ELEKTRONİK KONTROLLÜ PAMUK TEPE KESME MAKİNESİ TASARIMI

İsa AYDIN

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRONİK KONTROLLÜ PAMUK TEPE KESME MAKİNESİ TASARIMI

İsa AYDIN
000-0003-4409-6609

Prof. Dr. Selçuk ARSLAN
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

ELEKTRONİK KONTROLLÜ PAMUK TEPE KESME MAKİNESİ TASARIMI

İsa AYDIN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarımsal Makine Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Selçuk ARSLAN

Bu çalışmada, iki sıralı bir pamuk tepe kesme makinesi prototipi ve bu makineye uyarlanmak üzere anlık olarak bitki yüksekliğini algılayan ve istenilen kesme yüksekliğini otomatik olarak ayarlayabilen bir kontrol sistemi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Ön çalışmalarda pamuk tepe sürgünlerinin kesme işlemi ile ilgili fiziko-mekanik özellikler incelenmiştir. İki sıralı prototip makinenin traktöre önden takılabilmesi için bir ataşman tasarlanmıştır. Dönerek çalışan kesici bıçaklar hidro-motorlar aracılığıyla, her bir bıçağı taşıyan ünitenin aşağı-yukarı hareketi ise hidrolik silindirler ile sağlanmıştır. Mekanik sisteme ait katı modelleme SolidWorks, hidrolik sisteme ait devre tasarımı ise FluidSim yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Değişen bitki yüksekliklerini ucuz ve pratik bir şekilde ölçmek ve izlemek amacıyla Arduino mikro denetleyici ve mesafe sensörleri kullanılmış ve Bitki Yükseklik Kontrol Sistemi (BIYKOS) geliştirilmiştir. BIYKOS, bitkiyi tepesinden itibaren 5-15 cm mesafeden kesmek üzere geliştirilmiştir. Hidro-mekanik sistemin çalışması ilk yıl denemelerinde bir pamuk tarlasında, otomatik yükseklik kontrol sisteminin denemeleri ise ikinci yılda bir ayçiçeği tarlasında yapılmıştır. İlk yıl denemelerinde farklı ilerleme hızlarında ve bıçak dönü hızlarında bıçak ve misina ile kesme denemeleri yapılmış ve deneme konularının pamuğun verim ve kalite parametrelerine etkisi, pamuk tepe bölgesinin kesilmeye karşı fiziko-mekanik özellikler araştırılmıştır. İkinci yıl denemelerinde ise farklı ilerleme hızlarında ve sabit bıçak hızında otomatik yükseklik kontrol sisteminin kesme başarısı belirlenmiştir. Kesme başarısının belirlemek için anlık zaman, bitki yüksekliği ve bıçak yüksekliği ölçümleri yapılmış ve kesilen bitki sürgünlerinin oranı analiz edilmiştir. Kontrol sistemine ait algoritmanın saha koşullarında işlevsel olduğu görülmüştür. Deneme öncesinde ve sonrasında bitkilerin tepe boyları ölçülmüş ve tepe kesme başarısı tüm hız denemelerinin ortalaması %73 olarak tespit edilmiştir. En yüksek iş başarısı 5,62 km/h ilerleme hızında %76 olarak ölçülmüştür. Sistemin, kesme başarısını artırmak için farklı sensörler ve sensör konfigürasyonları kullanılması önerilebilir.

Anahtar Kelimeler: pamuk, tepe kesme, makine tasarımı, elektronik kontrol
2022, viii + 93 sayfa.

ABSTRACT

PhD Thesis

DESIGN OF AN ELECTRONICALLY CONTROLLED COTTON TOPPING MACHINE

Isa AYDIN

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Agricultural Systems

Supervisor: Prof. Dr. Selçuk ARSLAN

In this study, it is aimed to develop a two-row cotton top cutting machine prototype and a control system that can instantly detect the plant height and automatically adjust the desired cutting height to be adapted to this machine. In the preliminary studies, the physico-mechanical properties of the cutting process of cotton top shoots were investigated. An attachment was designed so that the two-row prototype machine can be attached to the front of the tractor. Rotating cutting blades are driven by hydro-motors, and the up-down movement of the unit carrying each blade is provided by hydraulic cylinders. The solid modeling of the mechanical system was done using SolidWorks, and the circuit design of the hydraulic system was made using FluidSim software. In order to measure and monitor changing plant heights in a cost-effective and practical way, Arduino microcontroller and distance sensors were used and the Plant Height Control System (BIYKOS) was developed. BIYKOS was developed to cut the plant from a distance of 5-15 cm from the top. The operation of the hydro-mechanical system was carried out in a cotton field in the first year trials, and the trials of the automatic height control system were carried out in a sunflower field in the second year. In the first year trials, cutting experiments were carried out with blade and fishing line at different feed rates and blade rotation speeds, and the effects of the trial subjects on the yield and quality parameters of cotton, and the physico-mechanical properties of the cotton crown against shearing were investigated. In the second year trials, the cutting rate of the automatic height control system was determined at different ground speeds and fixed rotational cutting speed. In order to determine the cutting rate, instant time, plant height and blade height measurements were made and the ratio of cut plant shoots was analyzed. It was found that the algorithm of the control system was functional in field conditions. Before and after the experiment, the height of the plants was measured and the average cutting success of all tests was determined to be 73%. The highest cutting rate was calculated as 76% at a ground speed of 5.62 km/h. It is recommended to use different sensors and sensor configurations to increase the cutting success of the system.

Key words: cotton, topping, machine design, electronic control.
2022, viii + 93 pages.

TEŞEKKÜR

Öncelikle doktora eğitim öncesi ve benim için zorluklarla dolu olan doktora eğitim aşaması süresince yapmış olduğum tüm çalışmalarda tüm desteklerini ve katkılarını üzerimde hissettiğim, uzun süredir beraber çalıştığımız, lisans ve yüksek lisans danışmanlığımı üstlenen, bana her yönüyle rehberlik yapan, maddi-manevi emekleri üzerimde olan çok değerli hocam Prof. Dr. Selçuk ARSLAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Araştırma konusunun tespit edilmesinde ve bazı uygulama aşamalarının hazırlanıp yerine getirilmesinde çok emekleri geçen çok kıymetli hocam Prof. Dr. Sema BAŞBAĞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Doktora eğitimim ve uygulama çalışmalarımın eksiksiz yerine getirilmesinde her konuda yardımcı olup bilgi ve tecrübeleriyle bana rehberlik eden, yönlendiren kıymetli Prof. Dr. Halil ÜNAL ve Öğr. Üyesi Dr. Orhan Erdal AKAY hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Araştırma çalışmasının yerine getirilmesinde maddi katkılarından dolayı Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine (Proje No D(Z)-2016/2) teşekkürlerimi sunarım.

Uzun ve zorlu bir süreç olan doktora eğitimimin her aşamasında maddi manevi emeği geçen ailem, diğer tüm kişi, kurum ve kuruluşlara ayrı ayrı teşekkür ederim.

İsa AYDIN
02/09/2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ v
ŞEKİLLER DİZİNİ vi
ÇİZELGELER DİZİNİ viii
1. GİRİŞ 1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI 5
3. MATERYAL ve YÖNTEM 29
3.1. Pamuk Bitkisine ait Fiziko-Mekanik Özellikler 29
3.2. Traktör Özellikleri 31
3.3. Deneme Parseli-Arazisi Özellikleri 33
3.4. Mekanik ve Hidrolik Aksama Ait Özellikler 36
3.4. Otomatik Yükseklik Kontrol Sistemine Ait Özellikler 41
4. BULGULAR ve TARTIŞMA 46
4.1. Pamuk Bitkisine ait Fiziko-Mekanik Özellikler 46
4.1.1. Fiziksel Özellikler 46
4.1.2. Kuvvet-Deformasyon Eğrileri 47
4.1.3. Kesme Karakteristik Özellikleri 48
4.2. Tepe Kesme Makinesinin Özellikleri 53
4.2.1. Tepe Kesme Makinesinin Mekanik Özellikleri 53
4.2.2. Tepe Kesme Makinesinin Hidrolik Özellikleri 55
4.2.3. Pamuk Tepe Kesme Arazi Deneme Sonuçları 57
4.2.4. Tepe Kesme Makinesinin Elektro-Hidrolik Özellikleri 59
5. SONUÇ 72
KAYNAKLAR 76
EKLER 81

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
cm	Santimetre
da	Dekar
ha/h	Hektar/saat
BG	Beygir Gücü
kg/da	Kilogram/dekar
kW	Kilovat
L	Litre
L/min	Litre/dakika
m	Metre
mic	Mikroner (micronaire)
mm	Milimetre
MPa	Mega Pascal
m/s	Metre/saniye
m^3/h	Metreküp/saat
N	Newton
N, n	Gözlem sayısı
P, p	Olasılık (Probability)
RPM	Dakikada devir sayısı (Revolutions Per Minute)
R^2, r^2	Belirleme Katsayısı
°	Derece
€	Euro

Kısaltmalar	Açıklama
CSM	Bitki Yüzey Modelleri (Crop Surface Models)
FPGA	Alanda Programlanabilir Kapı Dizisi (Field-Programmable Gate Array)
GPS	Küresel Konumlandırma Sistemi (Global Positioning System)
HTP	Yüksek Verimli Fenotipleme (High-Throughput Phenotyping)
HTPP	Yüksek Verimli Fenotipleme Platormu (High-Throughput Phenotyping Platform)
ICAC	Uluslararası Pamuk Danışma Kurulu (International Cotton Advisory Committee)
IoT	Nesnelerin İnterneti (Internet of Things)
LIDAR	Işık Tespiti ve Mesafe Algılama (Light Detection and Ranging)
TLS	Karasal Lazer Tarama (Terrestrial Laser Scanning)
UAS	İnsansız Hava Sistemleri (Unmanned Aerial System)
UTs	Ultrasonik Dönüştürücüler (Ultrasonic Transducers)

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 2.1.	Pamuk tepe kesici	5
Şekil 2.2.	Pamuk tepesi kesme aparatı	6
Şekil 2.3.	Pamuk tepesi kesici	6
Şekil 2.4.	3MD-12 tipi pamuk tepesi kesicinin yapı diyagramı	8
Şekil 2.5.	3MDZK-12 tipi pamuk tepesi budama makinesinin sistematik görünümü	8
Şekil 2.6.	3WDZ-6 kendi yürür pamuk tepesi kesme makinası tasarımı	9
Şekil 2.7.	Yaban mersini hasat makinesine monte edilmiş çoklu sensörlerin konfigürasyonu.	11
Şekil 2.8.	Bitki fenotipleme makinesi a- sistemin önden görünümü, b- sonar yakınlık sensörü, c- kızılötesi radyometre sensörü, d- GPS-RTK alıcıanteni, e- çok spektral mahsul gölgelik sensörü.	13
Şekil 2.9.	Ladybird robotu, mobil saha ofisi ve gerçek zamanlı kinematik (RTK) düzeltme istasyonu. a) Tarlanın taranması, b) sensör konfigürasyonu, c) kanatların kaldırılmış konumu, d) bütün sistem	16
Şekil 2.10.	UPHMS II (a) ve UPHMS I (b): Veri çıktıların görüntülendiği ara yüz	17
Şekil 2.11.	Akıllı hassas pamuk tepe kesme makinesi yapısı	18
Şekil 2.12.	a) Modifiye edilmiş yüksek mesafeli traktör, b) veri toplamak için kullanılan sensörler	19
Şekil 2.13.	Deneme alanı ve bitki tepe yükseklik tespit cihazı	20
Şekil 2.14.	Mekatronik Sistem; a) mekatronik sistem için 3 tekerlekli ana taşıyıcı, b) Tepe kırma işlemi için üst kesme ünitesi, c) sürgünlerin kimyasal kontrolü için kızılötesi ışınlar ve püskürtme başlıkları	21
Şekil 2.15.	Gerçek zamanlı kontrol sistemi geliştirmek için kullanılan test aracı	22
Şekil 2.16.	Traktör önüne monte edilmiş ultrasonik sensör	23
Şekil 2.17.	Saha şartlarında hareketli araba tabanlı veri toplama sistemi.	24
Şekil 2.18.	Şekerkamışı bitki tespit sistemi, A) ultrasonik sensor, B) fotoelektrik sensor	25
Şekil 2.19.	Arduino Uno Kart Yüseklik ölçüm sistemi, a) Ultrasonik sensör; b) Kullanıcı arayüzü ve kutusu; (c) Saha ölçüm destek sistemi	26
Şekil 2.20.	Deneysel sistem ve hedef mahsuller: a) stereo görüş kamerası ve tek kartlı bilgisayar, b) beş deney mahsulü	27
Şekil 2.21.	Sensörler, kameralar, veri kaydedici, bilgisayar ve GPS alıcısı bulunan 6 fitlik bir Traktöre monte edilmiş bom: a) ulaşım (seyir hali) modu, b) genişletilmiş mod	27
Şekil 3.1.	Lloyd LRX Plus biyolojik materyal test cihazı	29
Şekil 3.2.	Kesme deneylerinde kullanılan pamuk sap bölgeleri	30
Şekil 3.3.	John Deere 5403 traktöre ait genel ölçüler	32
Şekil 3.4.	İkinci yıl denemelerinde kullanılan New Holland L65 traktör	33
Şekil 3.5.	Deneme parseli	34
Şekil 3.6.	İkinci deneme parseli planı	35
Şekil 3.7.	Pamuk tepe kesme makinesinin imalat aşaması	36
Şekil 3.8.	U profilleri (DIN 1026) malzemesinin özellikleri	37

Şekil 3.9.	Eğim silindiri teknik özellikleri	39
Şekil 3.10.	Kaldırma silindiri teknik özellikleri	39
Şekil 3.11.	Valf bloğu özellikleri	40
Şekil 3.12.	Hidromotorların teknik özellikleri	40
Şekil 3.13.	Arduino Uno Mikrodenetleyici	42
Şekil 3.14.	HC- SR04 Ultrasonik Sensör	43
Şekil 3.15.	HC- SR04 Ultrasonik Sensör Çalışma Açısı	43
Şekil 3.16.	Voltaj düşürücü, SD kart modülü ve potansiyometre	43
Şekil 3.17.	İlk Yükseklik kontrol sistemi ve ön laboratuvar testleri; a) kontrol kartı, b) sensör kartı, c) bitki boyu algıla ataşmanı, d) hidrolik laboratuvar ön test)	44
Şekil 4.1.	A ve B bölgesindeki pamuk sürgünlerinin kuvvet-deformasyon ilişkisi	47
Şekil 4.2.	A ve B Bölgesindeki nem içeriğinin pamuk sürgünlerinin kayma gerilmesine etkisi	50
Şekil 4.3.	A ve B Bölgesindeki nem içeriğinin pamuk sürgünlerinin kesme enerjisine etkisi	51
Şekil 4.4.	A ve B bölgesindeki pamuk sürgünlerinin nem içeriği ve özgül kesme enerjisi arasındaki ilişki	52
Şekil 4.5.	Mekanik üniteyi oluşturan parçalar a) Ana bağlantı ataşmanı, b) Ana bağlantı çatısı, c) Kesme ve bitki yönlendirme ünitesi	54
Şekil 4.6.	İki sıralı tepe kemse makinesinin perspektif görünüşü ve bazı ölçüler	54
Şekil 4.7.	Tepe kesme makinesinin traktör önündeki ve deneme arazisindeki pozisyonu	54
Şekil 4.8.	Pamuk tepe kesme ünitesinin çalıştırılması için tasarlanan hidrolik sistem	55
Şekil 4.9.	Hidrolik sistem bağlantıları a) Hidrolik kumanda paneli, b) Selenoid valf ön bağlantıları, c) Arka bağlantılar	57
Şekil 4.10.	Elektronik yükseklik kontrol sistemi kontrol ünitesi ve sensörler	60
Şekil 4.11.	Yükseklik algılama sensörlerin makinedeki pozisyon görünümü	60
Şekil 4.12.	Bitki yüksekliği algılama ve kontrol sistemi çalışma algoritması	61
Şekil 4.13.	Örnek log kayıt çıktıları	63
Şekil 4.14.	2,62 km/h hız değerlerindeki zaman-yükseklik grafiği	64
Şekil 4.15.	3,54 km/h hız değerlerindeki zaman-yükseklik grafiği	64
Şekil 4.16.	3,96 km/h hız değerlerindeki zaman-yükseklik grafiği	65
Şekil 4.17.	5,62 km/h hız değerlerindeki zaman-yükseklik grafiği	66
Şekil 4.18.	6,45 km/h hız değerlerindeki zaman-yükseklik grafiği	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1 1.	Dünya ve Türkiye'de lif pamuk verileri (bin ton)	1
Çizelge 3.1.	DP 499 Pamuk çeşidi özellikleri	29
Çizelge 3.2.	John Deere 5403 traktöre ait teknik özellikler	31
Çizelge 3.3.	New Holland L65 traktöre ait teknik özellikler ve genel ölçüler	32
Çizelge 3.4.	St37 malzemesinin mekanik ve kimyasal özellikleri	37
Çizelge 4.1.	Araştırmada kullanılan pamuk çeşidinin bitki ve gövde bazı fiziksel özellikleri	46
Çizelge 4.2.	Pamuk sürgünlerinin kesim bölgeleri ve kesilme özellikleri	49
Çizelge 4.3.	Pamuk bitkisinin verim, kütlü ağırlık, çırçır randımanı ve kalite analiz sonuçlarının istatiksel değerleri	58
Çizelge 4.4.	Deneme öncesi traktör-kesme bıçakları hız ayar sonuçları	62
Çizelge 4.5.	Uygulama öncesi ve sonrası bitki boyu değerleri (cm)	68

1. GİRİŞ

Pamuk bitkisi dünyada ve ülkemizde başta tekstil sanayisi olmak üzere yağ endüstrisi, yem sanayi, kimya endüstrisi ve savaş endüstrisi gibi çok geniş alanlarda kullanılan önemli bir lif bitkisidir. Günümüzde dünya genelinde pamuk üretim alanı ve üretim miktarı artmış olsa da tüketim, ithalat ve ihracat değerlerinde son yıllarda düşmeler olmuştur. Ülkemizde ise ekili alan, üretim, tüketim ve ihracat değerlerinde önemli azalmalar görülmekte, bunun sonucu olarak ithalat değerinde önemli bir artış görünmektedir (Çizelge 1.1). Ayrıca 2019/2020 yılı verilerine göre Türkiye, dünyada üretimde 7'nci, ekili alanda 12'nci, tüketimde 6'ncı ve ithalatta 6'ıncı sırada bulunmaktadır (ICAC, 2022). Ekili alan ve üretim miktarının düşmesine ve dışa bağımlılığın artmasına rağmen pamuk ülkemiz için ekonomik değeri yüksek bitkiler arasında olma özelliğini korumaktadır.

Çizelge 1 1. Dünya ve Türkiye'de lif pamuk verileri (bin ton)

	Türkiye				**Dünya**			
	2014/15	2018/19	2019/20	Değişim (%)*	2014/15	2018/19	2019/20	Değişim (%)*
Alan (1000 ha)	460	518	478	-7,72	33902	33041	34495	4,40
Verim (kg/ha)	1565	1885	1704	-9,60	775	786	758	-3,56
Üretim	720	977	814	-16,68	26268	25983	26134	0,58
Tüketim	1486	1679	1474	-12,21	24579	26012	22689	-12,77
İthalat	800	786	1017	29,39	7800	9222	8679	-5,89
İhracat	51	155	98	-36,77	7785	9284	9197	-0,94

* Son iki döneme ait değişim.

Türkiye'de pamuk üretim girdileri oldukça yüksektir. Pamuk bitkisinin üretim ve yetiştiriciliğinde tohum yatağı hazırlığı, ekim işlemleri, ara sürüm, birinci çapa, seyreltme, ikinci çapa, gübreleme, ilaçlama, sulama, budama ve hasat gibi işlemlerde alet-makine ve insan işgücü yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Bu işlemlerin girdi maliyetlerini düşürebilmek için pamuk mekanizasyonun uygun bir şekilde kullanılması, mekanizasyon düzeyinin arttırılması ve çiftçi desteklemelerinin daha etkili olması gerekmektedir (Gençer ve ark., 2005).

Ülkemizde pamuk üretimi girdi maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle dünya pamuk üretimi yapan ülkelerle rekabet şansı zamanla azalmaktadır. Fakat pamuk ürünlerine ilgi artış göstermekte ve ihtiyaçlar ithalat ile karşılanmaktadır (Çizelge 1.1). Pamuk üretiminde girdi maliyetlerinin düşürülmesi; kültürel işlemlerin doğru zamanda, doğru makineyle ve doğru şekilde yapılması, işlem sayısının azaltılması ve mekanizasyon düzeyinin arttırılmasıyla da mümkündür. Pamuk üretim maliyetlerini düşürmenin yanında verimini artırmak ta üreticinin ana amaçları arasındadır. Pamukta erkenciliğin sağlanması, pamuk verimini etkileyen bir etken olarak bilinmektedir. Ülkemizde erkencilik kimyasal yollarla (Pix uygulaması) sağlanmaktadır. Kullanılması gereken kimyasallardan dolayı çevre zarar görmekte, üretim işlemleri artmaktadır. Kimyasal girdilerin haricinde erkenciliği sağlayabilecek en önemli faktör tepe kesme işlemidir. Yapılan çalışmalarda pamuk bitkisinin uygun zamanda tepe kesme işlemi yapıldığında verimin arttığı, erkenciliğin sağlandığı, makinalı hasat işlemlerinin kolaylaştığı, bazı zararlıların azaldığı ve çevrenin korunduğu tespit edilmiştir.

Önemli bir endüstri bitkisi olan pamuk üretiminde geçmişte uygulanan kültürel uygulamalardan birisinin sürgünlerin tepesinin kesilmesi olduğu literatürde de görülmektedir (Ma ve ark., 1983; Dong ve Han, 1996; Xu ve ark.; 2001; Dai ve ark., 2003). Bu işlem, pamuk bitkisinin vejetatif gelişimini sınırlamak ve generatif gelişimini teşvik etmek için kullanılmıştır (Seyhan, 1996; Yaşar, 2013). Ancak, büyük tarlalarda el işçiliğine dayalı bir tepe kesme işlemi sürdürülememiş ve ülkemiz de dahil olmak üzere tüm dünyada bu pratikten vazgeçilmiştir.

Tepe sürgününün kesilmesi, pamuk bitkisinde verimi, kaliteyi ve erkenciliği arttıran etkenlerden bir tanesi olup vejetatif organların gelişimini durdurup generatif organların gelişimini hızlandırmaktadır (Ma ve ark., 1983; Dong ve Han, 1996; Xu ve ark.; 2001; Dai ve ark., 2003). Ayrıca ekimden 100 ve 115 gün sonra yapılan uç almanın, kütlü pamuk verimi, koza kütlü ağırlığı, çırçır randımanı, ilk el kütlü oranı ve lif uzunluğunu arttırdığı; bitki boyu ve açmayan koza sayısını azalttığını; 100 tohum ağırlığı ve lif inceliği, kısa lif oranı, lif kopma dayanıklılığı, iplik yapılabilirlik indeksi, lif tekdüzeliği ve lif kopma uzaması özelliklerini değiştirmediği tespitine varılmıştır (Yaşar, 2013). Ekimden sonra 110 ve 120. günlerde yapılan yaprak döktürmenin kütlü pamuk verimi

bakımından en uygun zaman olduğu tespit edilmiştir (Denizdurduran, 2008). Pamukta budama ve uç kesmenin bitki boyunu ve ana gövde boğum sayısını düşürdüğü, tutan koza sayısı ve pamuk verimini artırdığı gözlenmiştir (Obasi ve Msaakpa, 2005). Mali'de yapılan 6 yıllık bir çalışmada, bölgede yaygın olarak bulunun pamuk yeşil kurtlarının özellikle Helicoverpaarmigera Hübner, Eariasspp ve Diparopsiswatersi Rothschild zararlılarının tepesi el ile kesilmiş ve kesilmemiş pamuk bitkilerindeki durumu karşılaştırılmıştır. Araştırma sonucunda 12 denemenin 5 denemesinde tepesi kesilmiş pamuk bitkilerinde yeşil kurt zararlısının önemli derecede azaldığı tespit edilmiştir. H. Armigera larvalarında ortalama %56, Eariasspp larvalarında ortalama %68 ve D. Watersi larvalarında ortalama %71 oranında azalmalar tespit edilmiştir (Renou ve ark., 2011). Amerika'daki Pima S-3 pamuk bitkisi üzerinde yapılan çalışmada 3 yıllık zaman dilimi (1970-1972 arası) içerisinde 3 farklı sezonda (17 Temmuz, 01 Ağustos ve 15 Ağustos) bitkilerin 103, 113 ve 130 cm yükseklikten tepesi kesilmiştir. Tepe sürgünü kesilen pamuğun, koza kütlesi, bitkideki koza sayısı, kozadaki çekirdek sayısı, bitkideki lif miktarı, kozadaki lif miktarı, % lif miktarı, tohumdaki lif miktarı ve tohum ağırlığı tespit edilmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu sonuçlara göre 17 Temmuz'da kesilen bitkilerin birinci, ikinci ve üçüncü dallarındaki koza sayısı sırası ile %300, %100 ve %60 oranında artış göstermiştir (Kittock ve Fry, 1977).

Pamuk tepe kesme işlemi için 1800'lü yılların sonlarından itibaren farklı tipte makineler geliştirildiği görülmektedir (Schwarz, 1908; Matthews, 1931; Dale, 1959; Patterson ve ark., 1978; Hu ve Wu, 2007). Ancak, bu makinelerin günümüze kadar ticarileştirilemediği bilinmektedir. Bunun nedenleri arasında; tepe kesme döneminde traktöre bağlı bir makine ile tarlaya girilmesinin bitkilere zarar vermesi, geliştirilen makinelerin sabit yükseklikte kesme işlemi yapması ve tarla içinde bitki yüksekliklerindeki değişimlere uyum sağlayamaması ve bunun sonucunda doğru yükseklikten kesme yapılamaması, kendi yürür makinelerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılmasındaki zorluklar sıralanabilir.

21. yüzyılda Endüstri 4.0 ile birlikte Tarım 4.0 ifadesi kullanılmaya başlanmış ve hassas tarım, akıllı tarım ve dijital tarım gibi konular hızlı bir şekilde araştırılmaya başlanmıştır (Pakdemirli ve ark., 2021). Yeni gelişen tarım teknolojileri ile birlikte otonom makineler, akıllı makineler, IoT teknolojisi ve algılayıcılar (sensörler) tarım makinelerinin temel

parçaları haline gelmektedir. Sensör teknolojilerinin de gelişmesi sonucu, son yıllarda bitkiler için önemli bir fenotip özelliği olan yükseklik algılama işlemleri artmaya başlamıştır (Zhang ve Grift, 2012; Farooque ve ark, 2013; Tilly ve ark., 2014; Gravolos ve ark., 2019; Bronson ve ark., 2020; Gupta ve ark., 2022; Montazeaud ve ark., 2021). Bu gelişmeler ile birlikte pamuk sürgünlerinin yüksekliğini algılayan (Jiang ve ark., 2016; Thomson ve ark., 2019; Song ve ark., 2019) ve kesme sisteminin yüksekliğini otomatik olarak ayarlayan makineler geliştirilmeye başlanmıştır (Sun ve ark., 2015; Xiaohui ve ark., 2015; Chen and Shi, 2017; Peng ve ark., 2018). Ülkemiz, önemli bir pamuk ithalatçısı olmakla beraber önemli bir pamuk üreticisidir. Ege, Çukurova ve Güneydoğu Anadolu bölgesinde eskiden elle tepe kesme işlemi yapıldığı bilinmektedir. Bu çerçevede başarılı bir tepe kesme makinesinin ülkemizde benimsenme potansiyeli olduğu değerlendirilmiştir.

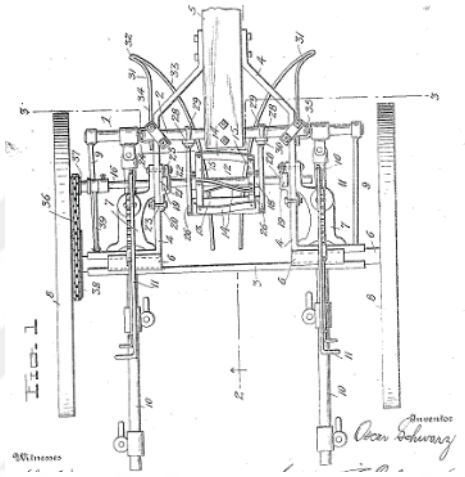
Pamuk tepe kırma, kesme veya budama işlemi (tepeleme) geleneksel tarımda elle insan işgücüne dayalı olarak yapıldığı için çok zaman ve insan gücü gerektiriyordu. Tarımsal alandaki insan gücünün azalması ve yeni pamuk çeşitlerinin çıkması ile birlikte pamuk tepe kırma işlemi de zamanla yapılamaz olmuştur. Fakat gelişen şartlar ve araştırmalar eşiğinde pamuk tepe alma işleminin mekanik ve otomatik olarak yapılması teknik olarak daha yapılabilir hale gelmiş görünmektedir.

Bu çalışmanın genel amacı, pamuk bitkisinin tepe noktasından itibaren 5-15 cm mesafeden tepe sürgününü kesebilecek bir makine tasarlamaktır. Çalışmanın spesifik amaçları ise şunlardır:

- Pamuk tepe sürgünlerinin kesme işlemi açısından fiziko-mekanik özelliklerini belirlemek,
- Traktörün önüne monte edilebilen, iki-sıralı ve traktör hidrolik gücü ile tahrik edilebilen bir tepe kesme makinesi prototipi tasarlayıp imal etmek,
- Pamuk bitkilerinin yüksekliğindeki değişimleri anlık olarak algılayan ve kesme ünitesinin yüksekliğini bitki yüksekliğine bağlı olarak otomatik olarak ayarlayan bir kontrol sistemi geliştirmek,
- Hidro-mekanik tasarımı yapılan prototipin ve elektronik kontrol sisteminin tarla denemelerini yapmak ve tepe sürgünü kesmede sistem başarısını belirlemek.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

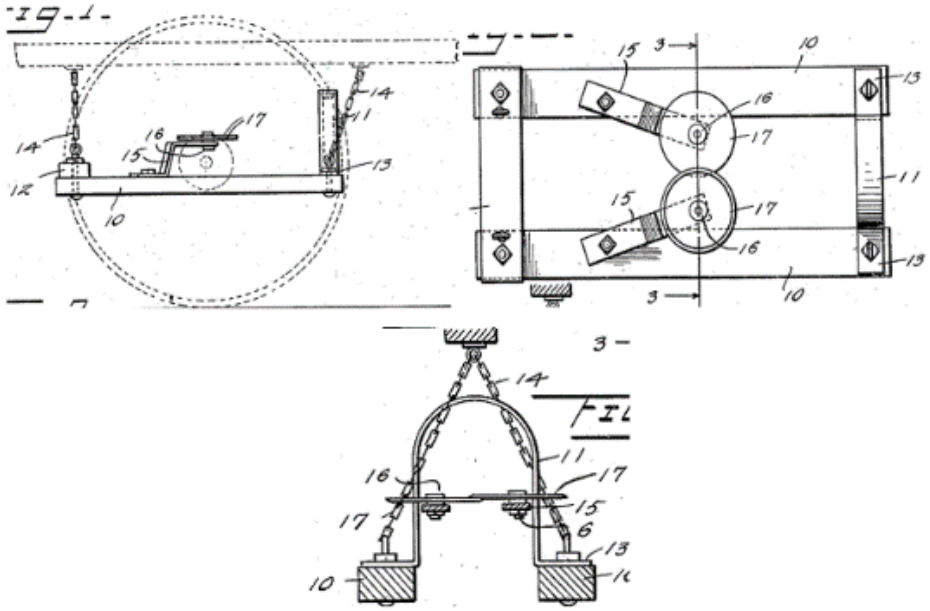
Schwarz, (1908), yapısal olarak ucuz ve basit ve amacını yerine getirmekte çok etkili olacak bir pamuk tepesi kesme mekanizması tasarlamıştır (Şekil 2.1). Bu mekanizmanın amacı, bir tekerlek üzerinde kolayca kullanılabilen, ata biner gibi üzerine oturulabilen bir ataşman şeklinde pamuk tepesini kesmesi sağlanacaktır. Ayrıca pamuk bitkisi tepesinin daha fazla veya daha az ölçüde gerektiği kadar kesilebilmesi için kolay bir şekilde ayarlanması sağlanabilmektedir.



Şekil 2.1. Pamuk tepe kesici

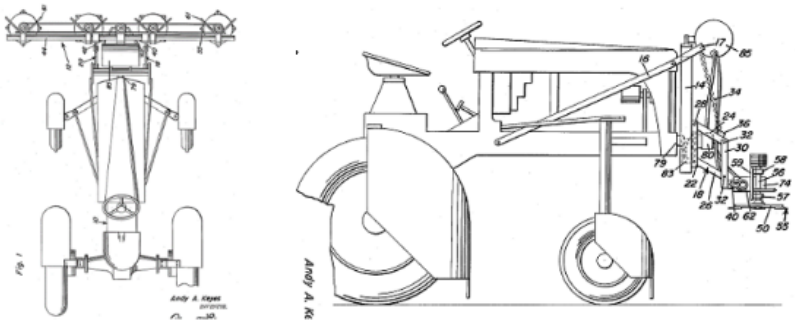
Dale (1959) ve Patterson ve ark. (1978) yıllarında yapmış oldukları farklı çalışmalarda uç alma işleminin tarak sayısını arttırdığını ve bununla birlikte çiçek sayısında da artış olduğunu ifade etmişlerdir.

Matthews (1931), yılında bulduğu buluş ile bir aracın üzerine monte edilebilen bir aparat geliştirmiştir (Şekil 2.2). Bu aparat elle ayarlanabilen belirli yükseklikteki pamuk ve buna benzer bitkilerin tepesini kesmek için tasarlanmıştır. Bu aparatın amacı bitkilerin boyuna büyümesini ve çalılığa benzer bir şekil almasını engelleyerek bitkinin daha fazla verim elde edilmesini sağlamak olduğunu bildirmiştir.



Şekil 2.2. Pamuk tepesi kesme aparatı

Keyes (1962), özel bir hidrolik pamuk tepesi kesici ekipman tasarlamıştır (Şekil 2.3). Bu buluşun amacı yüksekliği belirli pamuk bitkisinin tepesini traktöre bağlanan bir ataşman yardımı ile kesmektir. Bu ataşman yapısı gereği mekanik olarak çok basit ve geleneksel bir traktöre monte edilebilir yapıdadır. Bu icadın en önemli özelliği hidrolik kesicilerin mil, kayış vb. gibi parçalarla dağıtılması ve hareketlerini düzenli bir şekilde yapması ve sadece traktörün hidrolik sisteminin yoğun bir şekilde çalışmasıdır.



