

NKUBAP.03.GA.18.177

**Hassas Pestisit Uygulamalarında Püskürtme
Memesi Performanslarının Analizi İçin 3
Eksenli Otomasyon Sistemi Tasarımı**

Proje yürütücüsü: Prof.Dr.İlker Hüseyin ÇELEN

Yardımcı araştırıcı: Arş.gör.Dr.Eray ÖNLER

2019

Önsöz

Tarımsal mücadelede püskürtme memeleri tıkanıklık, uygunluk ve aşınma konusunda değerlendirilirler. Özellikle püskürtme dağılımı, debi ölçümleri ve damla büyüklükleri açısından testlere tabi tutulurlar. Bunları yaparken paternator, debi ölçer ve damla çapı ölçüm sistemlerinden faydalanılır.

Püskürtme sistemi traktör üzerine bağlanarak, denemeler açık alanlarda yapıldığı gibi laboratuarda test masalarında da ilerleme hızı dikate alınmadan yürütülür. Püskürtme sistemlerinde otomasyon devreye girdiğinde bunlar mevcut test düzenekleri ile gerçek sonuçları verememektedir. Bu sebeple otomasyona sahip bir test ünitesinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Bunlara ek olarak bir çok araştırmacı geliştirdikleri akıllı püskürtme sistemlerini denemek için traktörde değişiklikler yaparak standart olmayan uygulamalar ile uğraşmaktadır. Yaptıkları çalışmalarını karşılaştırırken zorluklar çekmektedirler. Bu tasarım ile standart bir test sistemine sahip olunurken, bu sistemin hız, yükseklik ve püskürtme memesi konumunun manuel ve otomatik olarak ayarlanabilir olması testleri kolaylaştıracaktır.

Ayrıca bu test sistemini çalıştıracak olan yazılım tarafımızdan geliştirildiğinden her türlü test koşuluna göre ayarlanabilir niteliktedir. Bu proje Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında **NKUBAP.03.GA.18.177** Proje Nosu ile desteklenmiştir.

İçindekiler

Önsöz	1
İçindekiler	2
Çizelge listesi	3
Şekil listesi	4
Özet	5
Abstract	6
1. Giriş	7
2. Gereç ve yöntem	10
2.2. Kontrol sistemi ve yazılımı	11
2.2.1. Step motor sürücüsü	12
2.2.1.1. CWD556 motor sürücüsü	12
2.2.2. Arduno mikrodenetleyici	13
2.2.3. Sistem blok diyagramı	14
2.2.4. Step motor control yazılımı GRBL	15
2.2.4.1. Universal Gcode sender	15
2.2.4.2. Gcode	16
3. Bulgular	17
4. Kaynaklar	25

Çizelge Listesi

Çizelge 1. CK45 malzeme özellikleri
Çizelge 2. Arduino UNO özellikleri

11
13

Şekil Listesi

Şekil 1. Projede geliştirilen sistemin ana gövdesi	10
Şekil 2. Test sisteminde kullanılan rulman yatakları	11
Şekil 3. Test sisteminde kullanılan step motorlar	12
Şekil 4. Test sisteminde kullanılan step motor sürücüsü	12
Şekil 5. Test sisteminde kullanılan Arduino mikrodeneleyicisi	13
Şekil 6. Test sistemi çalışma diyagramı	14
Şekil 7. Test sisteminin elektrirksel bağlantı şeması	14
Şekil 8. UGS arayüz	15
Şekil 9. UGS manuel kontrol arayüz	15
Şekil 10. Prototip şekli	17
Şekil 11. Planlanan konum ile birlikte gerçekte gidilen konum ilişkisi (Y-X-250-100)	18
Şekil 12. Planlanan konum ile birlikte gerçekte gidilen konum ilişkisi (Y-Z-250-100)	18

Özet

Tarımsal mücadelede gelişen püskürtme teknikleri yeni sistemlerin testlerini gündeme getirmiştir. Bu proje kapsamında klasik uygulamalarda tüm tarlaya ilaç atmak yerine sadece yabancı ot üzerine ilaç atabilen sistemlerin denenmesi ve geliştirilmesi için 3 eksenli bir test standı ve yazılımı geliştirilmiştir.

