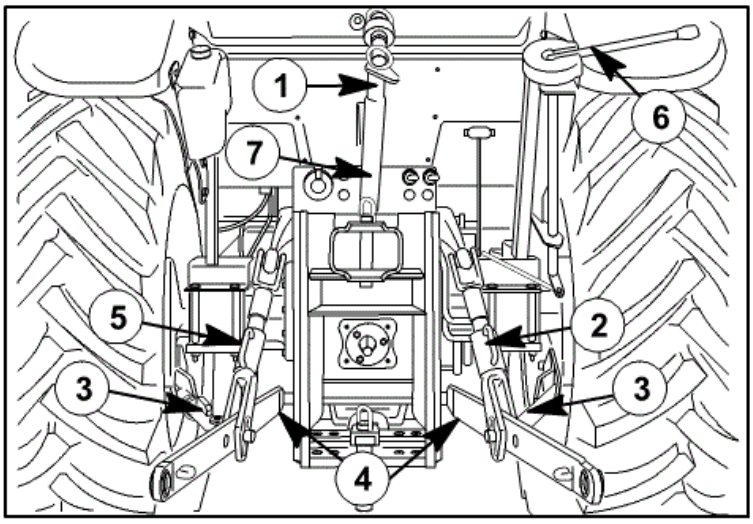
1.3. Traktörlerde üç nokta askı sistemi

Yaygın olarak kullanılan traktör üç nokta askı ve hidrolik sistemleri Şekil 1.6’daki gibi iki kısımdan oluşurlar.



Şekil 1.6. Traktör üç nokta askı ve hidrolik sistemi (Uymaz, 2014)

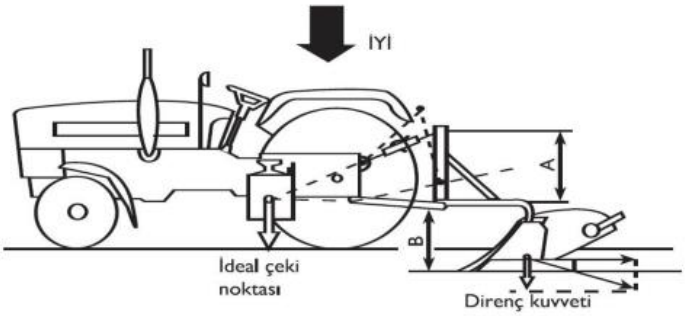
Traktör üç nokta askı sistemleri tarım alet ve makinalarının traktöre takılmasını, traktörle ekipmanın uyum içerisinde çalışmasını, birtakım ayarların (sağ-sol paralellik, ön-arka paralellik, yan gerginlik vb.) yapılmasını sağlayan sistemdir. Traktör üzerinde yer alan üç nokta askı sistemi, ekipmanların serbestçe takılıp sökülmesini sağlamak için standart hale getirilmiştir. Şekil 1.7'de standart bir üç nokta askı sisteminin donanımları gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Üç nokta askı sistemi donanımları (1: Orta ayarlı askı kolu, 2: Sağ ayarlı askı kolu, 3: Teleskobik ayarlı yan gergi kolları, 4: Yan kollar, 5: Sol ayarlı askı kolu, 6: Dışarıdan pozisyon kumanda kolu, 7: Orta ayarlı askı kolu bağlantı mesnedi) (Anonim, 2020e)

Üç nokta askı sistemi en stabil geometrik şekil olan üçgen oluşturma esasına dayanır. Bu sistemde iki alt bağlantı ve bir üst bağlantı noktası bulunmaktadır. Üç nokta bağlantı düzeninin kaldırma kuvveti ve bu kuvvetin tatbik noktasının uzaklığı çok önemlidir. Üç nokta bağlantı düzeninde kuvvetler traktörün ideal çeki noktasında etkirler. Bu nokta alt ve üst bağlantı kollarının kesiştiği nokta olarak tanımlanır. İdeal çeki noktası arka tekerleklere ne kadar yakınsa (üst kol ne kadar dik ise ya da pulluk

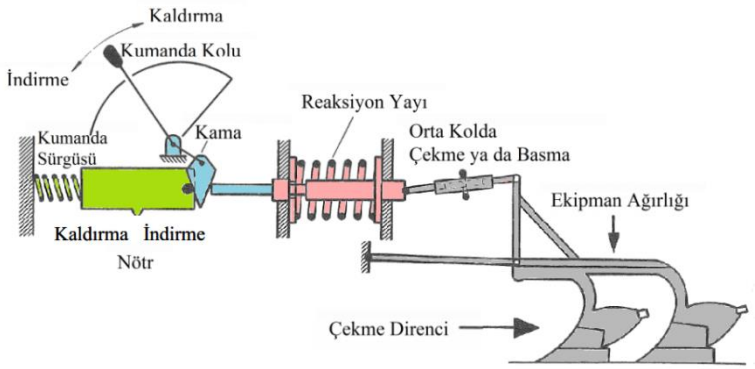
bağlama noktası ne kadar yüksekse) arka tekerlerin yüklenmesi o kadar büyüktür (Karanfil, 2013). Şekil 1.8'de traktör için ideal çeki noktası resmedilmiştir.



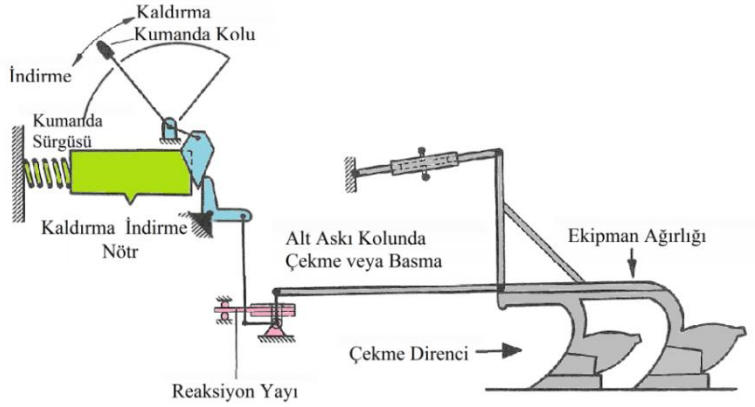
Şekil 1.8. Traktörde ideal çeki noktası (Karanfil, 2013)

Traktörle toprak işleme gerçekleştirilirken, toprakta meydana gelen aşırı direnç durumları nedeniyle ortaya çıkabilecek zorlanmalar hem traktörün kendisine hem de toprak işleme ekipmanına kolaylıkla zarar verebilmektedir. Traktör üreticileri bu durumda traktörü ve ekipmanı korumak amacıyla üç nokta askı sistemine bağlı çeki kontrol sistemini kullanmaktadırlar. Bu sistem traktör üç nokta askı sistemine bağlı toprak işleme ekipmanları ile iş yapılırken, tarlanın homojen olmayan toprak koşulları (ağır, orta, hafif vb.) ve çeşitli engeller (kök, taş vb.) nedeniyle ekipmanın çok zor ilerlemesi ya da takılı kalması söz konusu olduğunda hem traktörü hem de ekipmanı güvende tutmak içindir. Çeki kontrol sistemi, elektronik ya da mekanik iç yapısı aracılığıyla ekipman çekildiği esnada meydana gelen zorlanmayı hisseder ve üç nokta askı sistemi kollarını, zorlanma kuvveti ortadan kalkıncaya kadar, yukarı kaldırarak ekipmanın yüklenmeden kurtulmasını sağlar.

Çeki kontrol sistemi tasarımında çeki kuvvetinin hissedilmesi için uygulanan yöntemler temelde iki farklı şekildedir. Birincisi Şekil 1.9'da verilen, çeki kuvvetinin üç nokta askı sisteminin üst bağlantı noktasından (orta kol bağlantı noktası) hissedilmesi şeklinde; ikincisi ise Şekil 1.10'da verilen, üç nokta askı sisteminin alt bağlantı noktasından (alt askı kolları bağlantı noktası) hissedilmesi şeklindedir.



Şekil 1.9. Çeki kuvvetini üst bağlantı noktasından hisseden kontrol mekanizması (Uymaz, 2014)

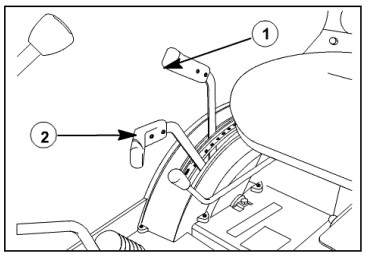


Şekil 1.10. Çeki kuvvetini alt bağlantı noktasından hisseden kontrol mekanizması (Uymaz, 2014)

Mekanik-hidrolik kaldırıcılarda çeki kuvveti, esnek bir mekanizmayı (örneğin bir yayı), çeki kuvvetinin büyüklüğüyle orantılı olarak çeker. Kuvvet, kumanda sürgüsü üzerinden, orantılı bir şekilde ara elemanlar vasıtasıyla kontrol valfine iletilir. Elektro-hidrolik kaldırıcılarda ise çeki kuvveti, yük algılayıcı bir pim (kuvvet sensörü – load pim) ya da mekanik-hidrolik sistemdeki yaylı mekanizmaya bir hareket sensörü eklenerek algılanır ve elektriksel sinyallere dönüştürülerek elektronik kumanda ünitesine gönderilir. Burada değerlendirilen kuvvet daha sonra oransal selenoidlerle kumanda edilen kontrol valfine ulaştırılır. Elektro-hidrolik sistemlerde yük algılayıcı pim, mekanik sistemlerdekine benzer şekilde üst nokta askı koluna ya da alt nokta askı koluna bağlanabilmektedir. Beygir gücü yüksek olan traktörlerde daha çok alt nokta askı koluna uygulama yapılması tercih edilmektedir (Uymaz, 2014).

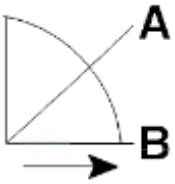
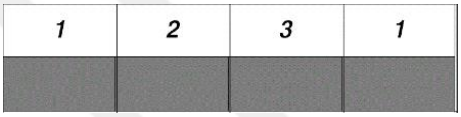
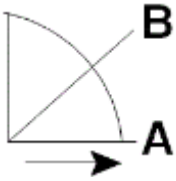
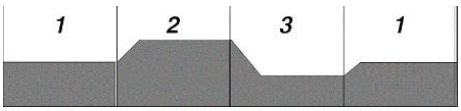
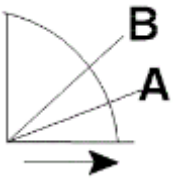
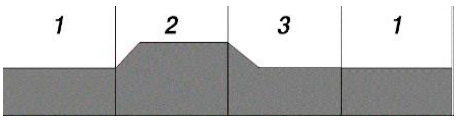
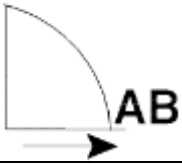
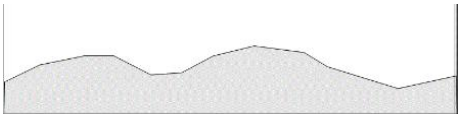
Bu emniyet düzenekleri, çeki kuvveti ihtiyacı olan işlemlerde traktör 3 nokta askı sistemine bağlı olan tarım alet ve makinalarının traktörle arasında meydana gelen çeki kuvvetine göre hidrolik ayar etkinliği sunulmasını sağlarlar. Traktörlerde üç farklı hidrolik ayar etkinliği bulunmaktadır. Bunlar; çeki kontrol ayar konumu, pozisyon

kontrol ayar konumu ve karma (pozisyon + çeki) kontrol ayar konumudur. Bu ayarlar traktör içerisinde bulunan pozisyon ve çeki ayar kolları aracılığıyla yapılmaktadır. Şekil 1.11'de hidrolik ayar kolları gösterilmiştir. Çizelge 1.4'te ise traktör hidrolik ayar durumuna göre toprak işleme şekilleri gösterilmektedir.



Şekil 1.11. Hidrolik ayar kolları (1) Pozisyon ayar kolu (2) Çeki ayar kolu (Anonim, 2020e)

Çizelge 1.4. Traktörde toprak işleme esnasında hidrolik kontrol durumu (A: Pozisyon ayar kolu, B: Çeki ayar kolu, 1: Orta ağır toprak, 2: Ağır toprak, 3: Hafif toprak) (Anonim, 2020e)

Ayar	**Fonksiyon**	**Ayar Kolu Konumu**	**Pulluk Derinlik Etkisi**
Pozisyon Kontrol	Alet belirli pozisyonda sabit kalır. Değişken toprak, farklı çeki kuvveti oluşturur.		
Çeki Kontrol	Ayar organı sürekli aynı çeki kuvvetinde çalışır. Reaksiyon organı hafif impulslar gönderir.		
Karma Kontrol	Çeki ve pozisyon kontrol aynı anda ayarlanır, beraber çalışır. Kuvvette dalgalanmaları eşitler.		
Yüzme Pozisyonu	Alt bağlantı kolu serbest kalır ve derinlik ayarı bağlanan alet üzerinden yapılır.		

Pullukla toprak işleme gibi ağır çeki işlerinde çeki kontrol kullanmak traktör motorunun düzgün ve optimal yüklenmesi ile ekonomik bir çeki gücü sağlar. Çeki direnci yükseldiğinde traktörde bulunan uyarı (impuls) iletici, hidrolik sistemi etkileyerek ekipmanı otomatik olarak yukarı kaldırır. Çeki direnci azaldığında ise

ekipman tekrar otomatik olarak indirilir. Bu sayede, çeki kuvvetinden daha iyi yararlanıldığı gibi patinaj da azaltılmış olur.

Toprak karakteri çok değişken olduğunda sürüm yaparken çeki kontrol durumunda çalışıldığında işleme derinliği devamlı değişmekte, pozisyon kontrol durumunda çalışıldığında ise ancak düz bir tarlada başarılı olunabilmektedir. Bu olumsuzlukları hafifletmek için çeki ve pozisyon kontrolünün beraber (karma kontrol) kullanılması gerekir. Bu durumda hidroliğe hem çeki kontroldeki hem de pozisyon kontroldeki uyarılar verilir.

1.4. Otomatik Kontrol Sistemleri

Otomatik kontrol türleri, kullanılacakları sistemin gerektirdiği hassasiyette çalışacak şekilde geliştirilmişlerdir ve aşağıdaki gibi çeşitlendirilebilirler:

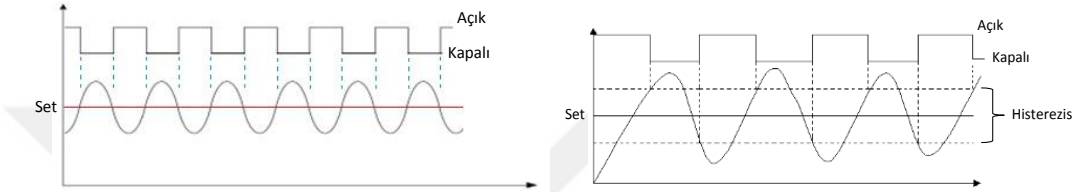
- Açık-Kapalı (On-Off) Kontrol
- Oransal (P) Kontrol
- Oransal + İntegral (PI) Kontrol
- Oransal + Türevsel (PD) Kontrol
- Oransal + İntegral + Türevsel (PID) Kontrol
- Zaman Oransal (Time Proportional) Kontrol
- Bulanık Mantık (Fuzzy) Kontrol

1.4.1. Açık-kapalı (On-off) kontrol

Açık-kapalı (On-off) kontrolde, kontrol sinyali sistem çıkışının ya tam açık ya da tam kapalı olmasını sağlar.

Şekil 1.12 (a)'da görüleceği gibi bu tip kontrolde, sistem çıkışı sürekli olarak kontrol edilir ve set değeriyle karşılaştırılır. Eğer sistem çıkışı set değerinden düşük kalmışsa giriş tam açılarak çıkışın yükselmesi (set değerine çıkması) beklenir. Çıkış set değerine ulaşınca giriş bu kez tam kapatılır. Bu işlemin tersi olarak, eğer sistem çıkışı set değerinden yüksekte ise, giriş tam kapatılarak çıkışın düşmesi (set değerine inmesi) beklenir. Çıkış set değerine ulaşınca giriş tekrar tam açılarak sistemin set değerinde kalması sağlanır. Bu tip kontrolde, eğer açma-kapama işlemi devamlı SET değeri etrafında olursa sistem çok sık aç-kapa yapmaya başlar ve kararsızlık yaşar. Bu durum hem sistemin kararsız çalışmasına hem de sistem elemanlarının çok kısa sürede tahrip

olmasına neden olabilir. Bu nedenle bu tür durumlarda set değeri geçişleri için Şekil 1.12 (b)'deki gibi bir histerezis aralığı oluşturulur. Bu sayede sistem çıkışının karşılaştırıldığı iki farklı değer oluşmuş olur. Sistem girişinin tam kapanması histerezis üst değerinde, tam açılması ise histerezis alt değerinde olur. Böylece sistem ani ve sık açma-kapamalardan ve de kararsızlıktan korunmuş olur. On-off kontrolörler basit yapıları ve ucuz maliyetleri nedeniyle günümüzde çokça tercih edilmektedir. Ancak hassas olmayan kontrol yetenekleri, bu kontrolörlerin önündeki en büyük engeli oluşturmaktadır (Berber, 2008).

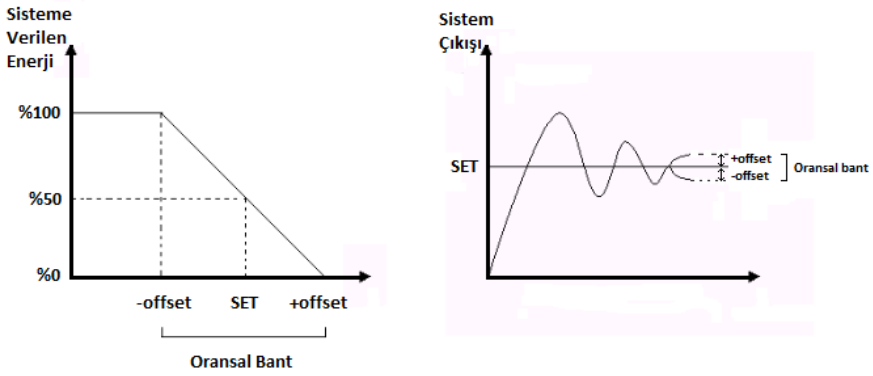


(a) (b)

Şekil 1.12. On-off kontrol çalışması (a) Standart on-off kontrol (b) Histerezis on-off kontrol

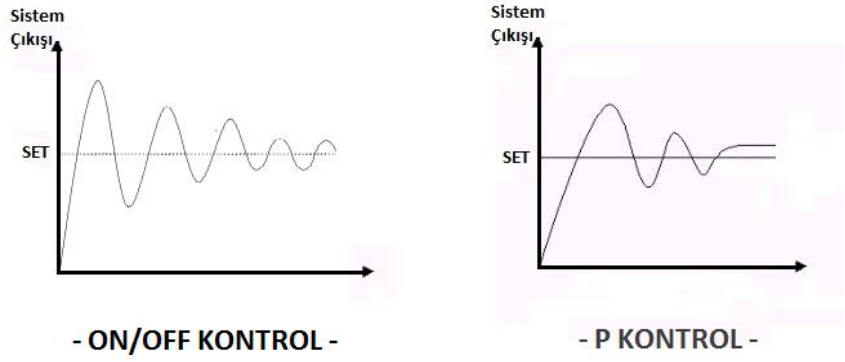
1.4.2. Oransal (P) kontrol

Oransal (P) kontrolde, sisteme gereksinim duyduğu oranda, sürekli enerji verilir. Sistem çıkışı için bir oransal bant belirlenir ve bu aralığın sağlanması için çıkışın %0'dan %100'e kadar ayarlanabildiği bir kontrol sinyali üretilir. Oransal bant belirlenen SET değeri etrafında olmalı, çok geniş ya da çok dar seçilmemelidir. Oransal bantın çok geniş seçilmesi kontrol sisteminin hatasını artırırken, çok dar seçilmesi sistemin on-off kontrol gibi çalışmasına ve kararsızlığa düşmesine neden olabilir. Şekil 1.13'te oransal (P) kontrolün çalışması ve oransal bant gösterilmiştir.



Şekil 1.13. Oransal (P) kontrol çalışması ve oransal bant

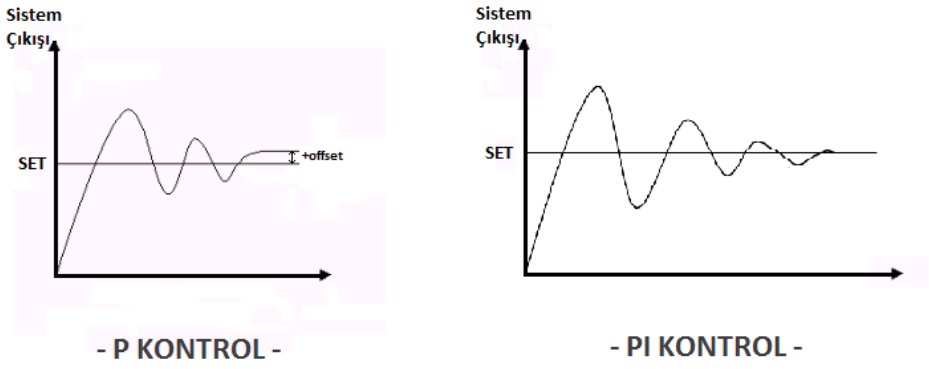
Şekil 1.13'te görüldüğü gibi, oransal kontrolde sistem çıkışı izlenerek SET değerinden sapması sürekli kontrol edilir. SET değerinden sapma miktarına göre, belirlenen ±offset değerlerine göre elde edilmiş oranda giriş sinyali uygulanarak girişin tekrar SET değerine dönmesi sağlanır. Şekil 1.14'te oransal kontrol ile on-off kontrol çıkışları birlikte verilmiştir. İki şekil karşılaştırıldığında, oransal kontrolün on-off kontroldeki gibi salınımlı ve kararsız durumlardan kurtulduğu ancak bir miktar hata ile çalıştığı görülmektedir (Berber, 2008).



Şekil 1.14. On-off kontrol ile P kontrol çıkışlarının karşılaştırılması

1.4.3. Oransal + integral (PI) kontrol

Oransal + integral (PI) kontrolde sistem çıkışının ölçülen değeri ile SET değeri arasındaki farkın zamana göre integrali alınır. Bu integral değeri offset değeri ile toplanır. Böylece oransal bant kaydırılır ve çıkış set değerine yerleştirilir. Burada amaç, P kontrolde meydana gelen offset değerini ortadan kaldırmaktır. Böylece çıkış sinyali SET değerine tam olarak yerleşmiş olacaktır. Şekil 1.15'te PI kontrolün çalışması ve P kontrol ile karşılaştırılması verilmiştir.

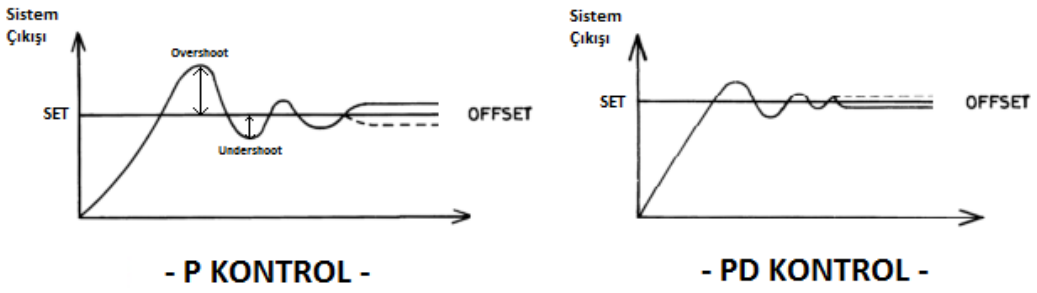


Şekil 1.15. PI kontrolün çalışması ve P kontrol ile karşılaştırılması

Şekil 1.15'te de görüldüğü gibi, PI kontrolde P kontrolün offset hatası giderilmiştir. Ancak PI kontrolde sistem çıkışının SET değerine yerleşme zamanındaki gecikme bir dezavantaj olarak devam etmektedir (Berber, 2008).

1.4.4. Oransal + türevsel (PD) kontrol

Oransal + türevsel (PD) kontrolde sistem çıkışı ile SET değeri arasındaki farkın türevi alınır. Bu türev değeri offset değeri ile toplanır. Böylece sistem çıkışında meydana gelen yüksekaşımlar (overshoot) ve yüksekdüşümler (undershoot) azaltılmış olur. Şekil 1.16'da PD kontrolün çalışması ve P kontrol ile karşılaştırılması verilmiştir.

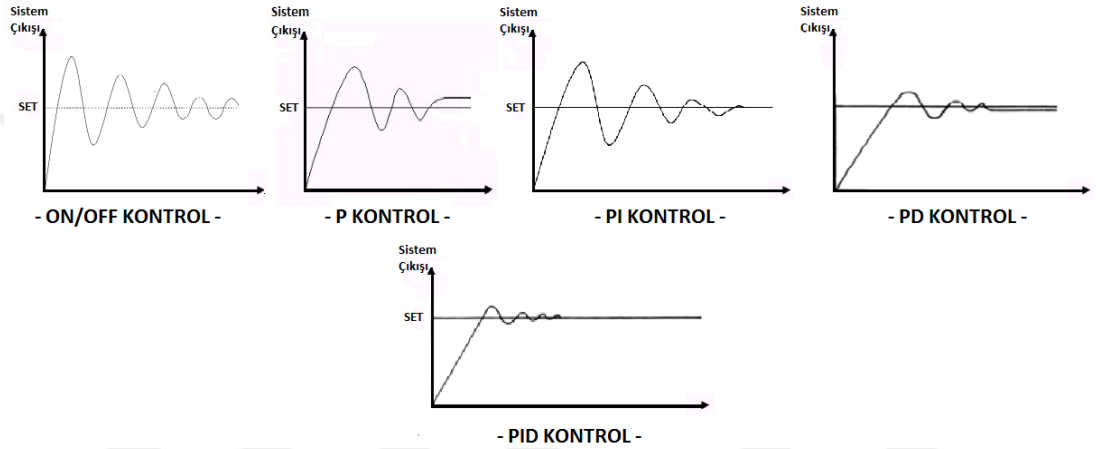


Şekil 1.16. PD kontrolün çalışması ve P kontrol ile karşılaştırılması

Şekil 1.16'da görüldüğü gibi, PD kontrolde P kontrolün overshoot ve undershoot hataları azaltılmıştır. Ancak sistem çıkışındaki offset hatası, azalmış dahi olsa, bir dezavantaj olarak devam etmektedir (Berber, 2008).

1.4.5. Oransal + integral + türevsel (PID) kontrol

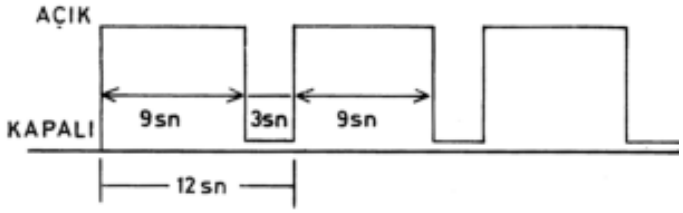
Oransal + integral + türevsel (PID) kontrol adından da anlaşılacağı gibi oransal kontrole hem türevsel kontrolün hem de integral kontrolün özellikleri eklenerek oluşturulur. Bu sayede hem sistemdeki offset değeri giderilmiş olur, hem de overshoot ve undershoot hataları minimize edilir. Bu sayede sistem çıkışı kısa bir sürede set değerine yerleşebilir (Berber, 2008). Şekil 1.17'de PID kontrolün çıkışı ve diğer kontrol çıkışlarıyla karşılaştırması verilmiştir.



Şekil 1.17. PID kontrolün çalışması ve diğer kontrol çıkışları ile karşılaştırılması

1.4.6. Zaman oransal (TP) kontrol

Zaman oransal (TP) kontrol, kontrol formları içinde özellikle elektrik enerjisi ile çalışan sistemlerde en yaygın kullanılan kontrol formlarından birisidir. Zaman oransal kontrolde enerji yüke belli bir periyodun yüzdesi olarak verilir. Şekil 1.18'de TP kontrol için kontrollü giriş sinyali verilmiştir.



Şekil 1.18. TP kontrol giriş sinyal örneği

Şekil 1.18'de de görüldüğü gibi giriş sinyalinin kontrolü on-off kontrolde olduğu gibi aç-kapa şeklindedir. Burada asıl kontrol edilen şey ise on (aç) ve off (kapa) sürelerinin uzunluğudur. Bu tip çıkış en uygun biçimde, son kontrol elemanı anahtarlama elemanı (triak, tristör vb.) olan proseslerde görülür.

1.4.7. Bulanık mantık (Fuzzy) kontrol

Bulanık mantık (Fuzzy) kontrol insan düşünce yapısına paralel bir yapıya sahiptir. Bulanık mantık yaklaşımı ilk kez Zadeh (1965) tarafından ortaya konmuş ve günümüze kadar başta kontrol sistemleri olmak üzere birçok alanda bulanık mantık uygulamaları ortaya çıkmıştır (Çarman, 2008; Ćirović ve Aleksendrić, 2013; Abbaspour-Gilandeh ve Sedghi, 2015). Bulanık mantık kontrolde uzman kişilerin deneyimlerine, bilgi ve tecrübelerine başvurularak EĞER (Durum) ise O HALDE (Sonuç) şeklinde bir kural tabanı oluşturulur. Oluşturulan bu kural tabanı kesin ifadelerden ziyade bulanık ifadeler içerir.

EĞER Giriş "Var" ise O HALDE Çıkış "Yok" klasik bir yaklaşımdır. Burada kullanılan iki ifade, "Var" ve "Yok", kesin ifadelerdir. Oysa bulanık yaklaşımda kurallar; EĞER Giriş "Az" ise O HALDE Çıkış "Orta"; EĞER Giriş "Orta" ise O HALDE Çıkış "Az"; EĞER Giriş "Çok" ise O HALDE Çıkış "Çok Az" … şeklinde ortaya konulmaktadır. Böylece "Az", "Çok", "Orta" … gibi kesin olmayan dilsel bilgilerin kullanılması, kontrol sisteminin bir insan gibi düşünebilmesini sağlamaktadır (Baykal ve Beyan, 2004).

Bulanık mantıkta sistem verileri bir kümeye dahil edilerek değerlendirilir. Klasik mantığa göre bir eleman bir kümeye ya tamamen aittir, yani o kümenin elemanıdır; ya da hiçbir şekilde o kümeye ait değildir, yani o kümenin elemanı değildir. Buna göre; o elemanın üyelik derecesi eğer 1 ise, eleman kümenin elemanıdır, yani kümeye aittir; eğer 0 ise, eleman kümenin elemanı değildir, yani kümeye ait değildir. Bu yüzden klasik mantıkta kümelere üyelik derecesi sadece 0 ve 1 değerini alır (Görgülü, 2007). Bulanık mantığa göre ise, bir eleman, bir kümeye tamamen ait olabilir, hiçbir şekilde ait olmayabilir, bunun yanında kümeye belirli bir derecede ait olabilir veya olmayabilir. Şöyle ki; bir elemanın kümeye ait olma derecesi 0 olabilir, elemanın kümeye ait olmadığını gösterir; 1 olabilir, elemanın kümeye tamamen ait olduğunu gösterir; 0-1 arasında ara değerler olabilir, elemanın kümeye kısmen ait olduğunu veya olmadığını gösterir. Bu nedenle bulanık mantıkta üyelik derecesi 0 ve 1 aralığında tüm değerleri

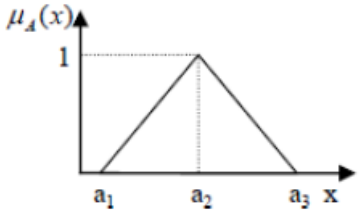
alabilir. Klasik ve bulanık mantıkta üyelik derecelerinin gösterimi Şekil 1.19'da görülmektedir.



Şekil 1.19. Klasik ve bulanık küme farkı (Uçuk, 2009)

Bulanık mantıkta bir elemanın ait olduğu kümedeki üyelik derecelerini üyelik fonksiyonları adı verilen eğriler gösterir. Bu eğrilerde X ekseni kümenin elemanlarını gösterirken, Y ekseni elemanın o kümedeki üyelik derecesini gösterir. Bulanık kümedeki her eleman belli bir derecede üyeliğe sahiptir. Üyelik fonksiyonları için standart, tek bir şekil yoktur. Kullanıcının ihtiyacına göre farklı şekillerde üyelik fonksiyonları belirlenebilir. Örneğin bir sistemde hassasiyet önemli ise üçgen üyelik fonksiyonu tercih edilirken, değişimin çok hızlı olması istenilen durumda yamuk üyelik fonksiyonu tercih edilebilir (Teker, 2008). Üyelik fonksiyonu olarak kullanılan üçgen, yamuk, gaussian, çan eğrisi, s, z, pi, sigmoid, cauchy, trapez gibi birçok şekil vardır. Bunların arasında üçgen, yamuk ve gaussian en çok kullanılan üç üyelik fonksiyonudur (Passino ve ark., 1998).

Şekil 1.20'de verilen üçgen üyelik fonksiyonu a_1, a_2 ve a_3 olmak üzere üç parametre ile tanımlanır.



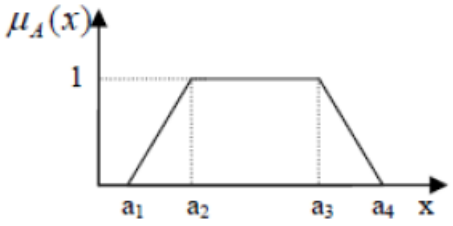
Şekil 1.20. Üçgen üyelik fonksiyonu (Uçuk, 2009)

Üçgen üyelik fonksiyonu;

$$\mu_A(x; a_1, a_2, a_3) = \begin{cases} a_1 \leq x \leq a_2 \Rightarrow (x - a_1)/(a_2 - a_1) \\ a_2 \leq x \leq a_3 \Rightarrow (a_3 - x)/(a_3 - a_2) \\ x > a_3 \; ve \; x < a_1 \Rightarrow 0 \end{cases} \quad (1.19)$$

şeklinde tanımlanır (Uçuk, 2009).

Yamuk üyelik fonksiyonu ise Şekil 1.21'de verilmiştir. Fonksiyon a_1, a_2, a_3 ve a_4 olmak üzere dört parametre ile tanımlanır.

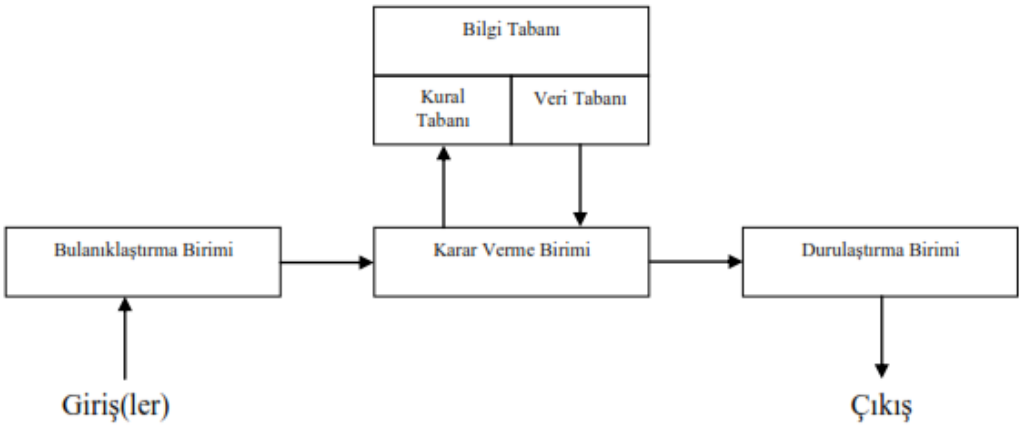


Şekil 1.21. Yamuk üyelik fonksiyonu (Uçuk, 2009)

Yamuk üyelik fonksiyonu aşağıdaki şekilde tanımlanır (Uçuk, 2009).

$$\mu_A(x; a_1, a_2, a_3, a_4) = \begin{cases} a_1 \leq x \leq a_2 \Rightarrow (x - a_1)/(a_2 - a_1) \\ a_2 \leq x \leq a_3 \Rightarrow 1 \\ a_3 \leq x \leq a_4 \Rightarrow (a_4 - x)/(a_4 - a_3) \\ x > a_4 \; ve \; x < a_1 \Rightarrow 0 \end{cases} \quad (1.20)$$

Bulanık mantık denetleyiciler Şekil 1.22'de görüldüğü gibi dört temel arabirimden oluşur.

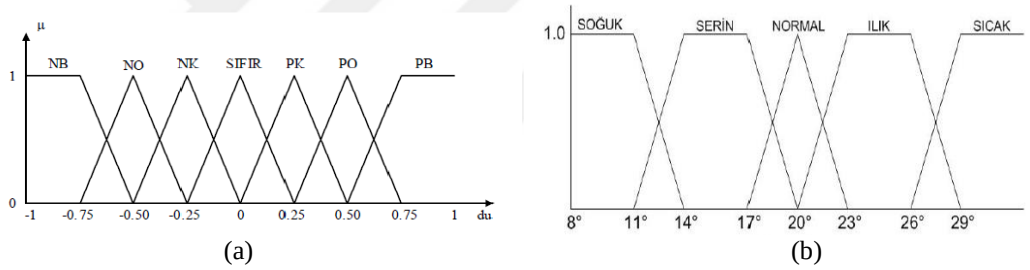


Şekil 1.22. Bulanık mantık denetleyici temel yapısı (Soylu, 2013)

Bulanıklaştırma biriminin görevi girişten alınan kesin giriş değerlerini bulanık değerlere dönüştürmektir. Bu birimde; giriş değişkenlerinin gerçek zamanda ölçümlerinin alınması, giriş değişkenlerinin sabit bir sayıyla çarpılması ya da bölünmesi gibi işlemlerle ölçeklendirme yapılması, seçilen dilsel uzayın kesikli hale

dönüştürülmesi, ölçümü yapılan reel giriş değişkenlerinin her birisinin o değişkene ait söylem uzayına göre dilsel değişkenlere dönüştürülmesi ve bunlara ait üyelik değerlerinin bulunması gibi işlemler gerçekleştirilmektedir (Ömür, 2009).

Bulanıklaştırma biriminde giriş değişkenlerinin bulanık değerlere dönüştürülmesi, uygun bir üyelik fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilir. Üyelik fonksiyonları denetlenecek sistemin durumuna göre uygulayıcı tarafından seçilir. Bulanıklaştırma biriminde her bir giriş/çıkış değişkeni için genel olarak 3, 5, 7 … gibi tek sayılardan oluşan adetlerde bulanık küme ve üyelik fonksiyonu bulunur. Bu giriş/çıkış değişkenleri tek bir çeşit üyelik fonksiyonundan oluşmanın yanı sıra, birkaç çeşit üyelik fonksiyonunun karışımından da oluşabilir (Soylu, 2013). Şekil 1.23 (a)'da sadece üçgen üyelik fonksiyonlarından oluşan, Şekil 1.23 (b)'de ise üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonlarının karışımından oluşan iki farklı üyelik fonksiyonu gösterilmiştir. Görülebileceği gibi bunlardan birisi 7 üyelik fonksiyonundan, diğeri ise 5 üyelik fonksiyonundan meydana gelmiştir.



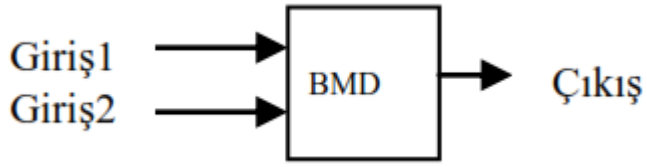
(a) (b)

Şekil 1.23. Üyelik fonksiyonları a) 7 elemanlı üçgen üyelik fonksiyonu (Uçuk, 2009) b) 5 elemanlı üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonu (Ömür, 2009)

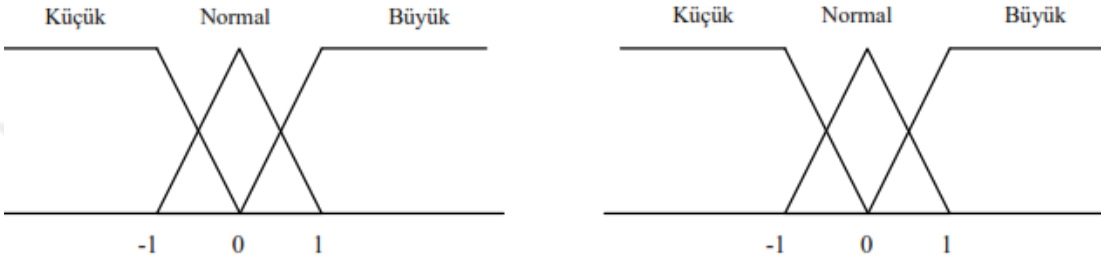
Bilgi tabanı, üyelik fonksiyonlarıyla ilgili bilgileri barındıran bir "veri tabanı" ve değişik giriş değerleri için tespit edilmiş olan kontrol çıkış bilgilerini içeren "kural tabanı"ndan oluşur. Kural tabanında EĞER "Durum" ise O HALDE "Sonuç" şeklinde cümleler yer alır. Kurallar olarak adlandırılacak bu cümleler uzman bilgileri ile elde edilir (Lafont ve Balmat, 2002). Kural tabanına; diğer kurallardan bağımsız olarak yeni kurallar eklenebilir ve eski kurallar da diğer kurallardan bağımsız olarak değiştirilebilir (Alkan, 2011).

Bilgi tabanındaki kurallar her bir giriş için tanımlanan üyelik fonksiyonlarının kartezyen çarpımları ile elde edilir. Bu nedenle bir bilgi tabanında, girişlerdeki üyelik fonksiyonlarının sayılarının çarpımı kadar kural bulunmalıdır. Şekil 1.24'te iki girişli

bir bulanık mantık denetleyici yapısı; Şekil 1.25 (a) ve Şekil 1.25 (b)'de ise iki girişe ait üyelik fonksiyonları verilmiştir.



Şekil 1.24. İki girişli ve tek çıkışlı bulanık mantık denetleyici (BMD) (Soylu, 2013)



Şekil 1.25. Bulanık kümeler (üyelik fonksiyonları) (a) Birinci giriş (b) İkinci giriş (Soylu, 2013)

Şekil 1.24'te verilen şekilde bir bulanık mantık denetleyici ve Şekil 1.25'te verilen giriş üyelik fonksiyonlarına göre oluşturulacak bir kural tabanı Çizelge 1.5'teki gibi örneklenebilir.