Şekil 2.3. Pamuk tepesi kesici

Ma ve ark. (1983), pamukta budama ve uç kesme işlemi ile verimin artabileceğini tespit etmişlerdir.

El-Ganayni ve ark. (1984), çalışmalarında geç dönemde 15 gün ara ile yapılan uç alma işleminin en yüksek kütlü pamuk verimini sağladığını ve koza ağırlığını etkilediğini belirtmişlerdir.

Guinn (1985), tepe sürgünün kesilerek uzaklaştırılması ile bitkide çiçeklenme süresinin uzadığını belirtmiştir.

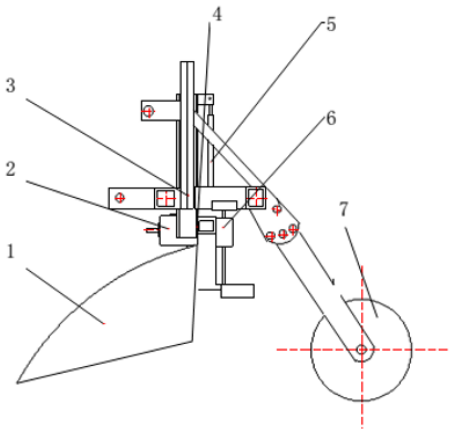
Naguib ve ark. (1987), Pima pamuğunda temmuz ayının ikinci yarısından başlamak üzere 15 gün ara ile gerçekleşen uç alma işleminin, bitki boyu ve ana gövde boğumlarını düşürürken, koza sayısını arttırdığını fakat geç dönemde uygulanan uç alma işleminin koza ağırlığı, lif verimi ve koza olgunlaşma gün sayısına daha az etkili olduğunu bildirmişlerdir.

Aleev ve ark. (1991), yapmış oldukları denemelerde uç alma işleminin makinalı hasadı kolaylaştırdığı, çiçek dökülmesini azalttığı ve verimi arttığı sonucuna varmışlardır.

Seyhan (1996), pamukta uç alma uygulamasının; verimde istatistiki açıdan önemli olmamakla birlikte erken dönem uygulamalarından 211 kg/da, geç dönem uygulamalarından ise 198 kg/da kütlü pamuk verimi aldığını belirtmiş ve pamukta uç alma işleminin erkencilikte ve bitki boyunun kontrolünde önemli bir uygulama olabileceğini bildirmiştir.

Dong ve Han (1996) ve Xu ve ark. (2001) yapmış oldukları farklı çalışmalarda pamukta uç alma uygulamasının generatif aksamı arttırırken vejetatif aksamın büyümesini engellediğini belirtmişlerdir.

Hu ve ark. (2003), 3MD-12 tipi pamuk tepesi kesicinin parçalarının yapısını ve teknik faktörlerini tanıtmışlar ve test etmişlerdir (Şekil 2.4). Testin sonucu makinanın yapısal olarak basit, kullanımı kolay ve pamuk tepesi kesme gereksinimleri için uygun olduğunu göstermişlerdir.

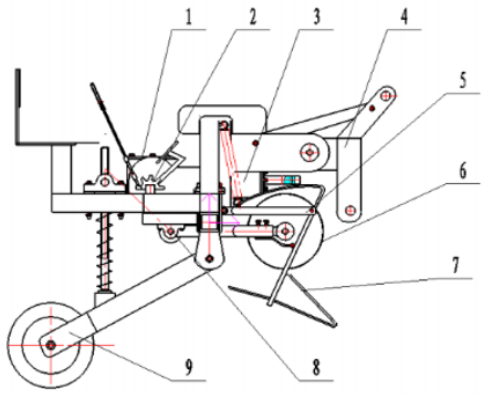


1. Düve 2. Şanzıman 3. Sabit çerçeve 4. Yüzer çerçeve
5. Hidrolik silindir 6. Takım mili tertibatı 7. Profil çarkı

Şekil 2.4. 3MD-12 tipi pamuk tepesi kesicinin yapı diyagramı

Siebert ve ark. (2006), pamuğun vejetatif gelişimi üzerine etkili büyüme düzenleyici kimyasalların budama ve uç almaya karşı alternatif bir işlem olduğunu belirtmişlerdir.

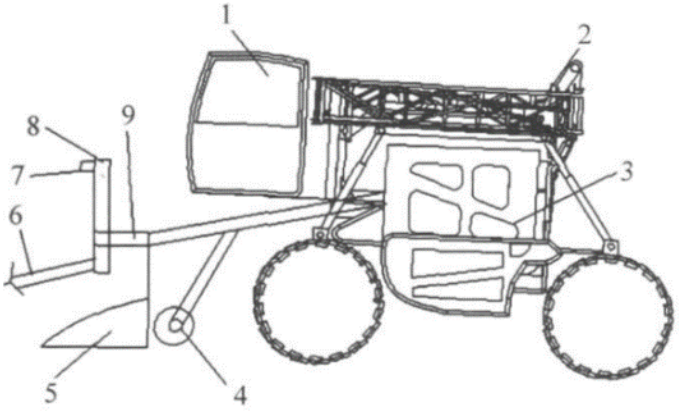
Hu ve Wu (2007), 3MDZK-12 tipi pamuk tepesi budama makinesinin (Şekil 2.5) çalışma performansını test etmişler ve bu uygulamadan sonra bitkide büyüme ve gelişmeyi incelemişlerdir. Sonuçta, bu tepe budama makinasının tarımsal gereksinimlere cevap verebileceğini ve pamuk üretimini düşürmeksizin verimi önemli derecede arttırdığını tespit etmişlerdir. Ayrıca yapılan bu çalışma ile kozaların daha erken zamanda açıldığını ve hasat işleminin kolaylaştığını bildirmişlerdir.



(1. Dişli kayış iletim sistemi, 2. Kaldırma kontrol mekanizması, 3. Denge çerçevesi, 4. Süspansiyon çerçevesi, 5. Kaldırma mekanizması 6. Tamburlu kesici, 7. Ayıklama Cihazı 8. Ara şaft 9. Baskı Tekeri)

Şekil 2.5. 3MDZK-12 tipi pamuk tepesi budama makinesinin sistematik görünümü

Zhou ve ark. (2010), 3WDZ-6 kendi yürür bir pamuk tepesi kesme makinası tasarlamışlardır (Şekil 2.6). Bu çalışmada tepe kesme makinasında hidrolik kesicilerin yüksekliğinin otomatik ayarlanması ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla lazer ve ultrasonik sensörler ile pamuk saplarının uç kısımlarının yükseklik ölçümlerini yapmışlardır. Araştırma bulguları sonucunda, lazer sensörünün ölçüm hata oranının ultrasonik sensörün ölçüm hata oranından daha küçük olduğunu bulmuşlardır.



1. Kontrol odası 2. Bom 3. İlaç Deposu 4. Profiler çarkı 5. Mahsul tutucu 6. Bıçak
7. Yükseklik tanıma sensörü 8. Sensör ayar cihazı 9. Tepe çerçevesi

Şekil 2.6. 3WDZ-6 kendi yürür pamuk tepesi kesme makinası tasarımı

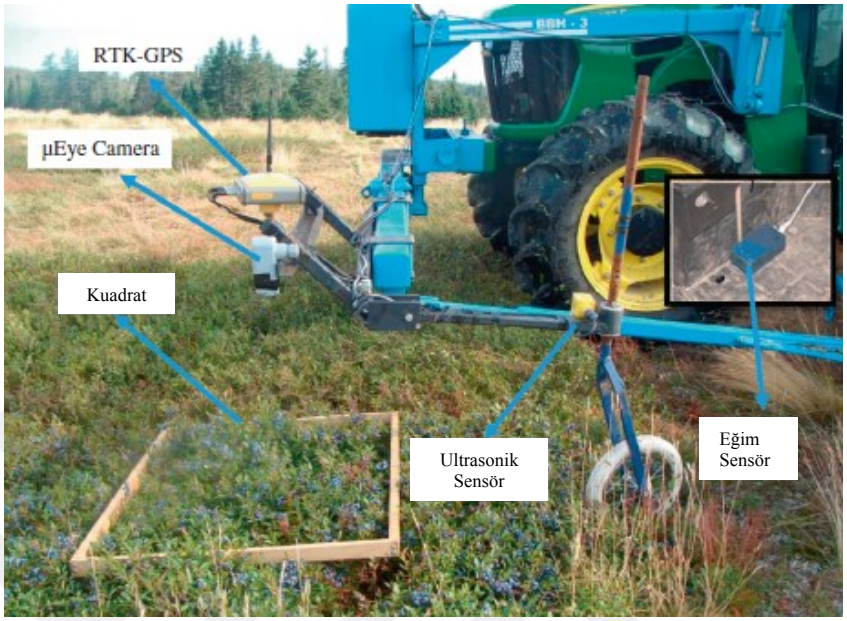
Liao ve ark. (2011), üç boyutlu modelleme ile Pro/E ve ADAMS programlarını birbirinden bağımsız kullanarak pamuk tepe kesme makinesinin kesme ünitesinin salınımını engellemek için birçok parametre belirleyerek hareket analiz ve simülasyonlarını yapmışlardır.

Zhang ve Grift (2012), yapmış oldukları çalışmada, Miscanthus giganteus (MxG) için gelecekteki bir İleriye Bakış Verim Monitöründe (LAYM) bir bileşen olarak kullanılmak üzere bir bitki gövde yüksekliği ölçüm sistemi geliştirmeyi planlamışlardır. Bu amaçla bir SICK LMS 291 Işık Algılama ve Menzil (LIDAR) ünitesi statik ve dinamik modda değerlendirilmiştir. Zemin yüzeyindeki ve tesisattaki dalgalanmalardan kaynaklanan eğim açılarının neden olduğu hatayı ortadan kaldırmak için hem statik hem de dinamik modda ölçüm doğruluğunu iyileştiren bir eğim düzeltme algoritması geliştirilmiştir.

Statik modda, sensör sabit tutulmuş ve çeşitli MxG gövde yoğunlukları arasında değerlendirilmiştir. Sonuçlar, maksimum %8 hata ve minimum %1,8 hata ile ortalama %5,08 hata göstermiştir. 5-10 metrelik bir parselde ürün yüksekliğini ölçmek için statik yükseklik ölçümü yaklaşımı da kullanılmış ve manuel ölçümlere kıyasla %4,2'lik bir hata elde edilmiştir. Dinamik modda, sensör, ürünün üç boyutlu bir yapısını sağlamak için bir tarla kenarından geçirilmiştir. Kapsanan alanın hem üst hem de zemin yüzeylerini oluşturmak için Sıradan En Küçük Kareler tabanlı bir yüzey uydurma algoritması uygulanmış ve ortalama bir bitki yüksekliği elde edilmiştir. Sonuçlar, dinamik yükseklik ölçümünün maksimum %6,5 hata ve minimum %1,5 hata ile %3,8 ortalama hataya ulaştığını göstermiştir.

Farooque ve ark (2013), yapmış oldukları çalışmada, ultrasonik sensör, dijital renkli kamera, eğim sensörü, gerçek zamanlı kinematik GPS (RTK-GPS), özel yazılım ve sağlamlaştırılmış bilgisayardan oluşan entegre bir otomatik sistem geliştirmişlerdir (Şekil 2.7). Sistem, hasat sırasında aynı anda bitki boyunu, meyve verimini, eğimi ve yüksekliği ölçmek için ticari bir yaban mersini hasat makinesine dahil edilmiştir. Sistemin performansını değerlendirmek için Kanada, Nova Scotia'nın merkezinde iki yaban mersini tarlası seçilmiştir. Deneye başlamadan önce tarla sınırları, çıplak noktalar, yabani otlar ve çimen parçaları bir RTK-GPS ile haritalanmıştır. Her iki alandan seçilen noktalarda 0,91 _ 0,70 metrelik bir kuadrat kullanılarak mavi piksellerin yüzdesi (R^2 = 0,91–0,92; P <0,001; n = 40) ile gerçek meyve verimini kalibre etmek için lineer regresyon kullanılmıştır. Ultrasonik sensörün çıkış voltajı, manuel olarak ölçülen bitki yüksekliği ile önemli ölçüde ilişkilendirilmiştir (R^2 = 0,94; P < 0,001; n = 13). Bitki boyu, meyve verimi, eğim ve yükseltiyi gerçek zamanlı olarak aynı hasat zamanında hızlı bir şekilde ölçmek için her iki alanda da kapsamlı araştırmalar yapılmıştır. Ölçülen parametreler için haritalar ArcGIS 10'da geliştirilmiştir. Haritalar, tarlalar arasında ölçülen parametrelerde önemli değişkenlik göstererek, daha fazla meyve verimi ve düşük bitki örtüsü (hafif eğimli) alanlarda daha düşük bitki yüksekliği ve bunun tersini ortaya koymuştur. Meyve verimi ile bitki boyu arasındaki negatif ilişki ve ArcGIS 10'daki bölgesel istatistik sonuçları da haritalarda belirlenen sonuçları desteklemiştir. Genel olarak, kalibrasyon ve haritalama sonuçları, geliştirilen sistemin bitki boyu, meyve

verimi, eğim ve yükseltiyi gerçek zamanlı olarak haritalamak için doğru, güvenilir ve verimli olduğunu göstermiştir.



Şekil 2.7. Yaban mersini hasat makinesine monte edilmiş çoklu sensörlerin konfigürasyonu.

Tilly ve ark., (2014) hassas tarımda izleme uygulamaları için uzaktan algılamanın önemli rolünü belirttikten sonra bitki boyu ölçümü ile ilgili araştırma sonuçlarını paylaşmışlardır. Bitki boyu ölçümünün biokütle tahmini için önemli bir parametre olduğunu ifade etmişlerdir. Bu katkıda, karasal lazer tarayıcı ile bir mısır tarlasında çok zamanlı araştırmaların ilk sonuçları gösterilmektedir. Elde edilen nokta sayısal veriler (clouds), tepe gölgeliğini temsil eden Bitki Yüzey Modelleri (CSM: Crop Surface Models) oluşturmak için enterpolasyona tabi tutulmuştur. Bu CSM'ler, tarladaki bitki yükseklik farklılıklarının mekânsal dağılımını görselleştirmek ve 1 cm'lik yüksek bir çözünürlükle bitki yüksekliğinin yerden yüksekliğini hesaplamak için kullanılmıştır. Ek olarak, sonuçları doğrulamak için her Karasal Lazer Tarama (TLS) sonuçlarına karşılık gelen manuel bitki boyu ölçümleri yapılmıştır. Her iki ölçüm yöntemi arasındaki ilişkinin gücünü gösteren korelasyon katsayısı (R^2 = 0,93) olarak tespit edilmiş ve sunulan yaklaşımın uygulanabilirliğini göstermiştir. Bu çalışma, TLS'nin mısır bitki boyunu ölçmek için uygun ve umut verici bir yöntem olduğunu göstermiştir. Ayrıca, erken büyüme döneminde bitkiyi tahrip etmeden bitki boyunun ölçülebileceğini göstermiştir.

Bununla birlikte, tüm büyüme dönemi boyunca bitki boyu ve biokütlenin doğrusal olmayan gelişimi çalışmanın zorluklarını oluşturmaktadır.

Andrade-Sanchez ve ark., (2014), zamanla değişen fizyolojik ve gelişimsel özelliklerin ilgili yetiştirme koşullarında fenotipleme yapılmasının zor olduğunu bildirmiştir. Bu sebeple, sahadaki dinamik özelliklerin fenotiplenmesi için yeni bir sistem geliştirmişlerdir (Şekil 2.8). Sistem performansı, 2011 yılında Maricopa, Arizona'da yetiştirilen 25 Pima pamuğu (Gossypium barbadense L.) çeşidi üzerinde deneme yapılmıştır. Tarlada yetişen bitkiler, iyi sulanan ve sınırlı su koşullarında, Temmuz ve ağustos aylarında 3 gün farklı zamanlarda ölçümler alınarak sulanmıştır. Sistem, bitki yüksekliğini, yansımasını ve sıcaklığını dört sırada aynı anda ölçmek için dört sensör seti taşımış ve fenotipik veriler 0,84 ha/h verim ile toplanması sağlanmıştır. Gölge yüksekliği, normalleştirilmiş farklılık vejetasyon indeksi ve sıcaklık ölçümlerinin tümü, çeşitler arasında büyük farklılıklar ve çeşitlerin su rejimi ve günün saati ile beklenen etkileşimlerini göstermiştir. Geniş anlamda, kalıtsallıklar (H2), bitki yüksekliği (H2 = 0,86–0,96) için en yüksekti. Ardından çevreye daha duyarlı normalleştirilmiş farklılık bitki örtüsü indeksi (H2 = 0,28–0,90) ve sıcaklık (H2 = 0,01–0,90) özellikleri izlenmiştir. Ayrıca sistem tarafından elde edilen değerler ile havadan görüntü ve manuel fenotipleme yaklaşımlarından elde edilen değerler arasında güçlü bir uyum (R^2 = 0,35–0,82) bulunmuştur. Birlikte ele alındığında, bu sonuçlar fenotipleme sisteminin birden fazla özelliği hızlı ve doğru bir şekilde ölçme yeteneğini doğruladığını göstermiştir.



Şekil 2.8. Bitki fenotipleme makinesi a- sistemin önden görünümü, b- sonar yakınlık sensörü, c- kızılötesi radyometre sensörü, d- GPS-RTK alıcı-anteni, e- çok spektral mahsul gölgelik sensörü.

Sun ve ark. (2015), pamuk tepe kesme makinasının tarımsal isteklerine ve tepe kesicinin uygun olmayan tepki zamanlamasını ölçen test cihazına ve makinaya bağlı olan ultrasonik altimetreye göre bir çeşit otomatik sıra kontrol sistemi olan MC9S12XS128 tasarlamışlardır. Kesici yükseklik ayar kontrol cihazının bir sonraki titreşimi hesaplanmakta ve kayıt edilerek veriler kullanılmaktadır. Tasarlanmış olan MC9S12XS128 cihazının ayarlanabilir tepki kontrol sisteminin yanı sıra en iyi kalınlıkta ayaklı tekerlek pamuk akim makinasına monte edilmiştir. Bu kontrol sisteminin yüksek enerji tüketimini, motor gücünün ciddi kayıplarını ve makine veriminin artmasını etkili bir şekilde çözebildiği bildirilmiştir. Güvenilirliğinin daha yüksek ve etkisinin daha iyi olduğu belirtilmiştir.

Xiaohui ve ark. (2015), pestisit kayıplarını azaltmak ve pestisit kullanımını iyileştirmek, çevreyi korumak ve ekonomik faydayı artırmak için, yüksek açıklıklı çok amaçlı şasiye sahip, kendinden tahrikli çoklu pamuk tepe kesme ve ilaçlama makinesi geliştirilmiştir. Yerden yüksekliği yüksek üniversal şasiyi, bir hidrolik kontrol sistemini, bir hava

besleme sistemini, bir çoklu tepe tertibatını ve bir yönlü püskürtme cihazını entegre etmiş ve anahtar cihaz parametreleri hesaplanmıştır. Genel şasi uzunluğu, genişliği ve yüksekliği sırasıyla 100, 2900 ve 1870 mm, minimum yerden yükseklik 1000 mm, maksimum güç 35 kW, konteyner kapasitesi 600 L, ilaç pompası akışı 0 -80 L/min, fan hava hacmi 9850 m^3/h ve makinenin normal ilerleme hızı 1-5 km/h seçilmiştir. Çoklu tepe kesme ve püskürtme için sıra sayısı sırasıyla 4 ve 6 olarak belirlenmiştir. Püskürtme memesinin ayar aralığı 0-30° ve meme açısı 20° olduğunda damlacık çapı ve dağılım tekdüzelik etkisi en iyi düzeyde bulunmuştur. Kendi yürür çoklu tepe kesme ve ilaçlama makinesinin yenilikçi tasarımı sayesinde maliyetinin büyük ölçüde azaltabileceği öngörülmüştür. Çoklu tepe kesme deneyi, mekanik çoklu tepe kesme oranının yapay tepe kesme oranının 7-8 katı olduğunu ve 100 bitki için tepe kesme kayıp oranının yapay tepe kesmeden %30 daha yüksek olduğunu göstermiştir. Yapılan çalışmada, pamuk tepe kesme ve pamuk ilaçlama işlevlerinin birlikte yapılması için bir yaklaşım sunulmuştur.

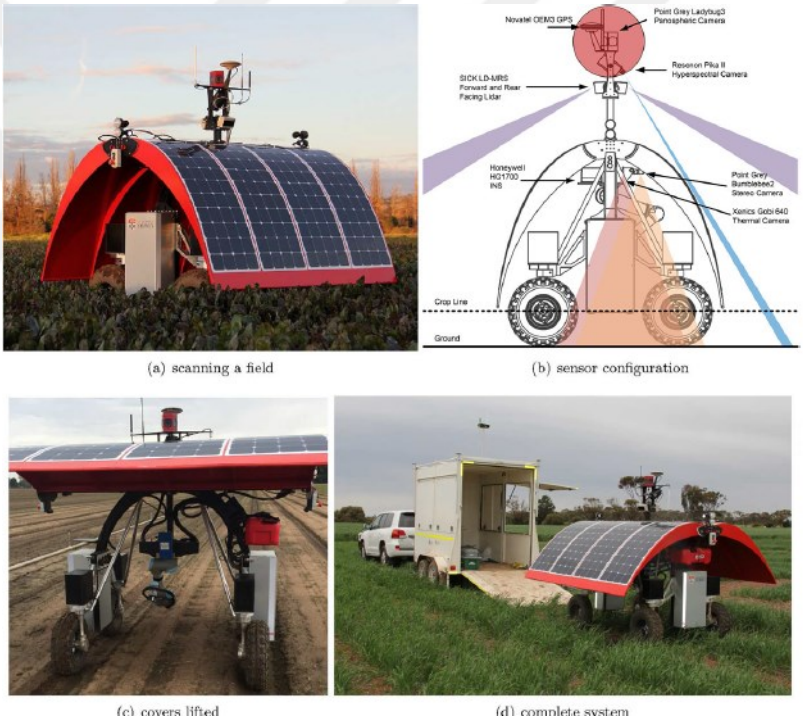
Jiang ve ark., (2016), tarla koşullarında pamuk bitkisinin boyunu ölçmek için derinlik görüntüleri kullanan yüksek verimli bir fenotipleme (HTP) sistemi geliştirmek ve değerlendirmek amacıyla bir çalışma yürütmüştür. Bu amaçla, bir Kinect-v2 kamerası, bir performans temel çizgisi elde etmek için statik bir konfigürasyonda ve sahadaki bitki yüksekliğini ölçmek için dinamik bir konfigürasyonda değerlendirilmiştir. Statik konfigürasyonda, kamera kısmen kaplanmış ahşap bir çerçeveye monte edilmiş ve saksıdaki pamuk bitkilerinin derinlik görüntülerini elde etmek için en alta doğru yönlendirilmiştir. Bitki boyunu hesaplamak için derinlik görüntülerinde bitkilerin ilgi alanları manuel olarak seçilmiştir. Dinamik konfigürasyonda, Kinect-v2 kamera, gerçek zamanlı kinematik GPS ile donatılmış, yüksek boşluklu bir traktöre bağlanan kısmen kaplanmış bir metal çerçevenin içine yerleştirilmiştir. Sistem tarafından elde edilen derinlik görüntüleri kullanılarak tek tek parsellerin maksimum ve ortalama yüksekliklerini ölçmek için altı adımlı bir algoritma geliştirilmiştir. Sistem performansı 108 pamuk bitkisi parselinde değerlendirilmiştir. Sonuçlar, gölgeli bir ortam sağlandığında, Kinect-v2 kamerasının tarla koşullarında pamuk bitkilerinin geçerli derinlik görüntülerini elde edebildiğini göstermiştir. Önerilen algoritma tarafından hesaplanan çizim maksimum ve ortalama yükseklikleri, %92'nin üzerinde doğrulukla manuel olarak ölçülenlerle güçlü bir şekilde ilişkilendirilmiştir (R^2 = 0,922-0,987). Tipik

olarak 34 derinlik görüntüsüne sahip bir grafiğin yüksekliklerini hesaplamak için ortalama işlem süresi 0,01 s bulunmuştur; bu da önerilen algoritmanın hesaplama açısından verimli olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, bu sonuçlar, derinlik görüntülerine sahip HTP sisteminin tarla koşullarında pamuk bitki boyunu doğru ve hızlı bir şekilde ölçme yeteneğini doğrulamıştır.

Chen ve Shi (2017), hassas ayarlı, yüksekliği ayarlanabilir bir pamuk tepe kesme makinesi geliştirmiştir. Geleneksel pamuk toplayıcıların ana dezavantajı, tepe kesme yüksekliğinin tek tek pamuk bitkilerinin yüksekliğine göre ayarlanamaması ve bunun sonucunda yüksek oranda kaçırılan tepeler ve meyve dallarına zarar veren fazla kesim ile sonuçlanmasıdır. Bu sorunu çözmek için pamuğun yüksekliğine göre ayarlanabilen mekanik-elektronik bir tepe kesme prototipi geliştirilmiştir. Prototip, dikey olarak ayarlanabilen bir tepe kesme makine sistemi ve pamuk yüksekliklerini algılayabilen ve mekanik sistemi çalıştırabilen otomatik bir yükseklik kontrol sistemini kapsamıştır. Bu pamuk tepe kesici, bir traktöre üç nokta askı sistemi ile bağlanmış ve sahada test edilmiştir. Denemede prototip, 1,1 km/h, 1,5 km/h ve 2,2 km/h ilerleme hızlarında ve 9 cm ve 11 cm kesme uzunluklarında (tepeden kesme noktasına kadar) test edilmiştir. Test edilen tüm koşullar altında, %74'e ulaşan geçiş oranı (meyve (koza) dalına zarar vermeden doğru bir şekilde kesilmiş tomurcukların yüzdesi), %50'den çok daha düşük, hatta %40'tan çok daha düşük olan geleneksel tepe kesme makinelerinin ideal geçiş oranlarından önemli ölçüde daha yüksek bulunmuştur. Tepe kesme kalitesini etkileyen önemli faktörler test edilmiştir. Geçiş hızı, ilerleme hızından önemli ölçüde etkilenmiştir; eksik oran (kayıp tepe oranı), ilerleme hızı ve kesilen sap uzunluğundan ve fazla kesim oranı, kesilen sap uzunluğundan önemli ölçüde etkilenmiştir. Optimize edilmiş tepe kesme hızı ve kesme uzunluğu sırasıyla 1,1 km/h ve 11 cm bulunmuştur ve diğer parametreler farklı kullanıcı tercihlerine göre değişmiştir. Bir tekrarlı deneme yapılmış ve 1,1 km/h ve 9 cm'de tepe kesmenin bitkilerin %90'ının daha fazla iğlenmesini önlediğini ve 1,5 km/h ve 11 cm'de tepelemenin bitkilerin %83'ünün daha fazla iğlenmesini önlediğini göstermiştir.

Underwood ve ark. (2017), yüksek verimli tarla içi tarımsal sıra bitkisi fenotiplemesi için verimli bir sistem geliştirmeye odaklanmıştır. Tasarlanan sistem, veri toplama için

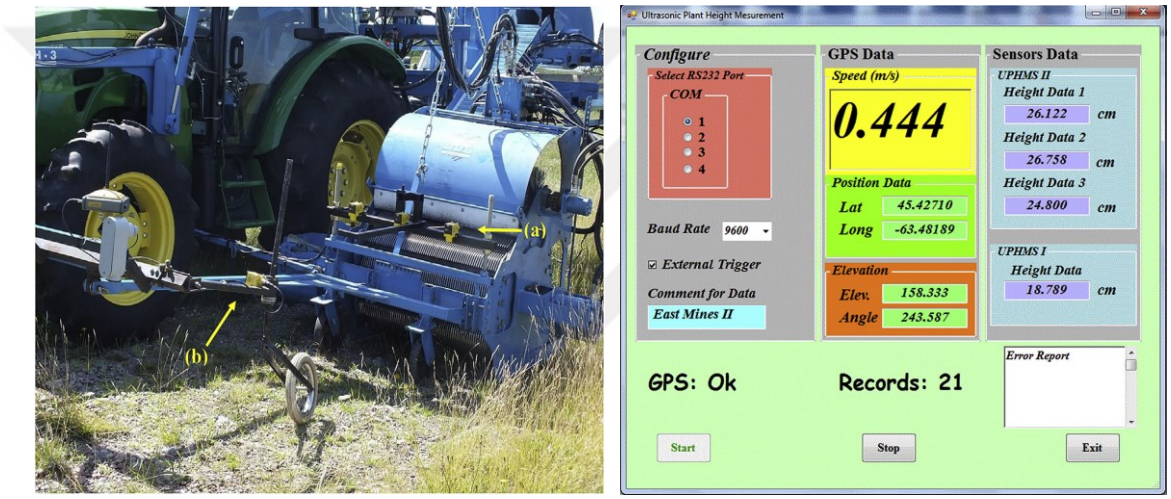
otonom bir insansız kara aracı robotudur (Şekil 2.9) ve büyük ölçekli bitki bilimi denemeleri üzerinde fenotip bilgisi toplamayı hedeflemektedir. Deneyler, yılın iki farklı zamanında üç deneme lokasyonunda gerçekleştirilmiştir ve 7,24 ha alanı ve 2423 parseli (tekrarlanan taramalar dahil) taramak için toplam 43,8 km'lik bir çaprazlama geçişi içermiştir. Yükseklik ve gölgelik kapatma verilerinin (sırasıyla, R^2 = 1,00 N=280, R^2 =0,99, N=280), manuel olarak toplanan saha verilerine (sırasıyla, R^2 = 0,95 N = 470, R^2 = 0,91 N = 361) göre yüksek oranda tekrarlanabilir ve doğru olduğu, ancak daha objektif ve insan becerisi ve deneyimine daha az bağlı olduğu bulunmuştur. Sistemin, mevcut standart manuel uygulamalara kıyasla daha uygun bir şekilde veri toplamak için emek açısından daha verimli bir mekanizma olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 2.9. Ladybird robotu, mobil saha ofisi ve gerçek zamanlı kinematik (RTK) düzeltme istasyonu. a) Tarlanın taranması, b) sensör konfigürasyonu, c) kanatların kaldırılmış konumu, d) bütün sistem

Chang ve ark. (2017), bir Ultrasonik Bitki Boyu Ölçüm Sistemi II (UPHMS II) geliştirmiş ve ticari bir mekanik hasat makinesine uygulamıştır. Geliştirilen sistem, hasat makinesi tablasının genişliğini kapsayan üç ultrasonik sensör, gerçek zamanlı bir kinematik küresel konumlandırma sistemi (RTK-GPS), özel olarak oluşturulmuş yazılım ve arazi çalışmasına uygun sağlam bir bilgisayardan oluşmuştur (Şekil 2.10). Geliştirilen sistemin

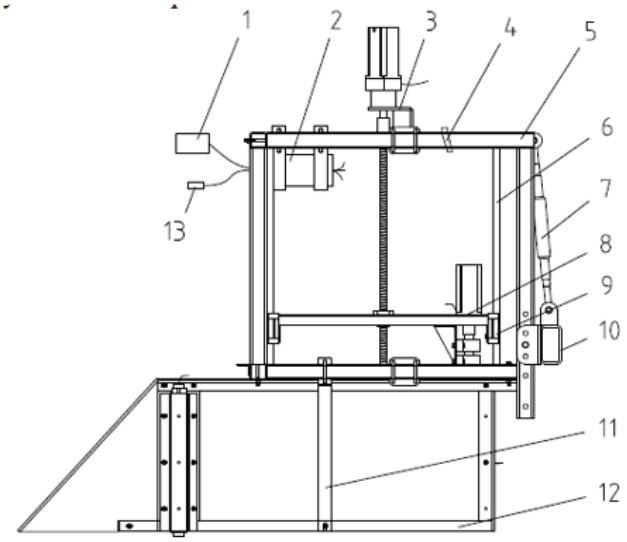
performansını değerlendirmek için Nova Scotia'nın merkezinde dört yaban mersini tarlası seçilmiştir. Geliştirilen sistemin doğruluğunu sağlamak için manuel bitki yükseklik ölçümleri ultrasonik olarak algılanan verilerle karşılaştırılmıştır. Bir ultrasonik sensörden oluşan önceki bir sistem (UPHMS I) de test edilmiş ve değerlendirilmiştir. Regresyon ve dağılım grafiklerinin sonuçları, UPHMS II'nin UPHMS I (RMSE = 5,7 cm) ile karşılaştırıldığında 1,7 cm'lik ortalama karekök hatası (RMSE) ile bitki boyunu gerçek zamanlı olarak daha doğru bir şekilde algılayabildiğini ortaya koymuştur. Üç sensörle donatılmış UPHMS II, hasat makinesinin tüm genişliğini (0,91 m) kapsamış ve UPHMS I'e kıyasla daha yüksek doğruluk göstermiştir.



Şekil 2.10. UPHMS II (a) ve UPHMS I (b): Veri çıktıların görüntülendiği ara yüz

Peng ve ark. (2018), mevcut pamuk tepe alma (kesme) makinelerinin çalışmasındaki problemler bulunduğunu ifade etmiştir. Bu problemler arasında gerçek yükseklik ölçümünde düşük performans, tepe alma yapılmaması, aşırı tepe alma, düşük ölçüm hassasiyeti vb. sayılmıştır. Tepe kesme düzeneğinin kaldırma tahrikinden ayrılması önerilmiştir ve Alanda Programlanabilir Kapı Dizisi (FPGA: Field-Programmable Gate Array) teknolojisine dayalı olarak akıllı bir hassas pamuk tepe alma makinesi tasarlanmıştır (Şekil 2.11). Tepe alma uygulaması sırasında, algılama cihazı pamuk bitkisinin yüksekliğini hassas bir şekilde algılarken, kontrol sistemi tarafından kontrol edilen tepe alma cihazı gerçek bir tepe alma gerçekleştirmeye çalışmaktadır. Çalışma alanın ve çalışma hızını gerçek zamanlı olarak görüntüleyen ve pamuk tepe alma sürecini izleyen dokunmatik ekranlı kontrol sisteminin, algılama seviyesini önemli ölçüde

arttırdığı ifade edilmiştir. Arazi testleri, makinenin tüm yapısının kararlı olduğunu, makine çalışma hızının 3,24 km/h'e kadar olduğunu, tepe alma oranının yaklaşık %90 olduğunu ve tepe alma uzunluğunun ayarlanan değere yakın olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak bu çalışmanın niteliksel olarak tepe alma işlemi gerçekleştirilmesine imkân sağladığı raporlanmıştır.

