

**TRAKTÖRLER İÇİN OTOMATİK DÜMENLEME
SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ
Arda ALTINKARADAĞ
Doktora Tezi
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Bahattin AKDEMİR**

2014

T.C.
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

TRAKTÖRLER İÇİN OTOMATİK DÜMENLEME SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Arda ALTINKARADAĞ

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Prof. Dr. Bahattin AKDEMİR

TEKİRDAĞ-2014

Her hakkı saklıdır

Prof Dr. Bahattin AKDEMİR danışmanlığında, Arda ALTINKARADAĞ tarafından hazırlanan “Traktörler İçin Otomatik Dümenleme Sisteminin Geliştirilmesi” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Doktora tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Poyraz ÜLGER

İmza :

Üye : Prof. Dr. Bahattin AKDEMİR (Danışman)

İmza :

Üye : Doç. Dr. Ufuk TÜRKER

İmza :

Üye : Doç.Dr. Fulya TAN

İmza :

Üye : Yrd.Doç.Dr. Cihangir SAĞLAM

İmza :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU
Enstitü Müdürü

ÖZET

Doktora Tezi

TRAKTÖRLER İÇİN OTOMATİK DÜMENLEME SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Arda ALTINKARADAĞ

Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Tarım Makinaları Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Bahattin AKDEMİR

Tarımsal girdilerin efektif olarak kullanımı, otomasyonu sağlanmış bir tarımsal mekanizasyon ile mümkündür. Otomatik dümenlemeli traktörler sayesinde hatlar paralel işlenebilecek, toprak işleme, ekim, gübreleme, ilaçlama gibi tarımsal işlemlerin çok daha başarılı bir şekilde yapılabilecektir. Otomatik dümenleme sistemine sahip traktörlerin kullanılmasıyla yakıt, zaman ve işgücü tasarrufu sağlanabilecektir. Bu çalışmanın amacı; traktörler için otomatik dümenleme sistemi geliştirmek ve bu sistemin traktörlere monte edilerek testlerinin gerçekleştirilmesidir. Sistem; direksiyon kontrol ünitesi, konum belirleme sistemi, kullanıcı ara yüzü ve merkezi kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Traktörlerin farklı tarım alet ve makinaları ile tarlada belirlenen çalışma şekillerine göre rotalar seçilebilmektedir. Otomatik dümenleme sisteminde traktörün konumu küresel konum belirleme sistemi ile belirlenir. Bu konum bilgilerini işleyen bir elektronik kontrol ünitesinin verdiği komutlar sayesinde elektrohidrolik valfler traktörü yönlendirmektedir. Geliştirilen sistemin laboratuvar testlerinde konum belirleme sistemi testi, rota takibi testi, valf ile dümenleme kontrol testi, CAN BUS ile GNSS verilerin alımı testleri ve dümenleme açısı testleri sonucunda bileşenlerin sorunsuz ve uyumlu bir şekilde çalışması sağlanmıştır. Saha testleri olarak GNSS sabit noktalarda ve yolda denenmiş ve verileri kaydedilmiştir. Rota takip performansı testinde geliştirilen kameralı ölçme sistemi ile yapılan testlerde en küçük ortalama sapma değeri 0,44m olarak 18 km/h hızda, en büyük ortalama sapma değeri ise 0,124m olarak 2,4 km/h hızda ölçülmüştür. Tarlada ekipmansız olarak yapılan testlerde ortalama olarak 0,163m sapma ölçülmüştür. Ekipmanlarla yapılan testlerde ortalama sapma 0,32m olarak ölçülmüştür. Tarla testleri sonucunda, ekipmanların otomatik dümenleme sisteminin performansına etki ettiği saptanmıştır. Kontrol yapısının hıza bağlı olmaması sebebiyle hızın artmasıyla sapmaların azaldığı ortaya çıkmıştır.

Anahtar kelimeler: Otomatik Dümenleme, Traktör, GNSS

2014, 114 sayfa

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

DEVELOPMENT OF AUTOMATIC STEERING SYSTEM FOR TRACTORS

Arda ALTINKARADAĞ

Namık Kemal University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Agricultural Machinery

Supervisor : Prof. Dr. Bahattin AKDEMİR

Effective using of agricultural inputs is possible with automated agricultural mechanization. Rows can be tilled in parallel with auto-steering tractors, agricultural operations such as tillage, planting, fertilizing, spraying, such as agricultural operations can be performed more successfully. Fuel, time and labor savings can be achieved with using auto-steering tractors. Objective of this research is to develop an automatic steering system for tractors and to perform its tests by integrating a tractor. The system consists of, steering control unit, GNSS, user interface, and the central control unit. Different working tracks can be chosen according to working conditions of the tractor and equipment. The position of auto-steering tractor was determined by the GNSS. Electrohydraulic valves steer the tractor through commands from electronic control unit that processes positioning data. Laboratory tests such as positioning system tests, route following test, test of receiving GNSS data with CAN BUS as well as steering angle tests were conducted and systems were worked with harmony and without any problem between components. GNSS was tested on road and in fixed points as well as in field tests and all data were recorded simultaneously. According to results of route tracking performance test with developed camera measuring system, the smallest mean deviation was measured 0.44 m at 18 km/h and highest mean deviation was measured 0,124 m at 2,4 km/h respectively. Average 0,163 m and 0,32 m deviations were also determined at the field tests that were performed without equipments and with and without equipments respectively. As a result of field tests with equipments, it was determined that performance of automatic steering system was affected from equipments behind tractor. Due to independence of control system from speed, deviation reduced when speed increased.

Key words: Auto-steering, Tractor, GNSS

2014, 114 pages

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGE DİZİNİ.....	vi
ŞEKİL DİZİNİ.....	viii
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR.....	xi
ÖNSÖZ.....	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Küresel Konum Belirleme Sistemleri	7
1.1.1. GPS (Global Positioning System)	9
1.1.2. GPS'in bölümleri	9
1.1.3.GPS'in çalışma şekli	11
1.1.4 CORS-TR	12
1.2. Dümenleme Sistemleri	13
1.2.1. Mekanik dümenleme	13
1.2.2. Hidrolik takviyeli dümenleme	13
1.2.3. Hidrostatik dümenleme	13
1.2.4. Elektrik yardımcı direksiyon sistemleri	14
1.2.5.Belden kırmalı dümenleme	15
1.3. Ön Düzen Geometrisi	15
1.4.GPS Esaslı Dümenleme Sistemleri	17
1.4.1.Yarı otomatik dümenleme ve Lightbar	17
1.4.2. Tam otomatik dümenleme sistemleri	19
1.5. Görüntü Esaslı Otomatik Dümenleme Sistemleri	21
1.6.Otomatik Dümenleme Elemanları	22
1.6.1 Elektrohidrolik valfler	23
1.6.2. Servo motorlar, step motorlar ve DC motorlar	24
1.7. Tarım Makinalarında Otomatik Dümenleme Uygulamaları	26
1.8. Otomatik Dümenleme Sistemlerinde Matematik Modelleri	29
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	31
3. MATERYAL VE YÖNTEM	37
3.1.Materyal	37
3.1.1.Traktör	38

3.1.2. GNSS alıcısı 1	39
3.1.3. GNSS alıcısı 2	41
3.1.4. Açık algılayıcı ön aks	42
3.1.5. Dokunmatik kullanıcı arayüzü	46
3.1.6. Dümenleme elektronik kontrol ünitesi	48
3.1.7. Pulluk	50
3.1.8. Yaylı Kültivatör	51
3.1.9. Çizel	52
3.1.10. Diskaro	53
3.1.11. Ekim makinası	54
3.1.12. Gübre serpmek makinası	55
3.1.13. Tarla pülverizatörü	56
3.2. Yöntem	57
3.2.1. Sistemin tasarımı	57
3.2.2. Konum belirleme sisteminin tasarımı	59
3.2.3. Dümenleme elektronik kontrol ünitesinin tasarımı	62
3.2.4. Merkezi kontrol ünitesi ve yazılımın tasarımı	63
3.2.5. Sistemin entegrasyonu	65
3.2.6. Laboratuvar testleri	70
3.2.7. Saha Testleri	73
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	85
4.1. Ön aks açı ayar testi sonuçları	85
4.1 GNSS'in saha testi Sonuçları	86
4.2. Rota takip performansının belirlenmesi testi sonuçları	87
4.3. Farklı Ekipmanlar ve Farklı Rotalar ile Tarla Testi Sonuçları	92
4.3.1. Ekipmansız çalışmadaki traktörün rota takip test sonuçları	92
4.3.2. Yaylı kültivatör ile yapılan çalışmada traktörün rota takip test sonuçları	94
4.3.3. Gübre serpmek makinası ile çalışmadaki traktörün rota takip test sonuçları	95
4.3.3. Diskaro ile çalışmadaki traktörün rota takip test sonuçları	96
4.4. Sabit Rotalarda Farklı Ekipmanlar İle Tarla Testleri	97
4.4.1. Ekipmansız çalışmada traktörün rota takip test sonuçları	97
4.4.2. Pulluk ile çalışmada traktörün rota takip test sonuçları	100
4.4.3. Çizel ile çalışmada traktörün rota takip test sonuçları	101

4.4.4. Diskaro ile çalışmada traktörün rota takip test sonuçları	102
4.4.5. Yaylı kültivatör ile çalışmada traktörün rota takip test sonuçları	103
4.4.6. Ekim makinası ile çalışmada traktörün rota takip test sonuçları	104
4.4.7. Gübre serpmeye makinası ile çalışmada traktörün rota takip test sonuçları	105
4.4.7. İlaçlama makinası ile çalışmada traktörün rota takip test sonuçları	106
5.SONUÇ VE ÖNERİLER	110
KAYNAKLAR	115

ÇİZELGE DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1. Hattat A110 traktörün genel özellikleri	38
Çizelge 2. Novatel SMART-MR15 Teknik Özellikleri	40
Çizelge 3. Smart6 model GNSS alıcısı teknik özellikleri	42
Çizelge 4. Otomatik dümenleme sisteminde kullanılan ön aksın teknik özellikleri	43
Çizelge 5. i.MX35 PDK Özellikleri	47
Çizelge 6. Testlerde kullanılan pulluğun teknik özellikleri	50
Çizelge 7. Testlerde kullanılan yaylı kültivatörün özellikleri	51
Çizelge 8. Testlerde kullanılan çizelin özellikleri	52
Çizelge 9. Testlerde kullanılan diskaronun özellikleri	53
Çizelge 10. Testlerde kullanılan ekim makinasının özellikleri	54
Çizelge 11. Testlerde kullanılan gübre serpme makinasının özellikleri	55
Çizelge 12. Testlerde kullanılan tarla pülverizatörünün özellikleri	56
Çizelge 13. Rotaların başlangıç ve bitiş noktalarına ait konum bilgileri	82
Çizelge 14. Testlerde kullanılan alet ve makinaların hızları	83
Çizelge 15. Ön aks açısı ayar testleri sonuçları	85
Çizelge 16. Otomatik dümenleme sistemi test sonuçları	87
Çizelge 17. Sürücü ile yapılan test sonuçları	87
Çizelge 18. Varyans analiz tablosu	88
Çizelge 19. Hızlara göre ortalama hata değerleri	89
Çizelge 20. Otomatik dümenleme ve sürücü kullanımının ortalama hata değerleri	89
Çizelge 21. Hız x Sürüş İnteraksiyonunun ortalama hata üzerindeki etkisi	90
Çizelge 22. Hız x Sürüş interaksiyonu MSTAT lsd gruplandırma sonuçları	91
Çizelge 23. Ekipmansız olarak çalışan traktöre ait istatistiksel bilgiler	92
Çizelge 24. Kültivatör ile çalışmadaki otomatik dümenleme sistemine ait rota bilgileri	94
Çizelge 25. Gübre serpme makinasına ait istatistiksel bilgiler	95

Çizelge 26. Diskaroya ait istatistiki bilgiler	96
Çizelge 27.Ekipmansız olarak 2 km/h hızda çalışan traktöre ait istatistiki bilgiler	97
Çizelge 28.Ekipmansız olarak 5 km/h hızda çalışan traktöre ait istatistiki bilgiler	98
Çizelge 29.Ekipmansız olarak 8 km/h hızda çalışan traktöre ait istatistiki bilgiler	99
Çizelge 30. Pulluk ile çalışmada traktöre ait istatistiki bilgiler	100
Çizelge 31. Çizel ile çalışmada traktöre ait istatistiki bilgiler	101
Çizelge 32. Diskaro ile çalışmada traktöre ait istatistiki bilgiler	102
Çizelge 34. Yaylı kültivatör ile çalışmada traktöre ait istatistiki bilgiler	103
Çizelge 35. Ekim makinası ile çalışmada traktöre ait istatistiki bilgiler	104
Çizelge 36. Gübre serpm makinası ile çalışmada traktöre ait istatistiki bilgiler	105
Çizelge 37. Pülverizatör ile çalışmada traktöre ait istatistiki bilgiler	106
Çizelge 38. Ekipmanların grup adları ve varyans özeti	107
Çizelge 39. Tek yönlü anova testi sonuçları	108
Çizelge 40. Alet ve makinalar ile çalışmadaki verilerin Duncan testi ile değerlendirilmesi.	108

ŞEKİL DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1. Üst üste bindirilmiş ve olması gereken toprak işleme	1
Şekil 2. Paralel olmayan ve paralel hasat edilmiş tarla	3
Şekil 3. Otomatik dümenleme sistemi ile yapılabilen farklı toprak işleme rotaları	7
Şekil 4. GNNS içerisinde kullanılan konum belirleme sistemleri	8
Şekil 5. GPS'in bölümleri	9
Şekil 6. Uydu yörüngeleri	10
Şekil 7. 3.Konum uydusunun sinyallerinin kesişme durumu	11
Şekil 8. Hidrostatik dümenleme sistemine sahip traktör	14
Şekil 9. Elektrik yardımcı direksiyon sistemin ana parçaları	14
Şekil 10. Belden kırmalı dümenleme Sistemi	15
Şekil 11. Kamber, kaster ve toe açılarının tekerlekler üzerinde görünüşü	16
Şekil 12. Otomatik dümenleme sistemlerinin ana parçaları	17
Şekil 13. Lightbar	18
Şekil 14. Tarımsal araçlardaki otomasyon sistemlerinin basit elemanları	19
Şekil 15. Parçalara ayrılmış ikili görüntü yoluyla sıra tespiti	21
Şekil 16. Yüksekçe monte edilmiş kameranın algoritması için akış diyagramı	22
Şekil 17. Test aracındaki hidrolik dümenleme tahrik sistemi	23
Şekil 18. Araştırma platformundaki elektrohidrolik dümenleme sisteminin şematik görünümü	24
Şekil 19. DC dümenleme motoru	25
Şekil 20. Servo Motor	26
Şekil 21. Hako traktörün görünen elektronik kontrol elemanları	27
Şekil 22. Biçerdöverin üzerine monte edilmiş siyah beyaz kamera	27
Şekil 23. Lazer sensörün araç üzerindeki konumu	28
Şekil 24. Otomatik çeltik dikim makinası	28
Şekil 25. Sürücüsüz pülverizatörün ana parçaları	29
Şekil 26. Bisiklet modeli ve hedeflenen rota	30
Şekil 27. Çalışmada kullanılan materyaller	37
Şekil 28. Hattat A110 model traktör	39
Şekil 29. Novatel SMART-MR15 görünüşü	41
Şekil 30. Smart6 GNSS alıcısı	41
Şekil 31. Açık algılayıcı ön aks	42

Şekil 32 Otomatik dümenleme sisteminde kullanılan ön aks	43
Şekil 33. Elektro-Hidrolik Kontrol Ünitesi	43
Şekil 34. i.MX35 PDK kullanıcı arayüzü	46
Şekil 35. Dokunmatik kullanıcı ara yüzü	48
Şekil 36. Dümenleme elektronik kontrol ünitesi	48
Şekil 37. Direksiyon elektronik kontrol ünitesi	49
Şekil 38. Testlerde kullanılan pulluk	50
Şekil 39. Testlerde kullanılan yaylı kültivatör	51
Şekil 40. Testlerde kullanılan çizel	52
Şekil 41. Testlerde kullanılan diskaro	53
Şekil 42. Testlerde kullanılan ekim makinası	54
Şekil 43. Testlerde kullanılan gübre serpm makinası	55
Şekil 44. Testlerde kullanılan tarla pülverizatörü	56
Şekil 45. Otomatik dümenleme sisteminin donanım yapısı	57
Şekil 46. Sistemi oluşturan elemanların traktör üzerindeki yerleşimi	58
Şekil 47. Otomatik dümenleme sisteminin kontrol yapısı	59
Şekil 48. Novatel MR15 GNSS alıcısının bağlantı şeması	60
Şekil 49. MR15 GNSS alıcısının traktör üzerindeki konumu	62
Şekil 50. Elektrohidrolik Kontrol Valf Bloğu	63
Şekil 51. Kullanıcı ara yüzü yazılımı	64
Şekil 52. Grafik Arayüz Programı Ekran	65
Şekil 53. Grafik Arayüz Programı Ekranı 2	66
Şekil 54. ISO 11783 Network	68
Şekil 55. Çalışma sırasında konum verileri tespit durum bilgileri	70
Şekil 56. Valf ile dümenleme kontrol test programı v.....	71
Şekil 57. CAN BUS ile GPS verilerin alımı test programı ekran görüntüsü	71
Şekil 58. Rota takibi sırasında yaşanan konum sapmaları tespiti	72
Şekil 59 . TEM'de 110-120 km hızla hareket halinde CORS-TR'ye bağlı GNSS alıcısı ile elde edilen rota çizgisi	73
Şekil 60. Her 5m deki noktalara konulan skala	74
Şekil 61. Test alanının görünümü	75
Şekil 62. Kayıtların yapıldığı kameranın çeki demirindeki görünüşü	76
Şekil 63. Framlerin videodan ayrılması işlemi	77

Şekil 64. Skala üzerinden fark hesaplanması	78
Şekil 65. Otomatik dümenleme sistemine sahip traktörün tarlada kültivatör ile çalışması	79
Şekil 66. Gübre serpmeye makinasının rotası	80
Şekil 67. Testlerde kullanılan sabit rotalar	81
Şekil 68. Pulluk ile 2. rotadaki çalışma	83
Şekil 69. Belirlenmiş olan rotaların işlendikten sonraki görüntüsü	84
Şekil 70. Dümenleme açısı test grafikleri	85
Şekil 71. GNSS cihazının kaydettiği rotalar	86
Şekil 72. Rota takip testindeki rotadan ortalama sapma grafiği	91
Şekil 73. Ekipmansız olarak çalışmadaki rotadan ortalama sapma grafiği	93
Şekil 74. Yaylı kültivatör ile çalışmadaki rotadan ortalama sapma grafiği	94
Şekil 75. Gübre serpmeye makinası ile çalışmadaki rotadan ortalama sapma grafiği	95
Şekil 76. Diskaro ile çalışmadaki rotadan ortalama sapma grafiği	96
Şekil 77. Ekipmansız olarak 2 km/h hızda çalışmadaki rotadan ortalama sapma grafiği	98
Şekil 78. Ekipmansız olarak 5 km/h hızda çalışmadaki rotadan ortalama sapma grafiği	99
Şekil 79. Ekipmansız olarak 8 km/h hızda çalışmadaki rotadan ortalama sapma grafiği	100
Şekil 80. Pulluk ile çalışmadaki rotadan ortalama sapma grafiği	101
Şekil 81. Çizel ile çalışmadaki traktörün rotadan ortalama sapma grafiği	102
Şekil 82. Diskaro ile çalışmadaki traktörün rotadan ortalama sapma grafiği	103
Şekil 83. Yaylı kültivatör ile çalışmadaki traktörün rotadan ortalama sapma grafiği	104
Şekil 84. Ekim makinası ile çalışmadaki traktörün rotadan ortalama sapma grafiği	105
Şekil 85. Gübre serpmeye makinası ile çalışmadaki traktörün rotadan ortalama sapma grafiki	106
Şekil 86. İlaçlama makinası ile çalışmadaki traktörün rotadan ortalama sapma grafiği ..	107

KISALTMALAR

ADSL	: Asymmetric digital subscriber line
AM	: Amplitude Modulation
CAN BUS	: Controller area network
CORS	: Continuously Operating Reference Station
CVT	: Continuously variable transmission
DC	: Direct Current
DGPS	: Differential Global Positioning System
EDGE	: Enhanced Data Rates for GSM Evolution
E/H	: Elektrohidrolik
FPID	: Field-Programmable Interconnect Device
FM	: Frequency Modulation
GNNS	: Global Navigation Satellite Systems
GPRS	: General Packet Radio Service
GPS	: Global Positioning System
Hz	: Hertz
ISO	: International Organization for Standardization
LCD	: Liquid crystal display
Max	: En büyük değer
Min	: En küçük değer
NAVSTAR	: Navigation by Satellite Timing and Ranging
ODS	: Otomatik dümeneleme sistemi
Ort	: Ortalama
PIC	: Programmable Interrupt Controller
PID	: Programmable Interconnect Device
RMS	: Root Mean Square
RTCM	: Radio Technical Commission for Maritime Services
RTK-GPS	: Real Time Kinematik Global Positioning System
STD Sapma	: Standart Sapma

ÖNSÖZ

Bu doktora tezi “Traktörler için otomatik dümenleme sisteminin geliştirilmesi” adı ile SANTEZ projesi olarak gerçekleştirilmiştir. Projede yürütücü olan Prof.Dr. Bahattin AKDEMİR’e, yardımcı personel Erdoğan KESİCİ’ye (Hema END. A.Ş), yardımcı araştırmacı Yrd. Doç Dr. Ahmet Yücel ÜRÜŞAN’a (İstanbul Kültür Üniversitesi) teşekkür ederim.

Tez izleme komitemdeki ve jürimdeki hocalarım Prof. Dr. Poyraz ÜLGER’e, Doç Dr. Ufuk Türker’e , Doç Dr. Fulya TAN’a , Yrd. Doç Dr. Cihangir SAĞLAM’a, Yrd. Doç Dr. İ. Savaş DALMIŞ’a katkılarından dolayı, Dr. Ersen OKUR ve Sema GÜR’e yardımlarından dolayı ve Biyosistem mühendisliği bölümü tüm öğretim üyelerine teşekkür ederim.

Haziran, 2014

Arda ALTINKARADAĞ

1. GİRİŞ

Araçların otomatik dümenlemesi üzerine yapılan çalışmaların sonucu olarak otomatik dümenleme sistemleri ticari olarak yaygınlaşmaya başlamıştır. Tarım alanında özellikle traktörler başta olmak üzere biçerdöver gibi kendi yürür araçlarda uygulanan otomatik dümenleme, tarım dışında da şerit takip sistemleri, otomatik park sistemleri, gibi adlar altında kullanıma sunulmaya başlanmıştır.

Artan Dünya nüfusu daha çok tarımsal üretime ihtiyaç duyulmasına neden olmuştur. Buna karşın ekilecek olan alan miktarı bu hızla artmamaktadır. Bunun sonucunda birim alanda daha az girdi ile daha verimli bir tarımsal üretim gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Tarımsal işlerde verimliliği azaltan faktörlerden birisi de tarlada üst üste bindirme ya da işlenmemiş alan bırakmaktır. Üst üste bindirme de işlenmiş alan gereksiz olarak tekrar işlenmektedir ve bunun sonucunda fazladan yakıt, gübre, ilaç ve ya tohum gibi girdiler israf edilmiş olacaktır. İşlenmemiş alan bırakıldığında ise meydana gelen boşluklar değerlendirilememiş olacaktır. Şekil 1’de üst üste bindirilmiş bir toprak işleme ve istenmeyen bu durumun ortadan kaldırılmış olduğu bindirme olmayan toprak işleme görülmektedir.



Şekil 1. Üst üste bindirilmiş ve olması gereken toprak işleme (Anonim 2014a)

Tarlada yapılan tarımsal işlerde üst üste işleme ya da boş bırakma sonucunda ekonomik kayıplar yaşanmaktadır. Robertson ve ark. (2007)’de yaptıkları çalışmada Avustralya’da farklı çiftliklerde otomatik dümenleme sistemleri kullanılarak yapılan toprak işlemede yapılan yatırımın bu ekonomik kayıpları karşılayıp karşılamadığı araştırılmıştır. 2600 ha’lık bir işletmede otomatik dümenleme yatırımı ile ilaçlamadaki bindirmeleri düşürerek ilaç masraflarını %10 azaltmışlardır. Ortalama olarak ilaç masrafının \$50/ha

olduğu düşünöldüğünde 2600 ha'lık alanda 13,000 \$ kazanç sağlanmışır. Otomatik dümenleme yatırımının 20,000 \$ olduğu bu işletmede yatırım kendisini 2 yıl içerisinde amorti edecektir.

Tarımsal girdilerin efektif kullanımı bir gerekliliktir. Bu ise otomasyonu sağlanmış bir tarımsal mekanizasyon ile mümkündür. Bu tip mekanizasyonda otomatik dümenlemeli traktör önemli bir yer tutmaktadır. Otomatik dümenleme ile kıyaslanırsa herhangi bir sürücü sürüm, ekim veya gübreleme gibi işlemleri geleneksel metotları kullanarak efektif bir şekilde gerçekleştiremez. Otomatik dümenleme, sisteme herhangi bir müdahalede bulunulmadan traktörün yönlendirilmesine imkan sağlamaktadır.

Küresel konum belirleme sistemi alıcılarındaki gelişmeler, herhangi bir kullanıcının pozisyonunu cm mertebesinde doğrulukla ölçebilmesine ve dolayısıyla hassas tarımda da gelişmeye olanak sağlamıştır. Tarımsal işlerde üst üste bindirme, sürücü deneyimsizliği, görüş olanaklarının azalması, toprak altı sulama sistemlerinin ve bitkilerin hasar görmesi gibi birçok problem otomatik dümenleme ile giderilebilmektedir (Derrick ve Bevly 2009).

Tarımdaki otomatik dümenleme sistemlerindeki gelişmeler sayesinde Dünya bu yöne doğru ilgisini arttırmıştır. Birçok araştırma ve geliştirme, tarım araçlarındaki otomatik kontroller üzerine odaklanmıştır. Önde gelen firmalar tarafından bu sistemler üretilmekte ve birçok ülke tarafından tarımsal işlerde otomatik dümenleme sistemleri kullanılmaktadır. Ülkemizde de tarla tarımında buğday, ayçiçeği, kanola, gibi ürünler yaygın olarak üretilmektedir. Gelişmiş ülkeler gibi ülkemizdeki tarımsal üreticilerin de tarımda verimi arttıran otomatik dümenleme sistemine sahip tarım araçlarını kullanması gerekmektedir. Ancak bu teknoloji konusunda ülkemizin dışa bağımlı olması nedeniyle yerli imkanlar ile geliştirilen tarım traktörlerinde kullanılabilecek bir otomatik dümenleme sistemine gereksinim duyulmaktadır.

Traktörün otomatik olarak dümenlenmesi ile hatlar paralel işlenebilmektedir. Hatların paralel işlenmesi diğer tarımsal işlerin de otomatik dümenleme teknolojisi ile yapılmasına olanak vermektedir. Örneğin iyi bir şekilde paralel ekimi yapılmış bir tarlada çapalama işlemleri de daha başarılı bir biçimde yapılabilecektir. Aynı zamanda otomatik dümenleme sistemleri traktörün dışında kendi yürür ilaçlama makinaları ve biçerdöverlerde de kullanılabilmektedir. Otomatik dümenleme teknolojisinin olumlu yanlarından bir tanesi de bu verilerin farklı işlemler için veri tabanı teşkil etmesidir. Tarla koordinatları, traktörün bir önceki işlemde gittiği rotalar kaydedilebilmekte ve diğer araçlarda bu bilgiler tekrar kullanılabilmektedir. Şekil 2'de hasat edilmiş bir tarlada biçerdöverin de traktörler gibi paralel ya da paralel olmayan bir rotada çalışabileceği görölmektedir.



Şekil 2. Paralel olmayan ve paralel hasat edilmiş tarla (Taylor 2008)

Paralel işlenmiş olan tarla sıraları bir sonraki işlemlerin de daha başarılı bir şekilde yapılmasını sağlayacaktır ve bu da işlemlerdeki verimliliği arttırarak hem ürün ve bu sayede de ekonomik kazancın artmasına neden olacaktır.

Hatların paralel işlenmesi aşağıdaki yararları sağlamaktadır (Türker 2009).

- Yakıttan %7
- Makine kullanımından % 10
- İş verimliliği %15 artar
- Üst üste ekimi, gübrelemeyi ve
- İlaçlamayı azaltır.
- Kontrollü trafik sağlar
- Sürücü stresini azaltır.

Tüm bunların yanında traktör ile iki kişinin yaptığı işleri tek kişi yapabilecektir bu da hem ekonomik olarak katkı sağlayacak aynı zamanda da başka yerlerde kullanılacak işgücünü alıkoymayacaktır. Örneğin gübre makinası ile çalışmada bir sürücü traktörü sürerken diğer işçi makinaya gübre taşır ancak traktör otomatik olduğu zaman tek kişi traktör durmaksızın gübreleme işlemini gerçekleştirebilecektir. Ekimde de aynı şekilde tohum ve gübre depolarını doldurmak için elemana ihtiyaç varken traktör otomatik yönlendirildiği zaman bir kişi traktör durmaksızın bu işi tamamlayabilecektir (Türker 2009).

Eğer tarımsal girdiler (gübre, ilaç, tohum) tarlanın değişik karakteristikleri ve istekleri dikkate alınmadan uygulanırsa hem üretim maliyeti artacaktır hem de çevre kirliliğine neden olabilecektir. Arazinin farklı istekleri olan bölgelerine farklı uygulamaların yapılması hassas tarımın temelini oluşturmaktadır.

Temelinde otomatik kontrolün de bulunduğu hassas tarımın yararları aşağıdaki gibi listelenmektedir (Türker 2009).

- Tohum ve Gübre maliyetinin düşürülmesi,
- Daha etkin toprak işleme (Toprak direnci, toprak tipi ve drenaj uygulamaları)
- İlaç ve kimyasalların maliyetinin azaltılması
- Üretim verimliliğini arttırmak
- Çevre kirliliğini azaltmak
- Kaliteli ürün verimi sağlamak
- Yönetim ve yetiştiricilik kararları için sürekli ve daha etkin bir bilgi akışını sağlamak
- Tarımsal kayıtlar ve veri tabanının oluşmasını sağlamak
- Enerji tutumluluğu sağlamak
- Toprak ve yeraltı sularını korumak
- Arazideki alet makine operasyonlarını kolaylaştırmak, sürücü üzerindeki yükü azaltmak
- Genetik ve biyo-teknolojik çalışmaların başarıya ulaşmasında son halkayı tamamlamak

Bu çalışmanın amacı; traktörler için otomatik dümenleme sistemi geliştirmektir ve bu geliştirilen sistemin traktörlere monte edilerek testlerinin gerçekleştirilmesidir. Geliştirilen otomatik dümenlemeli traktör ile toprak işleme, ekim, bakım gübreleme, ilaçlama gibi tarımsal işlemlerin çok daha başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Otomatik dümenleme sisteminin traktörün konumunu küresel konum belirleme sistemlerinden faydalanılarak belirlemesi ve bu konum bilgilerini işleyen bir elektronik kontrol ünitesinin verdiği komutlar sayesinde dümenlemeyi sağlayan elektro hidrolik valfler ile traktörün yönlendirilmesi sağlanmıştır.

Geliştirilen otomatik dümenlemeli traktör ile toprak işleme, ekim, bakım gübreleme, ilaçlama gibi tarımsal işlemlerin çok daha başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Çalışma sonunda geliştirilen otomatik dümenleme sistemi imal edilen her traktöre göre uyarlanabilecek ve o traktöre göre ayarları düzenlenebilecektir. Otomatik dümenleme sisteminin traktörün konumunu küresel konum belirleme sistemlerinden

faýdalanılarak belirlenmesi ve bu konum bilgilerini işleyen bir elektronik kontrol ünitesinin verdiği komutlar sayesinde dümenlemeyi sağlayan elektrohidrolik valfler ile traktörün yönlendirilmesi planlanmıştır.

Hassas tarım kapsamında daha az yakıt tüketimi, daha yüksek tarla verimi ve mekanizasyondaki iş başarısını traktörün yönlendirilmesini otomatik hale getirerek sürücüdün kaynaklanan hataları en aza indirmek amaçlanmaktadır. Bunun yanında traktörün otomatik yönlendirilmesi sürecindeki ortaya çıkacak olan teknoloji sektöründe Türkiye'yi Dünya'da önemli bir konuma getirecektir.

Ayrıca geliştirilen otomatik dümenleme sistemi aşağıdaki gibi traktörlerin ve ekipmanlarının etkin kullanım aşamalarına öncülük edecektir.

- Toprak işleme, ekim, bakım, gübreleme, ilaçlama ve taşıma gibi işlemlerin daha başarılı bir şekilde yapılmasına katkı sağlama
- Sistemin geliştirilmesinden sonra traktörlerin yeteneklerinin daha fazlasının otomatik hale getirilebilmesinin önünün açılabilmesi
- Otomatik dümenlemeli traktörler ile daha verimli çalışabilecek tarımsal ekipmanların geliştirilmesi
- Konum belirleme sistemlerinden yararlanılarak elde edilen verilerin kullanılmasıyla yapılan otomatik dümenleme yazılımlarının ve donanımların geliştirilerek farklı alanlarda kullanılmak üzere seçeneklerin sağlanması
- Elde edilecek bilgiler ile otomatik dümenlemenin iş makineleri, sivil araçlar ile askeri araç ve ekipmanlarda kullanılabilecek sistemlere alt yapı oluşturması.

Otomatik dümenlemenin amacı hassas tarım uygulamalarının ihtiyaç duyduğu mükemmel sürüşü gerçekleştirmektir. Benson ve ark. (2003a) yılında, operatörlerin araçlarının performans artışındaki en büyük engellerden biri olduğunu teyit etmişlerdir (Fitzpatrick ve ark. 1997). Operatörlerin birinci görevi arazi işlerini yüksek konsantrasyon ve yüksek kalitedeki sürüş ile yönetmektir (Jahns 1997, Van Zuydam 1999). Operasyon hızının artması ve daha büyük araçların kullanılması sürücünün dümenlemeye daha çok ilgi göstermesine neden olurken ekipman performansından da azalmaya neden olmaktadır . Yorgunluk özellikle gece yapılan hasat işlemlerinde önemli rol oynamaktadır. Yeni sensörler ve dümenleme sistemleri gece de tarımsal işlemleri gerçekleştirme olanağı sağlamaktadırlar (Wilson 2000). Otomatik dümenleme operatör yorgunluğunu düşürmede ve aracın pozisyonu hassaslığını geliştirmede potansiyele sahiptir (Gerrish ve ark. 1997). Araştırmalar gelişmiş bir navigasyon sisteminin arazide üretim maliyetinin % 10 a kadar düşürebileceğini

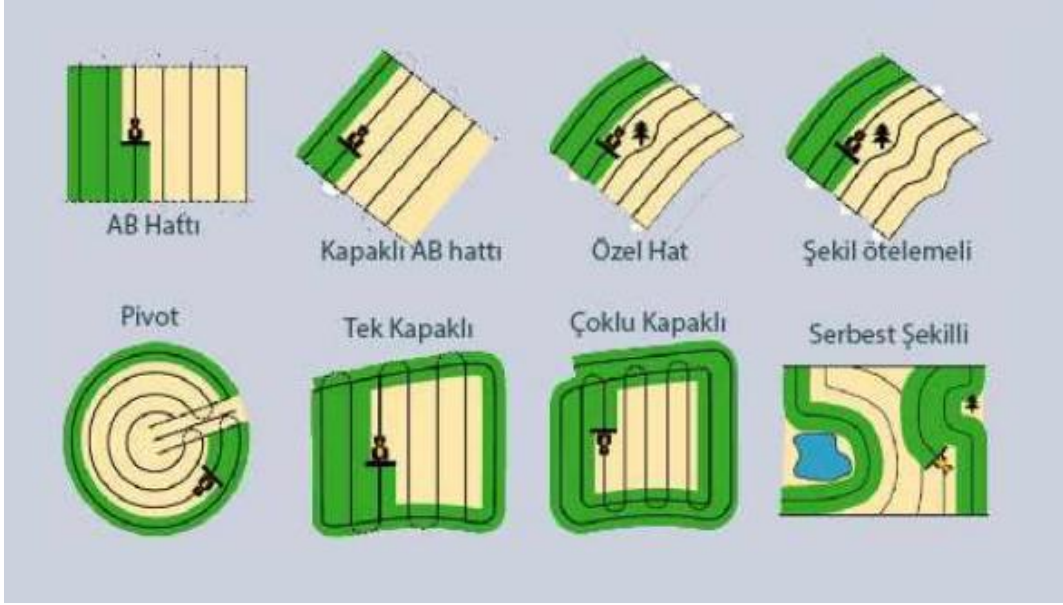
göstermiştir (Palmer ve Matheson 1988). Maliyetin azaltan ve üretimi arttıran sürüş tarımda yeni teknolojilerin yayılmasıyla birlikte sağlanmıştır. Maliyet ve üretim hedefleri teknolojik yeniliklerle verimliliği en üst düzeye çıkartmayı gerektirmektedir (Benson ve ark. 2003a).

Otomatik kontrol, tarımda giderek artan bir biçimde kullanılmaya başlamıştır. Otomatik kontrol içerisinde otomatik dümenleme de araştırmacıların oldukça ilgisini çekmektedir. Tarımsal uygulamalardaki otomatik dümenleme çalışmaları çiftçilerin yaygın olarak kullandığı alet ve makinelerin kontrolü ile ilgilenmektedir.

Otomatik dümenleme kontrolü aracın istenilen rotayı otomatik olarak takip etmesini hedefler. Bunun için dümenleme sistemi aracın durumunu saptayabilmeli, uygun dümenleme sinyalini oluşturabilmeli ve aracı sinyale göre yönlendirebilmelidir (Zhang ve ark. 2002). Özellikle geniş arazilerde sürücünden kaynaklanan tohum, ilaç veya gübrenin bazı bölümlerde üst üste uygulanması ya da arazinin boş bırakılması gibi olumsuz durumlar, otomatik dümenleme uygulamaları ile ortadan kaldırıldığında elde edilen kazanç daha da fazla olmaktadır.

Yarı otomatik dümenleme sistemi, manüel dümenlemeye göre bazı ek özellikleri de taşıyarak aynı yararları sağlamaktadır. Otomatik dümenleme sistemi uzun çalışma sürelerinde, yüksek hızlarda dahi sıraları sürücünün yapabildiğinden daha doğru olarak takip edebilmektedir. Ayrıca görüşün düşük olduğu zamanlarda, sıra üzerindeki ürünlerdeki çapalama, seyreltme vb. zor operasyonlarda sürücü üzerine düşen eforu azaltmaktadır (Connor 1997).

Tarımsal girdilerin etkin kullanılması gerekmektedir bu da ancak otomasyonu sağlanmış bir mekanizasyon ile mümkün olacaktır. Otomasyonu sağlanmış bir mekanizasyonda otomatik dümenlemesi sağlanmış traktörler de önemli yer tutmaktadır Bir sürücünün geleneksel yöntemler ile mevcut tarımsal arazileri daha etkin işlemesi her zaman mümkün olmayabilir. Otomatik dümenleme sistemleri sürücünün uygulamakta zorlanacağı tarımsal işlerde kolaylık sağlamaktadır. Araç içerisinde bulunan dokunmatik ekran gibi kontrol elemanları ile karmaşık rota tanımlamaları sisteme yüklenebilmektedir. Bu rotalar sadece paralel uygulamalar ile sınırlı değildir. Otomatik dümenleme sistemleri tarla şekline göre kavisli ya da pivot tipteki tarımsal uygulamalara da olanak sağlar. Şekil 3'de otomatik dümenleme sisteminin olanak sağladığı toprak işleme şekillerinin temsili bir şekli görülmektedir



Şekil 3. Otomatik dümenleme sistemi ile yapılabilen farklı toprak işleme rotaları (Anonim 2012)

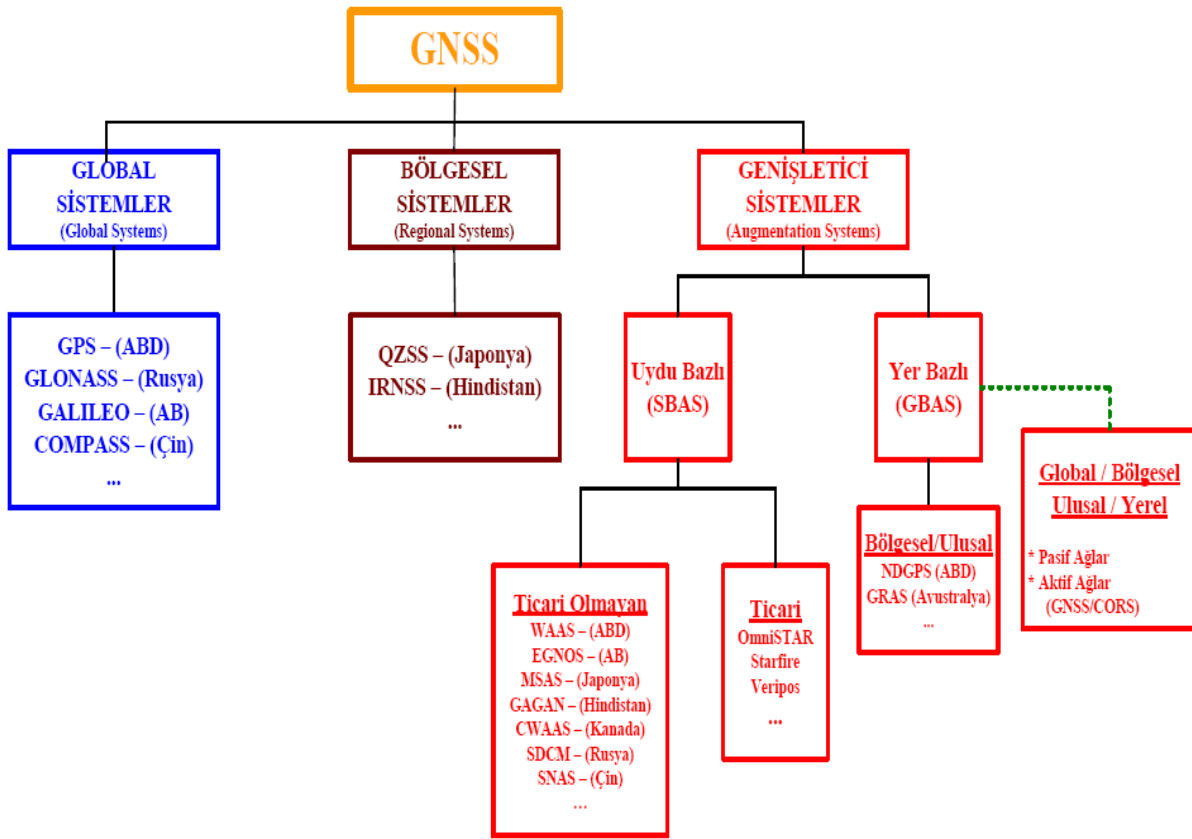
Genel olarak araçlarda kullanılan otomatik dümenleme sistemleri navigasyon cihazları, görüntü sensörleri, elektronik kontrol üniteleri, yazılımlar ve dümenleme birimi (silindir, açılı ölçekli ön aks) içerirler. Dümenleme sistemleri daha çok navigasyon yöntemine göre incelenirler.