Çizelge 1.5. Rastgele oluşturulmuş kural tablosu (Soylu, 2013)

		Giriş1		
		Küçük	Normal	Büyük
Giriş2	Küçük	Küçük	Küçük	Normal
	Normal	Küçük	Normal	Büyük
	Büyük	Normal	Büyük	Büyük

Çizelge 1.5'te verilen kurallar açık bir şekilde yazılırsa;

1. EĞER Giriş1 "Küçük" VE Giriş2 "Küçük" ise O HALDE Çıkış "Küçük"
2. EĞER Giriş1 "Küçük" VE Giriş2 "Normal" ise O HALDE Çıkış "Küçük"
3. EĞER Giriş1 "Küçük" VE Giriş2 "Büyük" ise O HALDE Çıkış "Normal"
4. EĞER Giriş1 "Normal" VE Giriş2 "Küçük" ise O HALDE Çıkış "Küçük"
5. EĞER Giriş1 "Normal" VE Giriş2 "Normal" ise O HALDE Çıkış "Normal"
6. EĞER Giriş1 "Normal" VE Giriş2 "Büyük" ise O HALDE Çıkış "Büyük"
7. EĞER Giriş1 "Büyük" VE Giriş2 "Küçük" ise O HALDE Çıkış "Normal"

8. EĞER Giriş1 “Büyük” VE Giriş2 “Normal” ise O HALDE Çıkış “Büyük”

9. EĞER Giriş1 “Büyük” VE Giriş2 “Büyük” ise O HALDE Çıkış “Büyük”

şeklinde toplam 9 adet kuralın (1. Giriş için 3 üyelik fonksiyonu, 2. Giriş için 3 üyelik fonksiyonu olmak üzere, toplamda 3x3=9 adet kural) ortaya çıktığı görülmektedir.

Karar verme birimi, girişten uygulanan ve bulanıklaştırma biriminden geçerek gelen bulanık verileri, bilgi tabanında bulunan kural tabanını ve veri tabanını kullanarak işleyen ve elde edilen bulanık verileri durulaştırma birimine durulaştırılmak üzere sunan birimdir.

İşleyişte öncelikle veri tabanı yardımıyla gelen verilerin hangi kümelere ne oranda ait oldukları belirlenir. Sonrasında kural tabanından ilgili kurallar seçilir ve çıkarımlar yapılır. Daha sonra yine veri tabanı yardımıyla kurallar sonucu elde edilen sonuçların hangi kümelere ne oranda ait olduğu belirlenerek bulanık veriler elde edilir ve durulaştırma birimine sunulur. Karar verme biriminde bu işleyiş için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlere örnek olarak Mamdani, Larsen ve Takagi-Sugeno-Kang (TSK) verilebilir. Mamdani yöntemi bu yöntemler arasında en yaygın kullanılan yöntemdir.

Min-Max (Minimum-Maksimum) çıkarım olarak da bilinen Mamdani yönteminde VE (AND) ile bağlanmış değişkenlerin minimumları (en küçükleri) alınırken VEYA (OR) ile bağlanmış değişkenlerin ise maksimumları (en büyükleri) alınır (Alkan, 2011).

Bu yöntemin kural yapısı;

EĞER $X_1=A_{11}$ VE $X_2=A_{21}$ ise O HALDE $Y=B_1$

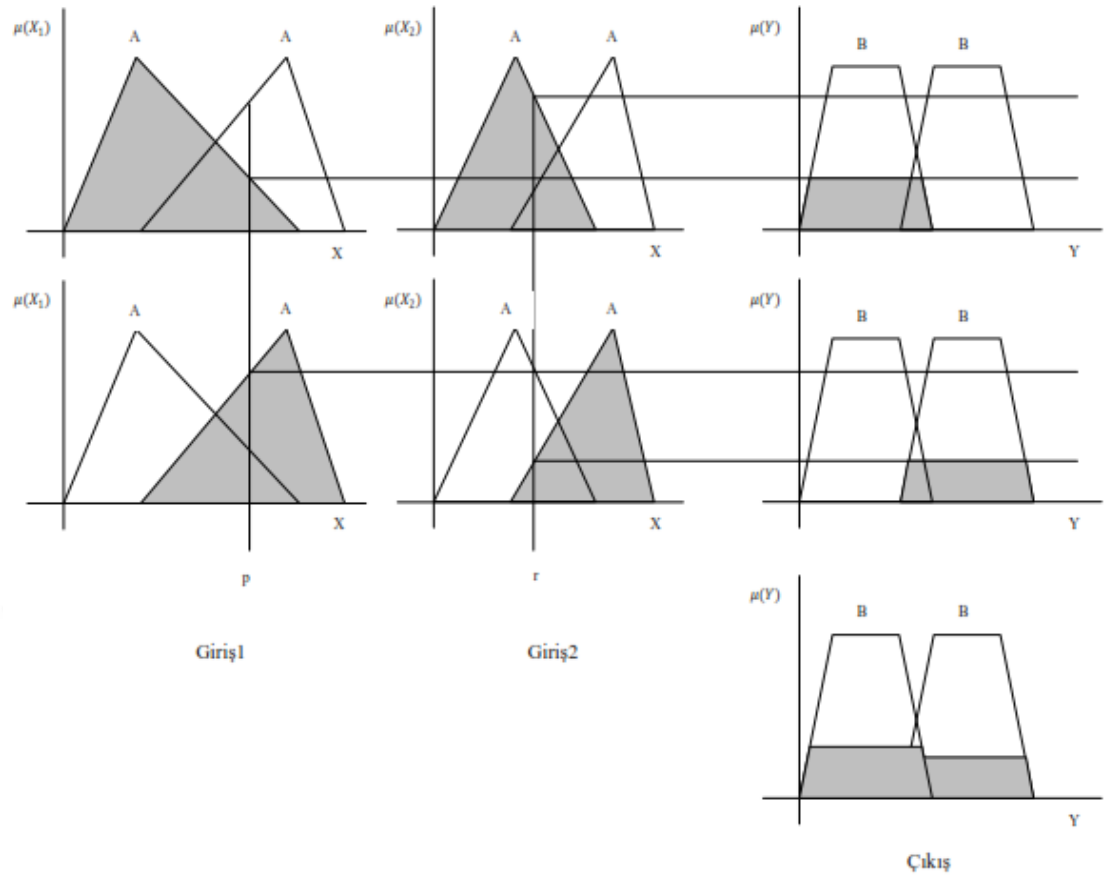
EĞER $X_1=A_{12}$ VE $X_2=A_{22}$ ise O HALDE $Y=B_2$

şeklindedir. Burada X_1 ve X_2 giriş değişkenlerini, Y ise çıkış değişkenini ifade eder. Ayrıca A_{11}, A_{12}, A_{21}, A_{22} giriş ve B_1, B_2 de çıkış üyelik fonksiyonlarıdır.

Verilen kurallar ışığında $X_1=p$ ve $X_2=r$ için Mamdani yöntemine göre çıkış ifadesi Eşitlik 1.21’deki gibi olacaktır.

$$\mu_{B^k}(y) = \max_k \left\{ min \left[\mu_{A_1^k}(p), \mu_{A_2^k}(r) \right] \right\} \; k = 1, \dots, giriş\ sayısı \qquad (1.21)$$

İki giriş ve tek çıkıştan oluşan bir sistemin, mamdani yöntemi ile karar verme işleyişi Şekil 1.26’daki gibi gösterilebilir.



Şekil 1.26. Mamdani yöntemi ile karar verme birimi işleyişi (Soylu, 2013)

Şekil 1.26'daki gösterimden de izlenebileceği üzere X_1=p ve X_2=r için, p değerinin hem A_{11}, hem de A_{12}'ye; r değerinin de hem A_{21}, hem de A_{22}'ye üye olduğu görülür ve A_{11}, A_{12}, A_{21} ve A_{22}'nin bulunduğu tüm kuralların denenmesi gerekir. Bu durumda örnek sistemimizde bulunan iki kural da denenecektir. Kurallarda değişkenler VE ile bağlandığı için ilgili üyelik derecelerinin minimum değerleri alınacaktır.

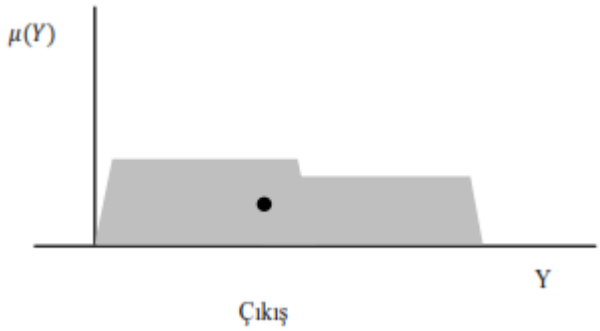
Birinci kuralda p'nin A_{11}'e olan üyeliği, r'nin A_{21}'e olan üyeliğinden daha küçük olduğu için, B_1'in; üyelik değeri, p'nin A_{11}'e olan üyelik değerine eşit veya daha küçük olan elemanları taranır. İkinci kuralda da r'nin A_{22}'ye olan üyeliği, p'nin A_{12}'ye olan üyeliğinden daha küçük olduğu için, B_2'nin; üyelik değeri, r'nin A_{22}'ye olan üyelik değerine eşit veya daha küçük olan elemanları taranır. Daha sonra elde edilen iki çıkış, bulanık kümelerde birleşim kuralına göre birleştirilerek işleyiş tamamlanır (Soylu, 2013).

Bulanık mantık denetleyicinin en son aşaması olan durulaştırma birimi sonuç değerlerinin bulanık bir küme olarak elde edildiği Mamdani ve Larsen yöntemi gibi

yöntemlerde kullanılır. Sonuç değerlerinin kesin olarak elde edildiği Takagi-Sugeno-Kang yöntemi gibi yöntemlerde bu birime ihtiyaç yoktur (Uçuk, 2009).

Durulaştırma işlemi için ağırlık merkezi yöntemi, ağırlıklı ortalama yöntemi, toplamların merkezi yöntemi gibi birçok durulaştırma yöntemi vardır. En çok tercih edilen durulaştırma yöntemi Ağırlık Merkezi Yöntemi'dir (Alkan, 2011).

Alanların merkezi yöntemi veya alanın merkezi yöntemi (Center of Area - CoA) olarak da bilinen ağırlık merkezi yönteminde çıkış, karar verme biriminde elde edilen çıkış kümelerinin ağırlık merkezi bulunarak hesaplanır. Şekil 1.27'de gösterilen çıkış için ağırlık merkezi, Eşitlik 1.22'deki bağıntı ile hesaplanır.



Şekil 1.27. Ağırlık merkezi yöntemi ile elde edilen çıkış (Soylu, 2013)

$$Çıkış = \frac{\int \mu(y) \cdot y}{\int \mu(y)} \quad (1.22)$$

Eşitlik 1.22'de y değerleri karar verme biriminde elde edilen çıkıştaki bulanık kümenin elemanlarını, μ(y) değerleri ise bu elemanların üyelik derecelerini belirtir. Hesap sonucunda elde edilecek değer, sistemin gerçek (kesin) çıkış değerini verir.

1.5. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Tarımsal üretimde toprak işleme gerek yüksek enerji girdisi ve gerekse de düşük iş başarısı (<0.4 ha gün^{-1}) nedeniyle önemli bir maliyettir. Ülkemizde buğday üretiminde toplam enerji girdisi 14530 MJ ha^{-1} olup, geleneksel toprak işlemenin payı %16 olarak ortaya çıkmaktadır (Marakoğlu ve Çarman, 2012). Benzer şekilde Yunanistan'da ayçiçeği üretiminde tüketilen toplam yakıt miktarının %32.6'sı birincil toprak işlemede harcanmaktadır (Kallivroussis ve ark., 2002).

Her geçen gün azalan kaynaklar ve artan akaryakıt fiyatları, tarımsal faaliyetlerde enerji verimliliği için farkındalığın artmasına neden olmaktadır. Ülkemizde, 2019 yılında toplam 33,275,214 m^3 akaryakıt harcanmış ve bunun yaklaşık 30,047,434 $m^{3'}$nü motorin oluşturmuştur (Anonim, 2020d). Türkiye'de 2019 yılında tarla tarımı yaklaşık 15.4 milyon ha alanda yapılmıştır. Bu alanın çok büyük kısmında geleneksel toprak işleme (pulluk+ikileme) uygulanmıştır. Bununla birlikte sebze ve meyve tarımının yapıldığı alanların da önemli bir kısmında geleneksel toprak işleme uygulanmıştır (Anonim, 2020a). Tarla tarımında toprak işlemeye bağlı olarak yıllık ortalama yakıt tüketimi ise yaklaşık (geleneksel toprak işlemede yaklaşık 50 L ha^{-1} yakıt tüketimi dikkate alındığında) 750 milyon litre ile ülkemizde toplam tüketilen motorinin %2.5'ini oluşturmuştur (Marakoglu ve Carman, 2010). Buradan görülmektedir ki, toprak işleme için ortaya çıkan yakıt tüketiminde sağlanabilecek %1'lik bir tasarruf ile ülke ekonomisine yılda yaklaşık 750 milyon dolar katkı sağlanabilecektir (1 L motorin = 1 $ olarak hesaplanmıştır).

Toprak işlemede traktörlerin çalışma verimliliği, büyük ölçüde traktör ilerleme hızını ve ekipman çalışma derinliğini ayarlayan sürücülere bağlıdır. Toprak işleme derinliğindeki 1cm'lik artış, yakıt tüketimini 0.5-1.5 L ha^{-1} artırmaktadır (Filipovic ve ark., 2004; Moitzi ve ark., 2006). Bu nedenle, sürücünün çalışma parametrelerini doğru şekilde ayarlayabilmesi son derece önemlidir. Sürücünün hislerinde ve müdahalesinde meydana gelen gecikmeler traktör motorunun zorlanmasına, tekerleklerin daha fazla patinajda kalmasına ve traktöre bağlı olan ekipmanın yıpranmasına neden olmaktadır. Ayrıca bu durum hem traktör aksamının (motor, lastikler vb) hem de bağlı ekipmanların ömrünün kısalmasına, yakıt maliyetinin artmasına, toprağın sıkışmasına ve sürücünün daha çok yorulmasına sebebiyet vermektedir (Zoz ve Grisso, 2003).

Sürücü toprak işleme esnasında, değişken toprak tabakası veya toprakta karşılaşılan çeşitli engeller (taş, kök vb.) nedeniyle traktörde bir yüklenme hissederse, toprak işleme ekipmanın çalışma derinliğini azaltarak traktörün bu durumdan kurtulmasını sağlar. Bu müdahale için traktör hidrolik ayar kolunu bir miktar kaldırır. Yüklenme geçtiğinde ise aynı kolu bu kez indirerek çalışma derinliğini artırır ve toprak işlemesine devam eder. Bu durum tarla toprak koşullarına göre çeşitli sıklıklarla gerçekleşir. Günümüz traktörlerinde bu gibi zorlanma durumlarının oluşması neticesinde hem traktörü hem de bağlı bulunan ekipmanı güvenli kılmak için, aşırı yüklenme durumlarında, zorlanma ortadan kalkıncaya kadar ekipmanın yukarı kaldırılmasını ve sonrasında tekrar istenilen derinliğe batırılmasını sağlayan çeki kontrol

sistemleri mevcuttur. Ancak, bu sistemin algılama eşik değeri büyüktür ve yüksek çeki kuvvetlerinde devreye girmek üzere ayarlanmıştır. Bununla birlikte, sistem ekipmanı aşırı yüklenme geçinceye kadar kaldırır ve yüklenme bittiğinde tekrar eski haline getirir (Uymaz, 2014). Bu nedenle de toprak işleme derinliklerinde büyük miktarlarda ve uzun süreli değişikler oluşmaktadır. Yüksek eşik değerine sahip çeki kontrol sistemlerinden daha hassas algılama yapılabilmesi ve hidrolik sistemin sadece çok yüksek değerlerde devreye girmek yerine, istenilen sınır değerlerde sınırlı tepkiler verebilmesi yukarıda bahsedilen tüm olumsuz durumların minimize edilmesi veya hiç ortaya çıkmaması için iyi bir yöntem olacaktır.

Bu çalışmada, traktörde meydana gelen patinajın elektronik sensörler yardımıyla anlık olarak ölçülmesi ve patinaj miktarının istenilen belli aralıklarda kalabilmesi için üç nokta askı sistemine bağlı olan ekipmanın çalışma derinliğinin otomatik olarak ayarlanması amaçlanmaktadır. Bunun için on-off ve bulanık mantık denetleyicili iki farklı otomatik kontrol sistemi ile patinaj durumunu sürücüye bildirecek bir sürücü uyarı sistemi tasarlanmıştır. Yapılan denemeler ile çalışma hızları, meydana gelen patinajlar, yakıt tüketimleri, çeki kuvvetleri ve toprak işleme derinlikleri ölçülmüş, tasarlanan kontrol sistemlerinin ve sürücünün performansları karşılaştırılmıştır.

Çalışmada tasarlanan bulanık mantık kontrol sistemi, toprak işleme faaliyetleri esnasında patinajın otomatik olarak kontrol edilmesi için kullanılacak yeni bir tekniktir. Bu sistem gerek uluslararası literatüre ve gerekse de traktör sanayine önemli bir katkı sağlayacaktır. Sistemin mevcut traktörler üzerine de monte edilebilir olması ve düşük maliyeti, tüm traktör sahiplerinin bu sistemi kullanabilmelerine imkan sunacaktır. Tasarlanan sistemin, bulanık mantık denetleyicilerin hassas kontrol karakteristikleri sayesinde mevcut çeki kontrol sistemlerine ve daha önce tasarlanmış klasik kontrol veya uyarı sistemlerine nazaran daha verimli bir toprak işleme imkanı sunması beklenmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

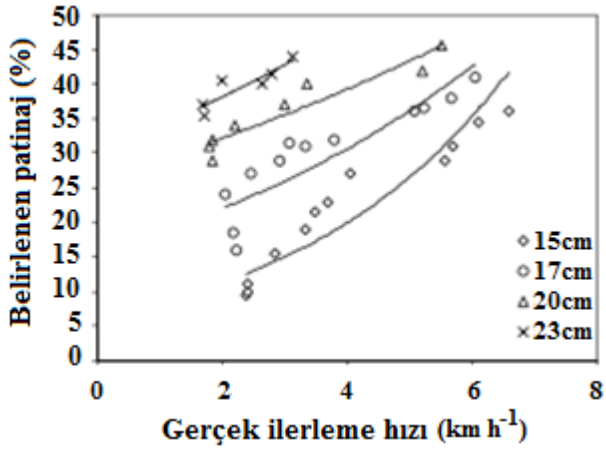
2.1. Patinaj ve Yakıt Ölçme Sistemleri

Literatür incelendiğinde, traktörlerde meydana gelen patinajı ölçmek için birçok elektronik sistem tasarlandığı görülmüştür. Bu sistemlerde muharrik tekerleklerin hızlarını belirlemek için genel olarak yaklaşım sensörleri veya encoderler kullanılmıştır. Yaklaşım sensörleri kullanılan yöntemlerde muharrik tekerler üzerinde bulunan algılanabilir noktalardan (bijonlar, jantta bulunan delikler ya da janta monte edilen mıknatıslar) faydalanılmıştır. Bu yöntem için tasarım basittir ve kurulumu kolaydır. Encoderler ise direkt olarak jant göbeğine monte edilerek kullanılmıştır. Gerçek hızı ölçmek için çoğunlukla doğrudan radar hız ölçüm cihazları ya da GPS alıcılar kullanılmış veya traktöre monte edilen beşinci bir tekerlekten faydalanılmıştır. Bir diğer yöntem olarak da traktörün muharrik olmayan tekerleğinden gerçek hız ölçümü yapılmıştır (Al-Janobi ve Al-Suhaibani, 1998; Al-Suhaibani ve ark., 2010; Pranav ve ark., 2012; Kumar ve Raheman, 2015; Dilay ve ark., 2016; Kumar ve ark., 2016; Kumar ve ark., 2017).

Yapılan çalışmalar incelendiğinde yakıt ölçümü için genel olarak iki farklı ölçüm tekniğinin tercih edildiği görülmüştür. Birinci teknikte yakıt gidiş ve dönüş hattına bağlanan akış metreler (flow-meter) ile motorda harcanan yakıt miktarı hesaplanmış; ikinci teknikte ise bir ölçüm kabı ile yakıt ölçülerek motora gönderilmiştir.

Moitzi ve ark. (2006), Avusturya bölgesinde traktörle toprak işleme faaliyetleri esnasında 2WD ve 4WD çalışmanın ve değişen toprak işleme derinliğinin, patinaja, yakıt tüketimine ve alan iş başarısına olan etkisini araştırmışlardır. Araştırmada bir pulluk ve bir kültivatörle denemeler yapılmış ve toprak işleme aletlerinin işledikleri alan kapasitelerine ve taşıdıkları toprak miktarına göre enerji (yakıt) tüketimleri karşılaştırılmıştır. Çalışmada traktörün gerçek ilerleme hızını belirlemek için bir radar hız ölçüm cihazı ve muharrik tekerlek hızlarını belirlemek için endüktif sensörler kullanılmıştır. Ayrıca yakıt tüketiminin ölçülmesi için de yakıt tankından motora giden ve motordan yakıt tankına dönen yakıt hatları üzerine akış metreler monte edilmiştir. Çalışma sonucunda, pullukla toprak işlemede 4WD çalışmanın, 2WD çalışmaya göre, patinajda %50 azalmaya, yakıt tüketiminde de yaklaşık %10'luk bir tasarrufa imkan sağladığı belirtilmiştir. Ayrıca sonuçlar incelendiğinde çalışma derinliği arttıkça patinajın genelde arttığı, buna bağlı olarak da yakıt tüketiminin yükseldiği görülmüştür.

Raheman ve Jha (2007), 2WD traktörler için bir patinaj ölçme sistemi geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri sistemde traktörün gerçek ilerleme hızı gaz kelebeği ve vites konumuna göre belirlenmiş, arka tekerleklerin hızları ise proximity sensörler yardımıyla ölçülmüştür. Ölçülen iki hızın karşılaştırılmasıyla patinaj hesaplanmıştır. Çalışmada, yüksüz traktörün sert yüzeydeki patinaj miktarının sıfır olduğu izlenmiştir. Ayrıca pullukla farklı toprak işleme derinliklerinde ve ilerleme hızlarında yapılan toprak işleme çalışmalarında, traktör hızının ve toprak işleme derinliğinin artmasıyla patinaj miktarının arttığı görülmüştür (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Traktör hızı ve çalışma derinliği ile patinaj değişimi

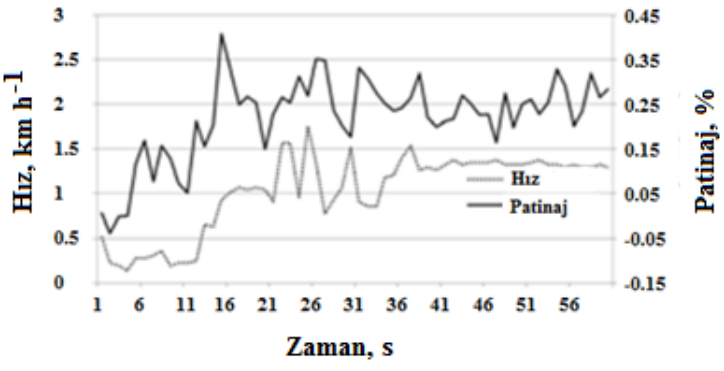
Pranav ve ark. (2010), 2WD traktörler için bir dijital patinaj ölçme sistemi geliştirmişlerdir. Sistemde traktörün gerçek ilerleme hızı sol ön tekerleğe bağlı bir encoder ile ölçülmüştür. Muharrik arka tekerleklerin hızları ise arka tekerleklere bağlanan encoderler ile ayrı ayrı belirlenmiştir (Şekil 2.2). Kullanılan encoderler, optik algılama yaparak elektriksel darbe sayan sensörlerden oluşmaktadır. Traktörde meydana gelen patinaj miktarını belirlemek için iki arka tekerlek hızının ortalaması alınmış ve ön tekerlekten gelen gerçek ilerleme hızı ile karşılaştırılmıştır. Geliştirilen sistem önce laboratuvar ortamında simule edilmiş daha sonra gerçek tarla koşullarında denenmiştir. Laboratuvar denemelerinde, gerçek değerler ile ölçülen değerler karşılaştırılmış, gerçek ilerleme hızında 0.04 m s^{-1} ve patinajda %2 farklılık (maksimum) görülmüştür. Tüm laboratuvar denemelerinde, gerçek değerler ile ölçülen değerler arasındaki korelasyonun 0.99'dan fazla olduğu hesaplanmıştır. Sistemin gerçek tarla uygulamalarında ise, minimum %89 korelasyon (gerçek patinaj %10.53, ölçülen patinaj %10.38) ve maksimum %99 korelasyon (gerçek patinaj %31.69, ölçülen patinaj %31.70) ortaya

çıkmıştır. Bu durum, sistemin yüksek patinaj değerleri ölçmede daha hassas çalıştığını göstermiştir.



Şekil 2.2. Encoder bağlantıları

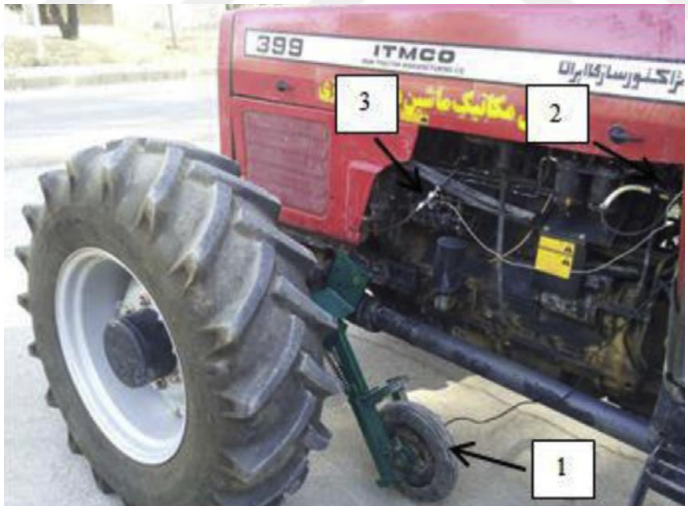
Zhixiong ve ark. (2013), 4WD traktörler için bir patinaj ölçme sistemi tasarlamışlardır. Tasarlanan ölçme sistemi bir radar hız ölçüm cihazı ve tüm tekerleklere monte edilmiş dört encoderden oluşturulmuştur. Denemelerde farklı toprak işleme derinlikleri, farklı traktör yükleri ve farklı ilerleme hızları için patinaj değerleri ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Tasarlanan ölçme sisteminin gerçek tarla denemelerinde %1.5-2.7 hata aralığında çalıştığı görülmüştür. Çalışma sonucunda çalışma derinliği 0 cm iken patinaj miktarının %3-9; 5 cm iken %8-19; 15 cm iken %13-40 ve 20 cm iken %27-51 aralığında değiştiği izlenmiştir. Bu değerler toprak işleme derinliğinin artmasıyla patinaj miktarının da artış sergilediğini göstermiştir. Ayrıca 20 cm toprak işleme derinliği için yapılan denemeler sonucunda, sürüş hızının artmasıyla patinaj miktarının da arttığı belirtilmiştir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. 20 cm toprak işleme derinliği için hız ve patinaj miktarı

Moitzi ve ark. (2014), dört farklı toprak işleme aleti (kulaklı pulluk, diskli pulluk, kültivatör ve dipkazan) için, farklı toprak işleme derinliklerinde yakıt tüketimi, patinaj ve alan iş başarısı değerlerini ölçmüş ve karşılaştırmıştır. Çalışmada traktörün gerçek ilerleme hızı bir radar hız ölçüm cihazı ile, muharrik tekerlek hızları endüktif sensörler ile, yakıt tüketimi ise akış metreler ile ölçülmüştür. Sonuçlar hem kulaklı hem de diskli pulluk ile toprak işlemede yakıt tüketiminin çalışma derinliği ile doğrusal olarak arttığını göstermiştir.

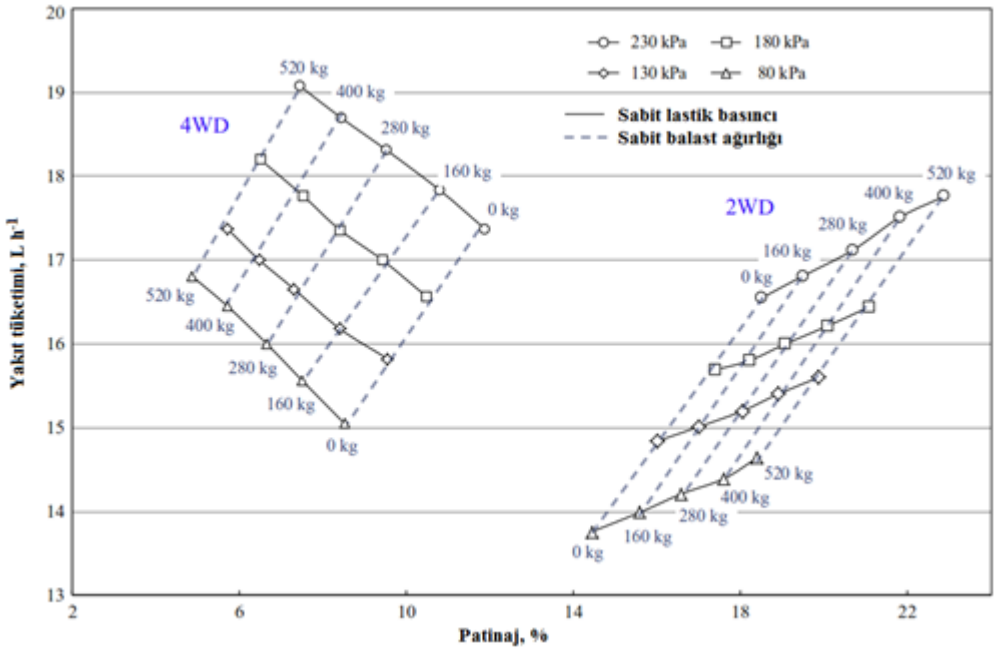
Karparvarfard ve Rahmanian-Koushkaki (2015), toprak işleme faaliyetleri esnasında traktör yakıt tüketimini tahmin etmek amacıyla bir yakıt tüketim denklemi geliştirmişlerdir. Bunun için yakıt tüketimi, ilerleme hızı, patinaj ve çeki kuvveti ölçümü yapabilen bir sistemle 3, 4 ve 5 km h^{-1} hızlarda; 10, 15 ve 20 cm toprak işleme derinliklerinde pulluk ile denemeler yapılmıştır. Sistemde traktörün gerçek ilerleme hızı, traktör altına bağlanmış beşinci bir tekerlekle, yakıt tüketimi iki akış metre ile, çeki kuvveti ise bir dinamometre ile ölçülmüştür (Şekil 2.4). Toplanan veriler, traktörün yakıt tüketimini modellemek için kullanılmış ve bir yakıt tüketim modeli ortaya konulmuştur.



Şekil 2.4. Beşinci tekerlek (1) ve akış metreler (2-3)

Damanauskas ve Janulevičius (2015), 4WD ve arka aksı ikiz tekerlekli 2WD traktörlerin performanslarını karşılaştırmışlardır. Çalışmada lastiklerin hava basıncının ve balast ağırlıklarının, 4WD ve ikiz tekerlekli 2WD çalışan traktörlerin patinaj, yakıt tüketimi ve alan iş başarıları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada yakıt tüketiminin ölçümü için bir akış metre kullanılmıştır. Testlerde diferansiyel kilidi açık

tutulmuştur. Çalışma sonuçlarında 4WD traktörün lastik basınçları azaltılarak ve balast ağırlığı arttırılarak; ikiz tekerlekli 2WD traktörde ise hem lastik basınçlarının hem de balast ağırlığının azaltılarak patinajın azaltılabileceği görülmüştür. Ayrıca patinaj değerinin azalmasıyla yakıt tüketim değerinin de azaldığı gösterilmiştir (Şekil 2.5).

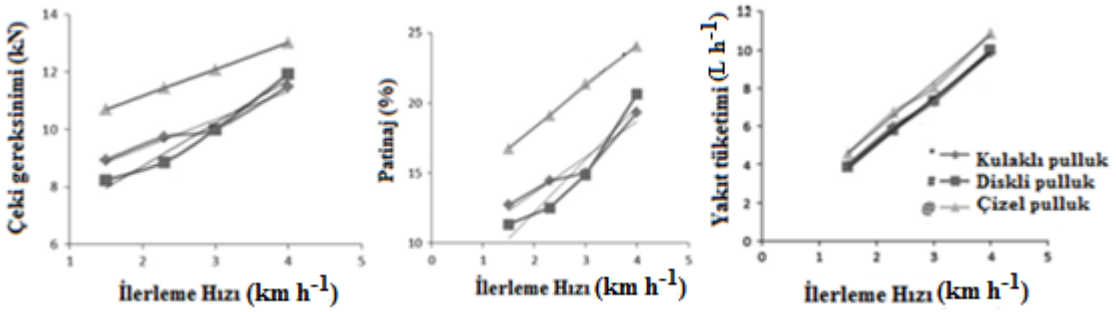


Şekil 2.5. 4WD ve ikiz tekerlekli 2WD traktörlerde patinaj ve yakıt tüketiminin, balast ağırlığı ve lastik basıncıyla değişimi

Almaliki ve ark. (2016), MF285 model traktörün çeşitli toprak işleme derinliklerinde, motor devirlerinde, traktör ilerleme hızlarında, lastik basınçlarında ve toprak tiplerinde yakıt tüketim değerini ölçmüşlerdir. Çalışmada 3 soklu bir pulluk kullanılmıştır. Denemeler farklı motor devirleri ve farklı vitesler için 4 farklı ilerleme hızında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çalışma 10, 15 ve 20 cm'lik üç farklı toprak işleme derinliği için tekrarlanmış ve karşılaştırılmıştır. Denemeler esnasında elde edilen verilerin işlenmesi ve kaydedilmesi için Arduino mikrodenetleyici kartından faydalanılmıştır. Traktörün gerçek ilerleme hızının ölçümü ve patinajın belirlenmesi için encoder dönüştürücüler kullanılmış, yakıt tüketimi için ise iki adet akış metre giden ve dönen yakıt hatlarına bağlanmıştır. Toprak işleme derinliğinin belirlenmesi için iki adet ultrasonic sensör kullanılmış ve bu sensörler pulluk şasesine monte edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde yakıt tüketimi ile toprak işleme derinliği ve motor devri arasında doğrusal bir ilişki olduğunu görülmüştür. Toprak işleme derinliği 10 cm'den

20 cm'ye yükseltildiğinde yakıt tüketimi %44 artmıştır. Ayrıca traktör ilerleme hızı 0.39 m s^{-1}'den 1.56 m s^{-1}'ye yükseldiğinde yakıt tüketimi %61 yükselmiştir.

Ranjbarian ve ark. (2017), traktör ve traktöre bağlı toprak işleme aletinin performans parametrelerini ölçmek için mobil bir enstrümantasyon sistemi geliştirmişlerdir. Sistemde patinaj, çeki kuvveti, yakıt tüketimi, gerçek ilerleme hızı, toprak işleme derinliği ve motor devri ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sistemde gerçek ilerleme hızının belirlenmesi için beşinci bir tekerlek kullanılmıştır. Tekerleğe yerleştirilen bir manyetik alıcı sayesinde tekerlek dönüş miktarı belirlenmiştir. Yakıt tüketimini belirlemek için ise 8 litrelik ikinci bir yakıt tankı kullanılmış, bu tank seviye işaretleriyle işaretlenerek tüketim ölçülmüştür. Sistemde toprak işleme derinliğini ölçmek için ise toprak işleme aletine monte edilmiş bir ultrasonic sensör kullanılmıştır. Çalışmalar neticesinde, gerçek ilerleme hızının artmasıyla çeki gereksiniminin, patinaj miktarının ve yakıt tüketiminin arttığı görülmüştür (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Çeki gereksinimi, patinaj ve yakıt tüketimi ile hız ilişkisi

2.2. Toprak İşleme Derinliği ve Çeki Kuvveti Ölçme Sistemleri

Traktöre bağlı ekipmanların toprak işleme derinliklerini ölçmek için literatürde çeşitli yöntemler denenmiştir. Bu yöntemlerin bazılarında direkt olarak mesafe ölçümü yapan ultrasonic sensörlerden faydalanılmıştır (Arrivo ve Di Renzo, 1998; Suomi ve ark., 2009; Jafar ve ark., 2011; Kiani ve ark., 2012; Suomi ve Oksanen, 2015; Almaliki ve ark., 2016; Ranjbarian ve ark., 2017).

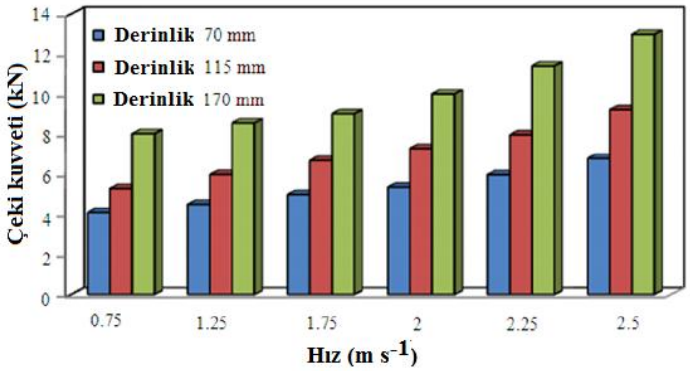
Yasin ve ark. (1992), ultrasonic sensörlerin çeşitli toprak koşullarında (anızlı, otlu vb.) yeterince doğru çalışmadığını belirtmişlerdir. Lee ve ark. (1996) da ultrasonic sensörlerin ortam sıcaklıkları değişimlerine karşı hassas olduklarını ve önemli ölçüde etkilendiklerini bildirmişlerdir.

Ultrasonic sensörlerin dezavantajları göz önüne alınarak geliştirilen diğer ölçüm tekniklerinde ise mekanik sistemler aracılığıyla elektronik sinyaller elde edilmiştir (Nielsen ve ark., 2018). Bu tür sistemlerde mekanik bir sistem ile toprak işleme ekipmanının toprağa batma miktarı algılanmış, çeşitli dönüştürücüler (potansiyometre, encoder vb.) vasıtasıyla da elektronik sinyaller elde edilmiştir (McLaughlin ve ark., 1993; Al-Janobi, 2000; Yahya ve ark., 2009; Al-Suhaibani ve Ghaly, 2013; Jia ve ark., 2016; Shafaei ve ark., 2019a; 2019b).

Al-Janobi (2000), üç nokta askı sistemine monte edilmiş ekipmanların çalışma derinliğini ve üç bağlantı noktasında meydana gelen çeki kuvvetlerini ölçmek ve veri toplamak için bir sistem geliştirmiştir. Sistemde çeki kuvvetlerinin belirlenmesi için üç nokta askı kolunun üst (orta) koluna 100 kN'luk bir yük hücresi bağlanmış, alt kollarda ise 30 kN dikey, 60 kN yatay kuvvet ölçebilen sekizgen halka şeklinde yük hücreleri kullanılmıştır. Üç nokta askı sistemine bağlanacak toprak işleme ekipmanının çalışma derinliğini ölçmek için bir döner pozisyon sensöründen faydalanılmıştır. Sensör, üç nokta askı sistemi alt bağlantı kollarının hareketini algılayacak şekilde monte edilmiştir. Denemeler 7, 12 ve 15 cm toprak işleme derinlikleri için bir çizel pullukla, 2 km h^{-1}'lik ilerleme hızında gerçekleştirilmiştir. Denemelerde traktörün gerçek ilerleme hızı, traktörün arka tekerleğine bağlanan bir optik kodlayıcı ile belirlenmiştir. Denemeler neticesinde elde edilen yatay, dikey ve toplam çeki kuvvetleri; toprak işleme derinlikleri ve gerçek ilerleme hızları kaydedilmiştir. Değerler incelendiğinde, toprak işleme derinliğine bağlı olarak yatay çeki kuvvetinde belirgin bir pozitif ilişki gözlenmiştir. Dikey çeki kuvveti değerlerindeki değişim ise yatay çeki kuvveti değişimleri kadar net değildir. Toplam çeki kuvveti değerleri incelendiğinde ise, çalışma derinliği ile pozitif ilişkili bir değişim sergilendiği görülmüştür.

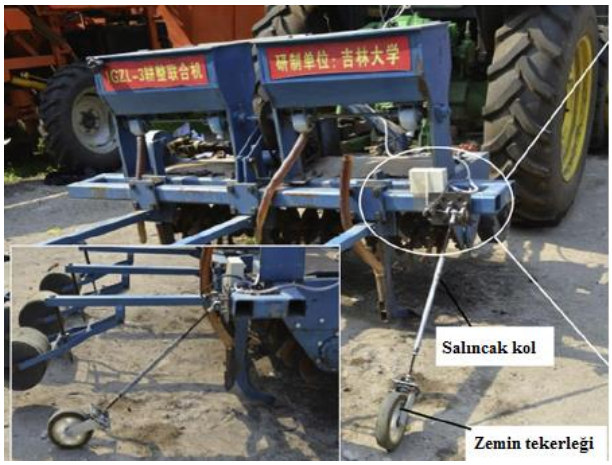
Al-Suhaibani ve ark. (2010), traktörde meydana gelen çeki kuvvetini, ön ve arka tekerleklerdeki tork kuvvetlerini, kuyruk mili tork kuvvetini, traktör gerçek ilerleme hızını, toprak işleme derinliğini, yakıt tüketimini, motor devrini ve sıvı (motor yağı, soğutma suyu vs) sıcaklıklarını ve ön tekerleklerin konumunu (dönme miktarını) ölçen bir sistem tasarlamışlardır. Çeki kuvveti ölçümü ve toprak işleme derinliğinin belirlenmesi için üç nokta askı sistemine sensörler bağlanmıştır. Traktörün gerçek ilerleme hızı beşinci bir tekerlekle ölçülmüştür. Bu tekerlekte hız ölçümü için bir encoder kullanılmıştır. Bu tekerlek aynı zamanda kat edilen mesafeyi de ölçmektedir. Sistemde yakıt tüketimini ölçmek için ise bir akış metre kullanılmıştır. Tarla denemeleri için kulaklı pulluk kullanmışlardır. Tüm deneme sonuçları incelendiğinde, ölçülen çeki

kuvveti ortalama değerlerinin, toprak işleme derinliği ve hız artışıyla birlikte arttığı görülmüştür. Ayrıca derinlik değişiminin, çeki kuvveti üzerinde hız değişimden daha fazla etkiye sahip olduğu belirtilmiştir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Kulaklı pulluk için toprak işleme derinliği ve gerçek ilerleme hızının çeki kuvvetine etkisi

Jia ve ark. (2016), toprak işleme ekipmanına bağlanan ve toprak işleme derinliğini ölçen bir sistem geliştirmişlerdir. Sistemde toprak işleme ekipmanına döner bir tekerlek bağlanmıştır. Tekerleğin toprak işleme ekipmanına bağlantısı uzayıp kısalabilen bir çubukla gerçekleştirilmiştir. Çubuğun bu şekilde ayarlanabilir olması, değişik yükseklikteki ekipmanlarda da kullanılabilir olması için düşünülmüştür. Çubuğun toprak işleme aletine bağlandığı hareketli eklem noktasına ise bir algılayıcı (optik encoder) bağlanmıştır (Şekil 2.8). Toprak işleme ekipmanının çalışma derinliğine göre hareketli eklem noktasındaki açı değişmiş ve meydana gelen açının ölçümüyle derinlik tahmin edilmiştir. Sisteme gelen veriler LabVIEW programı ile işlenmiş ve elde edilen sonuç verileri hem anlık olarak gösterilmiş hem de geçmiş veri kaydı tutulmuştur. Sistem denemeleri öncelikle laboratuvar ortamında bir deney düzeneğinde gerçekleştirilmiş, daha sonra tarlada yapılmıştır. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen denemelerde maksimum hata, 500 mm toprak işleme derinliğinde 6.2 mm olarak bulunmuştur. Tarlada gerçekleştirilen denemelerin sonuçlarında ise hem yatay yüzeylerde hem de eğimli yüzeylerde sistemin ölçüm yapabildiği; ortaya çıkan bağıl hataların, düz zeminde ortalama %3.89, yukarı eğimli zeminlerde ortalama %4.59 ve aşağı eğimli zeminlerde ortalama %4.42 olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar neticesinde geliştirilen ölçüm sisteminin, gerçek toprak işleme derinliğinin izlenmesinde uygulanabilir olduğu belirtilmiştir.