Tarımsal mücadelede kullanılan püskürtme memeleri pülverizasyon karakteristikleri ile test edilir ve performansları saptanır. Bu analizler sonucunda başarıları karşılaştırılır. Bu konudaki bilimsel çalışmalarda yürütülen testler tarla çalışmaları ve laboratuvar çalışmaları olarak ayrı guruplarda toplanmaktadır. Laboratuvar testlerinin tarla testlerini simüle etmesi istenir. Ancak traktörleri laboratuvar ortamına sokmak ve kontrol edebilmek oldukça zordur.

Bu proje kapsamında bir test sistemi ve kontrol otomasyon yazılımı geliştirilmiştir. Hassas tarım diye anılan tarımda daha sonraki projelerde otomasyon uygulamalarını gerçekleştirebilmek ve yeni tasarımları yapabilmek için kullanılacak, bunları test edebilmek amacıyla bir tasarım ortaya konulmuştur. Bu tasarım 3 eksenli hareket edebilen bir şasiden, üç adet elektirik motoru, motor sürücüsü, kontrol mekanizması ve püskürtme sisteminden oluşmaktadır. Kontrol mekanizması yardımıyla sistem x-ekseni boyunca belirli bir hızda hareket edebilirken, y eksenini boyunca da belirli bir hızda belirlenen noktaya hareket edebilmekte ve yüksekliği z ekseninde ayarlanabilmektedir. Geliştirilen yazılımla kontrol sistemine tanımlanan noktaya sabit hızda ilerleyen püskürtme sistemi memesi, bu noktada konumunu alıp püskürtme yapabilmektedir. Ayrıca püskürtme sistemi üzerine yerleştirilen selenoid valf ile püskürtme kontrol edilebildiği gibi debi ölçer ile sistemdeki basınç ve debi izlenebilmektedir.

Abstract

New spraying techniques developed in agricultural have brought new test methods to test these techniques. Within the scope of this project, a 3-axis test stand and software has been developed in order to test and develop systems that can make spot spraying instead of uniform spraying.

The spray nozzles used in agricultural spraying are tested with their pulverization characteristics and their performance is determined. The successes of these analyzes are compared. The tests carried out in the scientific studies on this subject are collected in separate groups as field studies or laboratory studies. Laboratory studies are required to simulate field tests. However, it is very difficult to use tractors in the laboratory environment and control of them.

A test system and control automation software have been developed within the scope of this project. Purpose of design is automating tests of new precision spraying systems. This design consists of a 3-axis movable chassis, three step motors, a step motor driver, a control mechanism and a spraying system. With the help of the control mechanism, the system can move at a certain speed along the x-axis, and can move to the specified point along the y-axis at a certain speed and its height can be adjusted in the z-axis. With the developed software, the spraying system nozzle which moves at a constant speed to the defined point of the control system can take its position and spray it at this point. In addition, it can be controlled by spraying with solenoid valve placed on the spraying system and the pressure and flow in the system can be monitored by flow meter.

1. GİRİŞ

Tarım alanında çalışan araştırmacılar ve çiftçiler için en önemli konulardan biri bir yandan çevre ile dost teknikleri kullanırken öte yandan tarımsal üretim miktarını da arttırmaktır. Tarımsal üretimi arttırmak amacıyla kullanılan girdilerin başında tarım ilaçları gelmektedir. Ancak iyi bir uygulama olmaksızın ilaçlamanın istenilen başarıya ulaşması mümkün değildir. Uygulamanın başarısı ise kullanılan ilaçlama makinası ve bu makinanın ayarları ile yakından ilgilidir. Kullanılan ilaç ve miktarı ne olursa olsun, operatör ile birlikte uygulamanın başarısını belirleyen unsurlardan biri de ilaçlama makinasının özellikleri ile bu makinanın doğru kullanılmasıdır.