Bu çalışmada otomatik dümenleme sistemi geliştirilirken konum verileri GNSS (özellikle GPS) ten alınmıştır. Çalışmalarda en hassas yöntem olan gerçek zamanlı kinematik-konum belirleme sistemi (RTK –GPS) verileri kullanılmıştır. Bu amaçla Türkiye RTK-GPS hizmeti veren CORS-TR dan abonelik karşılığında hizmet alınmıştır. Dümenleme sistemi olarak ise elektrohidrolik kontrollü silindri ön aks geliştirilmiştir. Çalışma esnasında yazılımlar bilgisayar ve elektronik kontrol ünitesinde kullanılmış ve test edilmiştir. Sistem laboratuvar ve tarlada test edilmiştir. Aşağıda GNSS ve dümenleme sistemleri hakkında bilgi verilmiştir.

1.1. Küresel Konum Belirleme Sistemleri

GNSS (Global Navigation Satellite Systems) Küresel uydu seyrüsefer (Navigasyon) sistemi, uydu seyrüsefer sistemleri için kullanılan bir terimdir. Küresel uydu seyrüsefer sistemleri aracılığıyla uzaydan yollanan radyo dalgalarıyla yeryüzünde sabit bir biçimde duran elektronik alıcılar buldukları noktanın ve yakın çevresinin enlem, boylam ve yüksekliğini ve bulunduğu noktada yerel saatin kaç olduğunu tam olarak hesaplayabilir.

Uydularla konum belirleme sistemleri denince akla Amerika Birleşik Devletlerinin GPS, Avrupa Birliğinin GALILEO ve Rusların GLONASS uyduları gelmektedir. Bütün gelişmiş ülkeler artık yaşamın hemen her alanında bu uydu ölçülerini kullanmaktadırlar. Bu üç Uydu sistemi GNSS olarak isimlendirilmektedir. Çin'e ait COMPASS adlı konum belirleme sistemi de devreye girmesi beklenmektedir. Bunlara ek olarak Hindistan'ın başlatmış olduğu programda IRNSS adlı sistem başlatılmıştır. GNSS' in içerisinde hali hazırda bitmiş(GPS), kısmen kullanılan (Glonass, Compass) ve hazırlık aşamasında olanlar (Galileo) bulunmaktadır. Ayrıca yardımcı ve ya ticari sistemler de bulunmaktadır. Şekil 4'de GNSS adı altında yer alan sistemlerin şeması görülmektedir (Anonim 2013a).



Şekil 4. GNSS içerisinde kullanılan konum belirleme sistemleri (Öcalan 2011)

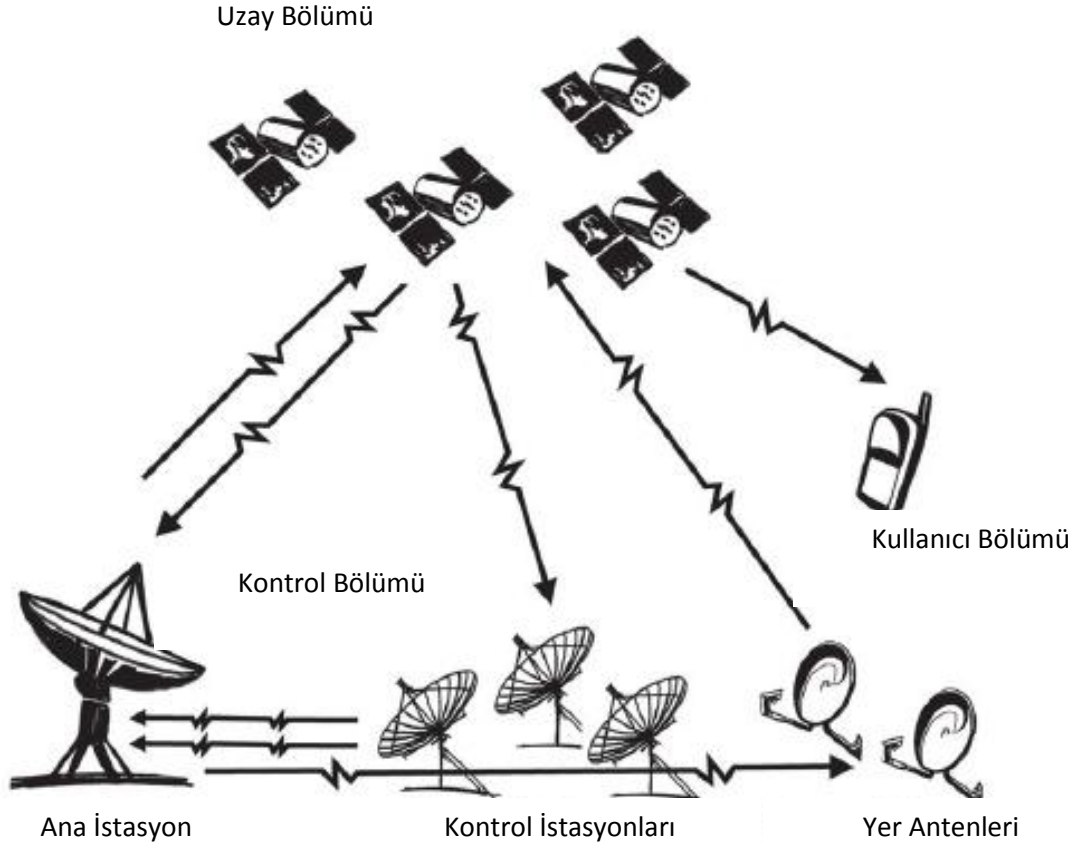
Küresel konum belirleme sistemi denildiğinde ilk olarak akla GPS gelmektedir. GPS aynı zamanda en yaygın olarak kullanılan öncü sistemdir. Diğer sistemlerin de çalışma ilkesi ana prensipler olarak aynıdır. Fakat kullanılan uydu sayıları, istasyonlar ve ya teknolojiler farklılık gösterebilmektedir.

1.1.1. GPS (Global Positioning System)

İngilizcesi Global Positioning Systemin baş harflerinden oluşan GPS'in Türkçe karşılığı Küresel Konum Belirleme Sistemi'dir. ABD savunma dairesi tarafından geliştirilmiştir. Düzenli olarak kodlanmış bilgi yollayan bir uydu ağıdır ve uydularla aramızdaki mesafeyi ölçerek dünya üzerindeki kesin yerimizi tespit etmeyi mümkün kılar (MEGEP 2011).

1.1.2. GPS'in bölümleri

GPS sistemi; uzay bölümü (uydular), kontrol bölümü (yer istasyonları) ve kullanıcı bölümü (GPS alıcısı) olmak üzere üç ana kısımdan oluşur (Şekil 5).

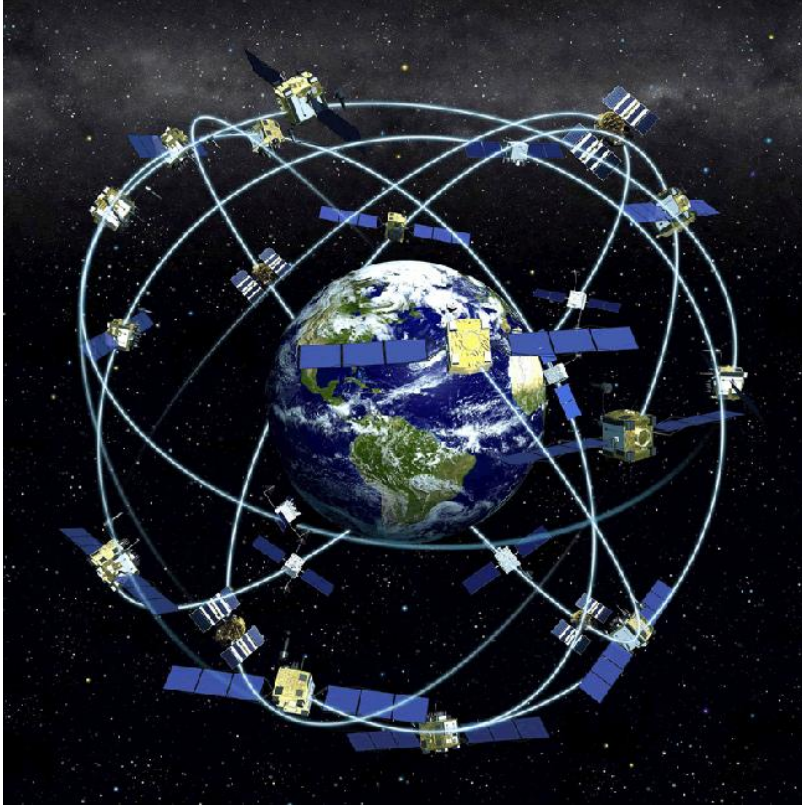


Şekil 5. GPS'in bölümleri (Anonim 2014d)

Uzay bölümü (uydular)

Bu birim Dünya yüzeyinden yaklaşık 20000 km uzaklıkta her bir yörüngeye 4 uydu düşecek şekilde 6 yörüngede toplam 24 adet NAVSTAR (Navigation by Satellite Timing and Ranging) uydusunda oluşur. Her bir uydu günde iki kez Dünya'nın çevresini dolandır (Şekil 6).

Uyduların bu şekilde yerleşimi günün her saatinde, Dünya'nın her yerinde en az 4 uydunun, alıcının görüş alanı içerisinde bulunmasına olanak sağlar (Kirişçi ve ark. 1999).



Şekil 6. Uydü yörüngeleri (Anonim 2014e).

Kontrol bölümü (yer istasyonları)

Uyduların doğru çalışıp çalışmadığını sürekli kontrol eden yer istasyonlarından oluşur. Dünya üzerinde 5 adet takip istasyonu (Ascencion, Hawaii, Colorado Springs, Kwajalein, Diego Garcia), 1 adet ana kumanda istasyonu ve 3 adet uydulara veri transmisyonu yapan istasyon vardır. Takip istasyonlarından alınan bilgiler ana kumanda merkezine gönderilir, burada uyduların yörüngeleri ve saat düzeltme bilgileri hesaplanır ve ilgili uydulara mesaj olarak gönderilir (MEGEP 2011).

Kullanıcı bölümü (GPS alıcısı)

Sonsuz sayıda GPS alıcılarından oluşur. GPS alıcısı iki ve ya 3 boyutlu konum belirlemek için eş zamanlı olarak ve ya kısa zaman aralıklarıyla en az 3 veya 4 uydudan sinyal alır (Kirişçi ve ark. 1999).

1.1.3.GPS'in Çalışma Şekli

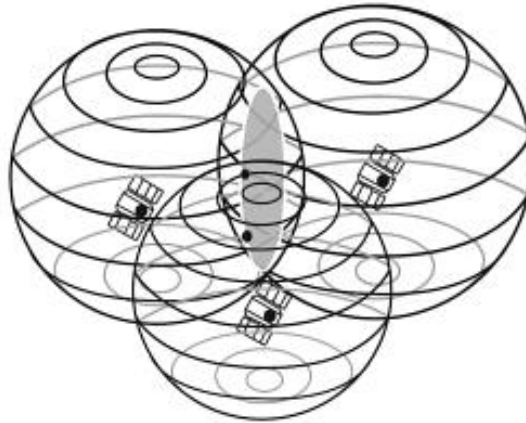
GPS'in çalışma ilkesinin temeli; belli sayıda (3 ve ya 4) uydudan sinyal alınması, bu uyduların uzaydaki yerinin tam olarak bilinmesi ve alıcının anteninin her bir uyduya olan mesafesinin hesaplanmasına dayanmaktadır. Alıcının uyduya ne kadar uzakta olduğunu hesaplayabilmek için uydudan alıcıya gönderilen sinyalin ne kadar sürede ulaştığı bilinmelidir ki bu da alıcının içersinde bulunan hassas bir saat ile belirlenir. Sinyal hızı ile sinyalin alıcıya ulaşım süresinin çarpımı, çok temel bir eşitlik olan aşağıdaki sabit hızlı hareket eşitliği kullanılarak uydu ile üzerinde bulunan nesne arasındaki uzaklığı verir.

$$\text{Uzaklık (Sinyalin aldığı yol)} = (\text{Sinyal hızı}) \cdot (\text{Süre})$$

$$\text{Birim Analizi; km} = (\text{km/h}) \cdot (\text{s})$$

Örneğin uydu sinyali ile alıcı sinyali arasındaki zaman farkı 0.07 saniye ise alıcının uyduya olan uzaklığı 21000 km dir. Alıcının uygun bir doğruluk değerine sahip olabilmesi için; zaman farkı ölçümünün çok hassas olması gerekir. Örneğin 1 μs (10^{-6} s)' lik bir hata konum belirlemede 300 m'lik bir hataya sebep olur. Bu sebeple GPS alıcılarında oldukça hassas zamanlama sistemleri kullanılır (Keskin ve Keskin 2012).

Bir uydu çevresel bir sinyal yaymaktadır. İki uydunun çevresel sinyallerinin kesiştirilmesi durumunda eşmerkezli bir yüzey oluşur. Kullanıcı bu yüzeyde bir yerdedir. Şekil 7. de 3. Bir uydunun sinyalinin kesiştirilmesi görülmektedir.



Şekil 7. 3.Konum uydusunun sinyallerinin kesişme durumu (Kaplan ve Hegarty 2006).

Bu üçüncü küre daha önceki iki uydu küresinin oluşturduğu gölgelenmiş yüzeyi iki noktada keser. Sadece 1 nokta gerçek konumu göstermektedir. Kullanıcı yerdeyse alçaktaki

nokta seçilmektedir. Eğer uçak gibi daha yukarıdaki bir noktada ise üst nokta değerlendirilmektedir (Kaplan ve Hegarty 2006).

GPS ile konum belirlemede doğruluğu arttırmak için konum belirleme sırasında oluşan hataları ortadan kaldıran hata düzeltme yöntemleri kullanılır. Bu şekilde çalışan sistemlere hata düzeltmeli küresel konum belirleme sistemi (Differencial Global Positioning System, DGPS) adı verilir. Hata düzeltme sistemleri uydu esaslı (SBAS) ve yer esaslı sistemler olmak üzere ikiye ayrılır. Yer esaslı sistemler 3 gruba ayrılır

- a) Yerel AM hata düzeltme istasyonları
- b) Yerel FM hata düzeltme istasyonları
- c) Ek alıcılı (Gerçek zamanlı Kinematik – RTK) sistemler
- d) Sürekli çalışan referans istasyonları (Continuously Operating Reference Stations-CORS) (Keskin ve Keskin 2012).

Bu doktora tezi için yapılan projede ülkemizde geliştirilmiş olan sürekli çalışan referans istasyonları sistemi olan CORS-TR kullanılmıştır.

1.1.4 CORS-TR

CORS-TR projesinde aktif CORS yaklaşımı benimsenmiştir. Burada tüm ülkeyi kapsayan CORS istasyonları bir kontrol merkezine bağlı olup istasyonların konumları ve atmosferik düzeltmeler sürekli hesaplanmaktadır. Böylece atmosfer ve konum düzeltmeleri ülke genelinde modellenenilmektedir. Bunun sonucunda saatler gerektiren GNSS ölçü süreleri, dakikalara ve hatta saniyelere inmekte, baz uzunlukları da yaklaşık 10 misli büyümektedir.

CORS sisteminde tüm ülkeyi kaplayan koordinatları bilinen referans istasyonlarına yerleştirilen GNSS alıcılarının gözlemleri, bir kontrol merkezine ADSL ve a GPRS/EDGE üzerinden iletilmekte; kontrol merkezinde atmosfer ve diğer hatalar modellenerek RTK/DGPS düzeltmeleri gerçek zamanda hesaplanıp, RTCM formatında GPRS/EDGE üzerinden konumlama için gezici GNSS alıcılarına gönderilmektedir (Eren ve Uzel 2008).

1.2. Dümenleme Sistemleri

Otomatik dümenleme sistemlerinin çalışması araca ait olan yürütme ve yönlendirme sistemi üzerinden olmaktadır. Traktörlerde önceki zamanlarda mekanik dümenleme en çok kullanılan dümenleme tipi olmasına karşın son zamanlarda hidrolik takviyeli ve hidrolik direksiyonlar yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yürütme yönlendirme sistemleri aşağıdaki gibi özetlenmektedir.

1.2.1. Mekanik dümenleme

Ön tekerlekler direksiyon kovanında dönebilecek şekilde yataklandırılmışlardır. Her bir direksiyon füze kovanına da bir kısa rot bağlanmıştır. Her iki kısa rotta bir uzun rotla birbirlerine bağlanılmışlardır. Bu suretle bir tekerlekteki dümenleme hareketi otomatik olarak diğer tekerleğe de aktarılmış olur. Sürücü direksiyon simidi ve direksiyon milini döndürdüğünde meydana gelen dairesel hareketin yönü direksiyon dişli kutusunda değiştirilerek çolak rota iletilir istikamet çubuğu da çolak rottaki bu dairesel hareketi deve boynunu ileri-geri hareket ettirebilmek için doğrusal harekete çevirir (Engürülü ve ark. 2005).

1.2.2. Hidrolik takviyeli dümenleme

Hidrolik takviyeli dümenleme; mekanik dümenleme parçalarının tamamına hidrolik deposu, hidrolik pompası, kumanda supabı ve hidrolik silindirin ilave edilmesiyle oluşur. Hidrolik sistem destekleyici etki yapar ve mekanik dümenleme gerçekleşir (Engürülü ve ark. 2005).

1.2.3. Hidrostatik dümenleme

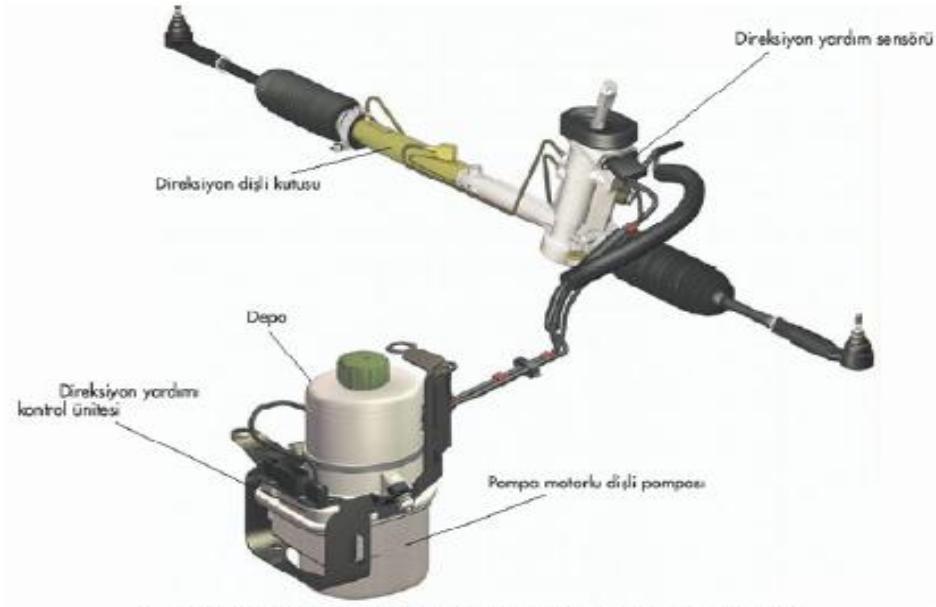
Hidrostatik direksiyon sistemleri, direksiyon simidi ile direksiyon tekerleklerinin doğru yönlendirilmesini sağlayan direksiyon mekanizması arasında mekanik bağlantının olmadığı tamamen hidrolik tahrikli dümenleme sistemleridir. Traktör direksiyon sistemlerinin gelişim süreci içinde, 1910'lu yıllardan başlayarak tamamen mekanik tahrikli direksiyon sistemlerinden, 1950 ve 60'lı yıllarda hidrolik yardımcı direksiyon sistemlerine ve günümüzde hidrostatik tahrikli direksiyon sistemlerine geçilmiştir. Hidrostatik direksiyon sistemi temel olarak, genelde motordan tahrikli bir direksiyon pompası, direksiyon simidine akuple bir direksiyon valfi ve üzerinde direksiyon aktüatörünün (genelde hidrolik silindir ya da silindirler) de yer aldığı direksiyon mekanizmasından oluşur (Dağdeviren ve Kullukçu 2001). Şekil 8'de hidrostatik bir dümenleme sistemi görülmektedir.



Şekil 8. Hidrostatik dümenleme sistemine sahip traktör (Anonim 2014f)

1.2.4. Elektrik Yardımlı Direksiyon Sistemleri

Hidrolik direksiyon pompaları bazı durumlarda yetersiz kalmaktadır. Direksiyonun pek az bir takviye gereksinimi olduğu bir durumda dahi pompa bütün hızıyla çalışmaktadır. En çok takviye düşük hızlarda ve park esnasındaki manevralarda gerekirken, motor düşük devirde çalışacağından pompa da yavaş dönmektedir. Çünkü pompa hareketini motordan almaktadır. Bu sorunun çözümü için geliştirilen sistemde direksiyon sisteminin elektronik kontrollü bir elektrik motoruyla çalıştırılmasıdır (Şekil 9). Sistem sadece yakıt ekonomisini geliştirmekle kalmaz aynı zamanda, yerden tasarruf sağlamakta, gürültüye neden olabilecek kayış aksamını ortadan kaldırmakta direksiyon tepkisini geliştirmekte ve manevraları seri hale getirmektedir (MEGEP 2007).



Şekil 9. Elektrik yardımlı direksiyon sistemin ana parçaları (MEGEP 2007a)

1.2.5.Belden Kırmalı Dümenleme

Tanımlanmış dümenleme mekanizma bağlantıları Şekil 10'da görüldüğü üzere aracın ortasına monte edilmiştir. Araç, tanımlanmış bağlantılarla birleştirilmiş iki kısma ayrılmıştır. Bu iki kısım aracın ortasında bulunan bir dikey menteşe ile birleştirilir ve bir veya iki adet hidrolik silindir ile ön ve arka kısmın açısı değiştirilir (Karaman 2007).



Şekil 10. Belden kırmalı dümenleme Sistemi (Anonim 2013c)

1.3. Ön Düzen Geometrisi

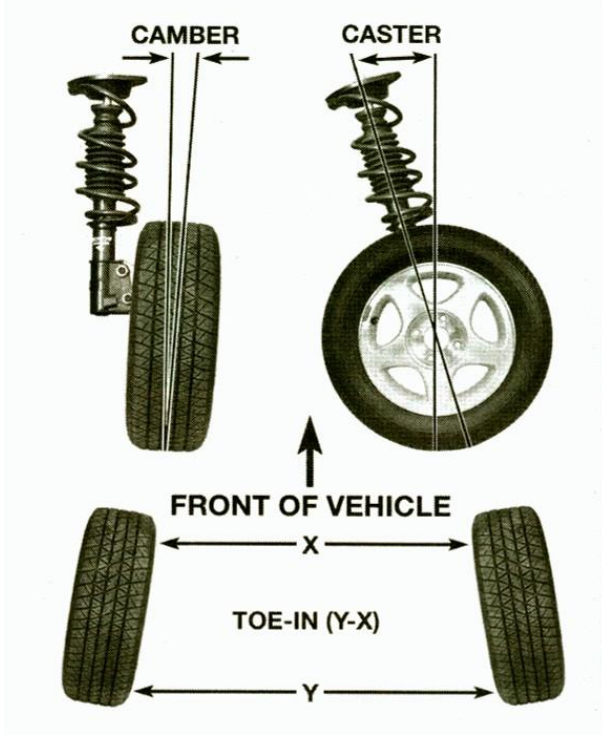
Ön düzen geometrisi, ön tekerleklerin, süspansiyon ve direksiyon parçalarının birbiriyle yolla ve sürüş yönüyle olan açısal ilişkileri olarak tanımlanır. Bu parçaların gövde veya şasiye birleştirilmelerinden sonra geometrik açı ve boyutlarının ayarlanması da ön düzen ayarı olarak tanımlanır (MEGEP 2007b).

Kamber açısı : Kamber açısı tekerlek merkez düzlemi ile yola dik olan düzlem arasında kalan açıdır. Negatif kamber tekerleğin üst tarafının içe pozitif kamber açısında ise dışa dönüktür. Günümüzde negatif, pozitif ve sıfır kamber açıları kullanılabilir.

Kaster açısı : Dümenleme eksenini ile dikey düzlem arasında kalan açıdır. Pozitif kaster her zaman tercih edilmektedir. Dümenleme doğrusunun tekerlek açısının önüne kayması tekerleğe kendini merkeze toplama etkisi yaratır.

Toe açısı : Tekerlek merkez düzlemi ve aracın boylamsal yöndeki merkez çizgisi arasındaki açıdır. Toe-in tekerleklerin ön taraflarının içe dönük olması, toe-out ise dışa dönük

olması durumudur (Gyllendahl ve Tran 2012). Şekil 11’de kamber, kaster ve toe açıları görülmektedir.



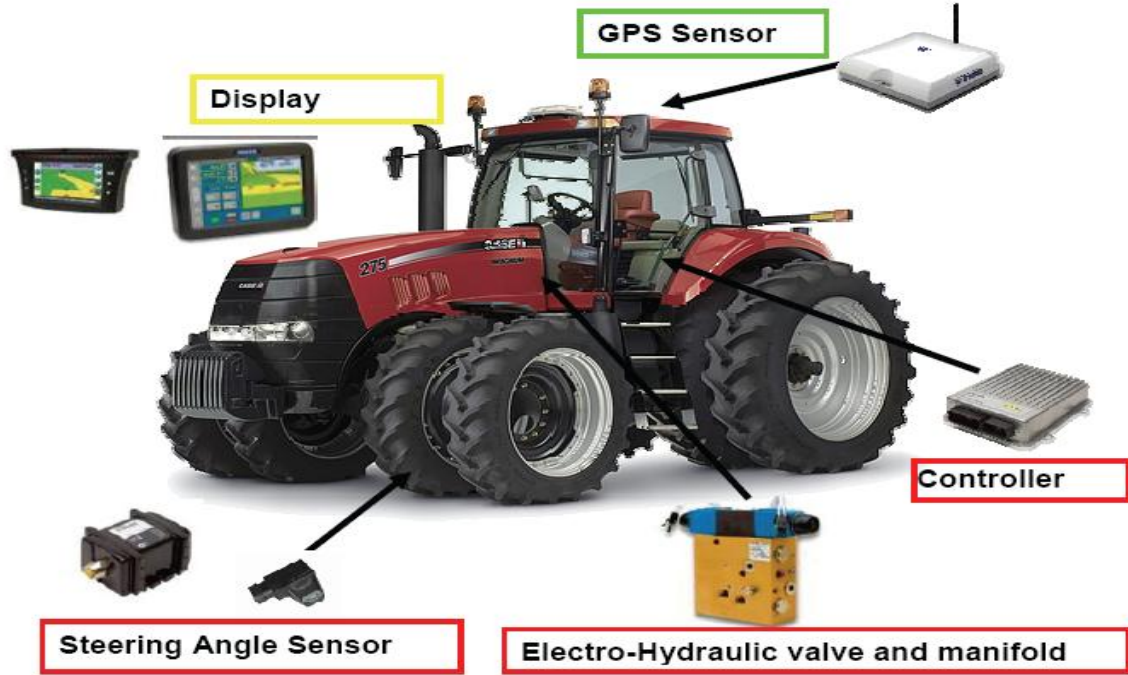
Şekil 11. Kamber, kaster ve toe açılarının tekerlekler üzerinde görünüşü (Anonim 2014g)

King-Pin Açısı: King-pin eksenini ile dik düzlem arasındaki açıdır. Bu açı tekerleğin dümenlenmesi esnasında yuvarlanma yarıçapının küçük olmasını sağlar (Keçecioglu ve Gülsoylu 2005).

Toplam Açı: Kamber ve King-pim açılarının toplamıdır. Toplam açı tekerlek eksenini ile King-pim ekseninin kesişme noktasının yerini belirlemek bakımından önemlidir. (MEGEP 2007b).

1.4.GPS Esaslı Dümenleme Sistemleri

GPS esaslı dümenleme sistemleri yarı otomatik ve tam otomatik sistemler olarak ikiye ayrılabilir. Şekil 12’de otomatik dümenleme sistemlerinin ana parçalarını göstermektedir.



Şekil 12. Otomatik dümenleme sistemlerinin ana parçaları (Herauld ve Lange 2009)

1.4.1.Yarı otomatik dümenleme ve Lightbar

Yarı otomatik sistemler genellikle geçiş yollarındaki sapmayı gösteren ve birinci dümenleme çizgileri, istenilen geçiş sürüş aralıkları gibi sürücü girdilerini alan bir lightbar ya da monitör GPS alıcısı ve geçiş rotalarındaki dümenleme çizgisine göre sapmayı hesaplayan yol planlama algoritmalarını içermektedir.

Araç ilerlerken sürücü dümenlemeyi, görüntülenen geçiş rotası sapmalarını minimize etmek için manüel olarak gerçekleştirir. Geçiş rotaları sapmalarını gösteren bir dizi led lambadan oluşmuş olan görüntü cihazına genellikle lightbar adı verilmektedir (Şekil 13). İlk sistemler görece basit yönlendirme desenleri, tipik ve düz paralel hatlar ile uyarlanabilir eğriler olarak ortaya çıkmışlardır. Zamanla yarı otomatik dümenleme sistemlerindeki sofistike gelişmeler ve yüksek son modeller LCD, 3D görüntü modları ek kayıt, özellik işaretleme ve diğer gelişmiş haritalama fonksiyonlarını içermektedirler.



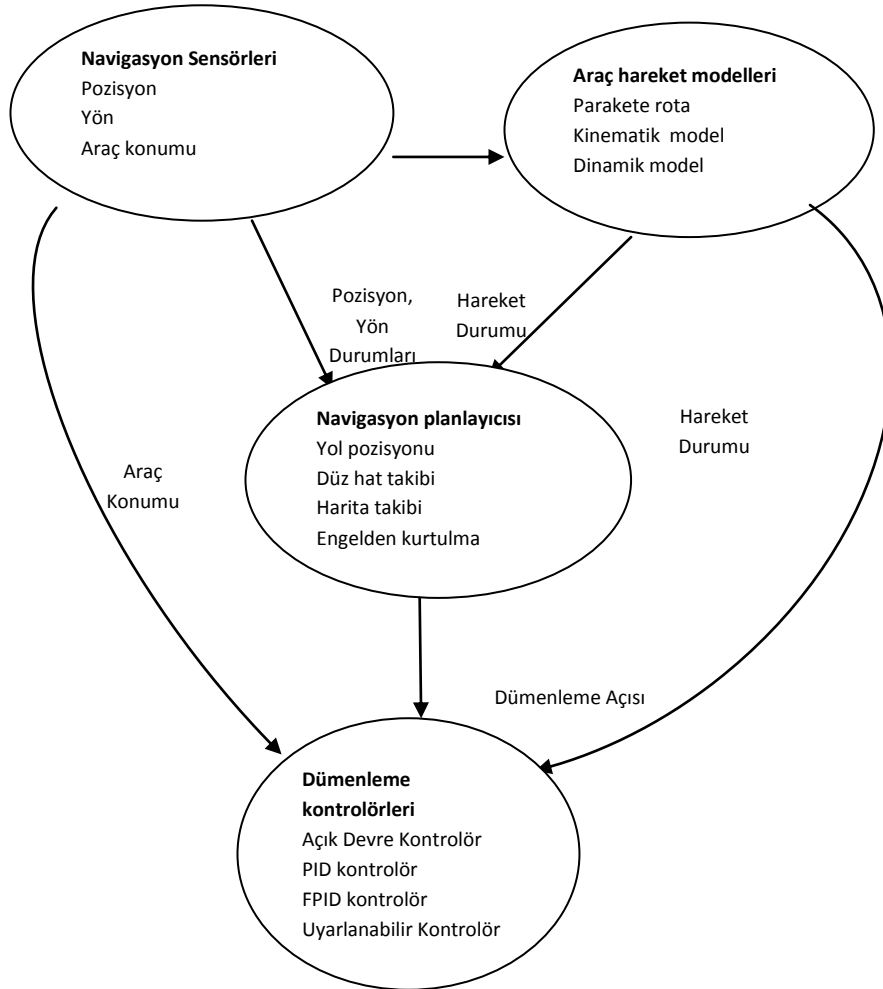
Şekil 13. Lightbar (Herauld ve Lange 2009)

Yarı otomatik dümenleme sisteminin yararları aşağıdaki gibidir:

- Kurulumu çok hızlıdır. GPS esaslı dümenlemede hızlı kurulumu gerektirecek birçok neden vardır.
- Atlamaları ve üst üste bindirmeleri azaltır.
- Bir önceki teknolojilere göre (sıra markörleri ve köpük markörleri) daha doğru, daha ucuz ve daha güvenilirdir. Ek olarak yatırımın daha yüksek bir şekilde geri dönmesi amacıyla GPS lightbarları bir araçtan diğerine aktarılabilir.
- Gece ve düşük görüş koşullarında doğrulukta bozulma olmadan operasyona imkan sağlar.
- Kararlı düz dümenlemeye olanak verir (Herauld ve Lange 2009).

1.4.2. Tam otomatik dümenleme sistemleri

Tam otomatik dümenleme sistemleri ekipmanlara göre farklı metotlar ile tasarlanmaktadır. Otomatik bir dümenleme sisteminin elemanları şekil 14'teki gibidir.



Şekil 14. Tarımsal araçlardaki otomasyon sistemlerinin basit elemanları (Reid ve ark. 2000)

Otomatik dümenleme sistemlerinin sınıflandırılmaları farklı literatürlerde aşağıdaki gibi de sınıflandırılabilir.

Sensörler: görüntü esaslı, navigasyon sensörleri, destek sensörleri (Radarlar, ultrasonik sensörler, açı sensörleri, pozisyon sensörleri v.s.).

Araç Hareket Modelleri: Geometrik araç modelleri, Stanley Metodu, kinematik model, dinamik model (Snider 2009), Parakete rota modeli (Reid ve ark. 2000) .

Navigasyon planlayıcısı: Yol pozisyonu, Düz hat takibi, Harita takibi, Engelden kurtulma (Reid ve ark. 2000) , Navigasyon hatası, bağlantı hatası (Mejnertsen ve Nielsen 2006), bağlı olan ekipmana göre rota tanımlama ve iş planlama.

Dümenleme Kontrolörleri: Açık Devre Kontrolör, PID kontrolör, FPID kontrolör, Uyarlanabilir Kontrolör (Reid ve Ark. 2000), bulanık mantık kontrolörleri (Wan ve Liu 2008).

Elektronik Kontrol Üniteleri: PIC kontrolörleri, basit elektronik devreler, PC esaslı (Nagasaka ve ark. 2009), mikroişlemciler, özel tasarımı tarla bilgisayarları.

Dümenleme elemanları: Step motorlar, servo motorlar ve elektro hidrolik kontrol üniteleri.

Tam otomatik sistemle yarı otomatik sistemin çalışması esası neredeyse aynıdır. Farklı olarak led monitörler yerine dümenleme elemanları kullanılmaktadır. Tekerleklerin nereye ne kadar döndürüleceği harita veya göreve bağlı olarak değerlendirilmiş sensör sinyallerine göre kararlaştırılır.

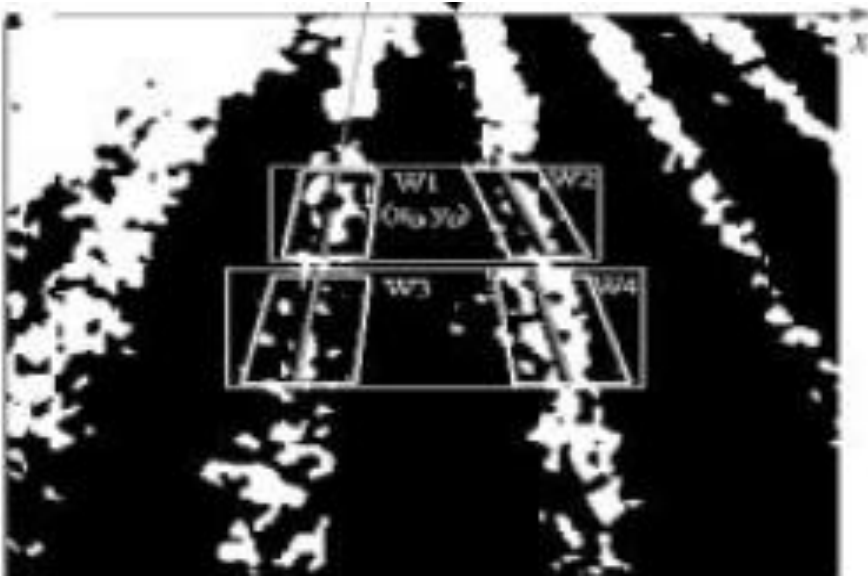
Tam otomatik dümenleme sisteminin yararları aşağıdaki gibidir:

- Doğruluk artar. Sürücünden kaynaklanan kayıplar aracın bir kontrolör ile sürülmesi sayesinde azaltılır, yüksek kaliteli sistemlerde azaltılmış kayıp 2,5 cm den daha azdır.
- Atlamalar ve üst üste bindirmeler azalır. Yüksek doğruluklu otomatik dümenleme sistemlerinin kullanılmasıyla tarla üzerindeki geçişlerin %5 - % 10 arasında azaltılması kullanıcılar için yaygınlaşmıştır. Bunun sonucunda her tarla operasyonunda kimyasallar yakıt, zaman ve makine amortismanından kazanç sağlanır.
- Sürücülerin belirli sürüş özellikleri performansı etkilemez. Tüm sürücüler artık en iyi sonuçları üretme yeteneğine sahiptirler. Sistemin yararları daha çok önceki zamanlardaki doğruluklarda sürüş gerçekleştiremeyen yaşlı sürücüler tarafından daha çok sevilmiştir.
- Etkin bir şekilde kullanılmak üzere RTK gibi yüksek hassasiyetli GPS doğrulaması sağlar.
- Yüksek doğruluk aynı kalmak şartıyla iş hızında artış sağlanır. Örnek olarak ürün sıraları arasında bitki boyunun toprağın görülmesine engel olacak kadar yüksek olması durumunda bile ürün hasarı riski olmadan pülverizatörü yüksek hızlarda sürmek mümkündür.
- Önemli görevlere konsantrasyonu sağlar. Sürüşe ihtiyacın giderilmesi ile birlikte sürücüler arkadaki ekipman ile yapılan daha karmaşık işlemlere yoğunlaşabilir.
- Yorgunluk azaltılır. Farklı araçların ve ekipmanların operasyonlarını kontrol etmek ve aynı zamanda yüksek doğrulukta sürüş gerçekleştirmek kişiyi bitkin düşürebilir. Otomatik dümenleme sistemine sahip olmak sürücünün yorgunluğunu azaltan sürüşü devralır.

- Araçlardan yararlanmayı artırır. Bu artmış verimlilik azaltılmış olan atlama ve üst üste bindirmeler, daha az yorgunluk ile daha yüksek operasyon hızları ve gece iş yapabilme yeteneğinden kaynaklanmaktadır. Daha efektif ve hızlı çalışmayla bir çiftçi aynı sayıdaki araçla daha çok iş yapabilir. Diğer bir yarar da tarımsal işlerdeki daha doğru zamanlamadır. Örnek olarak; yağmurun yaklaştığını bilen bir çiftçi işleri bitirmek için gece de çalışmaya karar verebilir ve yağmur gelmeden işlerini bitirebilir.
- Şerit sürme, sıfır sürüm, damla sulama, karışık ürün tarımı, kontrollü trafik ve tohum ile kimyasalların reçeteli uygulamaları gibi yeni ziraat uygulamalarına olanak sağlar (Herauld ve Lange 2009).

