



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI YÖNLENDİRİCİ SİSTEMLERİNE
SAHİP GNSS ESASLI OTOMATİK
DÜMENLEME SİSTEMLERİNİN ÇALIŞMA
PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ**

Samet BAYRAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği
Anabilim Dalı**

Ağustos-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Samet BAYRAK tarafından hazırlanan “**Farklı Yönlendirici Sistemlerine Sahip GNSS Esaslı Otomatik Dümenleme Sistemlerinin Çalışma Performanslarının Belirlenmesi**” adlı tez çalışması .../.../... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT

.....

Danışman

Doç Dr. Ali Yavuz ŞEFLEK

.....

Üye

Dr.Öğr.Üyesi Barış Samim NESİMİOĞLU

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr.
FBE Müdürü

Bu tez çalışması tarafından nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Samet BAYRAK

Tarih:17.08.2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI YÖNLENDİRİCİ SİSTEMLERİNE SAHİP GNSS ESASLI OTOMATİK DÜMENLEME SİSTEMLERİNİN ÇALIŞMA PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ

Samet BAYRAK

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

Danışman: Doç. Dr. Ali Yavuz ŞEFLEK

2023, 45 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT

Doç. Dr. Ali Yavuz ŞEFLEK

Dr.Öğr. Üyesi Barış Samim NESİMİOĞLU

Bu çalışmada farklı yönlendiricilerle çalışan otomatik dümenleme sistemleri ve manuel yöntem (otomatik dümenleme sistemi olmadan) ile ekim uygulaması gerçekleştirilmiş, yan yana geçişlerdeki sıra arası mesafelerde oluşan sapma miktarları (RMSE) belirlenerek her yöntemin performansları kıyaslanmıştır.

Yapılan veri analizi ile manuel, elektromekanik ve elektrohidrolik yöntemlerin ekim uygulamasında sıra arası mesafelerinin sapma değerleri (RMSE) karşılaştırılmıştır. Veri analizi sonucunda manuel yöntem ile gerçekleştirilen ekim uygulamasındaki sıra arası mesafelerin sapma değerlerinin (RMSE), elektromekanik ve elektrohidrolik yöntemlere kıyasla istatistiksel olarak önemli düzeyde yüksek olduğu belirlenmiştir ($p<0.01$). Elektromekanik ve elektrohidrolik yönlendiriciler ile yapılan karşılaştırmada ise her iki yöntemin kendi aralarındaki farkın istatistiksel olarak önemsiz olduğu tespit edilmiştir. (Elektromekanik: 4.271 ± 0.251 cm, Elektrohidrolik: 4.172 ± 0.261 cm, Manuel: 9.049 ± 0.462 cm). Bununla birlikte çalışma alanının üç farklı bölümünde (tarla başı, tarla ortası, tarla sonu) konumlar arası sapmanın istatistiksel açıdan önemsiz olduğu tespit edilmiştir.

Sonuçlar, otomatik dümenleme sistemlerinin ekim uygulamasında geleneksel yöntemlere göre sıra arası mesafelerdeki hata değeri bakımından göz ardı edilemeyecek düzeyde etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgularla birlikte, tarımsal üretimde verim kaybının azaltılması, etkin girdi kullanımı ve üretim kalitesinin artırılabilmesi için, otomatik dümenleme sistemlerinin özellikle yerli üretim traktörlerde standart donanım olarak kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrohidrolik, Elektromekanik, GNSS, RTK, Otomatik Dümenleme

ABSTRACT

MS THESIS

DETERMINING THE WORKING PERFORMANCES OF GNSS-BASED AUTOMATIC STEERING SYSTEMS WITH DIFFERENT ROUTER SYSTEMS

Samet BAYRAK

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELCUK UNIVERSITY
DEPARTMENT OF AGRICULTURAL MACHINERY AND TECHNOLOGIES
ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ali Yavuz ŞEFLEK

2023, 45 Pages

Jury

Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT

Assoc. Prof. Dr. Ali Yavuz ŞEFLEK

Assist. Prof. Dr. Barış Samim NESİMİOĞLU

In this study, sowing was carried out with automatic steering systems working with different routers and manual method (without automatic steering system).

With the data analysis, the deviation values of the row spacing (RMSE) in the sowing application of manual, electromechanical and electrohydraulic methods were compared. As a result of the data analysis, it was determined that the deviation values of the row spacing (RMSE) in the manual sowing application were statistically significantly higher than the electromechanical and electrohydraulic methods ($p < 0.01$). In comparison with electromechanical and electrohydraulic diverters, the difference between both methods was found to be statistically insignificant. (Electromechanical: 4.271 ± 0.251 cm, Electro-hydraulic: 4.172 ± 0.261 cm, Manual: 9.049 ± 0.462 cm). However, it was determined that the deviation between positions in three different parts of the study area (head of field, middle of field, end of field) was statistically insignificant.

The results reveal that automatic steering systems are more effective than traditional methods in sowing application in terms of error value in row spacing. With these findings, it was concluded that automatic steering systems should be used as standard equipment, especially in domestic production tractors, in order to reduce yield loss in agricultural production, to increase efficient input usage and production quality.

Keywords: Electrohydraulic, Electromechanical, GNSS, RTK, Automatic Steering

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında, çalışmanın tüm aşamalarında bilgi, fikir ve önerileriyle bana yol gösteren kıymetli hocam sayın Doç. Dr. Ali Yavuz ŞEFLEK'e, sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Verilerin analizi ve değerlendirilmesi konusunda yardımlarıyla çalışmaya destek veren sayın Prof. Dr. İsmail Keskin'e çalışma için gerekli materyalleri sağlayan Metin Kadir TOROSOĞLU ve TOROSOĞLU ailesine, çalışmanın ilerlemesi için desteklerini esirgemeyen ATESPAR Ltd. Şti. ailesine teşekkür ederim.

Çalışmanın değerlendirilmesi ve geliştirilmesinde önemli katkıları bulunan değerli jüri üyeleri Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT ve Dr. Öğr. Üyesi Barış Samim NESİMİOĞLU' na teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak çalışmanın tüm süreçlerinde maddi manevi destekleriyle yanımda olan sevgili aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Samet BAYRAK
KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Hassas Tarım Teknolojileri	1
1.2. GNSS Sistemleri	2
1.2.1. GNSS Sistemlerinde Hata Azaltma Yöntemleri	4
1.2.1.1. Uydu Bazlı Performans Artırımı	4
1.2.1.2. Gerçek Zamanlı Kinematik RTK	6
1.2.1.2.1. RTK Doğruluğunu Etkileyen Faktörler	7
1.3. Otomatik Dümenleme Sistemleri	7
1.3.1. Elektrohidrolik Yönlendiriciler	9
1.3.2. Elektromekanik Yönlendiriciler	12
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	13
2.1. Yurtdışında Yapılan Çalışmalar	13
2.2. Yurtiçinde Yapılan Çalışmalar	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
3.1. Materyal	20
3.1.1. Sıralar arası mesafe.....	23
3.1.2. Otomatik dümenleme yöntemleri	25
3.2. Yöntem.....	26
3.2.1. Verilerin değerlendirilmesi.....	26
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	27
4.1. Ekim İşleminde Sıra Arası Düzgünlüğü	27
4.2. Veri Analizi	32
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	33
KAYNAKLAR	35
EKLER	37
ÖZGEÇMİŞ	45

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler Kısaltmalar

m₁: 35 metre

m₂: 40 metre

m₃: 45 metre

m₄: 60 metre

m₅: 65 metre

m₆: 70 metre

m₇: 85 metre

m₈: 90 metre

m₉: 95 metre

T_B: Tarla Başı

T_O: Tarla Ortası

T_S: Tarla Sonu

Y₁: Elektromekanik Yönlendiriciye Sahip Sistem

Y₂: Elektrohidrolik Yönlendiriciye Sahip Sistem

Y₃: Manuel Yöntem (Otomatik Dümenleme Sistemi Olmadan)

AB: Avrupa Birliği

ABD: Amerika Birleşik Devletleri

BG: Beygir Gücü

COMPASS: Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (Çin)

CORS: (Continuously Operating Reference Stations) Sürekli Çalışan Referans İstasyonları

CWAAS: (Canada Wide Area Augmentation System) Kanada Geniş Alan Hata Azaltma Sistemi

DGNSS: (Differential Global Navigation Satellite System) Diferansiyel Global Navigasyon Sistemi

EGNOS: (European Geostationary Navigation Overlay Service) Avrupa Yer Sabit Navigasyon Kapsama Sistemi

GAGAN: (GPS-Aided GEO Augmented Navigation) GPS Destekli GEO Artırılmış Navigasyon Sistemi

GBAS: (Ground Based Augmentation System) Yer Bazlı Hata Azaltma Sistemi

GLONASS: (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) Global Navigasyon Sistemi

GNSS: (Global Navigation Satellite System) Global Navigasyon Sistemi

GPS: (Global Positioning System) Global Pozisyon Sistemi

GRAS: (Ground Based Regional Augmentation System) Yer Bazlı Bölgesel Hata Azaltma Sistemi

GSM: (Global System for Mobile Communications) Küresel Mobil Haberleşme Sistemi

HDOP: (Horizontal Dilution of Precision) Yatay Hassasiyet Kaybı

IRNSS: (Indian Regional Navigation Satellite System) Hindistan Bölgesel Navigasyon Sistemi

MSAS: (Multi-functional Satellite Augmentation System) Çok İşlevli Uydu Hata Azaltma Sistemi

NDGPS: (Nationwide Differential Global Positioning System) Ülke çapında Diferansiyel Küresel Konumlandırma Sistemi

RMSE: (Root Mean Square Error) Kök Ortalama Kare Hatası

RTK: (Real Time Kinematic) Gerçek Zamanlı Kinematik

RTX: (Real Time Extended) Gerçek Zamanlı Uydu Düzeltme Sinyali
SAM: Sıra Arası Mesafe
SBAS: (Satellite Based Augmentation System) Uydu Bazlı Hata Azaltma Sistemi
SDCM: (System for Differential Corrections and Monitoring) Diferansiyel Düzeltme ve İzleme Sistemi
SNAS: (Satellite Navigation Augmentation System) Uydu Navigasyon Hata Azaltma Sistemi (Çin)
TYH: Tahmini Yatay Hata
VDOP: (Vertical Dilution of Precision) Dikey Hassasiyet Kaybı
WAAS: (Wide Area Augmentation System) Geniş Alan Hata Azaltma Sistemi
QZSS: (Quasi Zenith Satellite System) Quasi Zenith Uydu Sistemi



1. GİRİŞ

Gelişmiş ülkelerde bilişim teknolojilerinin ilerlemesiyle tarım, insana, bitkiye, hayvana ve çevreye duyarlı olacak şekilde üretimde kalite ve verimlilik artışına olanak sağlayan ciddi bir evrim geçirmekte olup ülkemizde ise uzun yıllardır bilişim sektörünün ilgi alanı dışında kalmıştır (Tekin ve Sındır, 2006).

"Hassas Tarım" tarımsal üretimde insan gücünden hayvan gücüne ve daha sonra da traktör gücüne geçiş sürecinin devamı olarak nitelendirilmektedir ve bilişim çağının gelişen teknolojilerinin ekonomi ve çevre ile bütünleşik üretim faaliyetlerinde kullanılmasını ifade etmektedir (Tekin ve Değirmencioğlu, 2010).

Çevre kirliliği, küresel ısınma, iklim değişikliği, tatlı su kıtlığı ve sürdürülebilirlik kavramı gibi sorunlar, tarımsal üretimi son dönemlerde olumsuz etkilemektedir ve bu sorunlar, doğal kaynakların (toprak, su, vb.) korunması ve gelecek nesillere aktarılması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır, dolayısıyla yeni tarımsal üretim sistemleri kullanılması ihtiyacı göstermektedir (Keskin ve Görücü Keskin, 2012).

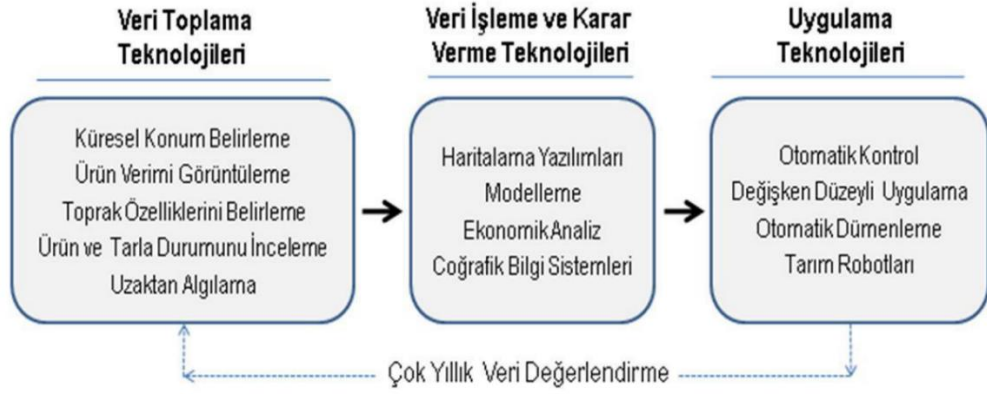
Sonuç olarak, sürdürülebilir tarım ve hassas tarım gibi yeni yöntem ve teknolojiler, tarımsal üretimde karşılaşılan bu sorunlarla başa çıkmak amacıyla geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam etmektedir (Keskin ve Görücü Keskin, 2012).

1.1. Hassas Tarım Teknolojileri

Çiftçilerin bilgi teknolojilerini kullanarak arazilerindeki değişkenleri belirlemesi ve bu değişkenlere göre arazilerini işletmeleri, hassas tarım olarak adlandırılmaktadır. Hassas tarım, ürün planlamadan toprak işlemeye, ekimden kimyasal uygulamalara, hasat ve hasat sonrası ürün kontrolüne kadar birçok işlemi içermektedir (Özgüven, 2018).

Hassas tarım (precision agriculture, precision farming), akıllı tarım (smart farming), değişken oranlı uygulama (variable rate application) gibi farklı isimlerle anılsa da günümüzde akıllı tarım (smart farming) terimi daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Özgüven, 2018).

Hassas tarım, üç ana başlık altında incelenebilecek teknolojileri içermektedir: Veri toplama teknolojileri, veri işleme ve karar verme teknolojileri, ve uygulama teknolojileri (Keskin ve Görücü Keskin, 2012).



Şekil 1.1. Hassas tarım teknolojilerinin sınıflandırılması (Keskin ve Görücü Keskin, 2012)

Hassas tarımın beş ana hedefi vardır. Bunlar;

- Artan üretim verimliliği
- İyileştirilmiş ürün kalitesi
- Daha etkin girdi kullanımı
- Enerji tasarrufu
- Toprak ve yeraltı sularının korunması (Özgüven, 2018)

Hassas tarım teknolojilerini etkin bir şekilde kullanabilmek ve verimliliği arttırmanın yanı sıra verim kaybına yol açmayacak şekilde uygulayabilmek için hassas tarım teknolojilerinden birisi olan traktör otomatik dümenleme sistemleri kullanılmalıdır. Bunun için kullanılan en yaygın sistem GNSS (küresel uydu navigasyon sistemleri) esaslı traktör otomatik dümenleme sistemleridir.