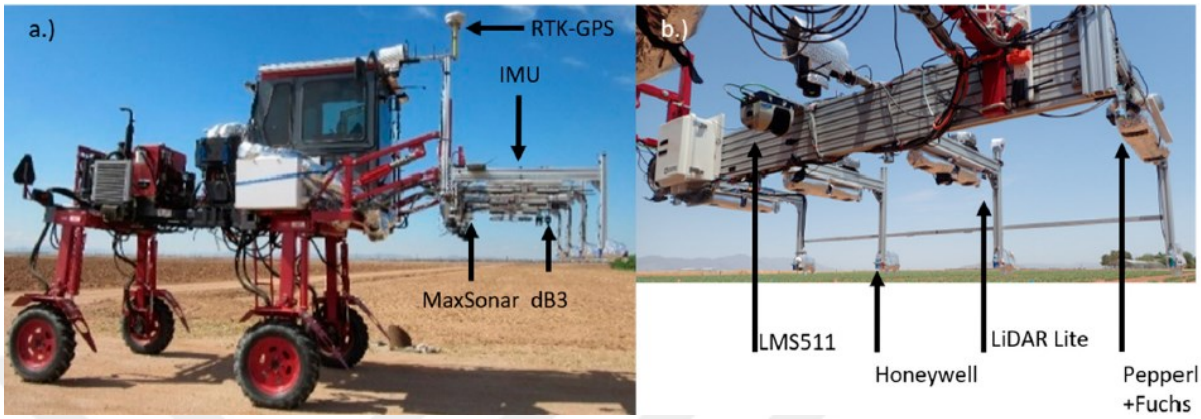


(1. Dokunmatik ekran, 2. Kontrol kabini, 3. Kaldırma Cihazı, 4. Dijital kamera, 5. Çerçeve, 6. Kılavuz, 7. Çekme kolu, 8. Tepe alma cihazı, 9. Sürgü, 10. Ön süspansiyon cihazı, 11. Takviye cihazı, 12. Algılama cihazı, 13. Dönüştürücü)

Şekil 2.11. Akıllı hassas pamuk tepe kesme makinesi yapısı

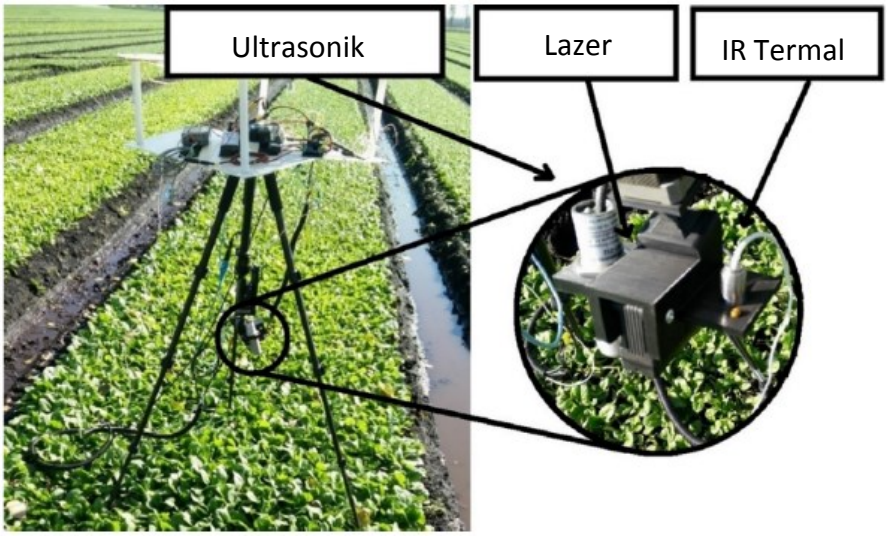
Thomson ve ark. (2019), bitki boyu, su ve besin eksikliğinden kaynaklanan bitki stresinin önemli bir göstergesi olan bitki büyümesinin morfolojik bir özelliği olduğunu açıklamıştır. Yükseklik basit bir özellik olsa da, pamuk gibi ürünlerde doğru bir şekilde ölçmek zor olabilir. Bu makale, bir pamuk yetiştirme-deneme arazisinde bitki boyunu karakterize etmek için dört hassas görüşlü ultrasonik dönüştürücünün (UT'ler), iki Işık Tespiti ve Uzaklık Algılama (LiDAR) sisteminin ve dijital renkli kameralı insansız hava sisteminin (UAS) düzenlemesini açıklamaktadır (Şekil 2.12). Manuel ölçümler ile UTs sonuçlarının karşılaştırılması, Honeywell ve Pepperl+Fuchs sensörlerinin MaxSonar ve db3 Pulsar sensörlerinden daha net bitki boyu tahminleri tespit ettiğini göstermiştir. Ayrıca, LiDAR ve UAS teknolojilerinin performansı, UAS'den türetilen 3-D nokta bulutlarının UTs ile ilişki korelasyonu LiDAR sensörlerinden gelen verilerden daha güçlü korelasyonlara (R^2=0,980) sahip olduğunu göstermiştir. Manuel ölçümler, büyük

yetiştirme denemelerinde daha fazla zaman ve emek gerektirdiğinden ve tekrarlanabilirliği azaltan insan hatasına eğilimli olduğundan, UT ve UAS teknolojileri, pamuk bitki boyunu karakterize etmenin verimli ve etkili bir yolu olarak görülmüştür.



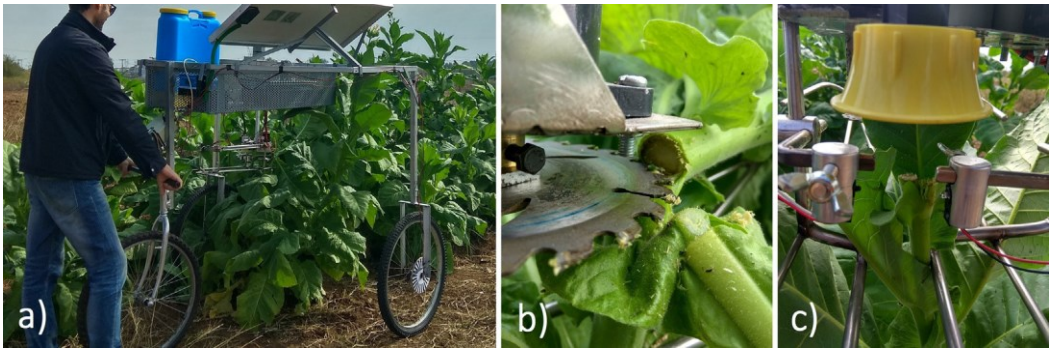
Şekil 2.12. a) Modifiye edilmiş yüksek mesafeli traktör, b) veri toplamak için kullanılan sensörler

Buelvas ve ark. (2019), yaprak sebze üretimi için düşük maliyetli taşınabilir bir cihaza yerleştirilmiş bir prototip sensör sistemini değerlendirmiştir (Şekil 2.13). Sistem, mesafe sensörlerini kullanarak mahsul biokütle verimini belirlemek için mahsul tepe noktasının dairesel olarak taranmasını gerçekleştirmektedir. Bu taramaların sonuçları, biokütle tahmini için girdi olan 0° ila 360° açısal konum boyunca yükseklik profilleridir. Sistemin prototipinin performansını test etmek için iki deney geliştirilmiştir. İlk deney, marul ve lahana içeren bir serada gerçekleştirilmiştir. Ölçülen ve tahmin edilen biokütle arasındaki ilişki R^2= 0,74-0,93 olarak tahmin edilmiştir. İkinci deney, Sherrington, Quebec, Kanada'daki bir ticari çiftliğin ıspanak tarlasında gerçekleştirilmiş ve R^2 değerleri 0,78 ve 0,94 bulunmuştur. Sonuçlar, geliştirilen sensör sisteminin sahada taze biokütlenin hızlı bir şekilde değerlendirilmesi için uygun bir araç olacağını göstermektedir. Uygulamanın, mahsul yönetimi lojistiğini optimize etme, farklı mahsul çeşitlerinin performansını karşılaştırma ve bir tarla ortamında potansiyel stresleri tespit etme sürecinde faydalı olabileceği öngörülmüştür.



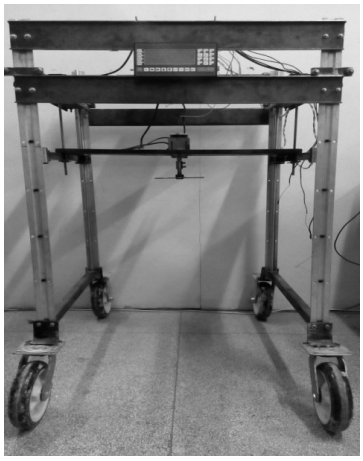
Şekil 2.13. Deneme alanı ve bitki tepe yükseklik tespit cihazı

Gravolos ve ark. (2019)'nın açıklamasına göre; tütün bitkisinde, iyi kalitede sağlam gövdeli koyu tütün yaprakları üretmek için bitkinin tomurcuklanan kısmı koparılmakta (tepe kırma) ve koltuk (sürgün) büyümesi kimyasal işlemler ile kontrol altına alınmaktadır. Günümüzde çoğu işletmede tepe kırma ve koltuk alma işlemlerini büyük ölçüde elle yapılmaktadır. Bu işlem ciddi bir zaman kaybına ve insan işgücüne ihtiyaç duymaktadır. Bu konuda yapılan çalışmada, tepe kırma ve koltuk alma işlemlerinin otomatik olarak gerçekleştirilebildiği yeni bir mekatronik sistemin tasarımı ve uygulaması ele alınmıştır. Mekatronik sistem ve yardımcı ekipmanları, üç tekerlekli bir mobil platform üzerine monte edilmiştir (Şekil 2.14). Yeni sistem, bir üst ünite, yüksek hassasiyetli bir püskürtücü ve bitkileri dik konumda tutmak için tasarlanmış çatallı bir metal kılavuz içermektedir. Bitki sapını bulmak ve bir darbeyi tetiklemek için dairesel testere bıçağının altına bir kızılötesi ışın sensörü monte edilmiştir. Mekatronik sistem hem laboratuvar hem de saha koşullarında test edilmiştir. Yapılan testlerde üç tekerlekli platformun ilerleme hızı 0,1 ile 0,5 m/s arasında tutulmuştur. Beş tütün bitkisinin tepe kırma ve koltuk alma işlemleri yaklaşık 20 saniye sürmüştür. Geleneksel uygulamanın mekatronik sisteme göre dezavantajı çalışanların yavaş olması ve birbirlerinden bağımsız olmalarıdır. Gelecekteki çalışmalarda, mekatronik sistemin, küçük bir otonom tekerlekli platforma ve bir drone'a entegre edilebileceği veya uygun şekilde modifiye edilmiş bir kendi yürür püskürtücünün yatay bomu üzerine monte edilebileceği düşünülmüştür.



Şekil 2.14. Mekatronik Sistem; a) mekatronik sistem için 3 tekerlekli ana taşıyıcı, b) Tepe kırma işlemi için üst kesme ünitesi, c) sürgünlerin kimyasal kontrolü için kızılötesi ışınlar ve püskürtme başlıkları

Song ve ark. (2019), değişken dinamik koşullar altında konum hatasını azaltmak ve gerçek zamanlı ve otomatik tepki gerçekleştirmek için bulanık PID kontrol algoritması kullanmıştır (Şekil 2.15). Tekli ve çoklu faktörlerin saha deneyleri yapılmış ve tepki süresi, makine hızı, akım değeri ve kaldırma yüksekliği ile regresyon denklemi kurulmuştur. Sonuçlar, makine hızının ve kaldırma yüksekliğinin sistem tepki süresi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Çalışma akımı etkisi genellikle önemli olup, optimum çalışma parametresi kombinasyonu, 0,625 m/s'lik makine hızı, 3A'lık çalışma akımı, 130 mm'lik kaldırma yüksekliği ve buna karşılık gelen 1,18 s'lik tepki süresi olarak bulunmuştur. Ortalama gerçek kaldırma sistemi yanıt süresi 1,23 s ve ölçülen ve tahmin edilen değer arasındaki bağıl hata %4,06 bulunmuştur. Ayrıca, yapay çekişli pamuk üstten kesme test tezgâhının hızı 0,625 m/s'ye ayarlandığında, etkili tepe kesme oranı %76 dolayında olmuştur. Çalışma sonucunda pamuk bitkisinin yaklaşık boy değişimi için uygun ve üstten kesmeyi etkin bir şekilde çalıştırmak için uygulanabilir olduğu raporlanmıştır.



Şekil 2.15. Gerçek zamanlı kontrol sistemi geliştirmek için kullanılan test aracı

Bronson ve ark. (2020), pamuk (*Gossypium hirsutum L.*) gibi tarla ürünlerinde bitki boyunun uzun zamandır agronomlar ve bitki yetiştiricileri için büyük ilgi gördüğünü bildirmiştir. Açıklamalarına göre, tepe noktası yükseklik sensörleri, yorucu manuel yükseklik ölçümünün yerini alabilir ve özel çalışma alanlarının yönetimine olanak sağlayabilir. Yapılan çalışmanın amaçları, toprakaltı damla sulama ile sulanan pamukta manuel bitki boyu ölçümleri ile ultrasonik mesafe sensörü ölçümlerini karşılaştırmak ve nitrojen ve su yönetiminin etkilerini değerlendirmekti. 2016'dan 2018'e kadar Maricopa, Arizona'da yapılan bir nitrojen ve su yönetimi çalışmasında tepe noktası yüksekliğini tahmin etmek için haftalık olarak iki Honeywell 943 sensörü kullanılmıştır (Şekil 2.16). Bitkinin çiçeklenme orta döneminde, bitki boyunun elle ölçüm ile sensörle ölçüm arasındaki belirleme katsayısı (R^2) büyüme aşamasıyla birlikte değeri 0,92-0,99 artmıştır. Tepe noktası yüksekliği, ilk parselden itibaren azot ve su işlemlerinden güçlü bir şekilde etkilenmiştir. Hızlı ve hassas ölçüm yapan ultrasonik mesafe sensörünün pamukta bir tepe noktası yüksekliği ölçüm cihazı olarak büyük potansiyele sahip olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 2.16. Traktör önüne monte edilmiş ultrasonik sensör

Gupta ve ark. (2022), bitki boyu ve genişliğinin, yalnızca genel bitki büyümesinin bir göstergesi olarak değil, aynı zamanda tarım makinelerinin tasarımı, verim tahmini ve sahaya özel uygulamalar gibi gelişmiş parametreleri tahmin etmek için de kullanılabilen temel bir fenotipik parametreleri olduğunu açıklamıştır. Günümüzde, biber bitkisinin boyu ve genişliği çoğunlukla manuel olarak ölçülmektedir, bu da zahmetli ve zaman alıcı bir işlemdir. Bu çalışmanın amacı, tarla koşullarında biber bitkisinin boyunu ve genişliğini ölçmek için bir görüntü işleme yaklaşımı kullanarak gerçek zamanlı bir fenotipleme sistemi geliştirmek ve değerlendirmekti (Şekil 2.17). Görüntü işleme algoritması, entegre geliştirme ortamı (IDE) olarak PyCharm kullanılarak açık kaynaklı bilgisayarla görme kitaplığı (OpenCV) ve Python programlama dilinde geliştirilmiş ve derlenmiştir. Geliştirilen görüntü işleme algoritması, iki biber bitkisi parselinde hem statik hem de saha koşullarında değerlendirilmiştir. Geliştirilen sistem, tarla koşullarında biber bitkisinin geçerli bir görüntüsünü yakalamış ve 0,30-0,60 cm aralığında bir RMSE ile bitkinin yüksekliğini ve genişliğini doğru bir şekilde tahmin edebilmiştir. Önerilen görüntü işleme algoritması tarafından ölçülen yükseklik ve genişlik, manuel olarak ölçülen değerlerle güçlü bir şekilde ilişkilendirilmiştir (R^2 = 0,80–0,95). Ayrıca, görüntü işleme yaklaşımının, bitkilerin daha karmaşık geometrik özelliklerini ölçmek için çok daha gelişmiş özelliklere sahip olduğu ifade edilmiştir.



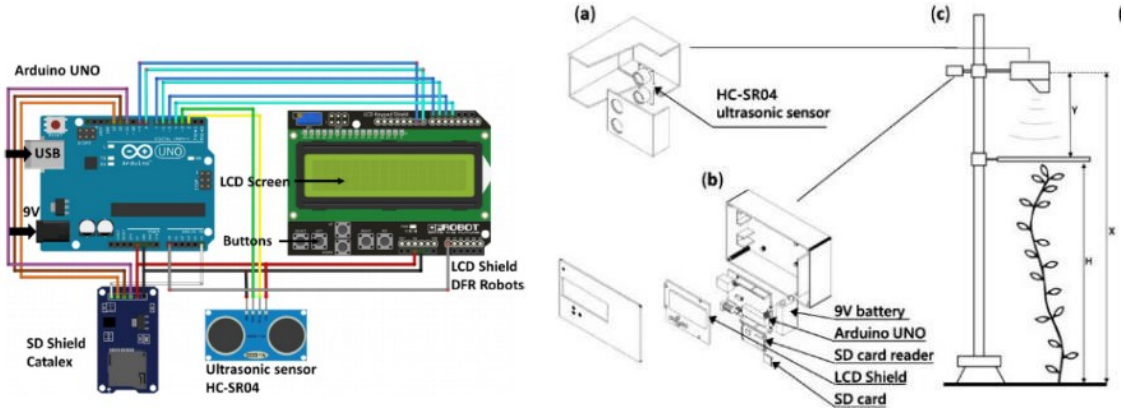
Şekil 2.17. Saha şartlarında hareketli araba tabanlı veri toplama sistemi.

Maldaner ve ark. (2021a, 2021b), şeker kamışı bitkilerinin sıra tespiti için alternatif bir sistemi test etmişlerdir (Şekil 2.18). Çalışmanın genel amacı, farklı ilerleme hızlarında farklı boyutlardaki hedefleri tespit etmek için alternatif bir sistemin hatalarını belirlemektir. Şeker kamışı sırasındaki bitkileri tespit etmek ve haritalamak için fotoelektrik sensör, ultrasonik sensör ve kodlayıcı içeren bir sistem geliştirilmiştir. Bitki tespiti için sensörlerin ayrı ayrı ve eş zamanlı kullanımı karşılaştırılmıştır. Bitki tespitinin doğruluğunu artırmak için karar ağacı (Decision Tree), rastgele orman (Random Forest) ve destek vektör makinesi (Support Vector Machine) modelleri test edilmiştir. Üç makine öğrenimi (ML) modeli, fotoelektrik ve ultrasonik sensörlerin yanı sıra yer değiştirme sensörü tarafından üretilen veriler kullanılmıştır. İki sensör ve DT modeli ile yaklaşım, bitki tespitinde en iyi doğruluğu (>%90) sağlamıştır. Sensörler, bitkilerin %91'ini algılayabilmiştir (geri çağırma = 0,91). Hareket hızı, özellikle 2 m/s'de hedefleri tespit etmede sensörlerin performansını etkilemiştir. Bitki algılama sisteminin farklı hızlardaki doğruluğu, sensörlerin gerçek zamanlı müdahaleler için entegre sistemlerde kullanılma olasılığı olduğunu göstermiştir.



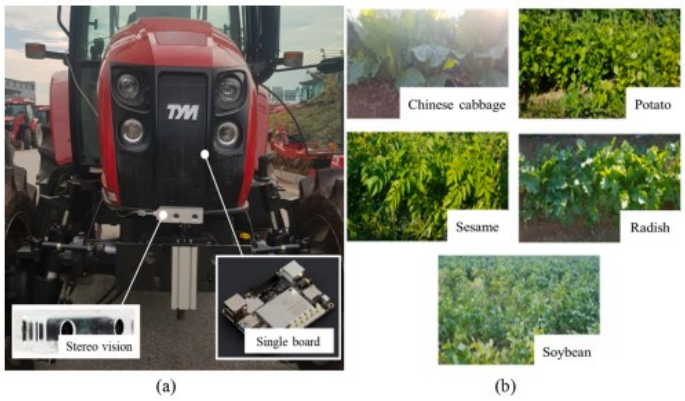
Şekil 2.18. Şekerkamışı bitki tespit sistemi, A) ultrasonik sensor, B) fotoelektrik sensor

Montazeaud ve ark. (2021), yapılan farklı bir çalışmada, küçük ve orta ölçekli uygulamalarda yarı otomatik yükseklik ölçümleri için düşük maliyetli, açık kaynaklı bir ultrasonik cihaz geliştirilmesi planlanmıştır (Şekil 2.19). Önceki gelişmelere kıyasla ana yenilik, bitki ucu algılamayı iyileştirmek için düşük maliyetli bir ultrasonik sensör ve plastik bir geri yansıtma plakasının birleşimidir. Cihazı, kontrollü laboratuvar koşulları altında ve 26 sorgum (*Sorghum Bicolor*) doğal hattı ile bir saha deneyinde manuel yöntemle karşılaştırmışlardır. Cihazın doğruluğu kontrollü koşullarda 1 cm'ye, sahada 2 cm'ye yakın ve her iki durumda da yanılma 0'a yakın bulunmuştur. Sahada, ölçümler klasik cetvelle karşılaştırıldığında %42 daha hızlı bulunmuştur. Sensör tabanlı değerler ile cetvel tabanlı değerler arasında güçlü bir ilişki (R^2 = 0,9965) tespit edilmiştir. Genel olarak cihaz, manuel yönteme kıyasla çok yüksek doğruluğu korurken önemli ölçüde zaman tasarrufu sağlamıştır. Düşük maliyeti (~75 €) ve kompakt tasarımı sayesinde, doğa bitki türleri ya da model organizmalar için çok geniş uygulama alanlarında kullanılabileceği bildirilmiştir.



Şekil 2.19. Arduino Uno Kart Yüseklik ölçüm sistemi, a) Ultrasonik sensör; b) Kullanıcı arayüzü ve kutusu; (c) Saha ölçüm destek sistemi

Kim ve ark. (2021), otonom bir yetiştirme robotu için yapay görme tabanlı bir yükseklik ölçüm sistemi geliştirmişlerdir (Şekil 2.20). Sistem, pratik arazi uygulamalarını kolaylaştırmak için basit bir stereo kamera konfigürasyonu ile geliştirilmiş ve çeşitli tarla bitkilerinin yükseklik ölçümlerini doğru yapmak için kullanılmıştır. Elde edilen stereo görüntüler stereo eşleme yoluyla eşitsizlik haritalarına dönüştürülmüş ve kamera ile kırpma arasındaki mesafenin derinliğini belirlemek için her pikselin eşitsizliği hesaplanmıştır. İlgi alanlarının (Region Of Interest) kenarlarını belirlemek için derinlik haritaları kullanılmış ve kırpma bölgeleri, herhangi bir ek etiketleme kullanılmadan kameraya en yakın beklenen kırpma bölgesinde bulunan kenarlar kullanılarak bölümlere ayrılmıştır. Ürün yüksekliği, ROI'deki en yüksek noktalar kullanılarak hesaplanmıştır. Bu yaklaşım beş ürün üzerinde test edilmiş ve sonuçlar, alınan görüntülerde nesneler üst üste bindiğinde bile sistemin hedef kırpma bölgesini algılayabildiğini göstermiştir. Ayrıca, geliştirilen sistemle tahmin edilen ürün yükseklikleri, R^2=0,78-0,84 arasında değişen manuel olarak ölçülen gerçek ürün yükseklikleri ile güçlü bir uyum göstermiştir. Bu sonuçların, geliştirilen algoritmanın tarımsal robot uygulamaları için çeşitli aralıklarda ürün yüksekliklerini ölçebildiğini gösterdiği ifade edilmiştir.



Şekil 2.20. Deneysel sistem ve hedef mahsuller: a) stereo görüş kamerası ve tek kartlı bilgisayar, b) beş deney mahsulü

Khak Pour ve ark. (2021), ürün yetiştiricilerinin genotipler ve fenotipler arasındaki olası korelasyonu incelemesinin önemli olduğunu, bunun için ise bitkilerin büyümelerinin farklı aşamalarındaki özelliklerini izlemek için uygun fiyatlı bir Yüksek Verimli Fenotipleme Platformu (HTPP) tasarlamanın ve uygulamanın önemli olduğunu vurgulamışlardır. Otomatik tarla ölçümleri yapmak, ürün verimini iyileştirebilir. Bu araştırmada, buğday tarlası için otonom mahsul izleme için mobil, saha tabanlı bir HTPP için bir mekatronik sistem, donanım ve yazılım geliştirmeye odaklanılmıştır (Şekil 2.21). Sistem; bitki yüksekliğini, sıcaklığını ve bitki örtüsü indekslerini ölçebilir ve ürünün yüksek kaliteli fotoğraflarını çekebilir. Sistem, veri ve görüntü elde etmek için geliştirilmiş bir yazılım içermektedir. Bu çalışmanın ana katkısı, buğday ve benzeri ürünler için otonom, güvenilir ve hızlı veri toplama sağlayan bir sistem geliştirme çabasıdır.



Şekil 2.21. Sensörler, kameralar, veri kaydedici, bilgisayar ve GPS alıcısı bulunan 6 fitlik bir Traktöre monte edilmiş bom: a) ulaşım (seyir hali) modu, b) genişletilmiş mod

Önceki çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde, pamuk üretiminde tepe kesme işleminin önemli bir kültürel işlem olarak uygulanması gerektiği anlaşılmaktadır. Ancak, genellikle geniş arazilerde üretimi yapılan pamuğun tepe kesme işleminin el ile yapılması pratik ve ekonomik olmadığından ve aşırı insan iş gücüne dayalı olduğundan bu işlem yaygınlaşmamıştır. Hatta böyle bir uygulamanın gerekli olduğu birçok ülkede bilinmemektedir. Ancak, bu işlemin mekanize bir şekilde yapıldığında üreticiler tepe kesme işleminden yarar sağlayabilir. Özellikle ABD ve Çin'de tepe kesme makinalarının geliştirilmesi için emek harcandığı görülmektedir (Schwarz, O; 1908, Matthews, 1931; Keyes, 1962; Hu ve ark. 2003; Zhou ve ark., 2010). Ülkemizde de tepe kesme çalışmaları sonucunda yurt dışındaki çalışmalara benzer sonuçlar bulunmuştur (Gençer ve ark., 2005; Yaşar, 2013). Ancak, ülkemizde pamuk tepe kesme işleminin makine ile yapılması konusunda herhangi bir bilimsel çalışmaya veya yerli olarak geliştirilmeye çalışılan ticari bir tepe kesme makinesine rastlanmamıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Pamuk Bitkisine ait Fiziko-Mekanik Özellikler

Araştırmada biyolojik materyal olarak Diyarbakır bölgesinde çiftçi şartlarında yetiştirilen DP-499 pamuk çeşidi kullanılmıştır. Pamuk çeşidine ait bazı özellikler Çizelge 3.1'de verilmiştir (Aytekin, 2009).

Çizelge 3.1. DP 499 Pamuk çeşidi özellikleri

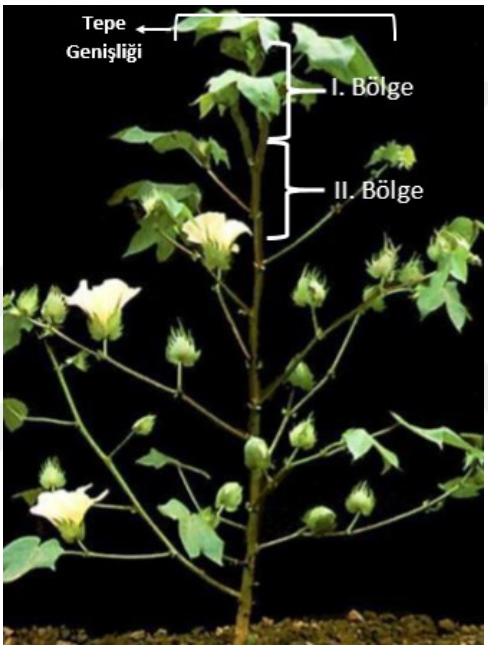
Özellikler	Değerler
Erkencilik	Orta-erkencilik
Koza Büyüklüğü	Orta ve eliptik
Çırçır Randımanı	%44-45
Tohum Büyüklüğü	11000 adet/kg
Bitki Boyu	Uzun, Yayvan
Lif Uzunluğu	28-30 mm
Lif Mukavemeti	38-40 g/tex
Makineli hasat	Uygun
Diğer	Fırtına ve yağmurda yatmaya ve lüle dökmeye dayanıklıdır.

Kesilme kuvveti ve kesilme enerji değerlerinin tespiti için, Dicle Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan Lloyd LRX Plus biyolojik materyal test cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.1). Pamuk ana sapı iki bölgeye ayrılarak 0,35 mm/s bıçak hızında kesilmiştir. Kesme işlemi sırasında, yük hücresi tarafından algılanan maksimum kesme kuvvetleri tespit edilmiştir.



Şekil 3.1. Lloyd LRX Plus biyolojik materyal test cihazı

Pamuk bitkisi numuneleri, daha önce bir çiftçi tarafından ekimi yapılan 4 dekarlık 3 tekerrürlü deneme parsellerinden her bir tekerrürden 7 adet olmak üzere toplam 21 adet örnek olarak alınmıştır. Bu örnekler arazi şartlarında bitki tepesinden yaklaşık 35-40 cm mesafeden kesilip numaralandırılarak laboratuvar şartlarında incelenmiştir. Numunelerin her biri bitki tepe noktasından itibaren I. Bölge (0-15 cm) ve II. Bölge (16-30 cm) olmak üzere iki bölgeye ayrılmıştır (Şekil 3.2). Ayrılan her bir bölgeden üç farklı noktadan kumpas ile çap ölçümü yapılmıştır.



Şekil 3.2. Kesme deneylerinde kullanılan pamuk sap bölgeleri

Pamuk sap bölgelerinin nem içeriklerinin tespiti ilgili standartlara göre yapılmıştır (ASABE, 2008).

Test cihazı kullanılarak kesilme kuvveti (N) ölçülmüş ve kesilme gerilimi τ (MPa) aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\tau = \frac{\mathrm{F\ s_max}}{A} \tag{3.1}$$

Burada; Fs_max, maksimum gerilme kuvveti, A değeri ise sapın kesme düzlemindeki kesit alanı (mm^2) olarak ifade edilmektedir.

Pamuk bitkisinin mekanik özelliklerinin (kesilme kuvveti, kesilme gerilmesi, kesilme enerjisi, özgül kesilme enerjisi ve güç) tespiti ve hesabında standart olarak bilinen formüller kullanılmıştır (Çakır, 1995).

Özgül kesme enerjisi Esc (mJ/mm^2) 3.2 no.lu denkleme göre bulunmuştur.

$$E_{sc} = \frac{F_s}{A} \tag{3.2}$$

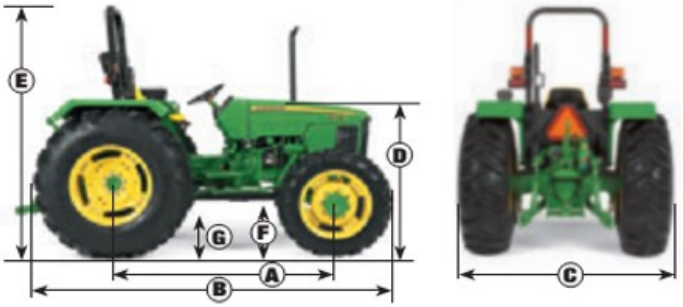
Sonuç olarak her numune için kesme gücü hesaplanmıştır. Böylece, pamuk sapının kesme ile ilişkili gerekli fiziksel ve mekanik özellikleri tespit edilmiştir.