1.5. Görüntü Esaslı Otomatik Dümenleme Sistemleri

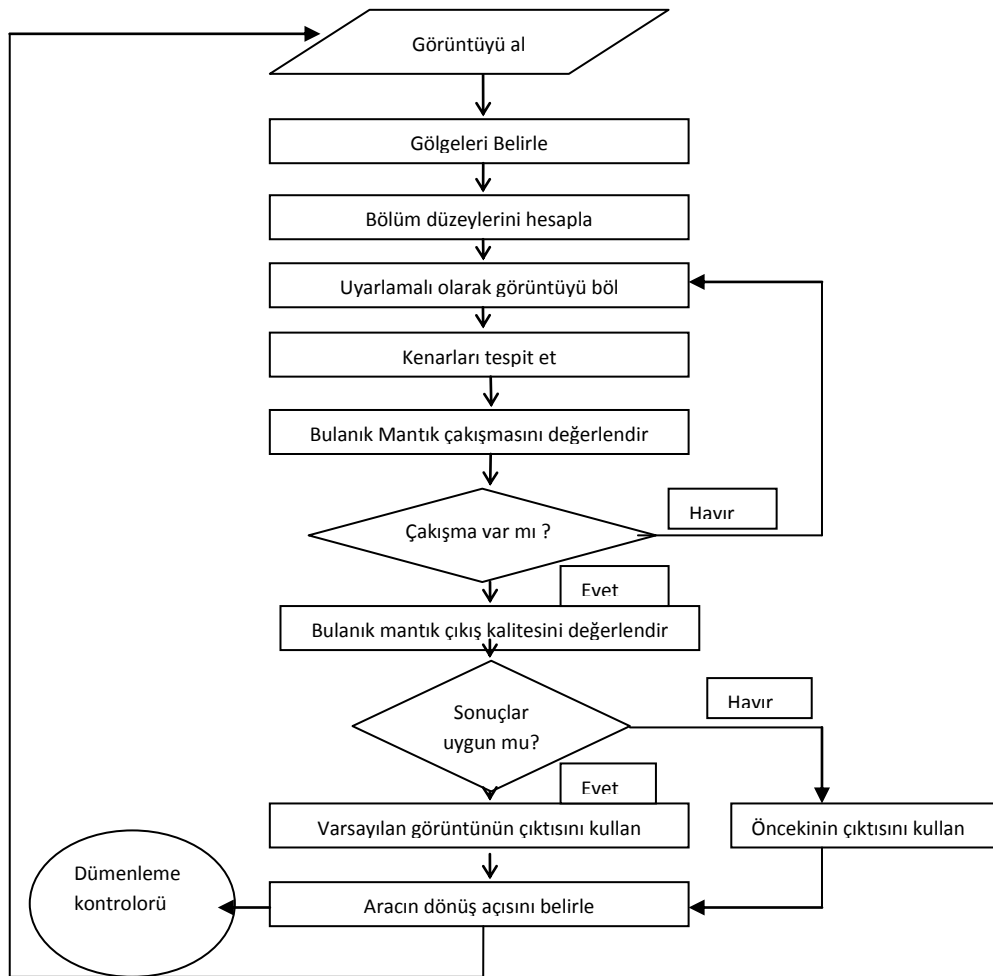
Görüntü alıcı üniteler aracın üzerine yerleştirilen sensörler ile aracın göreceli pozisyonunu ve rotasını ölçerler. Görüntü esaslı algılamanın birçok yönü bulunmaktadır. Dümenleme bilgisini saptamak için farklı tiplerdeki sensör yöntemleri seçilebilir. Dümenleme bilgisinde kullanılan sensörün aracın üzerindeki konumu görüntü sensörü, araç ve görüntüdeki tarla ile geometrik olarak ilişkilidir. Şekil 15’de buna bir örnek gösterilmektedir. Araştırmacılar dümenleme doğrultusunu saptamada görüntü sensörleri kullanarak bitki sıralarından, toprak işleme izlerinden ve hasat edilmiş ürünün kenarlarından faydalanmışlardır. Dümenleme bilgisinin ortaya çıkarılması için görüntü işlemenin değişik metotları incelenmiştir. İşlenen görüntüler araç için dümenleme sinyalleri oluşturmak üzere çıktı sinyalleri üretirler (Li ve ark. 2009).



Şekil 15. Parçalara ayrılmış ikili görüntü yoluyla sıra tespiti (Li ve ark. 2009)

Araç ekipmanları grubu sensörler, bilgisayarlar, dümenleme kontrolörleri ve step motorlar v.s. içermektedirler. İşaretleme yapan sensör bilgisayara sinyali iletir. Bilgisayar aracın sapma açısını ve yatay olarak sapmasını aynı zamanda bunların gerçek zamanlı değerlerini ön ve arka sensörleri baz alarak hesaplayabilir. Aracın hızı ve dümenleme açısı da ayrıca an ve an ölçülebilmektedir. Tasarlanmış bilgisayar programı bilgisayarın step motora bağlı olan motor sürücüsünü hareketlendirmesine ve aracın çizgi boyunca sabit olarak kalmasına olanak verir (Chang 2003).

Benson ve ark. (2003b) biçerdöveri dümenlemek için ürünün kesim kenarının yanal pozisyonunu baz alarak görüntü esaslı bir dümenleme algoritması geliştirmişlerdir. Algoritma, kabinin üzerine yerleştirilmiş kesilen ve kesilmeyen ürünün yukarısında bulunan birer kamera tarafından toplanan görüntüleri kullanmaktadır. Bu algoritma mısır hasadı için hem laboratuvar hem de tarla koşullarında test edilmiştir. Görüntü esaslı ürün kenarını tespit eden bu algoritmanın akış diyagramı şekil 16'da ki gibidir.



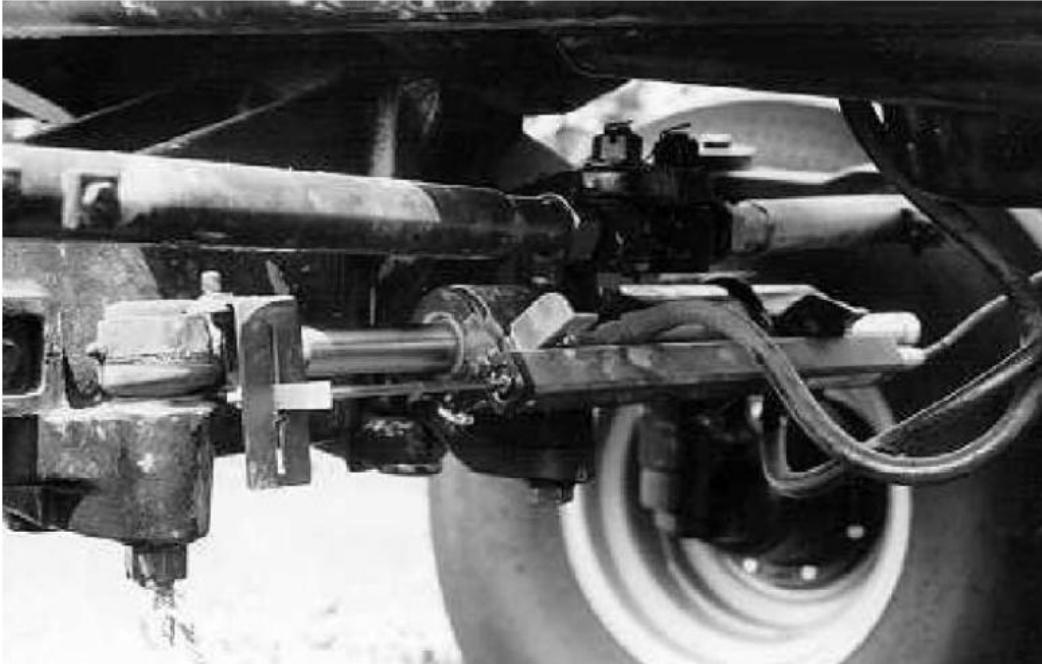
Şekil 16. Yüksekçe monte edilmiş kameranın algoritması için akış diyagramı (Benson ve ark. 2003b)

1.6.Otomatik Dümenleme Elemanları

Tarım araçları genellikle farklı arazi tipleri üzerinde hatta özellikleri asfalttan süngerimsi humuslu toprağa kadar beklenmedik bir şekilde değişen tarlalarda çalışırlar. Otomatik dümenleme durumunda dümenleme kontrolörleri, iş bölgesindeki ekipman, hız, lastik kenarındaki sertlik, yer koşulları ve dümenleme dinamiklerini etkileyen diğer faktörlerdeki varyasyonlara uygun dümenleme etkisiyle yanıt verebilmelidir. Sonuç olarak, tarım araçları için direksiyon kontrolörü tasarımı zor bir sorundur. En modern tarım araçları hidrolik dümenleme sistemlerinin bazı formlarını kullanmaktadırlar ve son dönemlerde otomatik dümenleme kontrolörleri üzerindeki bazı geliştirmeler arazi koşulları ve araç durumu (hız ve/veya ivme) gibi araç dinamikleri dikkate alınarak mevcut hidrolik sistem üzerinde modifikasyonları içermektedir. PID, FPID, ve bulanık mantık (FL) içeren çeşitli dümenleme kontrolörleri geliştirilmiş ve dümenleme sistemlerine monte edilmiştir.

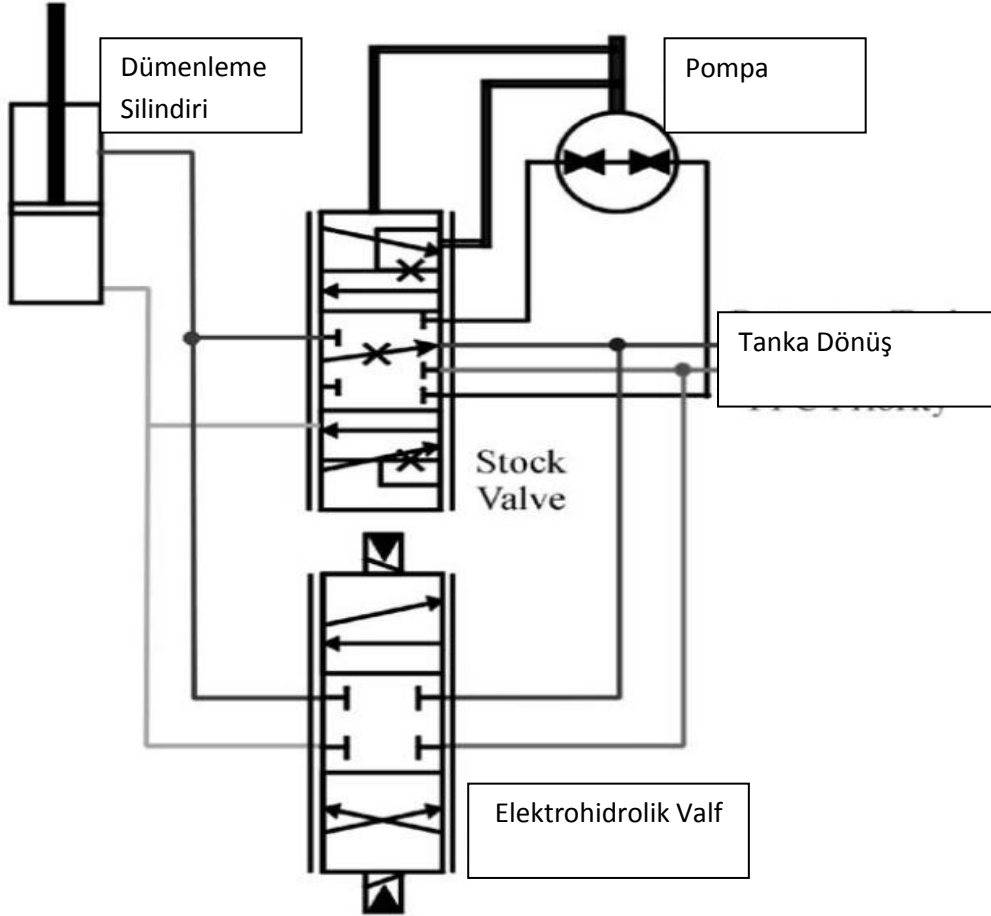
1.6.1 Elektrohidrolik valfler

Elektrohidrolik valfler bir elektronik üniteden gelen elektrik sinyalleri ile hareket ederler. Birçok arazi aracı bir elektrohidrolik (E/H) tahrik edici elemanı dümenleme kontrolü için kullanmaktadırlar. Zhang ve ark.(2002) , yol dışı araçlarının elektrohidrolik dümenleme kontrolörü için model tanımlama ve doğrulama üzerine bir çalışma yayınlamışlardır. Şekil 17. Hidrolik dümenleme silindirini ve bağlı olan doğrusal potansiyometreyi (hidrolik silindirin açıklığını ölçmek için) göstermektedir.



Şekil 17. Test aracındaki hidrolik dümenleme tahrik sistemi (Zhang ve ark. 2002)

Hidrolik silindirin hareketi bir elektrohidrolik valf tarafından kontrol edilmektedir (Şekil 18). Elektrohidrolik dümenleme sisteminin şematik şeklini göstermektedir. Dahili bir bilgisayar data analizi ve gerçek zaman kontrolü için kullanılmıştır (Zhang ve ark. 2002).



Şekil 18. Araştırma platformundaki elektrohidrolik dümenleme sisteminin şematik görünümü (Zhang ve ark. 2002)

1.6.2. Servo Motorlar, Step Motorlar ve DC motorlar

Farklı elektrik motor tipleri olan servo motorlar, step motorlar ve DC motorların farklı çalışmalarda ve uygulamalarda dümenleme elemanı olarak kullanıldığı görülmüştür. Bu elektrik motorları elektronik kontrol ünitesinden gelen sinyallere göre sağa veya sola istenildiği kadar dönebilmektedirler. Şekil 19 traktör üzerine dümenleme için bağlanmış olan bir DC motoru göstermektedir.



Şekil 19. DC dümenleme motoru (Eaton ve ark. 2005)

Servo motorlar özellikle traktör firmaları tarafından daha çok tercih edilmektedir. Çünkü elektrik motorlarının kullanımı ve kontrolü kolaydır. Servo motorlar normal traktörleri otomatik dümenlemeli traktörlere çevirmek için kolaylıkla kullanılabilirler. Elektrik motoru dümenleme sistemleri Aralık 2004'deki ilk sistem ile birlikte son zamanlarda GPS'li otomatik dümenleme sistemleri olarak tanıtıldı. Bu sistemlerde hareket elemanları aracın dümenleme sistemini küçük elektrik motoru ile hareket ettirirler. Bu sistemler bazen yardımcı dümenleme sistemleri olarak adlandırılırlar. Aracı yönlendirmek amacıyla direksiyonu hareket ettirmek için bir elektrik motoru hareket elemanı kullanılması, araca daha az müdahale edilmesi avantajına sahiptir.

Montaj zamanı tipik olarak daha kısadır ve hidrolik sistem montajına kıyasla daha az yetenek gerektirir. Ek olarak tipik montajlar daha az bağlantı parçası gerektirmektedir böylece elektrik motorları otomatik dümenleme içerisindeki yerini daha ekonomik olarak alır (Herauld ve Lange 2009). Şekil 20. Otomatik dümenleme sisteminde kullanılan bir servo motoru göstermektedir.

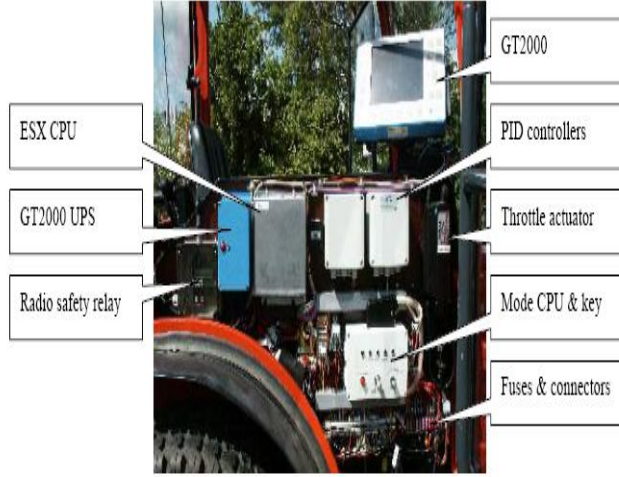


Şekil 20. Servo Motor (Herauld ve Lange 2009)

1.7. Tarım Makinalarında Otomatik Dümenleme Uygulamaları

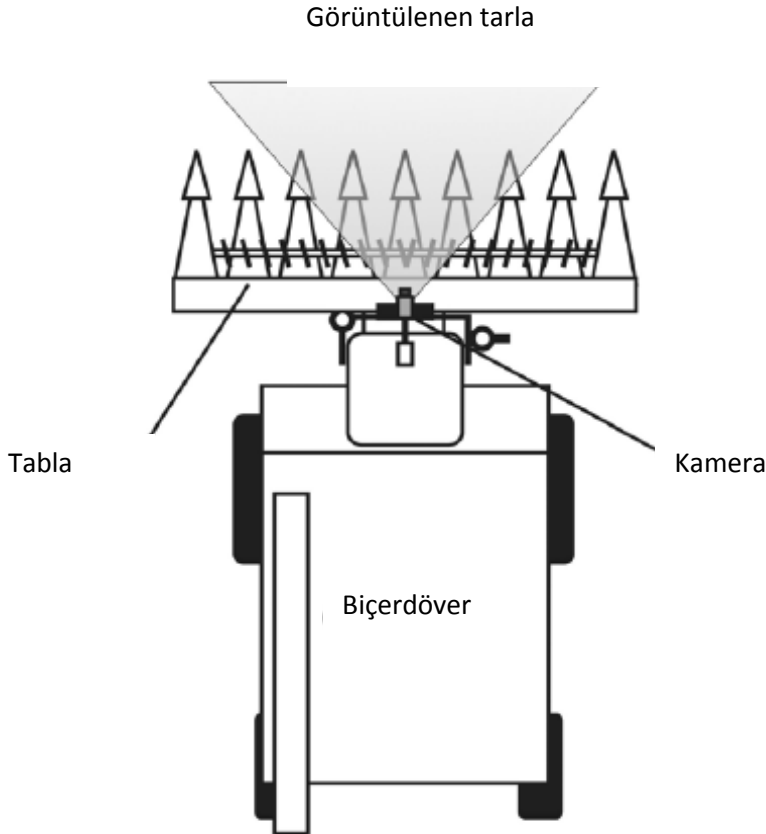
Üniversiteler, ulusal ve özel araştırma enstitüleri ve tarım makinaları üreticileri otomatik dümenleme üzerine yeni teknolojileri geliştirmeye devam etmektedirler. Önceki araştırmalar otomatik dümenleme çalışmalarının traktörler üzerine yoğunlaştığını göstermiştir. Ek olarak biçerdöver, kendi yürür ekim makinaları ve kendi yürür hasat makinaları gibi diğer tarım makinaları üzerine de bazı çalışmalar yapılmıştır.

Örnek olarak Blackmore ve ark. (2004) yılında, deterministik olarak otomatik bir traktör geliştirmişlerdir. 27 beygir gücündeki hakotrak adlı traktör sürekli değişken transmisyona (CVT) sahiptir. Bu traktör geleneksel tarımsal işleri, sahip olduğu birçok elektrohidrolik ara yüz ve hareket elemanları ile sağlayabilen en küçük traktör olarak seçilmiştir. Otomatik kontrolörlerin traktörün üzerine montajı şekil 21’de görüldüğü gibidir. Elemanların iletişimi için bir CAN-BUS sistem kullanılmıştır. Konum belirleme için RTK-GPS kullanılmıştır.



Şekil 21. Hako traktörün görünür elektronik kontrol elemanları (Blackmore ve ark. 2004)

Görüntü sensörleri, mekanik dokunaçlar ve çoklu sensörler traktörlere kıyasla hasat makinalarında daha çok tercih edilmiştir. Benson ve ark. (2003a) biçerdöver için görüntü esaslı bir dümenleme sistemi geliştirmiştir. Tek bir siyah beyaz kamera biçerdöverin kabininin üzerine ürün görüntülerini toplamak amacıyla yerleştirilmiştir (Şekil 22).



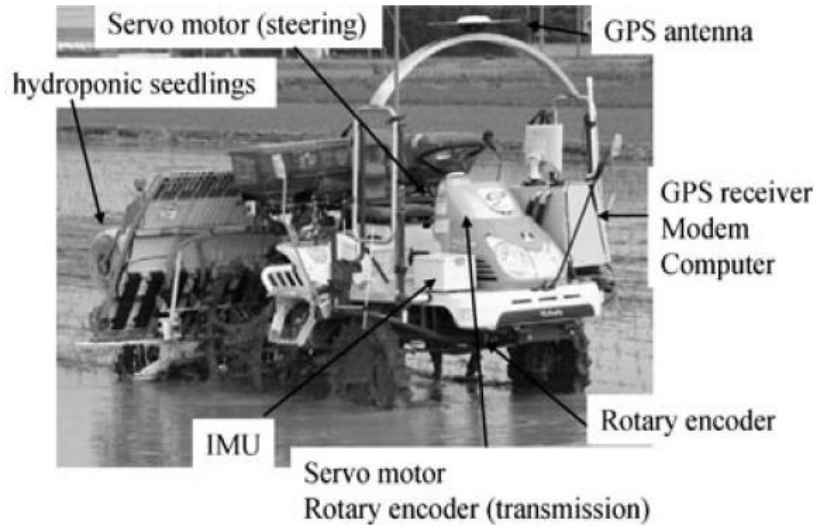
Şekil 22. Biçerdöverin üzerine monte edilmiş siyah beyaz kamera (Benson ve ark. 2003a)

Cheteau ve ark. (2000) de, hazırlanmış ürün ortamında (çekilir tip hasat makinası) ve direk biçme koşullarında (kombine hasat makinası, biçerdöver) üzerinde lazer sensör kullanılarak tarım araçları için bir otomatik dümenleme metodu geliştirmişlerdir (Şekil 23).



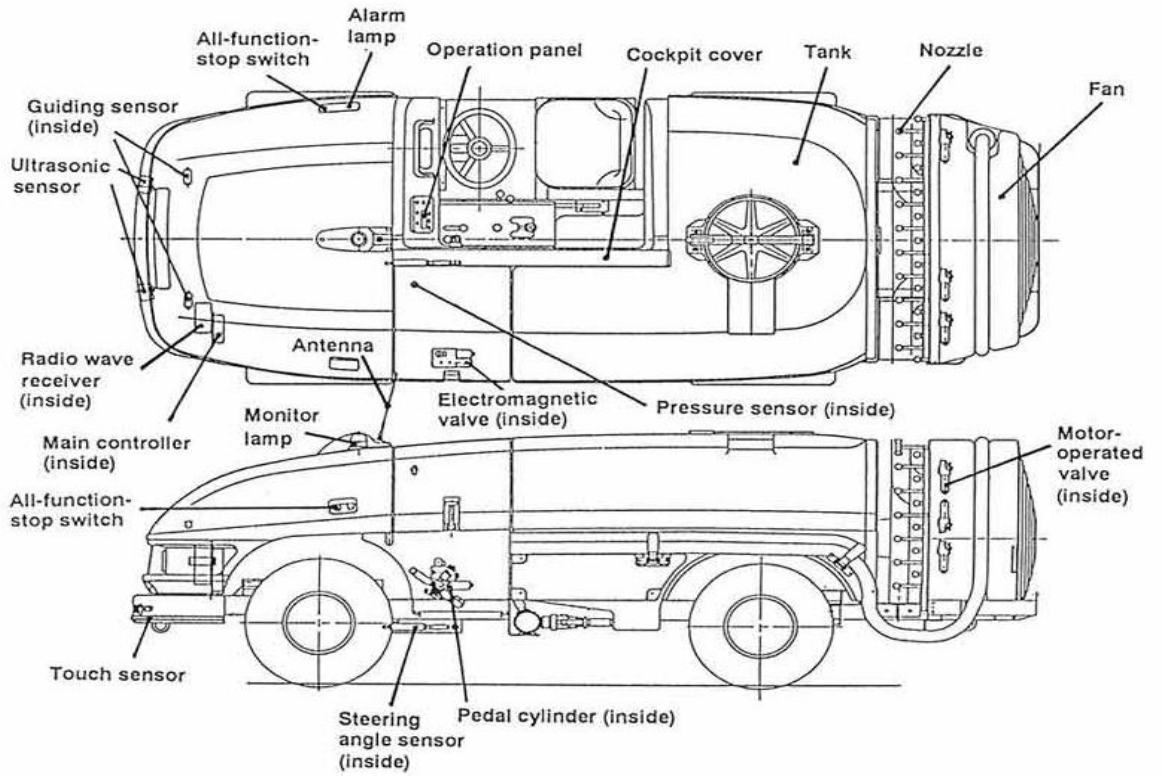
Şekil 23. Lazer sensörün araç üzerindeki konumu (Cheteau ve ark. 2000)

Nagasaka ve ark.(2002) yılında , 6 sıralı küresel konumlama sisteminden konumunu belirleyerek hareket eden kendi yürür bir çeltik dikim makinası geliştirmişlerdir. Çeltik ekim makinası hidrostatik transmisyona sahip olup üzerinde bir mikro işlemci bulunmakta ve aracın yönlendirilmesi servo motor sayesinde olmaktadır (Şekil 24).



Şekil 24. Otomatik çeltik dikim makinası (Nagasaka ve ark. 2002)

Tosaki ve ark. (1998) sürücüyü tarım kimyasalları ve ya mekanik kirlenmeden korumak ve bahçelerdeki pest kontrol süresince çalışma verimini arttırmak amacıyla mikrobilgisayar kontrollü bir sürücüsüz hava üflemleri pülverizatör geliştirmişlerdir. Geliştirilen pülverizatör sürücüsüz olarak bir kılavuz kablo boyunca ilerler. Bu kablo çalışma yolları üzerinde, bahçedeki ağaç sıraları arasına yerleştirilmiştir. Kablo yerin altına 30 cm den daha az bir derinliğe, yer yüzeyine, ve ya yerden 150-200 cm arasında bir yüksekliğe yerleştirilebilir. Sürücüsüz dümenleme kablodaki alternatif akımın oluşturduğu manyetik alanın algılanması sonucu dümenleme dişlilerinin kontrolü ile gerçekleşir. Sistemin ana parçalarının görüldüğü resim şekil 25'deki gibidir.



Şekil 25. Sürücüsüz pülverizatörün ana parçaları (Tosaki ve ark. 1998)

1.8. Otomatik dümenleme sistemlerinde matematik modelleri

Otomatik dümenleme sistemlerinde aracın otomatik dümenlemesini sağlamak amacıyla matematik modelleri kullanılmaktadır. Matematik modellerde aracın gitmesi gereken nokta ve ya rotaya ulaşmak için direksiyon açısının ne olacağı hesaplanmaktadır. Bu hesaplama için aracın konumu, hızı, bir önceki konumu, direksiyon açısı, aracın hedeflenen noktaya veya rotaya olan uzaklığı ve aracın hedeflenen rotaya göre açısı gibi girdiler matematik model fonksiyonunda dümenleme açısının hesaplanması için kullanılmaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Hongo ve ark. (1987) Sabit yön yolları olmadan hareket eden otomatik dümenlemeli bir araç geliştirmişlerdir. Araç optik yön bulucu micro bilgisayar 2 adet motor ve bu motorları kontrol eden servo amplifikatörden oluşmuştur. Aracın düzenlenmesinin kolay olduğu düzeltme yeteneği arttıkça aracın daha hassas bir şekilde kontrol edilebileceği, küçük geliştirmeler ile sistem uzun mesafe araçlarına da uygulanabileceği bildirilmiştir.

Wu ve ark. (1999) Elektrohidrolik dümenleme sistemli bir traktör üzerinde doğruluk ve gürültülü dümenleme komut sinyalleri elde etmek için ve valf karakteristiklerini toplamak için bir dümenleme kontrolü uyarlamışlardır. Test sonuçları değişken ve tecrübe edilmemiş olan tarla arazilerinde otomatik dümenleme kontrolünün efektif olduğunu göstermiştir.

Zhang ve Ried (1999) yaptıkları çalışmada birçok sensörden oluşan görüntü algılayıcı, fiberoptikjiroskop ve RTK-GPS ten oluşan bir navigasyon sistemi oluşturmuşlardır. Dümenleme sensörlerinden gelen bilgiye göre hareket vermek üzere aletin üzerine bir dümenleme kontrol sistemi geliştirilmiştir. Sistem bir tarım traktörü üzerinde denenmiştir. Değerlendirmenin sonucunda çoklu sensör içeren traktör navigasyon sistemi aracın sıra aralarında doğru bir şekilde hareket etmesinde yetenekli bulunmuştur.

Hague ve ark. (2000) yer bazlı yani uydu bazlı sisteme karşı olarak aracın pozisyon düzenlemesini saptamak amacıyla algılama metotlarını denemişlerdir. Sensörler çeşitli kategorilerde dikkate alınmıştır ; hareket ölçü (odometri ve atalet), yüzeysel yer işaretleri (lazer pozisyon ölçümü, milimetre dalga radarı) ve lokal özellik tespiti (sonar, makine görüntüsü). En yaygın teknik olan Kalman filtresi, özetlenmiştir ve pratik noktaları tartışılmıştır. Sistem bir örnek olarak, otonom aracın Silsoe araştırma enstitüsünde geliştirdiği belirtilmiştir. Bu araç kesin bir yön pozisyon belirleme sistemi kullanmamaktadır, daha çok lokal özellikleri yani bu vakada kesilmiş bitkileri kullanarak yön bulmaktadır. Araç makine görüntüsü, odometre, ivme ölçer, ve kumpas içeren bir takım sensör kullanmaktadır. Çalışmada bu sensörlerin birbirleri arasındaki farklılıkları ve prensipleri diğer literatürlere göre kıyaslanmıştır.

Glasmacher (2002) tarla robotlarının çalışmasının ve rotalarının değerlendirilmesi ve planlanması için AGRONAV adlı plan yazılımı geliştirmiştir. Her veri dış işler ve PC için bir hafıza kartında saklanabilmektedir. Yazılımın esnekliği otomatik araç ya da dümenlemesi için

AGRONAV ile donanmış makinalar tarafından tamamlanmış ya da planlanmış çok özel zorluklarda işlere bile izin vermektedir.

Stentz ve ark. (2002) Traktör otomasyonu için bir sistem geliştirmişlerdir. Bir insan tarafından ilgili rotalar araç sürülerek programlamıştır. Sistem Florida'da portakal bahçesinde yedi kilometrede otomatik olarak denemiştir. Genel olarak sistemin performansı iyi bulunmuştur.

Chang (2003) ADVANCE-F otomatik dümenlemeli aracın tarla performansını değerlendirmiştir. Araçtaki ekipman takımı sensörler, bilgisayar, dümenleme kontrolörü ve step motor v.s. içermektedir. İki set fotosensör paralel olarak ön ve arka tamponun alt tarafına monte edilmiştir. Yoldaki yön markörlerini tespit etmek için kızılötesi yayan her set 0,05 m den daha fazla aralık olmama koşulu ile aynı tür ekipmandan oluşmuş 15 adet sensör içermektedir. Dizayn edilmiş bilgisayar programı bilgisayarın step motora bağlı olan motor sürücüsünü çalıştırmasına ve aracın hat boyunca sabit olarak kalmasına imkân vermektedir. Kısırlı yüzeydeki başlangıç testlerinde kontrolör sağlam ve memnun edici olmuştur. Otomatik mod yüksek hızlarda araçların yüksek hız durumlarında kararlı olduğu gibi güvenilir gözükmiştir.

Blackmore (2004) Küçük bir traktörü dümenleme, gaz ve sürekli değişken transmisyon tahrik elemanları tescilli bir otomatik dümenleme sistemi tarafından uyarlanmıştır. Ayrıca üç nokta askı düzeni ve kuyruk mili de kontrol edilebilmektedir. Sonuç olarak sistem makul bir doğrulukla bir deterministik yol üzerinde ön bilgileri kendi kendine takip edebileceğini göstermiştir fakat bilinmeyen bir engel ya da durum karşısında reaksiyon gösterebilmek için pratik bir çözüm bulunamamıştır.

Lei ve Yong (2005) Otomatik dümenleme uygulamaları için traktör sisteminin dinamik modelini geliştirmişlerdir. Model traktör sisteminin Matlab ortamında birleştirilen bisiklet modelini içermektedir ve bir John Deere traktör temel alınarak geliştirilmiştir. Matlab dan elde edilen simülasyon sonuçları tarladaki navigasyon testleri boyunca doğrulanmıştır. Tarlada doğrulanmış olan analiz sonuçları tarlada farklı hızlarda çalışırken traktör sisteminin doğru tekerlek yörüngesi oluşturabileceğini göstermiştir. Sonuçlar ayrıca geliştirilen sistemin traktör hızı ve dümenleme açısına doğrulukla karar verebileceğini işaret etmiştir.

Mejnertsen ve Nielsen (2006) Küçük bir traktör üzerinde tam yazılım ve donanım çözümü tasarlanmış bağlanmış ve test edilmiştir. Bir web tarayıcı içeren kullanıcı grafik ara yüzü(GUI) traktörün kontrolüne ve görüntülenmesine izin vermektedir. XML formatındaki görevler traktöre GUI üzerinde yüklenebilmiştir. Araç multirobot simülatörde test edilmiştir. Simülatör sistemi robotların kolay konfigürasyonu, yükseltilebilmesi ve yaradılışı için dizayn edilmiştir. Testler sistemin yüksek derece doğruluk ve kontrol sağlayabileceğini göstermiştir.

Vatani ve ark. (2006) Otomatik menzildeki görevler için bir robotik platform geliştirmişlerdir. Sistemin yapısı lazer bazlı konumlama ve Virtual Force Field engel kaçma ve rasgele dallı hızlı aramalı ATLAS Framework yol planlama kullanılarak haritalamadan oluşmaktadır. Sistemin performansı hem simülasyon ile hem de gerçek koşullarda denenmiştir. Traktörün menzil alanı transparan bir tabaka gibi gözükmiştir ve açıklıklar ve üst üste bindirmeler görünür bulunmuştur.

Pradalier ve Usher (2007) Traktör – römork sisteminin dengeleştirilmesi konusunda basit bir metot geliştirmişlerdir. Metot traktörünün dümenleme açısı arkasından römorkun bağlantı kolu açısının kontrolüne dayanmaktadır. Kontrol kuralları gerçek bir araca yüklenmiştir ve denemeler zorlu koşullar altında gerçekleştirilmiştir. Platformdan sınırlı dinamik performans verilerek kontrol kuralları mükemmel bir yaklaşım ve dengeleme sergilemiştir.

Gan-Mor ve ark. (2007) de RTK-GPS traktör dümenleme sistemi altında ekipmanın yatay pozisyon doğruluğu RTK-GPS esaslı otomatik dümenlemeli bir traktörün üç nokta askı sistemine bağlantılı ekipmandan daha önce belirlenmiş olan sapmalar kaydedilmiştir ve kaydedilen bu veriler traktörün arka aksına belirli bir mesafede güçlü bir şekilde bağlantılı olan ekipman sapmasını doğrulamak amacıyla kullanılmıştır. Kaydedilen bu veriler asfalt ve pürüzlü yüzeyler için analiz edilmiştir, büyük ölçüde ikincisinde daha büyük sapmalar meydana gelmiştir. Testlerde traktörü dümenlemek için kullanılan sistem AgGPS autopilot isimli Trimble Navigation'a ait 2002 model bir sistemdir. Testler 4 km/h ve 7,2 km/h olarak iki farklı hızda gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak asfalt yüzeyde traktör arka aksındaki sapmalar küçük olmasına rağmen traktörün üç nokta askı sistemindeki sapmalar hipotez edildiği gibi önemli ölçüde daha büyük olmuştur. Sapmalar özellikle toprağın pürüzlü olduğu durumlarda daha büyük olmuştur.

Coen ve ark. (2008) de biçerdöverler için sağlam otomatik dümenleme sistemi tasarımını geliştirmişlerdir. Otomatik dümenleme sistemi tarladaki çizgi pozisyonun ölçümünü

bazı olarak biçerdöveri kontrol etmektedir. Çizgi bir lazer tarayıcı kullanılarak tespit edilmektedir. Makinenin ötelemesi ve rotasyonu çizginin sonraki pozisyonunu her aşamada tekrar hesaplamak için değerlendirilmeye alınmıştır. Biçerdöverin bir modelinin yardımıyla, arzu edilen tekerlek pozisyonu arzu edilen rota değişiminin bir fonksiyonu içerisinde hesaplanmaktadır. Arzu edilen tekerlek pozisyonu biçerdöverden hareket elemanına CAN network üzerinden aktarılmıştır. Projede Newholland CX 860 model biçerdöver kullanılmıştır. Lazer tarayıcı da bu biçerdöverin kabinin üzerine ortalanarak yerleştirilmiştir. Otomatik dümenleme sistemi tarlada neredeyse insan operatör gibi davranış göstermiştir. Yapılan testler sonucunda en iyi sonuçlar düzenleme sabitinin 1 ve bakış mesafesinin 8 m olduğu ayarlarda gerçekleştiği görülmüştür.

Mas ve Zhang (2008) yol dışı araçların otomatik yönlendirilmesi için elektrohidrolik valfin bulanık mantık kontrolü geliştirmişlerdir. Bulanık mantık kontrol algoritması elektrohidrolik dümenleme simülatörü donanımına yüklenmiştir. Dümenleme sisteminin performansı dümenleme sinyal karakteristikleri ve kontrolörün fonksiyonlarına bağımlı olduğu bulunmuştur.

Inoue (2008) Optik fiber jiroskoplu navigasyon sistemi kullanarak 66 kW güce sahip olan bir traktörde otomatik güç aktarma sistemini geliştirmiştir. Traktör ile modelin parametrelerini karşılaştırmak için aracın tarladaki hareketleri kinematik hareket modeli kullanılarak dinamik olarak analiz edilmiştir. Traktörün arkasına bir ekim makinası takılmıştır ve ekim makinasının izleri hedef çizgi için paralel ve eşit ve izlerin köşeleri aynı olmuştur.

Perez ve ark. (2008) tarım aracını kontrol eden davranış yapısındaki girdileri incelemiştir. Bunun amaçla konvansiyonel bir araç güvenli ve doğru olarak dinamik çevresel verileri ve sürekli konumu verilerini elde etmek için bir dizi sensör ve hareket elemanı ile donatılmıştır. Bir kablosuz lan bağlantısı araç ve insan kontrolörü arasında iki yönlü bir bağlantı sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Sensör-füzyon algoritmaları sürekli ve hassas konumlandırma elde etmek için GPS sinyallerinin eksik olduğu durumları aşmak için çözüm getirmiştir. Temel hareket girdilerinden olan ilerle, dön, dur, engelden kaç ve tarla operasyonları için daha spesifik olan düz takip et, ve sırayı değiştir gibi girdiler tanımlanmıştır. Sonuç olarak, Agroamara adlı kontrol yapısının girdileri kademeli olarak algılama yeteneğini, kontrol algoritmalarını ve tarımsal operasyonları içeren, güncelleyen ve geliştiren güçlü bir metodik çerçeve sunmaktadır. Kontrol mimarisinin gücü eşzamanlı

girdilerin davranışları içerisinde bilgi paylaşımı ve ortak kullanılan bellek sayesinde eş düzeyde mesajlar ile gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır.

Nagasaka ve ark. (2009) GPS ile yönlendirilen bir çeltik dikim makinası geliştirmişlerdir. Hidrostatik transmisyona sahip olan makine otomatik yönlendirilmesi için modifiye edilmiştir. Çalışmada 0,02 m hassasiyet ile konum belirleyen bir GPS alıcı sistemi kullanılmıştır. Gelen konum bilgileri mikrokontrol ünitesi ve programlanmış bir yazılım sayesinde değerlendirilip dümenleme elemanlarına düzeltme komutları verilmiştir. Dümenleme elemanı olarak direksiyon dişlilerine monte edilmiş bir servo motor kullanılmıştır. Yapılan denemelerin sonucunda makinanın bu rotalardan maksimum yatay sapmasının 0,04 m den ve rota açısındaki sapmanın 3,6 dereceden az olduğu görülmüştür.

Easterly ve ark. (2010) Bir sensör sistemi ile RTK konum belirleme sistemine sahip traktörün testlerini gerçekleştirmişlerdir. Rtk seviyesindeki sistemlerde hatanın 0,5 metreyi geçmeyeceğine güvenilmiştir. Test sisteminin dizaynı için 1,2 metre görüş alanında görüntü sensörü tarafından sürekli olarak görülebilecek referans çizgisi yüzey üzerine yerleştirilmiştir. Sensör yere bakış açısı olarak 26 derece açıyla yerleştirilmiştir. Sensör değişken ışık koşullarına göre görüntüyü ayarlayabilmekte ve saniyede 30 kare ile kayıt yapabilmektedir. Testler 121,9 metre uzunluğundaki alanda 1km/h, 2,5 km/h ve 5 km/h hızlarında gerçekleştirilmiştir. Uzun süreli testleride test süresinin % 95'inde 20 mm'nin altında hata sonucu alınmıştır.