1.2. GNSS Sistemleri

Küresel uydu navigasyon sistemi, uzaya fırlatılan ilk yapay uydu olan Sputnik-1'in 4 Ekim 1957'de fırlatılmasının hemen ardından gelişmeye başlamıştır. Bu gelişme ile birlikte ABD silahlı kuvvetleri tarafından Transit-1 uydusu 1959 yılında uzaya fırlatılmıştır. ABD'ne ait Transit ve Sovyetler birliğine ait Sputnik uyduları ile gözlemlerin yapılmaya başlanması ile yayınlanan sinyallerin, uydu konumlarının ve doğru zaman bilgilerinin navigasyon amacı ile kullanılabileceği düşüncesi ortaya çıkmıştır. Böylece GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) ve GPS (Global Position System) sistemlerinin temeli oluşmuştur (Oktal ve Yaman, 2019).

Elektronik ve uzay çalışmalarındaki gelişmeler 1980'li yıllara gelindiğinde ABD savunma bakanlığı tarafından geliştirilen GPS sistemi ile yaygın hale gelmiştir. Bu sayede alıcısı bulunan herhangi bir kullanıcının;

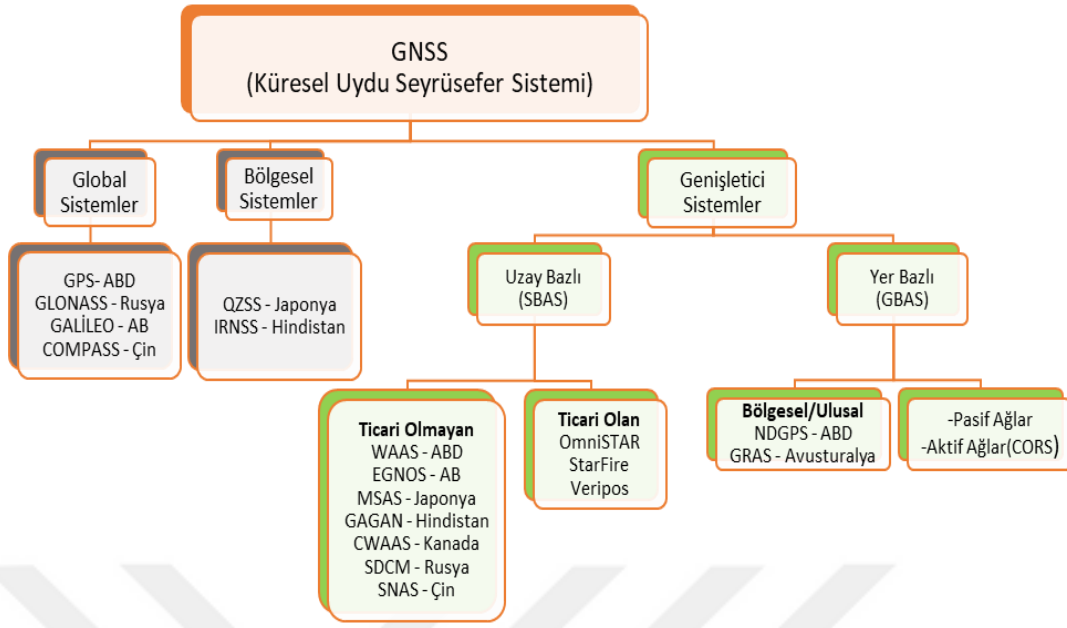
- Her türlü hava koşullarında
- Herhangi bir yer ve zamanda
- Ortak bir koordinat sisteminde
- Yüksek duyarlılıkta
- Ekonomik olarak, anında sürekli olarak hızı, konumu ve zamanı belirleyebilmesine olanak sağlamıştır.

1993 yılına gelindiğinde Rusya'nın GLONASS sistemi 12 uydu ile askeri hizmetler için ilk operasyonel olma özelliğine 1995 yılında ise tam operasyonel olma özelliğine ulaşmıştır. İlerleyen yıllarda ekonomik sorunlar sistemin tam operasyonel kullanma yeteneğini kaybetmesine neden olmuştur. 2000 yılından itibaren sistemin iyileştirilmesi için yatırımlar devam etmiş ve 2011 yılında tekrar tam operasyonel olma kabiliyetini kazanmıştır. 2016 yılında uydu gönderme işlemleri tamamlanmış olup, yörüngede 24 uydu ile askeri ve sivil kullanıcılara tam kapasite hizmet sağlamaktadır (Oktal ve Yaman, 2019).

GPS sisteminin yaygınlaşmasıyla Avrupa'da GNSS sistemlerine olan bağımlılık önemli bir konuma gelmiştir. AB, Avrupa'da ABD'nin GPS sistemine olan bağımlılığı önlemek amacıyla Galileo uydu sistemi geliştirmiştir. Galileo sistemi ilk aşamada Avrupa yer sabit navigasyon kapsama sistemi (EGNOS) nin geliştirilmesi ile başlamıştır. Bu sistem, GPS ve GLONASS uydularının gerçek zamanlı navigasyon doğruluklarını sağlamak için diferansiyel düzeltmeler yayınlamakta ve özellikle havacılık sektöründe aktif olarak kullanılmaktadır.

Uydu sistemlerinin gelişmesi ile uydu sistemlerindeki bu yarışa Çin Beidou/Compass, Japonya QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) ve Hindistan IRNSS/GAGAN (Indian Regional Navigational Satellite System/GPS Aided Geo Augmented Navigation System) ile katılmıştır (Kahveci ve Yıldız, 2018).

Şekil 1.2'de GNSS sisteminin çeşitli örnekleri gösterilmektedir.



Şekil 1.2. Küresel uydu navigasyon sistemi (Öcalan ve Soycan, 2011)

1.2.1. GNSS Sistemlerinde Hata Azaltma Yöntemleri

Uzun yıllardır süren çalışmalar neticesinde GNSS sistemleri gerek sağladıkları performans ile kullanıcı gereksinimlerini karşılamaları gerekse alıcılarının uygun maliyet boyut ve esneklik gibi özellikleri ile kullanıcıları sağladıkları navigasyon çözümleri açısından daha etkin hale gelmiştir.

GPS ve GLONASS'ın doğasında bulunan bazı kısıtlamalar, yani uydu saati hataları, atmosferik hatalar, alıcı kaynaklı hatalar gibi unsurlar, bu sistemlerin "augmentation" adı verilen ek sistemlerle desteklenmesini gerektirmektedir.

Burada ifade edilen ilave sistemler günümüzde üç ayrı grupta incelenebilir.

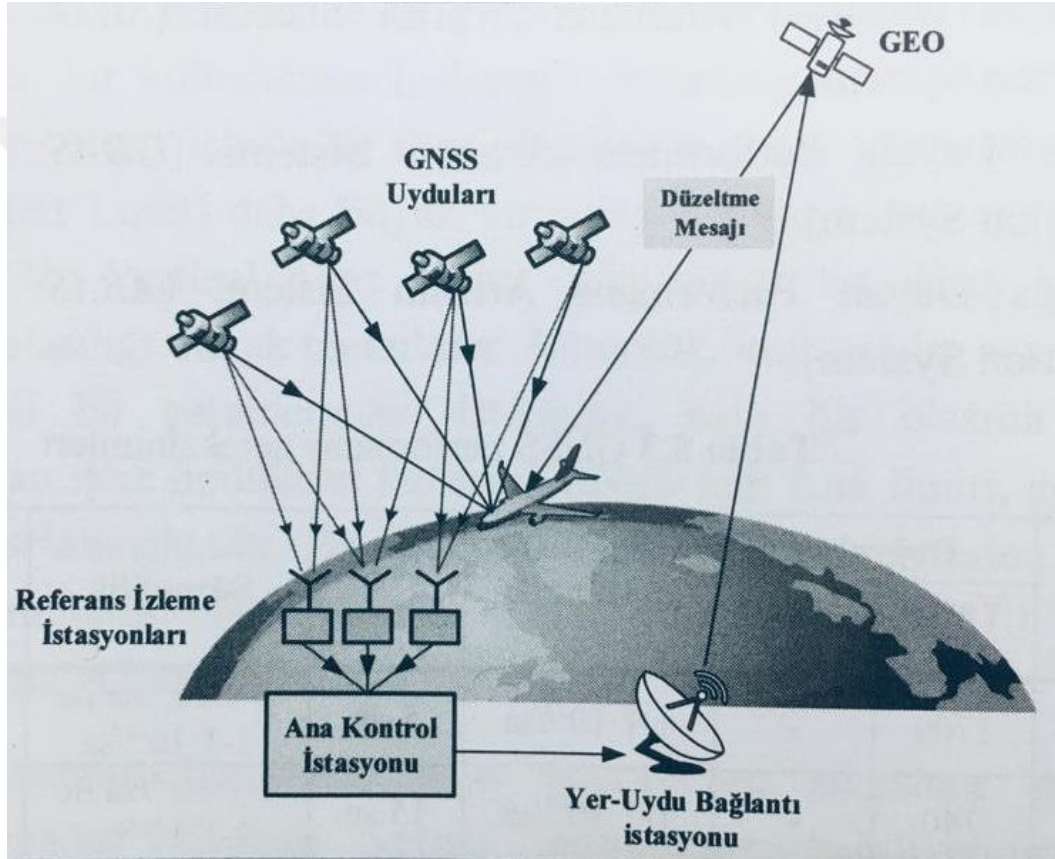
- Uydu bazlı sistemler (SBAS; Satellite Augmentation Systems)
- Yer bazlı sistemler (GBAS; Ground Based Augmentation Systems)
- Yer bazlı bölgesel sistemler (GRAS; Ground based Regional Augmentation Systems) (Kahveci ve Yıldız, 2018)

1.2.1.1. Uydu Bazlı Performans Artırımı

Uydu bazlı performans artırım sistemleri SBAS, GNSS konum belirleme sistemlerinin performanslarını artırmak üzere tasarlanmıştır.

Konumları çok iyi bilinen yer izleme istasyonları uyduların gönderdiği sinyalleri sürekli takip etmekte, her bir istasyonda bulunan GNSS alıcıları ile yapılan ölçüm

sonuçları olması gereken gerçek değerler ile karşılaştırılarak saptanan konum ve zaman hataları ana kontrol istasyonuna gönderilmektedir. Yer izleme istasyonlarından toplanan veriler bu merkezde birleştirilerek bir konum düzeltme ve uyarı mesajı oluşturulmakta ve yer vericileri ile navigasyon uydularından daha yüksekte olan Geostationary uydularına gönderilmektedir. Bu uydular ise sözü geçen düzeltme mesajını GNSS alıcılara göndererek kullanıcının doğrudan GNSS uydularından aldığı konum ve zaman bilgisinin düzeltmesini, bu sayede performans değerlerini iyileştirilmesi sağlanmaktadır (Oktal ve Yaman, 2019). Şekil 1.3’de uydu bazlı performans artırım sistemlerinin genel çalışma prensibi gösterilmektedir.



Şekil 1.3. SBAS genel çalışma prensibi (Oktal ve Yaman, 2019)

Sonuç olarak, kapsama alanını genişletme ve gerçek zamanlı doğruluk artırma amacıyla WAAS, EGNOS, MSAS ve GAGAN gibi sistemler, uydu bazlı sistemlere (GPS, GLONASS, Beidou/Compass, QZSS, IRNSS vb.) ek olarak ayrı bir sınıflandırma altında toplanarak "SBAS" yani "Satellite-Based Augmentation System" adını alır. Bu şekilde, uydularla konum belirleme sistemleri ve SBAS ile birlikte "GNSS" yani "Global Navigation Satellite System" olarak adlandırılır (Kahveci ve Yıldız, 2018).

1.2.1.2. Gerçek Zamanlı Kinematik RTK

1990'lı yılların ortalarında geliştirilmiş, kod ölçümü yerine taşıyıcı faz ölçümünün kullanıldığı yere dayalı bir performans artırım tekniğidir. Alıcı konumu, kod fazı ölçümüne dayalı olarak hesaplandığında hata payı 1m civarında iken, taşıyıcı faz ölçümünde konum hatası santimetre düzeylerine kadar düşmektedir (Oktal ve Yaman, 2019). Konum hatasının santimetre düzeyinde olması, tarım makinelerinin kontrolü ve yüksek navigasyon hassasiyeti gerektiren uygulamaların gelişmesine olanak sağlamıştır.

Klasik RTK; RTK tekniği, hareketli alıcıya göre konumu çok iyi bilinen bir referans istasyonundan yayınlanan taşıyıcı faz ölçümleri ve hata düzeltme bilgilerinin kullanılması ile alıcının konumunun hassas bir şekilde hesaplanması mantığına dayanır. Radyo sinyali ile yayın yapan bir RTK yer referans istasyonu, 10-20 km'lik bir menzile dâhilinde hizmet verir (Oktal ve Yaman, 2019). Sonuç olarak, eğer ülke çapında bir ağ kurulmak istenseydi, oldukça maliyetli ve birçok referans istasyonu gerektiren bir çözüm elde edilirdi. Bu nedenle, daha farklı ve ekonomik çözümler arayışı sürdürülmüş ve 2003 yılından itibaren Ağ-RTK tekniği tercih edilmeye başlanmıştır.

Ağ-RTK, klasik RTK tekniğinin kısıtlamalarını ortadan kaldırmak ve daha güvenilir ve doğru sonuçlar elde etmek amacıyla çok sayıda referans istasyonu kurulmasını öngören bir düşünceden doğmuştur. Bu sayede gezen alıcının etrafındaki referans istasyonlarından gelen verilerle yörünge hatası, atmosferik etkiler gibi hataların modellenmesi mümkün hale gelmiştir. Böylece, tek referans istasyonundan çoklu referans istasyonuna geçiş yapılmış ve tek referans istasyonu kavramı yerini çoklu referans istasyonu kavramına bırakmıştır. Bu yöntemin bölgesel ya da ülke çapında yaygınlaşması, Ağ-RTK kavramının hayatımıza girmesine neden olmuştur. Ağ-RTK tekniğinde, tüm referans istasyonlarından alınan gözlemlere ait düzeltmeler hesaplama merkezinde hesaplanır ve bu ağ düzeltmeleri genellikle internet üzerinden kullanıcılara yayınlanır (Kahveci, 2017).

Sonuç olarak, Ağ-RTK, klasik RTK tekniğine kıyasla daha uzun baz uzaklıklarında (50-100 km) faz gözlemlerine dayalı olarak santimetre düzeyinde doğrulukla ve gerçek zamanlı konum belirleme sağlayan bir yöntemdir. Ağ-RTK tekniği sayesinde, ölçümlerin yatırım maliyetinde önemli tasarruflar elde edilmektedir. Örneğin; 50x50 km'lik bir alanda klasik RTK tekniğinin kullanılması durumunda gerekli olan referans istasyonu sayısı 5-8 adet iken, Ağ-RTK tekniğinde ise gerekli olan referans istasyonu sayısı 1-2 adettir (Kahveci, 2017).