Ülkemizde tarımsal üretimde yapılan uygulamalar içinde gelişmenin en az olduğu alan tarımsal ilaç uygulamalarıdır. Oysa tarım ilaçlarının gerek çevre ve gerekse de insan sağlığı üzerinde çok büyük zararları vardır. Dünyada tarım ilacı uygulama teknolojisinin bu gün geldiği noktada bu zararları tamamen yok etmek mümkün olmamakla birlikte, kayıpları mümkün olduğunca azaltmak, aynı zamanda ilaçlamadan beklenen başarıyı sağlamak mümkündür.

Tarımsal üretimde bitki koruma makinaları uygun olmayan ilaçlama koşullarında kullanıldığında ve ilaçlama makinaları üzerinde bulunan ekipmanların teknik özellikleri yetersiz veya arızalı olduğunda tarımsal işletmelerin girdi maliyetlerini arttırmaktadır. Tarımsal ilaçlamalarda birçok Makine kullanılmasına rağmen çok geniş alanların ilaçlamasında tarla ve bahçe pülverizatörleri kullanılmaktadır.

Bu makinalar üzerinde ilaçlama deposu, süzgeçli kapak, filtreler, hava pompası püskürtme memeleri ve pompa gibi birçok önemli ekipmanı barındırmaktadır. Bu makinalar tarımsal işletmeler tarafından uzun yıllar kullanıldığından dolayı pülverizatörlerde bulunan bu ekipmanlar yıpranmakta veya bozulmaktadır.

Buna göre ilaçlama makinalarının bakım ve onarımlarının zamanında ve uygun servis koşullarında yapılması gerekmektedir. Ülkemizde imal edilmiş ya da ithal edilmiş bütün ilaçlama makinalarının ruhsatlandırılma işlemleri Tarım ve Köyişleri Bakanlığı'na bağlı bulunan Tarım Alet ve Makineleri Test Merkezi (TAMTEST, Ankara) tarafından yapılmaktadır. Bu merkezde tarımsal mücadele alet ve makinalarının ruhsatlandırılması, 6968 sayılı Zirai Mücadele ve Zirai Karantina Kanunu ve buna bağlı olarak 28 Haziran 2000/24093 Sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Zirai Mücadele Alet ve Makinaları Hakkında Yönetmelik hükümlerine göre yapılmaktadır. Bu test merkezinde verilen ruhsatın geçerlilik süresi 5 yıldır. TAMTEST'de ruhsatlandırılması yapılan ilaçlama makinaları deney raporları, yapısal ve işletme özellikleri yönünden tanıtılmaktadır. Genel ölçüler, hareket iletim düzeni, güç kaynağı, pompa, hava çanı/tüpü, ilaç deposu, karıştırıcı, püskürtme grubu, meme ve tabancalar, süzgeçler, depo doldurucusu, basınç ayarlayıcısı (regülatör), manometre, hortum ve bağlantılar, çekilir tipte olanlar için; şasi, çeki oku, çeki halkası, dingil grubu ve tekerlekler, asılır tipte olanlar için; şasi ve üç nokta askı düzeni, sırtta taşınanlar için; askı kayışı gibi temel özellikler incelenmektedir. Bu teknik özelliklerle birlikte birim zamanda püskürtülen sıvı miktarı (debi) ve dağılım düzgünlükleri, püskürtme mesafeleri ve açıları, damla büyüklükleri, makinaların gürültü seviyeleri ile atomizör, ULV makinası ve sisleyici gibi ilaçlama makinalarının hava hızları da tespit edilmektedir. Ancak Türkiye'de bu merkezde ya da başka bir yerde kullanımdaki pülverizatörlerin