Oksanen ve Backman (2013) otomatik olarak tasarlanmış dört tekerleği dümenlenebilir bir tarım traktörü için rota takip algoritması geliştirmişlerdir. Kullanılan traktörün iki aks arası mesafe 2,7 m ve 5500 kg'dan daha fazla çekmektedir. Tüm tekerleklerin maksimum dönüş açısı 22 derece ve kontrol sistemi dümenleme açılarını Ackermann dümenleme prensibine göre senkronizasyonunu sağlamaktadır. Konum belirleme sisteminde RTK-GPS alıcısı, fiberoptik jiroskop ve inklinometre kullanılmıştır. Tasarlanan sistem tarlada traktöre takılmış olan ekim makinası ile birlikte 2,4 ha alanda kış buğdayı ekilerek test edilmiştir. Sonuçlar yatay takip sapmalarının 0,05 metreden daha az ve açısız takip hatalarının da 1 dereceden küçük olduğu saptanmıştır.

Hiremath ve ark. (2014) olasılığa dayalı yeni bir sensör modeli olan 2D mesafe ölçen yani Lidar ile donanımlı bir tarla robotu üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu sensör modelini kullanarak, filtre bazlı navigasyon algoritma parçası (PF) bir mısır tarlasında otomatik dümenleme için geliştirilmiştir. Bu algoritma değişik tarla koşullarında ve farklı

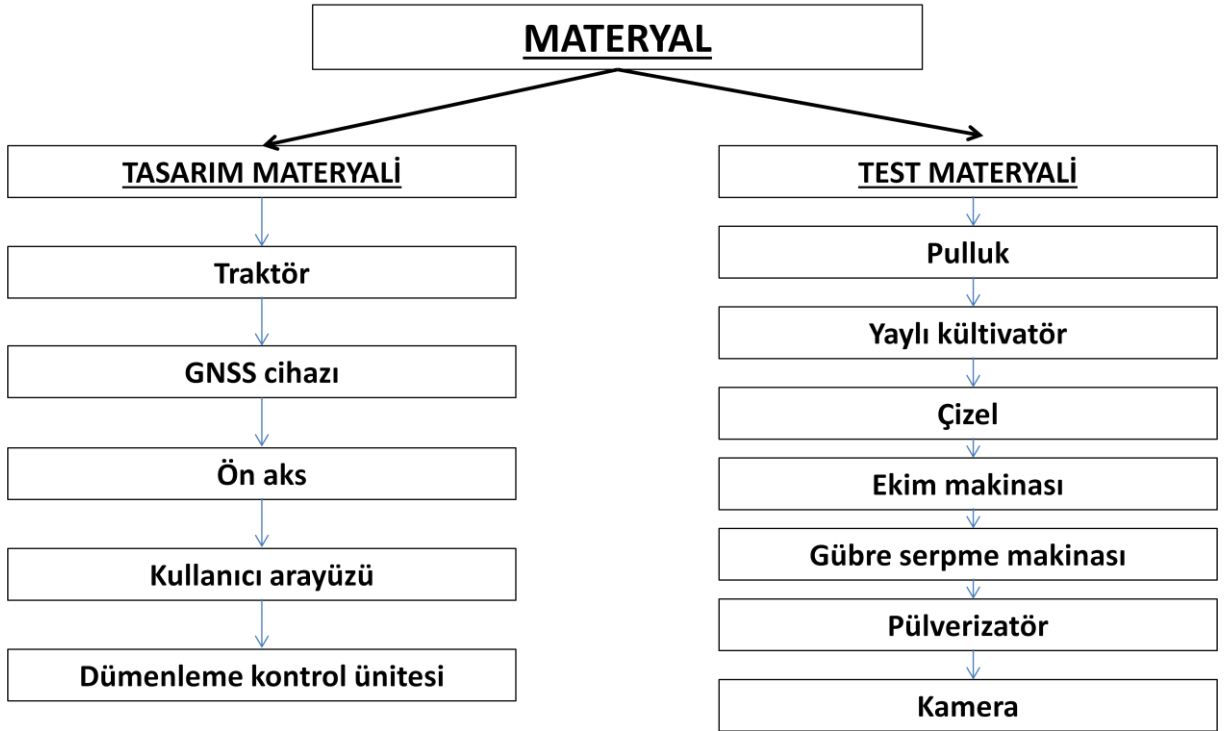
bitki büyüklük çeşitleri farklı sıra düzenlemeleri ve çeşitli tarama frekansları ile test edilmiştir. LMS 111 model Lidar dünyayı hissedebilmekte ve ön tarafta 15 cm yüksekliğe yerleştirilmiştir. Lidarın maksimum tarama menzili ve tarama frekansı sırasıyla 20 m ve 50 Hz dir. Veriler 50 hz de kaydedilebilmesine rağmen bilgisayar koşulları düşünülerek 10 Hz olarak sınırlandırılmıştır. Sonuçlar robotun yönelim ve yatay sapmasının RMS hatasının 2,4 derece ve 0,04 m olduğunu güvenilirlikle göstermiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışmada materyal Otomatik dümenleme sisteminin geliştirilmesinde kullanılan materyal ile testlerde kullanılanlar olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Ayrıca bağlantı elemanları, çeşitli kablolar ve bilgisayarlar da çalışmanın bazı dönemlerinde kullanılmıştır. Şekil 27’de kullanılan ana materyal özetlenmektedir.

Materyal, tasarım materyali ve test materyali olarak iki ana başlık altında toplanmıştır. Tasarım materyali olarak traktör, GNSS cihazı, ön aks, kullanıcı arayüzü ve dümenleme kontrol ünitesi, test materyali olarak ta pulluk, yaylı kültivatör, çizel, ekim makinası, gübre serpme makinası, pülverizatör ve kamera kullanılmıştır.



Şekil 27. Çalışmada kullanılan materyaller

3.1.1.Traktör

Otomatik dümenleme sistemi traktörler için geliştirilmiştir. Sistemi geliştirme çalışmalarında Hattat A110 model traktör kullanılmıştır. Traktörün ön aksı otomatik dümenleme için modifiye edilmiştir. Traktörün genel özellikleri çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Hattat A110 traktörün genel özellikleri

Güç (BG)	102
Ağırlık (Kg)	3580(yüksüz)
Ön ağırlıklar Kg	10x40
Aks arası mesafe (mm)	2700
İz Genişlikleri (mm)	1780(Ön aks), 1595-1795 (arka aks)
Toplam uzunluk (mm)	3895
Dümenleme Sistemi	Hidrolik
Vites	Düz
Motor	Perkins stage 3 turbo intercooler
Maks. Güç çıkışı kW, HP /rpm	75,102 /2200
Maks Tork Nm/rpm	405 /1400
Silindir Hacmi 4400 cm ³	4400
Silindir Sayısı	4
Vites Kutusu	12 ileri – 12 geri tam senkromeçli
Kavrama	Kuru tip, pedal kumandalı
Ön Tekerlek	380/70 R 24
Arka Tekerlek	480/70 R 34

Otomatik dümenleme sistemini oluşturan parçalar traktör üzerine yerleştirilmiştir. Traktör kabininin üst kısmına GNSS anteni yerleştirilmiştir. Bunun için kabin üzerine monte

işlemine sağlamak için bağlantı aparatı yapılmıştır. Anten bu aparat üzerine monte edilmiştir. kullanıcı arayüzü ve bilgisayar ile kontrol sağlanması kabinin iç tarafında sağlanmaktadır.

Traktörün otomatik dümenlemesini sağlamak üzere geliştirilen ön aks ile birlikte açılı algılayıcı sensörler dümenleme kontrol valfi ve otomatik dümenleme kontrol ünitesi de A110 traktöre monte edilmiştir. Şekil 28’de otomatik dümenleme sisteminin üzerinde geliştirilen Hattat A110 model traktör görülmektedir.



Şekil 28. Hattat A110 model traktör

3.1.2. GNSS alıcısı 1

SMART-MR15 L1/L2/L5 GPS + GLONASS + L-Band frekanslarını alabilen bir GNSS alıcısıdır. Bu alıcı daha sonra traktörde kabin üzerine monte edilmiştir ve konum verilerini alarak merkezi kontrol ünitesine iletmesi sağlanmıştır. Çizelge 2’ de alıcı antenin teknik özellikleri görülmektedir.

Çizelge 2. Novatel SMART-MR15 teknik özellikleri

PERFORMANS	14 GPS L1, 14 GPS L2 12 GLONASS L1, 12 GLONASS L2 2 SBAS, 1 L-band
ÖLÇÜLER	233 mm x 233 mm x 90 mm
GÜÇ	Giriş voltajı +9 to +36 VDC Güç ihtiyacı 4.5 W
VERİ ARALIĞI	Ölçümler 1Hz, 5Hz, 10Hz, 20Hz Pozisyon 1Hz, 5Hz, 10Hz, 20Hz
Haberleşme Portları	İsim Bluetooth CAN Bus Cellular RS-232 Supports RS-422 (mode pin)

ÖLÇÜM HASSASİYETİ	GPS	GLONASS
L1 C/A code	4 cm	15 cm
L1 carrier phase	0,5 mm	1,5 mm
L2 P(Y) code	8 cm	8 cm
L2 carrier phase	1mm	1,5 mm
SICAKLIK ARALIĞI	Operasyon(12V) -40°C to +65°C	Depo -40°C +85°C
DOĞRULAMA SÜRESİ	Soğuk Başlangıç 65 s	Sıcak Başlangıç 35 s
TİTREŞİM	Rastgele MIL-STD-202G	Sinüsodial ASAE EP455
Adet		
1		
1	Omnistar VBS	0,6 m
1	Omnistar XP	0,15 m
2	Omnistar HP	0,1 m

GNSS alıcısının makine üzerine çalışmalarda başarı sağlanması için metal temelli tasarımı ve sağlamlaştırılmış 23 pin konektörü bulunmaktadır. Gün ışığında da görülebilen Led ışıklar ve bağdaştırılmış Bluetooth iletişimine sahiptir. Anten makinalar ile çalışmada hem 12 hem de 24 volt kullanabilmektedir. Şekil 29’da antenin resmi görülmektedir.



Şekil 29. Novatel SMART-MR15 görünüşü

3.1.3. GNSS alıcısı 2

Rota takip performansının belirlenmesi testinde kullanılmıştır. Novatel firmasına ait Smart6 model alıcının şekil 30’da görülmektedir.



Şekil 30. Smart6 GNSS alıcısı

Bu alıcı normal GPS uyduları ile çalışmakta, fakat yapısı gereği bağıl hatasını belirli bir süre için ± 2 cm değerinde tutabilmektedir. Çizelge 3’de Smart6 GNSS alıcısına ait teknik bilgiler verilmiştir.

Çizelge 3. Smart6 model GNSS alıcısı teknik özellikleri

Performans	Tek nokta L1	1.5 m	İletişim Portları	Bluetooth	1
	Tek nokta L1/L2	1.2 m		CAN Bus	1
SBAS	0.6 m	RS-232	3		
DGPS	0.4 m				
NovAtel CORRECT™	0.15m	Ölçüler	Genişlik/çap (mm)	155.00	
PACE™	0.1m		Yükseklik (mm)	81.00	
TERRASTAR™	1 cm + 1 ppm	Ağırlık (g)	520.00		
RT-2°	Up to 20 Hz	Güç Gereksinimi (W)	3,5		
Measurements Position	Up to 20 Hz				

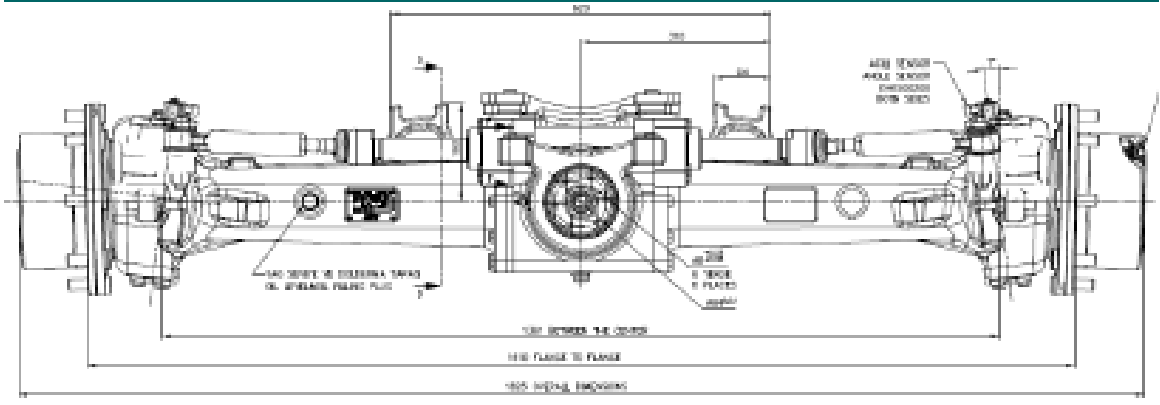
3.1.4. Açı algılayıcı ön aks

Traktörün gitmesi gereken rotayı takip etmesi için dümenleme tekerleklerinin istenilen yöne istenilen derece kadar döndürülmesi gerekmektedir. Bunu sağlamak için açı algılayıcı bir aks kullanılmıştır. Şekil 31’de açı algılayıcı ön aks resmi görülmektedir.



Şekil 31. Açı algılayıcı ön aks

Otomatik dümenleme sisteminde kullanılan ön aksın teknik resmi şekil 32’de ve teknik özellikleri çizelge 4’deki gibidir.



Şekil 32 Otomatik dümenleme sisteminde kullanılan ön aks

Çizelge 4. Otomatik dümenleme sisteminde kullanılan ön aksın teknik özellikleri

Tahvil Oranı	15;73:1
Kamber açısı	1,5°
Flanşlar arası mesafe	1610 mm
Dönme yönü	Saat yönü
Yağ tipi	APIGL-5
King Pin açısı	7°
Kaster açısı	5°
Salınım	+/- 13,5°

Hema Endüstrinin daha önceden tasarlamış olduğu Elektro-Hidrolik Kaldırıcı Kontrol Ünitesi temel alınarak, direksiyon kontrol valfi ihtiyaçları göz önünde bulundurularak yeni bir ISO 25119 standartlarına uygun tasarımıdır. Kontrol ünitesi iki adet oransal solenoidli valfi kontrol edebilen, çeşitli sensörlerden bilgi alabilen ve CAN, RS232 gibi haberleşme protokollerinde haberleşme gerçekleştirilebilen şekilde tasarlanmıştır (Şekil 33).



Şekil 33. Elektro-Hidrolik Kontrol Ünitesi

Kontrol valfleri çift etkili silindirin hareketini sağlayacak yağı yönlendirmek için kullanılmıştır. Oransal valfler oransal olarak silindirin hareket hızını kontrol edebilmektedir. Direksiyon kontrol sistemi, aracın sahip olduğu direksiyon sistemi ile beraber çalışabilecek kabiliyettir. Elektrik Uyarlı Hidrolik Oransal Yön Denetim Valfi ve Valf Bloğu aşağıdaki bileşenlerden ve özelliklerden oluşmaktadır.

1 adet yön denetim valfi

- Valf tek sürgülü, sürgü tipi 3 konumlu 6 yollu(6/3)
- Açık merkezli(Merkez tipi yardımcı bir valfle sağlanabilir. Bu durumda 4 konumlu 3 yollu bir valf kullanılabilir.)
- Çalışma debisi en fazla 45 litre/dakika, en az 16 litre/dakika (debi aralığında uygun valf bulunamıyorsa debiyi kontrol edebilecek bir yardımcı valf kullanımı uygundur.)
- Çalışma basıncı 350 bar
- Kumanda tipi çift taraflı oransal elektrik kumandalı
- Basınç kayıpları $P \rightarrow A$ ve $P \rightarrow B$ $\Delta P_{max}=5$ bar Çalışma sıcaklığı(-29) –(100) °C

2 adet elektrik kumanda (Solenoid)

- Solenoid 12 DC ile çalışmaktadır
- DIN 43650 standardına uygun 3 pinli bağlantı konektörü
- Solenoid tipi oransal

Valf bloğu

- 2 (açık merkez ise) veya 3(kapalı merkez ise) valfin bütünleşik olarak (aralarında hortum, boru vb. bağlantı elemanları kullanılmadan) montajlıdır.
- 1 adet pompa hattı bağlantı portu, 1 adet tank hattı bağlantı portu, 2 adet servis hattı bağlantı portuna sahiptir.

Oransal yön valfi özellikleri

- NG6 ölçüsünde
- 4yollu, 3 konumlu
- Hız ve konum kontrolü yapılmıştır

Oransal valf sürücüsü özellikleri

- Oransal yön valfini sürdürecektir
- Beslenme kaynağı 12VDC
- Bobin üzerine monte edildi.

Kompansatör özellikleri

- NG6 ölçüsünde
- Modüler bağlantılı
- Debi sınırlama özelliği

Emniyet valfi özellikleri

- NG6 ölçüsünde
- Basınç aralığı 0-315 bar

Yön valfi özellikleri

- NG 6 ölçüsünde
- 4 yollu 2 konumlu
- Yay konumu HA

Gliserinli Manometre özellikleri

- Çapı 63 mm
- Basınç 250 bar

Valf bloğu özellikleri

- NG6 ölçüsünde
- Yön ve basınç valfleri bağlanacak
- Giriş çıkışı 3/8"

Basınç Filtresi Özellikleri

- Basınç 420 bar
- Debi 40 lt/dk
- 12 mikron süzme kapasiteli

Bağlantı Elemanları ve Hortumları Özellikleri

- SAE R' 3/8 -12mm yüksüklü hortum
- 3/8"-12 rakorlar

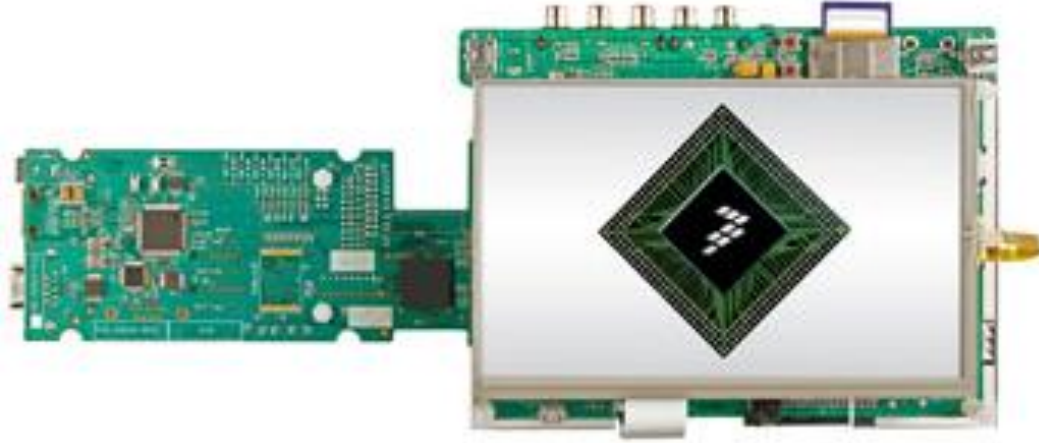
Havalı Soğutcu Özellikleri

- Debi 40 lt/dk
- Havalı tip

- 2000kCal/h soğutma kapasitesinde
- Beslenme voltajı 12 VDC

3.1.5. Dokunmatik kullanıcı arayüzü

Dokunmatik kullanıcı arayüzü olarak geliştirme aşamasında kullanılan kullanılan i.MX35 PDK kullanıcı arayüzü tasarlamada kullanılan bir geliştirme kitidir (Şekil 34).



Şekil 34. i.MX35 PDK kullanıcı arayüzü

Çalışmada birçok fonksiyonu içinde barındıran ve alternatif çözüm yöntemleri üretilebilecek hazır bir ürünün kullanılması zaman kazanılması açısından uygun görülmüştür. i.MX35 PDK çizelge 5’de belirtilen özelliklere sahiptir. İlk aşamada yazılımın hazırlanması ve fonksiyonel bütünlüğün sağlanması ile üründe gereken donanım ihtiyaçları belirlenmiştir. Daha sonra i.MX35 PDK temel alınarak sadece gerekli malzemelerin kullanıldığı son ürünün tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5. i.MX35 PDK Özellikleri

i.MX35 PDK Özellikleri	
İşlemci	i.MX35 (ARM1136 Core)
Bellek	256MB DDR2 64MB NOR FLASH 2GB NAND FLASH
Ekran	7" TFT WVGA DOKUNMATİK
Giriş – Çıkış	CAN konektör Kullanıcı Tanımlı Giriş Çıkışlar 2x USB 10/100 Ethernet SD Kart, ATA, HDD arayüzü Harici Video Bağlantısı I ² C PCMCIA UARTs
Diğer	OpenVG
İşletim Sistemi Uygunluğu	MS Windows Embedded CE 6 Embedded Linux

Arayüz ilk olarak bilgisayar üzerinde tasarlanmıştır. Fakat tasarlanmış olan bu arayüz programı bilgisayar üzerinde sorunsuz çalışabilmesine rağmen imx.35 PDK ile ilgili yazılımda bazı problemler ortaya çıkmıştır ve alternatif arayüzü tasarlanmıştır (Şekil 35) .

Tasarlanmış olan arayüz ile sistemin çalışması ve traktörün konumuna dair bilgiler ekranda görüntülenebilmektedir. Aynı zamanda sistemin çalışmasını etkileyen gerekli ayarlamalar yapılabilmekte ve komutlar girilebilmektedir. Kullanıcı arayüzü direksiyonun üst tarafına sürücünün tam karşısına monte edilmiştir. Diğer firmaların ürünlerinde de bu şekildeki yerleşimlerin uygulandığı görülmüştür. Birleştirme işlemi civata somun, kelebek vida ya da kabin camına vantuzlu olarak yapıştırılan uygulamalar da mevcuttur. Yapılan çalışmalarda bu yerleşimin traktörde çalışmayı olumsuz etkileyen bir etkisi görülmemiştir.



Şekil 35. Dokunmatik kullanıcı ara yüzü

3.1.6. Dümenleme elektronik kontrol ünitesi

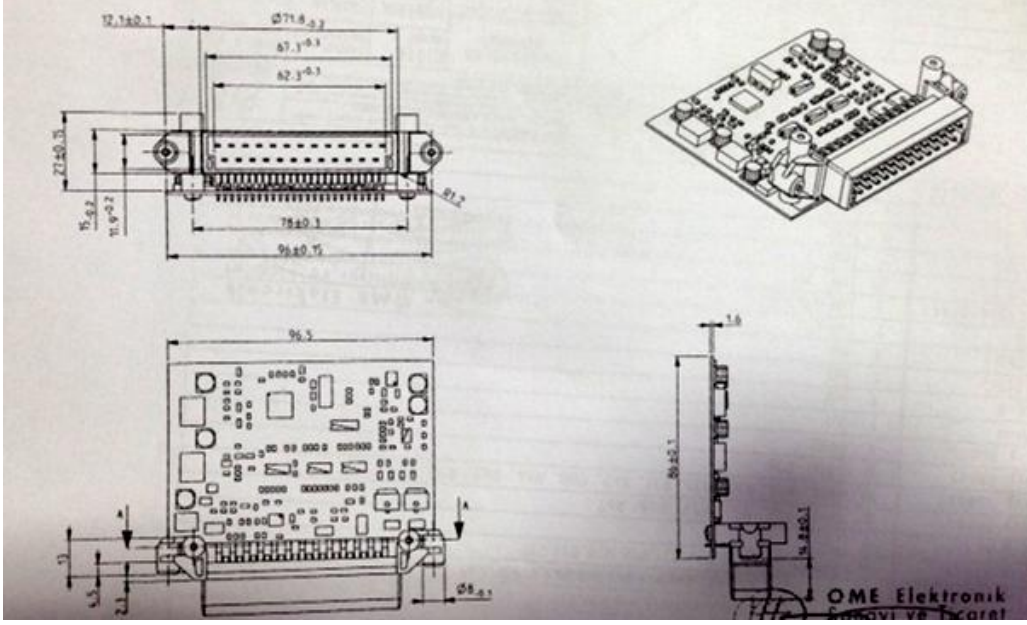
Dümenleme elektronik kontrol ünitesi valflerin kontrollünü gerçekleştirmek amacıyla kullanılmıştır. Direksiyon elektronik kontrol ünitesi şekil 36’da görüldüğü gibidir.



Şekil 36. Dümenleme elektronik kontrol ünitesi

Dümenleme kontrol sisteminin tasarımı traktörün otomatik dümenlemesi için gerekli olan ilk adımdır. Aracın alınan GPS verilerine göre istenen rotayı izleyebilmesi için başarılı bir şekilde dümenleme kontrolünün gerçekleştirilebilmesi gerekmektedir. Direksiyon

elektronik kontrol ünitesi ya da dümenleme elektronik kontrol ünitesi çeşitli sayıda seramik, elektrolitik, tantal, pin,direnç gibi elektronik devre elemanlarından oluşmuştur. Şekil 37’de direksiyon elektronik kontrol ünitesinin şematik şekli görülmektedir.



Şekil 37. Direksiyon elektronik kontrol ünitesi

3.1.7. Pulluk

Birincil toprak işleme aleti olan pulluk toprağın kabartılıp ters döndürülmesi görevini yapmaktadır. Ülkemiz ve dünyada yaygın olarak kullanılan bir tarım aletidir. Testlerde 3 kulaklı pulluk kullanılmıştır. Pulluk şekil 38’de ve özellikleri çizelge 6’da görülmektedir.



Şekil 38. Testlerde kullanılan pulluk

Çizelge 6. Testlerde kullanılan pulluğun teknik özellikleri

Kulak Sayısı	Adet	3
Kulak Ölçüsü	İnç	16
İş Genişliği	cm	100
Çalışma Derinliği	cm	40
Ağırlık	Kg	220
Gerekli Güç	BG	60

3.1.8. Yaylı Kültivatör

Sert olan toprağın kabartılması yarayan kltivatrlerin yaylı tipidir. Yaylar toprak içerisinde karşılaşılan bir engel ya da direnç sonucunda esneyerek kırılmayı önlerler. Testlerde kullanılan yaylı kültivatör Şekil 39’da ve özellikleri izelge 7’de görüldüğü gibidir.



Şekil 39. Testlerde kullanılan yaylı kültivatör

Çizelge 7. Testlerde kullanılan yaylı kltivatrn zellikleri

Ayak Sayısı	Adet	15
Ayak tipi	Yaylı ayak ve u demiri	Düz tip, elik
İş Genişliği	Cm	280
Çalışma Derinliği	cm	40
Ağırlık	Kg	200
Gerekli G	BG	50

3.1.9. izel

izeller toprağın derin işlenmesinde kullanılır, pulluk gibi daha yüzeysel işlem yapan aletlerin oluşturduğu tabakaları daha derinden kırabilmektedir. Testlerde şekil 40'da görüldüğü gibi 7 li izel kullanılmıştır ve özellikleri izelge 8'de verilmiştir.



şekil 40. Testlerde kullanılan izel

Çizelge 8. Testlerde kullanılan izelin zellikleri

Ayak Sayısı	Adet	7
Ayak tipi	U demiri	Düz, elik
İş Genişliği	Cm	183
Çalışma Derinliği	Cm	40-45
Ağırlık	Kg	300
Gerekli G	BG	80

3.1.10. Diskaro

Diskaro toprak üzerindeki iri parçaları daha küçük hale getirerek toprağın ekime hazır hale getirilmesine yardımcı olur. Bunu sağlamak için diskler tarla üzerinde açılı olarak çalışmaktadır. Şekil 41’de testlerde kullanılan diskaro ve çizelge 9’da diskaronun özellikleri gösterilmektedir.



Şekil 41. Testlerde kullanılan diskaro

Çizelge 9. Testlerde kullanılan diskaronun özellikleri

Disk Sayısı	Adet	33
Disk çapı	cm	45
İş Genişliği	cm	305
Çalışma Derinliği	cm	15
Ağırlık	Kg	600
Gerekli Güç	BG	50

3.1.11. Ekim makinası

Ekim makinaları çeşitli tohumların ekilmesini sağlayan makinalardır. Tohumun şekline ve ya uygulama alanına göre farklı tipleri mevcuttur. Testlerde 21 sıralı balta ayaklı mekanik bir ekim makinası kullanılmıştır (Şekil 42). Ekim makinasının özellikleri çizelge 10'daki gibidir.



Şekil 42. Testlerde kullanılan ekim makinası

Çizelge 10. Testlerde kullanılan ekim makinasının özellikleri

Ayak Sayısı	Adet	21
Ayak tipi	Ekici ayaklar	Balta tipi
İş Genişliği	Cm	240
Çalışma Derinliği	cm	5-20 ayarlanabilir
Ağırlık	Kg	400
Gerekli Güç	BG	50

3.1.12. Gübre serpme makinası

Gübre serpme makinaları bitkilere ihtiyacı olan mineral gübrelerin tarlaya uygulanması amacıyla kullanılırlar. gübre kovasına konulan mineral gübre kuyruk bilinden hareketini alan kanatların dönmesi sayesinde tarlaya saçılır. Denemelerde şekil 43’de görüldüğü üzere 2 diskli gübre serpme makinası kullanılmıştır. Gübre serpme makinasının özellikleri çizelge 10’da verilmiştir.



Şekil 43. Testlerde kullanılan gübre serpme makinası

Çizelge 11. Testlerde kullanılan gübre serpme makinasının özellikleri

Disk Sayısı	Adet	2
Çalışma esası	Santrifüj tip	Kuyruk milinden hareket
Toplam hacim	L	1000
İş Genişliği	m	30
Ağırlık (Boş)	Kg	150
Gerekli Güç	BG	60

3.1.13. Tarla pülverizatörü

Tarlada yabancı ot ve ya böcek mücadelesinde kullanılan kimyasal ilaçları tarlaya uygulamak için tarla pülverizatöründen yararlanılır. Makine içerisinde bulunan sıvı karışımını kuyruk milinden hareketini alan pompası yardımıyla püskürtme memelerine ileterek tarlaya püskürtür. Şekil 44'de testlerde kullanılan pülverizatör ve şekil 12'de özellikleri görülmektedir.



Şekil 44. Testlerde kullanılan tarla pülverizatörü

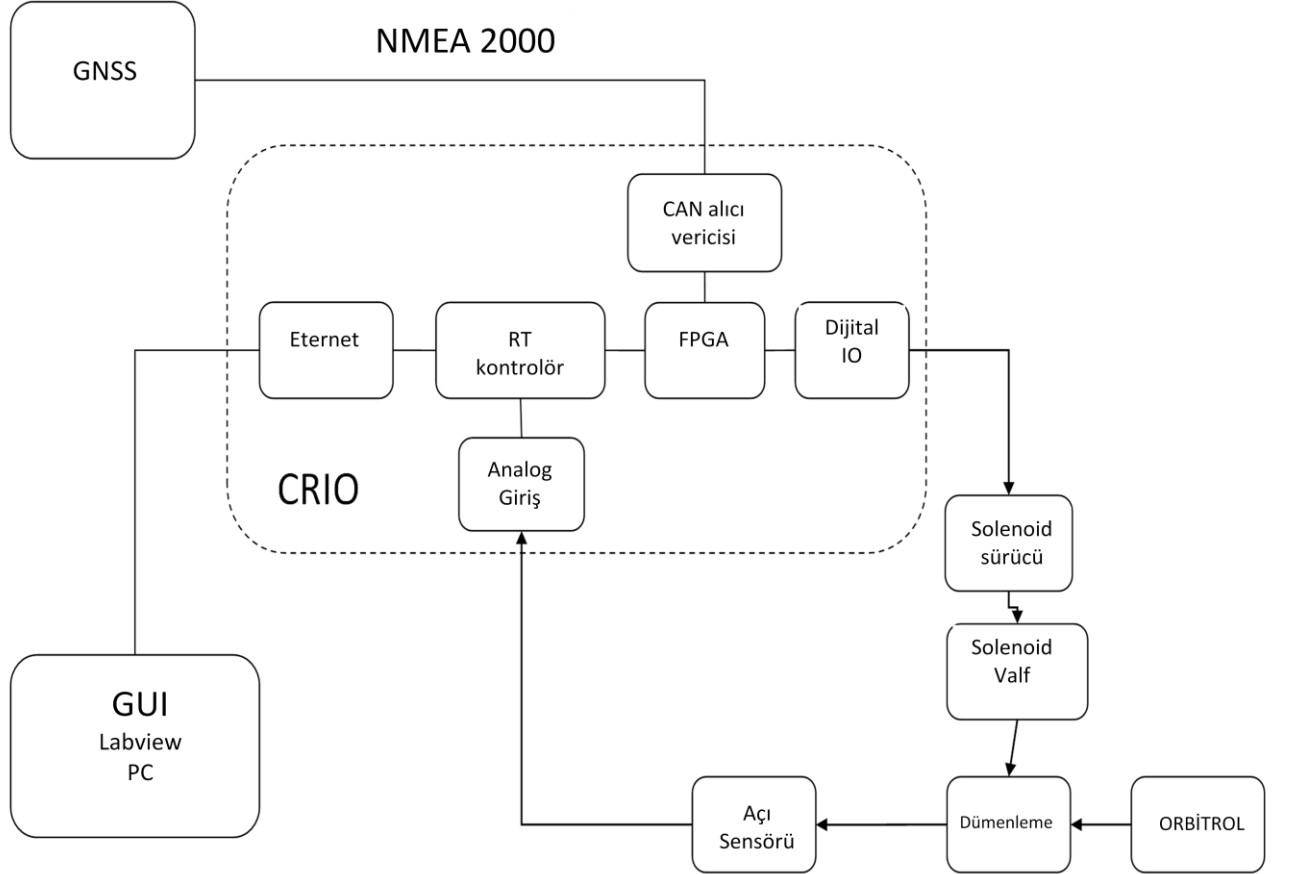
Çizelge 12. Testlerde kullanılan tarla pülverizatörünün özellikleri

Toplam hacim	L	600
İş Genişliği	m	12
Meme Sayısı	Adet	25
Ağırlık (Boş)	Kg	180
Gerekli Güç	BG	60

3.2.Yöntem

3.2.1. Sistemin tasarımı

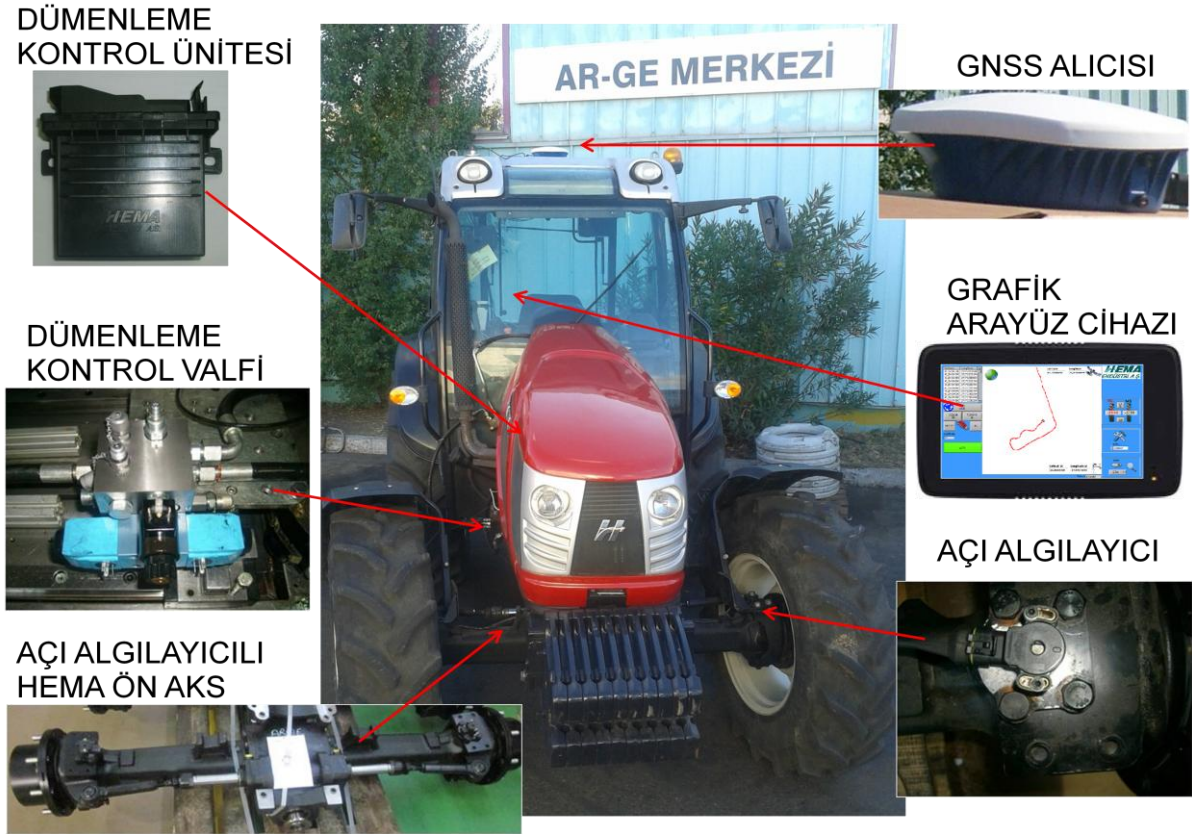
Traktörler için geliştirilen otomatik dümenleme sistemi direksiyon kontrol ünitesi, konum belirleme sistemi, dokunmatik kullanıcı ara yüzü ve yazılımdan oluşan merkezi kontrol ünitesi alt sistemlerinden oluşmaktadır. Şekil 45’de sistemi oluşturan donanımın yapısı görülmektedir.



Şekil 45. Otomatik dümenleme sisteminin donanım yapısı

GNSS'ten yani küresel seyrüsefer uydu sistemi ile elde edilen konum verileri bir NMEA (National Marine Electronics Association) protokolü ile Merkezi kontrol ünitesi olan CRIO (Compact reconfigurable IO) isimli endüstriyel kontrolöre iletilir. Başta denizcilik için geliştirilmiş olan bu protokol saniyede 250 kilobitlik bir hızda sensörler ile gösterge ünitelerinin haberleşmesini sağlar. NMEA 2000, Controller area network (Can bus) ile bağdaşmaktadır. Kullanıcı arayüzünden (GUI) gelen komutlar ethernet yardımı ile gerçek zamanlı kontrol sistemin ulaştırılır. Gerçek zamanlı kontrol ünitesi ile Can alıcı ve verisinden gelen bilgiler alanda programlanabilir kapı dizisi (FPGA) biriminde değerlendirilerek dijital

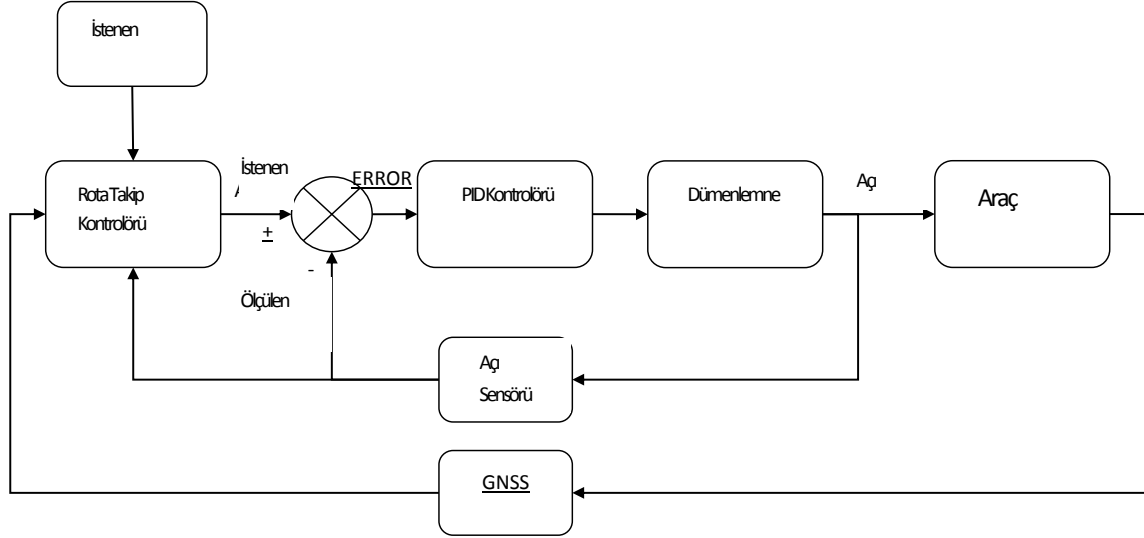
çıkış olarak solenoid sürücüye yönlendirilir. Solenoid sürücü dijital giriş-çıkıştan 5 V PWM (Pulse with modulation) sinyal üreterek bir dönüştürücü gibi çalışmaktadır. Solenoid valf akış kontrolünü bu sinyallere göre düzenleyerek hidrolik silindirlere dümenlemeyi gerçekleştirmesini sağlar. Ön tekerleklerde bulunan açı sensörü ise tekerleğin açısını CRIOnun analog girişine göndererek dümenleme açısının sürekli olarak bilinmesine olanak verir. Dümenleme kontrol ünitesi, dümenleme kontrol valfi, açı algılayıcı ön aks, GNSS alıcısı, grafik arayüz cihazı ve açı algılayıcı traktör üzerinde en uygun yerlere monte edilmiştir. donanımların monte edilmesi sırasında hem donanımların performansı hem de kullanım kolaylığı göz önünde bulundurulmuştur. Şekil 46'da bu donanımların traktör üzerindeki yerleşimi gösterilmektedir.