1.2.1.2.1. RTK Doğruluğunu Etkileyen Faktörler

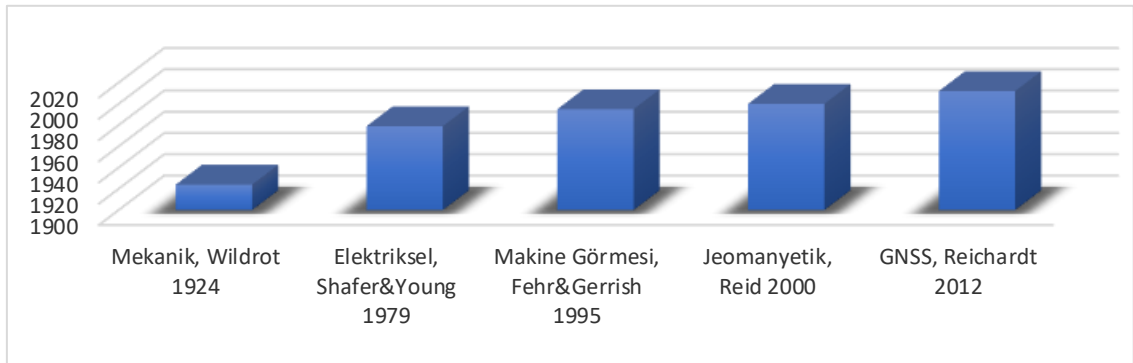
GNSS doğruluğunu etkileyen faktörler RTK sistemi için de geçerlidir. Bunlar;

- Uydu Efemeris Hataları
- Uydu ve Alıcı Saati Hataları
- Atmosferik Etki
- Sinyal Yansıma
- Anten Faz Merkezi Hataları
- Taşıyıcı Faz Belirsizlikleri (Ambiguity) ve faz kesiklikleri (Cycle Slips)
- Seçimli Doğruluk Erişimi (Kahveci, 2017)

Bu hata kaynaklarından gerçek zamanlı kinematik RTK için en önemli faktör atmosferik etkilerdir. Atmosferdeki değişimler RTK doğruluğunu ve sürekliliğinin olumsuz etkilediğinden hem elde edilecek sonuçların doğruluğu bozulmakta hem de referans istasyonla gezen alıcı arasındaki veri iletişiminde sorunlara yol açabilmektedir (Kahveci, 2017).

1.3. Otomatik Dümenleme Sistemleri

Traktör otomatik dümenleme sistemleri ilk olarak mekanik bir eklenti şeklinde geliştirilmiştir (Wildrodt, 1924). Teknolojinin gelişmesi ve tarımda sensörlerin kullanımının yaygınlaşması ile elektrik esaslı, jeomanyetik esaslı sistemler geliştirilmiş, tarımda uydu sinyalleri ile konum belirleme sistemlerinin kullanılması ile son olarak GNSS esaslı sistemler geliştirilmiştir. Şekil 1.4’de otomatik dümenleme sistemlerin tarihsel gelişimi gösterilmektedir.



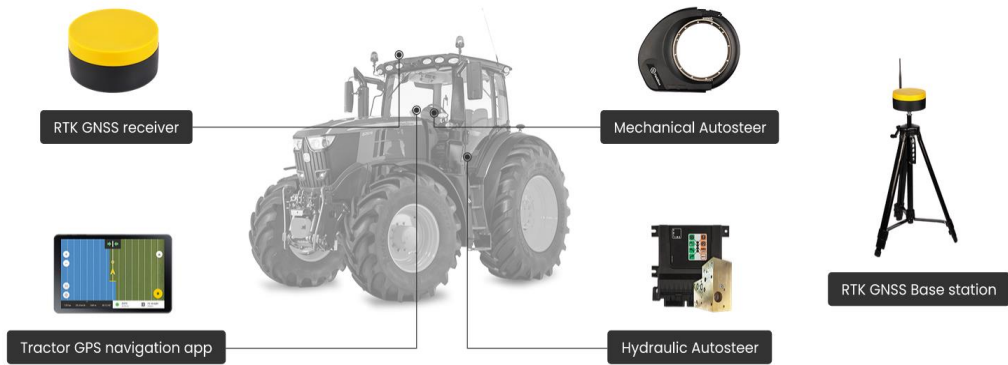
Şekil 1.4. Traktör otomatik dümenleme sistemlerinin gelişimi(Topçueri, 2019)

Otomatik dümenleme sistemleri ile iki referans noktası arasında bir doğru çizgi oluşturulduktan sonra kullanılan ekipmanın iş genişliğinde, düz, kavisli, daire gibi yana geçişler elde edilebilir. Şekil 1.5’ de otomatik dümenleme sistemleri ile oluşturulabilecek çalışma desenleri gösterilmektedir.



Şekil 1.5. Traktör otomatik dümenleme sistemleri ile oluşturulabilecek çalışma desenleri (Anonim, 2023a)

GNSS esaslı otomatik dümenleme sistemleri tarımsal faaliyetlerde etkin girdi kullanımını amaçlayarak traktör veya kendi yürür tarım makinelerinin, iş genişliği çalışma deseni gibi parametreleri belirleyerek A-B hattında hareket etmesini sağlamaktadır. GNSS esaslı otomatik dümenleme sistemleri temel olarak, GNSS alıcısı, direksiyona bağlı elektromekanik veya elektrohidrolik yönlendiriciler, elektronik kontrol ünitesi ve kullanıcı arayüzünden oluşmaktadır. Şekil 1.6’ da GNSS esaslı bir otomatik dümenleme sisteminin bileşenleri gösterilmektedir.



Şekil 1.6. GNSS Esaslı bir otomatik dümenleme sisteminin bileşenleri (Anonim, 2023b)

Otomatik dümenleme sistemlerinde direksiyon kontrolü, geleneksel yöntemlerde olduğu gibi operatör kontrolünün yerine sistem tarafından sağlanır. Direksiyonun kontrolü, daha önceden oluşturulmuş parametrelere bağlı olarak GNSS alıcısından gönderilen konum bilgilerinin elektronik kontrol ünitesi tarafından işlenip, elektromekanik veya elektrohidrolik yönlendirici sistemlere gönderilmesi ile sağlanır. Otomatik dümenleme sistemlerinin geleneksel yöntemlere göre avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- Kontrol ünitesi ve GNSS alıcısı kabiliyetine bağlı olarak çalışma sırasında rotadan sapma ± 2.5 cm aralığında gerçekleşir.
- Yüksek doğruluğa sahip GNSS alıcısı düzeltmesi ile konum doğruluğunun etkin bir şekilde kullanılması sağlanır. Bu sayede sıra sayısı ve sıra arası hatalar minimum seviyeye düşürülür.
- Çalışma hattını riske atmadan yüksek hızlarda çalışmaya imkân verir.
- Traktör operatörünün mental yorgunluğu ve stres koşulları minimum seviyeye indirilmesi sağlanır.
- Yüksek hızlarda veya gün ışığının olmadığı durumlarda çalışmaya imkân verir.

1.3.1. Elektrohidrolik Yönlendiriciler

Traktör direksiyon sisteminin bir parçası olan hidrolik silindir, elektrohidrolik bir valf tarafından kontrol edilir. Elektrohidrolik yönlendiriciler kontrol ünitesinin komutları ile çalışırlar. Şekil 1.7' de GNSS esaslı otomatik dümenleme sistemine ait elektrohidrolik yönlendirici valf gösterilmektedir.



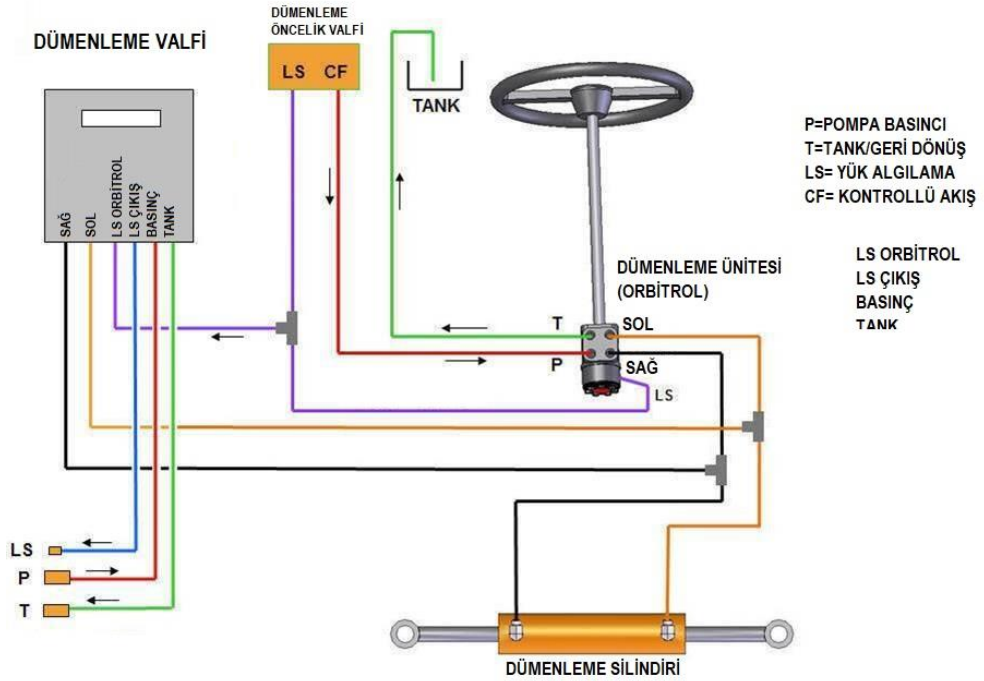
Şekil 1.7. GNSS Esaslı bir otomatik dümenleme sistemine ait elektrohidrolik yönlendirici valf
(Anonim, 2023c)

Elektrohidrolik yönlendiriciye sahip otomatik dümenleme sistemlerinde, geri besleme sinyali ve komutların sağlanmasının yapılması amacı ile direksiyon sistemine açı sensörü bağlanması gerekmektedir. Elektronik kontrol ünitesinden gönderilen her yönlendirme sinyali elektrohidrolik yönlendirici valf ile hidrolik silindire uygulanır, uygulanan açısal fark açı sensörü tarafından tekrar elektronik kontrol ünitesine gönderilir ve sistemin sağlanması yapılarak komutların denetlenmesi sağlanır. Şekil 1.8’de GNSS esaslı bir otomatik dümenleme sistemine ait tekerlek açısı sensörü gösterilmektedir.



Şekil 1.8. GNSS esaslı bir otomatik dümenleme sistemine ait tekerlek açısı sensörü (Anonim, 2023d)

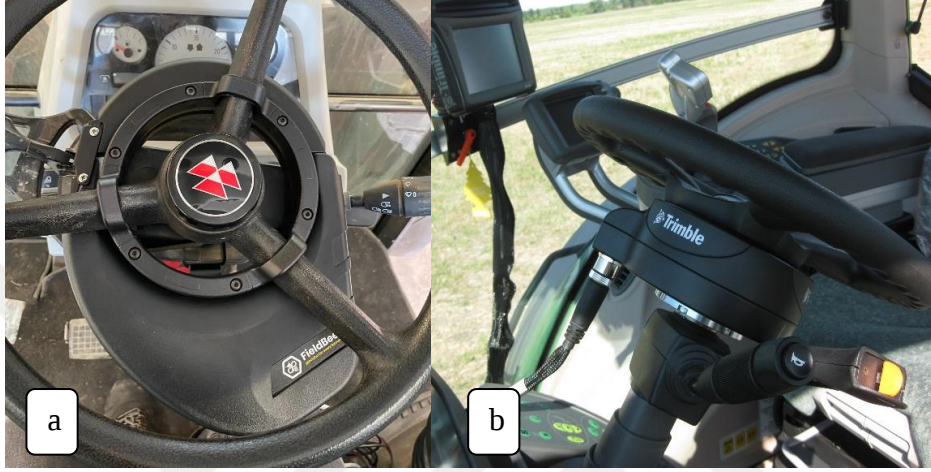
Tekerlek açısını kontrol ederek dümenlemeyi gerçekleştiren hidrolik silindirin hareketi bir elektrohidrolik valf tarafından kontrol edilmektedir. Şekil 1.9'da elektrohidrolik dümenleme sisteminin şematik şekli gösterilmektedir.



Şekil 1.9. Elektrohidrolik dümenleme sisteminin şematik görünümü (Anonim, 2023e)

1.3.2. Elektromekanik Yönlendiriciler

Elektromekanik yönlendiriciye sahip otomatik dümenleme sistemleri, elektrohidrolik yönlendirici sistemlerinin aksine aracın direksiyon sistemine doğrudan bir eleman eklenmesini gerektirmezler. Elektromekanik yönlendiriciye sahip otomatik dümenleme sistemlerinde aracın direksiyon simidine veya direksiyon simidi miline bir elektromekanik yönlendirici eklenir.



Şekil 1.10. Montaj tiplerine göre elektromekanik yönlendirici sistemler; a) Direksiyon simidine bağlanan sistem (Anonim, 2023f). b) Direksiyon miline bağlanan sistem (Anonim, 2023g).

Elektromekanik yönlendirici sistemler temel olarak sisteme bağlı bir doğru akım elektrik motorunun, aracın direksiyon simidini veya direksiyon milini istenilen direksiyon açısına karşılık gelecek turda çevirmesi prensibine dayanır.

Elektromekanik yönlendirici doğru akım elektrik motorların farklı tipleri kullanılmaktadır. Bazı sistemler aracın direksiyon simidi sökölmeden, direksiyon simidi üzerine eklenebilirken bazıları ise direksiyon simidinin sökölerek dahili bir elektrik motoruna sahip direksiyon simidinin takılmasını gerektirebilir.

Bu sistemlerde elektrohidrolik yönlendirici sistemlerde olduğu gibi direksiyon açısı sensörü her zaman zorunlu bir parça değildir. Bazı elektromekanik yönlendirici sistemlerin direksiyon motorunda dahili bir tur sayıcının bulunması ile geri bildirim sinyali sağlanırken, bazılarında ise açısı sensörünün haricen kullanılması gerekmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Yurtdışında Yapılan Çalışmalar

Nagasaka ve ark. (2009), GPS tabanlı otomatik yönlendirilen bir çeltik dikim makinesi tasarlamışlardır. Bu özel makine, otomatik yönlendirme yeteneği kazanması için hidrostatik bir transmisyonu sahip şekilde özelleştirilmiştir. Araştırma kapsamında, 0.02 m hassasiyetle konum belirleyen bir GPS alıcı sistemi kullanılmıştır. Alınan konum verileri, bir elektronik kontrol ünitesi ve özel bir yazılım kullanılarak analiz edilmiş ve dümenleme elemanlarına gerekli düzeltme komutları iletilmiştir. Dümenleme için direksiyon dişlilerine monte edilmiş bir servo motor tercih edilmiştir. Yapılan denemeler sonucunda, makinenin bu rotalardan maksimum yatay sapmanın 0.04 m'den daha az ve rota açısındaki sapmanın ise 3.6 dereceden daha az olduğu belirlenmiştir.

Easterly ve ark. (2010), GNSS esaslı otomatik dümenleme sistemlerini geliştirdikleri görüntü esaslı yöntem ile test etmişlerdir. Testler farklı ilerleme hızlarında (0.5-5.0 m/s) gerçekleştirilmiş, traktör üzerine kurulu otomatik dümenleme sistemi ve ek bir RTK alıcısı kullanılmıştır. Traktörün gerçek rotası ile istenen rota arasındaki sapma traktörün çeki kancasının merkez noktası referans alınarak ölçülmüştür. Kısa zamanlı (15 dakika) ve uzun zamanlı (>1 saat) aynı hat üzerinden geçiş ve yan yana geçiş durumundaki sapma 2 mm düzeyinde ölçülmüştür. Her test farklı ilerleme yönlerinde üç geçiş ve üç tekrarlı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Test sonucunda sapma değerinin (%95 birikimli hata tahmini) firmanın belirttiği değer içerisinde (51 mm) olduğu belirlenmiştir. Geliştirilen görüntü esaslı yöntemin, otomatik dümenleme sistemleri için standart testlerde kullanılabileceğini bildirmişleridir.