3.2. Traktör Özellikleri

Bu çalışmada pamuk tepe kesme makinesi deneme çalışmaları için iki farklı traktör kullanılmıştır. İlk yıl tarla denemelerinde özel bir işletmeye ait 2006 model John Deere 5403 marka traktör kullanılmıştır. Traktöre ait teknik özellikler Çizelge 3.2'de genel ölçüler Şekil 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. John Deere 5403 traktöre ait teknik özellikler

Özellik	Değer	Özellik	Değer
Motor gücü	74 BG (55,2 kW)	Toplam hidrolik yağ debisi	68,8 L/min
PTO gücü	64 BG (47,7 kW)	Ek ekipmanlar için yağ debisi	43,1 L/min
Motor devir hızı	2400 l/min	Yağ deposu kapasite	37,9 L
Silindir Sayısı	3	Yağ basıncı	193,1 bar
Yakıt tankı kapasitesi	72 L	Traktör toplam ağırlığı	23250 N
Traktör arka ağırlığı	15080 N	Traktör ön ağırlığı	8170 N
Çeki özelliği	2 WD		



Özellik	Değer		Özellikler	Değer
Dingil Açıklığı, A	205 cm		Ön aks yüksekliği, F	48 cm
Ortalama Uzunluğu (ek bağlantılar dahil), B	350 cm		En alt açıklık, G	45 cm
Ortalama genişliği, C	188 cm		Ön lastik standart ölçüleri	7,5-16, R1
Ön kısmın tepe yüksekliği, D	137 cm		Arka lastik standart ölçüleri	16,9-28, R1
Üst çatı yüksekliği, E	199 cm		Ön tekerlik basıncı	195 kPa

Şekil 3.3. John Deere 5403 traktöre ait genel ölçüler

İkinci yıl tarla denemelerinde ise Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümüne ait New Holland L65 marka-model (1998 yapımı) traktör kullanılmıştır. Traktöre ait teknik özellikler Çizelge 3.3'de, genel görünümü ise Şekil 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. New Holland L65 traktöre ait teknik özellikler ve genel ölçüler

Teknik Özellikler			
Özellik	**Değer**	**Özellik**	**Değer**
Motor gücü	65 BG (48,5 kW)	Toplam hidrolik yağ debisi	54,9 L/min
PTO gücü	56 BG (41,8 kW)	Hidrolik arka kaldırma kapasite	2595 kg
Motor devir hızı	2500 l/min	Traktör toplam ağırlığı	27000 N
Silindir Sayısı	3	Yakıt tankı kapasitesi	109,8 L
Motor torku	65,9 Nm	Çeki özelliği	2 WD
Genel Ölçüler			
Ön Lastik Standart Ölçüleri	7.5-16.6	Genişlik	184 cm
Arka Lastik Standart Ölçüleri	16.09-30	Ön sırt Mesafe	142-213 cm
Dingil arası mesafe	234 cm	Arka sırt Mesafe	153-213 cm
En fazla yükseklik	267 cm	Katlanmış en fazla yükseklik	213 cm
Kabinli Yükseklik	247 cm		



Şekil 3.4. İkinci yıl denemelerinde kullanılan New Holland L65 traktör

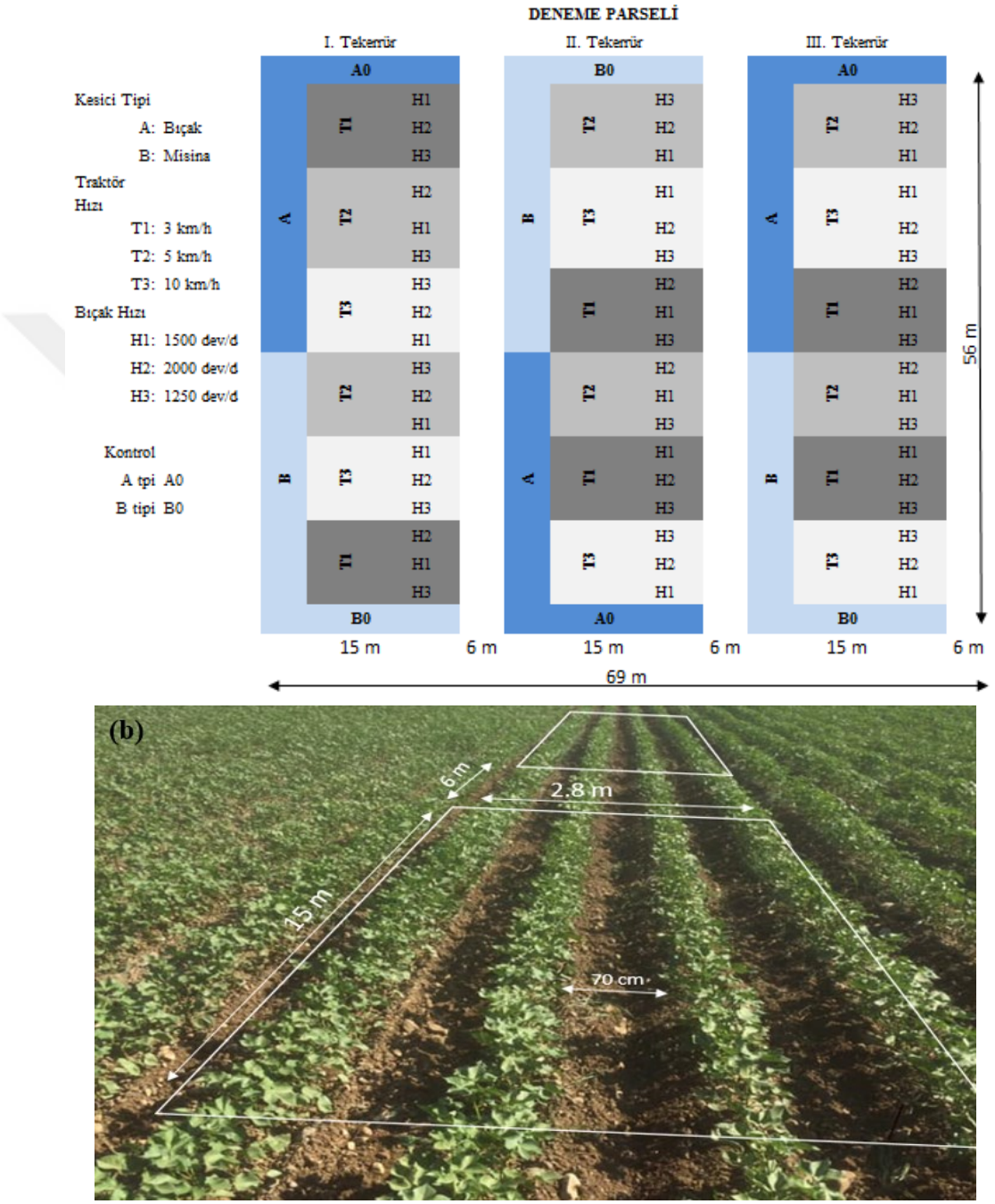
3.3. Deneme Parseli-Arazisi Özellikleri

İlk deneme bir üreticinin arazisinde bölgede en çok tercih edilen verimi yüksek erkenci ihtiyacı olan çeşit (DP-499 pamuk çeşidi) ile yapılmıştır. Tarla denemesi için farklı kesici tipleri, traktör hızları ve bıçak dönme hızları faktör olarak ele alınmış ve deneme parseli Şekil 3.5' teki gibi oluşturulmuştur.

Şekil 3.5'te toplam deneme deseni (a) ve bir parsele ait ölçüler (b) verilmiştir. Her parsel 4 sıradan oluşmuştur. Her parselin boyu 15 m, parseller arası boşluk 6 m, toplam uzunluk = (15x3) + (6x4) = 69 m'dir. Her parsel 4 sıra, her sıra arası 0,7 m, toplam genişlik = 4x0,7x20= 56 m'dir. Toplam deneme alanı (A= 69x56 = 3700 m^2) 3,7 da alandan oluşturulmuştur.

Birinci yıl denemesinde pamuk tarlasında tepe kesme uygulamalarından sonra kalite verim analizi için pamuğun hasat dönemi beklenilmiş ve 25.10.2016 tarihinde işçiler ile beraber tepesi kesilen her parselden 5 metre mesafeden elle hasat yapılmıştır. Ayrıca koza ağırlığı tespiti için her parselden 10 koza örneği alınmıştır. Hasat yapıldıktan sonra her parselden toplanan pamuk tartılmış ve verim değerleri hesaplanmıştır. Tartım işleminden sonra her parselden 1 kg numune alınmıştır. Alınan numuneler kalite analizi için Diyarbakır Ticaret Borsasına ait Kalite Analiz Laboratuvarı'na gönderilmiştir. Burada bulunana HVI Spectrum 900 A cihazı ile kalite analizleri gerçekleştirilmiştir. Çırçır

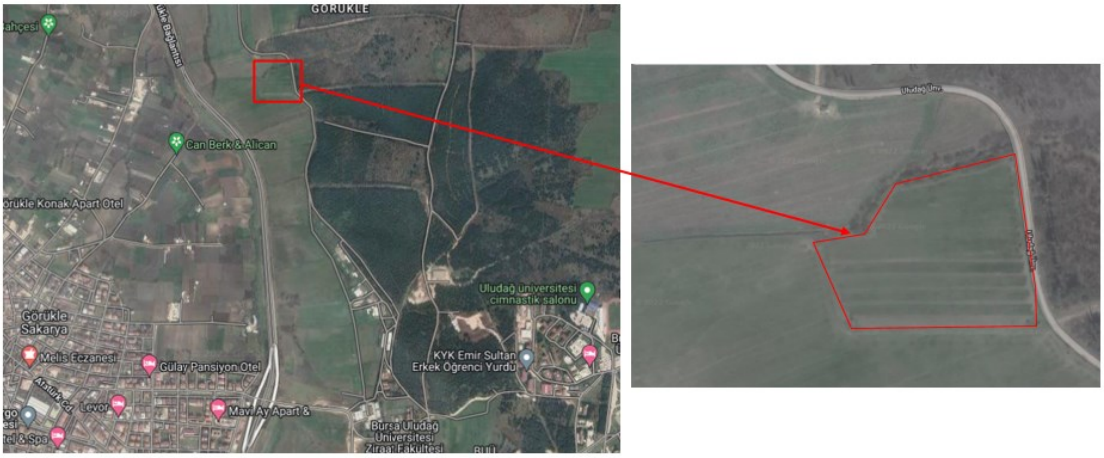
randımanı, deneme parsellerinden toplanan 1 kg'lık kütlü pamuk örneklerinin, Rollergin deneme çırçır makinesinden geçirilerek lif ve çiğit (tohum) olmak üzere tartılarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.5. Deneme parseli

İkinci deneme çalışmasında pamuk deneme parseli kurulamamıştır. Bu sebeple sistemin çalışma performansını test etmek için hazır ekili durumdaki bir ayçiçeği tarlası

seçilmiştir. Bursa Uludağ Üniversitesi sınırları içerisinde 40,2413;28,8550 koordinatlarında bulunan yaklaşık 12 dekar olan bir arazide (Şekil 3.6) ekilmiş ayçiçeği tarlası, deneme parseli olarak kullanılmıştır. Burada asıl amaç, bu projede geliştirilen Bitki Yükseklik Kontrol Sisteminin (BIYKOS) çalışma performansını test etmek olduğu için ana bitki olan pamuğa değil, denemeye uygun yükseklikte bulunan ayçiçeği kültür bitkisine odaklanılmıştır.



Şekil 3.6. İkinci deneme parseli planı

İkinci deneme için, otomatik tepe kesme işlemi öncesi ve sonrasında pamuk bitkisine ait bitki yüksekliği değerleri ölçülmüştür. Rastgele seçilen 5 parselden oluşan deneme alanı hafif eğimlidir. 1, 3 ve 4 no.lu deneme alanında kesme işlemi eğim aşağı doğru yapılırken 2 ve 5 no.lu deneme alanında kesme işlemi eğim yukarı doğru yapılmıştır. Parsel boyu sırada en az 15 bitki olacak şekilde ayarlanmıştır. Kesme işlemi bitki sayısına göre dikkate alındığı için parsel boyları dikkate alınmamıştır. Tepe kesme makinesinin iş başarısını tespit etmek için kesme işlemi öncesinde ve sonrasında bitki boyları ölçülmüştür. Pamuk bitkisinin boyu 80 cm altında, ölçülen standartların dışında olduğunda, sistem bu bitkilere ulaşamamaktadır. Kesilen bitkiler için iş başarısı başarılı, kesilmeyen bitkiler için ise başarısız olarak belirlenmiştir. Bitki boyu 80 cm altında ölçülen bitkilerde iş başarısı başarılı olarak dikkate alınmıştır.

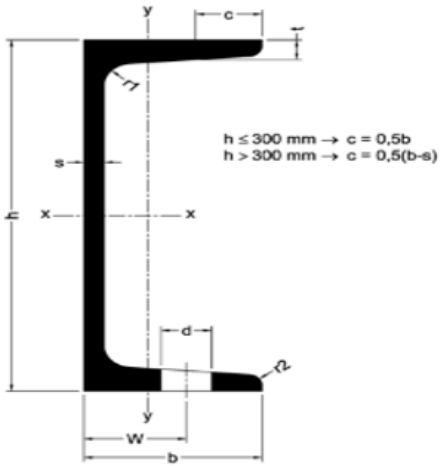
3.4. Mekanik ve Hidrolik Aksama Ait Özellikler

Pamuk tepe kesme makinesinin teknik özelliklerini belirlemek için tepe kesme döneminde pamuk bitkisine ait en düşük ve en yüksek yükseklik değerleri ölçülmüştür. Pamuk bitkisine ait sıra arası mesafe, bitki boyu (en düşük ve en yüksek değerleri), pamuk tepe genişliği, tepe kesilme yüksekliği, kesilme gerilmesi, kesme ünitesinin ağırlığı ve montaj şekli ve hidrolik sistemin montajı dikkate alınarak traktörün önüne monte edilebilecek bir mekanik düzen tasarlanmıştır. Mekanik aksamın çizimi, SolidWorks 2013 CAD programı ile yapılmıştır.

Çizimi ve boyutlandırmaları yapılan pamuk tepe kesme makinesinin mekanik ve hidrolik üretimi gerçekleştirilmiş, mekanik aksam kısmının üretimde ön ataşman ve kesici bıçaklar için St37, U profilleri için ise DIN1026 malzemesi kullanılmıştır. Mekanik sistemde kullanılan malzemelerin imalat aşaması Şekil 3.7'de, ana şasi profilinin teknik özellikleri Şekil 3.8'de ve malzemenin mekanik-kimyasal özellikleri Çizelge 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Pamuk tepe kesme makinesinin imalat aşaması



NPU PROFİLLERİ (DIN 1026) Özellikleri													
NPU	h mm	b mm	r1=s mm	t mm	r2 mm	A cm²	G kg/m	DIN 997		Atalet ve Dayanım Momenti			
										x - x		y - y	
								d max mm	W mm	Ix cm⁴	Wx cm³	Iy cm⁴	Wy cm³
65	65	42	5,5	7,5	4	9,03	7,09	11	25	57,5	17,7	14,1	5,07

Şekil 3.8. U profilleri (DIN 1026) malzemesinin özellikleri

Çizelge 3.4. St37 malzemesinin mekanik ve kimyasal özellikleri

Çekme Danayımı (MPa)		Akma Sınırı (MPa)					Kopma Uzaması (şekillendirme yönü - dik doğrultu) (%)		
< 3 mm	3 mm	16 mm	16 mm	40 mm	63 mm	80 mm	3 mm	40 mm	63 mm
	100 mm		40 mm	63 mm	80 mm	100 mm	40 mm	63 mm	100 mm
360 - 510	340 - 470	235	225				26	25	24

DIN (Eski)	DIN (Yeni)	SAE / AISI	Deoksidasyon Şekli	Isıl İşlem	Kimyasal Bileşim (max % ağırlık)				
					C_{max}	Mn_{max}	P_{max}	S_{max}	N_{max}
St 37-2	S235JR	-	-	U,N	0,17	1,40	0,045	0,045	0,009

U - Sıcak Haddelenmiş, Başka İşlem Görmemiş N - Normal Tavlanmış

Araştırma için ihtiyaç duyulan hidrolik silindir ve hidromotor teknik özelliklerini ve ölçülerini tespit etmek için genel olarak kullanılan denklemler, aşağıda verilmiştir.

$$A_1 = \frac{\pi \,.\, D^2}{4} \tag{3.3}$$

$$A_2 = \frac{\pi \,.\, (D^2 - d^2)}{4} \tag{3.4}$$

$$V = \frac{\mathrm{h}}{t} \tag{3.5}$$

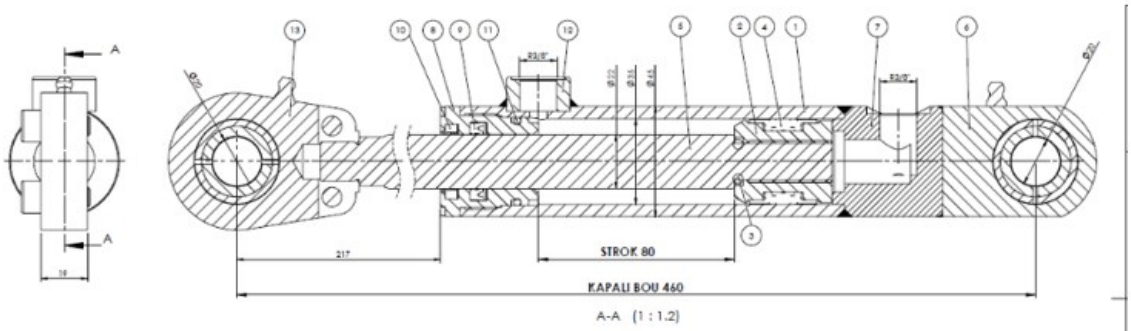
$$F = P.A \tag{3.6}$$

$$Q = \frac{\mathrm{A} \,.\, \mathrm{V} \,.\, 3}{50} \tag{3.7}$$

Burada;

F : Etki eden kuvvet (daN),
P : Çalışma basıncı (bar),
A : Etkili alan (cm^2),
V : Piston hızı (cm/s),
Q : Verdi (debi) (L/min)
A_1 : Piston bölüm alanı (cm^2),
A_2 : Piston kolu bölüm alanı (cm^2),
D : Piston çapı (cm),
d : Piston kolu çapı (cm),
h : Strok uzunluğu (cm),
t : Strok süresi (s)'dir.

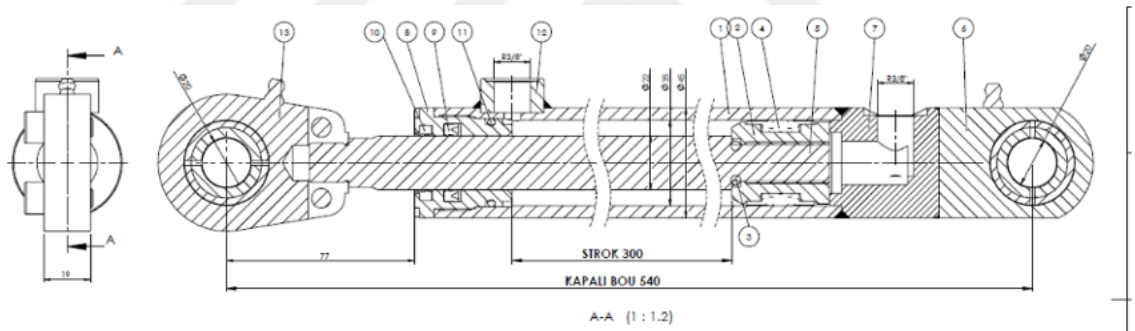
Teknik özellikleri ve ölçüleri belirlenen kaldırma pistonu, eğim pistonu, valf bloğu ve hidro-motorların teknik özellikleri Şekil 3.9, 3.10, 3.11 ve 3.12'de verilmiştir.



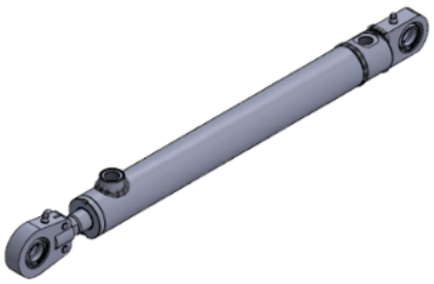
ÖĞE NO.	PARÇA NUMARASI	TANIM	MİKT.
1	DH35-22-80-DHS459 Ø45xØ35 BORU		1
2	DH35-22-80-DHS459 Ø35 DÜZ PİSTON		1
3	Kastas Seals-KO-10X4		1
4	Kastas Seals-K18-35X25X16.4X31.4X6.35		1
5	DH35-22-80-DHS459 Ø22 MİL		1
6	DH35-22-80-DHS459 Ø20 ARKA MANDA GÖZLÜ		1
7	Ø35xØ45 KAPAK		1
8	Ø35-Ø22 BOGAZ		1
9	KASTAS-K33-022X32X6		1
10	KASTAS-K06-22X30.6X5.3X7		1
11	Kastas Seals-KO-30X3		1
12	3-8 MANŞON		1
13	Ø20 ÖN MANDA GÖZLÜ		1



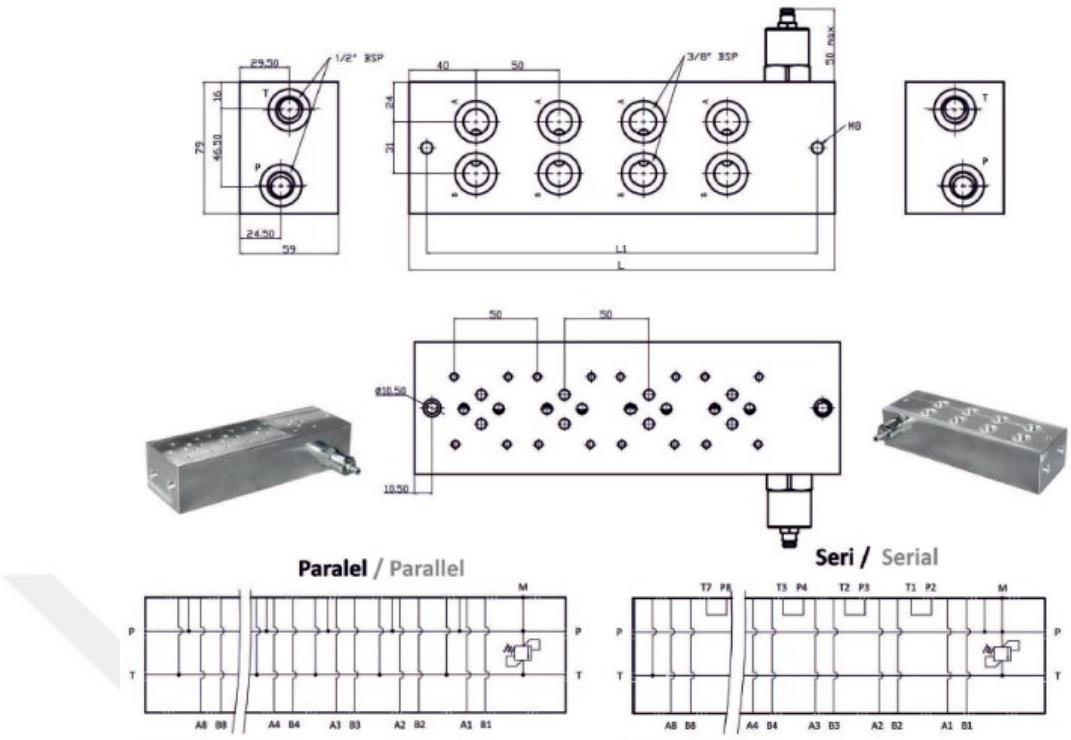
Şekil 3.9. Eğim silindiri teknik özellikleri



ÖĞE NO.	PARÇA NUMARASI	TANIM	MİKT.
1	DH35-22-300-DHS460 Ø45xØ35 BORU		1
2	DH35-22-300-DHS460 Ø35 DÜZ PİSTON		1
3	Kastas Seals-KO-10X4		1
4	Kastas Seals-K18-35X25X16.4X31.4X6.35		1
5	DH35-22-300-DHS460 Ø22 MİL		1
6	DH35-22-300-DHS460 Ø20 ARKA MANDA GÖZLÜ		1
7	Ø35xØ45 KAPAK		1
8	Ø35-Ø22 BOGAZ		1
9	KASTAS-K33-022X32X6		1
10	KASTAS-K06-22X30.6X5.3X7		1
11	Kastas Seals-KO-30X3		1
12	3-8 MANŞON		1
13	Ø20 ÖN MANDA GÖZLÜ		1



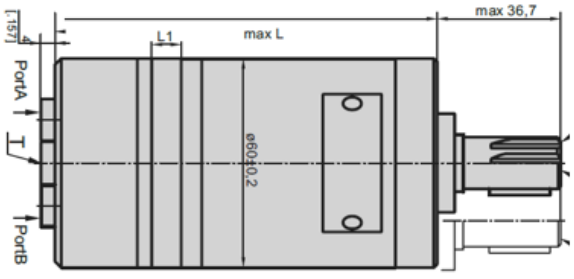
Şekil 3.10. Kaldırma silindiri teknik özellikleri



Şekil 3.11. Valf bloğu özellikleri

Tipi		MM 12,5
İletilen Hacim (cm^3/rev)		12,9
Mak. Hız (RPM)	Devamlı	1550
	Aralıklı	1940
Mak. Tork (daNm)	Devamlı	1,6
	Aralıklı	2,3
	Pik	3,3
Mak. Çıkış (kW)	Devamlı	2,4
	Aralıklı	3,2
Mak. Basınç Düşümü (bar)	Devamlı	100
	Aralıklı	140
	Pik	200
Mak. Yağ akışı (l/min)	Devamlı	20
	Aralıklı	25
Giriş Basıncı (bar)	Devamlı	140
	Aralıklı	175
	Pik	225





Şekil 3.12. Hidromotorların teknik özellikleri

3.4. Otomatik Yükseklik Kontrol Sistemine Ait Özellikler

Bitki yüksekliğini algılama konusunda yapılmış önceki çalışmalar kontrol edilmiş ve farklı yöntemler kullanıldığı önceki çalışmalar bölümünde gösterilmiştir. Bitki yüksekliğini algılamak için sabit yükseklikten bitkiye üstten ultrasonik dalga göndererek en üst noktası algılanmaya çalışılmıştır. Sistem tasarımı için gerekli malzemeler ve özellikleri aşağıda sunulmuştur.

1- Bir adet Arduino Uno mikrodenetleyici işlemci
2- Bir adet 4lü röle kartı
3- Dört adet ultrasonik mesafe sensörü HC-SR04
4- Bir adet voltaj düşürücü LM2596
5- Bir adet SD kart modülü

Arduino Uno Mikrodenetleyici İşlemci

Arduino Uno, sensörler ve cihazlar arasında bağlantı kurabilen, açık kaynak kodlu yazılım ve donanıma sahip bir mikro denetleyici platformudur (Şekil 3.13). Bu platform, kart üzerinde mikroçip bulunan ve bu mikroçipi programlamamızı sağlayan bir programlama dilinden oluşur. Bu işlemciden beklenen, ultrasonik mesafe sönsörlerinden gelen verileri istenilen algoritmada işleterek selenoid valfleri kontrol etmesi beklenmektedir. Mikroişlemciye ilişkin teknik özellikler şu şekildedir:

- Mikrodenetleyici: ATmega328P
- Çalışma voltajı: 5V
- Giriş voltajı (önerilen): 7-12V
- Giriş voltajı (limit değerler): 6-20V
- Dijital I / O Pinleri 14 (bunlardan 6'sı PWM çıkışı sağlamaktadır)
- PWM Dijital I/O Pinleri: 6
- Analog Giriş Pinleri: 6
- I/O Pin Başına DC akım: 20 mA
- 3V Pin DC akımı: 50 mA
- Flash Bellek 32 KB (ATmega328P) 0.5 KB bootloader tarafından kullanılır
- SRAM: 2 KB (ATmega328P)

- EEPROM: 1 KB (ATmega328P)
- Saat Hızı: 16 MHz
- Uzunluk: 68.6 mm
- Genişlik: 53.4 mm
- Ağırlık: 25 g

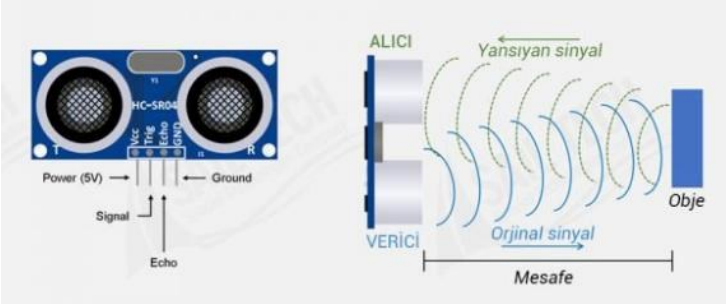


Şekil 3.13. Arduino Uno Mikrodenetleyici

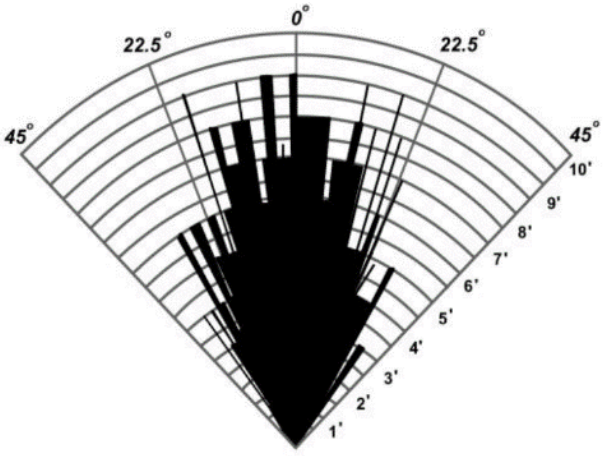
Ultrasonik Mesafe Sensörü HC-SR04

HC- SR04 Ultrasonik Sensör ses dalgalarını (sonar) kullanarak karşısındaki nesneye olan mesafeyi hesaplayarak sensör ile nesne arasındaki uzaklığı ölçen bir cihazdır (Şekil 3.14). Bu çalışmada bitki ve bıçağın anlık yüksekliklerini tespit etmek için kullanılmıştır. Bu sensörün en ideal çalışma acısı 30° olarak test edilmiştir (Şekil 3.15). Mesafe sensörünün teknik özellikler aşağıda verilmiştir:

- Çalışma Voltajı: DC 5V
- Çektiği Akım: 15 mA
- Çalışma Frekansı: 40 kHz
- Maksimum Görme Menzili: 4m
- Minimum Görme Menzili: 2cm
- Görme Açısı: 15°
- Tetik Bacağı Giriş Sinyali: 10 us TTL Darbesi
- Echo Çıkış Sinyali: Giriş TTL sinyali ve Mesafe Oranı
- Boyutları: 45mm x 20mm x 15mm

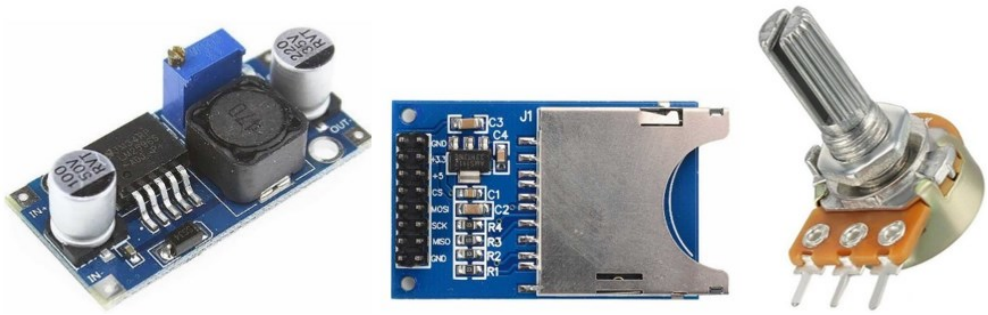


Şekil 3.14. HC- SR04 Ultrasonik Sensör



Şekil 3.15. HC- SR04 Ultrasonik Sensör Çalışma Açısı

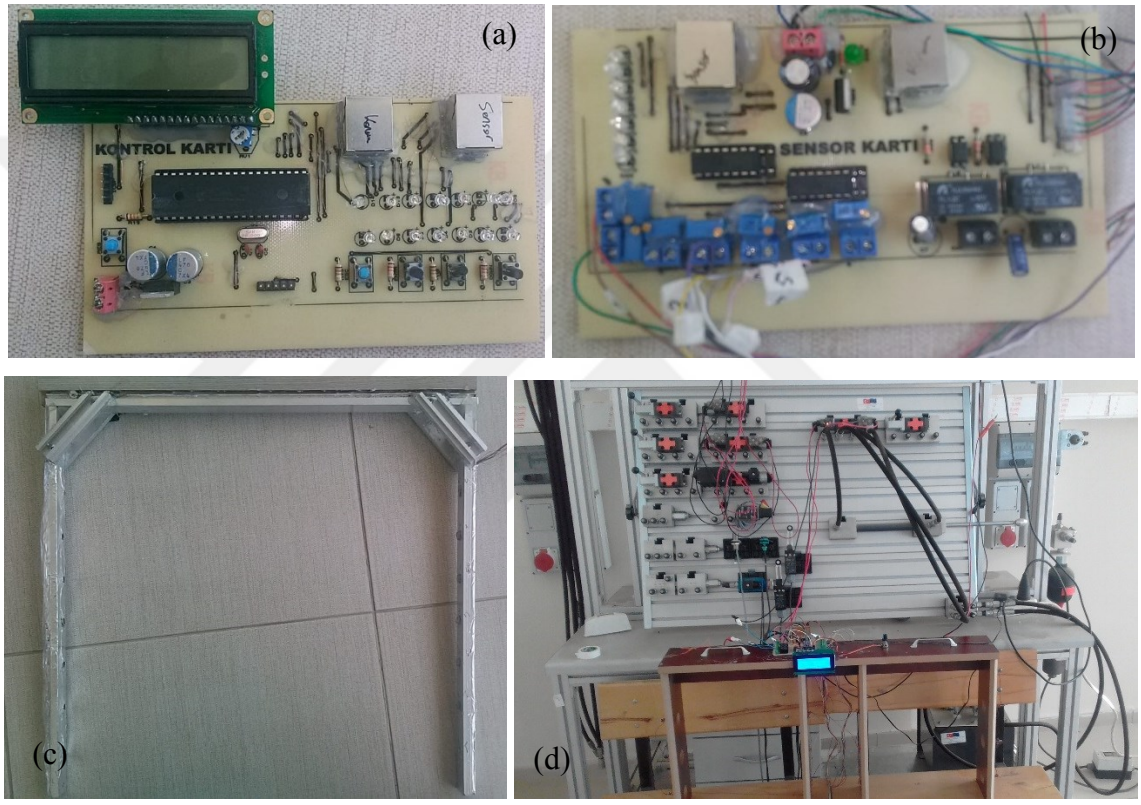
Bitki yükseklik kontrol sistemi için kullanılan voltaj düşürücü, SD Kart Modülü ve potansiyometre gibi diğer malzemeler Şekil 3.16'da verilmiştir.



Şekil 3.16. Voltaj düşürücü, SD kart modülü ve potansiyometre

Elektronik sistemin geliştirilmesi için bitki yüksekliği ve kesici ünitenin yüksekliğinin anlık ölçülmesi ve bu verilerin kayıt altına alınması gerekmektedir. Bu sebeple ilk

yükseklik ölçüm sistemi PIC programlama ile tasarlanmış ve laboratuvar ortamında ön testleri yapılmıştır (Şekil 3.17). Sistem tasarımında lazer ışık sistemi kullanılmıştır. Sistem algoritmasında 5 cm yatay mesafelere yerleştirilen basit lazer ışık ve ışık algılayıcılar arada bulunan herhangi bir engeli algılamaya yönelik çalışacak ve sistemi yukarı aşağı hareket ettirecek şekilde planlanmıştı. Fakat lazer sisteminin tam verimle çalışmaması, ortamın aydınlığı, bitki boyu algılama ataşmanının stabil olmaması gibi sebeplerden dolayı ilk çalışma iptal edilmiş ve yeni sistem geliştirilmiştir.



Şekil 3.17. İlk Yükseklik kontrol sistemi ve ön laboratuvar testleri; a) kontrol kartı, b) sensör kartı, c) bitki boyu algıla ataşmanı, d) hidrolik laboratuvar ön test)

İkinci yükseklik algılama sisteminde her bir sıra için iki adet yükseklik ölçüm sensörü kullanılmıştır. İki sensörde pamuk tepe kesme makinesine sabit yüksekliğe monte edilmiştir. Sistem kontrolü fazla kompleks yapıda olmadığı için denetleyici olarak Arduino mikrodenetleyici kullanılmıştır. Sensörler arasındaki yatay mesafe traktör hızı, hidrolik silindirlerin hızı, Arduino mikro işlemcisinin çalışma hızı, sensörlerin çalışma acısı dikkate alınarak yaklaşık 30 cm olarak belirlenmiştir. Traktörün çalışma hızını

manuel olarak sisteme ekleme için bir adet potansiyometre eklenmiştir. Sensörlerden gelen verilerin ve hesaplanan verilerin anlık kayıt altına alınması ve sonradan değerlendirilmesi için sisteme bir adet SD kart modülü eklenmiştir. Sistemden 10 adet veri seti değişkenleri üretilmiştir. Değişkenlerin sırası ile tanımlamaları; zaman (t), traktör hızı (h), 1. Sıra bitki yüksekliği (b1), 1.sıra kesme yüksekliği (k1), kesme yüksekliği ve bitki yüksekliği farkı (f1), 1. Sıra iş başarı durumu (d1), 2.sıra kesme yüksekliği (k2), kesme yüksekliği ve bitki yüksekliği farkı (f2), 2. Sıra iş başarı durumu (d2), olarak tanımlanmıştır. İş başarı durumu sistemin çalışma algoritmasının şartları yerine getirildiğinde "1" getirmezse "0" üretmektedir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Araştırmada elde edilen bulgular ayrı ayrı değerlendirilmiştir. İlk olarak pamuk bitkisine ait tepe noktasının kesilmeye karşı fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiş, sonrasında sırası ile tasarlanan tepe kesme makinesine ait mekanik, hidrolik ve elektrohidrolik özelliklere ait bulgular verilmiştir.