Şekil 46. Sistemi oluşturan elemanların traktör üzerindeki yerleşimi

Bu sistem içerisinde konum belirleme sistemi GNSS uydularından aldığı veriler ile traktörün konumunu belirlemektedir. Merkezi kontrol ünitesine dokunmatik kullanıcı arayüzü ile girilen rota bilgileri yazılımda değerlendirilerek konum belirleme sisteminden gelen veriler ile işleme tabi tutulur. Kullanıcı arayüzü ile girilmiş olan arzu edilen rota üzerindeki traktörün konumu arasındaki fark hesaplanır. Daha sonra bu hatanın kapatılabilmesi için merkezi kontrol ünitesi, dümenleme kontrol ünitesine komutlar gönderir.

Dümenleme kontrol ünitesi ise geliştirilmiş olan açı algılayıcı ön aksa komuta vererek hangi açıda ne kadar dönmesi ön tekerleklerin gerekiyorsa sağa ya da sola dönmesini sağlar. Şekil 47’de sistemin kapalı çevrim kontrol yapısı görülmektedir.

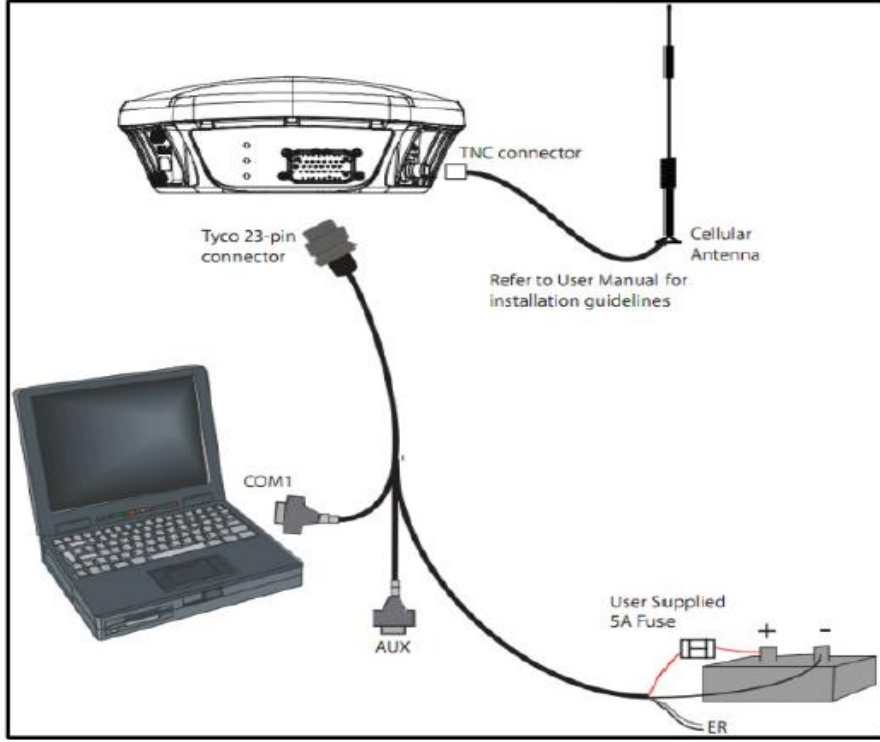


Şekil 47. Otomatik dümenleme sisteminin kontrol yapısı

3.2.2. Konum belirleme sisteminin tasarımı

Geliştirilen otomatik dümenleme sisteminde Novatel MR15 model GNSS alıcısı kullanılmıştır. Şekil 48’de görüldüğü gibi MR15 RS232 seri port ve ya Bluetooth yoluyla bilgisayara ve ya kullanıcı ara yüzüne bağlanabilmektedir.

Konum belirleme sistemleri farklı hassasiyette konum belirleyebilmektedirler. El GPS cihazlarında metre düzeyinde olan hassasiyet DGPS uygulamalarında 10-15 cm RTK-GPS te ise 1-3 cm arasında hassasiyet gösterebilmektedir. Tarımsal uygulamalarda gübreleme ilaçlama gibi işlemler metre hassasiyetinde, pullukla ve ya diğer aletler ile toprak işleme operasyonları 10-20 cm hassasiyette yapılsa bile çapalama gibi işlemler çok daha hassas konum belirleme gerektirmektedir. Çalışmada olabilecek en hassas uygulamaya göre işlem yapılabilmesi için RTK-GPS uygulanması tercih edilmiştir.



Şekil 48. Novatel MR15 GNSS alıcısının bağlantı şeması

Novatel MR15 GNSS alıcısı farklı yöntemlerle ölçüm alabilmektedir.

CORS-TR ağına bağlanarak ölçüm: CORS ağları sürekli gözlem yapan referans istasyonlarından ve bu verinin kaydedildiği ve işlenerek düzeltme verisinin yayınlandığı kontrol merkezlerinden oluşmaktadır. CORS ağları VRS, FKP veya MAC gibi yöntemlerde RTCM ve CMR veya bunların türevlerinde yayın formatlarını internet üzerinden taşınmasına olanak sağlayan NTRIP adı verilen bir protokol ile yayın yapar. Burada FKP ve MAC Glonass uydularını kullanmamaktadırlar. Bunun yanı sıra MAC yönteminde çözüm alıcıda gerçekleştiğinden hem yavaş ve hem de pahalı bir yöntemdir. Dünyada %97 kullanıcı VRS (sanal referans istasyonu) kullanmaktadır.

CORS sisteminde sabit istasyonlar olduğundan baz istasyonuna ihtiyaç yoktur. Eldeki alıcılardan herbiri ile CORS kontrol merkezinden sağlanacak IP, kullanıcı adı ve şifre bilgileri kullanılarak CORS kontrol merkezine GPRS/EDGE/3G ile bağlanılır. Kontrol merkezinde alıcının koordinat bilgileri ağdan gelen düzeltme bilgileri ile birleştirilerek gerçek konum, ağın sıklığına göre (CORS-TR’de istasyonların ortalama uzaklığı 90 km ve hassasiyet 3-4 cm) belirli bir hassasiyetle hesaplanır ve kullanılan yöntemle ilgili olarak, örneğin ; Sanal Referans İstasyonuna (VRS) gönderilir ve buradan alıcıya ulaşır. Çalışmada öncelikli olarak CORS sisteminden faydalanılarak 3-4 cm hassasiyetle konum belirlenmiştir. Bu konum mevcut konum belirleme sistemleri içerisindeki en hassas olanıdır. Ancak çalışmalar

sırasında CORS-TR ağında zaman zaman meydana gelen haberleşme ve teknik arızalardan dolayı çalışmaların aksadığı gözlenmiştir.

Geniş Alan Diferansiyel GPS Yöntemi : CORS-TR ağında yukarıda anlatılan aksaklıkların yaşandığı zamanlarda testler ikinci yöntem olan WADGPS sistemi ile devam etmiştir. Bu yöntemde SBAS uydularının (EGNOS-120, EGNOS-124, EGNOS-126) özellikle 3'ünün birden ülkemizden aktif görüldüğü öğlen saatlerinde 50'cm ye kadar doğruluk sağlanabilmiştir.

Yer Tabanlı Diferansiyel GPS Yöntemi : Çalışmada geliştirilen sistemin lokal anlamda bir baz istasyonu kullanılarak DGPS ile de çalışması hedeflenmekteydi. Bu amaçla Namık Kemal Üniveristesi'nde bulunan GNSS alıcılarının Novatel MR15 ile haberleşmesi için çalışmalar yapılmıştır fakat teknik nedenlerden dolayı DGPS cihazları ile Novatel MR15 arasındaki uyumsuzluktan dolayı DGPS ile çalışma yapılamamıştır.

DGPS çalışması için Novatel MR15 ile uyumlu radyo modemler elde edilememiştir. Sonuç olarak modemler satın alınamadığı için RTK GPS e göre daha az hassas olan Lokal DGPS uygulaması gerçekleştirilememiştir.

Sürpriz eğime sahip arazilerden kaynaklanabilecek olan konum hatalarının jiroskop ile düzeltilmesi hedeflenmiştir. Fakat cihazlar temin edildikten sonra cihazların ana üretici firması tarafından yapılan kısıtlamalardan dolayı gerekli haberleşme protokollerin elde edilmesinde sorunlar ortaya çıkmıştır. GNSS sistemine entegre edilmesi ve uyumlu çalışması planlanan jiroskop sensörün montajı ve kullanımı bu nedenlerden mümkün olmamıştır. Fakat jiroskop sensörün sisteme dahil edilmesi konusunda çalışmalar devam etmektedir. Alınan konum bilgilerinin merkezi kontrol ünitesine iletilmesi sağlanmış, CORS-TR ile 3–4 cm doğrulukta konumun belirlenmesi ile arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Testler tamamlandıktan sonra GNSS alıcısı traktör kabini üzerinde özel olarak yapılan metal bağlantı aparatları üzerine yerleştirilmiştir. Böylece anten traktörün en üst noktasında ve merkezde yer almaktadır. Bunun sonucunda sinyalleri en geniş açı ile alabilmekte ve kolaylıkla sökülüp takılabilmektedir. Şekil 49'da MR15 GNSS alıcısının traktör üzerine bağlantı kızıkları ile birlikte kabinin üzerindeki konumu görülmektedir.



Şekil 49. MR15 GNSS alıcısının traktör üzerindeki konumu

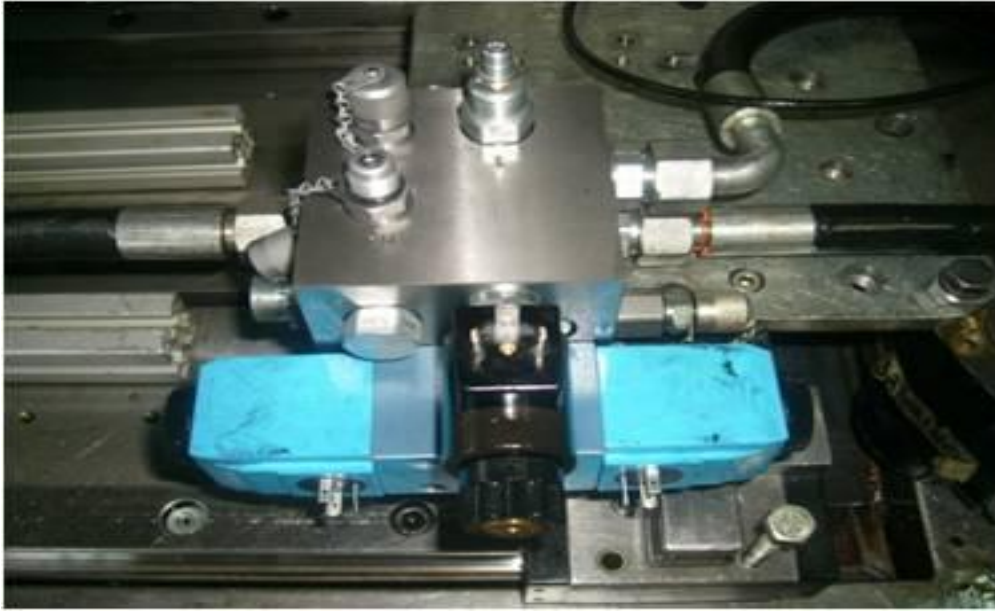
3.2.3. Dümenleme elektronik kontrol ünitesinin tasarımı

Dümenleme elektronik kontrol ünitesi ve ya direksiyon elektronik kontrol ünitesi bir elektrohidrolik valf ve bu valfi yönlendiren bir elektronik kontrol devresinden oluşmaktadır. Merkezi kontrol ünitesinden gelen komutlara göre direksiyonun gerektiği kadar istenilen yöne dönmesini sağlamıştır. Bunun için Direksiyonun kontrolü için çift valfli bir sistem geliştirilmiştir ve ayrıca buna ek olarak elektro-hidrolik valfin kontrolü için dümenleme elektronik kontrol ünitesi geliştirilmiştir. Kontrol ünitesi Hema Endüstrinin benzer bir elektrohidrolik sistem için gerçekleştirdiği tasarıma benzer olarak yeni bir tasarım yapılmıştır. Yapılan bu dümenleme elektronik kontrol ünitesi ISO 25119 standartlarına uygun olarak tasarlanmıştır.

Geliştirilen dümenleme elektronik kontrol sistemi traktör üzerine yerleştirilmiştir ve testleri yapılmıştır. Dümenleme kontrol sisteminin tasarımı traktörün otomatik dümenlemesi için gerekli olan ilk adımdır. Aracın alınan GPS verilerine göre istenen rotayı izleyebilmesi için başarılı bir şekilde dümenleme kontrolü sağlaması gerekmektedir. Kontrol ünitesi iki adet oransal solenoidli valfi kontrol edebilen, çeşitli sensörlerden bilgi alabilen ve CAN, RS232

gibi haberleşme protokollerinde haberleşme gerçekleştirebilme yeteneğine sahip olarak tasarlanmıştır

Kontrol valfleri çift etkili silindirin hareketini sağlayan yağı yönlendirmek için kullanılmıştır. Oransal valfler oransal olarak silindirin hareket hızını kontrol edebilecek yapıdadır. Direksiyon kontrol sistemi, tasarımı aracın sahip olduğu direksiyon sistemi ile uyumlu ve beraber çalışabilen özellikte yapılandırılmıştır . Valf bloğu tasarımı şekil 50’de görüldüğü gibi gerçekleştirilmiştir, kontrol ünitesi ile tasarlanan ön akstaki silindir, traktör ile tamamen uyumlu bir hale getirilmiştir ve ilk olarak laboratuvar ortamında ve daha sonra da traktör üzerine monte edilerek denenmiş ve sorunsuz bir şekilde çalıştırılmıştır (Şekil 50).



Şekil 50. Elektrohidrolik kontrol valf bloğu

3.2.4. Merkezi kontrol ünitesi ve yazılımın tasarımı

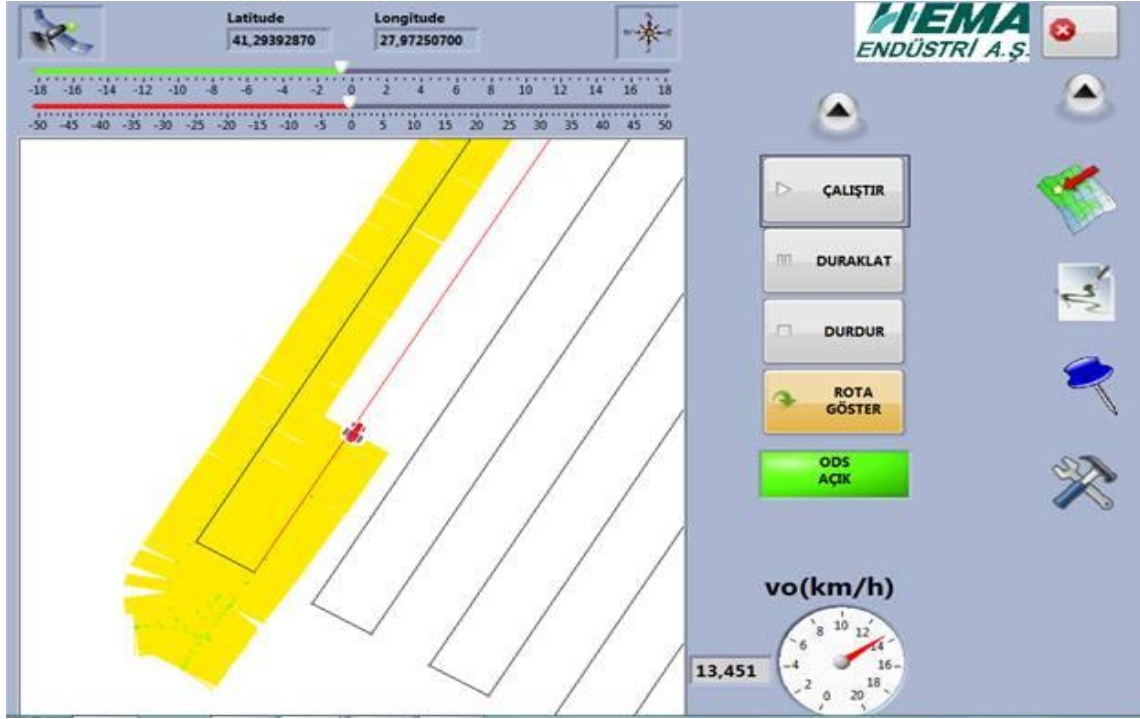
Dokunmatik kullanıcı arayüzü ile yazılımın ortak çalıştığı merkezi kontrol ünitesi, sistemin karar mekanizması olduğu gibi aynı zamanda çeşitli ayarlamaların yapıldığı ve bilgilerin girildiği bir arayüzdür. Merkezi kontrol ünitesi konum verilerini istenilen rota ile değerlendirerek dümenleme elektronik kontrol ünitesine dümenlemenin ne yöne ne kadar yapılması gerektiği konusunda komutları gönderir. Ayrıca dokunmatik kullanıcı arayüzünde sürücü ve ya kullanıcı gerekli bilgileri girerek sistemin hangi rotayı takip etmesi gerektiğini belirleyebilmektedir. Traktörün gitmesi gereken rotaların ve haritaların yüklenebildiği ve bu rotalar üzerinde ilerleyebilmesi için gerekli dümenlemelerin sağlanabilmesi için gerekli komutları verebilen dokunmatik kullanıcı arayüzü ve merkezi kontrol ünitesinde bulunan

dokunmatik ekran sürücüyü sistemin çalışması hakkında bilgiler verdiği gibi aynı zamanda ayarların yapılabildiği bir kontrol paneli görevini de üstlenir. Arayüzde uydular ile bağlantı durumunu, enlem ve boylam olarak konum bilgilerini gösterebilmektedir. Ayrıca otomatik dümenleme sisteminin çalıştırılıp durdurulması ve ayarları şekil 51’de görüldüğü gibi gerçekleştirilebilmektedir



Şekil 51. Kullanıcı ara yüzü yazılımı

Yazılım, dümenleme kontrol yazılımı, grafik ara yüzü yazılımı, konum belirleme ve hareketin saptanması yazılımı ve sistem haberleşmesi ve entegrasyonu yazılımlarından oluşmaktadır. Dümenleme kontrol yazılımı C++ programla dili ile diğer yazılımlar ise Visual Studio-2005 içerisindeki programlama dilleri ile yazılmıştır. Geliştirilen yazılım traktörün konumunu, konum belirleme sisteminden aldığı konum verileri ile belirleyerek gitmesi gereken rotada ilerlemeyi bu veriler ile kıyaslayarak direksiyon kontrol ünitesine iletilmek üzere komutlar üretir. Yazılım ayrıca yapılacak işlerin yüklenebilmesine, yapılan işleri kaydedilmesine ve kaydedilmiş verilerin dış ortamlara aktarabilmesine imkan vermiştir. Bu ünite ile sistemin çalışması ve traktörün konumuna dair bilgiler ekranda görüntülenebilmektedir. Traktör ile tarlada çalışmada farklı rota seçenekleri tercih edilebilmektedir ve arayüz ile yazılıma tanımlanabilmektedir (Şekil 52).



Şekil 53. Operasyon sırasında grafik arayüz programı kayıt ekranı

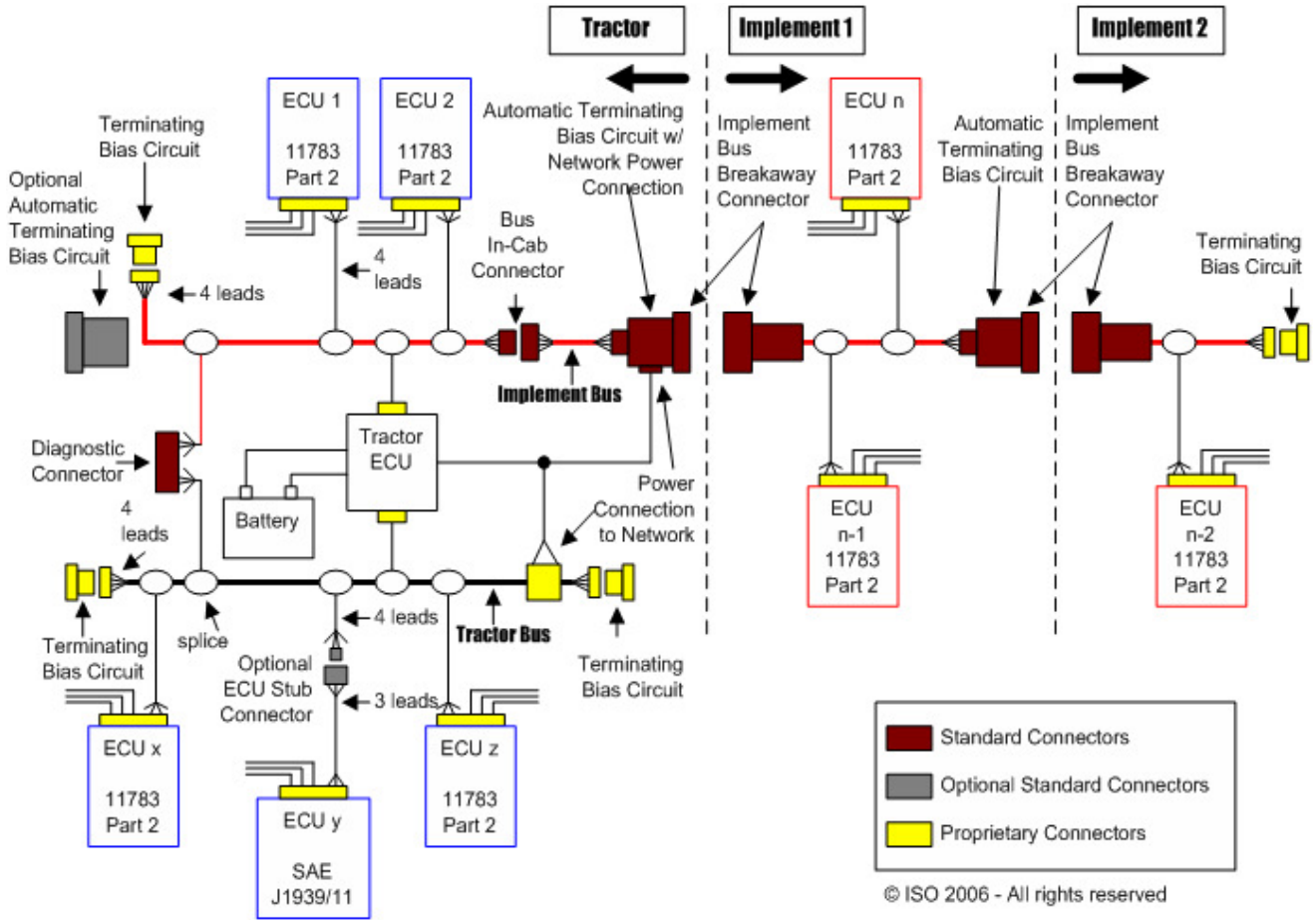
3.2.5. Sistemin entegrasyonu

Direksiyon kontrol sistemi, Dokunmatik kullanıcı ara yüzü ve konum belirleme sisteminin birbirileri arasındaki entegrasyonu sağlanmıştır. Ayrıca farklı modellerdeki traktörler üzerinde sistemin konumlandırılması için sistemin parçalarının bağlantılarını gerçekleştirmek mümkün hale gelmiştir. Sistemin standartlar uygun bir şekilde ortaya çıkarılabilmesi için gerekli standartlar temin edilmiştir. Temin edilen standartlar aşağıdaki gibidir;

- 1) ISO 25119-1:2010 : Tarım – orman traktörleri ve makinaları- kontrol sistemlerinin güvenlik parçaları- bölüm 1- tasarım ve geliştirme için genel prensipler
- 2) ISO 25119-2:2010 : Tarım – orman traktörleri ve makinaları- kontrol sistemlerinin güvenlik parçaları- bölüm 2 – Konsept aşaması
- 3) ISO 25119-3:2010 : Tarım – orman traktörleri ve makinaları- kontrol sistemlerinin güvenlik parçaları- bölüm 3 – dizi tasarımları, donanım ve yazılım
- 4) ISO 25119-4:2010: Tarım – orman traktörleri ve makinaları- kontrol sistemlerinin güvenlik parçaları- bölüm 4: Üretim, operasyon, düzenleme ve destekleme işlemleri

- 5) ISO 12188-1:2010 : Tarım – orman traktörleri ve makinaları- tarımda konum belirleme sistemlerinin test prosedürleri – bölüm 1- uydu esaslı konum belirleme cihazlarının dinamik testleri.
- 6) ISO 10975:2009 : Tarım traktörleri ve makinaları – kendi yürür ve sürücü kontrollü makinalar için otomatik dümenleme sistemleri – güvenlik ihtiyaçları.
- 7) ISO 11783-1:2007 : Tarım – orman traktörleri ve makinaları – Seri kontrol ve iletişim verileri ağı – bölüm 1- mobil veri iletişimi için genel standart
- 8) ISO 11783-2:2002 : Tarım – orman traktörleri ve makinaları – Seri kontrol ve iletişim verileri ağı – bölüm 2- fiziksel katman.
- 9) ISO 11783-3:2007 : Tarım – orman traktörleri ve makinaları – Seri kontrol ve iletişim verileri ağı – bölüm 3- veri bağlantı katmanı
- 10) ISO 11783-4:2001 : Tarım – orman traktörleri ve makinaları – Seri kontrol ve iletişim verileri ağı – bölüm 4- ağ katmanı
- 11) ISO 11783-5:2001 : Tarım – orman traktörleri ve makinaları – Seri kontrol ve iletişim verileri ağı – bölüm 5- ağ yönetimi
- 12) ISO 11783-7:2009 : Tarım – orman traktörleri ve makinaları – Seri kontrol ve iletişim verileri ağı – bölüm 7- ekipman mesajları uygulaması katmanı
- 13) ISO 11783-10:2009 : Tarım – orman traktörleri ve makinaları – Seri kontrol ve iletişim verileri ağı – bölüm 10 – görev kontrolörü ve bilgi sistemi veri değişimi yönetimi
- 14) ISO 11783-11-2007 Tarım – orman traktörleri ve makinaları – Seri kontrol ve iletişim verileri ağı – bölüm 11 – mobil veri element sözlüğü (Anonim 2011).

Sistemde bulunan kontrol sistemlerinin haberleşmelerini sağlamak için CAN BUS kullanılması uygun bulunmuştur. Tarım araçlarında elektronik cihazlar arası standart haberleşme yapısı olarak CAN BUS diğer adı ile ISOBUS kullanılmaktadır. ISO 11783 standartları temin edilerek bu standartlara uygun haberleşme yapısı oluşturulmuştur (Şekil 54).



Şekil 54. ISO 11783 Network

Sistemin entegrasyonunda GNSS, merkezi kontrol ünitesi ve dümenleme kontrol ünitesi arasındaki kablolama işlemleri tamamlanmıştır. Sistemin kablo ve bağlantılarının tamamlanmasında aşağıda yazan elemanlardan faydalanılmıştır.

3 Adet Direksiyon Kontrol Ünitesi kablo demeti

3 Adet Grafik Arayüz ünitesi kablo demeti

3 Adet GNSS cihazı kablo demeti

6 Adet Güç dağıtım kablosu

5 Adet Genel Güç Bağlantı kablosu

8 Adet ISO-BUS dağıtım kablosu

10 Adet Grafik Arayüz Ünitesi konektörü

6 Adet Valf sürücü bağlantı kablosu

10 Adet sensör bağlantı kablosu tip1

10 Adet sensör bağlantı kablosu tip2

10 Adet sensör bağlantı kablosu tip3

10 Adet Güç bağlantı konektörü dişi

10 Adet ISO-BUS bağlantı konektörü dişi

10 Adet Güç Bağlantı konektörü erkek

10 Adet ISO-BUS bağlantı konektörü erkek

Tüm sistemin modellenmesi ve entegrasyonu sonucunda yazılımın geliştirilmesi ve ilk testlerin yapılabilmesinin yolunu açmıştır. Sistem modellenmesinde oluşabilecek eksiklik ve yanlışlıklar sistemin oluşturulmasını, yazılımın doğru çalışmasını ve ürünün doğru çalışmasını olumsuz etkilememesi hedeflenmiştir. Ayrıca farklı modellerdeki traktörler üzerinde sistemin konumlandırılması için sistemin parçalarının bağlantıları tamamlanmıştır. Bu bağlantılardaki kablolama montaj ve haberleşme yöntemleri konusunda en uygun çözümler uygulanmıştır. Sistemin modellenmesi ve entegrasyonu sonucunda;

Direksiyon kontrol sistemi, Dokunmatik kullanıcı arayüzü ve merkezi kontrol ünitesinin ve konum belirleme sisteminin uyumlu bir şekilde çalışması sağlanmıştır ve bu sistemlerin traktör üzerinde ve birbirilerinin arasında ergonomik bir şekilde bağlantılarının tamamlanması gerçekleştirilmiştir.

Sistemin tasarlanmasında Labview programıyla bilgisayar desteği kullanılmıştır. Sistem modellenerek çizimleri elde edilmiştir ve sistemin bağlantıları düzenlenmiştir. Sistemin mümkün olduğunca kompakt, ergonomik ve sağlam bir yerleşimde olmasına dikkat edilmiştir.

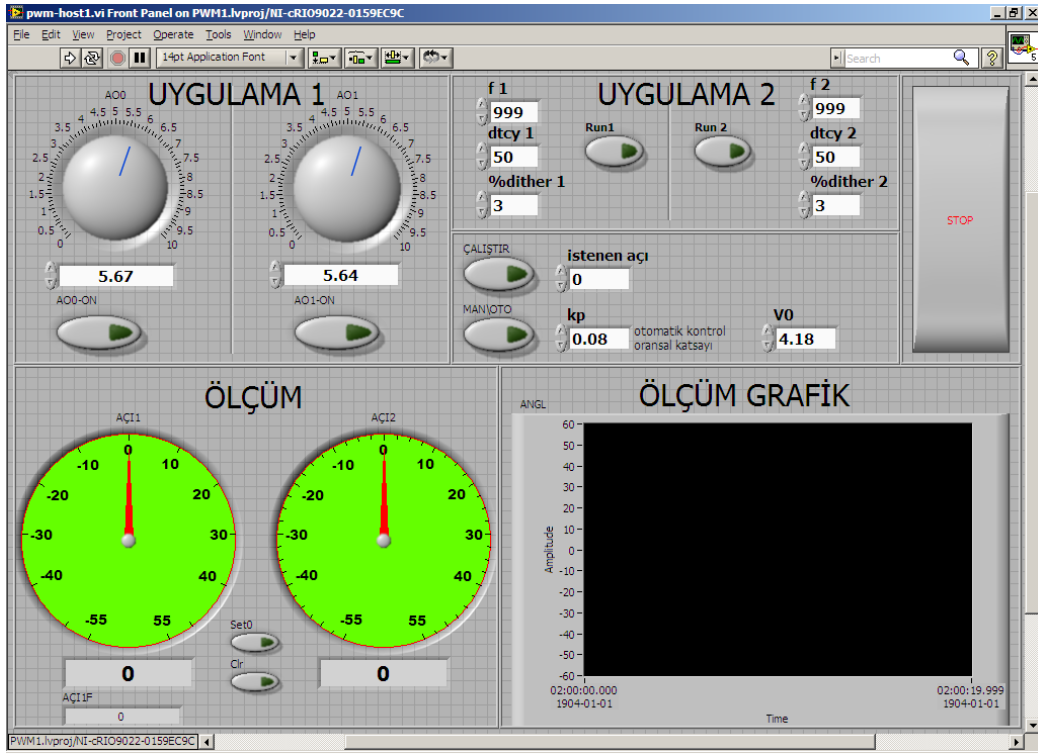
3.2.6. Laboratuvar testleri

Laboratuvar denemeleri parçaların ayrı ve sistem içerisindeki testlerini içermektedir. Parçalar tasarım değerlerini sağlaması konusunda test edilmiş olup, uygun ürünlerin elde edilmesi sonucu sistem testlerine geçilmiştir. Sistem testlerinde farklı uygulama koşulları laboratuvar ortamında gerçekleştirilerek traktörün yetenekleri test edilmiştir. Laboratuvar testlerinde Şekil 55’de görüldüğü gibi kullanılan sistemin uyumlu çalışması, iş güvenliği ve traktörün dümenlemeye yönelik performans kriterleri test edilebilmiştir. Bunun yanı sıra traktöre sanal konum verileri yüklenerek sistemin davranışı incelenerek olası hatalar traktör kullanılmadan önce ortadan kaldırılabilmektedir.



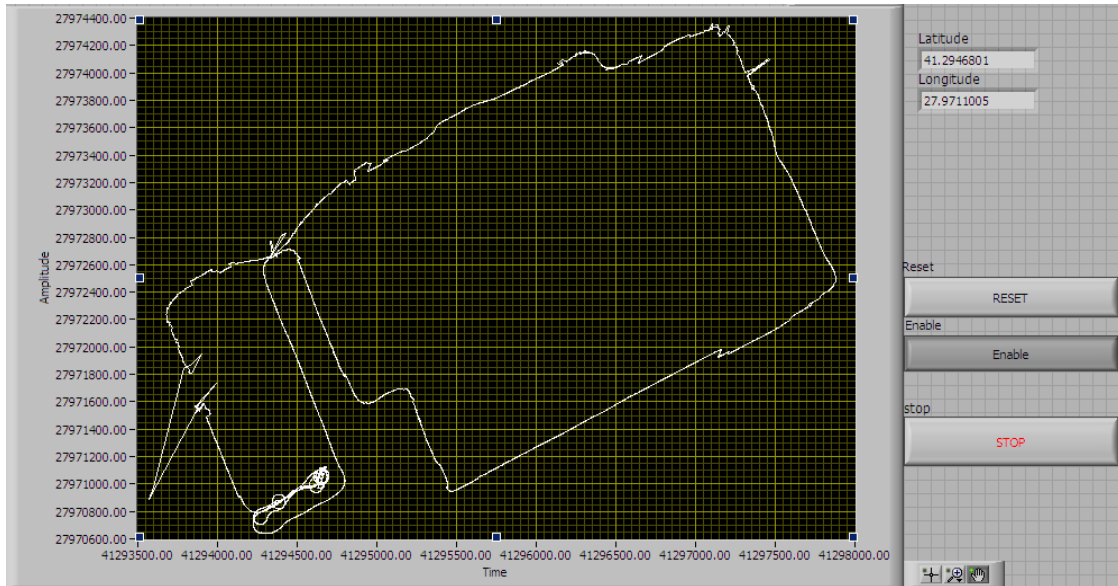
Şekil 55. Çalışma sırasında konum verileri tespit durum bilgileri

Laboratuvar testlerinde farklı elemanların testleri yapıldığı gibi bu elemanların kendi içerisinde uyumluluğu ve davranışları da test edilmiştir. Simülasyonları gerçekleştirmek için özel bilgisayar programları kullanılmıştır. Laboratuvar denemelerinde NI Labview programı ile geliştirilen test ve simülasyon programları ve cRIO sistemi kullanılmıştır. Şekil 56’da dümenleme kontrol ünitesi ile valflerin testi için dümenleme test programı görülmektedir.



Şekil 56. Valf ile dümenleme kontrol test programı

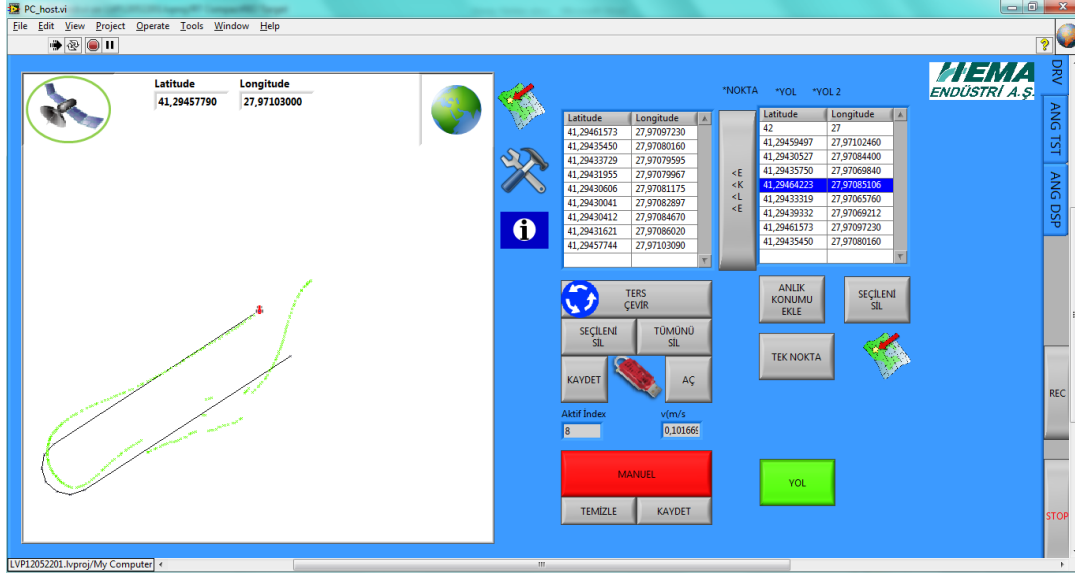
GPS cihazı ile CAN BUS haberleşmenin gerçekleştirilmesi için hazırlanan test yazılımı kullanılarak test edilmiştir. Sabit ve hareketli durumda değer alımı da gerçekleştirilmiştir (Şekil 57).



Şekil 57.CAN BUS ile GPS verilerin alımı test programı ekran görüntüsü

Ön aksın otomatik dümenleme açısının testleri gerçekleştirilmiştir. Tasarım verileri ile ölçüm verilerinin karşılaştırması sonucu sistemin sağlıklı çalıştığı tespit edilmiştir. Yapılan testler sonucunda

Ayrıca belirlenen rotanın takibi için deneyler gerçekleştirilmiştir (Şekil 58). Rota üzerinde doğru ya da doğruya yakın kısımların takibinde 2-5 cm arasında sapma ölçülmüştür. Dönüşlerde sapmanın arttığı ama tekrar doğrusal rotaya girilebildiği tespit edilmiştir. Dönüşlerin iyileştirilmesi için kontrol yapısı üzerinde çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 58. Rota takibi sırasında yaşanan konum sapmaları tespiti

3.2.7. Saha Testleri

GNSS in saha testleri

a) Sabit nokta ölçümlerinde,
b) TEM ve ara yollarda araba ile 110 – 120 km seyir halindeyken,
GNSS alıcısı CORS-TR'ye bağlı olarak test edildi. Bütün testler sonucunda 3 boyutta (X, Y, Z) gerek CORS-TR ve gerekse cihaz için hata sınırları maksimum 1-3 cm düzeyinde belirlenmiştir (Şekil 59).



Şekil 59 - TEM'de 110-120 km hızla hareket halinde CORS-TR'ye bağlı GNSS alıcısı ile elde edilen rota çizgisi

Otomatik dümenleme sisteminde söz konusu olan traktörlerin hızlarının 10-20 km düzeyinde olduğu düşünülürse bu hataların sistem için son derece kabul edilebilir değerler olduğu görülmektedir.

Rota takip performansının belirlenmesi

Rota takip performansının belirlenmesinde arazinin eğimi ve ekipmanın reaksiyonu gibi değişkenler ortadan kaldırılarak düz bir zeminde farklı hızlarda traktörün ilerlemesi sağlanmıştır. Sistem kendi hatasını kaydedebilmektedir ancak hatalar bu testte sistem dışında tek tek ölçülmüştür. İp rotayı sürücü için görünür hale getirmiştir skalaların yerleştirilmesi için düz bir çizgi oluşturmuştur. Bu rota üzerinde ölçümlerin alınabilmesi için her 5m üzerindeki noktalara skalalar yerleştirilmiştir. Skalalar 0,5 cm aralıklı çizgilerden oluşan A3 boyutlu kağıttan oluşturulmuştur ve skalalar bant yardımı ile yere yapıştırılmıştır (Şekil 60).



Şekil 60. Her 5m'deki noktalara konulan skala

Skalaların orta noktası rotayı gösteren ipin tam orta noktasına hizalanacak şekilde yerleştirilmiştir ve yere bant ile yapıştırılmıştır. Her noktaya 3 adet skala yerleştirilmiştir. Böylece test alanı oluşturulmuştur Testlerin gerçekleştirildiği alan 110 m uzunluğundadır. Test rotasının başlangıç ve bitiş noktalarının konumu GPS tarafından kaydedilmiştir ve iki nokta arasındaki doğru parçası otomatik dümenleme sistemi için rota olarak belirlenmiştir. Bu noktalar aynı zamanda çivi ile işaretlenmiştir ve bu iki çivi arasına ip gerilmiştir. (Şekil 61).