Oksanen ve Backman (2013), Otomatik olarak yönlendirilebilen dört tekerlekli bir tarım traktörü için bir rota takip algoritması geliştirmiştir. Bu traktör, 2.7 metrelik iki aks arası mesafesiyle ve 5500 kg'dan fazla çekme kapasitesi ile karakterize edilir. Tüm tekerleklerin maksimum dönüş açısı 22 derecedir ve kontrol sistemi Ackerman dümenleme prensibine göre dümenleme açılarını senkronize etmektedir. Konum belirleme sistemi olarak RTK-GPS alıcısı, fiberoptik jiroskop ve inklinometre kullanılmıştır. Bu geliştirilen sistem, tarlada ekim makinası ile birlikte 2.4 hektarlık bir alanda kış buğdayı ekimi yaparak test edilmiştir. Sonuçlar, yatay izleme hatalarının 0.05 metreden daha az olduğunu ve açısal takip hatalarının da 1 dereceden küçük olduğunu göstermiştir.

Santos ve ark. (2017), Otomatik dümenleme sistemlerindeki sapmaları incelemek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada GNSS esaslı otomatik dümenleme sistemi ve RTX düzeltme sinyali kullanılmıştır. Çalışmada üç sapma değeri incelenmiştir, bunlar; traktörün gerçek rotası ve istenen rota arasındaki sapma (Hata A), yan yana geçişlerde oluşan sapma (Hata B) ve ekim makinesinin oluşturduğu son sıra ile traktör gerçek rotası arasındaki sapma (Hata C). Çalışma 3.6 m genişliği ile 5 km/h ilerleme hızında gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda Hata A ve Hata B değerleri firmanın belirttiği değerden (3.8 cm) daha düşük bulunmuş ancak Hata C değerinin arazi eğimi sebebiyle daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Eğimli arazilerde otomatik dümenleme sistemlerinin eğime göre düzeltme özelliğine sahip olması gerektiğini vurgulamışlardır. Ayrıca otomatik dümenleme sistemlerinin performanslarının traktöre takılan ekipmandan etkilenebildiği bildirilmiştir.

(Kunz ve ark., 2018), Otomatik dümenleme sistemi temelinde bir yabancı ot mücadelesinin etkisini araştırmışlardır. Kültivatörün üzerine yerleştirilen iki kamera ve hidrolik bir kontrol sistemi sayesinde kültivatörün yana kaydırılmasını sağlayabilen bir sistem geliştirilmiştir. Araştırmada, şeker pancarı, mısır ve soya tarlalarındaki bitki sıraları kameralar tarafından tespit edilerek traktör dümenlemesi kontrol edilmiştir. Görüntü işleme tabanlı dümenleme yabancı ot mücadelesinde (%78), manuel dümenleme yöntemine kıyasla (%65) daha yüksek bir yabancı ot kontrol etkinliğinin sağlandığı belirlenmiştir. Ancak, bu etkinlik düzeyinin herbisit kullanımı ile gerçekleştirilen mücadeleye göre (%100) daha düşük olduğu bildirilmiştir. Sonuç olarak, görüntü işleme ve hidrolik yana kaydırma sistemini içeren mekanik yabancı ot kontrolü, manuel olarak yapılan yabancı ot kontrolüne göre daha etkili bir yöntem olarak değerlendirilmiştir.

Santos ve ark. (2018), otomatik dümenleme sistemlerinde yan yan geçişlerdeki sapmayı belirlemek üzere bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma GNSS esaslı otomatik dümenleme sistemi ve RTX düzeltme sinyali kullanılarak, 3.60 m iş genişliği ile düz ve kavisli olmak üzere iki farklı rotada gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, yan yana geçişlerde düz ve kavisli rotalar için sırasıyla 1.36 ± 1.00 cm ve 1.96 ± 1.69 cm, istenen rota ve traktör gerçek rotası arasındaki sapma değeri düz ve kavisli rotalar için sırasıyla 0.99 ± 0.79 cm ve 1.93 ± 1.82 cm olarak bulunmuş, hata değerinin düz rotada daha az olduğu bildirilmiştir.

2.2. Yurtiçinde Yapılan Çalışmalar

Ünal ve Topakçı (2012), Tarımsal üretim için geliştirilen farklı dümenleme sistemleri ve sürücüsüz traktörler üzerine yapılan çalışmalar hakkında derleme bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, 1970 yılına kadar olan süreçte daha çok mekanik sistemlerin dümenleme amacıyla kullanıldığı, 1980 yılından sonra görüntü esaslı sistemlerin tercih edildiği ve 2000'li yıllardan itibaren GNSS esaslı sistemlerin geliştirildiği belirtilmiştir. Traktör yönlendirme uygulamaları, sürücü destekli otomatik yönlendirme uygulaması ve sürücü desteği olmadan hareket edebilen otonom yönlendirme uygulaması olmak üzere iki kategoriye ayrılmıştır. Araç yönlendirme uygulamaları için dört temel bileşenin (Konum belirleme sistemi, geometrik / geometrik olmayan veri, yazılım, donanım) gerekliliği vurgulanmıştır. Ayrıca, son zamanlarda operatör hatalarını ortadan kaldırmak için sürücüsüz traktörler konusunda yapılan çalışmalara değinilmiştir.

Altınkaradağ (2014), GNSS esaslı elektrohidrolik kontrollü yerli otomatik dümenleme sistemini geliştirmiş ve test etmiştir. Çalışmada, Türkiye'de GNSS esaslı ve düzeltmeli konum belirleme hizmeti veren CORS-TR sisteminden abonelik karşılığında hizmet alınmıştır. Rota takip performansı testlerinde, kameralı ölçme sistemiyle yapılan testlerde, en küçük ortalama sapma değerinin 0.44 m (18 km/h hızda), en büyük ortalama sapma değerinin ise 0.124 m (2.4 km/h hızda) olduğu bildirilmiştir. Tarlada ekipmansız yapılan testlerde ortalama sapma 0.163 m iken, ekipmanlarla yapılan testlerde ortalama sapma 0.32 m olarak tespit edilmiştir. Tarla testleri sonucunda, ekipmanların otomatik dümenleme sisteminin performansına etki ettiğini bildirmiştir. Çalışma sonucunda geliştirilen otomatik dümenlemeli traktör ile toprak işleme, ekim, bakım, gübreleme ve ilaçlama gibi tarımsal işlemlerin başarılı bir şekilde yapıldığı bildirilmiştir.

Keskin ve ark. (2018), Adana ilinde, 2016 yılı sonunda, traktörlerde otomatik dümenleme kullanan yaklaşık 110 çiftçi arasından 55 çiftçi ile yüz yüze anket çalışması yapılarak çiftçilerin memnuniyet düzeyi incelemişlerdir. Ankete katılan 55 çiftçinin %34,5'i 2000-3000 dönüm arası araziye sahipken, %63,6'sı sistemi 1 yıldan daha az süre önce kullanmaya başlamıştır. Sistemin en fazla toprak işleme (%98,2) amacıyla kullanıldığı belirlenmiştir. Çiftçiler, otomatik dümenlemenin en büyük faydalarının düz toprak sırtı oluşturulması (%98,2), esnek çalışma saatleri sağlaması (%92,7), zamandan tasarruf etmesi (%80,0) ve yakıttan tasarruf sağlaması (%80,0) olduğunu belirtmişlerdir.

Çalışma sonucunda ankete katılan çiftçilerin %81,8'i sistemi çok memnun, %16,4'ü ise memnun olarak değerlendirmiş, hepsi (%100) bu sistemi diğer çiftçilere önerdiği bildirilmiştir.

Topçueri (2019), Traktörlerde otomatik dümenleme sistemi ve manuel dümenleme ile yapılan ilaçlamalarda yan yana paralel geçişlerdeki üst üste binme ve boşluk miktarlarını karşılaştıran bir çalışma yapmıştır. Çiftçilerin sırta toprak işleme, ekim ve ilaçlama işlemlerini otomatik dümenleme kullanarak (RTK düzeltme sinyaliyle) gerçekleştirdiği tarlalarda RMSE değerinin en düşük olduğu gözlemlenmiştir (7.5 ± 1.7 cm). Çalışma sonucunda, sadece sırta toprak işleme işleminin otomatik dümenleme sistemiyle, ekim ve ilaçlama uygulamasının ise manuel olarak (Otomatik dümenleme kullanmadan) yapıldığı tarlalarda ortalama hata değerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (CORS-GSM: 46.1 ± 6.5 cm, SBAS: 76.5 ± 13.9 cm). Sırta toprak işleme, ekim ve ilaçlamanın tamamının manuel dümenleme ile yapıldığı tarlalarda ise ortalama hata değerinin en yüksek düzeyde olduğu görülmüştür (100.8 ± 27.8 cm) ($p < 0.05$). Manuel ilaçlama durumunda (Otomatik dümenleme kullanılmadan) ortalama hata değerinin otomatik dümenleme kullanılan tarlalara göre önemli derecede daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bu çalışma ile otomatik dümenleme sistemlerinin sadece sırta toprak işlemede değil, aynı zamanda ilaçlamada da kullanımının üst üste binme ve boşluk hatalarını azaltarak, otomatik dümenleme kullanımının yararını arttırdığını bildirmiştir.

Kayahan (2020), Ekim işlemini üç farklı yöntem kullanarak operatör, GPS ve otomatik kontrollü yönlendirme ile gerçekleştirmiştir. Her bitkiye gerekli optimum besin alanları, Voronoi poligonları kullanılarak değerlendirmiştir. Çalışma sonucunda, şekil katsayısını operatör kontrollü yönlendirme için 0.731, GPS kontrollü yönlendirme için 0.746 ve otomatik kontrollü yönlendirme için 0.715 olarak bulmuştur. GPS kontrollü yönlendirme uygulaması, operatör kontrollü yönlendirme ile karşılaştırıldığında %2 pozitif yönde iyileşme gösterirken, otomatik kontrollü yönlendirme uygulamasında %2 negatif yönde azalma görüldüğünü ve bu farkların istatistiksel olarak önemsiz olduğunu bildirmiştir. Çalışmada aynı zamanda spektral analiz ve GPS'ne dayalı bitki yeri tespiti yapılmıştır. Hava platformu ile multispektral kamera kullanılarak parsellerden alınan resimler üzerinde spektral analiz yapılmış ve görüntü işleme yöntemiyle bitki yerleri tespit edilmiştir. Resimler, yer kontrol noktaları kullanılarak georeferanslandırılmıştır. Tespit edilen bitki koordinatları ile gerçek bitki koordinatları arasındaki ortalama kareler hatası hesaplanmış ve aralarındaki mesafeler

belirlenmiştir. Bu analiz sonucunda gerçek bitkiler ile tespit edilen bitkiler arasında ortalama 87.99 mm fark bulunduğunu bildirmiştir.

Kömekçi (2021), RTK düzeltme sinyali ile çalışan otomatik dümenleme sistemlerinin, traktörün alt bağlantı kollarına gelen farklı büyüklükte ve asimetrik çeki kuvveti ihtiyaçları karşısındaki performanslarını incelemiştir. Çalışma sırasında, üç farklı ilerleme hızı (3.7 km/h, 5.9 km/h ve 8.2 km/h), üç farklı ön ek ağırlık (0 kg, 360 kg ve 630 kg), üç farklı çeki eksenini (traktör simetri eksenini üzerinde, eksenden 160 mm ve 320 mm sola kaçık) ve üç farklı tarım römorku ağırlığı (10167 kg, 14833 kg ve 19500 kg) ile üçer tekrarlı 243 test gerçekleştirmiştir. Ayrıca, traktörün yüksüz koşullardaki otomatik dümenleme performansını belirlemek amacıyla üç farklı ilerleme hızı (3.7 km/h, 5.9 km/h ve 8.2 km/h) ve üç farklı ön ek ağırlık (0 kg, 360 kg ve 630 kg) ile 27 test yapılmıştır, toplamda 270 test gerçekleştirmiştir. Yapılan bağımsız örneklem t-testi analizlerine göre, tüm verilerin değerlendirilmesi sonucunda yapılan 81 karşılaştırmanın tamamına yakınında traktörün yüklü koşullarda çalıştırılmasının otomatik dümenleme performansını etkilediği bildirmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, otomatik dümenleme sisteminin kullanılacağı bir traktör, elektromekanik ve elektrohidrolik olmak üzere her iki yönlendirici sisteminin de kullanılabileceği bir otomatik dümenleme sistemi, sistem için GNSS düzeltmesi sağlayan bir RTK Baz istasyonu ve arazi üzerinde ekim işlemini gerçekleştirmek üzere pnömatik hassas ekim makinesi kullanılmıştır. Çalışma her bir sistemde ortalama 7 km/h hızla gerçekleştirilmiştir.

Aynı traktör üzerine elektromekanik ve elektrohidrolik yönlendiriciye sahip her iki sistem kurulmuştur. İşlem sırasına göre sistem sırasıyla elektromekanik, elektro hidrolik olmak üzere sistem arayüzünden yönlendirici değiştirilerek çalışılmıştır. Şekil 3.1’de elektromekanik yönlendirici için elektronik kontrol ünitesi parametreleri, Şekil 3.2’de sistem arayüzü yönlendirici seçim menüsü gösterilmiştir.