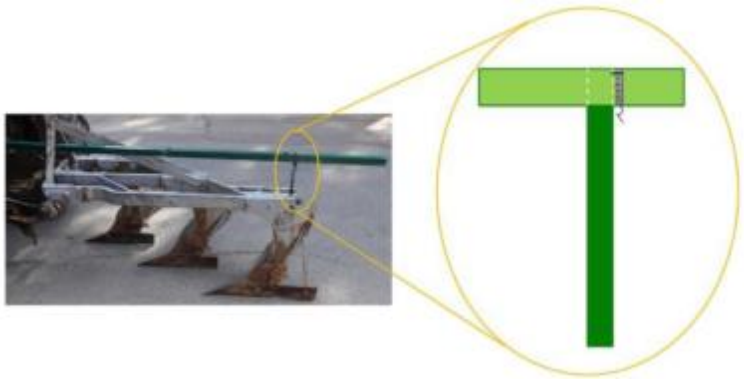


Şekil 2.8. Ölçüm tekerleği ve bağlantı noktası

Bauer ve ark. (2017), pullukla gerçekleştirilen toprak işleme faaliyetleri esnasında, pullukla traktör arasında meydana gelen çeki kuvveti nedeniyle traktör arka tekerleklerine aktarılan yük miktarlarını incelemişlerdir. Denemelerde 1.5 metre iş genişliğine sahip bir döner pulluk kullanılmış ve 25 cm toprak işleme derinliğinde çalışılmıştır. Çalışma süresince çeki kuvvetleri, yakıt tüketimi ve toprak işleme derinliği bilgileri kaydedilmiştir. Üç nokta askı sisteminde meydana gelen kuvvetleri ölçmek için 60 kN'luk 3 adet strain gauge kullanılmıştır. Denemelerde kullanılan döner pullukla hem sağa doğru hem de sola doğru toprak işleme yapılmış ancak benzer sonuçlar elde edildiği için sadece sağa doğru toprak işleme sonuçları verilmiştir. Çalışmada işlenmiş toprakta (çizide) hareket eden tekerleğin, işlenmemiş toprakta hareket eden tekerlekten daha fazla yüklendiği ve bu nedenle işlenmiş toprağın (çizinin) daha fazla sıkıştığı belirlenmiştir. Bununla ilgili olarak, üç nokta askı sisteminin üst kol uzunluğu değiştirilerek (70 cm, 66.5 cm ve 63.5 cm), arka tekerleklerin farklı yüklenmesi problemini ortadan kaldırmaya yönelik analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda sol ve sağ arka tekerlekler arasındaki yük farkının, üç nokta askı sisteminin üst kol uzunluğunun ayarlanmasıyla azaltılabildiği ve bu sayede yakıt tüketiminde %13,7 oranında azalma ortaya çıktığı bildirilmiştir.

Shafaei ve ark. (2019b), toprak işleme faaliyeti gerçekleştiren bir traktörün performans parametrelerinin yüksek hassasiyetle ölçülmesi ve kaydedilmesi için bir enstrümantasyon sistemi geliştirmişlerdir. Geliştirilen sistem traktörün muharrik tekerleklerindeki patinaj miktarını, gerçek ilerleme hızını, yakıt tüketimini, üç nokta askı sistemine bağlı ekipmanın toprak işleme derinliğini ve ekipmanla traktör arasındaki çeki kuvvetini ölçebilmektedir. Tasarlanan sistemde gerçek ilerleme hızının ölçümü için

beşinci bir tekerlek ve patinaj miktarlarının belirlenmesi için muharrik tekerleklere bağlanan encoderler kullanılmıştır. Traktörün yakıt tüketimini belirlemek için enjektörlere giden yakıtı ve depoya dönen yakıtı ölçecek iki akış metre, çeki kuvvetini ölçmek için yük hücreleri ve toprak işleme derinliğini ölçmek için bir kayar potansiyometre (Şekil 2.9) kullanılmıştır. Traktörün 2WD durumunda çalıştırılarak gerçekleştirilen denemeler sonucunda; arka tekerleklerde meydana gelen patinaj miktarları minimum %10.70, maksimum %20.27 ve ortalama %15.11; toprak işleme ekipmanı ile traktör arasında oluşan çeki kuvveti minimum 9.70 kN, maksimum 12.08 kN ve ortalama 11.15 kN; yakıt tüketimi minimum 18.50 L ha^{-1}, maksimum 23.21 L ha^{-1} ve ortalama 20.39 L ha^{-1}; traktörün gerçek ilerleme hızı minimum 2.75 km h^{-1}, maksimum 3.10 km h^{-1} ve ortalama 2.94 km h^{-1}; toprak işleme derinliği minimum 11.50 cm, maksimum 15.50 cm ve ortalama 13.50 cm olarak ölçülmüştür. Elde edilen sonuçların %5'ten daha az hataya sahip olduğu bildirilmiştir. Bu sistemin kabul edilebilir olduğunu göstermiştir.



Şekil 2.9. Çalışma derinliği ölçme sistemi

2.3. Patinaj ve Çeki Kuvveti İçin Uyarı ve Otomatik Kontrol Sistemleri

Toprak işleme esnasında üç nokta askı sistemini (hidrolik ayar kolunu) ayarlayarak toprak işleme derinliğinin hassas kontrolünü sağlamak çalışmanın dikkat gerektiren önemli bir parçasıdır. Kontrolün amacı, toprak direnci arttığında hem traktörü hem de ekipmanı güvence altına almaktır. Toprak işleme derinliğinin bu nedenle değiştirilmesi iş kalitesini azaltsa da traktör ve ekipmanı korumak ve yakıt tasarrufu sağlamak için gereklidir (Langer, 2017).

Literatürde, toprak işleme esnasında meydana gelen zorlanmaları algılamak için iki farklı yol tercih edildiği görülmüştür. Bunlardan birincisi patinaj miktarına göre,

ikincisi ise traktöre bağlı olan toprak işleme ekipmanı ile traktör bağlantı noktası arasında meydana gelen çeki kuvvetine göre zorlanmayı belirlemektir. Her iki tercih için de meydana gelen zorlanmayı sürücüye bildirmek ya da otomatik olarak zorlanmayı giderici müdahalelerde bulunmak üzere çeşitli uyarıcı sistemler ya da müdahale edici otomatik kontrol sistemleri geliştirilmiştir.

Geliştirilen uyarı sistemleri, toprak işleme faaliyetleri esnasında traktörü ve toprak işleme ekipmanının çalışma derinliğini kontrol eden sürücüye, traktörün o anki performans verileriyle ilgili bilgi vermişler ve istenmeyen durumlar ortaya çıktığında renkli uyarı ışıklarıyla ve gerektiğinde sesli olarak bilgilendirme yapmışlardır.

Kumar ve ark. (2016), toprak işleme faaliyetleri esnasında traktör performansını ölçen, verileri kaydeden ve belirlenen çalışma sınırlarının aşılması durumunda sürücüyü sesli ve/veya görsel olarak uyaran bir sistem geliştirmişlerdir. Sistemde, muharrik tekerleklerde meydana gelen patinajı ölçmek için alan etkili sensörlerden ve manyetik disklerden faydalanılmıştır. Çalışma derinliğini ölçmek için ise hidrolik kola bağlı bir potansiyometre kullanılmıştır. Çeki kuvveti, üç nokta askı sistemi ile ekipman arasına bağlanan ve yük hücrelerinden oluşturulmuş bir dinamometre çatı sistemi yardımı ile ölçülmüştür. Sisteme, ölçülen verileri görüntülemek için bir lcd ekran ve kaydetmek için bir sd kart eklenmiştir. Sisteme ayrıca üç adet uyarı ledi (kırmızı, sarı ve yeşil) ve bir adet sesli uyarı zili eklenmiştir.

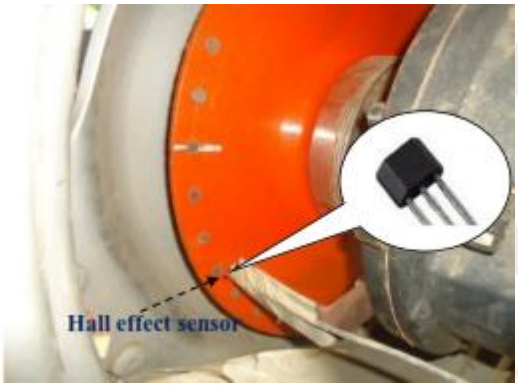
Uyarı sistemi şu şekilde çalıştırılmıştır:

1. Eğer patinaj miktarı %15 veya daha düşük ve çeki kuvveti 1050 kg'dan daha az ise yeşil led yanacaktır.
2. Eğer patinaj miktarı %16-19 arasında ve çeki kuvveti 1050-1200 kg arasında ise sarı led yanacak, aynı zamanda uyarı zili kesikli ses ile çalışacaktır.
3. Eğer patinaj miktarı %20 veya daha yüksek ve çeki kuvveti 1200 kg'dan daha fazla ise kırmızı led yanacak, aynı zamanda uyarı zili sürekli ses ile çalışacaktır.

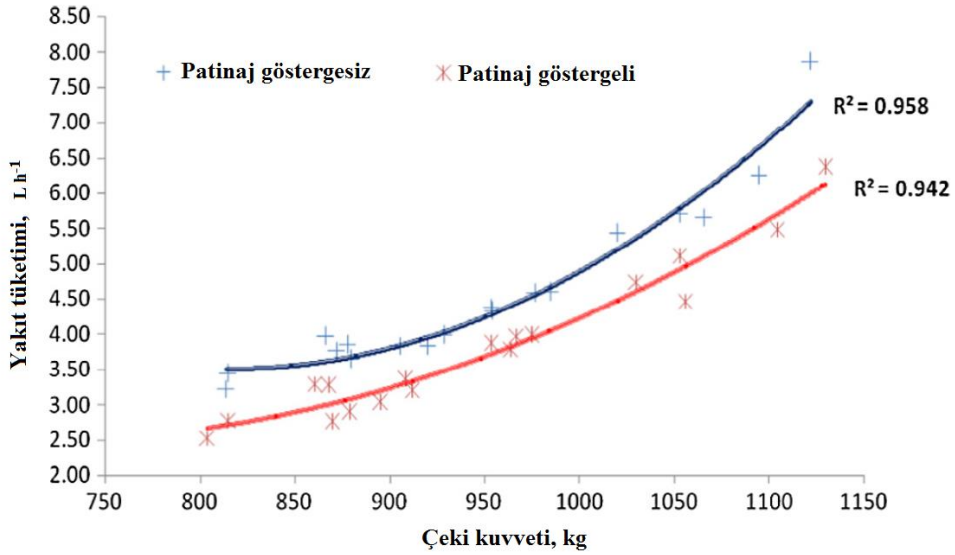
Yeşil led operatöre ekonomik çalışma durumunu göstermek, sarı led ekonomik çalışma durumunun dışına çıkıldığını haber vermek, kırmızı led ise aşırı yakıt tüketimini bildirmek için kullanılmıştır. Geliştirilen sistem başarılı bir çalışma sergilemiş ve bu sayede ekonomik çalışma için sürücüye yardımcı olmuştur.

Kumar ve ark. (2017), toprak işleme faaliyetleri sırasında operatörlere traktörün performans verilerini gösterecek ve belirlenen sınırlar aşılırsa operatörleri sesli ve/veya

görsel olarak uyaracak bir sistem geliştirmişlerdir. Sistemde patinaj miktarını ölçmek alan etkili sensörler ve mıknatıslı diskler (Şekil 2.10) kullanılmıştır. Sistemde ayrıca patinaj miktarını operatöre göstermek için bir lcd ekran, patinaj durumuna göre operatöre bilgi verecek ledler (kırmızı ve yeşil) ve belirlenen patinaj değerleri aşıldığında operatörü sesli olarak uyarmak için bir buzzer bulunmaktadır. Sistem bir arduino mikrodenetleyeci kartı ile kontrol edilmiştir. Çalışmada denemeler uyarı sistemi açıkken ve kapalı iken ayrı ayrı gerçekleştirilmiş ve karşılaştırılmıştır. Deneme sonuçları, pullukla toprak işleme faaliyetleri esnasında uyarı sistemi açıkken gerçekleştirilen denemelerde %31.96'ya varan yakıt tasarrufu sağlandığını göstermiştir (Şekil 2.11).



Şekil 2.10. Mıknatıslı disk ve alan etkili sensör



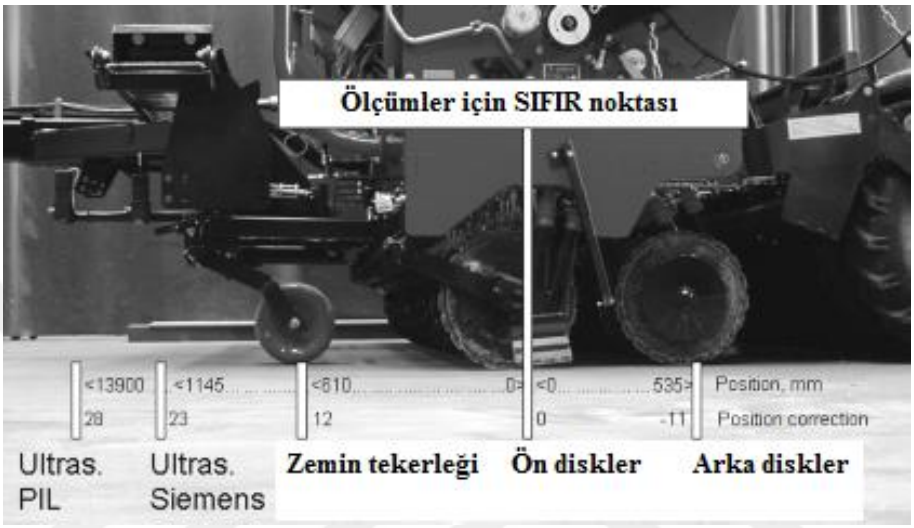
Şekil 2.11. Pullukla toprak işleme faaliyetleri esnasında elde edilen yakıt tüketimi ve çeki kuvveti değerleri

Geliştirilen otomatik kontrol sistemlerinde on-off kontrolör gibi temel yaklaşımların yanında PI, PD, PID ve Fuzzy kontrolörlerin de kullanıldığı görülmüştür (Nielsen ve ark., 2016). Bu çalışmaların büyük çoğunluğu gerçek tarla koşullarında yapılmıştır ancak simülasyon ve laboratuvar ortamında yapılan çalışma sayısı da oldukça fazladır (Kim ve Lee, 2018).

Lee ve ark. (1998), toprak işleme derinliğini sürekli ölçen ve elektro-hidrolik ünite ile toprak işleme derinliğinin otomatik kontrolünü sağlayan bir sistem geliştirmişlerdir. Sistemde toprak işleme derinliğini belirlemek için üç nokta askı sisteminin alt kolunun açısını (konumunu) ölçen bir sensörden (2K potansiyometre) ve toprak ile olan mesafeyi ölçen ultrasonic sensörlerden faydalanılmıştır. Elektro-hidrolik ünite, üç nokta askı sistemine hareket veren bir hidrolik silindirden ve bir selenoid valften oluşturulmuştur. Sistem klavyeden sisteme girilen toprak işleme derinliği ile gerçek toprak işleme derinliğini karşılaştırmış, iki değer arasında fark olduğu durumlarda selenoid valfe on/off (aç/kapat) sinyalleri göndermiştir. Çalışmalar sonucunda toprak işleme derinliği ile kaldırma kolu açısı arasındaki ilişkinin belirli bir açı aralığında doğrusal olduğu bildirilmiştir. Ayrıca düşük motor devirlerinde, hidrolik sistemde meydana gelen performans düşüşü nedeniyle bir gecikmenin ortaya çıktığı gözlemlenmiştir.

Suomi ve ark. (2009), ISOBUS uyumlu bir traktöre bağlanan kombine ekim makinası için otomatik derinlik kontrol sistemi tasarlamışlardır. Sistem kombine ekim makinasının çalışma derinliğini sürekli olarak izlemiş ve derinliğin sabit tutulması için ekim derinliğini ayarlayan hidrolik valflere ISO 11783 ağını kullanarak komutlar göndermiştir. Derinlik ölçümü ve doğruluğunun belirlenmesi için çeşitli sayılarda döner pozisyon sensörleri ve ultrasonic sensörler kullanılmıştır. Döner konum sensörlerinden ikisi baskı tekerleğine monte edilmiştir. Diğer üçü kombine ekim makinasının 5., 12. ve 27. ekici disklerine bağlanmıştır. Son olarak iki adet ultrasonic sensör de ekim makinasının 5. ekici diskinin önüne bağlanmıştır (Şekil 2.12). Döner konum sensörleri, baskı tekerleğini ekim makinasının şasesine bağlayan kol ile şase arasındaki açıyı ve ekim makinası şasesi ile ekici diskleri şaseye bağlayan kol arasındaki açıyı ölçmek için kullanılmıştır. Meydana gelen açılar ile ekim derinliği hesaplanmıştır. Ultrasonic sensörler direkt olarak toprak ile bağlı bulundukları yer arasındaki mesafeyi ölçmüştür. Bunların dışında bir de hidrolik kaldırma silindirinin pozisyonunu belirlemek için döner konum sensörü kullanılmıştır. Geliştirilen otomatik kontrol sisteminde derinlik ayarı için ekim makinasının hidrolik kaldırma silindirleri ve traktörün hidrolik valfleri

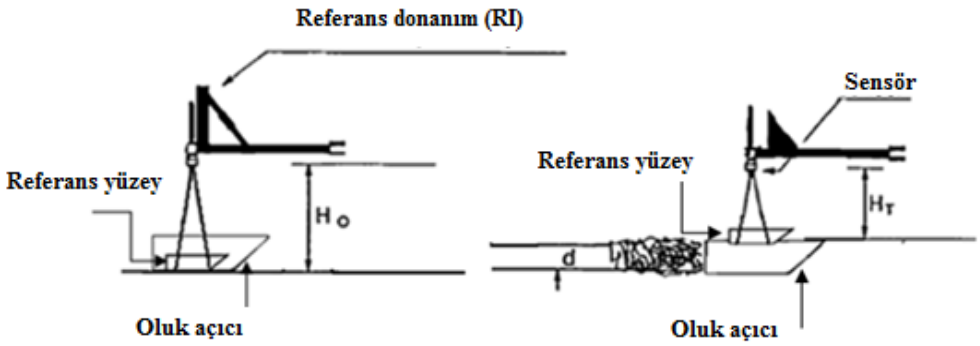
kullanılmıştır. Ön denemelerde, ultrasonic sensörlerin, toprak ile mibzer gövdesi arasındaki mesafeyi olduğundan daha az tahmin ettiği gözlemlenmiştir. Ortaya çıkan hatanın bitkilerden, ekin kalıntılarından ve toprak yığınlarından kaynaklandığı belirtilmiştir. Arazi testleri neticesinde ise, otomatik kontrol sisteminin 8 mm doğrulukla çalıştığı ve çalışma derinliği ölçme sisteminin 5 mm doğrulukla gerçek derinliği tahmin edebildiği görülmüştür.



Şekil 2.12. Ölçüm sisteminde kullanılan sensörlerin konumu

Kiani ve ark. (2012), ekim makinalarında tohum bırakma derinliğini otomatik olarak ayarlayan bir sistem tasarlamışlardır. Sistemde bir ultrasonic mesafe sensörü kullanılarak tohum bırakma derinliği ölçülmektedir. Ölçülen tohum bırakma derinliği ile istenilen tohum bırakma derinliği arasında farklılık oluştuğunda ise hidrolik ayar koluna bağlı bir lineer aktüatör kontrol edilerek ekim derinliği ayarlanmaktadır. Ultrasonic sensör, referans bir yüzey ile sensörün bağlandığı çerçeve arasındaki mesafeyi ölçerek tohum bırakma derinliğini saptamaktadır (Şekil 2.13). Kontrol ünitesi ise her saniye tohum bırakma derinliğini tespit etmekte ve 2 mm dahilinde olmayan sapma durumlarında lineer aktüatör ile hidolik ayar koluna müdahalede bulunmaktadır. Sistemin kapalı alan kalibrasyon testlerinde 15, 25 ve 35 cm gerçek tohum bırakma derinlikleri için 14.944, 25.055 ve 34.9888 cm değerleri ölçülmüştür. Açık alan testlerinde ise 5, 9 ve 11 cm tohum bırakma derinlikleri için ölçümler yapılmıştır. Ayarlanan bu derinlik değerleri için manuel kontrol testlerinde 5.293, 9.6137 ve 11.141 cm; otomatik kontrol testlerinde ise 5.0517, 8.910, 11.0172 cm değerleri ölçülmüştür. İç ve dış mekan deneysel sonuçları, geliştirilen sistemle çalışma derinliğinin korunmasının

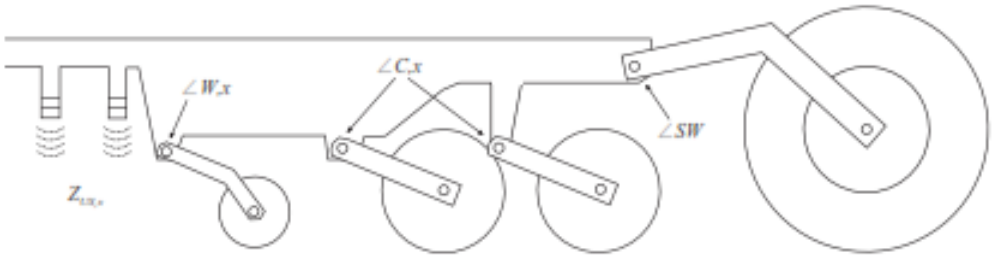
mümkün olduğunu göstermektedir. Deneyler aynı zamanda, ultrasonic sensörün toprak yüzey yapısına, topraktaki bitki kalıntısına ve anızların sebep olduğu düzensiz zemine rağmen mesafeyi kabul edilebilir aralıkta algılayabildiğini göstermiştir.



Şekil 2.13. Derinlik ölçüm sistemi (d: Çalışma derinliği, Ho: Sıfır çalışma derinliği pozisyonu, Ht: Sensör yüksekliği)

Pranav ve ark. (2012), 2WD traktörlerde, toprak işleme esnasında otomatik patinaj kontrolü yapabilen bir sistem geliştirmişlerdir. Sistem ile toprak işleme faaliyetleri esnasında sürekli olarak patinaj değerini ölçülmüş, patinaj değeri istenilen değer aralığının dışına çıktığında toprak işleme derinliğinin ayarı için hidrolik ayar koluna müdahalede bulunulmuştur. Sistemin patinaj değerini belirleyebilmesi için sol ön tekerleğe ve muharrik arka tekerleklere encoderler yerleştirilmiştir. Sol ön tekerleğe bağlanan encoder ile gerçek ilerleme hızı, arka tekerleklere bağlanan ercoderler ile de ortalama teorik hız belirlenmiştir. Ölçülen patinaj, belirlenen patinaj üst sınırından büyükse çalışma derinliğini azaltmak için hidrolik ayar koluna bağlı step motora komutlar gönderilmiştir. Denemeler sonucunda, kulaklı pullukla gerçekleştirilen toprak işleme faaliyetlerinde otomatik patinaj kontrol sisteminin %14-23 patinaj aralığında; çeki kontrol sisteminin ise %12-52 patinaj aralığında çalıştığı saptanmıştır. Tasarlanan otomatik patinaj kontrol sisteminin ortalama patinajı istenilen patinaj aralığında tutabildiği bildirilmiştir. Ayrıca otomatik patinaj kontrol sistemiyle, patinaj değerleri %75-80 oranında istenilen aralıkta tutulabilirken; traktörün mevcut çeki kontrol sistemiyle ancak %40-45 oranında tutabildiği görülmüştür. Bu otomatik patinaj kontrol sisteminin, çeki kontrol sisteminden daha verimli çalıştığını göstermiştir. Tüm sonuçlar incelendiğinde otomatik patinaj kontrol sisteminin, çeki kontrol sistemine nazaran yakıt tüketiminde %20-30 azalma; alan iş başarısında %7-38 artış sağladığı gözlenmiştir.

Suomi ve Oksanen (2015), kombine bir ekim makinası için otomatik derinlik kontrol sistemi tasarlamışlardır. Derinlik ölçümü için çoklu sensörler kullanılmıştır. Bunlardan bazıları ekim makinasına bağlı tekerlekler ve diskler ile şase arasındaki açıyı, bazıları ise doğrudan şase ile toprak arası mesafeyi ölçmüşlerdir (Şekil 2.14). Toplam sekiz adet sensör kullanılmıştır. Kontrol sistemi sensörlerden gelen bilgileri dikkate alarak traktör üzerinde bulunan yardımcı valfe komutlar göndermiştir. Kombine ekim makinasının çalışma derinliğini bu valfe bağlı olan tek bir hidrolik silindir ayarlamaktadır. Denemelerde; 20, 30, 40 ve 50 mm hedef derinliklere ekim yapılmıştır. Ekim işlemleri önce otomatik kontrol sistemi devredeyken daha sonra da otomatik kontrol sistemi devre dışı bırakılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde otomatik kontrol sisteminin çalışma derinliğini 10 mm tolerans dahilinde kontrol edebildiği görülmüştür. Çalışmada örnekleme hızının, derinlik ölçümü için kullanılan tekerleklerin konumunu kontrol etmek için yeterli olduğu, ancak hidrolik silindirin çalışma hızının sınırlı kaldığı anlaşılmıştır. Ayrıca ultrasonik sensörlerin topraktaki anız ve bitki artıkları nedeniyle iyi bir performans gösteremediği, derinlik ölçmek için kullanılan tekerleklerin daha uygun bir çözüm olduğu bildirilmiştir.



Şekil 2.14. Sensör yerleşimleri

Gupta ve ark. (2019), toprak işleme faaliyetleri esnasında ortaya çıkan çeki kuvvetini ve patinajı otomatik olarak kontrol eden bir sistem tasarlamışlardır. Tasarlanan sistem traktör ile toprak işleme ekipmanı arasında oluşan çeki kuvvetini ve traktör muharrik tekerleklerinde meydana gelen patinajı sürekli ve eşzamanlı olarak ölçerek, meydana gelen zorlanma durumlarında traktöre bağlı toprak işleme ekipmanının toprak işleme derinliğini otomatik olarak azaltmaktadır. Otomatik kontrol sisteminin çalışma sınırları pullukla toprak işleme denemelerinde, patinaj için %15-20 aralığı, çeki kuvveti için ise ASABE modeli (ASAE, D497.4) kullanılarak hesaplanan değer aralığı olarak ayarlanmıştır. Sistemde patinaj değerlerinin belirlenmesi için mıknatıslar ve hall etkili sensörler kullanılmıştır. Çeki kuvvetinin belirlenmesi için ise

üç nokta askı sistemine bağlanan bir çerçeve üzerine monte edilmiş yük hücrelerinden faydalanılmıştır. Ekipman çalışma derinliğinin otomatik olarak ayarlanması için hidrolik ayar koluna müdahalede bulunacak bir step motor monte edilmiştir. Toprak işleme ekipmanının çalışma derinliği, üç nokta askı sistemine bağlanan bir potansiyometre ile ölçülmüştür. Kontrol sistemi patinaj değerini ve çeki kuvvetini eş zamanlı olarak dikkate alarak belirlenen aralık dışında olmaları durumunda step motora hareket komutları göndermiş ve hidrolik ayar kolunu hareket ettirerek üç nokta askı sistemine bağlı toprak işleme aletinin çalışma derinliğini artırmış ya da azaltmıştır. Tasarlanan otomatik kontrol sistemi ile traktör üzerinde bulunan mevcut çeki kontrol sistemi karşılaştırıldığında ise, pullukla toprak işleme faaliyetleri için; ortalama çeki verimliliğinin sırasıyla %68.2 ve %58.51 olduğu hesaplanmıştır. Otomatik kontrol sisteminin kullanımı ile ortalama çeki verimliliğinde %9.17'lik bir artış meydana geldiği anlaşılmıştır.

Shafaei ve ark. (2019a), toprak işleme faaliyetleri esnasında traktörün muharrik tekerleklerinde meydana gelen patinaj miktarını ve bağlı olan toprak işleme ekipmanının çalışma derinliğini, geliştirdikleri bir bulanık kontrol sistemi ile otomatik olarak kontrol etmişlerdir. Bulanık kontrol sistemi traktör muharrik tekerleklerinde meydana gelen patinaj miktarını sürekli olarak ölçmüş ve belirlenen kritik değerlerin aşılıp aşılmadığını kontrol etmiştir. Sistem aynı zamanda, toprak işleme derinliğini de sürekli olarak kontrol etmiş ve ayarlanan sürme derinliğiyle karşılaştırmıştır. Otomatik kontrol sistemi, aşağıda verilen dört bulanık kural ile çalıştırılmıştır;

1. IF patinaj>kritik patinaj değeri THEN toprak işleme derinliği azaltılsın

2. IF patinaj<kritik patinaj değeri VE toprak işleme derinliği=ayarlanan toprak işleme derinliği THEN toprak işleme derinliği aynı kalsın

3. IF patinaj<kritik patinaj değeri VE toprak işleme derinliği<ayarlanan toprak işleme derinliği THEN toprak işleme derinliği artırılsın

4. IF patinaj<kritik patinaj değeri VE toprak işleme derinliği>ayarlanan toprak işleme derinliği THEN toprak işleme derinliği azaltılsın

Sistemde toprak işleme derinliğinin kontrolü üç nokta askı sistemine hareket veren iki adet hidrolik silindir ve silindirleri kontrol eden bir selonoid valf ile sağlanmaktadır. Geliştirilen bulanık kontrol sisteminin tarla denemeleri 10, 20 ve 30 cm toprak işleme derinliği için ve 2, 4 ve 6 km h^{-1} ilerleme hızı için ayrı ayrı gerçekleştirilmiş ve sonuçlar mevcut çeki kontrol sistemiyle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, kulaklı pulluk ile gerçekleştirilen denemelerde, bulanık kontrol

sistemiyle elde edilen ortalama patinaj değerlerinin mevcut çeki kontrol sistemiyle elde edilen değerlerden %30.89 daha düşük olduğu görülmüştür. Benzer şekilde bulanık kontrol sistemiyle elde edilen ortalama yakıt tüketimi değeri de mevcut çeki kontrol sistemiyle elde edilen değerden %27.69 daha düşüktür. Çalışmada ayrıca, bulanık kontrol sisteminin performansının sadece traktör ilerleme hızından etkilendiği; bulanık kontrol sistemiyle, istenilen toprak işleme derinliklerine ve çeki verimliliğine tam olarak ulaşılamadığı ancak toprak işleme faaliyetleri esnasında traktör ile toprak işleme ekipmanının performansının ve kullanıcı gereksinimlerinin makul ölçüde arttırıldığı belirtilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Traktör

Denemelerde Türk Traktör tarafından üretilmiş New Holland marka TD110D model traktör kullanılmıştır (Şekil 3.1). Traktörün teknik özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. New Holland TD110D model traktör

Çizelge 3.1. New Holland TD110D model traktörün özellikleri

New Holland TD110D	
Model	TD110D
Yakıt Cinsi	Dizel
Silindir Adedi	4
Silindir Hacmi	3.9 Litre
Maksimum Güç	110 HP
Maksimum Tork	430 Nm
Üç Nokta Askı Sistemi Kaldırma Kapasitesi	4700 kg
Kuyruk Mili Devirleri	540/540E/1000
Transmisyon	12 İleri / 12 Geri
Ağırlık	3900 kg
Dingil Açıklığı	2422 mm
Toplam Uzunluğu	4202 mm
Ön Tekerlek Ölçüsü	13.6 R24
Arka Tekerlek Ölçüsü	16.9 R34

3.1.2. Pulluk

Denemelerde HT Alpler marka SP13 model 5 gövdeli pulluk kullanılmıştır (Şekil 3.2). Pulluğun teknik özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. HT Alpler SP13 model pulluk

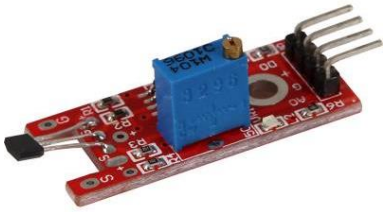
Çizelge 3.2. HT Alpler SP13 model pulluğun özellikleri

HT Alpler SP13	
Model	SP13
Şasi Yüksekliği	68 cm
Gövde Sayısı	5
Gövdeler Arası Mesafe	77 cm
İş genişliği	35.5 cm
İş derinliği	28 cm
Ağırlık	665 kg
Uç demiri devirme açısı	26.5^0
Uç demiri keskin kenar açısı	41.5^0

3.1.3. Hız ve patinaj ölçüm sensörü

Denemelerde hız ve patinaj ölçümü için Şekil 3.3'de görülen KY-024 alan etkili sensör modülü kullanılmıştır. Modül Arduino mikrodenetleyici kartları ile uyumlu olarak tasarlanmıştır. KY-024 alan etkili sensör modülü, 49E tipi bir alan etkili sensör ile LM393 yükseltecinin bir araya gelmesiyle oluşturulmuş bir manyetik alan detektörüdür. Modülde bulunan dijital çıkış, manyetik alana tabi olduğunda açılan ve manyetik alandan ayrıldığında kapanan bir anahtar gibi davranır. Modül üzerindeki

analog çıkış ise manyetik alanın polaritesini ve bağıl gücünü ölçebilir. Modül üzerinde bulunan potansiyometre yardımıyla sensörün hassasiyeti ayarlanabilmekte ve ledler yardımıyla çalışması ve algılaması kontrol edilebilmektedir.



Şekil 3.3. KY-024 Alan Etkili Sensör Modülü

Modül 3µs'lik tepki süresi sayesinde 100kHz'lerdeki frekanslara kadar okuma yapabilmektedir. Alan etkili sensör temassız bir sensör olduğundan aşınması yoktur ve oldukça dayanıklıdır. Toz, kir vb. durumlardan çok etkilenmediğinden ihtiyaç halinde tarımsal faaliyetler esnasında rahatlıkla kullanılabilmektedir. Çizelge 3.3'de KY-024 alan etkili sensör modülünün teknik detayları verilmiştir.

Çizelge 3.3. KY-024 alan etkili sensör modülü teknik detayları

KY-024	
Çalışma Gerilimi	3.3 V – 5 V
Çalışma Sıcaklığı	(-40) ºC – (+85) ºC
Giriş – Çıkış Akımı (max)	8 mA – 20 mA
Tepki Süresi	3µs
Giriş – Çıkış Uçları	4 Adet; VCC (3.3-5V), GND, Dijital Çıkış (DO), Analog Çıkış (AO)

3.1.4. Toprak işleme derinliği ölçüm mekanizması

Çalışmalarda toprak işleme derinliğinin sürekli olarak ölçülebilmesi için pulluk arkasına bir derinlik ölçüm mekanizması eklenmiştir. Bu mekanizma toprak üzerinde ilerleyen bir tekerlekten ve tekerleğin pulluğa bağlandığı hareketli eklem noktasında bulunan 1 KΩ'luk bir potansiyometreden oluşmaktadır. Şekil 3.4'te derinlik ölçüm tekerleği ve eklem noktasındaki potansiyometre görülmektedir. Potansiyometre üç uçlu elektronik bir devre elemanıdır. Üzerinde dairesel hareket yapan bir ayar vidası bulunur. Ayar vidasının hareketi potansiyometrenin uçları arasında direnç değişimine neden olur.

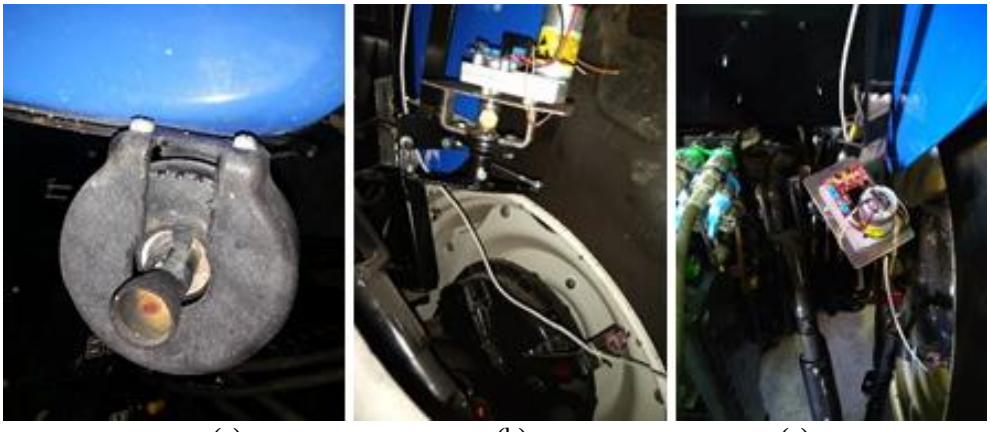


(a) (b)

Şekil 3.4. Derinlik ölçüm mekanizması (a) Potansiyometre (b) Hareketli tekerlek

3.1.5. Hidrolik ayar kolu kontrol mekanizması

Çalışmada pulluğun toprak işleme derinliğine müdahale edebilmek için traktör arkasında bulunan hidrolik ayar kumandasına (Şekil 3.5 (a)) bir servo motor (Şekil 3.5 (c)) bağlanmıştır. Traktör arkasında bulunan hidrolik ayar kumandası doğrudan hidrolik ayar koluna bağlıdır ve eşzamanlı olarak hareket etmektedir. Servo motorun bağlantısı için bir sabitleme aparatı (Şekil 3.5 (b)) imal edilmiş, servo motor bu aparat aracılığıyla monte edilmiştir.

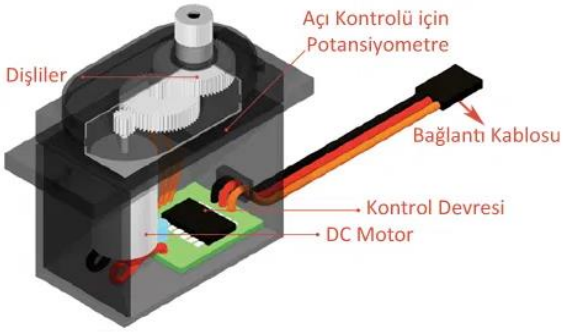


(a) (b) (c)

Şekil 3.5. Hidrolik ayar kumandası (a) Orijinal kumanda (b) Sabitleme aparatı (c) Servo motor

Servo motorlar verilen komutla istenilen pozisyona ayarlanabilen ve yeni bir komut gelmediği sürece bulunduğu pozisyonu koruyan elektrik motorlarıdır. Servo motorlar içerisinde bir dc motor barındırır ve dönme hareketini bu motor sağlar. Bunun dışında servo motorun pozisyonunu algılamak için bir potansiyometre ve dc motorun

dönme miktarını kontrol eden bir motor sürücü devresi içerir. Sistemde bulunan dişli sistemi ise servo motorun tork ihtiyacı ve konum hassasiyeti içindir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Servo motor iç yapısı

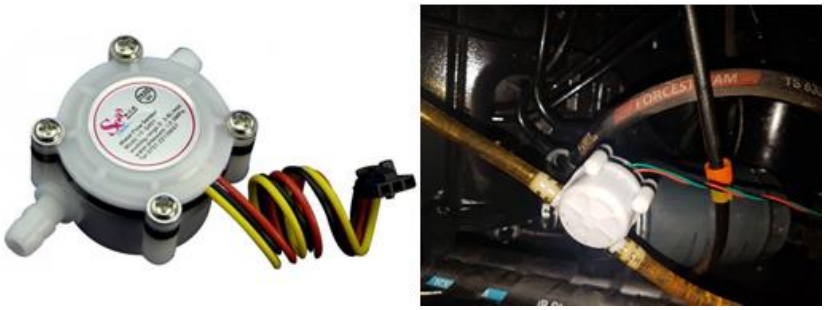
Kullanılan servo motorun özellikleri Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Servo motor özellikleri

Servo Motor	
Çalışma Gerilimi	12V – 24V
Yüksüz Akım	<500mA
Maksimum Yükste Akım	5A±0.2A (max)
Dönme Açısı	±180^o veya 0^o-360^o (yazılım ile)
Başlangıç Torku	380 kg.cm (max)
Tutma Torku	340 kg.cm (max)
Dönme hızı (24V çalışmada)	0.5s/60^o (max)
Ağırlık	600g
Boyutlar	95mm*60mm*110mm

3.1.6. Yakıt ölçüm sensörü

Çalışma esnasında traktörün anlık yakıt tüketimini ve denemeler süresince tüketilen toplam yakıt miktarını belirlemek için Sea firması tarafından üretilen YF-S401 model sıvı akış sensörü (flow meter) kullanılmıştır (Şekil 3.7 (a)). Traktörün yakıt tüketimini net bir şekilde ölçebilmek için sıvı akış sensöründen iki adet kullanılmıştır. Sensörlerden bir tanesi yakıt tankından motora giden yakıt hattına, diğeri ise motordan yakıt tankına geri dönen yakıt hattına bağlanmıştır (Şekil 3.7 (b)). Sıvı akış sensörleri +5V DC ile çalışmakta ve her bir litre sıvı geçişinde 4700 elektriksel darbe üretmektedir. Sıvı akış sensörleri dakikada 0-3.6 litre sıvı akışı ölçebilecek yetenektedir. Basınç dayanımları ise 2 MPa'dır.