4.1. Pamuk Bitkisine ait Fiziko-Mekanik Özellikler

4.1.1. Fiziksel Özellikler

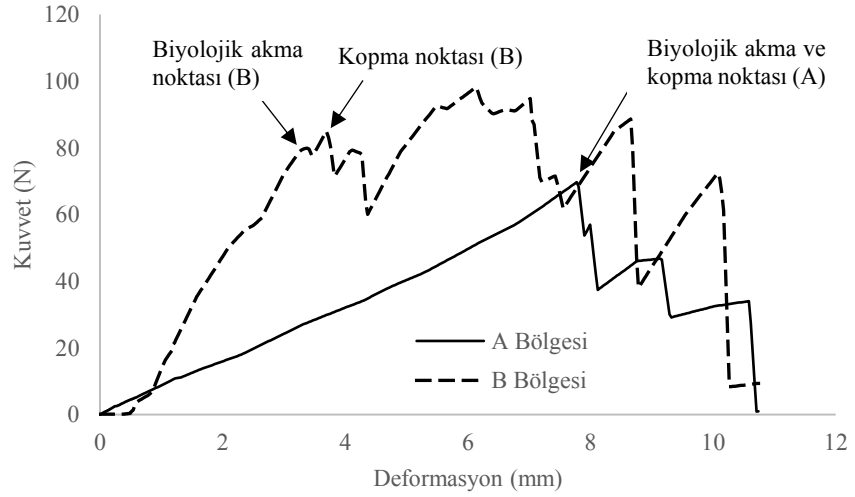
Pamuk bitkilerinden alınan 21 adet numunenin A ve B bölgelerinin bazı fiziksel özellikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Yerden yükseklik, Çizelge 4.1'de dikimden itibaren 115. günde yapılan mekanik tepeleme (tepe kesme) anındaki ortalama yüksekliği ifade etmektedir. Pamuk tepe numuneleri kesilmeden önce rastgele bazı parsellerde bitki boyları (yüksekliği) ölçülmüştür. Bitki boyları ölçüm sonuçlarına göre, en düşük değer 83 cm ve en yüksek değer 123 cm olarak belirlenmiştir. Ortalama gövde çapı, A bölgesinde 4,35 mm, B bölgesinde 5,79 mm olarak ölçülmüştür. Ortalama kesit alanı, A bölgesinde 1498 mm^2, B bölgesinde 26,49 mm^2 bulunmuştur. A ve B bölgesinde ölçülen maksimum gövde çapları ise sırası ile 4,8 mm ve 7 mm olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.1. Araştırmada kullanılan pamuk çeşidinin bitki ve gövde bazı fiziksel özellikleri

Bölge	Özellikler	Değerler
A	Yerden yükseklik	106,67 cm
	Üstteki genişlik (en yüksek genişlik)	18,8 cm
	Ortalama nem içeriği	%72
	Ortalama gövde çapı	4,35 mm
	Maksimum gövde çapı	4,8 mm
	Ortalama kesit alanı	14,98 mm^2
B	Yerden yükseklik	91,67 cm
	Üstten 16-30 cm arası genişlik	29,19 cm
	Ortalama nem içeriği	%64,8
	Ortalama gövde çapı	5,79 mm
	Maksimum gövde çapı	7 mm
	Ortalama kesit alanı	26,49 mm^2

4.1.2. Kuvvet-Deformasyon Eğrileri

Çalışmada test edilen tüm numuneler için kuvvet-deformasyon eğrileri çizilmiştir. Ancak burada pamuk bitkilerinin sürgünlerinin kuvvet-deformasyon davranışını göstermek için her bir yükseklik bölgesinden bir örnek dahil edilmiştir (Şekil 4.1). A (I) ve B (II) bölgelerine ait detaylı kuvvet-deformasyon eğrileri EK 5'te verilmiştir. Pamuk sürgünlerinin kuvvet-yer değiştirme eğrileri, genel olarak diğer biyolojik materyallerin eğrilerine benzemektedir (Uğurluay ve diğerleri, 2005; Tavakoli ve diğerleri, 2009). Pamuk sürgün sapının enine kesiti boyunca bıçağın mesafesine karşılık gelen yer değiştirme arttıkça, kesme kuvveti gereksinimi orantılı olarak artmıştır.



Şekil 4.1. A ve B bölgesindeki pamuk sürgünlerinin kuvvet-deformasyon ilişkisi

Kuvvet-deformasyon arasındaki ilişki, yer değiştirme arttıkça bir sapma noktasına kadar doğrusal olarak kabul edilebilir. Şekil 4.1'deki eğrilerin şekillerinin benzerliğine rağmen, sapma noktaları farklıydı, bu da pamuk bitkilerinin farklı bölgelerinden gelen sürgünler arasında farklılıklar olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, bitkinin aynı bölgesi için pamuk sürgünlerinin biyolojik akma noktası açısından büyük farklılıklar olduğu dikkat çekicidir. Örneğin, A Bölgesi'nde numuneler 4,7 mm'den 9 mm'ye kadar yer değiştirmeler göstermiştir. Biyolojik akma noktasını takiben, küçük bir yer değiştirme için kesme kuvveti keskin bir şekilde azalmış ve daha sonra kuvvet tekrar küçük bir yer değiştirme için hemen artmıştır. Bu yanıt, test numunelerinin enine kesiti boyunca azalan kuvvet gereksinimleriyle birkaç kez tekrarlanmıştır. Bazı biyomalzemelerin akma noktasındaki

kesme kuvveti, kopma noktasındaki kuvvetten daha düşüktür. Ancak A Bölgesi'ndeki pamuk sürgünleri, en büyük kuvvetin biyolojik akma noktasında elde edildiğini göstermiştir. Böylece pamuk filizlerinin biyolojik akma noktası bu arada kırılma noktası gibi görünmektedir. Bununla birlikte, biyolojik akma noktasından sonra kesime devam edildiğinden, gövdeler, muhtemelen pamuk sürgünlerinin lifli yapısından dolayı enine kesit boyunca kesilmeye karşı direnç göstermiş ve bu da kesim tamamlanana kadar artan ve azalan kuvvetlere neden olmuştur. Bu davranış, test edilen tüm numuneler için 4,5 mm ile 9,5 mm arasındaki yer değiştirmelerde biyolojik akma noktalarının bulunduğu B Bölgesinden elde edilen pamuk saplarında görülebilir. Bu nedenle, biyolojik akma noktası açısından, Bölge A ve B'de yer değiştirmeler benzer bulunmuştur. Bununla birlikte, biyolojik akma noktasında ihtiyaç duyulan kuvvetler, Bölge A'da yaklaşık 40 ila 90 N arasında değişirken, Bölge B'de biyolojik akma kuvvetleri 120 N'a kadar çıkmıştır. Oysa, örneğin, ayçiçeği sapının yere yakın çapının daha büyük olması nedeniyle biyolojik akma noktası yaklaşık 18 mm'dir (İnce ve diğerleri, 2005).

Biyolojik akma noktasındaki deformasyonun Bölge A ve B'de benzer yer değiştirmelerde meydana geldiği, ancak akma veya kopma noktalarını elde etmek için gereken kuvvetlerin farklı olduğu söylenebilir. Tepe kesme uygulamaları sırasında kesme kuvvetlerini azaltmak için kesme işleminin mümkün olduğunca yüksekten yapılması gerektiği sonucuna varılabilir.

4.1.3. Kesme Karakteristik Özellikleri

Bölge A ve B için pamuk sürgün saplarının ölçülen ve hesaplanan kesme özellikleri Çizelge 4.2'de verilmiştir. Kesme kuvveti gereksinimi yerden kesme yüksekliğinin artmasıyla azalmıştır. Bu, azalan ortalama çap ve dolayısıyla gövdelerin azalan kesme alanı ile açıklanabilir. Gövde çapı, artan lifli yapı ile zemine doğru daha büyüktür, muhtemelen gövdenin kesmeye karşı direncini arttırmaktadır.

Çizelge 4.2. Pamuk sürgünlerinin kesim bölgeleri ve kesilme özellikleri

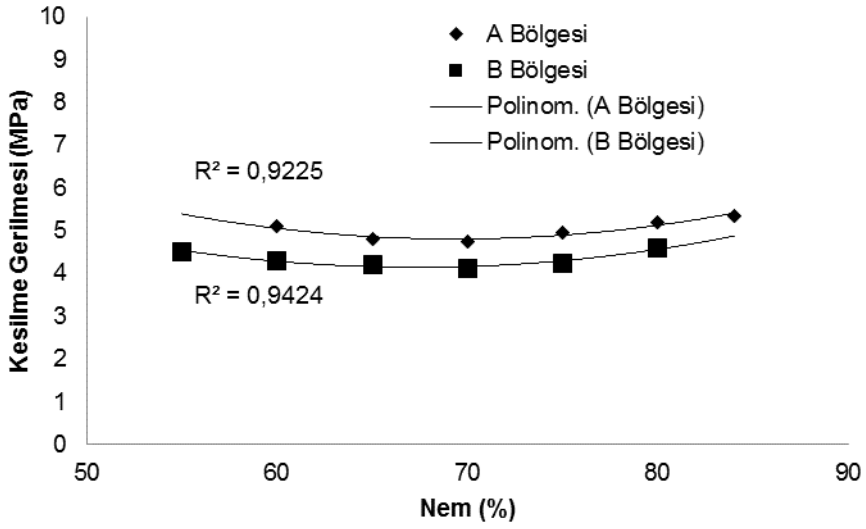
Sap Bölgesi		Kesilme Kuvveti (kN)	Kesilme Gerilmesi (MPa)	Toplam Kesilme Enerjisi (J)	Özgül Kesilme Enerji (J/mm^2)	Kesilme Güçü (W)
A Bölgesi (1-15)	Min	0,052	3,069	0,604	0,045	0,045
	Mak	0,092	6,855	1,935	0,141	0,200
	Ort.	0,073[b]	4,949[a]	1,025[b]	0,069[a]	0,099[b]
	SS	0,010	1,002	0,323	0,022	0,035
	%CV	14,113	20,247	31,542	31,663	35,354
B Bölgesi (16-30)	Min	0,082	2,767	0,613	0,026	0,060
	Mak	0,265	9,935	4,859	0,182	0,539
	Ort.	0,121[a]	4,652[a]	2,040[a]	0,078[a]	0,185[a]
	SS	0,035	1,403	1,048	0,041	0,112
	%CV	28,855	30,165	51,366	52,859	60,569
LSD(%5)		0,017	0,761	0,445	0,017	0,043
Genel (0-30)	Min	0,052	2,767	0,604	0,026	0,045
	Mak	0,265	9,935	4,859	0,182	0,539
	Ort.	0,097	4,801	1,532	0,074	0,142
	SS	0,035	1,228	0,927	0,033	0,093
	%CV	36,588	25,586	60,485	45,406	65,873

Ss: Standart Sapma, CV: Varyasyon Katsayısı, LSD: En Küçük Önemsiz Fark Testi, Min: Minimum, Mak: Maksimum
a ve b hesaplanan veya ölçülen parametrelerdeki istatistiksel farklılıkları belirtir

Ortalama kesme kuvveti, kesme gerilmesi, özgül kesme enerjisi ve kesme gücünün mutlak değerleri Bölge A'da Bölge B'ye göre daha düşük bulunmuştur. Ancak LSD test sonuçlarına göre, kesme kuvveti iki kesme bölgesinde istatistiksel olarak farklıyken kesme gerilimi ve kesme kuvvetinin istatistiksel olarak farklı olduğu görülmüştür. Özgül kesme enerjisi istatistiksel olarak ($P>0.01$) benzer bulunmuştur. Deney parsellerinden toplanan tüm numuneler için tepe kesme sırasındaki nem içeriği %52 ile %85 arasında bulunmuştur. Belirli bir kesme yüksekliğindeki nem içeriğinin A Bölgesinde %60 ila %85 ve B Bölgesinde %52 ila %80 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Önceki çalışmaların önerdiği gibi (Eissa ve diğerleri, 2008; Sessiz ve diğerleri, 2013), nem içeriği genellikle diğer parametrelerle güçlü bir korelasyona sahipti ancak test edilen parametrelerle ters orantılıydı. Bitkilerin tepesinden kesme mesafesine bağlı olarak gövde kesit alanı artmış ancak bölgeler arasındaki farklar önemli olmamıştır ($P<0.05$). Nem içeriği ve kesme kuvveti ile nem içeriği ve spesifik kesme gerilimi arasında önemli etkiler bulunmuştur ($P<0.05$).

Kesme gerilimi, Bölge A ve B için sırasıyla R^2 =0,92 ve 0,94 değerleriyle nem içeriği ile yüksek oranda ilişkili bulunmuştur (Şekil 4.2). A ve B Bölgesi için ortalama kayma gerilimi sırasıyla 4,95 ve 4,65 MPa'dır (Çizelge 4.2). Bu nedenle, kayma gerilimi bitkinin üst kısmına (Bölge A) doğru daha büyüktür. Ek olarak, nem içeriği %50'den %65'e çıkarken, kesme gerilimi kademeli olarak azalmış ve daha sonra nem içeriğindeki daha fazla artışla katlanarak artmaya başlamıştır. Artan nem içeriği ile kayma gerilmesindeki doğrusal olmayan artış, düşük nemli alan dışında ayçiçeği sapı bulgularına benzer çıkmıştır (İnce ve ark., 2005; Kocabıyık ve Kayışoğlu, 2004). Kocabıyık ve Kayışoğlu'nun (2004) sonuçları, ayçiçeği sapları için yaklaşık %50 nem içeriğine kadar kayma geriliminde artışlar olduğunu ve daha sonra nem içeriği %80'e kadar arttıkça kayma geriliminde azalma olduğunu ortaya koymaktadır. Sonde ve ark. (2015) pamuk kalıntısının alt, orta ve üst kısmındaki kayma gerilmesini incelemiş ve 6-8 mm çapa sahip pamuk bitkilerinin üst kısımlarında toplam kayma gerilmesini 9 MPa bulmuşlardır.

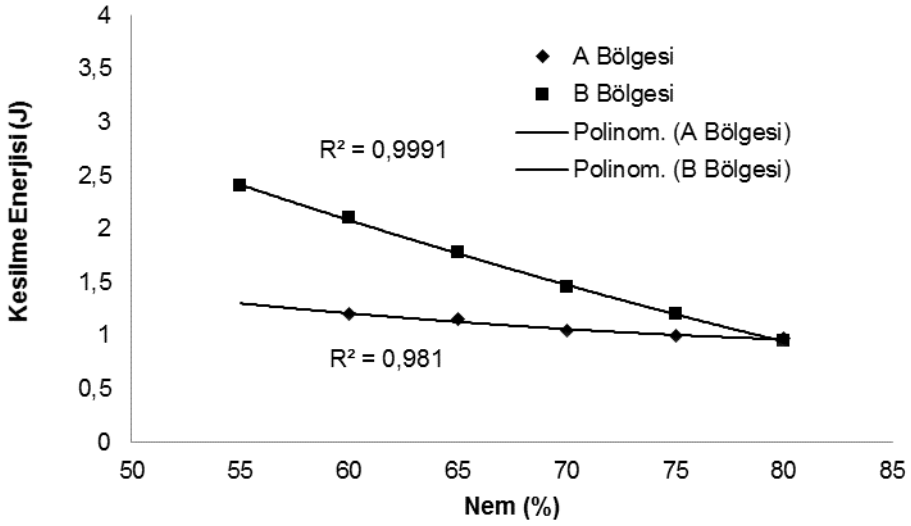


Şekil 4.2. A ve B Bölgesindeki nem içeriğinin pamuk sürgünlerinin kayma gerilmesine etkisi

Bulgularımız hem A Bölgesi hem de B Bölgesi için bitkinin üst kısmında daha az kesme gerilimi göstermiştir. Bu iki çalışma arasındaki farklar, muhtemelen bitkinin liflerinin çalışmamızda kesme işlemi sırasında tam olarak gelişmemiş olmasından kaynaklanmaktadır ve bu nedenle pamuk sürgün sapları, hasat öncesi işlemler sırasında daha düşük nem içeriğine rağmen, bitkilerin kalıntı aşamasındaki olgun liflere kıyasla

taze koşullar altında kesme işlemine dayanamamıştır. Arpa samanı gibi bitkiler düşük nem içeriğine sahiptir ve ayrıca nem içeriğinin bir fonksiyonu olarak kayma mukavemetinde üstel bir artış gösterir (Tavakoli ve diğerleri, 2009). Farklı çalışmalarda bulunan benzerliklere rağmen, kayma gerilmesi eğrileri, test edilen malzemeye bağlı olarak farklı şekillere (içbükey, dışbükey ve bunların karışımı) sahiptir.

A ve B bölgesi için nem içeriği ile kesme enerjisi arasındaki ilişki Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Nem yaklaşık %60'tan %80'e yükseldikçe, kesme enerjisi A bölgesinde 1,25'ten 1,0 J'ye ve B bölgesinde 2,2'den 1,0 J'ye bir miktar düşmüştür. Sonuçlar, kesme enerjisinin düşük nem içeriğinden yaklaşık %45 daha az olduğunu göstermektedir. Sonuçlar, kesme enerjisinin düşük nem içeriğinde (yaklaşık %55) A bölgesinde B bölgesine kıyasla önemli ölçüde daha az olduğunu göstermektedir. Bir uygulama olarak, üretken organların gelişimini desteklemek için bitki büyümesinin durdurulması için ekimden 110. günden 120. güne kadar pamuk sürgünlerinin tepe kesmesi tamamlanmalıdır (Denizdurduran, 2008).

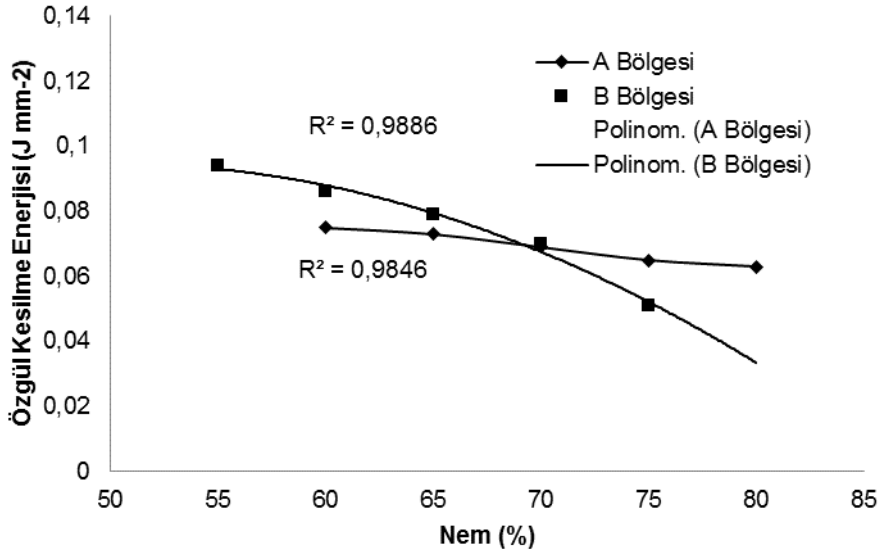


Şekil 4.3. A ve B Bölgesindeki nem içeriğinin pamuk sürgünlerinin kesme enerjisine etkisi

Sapların nispeten daha yüksek nem içeriği değerlerinde tepe kesme erken yapılırsa, kesme enerjisi gereksinimi düşük olacaktır. Tepeleme işleminin geciktirilmesi, vejetatif dönemin sonuna doğru gövdelerdeki nem içeriğinin azalması nedeniyle daha yüksek

kesme stresi ile sonuçlanacaktır. Bu sadece kesme enerjisini arttırmakla kalmayacak, aynı zamanda bitkiler vejetatif büyüme için daha fazla teşvik edileceğinden, tepe kesmenin potansiyel faydalarını da azaltabilir. Sonuç olarak, mekanik tepeleme işlemleri için kesme enerjisi gereksinimi açısından, tepe kesme için erken zamanlama önerilebilir.

Spesifik kesme enerjisinin nem içeriğine bağımlılığı, spesifik kesme enerjisinin nem içeriği ile azalması nedeniyle kesme enerjisine benzer bulunmuştur (Şekil 4.4). Bu davranış, ayçiçeği, buğday samanı ve aspir gibi diğer maddelerin davranışlarından bir bakıma farklıdır. Bitkilerin farklı kısımlarının spesifik kesme enerjileri, daha önce bahsedilen çalışmalarda nem içeriğinin bir fonksiyonu olarak keskin artışlar göstermiştir. Ancak, Kocabıyık ve Kayişoğlu (2004) tarafından gösterildiği gibi, nem içeriğindeki daha fazla artış, özellikle toprağa yakın bitki sapı için ayçiçeği saplarının özgül kesme enerjisini azaltmıştır. Bitkilerin üst kısımlarında kesme gerilimi ve özgül kesme enerjisinde hiçbir farklılık bulamamışlardır, oysa bu faktörlerin bitkilerin köklerine yakın yerlerde daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu nedenle bitkilerin alt kısımlarının kalınlıkları ve gövde yapıları nedeniyle farklı özelliklere sahip olduğu söylenebilir.



Şekil 4.4. A ve B bölgesindeki pamuk sürgünlerinin nem içeriği ve özgül kesme enerjisi arasındaki ilişki.

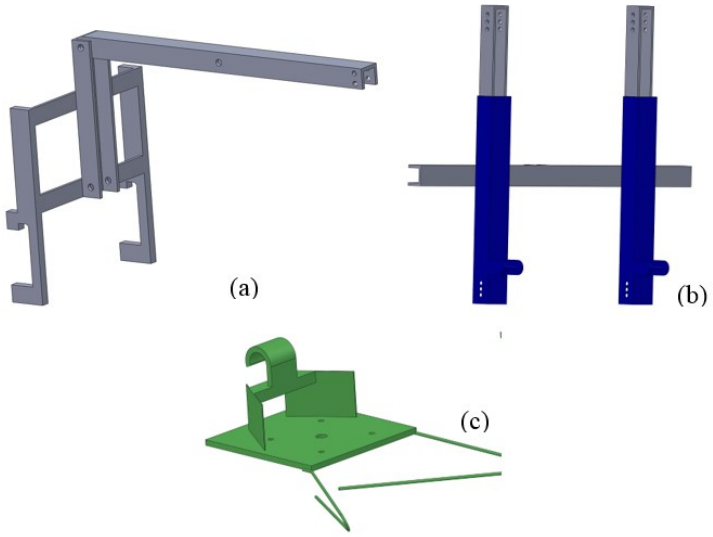
Bitkilere ait fiziko-mekanik özelliklerin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmaların çoğu tarlada kalan bitki saplarının özelliklerini belirlemek için yapılmış ve ardından hasat işlemleri yapılmıştır. Bu çalışmada ise pamuk bitkilerinin üst kısmından alınan örnekler kullanılarak vejetatif gelişme döneminde alınan örnekler üzerinde ölçümler yapılmıştır. Ayçiçeği ve pamuk kalıntısı çalışmalarına kıyasla, sap kalınlıkları küçük ve pamuk sürgünlerinin nem içeriği yüksek bulunmuştur. Ayrıca, pamuk filizlerinin vejetatif aşamadaki nem içeriği, buğday kalıntısında karşılaşılan nem içeriğine göre daha yüksektir. Pamuk filizlerinin diğer bitkilerle karşılaştırıldığında mekanik özelliklerindeki farklılıkların, sadece ilgili büyüme periyodunda bitkilerin lifli yapısındaki farklılıklardan değil, aynı zamanda örnekleme konumundan ve dolayısıyla gövde kalınlıklarından da etkilenmiş olabileceği tahmin edilmektedir.

4.2. Tepe Kesme Makinesinin Özellikleri

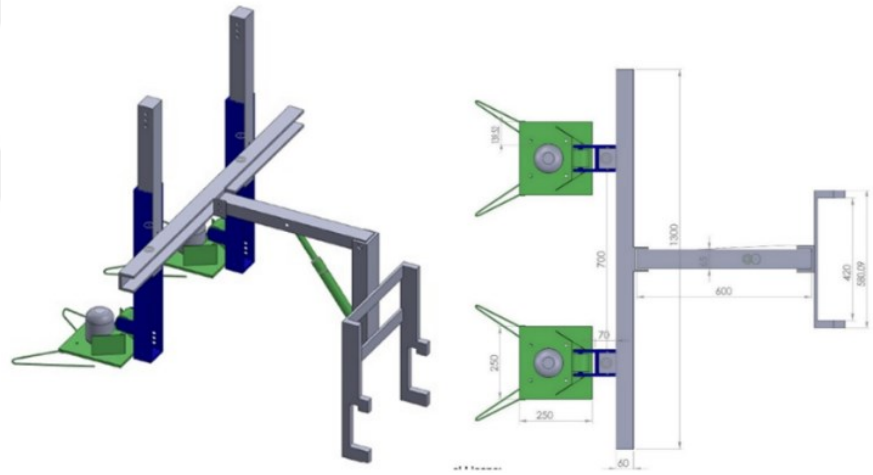
4.2.1. Tepe Kesme Makinesinin Mekanik Özellikleri

Tepe kesme makinesinin teknik özelliklerinin belirlenmesi ile ilgili ölçümler sonucunda DP-499 pamuk çeşidine ait yükseklik değerleri en düşük 80 cm ve en yüksek 128 cm olarak ölçülmüştür. Bu değerlerin toprak işleme, sulama ve gübreleme pratiklerine bağlı olarak değişme olasılığı bulunmaktadır, ancak yapılan bu ölçüler pamuk tepe kesme makinesi prototipi için uygun ve yeterli olarak değerlendirilmiştir. Pamuk tepe genişliği ortalama 24,75 cm olarak bulunmuştur. Her bir sıra pamuk tepe kesme mekanizması ölçülen bu değerlere göre tasarlanmıştır. Pamuk ekim işleminde sıra arası mesafe genel olarak 70 cm olarak ayarlandığı için tepe kesme makinesine ait kesme üniteleri arası mesafe buna göre seçilmiştir. Bunun sonucunda tasarlanan makinenin görüntüleri aşağıda sunulmuştur (Şekil 4.5-6). Makineye ait detaylı ölçülendirmeler EK 6'da verilmiştir.

Tasarımı yapılan tepe kesme makinesi traktörün ön ataşman durumu dikkate alınarak traktöre monte edilmiştir. Tepe kesme makinesinin diğer özelliklerine bakıldığında iki personel ile monte edilip çıkarılabilecek, şoförün görüş mesafesini bozmayacak, rahat kumanda edilecek ve bitkiye ve traktöre zarar vermeyecek özelliğe sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.5. Mekanik üniteyi oluşturan parçalar a) Ana bağlantı ataşmanı, b) Ana bağlantı çatısı, c) Kesme ve bitki yönlendirme ünitesi



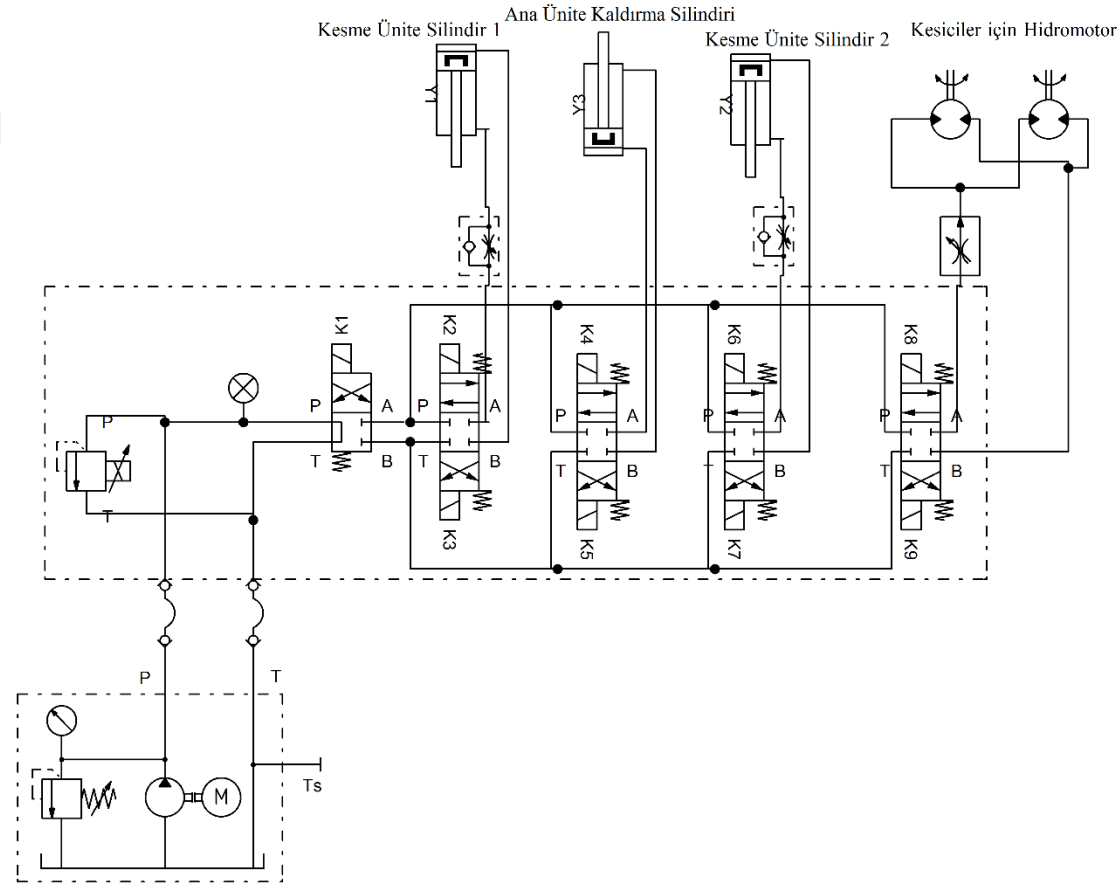
Şekil 4.6. İki sıralı tepe kemse makinesinin perspektif görünüşü ve bazı ölçüler



Şekil 4.7. Tepe kesme makinesinin traktör önündeki ve deneme arazisindeki pozisyonu

4.2.2. Tepe Kesme Makinesinin Hidrolik Özellikleri

Sistemin istenilen şatlarda çalışabilmesi için gerekli hidrolik sistem özellikleri belirlenmiş ve bu değerlere göre hidrolik silindir ve hidromotor değerleri hesaplanmıştır. Hidrolik sistem devresi Şekil 4.8'de verilmiştir. Sistem; çabuk bağlantı elemanları, bir adet basınç ayar valfi, dört adet yön kontrol valfi, bir adet akış kontrol valfi, iki adet çek valfli akış kontrol valfi, üç adet hidrolik silindir ve iki adet hidromotordan oluşmaktadır. Güç ünitesi, traktöre ait hidrolik sistemi ve hidrolik prizleri temsilen çizilmiştir.



Şekil 4.8. Pamuk tepe kesme ünitesinin çalıştırılması için tasarlanan hidrolik sistem

Devre çabuk bağlantı elemanları yardımı ile traktörden hidrolik gücü basınç ayar valfi üzerinden kapalı merkezli paralel bağlı yön kontrol valflerine iletir. Hidrolik devre 120 bar çalışman basıncında çalışacak şekilde ayarlanmıştır. Eğer devreye 120 bar basınçtan daha yüksek basınç gelirse akışkan doğrudan tanka geri gönderilecektir. Üç hidrolik silindir birbirinden bağımsız, iki hidromotor ise beraber çalışmaktadır. Yön kontrol

valflerinin bağlantıları da bağımsız çalışacak ve başlangıçta el ile kontrollü monoblok şeklinde tasarlanmıştır. Silindirler üç konumlu (ileri-nötr-geri) hidromotorlar ise iki konumlu (nötr-dön) olacak şekilde seçilmiştir. Yön kontrol valflerine gelen akışkan buradan kontrollü bir şekilde hidrolik alıcılara iletilir.

Ana kaldırma silindiri, ön ataşmana bağlı olan ana çatı ile birlikte bağlı tüm parçaları iş öncesinde ve bitiminde yukarı-aşağı hareketini sağlayarak hızlı monte-demonte edilmesi için kullanılmıştır. Ana kaldırma silindiri maksimum 2000 N yükü kaldırabilecek şekilde hesaplanmıştır. Piston çapı ISO 6020/1 standartlarından 44 mm, rot çapı 22 mm değerleri seçilmiştir. Strok, kesme ünitesinin 200 mm yukarı ve aşağı hareketine (toplam 400 mm) olanak sağlayacak şekilde 130 mm olarak hesaplanmıştır. Ana kaldırma silindiri diğer hidrolik silindir ve hidromotorlardan bağımsız olarak çalışacağı için silindire aktarılacak olan debi 10 l/min kabul edilmiş ve kaldırma hızı 2,61cm/s indirme hızı 3,65 cm/s olarak hesaplanmıştır. Ana kaldırma silindiri kontrol paneli operatörün yanına koyularak üç konumlu yön kontrol valfi ile manuel elektriksel olarak kontrol edilmiştir.

Kesme ünite silindirleri iki adettir ve her bir sıradaki bitkilerin istenilen yükseklikte kesilmesi amacıyla kullanılmıştır. Silindirler operatörün yanında bulunan üç konumlu yön kontrol valfi tarafından kontrol edilmektedir. Dört hidrolik alıcı (iki kaldırma silindiri ve iki hidromotor) beraber çalıştığından dolayı her biri için debi 8,5 L min^{-1}, taşıyacakları yük miktarı 600 N ve uygulanacak maksimum basınç 120 bar olarak kabul edilmiştir. Bu değerlere göre ve denklem 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 ‘ye göre piston çapı 15 mm, rot çapı 8 mm ve strok 300 mm olarak hesaplanmıştır. Piston düşeyde hareket edeceğinden indirme hızı 20 cm/s ve kaldırma hızı 27,9 cm/s olarak hesaplanmıştır. Hidrolik sistem bağlantıları ve elle kontrol sistemi Şekil 4.9’da gösterilmiştir. Ayrıca ek olarak BIYKOS’un ve elektro-hidrolik sistemin bağlantı şemaları FluidSIM programında simüle edilmiş ve EK-4’te bağlantı şemaları verilmiştir. Hidrolik sistemde bulunan iki adet hidromotor, tek yönde ve bıçağın istenilen hızda dönmesini sağlayarak bitkinin tepesinin kesilmesini sağlamamaktadır. Hidromotorlar şoförün yanında bulunan iki kademeli yön kontrol valfi ile kontrol edilmiştir. Hidromotorlar maksimum 3000 1/min dönü hızında ve 8,5 l/min debide çalışabilecek şekilde seçilmiştir.