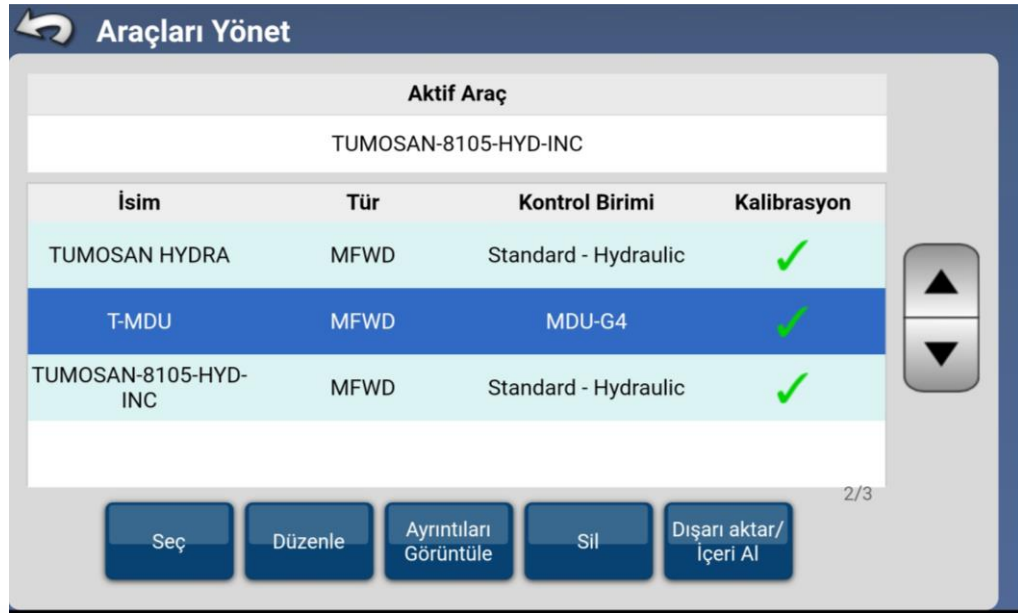
Araçları Yönet			
İsim	T-MDU		
Tür	MFWD		
Araç Markası	Generic		
Araç Modeli	Generic		
Kontrol Birimi Türü	MDU-G4		
Kalibrasyon	✓		
Tekerlek açıklığı	2.30 m		
Anten	İleri/Geri	Sol/Sağ	Yükseklik
	Geri, 0.00 m	Sol, 0.00 m	2.76 m
EKÜ	İleri/Geri	Sol/Sağ	Yükseklik
	Geri, 0.04 m	Sağ, 0.03 m	1.38 m

EKÜ Yönelimi

X: 180°
Y: 90°
Z: 0°

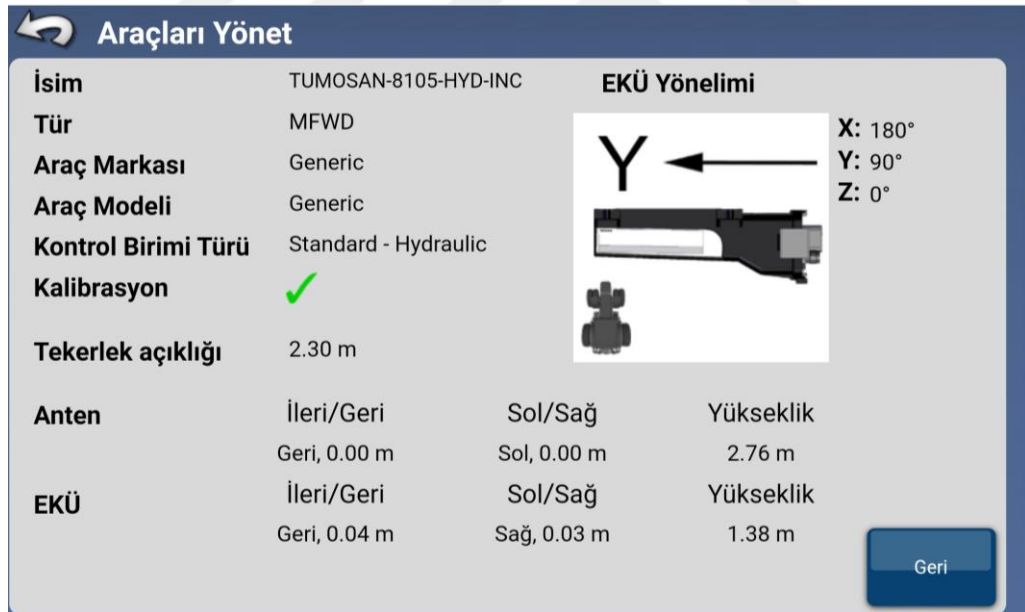
Geri

Şekil 3.1. Elektromekanik yönlendirici için elektronik kontrol ünitesi parametreleri

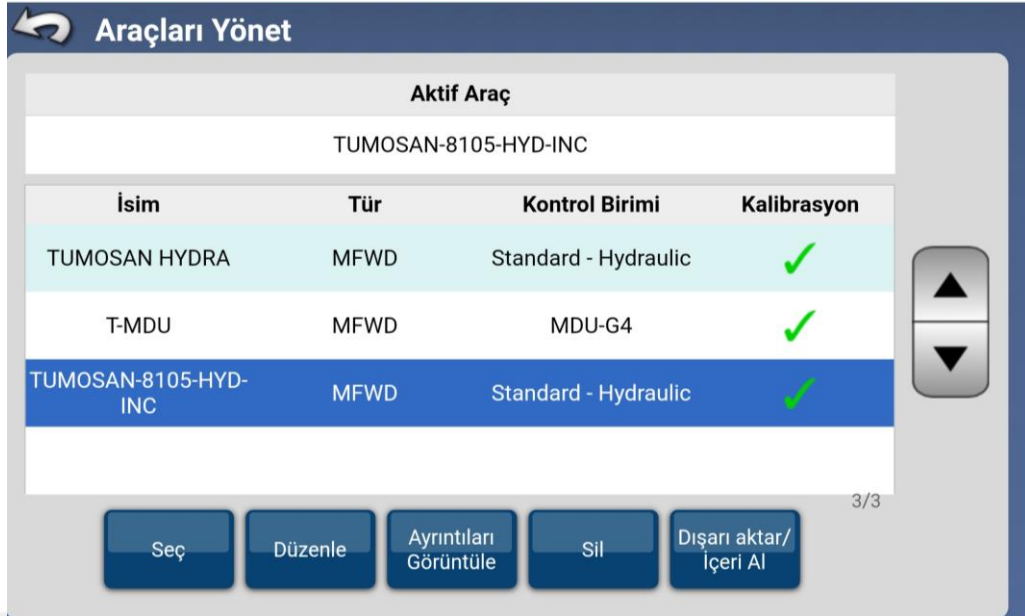


Şekil 3.2. Elektromekanik yönlendirici için yönlendirici seçim menüsü

Şekil 3.3.'de elektrohidrolik yönlendirici için elektronik kontrol ünitesi parametreleri, Şekil 3.4.'de sistem arayüzü yönlendirici seçim menüsü gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Elektrohidrolik yönlendirici için elektronik kontrol ünitesi parametreleri



Şekil 3.4. Elektrohidrolik yönlendirici için yönlendirici seçim menüsü

Denemeler sonucunda toplanan verilerin değerlendirilmesi için SPSS, Minitab vb. istatistiksel analiz yazılımları kullanılmıştır.

3.1. Materyal

Çalışma Konya ili Karatay ilçesi Ortakonak mahallesi sınırları içerisinde, toplamda 22,17 ha alanda gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı sistem arayüzündeki görüntüsü Şekil 3.5'te görülmektedir.



Şekil 3.5. Çalışma alanının sistem arayüzündeki görüntüsü

Çalışma alanı; sınırlarına bağlı olarak, ortalama 1000 metre uzunlukta, her bir deneme sistemi için 6 ölçülebilir sıra oluşturacak şekilde parsellere ayrılarak çalışılmıştır.

Çalışmada 105 BG gücünde traktör ile 6 sıralı pnomatik hassas ekim makinesi kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan traktör ve ekim makinesi, bölgede en çok tercih edilen özelliklerde seçilmiştir. Çalışmada kullanılan traktör ve ekim makinesi özellikleri Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Çalışmada kullanılan traktör ve ekim makinesi

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan traktör ve ekim makinesi özellikleri

Traktör	
Markası	TUMOSAN
Modeli	8105
Ağırlığı (kg)	3500
Gücü (BG)	105
Kuyruk Mili Devir Seçenekleri	540 d/dk, 2225 d/dk motor devrinde 540E d/dk, 1590 d/dk motor devrinde
Tekerlek İz Genişliği (mm)	Arka 1595
Akslar Arası Mesafe (mm)	2349
Ekim Makinesi	
Tipi	Diskli Tip
İş Genişliği (mm)	4200
Sıralar arası mesafe (mm)	700
Tohum sandığı hacmi (dm ³)	210
Gübre sandığı hacmi (dm ³)	400

Çalışmada RTK düzeltme servisine erişilmesi için çalışmanın gerçekleştirileceği çiftlik binası çatısına RTK baz istasyonu kurulmuş ve ilgili baz istasyonu çalışma sırasında sisteme RTK düzeltme sinyali sağlamıştır. RTK baz istasyonuna ait veriler Çizelge 3.2’ de gösterilmiştir.

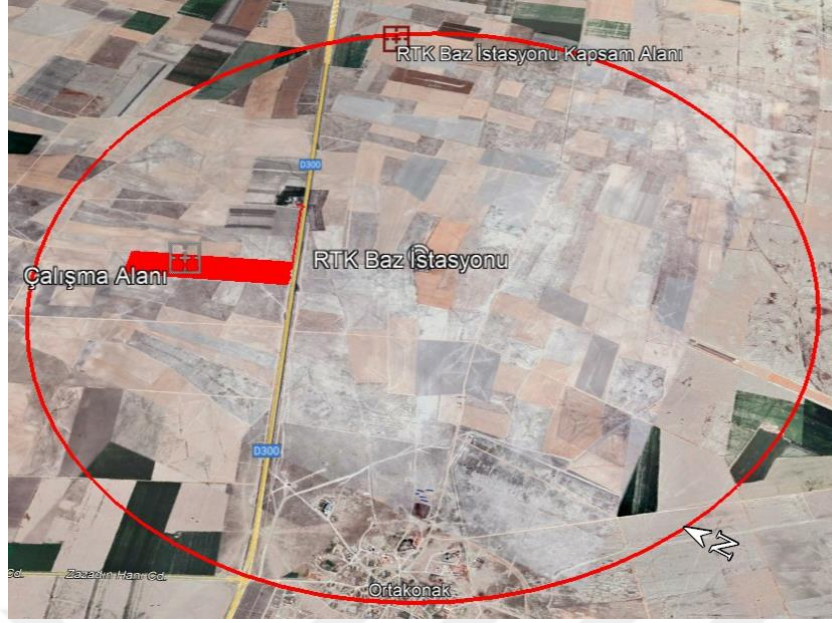


Şekil 3.7. Çalışmada kullanılan RTK baz istasyonu

Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan RTK baz istasyonu özellikleri

RTK Baz İstasyonu	
Güç Tüketimi	9-36v 4W
Boyutlar (mm)	152 x 70
GNSS	184 kanal GNSS motoru GPS L1C/A L2C, GLO L1OF L2OF, GAL E1B/C E5b, BDS B1I B2I, QZSS L1C/A L2C
Arayüz	RS232 (115200) Radio (868-915Mhz) - (2.5 km açık hava) Wi-Fi (2.4 Ghz)

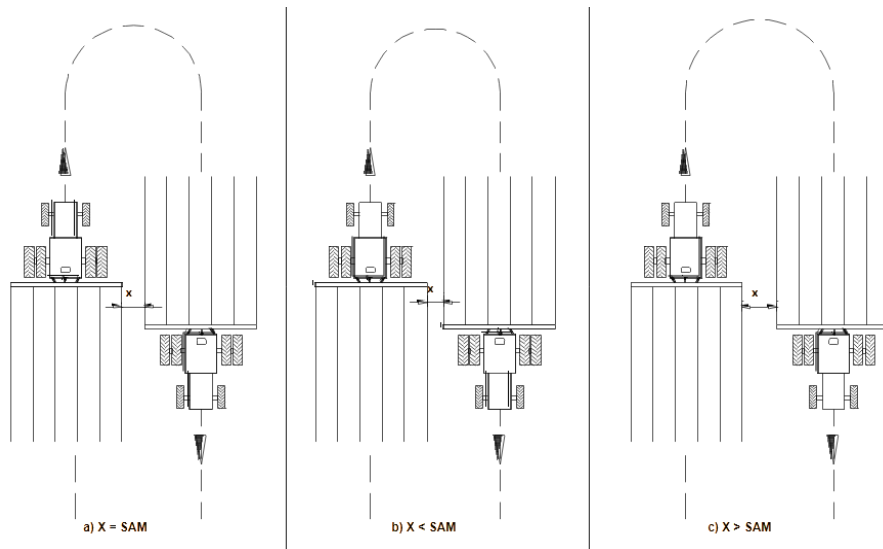
RTK baz istasyonu konumu ve kapsama alanı içerisinde ki çalışma alanına ait uydu görüntüsü Şekil 3.8’de görülmektedir.



Şekil 3.8. Çalışmada kullanılan RTK baz istasyonu konumu ve kapsama alanı

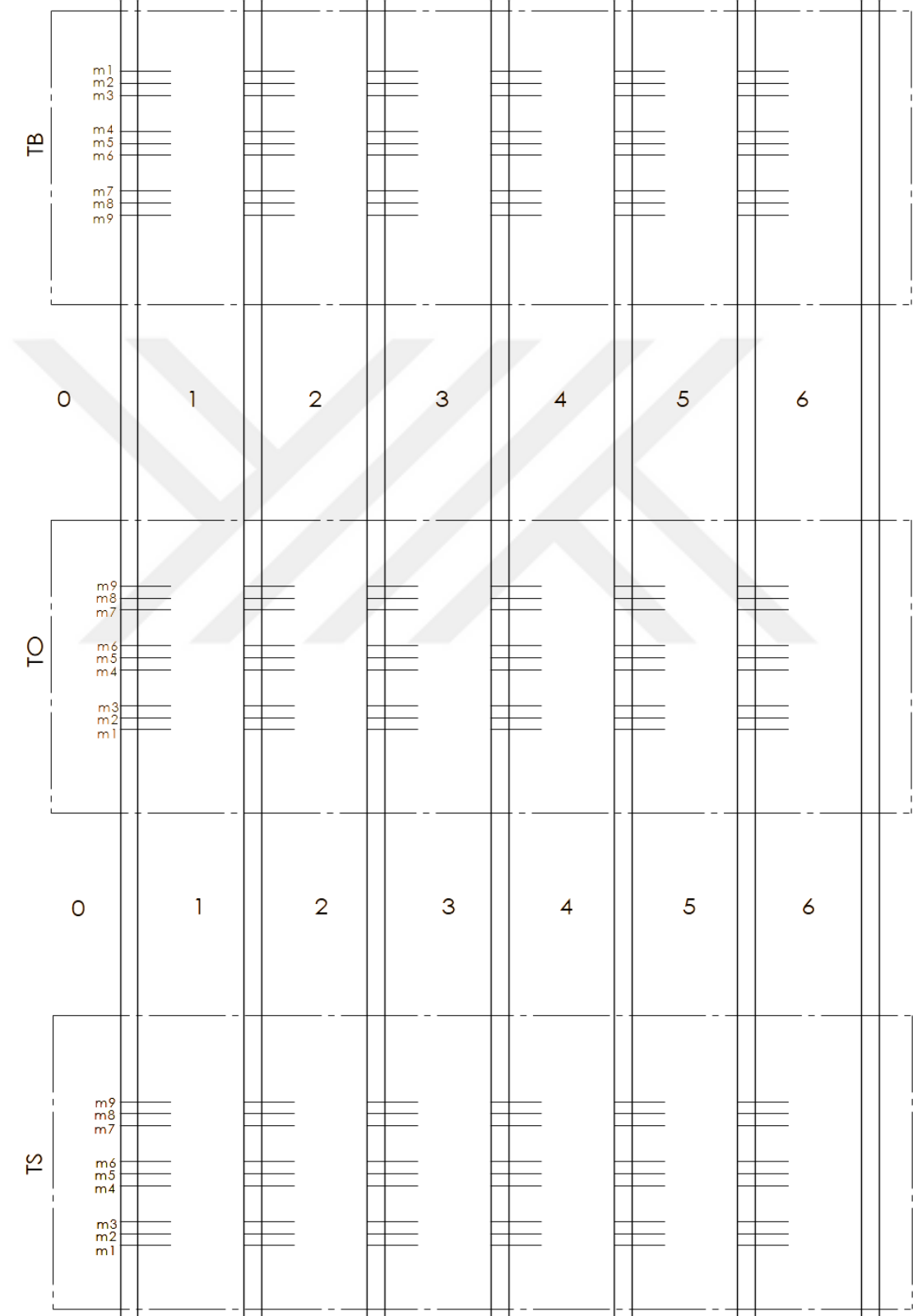
3.1.1. Sıralar arası mesafe

Çalışmada farklı yönlendiricilere sahip otomatik dümenleme sistemlerinin ekimde yan yana sıralar arası mesafeleri karşılaştırılmıştır. Oluşan sıra arası mesafenin dar veya geniş olması istenmeyen bir durumdur. İdeal çalışma için ayarlanan sıra arası mesafe ile oluşan sıra arası mesafenin aynı olması istenir. Hanson (1998), şekerpancarı üretiminde sıra arasında üst üste binme ve boşluklar nedeniyle oluşan toplam girdi kaybının %7 olduğunu bildirmiştir. Şekil 3.9’da, ekim işleminde yan yana oluşan, doğru sıra arası, dar sıra arası ve geniş sıra arası durumları gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Doğru sıra arası mesafe; a) Olması gereken sıra arası mesafe, b) Dar sıra arası mesafe, c) Geniş sıra arası mesafe (Topçueri, 2019)

Çalışmada farklı yönlendiricilere sahip otomatik dümenleme sistemleri ile gerçekleştirilen ekim işleminde yan yana oluşan paralel geçişlerde; tarla başı, tarla ortası ve tarla sonu olmak üzere sıra arası mesafe ölçümleri üç bölümde yapılmıştır.