(a) (b)

Şekil 3.7. Yakıt ölçüm sistemi (a) Sıvı akış sensörü (b) Sensör bağlantı şekli

3.1.7. Çeki kuvveti ölçüm pimleri

Çalışmada pullukla traktör arasında meydana gelen çeki kuvvetlerini ölçmek için üç adet pim şeklinde yük hücresi kullanılmıştır. Yük hücreleri üç nokta askı sisteminin bağlantı noktalarına uygulanmıştır. Yük hücreleri ile Arduino kontrol kartı arasındaki dönüştürme işlemi HX711 dönüştürücü modülleri ile gerçekleştirilmiştir. HX711 dönüştürücü modülü ağırlık ölçümleri için kullanılan hassas bir 24 bit analog/dijital dönüştürücüdür. HX711 dönüştürücü modülünün teknik özellikleri Çizelge 3.5'de verilmiştir. Yük hücrelerinin teknik özellikleri ise Çizelge 3.6'da verilmiş ve bağlantı şekilleri Şekil 3.8 (a) ve (b)'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. HX711 teknik özellikleri

HX711	
Çalışma Gerilimi	4.8 – 5.5V
Çalışma Akımı	1.6mA
Çıkış Gerilimi	2.6 – 5.5V
Çalışma Sıcaklığı	-20 – +85^{o}C

Çizelge 3.6. Yük hücresi teknik özellikleri

Lorenz Messtechnik GmbH K-2652	
Yük Kapasitesi	30kN
Sinyal Değeri	1.114mV/V



(a) (b)

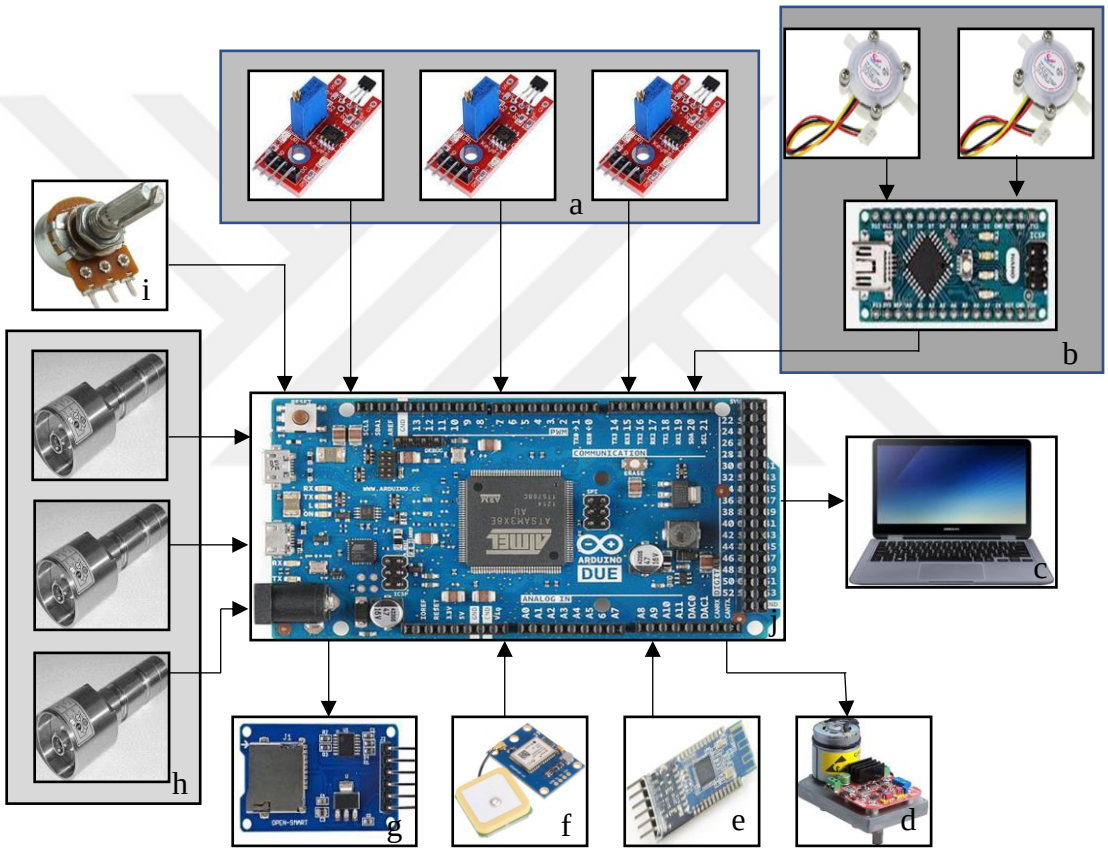
Şekil 3.8. Çeki kuvveti ölçüm pimleri (a) Üst kol pimi (b) Sağ alt kol pimi

3.1.8. Kontrol sistemi devre kartı

Tasarlanan uyarı ve otomatik kontrol sistemleri için ana işlem merkezi olarak Arduino Due mikrodenetleyici kartından faydalanılmıştır. Arduino Due mikrodenetleyici kartı aynı zamanda bağlı bulunan tüm sensörlerden gelen verileri işleyerek bir microSD karta kaydetmek için de kullanılmıştır. Arduino Due mikrodenetleyici kartına ek olarak, bir Arduino Nano mikrodenetleyici kartı da yakıt ölçme sistemi için kullanılmıştır. Ana işlem merkezi olan Arduino Due ve yakıt ölçümü için kullanılan Arduino Nano mikrodenetleyici kartları Rx/Tx iletişim uçları ile haberleştirilmiştir. Arduino Due ve Arduino Nano mikrodenetleyici kartlarının teknik özellikleri Çizelge 3.7'de verilmiştir. Elektriksel darbe üreten sensörlerden gelen sinyallerin (alan etkili sensörler ve sıvı akış sensörleri) filtrelenmesi için ayrıca LM741 opamplar kullanılmıştır. Elektriksel beslemeler için LM7805 +5V pozitif gerilim regülatörleri ve diğer filtreleme işlemleri için çeşitli değerlerde kondansatörler ve dirençler kullanılmıştır. Kontrol sistemi devre kartında ayrıca traktör konumunun belirlemesi için kullanılan bir GY-NEO6MV2 GPS modülü, cep telefonu/tablet ile Android tabanlı haberleşme için bir HC-06 bluetooth modülü ve veri kaydı için kullanılan bir microSD kart modülü bulunmaktadır. Sensör ve modüllerin kontrol sistemi devre kartına bağlantıları sök/tak yapılabilecek soketlerle gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.9'da kontrol sistemi devre kartı ve bileşenleri görülmektedir.

Çizelge 3.7. Arduino Due ve Arduino Nano teknik özellikleri

	Arduino Due	**Arduino Nano**
Çalışma gerilimi	3.3V	5V
Giriş gerilimi	6-16V	7-12V
Dijital giriş/çıkış pin sayısı	54 (12 PWM)	22 (6 PWM)
Analog giriş pin sayısı	12	8
Analog çıkış pin sayısı	2 (DAC)	-
Çıkış akımı	130mA (Tüm çıkışlar için toplam)	40mA (Her çıkış için)
Flash bellek	512KB	32KB
SRAM	96KB	2KB
Çalışma frekansı	84MHz	16MHz



Şekil 3.9. Kontrol sistemi devre kartı bileşenleri a) Hız-patinaj ölçüm birimi b) Yakıt ölçüm birimi c) Bilgisayar (Programlayıcı-veri görüntüleyici) d) Hidrolik kol ayar mekanizması e) Bluetooth iletişim birimi f) GPS konum belirleme birimi g) SD Card veri kaydedici h) Çeki kuvveti ölçüm birimi i) Derinlik ölçüm birimi j) Veri toplama/işleme birimi.

3.1.9. Tarla koşulları

Sistem tasarım aşamasında iken, laboratuvar denemeleri, kalibrasyon çalışmaları ve ön denemeler Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Prof. Dr. Şinasi Yetkin Araştırma ve Uygulama Tesisleri'nde

gerçekleştirilmiştir. Sistemin nihai denemeleri ise 20-23 Eylül 2018 tarihinde Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Sarıcalar Uygulama Çiftliği arazisinde yürütülmüştür (41º 82’ 27”.2 N ve 45º 60’15” E; deniz seviyesinden yükseklik 1026m). Deneme esnasında hava sıcaklığı 26.5 ^{0}C olarak ölçülmüştür. Denemeler için Şekil 3.10’da resmi verilen buğday anızlı bir arazi seçilmiş ve toprak örnekleme silindirleri ile örnekler alınarak toprak nem miktarı belirlenmiştir. Ayrıca 0-80 cm derinlikte ölçüm yapabilen Eijkelkamp marka dijital penetrometre ile penetrasyon dirençleri ölçülmüştür. Çizelge 3.8’de toprağın fiziko-mekanik özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.10. Çalışma yapılan arazi

Çizelge 3.8. Toprağın fiziko-mekanik özellikleri

Toprak	
Tekstür Sınıfı	Killi-tın (Kil: 43%, Kum:29%, Tın:28%)
Penetrasyon Direnci (MPa) (0-30 cm için ortalama)	2.19
Toprak Nemi (%)	8.87
Organik madde (%)	0.95
Kesme gerilmesi (MPa)	$2.23x10^{-2}$
Anız yoğunluğu (g m^{-2})	324

3.2. Yöntem

3.2.1. Patinaj ve gerçek ilerleme hızı ölçümü

Traktör muharrik tekerleklerinde meydana gelen patinajları ve traktörün gerçek ilerleme hızını ölçmek için alan etkili sensör modüllerinden faydalanılmıştır. Sensör

modülleri sol ön tekerlek ile arka iki tekerleğe yerleştirilmiş olan mıknatısları algılayacak şekilde traktör üzerine Şekil 3.11'deki gibi konumlandırılmıştır.



(a) (b)

Şekil 3.11. Alan etkili sensör modülleri ve mıknatıslar (a) arka tekerlek (b) ön tekerlek

Traktörün gerçek ilerleme hızının ölçülmesi için sol ön tekerlek jantının iç kısmına, eşit aralıklarla 28 adet neodyum mıknatıs yerleştirilmiştir. Arka tekerlek hızlarının ve arka tekerleklerde meydana gelen patinaj miktarlarının belirlenmesi için ise arka tekerlek jantlarının iç kısmına, eşit aralıklarla 40'ar adet neodyum mıknatıs yerleştirilmiştir. Mıknatısları algılayacak olan alan etkili sensör modülleri ise traktör şasesi üzerine monte edilen aparatlara sabitlenmiştir. Modüller, mıknatıslar ile aralarında yaklaşık 10 mm boşluk bırakılarak monte edilmiştir.

Traktör gerçek ilerleme hızının belirlenmesi için sol ön tekerlek çevresi; arka tekerlek hızlarının belirlenmesi için de arka tekerlek çevreleri ölçülmüştür. Bu ölçümler için tekerlekler üzerinde birer noktaya gres yağı sürülmüş daha sonra traktör düz bir şekilde yürütülmüştür. Gres yağının yere bıraktığı iki iz aralığı tespit edilmiş, aradaki mesafe bir şeritmetre yardımıyla ölçülmüştür. Bu ölçüm sonucunda sol ön tekerlek çevresi 360 cm, arka tekerleklerin çevreleri ise 475'er cm olarak bulunmuştur. Bahsedilen tüm bu veriler yardımıyla traktörün gerçek ilerleme hızı ile arka tekerleklerin hızları km h^{-1} cinsinden Eşitlik 3.1 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$V_t = \frac{a_m \; x \; Ç \; x \; 3.6}{n_m} \qquad (3.1)$$

Burada;

V_t : Tekerlek hızı (km h^{-1})

a_m : Bir saniyede sayılan mıknatıs sayısı (adet)

Ç : Tekerlek çevresi (m)

n_m : Tekerlekte bulunan mıknatıs sayısı (adet)'dır.

Sol ve sağ arka tekerleklerde meydana gelen patinajlar ise yüzde cinsinden aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\%S = \frac{V_a - V_{ö}}{V_a} * 100 \quad (3.2)$$

Burada;

$\%S$: Patinaj (%)

V_a : Arka tekerlek hızı (km h^{-1})

$V_{ö}$: Ön tekerlek hızı (km h^{-1})'dır.

Sol ön tekerleğe monte edilen mıknatıslar ve alan etkili sensör modülü, traktörün ilerleme miktarını ölçmek için de kullanılmıştır. Traktörün ilerleme miktarı Eşitlik 3.3 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$L_0 = \frac{a_{ö}\ x\ 3.6}{n_{ö}} \quad (3.3)$$

Burada;

L_0 : Traktörün ilerleme miktarı (m)

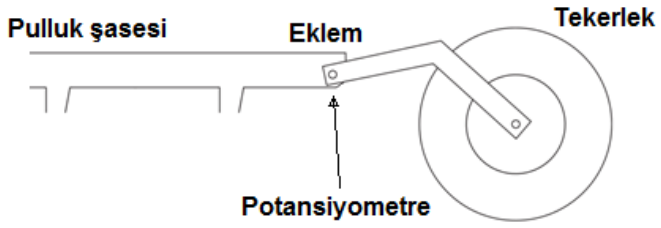
$a_{ö}$: Ön tekerlekten sayılan mıknatıs sayısı (adet)

$n_{ö}$: Ön tekerlekte bulunan mıknatıs sayısıdır (adet).

Sol ön tekerleğe, sol arka tekerleğe ve sağ arka tekerleğe monte edilen alan etkili sensör modüllerinin çıkışları Arduino Due mikrodenetleyici kartının sırasıyla 2., 3. ve 18. dijital (interrupt) girişlerine bağlanmıştır. Modüllerin ihtiyaç duyduğu +5V'luk besleme gerilimi, kontrol sistemi devre kartında bulunan LM7805 gerilim regülatörlerinden sağlanmıştır.

3.2.2. Toprak işleme derinliği ölçümü

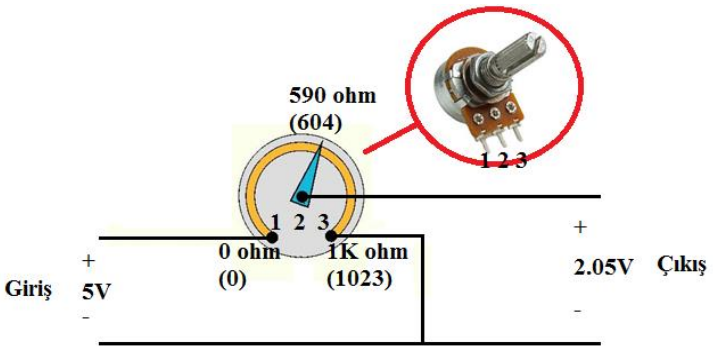
Toprak işleme derinliğinin ölçümü için pulluk üzerine hareketli ekleme sahip bir tekerlek bağlanmış ve eklemin hareket merkezine bir potansiyometre yerleştirilmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Derinlik ölçüm mekanizması

Tekerlek pulluk şasesine, işlenmemiş toprak üzerinde hareket edecek şekilde monte edilmiştir. Potansiyometre, sürülmemiş toprak yüzeyinde hareket eden tekerlek ile pulluğun şasesi arasında meydana gelen açısal farkı belirlemek için kullanılmıştır. Üç nokta askı sistemine bağlı pulluk, toprak işlemek üzere indirildiğinde hem tekerlek hem de pulluk kulakları aynı anda toprakla temas etmektedir. Bu durumda potansiyometre değeri sıfır başlangıç durumunu göstermektedir. Daha sonrasında ise pulluk toprağa batmaya devam etmekte ancak tekerlek toprak yüzeyinde kalmaktadır. Bu esnada tekerlek ile pulluk şasesi arasında bir açı oluşmakta, potansiyometrenin ayar vidası da bu açıya göre dönme hareketi gerçekleştirmektedir. Ayar vidasının dönme miktarına göre potansiyometrenin direnç değerinde de bir miktar değişim meydana gelmektedir.

Potansiyometre üç uçlu bir elektronik devre elemanıdır. Dairesel hareket yapan bir ayar vidasına sahiptir. Bu ayar vidasının hareketine göre potansiyometrenin direnç değeri değişmektedir. Potansiyometrenin bir numaralı ucu giriş, iki numaralı ucu çıkış ve üç numaralı ucu ortak uç olarak kullanılarak basit bir pozisyon sensörü oluşturulabilmektedir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Potansiyometre, yapısı ve sensör olarak kullanılması

Tasarlanan derinlik ölçüm sisteminde potansiyometre giriş ucuna, kontrol sistemi devre kartında bulunan LM7805 gerilim regülatöründen +5V'luk sabit DC

gerilim uygulanmış ve potansiyometrenin çıkış ucundan Arduino Due mikrodenetleyici kartının A3 analog giriş ucuna bağlantı yapılmıştır. Potansiyometrenin minimum ve maksimum değerleri arasında Arduino Due kartının analog girişine 0-5 V aralığında gerilim düşmektedir. Arduino Due kartı, üzerine düşen gerilim miktarına göre 8 bitlik analog/dijital dönüşüm gerçekleştirmekte ve 0-5 V analog gerilim değerini 0-1023 arasında bir sayısal değere dönüştürmektedir.

Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen ölçümler neticesinde, derinlik ölçüm tekerleğinin ve pulluk kulaklarının toprak yüzeyinde bulunduğu konumda (sıfır başlangıç konumu) potansiyometrenin 150 değerine karşılık geldiği görülmüştür. Yapılan derinlik değişimleri sonucunda elde edilen potansiyometre değerleri incelendiğinde ise potansiyometrenin her 1 değer değişiminin pullukta 0.25 cm'lik derinlik değişimine karşılık geldiği saptanmıştır. Bunun neticesinde, potansiyometreden okunan değer ile toprak işleme derinliği arasında aşağıdaki bağıntı ortaya çıkmıştır.

$$h = \left(R_p - 150\right)x0.25 \tag{3.4}$$

Burada;

h : Toprak işleme derinliği (cm)

R_p : Potansiyometreden okunan değerdir.

Eşitlik 3.4'teki bağıntı kullanılarak potansiyometreden alınan değer Arduino Due mikrodenetliyici kartında toprak işleme derinliği olarak hesaplanmış ve mikroSD karta kaydedilmiştir.

Çalışmalarda toprak işleme derinliği 25 cm olarak ayarlanmıştır. Toprak işleme derinliğinin çalışma boyunca mümkün olduğunca ayarlanan değere yakın ve sabit kalması iş kalitesi açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle kullanılan kontrol yöntemlerinin tamamında, ayarlanan 25 cm toprak işleme derinliğinin ne derece korunabildiğini belirlemek için bağıl hata değerleri dikkate alınmıştır. Bağıl hata aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (Marakoğlu ve Çarman, 2010);

$$\%\varepsilon_b = \frac{|y_a - y_ö|}{|y_a|} * 100 \tag{3.5}$$

Burada;

ε_b : Bağıl hata (%),

$y_{ö}$: Ölçülen değer,

y_a : Ayarlanan değer'dir.

Bununla birlikte toprak işleme sonrasında çizi derinliğindeki yüzey düzgünsüzlüğünü belirlemek için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Ekinci, 2011):

$$SR = Log10\ (SS) * 100 \quad (3.6)$$

Burada;

SR : Yüzey düzgünsüzlüğü (%)

SS : Standart sapma'dır.

3.2.3. Hidrolik ayar kolu kontrol sistemi

Çalışmada hidrolik ayar kolunun hareketi bir servo motor ile sağlanmıştır. Çalışmada kullanılan servo motorun 0^0 başlangıç noktası, hidrolik ayar kolunun 0 kademesine karşılık gelecek şekilde ayarlanmış ve montaj işlemi gerçekleştirilmiştir. Hidrolik ayar kolunun 0-10 arasındaki kademe ayarı için servo motor 0-100^0 arasında kontrol edilmiştir. Çalışmada kullanılan servo motorun laboratuvar ortamında yapılan kalibrasyon çalışmalarında, hidrolik ayar kolunun her bir kademesinin (Şekil 3.14), servo motorda 10^0'lik dönme açısına karşılık geldiği ve değişimin lineer olduğu saptanmıştır.



Şekil 3.14. Hidrolik ayar kolu

Laboratuvarda yapılan kalibrasyon çalışmalarında, hidrolik ayar koluna bağlı servo motora verilen komutlarla, üç nokta askı sisteminin davranışı gözlemlenmiş ve aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır;

1. Hidrolik ayar kolu 10 kademesindeyken (yani servo motor açısı 100^0), pulluk toprak seviyesine (sıfır başlangıç konumu) indirilmek istenirse, hidrolik kolun 2.6 kademesine (yani servo motor açısı 26^0) getirilmesi gerekmektedir. Bir başka deyişle; pulluğu daha yukarı bir pozisyondan toprak seviyesine (sıfır başlangıç konumu) indirmek için hidrolik ayar kolunu 2.6 kademesine (yani servo motor açısını 26^0) getirmek gereklidir.
2. Hidrolik ayar kolu 0 kademesindeyken (yani servo motor açısı 0^0) pulluk toprak seviyesine (sıfır başlangıç konumu) kaldırılmak istenirse, hidrolik kolun 5 kademesine (yani servo motor açısı 50^0) getirilmesi gerekmektedir. Bir başka deyişle; pulluğu daha aşağı bir pozisyondan toprak seviyesine (sıfır başlangıç konumu) kaldırmak için hidrolik ayar kolunu 5 kademesine (yani servo motor açısı 50^0) getirmek gereklidir.
3. Hidrolik ayar kolundaki her 0.1 kademe değişimi (yani servo motorun her 1^0'lik dönme hareketi) pullukta 2.5 cm derinlik değişimine karşılık gelmektedir.

Buradan görülmektedir ki, hidrolik kolun yukarıdan aşağı hareketiyle, aşağıdan yukarı hareketi esnasında, kademelerin üç nokta askı sistemindeki konum karşılıkları farklı olmaktadır. Bununla beraber pulluğun toprak işleme derinliğinin her 1 cm değişimi için servo motorun yaklaşık 0.5^0 döndürülmesi gerekmektedir.

Tüm bu veriler ışığında, servo motorla toprak işleme derinliği kontrolü için Eşitlik 3.7 ve Eşitlik 3.8'deki bağıntılar kullanılmıştır.

1. Eğer hidrolik kol yukarıdan aşağı hareket edecekse (pulluk çalışma derinliği artırılacaksa);

$$s_{ya} = 26 - (h * 0.5) \tag{3.7}$$

2. Eğer hidrolik kol aşağıdan yukarı hareket edecekse (pulluk çalışma derinliği azaltılacaksa);

$$s_{ay} = 50 - (h * 0.5) \tag{3.8}$$

Yukarıda verilen eşitliklerde;

s_{ya} : Yukarıdan aşağı hareket için servo motor açısı (^{0})

s_{ay} : Aşağıdan yukarı hareket için servo motor açısı (^{0})

h : Toprak işleme derinliği (cm)'tir.

3.2.4. Yakıt ölçüm sistemi

Toprak işleme faaliyetleri süresince tüketilen yakıt miktarının belirlenmesi için iki sıvı akış sensörü kullanılmıştır. Sıvı akış sensörlerinden gelen elektriksel sinyallerin işlenmesi için de bir Arduino Nano mikrodenetleyici kartından faydalanılmıştır. Sıvı akış sensörlerinden birincisi yakıt tankından motora giden yakıt miktarını, diğeri ise motordan yakıt tankına dönen yakıt miktarını ölçmek için kullanılmıştır. Yakıt tankından motora giden yakıtı ölçen sıvı akış sensörünün çıkışı, Arduino Nano mikrodenetleyici kartının 2. digital (interrupt) girişine; motordan yakıt tankına dönen yakıtı ölçen sıvı akış sensörünün çıkışı ise Arduino Nano miktrodenetleyici kartının 3. digital (interrupt) girişine bağlanmıştır. Sıvı akış sensörlerinin ihtiyaç duyduğu +5V'luk besleme gerilimi ise, kontrol sistemi devre kartı üzerinde bulanan LM7805 gerilim regülatörlerinden sağlanmıştır.

Sıvı akış sensörleri, her 1 L'lik yakıt geçişinde 4700 elektriksel darbe üreten bir encoder sistemine sahiptir. Denemeler esnasında sıvı akış sensörlerinin oluşturduğu bu darbeler Arduino Nano mikrodenetleyici kartının interrupt girişlerine (2. ve 3. digital girişler) uygulanmış, her bir saniyede meydana gelen darbe sayısı saydırılmış ve böylece bir saniyede geçen yakıt miktarına ulaşılmıştır. Bir saatte geçen yakıt miktarının hesaplanması için de Eşitlik 3.9'dan faydalanılmıştır.

$$y = \frac{d*3600}{4700} \tag{3.9}$$

Burada;

y : Sıvı akış sensöründen geçen yakıt miktarı (L h^{-1})

d : Sıvı akış sensöründen bir saniyede gelen darbe sayısıdır.

Sıvı akış sensörlerinden geçen yakıt miktarları (giden yakıt ve dönen yakıt) hesaplandıktan sonra, traktörün ilerleme hızı ve pulluk iş genişliği de dikkate alınarak anlık yakıt tüketimi Eşitlik 3.10 ve toplam yakıt tüketimi Eşitlik 3.11 ile aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$y_a = \frac{(d_g - d_d)*36000}{4700*V*b} \tag{3.10}$$

$$y_t = \frac{d_{tg} - d_{td}}{4700} \quad (3.11)$$

Yukarıda verilen eşitliklerde;

y_a : Anlık yakıt tüketimi (L ha^{-1})

d_g : Giden yakıtı ölçen sıvı akış sensörünün bir saniyede ürettiği darbe sayısı

d_d : Dönen yakıtı ölçen sıvı akış sensörünün bir saniyede ürettiği darbe sayısı

V : Traktör ilerleme hızı (km h^{-1})

b : İş genişliği (m)

y_t : Sıfırlama sonrası tüketilen toplam yakıt miktarı (L)

d_{tg} : Sıfırlama sonrası giden yakıtı ölçen sıvı akış sensörünün ürettiği toplam darbe sayısı

d_{td} : Sıfırlama sonrası dönen yakıtı ölçen sıvı akış sensörünün ürettiği toplam darbe sayısıdır.

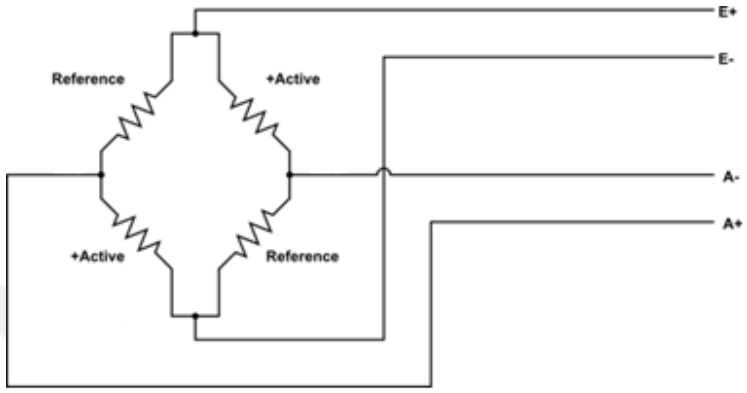
Yukarıdaki bağıntılar kullanılarak Arduino Nano mikrodenetleyici kartında hesaplanan yakıt tüketim değerleri, seri haberleşme (UART) uçları aracılığıyla (Rx, Tx) Arduino Due mikrodenetliyici kartına gönderilmiş ve mikroSD karta kaydedilmiştir.

3.2.5. Çeki kuvveti ölçüm sistemi

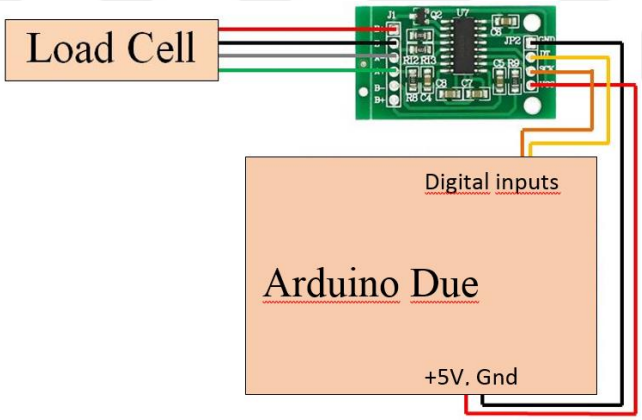
Çalışmada 30 kN'luk çeki kuvveti ölçebilen üç adet pim şeklinde yük hücresi kullanılmıştır. Yük hücreleri sırasıyla 3 nokta askı sisteminin sağ alt, sol alt ve üst orta noktalarına bağlanmıştır. Yük hücrelerinden gelen veriler öncelikle HX711 dönüştürücü modüllerine aktarılmış, burada işlenen veriler daha sonra Arduino Due mikrodenetleyici kartına iletilmiştir.

Çalışmada kullanılan yük hücreleri, içlerinde bulunan strain gaugelerin tam köprü biçiminde bağlanmasıyla oluşturulmuştur. Strain gaugeler maruz kaldıkları kuvvetlere göre direnç değerleri değişen malzemelerdir. Strain gaugelerden oluşturulan tam köprünün dört adet bağlantı ucu vardır. Bu uçlardan alınan çıkışlar strain gaugelerde meydana gelen direnç değişimlerini yani strain gaugelere uygulanan kuvvetlerin büyüklüklerini bildirirler. Yük hücresiyle uygulanan toplam çeki kuvvetini hesaplamak için bu dört uç birlikte dikkate alınır. HX711 modülleri, yük hücreleri içerisinde meydana gelen küçük değişimleri daha net okunabilir/değerlendirilebilir hale getirmek ve dört uçta meydana gelen değişimi değerlendirerek toplam çeki kuvvetini

hesaplamak için kullanılmıştır. Modül üzerinde bulunan dört adet girişe, tam köprüden gelen dört uç bağlanmış ve modülde bulunan iki çıkış ucu Arduino Due mikrodenetleyici kartında bulunan digital giriş uçlarına bağlanarak ölçüm gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.15 ve Şekil 3.16'da yük hücrelerinin iç yapısı ve HX711 bağlantı şeması verilmiştir.



Şekil 3.15. Yük hücresi iç yapısı



Şekil 3.16. Arduino Due – HX711 – Yük hücresi bağlantı şeması

Yük hücrelerinde meydana gelen direnç değişimlerinin ne kadarlık bir kuvvete denk geldiği yazılımda kullanılan kalibrasyon faktörleri ile belirlenmiştir. HX711 modüllerinin ihtiyaç duyduğu +5V'luk besleme gerilimi kontrol sistemi devre kartı üzerinde bulanan LM7805 gerilim regülatörlerinden sağlanmıştır. Arduino Due mikrodenetliyici kartında hesaplanan çeki kuvveti değerleri mikroSD karta kaydedilmiştir.

3.2.6. Kontrol sistemi kumanda tasarımı

Tasarlanan otomatik kontrol sistemlerinde, istenilen toprak işleme derinliği bir kumanda yardımıyla sisteme bildirilmiştir. Kumanda, herhangi bir Android tabanlı cep telefonu veya tablete yüklenebilen bir uygulamadır. Uygulama MIT App Inventor programı ile yazılmıştır (ai2.appinventor.mit.edu). Otomatik kontrol sistemleri, bildirilen toprak işleme derinlik değerine göre hidrolik ayar kolunun konumuna karar vermiştir.

Kumanda uygulaması bulunan Android tabanlı cep telefonu veya tablet, otomatik kontrol sistemleri ile bluetooth aracılığıyla haberleştirilmiştir. Tasarlanan kumanda uygulamasında otomatik kontrol sistemlerine doğrudan cm cinsinden toprak işleme derinliği girilebilmiş, girilen değer değiştirilebilmiş ve toprak işleme derinliği birer cm artırılıp, azaltılabilmiştir. Ayrıca kumanda uygulamasında ayarlanmış son toprak işleme derinliği değeri hafızaya alınarak üç nokta askı sistemi kollarının tamamen kaldırılması ve sonrasında hafızada bulunan değerin tek tuşla tekrar devreye sokulması sağlanmıştır (Lift-o-matic). Kumanda uygulamasında bunların dışında hidrolik kolların tamamen yukarı kaldırılması veya tamamen aşağı indirilmesi için de butonlar tasarlanmıştır. Tasarlanan kumanda uygulamasındaki tüm butonlar, rahatlıkla okunabilir ve tuşlanabilir şekilde oluşturulmuştur. Kumanda uygulamasının ekran görüntüsü Şekil 3.17'de verilmiştir.



Şekil 3.17. Kumanda uygulaması ekran resmi

Şekil 3.17'de görülen butonların görevleri Çizelge 3.9'da verilmiştir.

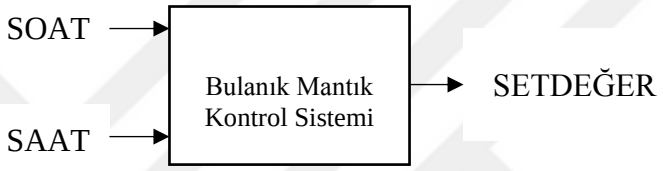
Çizelge 3.9. Kumanda uygulamasındaki butonların görevleri

Kumanda	
Bluetooth Bağlan	Butona basıldığında çıkan listeden, kontrol kartında bulunan bluetooth modül (HC-06) seçilerek onaylanır. Bağlantı sağlandığı takdirde alt satırda "Bluetooth Bağlı…" uyarısı görünür ve arka plan rengi yeşile döner.
Bluetooth Kes	Butona basıldığında bağlı bulunulan bluetooth bağlantısı kesilir ve alt satırda "Bağlantı Kesildi…" uyarısı görünür. Arka plan rengi bu durumda kırmızıya döner.
C	Daha önce imlecin bulunduğu yere yazılmış olan bir değer varsa silmek için kullanılır.
Ayarla	İmlecin bulunduğu yere yazılmış olan değeri, toprak işleme derinliği değeri olarak atamak için kullanılır. Değer girildikten sonra bu butona basılınca, üç nokta askı sistemine bağlı olan toprak işleme aleti girilen değerdeki derinliğe inecektir. Buraya girilen değer cm cinsinden olmalıdır.
+	Daha önceden girilen (mevcut) toprak işleme derinliği değerini 1cm artırmak için kullanılır.
-	Daha önceden girilen (mevcut) toprak işleme derinliği değerini 1cm azaltmak için kullanılır.
Hafıza	Toprak işleme esnasında, özellikle köşe dönüşleri gibi durumlarda, girilen toprak işleme derinliği değerini hafızaya alarak hidrolik kolları tamamen kaldırmak için kullanılır. Bu özellik bazı traktör üreticisi firmalarda "lift-o-matic" olarak isimlendirilmiştir.
Aktar	Daha önce hafızaya alınmış olan toprak işleme derinliği değerini çağırmak ve hidrolik kolların o derinlik değerine göre tekrar aşağı inmesini sağlamak için kullanılan butondur. Köşe dönüşleri gibi durumlarda hafızaya alınan değerin tek tuşla çağırılarak çalışmaya devam edilmesi için tasarlanmıştır.
Tam Kaldır	Hidrolik kolların tam yukarı kaldırılması için kullanılan butondur. Yol durumu için tasarlanmıştır.
Tam İndir	Hidrolik kolların tam aşağı indirilmesi için kullanılan butondur. Park durumu için tasarlanmıştır.

3.2.7. Bulanık mantık kontrol sistemi tasarımı

Toprak işleme faaliyetleri sırasında traktörde meydana gelen patinaj miktarına göre, üç nokta askı sistemine bağlı pulluğun toprak işleme derinliğini otomatik olarak artırıp azaltan bir bulanık mantık kontrol sistemi tasarlanmıştır.

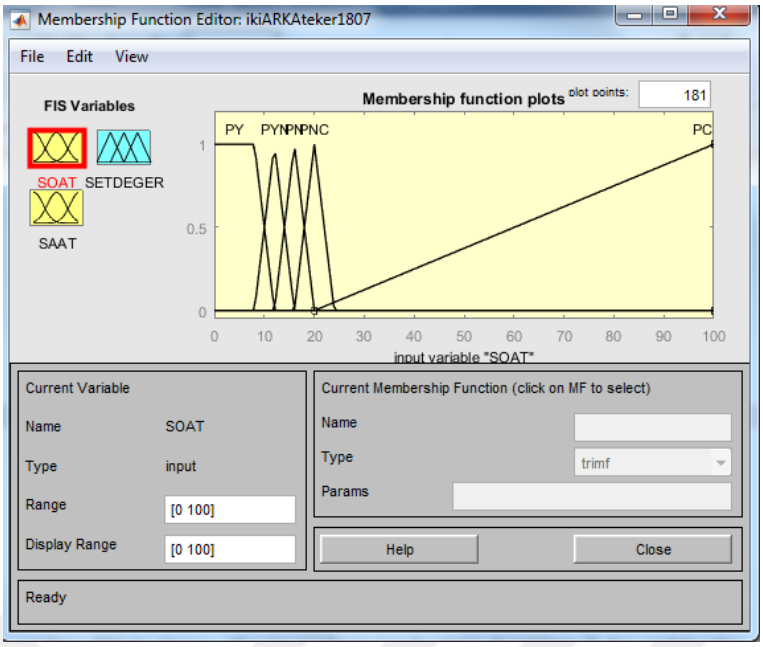
Tasarlanan bulanık mantık kontrol sisteminde iki adet giriş ve bir adet çıkış bulunmaktadır. Girişler için sol arka tekerlek patinaj miktarı (SOAT) ile sağ arka tekerlek patinaj miktarı (SAAT) ayrı ayrı dikkate alınmıştır. Çıkış ise ayarlanan toprak işleme derinliğinin % kaç azaltılacağını belirleyen bir katsayı (SETDEĞER)'dır. Tasarlanan bulanık mantık kontrol sisteminin yapısı Şekil 3.18'de verilmiştir.



Şekil 3.18. Bulanık mantık kontrol sistemi yapısı

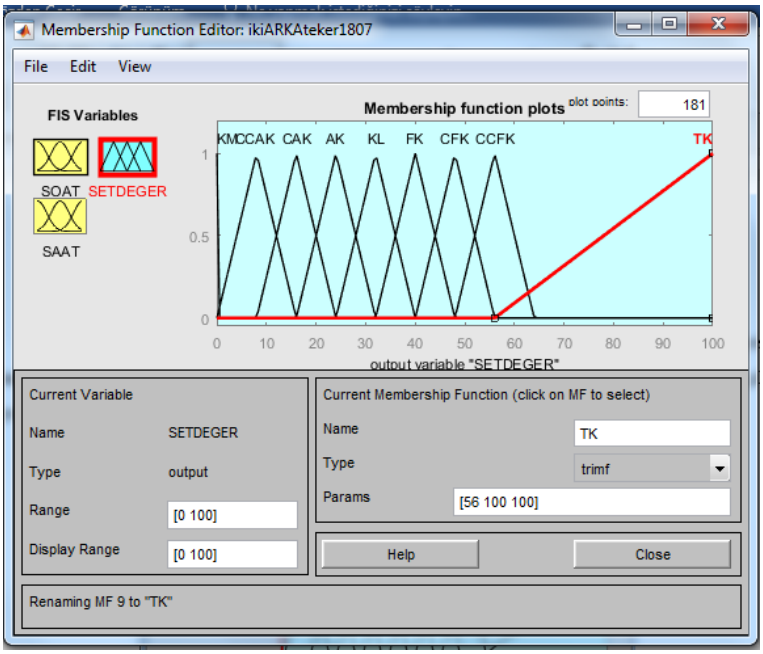
Bulanık mantık kontrol sistemi için giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları ile kural tabanı, MATLAB programında bulunan Fuzzy bloğu aracılığıyla tasarlanmış ve sistemin .fis uzantılı dosyası oluşturulmuştur. Daha sonra .fis uzantılı dosya www.makeproto.com internet sitesinde bulunan "Arduino FIST: MATLAB Fuzzy Inference System to Arduino C Converter" programı aracılığıyla arduino kodlarına dönüştürülmüştür.

Bulanık mantık kontrol sisteminin girişleri için 5'er adet üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Üyelik fonksiyonlarına sırasıyla patinaj yok (PY), patinaj yok-normal (PYN), patinaj normal (PN), patinaj normal-çok (PNC) ve patinaj çok (PC) isimleri verilmiştir. Şekil 3.19'da giriş üyelik fonksiyonları ve değer aralıkları görülmektedir.



Şekil 3.19. Giriş üyelik fonksiyonları

Bulanık mantık kontrol sisteminin çıkışı için 9 adet üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Çıkış üyelik fonksiyonlarına ise sırasıyla kaldırma (KM), çok çok az kaldır (CCAK), çok az kaldır (CAK), az kaldır (AK), kaldır (KL), fazla kaldır (FK), çok fazla kaldır (CFK), çok çok fazla kaldır (CCFK) ve tam kaldır (TK) isimleri verilmiştir. Şekil 3.20'de çıkış üyelik fonksiyonları ve değer aralıkları görülmektedir.



Şekil 3.20. Çıkış üyelik fonksiyonları

Giriş üyelik fonksiyonları için belirlenen 0-100 aralığı patinaj miktarını temsil ederken, çıkış üyelik fonksiyonu için belirlenen 0-100 aralığı toprak işleme derinliğinin % kaç azaltılacağını belirtmektedir.

Tasarlanan bulanık mantık denetleyici için gerekli olan 25 kural ise aşağıdaki gibi oluşturulmuştur. Kurallarda SOAT, sol arka tekerlek patinaj miktarını; SAAT, sağ arka tekerlek patinaj miktarını; SETDEĞER ise çıkışı temsil etmektedir.

Kural1. Eğer SOAT, PY ve SAAT, PY ise SETDEĞER, KM'dır.

Kural2. Eğer SOAT, PY ve SAAT, PYN ise SETDEĞER, CCAK'dır.

Kural3. Eğer SOAT, PY ve SAAT, PN ise SETDEĞER, CAK'dır.

Kural4. Eğer SOAT, PY ve SAAT, PNC ise SETDEĞER, AK'dır.

Kural5. Eğer SOAT, PY ve SAAT, PC ise SETDEĞER, KL'dır.

Kural6. Eğer SOAT, PYN ve SAAT, PY ise SETDEĞER, CCAK'dır.

Kural7. Eğer SOAT, PYN ve SAAT, PYN ise SETDEĞER, CAK'dır.

Kural8. Eğer SOAT, PYN ve SAAT, PN ise SETDEĞER, AK'dır.

Kural9. Eğer SOAT, PYN ve SAAT, PNC ise SETDEĞER, KL'dır.