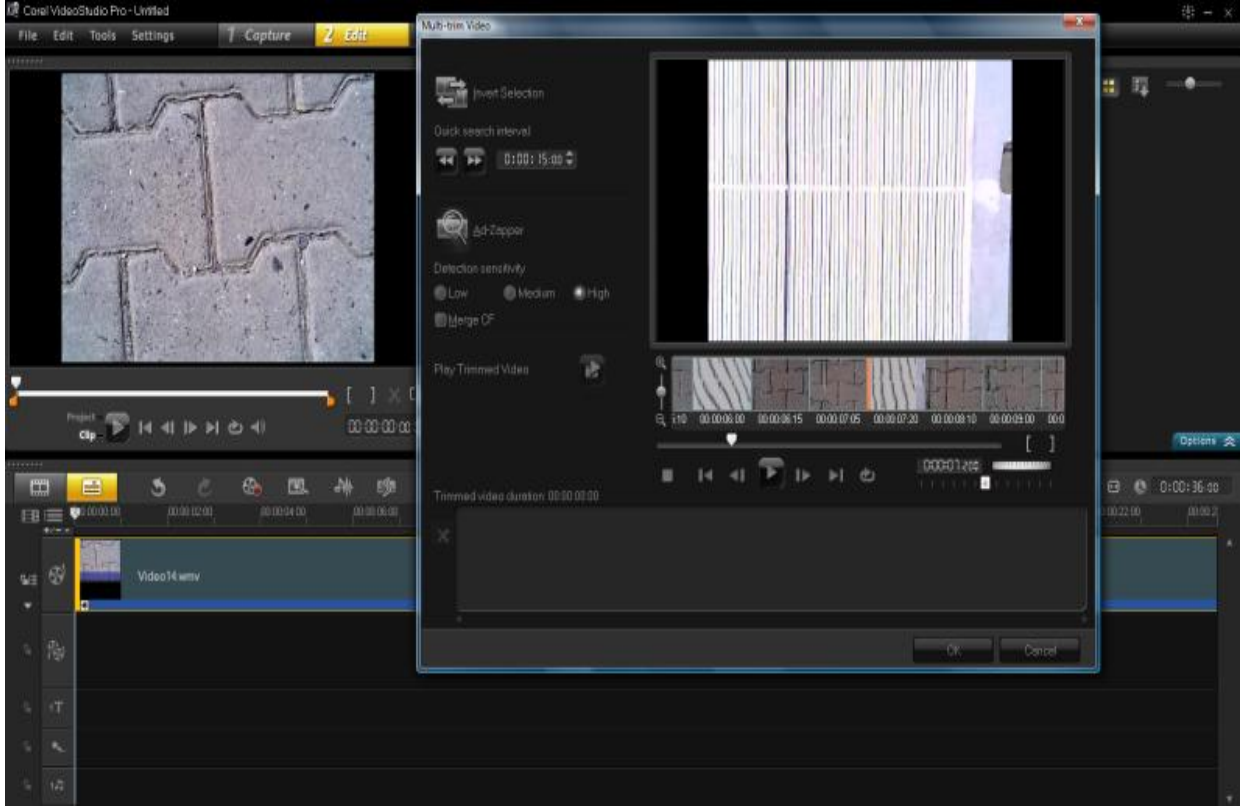
Şekil 61.Rota takip test alanının görünümü

Rota hazırlandıktan sonra sürücüsüz ve sürücülü testler için videolar kaydedilmiştir ve ölçümler alınmıştır. Sürücüsüz testlerde traktör otomatik dümenleme sisteminin kontrolü altında ilerlemiştir. Bunu sağlamak için başlangıç ve bitiş noktaları arasında otomatik dümenleme sistemi rota oluşturmuştur. Sistem oluşturulan bu rotada testler boyunca ilerlemiştir. Sürücülü testlerde ise sürücü yerdeki rotayı temsil eden ipi takip etmiştir. Hem sürücülü hem de sürücüsüz testler 2.4 km/h, 5.2 km/h, 8.1 km/h, 12.2 km/h, 18.0 km/h hızlarda gerçekleştirilmiştir ve her hız için 3 tekrür ile denemeler yapılmıştır. Testler boyunca şekil 62’de görüldüğü gibi traktörün çeki demirine bağlı olan hd çözünürlüklü bir Usb kamera ile video kaydı her tekrür için ayrı ayrı yapılmıştır. Hem sürücülü testler hem de sürücüsüz testlerde rotada ilerleme kayıt altına alınmıştır. Hatayı ölçme yöntemi kameranın orta noktasının rotadan uzaklığının belirlenmesine dayanmaktadır. Kamera traktörün arka aksının ortasında yer alan çeki demirine bağlanmıştır. Skalaların orta noktası ile rotanın orta noktası hizalanmıştır. Dolayısıyla skalanın orta noktası ile kameranın orta noktası rotadan sapma olmadığı durumunda üst üste çakışacaktır. Rotadan sapma olduğu zaman bu sapma kamera kayıtlarının incelenmesi ile tespit edilecektir.



Şekil 62. Kayıtların yapıldığı kameranın çeki demirindeki görünüşü

Videolar birden çok resmin birleştirilmesi hızlı bir şekilde oynatılmasıyla elde edilmektedir. Bu resimlere frame denilmektedir. Standart bir video saniyede 25 frameden oluşmaktadır. İnsan gözü video oynatılırken bu frameleri algılayacak hıza sahip değildir. Ancak çeşitli yazılımlar ile videolardan frameleri ayırmak mümkündür. Videolardan skalaları okuyabilmek için de öncelikle videodan framelerin ayrıştırılması gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmek için Corel Video Studio Pro X4 ve Jasc Animation Shop ve freemake video converter gibi dönüştürücü programlardan yararlanılmıştır. Şekil 63’de Corel Video Studio Pro X4 programı ile videodan framelere ayrıştırılma işlemi görülmektedir.



Şekil 63. Görüntülerden elde edilen framelerin videodan ayrılması işlemi

Videodan elde edilmiş olan framelerden skalaları gösteren resimler belirlenmiştir ve her video için yakalanan 23 noktadaki skala resimleri Powerpoint içerisine alınarak sayfalara resimlerin kenarları eşit olacak şekilde sığdırılmıştır. Powerpoint içerisinde gridler ve koordinat çizgileri aktif hale getirilmiştir. Koordinat çizgileri kameranın orta noktalarını göstermektedir. Dikey koordinat çizgisi ile skalanın orta noktası arasındaki mesafe, kameranın dolayısıyla traktörün merkezinin rotaya olan uzaklığını mm hassasiyetinde vermektedir. Her noktadaki fotoğraflarlar tek tek incelenerek aradaki farklar Excel dosyalarına kaydedilmiştir. Şekil 64’de kamera ile kaydedilen bir nokta üzerindeki skaladaki farkın ölçümü görülmektedir.



Şekil 64. Skala üzerinden fark hesaplanması

Excele aktarılan fark değerlerinin ortalama, minimum, maksimum, standart Sapma ve RMS hataları hesaplanarak tablolar haline getirilmiştir. Bu tablolar sonuçlar ve değerlendirme kısmında verilmiştir. Hesaplamalar aşağıdaki formüllere göre yapılmıştır (Soysal 1998).

Standart sapma;

$$1. \quad \sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

Aritmetik ortalama

$$2. \quad \bar{X}_A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

RMS hata

$$3. \quad \bar{X}_K = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{N}}$$

Formüldeki simgeler aşağıdaki gibidir.

σ : Standart Sapma

N: Veri (gözlem) Sayısı

x_i : Gözlem değerleri

\bar{X}_A : Aritmetik Ortalama

\bar{X}_K : Rms Hata Olarak hesaplanmıştır.

Ayrıca veriler Minitab ve SPSS programları kullanılarak tamamen şansa bağlı 3 faktörlü faktöriyel deneme deseni olarak kabul edilmiş Minitab da analiz yapılmış ve bazı tanımlayıcı istatistikler ise aynı zamanda SPSS istatistik paket programları kullanılarak elde edilmiştir. Bu istatistiksel analiz ile elde edilen ortalama hatalar üzerinde hızların, otomatik yada sürücü kullanımının ve bu ikisinin birlikte etkisinin ne olduğu araştırılmıştır.

Farklı ekipmanlar ve farklı rotalar ile tarla testi

Geliştirilen sistem Çerkezköy Merkezde yer alan Çelebi çiftliği arazilerinde test edilmiştir. Otomatik dümenleme sisteminin traktöre bağlanan ekipmanlar ile kullanım koşullarındaki reaksiyonunun gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Sistem öncelikli olarak goble diskaro, yaylı kültivatör ve gübre serpmeye makinası test edilmiştir. Yaylı Kültivatör ile yapılan testten bir görüntü Şekil 65’de görülmektedir.

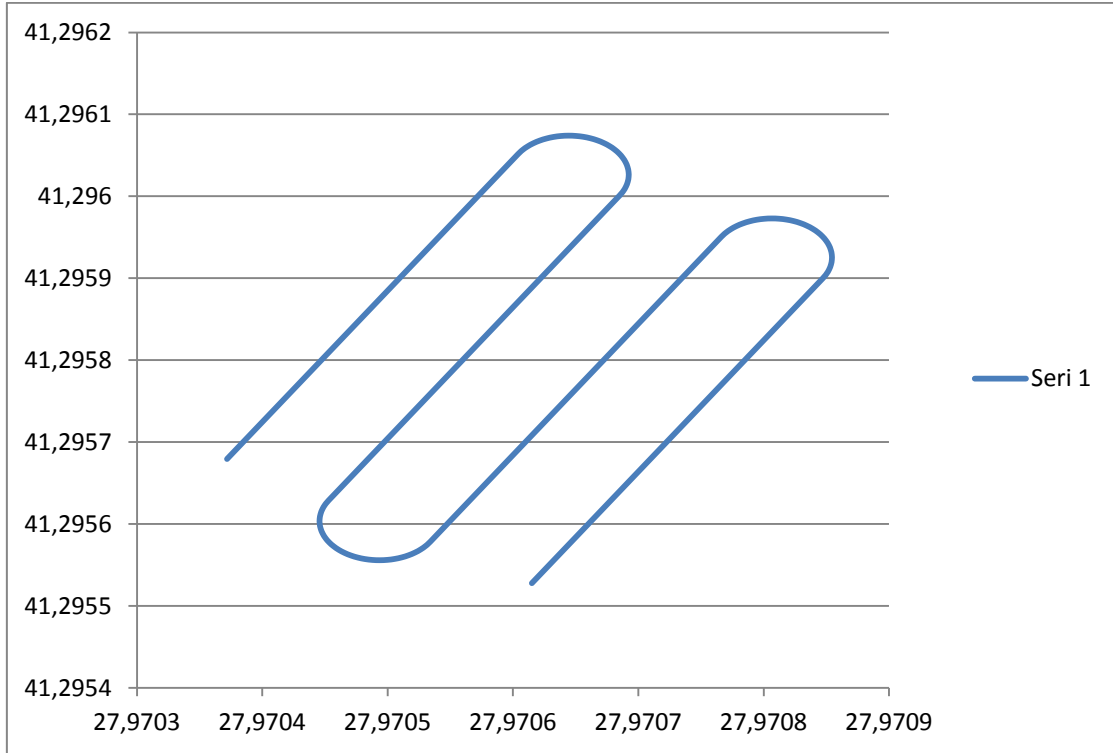


Şekil 65. Otomatik dümenleme sistemine sahip traktörün tarlada kültivatör ile çalışması

Testlerden alınan sonuçlar bilgisayar ortamında değerlendirilmiştir ve istatistiksel veriler ortaya çıkarılmıştır. Traktörün otomatik dümenlemesinde sistemin rotaları takip etmesinde,

yazılımda kullanılan modelde katsayılar bulunmaktadır. Bu katsayılar traktörün dümenleme açısını, traktörün konumuna ve takip edilmesi gereken rotaya göre ayarlamaktadır. Arazi denemelerinde alınan sonuçlara göre katsayılar da değişimler yapılarak traktörün belirlenen rotayı en iyi şekilde takip edebilmesi için çalışmalar yapılmıştır. Traktörün daha başarılı bir şekilde yani verilen rotadan daha az sapma ile çalışmasını sağlamak için gerekli düzeltmeler için gerekli olan ilk tarla testleridir.

Pulluk, tırmık, ekim makinaları, ilaçlama makinaları ve gübreleme makinaları ile insan kontrollü traktör ve otomatik kontrollü dümenlemeye sahip traktörün performansları değerlendirilmesi planlanmıştır ve gerekli test şartnameleri hazırlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, izlenmesi gereken rota ile gerçekleşen rota arasındaki minimum hata, maksimum hata, ortalama hata, hatanın standart sapması ve hata değerleri için RMS (Root Mean Square) değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca izlenmesi gereken rota ve bu rotadan sapma değerlerinin grafikleri çizilerek gösterilmiştir. Arazi denemeleri sonunda sistemdeki bütün problemler giderilerek sistemin daha sağlıklı çalışması sağlanmıştır. Rotalar kullanıcının isteği doğrultusunda her makine için ayrı ayrı girilmiştir. Şekil 66'da gübre serpmek için makinasının rotası görülmektedir.



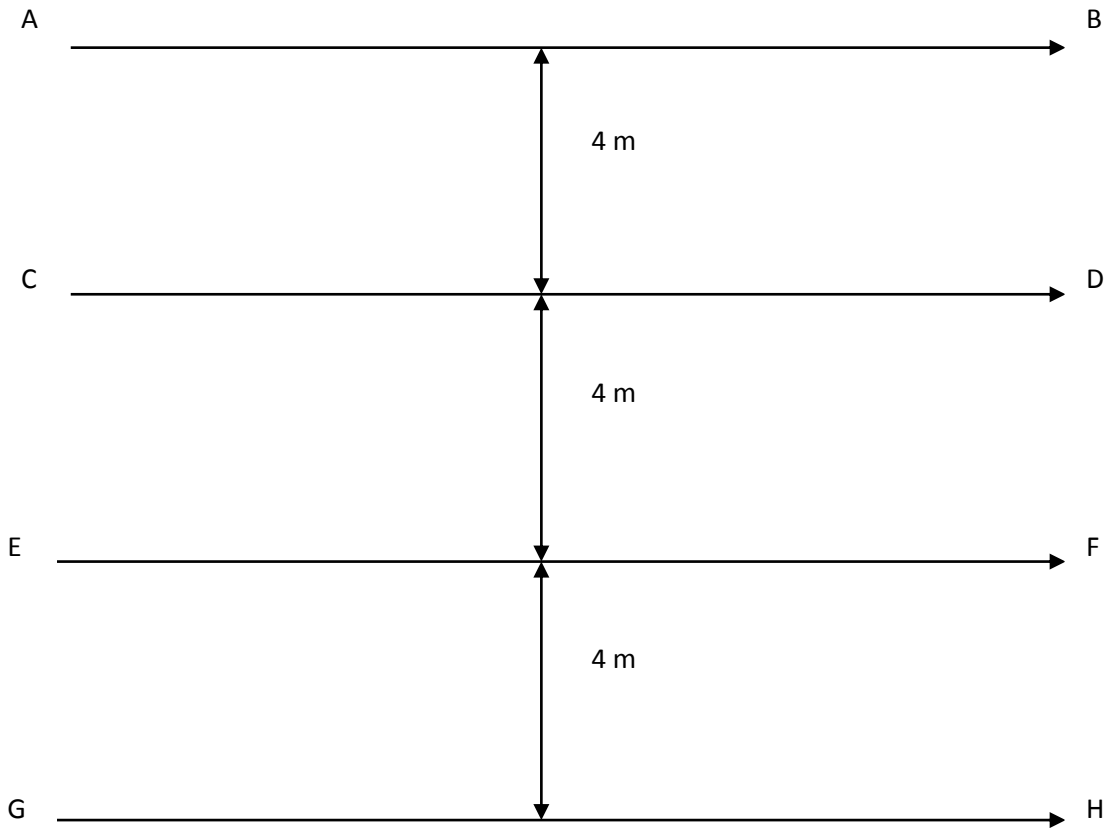
Şekil 66. Gübre serpmek için makinasının rotası

Tarla testleri sonucunda Pulluk, tırmık, ilaçlama makinaları denemeleri bu alet ve makinaların kullanımı için üretim sezonu uygun olmadığından çiftçi koşullarında testler

gerçekleştirilmemiştir, ancak goble diskaro, yaylı kültivatör ve gübre serpme makinalarının testleri gerçekleştirilmiştir.

Sabit rotalarda farklı ekipmanlar ile tarla Testleri

İkinci tarla testlerinde birinci tarla testlerinden farklı olarak rotalar kullanıcıya göre değil sabit bir şekilde belirlenmiştir. Bu amaçla başlangıç ve bitiş noktası belli olan bir AB rotası çizilmiştir ve 4 m lik ofsetler ile bu rotalar çoğaltılmıştır. Rota aralarının 4 er metre seçilmesinin sebebi toprak işleme aletlerinin iş genişliklerinin 4 metreden az olanlarının seçilmesidir. Bu şekilde traktör bir rotadan ilerlerken arkasına bağlı olan ekipman yanındaki rotayı bozmayacaktır. Rotlar 4 m aralıklar ile dört adet belirlenmiştir ve her rota bir tekerrür olarak kabul edilmiştir. Testlerde her makine için mümkün olduğunca sabit hızlarda gidilmeye çalışılmıştır. şekil 67’de testlerde gidilecek olan rota planı görülmektedir. Rotaların uzunlukları genel olarak 100 m olarak belirlenmiştir ancak test verilerinin alınıp değerlendirileceği bölge olarak 80 m lik bir bölge kullanılmıştır. Tarla içerisinde bulunan yaklaşık yarım metre derinliğinde çukurlar bulunmaktadır ve AB rotasından GH rotasına doğru hafif bir eğim bulunmaktadır.



şekil 67. Testlerde kullanılan sabit rotalar

Her rota için başlangıç ve bitiş noktaları enlem ve boylam olarak ayrıca kaydedilmiştir (Çizelge 13) Ayrıca 1 Hz frekans ile yani saniyede 1 veri olacak şekilde traktöre ait konum verileri kaydedilmiştir.

Çizelge 13. Rotaların başlangıç ve bitiş noktalarına ait konum bilgileri

Rota başlangıç bitiş noktaları		
A	41,30898120	28,00929010
B	41,30814220	28,00875690
C	41,30812012	28,00879164
D	41,30895912	28,00932484
E	41,30893705	28,00935958
F	41,30809805	28,00882638
G	41,30807597	28,00886112
H	41,30891497	28,00939432

Testlerde aşağıdaki ekipmanlar ile çalışma yapılmıştır.

- Aletsiz
- Pulluk
- Diskaro
- Çizel 7 li
- Yaylı kültivatör
- Ekim Makinası
- Gübre Serpme Makinası
- İlaçlama Makinası

Sıralama olarak da yukarıdaki sıralama planlanmıştır. Ancak tarlanın yapısındaki sorunlar ve konumu nedeniyle tercih edilen sıralama ve hızlar değiştirilmiştir. Tarlada bulunan derin çukurlar nedeniyle ilk başta yapılması planlanan ekipmansız testlerin yerine tarlanın düzleştirilmesi amacıyla çizel ve diskaro testleri yapılmıştır. Çizelge 14’de ekipmanlar ve hızlarını gösteren tablo yer almaktadır.

Çizelge 14. Testlerde kullanılan alet ve makinaların hızları

Alet/ Makine adı	Hız km/h
Çizel 7 li	2
Pulluk	5
Yaylı kültivatör	5
Goble Diskaro	5
Ekim Makinası	5
Gübre Serpme Makinası	5
İlaçlama Makinası	5
Ekipmansız Testler	2,5,8

Çalışmaya ekipmansız testlerden sonra pulluk ile devam edilmiştir.. Şekil 68’de ilk çalışma sırasında birinci rota işlendikten sonra ikinci rotadaki çalışma görülmektedir.



Şekil 68. Pulluk ile 2. rotadaki çalışma

Sabit rotalarda çalışma yapıldığından dolayı her seferinde aynı yollardan ilerlemiştir. Her çalışmanın verileri traktör üzerinde bulunan bilgisayara txt. Dosyaları olarak kaydedilmiştir. Veri sayıları traktörün pratikte aynı rotayı aynı zamanda ilerleyememesi nedeniyle değişkenlik göstermiştir. Ayrıca belirli rotalarda yapılan testler görsel olarak da testlerin sonuçları hakkında izlenim vermektedir. Şekil 69’da birbirine paralel olarak belirlenmiş rotalarda traktör ile çalıştıktan sonra tarladaki işlenmiş rotaların izleri görülmektedir.



Şekil 69’da Belirlenmiş olan rotaların işlendikten sonraki görüntüsü

Testlerden alınan verilerin ortalama, standart sapma, veri sayıları gösterilmiştir. Ayrıca tek yönlü anova testi ve Duncan testi ile değerlendirilmiştir.

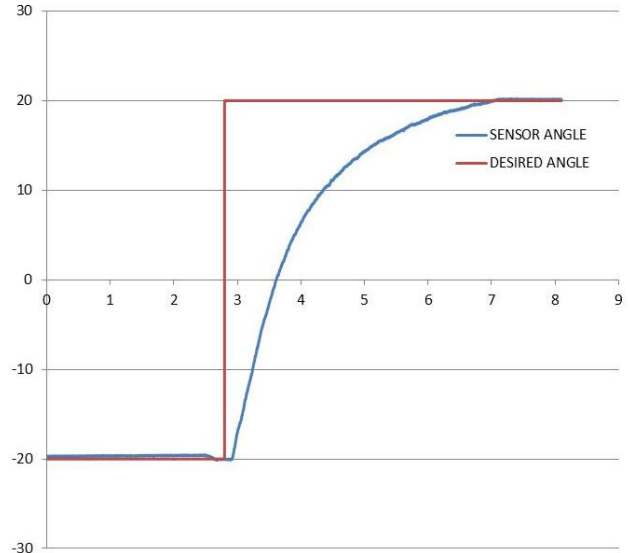
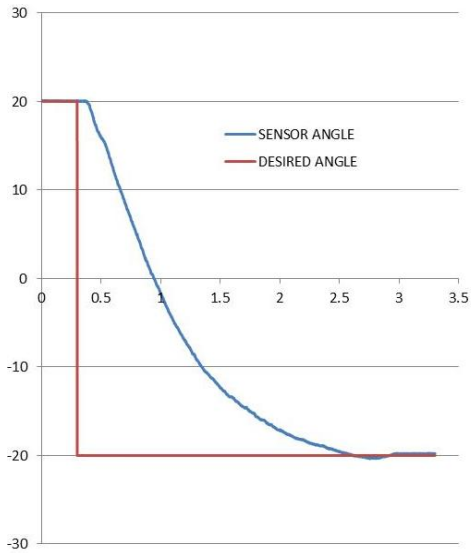
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Ön aks açısı ayar testi sonuçları

Açısı ayar testi sonuçlarına göre, İç(X eksen) –Dış(Y eksen) açısı tasarım ve ölçüm değerleri çizelge 15’de verilmiş ve Şekil 70’de grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 15. Ön aks açısı ayar testleri sonuçları

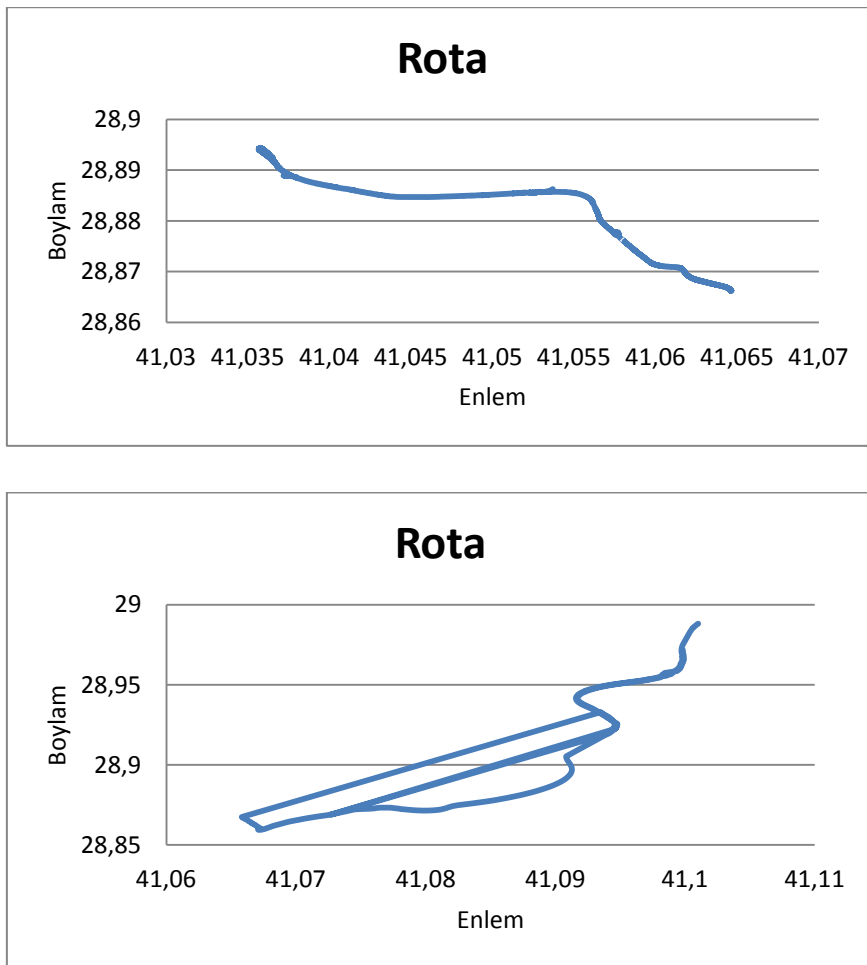
Sensör açısı ^o	İstenen açısı ^o
0	-19,68
0,01	-19,66
0,02	-19,69
0,03	-19,66
0,04	-19,68
0,05	-19,7
0,06	-19,67
0,07	-19,73
0,08	-19,7
0,09	-19,68
0,1	-19,69
0,11	-19,7



Şekil 70. Dümenleme açısı test grafikleri

4.1 GNSS'in saha testi sonuçları

GNSS cihazı ile yapılan testlerde konum verilerinin elde edilip kaydedilmesi, ve bu verileri tekrar kullanabilmek için cihazın çalışma durumu test edilmiştir. Test sırasında aracın hızı 110-120 km/h olarak sabitlenmiştir. Otomatik dümenleme sistemine sahip traktör ile yapılacak olan testlerde maksimum 18km/h hıza çıktığı düşünüldüğünde sistemin çok daha hızlı koşullarda rahatlıkla veri alabildiği gözlenmiştir ve sistemin kendi konum belirleme hatası maksimum 1-3 cm arasında olmuştur. Şekil 71'deki grafikte GNSS cihazının kaydettiği rotalar görülmektedir.



Şekil 71. GNSS cihazının kaydettiği rotalar

Grafikler incelendiğinde enlem ve boylam olarak kaydedilen koordinat noktalarının oluşturduğu rota görülmektedir. Çizilen rota birden çok noktanın oluşturduğu bir fonksiyon olarak ifade edilebilmektedir. Gns cihazı ile rotanın çizilerek kayıt altına alınabilmesi arzu edilen rota ve gerçekleştirilen rotanın testlerde değerlendirilebilmesinin yolunu açmıştır. Rota ve kaydedilen noktaların bu eğri fonksiyonuna göre hesaplanmaları mümkün olmuştur.

4.2.Rota takip performansının belirlenmesi testi sonuçları

Alınan verilerin ortalama, standart sapma, en büyük değer, en küçük değer ve Rms değerleri belirlenmiştir. Bu hesaplamalar hem otomatik dümenleme sistemi ile yapılan testlerde hem de sürücü ile yapılan testlerde gerçekleştirilmiştir. Otomatik dümenleme sistemine ait sonuçlar çizelge 16’da, sürücü ile yapılan testlere ait sonuçlar ise çizelge 17’de yer almaktadır.

Çizelge 16. Rota takip performansı otomatik dümenleme sistemi test sonuçları

Hızlar (kmh ⁻¹)	ORT. Sapma(cm)	S. Sapma(cm)	Max (cm)	Min (cm)	RMS
8,1	8,2	3,2	17,2	0	2,9
12,2	8,4	3,1	18,4	0,6	2,9
18	4,4	2	12,4	0	2,1
2,4	12,4	3,4	29,3	0,8	3,5
5,2	7,9	3,9	29,3	0,7	2,8
Ortalama	8,3	3,1	21,3	0,4	2,8

Çizelge 16. incelendiğinde büyük ortalama sapma değeri 12 cm ile 2,4 km/h hızında saptanırken en düşük ortalama sapma değeri ise 18 km/h ve 8,1 km/h hızında 0 c m ortalama sapma ile karşımıza çıkmaktadır. Otomatik dümenleme sistemi ile yapılan testlerde tüm hızları kapsayan sapma genel ortalaması 8,3 cm dir. Rotadan sapmadaki en büyük değer 2,4 km/h ve 5,2 km/h hızlarında 29,3 c m olarak karşımıza çıkmaktadır. Burada en büyük sapma değerleri ile ortalama sapma değerlerinin en yüksek hızda azaldığı ve en düşük hızlarda arttığı görülmektedir.

Çizelge 17. Rota takip performansı sürücü ile yapılan test sonuçları

Hızlar (kmh ⁻¹)	ORT. Sap (cm)	S. Sapma(cm)	Max(cm)	Min (cm)	RMS
8,1	4,5	1,7	13	0	2
12,2	4,5	3,5	12,5	0	2,1
18	3,7	2,2	17,4	0	1,9
2,4	5,8	2,2	21,8	1	2,4
5,2	4,8	1,5	23,6	0	2,2
Ortalama	4,7	2,2	17,7	0,2	2,1

Çizelge 17 incelendiğinde en büyük ortalama sapma değeri 5,79 cm ile 2,4 km/h hızında olurken en düşük ortalama sapma değeri ise 18 km/h hızında 3,69 cm ortalama sapma oluşmuştur. Otomatik dümenleme sistemi ile yapılan testlerde tüm hızları kapsayan sapma

genel ortalaması 4,65 cm dir. Rotadan sapmadaki en büyük değer 5,2 km/h hızlarında 23,60 cm olarak karşımıza çıkmaktadır.

Her iki çizelge birlikte incelendiğinde, hem otomatik dümenleme sistemi ile yapılan testlerde hem de sürücü ile yapılan testlerde en büyük sapma değerleri 5,2 km/h hızında tespit edilmiştir. Ayrıca sürücü ile yapılan testlerde minimum sapma değeri 5 hızın 4 ünde 0 olarak belirlenmiştir. Bu sayı otomatik dümenleme sisteminde 2 dir. Sürücü ile yapılan testlerde istenilen rota üzerinde sapmasız olarak gidilme oranı daha fazladır. Standart sapmaların ortalaması otomatik dümenleme sisteminde 3,10 cm iken sürücülü testlerde 2,21 cm olarak görülmektedir. Bu sonuçlara göre otomatik dümenleme sistemi ile yapılan testlerde sürücü ile yapılan testlere göre verilen ortalamadan değişkenlik gösterme oranı daha fazladır. Her iki testte de en düşük ortalama sapma değeri 4,37 cm ve 3,69 cm olarak 18 km/h hızında elde edilmiştir.

Ayrıca varyans analizi yapılmıştır. Rota takip performansı testi varyans analiz tablosu çizelge 18' de görüldüğü gibidir.

Çizelge 18. Rota takip performansı testi varyans analiz tablosu

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ort.	F Değeri	Önemlilik
Hız	4	1279,848	319,962	38,61	0
Sürüş	1	37,92	37,92	4,58	0,034
Ölçüm No	22	56,72	2,578	0,31	0,999
Hız*Sürüş	4	226,667	56,667	6,84	0
Hata	198	1640,713	8,286		
Toplam	229	3241,869			

Hızların ortalama hata üzerindeki etkisi

Varyans analiz sonuçlarına göre; yapılan testlere ölçülen ortalama hata değerleri açısından ilerleme hızları arasındaki fark istatistiksel açıdan $F=38.61$ % 0.001 seviyesinde önemli çıkmıştır. Bunun anlamı farklı hızlar için saptanan ortalama hata değerleri arasında % 0.001 lik bir değişim olduğunda dahi istatistiksel açıdan önemli bir farklılık oluşacaktır. Yani yapılan testlerde hızlara göre ortalama hatalar açısından farklılık oluşmuştur. Traktör beklentilerin aksine yüksek hızlarda daha düşük ortalama hata ile hareket etmiştir. Çizelge 19'da hızlara göre ortalama hata değerleri verilmiştir.

Çizelge 19. Hızlara göre ortalama hata değerleri

Bağımlı değişken : Ortalama				
Hız	Ortalama (m)	Standart sapma (cm)	95% Güven Aralığı	
			Alt sınır	Üst sınır
1	10,1	41	9,359	10,973
2	8,2	41	7,476	9,091
3	5	41	4,279	5,893
4	4,6	41	3,834	5,448
5	4,1	41	3,294	4,908

Sürüş tipi ile ilgili değerlendirmeler

Yapılan testlere ölçülen ortalama hata değerleri açısından otomatik sürüş ve sürücünün traktörü kullanması durumunda ortalama fark $F=4.58$ % 0.034 seviyesinde önemli çıkmıştır. Bunun anlamı farklı sürüş tipleri için saptanan ortalama hata değerleri arasında % 0.034 lik bir değişim olduğunda dahi istatistiksel açıdan bu iki sürüş tipi için elde edilen değerler arasında önemli bir farklılık oluşacaktır. Yani yapılan testlerde otomatik kontrol ile sürücü arasında ortalama hatalar açısından farklılık oluşmuştur. En yüksek hata 10,1 ile 1 nolu hız (2.4 km/h) ve en düşük hatada 4,1 ile 5 nolu hıza 18 km/h de elde edilmiştir (Çizelge 19).

Çizelge 20 incelendiğinde otomatik dümenleme de ortalama hatanın sürücü ortalama hatasına (6.049) göre daha yüksek olduğu (6.861) görülür.

Çizelge 20. Otomatik dümenleme ve sürücü kullanımının ortalama hata değerleri

Bağımlı değişken : Ortalama hata			% 95 Güven aralığı	
Sürüş	Ortalama	Standart Sapma	Alt sınır	Üst sınır
1	6,861	0,259	6,351	7,372
2	6,049	0,259	5,539	6,56

Hız x Sürüş İnteraksiyonu Değerlendirmesi

Yapılan testlere ölçülen ortalama hata değerleri açısından hız x sürüş interaksiyon etkisi (ikisinin aynı anda etkisinin ortalama hata değerleri açısından ölçülen değerler arasındaki fark $F=6.84$ % 0.001 seviyesinde önemli çıkmıştır. Bunun anlamı farklı hız ve sürüş tipleri için saptanan ortalama hata değerleri arasında % 0.064 lük bir değişim olduğunda dahi istatistiksel açıdan bu hız x sürüş tipi interaksiyon etkisi önemli çıkmıştır. Elde edilen değerler arasında önemli bir farklılık oluşmuştur. Yani yapılan testlerde farklı hızlarda otomatik kontrol ile sürücü kullanımları arasındaki ortalama hatalar açısından istatistiksel açıdan önemli farklılıklar oluşmuştur. En yüksek hata 10.166 ile 1 nolu hız (2.4 km/h) ve en düşük hatada 4.101 ile 5 nolu hıza 18 km/h de elde edilmiştir. Çizelge 21’de hız sürüş interaksiyonunun ortalama hata üzerindeki etkisi verilmiştir.

Çizelge 21. Hız x Sürüş İnteraksiyonunun ortalama hata üzerindeki etkisi

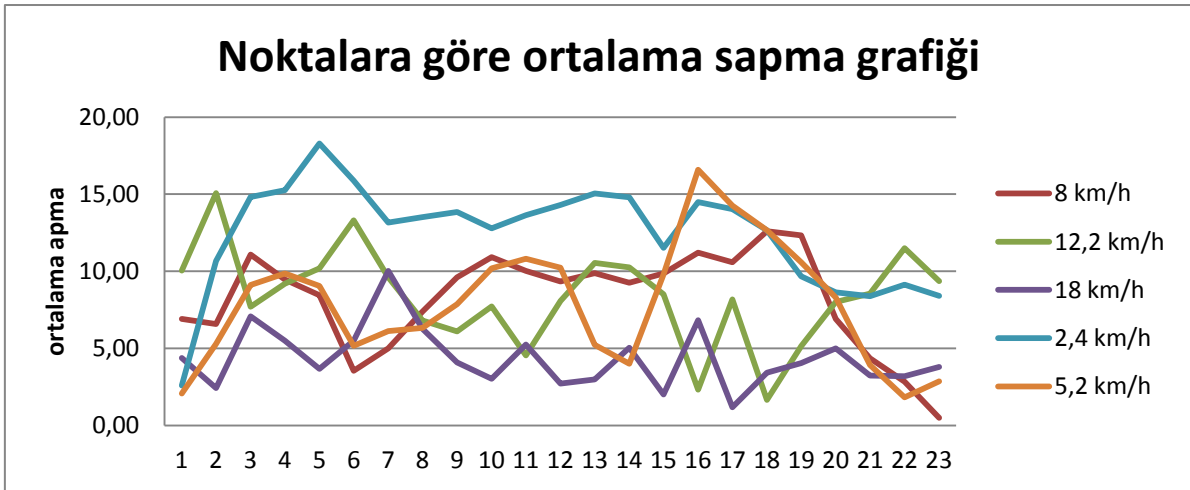
Hız	Sürüş	Ortalama	Standart. Sapma	%95 Güven aralığı	
				Alt sınır	Üst sınır
1	1	12,413	0,579	11,271	13,554
	2	7,920	0,579	6,778	9,061
2	1	8,203	0,579	7,061	9,344
	2	8,364	0,579	7,223	9,506
3	1	4,376	0,579	3,234	5,517
	2	5,796	0,579	4,655	6,938
4	1	4,808	0,579	3,666	5,949
	2	4,473	0,579	3,332	5,615
5	1	4,509	0,579	3,367	5,650
	2	3,693	0,579	2,552	4,835

En yüksek ortalama hata 12.413 cm ile otomatik sürüş de 1 nolu hızda yani 2.4 km/h hızda elde edilmiştir. En düşük hata ise 5 nolu hızda 3.693 cm ile sürücünün traktörü kullanması durumunda elde edilmiştir. Çizelge 22’de hız sürüş interaksiyonu MSTAT LSD gruplandırma sonuçları görülmektedir.

Çizelge 22. HızxSürüş interaksyonu MSTAT lsd gruplandırma sonuçları

Orijinal düzen				Sıralı düzen			
Ortalama	1	12,41	A	Ortalama	1	12,41	A
Ortalama	2	7,92	BC	Ortalama	2	8,36	B
Ortalama	3	8,2	BC	Ortalama	3	8,2	B
Ortalama	4	8,36	BC	Ortalama	4	7,92	BC
Ortalama	5	4,38	CD	Ortalama	5	5,8	BCD
Ortalama	6	5,8	BCD	Ortalama	6	4,81	BCD
Ortalama	7	4,81	BCD	Ortalama	7	4,51	CD
Ortalama	8	4,47	CD	Ortalama	8	4,47	CD
Ortalama	9	4,51	CD	Ortalama	9	4,38	CD
Ortalama	10	3,69	D	Ortalama	10	3,69	D

3 tekerrürde alınan değerlendirmelerde farklı hızlardaki her nokta için sapma değerleri şekil 72 deki grafiklerde görüldüğü gibidir. Burada grafik çizgisi ile o noktadaki sapma cm olarak görülmektedir.



Şekil 72. Rota takip testindeki rotadan ortalama sapma grafiği

4.3. Farklı Ekipmanlar ve Farklı Rotalar ile Tarla Testi Sonuçları

4.3.1. Ekipmansız çalışmadaki traktörün rota takip test sonuçları

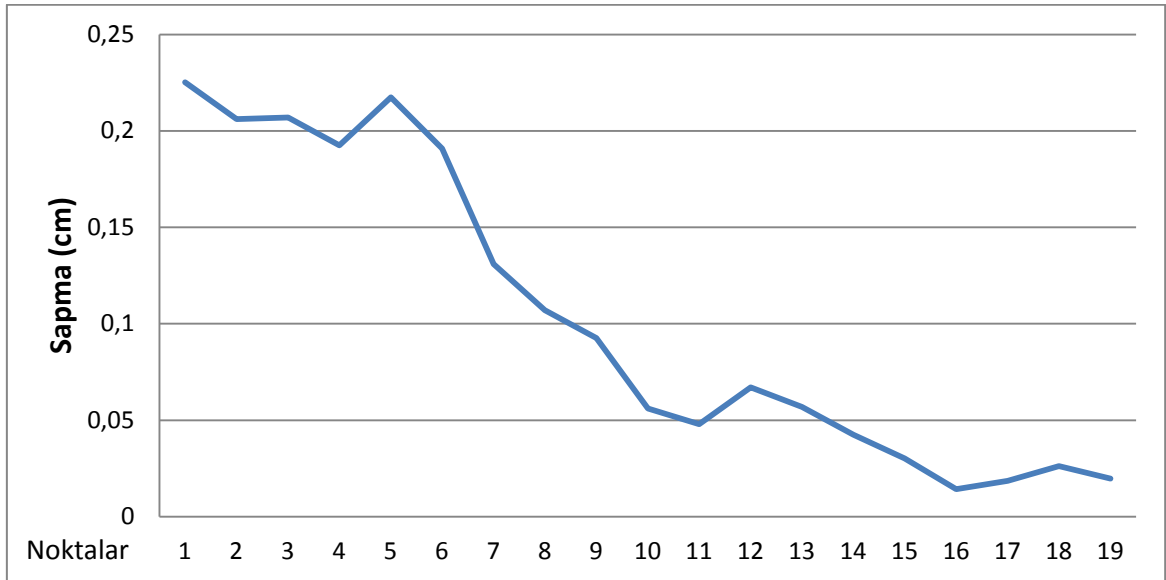
Traktör ile tarlada ekipmansız olarak 4 tekrürde yani dört rotada toplam dört adet deneme yapılmıştır (Çizelge 23).