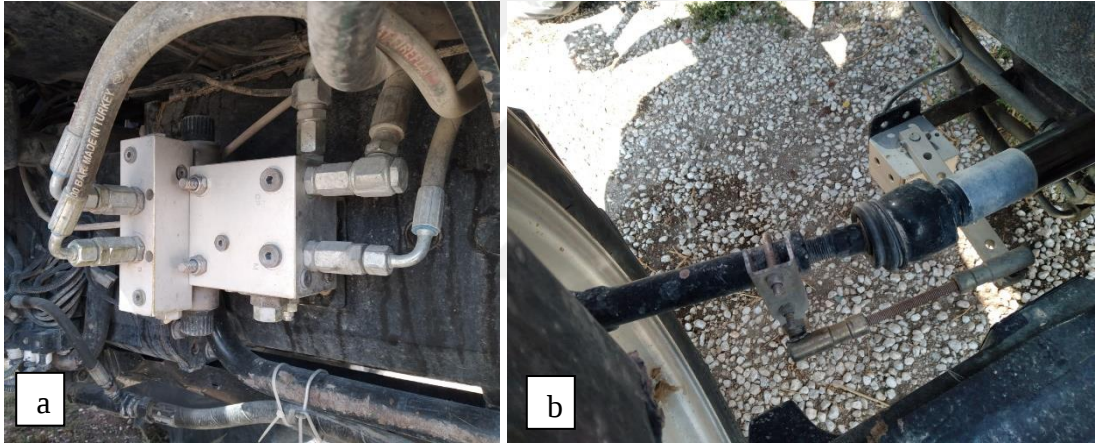


Şekil 3.10. Yan yana geçişlerde sıra arası mesafe ölçüm noktaları

Tarla başı, tarla ortası ve tarla sonunda ki ölçümler 35 m, 40 m, 45 m, 60 m, 65 m, 70 m, 85 m, 90 m ve 95 m mesafelerle yapılmıştır. Ölçüm noktaları sırasıyla m_1 , m_2 , m_3 , m_4 , m_5 , m_6 , m_7 , m_8 , ve m_9 olmak üzere Şekil 3.10’da verilmiştir.

3.1.2. Otomatik dümenleme yöntemleri

Çalışmada iki farklı yönlendirici sisteme sahip traktör otomatik dümenleme sisteminin yan yana paralel geçişlerdeki rotadan sapma değerleri belirlenmiştir. Çalışmada elektromekanik yönlendiriciye ve elektrohidrolik yönlendiriciye sahip otomatik dümenleme sistemleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan traktöre bağlı elektrohidrolik yönlendirici Şekil 3.11’de, elektromekanik yönlendirici ise Şekil 3.12’de gösterilmektedir. Bunun yanı sıra manuel dümenleme yöntemi (otomatik dümenleme kullanmadan) ile gerçekleştirilen ekim işlemindeki durum da çalışmaya dâhil edilmiştir.



Şekil 3.11. Çalışmada kullanılan traktöre bağlanmış (a) Elektrohidrolik yönlendirici ve (b) Tekerlek açısı sensörü.



Şekil 3.12. Çalışmada kullanılan traktöre bağlanmış elektromekanik yönlendirici

3.2. Yöntem

3.2.1. Verilerin değerlendirilmesi

Değerlendirme sırasında tüm konum verilerinin yanı sıra geçiş başına maksimum sapma ve RMSE değerleri kullanılmıştır. Tüm konum verileri ve maksimum sapmaların değerlendirilmesinde mutlak değerler, RMSE'lerin değerlendirilmesinde ise verilerin karşılaştırılan rotaya göre sol (- değerler) veya sağda (+ değerler) olmasına bağlı olarak ortaya çıkan veriler kullanılmıştır. Yan yana geçişlerdeki sıra arası ortalama hata değeri (Root Mean Square Error; RMSE), aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \text{Sıra arası mesafe})^2}{N}} \quad (3.1)$$

RMSE= Ortalama hata değeri (cm)

X_i = Ölçülen sıra arası mesafe (cm),

N = Ölçülen değer sayısı

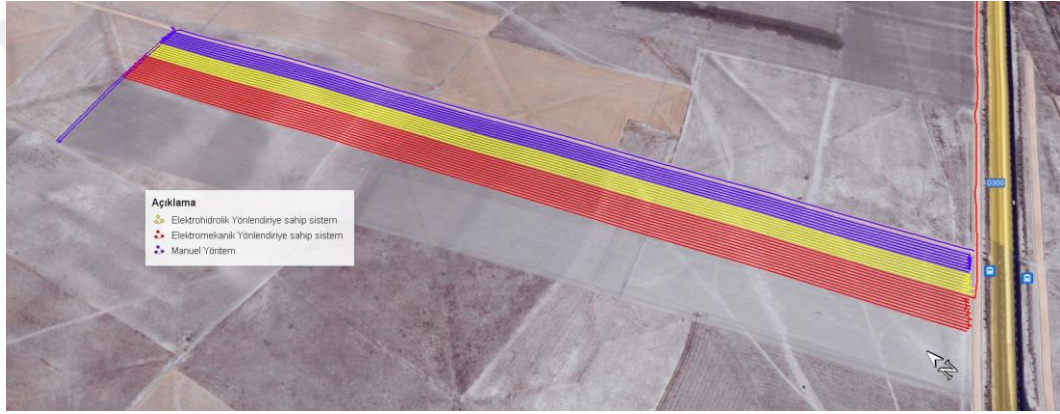
MS Excel programı kullanılarak, her bir geçişte tarla başı, tarla ortası ve tarla sonu için sıralar arasındaki hata değerleri, ortalama sapma ve standart hata değerleri tablo halinde hazırlanmıştır. RMSE değerine göre; otomatik dümenleme yönlendirici sistemleri arasında, tarla başı, tarla ortası ve tarla sonu değerleri arasında istatistiksel karşılaştırma yapılmıştır. Bu karşılaştırmada bilgisayar yazılımları ile varyans analizi ve Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Çalışmada farklı yönlendirici sistemlerine sahip otomatik dümenleme sistemlerinin çalışma performanslarının belirlenmesi amacıyla, ekim uygulamasında sıra arası mesafeler ölçülerek incelenmiştir.

4.1. Ekim İşleminde Sıra Arası Düzgünlüğü

Ekim işlemi Ayçiçeği bitkisi için sıra arası mesafenin 70 cm olması istenmektedir, ekim makinesi ve otomatik dümenleme sistemi bu parametrelere göre çalışmıştır. Şekil 4.1’de çalışma alanı içerisinde farklı yönlendiricilerle çalışan otomatik dümenleme sisteminin ilerleme güzergahı görülmektedir.



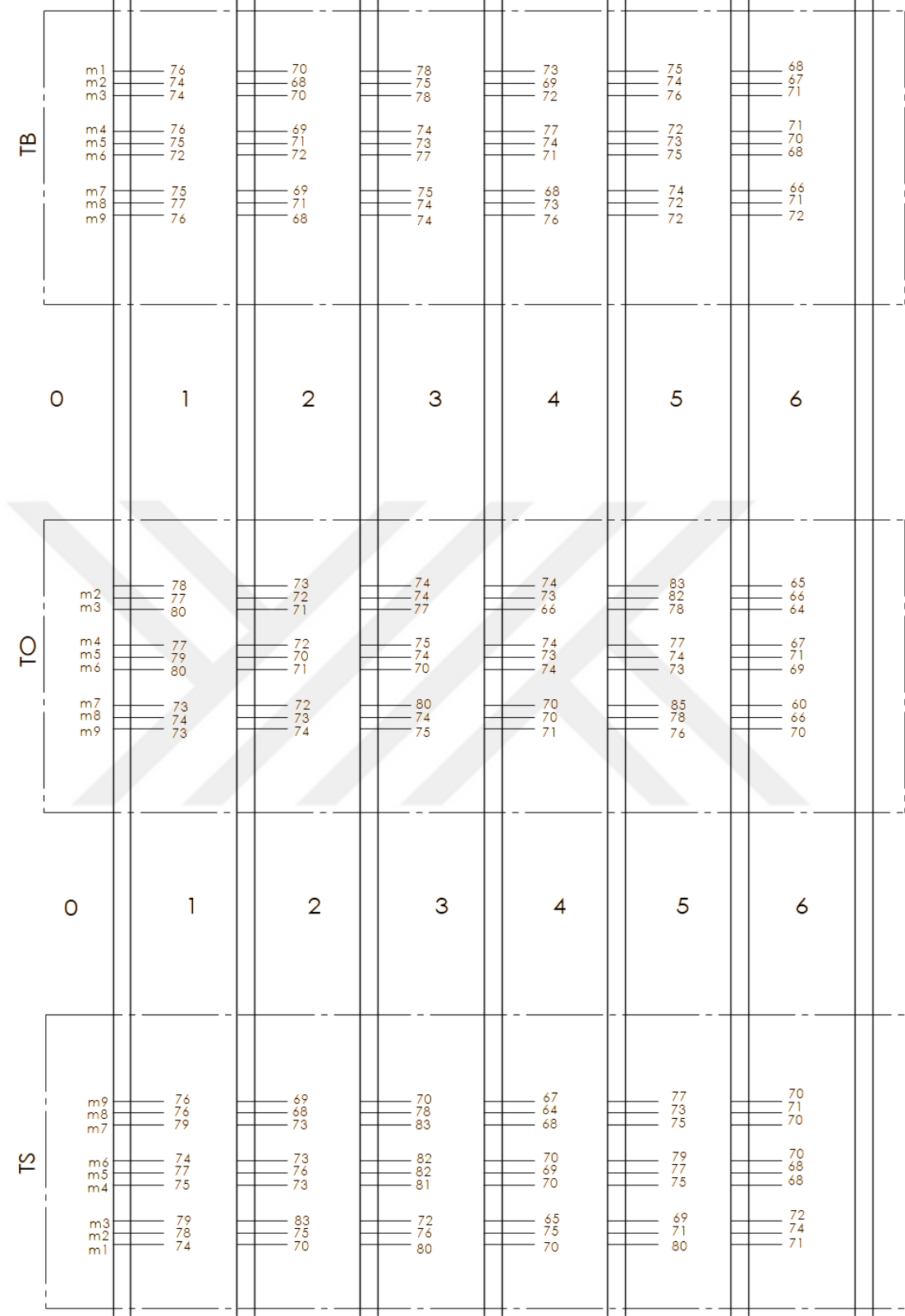
Şekil 4.1. Farklı yönlendirici sistemlerinin çalışma alanındaki ilerleme güzergahı (Kırmızı: Elektromekanik yönlendiriciye sahip sistem, Sarı: Elektrohidrolik yönlendiriciye sahip sistem, Mor: Manuel yöntem).

Çalışma alanında otomatik dümenleme sistemi ile gerçekleştirilen ekim uygulaması sonucunda sıra arası düzgünlüğü Şekil 4.2’ gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Çalışma alanında otomatik dümenleme sistemi ile gerçekleştirilmiş ekim uygulaması sonucunda sıra arası düzgünlüğü

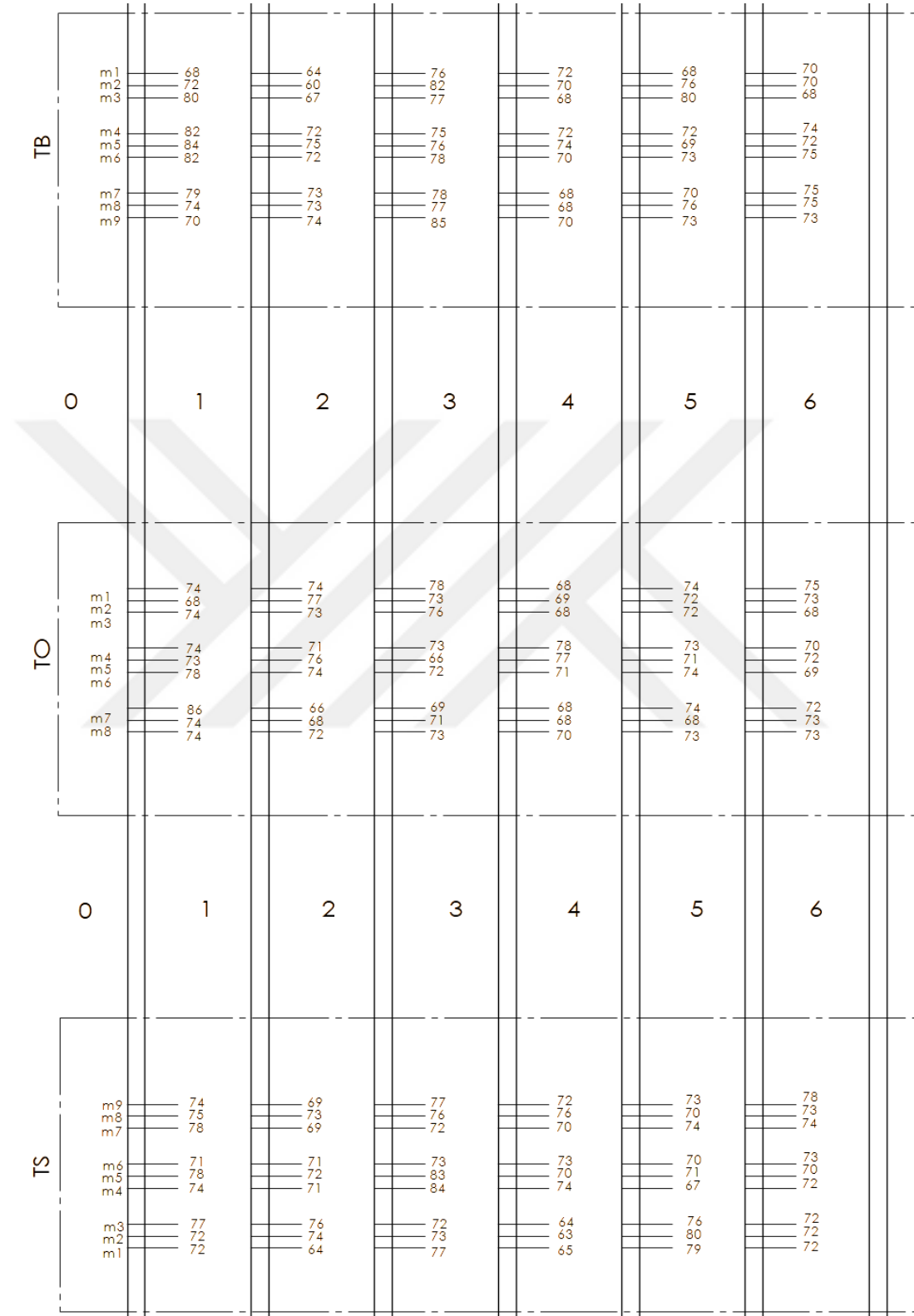
Elektromekanik yönlendiriciye sahip otomatik dümenleme sisteminde, ekim işleminde sıra arası mesafeler Şekil 4.3'te verilmiştir. Ekim işleminde sıra arası mesafe, en düşük 64 cm, en büyük 85 cm arasında değişkenlik göstermiştir. Ortalama sapma değeri (RMSE) ile, tarla başı, tarla ortası ve tarla sonunda ki değerler istatistiksel olarak incelenmiş ve veri analizi bölümünde verilmiştir.