Kural10. Eğer SOAT, PYN ve SAAT, PC ise SETDEĞER, FK'dır.

Kural11. Eğer SOAT, PN ve SAAT, PY ise SETDEĞER, CAK'dır.

Kural12. Eğer SOAT, PN ve SAAT, PYN ise SETDEĞER, AK'dır.

Kural13. Eğer SOAT, PN ve SAAT, PN ise SETDEĞER, KL'dır.

Kural14. Eğer SOAT, PN ve SAAT, PNC ise SETDEĞER, FK'dır.

Kural15. Eğer SOAT, PN ve SAAT, PC ise SETDEĞER, CFK'dır.

Kural16. Eğer SOAT, PNC ve SAAT, PY ise SETDEĞER, AK'dır.

Kural17. Eğer SOAT, PNC ve SAAT, PYN ise SETDEĞER, KL'dır.

Kural18. Eğer SOAT, PNC ve SAAT, PN ise SETDEĞER, FK'dır.

Kural19. Eğer SOAT, PNC ve SAAT, PNC ise SETDEĞER, CFK'dır.

Kural20. Eğer SOAT, PNC ve SAAT, PC ise SETDEĞER, CCFK'dır.

Kural21. Eğer SOAT, PC ve SAAT, PY ise SETDEĞER, KL'dır.

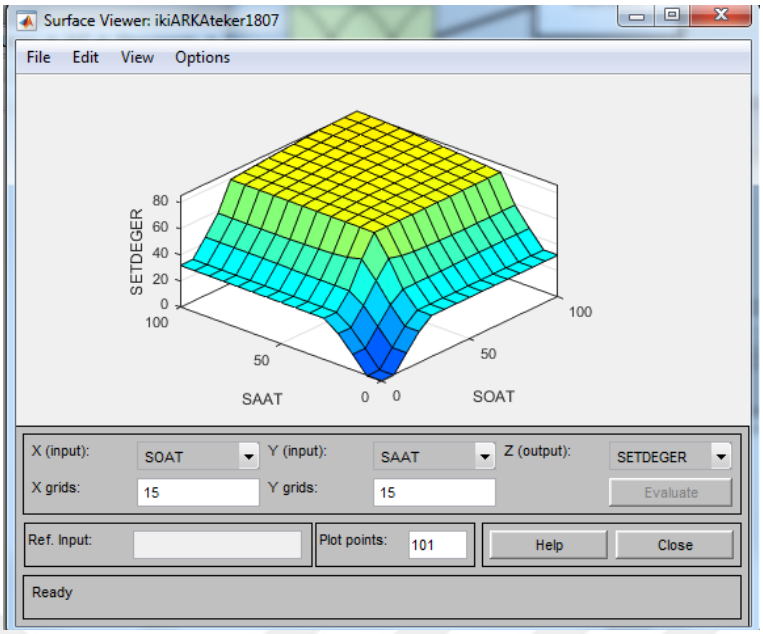
Kural22. Eğer SOAT, PC ve SAAT, PYN ise SETDEĞER, FK'dır.

Kural23. Eğer SOAT, PC ve SAAT, PN ise SETDEĞER, CFK'dır.

Kural24. Eğer SOAT, PC ve SAAT, PNC ise SETDEĞER, CCFK'dır.

Kural25. Eğer SOAT, PC ve SAAT, PC ise SETDEĞER, TK'dır.

Oluşturulan kural tabanı sonrası elde edilen kural yüzeyi Şekil 3.21'de verilmiştir.

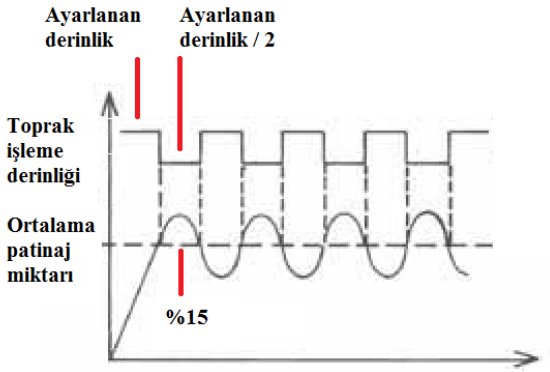


Şekil 3.21. Kural yüzeyi

Oluşturulan bulanık mantık kontrol sisteminde karar verme mekanizması Mamdani yöntemi ile, durulaştırma birimi ise ağırlık merkezi yöntemi ile işletilmiştir.

3.2.8. On-off kontrol sistemi tasarımı

Çalışmada tasarlanan on-off kontrol sistemi için giriş olarak toprak işleme derinliği alınmıştır. Toprak işleme derinliğini hidrolik ayar kolunun pozisyonu belirlediği için, giriş olarak hidrolik ayar kolunun pozisyonu alınmıştır da denilebilir. Çıkış ise sol ve sağ arka tekerleklerde meydana gelen patinaj miktarlarının ortalamasıdır. Bu sayede Şekil 3.22'deki gibi bir işleyiş hedeflenmiştir.



Şekil 3.22. Tasarlanan on-off kontrol sistemi işleyişi

Şekil 3.22'ye göre, ortalama patinaj değeri %15 değerinin üzerine çıkarsa toprak işleme derinliği ayarlanan derinliğin yarısına düşürülecektir. Eğer patinaj değeri %15 değerinin altında ise toprak işleme derinliği ayarlanan değerde kalacaktır.

Tasarlanan on-off kontrol sisteminde ortalama patinaj miktarının belirlenmesi için Eşitlik 3.12 kullanılmıştır:

$$S_O = \frac{S_{SOAT}+S_{SAAT}}{2} \tag{3.12}$$

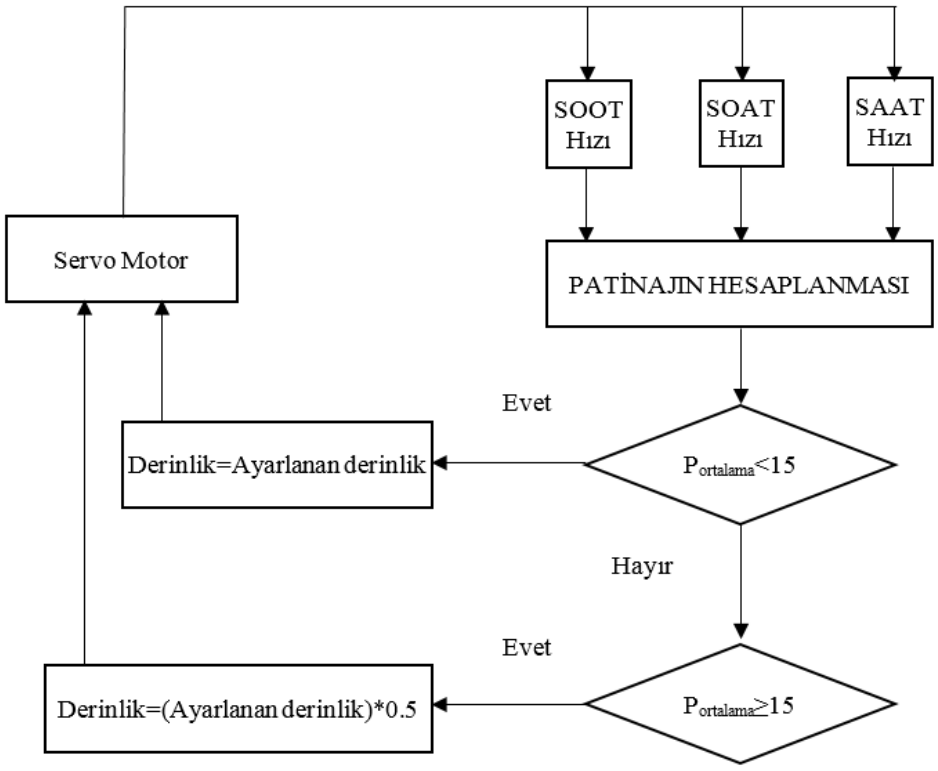
Burada;

S_O : Ortalama patinaj miktarı (%)

S_{SOAT} : Sol arka tekerlekte meydana gelen patinaj miktarı (%)

S_{SAAT} : Sağ arka tekerlekte meydana gelen patinaj miktarı (%)'dır.

Tasarlanan on-off kontrol sisteminin akış diyagramı Şekil 3.23'de verilmiştir.



Şekil 3.23. On-off kontrol sistemi akış diyagramı

On-off kontrol sisteminde ortalama patinaj miktarı hesaplanmış ve izin verilen patinaj değeriyle (%15) sürekli olarak karşılaştırılmıştır. Ölçülen patinaj miktarı izin

verilen patinaj miktarını aştığında ise kontrol sistemi hidrolik ayar koluna müdahalede bulunmuştur.

Denemeler esnasında hesaplanan ortalama patinaj miktarlarının değişim aralıkları sistemi kararsızlığa sokacak kadar yakın olmadığından, izin verilen patinaj değeri için herhangi bir histerezis aralığı kullanılmamıştır. Tasarlanan sistemin işleyişi için, yazılım kısmında aşağıdaki kurallar kullanılmıştır.

EĞER "S_O"<15 İSE "toprak işleme derinliği"="Ayarlanan derinlik değeri"

EĞER "S_O"≥15 İSE "toprak işleme derinliği"="Ayarlanan derinlik değeri/2"

3.2.9. Uyarı sistemi

Tasarlanan uyarı sisteminde, operatörün traktörde meydana gelen patinaj miktarına göre görsel ve/veya sesli olarak uyarılması amaçlanmıştır. Bu sayede operatörün tam olarak hissedemeyebileceği yüksek patinaj miktarlarından haberdar olması ve toprak işleme derinliğini hızlı bir şekilde yeniden ayarlaması sağlanacaktır.

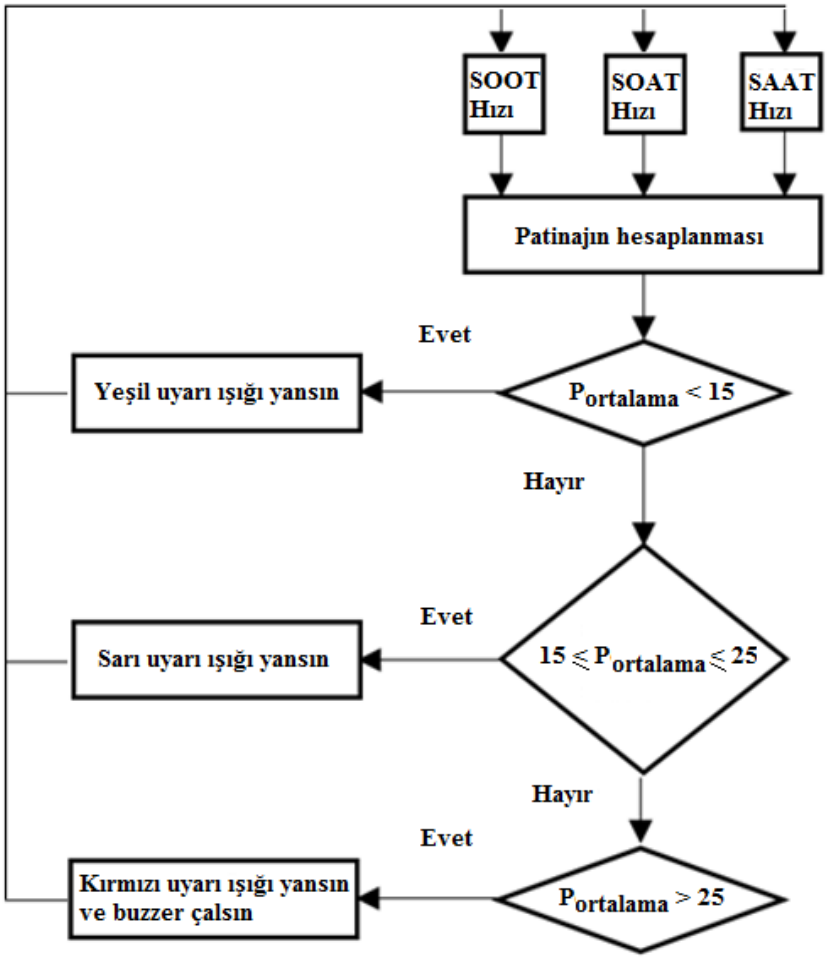
Uyarı sisteminde de on-off kontrol sisteminde olduğu gibi ortalama patinaj değeri dikkate alınmıştır. Ortalama patinaj değerine göre kontrol kartı üzerinde bulunan yeşil, sarı ve kırmızı uyarı ışıkları ile uyarı zili (buzzer) kontrol edilmiştir. Uyarı ışıkları ve zil aşağıdaki kurallara göre çalıştırılmıştır:

EĞER "S_O"<15 İSE Yeşil Uyarı Işığı yansın

EĞER 15≤"S_O"≤25 İSE Sarı Uyarı Işığı yansın

EĞER "S_O">25 İSE Kırmızı Uyarı Işığı yansın ve Buzzer çalsın

Uyarı kontrol sisteminin akış diyagramı Şekil 3.24'de verilmiştir.



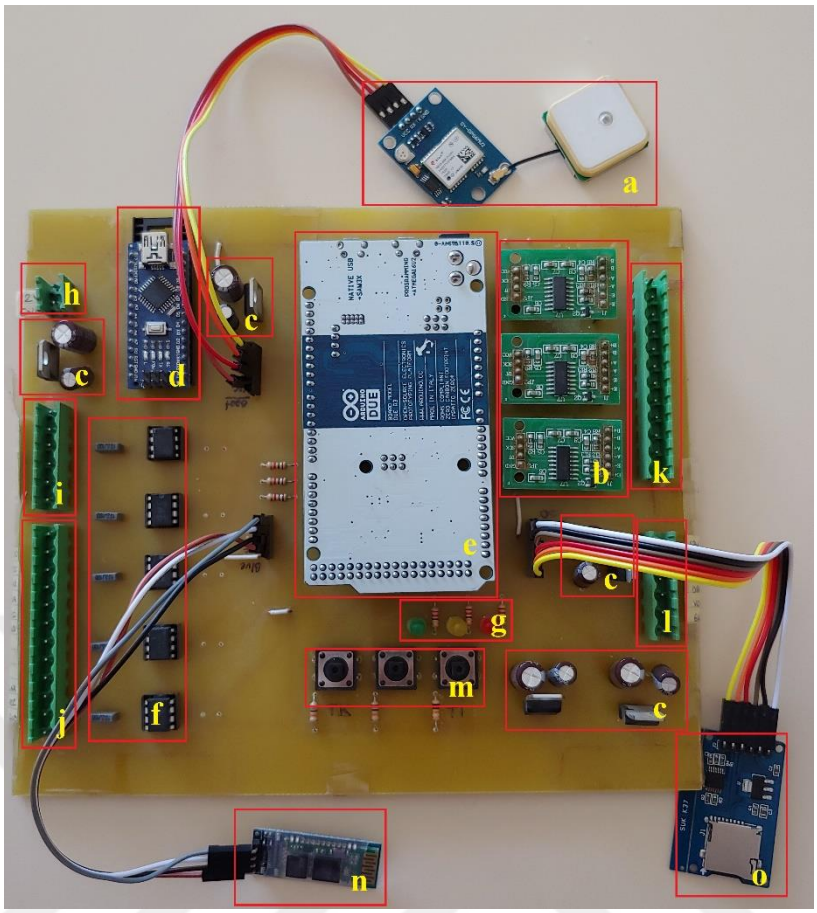
Şekil 3.24. Uyarı kontrol sistemi akış diyagramı

Akış diyagramı incelendiğinde, traktörde meydana gelen ortalama patinaj miktarının sürekli olarak hesaplandığı ve değer %15'in altında ise yeşil uyarı ışığının yakıldığı görülmektedir. Eğer ortalama patinaj miktarı %15 ile %25 değer aralığında ise bu kez sarı uyarı ışığının yakıldığı görülmektedir. Ortalama patinaj miktarı %25 değerinin üzerine çıktığında ise kırmızı uyarı ışığının yakıldığı ve uyarı zilinin çaldırıldığı görülmektedir.

Denemeler öncesinde sürücüye sadece uyarı ekranına bakması ve uyarı sesini dinlemesi söylenmiştir. Uyarı ekranında yeşil ışık yanarken toprak işleme derinliğinde herhangi ayar yapmaması, sarı ışık yanarsa toprak işleme derinliğini (isterse) bir miktar azaltabileceği, kırmızı ışık yandığında ise toprak işleme derinliğini mutlaka azaltması söylenmiştir. Bunların dışında, kendi hisleriyle herhangi bir müdahalede bulunmaması istenmiştir.

3.2.10. Kontrol kartı ve bileşenlerinin tasarımı

Traktör üzerine monte edilen tüm sensörler ve kontrol ekipmanları bir kontrol kartına bağlanmıştır. Kontrol kartı baskı devresinde 21*21 cm boyutlarında tek taraflı bir bakır plaket kullanılmıştır. Bu kart üzerinde bir Arduino Due mikrodenetleyici kartı, bir Arduino Nano mikrodenetleyici kartı, bir GPS alıcı modül, bir bluetooth bağlantı modülü, bir microSD kart modülü, 3 adet HX711 dönüştürücü modülü, filtreleme için kullanılan 5 adet opamp, +5V besleme gerilimi ihtiyaçları için 4 adet 7805 gerilim regülatörü, çeşitli sayılarda devre elemanları ve bağlantı klemensleri bulunmaktadır. Kartın tasarımı Proteus 7 ISIS-ARES programında yapılmıştır. Önce ISIS programıyla devre şeması oluşturulmuş daha sonra ARES programıyla baskı devre şeması tasarlanmıştır. Tasarlanan baskı devre şeması transfer kağıdı ve ütü yardımıyla bakır plaket üzerine aktarılmış ve tuz ruhu+perhidrol karışımıyla bakır plaket eritilerek devre kartı oluşturulmuştur. Devre elemanlarını yerleştirmek için el matkabıyla devre elemanlarının yerleşeceği delikler açılmış, devre elemanları yerleştirildikten sonra tabanca havya kullanılarak lehimleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.25'te kontrol kartı ve üzerinde bulunan kontrol ekipmanları görülmektedir.



Şekil 3.25. Kontrol kartı ve kontrol ekipmanları (a. Neo-6M GPS Modül, b. HX711 modüller, c. 7805 gerilim regülatörleri, d. Arduino Nano yakıt ölçüm sistem kartı, e. Arduino Due veri toplama ve işleme kartı, f. LM741 filtre elemanları, g. Uyarı LEDleri, h. +12V Besleme konnektörleri, i. Yakıt akış metre bağlantı konnektörleri, j. Hall effect sensör bağlantı konnektörleri, k. Yük hücreleri bağlantı konnektörleri, l. Servo motor bağlantı konnektörleri, m. Programlanabilir butonlar, n. Bluetooth modül, o. MicroSD kart modülü)

3.2.11. Sonuç gösterimi ve microSD karta kayıt yöntemi

Tasarlanan kontrol sistemlerinin yazılımları Arduino 1.8.7 yazılım programıyla gerçekleştirilmiştir. Sistem için gerekli olan toprak işleme derinliği bilgisi Android tabanlı kumanda uygulamasından girilmiş ve sistemin çalışma sonuçları kontrol kartına bağlı olan bir laptopla izlenmiştir. Sistem çalışması esnasında tarih, saat, GPS konum, gerçek hız, sol arka tekerlek patinaj miktarı, sağ arka tekerlek patinaj miktarı, anlık yakıt tüketimi, toplam yakıt tüketimi, 3 nokta askı sistemine bağlı sol alt çeki kuvveti, sağ alt çeki kuvveti, üst orta çeki kuvveti, toprak işleme derinliği, ilerleme miktarı, ayarlanan derinlik ve hidrolik kol konumu bilgileri bir .txt dosyasına işlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ayrıca 2 GB'lık bir microSD hafıza kartına da kaydedilmiştir.

3.2.12. Denemelerin planlanması, yürütülmesi ve değerlendirilmesi

Denemeler 100'er metrelik doğrusal uzunlukta 3 tekerrür şeklinde gerçekleştirilmiştir. İlk deneme bulanık mantık kontrol sistemiyle, ikinci deneme on-off kontrol sistemiyle, üçüncü deneme uyarı sistemiyle ve son deneme kontrol sistemleri devre dışı bırakılarak sadece sürücü kontrolüyle gerçekleştirilmiştir. Denemeler aynı traktör ve aynı sürücü ile, aynı vites kademesinde, yaklaşık aynı motor devrinde, aynı lastik basınçları ile ve aynı parselde yan yana çiziler şeklinde yapılmıştır.

Denemelerde tüm kontrol yöntemlerinin sağlıklı bir şekilde karşılaştırılabilmesi için traktörün çeki ayar kolu 0 pozisyonunda tutulmuştur. Kontrol yöntemlerinin tamamında pozisyon kolu ayarı ile çalışılmıştır (Pranav ve ark., 2012; Gupta ve ark., 2019).

Gerçekleştirilen çalışmada verilerin istatistiksel analizleri için, SPSS istatistik paket programı (SPSS Inc. version 17.0) kullanılmıştır. İstatistiksel işlemlerde anlamlılık düzeyi olarak 0.05 kabul edilmiştir.

Analizlerde bulanık mantık kontrol sistemi, on-off kontrol sistemi, uyarı sistemi ve sürücü kontrolü ile elde edilen patinaj, ilerleme hızı, anlık yakıt tüketimi, toplam çeki kuvveti, toprak işleme derinliği ve alan iş başarısı değerleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

Çalışmada elde edilen verilerin normal dağılım gösterip göstermediklerini tespit etmek için ilk olarak Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro Wilk testi kullanılmıştır. Test sonucunda, tüm kontrol yöntemleri için, verilerin normal dağılım göstermedikleri tespit edilmiştir ($p<0.05$). Bu nedenle, takip eden analizlerde parametrik olmayan (non-parametrik) istatistiksel testler kullanılmıştır (Çelik, 2018).

Gerçekleştirilen çalışmada, karşılaştırılan dört farklı kontrol yöntemi arasında patinaj, ilerleme hızı, anlık yakıt tüketimi, toplam çeki kuvveti, toprak işleme derinliği ve alan iş başarısı açısından fark olup olmadığını tespit etmek için Kruskal Wallis testi kullanılmıştır. Kontrol yöntemleri arasındaki farklılıkları belirlemek için ise One-Way ANOVA: Post Hoc testi uygulanmıştır. Analiz edilen veriler normal dağılım göstermedikleri için, Post Hoc testinde Tamhane's T2 yöntemi seçilmiştir (Kalaycı, 2016).

Çalışmada ayrıca, 80 saniyelik her deneme için, patinajın kaç saniye boyunca %15 seviyesinin altında kaldığı belirlenmiş ve kontrol yönteminin başarısı olarak değerlendirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Araştırmada, iki farklı otomatik kontrol sistemi (on-off kontrol ve bulanık mantık kontrol), bir sürücü uyarı sistemi ve herhangi bir otomatik kontrol ya da uyarı sistemi olmadan sürücü kontrolü ile 25 cm toprak işleme derinliğinde pullukla toprak işleme faaliyetleri gerçekleştirilmiştir. Faaliyetler süresince traktörün gerçek ilerleme hızı, traktörün muharrik (sol ve sağ arka) tekerleklerinde meydana gelen patinaj miktarları, anlık yakıt tüketimi, 3 nokta askı kollarındaki çeki kuvvetleri ve toprak işleme derinliği değerleri ölçülmüştür.

4.1. Deneme Sonuçları

4.1.1. Hız ve mesafe ölçüm sistemi sonuçları

Traktörün sol ön ve iki arka tekerleğine monte edilen hız ve mesafe ölçüm sisteminden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1 ve 4.2 ile Şekil 4.1'de verilmiştir. Verilen sonuçlar laboratuvar ortamında (asfalt/beton zeminde) yapılan denemeler esnasında elde edilen sonuçlardır.

Çizelge 4.1. Hız ölçümü sonuçları

Gerçek İlerleme Hızı (km h^{-1})	Sol Ön Tekerlek Hızı		Sol Arka Tekerlek Hızı		Sağ Arka Tekerlek Hızı	
	Hız (km h^{-1})	Sapma (%)	Hız (km h^{-1})	Sapma (%)	Hız (km h^{-1})	Sapma (%)
1.8	1.85	2.8	1.71	-5.0	1.71	-5.0
3.6	3.7	2.8	3.42	-5.0	3.42	-5.0
4.5	4.63	2.9	4.28	-4.9	4.28	-4.9
5.4	5.55	2.8	5.13	-5.0	5.13	-5.0

Ölçümler dört farklı hız için yapılmıştır. Denemelerde ön tekerlekteki maksimum sapmanın %2.9, arka tekerlekler için ortaya çıkan maksimum sapmanın %5 olduğu görülmüştür. Kumar ve ark. (2017); 1.19 m s^{-1}'lik gerçek ilerleme hızında radar sensörün 0.98-1.42 m s^{-1}'lik aralıkta değer gösterdiğini belirtmişler ve bu aralıkların müsaade edilen %20'lik sapma değeri içinde kaldığını bildirmişlerdir.

Çizelge 4.2. Mesafe ölçüm sonuçları

Gerçek Mesafe (m)	1. Deneme		2. Deneme		3. Deneme		Ortalama	
	Mesafe (m)	Sapma (%)	Mesafe (m)	Sapma (%)	Mesafe (m)	Sapma (%)	Mesafe (m)	Sapma (%)
10	9	-10.0	10	0.0	10	0.0	9.67	-3.3
20	19	-5.0	20	0.0	20	0.0	19.67	-1.6
30	30	0.0	30	0.0	30	0.0	30	0.0
40	40	0.0	40	0.0	40	0.0	40	0.0
50	50	0.0	51	2.0	51	2.0	50.67	1.3

Mesafe ölçümlerinde beş farklı mesafe için denemeler yapılmıştır. Denemelerde ortaya çıkan en büyük sapma 10 metrelik mesafe ölçümünde %10 olmuştur. Denemeler sonucunda ortalama sapma değerinin maksimum %3.3 olduğu ve ölçüm mesafesi uzadıkça sapmanın güçlü bir şekilde azaldığı görülmüştür. Pranav ve ark. (2010) da yüksek patinaj değerleri ölçmede geliştirdikleri elektronik ölçüm sisteminin daha hassas çalıştığını bildirmişlerdir.

Hız ve mesafe ölçümlerinde ortaya çıkan sapmalar, ön ve arka tekerleklere yerleştirilen mıknatıs sayısının ve aralıklarının farklı olmasıyla açıklanabilir. Mesafedeki hassasiyetin 1 metre olarak seçilmesi nedeniyle de kısa mesafe ölçümlerinde sapma miktarı yükselmektedir. Buna rağmen hem patinaj hem de mesafe ölçümlerinde elde edilen ortalama değerler, ölçüm sistemlerinin yeterli doğrulukta olduğunu göstermiştir. Tekerlek hızlarında regresyon katsayısı R^2=1 iken, mesafede R^2=0.9999 olarak bulunmuştur (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Hız ve mesafe ölçümü sonuçları (a) Sol ön tekerlek hızı (b) Sağ ve sol arka tekerlek hızı (c) Mesafe

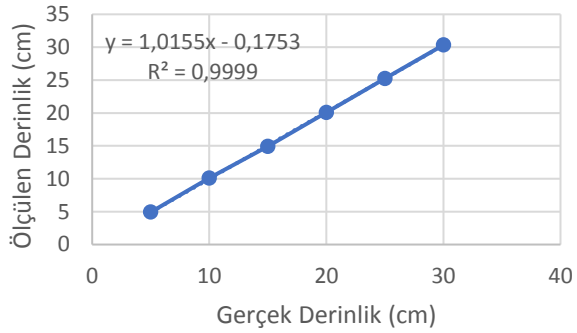
4.1.2. Toprak işleme derinliği ölçüm sistemi sonuçları

Pulluk üzerine monte edilen toprak işleme derinliği ölçüm tekerleği ile laboratuvar ortamında yapılan denemeler esnasında elde edilen ölçüm sonuçları Çizelge 4.3 ve Şekil 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Derinlik ölçümü kalibrasyon sonuçları

Gerçek Derinlik (cm)	1. Deneme		2. Deneme		3. Deneme		Ortalama	
	Derinlik (cm)	Sapma (%)	Derinlik (cm)	Sapma (%)	Derinlik (cm)	Sapma (%)	Derinlik (cm)	Sapma (%)
0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
5	4.75	-5.0	4.75	-5.0	5.25	5.0	4.92	-1.6
10	10	0.0	10	0.0	10.25	2.5	10.08	0.8
15	14.75	-1.7	15	0.0	15	0.0	14.92	-0.5
20	20	0.0	20.25	1.3	20	0.0	20.08	0.4
25	25.25	1.0	25.25	1.0	25.25	1.0	25.25	1.0
30	30.5	1.7	30.25	0.8	30.25	0.8	30.33	1.1

Denemelerde 30 cm'ye kadar olan derinlikler 5'er cm aralıklarla ölçülmüştür. Ölçümler sonucu ortaya çıkan en büyük sapma 5 cm derinlik ölçümünde %5 olmuştur. Ortalama sapmanın maksimum değeri ise %1.6 olarak ortaya çıkmıştır. Sapma miktarının derinlik değeri artışıyla azaldığı görülmüştür. Derinlik ölçümünde regresyon katsayısı R^2=0.9999 olarak bulunmuştur (Şekil 4.2). Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde tasarlanan toprak işleme derinliği ölçüm sisteminin yüksek doğrulukla ölçüm yaptığı tespit edilmiştir. Jia ve ark. (2016), geliştirdikleri derinlik ölçüm sisteminde 500 mm toprak işleme derinliğinde maksimum hatayı 6.2 mm olarak bulmuşlardır. Shafaei ve ark. (2019b) da benzer sonuçlar bildirmişlerdir.



Şekil 4.2. Derinlik ölçüm sonuçları

4.1.3. Hidrolik ayar kolu kontrol sistemi sonuçları

Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen denemeler esnasında hidrolik ayar kolu kademesi 10'da iken, kolu hareket ettiren servo motorun 100 derecede; hidrolik ayar kolu kademesi 0'da iken, kolu hareket ettiren servo motorun 0 derecede olduğu doğrulanmıştır. Ayrıca servo motorda 0-100 derece arasında meydana gelen

değişimlerin hidrolik ayar kolunda 0-10 kademelerinde lineer bir karşılık bulduğu gözlemlenmiştir.

Hidrolik ayar kolu yukarıdan aşağı (hidrolik ayar kolu kademesi 10'dan 0'a doğru) indirilmek koşulu ile pulluğun toprağa temas ettiği kademe 2.6 (servo motor 26^0) olarak tespit edilmiştir. Hidrolik ayar kolu aşağıdan yukarı (hidrolik ayar kolu kademesi 0'dan 10'a doğru) kaldırılmak koşulu ile pulluğun topraktan temasını kestiği kademe 5.0 (servo motor 50^0) olarak tespit edilmiştir.

Tüm bunlarla birlikte, hidrolik ayar kolunun; önce yukarı ve sonrasında aşağı veya önce aşağı ve sonrasında yukarı hareketi esnasında hidrolik ayar kolunda 2.4 kademelik (servo motor için 24^0) bir ölü bölge tespit edilmiştir.

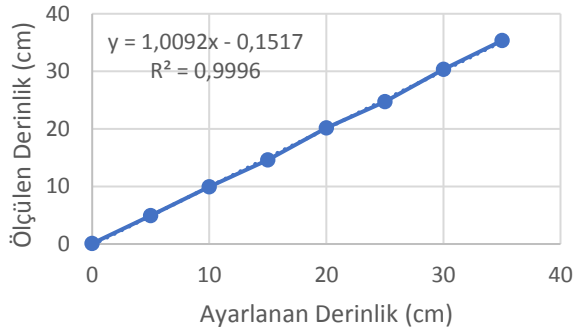
Servo motorun farklı açıları için hesaplanan ve ölçülen derinlik değerleri Çizelge 4.4 ile Şekil 4.3 ve 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Servo motor-hidrolik ayar kolu için derinlik ayar değerleri

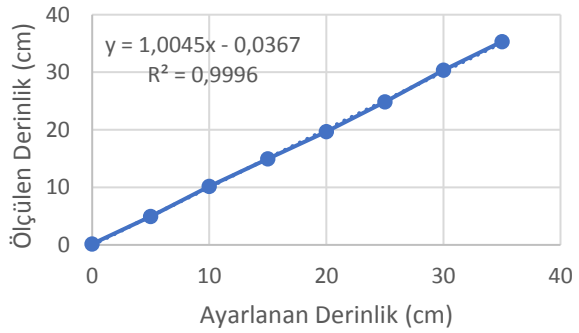
			1. Deneme		2. Deneme		3. Deneme		Ortalama	
	İstenen Derinlik (cm)	**Hesaplanan servo motor açısı (derece)**	**Ölçülen derinlik (cm)**	**Sapma (%)**	**Ölçülen derinlik (cm)**	**Sapma (%)**	**Ölçülen derinlik (cm)**	**Sapma (%)**	**Ortalama derinlik (cm)**	**Sapma (%)**
Yukarıdan aşağı harekette	5	23.5	5	0.0	4.75	-5.0	5	0.0	4.92	-1.6
	10	21	9.75	-2.5	10	0.0	10	0.0	9.92	-0.8
	15	18.5	14.5	-3.3	14.75	-1.7	14.5	-3.3	14.58	-2.8
	20	16	20.25	1.3	20.25	1.3	20	0.0	20.17	0.9
	25	13.5	24.75	-1.0	24.5	-2.0	25	0.0	24.75	-1.0
	30	11	30.25	0.8	30.25	0.8	30.5	1.7	30.33	1.1
	35	8.5	35.25	0.7	35.25	0.7	35.5	1.4	35.33	0.9
Aşağıdan yukarı harekette	35	32.5	35.25	0.7	35.5	1.4	35.25	0.7	35.33	0.9
	30	35	30.5	1.7	30.25	0.8	30.25	0.8	30.33	1.1
	25	37.5	25	0.0	24.75	-1.0	24.75	-1.0	24.83	-0.7
	20	40	19.75	-1.3	19.75	-1.3	19.5	-2.5	19.67	-1.6
	15	42.5	15	0.0	14.75	-1.7	15	0.0	14.92	-0.5
	10	45	10.25	2.5	10	0.0	10.25	2.5	10.17	1.7
	5	47.5	5	0.0	5	0.0	4.75	-5.0	4.92	-1.6

Yapılan çalışmalarda toprak işleme ekipmanı öncelikle yol durumundan kademeli olarak 35 cm derinlikte toprak işleme yapacağı pozisyona kadar; daha sonra ise park durumundan kademeli olarak 5 cm derinlikte toprak işleme yapacağı pozisyona kadar ayarlanmıştır. Ayarlamalar 5'er cm'lik aralıklarla yapılmış ve derinlik ölçüm tekerleğinden derinlik değerleri okunmuştur. Ölçümler neticesinde en büyük sapma %5 olarak ortaya çıkmış; ortalama sapmanın maksimum değeri ise %2.8 olarak hesaplanmıştır. Hidrolik ayar kolunun hem yukarıdan aşağıya hem de aşağıdan yukarıya

hareketinde elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde tasarlanan hidrolik ayar kolu kontrol sisteminin regresyon katsayısı R^2=0.9996 olarak bulunmuş ve yüksek doğrulukla ölçüm yaptığı tespit edilmiştir (Şekil 4.3 - 4.4). Suomi ve ark. (2009) da tasarladıkları otomatik derinlik kontrol sisteminin 8 mm doğrulukla çalıştığını bildirmişlerdir.



Şekil 4.3. Hidrolik ayar kolu kontrol sistemi sonuçları (Yukarıdan aşağı harekette)



Şekil 4.4. Hidrolik ayar kolu kontrol sistemi sonuçları (Aşağıdan yukarı harekette)

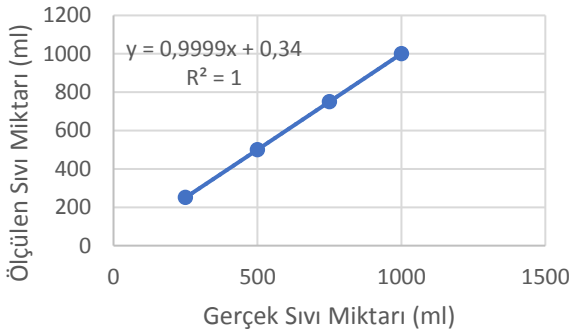
4.1.4. Yakıt ölçüm sistemi sonuçları

Yakıt tüketiminin belirlenmesi için kullanılan sıvı akış sensörlerinin kalibrasyonları için bir dereceli kap kullanılmış ve bir litre su ile laboratuvar ortamında denemeler yapılmıştır. Yapılan denemeler sonrasında elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5 ve Şekil 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Sıvı akış sensörü kalibrasyon sonuçları

Gerçek sıvı miktarı (ml)	1. Deneme		2. Deneme		3. Deneme		Ortalama	
	Ölçülen sıvı miktarı (ml)	Sapma (%)	Ölçülen sıvı miktarı (ml)	Sapma (%)	Ölçülen sıvı miktarı (ml)	Sapma (%)	Ölçülen sıvı miktarı (ml)	Sapma (%)
250	251	0.4	251	0.4	250	0.0	250.67	0.3
500	500	0.0	500	0.0	499	-0.2	499.67	-0.1
750	751	0.1	751	0.1	749	-0.1	750.33	0.0
1000	1000	0.0	998	-0.2	1003	0.3	1000.33	0.0

Kalibrasyon için 1 L'lik sıvı, dereceli ölçüm kabıyla 250 ml'lik parçalar halinde ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda en büyük sapmanın %0.4 ve en büyük ortalama sapmanın %0.3 olduğu ortaya çıkmıştır. Yakıt ölçüm sisteminde regresyon katsayısı R^2=1 bulunmuştur (Şekil 4.5). Elde edilen veriler yakıt ölçüm sisteminin yüksek doğrulukla ölçüm yapabildiğini göstermiştir. Fathollahzadeh ve ark. (2011) da benzer sonuçlar bildirmişlerdir. Karparvarfard ve Rahmanian-Koushkaki (2015), iki sıvı akış sensörü ile gerçekleştirilen yakıt tüketim ölçümünün iyi bir doğrulukla sonuç verdiğini bildirmişlerdir.



Şekil 4.5. Yakıt ölçüm sistemi sonuçları

4.1.5. Çeki kuvveti ölçüm sonuçları

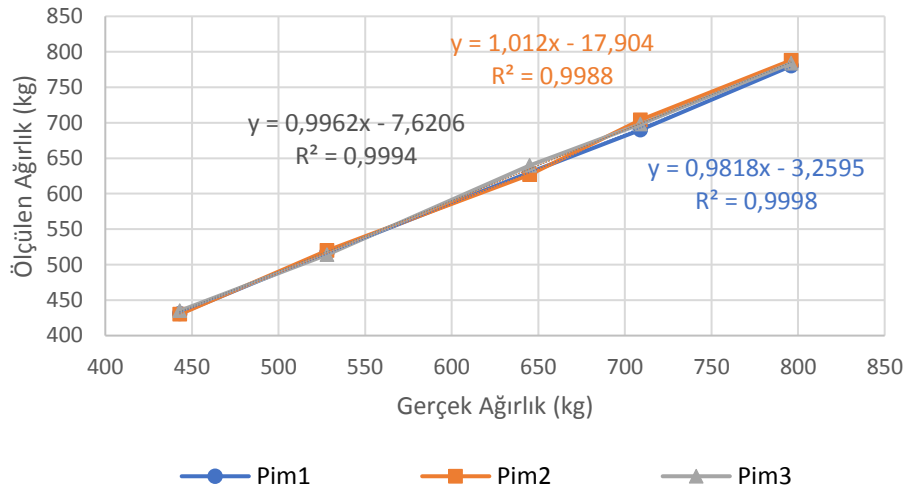
Çalışmada kullanılan üç pim yük hücresi ayrı ayrı kalibre edilmiştir. Kalibrasyon işlemi laboratuvar ortamında, çeşitli değerlerde ağırlıklar kullanılarak yapılmıştır. Kalibrasyon işlemi sonrasında elde edilen deneme ölçümleri Çizelge 4.6 ile Şekil 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Pim yük hücresi kalibrasyon sonuçları

Gerçek ağırlık (kg)	Pim 1		Pim 2		Pim 3	
	Ölçülen ağırlık (kg)	Sapma (%)	Ölçülen ağırlık (kg)	Sapma (%)	Ölçülen ağırlık (kg)	Sapma (%)
443	431	2.7	430	2.9	435	1.8
528	517	2.1	520	1.5	514	2.7
645	630	2.3	627	2.8	640	0.8
709	690	2.7	704	0.7	698	1.6
796	780	2.0	788	1.0	784	1.5

Pim yük hücreleri ile yapılan ölçümler sonucunda maksimum sapmanın %2.9 olduğu görülmüştür. Deneme sonuçları incelendiğinde tüm pim yük hücreleri için regresyon katsayısı R^2>0.99 olarak bulunmuş ve ölçüm değerlerinin yüksek doğrulukta olduğu görülmüştür (Şekil 4.6).

Benzer sapma miktarları Kumar ve ark. (2017) ve Shafaei ve ark. (2019a) tarafından da bildirilmiş ve kabul edilebilir bulunmuştur.