Hidromotorların ucuna bağlanan ve St37 malzemesi kullanılarak imal edilen bıçağın kullanılacak traktörlere göre ortalama devir hızının 1700 1/min olduğu ölçülmüştür. Ortalama 1700 1/min hızı ile hareket eden 20 cm uzunluğunda, yaklaşık 300 gr ağırlığında ve 4 mm kalınlığında olan bıçağın kinetik enerji 147 J olarak hesaplanmıştır. Kesilme özelliklerini belirlemek için pamuk bitkisine ait tepe noktasının maksimum bitki çapı 7 mm dikkate alınmıştır. Laboratuvar ortamında yapılan pamuk bitkisinin maksimum kesilme kuvveti, kesilme gerilmesi ve kesilme enerji sırası ile 0,27 kN, 9,94 MPa, 4,86 J olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2). Bıçağa ait kinetik enerji ve bitkiye ait kesilme enerjisi dikkate alındığında bıçağın çok rahat bir şekilde tepe kesme işlemi yapabileceği görülmüştür.



Şekil 4.9. Hidrolik sistem bağlantıları a) Hidrolik kumanda paneli, b) Selenoid valf ön bağlantıları, c) Arka bağlantılar

4.2.3. Pamuk Tepe Kesme Arazi Deneme Sonuçları

Pamuk tepe kesme makinesi tasarımı genel olarak tamamlandıktan sonra gecikmeli olarak 2016 Ağustos ayı ortalarında arazi deneme sürecine geçilmiştir. Deneme işleminde iki farklı kesici tipi, üç farklı traktör hızı ve üç farklı kesici hızı denenmiştir. Bıçak tiplerinde

misina ve bıçak kullanılmış, traktör hızları 3, 5 ve 10 km/h olarak tercih edilmiş ve kesici bıçak hızlarında ise 2000 l/min, 1500 l/min ve 1250 l/min devir sayılarında kesme işlemleri denenmiştir.

Arazi denemelerinden sonra uygun dönemde alınan numuneler kullanılarak yapılan tartım, ölçüm ve hesap değerlerine göre verim, kütlü ağırlık ve çırçır randımanı ve lif kalite istatistik analiz sonuçları Çizelge 4.3'de, laboratuvarda yapılan kalite analiz sonuçları EK-1'de, verim, kütlü ağırlık ve çırçır randımanına ilişkin değerler EK-2'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Pamuk bitkisinin verim, kütlü ağırlık, çırçır randımanı ve kalite analiz sonuçlarının istatiksel değerleri

Değerler	Min	Mak	Ort	Kontrol Ort	df	t-ist	Prob
Verim (kg/da)	146,25	300	215,499	257,917	53	-9,587	**0,000***
Kütlü Ağırlık (gr)	42	72	56,556	55,000	53	1,814	0,075***
Çırçır Randımanı (%)	38,7	43,8	40,913	40,733	53	1,168	0,248
Kalite Değerleri							
Lif İnceliği (mic)	3,76	5,07	4,482	4,706	53	-6,505	**0,000***
Lif Olgunluğu (%)	0,88	0,94	0,912	0,923	53	-5,593	**0,000***
Lif Uzunluğu (mm)	27,22	31,38	29,066	28,950	53	0,959	0,342
Lif Üniformitesi (%)	81,8	88,9	85,367	84,700	53	3,451	**0,001***
Kısa Lif Oranı (%)	5,3	8,7	6,835	7,467	53	-5,548	**0,000***
Lif Kopma Dayanıklılığı (g/tex)	30,5	39,5	35,044	35,467	53	-1,771	0,082
Lif Elastikiyeti (%)	5,8	7,3	6,515	6,533	53	-0,432	0,667
Lif Nemi (%)	4,2	4,8	4,350	4,300	53	2,079	**0,042****
Lif Parlaklığı (Rd, %)	66,2	84	77,291	76,533	53	1,774	0,082***
Lif Sarılığı (+b, %)	7,3	9,1	8,128	8,167	53	-0,657	0,514
Yabancı Madde Sayısı (%)	7	158	51,907	67,333	53	-3,686	**0,001***
Yabancı Madde Alanı (%)	0,11	2,25	0,720	0,940	53	-3,519	**0,001***

* p<0,01; ** p<0.05; *** p<0.1 anlamlılık düzeyi

Çizelge 4.3 değerlendirildiğinde kontrol parseli ile kesme işlemi yapılan parsellerde bazı değerlerin anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır. Pamuk verimi p<0.01 düzeyde anlamlı çıkmıştır. Tepe kesme işlemi pamuk verimini olumlu yönde etkilemiştir. Tüm deneme parsellerinde en düşük verim 146,25 kg/da en yüksek verim ise 300 kg/min olarak tespit edilmiştir. Tüm parsellerin ortalama verimi 215,499 kg/da olarak bulunmuştur. Kütlü ağrılık ile çırçır randıman değerleri anlamlı çıkmamıştır. Bu sebeple pamuk tepe kesme

işleminin bu değerlere bir etkisi olmamıştır. Lif inceliği, lif olgunluğu, lif üniformitesi, kısa lif oranı, yabancı madde sayısı ve yabancı madde alanı $p<0.01$ düzeyine anlamlı çıkmıştır. İstatistik sonuçlarını genel olarak değerlendirildiğinde, pamuk tepe kesme işlemi pamuk bitkisinin bazı özelliklerinde istatiksel olarak anlamlı etkilere sebep olmuştur.

Tasarlanan tepe kesme makinesinin elle kontrol edilen hidro-mekanik versiyonu arazi şartlarında çalışmış ve istenilen işlemleri yerine getirmiştir. Ancak, bıçak yüksekliğini otomatik olarak ayarlama işlemi yapılmamıştır. Genel olarak, kesicilerin bağlı bulunduğu hidromotor devir sayısının düşük olduğu yerlerde bıçak, yüksek olduğu yerlerde misina daha verimli olmuştur. Ancak, misina kullanımının uzun vadede aşınma ve maliyet açısından uygun olup olmayacağı ile ilgili bir deney veya gözlem yapılmamıştır. Uzun ömürlü olması açısından bıçak tipi kesici kullanımının uygun olması daha olasıdır.

Kesme işlemi sonrasında gözleme dayalı analiz sonucunda parsellerin %70-80 oranında kesme işleminin gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Makine imalatının gecikmesinden temmuz ayının sonunda veya ağustos ayının başında olması gereken tepe kesme işlemi ağustos ayının ortasında gerçekleşmiştir. Bu sebeple tepesi kesilen pamuk bitkisinde verimde düşmelere sebep olmuştur. Deneme alanında en yüksek verim 300 kg/da olarak 3. tekerrürün BT2H1 (bıçak, 5 km/h, 1500 d/min) parselinde elde edilmiştir. Parsellerin genel ortalaması dikkate alındığında en yüksek verim (267,19 kg/da) BT2H1 (bıçak, 5 km/h, 1500 d/min) parselinde tespit edilmiştir. Tekerrürlerde yapılan işlemlerde verim değerleri kontrol parsellerin verim değerlerinden yüksek olduğu görülmüştür (EK 2).

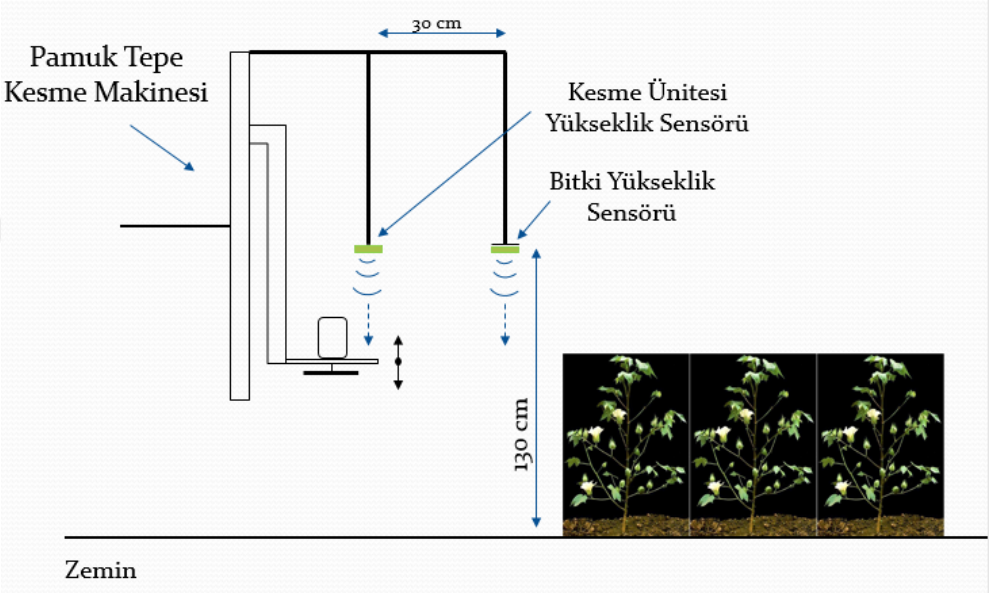
4.2.4. Tepe Kesme Makinesinin Elektro-Hidrolik Özellikleri

Tasarlanan elektronik kontrol sistemi (Şekil 4.10) bir adet ana kutu ve 4 adet mesafe algılama sensöründen oluşturulmuştur. Ana kutu üzerinde 4 adet çıkış klapesi bulunmaktadır. Bu klapeler iki yükseklik pistonunu kontrol eden selenoid valfler için tasarlanmıştır. Anlık verilerin kayıt altına alınması için sisteme SD kart modülü ilave edilmiştir.



Şekil 4.10. Elektronik yükseklik kontrol sistemi kontrol ünitesi ve sensörler

Bitki yükseklik algılayıcı sensör, bıçak konum sensöründen yatay olarak 30 cm öne monte edilirken her iki sensör yerden 130 cm yüksekliğe monte edilmiştir (Şekil 4.11).

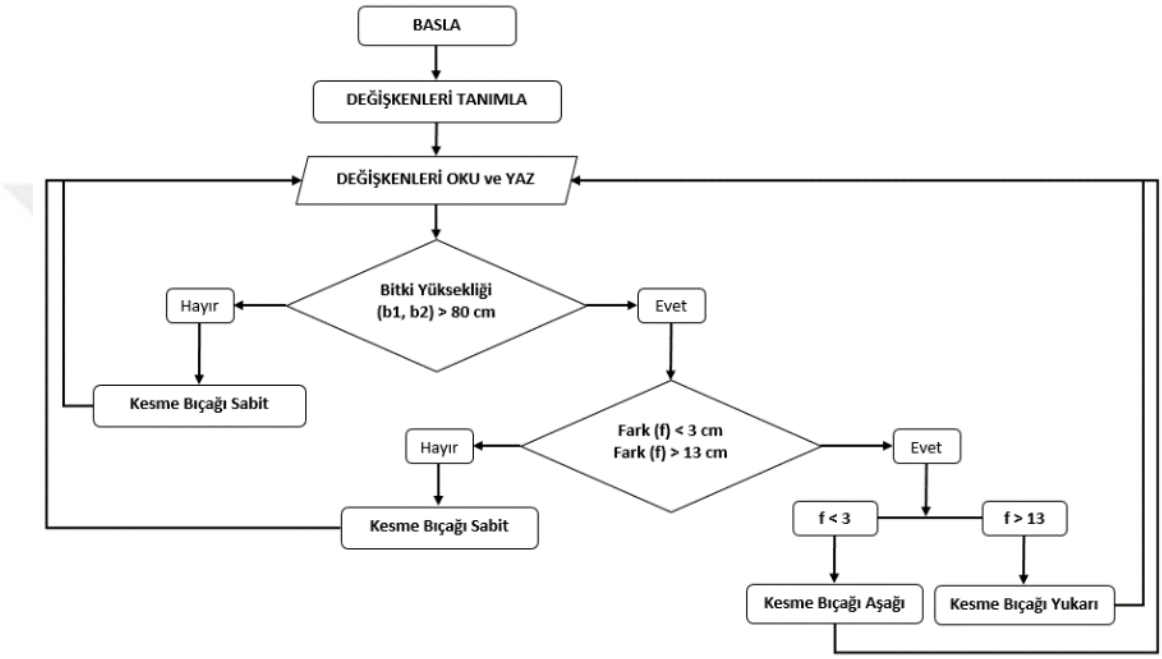


Şekil 4.11. Yükseklik algılama sensörlerin makinedeki pozisyon görünümü

Bitki yüksekliği minimum 80 cm olarak dikkate alındığında sensörden ölçülen maksimum yükseklik 50 cm olarak dikkate alınmıştır. Her iki sensörden anlık gelen veriler kontrol kartında değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda ölçülen yükseklik değeri 50 cm'den az (80 cm bitki yüksekliğinden fazla) ve sonrasında iki sensör arasındaki yatay fark 3 cm'den az ve 13 cm'den fazla ise bıçak hareket etmekte, değil ise bıçak olduğunu konumda çalışmaya devam etmektedir (Şekil 4.12). Sistem

algoritmasının çalışabilmesi için Arduino programı ile yazılan açık kaynak kodun bir bölümü EK-3'de verilmiştir.

Sistem iki sıralı olarak tasarlanmıştı; ancak ikinci yıl denemelerinde kullanılabilen traktörün hidrolik debisi yeterli olmadığından dolayı arazi denemelerinde sıranın biri iptal edilmiş, arazi denemeleri tek sıralı olarak yapılmıştır.



Şekil 4.12. Bitki yüksekliği algılama ve kontrol sistemi çalışma algoritması

Arazi denemelerine başlamadan önce çalışma için kullanılan New Holland L65 model traktör için farklı devir ve vites kademelerinde hız değerleri test edilmiştir. İlk yıl denemelerde üç farklı bıçak devri test edilmiş bıçak devir hızı önceki hesaplamalarda ortalama 1700 1/min olarak bulunmuştu. Bıçağı hareket ettiren piston ile birlikte çalıştığı düşünüldüğünde ortalama traktör motor devir hızının ortalama 1500 1/min olması gerektiği ön deneme sonuçlarında belirlenmiştir. Bu sebeple bıçak devir hızının 1700 1/min olabilmesi için traktörün motor devir hızı 1500 1/min da sabit tutulmuştur. Tüm hız test değerleri 1500 1/min'da yapılmıştır. Arazi denemeleri 2,62, 3.54, 3.96, 5.62 ve 6,45 km/h olmak üzere 5 farklı hız kademesinde yapılmıştır. Çalışma öncesi traktör hız ayar değerleri sonuçları ve hesapları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Zaman değerleri 250 mikro saniyede bir kayıt yapacak şekilde ayarlanmıştır. Bir saniyede 4 kayıt yapılmıştır. Grafiklerdeki zaman değerleri her bir kayıt sayısının saniye değeri olarak gösterilmiştir. 3,54 km/h hızında toplam 482 kayıt yapılmış olup 482/4=120,5 s = 2 dakika sürede budama işlemi tamamlanmıştır. 396 km/h hızında toplam 619 kayıt yapılmıştır.

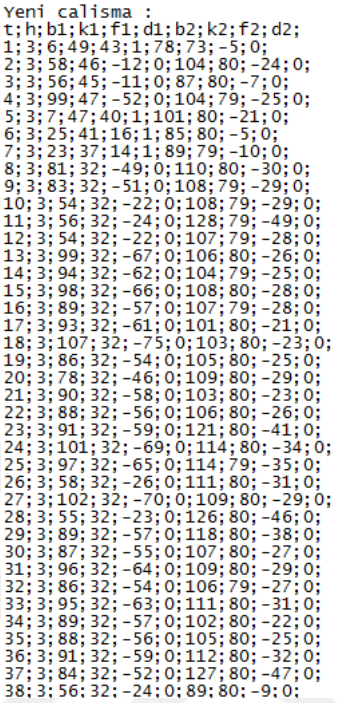
Çizelge 4.4. Deneme öncesi traktör-kesme bıçakları hız (1/min) ayar sonuçları

Motor Devri	**Bıçak devri**	**1. Sıra yukarı çalışırken bıçak devri**
600	1007	
700	1162	
800	1327	
900	1451	1107
1000	1603	1305
1100	1757	1360
1200	1876	1480
1300	2089	1555
1400	2238	1658
1500	**2369**	**1740**
1600	2535	1880
1700	2670	1995
1800	2832	
1900	3050	
2000	3109	

Motor devri	**Takviye**	**Vites**	**10 m zaman (s)**	**İlerleme hızı (km/h)**	**Deneme**
1500	1	1	30.17	1.19	
1500	1	2	21.9	1.64	
1500	1	3	13.72	**2.62**	**3**
1500	1	4	10.16	**3.54**	**1**
1500	2	1	12.95	2.78	
1500	2	2	9.08	**3.96**	**2**
1500	2	3	6.41	**5.62**	**4**
1500	2	4	4.41	8.16	
1500	3	1	5.58	**6.45**	**5**
1500	3	2	4.32	8.33	
1500	3	3	3.47	10.37	
1500	3	4	2.64	13.64	

Arazi denemelerine başlamadan önce kayıt işlemini ve sonuçları kontrol amaçlı ön deneme yapılmış ve örnek log kayıt çıktıları alınmıştır (Şekil 4.13). 2,62 km/h hızında toplam 804 kayıt yapılmıştır. 5,62 km/h hızında 403 adet kayıt yapılmıştır. 6,45 km/h hızında 390 kayıt yapılmıştır. Kayıt işlemleri parsel başında başlatılmış parsel sonunda

durdurulmuştur. Bu sebeple kesme ünitesi yüksekliği genel olarak bir önceki işlemin bittiği yükseklikte sabit kalmış ve bir sonraki parsele bu yükseklikte başlamıştır.



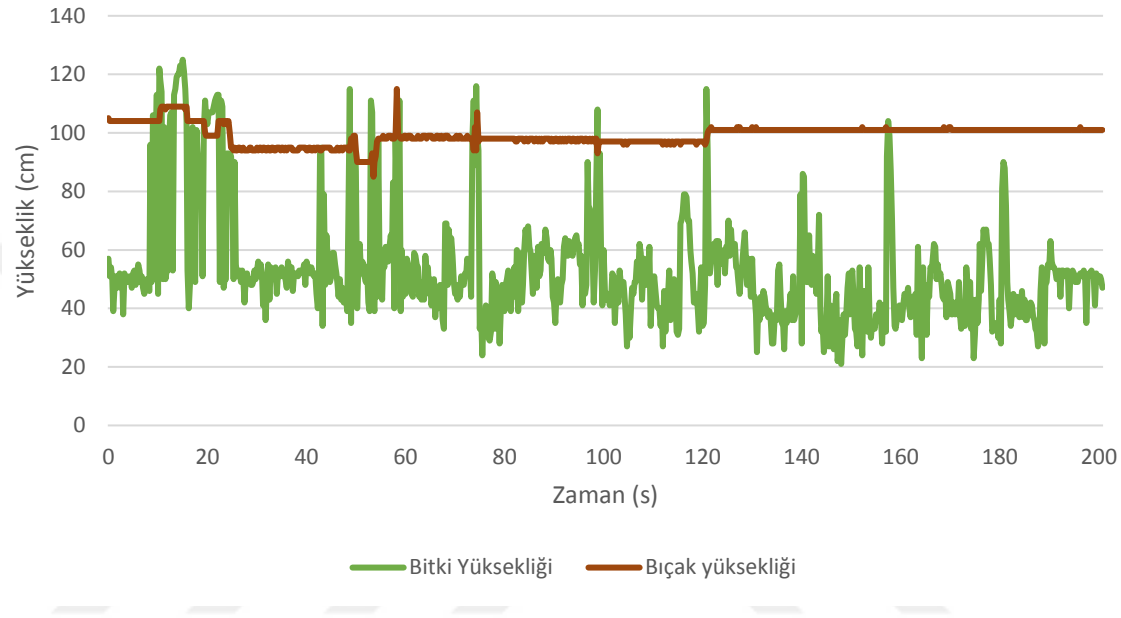
```
Yeni calisma :
t;h;b1;k1;f1;d1;b2;k2;f2;d2;
1;3;6;49;43;1;78;73;-5;0;
2;3;58;46;-12;0;104;80;-24;0;
3;3;56;45;-11;0;87;80;-7;0;
4;3;99;47;-52;0;104;79;-25;0;
5;3;7;47;40;1;101;80;-21;0;
6;3;25;41;16;1;85;80;-5;0;
7;3;23;37;14;1;89;79;-10;0;
8;3;81;32;-49;0;110;80;-30;0;
9;3;83;32;-51;0;108;79;-29;0;
10;3;54;32;-22;0;108;79;-29;0;
11;3;56;32;-24;0;128;79;-49;0;
12;3;54;32;-22;0;107;79;-28;0;
13;3;99;32;-67;0;106;80;-26;0;
14;3;94;32;-62;0;104;79;-25;0;
15;3;98;32;-66;0;108;80;-28;0;
16;3;89;32;-57;0;107;79;-28;0;
17;3;93;32;-61;0;101;80;-21;0;
18;3;107;32;-75;0;103;80;-23;0;
19;3;86;32;-54;0;105;80;-25;0;
20;3;78;32;-46;0;109;80;-29;0;
21;3;90;32;-58;0;103;80;-23;0;
22;3;88;32;-56;0;106;80;-26;0;
23;3;91;32;-59;0;121;80;-41;0;
24;3;101;32;-69;0;114;80;-34;0;
25;3;97;32;-65;0;114;79;-35;0;
26;3;58;32;-26;0;111;80;-31;0;
27;3;102;32;-70;0;109;80;-29;0;
28;3;55;32;-23;0;126;80;-46;0;
29;3;89;32;-57;0;118;80;-38;0;
30;3;87;32;-55;0;107;80;-27;0;
31;3;96;32;-64;0;109;80;-29;0;
32;3;86;32;-54;0;106;79;-27;0;
33;3;95;32;-63;0;111;80;-31;0;
34;3;89;32;-57;0;102;80;-22;0;
35;3;88;32;-56;0;105;80;-25;0;
36;3;91;32;-59;0;112;80;-32;0;
37;3;84;32;-52;0;127;80;-47;0;
38;3;56;32;-24;0;89;80;-9;0;
```

Şekil 4.13. Örnek log kayıt çıktıları

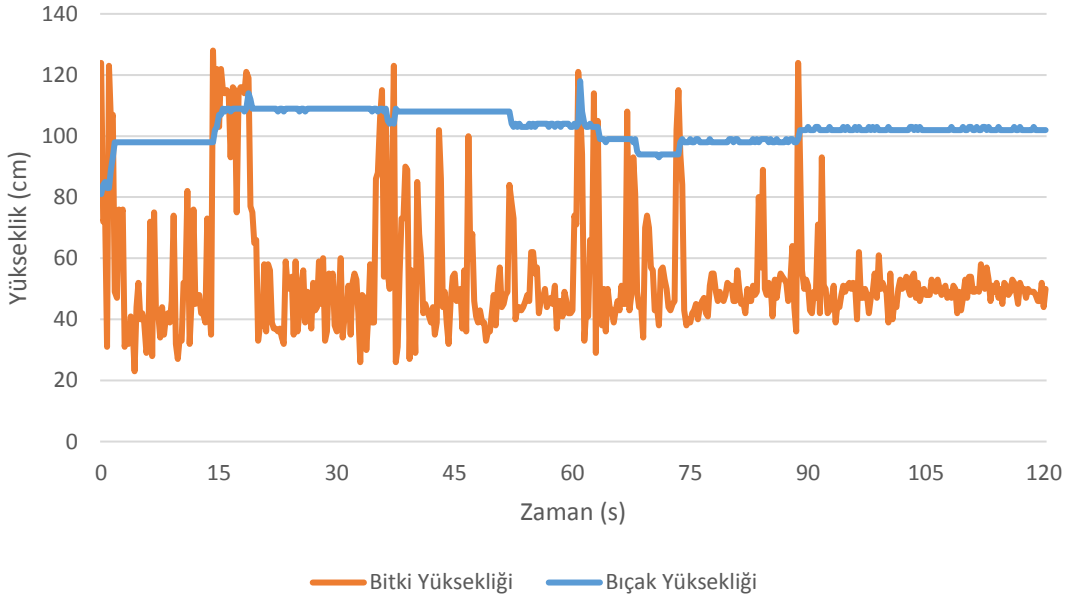
Şekil 4.14'de 2,62 km/h hızdaki (3 nolu deneme) anlık ölçüm yapılan bıçak ve bitki yüksekliği değerleri verilmiştir. Ölçülen bitki boyu değerlerinin küçük olduğu durumlarda kesici ünitesinin önceki konumunu koruduğu ve hareket etmediği görülmektedir. Bitki yükseklik değerinin en yüksek 125 cm, en küçük ise 21 cm ölçüldüğü görülmüştür. Bitki boyu yüksekliklerindeki değişim ile kesici bıçağın yüksekliğinin de bitki boyu ile uyumlu bir şekilde değiştiği tespit edilmiştir. Burada 80 cm altındaki bitkilerin kesilemediği ve bitki boyu farkının yüksek olduğu yerlerde iş başarısının da düşük olduğu görülmüştür.

Ayrıca Şekil 4.14 de büyümesini neredeyse tamamlamış olan veya vejetatif olarak gelişimi hızlı olan 100 cm ve daha yüksek bitkilerin tamamı sistem tarafından kesilmiş ancak vejetatif olarak bu yüksekliğe ulaşmamış veya yavaş büyüyen bitkiler 80 cm'den uzun olsalar da kesilmemiştir. Ancak, set değeri 80 cm olarak ayarlandığı için kesilmeyen

ve 80 cm'den yüksek bitkiler kesme açısından başarısız olarak hesaplanmıştır. Kısa bitkilerin tepelerinin kesilememiş olması generatif büyüme açısından olumsuzluk yaratabilir, ancak bu araştırmada geliştirilen tepe kesme makinesinin hidro-mekanik özellikleri nedeniyle daha geniş bir strok aralığında çalışması teknik olarak mümkün görülmemiştir.



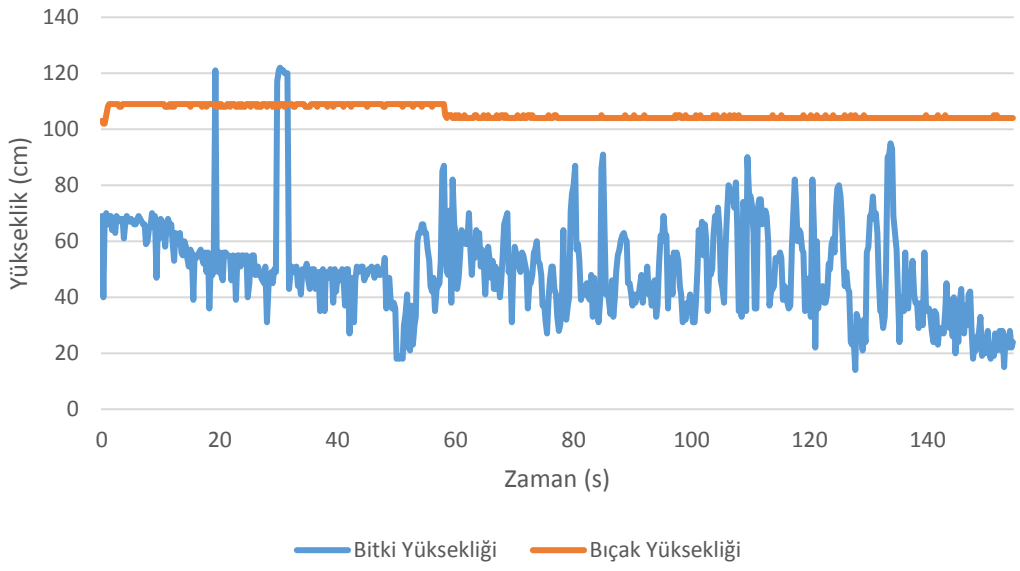
Şekil 4.14. 2,62 km/h hız değerlerindeki zaman-yükseklik grafiği



Şekil 4.15. 3,54 km/h hız değerlerindeki zaman-yükseklik grafiği

Şekil 4.15'de 3,54 km/h (1 nolu deneme) hızdaki anlık ölçüm yapılan bıçak ve bitki yüksekliği değerleri verilmiştir. Traktör hızının 3,54 km/h olduğu deneme sonucunda bıçak yüksekliğinin genel olarak bitki yüksekliği ile orantılı olarak değiştiği görülmektedir. Bıçak yüksekliği 80 cm ile başladığı ve sonrasında genel olarak sabit trendde ilerlediği görülmüştür. En yüksek ölçülen bitki yükseklik değeri 128 cm, en düşük değer ise 23 olarak tespit edilmiştir. Sistem anlık ölçüm yaptığı için en küçük değerlerin bitkinin tepe noktası değil yaprak veya yan dal olduğu düşünülmektedir.

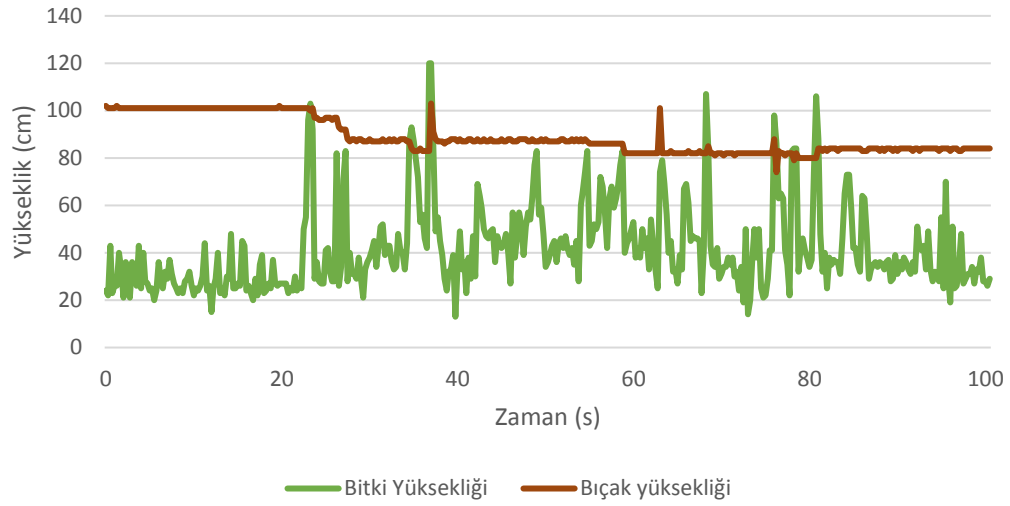
Şekil 4.16'de 3,96 km/h hızdaki (2 nolu deneme) anlık ölçüm yapılan bıçak ve bitki yüksekliği değerleri verilmiştir. Traktör hızının 3,96 km/h olduğu deneme sonucunda bitki boylarının 80 cm değerinin altında olmasından dolayı kesme işlemi çok fazla gerçekleşmemiştir. Fakat sistem çalışma prensibi gereği işlevini yerine getirmiş ve 80 cm altındaki bitki boylarından dolayı konumunu korumuştur. Bitki yüksekliği göstergesinin en yüksek değeri 122 cm, en küçük değeri 14 cm olarak ölçülmüştür.



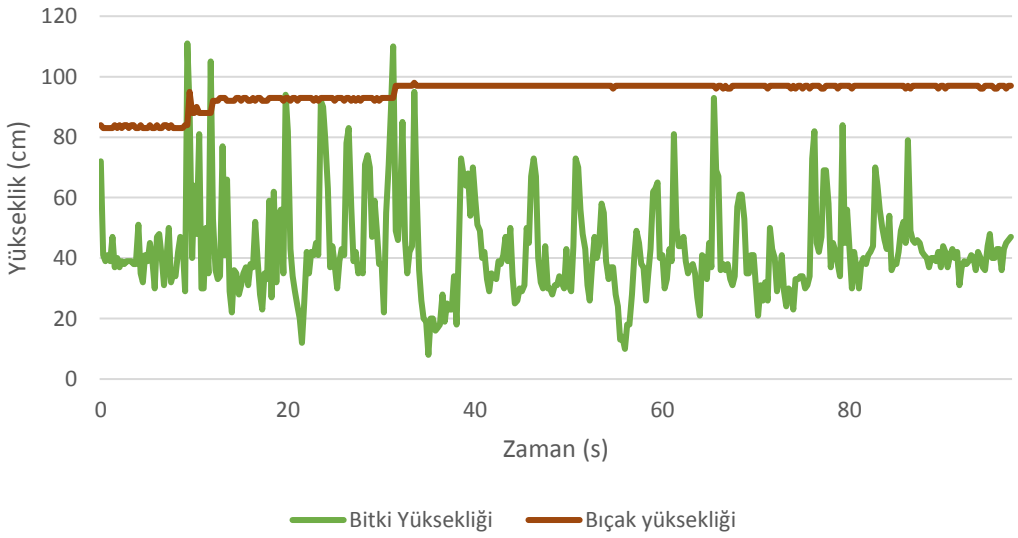
Şekil 4.16. 3,96 km/h hız değerlerindeki zaman-yükseklik grafiği

Şekil 4.17'da 5,62 km/h hızdaki (4 no.lu deneme) anlık ölçüm yapılan bıçak ve bitki yüksekliği değerleri verilmiştir. Traktör hızının 5,62 km/h olduğu deneme sonucunda bitki boylarının 80 cm den büyük olan zamanda bıçak yüksekliğinin de bitki boyu ile orantı olacak şekilde değiştiği görülmektedir. Bitki yüksekliği göstergesinin en yüksek değeri 120 cm, en küçük değeri 13 cm olarak ölçülmüştür. İlk 20 saniyede bitki boyu ve

bıçak yüksekliğinin sabit kalmasının sebebi sistemin şeride girilmeden önce çalıştırılması ve yabancı otların yüksekliklerinin algılanmasıdır.



Şekil 4.17. 5,62 km/h hız değerlerindeki zaman-yükseklik grafiği



Şekil 4.18. 6,45 km/h hız değerlerindeki zaman-yükseklik grafiği

Şekil 4.18'da 6,45 km/h hızdaki (5 no.lu deneme) anlık ölçüm yapılan bıçak ve bitki yüksekliği değerleri verilmiştir. Traktör hızının 6,45 km/h olduğu deneme sonucunda ölçülen bitki boyu değerlinin çok küçük olduğu durumlarda kesici ünitesinin önceki konumunu koruduğu ve hareket etmediği görülmüştür. Bitki boyu yüksekliklerindeki

değişim ile kesici bıçağın yüksekliğinin de bitki boyu ile uyumlu bir şekilde değiştiği tespit edilmiştir. Burada 80 cm'de kısa bitkilerin kesilmediği ve bitki boyu farkının yüksek olduğu yerlerde iş başarısının düşük olduğu görülmüştür.

Tüm grafik sonuçları birlikte değerlendirildiğinde yataydaki aynı zaman serisinde bitki boylarına göre kesme ünitesinin de hareket ettiği görülmektedir. Bazen kesme ünitesinin tepki süreli gecikmeli olmuş bazen de hareket etmemiştir. Hız değerlerinin yüksek olduğu ve bitki boyunun 80 cm altına olan denemelerde kesme ünitesinin daha az hareket ettiği görülmüştür.