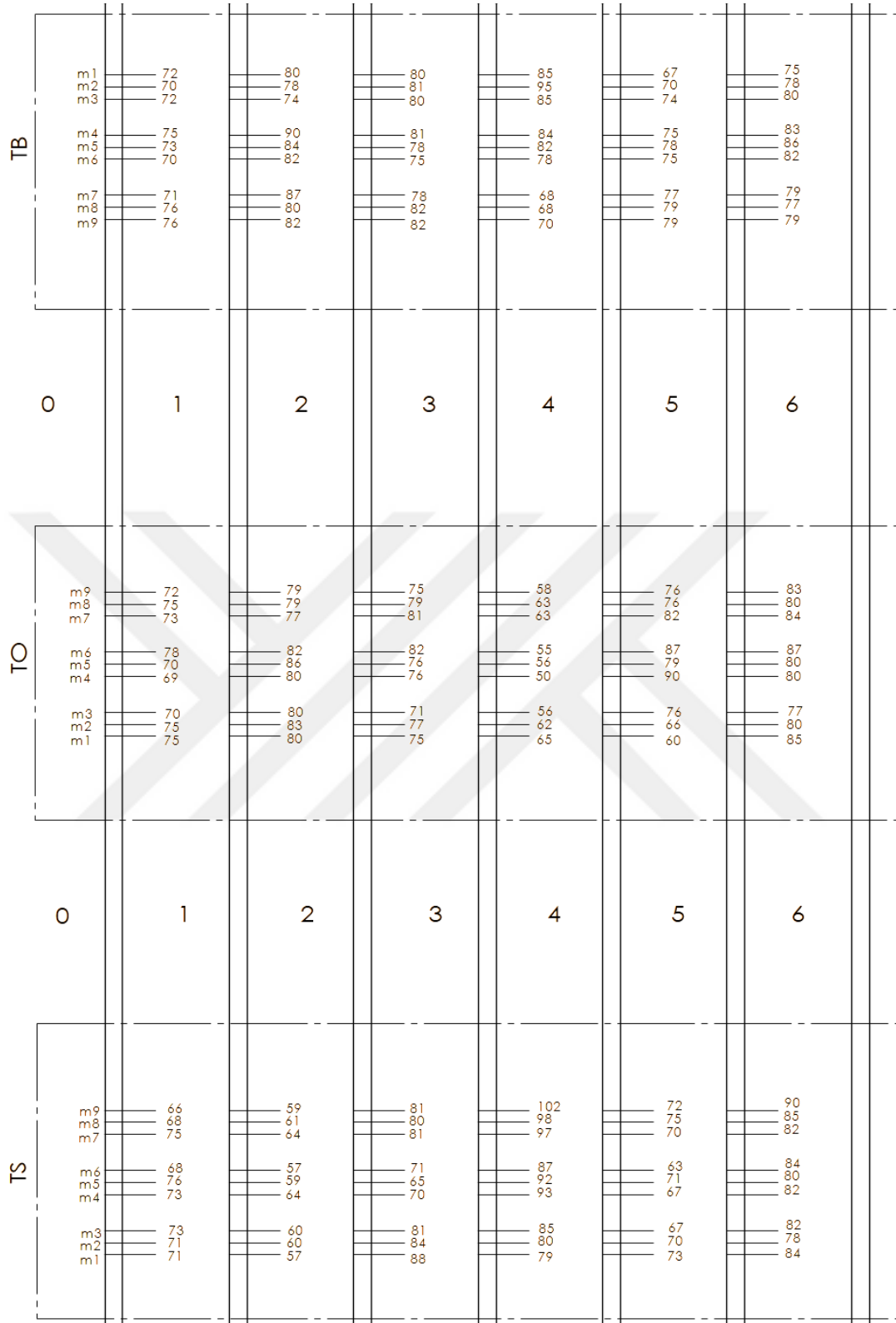
Şekil 4.3. Elektromekanik yönlendiriciye sahip dümenleme sistemi ile gerçekleştirilen ekim işleminde ölçülen sıra arası mesafeler

Elektrohidrolik yönlendiriciye sahip otomatik dümenleme sisteminde, ekim işleminde sıra arası mesafeler Şekil 4.4'te verilmiştir. Ekim işleminde sıra arası mesafe, en düşük 64 cm, en büyük 86 cm arasında değişkenlik göstermiştir. Ortalama sapma

değeri (RMSE) ile, tarla başı, tarla ortası ve tarla sonunda ki değerler istatistiksel olarak incelenmiş ve veri analizi bölümünde verilmiştir.



Şekil 4.4. Elektrohidrolik yönlendiriciye sahip dümenleme sistemi ile gerçekleştirilen ekim işleminde ölçülen sıra arası mesafeler



Şekil 4.5. Manuel dümenleme (otomatik dümenleme olmadan) ile gerçekleştirilen ekim işleminde ölçülen sıra arası mesafeler

Manuel dümenleme yöntemi (otomatik dümenleme kullanmadan) ile gerçekleştirilen ekim işleminde sıra arası mesafeler Şekil 4.5’de verilmiştir. Ekim işleminde sıra arası mesafe, en düşük 50 cm, en büyük 102 cm arasında değişkenlik

göstermiştir. Ortalama sapma değeri (RMSE) ile, tarla başı, tarla ortası ve tarla sonunda ki değerler istatistiksel olarak incelenmiş ve veri analizi bölümünde verilmiştir.

4.2. Veri Analizi

Veri analizinde, bilgisayar yazılımları ile Elektromekanik, Elektrohidrolik ve manuel sistemler ile gerçekleştirilen ekim işleminde sıra arası mesafeler, her bir sistemdeki tarla başı, tarla ortası ve tarla sonu sapma değerleri incelenmiştir.

Çalışmada varyans analizi yapabilmek için verilerin normal bir dağılım göstermesi ya da grup varyansların homojen olması gerekmektedir. Bu çalışmada elde edilen verilerin yapılan Levene testi sonucuna göre varyanslar homojen olmadığı için verilere logaritmik dönüşüm (transformasyon) uygulanmıştır. Levene testi sonuçları EK 2.'de verilmiştir.

Veriler içerisinde “sıfır” değerleri olduğu için logaritmik dönüşüm için verilere 1(bir) ilave edildikten sonra logaritmaları alınmıştır ($\log(x+1)$). Çalışmada 3 farklı yöntem (Y_1 , Y_2 , Y_3), 9 farklı mesafe (m_1 , m_2 , m_3 , m_4 , m_5 , m_6 , m_7 , m_8 , m_9) ve 3 farklı konum (Tarla Başı, Tarla Ortası, Tarla Sonu) kullanılmıştır.

Yapılan varyans analizi sonucu farklı çıkan grup ortalamaları çoklu karşılaştırma testlerinden “Duncan” testi ile belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda konumlar arası fark istatistik olarak önemsiz bulunmuştur. Konumlara göre ortalama sapma ve standart hata değerleri çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Konumlara göre ortalama sapma değerleri

Konum	N	Ortalama Sapma	Standart Hata	Standart Sapma
T _B	162	5.574	± 0.347	4.419
T _O	162	5.777	± 0.346	4.408
T _S	162	6.142	± 0.450	5.727

Yöntemler arası istatistiki olarak önemli bir fark tespit edilmiştir. Y_3 ’te sapma miktarı Y_1 ve Y_2 den önemli ölçüde farklı bulunmuştur. Y_3 ’te traktör kontrolü tamamıyla operatörde olduğundan, operatörün sürüş kabiliyeti, stres ve yorgunluk durumları gibi faktörler, traktörün kullanımını etkilemekte bu etki çalışılan arazi üzerinde istenilen sıra arası mesafenin korunamamasına ve rotadan sapmasına neden olmaktadır.

Y_1 ve Y_2 arasındaki fark ise istatistiki açıdan önemsiz olarak tespit edilmiştir. RMSE değerlerinin Y_1 için (4.271 ± 0.257 cm), Y_2 için (4.172 ± 0.261 cm) olduğu

belirlenmiştir. Her iki yöntemde operatör kabiliyeti faktöründen bağımsız olduğu için birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Yöntemlere göre ortalama sapma ve standart hata değerleri Çizelge 4.2’ de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Yöntemlere göre ortalama sapma değerleri

Yöntem	N	Ortalama Sapma	Standart Hata	Standart Sapma
Y ₁	162	4.271 B	± 0.257	3.272
Y ₂	162	4.172 B	± 0.261	3.326
Y ₃	162	9.049 A	± 0.462	5.874

A-B: p<0.01

Konum x Mesafe interaksyonu (EK-3), Konum x Yöntem interaksyonu (EK-4), Yöntem x Mesafe interaksyonu (EK-5) ve Konum x Yöntem x Mesafe interaksyonları (EK-6) istatistik olarak önemsiz bulunmuştur.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Otomatik dümenleme sistemleri tarımsal üretim kalitesi ve verimliliği için önemli bir role sahiptir. Bu kaybın minimum düzeye indirilmesi hem üretici hem de ülkemiz açısından oldukça önemlidir. Bu kaybın azaltılmasının ilk aracı otomatik dümenleme sistemleridir.

Bu çalışmada, elektromekanik ve elektrohidrolik yönlendiriciye sahip otomatik dümenleme sistemlerinin yanısıra manuel dümenleme yöntemi (otomatik dümenleme olmadan) ile gerçekleştirilen ekim işleminde farklı sistemlerin, yan yana sıralar arası ortalama sapma miktarına etkisinin belirlenerek performanslarının kıyaslanması amaçlanmıştır.

Çalışma ile gerçekleştirilen ekim işleminde veri analizi sonuçlarına göre, manuel ekim yöntemindeki sıra arası mesafe sapma değerlerinin (RMSE), her iki yönlendiriciye sahip otomatik dümenleme sistemlerine göre önemli düzeyde yüksek olduğu belirlenmiştir (P<0.01). Elektromekanik ve Elektrohidrolik yönlendiriciye sahip her iki otomatik dümenleme sistemi arasındaki farkın ise düşük olduğu belirlenmiştir. Elektromekanik yönlendiriciye sahip otomatik dümenleme sisteminde sıra arası RMSE sapma değeri, 4.271±0.257 cm, Elektrohidrolik yönlendiriciye sahip otomatik dümenleme sisteminde sıra arası RMSE sapma değeri, 4.172±0.261 cm, manuel yöntem ile yapılan ekim işleminde ise sıra arası RMSE sapma değerinin ise 9.049±0.462 cm olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak ekim uygulamasında her iki yönlendiriciye sahip otomatik dümenleme sistemlerinin de manuel yönleme göre sıra arası mesafeler bakımından daha yararlı olduğu belirlenmiştir.

Elektromekanik ve elektrohidrolik yönlendiriciye sahip sistemler, birbirlerine yakın maliyetlerle temin edilebilse de kurulum, servis maliyetleri ve süreleri bakımından incelendiğinde birbirlerinden ayrılmaktadırlar. Elektromekanik sistemlerin bir kit halinde arazi koşullarında dahi montajı gerçekleştirilebilmektedir. Buna karşın elektrohidrolik sistemler traktör direksiyon sisteminin hidrolik bileşenleri ile doğrudan ilişkili olduğundan montajları atölye ortamı ve gereçleri gerektirmekte aynı zamanda bu durum montaj sürelerine de uzatmakta, kurulum ve servis maliyetlerini arttırmaktadır.

Bir diğer konu ise sistemin çevresel koşullardan korunmasıdır. Elektromekanik yönlendiriciler genel olarak doğru akım elektrik motorlarından oluşmaktadır. Bununla birlikte traktöre monte edilmiş bir elektromekanik sistem traktör kullanılmadığı veya başka işlerde kullanıldığı durumlarda, özellikle yönlendirici bileşen çevresel koşullardan kolayca etkilenebilmekte ve servis maliyetleri gerektirebilmektedir. Bu durum elektromekanik sistemlerin dezavantajı olarak değerlendirilebilir.

Elektrohidrolik yönlendiriciye sahip sistemler ise traktör direksiyon sisteminin hidrolik bileşenlerine etki etmekte ve hidrolik bir valf şeklinde çalışmaktadır. Elektrohidrolik yönlendiriciler yapısı gereği çevresel koşullara daha dayanıklıdır. Bu durum elektrohidrolik yönlendiricilerin avantajı olarak değerlendirilebilir.

Sonuç olarak sistemin sonradan traktöre montajı düşünüldüğünde, önemli bir kriter ortaya çıkmaktadır. Bu kriter traktörün kullanım amacıdır. Örneğin traktör sadece ekim, ilaçlama, gübreleme gibi hassas uygulamalar içeren işlemlerde kullanılacak ise elektromekanik yönlendiriciye sahip sistemlerin kullanılması çok daha ekonomik olacaktır. Eğer traktör hassas uygulamalar harici taşıma vb. işlemler için de kullanılacak ise elektrohidrolik yönlendiriciye sahip sistemlerin tercih edilmesi çevresel koşullara daha dayanıklı olmasını sağlayacaktır.

Ekonomik koşullar üreticilerin otomatik dümenleme sistemlerine ulaşmasında önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle tercih edilecek sistem için öncelikle traktörün kullanım amacı belirlenmelidir. Bu durumda traktör ve kullanım amacına en uygun sistem belirlenebilir.