Çizelge 23. Tarlada ekipmansız olarak çalışan traktöre ait istatistiki bilgiler

	Rota / Tekerrür	Ortalama Sapma(cm)	En Büyük Sapma (cm)	En Küçük Sapma (cm)	RMS Hata (cm)	STD Sapma(cm)	Veri Sayısı
1. Deney	1	17,8	41,4	0,2	42,2	13	123
	2	16,2	34,3	0,2	40,2	10,6	33
	3	27,6	122,9	0,7	52,5	32,1	27
	4	21,6	57,3	3,7	46,4	16,3	22
	Ortalama	20,8	64	1,2	45,3	18	51
	RMS Hata	45,6	80	10,9	67,3	42,4	7,16
	STD Sapma	5,1	40,4	1,7	5,4	9,7	48,04
2. Deney	1	7,6	27,5	0	27,5	6,9	110
	2	10	45,5	0,4	31,7	7,9	36
	3	17,5	123,4	0,1	41,9	27,3	31
	4	9,9	28,7	2,9	31,5	6,4	21
	Ortalama	11,3	56,3	0,9	33,1	12,1	50
	RMS Hata	33,6	75	9,2	57,6	34,8	7,04
	STD Sapma	4,3	45,5	1,4	6,1	10,1	40,81
3. Deney	1	8,6	26,5	0,1	29,3	5,6	109
	2	25	114,8	0,6	50	33,3	38
	3	15,2	94,1	1,6	39	20,8	32
	4	30,8	116,7	0,5	55,5	39,7	20
	Ortalama	19,9	88	0,7	43,4	24,9	50
	RMS Hata	44,6	93,8	8,4	65,9	49,9	7,05
	STD Sapma	9,9	42,3	0,6	11,7	15	40,2
4. Deney	1	8	23,3	0,1	28,3	6	103
	2	16,7	78,8	0,4	40,9	20,6	38
	3	19,5	126,9	0,7	44,2	27,5	31
	4	8,1	22,6	0,1	28,4	6,7	19
	Ortalama	13,1	62,9	0,3	35,5	15,2	48
	RMS Hata	36,2	79,3	5,6	59,5	39	6,91
	STD Sapma	5,9	50,1	0,3	8,3	10,6	37,66
Genel	Ortalama	16,3	67,8	0,8	39,3	17,5	49,56
	RMS Hata	40,3	82,3	8,8	62,7	41,9	7,04
	STD Sapma	7,3	41,9	1,1	9,1	11,4	37,46

Çizelge 23’de bu çalışmaya ait veri sonuçlar incelendiğinde;ilk kontrol parametreleri ile gerçekleştirilen 1. deneye ait ortalama hatanın 20,8 cm ortalama RMS hatanın 45,3 cm ortalama standart sapmanın 18 cm olduğu görülmüştür. İyileştirilmiş kontrol parametreleri ile yapılan 2. deneye ait ortalama hatanın 11,3 cm ortalama RMS hatanın 33,2ortalama standart sapmanın 12,1 cm olduğu görülmüştür. Dönüşler için iyileştirmenin yapıldığı 3. deneye ait ortalama hatanın 19,9 cm ortalama RMS hatanın 43,4 cm ortalama standart sapmanın 12,1 cm olduğu görülmüştür. Konum verilerinin filtrelendirildiği 4. deneye ait ortalama hatanın 13,1 cm ortalama RMS hatanın 35,5 cm ortalama standart sapmanın 15,2 cm olduğu görülmüştür. Rota başına ortalama 50 veri alınmış olup genel ortalama hatanın 16,3 cm, genel ortalama RMS hatanın 39,3 cm genel ortalama standart sapmanın 17,5 cm olduğu saptanmıştır. Rota takip performansının belirlenmesi testi sonuçları ve farklı ekipmanlar ve aynı rotalar testinden farklı olarak farklı ekipmanlar ve farklı rotalarda yapılan tarla testlerinin sonuçlarında mutlak değer kullanılmamıştır.

Ekipmansız çalışmaya ait ortalama rotadan sapma verilerinin grafiği Şekil 73’de görüldüğü gibidir.



Şekil 73. Ekipmansız olarak çalışmadaki rotadan ortalama sapma grafiği

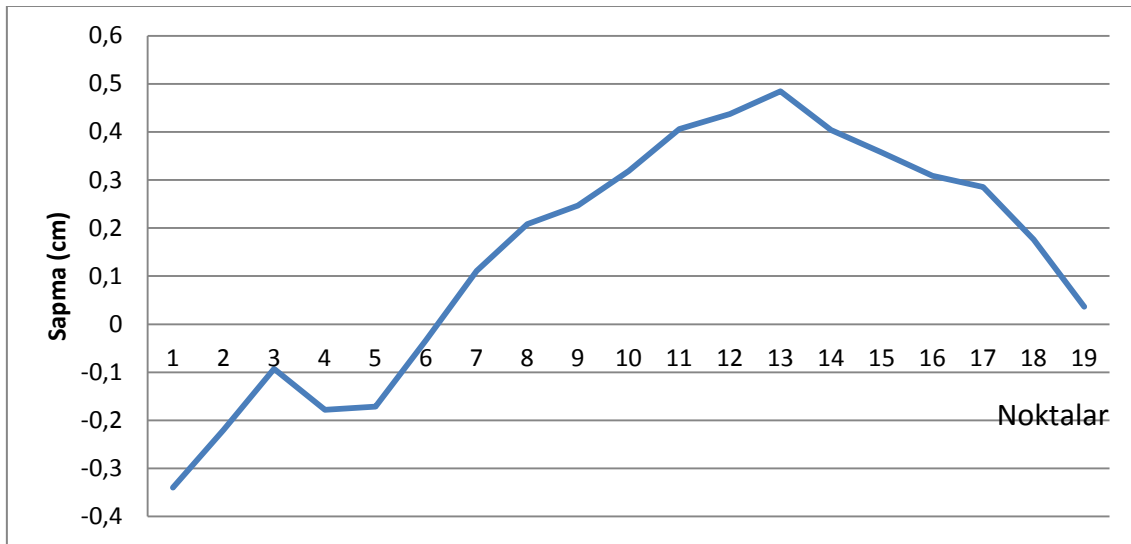
4.3.2. Yaylı kültivatör ile yapılan çalışmada traktörün rota takip test sonuçları

Yaylı kültivatör bağlı olarak otomatik dümenleme sistemi 7 farklı çizide çalışma yapılmıştır. Kültivatör ile çalışmadaki otomatik dümenleme sistemine ait rota bilgileri izelge 24’de verilmiştir.

Çizelge 24. Kültivatör ile çalışmadaki otomatik dümenleme sistemine ait rota bilgileri

	1.çizi	2. izi	3. izi	4. izi	5. izi	6. izi	7. izi	Ort.
ORT. SAPMA (cm)	8	16,9	-47	24,06	20,4	8,3	28,6	21,9
RMS HATA (cm)	28,3	41,1	68,6	49	45,1	28,8	53,4	44,9
STD SAPMA (cm)	100,5	25,7	117,9	51,1	16,3	23	14,2	49,8
Veri sayısı	73	37	26	66	29	19	19	38,429

Çizelge 24 incelendiğinde; çizi başına ortalama 39 veri alınmış olup ortalama hatanın 21,9 ortalama RMS hatanın 44,9 ortalama standart sapmanın 49,9 olduğu saptanmıştır. Şekil 74’de Yaylı kültivatör ile çalışmadaki rotadan ortalama sapma grafiği verilmiştir. Grafikte otomatik dümenleme sistemine sahip traktörün kültivatör ile çalışması sırasında 7 çizinin ortalama sapma değerleri alınmıştır.



Şekil 74. Yaylı kültivatör ile çalışmadaki rotadan ortalama sapma grafiği

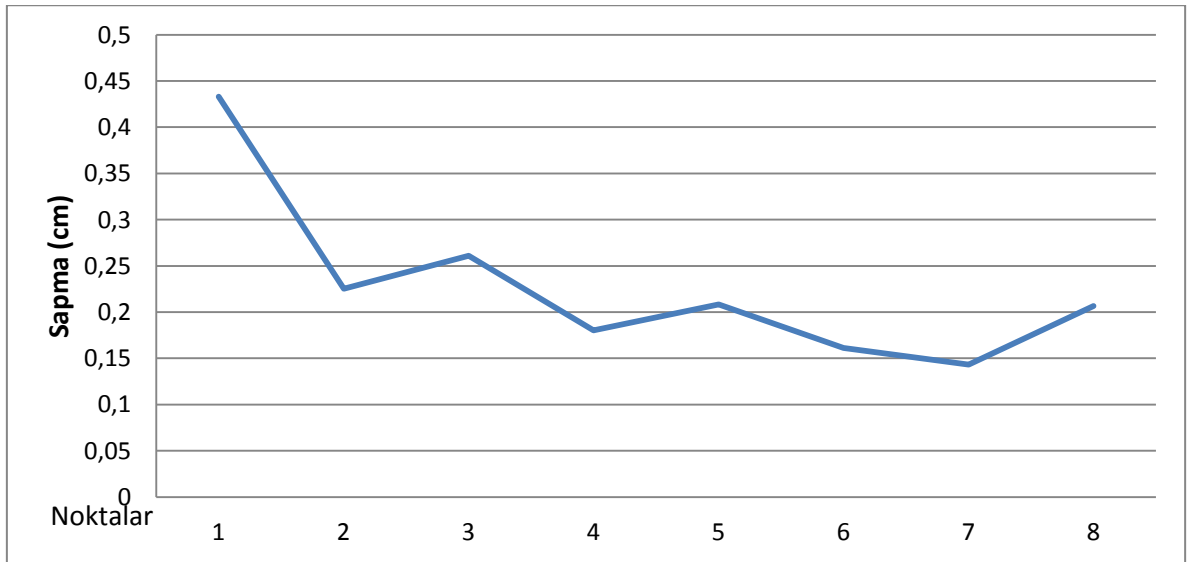
4.3.3.Gübre serpmeye makinası ile çalışmadaki traktörün rota takip test sonuçları

Gübre serpmeye makinası bağlı olarak otomatik dümenleme sistemi ile 4 farklı çizide çalışma yapılmıştır. Gübre serpmeye makinası ile çalışmadaki otomatik dümenleme sistemine ait rota bilgileri çizelge 25’de verilmiştir.

Çizelge 25. Gübre serpmeye makinasına ait istatistiksel bilgiler

	1. Çizgi	2. Çizgi	3. Çizgi	4. Çizgi	Ortalama
ORTALAMA SAPMA (cm)	15,3	24,8	38,1	24	25,6
RMS HATA (cm)	27,2	28,9	63	30,5	37,4
STD SAPMA (cm)	7,4	8,3	39,7	9,3	16,2
Veri sayısı	32	12	9	8	15,25

Çizelge 25 incelendiğinde; çizgi başına ortalama 15 veri alınmış olup ortalama sapmanın 25,6 cm, ortalama RMS hatanın 37,4 cm ortalama standart sapmanın 16,2 cm olduğu saptanmıştır. Şekil 75’de gübre serpmeye makinası ile çalışmadaki rotadan ortalama sapma grafiği verilmiştir. Grafikte otomatik dümenleme sistemine sahip traktörün gübre serpmeye makinası ile çalışması sırasında 4 çizinin ortalama sapma değerleri alınmıştır.



Şekil 75. Gübre serpmeye makinası ile çalışmadaki rotadan ortalama sapma grafiği

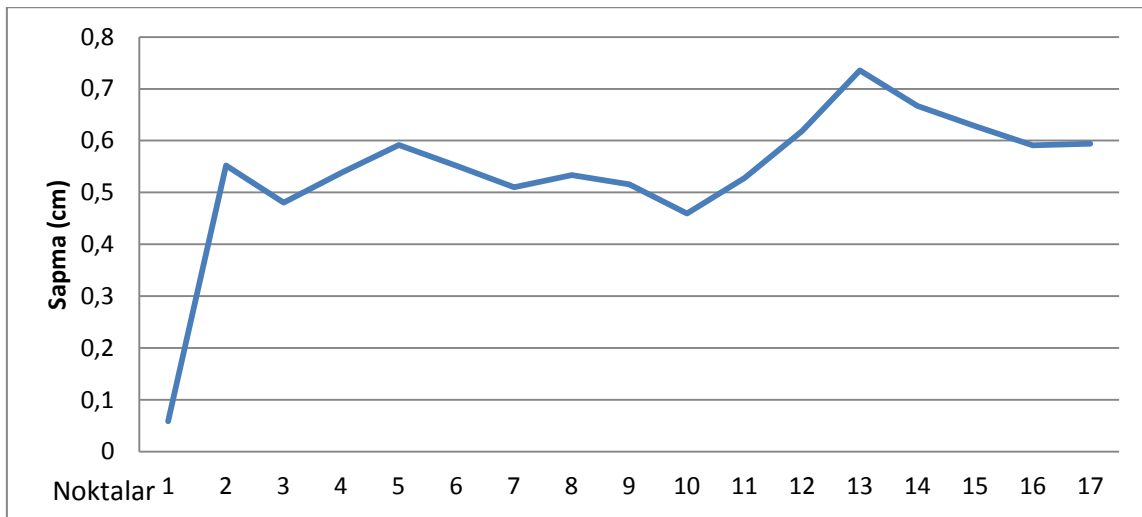
4.3.3.Diskaro ile çalışmadaki traktörün rota takip test sonuçları

Diskaro bağlı olarak otomatik dümenleme sistemi ile 9 farklı çizide çalışma yapılmıştır.Diskaro ile çalışmadaki otomatik dümenleme sistemine ait rota bilgileri çizelge 26'da verilmiştir.

Çizelge 26. Diskaroya ait istatistiki bilgiler

	1. Çizi	2. Çizi	3. Çizi	4. Çizi	5. Çizi	6. Çizi	7. Çizi	8. Çizi	9. Çizi	Ort.
ORTALAMA SAPMA (cm)	48,9	40,4	49,5	26,7	96,1	63,8	81,5	49,5	76,9	59,3
RMS HATA (cm)	69,9	63,6	70,3	51,7	98	79,9	90,3	70,4	87,7	75,8
STD SAPMA (cm)	20,8	28,7	61,4	22,5	12	20,8	32,6	45,4	50,3	32,7
Veri sayısı	60	37	24	17	61	26	23	28	41	35

Çizelge 26 incelendiğinde; çizi başına ortalama 35 veri alınmış olup ortalama sapmanın 0,593 m, ortalama RMS hatanın 75,8 cm ortalama standart sapmanın 32,7 cm olduğu saptanmıştır. Şekil 76'da diskaro ile çalışmadaki rotadan ortalama sapma grafiği verilmiştir. Grafikte otomatik dümenleme sistemine sahip traktörün diskaro ile çalışması sırasında 4 çizinin ortalama sapma değerleri alınmıştır.



Şekil 76. Diskaro ile çalışmadaki rotadan ortalama sapma grafiği

Çizelge 67, çizelge 68 ve çizelge 69 incelendiğinde ; kültivatör, gübre serpmeye makinası ve diskaroya ait rota takibi konum verileri incelendiğinde veriler 1 Hz frekansta alınmasına karşın aynı mesafedeki rota için farklı sonuçlar çıkmıştır. Bunun nedeni tarlada çalışma yapılırken arazi yapısından ve makinanın çalışma karakteristiğinden dolayı ilerleme hızlarında değişimler meydana gelmiştir, ayrıca traktörün durağan pozisyonunda ideal hıza

ulaşmasında yani ivmelenmesinden dolayı da alınan veri sayısında farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Bu durum sürücü ile çalışmada da aynı şekilde olmaktadır ve buradaki farklılık genel anlamda sonucu etkilememektedir.

4.4. Sabit rotalarda farklı ekipmanlar ile tarla testleri

Bu testlerde yapılan farklı ekipmanlar ile otomatik dümenleme sisteminin test edilmesi sonucunda alınan veriler değerlendirilmiştir. On farklı deneme aynı rota üzerinde gerçekleştirilmiştir ve her bir ekipman ile yapılan çalışma sonuçları deskriptif istatistik verileriyle gösterilmiştir. Ayrıca farklı ekipmanlar takılarak otomatik dümenleme sisteminin çalışması sonucundaki alınan verilerdeki farklılıklar da tek yönlü Anova ve Duncan testleri ile değerlendirilmiştir.

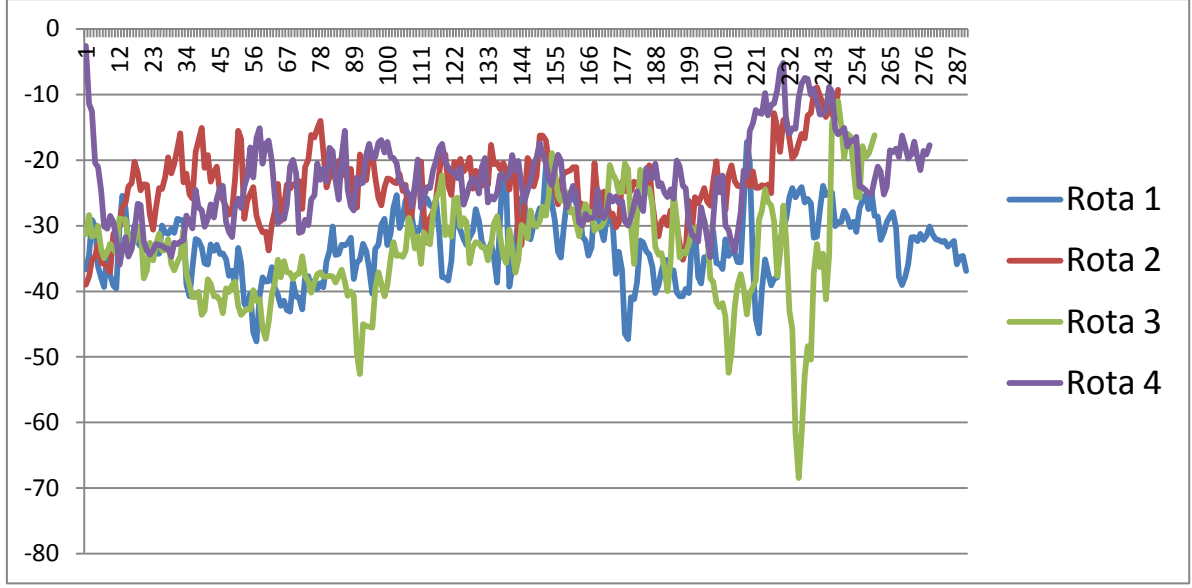
4.4.1. Ekipmansız çalışmada traktörün rota takip test sonuçları

Otomatik dümenleme sistemine sahip traktörün ekipmansız 2 km/h hızda çalışması sonucundaki alınan sapma verilerinin istatistiki bilgileri çizelge 27'deki gibidir.

Çizelge 27.Ekipmansız 2 km/h hızda çalışan traktöre ait istatistiki bilgiler.

	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	GENEL ORT.
ORTALAMA SAPMA (cm)	33,1	23,6	33,8	23,1	28,4
STANDART SAPMA (cm)	5,2	5,4	8,1	6,4	6,3
RMS HATA (cm)	2,3	2,3	2,8	2,5	2,5
VERİ SAYISI	290	248	260	278	269

Çizelge 27 incelendiğinde ortalama sapmanın 28,4 cm olduğu görülmektedir. 2 km/h hızda ekipmansız yapılan çalışmada ortalama 269 sapma verisi alınmış olup ortalama standart sapma 6,3 ve ortalama RMS hata 2,5 olarak bulunmuştur. Rota 1, rota 2, rota 3 ve rota 4 e ait rotadan sapma grafiği şekil 77'de verilmiştir.



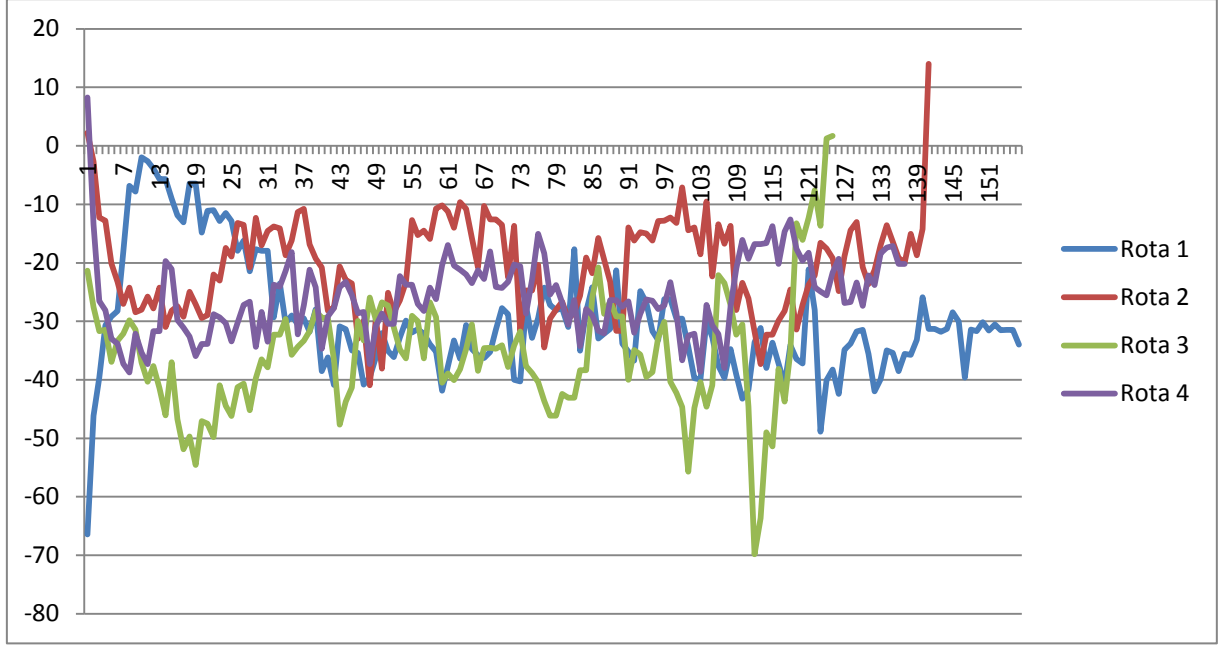
Şekil 77. Ekipmansız olarak 2 km/h hızda çalışmadaki rotadan ortalama sapma grafiği

Otomatik dümenleme sistemine sahip traktörün ekipmansız 5 km/h hızda çalışması sonucundaki alınan sapma verilerinin istatistiki bilgileri çizelge 28'deki gibidir.

Çizelge 28. Ekipmansız 5 km/h hızda çalışan traktöre ait istatistiki bilgiler

	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	GENEL ORT.
ORTALAMA SAPMA (cm)	30,0	20,6	35,8	25,9	28,1
STANDART SAPMA (cm)	10,0	7,5	10,4	6,1	8,5
RMS HATA (cm)	3,2	2,7	3,2	2,5	2,9
VERİ SAYISI	156	141	125	137	140

Çizelge 28 incelendiğinde ortalama sapmanın 30 cm olduğu görülmektedir. 5 km/h hızda ekipmansız yapılan çalışmada ortalama 140 sapma verisi alınmış olup ortalama standart sapma 8,5 ve ortalama RMS hata 2,9 olarak bulunmuştur. Rota 1, rota 2, rota 3 ve rota 4 e ait rotadan sapma grafiği şekil 78 'de verilmiştir



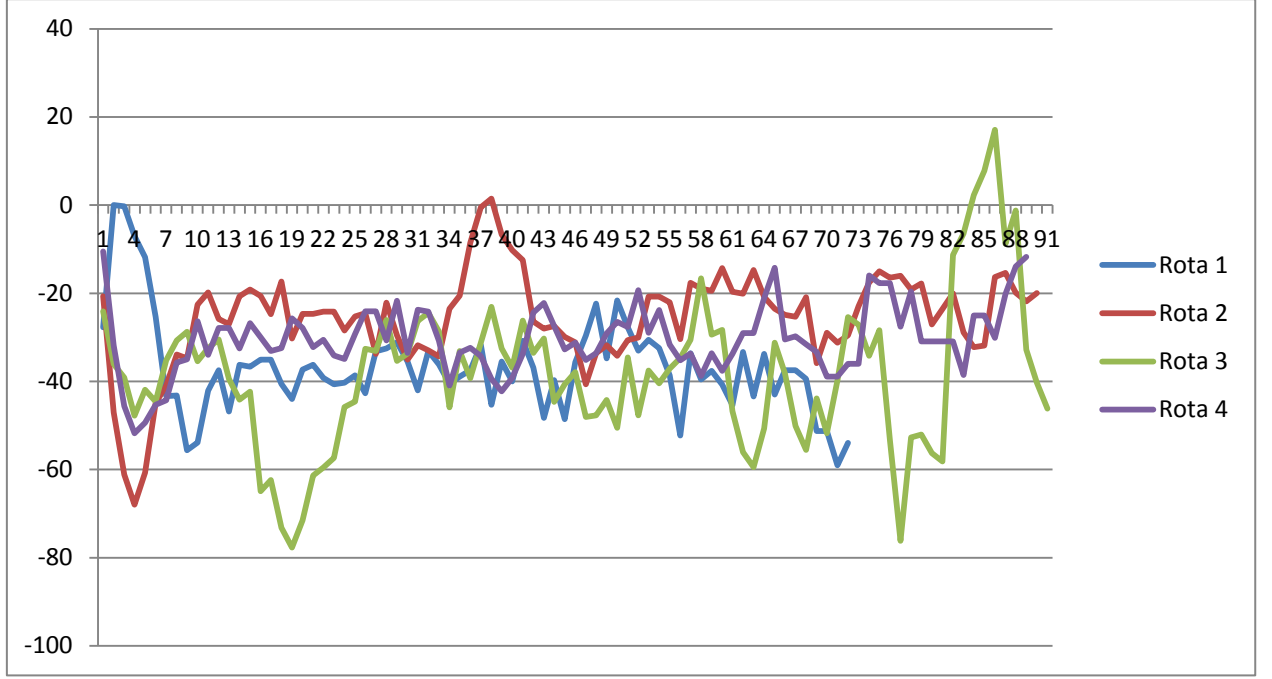
Şekil 78. Ekipmansız olarak 5 km/h hızda çalışmadaki rotadan ortalama sapma grafiği

Otomatik dümenleme sistemine sahip traktörün ekipmansız 8 km/h hızda çalışması sonucundaki alınan sapma verilerinin istatistiki bilgileri çizelge 29'daki gibidir.

Çizelge 29. Ekipmansız 8 km/h çalışan traktöre ait istatistiki bilgiler

	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	GENEL ORT.
ORTALAMA SAPMA (cm)	36,9	25,6	39,1	30,4	33,0
STANDART SAPMA (cm)	10,8	10,9	15,4	7,8	11,2
RMS HATA (cm)	3,3	3,3	3,9	2,8	3,3
VERİ SAYISI	72	90	91	89	86

Çizelge 29 incelendiğinde ortalama sapmanın 33,0 cm olduğu görülmektedir. 8 km/h hızda ekipmansız yapılan çalışmada ortalama 86 sapma verisi alınmış olup ortalama standart sapma 11,2 ve ortalama RMS hata 3,3 olarak bulunmuştur. Rota 1, rota 2, rota 3 ve rota 4 e ait rotadan sapma grafiği şekil 79'da verilmiştir.



Şekil 79. Ekipmansız olarak 8 km/h hızda çalışmadaki rotadan ortalama sapma grafiği

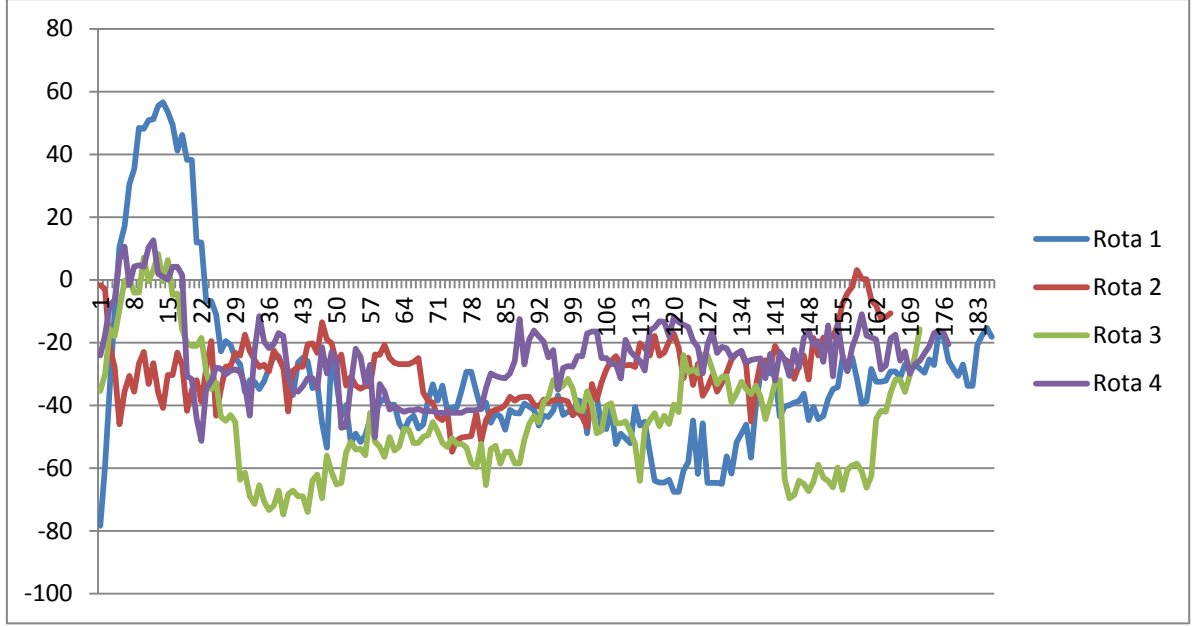
4.4.2. Pulluk ile çalışmada traktörün rota takip test sonuçları

Otomatik dümenleme sistemine sahip traktörün pulluk ile çalışması sonucundaki alınan sapma verilerinin istatistiksel bilgileri çizelge 30'daki gibidir.

Çizelge 30. Pulluk ile çalışmada traktöre ait istatistiksel bilgiler

	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	GENEL ORT.
ORTALAMA SAPMA (cm)	14,2	33,0	13,8	25,2	21,5
STANDART SAPMA (cm)	8,6	20,0	8,6	13,5	12,7
RMS HATA (cm)	2,9	4,5	2,9	3,7	3,5
VERİ SAYISI	133	130	123	127	128

Çizelge 30 incelendiğinde ortalama sapmanın 21,5 cm olduğu görülmektedir. 5 km/h hızda yapılan çalışmada ortalama 128 sapma verisi alınmış olup ortalama standart sapma 12,7 ve ortalama RMS hata 3,5 olarak bulunmuştur. Rota 1, rota 2, rota 3 ve rota 4 e ait rotadan sapma grafiği şekil 80 'de verilmiştir.



Şekil 80. Pulluk ile çalışmadaki rotadan ortalama sapma grafiği

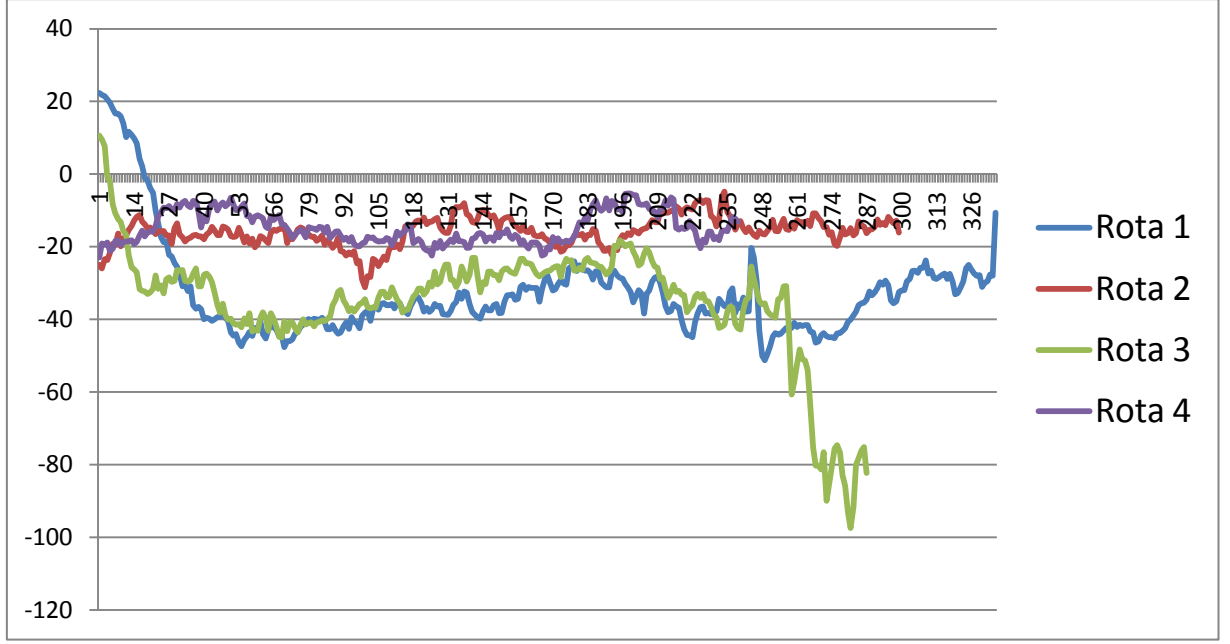
4.4.3. Çizel ile çalışmada traktörün rota takip test sonuçları

Otomatik dümenleme sistemine sahip traktörün çizel ile çalışması sonucundaki alınan sapma verilerinin istatistiki bilgileri çizelge 31’deki gibidir.

Çizelge 31. Çizel ile çalışmada traktöre ait istatistiki bilgiler

	1. ROTA	2. ROTA	3. ROTA	4. ROTA	GENEL ORT.
ORTALAMA SAPMA (cm)	34,1	15,8	35,5	14,8	25,0
STANDART SAPMA (cm)	8,9	4,0	15,6	4,3	8,2
RMS HATA (cm)	3,0	2,0	4,0	2,1	2,8
VERİ SAYISI	335	299	287	239	290

Çizelge 31 incelendiğinde ortalama sapmanın 25,0 cm olduğu görülmektedir. 2 km/h hızda çizel ile çalışmada ortalama 290 sapma verisi alınmış olup ortalama standart sapma 8,2 ve ortalama RMS hata 2,8 bulunmuştur. Rota 1, rota 2, rota 3 ve rota 4 e ait rotadan sapma grafiği şekil 81’de verilmiştir



Şekil 81. Çizel ile çalışmadaki traktörün rotadan ortalama sapma grafiği

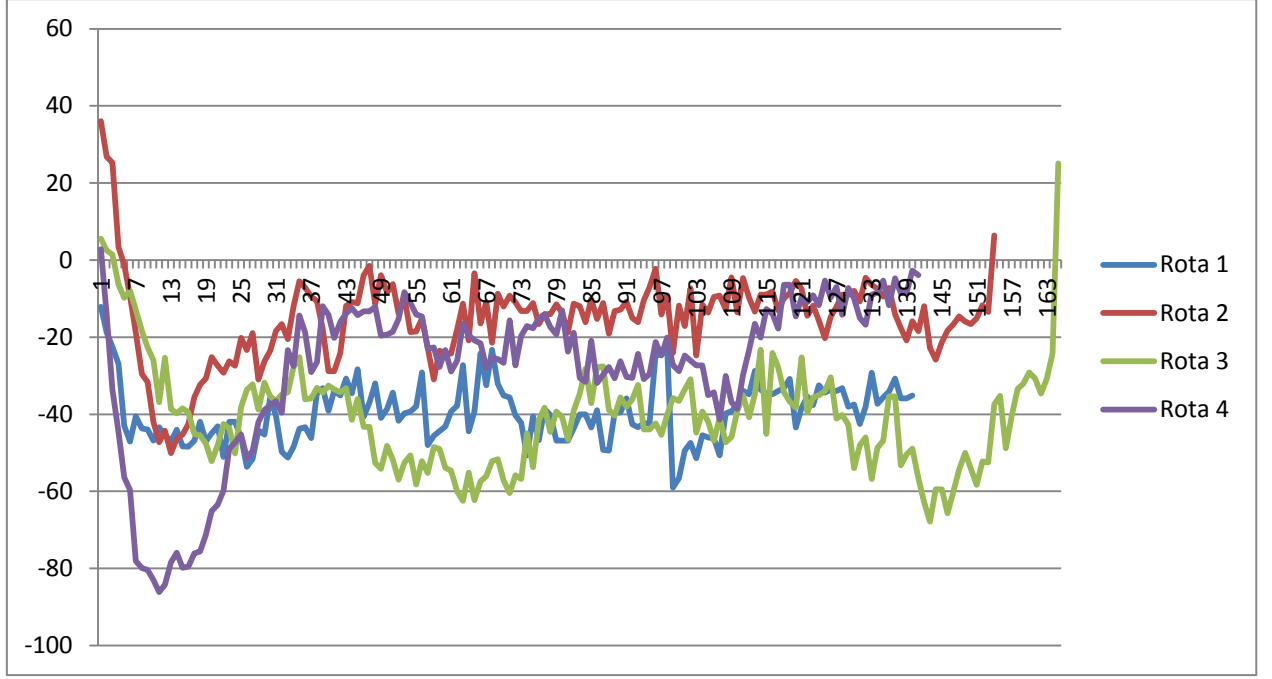
4.4.4. Diskaro ile çalışmada traktörün rota takip test sonuçları

Otomatik dümenleme sistemine sahip traktörün diskaro ile çalışması sonucundaki alınan sapma verilerinin istatistiki bilgileri çizelge 32'deki gibidir.

Çizelge 32. Diskaro ile çalışmada traktöre ait istatistiki bilgiler

	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	GENEL ORT.
ORTALAMA SAPMA (cm)	39,5	16,5	40,9	28,3	31,3
STANDART SAPMA (cm)	7,7	9,8	12,5	20,6	12,6
RMS HATA (cm)	2,8	3,1	3,5	4,5	3,5
VERİ SAYISI	140	154	165	141	150

Çizelge 32 incelendiğinde ortalama sapmanın 31,3 cm olduğu görülmektedir. 5 km/h hızda diskaro ile çalışmada ortalama 150 sapma verisi alınmış olup ortalama standart sapma 12,6 ve ortalama RMS hata 3,5 cm bulunmuştur. Rota 1, rota 2, rota 3 ve rota 4 e ait rotadan sapma grafiği şekil 82'de verilmiştir



Şekil 82. Diskaro ile çalışmadaki traktörün rotadan ortalama sapma grafiği

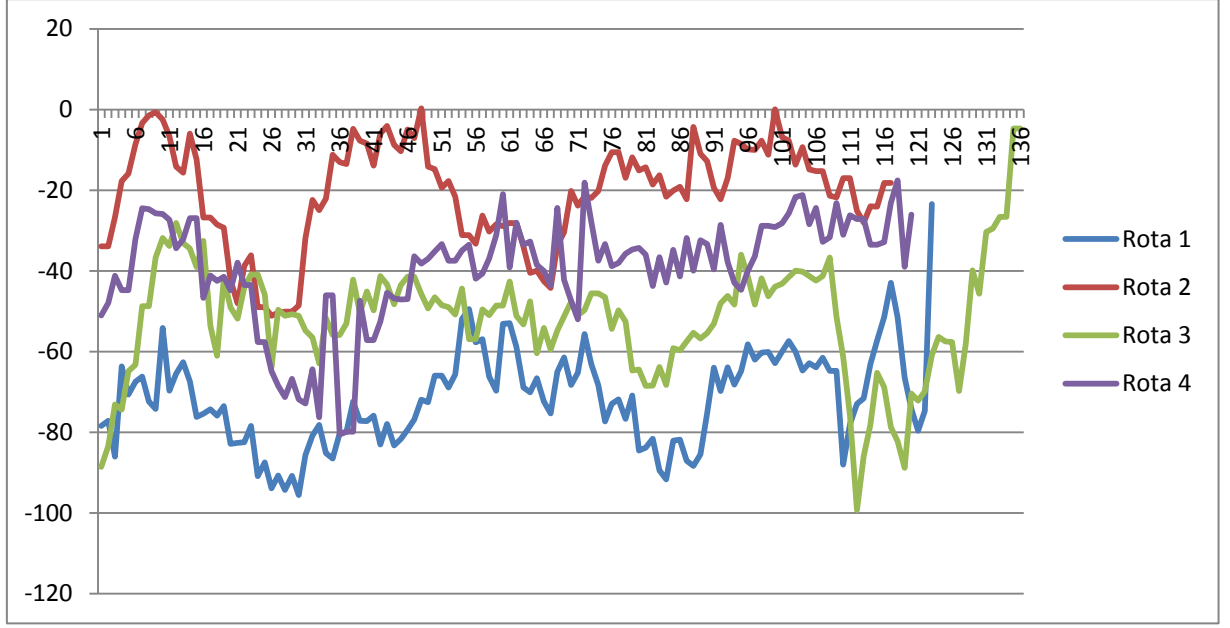
4.4.5. Yaylı kültivatör ile çalışmada traktörün rota takip test sonuçları

Otomatik dümenleme sistemine sahip traktörün diskaro ile çalışması sonucundaki alınan sapma verilerinin istatistikî bilgileri çizelge 33'deki gibidir.