Şekil 4.6. Birinci pim (yük hücresi) için sonuçları

4.1.6. Bulanık mantık kontrol sistemi çalışma sonuçları

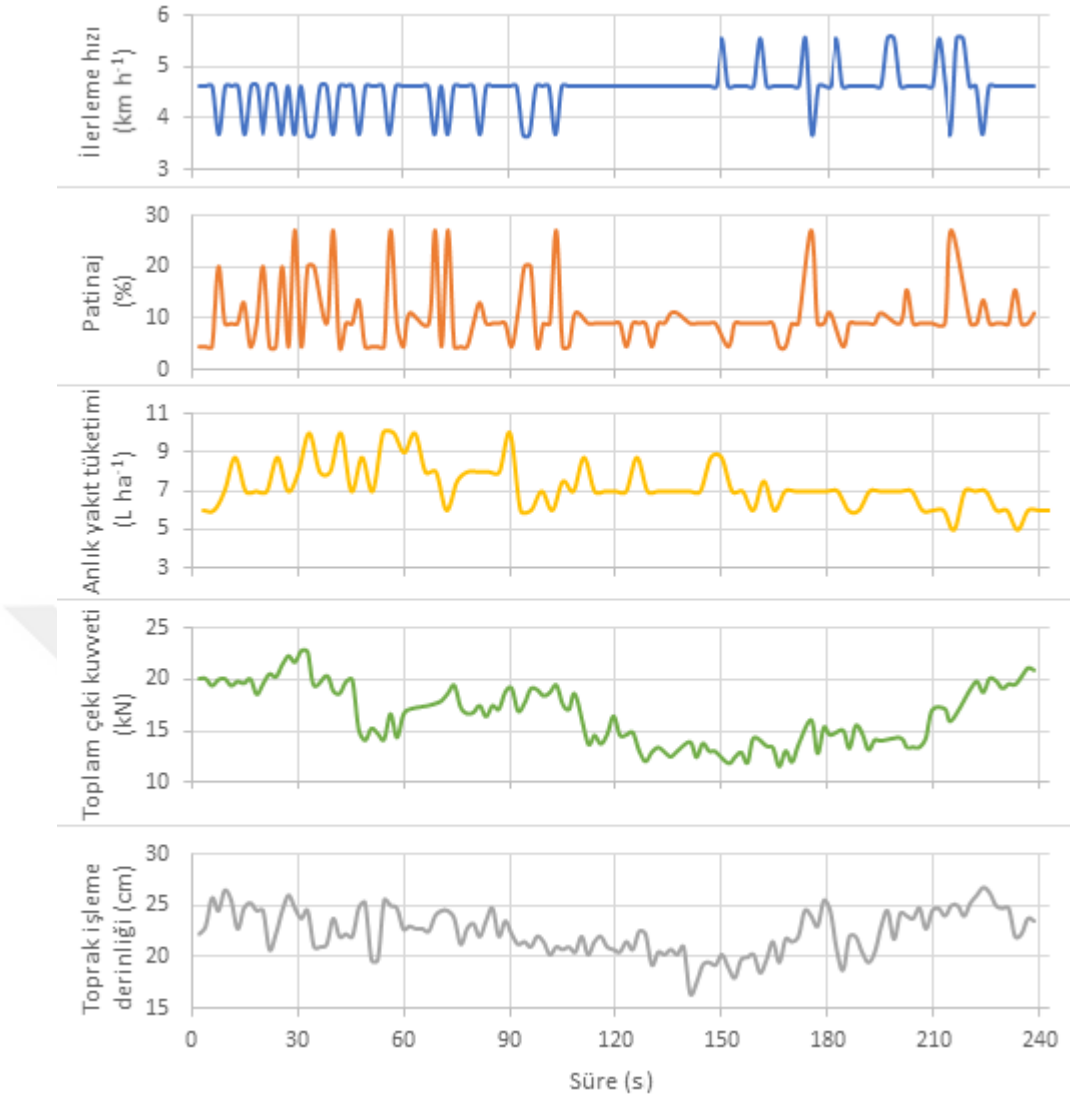
Çalışma boyunca izlenen ve microSD karta kaydedilen verilerden oluşturulan sonuç tablosu Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Bulanık mantık kontrol sistemi deneme sonuçları

	1. Deneme	**2. Deneme**	**3. Deneme**	**Ortalama**
Süre (s)	80	80	80	240
Ortalama ilerleme hızı (km h^{-1})	4.36	4.54	4.55	4.48±0.34
Min. ilerleme hızı (km h^{-1})	3.7	3.7	3.7	3.7
Max. ilerleme hızı (km h^{-1})	4.63	4.63	4.63	4.63
Ortalama patinaj (%)	10.82	9.5	10.28	10.19±5.87
Min. patinaj (%)	4.5	4.5	4.5	4.5
Max. patinaj (%)	27	27	27	27
Ortalama anlık yakıt tüketimi (L ha^{-1})	7.73	6.70	6.65	7.05±1.19
Min. anlık yakıt tüketimi (L ha^{-1})	5.99	4.98	4.98	4.98
Max. anlık yakıt tüketimi (L ha^{-1})	9.98	8.73	9.98	9.98
Ortalama çeki kuvveti (kN)	18.71	15.28	15.95	16.68±2.97
Min. çeki kuvveti (kN)	14.10	11.86	11.55	11.55
Max. çeki kuvveti (kN)	22.86	19.51	21.17	22.86
Ortalama toprak işleme derinliği (cm)	23.54	20.77	23.13	22.45±2.15
Min. toprak işleme derinliği (cm)	19.75	16.5	18.75	16.5
Max. toprak işleme derinliği (cm)	26.5	24.75	26.75	26.75
Alan iş başarısı (ha h^{-1})	0.579	0.603	0.605	0.595±0,05

Çizelge 4.7 incelendiğinde ortalama patinajın %4.5-27 aralığında sonuçlar verdiği görülmüştür. Ortalama anlık yakıt tüketimi ise 5-10 L ha^{-1} aralığında seyretmiştir. Ölçülen en düşük ortalama çeki kuvveti değeri 11.55 kN iken, en yüksek değer 22.86 kN olarak elde edilmiştir. 25 cm olarak ayarlanan toprak işleme derinliği ise 16.5-26.75 cm aralığında değişmiştir.

Şekil 4.7'de ise bulanık mantık kontrol sistemi ile gerçekleştirilen denemelerde elde edilen gerçek ilerleme hızı, anlık yakıt tüketimi, ortalama patinaj miktarları, toprak işleme derinliği ve toplam çeki kuvveti değerleri birlikte verilmiştir.



Şekil 4.7. Bulanık mantık kontrol sistemi ile gerçekleştirilen denemelerin birleştirilmiş sonuçları

Şekil 4.7 incelendiğinde patinaj miktarındaki artışla traktörün ilerleme hızı arasında ters bir ilişki olduğu, patinaj miktarının artmasıyla ilerleme hızının düştüğü görülmektedir. Bu ters ilişki özellikle 0-105 s aralığında oldukça açıktır. Ayrıca patinaj miktarının artmasıyla traktörün çeki kuvveti değerlerinin arttığı ve yakıt tüketiminin de yükseldiği görülmektedir. Patinaj değerinin maksimum %27'lere kadar yükseldiği 0-105 s aralığında yakıt tüketim değerleri 7-10 L ha^{-1} aralığında iken; patinajın daha düşük kaldığı 105-165 s aralığında yakıt tüketim değerleri %50'ye varan oranda azalarak 5-7 L ha^{-1} aralığında seyretmiştir. Benzer şekilde toplam çeki kuvveti değerleri de 0-105 s aralığında 15-23 kN aralığında iken; 105-165 s aralığında %30'a varan oranda azalarak 12-16 kN aralığında seyretmiştir. Bunlarla birlikte toprak işleme derinliği ile patinaj arasındaki ilişki incelendiğinde, toprak işleme derinliğinin yaklaşık

22-25 cm olduğu 0-90 s aralığında patinaj miktarının yüksek seviyelere çıktığı; toprak işleme derinliğinin 17-22 cm olduğu 105-165 s aralığında ise patinaj değerinin %5-12 seviyelerinde kaldığı görülmüştür. Bu ilişki bulanık mantık kontrol sisteminin işlemesi açısından değerlendirildiğinde ise patinajı ayarlanan değerde tutabilmek için, otomatik kontrol sisteminin toprak işleme derinliğine müdahale ettiği açıkça gözlenmiştir. Bahsedilen tüm bu ilişkiler literatürde birçok çalışmada benzer şekilde ortaya konulmuştur (Moitzi ve ark., 2006; Kumar ve ark., 2017; Shafaei ve ark., 2019b).

4.1.7. On-off kontrol sistemi çalışma sonuçları

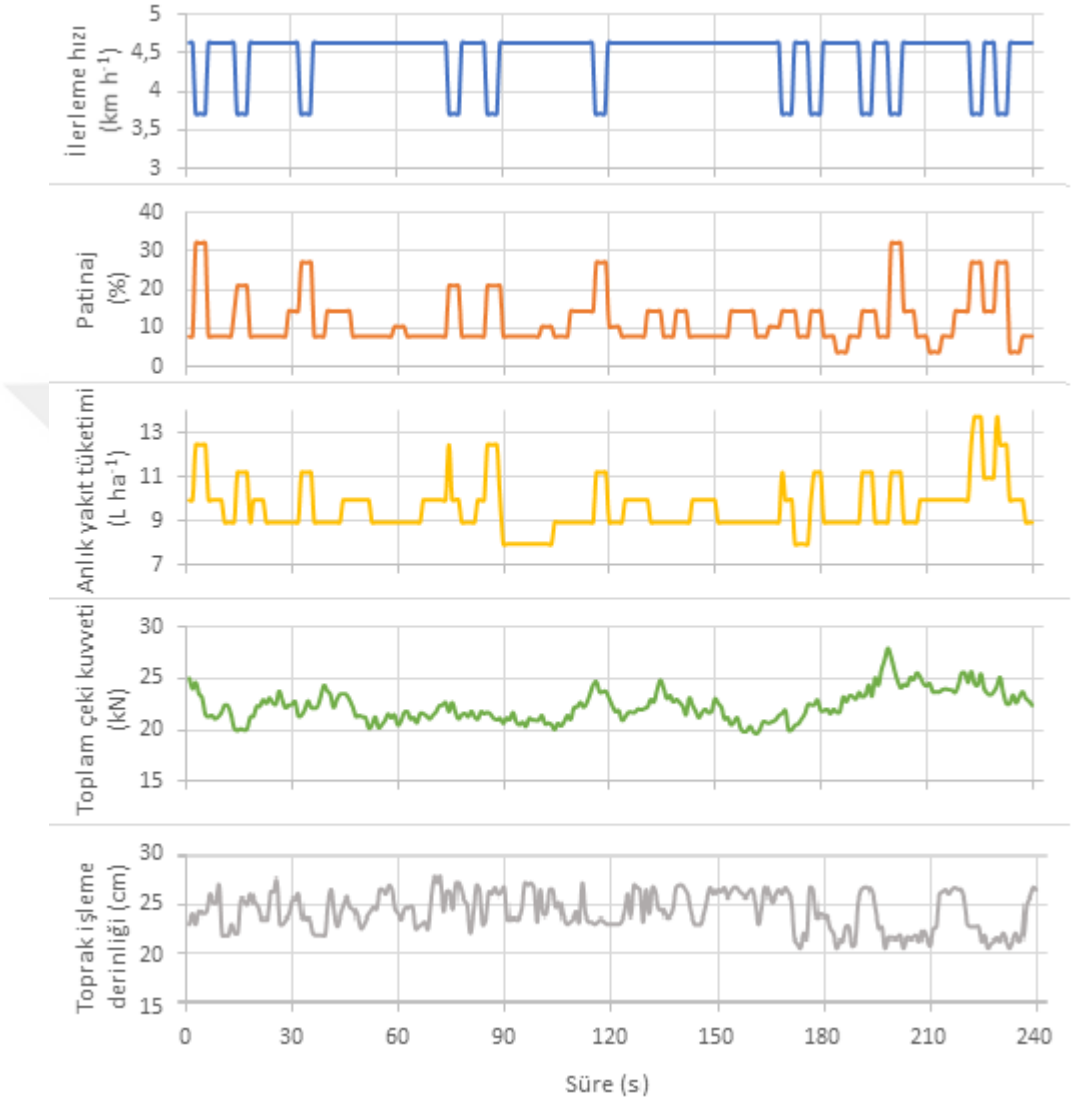
On-off kontrol sistemi ile gerçekleştirilen denemeler için 100 metrelik mesafede 3 tekrar yapılmıştır. Çalışma boyunca elde edilip mikroSD karta kaydedilen veriler ve ortalama değerleri Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. On-off kontrol sistemi çalışma sonuçları

	1. Deneme	**2. Deneme**	**3. Deneme**	**Ortalama**
Süre (s)	80	80	80	240
Ortalama ilerleme hızı (km h^{-1})	4.46	4.55	4.37	4.46±0.36
Min. ilerleme hızı (km h^{-1})	3.7	3.7	3.7	3.7
Max. ilerleme hızı (km h^{-1})	4.63	4.63	4.63	4.63
Ortalama patinaj (%)	12.16	11.59	12.54	12.09±6.53
Min. patinaj (%)	8	8	4	4
Max. patinaj (%)	32	27	32	32
Ortalama anlık yakıt tüketimi (L ha^{-1})	9.71	9.27	10	9.65±1.17
Min. anlık yakıt tüketimi (L ha^{-1})	8.96	7.98	7.98	7.98
Max. anlık yakıt tüketimi (L ha^{-1})	12.47	12.47	13.73	13.73
Ortalama çeki kuvveti (kN)	21.98	21.77	23.44	22.38±1.52
Min. çeki kuvveti (kN)	19.97	19.66	20	19.66
Max. çeki kuvveti (kN)	25.10	24.91	28.04	28.04
Ortalama toprak işleme derinliği (cm)	24.41	25	23.33	24.27±1.95
Min. toprak işleme derinliği (cm)	21.75	23	20.5	20.5
Max. toprak işleme derinliği (cm)	27.75	27.25	26.75	27.75
Alan iş başarısı (ha h^{-1})	0.593	0.604	0.58	0.592±0.05

Çizelge 4.8 incelendiğinde ortalama patinajın en düşük %4 en yüksek ise %32 olarak ölçüldüğü görülmüştür. Ortalama anlık yakıt tüketiminin minimum değeri 8 L ha^{-1}, maksimum değeri ise yaklaşık 14 L ha^{-1}'dır. Ortalama çeki kuvveti değeri tüm denemelerde minimum 20 kN ölçülmüştür. Maksimum değeri ise 28 kN olmuştur. On-off kontrol sistemiyle yapılan denemelerde minimum ortalama toprak işleme derinliği 20.5 cm, maksimum ortalama toprak işleme derinliği ise 27.75 cm ölçülmüştür.

Şekil 4.8'de ise on-off kontrol sistemi ile elde edilen gerçek ilerleme hızı, anlık yakıt tüketimi, ortalama patinaj miktarları, toprak işleme derinliği ve toplam çeki kuvveti değerleri birlikte verilmiştir.



Şekil 4.8. On-off kontrol sistemi ile gerçekleştirilen denemelerin birleştirilmiş sonuçları

Şekil 4.8 incelendiğinde, bulanık mantık kontrol sistemi ile yapılan deneme sonuçlarına benzer şekilde, patinaj miktarındaki artışla traktörün ilerleme hızı arasında ters bir ilişki olduğu, patinaj miktarının artmasıyla ilerleme hızının düştüğü görülmektedir. Bu ters ilişki özellikle 195. saniyenin sonrasında açıkça görülmektedir. Ayrıca patinaj miktarının artmasıyla traktörün yakıt tüketiminin arttığı ve çeki kuvveti değerlerinin yükseldiği de görülmektedir. Patinaj değerinin %27-32'lere kadar yükseldiği 195-240 s aralığında yakıt tüketim değeri 11-14 L ha^{-1} aralığında iken;

patinajın daha düşük kaldığı 135-180 s aralığında yakıt tüketim değerleri yaklaşık %40 azalarak 8-10 L ha^{-1} aralığında seyretmiştir. Benzer şekilde toplam çeki kuvveti değerleri de 135-180 s aralığında 20-25 kN aralığında iken; 195-240 s aralığında 25-29 kN aralığında seyretmiştir. Bunlarla birlikte toprak işleme derinliği ile patinaj arasındaki ilişki incelendiğinde, patinaj miktarının düşük seviyelerde olduğu 120-180 s aralığında toprak işleme derinliğinin çoğunlukla 24 cm'nin üzerinde olduğu; patinajın yüksek değerlere çıktığı 195-240 s aralığında ise toprak işleme derinliğinin çoğunlukla 24 cm'nin altında kaldığı görülmüştür. Bu ilişki on-off kontrol sisteminin işleyişi açısından değerlendirildiğinde ise patinajı istenilen aralıkta tutabilmek için, otomatik kontrol sisteminin toprak işleme derinliğine müdahale ettiği açıkça gözlenmiştir. Ancak denemelerde, hidrolik ayar kolunu hareket ettiren servo motor gerekli dönme hareketini tam tamamlamadan ve buna bağlı olarak hidrolik sistem toprak işleme derinliğini %50 azaltmadan patinaj değerinin %15 seviyesinin altına düşmesi nedeniyle otomatik kontrol sistemi derinlik değerini tekrar ayarlanan değere getirmek için servo motora komut göndermiş ve de toprak işleme derinliği hiçbir zaman tam %50 azalmamıştır. Al-Suhaibani ve ark. (2010), toprak işleme derinliği ile traktör ilerleme hızının çeki kuvveti değerini arttırdığını; toprak işleme derinliğinin çeki kuvveti üzerinde hız değişiminden daha fazla etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Al-Suhaibani ve Ghaly (2013), toprak işleme derinliğinin %39 artmasıyla çeki kuvveti değerinin %47-80 arasında arttığını göstermişlerdir. Shafaei ve ark. (2019a) ile Kumar ve ark. (2016) da benzer sonuçlar bildirmişlerdir.

4.1.8. Uyarı sistemi çalışma sonuçları

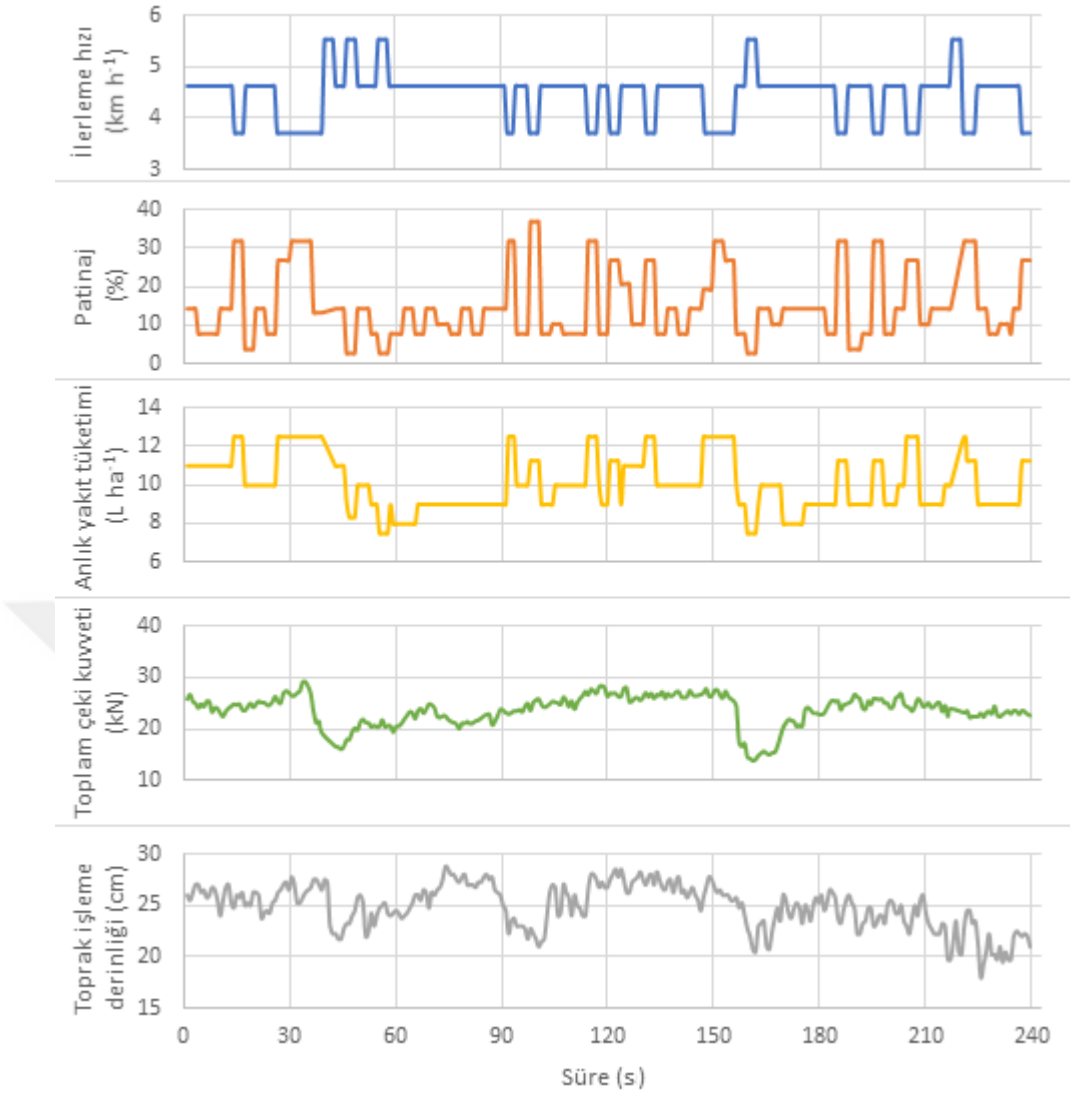
Uyarı sistemi ile gerçekleştirilen denemeler için 100 metrelik mesafede 3 tekrar yapılmıştır. Çalışma boyunca elde edilen ortalama değerler Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Uyarı sistemi çalışma sonuçları

	1. Deneme	**2. Deneme**	**3. Deneme**	**Ortalama**
Süre (s)	80	80	80	240
Ortalama ilerleme hızı (km h^{-1})	4.51	4.38	4.39	4.44±0.46
Min. ilerleme hızı (km h^{-1})	3.7	3.7	3.7	3.7
Max. ilerleme hızı (km h^{-1})	5.55	5.55	5.55	5.55
Ortalama patinaj (%)	13.82	16.05	15.72	15.20±8.91
Min. patinaj (%)	3	3	3	3
Max. patinaj (%)	32	37	37	37
Ortalama anlık yakıt tüketimi (L ha^{-1})	10.14	10.37	9.54	10.05±1.42
Min. anlık yakıt tüketimi (L ha^{-1})	7.48	7.48	7.48	7.48
Max. anlık yakıt tüketimi (L ha^{-1})	12.47	12.47	12.47	12.47
Ortalama çeki kuvveti (kN)	23.14	24.99	22.89	23.77±2.99
Min. çeki kuvveti (kN)	16.14	13.92	14.15	13.92
Max. çeki kuvveti (kN)	29.27	28.47	26.94	29.27
Ortalama toprak işleme derinliği (cm)	25.59	25.84	23.09	24.93±2.12
Min. toprak işleme derinliği (cm)	21.75	20.75	18	18
Max. toprak işleme derinliği (cm)	28.75	28.5	26.5	28.75
Alan iş başarısı (ha h^{-1})	0.599	0.582	0.583	0.589±0.06

Çizelge 4.9 incelendiğinde patinajın minimum %3 ile %37 aralığında değiştiği görülmüştür. Anlık yakıt tüketimi değeri ise tüm denemelerde yaklaşık 7.5-12.5 L ha^{-1} aralığında çıkmıştır. Bununla birlikte çeki kuvveti değeri 14-29 kN aralığında değişim göstermiştir. Toprak işleme derinliği, en düşük 18 cm olarak ölçülmüş iken en yüksek değerin 28 cm'nin üzerinde çıktığı görülmüştür.

Şekil 4.9'da ise uyarı sistemi ile gerçekleştirilen denemelerde elde edilen gerçek ilerleme hızı, anlık yakıt tüketimi, ortalama patinaj miktarları, toprak işleme derinliği ve toplam çeki kuvveti değerleri birlikte verilmiştir.



Şekil 4.9. Uyarı sistemi ile gerçekleştirilen denemelerin birleştirilmiş sonuçları

Şekil 4.9'da patinaj ile ilerleme hızı arasındaki ters ilişki özellikle 30-60 s ve 150-180 s aralığında yine açıkça belli olmaktadır. Patinaj miktarındaki %30'dan %4'e düşüşle (yaklaşık %85 düşüş) birlikte gerçek ilerleme hızı 3.5 km h^{-1}'ten 5.5 km h^{-1}'e yükselmiştir (yaklaşık %57 artış). Bununla beraber, aynı zaman dilimlerinde patinajla birlikte yakıt tüketiminde de 12,5 L ha^{-1}'dan 7 L ha^{-1}'a yaklaşık %44'lük belirgin bir düşüş yaşandığı izlenmiştir. Ayrıca bu zaman aralıklarında toprak işleme derinliği ile toplam çeki kuvveti değerlerinde de oldukça sert değişimler gerçekleştiği görülmüştür. 30-60 s aralığında toprak işleme derinliği yaklaşık %15 azaltılarak 26 cm'den 22 cm'ye düşürülmüş ve çeki kuvveti değeri %40 azalarak 30 kN'dan 18 kN'a düşmüştür. 150-180 s aralığında da benzer şekilde, toprak işleme derinliği 25 cm'den 20 cm'ye düşürülmüş ve toplam çeki kuvveti 28 kN'dan 15 kN'a düşmüştür. Toprak işleme

derinliği başta olmak üzere tüm değerlerde meydana gelen bu yüksek değişimler, şoförün toprak işleme derinliğine otomatik kontrol sistemlerine göre çok daha yüksek miktarda müdahalelerde bulunduğunu göstermektedir. Al-Janobi (2000), toprak işleme derinliği ile çeki kuvvetinin pozitif ilişkili bir değişim sergilediğini belirtmiştir. Ranjbarian ve ark. (2017) da çeki kuvvetinin artmasıyla patinaj miktarının ve yakıt tüketiminin arttığını göstermişlerdir. Kumar ve ark. (2016) ve Kumar ve ark. (2017) da geliştirdikleri uyarı sistemiyle gerçekleştirdikleri denemelerde benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

4.1.9. Sürücü kontrolünde çalışma sonuçları

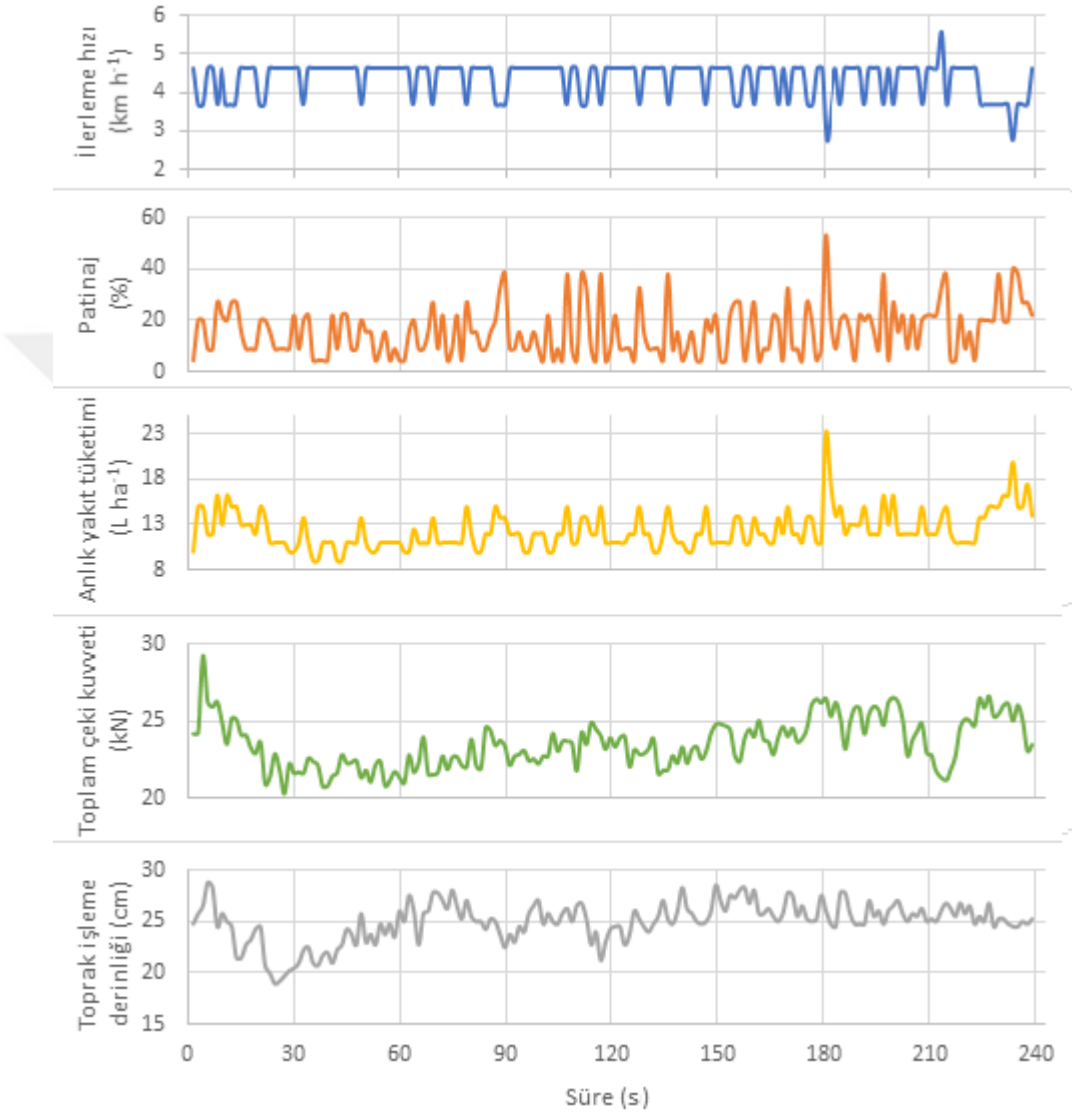
Herhangi bir otomatik kontrol ya da uyarı sistemi olmadan gerçekleştirilen denemeler için 100 metrelik mesafede 3 tekrar yapılmıştır. Çalışma boyunca microSD karta kaydedilen veriler ve ortalama değerleri Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Sürücü kontrolünde çalışma sonuçları

	1. Deneme	**2. Deneme**	**3. Deneme**	**Ortalama**
Süre (s)	80	80	80	240
Ortalama ilerleme hızı (km h^{-1})	4.43	4.43	4.22	4.36±0.45
Min. ilerleme hızı (km h^{-1})	3.7	3.7	2.78	2.78
Max. ilerleme hızı (km h^{-1})	4.63	4.63	4.63	4.63
Ortalama patinaj (%)	13.82	14.58	18.85	15.69±9.84
Min. patinaj (%)	4.5	4.5	4.5	4.5
Max. patinaj (%)	27	38	53	53
Ortalama anlık yakıt tüketimi (L ha^{-1})	11.71	11.87	13.43	12.33±2.08
Min. anlık yakıt tüketimi (L ha^{-1})	8.96	9.97	10.97	8.96
Max. anlık yakıt tüketimi (L ha^{-1})	16.22	14.96	23.23	23.23
Ortalama çeki kuvveti (kN)	22.65	23.30	24.72	23.54±1.59
Min. çeki kuvveti (kN)	20.26	21.57	21.14	20.26
Max. çeki kuvveti (kN)	29.25	25.05	26.64	29.25
Ortalama toprak işleme derinliği (cm)	23.92	25.31	25.69	24.96±1.93
Min. toprak işleme derinliği (cm)	19	21.25	24.5	19
Max. toprak işleme derinliği (cm)	28.75	28.5	27.75	28.75
Alan iş başarısı (ha h^{-1})	0.588	0.588	0.56	0.579±0.06

Çizelge 4.10 incelendiğinde patinajın en düşük %4.5, en yüksek değerin ise %50'nin üzerinde olduğu görülmüştür. Anlık yakıt tüketimi minimum 9 L ha^{-1} seviyelerinde iken en yüksek 23 L ha^{-1} seviyesine çıkmıştır. Minimum çeki kuvveti değeri yaklaşık 20 kN, maksimum çeki kuvveti ise yaklaşık 29 kN ölçülmüştür. 25 cm olarak ayarlanan toprak işleme derinliği 19 cm'ye kadar düşmüş, 28.75 cm'ye kadar da çıkmıştır.

Şekil 4.10'da ise herhangi bir kontrol sistemi devrede değilken, sürücü kontrolü ile gerçekleştirilen denemeler sonucu elde edilen gerçek ilerleme hızı, anlık yakıt tüketimi, ortalama patinaj miktarı, toprak işleme derinliği ve toplam çeki kuvveti değerleri birlikte verilmiştir.



Şekil 4.10. Sürücü kontrolü ile gerçekleştirilen denemelerin birleştirilmiş sonuçları

Şekil 4.10 incelendiğinde sürücü kontrolünde yapılan denemelerde özellikle 180. saniyede ve 225-240. saniyeler arasında patinaj miktarı ile gerçek ilerleme hızı arasındaki ters ilişki belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır. Patinaj miktarının %40 ve üzerindeki değerlere yükselmesiyle gerçek ilerleme hızı yaklaşık %35 azalarak 3 km h^{-1}'in altına düşmüştür. Yine aynı zaman dilimlerinde patinaj miktarı ile yakıt tüketimi arasındaki ilişki de açıkça ortaya çıkmıştır. Patinaj %20 seviyelerinden %40

seviyelerine yükseldiğinde, yakıt tüketimi de %25'e yakın artarak 15 L ha^{-1} seviyelerinden 20 L ha^{-1} seviyelerine yükselmiştir. Şekil 4.10'da ayrıca 0-30. saniyeler arasında toprak işleme derinliğinin azalmasıyla çeki kuvvetinin de belirgin bir şekilde düştüğü görülmüştür. Bu zaman aralığında patinaj miktarında ve yakıt tüketiminde de artış meydana geldiği izlenmiştir. Janulevičius ve Damanauskas (2015) da gerçekleştirdikleri çalışmada patinaj değerinin artmasıyla yakıt tüketim değerinin de arttığını göstermişlerdir. Almaliki ve ark. (2016), toprak işleme derinliğinin 10 cm'den 20 cm'ye yükselmesiyle yakıt tüketiminin %44 arttığını bildirmişlerdir. Literatürde yapılan çalışmalar benzer sonuçlara işaret etmişlerdir (Ekinci, 2011; Altınışık, 2012; Demir, 2014).

Tüm kontrol yöntemleri birlikte değerlendirildiğinde, kontrol yönteminden bağımsız bir şekilde aşağıdaki değerlendirmeler ortaya çıkmaktadır:

- Patinaj miktarı arttıkça gerçek ilerleme hız azalmaktadır.
- İşlenmiş toprakta (çizide) hareket eden tekerlek daha az patinaj yapmaktadır.
- Patinaj miktarı arttıkça yakıt tüketimi artmaktadır.
- Toplam çeki kuvveti arttıkça patinaj miktarı artmaktadır.
- Patinaj miktarı arttıkça alan iş başarısı azalmaktadır.
- Toprak işleme derinliği arttıkça patinaj miktarı artmaktadır.

Moitzi ve ark. (2006), gerçekleştirdikleri çalışmada toprak işleme derinliği artışıyla patinajın arttığını ve buna bağlı olarak da yakıt tüketiminin yükseldiğini bildirmişlerdir. Raheman ve Jha (2007), benzer şekilde, toprak işleme derinliğinin artmasıyla patinaj miktarının arttığını göstermişlerdir. Zhixiong ve ark. (2013), tarla denemelerinde, toprak işleme derinliği 0 cm iken patinaj miktarının %3-9; 15 cm iken %13-40 ve 20 cm iken %27-51 olduğunu belirtmişlerdir. Moitzi ve ark. (2014), patinaj miktarındaki artışla alan iş başarısının düştüğünü ve yakıt tüketiminin arttığını göstermişlerdir. Bauer ve ark. (2017), işlenmiş toprakta hareket eden tahrik tekerleğinin, işlenmemiş toprakta hareket eden tahrik tekerleğinden daha fazla yüklendiğini ve daha fazla sıkışan toprak nedeniyle işlenmiş topraktaki tahrik tekerleğinden daha az patinaj yaptığını bildirmişlerdir.

Yukarıda bahsedilen değerlendirmelerin bazı durumlarda gerçekleşmediği görülmüştür. Bu durumlar toprak direncinin, çalışma alanı içerisinde farklı değerlere sahip olabileceği dikkate alınarak açıklanabilir.

Ayrıca toprak işleme derinliğini sürücünün ayarladığı uyarı sisteminde ve sürücü kontrolünde, toprak işleme derinlik değerlerinde daha yüksek miktarda değişimler olduğu görülmüştür. Bu şoförün uyarı sesiyle ya da patinajı algıladığında gösterdiği refleksler ile açıklanabilir.

4.2. Kontrol Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Çizelge 4.11'de 4 farklı kontrol yöntemi ile gerçekleştirilmiş denemeler sonucunda elde edilen değerler birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.11. Farklı kontrol yöntemleri ile elde edilen deneme sonuçları

	Bulanık Mantık Kontrol Sistemi	**On-Off Kontrol Sistemi**	**Uyarı Sistemi**	**Sürücü Kontrolü**
Ortalama ilerleme hızı (km h^{-1})	4.48	4.46	4.44	4.36
Ortalama patinaj (%)	10.19	12.09	15.20	15.69
Ortalama anlık yakıt tüketimi (L ha^{-1})	7.05	9.65	10.05	12.33
Ortalama toplam çeki kuvveti (kN)	16.68	22.38	23.77	23.54
Ortalama toprak işleme derinliği (cm)	22.45	24.27	24.93	24.96
Alan iş başarısı (ha h^{-1})	0.595	0.592	0.589	0.579

Çizelge 4.11 incelendiğinde, sürücü kontrolündeki denemelerde, 4.6 km h^{-1} olarak ayarlanan traktör ilerleme hızının ortalama 4.36 km h^{-1} olduğu görülmüştür. Uyarı sistemiyle yapılan denemelerde gerçek ilerleme hızı ortalama 4.44 km h^{-1}'e yükselmiş; sürücü kontrolündeki denemelerin ortalamasına göre %1.8 artmıştır. On-off kontrol sistemi ile yapılan denemelerde gerçek ilerleme hızı ortalama 4.46 km h^{-1} olarak ölçülmüş, sürücü kontrolündeki ortalama değere göre %2.3 artmıştır. Bulanık mantık kontrol sistemi ile yapılan denemelerde ise gerçek ilerleme hızı ortalama 4.48 km h^{-1} olarak bulunmuş, sürücü kontrolündeki ortalama ilerleme hızına göre %2.8 artmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, gerçek ilerleme hızı için bulanık mantık kontrol sistemi ile elde edilen değerin on-off kontrol sisteminden %0.44; uyarı sisteminden ise %0.9 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bulanık mantık kontrol sistemiyle elde edilen ortalama ilerleme hızı, ayarlanan 4.6 km h^{-1}'lik teorik ilerleme hızına en yakın değer olarak bulunmuştur.

Ortalama patinaj miktarına bakıldığında, sürücü kontrolündeki denemelerde ortalama patinaj miktarının %15.69 olduğu; uyarı sistemiyle yapılan denemelerde bu değerin %3.22 azalarak %15.20'ye düştüğü görülmüştür. On-off kontrol sisteminde

ortalama patinaj değeri %12.09 olarak ölçülmüştür. Bu değer sürücü kontrolündeki ortalama patinaj değerine göre %29.78 daha düşüktür. Bulanık mantık kontrol sistemi ile yapılan denemelerde ise ortalama patinaj değeri %10.19 olarak bulunmuştur. Bu değer ise sürücü kontrolündeki denemelerde elde edilen patinaj değerine göre %53.97 daha düşüktür. Sonuçlar değerlendirildiğinde, bulanık mantık kontrol sisteminin on-off kontrol sisteminden %24.19; uyarı sisteminden ise %50.75 daha düşük patinaj değeri verdiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar bulanık mantık kontrol sisteminde traktör motor gücünden daha etkin faydalanıldığını (yüksek verim sınırları içerisinde çalışıldığını) göstermektedir.

Çizelge 4.11'e göre, sürücü kontrolündeki denemelerde, ortalama yakıt tüketiminin 12.33 L ha^{-1} olduğu hesaplanmıştır. Uyarı sistemiyle yapılan denemelerde ortalama yakıt tüketimi 10.05 L ha^{-1}'a düşmüş; sürücü kontrolündeki denemelerin ortalamasına göre %22.69 azalmıştır. On-off kontrol sistemi ile yapılan denemelerde ortalama yakıt tüketimi 9.65 L ha^{-1} olarak ölçülmüş, sürücü kontrolündeki ortalama değere göre %27.77 azalmıştır. Bulanık mantık kontrol sistemi ile yapılan denemelerde ise ortalama yakıt tüketimi 7.05 L ha^{-1} olarak bulunmuş, sürücü kontrolündeki ortalama yakıt değerine göre %74.89 azalmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, ortalama yakıt tüketimi için bulanık mantık kontrol sisteminin on-off kontrol sisteminden %47.12; uyarı sisteminden ise %52.2 daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir.

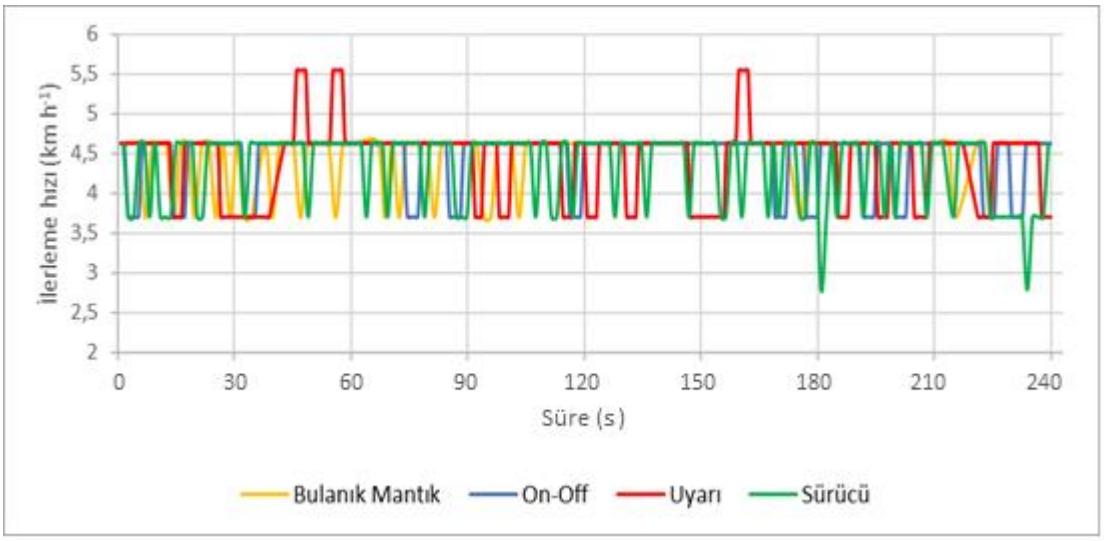
Traktöre etki eden toplam çeki kuvveti değerlerinin, sürücü kontrolündeki denemelerde ortalama 23.54 kN olduğu; uyarı sistemiyle yapılan denemelerde bu değerin %1 artarak 23.77 kN'a çıktığı görülmüştür. On-off kontrol sisteminde toplam çeki kuvveti değeri 22.38 kN olarak ölçülmüştür. Bu değer sürücü kontrolündeki toplam çeki kuvveti değerine göre %5.17 daha düşüktür. Bulanık mantık kontrol sistemi ile yapılan denemelerde ise toplam çeki kuvveti değeri 16.68 kN olarak bulunmuştur. Bu değer ise sürücü kontrolündeki denemelerde elde edilen toplam çeki kuvveti değerine göre %41.09 daha düşüktür. Sonuçlar değerlendirildiğinde, toplam çeki kuvveti değeri için bulanık mantık kontrol sisteminin on-off kontrol sisteminden %35.92; uyarı sisteminden ise %40.09 daha düşük değerlerde seyrettiği tespit edilmiştir.