KAYNAKLAR

- Altınkaradağ, A., 2014, Traktörler için otomatik dümenleme sisteminin geliştirilmesi, Doktora Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi* Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Anonim, 2023a, Traktör otomatik dümenleme sistemleri ile oluşturulabilecek çalışma desenleri <https://paksoytekni.com.tr/20-topcon/hassas-tarim/149-sgr-1.html>: [31 Temmuz].
- Anonim, 2023b, GNSS Esaslı bir otomatik dümenleme sisteminin bileşenleri <https://www.fieldbee.com/products>: [31 Temmuz].
- Anonim, 2023c, GNSS Esaslı bir otomatik dümenleme sistemine ait Elektrohidrolik yönlendirici valf <https://www.fieldbee.com/products>: [31 Temmuz].
- Anonim, 2023d, GNSS Esaslı bir otomatik dümenleme sistemine ait tekerlek açısı sensörü <https://www.fieldbee.com/blog/what-farmer-should-expect-from-hydraulic-autosteer-installation>: [31 Temmuz].
- Anonim, 2023e, Elektrohidrolik dümenleme sisteminin şematik görünümü <https://www.fieldbee.com/de/blog/was-landwirte-vom-einbau-eines-hydraulischen-automatischen-spurfuehrung-erwarten-koennen>: [31 Temmuz].
- Anonim, 2023f, Direksiyon simidine bağlanan elektromekanik yönlendirici sistem, <https://www.fieldbee.com/products>: [31 Temmuz].
- Anonim, 2023g, Direksiyon miline bağlanan elektromekanik yönlendirici sistem, <https://www.graftek.com.tr/urunler/trimble-autopilot-motorlu-dumenleme-sistemi/457/9/>: [31 Temmuz].
- Easterly, D. R., Adamchuk, V. I., Kocher, M. F. ve Hoy, R. M., 2010, Using a vision sensor system for performance testing of satellite-based tractor auto-guidance, *Comput. Electron. Agric.*, 72 (2), 107–118.
- Kahveci, M., 2017, Kinematik GNSS ve RTK CORS Ağları, Nobel Akademik Yayıncılık, p.
- Kahveci, M. ve Yıldız, F., 2018, GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri Teori ve Uygulama, Nobel Akademik Yayıncılık, p.
- Kayahan, N., 2020, Traktörde Farklı Yönlendirme Sistemleriyle Yapılan Ekime Ait Bitki Dağılım Düzensizliğünün Belirlenmesi ve Spektral Analize Dayalı Bitki Konumunun Tespiti, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi* Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Keskin, M. ve Görücü Keskin, S., 2012, Hassas Tarım Teknolojileri, Mustafa Kemal Üniversitesi Yayınları, p.
- Keskin, M., Sekerli, Y., Say, S. ve Topcueri, M., 2018, Farmers' Experiences with GNSS-Based Tractor Auto Guidance in Adana Province of Turkey (Adana İlinde Çiftçilerin Uydu-Esaslı Traktör Otomatik Dümenleme Sistemi Deneyimleri), 35, 172-181.
- Kömekçi, F., 2021, Farklı Çalışma Koşullarında Traktör Otomatik Dümenleme Performansının Belirlenmesi, Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi*, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kunz, C., Weber, J. F., Peteinatos, G. G., Sökefeld, M. ve Gerhards, R., 2018, Camera steered mechanical weed control in sugar beet, maize and soybean, *Precision Agriculture*, 19, 708-720.
- Nagasaka, Y., Saito, H., Tamaki, K., Seki, M., Kobayashi, K. ve Taniwaki, K., 2009, An autonomous rice transplanter guided by global positioning system and inertial measurement unit, *Journal of Field Robotics*, 26.
- Oksanen, T. ve Backman, J., 2013, Guidance system for agricultural tractor with four wheel steering, *IFAC Proceedings Volumes*, 46, 124-129.
- Oktal, H. ve Yaman, K., 2019, Uyduya Dayalı Konum Belirleme, Nisan Yayınevi, p.

- Öcalan, T. ve Soycan, M., 2011, GNSS Verisinin Gerçek Zamanlı İletimi İçin Uluslararası Standartlar ve Gelişmeler, *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 1-123.
- Özgüven, M. M., 2018, Hassas Tarım, Akfon Kitap Kütüphanesi, p.
- Santos, A. F., Silva, R., Tavares, T., Santana Ormond, A. T., Rosalen, D. ve Assis, L., 2017, Parallelism error in peanut sowing operation with auto-steer guidance, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21, 731-736.
- Santos, A. F., Negri Corrêa, Lígia Gírio, Lucas Paixão, Carla Silva ve Rouverson, 2018, Engenharia Agrícola Position Errors In Sowing In Curved And Rectilinear Routes Using Autopilot, *Engenharia Agrícola*, 38, 568-576.
- Tekin, A. B. ve Sındır, K. O., 2006, Tarımsal Üretimde Hassas Tarım (Precision Agriculture) Uygulamaları. XI. Türkiye'de İnternet Konferansı Bildirileri. Ankara, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi: 75.
- Tekin, A. B. ve Değirmencioğlu, A., 2010, Tarımsal Bilişim: İleri Tarım Teknolojileri. XII. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri. Muğla, Muğla Üniversitesi: 351.
- Topçueri, M., 2019, Gnss Esaslı Traktör Otomatik Dümenleme Sistemlerinin Ekimde ve İlaçlamada Kullanım Etkinliğinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi*, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Ünal, İ. ve Topakçı, M., 2012, Yönlendirme Metodolojisi ve Tarımsal Üretim Uygulamaları için Geliştirilen Farklı Yönlendirme Sistemleri. 27. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, Samsun.
- Wildrodt, F. L., 1924, Steering Attachment for Tractors. 150670, U. S. P. N.

EKLER**EK-1** Sapma için varyans analizi

Varyans Kaynakları	DF	SS	MS	F	P
Konum	2	26.82	13.41	0.67	0.515
Yöntem	2	2517.35	1258.67	62.45	0.000
Mesafe	8	46.09	5.76	0.29	0.971
Konum*Yöntem	4	125.70	31.42	1.56	0.184
Konum*Mesafe	16	133.26	8.33	0.41	0.979
Yöntem*Mesafe	16	187.28	11.70	0.58	0.899
Konum*Yöntem*Mesafe	32	378.34	11.82	0.59	0.966
Hata	405	8163.33	20.16		
Genel	485	11578.16			
S = 4,489 R-Sq = 29,49 % R-Sq (adj) = 15,57%					

EK-2 Levene testi sonuçları

		Levene istatistik	df1	df2	Sig.
Sapma	Ortalamaya Dayalı	2.274	80	405	.000



EK-3 Konum x Mesafe interaksyonu

Konum	Mesafe	N	Sapma	Standart Hata
T _B	m ₁	18	4.833	± 0.929
T _B	m ₂	18	5.500	± 1.386
T _B	m ₃	18	5.555	± 0.977
T _B	m ₄	18	6.444	± 1.268
T _B	m ₅	18	6.055	± 1.158
T _B	m ₆	18	5.055	± 0.947
T _B	m ₇	18	5.444	± 0.964
T _B	m ₈	18	5.222	± 0.730
T _B	m ₉	18	6.055	± 1.042
T _O	m ₁	18	6.166	± 0.837
T _O	m ₂	18	5.333	± 0.754
T _O	m ₃	18	6.500	± 0.882
T _O	m ₄	18	7.111	± 1.272
T _O	m ₅	18	5.611	± 1.085
T _O	m ₆	18	5.888	± 1.448
T _O	m ₇	18	5.944	± 1.253
T _O	m ₈	18	4.777	± 0.889
T _O	m ₉	18	4.666	± 1.038
T _S	m ₁	18	7.111	± 1.862
T _S	m ₂	18	6.555	± 1.523
T _S	m ₃	18	6.222	± 1.562
T _S	m ₄	18	5.166	± 1.286
T _S	m ₅	18	6.333	± 1.360
T _S	m ₆	18	5.611	± 1.384
T _S	m ₇	18	6.388	± 1.026
T _S	m ₈	18	5.555	± 0.911
T _S	m ₉	18	6.333	± 1.244

EK-4 Konum x Yöntem interaksyonu

Konum	Yöntem	N	Sapma	Standart Hata
T _B	Y ₁	54	3.351	± 0.292
T _B	Y ₂	54	4.851	± 0.531
T _B	Y ₃	54	8.518	± 0.681
T _O	Y ₁	54	4.833	± 0.476
T _O	Y ₂	54	3.518	± 0.369
T _O	Y ₃	54	8.981	± 0.649
T _S	Y ₁	54	4.629	± 0.515
T _S	Y ₂	54	4.148	± 0.431
T _S	Y ₃	54	9.648	± 1.021

EK-5 Yöntem x Mesafe interaksyonu

Yöntem	Mesafe	N	Sapma	Standart Hata
Y ₁	m ₁	18	4.333	± 0.796
Y ₁	m ₂	18	4.278	± 0.651
Y ₁	m ₃	18	5.056	± 0.876
Y ₁	m ₄	18	4.278	± 0.766
Y ₁	m ₅	18	4.111	± 0.771
Y ₁	m ₆	18	3.556	± 0.746
Y ₁	m ₇	18	5.167	± 1.036
Y ₁	m ₈	18	4.000	± 0.572
Y ₁	m ₉	18	3.667	± 0.728
Y ₂	m ₁	18	4.222	± 0.557
Y ₂	m ₂	18	3.944	± 0.798
Y ₂	m ₃	18	4.333	± 0.754
Y ₂	m ₄	18	3.167	± 0.687
Y ₂	m ₅	18	4.389	± 0.964
Y ₂	m ₆	18	4.333	± 0.907
Y ₂	m ₇	18	4.722	± 0.892
Y ₂	m ₈	18	3.833	± 0.556
Y ₂	m ₉	18	4.611	± 0.933
Y ₃	m ₁	18	9.556	± 1.775
Y ₃	m ₂	18	9.167	± 1.673
Y ₃	m ₃	18	8.889	± 1.471
Y ₃	m ₄	18	11.278	± 1.290
Y ₃	m ₅	18	9.500	± 1.334
Y ₃	m ₆	18	8.667	± 1.631
Y ₃	m ₇	18	7.889	± 1.168
Y ₃	m ₈	18	7.722	± 0.869
Y ₃	m ₉	18	8.778	± 1.119

EK-6 Konum x Yöntem x Mesafe interaksyonu

Konum	Yöntem	Mesafe	N	Sapma	Standart Hata
T _B	Y ₁	m ₁	6	4.000	± 1.183
T _B	Y ₁	m ₂	6	3.167	± 0.601
T _B	Y ₁	m ₃	6	3.500	± 1.258
T _B	Y ₁	m ₄	6	3.500	± 1.057
T _B	Y ₁	m ₅	6	2.667	± 0.760
T _B	Y ₁	m ₆	6	3.167	± 0.946
T _B	Y ₁	m ₇	6	3.500	± 0.671
T _B	Y ₁	m ₈	6	3.000	± 0.931
T _B	Y ₁	m ₉	6	3.667	± 0.803
T _B	Y ₂	m ₁	6	3.000	± 1.000
T _B	Y ₂	m ₂	6	5.000	± 2.113
T _B	Y ₂	m ₃	6	5.667	± 1.563
T _B	Y ₂	m ₄	6	4.500	± 1.586
T _B	Y ₂	m ₅	6	4.500	± 1.891
T _B	Y ₂	m ₆	6	5.000	± 1.789
T _B	Y ₂	m ₇	6	4.500	± 1.432
T _B	Y ₂	m ₈	6	4.500	± 0.763
T _B	Y ₂	m ₉	6	6.167	± 2.414
T _B	Y ₃	m ₁	6	7.500	± 2.045
T _B	Y ₃	m ₂	6	8.333	± 3.470
T _B	Y ₃	m ₃	6	7.500	± 2.029
T _B	Y ₃	m ₄	6	11.333	± 2.347
T _B	Y ₃	m ₅	6	10.167	± 1.939
T _B	Y ₃	m ₆	6	7.000	± 1.897
T _B	Y ₃	m ₇	6	8.333	± 2.092
T _B	Y ₃	m ₈	6	8.167	± 1.077
T _B	Y ₃	m ₉	6	8.333	± 1.563
T _O	Y ₁	m ₁	6	6.167	± 1.536
T _O	Y ₁	m ₂	6	5.333	± 1.498
T _O	Y ₁	m ₃	6	6.333	± 1.229
T _O	Y ₁	m ₄	6	4.667	± 0.843
T _O	Y ₁	m ₅	6	3.833	± 1.352
T _O	Y ₁	m ₆	6	3.167	± 1.493
T _O	Y ₁	m ₇	6	6.667	± 2.389
T _O	Y ₁	m ₈	6	4.167	± 1.108
T _O	Y ₁	m ₉	6	3.167	± 0.946
T _O	Y ₂	m ₁	6	4.500	± 0.806
T _O	Y ₂	m ₂	6	3.000	± 0.856

T _O	Y ₂	m ₃	6	4.167	± 1.166
T _O	Y ₂	m ₄	6	3.167	± 1.137
T _O	Y ₂	m ₅	6	3.833	± 0.946
T _O	Y ₂	m ₆	6	3.333	± 1.085
T _O	Y ₂	m ₇	6	4.833	± 2.286
T _O	Y ₂	m ₈	6	2.333	± 0.421
T _O	Y ₂	m ₉	6	2.500	± 0.423
T _O	Y ₃	m ₁	6	7.833	± 1.740
T _O	Y ₃	m ₂	6	7.667	± 0.803
T _O	Y ₃	m ₃	6	9.000	± 1.653
T _O	Y ₃	m ₄	6	13.500	± 1.432
T _O	Y ₃	m ₅	6	9.167	± 2.344
T _O	Y ₃	m ₆	6	11.167	± 3.103
T _O	Y ₃	m ₇	6	6.333	± 2.170
T _O	Y ₃	m ₈	6	7.833	± 1.352
T _O	Y ₃	m ₉	6	8.333	± 1.666
T _S	Y ₁	m ₁	6	2.833	± 1.249
T _S	Y ₁	m ₂	6	4.333	± 1.115
T _S	Y ₁	m ₃	6	5.333	± 1.978
T _S	Y ₁	m ₄	6	4.667	± 1.994
T _S	Y ₁	m ₅	6	5.833	± 1.621
T _S	Y ₁	m ₆	6	4.333	± 1.542
T _S	Y ₁	m ₇	6	4.333	± 1.943
T _S	Y ₁	m ₈	6	4.833	± 0.946
T _S	Y ₁	m ₉	6	4.167	± 1.939
T _S	Y ₂	m ₁	6	5.167	± 1.014
T _S	Y ₂	m ₂	6	3.833	± 0.946
T _S	Y ₂	m ₃	6	3.167	± 1.166
T _S	Y ₂	m ₄	6	1.833	± 0.543
T _S	Y ₂	m ₅	6	4.000	± 2.176
T _S	Y ₂	m ₆	6	4.667	± 1.926
T _S	Y ₂	m ₇	6	4.833	± 0.910
T _S	Y ₂	m ₈	6	4.667	± 0.900
T _S	Y ₂	m ₉	6	5.167	± 1.137
T _S	Y ₃	m ₁	6	13.333	± 4.543
T _S	Y ₃	m ₂	6	11.500	± 3.766
T _S	Y ₃	m ₃	6	10.167	± 3.807
T _S	Y ₃	m ₄	6	9.000	± 2.720
T _S	Y ₃	m ₅	6	9.167	± 2.960
T _S	Y ₃	m ₆	6	7.833	± 3.458

T_5	Y_3	m_7	6	9.000	± 2.016
T_5	Y_3	m_8	6	7.167	± 2.257
T_5	Y_3	m_9	6	9.667	± 2.704



ÖZGEÇMİŞ