Çizelge 34. Yaylı kültivatör ile çalışmada traktöre ait istatistikî bilgiler

	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	GENEL ORT.
ORTALAMA SAPMA (cm)	71,5	20,6	51,9	39,6	45,9
STANDART SAPMA (cm)	11,8	12,8	14,2	13,6	13,1
RMS HATA (cm)	3,4	3,6	3,8	3,7	3,6
VERİ SAYISI	123	117	136	120	124

Çizelge 34 incelendiğinde ortalama sapmanın 45,9 cm olduğu görülmektedir. 5 km/h hızda yaylı kültivatör ile çalışmada ortalama 124 sapma verisi alınmış olup ortalama standart sapma 13,1 ve ortalama RMS hata 3,6 cm bulunmuştur. Rota 1, rota 2, rota 3 ve rota 4 e ait rotadan sapma grafiği şekil 83'de verilmiştir



Şekil 83. Yaylı kültivatör ile çalışmadaki traktörün rotadan ortalama sapma grafiği

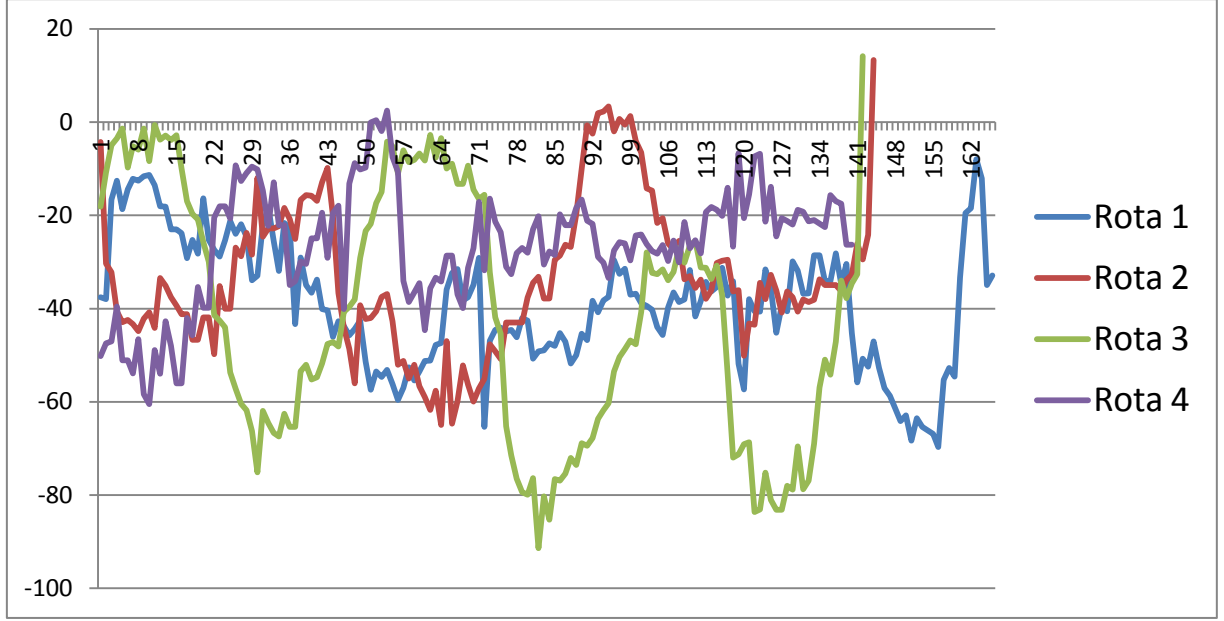
4.4.6. Ekim makinası ile çalışmada traktörün rota takip test sonuçları

Otomatik dümenleme sistemine sahip traktörün ekim makinası ile çalışması sonucundaki alınan sapma verilerinin istatistiki bilgileri çizelge 35’deki gibidir.

Çizelge 35. Ekim makinası ile çalışmada traktöre ait istatistiki bilgiler

	1. ROTA	2. ROTA	3. ROTA	4. ROTA	GENEL ORT.
ORTALAMA SAPMA (cm)	38,8	33,8	41,9	26,4	35,2
STANDART SAPMA (cm)	13,5	15,1	26,4	12,6	16,9
RMS HATA (cm)	3,7	3,9	5,1	3,5	4,1
VERİ SAYISI	166	144	142	140	148

Çizelge 35 incelendiğinde ortalama sapmanın 35,2 cm olduğu görülmektedir. 5 km/h hızda ekim makinası ile çalışmada ortalama 148 sapma verisi alınmış olup ortalama standart sapma 16,9 cm ve ortalama RMS hata 4,1 cm bulunmuştur. Rota 1, rota 2, rota 3 ve rota 4 e ait rotadan sapma grafiği şekil 84’de verilmiştir.



Şekil 84. Ekim makinası ile çalışmadaki traktörün rotadan ortalama sapma grafiği

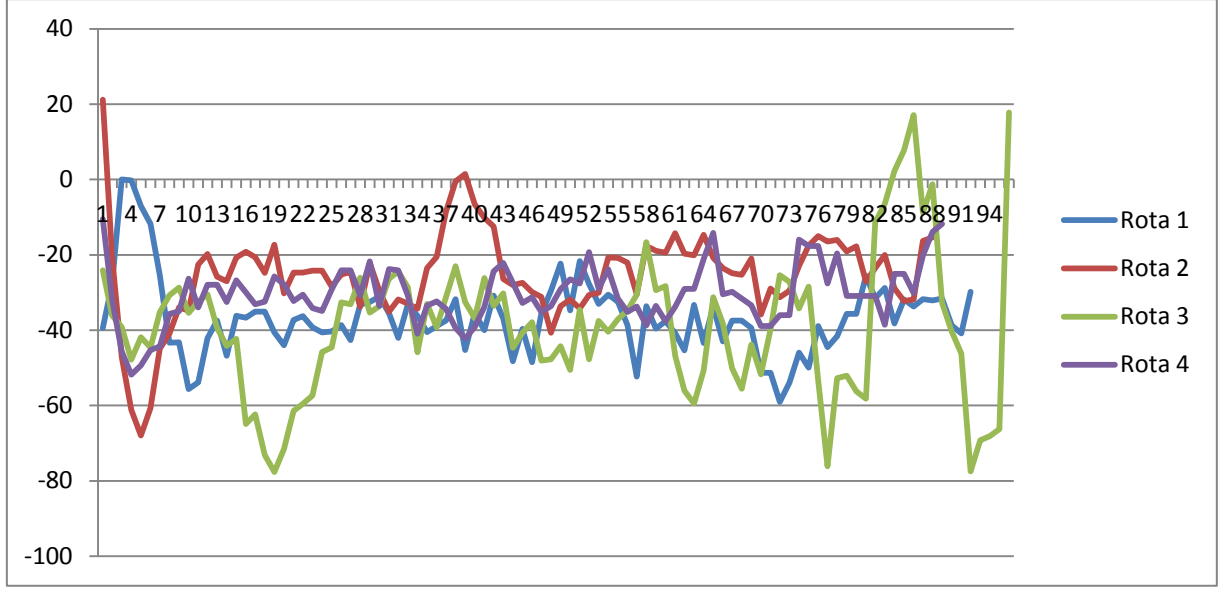
4.4.7. Gübre serpme makinası ile çalışmada traktörün rota takip test sonuçları

Otomatik dümenleme sistemine sahip traktörün gübre serpme makinası ile çalışması sonucundaki alınan sapma verilerinin istatistiki bilgileri çizelge 36'daki gibidir.

Çizelge 36. Gübre serpme makinası ile çalışmada traktöre ait istatistiki bilgiler

	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	GENEL ORT.
ORTALAMA SAPMA (cm)	36,7	25,7	40,12	30,4	33,3
STANDART SAPMA (cm)	10,0	11,0	16,4	7,8	11,3
RMS HATA (cm)	3,2	3,3	4,1	2,8	3,3
VERİ SAYISI	92	88	96	89	91

Çizelge 36 incelendiğinde ortalama sapmanın 32,3 cm olduğu görülmektedir. 5 km/h hızda gübre serpme makinası ile çalışmada ortalama 91 sapma verisi alınmış olup ortalama standart sapma 11,29 cm ve ortalama RMS hata 3,33 cm bulunmuştur. Rota 1, rota 2, rota 3 ve rota 4 e ait rotadan sapma grafiği şekil 85'de verilmiştir.



Şekil 85. Gübre serpmeye makinası ile çalışmadaki traktörün rotadan ortalama sapma grafiği.

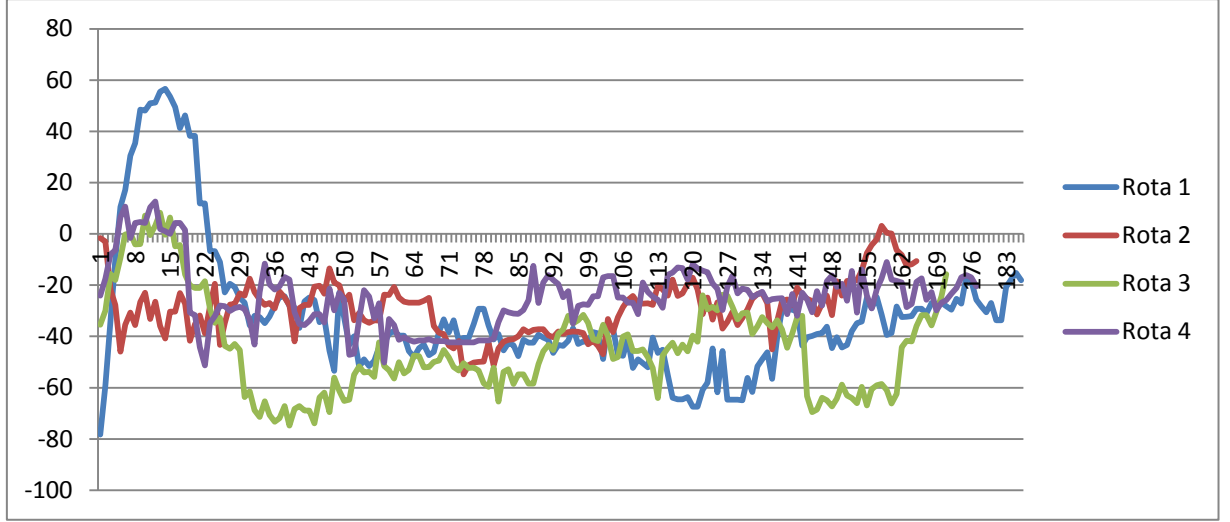
4.4.7. Pülverizatör ile çalışmada traktörün rota takip test sonuçları

Otomatik dümenleme sistemine sahip traktörün pülverizatör ile çalışması sonucundaki alınan sapma verilerinin istatistiksel bilgileri çizelge 37'deki gibidir.

Çizelge 37. İlaçlama makinası ile çalışmada traktöre ait istatistiksel bilgiler

	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	GENEL ORT.
ORTALAMA SAPMA (cm)	38,8	28,9	44,5	25,1	34,3
STANDART SAPMA (cm)	13,1	10,8	18,2	10,8	13,2
RMS HATA (cm)	3,6	3,3	4,3	3,3	3,6
VERİ SAYISI	186	165	171	177	175

Çizelge 37 incelendiğinde ortalama sapmanın 34,3 cm olduğu görülmektedir. 5 km/h hızda pülverizatör ile çalışmada ortalama 175 sapma verisi alınmış olup ortalama standart sapma 13,312 cm ve ortalama RMS hata 3,613 cm bulunmuştur. Rota 1, rota 2, rota 3 ve rota 4 e ait rotadan sapma grafiği şekil 86'da verilmiştir.



Şekil 86. İlaçlama makinası ile çalışmadaki traktörün rotadan ortalama sapma grafiği.

Aynı rotalar üzerinde farklı ekipmanlar ile yapılan çalışmada tek yönlü anova testi ile varyans analizi yapılmıştır. Çizelge 38’de ekipmanlar grup isimleri ile gösterilmektedir.

Çizelge 38. Ekipmanların grup adları ve varyans özeti

Alet/ Makina	Veri sayısı	Ortalama	Varyans
Çizel	1160	25,720	184,672
Ekim M.	592	35,380	342,496
Ekipmansız 2 km/h	1076	28,498	65,668
Ekipmansız 5 km/h	559	27,910	104,417
Ekipmansız 8 km/h	342	32,806	162,796
Diskaro	600	31,353	279,381
Gübre Makinası	365	33,437	170,224
Pülverizatör	699	34,381	241,750
Pulluk	513	21,591	246,852
Yaylı Kültivatör	496	46,422	505,181

Çizelge 38’de bulunan sütun yani grup isimleri diğer analiz tablolarında da aynı ifadeler ile yer almaktadır.

Yapılan tek yönlü anova testinde (Çizelge 39);

Çizelge 39. Tek yönlü anova testi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F değeri	Önemlilik	F ölçütü
Gruplar Arasında	230334,452	9,000	25592,717	118,945	0,0000	1,881
Gruplar İçinde	1375326,423	6392,000	215,164			
Toplam	1605660,874	6401				

Çizelge 39 incelendiğinde $F > F$ ölçütü olduğu için gruplar arasında farklılık bulunmaktadır.

Farklı alet ve makinaları simgeleyen gruplar arasında farklılığı tespit edebilmek amacıyla SPSS programı ile amacıyla Duncan testi yapılmıştır. Çizelge 40'da Duncan testinin sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 40. Alet ve makineler ile çalışmadaki verilerin Duncan testi ile değerlendirilmesi.

Alet Makina	N	Alfa : 0,05						
		1	2	3	4	5	6	7
Pulluk	513	21,5909						
Çizel	1160		25,7199					
Boş 5 Km/h	559			27,9096				
Boş 2 Km/h	1076			28,4982				
Diskaro	600				31,3525			
Boş 5 Km/h	342				32,8064	32,8064		
Gübre M.	365					33,4366		
Pülverizatör	699					34,3813	34,3813	
Ekim M.	592						35,3805	
Yaylı K.	496							46,4219
		1	1	0,504	0,99	0,91	0,256	

Çizelge 23 incelendiğinde 0,05 önem seviyesine göre 4.grup ve 3. grup arasında; 5. grup,7.grup ve 8. grup arasında ayrıca 8. grup ve 9. grup arasında farklılık bulunmamaktadır.

Yani ekipmansız 2km/h ile 5km/h hızlarında yapılan testler, ekipmansız 8km/h, gübre serpmeye makinası ile yapılan test ve pülverizatör ile yapılan test, ile pülverizatör ve pulluk ile çalışmada yapılan testler arasında önemli bir fark bulunmamaktadır. Ekipmansız olarak

gerçekleştirilen testler kendi aralarında incelendiğinde 8 km/h hızındaki test sonuçlarının 2km/h ve 5km/h hızında yapılan test sonuçlarına göre farklılık gösterdiği tespit edilmiştir.

Tüm alet ve makinalar arasında en yüksek ortalama sapma yaylı kültivatör ile çalışmada en düşük ortalama sapma ise pulluk ile çalışmada elde edilmiştir. Pulluk çalışılan alet ve ekipmanlar içerisinde en düşük ortalama sahiptir.

En küçük sapma değeri ise 0,002 cm olarak ekipmansız 8km/h testinde, yaylı kültivatör ile yapılan teste ve gübre serpm makinası ile yapılan testlerde alınmıştır. Testler süresince otomatik dümenleme sisteminin çalışmasında jiroskop kullanılmamıştır. Bu da bütün alet ve makinaların grafiklerinde eksi yönde sabit bir sapma gerçekleştirilmiştir

Traktöre yanal olarak kuvvet verebilecek olan pulluk ile çalışmada, pulluğun bu etkisinin otomatik dümenlemeyi olumsuz etkilemediği gözlemlenmiştir. Traktöre asılır olarak bağlanan pülverizatör ve gübre serpm makinasının 5km/h hızında rotadan sapma değerleri kendi içlerinde aynı olmasına karşın, aynı hızdaki ekipmansız çalışan traktörün rotadan sapma verileri arasında farklılık bulunmaktadır.

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada traktörler için otomatik dümenleme sistemi geliştirilmiştir. Sistem, direksiyon kontrol ünitesi, konum belirleme sistemi, kullanıcı ara yüzü ve merkezi kontrol ünitesi alt sistemlerinden oluşmuştur. Geliştirilen otomatik dümenlemeli traktör ile toprak işleme, ekim, bakım gübreleme, ilaçlama gibi tarımsal işlemler başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Otomatik dümenleme sisteminin traktörün konumunu küresel konum belirleme sistemlerinden faydalanılarak belirlenmesi ve bu konum bilgilerini işleyen bir elektronik kontrol ünitesinin verdiği komutlar sayesinde dümenlemeyi sağlayan elektrohidrolik valfler ile traktörün yönlendirilmesi sağlanmıştır.

GNSS alıcısı (MR15) RS232 seri port ve ya Bluetooth yoluyla bilgisayara ve ya kullanıcı ara yüzüne başarı ile bağlanabilmiştir. Bu sayede konum verileri değerlendirilerek merkezi elektronik kontrol ünitesine iletilebilmiştir. Daha önce yapılmış olan çalışmalarda DGPS ve ya CP-GPS yani Carrier phase-GPS gibi uygulamalar (Thulliot ve ark. 2002) bulunmaktadır. Bu çalışmada konum belirleme yöntemi olarak Nagasaka ve ark. 2002'de kullanmış olduğu RTK- GPS'ten yararlanılmıştır. Konum belirleme sistemi olarak tercih edilen yöntemler kullanılan araca, yapılacak işlemdeki hassasiyete, çalışmanın yapıldığı döneme ve bölgesel olarak kullanılan konum belirlemedeki düzeltme sistemlerine göre değişebilmektedir. Chateau ve ark. (2000) biçerdöverde alıcı olarak lazer sensör kullanmıştır. Öte yandan bu çalışmada tercih edilen RTK-GPS yöntemi biçerdöverde Cordless ve ark. (2000)'de yapmış oldukları çalışmada da kullanılmıştır.

Elektronik kontrol ünitesi GNSS alıcısından gelen verileri değerlendirerek gerçek konum ile arzu edilen konum arasındaki mesafe farkını kapatmak üzere direksiyonun yönlendirilmesine olanak vermiştir. Kontrol ünitesi olarak tasarımda imx35 pdk ile çalışmalara başlanmıştır ayrıca bir bilgisayar üzerinde Novatel yazılımı ve Labview'de tasarlanan kontrol programı testlerde kullanılmıştır. Kontrol üniteleri olarak farklı çalışmalarda endüstriyel PC olan Geotec GT2000 Blackmore ve ark. (2004), mikroişlemciler Nagasaka ve ark.(2002) ya da birden çok bilgisayarın kullanıldığı uygulamalar da Pilarski ve ark. (1999) yapmış olduğu çalışmadaki gibi kullanılabilir.

Dümenleme elemanı elektronik kontrol ünitesinden gelen komutları alarak başarılı bir şekilde direksiyonu yönlendirebilmiştir. Dümenleme elemanı olarak açılı algılayıcı elektrohidrolik ön aks kullanılmıştır. Tasarlanan bu ön aks belirli model traktörlerde kullanılabilir. Farklı model traktörler için farklı boyutlarda ön aks üretilmesi

gerekmektedir. Ancak çalışma şekli bakımından bir farklılık olmayacaktır. Merkezi kontrol ünitesinden gelen komutlar herhangi bir traktörün uyumlu ön aksını çalıştırabilmektedir. Öte yandan dümenleme için kullanılan DC motor uygulamaları (Eaton ve ark. 2005) ya da servo motor uygulamaları (Esterly ve ark. 2010) özellikle ticari uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntemde direksiyon simidine monte edilen bir motor dümenlemeyi gerçekleştirmektedir. Daha ucuz ve daha üniversal olan bu yöntem farklı model traktörlere de uygulanabilmektedir.

Geliştirilen otomatik dümenleme sisteminin elemanları laboratuvar testlerinde çalışabilirlik ve performans açısından test edilmiştir. Elektrohidrolik valflerin testleri için geliştirilmiş olan program kullanılmıştır. GNSS cihazının konum verilerini alması, görüntülenmesi gibi işlevleri yerine getirip getirmediği test edilmiştir ve ayrıca saha testlerinde de veriler kaydedilerek rotaları başarıyla çizilmiştir.

GNSS cihazının CAN BUS haberleşmenin gerçekleştirilmesi için hazırlanan testleri, Ön aksın otomatik dümenleme açısının testleri ve rota takibi için de geliştirme aşamasında yazılımın testleri gerçekleştirilmiştir. Geliştirme aşamasında gerçekleştirilen bu testlerde her aşamada yeni iyileştirmelerin yapılması sağlanmıştır. Rota takibi performansı ve yazılımın iyileştirilmesi konusundaki çalışmalar ve güncellemeler sürekli olarak devam edecektir.

Saha testlerinde, rota takip performansının belirlenmesi, sabit rotalarda farklı ekipmanlar ile tarla testleri ve farklı ekipmanlar ve farklı rotalar ile tarla testleri gerçekleştirilmiştir. Rota takip performansının belirlenmesi testinde ortalama sapma 0,083 m olarak belirlenmiştir. Yapılan testler sonucunda alınan ortalama değerleri Ehsani ve ark. 2002'de yapmış oldukları testlerde 0,3 m'ye kadar varan ortalama sapmalara kıyasla düşük seviyede olduğu görülmüştür. En yüksek sapma değeri 0,29 cm ile 2,4 ve 5,2 km/h hızlarında alınmıştır. Guo ve ark. (2003)'te yaptığı çalışmada DGPS ile 0,38 m, RTK ile çalışmalarında 0,25 m maksimum sapma değeri sağladıkları düşünüldüğünde testlerin sonucunda alınan maksimum sapma değerlerinin yakın olduğu görülmektedir.

Rota takip testlerinde araştırmacılar geliştirdikleri sistemleri bir sonraki çalışmalarda sürekli geliştirmektedirler. Otomatik dümenleme sistemine sahip araçlar edinilen tecrübeler ile birlikte imkanlara bağlı olarak kullanılan jiroskop, mesafe sensörleri, lazer sensörler ve farklı kontrol ünitesinin eklenmesiyle daha hassas rota takip performanslarına ulaşabilmektedirler.

Tarlada yapılan testlerde ise ekipmansız ve ekipmanlı testler gerçekleştirilmiştir. Ekipmanlar ile yapılan testlerde ekipmanların otomatik dümenleme sistemi üzerinde yapmış olduğu etkiler farklılık yaratmıştır. Tüm alet ve makinalar arasında en yüksek ortalama sapma yaylı kültivatör ile çalışmada en düşük ortalama sapma ise pulluk ile çalışmada elde edilmiştir. Pulluk çalışılan alet ve ekipmanlar içerisinde en düşük ortalama sahiptir. Beklentilerin aksine pulluktan kaynaklanan yatay kuvvetlerin dümenleme üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır. En küçük sapma değeri ise 0,002 cm olarak ekipmansız 8km/h testinde, yaylı kültivatör ile yapılan teste ve gübre serpmeye makinası ile yapılan testlerde alınmıştır. Farklı ekipmanlar ve farklı rotalar ile yapılan testlerde ise en küçük sapma değeri birden çok deney sonucunda 1 cm olarak bulunmuştur.

Yine bu testlerde sürücüsüz testler ve sürücülü test sonuçları arasında karşılaştırma yapmak mümkündür. Sürücüsüz testlerde alınan ortalama sapma değeri 8,25 cm aynı rota sürücü ile test edildiğinde 4,65 cm'ye düşmektedir. En yüksek sapma değeri ise sürücüsüz testlerde 21,29 cm sürücülü testte ise 17,66 cm olarak kaydedilmiştir.

Verilerin 1 Hz frekansla alındığı testlerde bir ekipman için 1600 veriye kadar çıkabilen veri sayıları elde edilmiştir. Tarla koşullarından kaynaklanan ani sapma ve ya sarsıntıdan kaynaklanan büyük değerler çeşitli filtreleme yöntemleri ile filtrelenebilmektedir. Tarla koşullarından ya da GNSS sinyallerinden kaynaklanabilecek olan bu ani değişimler sonraki çalışmalarda filtrelenecektir. Kontrol için kullanılan yazılımda rotaya yaklaşımdaki agresiflik azlatıldığında da büyük ve ani değişimler olduğunda direksiyon bu sapma için tepki vermemektedir. Bu katsayılar ticari olarak bulunan sistemlerde de kullanıcı tarafından kullanıcı arayüzünden değiştirilebilmektedir.

Otomatik dümenleme sistemleri tüm Dünya'da özellikle gelişmiş ülkelerde kullanılmaya başlanmıştır. İlk zamanlarda sürücü destek sistemleri yani lightbar olarak isimlendirilen ürünler kullanılmıştır fakat tam otomatik sistemler de yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle arazi parsellerinin büyük olduğu işletmelerde sürücünün üzerindeki yükü azaltması ve başarılı performans sergilemeleri sebebiyle otomatik dümenleme sistemleri daha çok tercih edilmektedir. Tüm yeni teknolojilerde olduğu gibi otomatik dümenleme sistemlerinin maliyetleri birden çok araştırmacının araştırmaları ve birden fazla üretici firmanın otomatik dümenleme sistemi üretimine dahil olmalarından dolayı azalmıştır ve kullanıcı açısından daha kolay ulaşılabilir hale getirilmiştir. Başta Amerika Birleşik

Devletleri, Avrupa ülkeleri, Rusya ve Japonya olmak üzere otomatik dümenleme sistemlerinin geliştirilmesi devam etmektedir.

Otomatik dümenlemenin rota takipteki hassasiyeti konum belirleme sisteminin hassasiyetinden önemli derecede etkilenmektedir. Konum verileri günümüzde çeşitli düzeltme sistemleriyle hatası daha düşük olarak saptanabilmektedir. Konum verilerinin son gelişmeler dikkate alınarak daha hassas yöntemlerin tercih edilmesi gerekmektedir. Konum verilerinin yüzey şekillerinden dolayı sorun yaşandığı durumlarda farklı düzeltme sistemleri kullanılabilir.

Otomatik dümenleme sistemleri geliştirilirken konum belirleme sisteminden kaynaklanabilecek hatalar özellikle eğimli arazilerde jiroskop ile düzeltilmelidir. Jiroskop eğimli arazilerdeki GNSS antenin iz düşümünün istenilen yere ayarlanmasını sağlar. Aksi takdirde eğimden ya da yatay salınımdan dolayı sistem konumunu yanlış hesaplayacaktır. Yazılım, model ya da elektronik kontrol ünitelerinin yapılan deneyler sonucunda iyileştirilmesi gerekmektedir. sistemdeki tüm bileşenlerin uyumlu bir şekilde çalışması gerekmektedir. Dümenleme sistemleri olarak kullanılan hidrolik üniteler ya da elektrik motorlarının daha iyi çalışabilmesi için dümenleme elemanlarının, mekanik parçaların ve tekerleklerin ayarlarının iyi durumda olması gerekmektedir.

Rota takip performansı testlerindeki sonuçlara göre hız arttıkça hata azalmıştır. Bunun sebebi kontrol yapısının hıza bağımlı olarak çalışmamasıdır. Bu yüzden otomatik dümenleme sistemi traktörün yüksek hızlarında daha başarılı bir performans sergilemiştir.

Sistemin geliştirilmesi için gerekli olan malzemelerden GNSS cihazı 18000 TL ile en yüksek gideri oluşturmuştur. Dümenleme sistemini oluşturan valf, silindir bloku, aç algılayıcı ön aks ise 12000 TL ile ikinci sırada yer almaktadır. Direksiyon elektronik kontrol ünitesi için 1500 TL, kablolama ve kutulama bedelleri 2000 TL olmuştur. Ancak geliştirmede daha geniş özellikleriyle kullanılan bu cihazların seri üretimlerde satın alma fiyatları düşecektir ve son ürün olarak ortaya çıkan sistemin fiyatının piyasa şartlarına göre ithal edilen ürünlerden daha ekonomik olması planlanmaktadır.

Tarımsal nüfustaki azalmalar, özel sektörün tarım ilgi duyması ve tarım alet ve makinalarında ileri teknoloji kullanılması tarımda otomasyonun günümüzde giderek artan oranda kullanılmasını sağlamaktadır. otomatik dümenleme sistemleri de önümüzdeki 5-10 yıl içinde sadece gelişmiş ülkelerde değil gelişmekte olan ülkelerde de yaygınlaşacaktır.

Küreselleşen Dünya pazarında Türkiye'nin de yer alması açısından tarım makinalarındaki otomasyona yönelik araştırmaların yapılması gerekmektedir. Geliştirilen otomatik dümenleme sistemi gelişmiş ülkelerdeki çalışmaların ülkemizde de yapılacağını ortaya çıkarmıştır. Bu araştırmada geliştirilen sistemin bundan sonraki çalışmalara yardımcı olacağı inancındayım. Bu çalışma Türkiye'de bu alandaki öncü çalışmalardan biridir ve bundan sonraki çalışmalara ışık tutacaktır.

KAYNAKLAR

Anonim (2011). [http:// www. iso.org.tr](http://www.iso.org.tr)

Anonim (2012).<http://www.trimble.com.tr>

Anonim (2013a) [http://tr.wikipedia.org/wiki/K %C3%BCresel _uydu_seyr %C3%BCsefer_ sistemi](http://tr.wikipedia.org/wiki/K%C3%BCresel_uydu_seyr%C3%BCsefer_sistemi)

Anonim (2013b). <http://www.valtra.co.uk>

Anonim (2014a). <http://www.mv.uni-kl.de/fileadmin/mec/Forschung/robertpic.JPG>

Anonim (2014d) http://www.nwgc.gov/pms/pubs/475/PMS475_chap5.pdf

Anonim (2014e). <http://spaceplace.nasa.gov/gps/en/>

Anonim (2014f). <http://www.lstractor.com/tractor/g-series/index.aspx>

Anonim (2014g). <http://www.xoutpost.com/attachments/x5-e53-forum/59394d1370707225-hows-your-tire-wear-overinflating-caster.jpg>

Benson E.R , Reid J. F, Zhang Q (2003a). Machine vision–based guidance system for an agricultural small–grain harvester. Journal Series of the Delaware Agricultural Experiment Station. Paper No. 02–02–1721

Benson E.R, Reid J.F, Zhang Q (2003b). Machine Vision-based Guidance System for Agricultural Grain Harvesters using Cut-edge Detection. Biosystems Engineering (2003) 86 (4), 389–398

Blackmore B. S, Griepentrog H W, Nielsen H, Nørremark M, Resting-Jeppersen, J (2004). Development of a deterministic autonomous tractor. CIGR International conference Beijing.

Chang T.H (2003). Field performance assessment of the ADVANCE-F automatic steering control vehicle. Control Engineering Practice 12 (2004) 569–576

Chateau T, Debain C, Collange F, Trassoudaine L, Alizon J (2000). Automatic guidance of agricultural vehicles using a laser sensor. Computers and Electronics in Agriculture 28 (2000) 243–257

Coen T, Vanrenterghem A, Saeys W, Baerdemaeker J. D, (2008). Autopilot for a combine harvester. Computers and electronics in agriculture 63 (2 0 0 8) 57–64

Connor M.L (1997). Carrier-phase differential gps for automatic Control of land vehicles. Ph.D. Dissertation, Stanford University.

Cordesses L, Cariou C, Berducat M, (2000) Combine Harvester Control Using Real Time Kinematic GPS. Precision Agriculture, 2, 147161, 2000.

- Dağdeviren C, Kullukçu A (2001). Traktörlerde Hidrostatik Direksiyon Sistemi Tasarımı. Iı. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi. E/2001/278-1 İzmir.
- Derrick J.B, Bevly D.M (2009). Adaptive Steering Control of a Farm Tractor with Varying Yaw Rate Properties. *Journal of Field Robotics* 26(6-7), 519-536
- Eaton R, Katupitiya J, Cole A, Meyer C (2005). Architecture of an automated agricultural Tractor: hardware, software and control systems. School of mechanical and manufacturing engineering University of New South Wales Sydney, Australia
- Easterly D.R,AdamchukV.I, Kocher M.F., Hoy M.R (2010). Using a vision sensor system for performance testing of satellite-based tractor auto-guidance. *Computers and Electronics in Agriculture* 72 (2010) 107-118
- Ehsani M.R, Sullivan M, Walker J.T, Zimmerman T.L. (2002). A Method of evaluating different guidance systems. ASAE annual international meeting / CIGR XVth world Congress Chicago, Illinois USA.
- Engürülü B. Ö, Çiftçi M, Gölbaşı H.Ç, Başaran M , Akkurt (2005).Traktör Tekniği. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Ankara Zirai Üretim işletmesi, Personel ve Makina Eğitim Merkezi Müdürlüğü Yayınları. Ankara.
- Eren K, Uzel T (2008). Ulusal Cors Sisteminin Kurulması ve Datum Dönüşümü Projesi Tanıtım Kitabı. İstanbul Kültür Üniversitesi.
- Fitzpatrick K, Pahnos D, Pype W.V (1997). Robot windrower is first unmanned harvester. *Industrial Robot* 24(5): 342-348.
- Gan-Mor S, Clark R.L , Upchurch B. L, (2007). Implement lateral position accuracy under RTK-GPS tractor guidance. *Computers and Electronics in Agriculture* 59 (2007) 31-38
- Gerrish J. B, Fehr B. W, Van Ee G. R, Welch D P (1997). Self-steering tractor guided by computer vision. *Applied Eng. İn Agric.* 13(5): 559-563.
- Glasmacher Hans (2002) AGRO NAV Plan Software for planning and evaluation of the path and work of field robots. American Society of Agricultural Engineers (ASAE), Automation Technology for Off-road Equipment (ATOE), Chicago, Illinois, USA, 2002
- Gyllendahl T, Tran D (2012). Development of an auto rickshaw vehicle suspension. Bachelor of Science in Engineering Technology. Luleå University of Technology Department of Engineering Sciences and Mathematics. Luleå, Sweden
- Hague T, Marchant J.A., Tillett N.D, (2000). *Computers and Electronics in Agriculture* 25 (2000) 11-28
- Heraud J. A, Lange A.F (2009). Agricultural Automatic Vehicle Guidance from Horses to GPS: How We Got Here, and Where We Are Going.. *Agricultural Equipment*

Technology Conference, 9-12 February 2009, Louisville, Kentucky, USA. Copyright 2009 American Society of Agricultural and Biological Engineers. ASABE Publication Number 913C0109. ASABE Distinguished Lecture #33, pp. 1-67

- Hiremath S.A, Heijden G, Evert F.K, Stein A, Braak C, (2014). Laser range finder model for autonomous navigation of a robot in a maize field using a particle filter. *Computers and Electronics in Agriculture* 100 (2014) 41–50
- Hongo T., Arakawa H., Sugimoto G., Tange K, and Yamamoto Y, (1987). “Automatic guidance system of a self-controlled vehicle,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. IE-34, pp. 5–10, Feb. 1987.
- Inoue Keichi (2008) Steering control system for autonomous Tractor. National Agriculture Research Center for Hokkaido Region 1 Hitsujigaoka, Toyohira-ku, Sapporo, 062-8555 Japan
- Jahns G (1997). Automatic guidance of agricultural field machinery. In *Proc. Joint International Conference on Agricultural Engineering and Technology Exhibition*, 70–79. Dhaka, Bangladesh. 15–17 December. St. Joseph, Mich.: ASAE.
- Kaplan E.D, Hegarty C.J, (2006). *Understanding GPS Principles and Applications*. Artech House INC. ISBN 1-58053-894-0
- Karaman C.U (2007). Belden Kıırma Dümenleme Sistemine Sahip Traktörlerde Dümenleme Sistemi Üzerine Bir İnceleme. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Keçecioglu G, Gülsoylu E (2005). *Tarım Traktörleri*. Ege Üniversitesi Yayınları Ziraat Fakültesi Yayın No: 565 ISBN 975-483-665-5 İzmir
- Keskin M, Keskin S.G (2012). *Hassas tarım teknolojileri*. Color Ofset Yayıncılık Ltd. Şti. ISBN 978975-7989-33-2
- Kirişçi V, Keskin M, Say M.S, Keskin S (1999). *Hassas uygulamalı tarım teknolojisi*. Nobel yayın dağıtım ltd. Şti. ISBN 975-591-066-2
- Lei F. ve Yong H. (2005) Study on dynamic model of tractor system for automated navigation applications. School of Bio-system Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China
- Li M, Imou K, Wakabayashi K Yokoyama S (2009). Review of research on agricultural vehicle autonomous guidance *Int J Agric & Biol Eng*, 2009; 2(3): 1 – 16.
- Mas F.R. ve Zhang Q. (2008) Fuzzy logic control of an electrohydraulic valve for auto-steering off-road vehicles DOI: 10.1243/09544070JAUTO568
- MEGEP (2007a). *Motorlu Araçlar Teknolojisi Direksiyon Sistemleri*. Motorlu Araçlar Teknolojisi Alanı 525MT0027 Ankara 2007

- MEGEP (2007b). Motorlu Araçlar Teknolojisi Ön düzen ve tekerlekler. Motorlu Araçlar Teknolojisi Alanı 525MT0027 Ankara 2007
- MEGEP (2011). GPS. Harita-Tapu-Kadastro. Küresel konum belirleme sistemi (GPS) ve GPS ölçü planlaması ile ilgili temel bilgilerin verildiği öğrenme materyali. 581MSP132 Ankara 2011
- Mejnertsen A, Nielsen A.R (2006). Control of Autonomous Tractor. Master's Thesis at Ørsted DTU, Automation.
- Nagasaka Y, Saito H, Tamaki K, Seki M, Kobayashi K, Taniwaki K (2009). An Autonomous Rice Transplanter Guided by Global Positioning System and Inertial Measurement Unit. *Journal of Field Robotics* 26(6–7), 537–548
- Oksanen T, Backman J (2013). Guidance system for agricultural tractor with four wheel steering. The IFAC Bio-Robotics Conference, Osaka, Japan, March 27-29, 2013.
- Öcalan T (2011). GNSS Verisinin Gerçek Zamanlı İletimi İçin Standartlar. http://www.koeri.boun.edu.tr/jeodezi/tujk2011/tujk_2011_sunumlar/23kasim2011/teknikoturum/3/01_OcalanT_RTSM_TUJK2011_T.Ocalan_v1.pdf (Erişim Tarihi:2013)
- Perez L.G, Garcia-Alegre M.C, Ribeiro A, Guinea D, (2008). An agent of behaviour architecture for unmanned control of a farming vehicle computers and electronics in agriculture 60 (2008) 39–48
- Palmer R. J, Matheson S.K (1988). Impact of navigation on farming. ASAE Paper No. 881602. St. Joseph, Mich. ASAE.
- Pilarski T, Happold M, Pangels H, Ollis M, Fitzpatrick K, Stentz A (1999). The Demeter System for Automated Harvesting. *Robotics and Remote systems*.
- Pradalier C, Usher K, (2007). Experiments in autonomous reversing of a tractor-trailer system. 6th International Conference on Field and Service Robotics - FSR 2007, Chamonix : France
- Reid J.F, Zhang Q, Noguchi N, Dickson M (2000). Agricultural automatic guidance research in North America. *Computers and Electronics in Agriculture* 25 (2000) 155–167
- Robertson M, Carberry P, Brennan L (2007). The economic benefits of precision agriculture: case studies from Australian grain farms. CSIRO ISSN: 1883-4563
- Snider, M.J (2009). Automatic steering methods for autonomous automobile path tracking. Robotics Institute Carnegie Mellon University Pittsburgh, Pennsylvania.
- Soysal İ (1998). Biyometrinin prensipleri. Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi yayınları.

- Stents A, Dima C, Wellington C, Herman, Strager D (2002) A System for Semi-Autonomous Tractor Operations. *Autonomous Robots archive* Volume 13 , Issue 1 (July 2002) table of contents Pages: 87 - 104 Year of Publication: 2002 ISSN:0929-5593
- Taylor R (2008) . Making a plan for technology adoption. Presentation of Extension Engineer, Machinery Systems. *Biosystems and Agricultural Engineering*
- Thuilot B, Cariou C, Martinet P, Berducat M, (2002) Automatic Guidance of a Farm Tractor Relying on a Single CP-DGPS. *Autonomous Robots* 13, 53–71, 2002.
- Tosaki K, Miyahara S, Ichikawa T, Taniai S, Mizukura Y, Moriki H, Miyashita S (1998). Development of a microcomputer controlled driverless air blast sprayer. Proc. ARBIP95, 3–6 November 1996, Kobe University, Kobe, Japanese Society of Agricultural Machinery, Omiya, vol. 1, pp. 49–56.
- Türker U (2009). Precision agriculture technologies and applications. Food,informatics of agriculture and finance conference and workshop. Adana
- Van Zuydam R. P (1999). A driver's steering aid for an agricultural implement based on an electronic map and real-time kinematic DGPS. *Comput. Elect. Agric.* 24(3): 153–156.
- Wan X, Liu G (2008). Automatic Navigation System with Multiple Sensor Computer And Computing Technologies In Agriculture, Volume II. IFIP International Federation for Information Processing, 2008, Volume , 769-776
- Wilson J. N (2000). Guidance of agricultural vehicles – A historical perspective. *Comput. Elect. Agric.* 25(1/2): 3–9.
- Vatani N.N, BosseM , Roberts J, Dunbabin M (2006). Practical Path Planning and Obstacle Avoidance for Autonomous Mowing. In Proc. of the Australasian Conference of Robotics and Automation.
- Wu D. Q. Zhang J.F. Reid H. Qiu (1999). Adaptive Control of Electrohydraulic Steering System for Wheel-Type Agricultural Tractors. ASAE Annual International Meeting Sponsored by ASAE Toronto, Ontario, Canada.
- Zhang, Q., Reid, J.F. and Noguchi N. (1999). Agricultural Vehicle Navigation Using Multiple Guidance Sensors. UILU-ENG-99-7013
- Zhang Q, Wu D, Reid J.F, Benson E.R (2002). Model recognition and validation for an off-road vehicle electrohydraulic steering controller. *Agricultural Engineering Department, University of Illinois at Urbana–Champaign, Mechatronics* 12 (2002) 845–858