Deneme sonuçları karşılaştırıldığında, 25 cm olarak ayarlanan toprak işleme derinliğinin, sürücü kontrolündeki denemelerde, ortalama 24.96 cm olduğu görülmüştür. Uyarı sistemiyle yapılan denemelerde ortalama toprak işleme derinliği 24.93 cm'ye düşmüş; sürücü kontrolündeki denemelerin ortalamasına göre %0.1

azalmıştır. On-off kontrol sistemi ile yapılan denemelerde ortalama toprak işleme derinliği 24.27 cm olarak ölçülmüş, sürücü kontrolündeki ortalama değere göre %2.84 azalmıştır. Bulanık mantık kontrol sistemi ile yapılan denemelerde ise ortalama toprak işleme derinliği 22.45 cm olarak bulunmuş, sürücü kontrolündeki ortalama toprak işleme derinliği değerine göre %11.18 azalmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, bulanık mantık kontrol sisteminin on-off kontrol sisteminden %8.34; uyarı sisteminden ise %11.08 daha düşük ortalama toprak işleme derinliği sunduğu tespit edilmiştir.

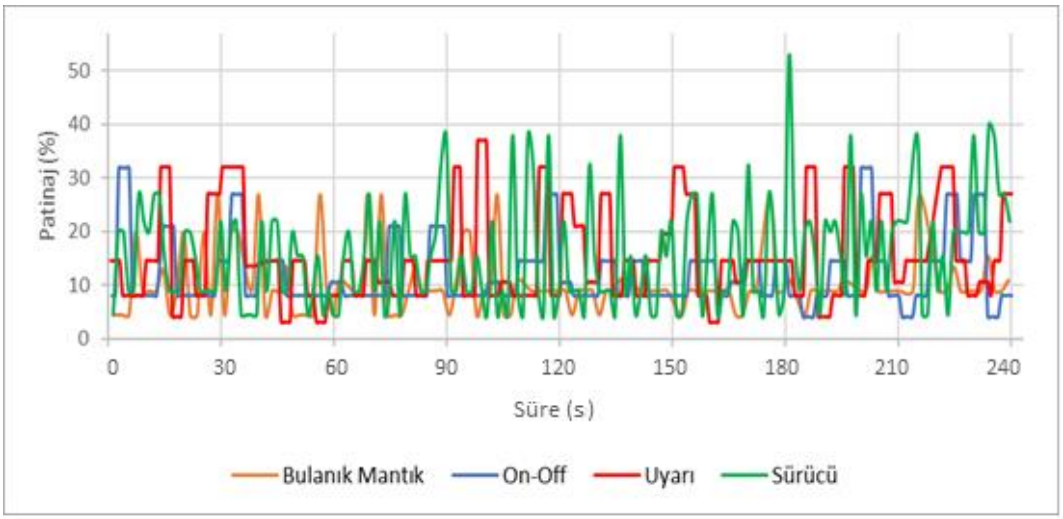
Denemelerden elde edilen alan iş başarısı değerleri karşılaştırıldığında ise; sürücü kontrolünde yapılan denemelerde, alan iş başarısının 0.579 ha h^{-1} olduğu, uyarı sistemiyle yapılan denemelerde bu değerin %1.73 artarak 0.589 ha h^{-1}'e yükseldiği görülmüştür. On-off kontrol sistemiyle gerçekleştirilen denemelerde alan iş başarısı 0.592 ha h^{-1} olarak hesaplanmış ve sürücü kontrolünde gerçekleştirilen denemelerde elde edilen alan iş başarısı değerine göre %2.25 arttığı belirlenmiştir. Bulanık mantık kontrol sistemiyle yapılan denemelerde ise alan iş başarısı 0.595 ha h^{-1} olarak ortaya çıkmış, bu değerin sürücü kontrolündeki deneme sonuçlarına göre %2.76 daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bulanık mantık kontrol sistemiyle elde edilen sonuçların, on-off kontrol sistemiyle elde edilen sonuçlara göre %0.51, uyarı kontrol sistemiyle elde edilen sonuçlara göre de %1.03 daha iyi olduğu görülmüştür.

Şekil 4.11 – 4.15'te bulanık mantık kontrol sistemi, on-off kontrol sistemi, uyarı sistemi ve sürücü kontrolü ile yapılan denemelerin; gerçek ilerleme hızı, ortalama patinaj miktarı, anlık yakıt tüketimi, toplam çeki kuvveti ve toprak işleme derinliği verileri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 4.11. Farklı kontrol yöntemleri için gerçek ilerleme hızı değerlerinin değişimi

Şekil 4.11 incelendiğinde hız değişiminin yoğun olarak 3.7-4.63 km h^{-1} aralığında olduğu, ancak uyarı sistemiyle ve sürücü kontrolünde gerçekleştirilen denemelerde, ilerleme hızının bazı aralıklarda kısa süreliğine 5.55 km h^{-1}'e çıktığı ya da 2.78 km h^{-1}'e düştüğü görülmüştür. Bu aralıklarda hidrolik kolu elle kontrol eden sürücünün, toprak işleme derinliğine artı ya da eksi yönde sert müdahale ettiği düşünülmektedir. Aralığın aşıldığı durumlar toprak işleme derinliğinin bir anda fazla arttırılmasıyla patinaj miktarının da artması veya toprak işleme derinliğinin bir anda azaltılmasıyla patinaj miktarının da azalması ve bunun traktörün ilerleme hızına anlık sert etkilerde bulunmasıyla açıklanabilir. Pranav ve ark. (2012), gerçekleştirdikleri otomatik patinaj kontrol sisteminde de benzer ilişkilerden bahsetmişlerdir. Ayrıca Gupta ve ark. (2019) tasarladıkları otomatik kontrol sistemiyle benzer sonuçlar elde ettiklerini bildirmişlerdir.

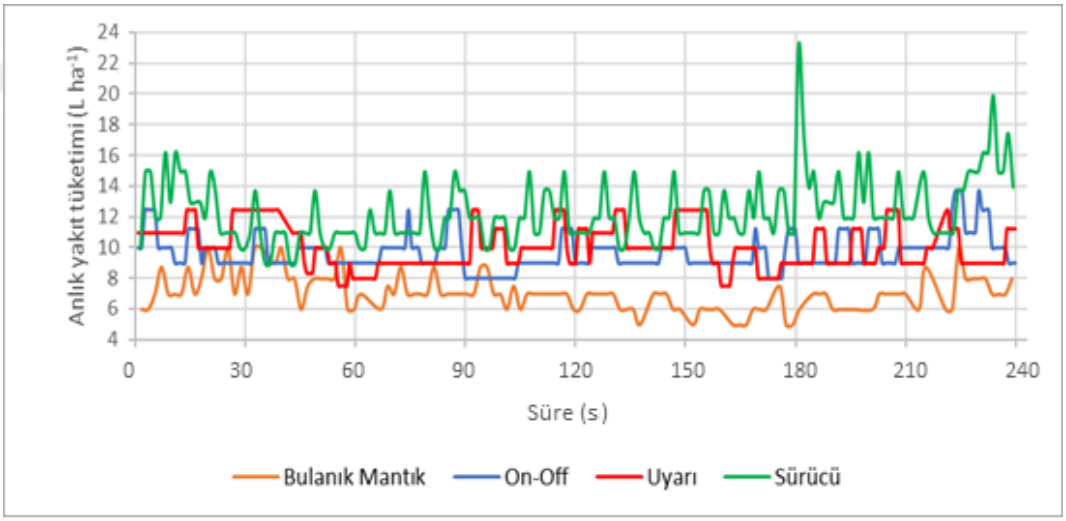


Şekil 4.12. Farklı kontrol yöntemleri için patinaj miktarı değerlerinin değişimi

Şekil 4.12 incelendiğinde, patinaj değer aralığının genel olarak %4-%20 aralığında olduğu, ancak değerlerin bulanık mantık kontrol sistemi ve on-off kontrol sistemiyle yapılan denemelerde, bazı durumlarda, kısa süreliğine %27-%32 aralığına yükseldiği görülmüştür. Bu kısa süreli yüksek patinaj miktarlarına, toprakta ani olarak karşılaşılan sert tabakanın neden olduğu düşünülmektedir. Otomatik kontrol sistemlerinin, bu sert tabakalarda oluşan patinaj miktarını algılaması ve cevap vermesi için geçen sürede, patinaj miktarı ani ve kısa süreli olarak artış göstermektedir. Kontrol sisteminin cevabıyla, kısa süre içinde patinaj değeri yine istenilen değer aralığına dönmektedir. Uyarı sistemiyle ve sürücü kontrolünde gerçekleştirilen denemelerde ise patinaj miktarının daha sık olarak, daha yüksek değerlere (%37-%53) çıktığı saptanmıştır. Bu durum ise uyarı sisteminin uyarmasından sonra operatörün hidrolik ayar kolunu hareket ettirmesi için geçen süreyle veya sürücünün patinajı hissederek hidrolik ayar koluna müdahale etmesi için geçen süreyle açıklanabilir. Özellikle bulanık mantık kontrol sisteminin çok küçük patinaj değerlerinden itibaren hidrolik ayar koluna müdahale ederek toprak işleme derinliğini azaltmaya başlaması, patinaj oluşmaya başlarken "önlem alma" şeklinde açıklanabilir. Bu durum patinaj değerinin yükselmesine engel olmaktadır.

%15 patinaj değerine göre kontrol yöntemlerinin başarıları değerlendirildiğinde bulanık mantık kontrol sisteminde ve on-off kontrol sisteminde yaklaşık %85, uyarı sisteminde yaklaşık %75, sürücü kontrolünde ise yaklaşık %46 oranında başarı sağlandığı görülmüştür.

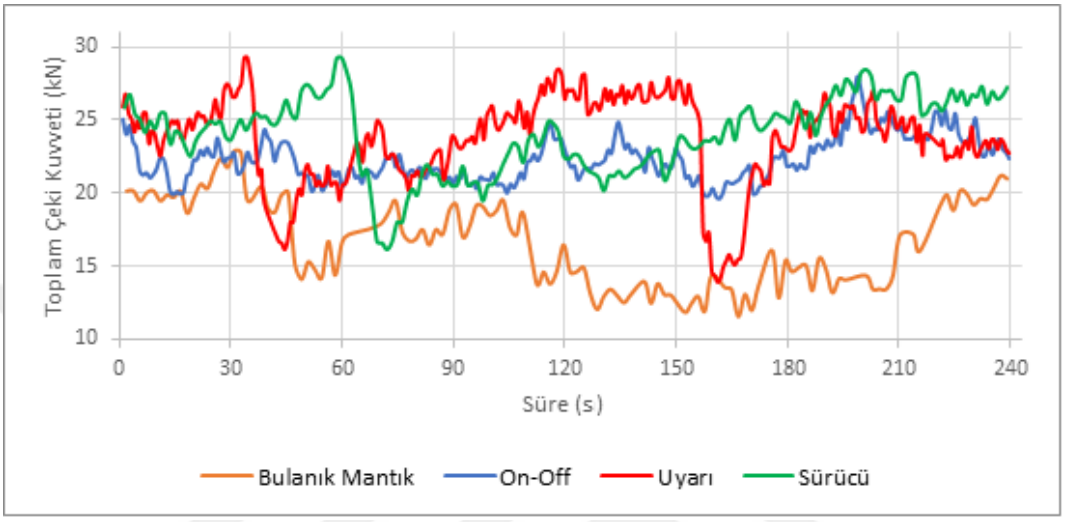
Pranav ve ark. (2012) geliştirdikleri on-off kontrol sistemi ile gerçekleştirdikleri denemelerde patinajın otomatik kontrol sistemi devrede iken %14-23 aralığında; devre dışı bırakıldığında ise %12-52 aralığında değiştiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar bununla birlikte, otomatik kontrol sisteminin %75-80 oranında istenilen patinaj aralığını sağlayabildiğini; traktörde bulunan çeki kontrol sisteminin ise, istenilen patinaj aralığında ancak %40-45 oranında çalışabildiğini belirtmişlerdir. Gupta ve ark. (2019), tasarladıkları otomatik kontrol sisteminde, istenilen optimum patinaj aralığını %15-20 olarak belirtmiş ve minimum %14, maksimum %26,5 olmak üzere ortalama %19 patinaj değeri ölçmüşlerdir. Shafaei ve ark. (2018) da benzer sonuçlar bildirmişlerdir.



Şekil 4.13. Farklı kontrol yöntemleri için anlık yakıt tüketimi değerlerinin değişimi

Şekil 4.13 incelendiğinde, yakıt tüketiminin genel olarak belirli bir aralık içinde değişim gösterdiği izlenmektedir. Şekil incelendiğinde en düşük yakıt tüketim aralığının bulanık mantık kontrol sistemiyle yapılan denemelerde; en yüksek aralığın ise sürücü kontrolünde gerçekleştirilen denemelerde ortaya çıktığı görülmektedir. Ayrıca; bulanık mantık kontrol, on-off kontrol ve uyarı sistemleriyle gerçekleştirilen denemelerde belirli aralıklarda ilerleyen ortalama yakıt tüketim değeri, sürücü kontrolünde gerçekleştirilen denemelerde, bazı durumlarda, ani aşırı artışlar göstermiştir. Bu ani aşırı artış durumları, toprakta karşılaşılan sert tabakalar nedeniyle oluşan ani patinaj artışlarını sürücünün algılamada gecikmesi, hatta henüz toprak işleme derinliğine müdahalede bulunmadan bu sert tabanının geçilmesiyle açıklanabilir. Bu gibi durumlarda patinaj ile anlık yakıt tüketimi değerleri ani olarak artmakta ancak herhangi bir müdahalede bulunulmasa bile hızlı bir şekilde normale dönmektedir.

Kumar ve ark. (2016) geliştirdikleri uyarı sistemiyle sürücünün daha ekonomik çalışma sergilediğini belirtmişlerdir. Pranav ve ark. (2012) geliştirdikleri otomatik kontrol sistemiyle %20-30, Shafaei ve ark. (2019b) ise bulanık mantık kontrol sistemiyle %27.69 yakıt tasarrufu sağlandığını belirtmişlerdir. Shafaei ve ark. (2019c) de yakıt tüketim değerleri için benzer sonuçlar bildirmişlerdir.



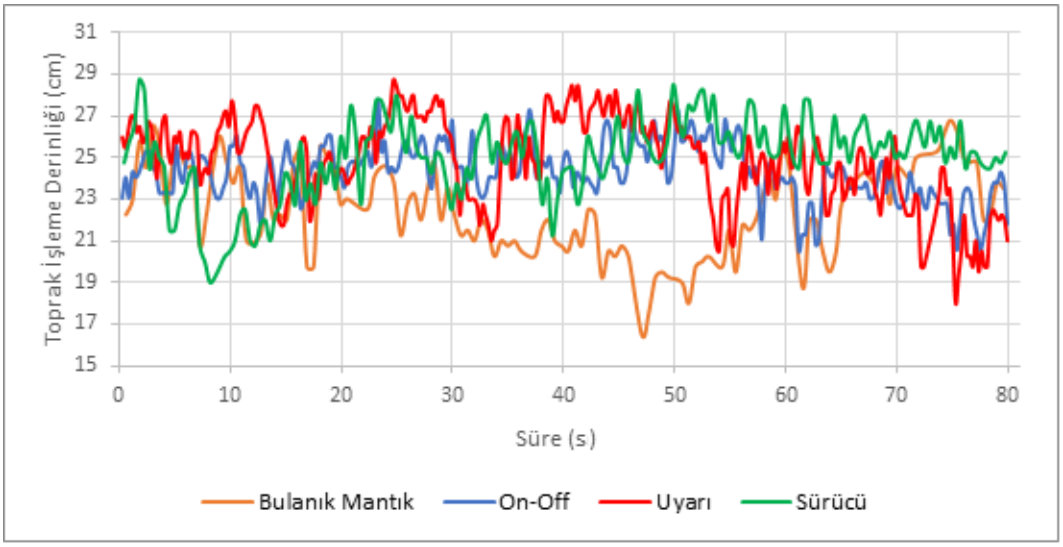
Şekil 4.14. Farklı kontrol yöntemleri için toplam çeki kuvveti değerlerinin değişimi

Şekil 4.14 incelendiğinde toplam çeki kuvveti değerleri bulanık mantık kontrol sistemiyle gerçekleştirilen denemelerde, diğer denemelere nazaran toplam çeki kuvveti değerinin daha düşük değerlerde seyrettiği görülmektedir. Bulanık mantık kontrol sistemiyle gerçekleştirilen denemelerde ayrıca, toplam çeki kuvveti değerinin geniş sayılabilecek bir değer aralığında değişim gösterdiği izlenmiştir. Bahsedilen bu durumlar, bulanık mantık kontrol sisteminin patinaj miktarını çok küçük değerlerden itibaren dikkate alarak hidrolik ayar koluna müdahale etmesiyle açıklanabilir. Bununla birlikte, toprak işleme derinliğinin diğer kontrol yöntemlerine nazaran daha küçük patinaj değerlerinden itibaren ayarlanması (azaltılması) bahsedilen geniş değişim aralığının oluşmasını açıklayabilir. On-off kontrol sistemiyle ve sürücü kontrolünde gerçekleştirilen denemelerde toplam çeki kuvveti değeri, diğer kontrol yöntemleriyle gerçekleştirilen denemelere nazaran daha stabil seyretmiştir. Bu durum, her iki kontrol yönteminde de patinaj belli bir değere ulaşıncaya kadar toprak işleme derinliğine müdahalede bulunulmaması ve bu nedenle bazı anlık artışlar dışında toplam çeki kuvvetinde herhangi bir düşme eğilimi olmamasıyla açıklanabilir. Uyarı sistemiyle gerçekleştirilen deneme sonuçları incelendiğinde ise, toplam çeki kuvveti değerlerinde

çok geniş değişim aralığı oluştuğu görülmüştür. Toplam çeki kuvveti belirli bir değere kadar yükseliş göstermiş, sonrasında ise sert bir şekilde düşmüştür. Bu durum belli bir süre sonra aynı şekilde tekrar görülmüştür. Bunun sebebi, denemelerde sürücüye verilen görsel ve işitsel uyarı bilgileri ile açıklanabilir.

Sürücü denemeler esnasında izlenmiş ve uyarı sistemine uyduğu görülmüştür. Ancak sarı uyarı lambasından sonra çok hızlı bir şekilde kırmızı yandığı durumlarda sarı uyarı lambasında toprak işleme derinliğine müdahale edip etmediği tam anlaşılamamıştır. Kırmızı uyarı lambası yandığında ve sesli uyarı başladığında ise toprak işleme derinliğine hızlı bir şekilde müdahale ettiği görülmüştür. Ancak bu müdahalede, sonuçlardan da anlaşıldığı gibi, derinlik ayarını ne kadar değiştirmesi gerektiğini tam saptayamadığı için yüksek miktarda değişimler yaptığı gözlenmiştir. Bahsedilen bu duruma bağlı olarak da hem toprak işleme derinliği hem de toplam çeki kuvveti değerlerinde oldukça sert azalmalar meydana geldiği görülmüştür.

Pranav ve ark. (2012) gerçekleştirdikleri çalışmada otomatik patinaj kontrol sistemiyle %4-10 daha yüksek çeki verimliliği elde ettiklerini bildirmişlerdir. Gupta ve ark. (2019) çeki verimliliğini tasarladıkları otomatik kontrol sisteminde %68.2 ve traktör üzerinde bulunun standart çeki kontrol sisteminde ise %58.51 olarak saptamışlardır.



Şekil 4.15. Farklı kontrol yöntemleri için toprak işleme derinliği değerlerinin değişimi

Şekil 4.15 incelendiğinde toprak işleme derinliğinin kimi zaman, ayarlanan 25 cm çalışma derinliğini aştığı görülmektedir. Bu durum, gerçekte 25 cm çalışma derinliğinde çalışılırken, toprak yüzeyinde karşılaşılan çeşitli yükseltilerle (tümsek,

kesek, taş, kaya vb.) açıklanabilir. Şekil 4.15 incelendiğinde, genel olarak toprak işleme derinliğinin 19-27 cm aralığında değişim gösterdiği izlenmiştir. Toprağın düzgün olmayan yüzeyi bu aralığın oluşma sebeplerinden biridir. Bulanık mantık kontrol sistemiyle gerçekleştirilen denemelerde ortalama toprak işleme derinliğinin diğer kontrol yöntemlerine nazaran daha düşük kaldığı açıkça görülmektedir. Bunun en büyük sebebi, bulanık mantık kontrol sisteminin çok küçük patinaj değerlerinden itibaren toprak işleme derinliğine müdahale ederek azaltmaya başlamasıdır. Uyarı sistemiyle ve sürücü kontrolünde gerçekleştirilen denemelerde karşılaşılan ani ve yüksek miktardaki toprak işleme derinlik değişimleri ise, sürücünün hidrolik ayar koluna müdahalesinin otomatik kontrol sistemlerindeki kadar hassas olmamasıyla alakalıdır. Bu durum ayrıca, sürücünün patinaj miktarını tam algılayamamasıyla ve o anki refleksine göre hidrolik ayar koluna müdahale etmesiyle ilişkilendirilebilir.

Kontrol yöntemlerinin toprak işlemedeki iş kalitelerini değerlendirebilmek için ayarlanan 25 cm toprak işleme derinliğine göre ölçülen değerlerin bağıl hatası; bulanık mantık kontrol sisteminde %10.8, on-off kontrol sisteminde %7.1, uyarı sisteminde %6.9 ve sürücü kontrolünde ise yaklaşık %5.7 olarak saptanmıştır. Bu durum, bulanık mantık kontrol sisteminin diğer kontrol yöntemlerine göre iş kalitesini bir miktar düşürdüğünü göstermiştir. Diğer kontrol sistemlerinde ise birbirlerine oldukça yakın değerler elde edilmiştir. Ayrıca, çizi tabanındaki yüzey düzgünsüzlüğü değerleri, bulanık mantık kontrol sisteminde yaklaşık %33, on-off kontrol sisteminde %29, uyarı sisteminde %33 ve sürücü kontrolünde ise yaklaşık %28 olarak hesaplanmıştır. Yüzey düzgünsüzlüğü değerleri dikkate alındığında ise tüm kontrol yöntemlerinin birbirine oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

4.3. Sonuçların İstatistiksel Analizi

Gerçekleştirilen analizlerde bulanık mantık kontrol sistemi, on-off kontrol sistemi, uyarı sistemi ve sürücü kontrolü ile elde edilen patinaj, ilerleme hızı, anlık yakıt tüketimi, toplam çeki kuvveti, toprak işleme derinliği ve alan iş başarısı değerleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir ve anlamlılık düzeyi olarak 0.05 kabul edilmiştir.

Araştırmada verilerin normal dağılım gösterip göstermediklerini tespit etmek için ilk olarak Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro Wilk testi kullanılmıştır. Test sonucunda, verilerin tüm kontrol yöntemleri için normal dağılım göstermedikleri tespit edilmiştir ($p<0.05$) (Çizelge 4.12). Bu nedenle, takip eden analizlerde parametrik

olmayan (non-parametrik) Kruskal Wallis testi kullanılmıştır. Kruskal Wallis testi One-Way ANOVA'nın non-parametrik karşılığıdır (Kalaycı, 2016).

Çizelge 4.12. Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro Wilk testi sonuçları

Normallik Testi							
	Kontrol	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Yöntemi	Statistic	df	**Sig.**	Statistic	df	Sig.
İlerleme hızı (km h^{-1})	1	.508	118	**.000**	.442	118	.000
	2	.499	264	**.000**	.468	264	.000
	3	.416	300	**.000**	.661	300	.000
	4	.448	175	**.000**	.587	175	.000
Patinaj (%)	1	.335	118	**.000**	.724	118	.000
	2	.288	264	**.000**	.758	264	.000
	3	.285	300	**.000**	.846	300	.000
	4	.220	175	**.000**	.890	175	.000
Anlık yakıt tüketimi (L ha^{-1})	1	.236	118	**.000**	.900	118	.000
	2	.264	264	**.000**	.830	264	.000
	3	.206	300	**.000**	.896	300	.000
	4	.233	175	**.000**	.870	175	.000
Toplam çeki kuvveti (kN)	1	.118	118	**.000**	.945	118	.000
	2	.086	264	**.000**	.966	264	.000
	3	.097	300	**.000**	.918	300	.000
	4	.075	175	**.017**	.976	175	.004
Toprak işleme derinliği (cm)	1	.101	118	**.005**	.979	118	.066
	2	.124	264	**.000**	.948	264	.000
	3	.096	300	**.000**	.964	300	.000
	4	.148	175	**.000**	.951	175	.000
Alan iş başarısı (ha h^{-1})	1	.508	118	**.000**	.442	118	.000
	2	.499	264	**.000**	.468	264	.000
	3	.416	300	**.000**	.661	300	.000
	4	.448	175	**.000**	.587	175	.000

Kontrol Yöntemi: 1-Bulanık mantık kontrol sistemi, 2-On-off kontrol sistemi, 3-Uyarı Sistemi, 4-Sürücü kontörlü

Kruskal Wallis testi sonucunda, ilerleme hızı ve alan iş başarısı için karşılaştırılan dört farklı yöntem arasındaki fark önemsiz iken ($p>0.05$), patinaj, anlık yakıt tüketimi, toplam çeki kuvveti ve toprak işleme derinliği için fark önemli bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13. Kruskal Wallis Testi sonuçları

Test Sonuçları						
	İlerleme hızı (km h^{-1})	Patinaj (%)	Anlık yakıt tüketimi (L ha^{-1})	Toplam çeki kuvveti (kN)	Toprak işleme derinliği (cm)	Alan iş başarısı (ha h^{-1})
Chi-Square	7.588	44.171	430.717	335.780	109.830	7.588
df	3	3	3	3	3	3
Asymp. Sig.	**.055**	**.000**	**.000**	**.000**	**.000**	**.055**

Farkların hangi kontrol yöntemleri arasında olduğunu değerlendirebilmek için One-Way ANOVA: Post Hoc testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.14. One-Way ANOVA: Post Hoc testi

Çoklu Karşılaştırma							
Tamhane's T2							
	Kontrol Yöntemi		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
İlerleme hızı (km h^{-1})	1^a	2	0.01935	0.03857	**0.997**	-0.083	0.1217
		3	0.04285	0.04125	**0.882**	-0.0664	0.1521
		4	0.12117	0.04622	**0.054**	-0.0013	0.2436
	2^a	3	0.02351	0.03452	**0.984**	-0.0677	0.1147
		4	0.10182	0.04034	**0.070**	-0.005	0.2086
	3^a	4^a	0.07831	0.0429	**0.348**	-0.0352	0.1918
Patinaj (%)	1^a	2	-1,89410*	0.67308	**0.031**	-3.6792	-0.109
		3	-5,00842*	0.74586	**0.000**	-6.9829	-3.0339
		4	-5,49366*	0.9194	**0.000**	-7.9294	-3.0579
	2^b	3	-3,11432*	0.65271	**0.000**	-4.8379	-1.3907
		4	-3,59956*	0.8456	**0.000**	-5.8405	-1.3586
	3^c	4^c	-0.48524	0.9046	**0.995**	-2.8794	1.9089
Anlık yakıt tüketimi (L ha^{-1})	1^a	2	-2,60830*	0.13071	**0.000**	-2.9553	-2.2613
		3	-3,00051*	0.13655	**0.000**	-3.3626	-2.6384
		4	-5,27912*	0.19165	**0.000**	-5.7869	-4.7713
	2^b	3	-,39222*	0.10919	**0.002**	-0.6805	-0.1039
		4	-2,67082*	0.17322	**0.000**	-3.1302	-2.2114
	3^c	4^d	-2,27860*	0.17766	**0.000**	-2.7495	-1.8077
Toplam çeki kuvveti (kN)	1^a	2	-5,70060*	0.28899	**0.000**	-6.4715	-4.9297
		3	-7,09625*	0.32346	**0.000**	-7.9552	-6.2373
		4	-6,85918*	0.29878	**0.000**	-7.655	-6.0634
	2^b	3	-1,39566*	0.19635	**0.000**	-1.9145	-0.8768
		4	-1,15858*	0.1523	**0.000**	-1.5615	-0.7557
	3^c	4^c	0.23708	0.21049	**0.837**	-0.3191	0.7932
Toprak işleme derinliği (cm)	1^a	2	-1,81388*	0.23141	**0.000**	-2.4286	-1.1991
		3	-2,47790*	0.23289	**0.000**	-3.0964	-1.8594
		4	-2,51159*	0.24592	**0.000**	-3.1642	-1.859
	2^b	3	-,66402*	0.17139	**0.001**	-1.1165	-0.2115
		4	-,69771*	0.18871	**0.002**	-1.1969	-0.1986
	3^c	4^c	-0.03369	0.19052	**1.000**	-0.5375	0.4701
Alan iş başarısı (ha h^{-1})	1^a	2	0.00257	0.00512	**0.997**	-0.011	0.0162
		3	0.00569	0.00548	**0.882**	-0.0088	0.0202
		4	0.01609	0.00614	**0.054**	-0.0002	0.0324
	2^a	3	0.00312	0.00458	**0.984**	-0.009	0.0152
		4	0.01352	0.00536	**0.070**	-0.0007	0.0277
	3^a	4^a	0.0104	0.0057	**0.348**	-0.0047	0.0255

*****: $p<0.05$; **Kontrol Yöntemi:** 1-Bulanık mantık kontrol sistemi, 2-On-off kontrol sistemi, 3-Uyarı Sistemi, 4-Sürücü kontörlü; $^{a, b, c, d}$: Farklı harflendirmeler %5 düzeyinde önemli farklılıklar göstermektedir.

Çizelge 4.14'e göre;

1. İlerleme hızı dikkate alındığında, kontrol yöntemleri arasındaki farklılık önemsizdir ($p>0.05$). İlerleme hızı en düşük sürücü kontrolünde ortaya çıkarken en yüksek bulanık mantık kontrol sistemiyle elde edilmiştir.
2. Patinaj değerleri dikkate alındığında; kontrol yöntemleri arasındaki farklılık istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Uyarı sistemi ile sürücü kontrolü arasındaki fark ise istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($p>0.05$). En düşük ortalama patinaj miktarı bulanık mantık kontrol sistemiyle elde edilmiştir. En yüksek ortalama patinaj miktarı ise sürücü kontrolünde ortaya çıkmıştır.
3. Kontrol yöntemlerinin yakıt tüketimi üzerindeki etkisi önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Bulanık mantık kontrol sistemiyle elde edilen değerler diğer kontrol yöntemlerine göre daha düşüktür. Bulanık mantık kontrol sistemini sırasıyla on-off kontrol sistemi, uyarı sistemi ve sürücü kontrolü takip etmiştir.
4. Kontrol yöntemlerinin toplam çeki kuvveti üzerindeki etkisi önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Uyarı sistemi ile sürücü kontrolü arasındaki fark ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). En düşük toplam çeki kuvveti bulanık mantık kotrol sistemiyle elde edilmiştir.
5. Kontrol yöntemlerinin toprak işleme derinliği üzerindeki etkisi önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Uyarı sistemiyle sürücü kontrolü arasındaki fark ise önemsizdir ($p>0.05$).
6. Alan iş başarısı değerleri dikkatte alındığında, kontrol yöntemleri arasındaki farklılık önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Alan iş başarısı en düşük sürücü kontrolünde ortaya çıkarken en yüksek bulanık mantık kontrol sistemiyle elde edilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Toprak işleme faaliyetleri esnasında, traktörün muharrik arka tekerleklerinde meydana gelen patinaj miktarının ölçülmesi ve gösterilmesi için elektronik bir sistem tasarlanmıştır. Ayrıca, oluşan ortalama patinaj miktarının, belirlenen değeri aşması durumunda sürücünün görsel ve işitsel olarak uyarılması için de ayrıca bir uyarı sistemi hazırlanmıştır. Bunların dışında muharrik tekerleklerdeki patinaj değerini sürekli olarak ölçen ve patinaj miktarı belirlenen değeri aştığında hidrolik ayar koluna müdahale ederek toprak işleme derinliğini otomatik olarak azaltan iki farklı otomatik kontrol sistemi oluşturulmuştur.

Tüm bu sistemler ile ve bu sistemler kapalı iken sürücü kontrolünde tarla denemeleri gerçekleştirilmiş ve patinaj miktarı, anlık yakıt tüketimi, toplam çeki kuvveti ve toprak işleme derinliği değerleri kayıt edilmiştir. Uyarı sisteminin ve otomatik kontrol sistemlerinin sürücünün hislerine ve kontrolüne kıyasla ne kadar hassas çalışabildiğini belirlemek için gerçekleştirilen denemelerde, aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

En yüksek patinaj değeri %53 ile sürücü kontrolünde gerçekleştirilen denemelerde elde edilirken, en düşük %3 ile uyarı kontrol sistemiyle gerçekleştirilen denemelerde bulunmuştur. Ortalama patinaj değerleri dikkate alındığında en düşük ortalama patinaj değeri bulanık mantık kontrol sisteminde, en yüksek ortalama patinaj değeri ise sürücü kontrolünde elde edilmiştir. Bulanık mantık kontrol sisteminde patinaj değerinin sürücü kontrolüne göre yaklaşık %54 azaldığı görülmüştür. Patinaj değeri dikkate alınarak yapılan sıralamada, minimumdan maksimuma doğru, önce bulanık mantık kontrol sistemi sonuçlarının, sonra on-off kontrol sistemi sonuçlarının ve ardından uyarı sistemiyle sürücü kontrolü sonuçlarının geldiği izlenmiştir.

Yakıt tüketimi için yapılan değerlendirmelerde, en düşük yakıt tüketiminin bulanık mantık kontrol sisteminde, en yüksek yakıt tüketiminin ise sürücü kontrolünde ortaya çıktığı kaydedilmiştir. Bulanık mantık kontrol sistemiyle yakıt tüketiminin sürücü kontrolüne göre yaklaşık %75 azaldığı tespit edilmiştir. Minimumdan maksimuma doğru yakıt tüketimleri sıralandığında, birinci sırada bulanık mantık kontrol sisteminin, ikinci sırada on-off kontrol sisteminin, üçüncü sırada uyarı sisteminin ve son sırada sürücü kontrolünün geldiği görülmüştür.

Toplam çeki kuvveti değerleri için en düşük değer bulanık mantık kontrol sisteminde, en yüksek değer ise uyarı sisteminde elde edilmiştir. Bulanık mantık kontrol sistemiyle toplam çeki kuvveti değerinin yaklaşık %43 azaldığı tespit edilmiştir. Toplam çeki kuvveti için elde edilen değerler minimumdan maksimuma doğru sıralandığında ise bulanık mantık kontrol sistemi birinci, on-off kontrol sistemi ikinci, sürücü kontrolü üçüncü ve uyarı sistemi dördüncü sırada yer almıştır.

Toprak işleme derinliği tüm denemelerde 25 cm olarak ayarlanmış ve elde edilen ortalama toprak işleme derinliklerindeki en büyük bağıl hata bulanık mantık kontrol sisteminde ortaya çıkmıştır. Ortalama toprak işleme derinliğinin bulanık mantık kontrol sisteminde yaklaşık %11 düştüğü görülmüştür. Ayarlanan 25 cm toprak işleme derinliğine en yakın değerler sırasıyla sürücü kontrolünde, uyarı sisteminde, on-off kontrol sisteminde ve bulanık mantık kontrol sisteminde elde edilmiştir.

Alan iş başarısı değerleri incelendiğinde ise en yüksek alan iş başarısının bulanık mantık kontrol sisteminde, en düşük ise sürücü kontrolünde elde edildiği görülmüştür. Bulanık mantık kontrol sistemi ile alan iş başarısı yaklaşık %3 artmıştır. Alan iş başarısı değerleri minimumdan maksimuma doğru sıralandığında ilk olarak sürücü kontrolü, sonrasında ise sırasıyla uyarı sistemi, on-off kontrol sistemi ve bulanık mantık kontrol sistemi gelmektedir.

Çalışmalar esnasında bulanık mantık kontrol sistemiyle gerçekleştirilen denemelerde, toprak işleme derinliğine diğer kontrol yöntemlerine göre çok daha fazla müdahale edildiği görülmüştür. Müdahalelerin diğer yöntemlere nazaran daha küçük miktarlarda olması nedeniyle toprak işleme derinliğindeki değişimler çok daha küçük sapmalarla gerçekleşmiştir. Ancak fazla müdahale nedeniyle, sapma küçük miktarlarda olsa dahi, 25 cm olarak ayarlanan toprak işleme derinliği diğer kontrol yöntemlerine göre daha az korunabilmiştir.

Gerçekleştirilen denemelerde, genel olarak, sürücünün patinajı algılamaya başladığında patinaj değerinin %30 seviyesinin üzerinde olduğu görülmüştür. Diğer taraftan, sürücünün patinajın meydana geldiğini algıladıktan belli bir süre sonra toprak işleme derinliğine müdahale edebildiği gözlenmiştir. Bununla beraber, sürücünün derinlik değişimine müdahalesi genel olarak yüksek değişimler şeklinde olmuştur. Sürücü hidrolik ayar kolunu, meydana gelen patinaj miktarından bağımsız olarak, genelde standart bir miktarda hareket ettirmiştir. Örneğin; patinajın %30 seviyelerinde olduğu koşulla, %50 seviyelerinde olduğu durumların her ikisinde de hidrolik ayar koluna benzer miktarda müdahale etmiştir.

Gerçekleştirilen denemelerde yüksek çeki kuvveti değerleri oluşmadığı halde traktör tekerleğinin yumuşak toprak zemini ile karşılaşması ve tutunamaması sebebiyle yüksek patinaj değerleriyle karşılaşıldığı görülmüştür.

Otomatik kontrol sistemleri, sürücüyü tamamen devre dışı bırakarak çalıştığı için, sürücünün anlık duygularından (ortam ışığı, traktör sarsıntısı, yorgunluk vb durumlar sonucu oluşan algılar) bağımsız ve standart iş yapabilmektedir. Bu sayede sürücünün gözden kaçıracağı, fark ettiği halde önemsemeyeceği, müdahale için geç kalacağı zamanlar da dahil tüm durumlarda patinaj kontrol altında tutulabilecektir. Bu nedenle otomatik kontrol sistemlerinin kullanılması ve uyarı sistemlerinin de yerine tercih edilmesi daha uygun olacaktır.

Bulanık mantık kontrol yöntemi hem kurallarının kolaylıkla tanımlanabilmesi hem de tasarımının kolay ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi nedeniyle, otomatik kontrol sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Tarım makinalarında otomatik kontrol sistemlerinin gerektiği durumlarda da bulanık mantık tabanlı otomatik kontrol sistemlerinin hem zaman hem maliyet hem de kullanım ve tasarım kolaylığı açısından tercih edilmesi uygun olabilir.

5.2. Öneriler

Bundan sonra yapılacak benzer çalışmalar için şu hususlar önem arz edecektir;

a. Patinaj miktarının daha hassas ölçülmesi, özellikle bulanık mantık kontrol sisteminin daha hassas karar verebilmesini sağlayacaktır. Bu nedenle, tekerlek hızlarını belirlemek için tekerleklere yerleştirilen mıknatıs sayısının arttırılması uygun olacaktır. Ayrıca, encoder şeklinde tekerlek gövdesine yerleştirilen daha hassas dönüştürücüler kullanılması da bunun için uygun bir tercih olabilir.
b. Traktörler üzerinde bulunan çeki kontrol sistemleri sadece çeki kuvvetini dikkate alarak toprak işleme derinliğine müdahale eden sistemlerdir. Ancak çeki kuvvetinin düşük olduğu ama gevşek zemin nedeniyle yüksek patinajın oluştuğu durumlarda da toprak işleme derinliğine müdahale etmek gerekmektedir. Bu nedenle, mevcut çeki kontrol sistemlerine ek olarak, tarım traktörlerinde, patinaj miktarının da dikkate alınması daha yüksek çeki verimliliği sınırları içerisinde çalışılabilmesine imkan sağlayacaktır.
c. Traktörlerde bulunan ve hidrolik basınçla kontrol edilen üç nokta askı sistemi, verilen komutlara hem geç hem de orantısız tepkiler vermektedir. Bu durum

kullanılan mekanik valfle ve hidrolik ayar kolu ile valf arasındaki mekanik bağlantı elemanlarıyla doğrudan ilgilidir. Üç nokta askı sisteminin daha hızlı ve hassas tepkiler vermesi için, traktörde bulunan mekanik valfin yerine elektro-valf kullanılması; elektro-valfin seçiminde ise elektronik selenoid valf yerine elektronik oransal valf tercih edilmesi hem valfin doğrudan elektronik olarak kontrol edilmesine ve ara bağlantı elemanlarından kurtularak daha hızlı tepki vermesine hem de daha hassas piston hareketlerine imkan sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Abbaspour-Gilandeh, Y. ve Sedghi, R., 2015, Predicting soil fragmentation during tillage operation using fuzzy logic approach, *Journal of Terramechanics*, 57, 61-69.

Al-Janobi, A. ve Al-Suhaibani, S., 1998, Draft of primary tillage implements in sandy loam soil, *Applied engineering in agriculture*, 14 (4), 343-348.

Al-Janobi, A., 2000, A data-acquisition system to monitor performance of fully mounted implements, *Journal of agricultural engineering research*, 75 (2), 167-175.

Al-Suhaibani, S., Al-Janobi, A. ve Al-Majhadi, Y., 2010, Development and evaluation of tractors and tillage implements instrumentation system, *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3 (2), 363-371.

Al-Suhaibani, S. ve Ghaly, A., 2013, Comparative study of the kinetic parameters of three chisel plows operating at different depths and forward speed in a sandy soil, *Int. J. Eng. Sci*, 2 (7), 42-59.

Alkan, Ö., 2011, Zamanla değişen sistemlerin bulanık model referans adaptif kontrolü, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Almaliki, S., Alimardani, R. ve Omid, M., 2016, Fuel consumption models of MF285 tractor under various field conditions, *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 18 (3), 147-158.

Altınışık, A., 2012, Toprak işlemede traktör çeki performansının yapay sinir ağları ile analizi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Anonim, 2016, Türkiye Tarım Makinaları Sektörü, Sektör Raporu, 27 Eylül 2016 [Online], *Türk Tarım Alet ve Makinaları İmalatçıları Birliği (TarmakBir)*, http://www.tarmakbir.org/haberler/tarmakbirsekrap.pdf, [Ziyaret Tarihi: 28.10.2016].

Anonim, 2020a, Tarım Alanları [Online], *Türkiye İstatistik Kurumu*, http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist, [Ziyaret Tarihi: 01.05.2020]

Anonim, 2020b, Tarımsal Alet ve Makine İstatistikleri [Online], *Türkiye İstatistik Kurumu*, http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=kategorist, [Ziyaret Tarihi: 01.05.2020].