denetlenmesini yapan kurumlar ya da kuruluşlar henüz oluşturulmamıştır. Pülverizatörlerin uzun süre kullanımının ardından özellikle dağılım düzgünlüğünde bozulmalar, hortumlarda çatlaklar, filtrelerinde tıkanmalar ve sızıntılar olabilmektedir. Bu gibi sorunlar, ilaçlama başarısını olumsuz etkilediği gibi insan ve çevre sağlığını da tehdit etmektedir. Bu yüzden ilaçlama makinalarının belirli zaman aralıklarında periyodik bir şekilde ve belli standartlarda muayene edilmesi ilaçlamanın başarısını arttıracak ve çevreye olan olumsuz etkileri azaltacaktır. Avrupa Birliği'ndeki birçok ülkede yıllardır ilaçlama makinaları ile ilgili periyodik bazı testler yapılmaktadır.

Ancak nerdeyse hiçbirinde bu projenin konusu otomasyon sistemi değerlendirilmemiştir. Laboratuvar ortamında sabit hareketli olmayan sistemlerle denemeler yürütülmektedir. Hareketli yapılması gereken uygulamaları tarım alanında yapmaktadırlar. Ancak çevresel etkilere bağlı olarak hata oranı yüksektir.

Tarım, bilgi ve iletişim teknolojilerinin hızla kullanım alanları bulduğu stratejik sektörlerin arasında yer almaktadır. Tarımsal üretim, tarımsal girdi ve çıktıların pazarlanması, tarımsal yayım gibi alanlarda gerek yazılımsal gerekse donanımsal ürünler üzerine yapılan bilimsel çalışmalar ve firmaların Ar-Ge çalışmaları neticesinde ticari olarak markete sunulmaktadır. İlaçlama ve bu amaçla kullanılan makinalar tarımsal üretimde kullanılan önemli araçların arasında yer almaktadır. Bilişim teknolojileri (sensörler, dozajlayıcılar, GPS vb.) doğru yere doğru miktarda ilaç uygulanmasında oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Hassas tarım şu iki yolla bu başarıyı sağlamıştır;

- 1- Geçiş yollarını hatasız olarak belirleyip ilaçlanmamış ya da tekrar ilaçlanmış alanları elemine etmektedir.
- 2- Değişken dozajlı uygulamaya olanak tanıyarak ilacın sadece gerektiği yere gerektiği miktarda atılmasını sağlamıştır.

Ultrasonik ve Lazer teknolojilerinin ilaçlama makinalarına adaptasyonu ile uygulama yapılacak hedef bitki ya da ağaç belirlenerek üzerine doğrudan ilaçlama yapılmaktadır. Püskürtme memeleri, makine üzerinde bulunan sensörler yardımıyla, bitkinin şekline ve konumuna bakılarak açılıp kapatılmaktadır. Bu sistemler rüzgarın etkisini telafi edebilmek üzere selonoid valflerin bir süre önce açılıp bir süre sonra kapatılmasına da izin vermektedir. İlaç bir bulut hüzmesi şeklinde sürekli uygulama yerine kesikli olarak uygulanmaktadır. Bunun sonucunda sürüklenme azaltılmakta ve kontrollü ilaç uygulanarak hedef dışı püskürtme önlenmektedir. Ultrasonik sensörler ses dalgalarını bitkinin veya ağacın varlığını ya da yokluğunu belirlemek için kullanılmaktadır. Makinanın her iki yanına monte edilen sensörler yardımıyla ağaç kanopisi tespit edilen alanlara uygulama yapılmaktadır. Sensörler ile donatılmış ilaçlama makinası sadece bitki tespit ettiği bölgeye karşılık gelen memeleri aktif hale getirmektedir yabancı ot ile mücadelede dijital kameralar yardımıyla ot dağılım deseninin (yoğunluğunun) haritalanması üzerinde çalışılan öncelikli konuların arasında yer almaktadır. Yüksek platformlar (uçak vb.) veya uydu görüntüleri ile ot dağılımı belirlenebilmekte ve yabancı otun bulunduğu yere ve yoğunluğuna göre değişen miktarda (dozajda) ilaç püskürtülmektedir. Hareketli platformun önüne yerleştirilen multispektral kamera ile çekilen görüntülerle kontrol edilen selonoid valfli bir ilaçlama makinası görülmektedir gps destekli dümenleme sistemleri markette yer almaya başlayan önemli araçların arasında yer almaktadır.