Çizelge 4.5 değerlendirildiğinde 1. deneme sırasında şerit üzerinde toplam 19 bitki bulunmuş ve bunun 11 tanesinin tepesi kesilmiştir. Üç adet bitkinin yüksekliği de 80 cm ve altında kalmıştır. 1. Deneme sonucunda iş başarısı %73,68 olarak tespit edilmiştir. 2. Deneme yakın mesafede çok fazla bitki olduğu için 30 bitki seçilmiştir ve bunun 17 tanesinin tepe kesme işlemi gerçekleşmiştir. 3 tane bitkinin boyu 80 cm altında kaldığı için işlem yapılmamıştır. İş başarısı %70 olarak tespit edilmiştir. 3. Deneme 15 bitki seçilmiş ve bunun 10 tanesinin tepe kesme işlemi gerçekleşmiştir. İş başarısı %73,33 olarak tespit edilmiştir. 4. Deneme 25 bitki seçilmiş ve bunun 14 tanesinin tepe kesme işlemi gerçekleşmiştir. 2 tane bitkinin boyu 80 cm altında kaldığı için işlem yapılmamıştır. İş başarısı %76 olarak tespit edilmiştir. 5. Deneme yakın mesafede çok fazla bitki olduğu için 29 bitki seçilmiş ve bunun 5 tanesinin tepe kesme işlemi gerçekleşmiştir. 10 tane bitkinin boyu 80 cm altında kaldığı için işlem yapılmamıştır. İş başarısı %72,41 olarak tespit edilmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde en yüksek kesme başarısının 4. denemede elde edildiği görülmektedir. Tüm deneme sonuçları birlikte değerlendirildiğinde toplam kesme başarısı %73,09 olarak tespit edilmiştir. Sistemin yaklaşık %30 kadar bir hata ve kayıp oranı vardır. Bu hata ve kayıplar; arazinin yapısı, bitki çeşidi, kullanılan sensör ve diğer malzemeler, hidrolik tahrik kaynağı ve algoritma yapısı gibi değişkenler ele alınarak azaltılabilir.

Chen ve Shi (2017)'nin bulgularına göre, pamuk tepe kesmede en uygun ilerleme hızı 1.1 km/h ve kesme uzunluğu 11 cm'dir. Araştırıcılar, doğru kesilmiş tomurcuk yüzdesini %74 olarak raporlamıştır. Peng ve ark. (2018) tepe alma işleminde 3.24 km/h hıza kadar

Çizelge 4.5. Otomatik tepe kesme uygulama öncesi ve sonrası bitki boyu değerleri

1 Nolu Deneme Bitki Boyu			2 Nolu Deneme Bitki Boyu			3 Nolu Deneme Bitki Boyu			4 Nolu Deneme Bitki Boyu			5 Nolu Deneme Bitki Boyu			Genel
Öncesi	sonrası	İşBaşarı	Öncesi	sonrası	İşBaşarı	Öncesi	sonrası	İşBaşarı	Öncesi	sonrası	İşBaşarı	Öncesi	sonrası	İşBaşarı	İşBaşarı
130	107	**73.68**	84	84	**70**	104	95	**73.33**	90	84	**76**	115	95	**72.41**	**73.09**
96	96		78	78		130	105		84	84		100	96		
113	102		105	100		124	96		95	90		72	72		
118	106		88	84		136	107		120	105		70	70		
76	76		84	84		120	105		95	90		105	96		
104	104		94	88		136	105		86	86		65	65		
116	109		82	82		80	80		95	90		88	87		
94	94		73	73		102	96		90	80		88	88		
80	80		110	105		93	93		86	86		78	78		
108	108		105	98		125	105		100	96		84	84		
80	80		90	85		90	90		140	94		70	70		
136	106		83	83		120	105		128	87		90	90		
116	94		75	75		100	100		95	95		110	107		
120	96		84	84		105	100		77	77		80	80		
105	95		85	85		100	100		80	80		90	90		
96	90		95	91					80	80		70	70		
94	94		95	90					70	70		70	70		
105	100		90	85					95	95		70	70		
132	105		104	100					115	85		70	70		
			90	85					70	70		80	80		
			90	85					120	90		80	80		
			86	86					115	90		68	68		
			100	94					120	86		80	80		
			80	80					115	86		100	98		
			115	108					82	82		93	93		
			94	90								88	88		
			88	88								83	83		
			115	110								75	75		
			120	106								85	85		
			120	105											

ilerleme hızlarında %90'a kadar tepe alma başarısı elde edilebileceğini göstermiştir. Song ve ark. (2019) ise laboratuvar koşullarında yapılan denemelerde 0,625 m/s ilerleme hızında %76 dolayında pamuk tepe kesme başarısı elde etmiştir. Önceki araştırmalarla karşılaştırma yapıldığında, bu araştırmada geliştirilen iki sıralı prototip makine için bulunan tepe kesme başarısının artırılmasının gerekli olduğu söylenebilir. Bunun için daha düşük ilerleme hızlarında ve farklı sensör yatay mesafelerinde de deneyler yapılması önerilebilir.

Önceki araştırıcılardan Hu ve ark. (2003) geliştirdikleri pamuk tepe kesme makinesinin yapısal olarak basit ve kullanımının kolay olduğunu ifade etmiştir. Bu araştırmada geliştirilen iki sıralı hidrolik tahrikli tepe kesme makinesinin de yapısal olarak basit olduğu, sökme ve takma işlemlerinin iki kişi ile yapılabileceği ve hafif bir konstrüksiyona sahip olduğu söylenebilir. Hu ve Wu (20017) geliştirdikleri pamuk tepesi budama makinesinin verimi artırdığını ifade etmiştir. Bu araştırmanın ilk yıl denemelerinde de pamuk tepesi kesilen parsellerde kontrol parsellerine göre yüksek verimin alındığı uygulamalar olduğu görülmüştür. Tepe budamanın geç kalınmadan yapılmasının ürün verimini daha da artıracağı tartışılabilir. Bu çerçevede bu araştırmada geliştirilen otomatik kontrollü tepe kesme makinesinin gerek yapısal basitlik ve kolay kullanılabilirlik açısından gerekse verime yaptığı olumlu etki açısından literatür ile uyumlu olduğu ifade edilebilir.

Bu araştırmada geliştirilen makine traktöre bağlı olarak çalışacak şekilde geliştirilmişken, bazı başka araştırıcılar da kendi-yürür pamuk tepe kesme makinesi prototipi geliştirme hedefi doğrultusunda çalışmıştır (Zhou ve ark., 2010). Kendi-yürür tepe kesme makinelerinde kullanılan tepe kesme düzenleri diğer yaklaşımlardan işlevsel ve yapısal olarak çok farklılık göstermemektedir, ancak toprak aralığının yüksek olması nedeniyle pamuk bitkisine fiziksel hasar verme olasılığı ortadan kaldırılmış olmaktadır. Bu araştırmada geliştirilen iki sıralı pamuk tepe kesme makinesi de standart bir tarım traktörüne takılarak değil, yüksek çatılı bir traktör üzerinde çalıştırılarak bitkilerin gövde, sürgün ve yan dallarına zarar vermeden çalıştırılabilir. Tepe kesme ünitesi/üniteleri, bu çalışmada tasarlanan ataşman veya benzeri başka bir ataşman kullanılarak kendi yürür araçlara kolaylıkla adapte edilebilir.

Bu çalışmada geliştirilen makinenin mevcut haliyle pamuk tepe sürgünlerinin kesilmesi için kullanılabilecek özellikte olduğu iddia edilebilir. Böyle bir makine, El-Ganayni ve ark. (1984) ve Naguib ve ark. (1987)'nin ifade ettiği gibi, erken veya geç dönemlerde 15 gün ara ile kullanılarak kütlü pamuk verimini maksimize etmek ve koza ağırlığını artırmak için kullanılabilir. Uç alma işleminin makineli hasadı kolaylaştırıcı bir etkisi olduğu (Aleev ve ark., 1991) değerlendirildiğinde, bu çalışmada geliştirilen prototip ve benzerlerinin pamuk hasat mekanizasyonu açısından da önemli olduğu söylenebilir.

Bu araştırma sonucunda belirli bir tepe kesme başarı oranı sağlayan otomatik kontrollü elektro-hidro-mekanik bir prototip makinenin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Gelecekte yapılacak çalışmalar, sistemin kesme oranını yükseltmek için farklı pamuk çeşit özelliklerini de göz önüne alan donanımsal ve yazılımsal geliştirmelere odaklanmalıdır.

Bu prototip çalışmasında işlevsel bir tepe kesme makinesi tasarımı ve uygulamasına odaklanılmıştır. Sistemin alt bileşenlerinin geliştirilmesi olanaklıdır. Örneğin, kesme düzeninde piyasada kolay bulunabilen ve çim biçme makinelerinde sıkça kullanılan bir bıçak tipi kullanılmıştır. Kesme enerjisinin azaltılması veya bıçak ömrünün uzun olması gibi konular da önemlidir. Bu çerçevede farklı bıçak tiplerinin ele alınarak test edilmesi gerekecektir. Benzer şekilde bu araştırmada üç farklı bıçak dönü hızı test edilmiş ve en uygun dönü hızı belirlenmeye çalışılmıştır. Dönü hızının çok farklı hızlarda test edilmesi ve kesme etkinliğini araştırılması mümkün olabilir. Böylece, özellikle hidrolik tahrikli sistemlerde debi gereksiniminin optimize edilmesi ve dolayısıyla tepe kesme için gerekli kesme enerjisinin azaltılması da belki mümkün olabilir.

Sistem geliştirme sürecinde kolay bulunabilen ve ucuz bir yükseklik sensörü tipi seçilmiştir. Başka araştırmalarda (Zhou ve ark., 2010; Zhang ve Grift, 2012; Andrade-Sanchez ve ark., 2014; Chang ve ark., 2017; Thompson ve ark., 2019; Bronson ve ark., 2020) olduğu gibi lazer ve LİDAR sensörleri gibi alternatiflerin de tepe kesme makinelerine teknik ve ekonomik olarak uygunluğunun incelenmesinde yarar olacağı söylenebilir.

Geliştirilen sistemin teknik özelliklerini etkileyebilecek bir başka konu ise ele alınan pamuk çeşidi veya çeşitlerinin fiziksel özellikleri olabilecektir. Bu araştırmada yalnız bir pamuk çeşidi kullanılmıştır. Gözlemlere göre, farklı pamuk çeşitlerinin boyları, taç çapları ve yan dal özellikleri ile bitki sıklıkları çok farklı olabilir. Ayrıca, tarla içinde en kısa ve en yüksek bitkilerin boyları arasındaki fark da oldukça fazla olabilir. Ayrıca, üreticinin bitki büyümesini yakından ilgilendiren kültürel işlemleri (toprak işleme, gübreleme, sulama, çapalama ve ilaçlama) nasıl yaptığı da bitki büyümesini doğrudan ilgilendirmektedir. Bu durum, tasarlanan kesme ünitesinin stroğu ve düşey yöndeki hız gereksinimi gibi teknik konuları etkileyecektir. Bu araştırmada geliştirilen prototip makine, spesifik olarak DP-499 pamuk çeşidi için uygun bir tasarıma sahip olmakla beraber bu çeşide benzer fiziksel özelliklere sahip tüm pamuk çeşitleri için uygun olacaktır.

5. SONUÇ

Bu araştırmada yapılan çalışmalar ve elde edilen bulgular şu şekilde özetlenebilir:

Önceki yapılmış araştırmaların sonuçları değerlendirildiğinde bitkiye ait agronomi alanında yapılan çalışmalara ek olarak tepe kesme için mekanizasyon olanaklarının araştırılması ve ülkemiz koşullarında pamuk tepe kesme makinasının geliştirmesinin gerekli ve önemli olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada, prototip makine tasarım ve imalatından önce pamuk bitkisini tepe noktasından belirli mesafede kesebilmek için pamuk sürgün örneklerinin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Araştırılan fiziksel özellikler DP-449 pamuk çeşidi için bitki boyu, bitki genişliği, nem içeriği, gövde çapı ve kesit alanıdır. İncelenen mekanik özellikler ise iki farklı kesme yüksekliğinde kesme kuvveti, kesme gerilimi, kesme enerjisi ve özgül kesme enerjisidir.

Bölge A (0-15 cm) ve Bölge B'den (16-30 cm) elde edilen pamuk sürgün saplarının ortalama nem içeriği ve çapları farklı bulunmuştur. Gövde örneklerinin nem içeriği ve ortalama çapı, Bölge A'da sırasıyla %75 ve 4,35 mm ve Bölge B'de %64,8 ve 5,79 mm'dir. Sapın bölgesinde kesildiği yükseklik, kesme özellikleri üzerinde etkili olmuştur. Kesme kuvveti, kesme direnci, kesme enerjisi ve özgül kesme enerjisi, Bölge A'da 0,073 kN, 4949 MPa, 1,025 J ve 0,069 J/mm^2 ve Bölge B'de 0,121 kN, 4,652 MPa, 2,04 J ve 0,078 J/mm^2 olarak belirlenmiştir. Kesme yüksekliğinin etkisi ve dolayısıyla ortalama gövde çapının etkisi, kesme gerilimi (%5) dışındaki tüm mekanik özellikler için %1 düzeyinde anlamlıdır. Benzer şekilde, aynı kesme yüksekliğinde nem içeriğinin etkisi önemliydi. Literatürde tepe kesme işleminin pamuk bitkisinin vejetasyon döneminde 100 ve 120inci günler arasında yapılması gerektiği ifade edildiğinden, ilk yıl denememeleri bir pamuk tarlasında yapılmıştır. Tepe kesme sırasında gerekli olan kesme enerjisini azaltmak için, dikimden itibaren mümkün olduğunca erken tepe kesme işlemi yapılması gerekmektedir. Bulgulara göre, tepeye en yakın sürgünlerin kesilmesi için gerekli enerji alt bölgelere göre daha az bulunduğundan kesme enerjisi ihtiyacını azaltmak için kesme işlemi, mümkün olan en tepeye en yakın yerde (A Bölgesinde) yapılmalıdır.

Sonraki aşamada pamuk bitkisinden elde edilen fiziksel ve mekanik özelliklere göre makine tasarımına geçilmiştir. Bir tarım traktörünün önüne takılarak çalıştırılan iki sıralı bir pamuk tepe kesme makinesinin mekanik sistemi ölçülendirilmiş, katı modelleme ile tasarımı yapılmış ve hidrolik sistem tasarımı yapılmıştır. Bu makine, pamuk bitkisinin tepe sürgünlerini tepeden 10-15 cm kadar kesmek üzere iki adet hidromotor ile tahrik edilen kesme bıçaklarına sahiptir. Bitki yüksekliği değiştiğinde bıçakların yüksekliğini değiştirmek üzere kesici düzeni aşağı yukarı hareket ettiren hidrolik silindirler kullanılmıştır. Hidromotor kesme hızı 1500-2500 1/min arasında ayarlanabilir. Kesici ünitelerin bağlı bulunduğu çatı, ayrıca bir ana kaldırma silindiri ile indirilip kaldırılabilmektedir.

Pamuk tepe kesme makinesi tasarımı genel olarak tamamlandıktan sonra gecikmeli olarak 2016 Ağustos ayı ortalarında arazi deneme sürecine geçilmiştir. Deneme işleminde iki farklı kesici tipi, üç farklı traktör hızı ve üç farklı kesici hızı denenmiştir. Bıçak tiplerinde misina ve bıçak kullanılmış, traktör hızları 3, 5 ve 10 km/h ve kesici bıçak hızları 2000 1/min, 1500 1/min ve 1250 1/min devir seçilmiştir. Tasarlanan tepe kesme makinesi arazi şartlarında çalışmış ve istenilen işlemleri yerine getirmiştir. Genel olarak devir sayısının düşük olduğu yerlerde bıçak, yüksek olduğu yerlerde misina daha verimli olmuştur. Kullanımı ömrünün uzun olması açısından bıçak tipi kesicilerin düşük devirde kullanılması, böylece hidrolik yağ debi gereksiniminin düşürülmesi önerilebilir. Çok sıralı makine tasarımı gerekli olduğunda hidrolik tahrikli bir tepe kesme makinesi için yüksek debili büyük bir traktör veya hidrolik güç paketi gerekli olacaktır. Bu nedenle, bir genelleme yapılmak istenirse bu çalışma sonucunda bıçak tipi kesici kullanımı önerilir

İlk yıl denemelerinde kesme işlemi sonrasında gözleme dayalı analiz sonucunda parsellerde tepe kesme oranının %70-80 oranında gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Parsellerin genel ortalaması dikkate alındığında en yüksek pamuk verimi (267,19 kg/da) BT2H1 parselinde tespit edilmiştir. Tekerrürlerde yapılan işlemlerde verim değerleri kontrol parsellerin verim değerlerinden yüksek olduğu görülmüştür. İstatiksel analiz sonuçlarında tepe kesme işlemi yapılan pamuk parselleri ile tepesi kesilmeyen kontrol parselleri arasında istatiksel olarak pamuk verimi $p<0.01$ düzeyde anlamlı çıkmıştır. Sonuç olarak, tepe kesme işleminde bazı parsellerin pamuk verimine olumlu etki ettiği

görülmüştür. Bu araştırmada tepe kesme işlemi hedeflenen tarihten daha geç ve önerilen tepe kesme tarihlerinin son zamanlarında yapılabilmiştir. Daha erken tepe budama işleminin ürün verimini daha fazla etki edebileceği de ön görülebilir.

Bitki yüksekliğini otomatik olarak algılayan Bitki Yükseklik Kontrol Sitemi (BIYKOS) geliştirilmiştir. Sistemi test etmek için Bursa Uludağ Üniversitesi üretim alanları içerisindeki bir ayçiçeği tarlası kullanılmıştır. Deneme sonuçlarına göre; kesme başarıları 1 (3,54 km/h), 2 (3,96 km/h), 3 (2,52 km/h), 4 (5,62 km/h) ve 5. Denemede (6,45 km/h) sırasıyla %73,68, %70, %73,33, %76 ve %72,41 olarak tespit edilmiştir.

En yüksek verimin 4. denemede elde edildiği ve tüm deneme sonuçları birlikte değerlendirildiğinde toplam iş başarısının %73,09 olduğu bulunmuştur. Buna göre, otomatik kontrollü yükseklik algılama ve tepe kesme sistemi yaklaşık %27 kadar hata ile çalışmıştır. Hata ve kayıplar; arazinin yapısı, bitki çeşidi, kullanılan sensör ve diğer malzemeler, hidrolik tahrik kaynağı ve algoritma yapısı faktörlerden değişik düzeylerde etkilenmiş olabilir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda bu faktörlerin etkisi mimimize edilerek sistem performansı artırılabilir ve bitki yüksekliğinin algılanması ve pamuk tepe kesme işlemlerinin daha hassas bir şekilde yapılması sağlanabilir. Sonuç olarak kesme başarısının artırılmasının, elde edilecek verimin de artırılmasına katkı sağlayabileceği de söylenebilir.

Bu çalışmanın bulguları, pamuk tepe kesme makineleri ile pamuk bitkilerinin yandan budaması için geliştirilecek yöntem ve uygulamalarla ilgili olabilir. Farklı pamuk çeşitlerinden elde edilen daha detaylı bilgiler, pamuk bitkilerinin ve sürgünlerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini daha geniş bir perspektifte karakterize etmek için faydalı olacaktır.

Bu araştırmanın sonucunda şu önerilerde bulunulabilir:

1- Farklı pamuk çeşitlerinin fiziksel yapıları (ana sürgün yüksekliği ve genişliği, yan dal yüksekliği ve genişliği vb.) farklı olabileceğinden tüm pamuk çeşitleri veya pamuk çeşitlerinin önemli bir bölümü için uygun olabilecek bir tepe kesme makinesi tasarım yapılabilir.

2- Bu araştırmada 3 farklı bıçak devir sayısı test edilmiştir. Kesme enerjisi gereksinimini en aza indirmek için, en uygun bıçak dünü hızını belirlemek üzere daha fazla deney yapılabilir.
3- Bu araştırmada piyasada kolay bulunabilen ve çim biçme makinelerinde kullanılan bir bıçak tipi kullanılmıştır. Kesme amacıyla farklı bıçak tipleri de test edilebilir ve en düşük kesme enerjisi elde etmek için dönü hızı deneyleriyle entegre edilmelidir.
4- Kesme oranını artırmak için sensörler arasındaki yatay mesafe, bitki sıklığı, ilerleme hızı ve kesme bıçağının düşey (yukarı-aşağı) hızları arasındaki ilişkiler daha detaylı olarak incelenebilir ve buna uygun geliştirme çalışması yapılabilir.
5- Bıçakların düşey hareketinin tahrik mekanizması için hidrolik tahrik dışında hızlı ve geniş stroklu başka seçenekler düşünülebilir.

KAYNAKLAR

Aleev, B., Solonın, V., Lesntkovsky, A. (1991). Field Crops Abstracts 1992. 045-05678.

Andrade-Sanchez, P., Gore, M.A., Heun, J.T., Thorp, K.R., Carmo-Silva, E., French, A.N., Salvucci, M.E., and White, J.W., (2014). Development and evaluation of a field-based highthroughput phenotyping platform. Functional Plant Biology, 2014, 41, 68–79 http://dx.doi.org/10.1071/FP13126

ASABE, (2008). S358.2: 1:1 Measurement – Forages. 52nded. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St Joseph MI.

Aydin, I. ve Arslan, S., (2016). Pamuk Tepe Kesme Makinesi Tasarımı. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science), 12 (2), 141-147

Bronson, K.F., French, A.N., Conley, M.M. ve Barnes, E.M. (2021). Use of an ultrasonic sensor for plant height estimation in irrigated cotton. Agronomy Journal, 113:2175–2183. DOI: https://doi.org/10.1002/agj2.20552

Chang, Y.K., Zaman, Q.U., Rehman, T.U., Farooqua, A.A., Esau, T. ve Jamel M.W. (2017). A real-time ultrasonic system to measure wild blueberry plant height during harvesting. Biosystems Engineering 157, 35-44. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng. 2017.02.004.

Chen Z Y, Shi L., (2017). Development and test of an automatic height-adjusting cotton topper. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 10(2): 44–55.

Cakır, E. (1995). The Mechanics of Cutting Plant Residue on a Rigit and Soil Surface. Ph. D. Dissertation. Auburn University. Auburn, AL. UMI-Nummer: 9531023

Dai, J., Zheng,W. ve Yang, J.S., (2003). Review on growth and application of cottonmonopodial branches. China Cotton 30 (6), 2–5 (in Chinese).

Dale, J. E. (1959). Some Effects of Continuous Removal of Floral Buds on the Growth of Cotton Plant. Ann. Bot. (London). 23:636-649.

Denizdurduran N., (2008). Kahramanmaraş Koşullarında Yaprak Döktürücü Uygulama Zamanlarının Pamukta (*G. Hirsutum L.*) Verim ve Kalite Özelliklerine Etkisi. Kahramanmaraş Sütçü Imam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Dong, Z.S. ve Han, X.L. (1996). The Validation of GOSSYM in the condition of Huanghuaihai Cotton Region. ActaGossypii Sin. 2(11):164-169 (in Chinese).

Eissa, E., Gomaa, A.H., Baiomay, M.H. ve Ibrahim, A.A. (2008). Physical and mechanical characteristics for some agricultural residues. Misr Journal of Agricaltural Engineering. 25, 121–146.

El-Ganayni, A.E., Fouad, M.H. ve El-Kirsh, I.A. (1984). Effect of topping cotton plants on yield and other characteristics; Agric. Res. Rev; 62(2):157-163.

Farooque, A.A., Chang, Y.K., Zaman, Q.A.,Groulx, D., Schumann, A.W. ve Esau T. (2013). Performance evaluation of multiple ground based sensors mounted on a commercial wild blueberry harvester to sense plant height, fruit yield and topographic features in real-time. Computers and Electronics in Agriculture 91 (2013) 135–144.

Gravolos, I., Ziakas, N., Loutridis, S. ve Gialamas, T. (2019). A mechatronic system for automated topping and suckering of tobacco Plants. Computers and Electronics in Agriculture, 166, 104986. https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104986.

Gençer , O., Özüdoğru, T. , Kaynak, M., A., Yılmaz , A. ve Ören, N. 2005. Türkiye'de pamuk üretimi ve sorunları, Çukurova Üniversitesi Pamuk Araştırma ve Uygulama Merkezi, Adana

Guinn, G., (1985). Fruiting of Cotton: III. Nutritional Stress and Cutout. Crop Science.. 25:981-985.

Gupta, C., Tewari, V.K.,MAchavaram, R. ve Shrivastava, P., (2022). An image processing approach for measurement of chili plant height and width under field conditions. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 21(2022) 171-179. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.07.007

Hu B. ve Wu J. (2007). Experimental study on 3MDZK-12 type cotton topping machine under group control and single row profiling. 2007 International Conference on Agriculture Engineering. ISBN: 978-0-646-48134-0. Oct. 2007.

Hu B., Luo X., Bi X., Wang W., Li M. ve Li S., (2003). A Study of 3MD-12-type Cotton's Top Cuter. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2003-01. (in Chinese with English abstract)

ICAC, (2022). International Cotton Advisory Committe (ICAC), Data Portal. https://www.icac.org/DataPortal/DataPortal?Units=Production&Year=2020/21%20est. Erişim Tarihi: 20. 07.2022

İnce, A., Uğurluay, S., Güzel, E. ve Özcan, M.T. (2005). Bending and shearing characteristics of sunflower stalk residue. Biosystems Engineering, 92 (2), 175–181. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.07.003

Jiang, Y., Li, C. ve Paterson, A.H. (2016). High throughput phenotyping of cotton plant height using depth images under field conditions. Computers and Electronics in Agriculture, 130, 57–68. https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.09.017

Keyes, A.A. (1962). Cotton Topper. Patent No: US 3,017,732. Application filed: 4 September 1959. 23 January 1962.

Khak Pour, M., Fotouhi, R., Hucl, P., Zhang, Q., 2021. Development of a Mobile Platform for Field-Based High-Throughput Wheat Phenotyping. Remote Sens. 2021, 13, 1560. https://doi.org/10.3390/rs13081560

Kim, W., Lee, D., Kim, Y., Kim, T., Lee, W. ve Choi, C. (2021). Stereo-vision-based crop height estimation for agricultural robots . Computers and Electronics in Agriculture 181 (2021) 105937. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105937

Kittock, D.L., Fry, K.E., (1977). Effect of Topping Pima Cotton on Lint Yield and Boll Retention. Agron. J. 69, 65–67.

Kocabıyık, H. ve Kayişoğlu, B. (2004). Determination of cutting properties of sunflower stalk. Journal Agricultural Machinery Science. 10(3), 263-267.

Liao X., Hu B., Liu G. and Yang L. (2011). Motion Analysis and Simulation of the Drum Cutter of Cotton Top－cutting Machine. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2011 (11): 52~ 55. (in Chinese with English abstract)

Ma, J.Z., Wang, D.S. ve Wang, Z.K. (1983). Chinese Cotton Cultivation. 1 st ed. Shanghai Sci. And Tech. Publ. House. Shanghai.

Maldaner, L.F., Molin, J.P., Canata, T.F. ve Martello, M. (2021a). A system for plant detection using sensor fusion approach based on machine learning model. Computers and Electronics in Agriculture 189 (2021) 106382.

Maldaner, L.F., Molin, J.P., Martello, M., Tavares, T.R. ve Dias, F.L.F. (2021b). Identification and measurement of gaps within sugarcane rows for site-specific management: Comparing different sensor-based approaches. Biosystems Engineering 209 (2021) 64-73.

Matthews, J. S. (1931). Cotton Topping Apparatus. Patent No: US 1,790,105. Application filed: 24 November 1928.

Montazeaud, G., Langrume, C., Moinard, S., Gobya, S., Ducanchez, A., Tisseyre, B. ve Brunel, G. (2021). Development of a low cost open-source ultrasonic device for plant height measurements. Smart Agricultural Technology 1 (2021) 100022.

Naguib, M., El-Sayed, A.B., Khattab, A.K. (1987). Effect of cutting the terminal shoots (topping) of cotton plants on the population density of egg-masses of the cotton leaf worm (Spodoptera littoralis. Boisd) and on the cotton yield; Agr. Res. Rev.; 56:9-15.

Obasi,M.O., Msaakpa, T.S., (2005). Influence of Topping. Side Branch Pruning and Hill Spacing on Growth and Development of Cotton (Gossypium barbadense L.) inthe Southern Guinea Savanna Location of Nigeria; Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics Volume 106. No. 2. 2005. pages 155–165

Pakdemirli, B., Birişik, N., Aslan, İ., Sönmez, B., Gezici, M., 2021. Türk Tarımında Dijital Teknolojilerin Kullanımı ve Tarım-Gıda Zincirinde Tarım 4.0 . Toprak Su Dergisi, 2021, 10 (1); 78-87.

Patterson. L.L.. Buxton. D.R.. Briggs. R.E. 1978. Fruiting in Cotton as Affected by Controlled Boll Set. Agronomy Journal. 70:118-122.

Peng, Q., Kang, J., He, Q., Yue, H., Wei, G. ve Jian, S. (2018). Experimental Study of Intelligent Precision Cotton Topping Machine. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 439 (3) (2018) 032081. doi:10.1088/1757-899X/439/3/03208.

Renou, A., Téréta, I., Togola, M., (2011). Manual topping decreases bollworm infestations in cotton cultivation in Mali. Crop Prot. 30 (10), 1370–1375.

Schwarz, O. (1908). Cotton Topper. Patent No: US 987,935. Application Filed: 14 Dec 1907. 8 September 1908.

Sessiz, A., Eliçin, A.K., Esgici, R., Özdemir, G. ve Nozdrovicky, L. (2013). Cutting properties of olive sucker. Acta Technologica Agriculturae, 3/2013, pp. 82–86, Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae, Nitra. DOI: 10.2478/ata-2013-0021.

Seyhan, Y. (1996). Pamukta uç alma ve Pix uygulamasının Verim ve Kalite üzerine etkisinin Araştırılması. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.

Siebert, J.D., Leonard, B.R. ve Stewart, A.M. (2006). Cotton Yield and Fiber Quality Response to Premature İnsect Simulated and Harvest-aid Defoliation. The Journal of Cotton Science, 10:9-16.

Sonde, V.M., Belkhode, P.N. ve Sakhale, C.N. (2015). Physical and mechanical characteristics for cotton and pigeon pie as agriculture residues. International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEM). 4(7), 156-169.

Song, H., Hu, Y., Lu, Y., Wang, W. Ve Li, X. (2019). Adaptive lifting performance verification based on the model of cotton top-cutting machine. ASABE 2019 Annual International Meeting. Paper Number: 1900153. DOI: https://doi.org/10.13031/aim.201900153

Sun J., Zhang X., Yan J., Ding A. ve Li Y. (2015). Design of Automatic Ranging Control System of Cotton Topping Machine. Journal of Anhui Agricultural Sciences 2015 (12). Internet Publish Date:2015-04-21. (in Chinese with English abstract)

Tavakoli, H., Mohtasebi, S.S., Jafari, A. ve Nazari Galedar, M. (2009). Some engineering properties of barley straw. Applied Engineering in Agriculture. 25(4), 627-633.

Thomson, A.,Thorp, K.R., Conley M.M.,Elshikha, D.M., French, A.N., Sanchez, P.A., ve Pauli D. (2019). Comparing Nadir and Multi-Angle View Sensor Technologies for

Measuring in-Field Plant Height of Upland Cotton. Remote Sens. 2019, 11, 700; doi:10.3390/rs11060700

Tilly, N., Hoffmeister, D., Schiedung, H., Hütt, C., Brands, J. ve Bareth, G. (2014). Terrestrial Laser Scanning For Plant Height Measurement And Biomass Estimation Of Maize. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-7, 2014 ISPRS Technical Commission VII Symposium, 29 September – 2 October 2014, Istanbul, Turkey. doi:10.5194/isprsarchives-XL-7-181-2014.

Uğurluay, S., İnce, A., Güzel, E. ve Özcan, M.T. (2005). Detemining of some mechanical properties of sunflower stalks with related to chopping. Journal of Agricultural Machinery Science. 1(2), 153-158.

Underwood, J., Wendel, A.,Schofield, B.,McMurray, L. ve Kimber, R. (2017). Efficient in-field plant phenomics for row-crops with an autonomous ground vehicle . Journal of Field Robotics. Sept, 2017, Vol. 34 Issue 6, p1061, 23 p. DOI: https://doi.org/10.1002/rob.21728

Xiaohui, Z., Gang, L., Xiaoqing, C. Ve Guoqiang, F. (2015). Design and experiment of self-propelled cotton topping and directional spraying machine. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE),2015,31(22):40-48. DOI:10.11975/j. issn.1002-6819.2015.22.006.

Xu, L.H., Li, G.F., He, X.H., Yang, D.Y., 2001. Regularity of accumulation anddistribution of dry matter in monopodial branches retained cotton plants. J.Agr. Sci. 17 (3), 153–157 (in Chinese).

Yaşar, M., (2013). Pamukta farklı zamanlarda kesilerek uzaklaştırılan tepe sürgünü uygulamasının verim ve lif kalitesi üzerine etkisi. Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s: 43-44. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=Czp_4QUBJChqwEN9jURd3Q&no=3uxcJ1vS7nhVYXYYW6kDjA

Zhang, L. and Grift, T. (2012). A LIDAR-based crop height measurement system for Miscanthus giganteus. Computers and Electronics in Agriculture 85, 70–76.