Anonim, 2020c, Tarımsal Alet ve Makine İstatistikleri [Online], *Türkiye İstatistik Kurumu*, https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=134&locale=tr, [Ziyaret Tarihi: 01.05.2020].

Anonim, 2020d, Petrol Sanayi Derneği [Online], https:// http://www.petder.org.tr/tr-TR/akaryakit-satis-verileri/628809, [Ziyaret Tarihi: 01.05.2020]

Anonim, 2020e, New Holland TD65D Kullanım Kitabı [Online], https://ekilavuz.com/new-holland-td65d-d-traktor--0c5e1bbba24ff94c-77, [Ziyaret Tarihi: 01.05.2020]

Arrivo, A. ve Di Renzo, G., 1998, Trailed unit for testing implements under field conditions, *Journal of agricultural engineering research*, 71 (1), 19-24.

Bauer, F., Porteš, P., Slimařík, D., Čupera, J. ve Fajman, M., 2017, Observation of load transfer from fully mounted plough to tractor wheels by analysis of three point hitch forces during ploughing, *Soil and Tillage Research*, 172, 69-78.

Baykal, N. ve Beyan, T., 2004, Bulanık mantık: uzman sistemler ve denetleyiciler, Bıçaklar Kitabevi, p.

Berber, E., 2008, Mikrodenetleyicili endüstriyel otomatik sıcaklık ölçüm ve kontrol sistemi.

Boydaş, M. G. v. U., F., 2010, Kulaklı Pullukta Çeki Kuvvetine Etki Eden Faktörler, *26. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi*, Hatay, 235-242.

Casady, W., 1997, Tractor tire and ballast management, *Agricultural publication G*, 1235, 1-98.

Ćirović, V. ve Aleksendrić, D., 2013, Adaptive neuro-fuzzy wheel slip control, *Expert Systems with Applications*, 40 (13), 5197-5209.

Craciun, V. v. L., D., 1998, An Analytical method for identifying and designing a moldboard plow surface, *Transactions of the ASAE*, 41(6), 1589-1599.

Çarman, K., 2008, Prediction of soil compaction under pneumatic tires a using fuzzy logic approach, *Journal of Terramechanics*, 45 (4), 103-108.

Çelik, A., 2018, Eğitim Fakültesi öğrencilerinin dijital ürünlerle ilgili telif hakları konusundaki farkındalık düzeylerinin incelenmesi, *Eğitim Bilimleri Enstitüsü*.

Damanauskas, V. ve Janulevičius, A., 2015, Differences in tractor performance parameters between single-wheel 4WD and dual-wheel 2WD driving systems, *Journal of Terramechanics*, 60, 63-73.

Demir, N. O., 2014, Tarımda kullanılan bazı muharrik lastiklerin işletme parametrelerinin optimizasyonu, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Dilay, Y., Sabancı, K., Özkan, A. ve Aydın, C., 2016, Traktörlerde Patinajın Sensör Yardımıyla Hesaplanması, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 12 (1), 45-50.

Ekinci, Ş., 2011, Bahçe traktörlerinde kullanılan bazı muharrik lastiklerin yapısal ve işletme özelliklerinin çeki performansına etkisi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Fathollahzadeh, H., Mobli, H., Jafari, A. ve Tabatabaie, S. H., 2011, Design and calibration of a fuel consumption measurement system for a diesel tractor, *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 13 (2).

Filipovic, D., Kosutic, S. ve Gospodaric, Z., 2004, Energy efficiency in conventional tillage of clay soil, *Proceedings*, 83-91.

Godwin, R., O'dogherty, M., Saunders, C. ve Balafoutis, A., 2007, A force prediction model for mouldboard ploughs incorporating the effects of soil characteristic properties, plough geometric factors and ploughing speed, *Biosystems engineering*, 97 (1), 117-129.

Görgülü, Ö., 2007, Bulanık mantık (Fuzzy Logic) teorisi ve tarımda kullanım olanakları üzerine bir araştırma, *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Gupta, C., Tewari, V., Kumar, A. A. ve Shrivastava, P., 2019, Automatic tractor slip-draft embedded control system, *Computers and Electronics in Agriculture*, 165, 104947.

Jafar, M., Ahmad, L. ve Akbar, A., 2011, Comparıson between capacıtıve and photo sensors ın depth control of onıon harvester, *Journal of Engineering Studies and Research*, 17 (4), 64.

Janulevičius, A. ve Damanauskas, V., 2015, How to select air pressures in the tires of MFWD (mechanical front-wheel drive) tractor to minimize fuel consumption for the case of reasonable wheel slip, *Energy*, 90, 691-700.

Jia, H., Guo, M., Yu, H., Li, Y., Feng, X., Zhao, J. ve Qi, J., 2016, An adaptable tillage depth monitoring system for tillage machine, *Biosystems engineering*, 151, 187-199.

Kalaycı, Y. E., 2016, Parametrik ve Parametrik Olmayan Çoklu Karşılaştırma Yöntemlerinin İncelenmesi: Türkiye'de Bölgelerin Sosyo-Ekonomik, *Isparta*.

Kallivroussis, L., Natsis, A. ve Papadakis, G., 2002, RD—rural development: the energy balance of sunflower production for biodiesel in Greece, *Biosystems engineering*, 81 (3), 347-354.

Karanfil, F., 2013, Traktör hidrolik kaldırıcılarında üç nokta askı sisteminin kaldırma kapasitesi hesabı ve alt kolların tasarımının incelenmesi, *Namık Kemal Üniversitesi*.

Karparvarfard, S. ve Rahmanian-Koushkaki, H., 2015, Development of a fuel consumption equation: Test case for a tractor chisel-ploughing in a clay loam soil, *Biosystems engineering*, 130, 23-33.

Keleş, İ. ve Hacıseferoğulları, H., 2016, Konya İli Çumra İlçesi Tarım İşletmelerinin Tarımsal Yapı ve Mekanizasyon Özelliklerinin Belirlenmesi, *Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi*, 3 (1), 48-58.

Keskin, R. ve Erdoğan, D., 1992, Tarımsal mekanizasyon, *AÜ Ziraat Fakültesi Yayınları. Yayın* (1254).

Kiani, S., Kamgar, S. ve Raoufat, M., 2012, Automatic on-line depth control of seeding units using a non-contacting ultrasonic sensor, *International Journal of Natural and Engineering Sciences*, 6 (2), 39-42.

Kim, J. ve Lee, J., 2018, Traction-energy balancing adaptive control with slip optimization for wheeled robots on rough terrain, *Cognitive Systems Research*, 49, 142-156.

Kumar, A. A., Tewari, V. K. ve Nare, B., 2016, Embedded digital draft force and wheel slip indicator for tillage research, *Computers and Electronics in Agriculture*, 127, 38-49.

Kumar, A. A., Tewari, V., Gupta, C. ve Pareek, C., 2017, A device to measure wheel slip to improve the fuel efficiency of off road vehicles, *Journal of Terramechanics*, 70, 1-11.

Kumar, R. ve Raheman, H., 2015, Design and development of a variable hitching system for improving stability of tractor trailer combination, *Engineering in agriculture, environment and food*, 8 (3), 187-194.

Küçüksarıyıldız, H., 2006, Traktörlerde çeki performansı üzerine bazı faktörlerin etkisi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Lafont, F. ve Balmat, J.-F., 2002, Optimized fuzzy control of a greenhouse, *Fuzzy sets and systems*, 128 (1), 47-59.

Langer, T. H., 2017, Model-in-the-Loop Tuning of Hitch Control Systems of Agricultural Tractors.

Lee, J., Yamazaki, M., Oida, A., Nakashima, H. ve Shimizu, H., 1996, Non-contact sensors for distance measurement from ground surface, *Journal of Terramechanics*, 33 (3), 155-165.

Lee, J., Yamazaki, M., Oida, A., Nakashima, H. ve Shimizu, H., 1998, Electro-hydraulic tillage depth control system for rotary implements mounted on agricultural tractor design and response experiments of control system, *Journal of Terramechanics*, 35 (4), 229-238.

Marakoglu, T. ve Carman, K., 2010, Energy balance of direct seeding applications used in wheat production in middle Anatolia, *African Journal of Agricultural Research*, 5 (10), 988-992.

Marakoğlu, T. ve Çarman, K., 2012, Wheat production using direct seeding, reduced tillage and conventional tillage in Mıddle Anatolia, *BULGARIAN JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE*, 18 (5), 789-793.

McLaughlin, N., Heslop, L., Buckley, D., Amour, G. S., Compton, B., Jones, A. ve Van Bodegom, P., 1993, A general purpose tractor instrumentation and data logging system, *Transactions of the ASAE*, 36 (2), 265-273.

Mileusnić, Z., Petrović, D. ve Đević, M., 2010, Comparison of tillage systems according to fuel consumption, *Energy*, 35 (1), 221-228.

Moitzi, G., Weingartmann, H. ve Boxberger, J., 2006, Effects of tillage systems and wheel slip on fuel consumption, *The Union of Scientists-Rousse: Energy Efficiency and Agricultural Engineering*, 7 (9), 237-242.

Moitzi, G., Wagentristl, H., Refenner, K., Weingartmann, H., Piringer, G., Boxberger, J. ve Gronauer, A., 2014, Effects of working depth and wheel slip on fuel consumption of selected tillage implements, *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 16 (1), 182-190.

Nielsen, S. K., Nørremark, M. ve Green, O., 2016, Sensor and control for consistent seed drill coulter depth, *Computers and Electronics in Agriculture*, 127, 690-698.

Nielsen, S. K., Munkholm, L. J., Lamandé, M., Nørremark, M., Edwards, G. T. ve Green, O., 2018, Seed drill depth control system for precision seeding, *Computers and Electronics in Agriculture*, 144, 174-180.

Ömür, Y., 2009, Adaptif Bulanık Denetleyici ile Doğrusal Olmayan Sistem Kontrolü, *Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir*.

Passino, K. M., Yurkovich, S. ve Reinfrank, M., 1998, Fuzzy control, Citeseer, p.

Pranav, P., Pandey, K. ve Tewari, V., 2010, Digital wheel slipmeter for agricultural 2WD tractors, *Computers and Electronics in Agriculture*, 73 (2), 188-193.

Pranav, P., Tewari, V., Pandey, K. ve Jha, K., 2012, Automatic wheel slip control system in field operations for 2WD tractors, *Computers and Electronics in Agriculture*, 84, 1-6.

Raheman, H. ve Jha, S., 2007, Wheel slip measurement in 2WD tractor, *Journal of Terramechanics*, 44 (1), 89-94.

Ranjbarian, S., Askari, M. ve Jannatkhah, J., 2017, Performance of tractor and tillage implements in clay soil, *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16 (2), 154-162.

Roul, A., Raheman, H., Pansare, M. ve Machavaram, R., 2009, Predicting the draught requirement of tillage implements in sandy clay loam soil using an artificial neural network, *Biosystems engineering*, 104 (4), 476-485.

Sahu, R. ve Raheman, H., 2006, Draught prediction of agricultural implements using reference tillage tools in sandy clay loam soil, *Biosystems engineering*, 94 (2), 275-284.

Samiei Far, A., Kazemi, N., Rahnama, M. ve Nejad, M. G., 2015, Simultaneous comparison of the effects of shaft load and shaft positions on tractor OEE in two soil conditions (cultivated and uncultivated), *Int. J. Farm Allied Sci*, 43 (2015), 215-221.

Shafaei, S., Loghavi, M., Kamgar, S. ve Raoufat, M., 2018, Potential assessment of neuro-fuzzy strategy in prognostication of draft parameters of primary tillage implement, *Annals of Agrarian Science*, 16 (3), 257-266.

Shafaei, S., Loghavi, M. ve Kamgar, S., 2019a, A practical effort to equip tractor-implement with fuzzy depth and draft control system, *Engineering in agriculture, environment and food*, 12 (2), 191-203.

Shafaei, S., Loghavi, M. ve Kamgar, S., 2019b, Development and implementation of a human machine interface-assisted digital instrumentation system for high

precision measurement of tractor performance parameters, *Engineering in agriculture, environment and food*, 12 (1), 11-23.

Shafaei, S., Loghavi, M. ve Kamgar, S., 2019c, Feasibility of implementation of intelligent simulation configurations based on data mining methodologies for prediction of tractor wheel slip, *Information Processing in Agriculture*, 6 (2), 183-199.

Soylu, S., 2013, Doğrusal ve doğrusal olmayan sistemlerin hiyerarşik bulanık kontrolü, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Suomi, P., Oksanen, T., Ojanne, A., Kalmari, J., Linkolehto, R. ve Teye, F., 2009, Automatic working depth control for seed drill using ISO 11783 compatible tractor, *Precision Agriculture*, 9, 683-690.

Suomi, P. ve Oksanen, T., 2015, Automatic working depth control for seed drill using ISO 11783 remote control messages, *Computers and Electronics in Agriculture*, 116, 30-35.

Sümer, S., 2005, Değişik lastik ve tekerlek düzenlemelerinin traktör çeki verimine etkileri üzerinde bir araştırma, *Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Teker, A., 2008, Sürekli mıknatıslı senkron motorun bulanık mantık ile hız kontrolü, *Kocaeli Universitesi, Fen Bilimleri Enstitusu*.

Ucgul, M. ve Saunders, C., 2020, Simulation of tillage forces and furrow profile during soil-mouldboard plough interaction using discrete element modelling, *Biosystems engineering*, 190, 58-70.

Uçuk, S., 2009, Bir vinçteki yük salınımının bulanık mantık tabanlı kontrolü, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Uymaz, G., 2014, Traktörlerde kullanılan elektro-hidrolik kaldırıcılar için alternatif çeki algılayıcı sistem tasarımı, *Namık Kemal Üniversitesi*.

Ülger, P., 2011, Tarım makinaları ilkeleri, Hiperlink eğit. ilet. yay. san. tic. ve ltd. sti., p.

Yahya, A., Zohadie, M., Kheiralla, A., Giew, S. ve Boon, N., 2009, Mapping system for tractor-implement performance, *Computers and Electronics in Agriculture*, 69 (1), 2-11.

Yasin, M., Grisso, R. ve Lackas, G., 1992, Non-contact system for measuring tillage depth, *Computers and Electronics in Agriculture*, 7 (2), 133-147.

Zadeh, L. A., 1965, Fuzzy sets, *Information and control*, 8 (3), 338-353.

Zhixiong, L., Xuefeng, B., Yiguan, L., Jiangxue, C. ve Yang, L., 2013, Wheel slip measurement in 4WD tractor based on LABVIEW, *International Journal of Automation and Control Engineering*, 2 (3), 113-119.

Zoz, F. M. ve Grisso, R. D., 2003, Traction and tractor performance, ASAE St. Joseph, p.

EKLER

EK-1 Bulanık Mantık Kontrol Sistemi, Uyarı Sistemi ve Şoför Kontrolündeki Çalışma İçin Arduino Yazılımı

```
#include <SD.h>
#include <SPI.h>
#include <TimerOne.h>
#include <TinyGPS++.h>
TinyGPSPlus gps;
#include <Wire.h>
#include "fis_header.h"
#include <Servo.h>
#include "HX711.h"

float deger;
float deger2;
float deger3;
int sifir = 150;
int hassas = 4;
HX711 scale(6, 7);
HX711 scale1(4, 5);
HX711 scale2(9, 8);
float calibration_factor1 = 850;
float calibration_factor23 = 850;
int pim1;
int pim2;
int pim3;
Servo sg90;
const int fis_gcI = 2;
const int fis_gcO = 1;
const int fis_gcR = 25;
FIS_TYPE g_fisInput[fis_gcI];
FIS_TYPE g_fisOutput[fis_gcO];
long ayar;
float fuzzy;
int num1;
int tamkaldir = 33;
int ayarbuton = 35;
int tamindir = 37;
int yesil = 39;
int sari = 41;
int kirmizi = 43;
int tk;
int ab;
int ti;
float hesaplama = 0.00;
float hesaphafiza = 0.00;
int sinir = 75.00;
int dsinir = 30.00;
```

```
int asagidegme = 26;
int yukarikalkma = 50;
byte komut;
int button;
byte hat;
int hafiza;
int num;
float gidisyak;
float donusyak;
float netyak;
float toplam;
byte e, f, g;
float sayac5 = 0;
float sayac6 = 0;
float toplamgiden;
float toplamdonen;
File myFile;
int pinCS = 53;
char sz[32];
int sayac1 = 0;
int sayac2 = 0;
int sayac3 = 0;
int a;
int b;
int c;
int d;
float devir1;
float devir2;
float devir3;
int km;
int pat3;
int pat4;

void say1()
{
  sayac1++;
  d++;
}

void say2()
{
  sayac2++;
}

void say3()
{
  sayac3++;
}

void timerIsr()
```

```
{
  Timer1.detachInterrupt();
  a = (sayac1);
  b = (sayac2);
  c = (sayac3);
  sayac1 = 0;
  sayac2 = 0;
  sayac3 = 0;
  Timer1.attachInterrupt( timerIsr );
}

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Serial2.begin(9600);
  sg90.attach(13);
  sg90.write(180 - 0);
  scale.set_scale(calibration_factor1);
  scale.tare();
  scale1.set_scale(calibration_factor23);
  scale1.tare();
  scale2.set_scale(calibration_factor23);
  scale2.tare();
  Wire.begin();
  Timer1.initialize(500000);
  attachInterrupt(0, say1, RISING);
  attachInterrupt(1, say2, RISING);
  attachInterrupt(5, say3, RISING);
  Timer1.attachInterrupt( timerIsr );
  pinMode(pinCS, OUTPUT);
  SD.begin();
  myFile = SD.open("test.txt", FILE_WRITE);
  if (myFile)
  {
myFile.print(F("Tarih_____Saat_____Lat_____Lng_____
_____Hız_____M3_____M4_____P3_____P4_____Anlık___Toplam__Pim1___
_Pim2____Pim3____Çalışma_Mesafe__FzzyDrn"));
    myFile.println("\t");
    myFile.close();
  }
  else
  {
    Serial.println("Test.txt BASLIK acilisinda hata !!!");
  }
  pinMode(tamkaldir, INPUT);
  pinMode(ayarbuton, INPUT);
  pinMode(tamindir, INPUT);
  pinMode(yesil, OUTPUT);
  pinMode(sari, OUTPUT);
  pinMode(kirmizi, OUTPUT);
```

```
}

void loop()
{
 Wire.requestFrom(58, 3);
 e = Wire.read();
 f = Wire.read();
 g = Wire.read();
 sayac5 = e;
 sayac6 = f;
 gidisyak = (sayac5 * 3600) / 4700;
 donusyak = (sayac6 * 3600) / 4700;
 netyak = gidisyak - donusyak;
 if (netyak < 0) netyak = 0;
 int toplam1 = g;
 toplam = toplam1 / 100.00;
 devir1 = (a  * 3.60 * 3.6) / 14.00;
 devir2 = (b  * 4.75 * 3.6) / 20.00;
 devir3 = (c  * 4.75 * 3.6) / 20.00;
 km = (d / 28.00) * 3.60;
 pat3 = ((devir2 - (devir1)) / devir2) * 100;
 if (pat3 < 0) pat3 = 0;
 pat4 = ((devir3 - (devir1)) / devir3) * 100;
 if (pat4 < 0) pat4 = 0;
 int ortpat = (pat3 + pat4) / 2;
 if (ortpat < 15)
 {
  digitalWrite(yesil, HIGH);
  digitalWrite(sari, LOW);
  digitalWrite(kirmizi, LOW);
 }
 if (ortpat >= 15 && ortpat <= 25)
 {
  digitalWrite(yesil, LOW);
  digitalWrite(sari, HIGH);
  digitalWrite(kirmizi, LOW);
 }
 if (ortpat > 25)
 {
  digitalWrite(yesil, LOW);
  digitalWrite(sari, LOW);
  digitalWrite(kirmizi, HIGH);
 }
 pim1 = scale.get_units();
 pim2 = scale1.get_units();
 pim3 = scale2.get_units();
 if (Serial.available())
 {
  char temp = Serial.read();
  if (temp == 'S' || temp == 's')
```

```
            {
              scale.tare();
              scale1.tare();
              scale2.tare();
            }
          }
          deger = analogRead(A3);
          deger2 = (deger - sifir);
          deger3 = (deger2 / hassas);
          while (Serial1.available() > 0)
            if (gps.encode(Serial1.read()))
            {
              if (gps.date.day() < 10) Serial.print(F("0"));
              Serial.print(gps.date.day());
              Serial.print(F("/"));
              if (gps.date.month() < 10) Serial.print(F("0"));
              Serial.print(gps.date.month());
              Serial.print(F("/"));
              Serial.print(gps.date.year());
              Serial.print("\t");
              sprintf(sz, "%02d:%02d:%02d ", gps.time.hour(), gps.time.minute(),
gps.time.second());
              Serial.print(sz);
              Serial.print("\t");
              Serial.print(gps.location.lat(), 6);
              Serial.print("\t");
              Serial.print(gps.location.lng(), 6);
              Serial.print("\t");
              Serial.print(devir1, 2);
              Serial.print("\t");
              Serial.print(devir2, 2);
              Serial.print("\t");
              Serial.print(devir3, 2);
              Serial.print("\t");
              Serial.print(pat3);
              Serial.print("\t");
              Serial.print(pat4);
              Serial.print("\t");
              Serial.print(netyak);
              Serial.print("\t");
              Serial.print(toplam);
              Serial.print("\t");
              Serial.print(pim1);
              Serial.print("\t");
              Serial.print(pim2);
              Serial.print("\t");
              Serial.print(pim3);
              Serial.print("\t");
              Serial.print(deger3);
              Serial.print("\t");
```

```
            Serial.print(km);
            Serial.print("\t");
            Serial.print(ayar);
            Serial.println("\t");
            myFile = SD.open("test.txt", FILE_WRITE);
            if (myFile)
            {
              if (gps.date.day() < 10) myFile.print(F("0"));
              myFile.print(gps.date.day());
              myFile.print(F("/"));
              if (gps.date.month() < 10) myFile.print(F("0"));
              myFile.print(gps.date.month());
              myFile.print(F("/"));
              myFile.print(gps.date.year());
              myFile.print("\t");
              sprintf(sz, "%02d:%02d:%02d ", gps.time.hour(), gps.time.minute(),
gps.time.second());
              myFile.print(sz);
              myFile.print("\t");
              myFile.print(gps.location.lat(), 6);
              myFile.print("\t");
              myFile.print(gps.location.lng(), 6);
              myFile.print("\t");
              myFile.print(devir1, 2);
              myFile.print("\t");
              myFile.print(devir2, 2);
              myFile.print("\t");
              myFile.print(devir3, 2);
              myFile.print("\t");
              myFile.print(pat3);
              myFile.print("\t");
              myFile.print(pat4);
              myFile.print("\t");
              myFile.print(netyak);
              myFile.print("\t");
              myFile.print(toplam);
              myFile.print("\t");
              myFile.print(pim1);
              myFile.print("\t");
              myFile.print(pim2);
              myFile.print("\t");
              myFile.print(pim3);
              myFile.print("\t");
              myFile.print(deger3);
              myFile.print("\t");
              myFile.print(km);
              myFile.print("\t");
              myFile.print(ayar);
              myFile.println("\t");
              myFile.close();
```

```
    }
    else
    {
      Serial.println("Test.txt DEGER YAZMADA hata !!!");
    }
  }
g_fisInput[0] = pat3;
g_fisInput[1] = pat4;
fuzzy = g_fisOutput[0];
fis_evaluate();
int button2 = Serial2.read();
if (button2 >= 0)  button = button2;
if (button2 == 101)
{
  ayar = ayar + 1;
  if (ayar > dsinir)
  {
    ayar = dsinir;
  }
  if (ayar < 0)
  {
    ayar = 0;
  }
  button = ayar;
  hat = 1;
}
if (button2 == 102)
{
  ayar = ayar - 1;
  if (ayar > dsinir)
  {
    ayar = dsinir;
  }
  if (ayar < 0)
  {
    ayar = 0;
  }
  button = ayar;
  hat = 1;
}
if (button2 == 103)
{
  hafiza = ayar;
  ayar = 0;
  num1 = 0;
  hesaplama = sinir;
  if (hesaplama > sinir)
  {
    hesaplama = sinir;
  }
```

```
  if (hesaplama < 0)
  {
    hesaplama = 0;
  }
  hesaphafiza = hafiza;
  sg90.write(180 - hesaplama);
  hat = 1;
 }
 if (button2 == 104)
 {
  ayar = hafiza;
  button = ayar;
  hafiza = 0;
  hesaphafiza = 0;
  hat = 1;
 }
 if (button == 105)
 {
  hesaplama = sinir;
  sg90.write(180 - hesaplama);
  num1 = -1;
  ayar = 0;
  hat = 1;
  komut = 1;
 }
 if (button == 106)
 {
  hesaplama = 0;
  sg90.write(180 - hesaplama);
  num1 = 31;
  ayar = 0;
  hat = 1;
  komut = 0;
 }
.
.
.
```

EK-2 On-Off Kontrol Sistemi İçin Arduino Yazılımı

```
#include <SD.h>
#include <SPI.h>
#include <TimerOne.h>
#include <TinyGPS++.h>
TinyGPSPlus gps;
#include <Wire.h>
#include "fis_header.h"
#include <Servo.h>
#include "HX711.h"

float deger;
float deger2;
float deger3;
int sifir = 115;
int hassas = 4;
HX711 scale(6, 7);
HX711 scale1(4, 5);
HX711 scale2(9, 8);
float calibration_factor1 = 850;
float calibration_factor23 = 850;
int pim1;
int pim2;
int pim3;
Servo sg90;
long ayar;
float fuzzy;
int num1;
int tamkaldir = 33;
int ayarbuton = 35;
int tamindir = 37;
int yesil = 39;
int sari = 41;
int kirmizi = 43;
int tk;
int ab;
int ti;
float hesaplama = 0.00;
float hesaphafiza = 0.00;
int sinir = 75.00;
int dsinir = 30.00;
int asagidegme = 26;
int yukarikalkma = 50;
byte komut;
float gidisyak;
float donusyak;
float netyak;
float toplam;
byte e, f, g;
```

```
float sayac5 = 0;
float sayac6 = 0;
float toplamgiden;
float toplamdonen;
File myFile;
int pinCS = 53;
char sz[32];
int sayac1 = 0;
int sayac2 = 0;
int sayac3 = 0;
int a;
int b;
int c;
int d;
float devir1;
float devir2;
float devir3;
int km;
int pat3;
int pat4;

void say1()
{
 sayac1++;
 d++;
}

void say2()
{
 sayac2++;
}

void say3()
{
 sayac3++;
}

void timerIsr()
{
 Timer1.detachInterrupt();
 a = (sayac1);
 b = (sayac2);
 c = (sayac3);
 sayac1 = 0;
 sayac2 = 0;
 sayac3 = 0;
 Timer1.attachInterrupt( timerIsr );
}

void setup()
```

```
{
  Serial.begin(9600);
  Serial2.begin(9600);
  sg90.attach(13);
  sg90.write(180 - 0);
  scale.set_scale(calibration_factor1);
  scale.tare();
  scale1.set_scale(calibration_factor23);
  scale1.tare();
  scale2.set_scale(calibration_factor23);
  scale2.tare();
  Wire.begin();
  Timer1.initialize(500000);
  attachInterrupt(0, say1, RISING);
  attachInterrupt(1, say2, RISING);
  attachInterrupt(5, say3, RISING);
  Timer1.attachInterrupt( timerIsr );
  pinMode(pinCS, OUTPUT);
  SD.begin();
  myFile = SD.open("test.txt", FILE_WRITE);
  if (myFile)
  {
myFile.print(F("Tarih_____Saat_____Lat_____Lng_____
_____Hız_____M3_____M4_____P3_____P4_____Anlık___Toplam__Pim1___
_Pim2____Pim3____Çalışma_Mesafe__FzzyDrn"));
    myFile.println("\t");
    myFile.close();
  }
  else
  {
    Serial.println("Test.txt BASLIK acilisinda hata !!!");
  }
  pinMode(tamkaldir, INPUT);
  pinMode(ayarbuton, INPUT);
  pinMode(tamindir, INPUT);
  pinMode(yesil, OUTPUT);
  pinMode(sari, OUTPUT);
  pinMode(kirmizi, OUTPUT);
}

void loop()
{
  Wire.requestFrom(58, 3);
  e = Wire.read();
  f = Wire.read();
  g = Wire.read();
  sayac5 = e;
  sayac6 = f;
  gidisyak = (sayac5 * 3600) / 4700;
  donusyak = (sayac6 * 3600) / 4700;
```

```
netyak = gidisyak - donusyak;
if (netyak < 0) netyak = 0;
int toplam1 = g;
toplam = toplam1 / 100.00;
devir1 = (a  * 3.60 * 3.6) / 14.00;
devir2 = (b  * 4.75 * 3.6) / 20.00;
devir3 = (c  * 4.75 * 3.6) / 20.00;
km = (d / 28.00) * 3.60;
pat3 = ((devir2 - (devir1)) / devir2) * 100;
if (pat3 < 0) pat3 = 0;
pat4 = ((devir3 - (devir1)) / devir3) * 100;
if (pat4 < 0) pat4 = 0;
int ortpat = (pat3 + pat4) / 2;
if (ortpat < 15)
{
  digitalWrite(yesil, HIGH);
  digitalWrite(sari, LOW);
  digitalWrite(kirmizi, LOW);
  fuzzy = 0;
}
if (ortpat >= 15 && ortpat <= 25)
{
  digitalWrite(yesil, LOW);
  digitalWrite(sari, HIGH);
  digitalWrite(kirmizi, LOW);
  fuzzy = 50;
}
if (ortpat > 25)
{
  digitalWrite(yesil, LOW);
  digitalWrite(sari, LOW);
  digitalWrite(kirmizi, HIGH);
}
pim1 = scale.get_units();
pim2 = scale1.get_units();
pim3 = scale2.get_units();
if (Serial.available())
{
  char temp = Serial.read();
  if (temp == 'S' || temp == 's')
  {
    scale.tare();
    scale1.tare();
    scale2.tare();
  }
}
```

.
.
.

EK-3 Yakıt Ölçüm Sistemi İçin Arduino Yazılımı

```
#include <Wire.h>
#include <TimerOne.h>
byte myArray[3];
int sayac1 = 0;
int sayac2 = 0;
int a;
int b;
int c;
int d;
float toplamgiden;
float toplamdonen;
float toplam;
int toplamsend;

void say1()
{
 sayac1++;
 c++;
}

void say2()
{
 sayac2++;
 d++;
}

void timerIsr()
{
 Timer1.detachInterrupt();
 a = (sayac1);
 b = (sayac2);
 sayac1 = 0;
 sayac2 = 0;
 Timer1.attachInterrupt( timerIsr );
}

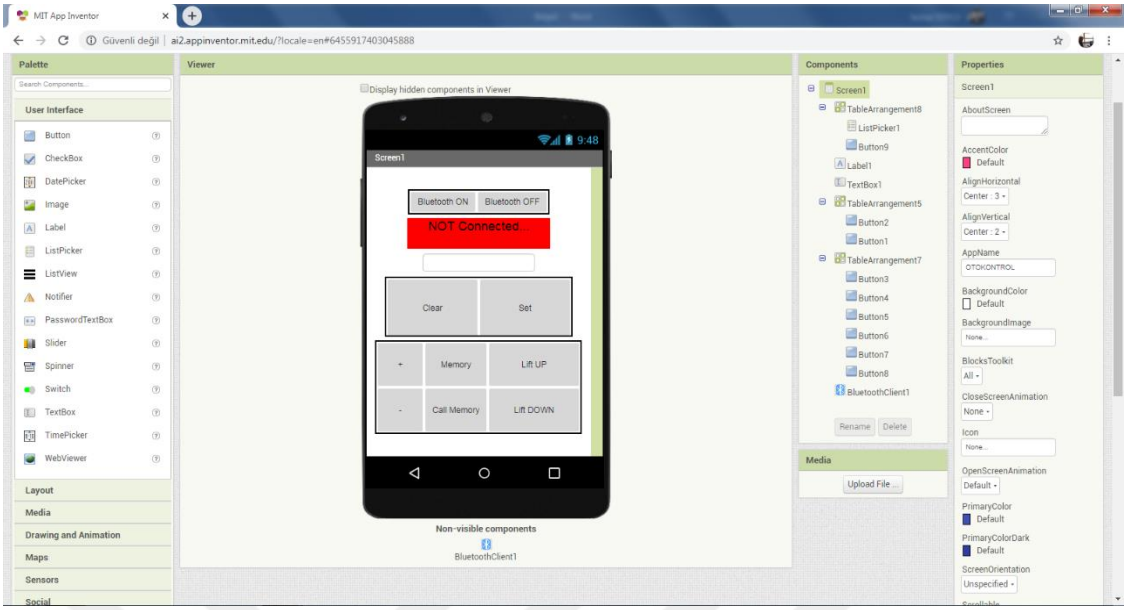
void requestEvent()
{
 myArray[0] = a;
 myArray[1] = b;
 myArray[2] = toplamsend;
 Wire.write(myArray, 3);
}

void setup()
{
 Serial.begin(9600);
 Wire.begin(58);
```

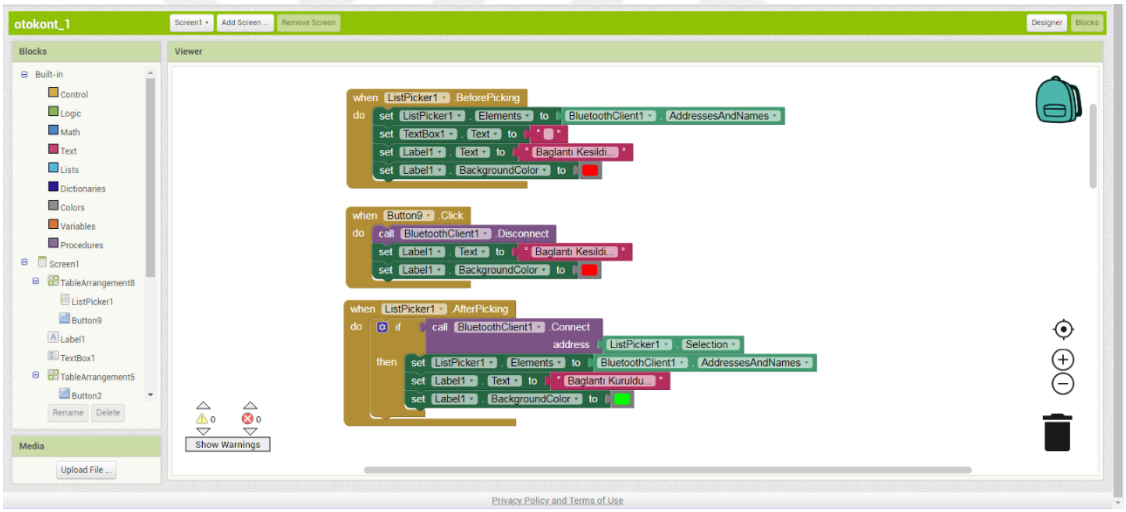
```
  Wire.onRequest(requestEvent);
  Timer1.initialize(1000000);
  attachInterrupt(0, say1, RISING);
  attachInterrupt(1, say2, RISING);
  Timer1.attachInterrupt( timerIsr );
}

void loop()
{
  Serial.print(a);
  Serial.print("\t");
  Serial.print(b);
.
.
.
```

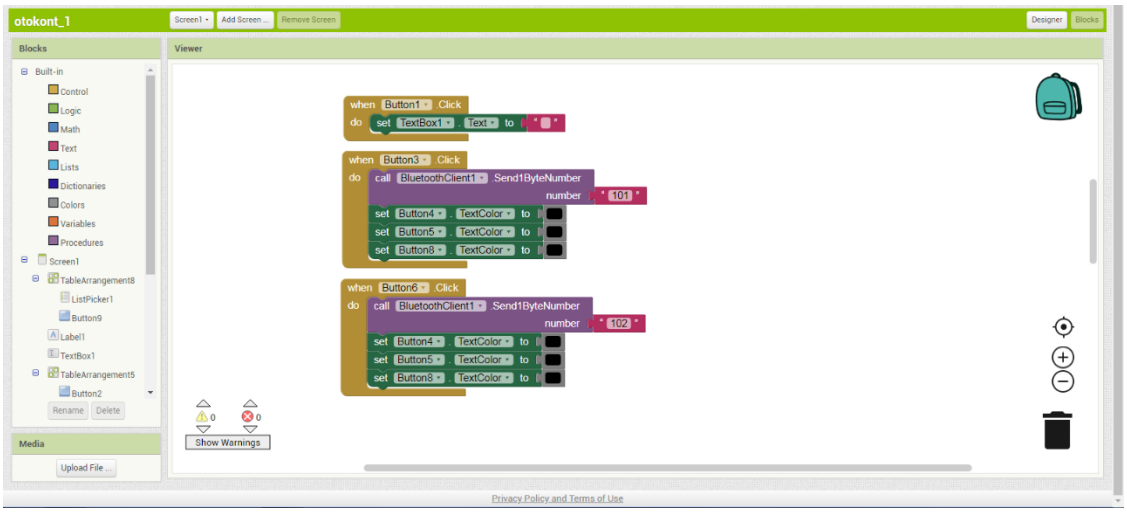
EK-4 Kumanda İçin Android Yazılımı



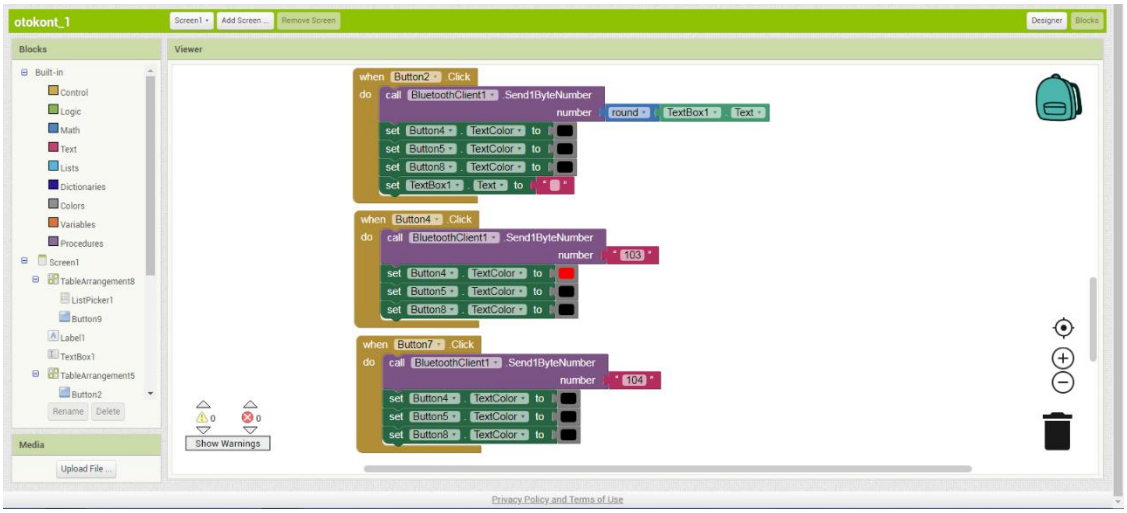
Ek Şekil 1. Kumanda kontrol paneli



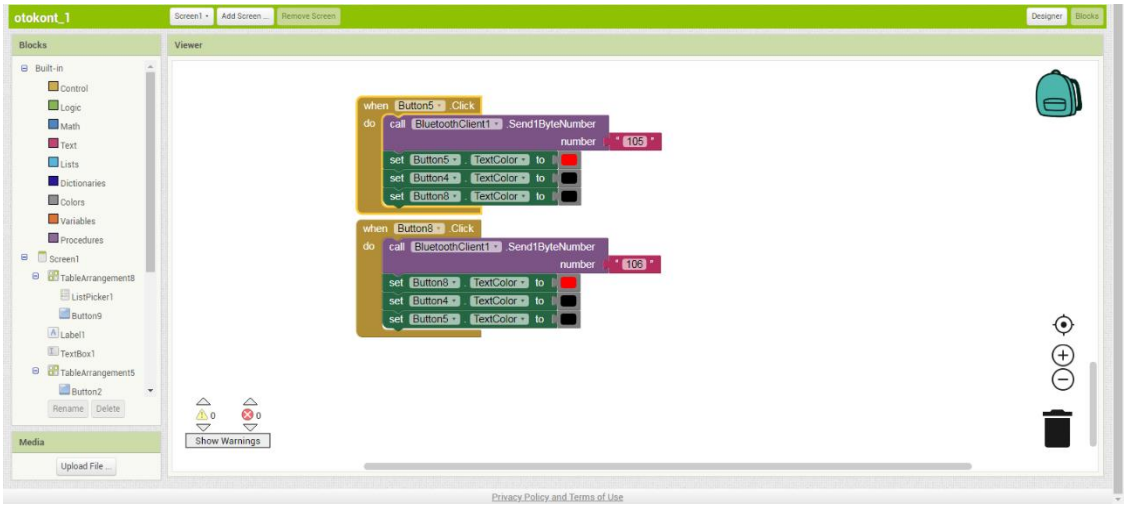
Ek Şekil 2. Kumanda yazılım paneli (1)



Ek Şekil 3. Kumanda yazılım paneli (2)



Ek Şekil 4. Kumanda yazılım paneli (3)



Ek Şekil 5. Kumanda yazılım paneli (4)

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Serhat SOYLU
Uyruğu	**:**	T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Konya, 24.05.1983
Telefon	**:**	+90 332 461 28 90
Faks	**:**	+90 332 461 28 92
e-mail	**:**	serhatsoylu@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	**Meram Anadolu Lisesi, Konya**	**2001**
Üniversite	:	**S.Ü. Elektrik Elektronik Mühendisliği**	**2005**
Yüksek Lisans	:	**S.Ü. Elektrik Elektronik Mühendisliği ABD**	**2013**
Doktora	:	**S.Ü. Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği ABD**	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2005-	**S.Ü. Akören Ali Rıza Ercan Meslek Yüksekokulu Elektronik Teknolojisi Bölümü**	**Öğretim Görevlisi**

UZMANLIK ALANI

Otomatik Kontrol, Bulanık Mantık, Tarımsal Mekanizasyon

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

S. Soylu, Ö. Aydoğdu, Hiyerarşik Bulanık MantıkDenetleyicinin PSO Tabanlı Optimal Tasarımı ve Doğrusal Olmayan Sistem Kontrolü,Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı (TOK2013), Malatya, Türkiye, Bölüm 6, syf. 208-213, 26-28 Eylül 2013.

S. Soylu, K. Çarman, E. Çıtıl, Fuzzy Knowledge-Based Model for Prediction of the Terminal Velocities of the Chickpea and Dry Bean Seeds, Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences, 2020, Vol. 34, No. 1