Bu sistemlerde konum yüksek çözünürlükle belirlenmektedir. Tarla sınırları haritalanmakta ve ilaçlama makinasının tarla içinde izleyeceği sanal yollar oluşturulmaktadır. Bu sayede ilaçlama sırasında örtme minimumda tutulmakta ve dolayısıyla aynı yere tekrar ilaçlama yapılamamakta ya da uygulama desenleri arasında boşluklar kalmamaktadır. Bu sebeplere bağlı olarak püskürtme sistemi test laboratuvarlarında otomasyonda kullanılan püskürtme sistemi ve püskürtme memelerinin testlerini yapabilecek, projenin amacını oluşturan standlara ihtiyaç vardır. Ayrıca püskürtme sistemlerinin geliştirilmesi için bunların performanslarını gerçek uygulamalardaki gibi laboratuvarlarda da test edilebilmesi gerekmektedir.

Bu bilgiler ışığında püskürtme memesi tarımsal mücadelede başarıyı belirleyen en önemli elemandır. Bunun doğru tasarlanması yanında testlerinin de doğru yapılabilmesi gerekmektedir. Özellikle hassas uygulamalarda püskürtme sisteminin doğru simülasyonu laboratuvarlarda elde edilen sonuçları etkilemektedir. Bu nedendir ki laboratuvarlarda projenin konusu olan püskürtme sistemlerine ihtiyaç vardır. Ayrıca bu sistemin çalışmasını, otomasyonunu sağlayacak bir yazılıma da ihtiyaç vardır.

Tarımsal mücadelede uygulanan pestisitlerin büyük bir çoğunluğu sürüklenme, uygulama hatası ve teknik yetersizliklerle hedefe ulaşamamaktadır (Tian ve Zheng, 2000; Çelen, 2016;). Bu sebeple gerek operatörlerin gerekse uygulama tekniklerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Dünyada bir çok araştırmacı bu problemlerin üzerine çalışmalar yapmaktadır (Tian ve Zheng, 2000; Buttler ve ark., 2002; Çelen, 2016; Višacki ve ark., 2017). Bunlar içerisinde en önemlisi püskürtme memeleri ve bunlardan atılan pestisitlerin dağılımı üzerinedir. Püskürtme memeleri Laboratuvarlarda paternatörler üzerinde, sahada ise farklı tip örnekleme yüzeyleri (suya duyarlı kağıtlar, Filtre kağıtları, Yağa duyarlı kağıtlar vb.) kullanılarak püskürtme dağılımları saptanmaktadır (Goossens and Braekman, 2003; Declercq, 2014; Souza Junior, 2016).

Püskürtme memelerinin oluşturdukları damla büyüklükleri ve dağılımlar da araştırmacıların konuları içerisindedir (Minov ve ark., 2014). Farklı püskürtme memelerinin farklı uygulama şartlarında ürettikleri damlalar ve bunların dağılımı tarımsal mücadelede başarıyı etkilemektedir (Fritz ve ark. 2013). Damla dağılımları saptanırken traktör ilerleme hızı da önemli bir parametre olduğu için ölçümlerin laboratuvarlarda sabit bir ortamda yapılması uygun bir test ünitesi olmadığı için yapılamamaktadır (Nuytenns ve ark, 2014). Bu nedenle daha çok arazi uygulamaları şeklindedir. Suya duyarlı kağıtlar kullanılarak bu püskürtme memelerinin damla büyüklüğü ve dağılımlarının analizleri yapılmaktadır.