Zhou H., Yin S., Zhu L., Yang X. ve Yang W. (2010). Design of 3WDZ-6 Self-propelled Cotton Top Cutting. Journal of Agricultural Mechanization Research, (9): 86~ 89. (in Chinese)

EK 1 Pamuk bitkisine ait kalite analiz sonuçları

Kesici Tipi	Traktör Hızı	Kesici Hızı	Tekerrür	Parsel No	Lif İnceliği (Mic)	Lif Olgunluğu (Mat)	Lif Uzunluğu (Len)	Lif Üniformitesi (Unf)	Kısa Lif Oranı (SFI)	Lif Kopma Dayanıklılığı (Str)	Lif Elastikiyeti (Elg)	Lif Nemi (Mois)	Lif Parlaklığı (Rd)	Lif Sarılığı (+b)	Yabancı Madde Sayısı (TrCnt)	Yabancı Madde Alanı (TrArea)
A	T1	H1	1	1AT1H1	4.16	0.89	29.88	81.8	7.5	34.4	6.2	4.5	76.7	8.1	70	0.61
A	T1	H1	2	2AT1H1	4.58	0.9	30.28	82.5	6	32.4	6.8	4.5	79.4	8.2	36	0.51
A	T1	H1	3	3AT1H1	4.54	0.91	28.55	85.3	7.8	33.9	6.2	4.2	74	7.6	45	0.76
A	T1	H2	1	1AT1H2	5.07	0.94	29.25	86.1	6.9	35	6.3	4.2	79.7	8.1	40	0.57
A	T1	H2	2	2AT1H2	4.54	0.91	29.55	87	6	34.5	6.8	4.8	80.4	8.5	47	0.69
A	T1	H2	3	3AT1H2	4.77	0.92	30.01	87	6.3	34.2	6.4	4.5	79.7	8.5	28	0.35
A	T1	H3	1	1AT1H3	4.53	0.91	28.68	85.5	6.8	35.5	6	4.3	80.1	8.6	21	0.24
A	T1	H3	2	2AT1H3	4.77	0.93	28.82	86.3	7.3	36.8	6.3	4.3	72.7	7.6	91	1.44
A	T1	H3	3	3AT1H3	4.09	0.9	28	85.7	6.3	35.6	6.8	4.2	73.7	8.3	100	1.27
A	T2	H1	1	1AT2H1	4.32	0.91	28.22	85.9	6	36.8	6.3	4.2	82.3	8.1	12	0.18
A	T2	H1	2	2AT2H1	4.08	0.9	29.48	85	6	38.1	6.8	4.5	66.2	8.6	158	2.25
A	T2	H1	3	3AT2H1	4.67	0.93	28.26	85.1	6.8	36.2	6.7	4.3	78	7.7	63	0.88
A	T2	H2	1	1AT2H2	4.43	0.92	29.35	84.7	6.1	36.6	6.5	4.7	77.3	7.9	43	0.64
A	T2	H2	2	2AT2H2	4.23	0.91	30.11	83.1	8.1	37.4	6.5	4.2	77.3	8.6	55	0.65
A	T2	H2	3	3AT2H2	4.43	0.91	28.04	84.5	6.7	36	6.5	4.3	78.1	8.8	41	0.38
A	T2	H3	1	1AT2H3	4.39	0.91	28.81	84.8	7.9	35.3	6.3	4.5	80.6	8.1	23	0.45
A	T2	H3	2	2AT2H3	4.31	0.91	28.55	84.3	7.2	35	6.8	4.3	76.8	8.7	51	0.52
A	T2	H3	3	3AT2H3	4.35	0.9	28.18	83.5	6.8	33.2	6.2	4.3	74.4	7.3	44	0.41
A	T3	H1	1	1AT3H1	4.79	0.93	29.15	87.3	5.3	35.6	6.7	4.2	79.5	7.8	41	0.79
A	T3	H1	2	2AT3H1	4.57	0.91	29.2	84.4	8.3	34.1	6.2	4.3	78.2	8.3	50	0.57
A	T3	H1	3	3AT3H1	4.69	0.93	28.55	86.2	6.5	35.9	6.9	4.2	76.6	9	51	0.47
A	T3	H2	1	1AT3H2	4.85	0.94	29.87	87.8	5.7	36.9	6.3	4.2	77.7	7.8	29	0.42
A	T3	H2	2	2AT3H2	4.26	0.88	30.16	85	7.8	30.5	6.2	4.5	73.5	7.5	110	1.7
A	T3	H2	3	3AT3H2	4.81	0.92	28.82	84	7.3	33.8	6.7	4.4	76.6	8.1	20	0.26
A	T3	H3	1	1AT3H3	4.91	0.93	28.46	85.5	7	35.2	6.5	4.2	76.8	7.8	69	0.78
A	T3	H3	2	2AT3H3	4.21	0.89	28.6	85.1	7.2	32.5	6.2	4.2	79.4	8.2	46	0.41
A	T3	H3	3	3AT3H3	4.39	0.91	29.95	85.9	6	34.7	6.7	4.5	71.6	8.4	120	1.52

EK 1 Devamı **Pamuk bitkisine ait kalite analiz sonuçları**

B	T1	H1	1	1BT1H1	4.67	0.92	27.94	85.5	6.5	34.7	6.6	4.3	76.8	8	50	0.73
B	T1	H1	2	2BT1H1	4.72	0.93	30.15	87.6	5.9	37.5	6.5	4.6	75.2	8.8	86	1.17
B	T1	H1	3	3BT1H1	4.32	0.9	29.43	85.2	5.5	33.6	7	4.3	76.2	8.7	60	1.04
B	T1	H2	1	1BT1H2	4.72	0.93	28.75	84.5	6.7	36.3	6.7	4.2	79	7.6	44	0.85
B	T1	H2	2	2BT1H2	4.34	0.9	29.49	85.6	7.2	33.5	6.1	4.2	73.3	8.3	46	1.17
B	T1	H2	3	3BT1H2	4.38	0.91	28.31	86.1	6.2	36.7	6.9	4.8	76.3	8.1	80	0.91
B	T1	H3	1	1BT1H3	4.47	0.91	28.45	82.7	8.2	33.9	6.6	4.3	82.5	7.8	29	0.45
B	T1	H3	2	2BT1H3	4.35	0.9	27.32	82.8	8.3	34.4	6.3	4.2	78.8	8.4	18	0.26
B	T1	H3	3	3BT1H3	4.93	0.93	27.94	84.3	7.1	34.8	6.8	4.3	77.4	8.5	36	0.36
B	T2	H1	1	1BT2H1	4.38	0.93	31.38	86.7	6.3	39.5	6.5	4.4	75.5	7.6	81	0.86
B	T2	H1	2	2BT2H1	4.52	0.91	27.22	84.8	8.1	33.9	5.8	4.3	77.6	7.9	46	0.98
B	T2	H1	3	3BT2H1	3.76	0.88	28.85	83.8	8.7	35	6.1	4.8	73.3	8.8	127	1.96
B	T2	H2	1	1BT2H2	4.37	0.89	29.43	87.2	7	32	6.5	4.3	79.3	7.8	36	0.33
B	T2	H2	2	2BT2H2	4.65	0.92	27.46	84.8	8.6	33.6	5.9	4.2	76.8	8.3	82	0.74
B	T2	H2	3	3BT2H2	4.5	0.92	28.47	85.2	5.9	35.8	6.8	4.2	79.4	8	44	0.7
B	T2	H3	1	1BT2H3	4.24	0.9	30.72	87.7	6.2	35.8	7	4.2	77.3	8.3	25	0.64
B	T2	H3	2	2BT2H3	4.19	0.89	28.54	85.3	7	33.8	6.3	4.4	78.8	7.5	67	0.46
B	T2	H3	3	3BT2H3	4.34	0.89	29.1	86	6.3	32.6	6.5	4.2	81.2	8	20	0.25
B	T3	H1	1	1BT3H1	4.65	0.92	29.36	85.5	7.4	34.7	6.8	4.3	78.5	7.4	27	0.25
B	T3	H1	2	2BT3H1	4.51	0.93	30.12	84.7	7	39.3	6.3	4.8	76.6	7.8	53	0.91
B	T3	H1	3	3BT3H1	4.42	0.91	30.24	84.9	6	34.5	7.3	4.5	71	9.1	74	1.58
B	T3	H2	1	1BT3H2	4.57	0.91	29.29	85.3	6.8	34.3	6.6	4.3	76.8	7.6	20	0.37
B	T3	H2	2	2BT3H2	4.54	0.92	29.39	87.2	6.6	37.2	6.3	4.2	77.8	7.6	38	0.66
B	T3	H2	3	3BT3H2	4.13	0.89	28.54	85.7	6	35.1	6.8	4.2	76	8.6	57	0.75
B	T3	H3	1	1BT3H3	4.63	0.92	30.53	88.9	5.8	35.2	7	4.3	84	8.3	16	0.25
B	T3	H3	2	2BT3H3	4.46	0.92	29.32	86.3	6.7	36.1	6.5	4.3	82.3	7.7	7	0.11
B	T3	H3	3	3BT3H3	4.56	0.9	29.02	86.2	7.5	32.5	6.5	4.3	78.7	8.2	30	0.4
			1	1KONT	4.84	0.92	28.16	83.9	8.6	33.5	6.5	4.3	78.2	7.7	58	1.12
			2	2KONT	4.69	0.92	29.53	85.3	6.9	35.2	6.6	4.3	75.1	8.2	77	0.89
			3	3KONT	4.59	0.93	29.16	84.9	6.9	37.7	6.5	4.3	76.3	8.6	67	0.81

EK 2 Pamuk bitkisine ait verim, kütlü ağırlık ve çırçır randımanı değerleri

1. Tekerrür				2. Tekerrür				3. Tekerrür			
Parsel No	**Verim (kg/da)**	**Kütlü Ağırlık (gr)**	**Çırçır Randımanı (%)**	**Parsel No**	**Verim (kg/da)**	**Kütlü Ağırlık (gr)**	**Çırçır Randımanı (%)**	**Parsel No**	**Verim (kg/da)**	**Kütlü Ağırlık (gr)**	**Çırçır Randımanı (%)**
1AT1H1	211,25	58	39,20	2AT1H1	236,88	57	41,20	3AT1H1	185,63	54	40,90
1AT1H2	206,25	62	40,90	2AT1H2	241,88	59	40,10	3AT1H2	185,63	60	41,60
1AT1H3	245,63	66	40,90	2AT1H3	194,38	56	40,40	3AT1H3	220,00	63	40,40
1AT2H2	191,56	61	41,60	2AT2H2	150,63	63	41,40	3AT2H2	232,50	65	40,40
1AT2H1	146,25	57	38,70	2AT2H1	188,75	64	41,20	3AT2H1	231,25	59	40,30
1AT2H3	193,75	55	40,10	2AT2H3	204,06	55	42,40	3AT2H3	214,38	53	42,00
1AT3H1	183,44	52	39,40	2AT3H1	210,63	56	41,20	3AT3H1	156,25	54	42,30
1AT3H2	266,25	52	38,70	2AT3H2	195,63	42	43,40	3AT3H2	225,63	53	41,30
1AT3H3	235,94	59	41,20	2AT3H3	201,25	44	41,60	3AT3H3	270,63	55	39,40
1BT2H3	238,13	52	39,80	2BT2H3	265,00	60	43,80	3BT2H3	251,56	56	41,30
1BT2H2	226,25	63	39,20	2BT2H2	278,13	55	41,90	3BT2H2	252,19	50	40,80
1BT2H1	267,19	49	40,00	2BT2H1	234,38	72	40,90	3BT2H1	300,00	44	41,40
1BT3H1	212,81	56	43,10	2BT3H1	209,38	60	41,70	3BT3H1	216,25	48	41,70
1BT3H2	221,25	65	39,60	2BT3H2	173,13	49	41,70	3BT3H2	209,38	51	41,30
1BT3H3	192,81	63	41,40	2BT3H3	224,38	61	41,30	3BT3H3	161,25	56	40,10
1BT1H2	205,00	61	39,50	2BT1H2	205,63	61	40,50	3BT1H2	206,25	64	41,30
1BT1H1	160,00	50	38,80	2BT1H1	200,31	58	41,60	3BT1H1	240,63	49	41,40
1BT1H3	215,31	45	40,00	2BT1H3	220,63	64	42,30	3BT1H3	210,00	58	40,70
1KONTROL	260,00	57	39,80	2KONTROL	244,38	51	41,10	3KONTROL	269,38	57	41,30

EK 3 Elektronik Bitki Yükseklik Kontrol Sisteminin (BIYKOS) Önemli bazı açık kaynak kodları

Arduino programı ile yazılan kodların bir kısmı aşağıda verilmiştir.

```
#include <SPI.h> // SD kart için SPI kütüphanesini yükledik
#include <SD.h> // SD kart okuyucunun kütüphanesini yükledik.
File myFile; //myFile isminde bir dosya oluşturduk.
const int analoggirisPini = A0; // A0 pinini Hiz bilgisinin giriş pini yaptık
int analoggirisPindegeri = 0; // analog Pinin başlangıç değerini 0 yaptık
int hiz = 0; // hız değişkenini tanımladık
int zaman = 0; // Zaman değişkeni 0 yaptık
int sol = 0; //  Bu değişken sol taraf roleler çalışırsa 1 çalışmazsa 0 olarak kalıcak
int sag = 0; // Bu değişkende sağ taraf roleleri için
pinMode (A1, OUTPUT); // A1 pinini outout olarak tanımladık
pinMode (A2, OUTPUT); // A2 pinini outout olarak tanımladık
pinMode (A3, OUTPUT); // A3 pinini outout olarak tanımladık
pinMode (A4, OUTPUT); // A4 pinini outout olarak tanımladık
digitalWrite(A1,HIGH); // A1 pinini 1 yaparak role çıkışını kapattık
digitalWrite(A2,HIGH); // A2 pinini 1 yaparak role çıkışını kapattık
digitalWrite(A3,HIGH); // A3 pinini 1 yaparak role çıkışını kapattık
digitalWrite(A4,HIGH); // A4 pinini 1 yaparak role çıkışını kapattık
Serial.begin(9600); // Bağlı bulunan bilgisayar ile 9600 baudrate hızında iletişim kur.
Serial.println("SD kart iletişimi kuruluyor");  // Bilgisayarın Serial ekranına SD kart iletişimi kuruluyor  yaz.
if (!SD.begin(chipSelect)) { // SD kartı başlatıyoruz.Eğer olumsuz olursa
  Serial.println("SD kart iletişim hatası");// Bilgisayarın Serial ekranına SD kart iletişim hatası  yaz.
  // return (1); // Eğer SD kart iletişimi başarılı ise
  }
 Serial.println("SD kart iletişimi başarılı");// Bilgisayarın Serial ekranına SD kart iletişimi kuruluyor  yaz.
```

myFile = SD.open("biykos.txt", FILE_WRITE); // myFile değişkeni Sdkart içinde biykos.txt adında bir dosya oluşturuyor.Zaten varsa üzerine yazıyor.

myFile.println(); // SD karta yeni satıra geç

myFile.print("Yeni calisma : "); // SD karta yazdır.

myFile.close(); // SD kartı kapat.Bunu yapmazsak kart çıkartıldığında kartı kapatmadığı için veriler kaybolur.

delay(1000); // İşlemciye 1 sn beklemesini söyledik.

}

void loop() {

// buraya yazılan kodlar işlemci tarafından her döngüde kontrol ve icra edilir.

zaman = zaman + 1; // her döngüde zaman değişkenini 1 arttırıyoruz

sol = 0 ; // Sol taraf algoritma gerçekleştiğinde 1 olması için her döngüde 0 yaptığımız değişken

sag = 0 ; // Sol taraf algoritma gerçekleştiğinde 1 olması için her döngüde 0 yaptığımız değişken

digitalWrite (Psolpintrig, LOW); // İşlemcinin Psolpintrig pinini (2) LOW yaptık.

delay(5); // 5 microsaniye bekliyoruz.

digitalWrite (Psolpintrig, HIGH); // İşlemcinin Psolpintrig pinini (2) HIGH yaptık.

delay(10); // 10 microsaniye bekliyoruz.

digitalWrite (Psolpintrig, LOW); // İşlemcinin Psolpintrig pinini (2) LOW yaptık.Böylece bu pinden 10 microsaniyelik bir sinyal gönderdik.

surePsol = pulseIn (Psolpinecho, HIGH); // surePsol değişkeni Solpamuk sensörünün yukarıda gönderdiğimiz sinyali alma zamanını hesaplasın.

uzaklikPsol = surePsol /29.1/2; // uzaklik Pamuk sol değişkeni surePsol değişkenini santimetre cinsine çevirsin.

digitalWrite (Bsolpintrig, LOW); // İşlemcinin Bsolpintrig pinini LOW yaptık.

delay(5); // 5 microsaniye bekliyoruz.

digitalWrite (Bsolpintrig, HIGH); // İşlemcinin Bsolpintrig pinini HIGH yaptık.

delay(10); // 10 microsaniye bekliyoruz.

digitalWrite (Bsolpintrig, LOW); // İşlemcinin Bsolpintrig pinini LOW yaptık.Böylece bu pinden 10 microsaniyelik bir sinyal gönderdik.

sureBsol = pulseIn (Bsolpinecho, HIGH); // sureBsol değişkeni SolBıçak sensörünün yukarıda gönderdiğimiz sinyali alma zamanını hesaplasın.

uzaklikBsol = sureBsol /29.1/2;// uzaklik Bıçak sol değişkeni sureBsol değişkenini santimetre cinsine çevirsin.

uzaklikBsolgercek= uzaklikBsol+8; // uzaklikBsol gerçek değişkeni bıçak uzaklığını ölçen sensörden 8cm büyük olsun.Bu sayı değiştirilerek bıçak kalibrasyonu yapılır.

farkSol = uzaklikBsolgercek-uzaklikPsol; // fark sol değeri soltarafBıçak değerinden Pamuk uzaklığını çıkardığımızda elde ettiğimiz değerdir.

digitalWrite (Psagpintrig, LOW); // İşlemcinin Psagpintrig pinini LOW yaptık.

delay(5); // 5 microsaniye bekliyoruz.

digitalWrite (Psagpintrig, HIGH); // İşlemcinin Psagpintrig pinini HIGH yaptık.

delay(10); // 10 microsaniye bekliyoruz.

digitalWrite (Psagpintrig, LOW); // İşlemcinin Psagpintrig pinini LOW yaptık.Böylece bu pinden 10 microsaniyelik bir sinyal gönderdik.

surePsag = pulseIn (Psagpinecho, HIGH); // surePsag değişkeni Sagpamuk sensörünün yukarıda gönderdiğimiz sinyali alma zamanını hesaplasın.

uzaklikPsag = surePsag /29.1/2; // uzaklik Pamuk sag değişkeni surePsag değişkenini santimetre cinsine çevirsin.

digitalWrite (Bsagpintrig, LOW); // İşlemcinin Bsagpintrig pinini LOW yaptık.

delay(5); // 5 microsaniye bekliyoruz.

digitalWrite (Bsagpintrig, HIGH); // İşlemcinin Bsagpintrig pinini HIGH yaptık.

delay(10); // 10 microsaniye bekliyoruz.

digitalWrite (Bsagpintrig, LOW); // İşlemcinin Bsagpintrig pinini LOW yaptık.Böylece bu pinden 10 microsaniyelik bir sinyal gönderdik.

sureBsag = pulseIn (Bsagpinecho, HIGH); // sureBsag değişkeni SagBıçak sensörünün yukarıda gönderdiğimiz sinyali alma zamanını hesaplasın.

uzaklikBsag = sureBsag /29.1/2; // uzaklik Bıçak sag değişkeni sureBsag değişkenini santimetre cinsine çevirsin.

uzaklikBsaggercek= uzaklikBsag+8; // uzaklikBsag gerçek değişkeni bıçak uzaklığını ölçen sensörden 8cm büyük olsun.Bu sayı değiştirilerek bıçak kalibrasyonu yapılır.

farkSag = uzaklikBsaggercek-uzaklikPsag; // fark sag değeri sagtarafBıçak değerinden Pamuk uzaklığını çıkardığımızda elde ettiğimiz değerdir.

analoggirisPindegeri = analogRead(analoggirisPini); // analogPin degeri analoggirisPininden gelen değeri okusun

hiz = map(analoggirisPindegeri, 0, 1023, 0, 10); // hız değerini 0 ila 10 arasında ayarla dedik

hsmax = 50; //sensörlerin maksimum ölçüm yüksekliği 50 cm olarak atandı.

if (uzaklikPsol < 50) { // toplam sensör yüksekliği 180 cm. eğer Pamuk sol sensörü ölçtüğü değer 100cm az ise aşağıdaki işlemleri yap

if (farkSol < 3) { // eğer farkSol değeri 3 den küçük ise

digitalWrite(A2,LOW); // Rolelerin solbıçak aşağı olanını aktif ediyoruz

sol = 1 ; // sol değişkenini 1 yapıyoruz.Sd karta yazdırılırken 1 olarak yazdırılacak

delay(250); // 250 microsaniye bekliyoruz ve bu sürede bıçağın 5 cm aşağı inmesine müsade ediyoruz

digitalWrite(A2,HIGH); // Rolelerin solbıçak aşağı olanını pasif ediyoruz

}

if (farkSol > 13) { // eğer farSol değeri 13 den büyük ise

digitalWrite(A1,LOW); // Rolelerin solbıçak yukarı olanını aktif ediyoruz

sol =1 ; // sol değişkenini 1 yapıyoruz.Sd karta yazdırılırken 1 olarak yazdırılacak

delay(250); // 250 microsaniye bekliyoruz ve bu sürede bıçağın 5 cm aşağı inmesine müsade ediyoruz

digitalWrite(A1,HIGH); // Rolelerin solbıçak yukarı olanını pasif ediyoruz

}

}

if (uzaklikPsag < hsmax) { // eğer Pamuk sag sensörü ölçtüğü değer 100cm az ise

if (farkSag < 3) { // eğer farSağ 3 den küçük ise

digitalWrite(A4,LOW); // Rolelerin sağbıçak aşağı olanını aktif ediyoruz

sag = 1 ; // Sag değişkenini 1 yapıyoruz ve sd karta yazıcaz

delay(250); // 250 microsaniye bekliyoruz ve bu sürede bıçağın 5 cm aşağı inmesine müsade ediyoruz

digitalWrite(A4,HIGH); // Rolelerin sağbıçak aşağı olanını pasif ediyoruz

}

if (farkSag > 13) { // eğer farSağ 3 den küçük ise

digitalWrite(A3,LOW); // Rolelerin sağbıçak yukarı olanını aktif ediyoruz

sag = 1; // Sag değişkenini 1 yapıyoruz ve sd karta yazıcaz

delay(250); // 250 microsaniye bekliyoruz ve bu sürede bıçağın 5 cm aşağı inmesine müsade ediyoruz

digitalWrite(A3,HIGH); // Rolelerin sağbıçak yukarı olanını pasif ediyoruz

}

}

myFile = SD.open("biykos.txt", FILE_WRITE); // myFile değişkeni Sdkart içinde biykos.txt adında bir dosya oluşturuyor.Zaten varsa üzerine yazıyor.

myFile.println(); // SD karta yeni satıra geç

myFile.print(zaman); // SD karta zaman değişkenini yazdır.

myFile.print(";"); // SD karta ; yazdır.

myFile.print(hiz); // SD hiz değişkenini yazdır.

myFile.print(";"); // SD karta ; yazdır.

myFile.print(uzaklikPsol); // SD hiz değişkenini yazdır.

myFile.print(";"); // SD karta ; yazdır.

myFile.print(uzaklikBsolgercek); // SD karta uzaklikBsolgercek değişkenini yazdır.

myFile.print(";"); // SD karta ; yazdır.

myFile.print(farkSol); // SD karta farkSol değişkenini yazdır.

myFile.print(";"); // SD karta ; yazdır.

myFile.print(sol); // SD karta farkSol değişkenini yazdır.

myFile.print(";"); // SD karta ; yazdır.

myFile.print(uzaklikPsag); // SD karta uzaklikPsol değişkenini yazdır.

myFile.print(";"); // SD karta ; yazdır.

myFile.print(uzaklikBsaggercek); // SD karta uzaklikBsolgercek değişkenini yazdır.

myFile.print(";"); // SD karta ; yazdır.

myFile.print(farkSag); // SD karta Farksag değişkenini yazdır.

myFile.print(";"); // SD karta ; yazdır.

myFile.print(sag); // SD karta sag değişkenini yazdır.

myFile.print(";"); // SD karta ; yazdır.

myFile.close(); // SD kartı kapat.Bunu yapmazsak kart çıkartıldığında kartı kapatmadığı için veriler kaybolur.

Serial.println(); // SD karta yeni satıra geç

Serial.print(zaman); // SD karta zaman değişkenini yazdır.

Serial.print(";"); // SD karta ; yazdır.

Serial.print(hiz); // SD hiz değişkenini yazdır.

Serial.print(";"); // SD karta ; yazdır.

Serial.print(uzaklikPsol); // SD hiz değişkenini yazdır.

Serial.print(";"); // SD karta ; yazdır.

Serial.print(uzaklikBsolgercek); // SD karta uzaklikBsolgercek değişkenini yazdır.

Serial.print(";"); // SD karta ; yazdır.

Serial.print(farkSol); // SD karta farkSol değişkenini yazdır.

Serial.print(";"); // SD karta ; yazdır.

Serial.print(sol); // SD karta farkSol değişkenini yazdır.

Serial.print(";"); // SD karta ; yazdır.

Serial.print(uzaklikPsag); // SD karta uzaklikPsol değişkenini yazdır.

Serial.print(";"); // SD karta ; yazdır.

Serial.print(uzaklikBsaggercek); // SD karta uzaklikBsolgercek değişkenini yaz

Serial.print(";"); // SD karta ; yazdır.

Serial.print(farkSag); // SD karta Farksag değişkenini yazdır.

Serial.print(";"); // SD karta ; yazdır.

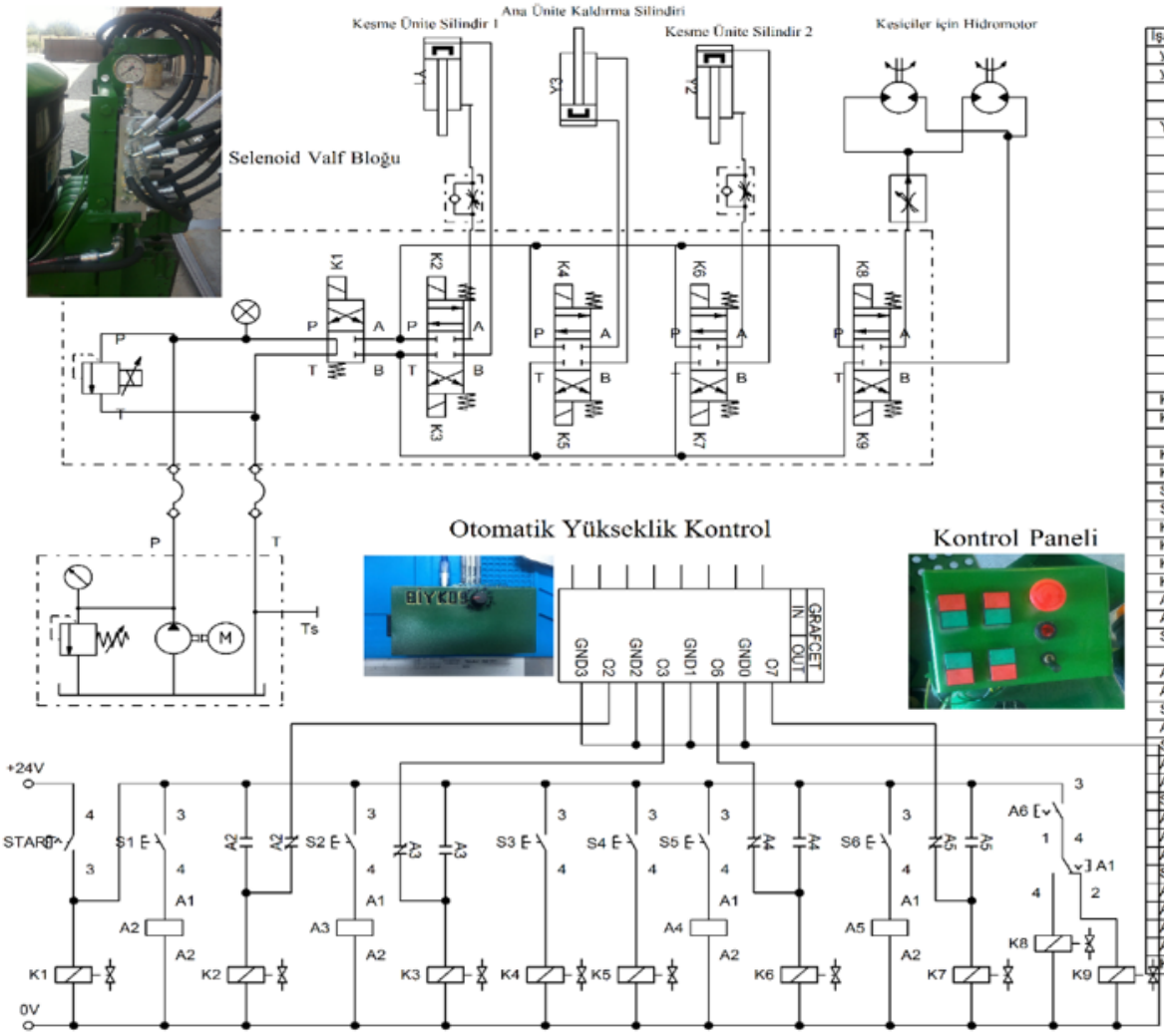
Serial.print(sag); // SD karta sag değişkenini yazdır.

Serial.print(";"); // SD karta ; yazdır.

delay(40); // İşlemciye 40 microsaniye bekle dedik.60 microsaniye sensörler veri alıp verirken gidiyor.Üzerine 40 ekledik

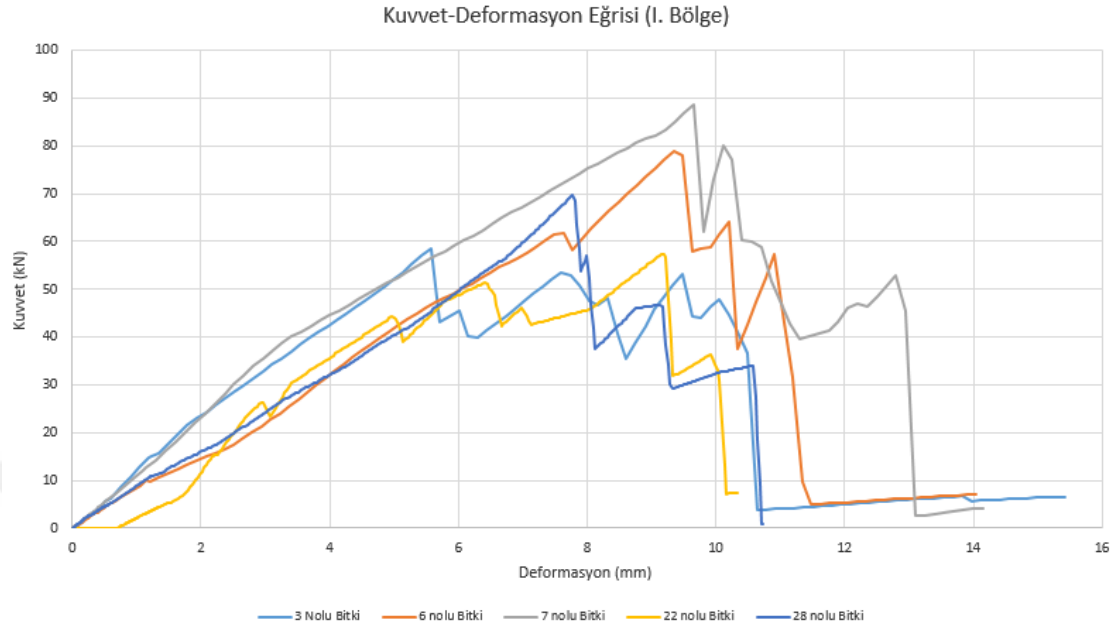
}

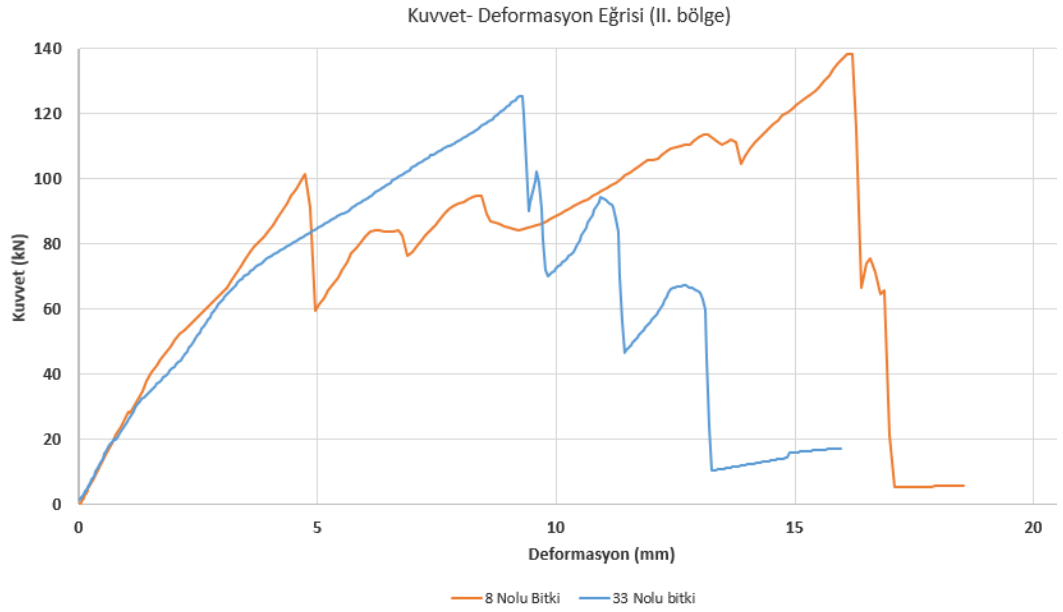
EK 4 Elektro Hidrolik Devre Şeması



İşaret	Parça (eleman) ismi
y1	Çift etkili silindir
y2	Çift etkili silindir
	4/3-Kapalı orta konumlu selenoid kumandalı yön kontrol valfi
	4/3-Kapalı orta konumlu selenoid kumandalı yön kontrol valfi
Y3	Çift etkili silindir
	Hidrolik motor
	Hidrolik motor
	4/3-Kapalı orta konumlu selenoid kumandalı yön kontrol valfi
	Enerji besleme birimi
	4/2-Selenoid kumandalı yön kontrol valfi
	Tek yönlü akış kontrol valfi
	Tek yönlü akış kontrol valfi
	2-Yönlü-Akım kontrol valfi
	Çabuk birleştirme elemanlı hortum bağlantısı
	Çabuk birleştirme elemanlı hortum bağlantısı
	Basınç göstergesi
	4/3-Kapalı orta konumlu selenoid kumandalı yön kontrol valfi
	Gerilim kaynağı (24V)
	Gerilim kaynağı (0V)
K2	Valf selenoidi
K3	Valf selenoidi
	Oransal - basınç ayar valfi
K4	Valf selenoidi
K5	Valf selenoidi
S3	Normalde açık kontaklı anahtar
S4	Normalde açık kontaklı anahtar
K6	Valf selenoidi
K7	Valf selenoidi
K8	Valf selenoidi
K9	Valf selenoidi
A1	Tutmalı değiştirici kontak
A6	Tutmalı normalde açık kontak
START	Tutmalı normalde açık kontak
A2	Normalde açık kontak
A2	Röle
S1	Normalde açık kontaklı anahtar
A5	Normalde açık kontak
S6	Normalde açık kontaklı anahtar
A5	Röle
A5	Normalde kapalı kontak
S5	Normalde açık kontaklı anahtar
A4	Röle
A4	Normalde açık kontak
A4	Normalde kapalı kontak
S2	Normalde açık kontaklı anahtar
A3	Röle
A3	Normalde açık kontak
A3	Normalde kapalı kontak
A2	Normalde kapalı kontak
K1	Valf selenoidi

EK 5 Diğer Kuvvet-Deformasyon eğrileri





EK 6 Pamuk tepe kesme makinesine ait detaylı ölçümler