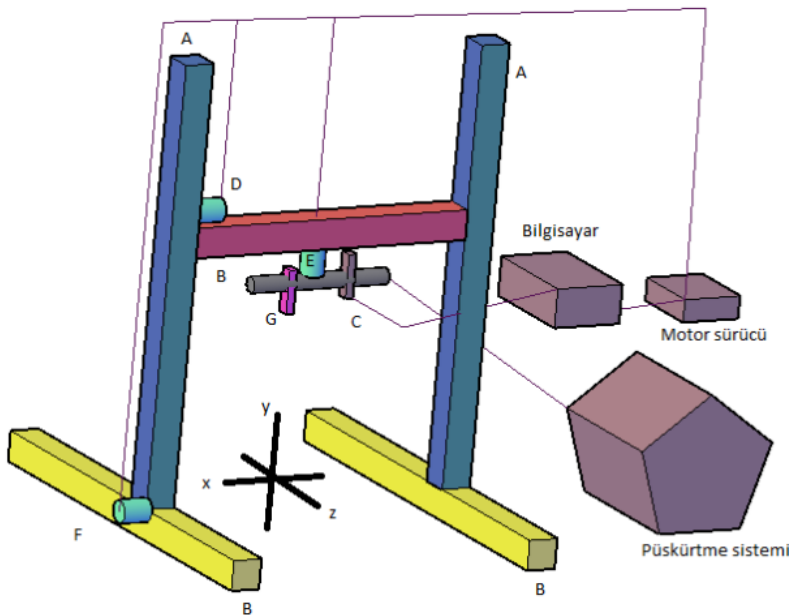
Bunların yanında hassas tarımda ve özellikle görüntü işleme tekniğinde hareketli püskürtme memeleri kullanılmaktadır. Yaygın olarak ise sabit püskürtme memelerinin sadece belirli koordinatlar üzerinde püskürtmesini sağlayan sistemler kullanılmaktadır (Luck ve ark., 2015; Sharda ve ark., 2016). Günümüzde bu uygulamalar tarım arazilerinde otomasyon sistemi üzerine takılmış traktörlerle yapılmaktadır (Dekeyser ve ark., 2012). Ancak dış ortam şartlarının değişkenliği gibi sebeplerle sonuçların doğruluğunda sıkıntılar olmaktadır. Bu memelerin testlerinin yapılabilmesi için projede de belirttiğimiz benzer hareketli sistemlere ihtiyaç vardır.

2. GEREÇ ve YÖNTEM

Projede oluşturulan test standı bir püskürtme sistemine bağlı olarak çalıştırılmıştır. Püskürtme sistemi olarak NKÜ Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü atelyesinde bulunan paternatör püskürtme sistemi kullanılmıştır. Püskürtme sistemi 400 lt depo, TAR%= pompa ve elektrik motorundan oluşmaktadır. Sistem elektrik motoru ile pompa arasında kayış-kasnak mekanizması kullanılarak çalıştırılmaktadır. Regülatör üzerinden hortum yardımıyla test standı üzerindeki buma bağlanmıştır. Bum üzerinde bir debi ölçer ve selenoid valfe bağlı püskürtme memesi yer almaktadır.

2.1. Ana Gövde

Ana gövde alüminyum şasiden oluşturulmuştur. Şasi üzerinde hareket edeceği iki adet profil (B), bu profil üzerinde hareket edebilen iki bacaklı (C) bir araba ve arabanın kolunu üzerinde hareket edebilecek bir başka arabadan (H) oluşmaktadır. Hareketler ve iletimi step motorlar(E-D-F) ve triger kayış sistemi ile sağlanmıştır. Şekil 1 de görüldüğü üzere Sistem B rayları üzerinde F motorunun hareketiyle z doğrultusunda hareket ettirilerek traktör ilerleme yönündeki hareketi temsil edilmiştir. H kirişine bağlı B bumuna bağlı G ile ifade edilen püskürtme memesinin y doğrultusundaki hareketi başka bir deyişle püskürtme memesinin yüksekliği A kolunu boyunca D motoru ile sağlanmıştır. H kirişi üzerinde yer alan E motorunun hareketiyle püskürtme memesi (G) x eksenini doğrultusunda hareket edebilmektedir. Böylece püskürtme memesi konumu otomasyon sistemi yardımıyla ayarlanabilmektedir. G püskürtme memesi selenoid valfe bağlı olarak çalışmaktadır. B püskürtme borusuna bağlı basınç-debi ölçer yardımıyla bu değerler çalışma sırasında okunabilmektedir. Tüm motorlar motor sürücüsüne bağlı olacağından bilgisayar üzerindeki yazılım ile sürücünün kontrolü yapılabilmekte (aynı zamanda bilgisayara bağlı olmadan manuel olarak kontrol paneli üzerinden kontrol edilebilmektedir) ve püskürtme memesinin x-y-z doğrultusunda hareket sağlanmaktadır. Selenoid valf yardımıyla on/off komutu püskürtme memesindeki, püskürtme işlevini gerçekleştirmektedir.



Şekil 1. Projede geliştirilen sistemin ana gövdesi

Sistemde X, Y ve Z eksenlerinin hareket sistemlerinin yataklanmasında, günümüz teknolojinin getirmiş olduğu yeniliklerden olan, doğrusal rulmanlı yataklar ve indüksiyonlu

krom kaplamalı, CK 45 malzeme standardında miller kullanılmıştır. Doğrusal rulmanlı yataklar içlerinde bilye sisteminin sürekli devir daim yapması mantığıyla çalıştığı için sürtünmeyi en aza indirerek, sistemde meydana gelebilecek kasıntı ve zorlanmaları en aza indirgenmeye çalışılmıştır.



Şekil 2 . Test sisteminde kullanılan rulmanlı yataklar

Çizelge 1. CK45 malzeme özellikleri

Malzeme	W.no	%C	%Mn	%Si	%S	%P	Kapalama kalınlığı (mikron)	Ana malzeme sertliği (HB)
CK45	1.119	0.42-0.50	0.50-0.80	0.4	0.035	0.0351	20	180-230

Tahrik sistemi olarak, tasarımı yapılan X-Y-Z standında step motor (E-D-F) ve bu hareketi eksenlere iletmek için krom kaplı mil sistemi kullanılmıştır. Step motorlar düşük hızlarda yüksek dönme momenti ürettikleri ve kontrolü kolay yapıldığı için seçilmiştir. Sistemde X, Y, Z eksenlerinde olmak üzere 3 adet step motor kullanılmıştır. Bu step motorlar X ve Z eksenin 4.5 Nm dönme momentine sahip ve 4 A akım çekmektedir. Y ekseninde kullanılan step motor ise 3 Nm dönme momentine sahip ve 4 A akım çekmektedir.

2.2. Kontrol Sistemi ve Yazılım

Sistemde iki adet nema 34 bipolar step motor kullanılmıştır. Bu step motorlar 4.5 Nm tork ve 1.8 derece step açısı değerlerine sahiptir. Motorlar 24 V ile çalışmakta ve 4 A akım çekmektedirler. Sistemde bir adet ise nema 24 bipolar step motor kullanılacaktır. Bu step motor 3 Nm tork ve 1.8 derece step açısı değerlerine sahiptir. Motor 24 V ile çalışmakta ve 4 A akım çekmektedir.



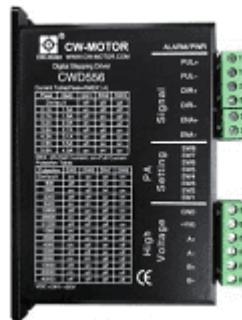
Şekil 3.. Test sisteminde kullanılan step motor

2.2.1. Step Motor Sürücüsü

Step motor sürücüsü bir akım yükseltecidir. Düşük akımlı kontrol sinyallerini alarak motoru çalıştıracak yüksek akımlı sinyalleri kumanda eder. Projede Step motor sürücüsü olarak CWD556 4 telli bipolar step motor sürücü kullanılmıştır. Bu motor sürücüsü 5 A akıma kadar çalışabilmektedir.

2.2.1.1. CWD556 Motor Sürücü

Şekilde CWD 556 step motor sürücüsü görülmektedir. Bu step motor sürücüsü 2 fazlı bir sürücü olup 32bit DSP işlemciye sahiptir. Anti-rezonans, düşük gürültü, mikro adım ve düşük çalışma sıcaklığı özelliklerine sahiptir. Bu sayede motor sürücüsü düşük gürültü ve daha az vibrasyon ile step motorları çalıştırabilmektedir. Kullandığı adaptif PID yöntemi sayesinde hassas şekilde kontrol edilebilmesini sağlar. Çalışma gerilim aralığı 24-50 VDC' dir. Adım sayısı maksimum 51200 adım/dönüş olarak ayarlanabilir.



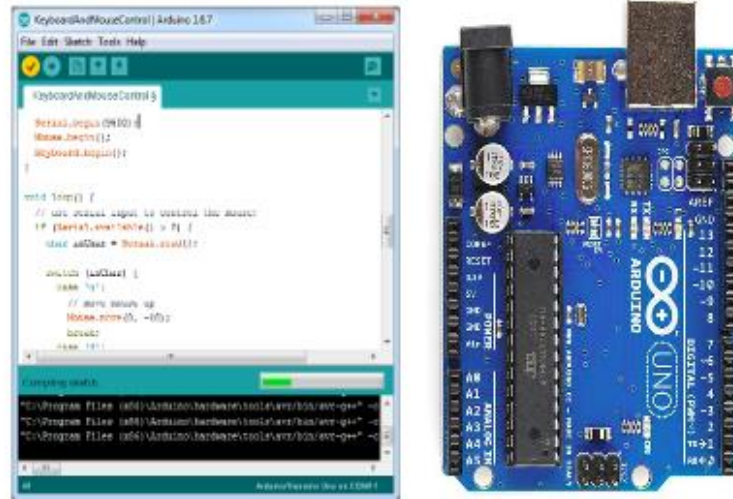
Şekil4. Test sisteminde kullanılan step motor sürücüsü

Sistemin programlanması için CNC makinalarında pozisyon kontrolü için kullanılan gcode kullanılmıştır. X, Y ve Z eksenlerinin kontrolü için kullanılan 3 step motor birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilmektedir.

G-code komutlarının step motor sürücülerine gönderilebilmesi için Arduino UNO modülü kullanılmıştır. Bu modül USB kablo aracılığıyla bilgisayara bağlanmaktadır.

2.2.2. Arduino Mikrodenetleyici

Arduino açık kaynak yazılımlı bir mikrodenetleyici platformudur. Bir mikrodenetleyici ve bu mikrodenetleyiciyi destekleyecek tüm donanımları içeren bir baskı devreden oluşmaktadır. Bu mikrodenetleyici C++ programlama dilinin basitleştirilmiş versiyonu olan bir programlama dili ve arayüzü ile programlanabilmektedir. Kullanılan Arduino UNO modelinde 8 bit Atmel ATMEGA328 bir mikrodenetleyici bulunmaktadır.



Şekil 5 . Test sisteminde kullanılan Arduino mikrodenetleyici

Çizelge 2 . Arduino UNO Özellikleri

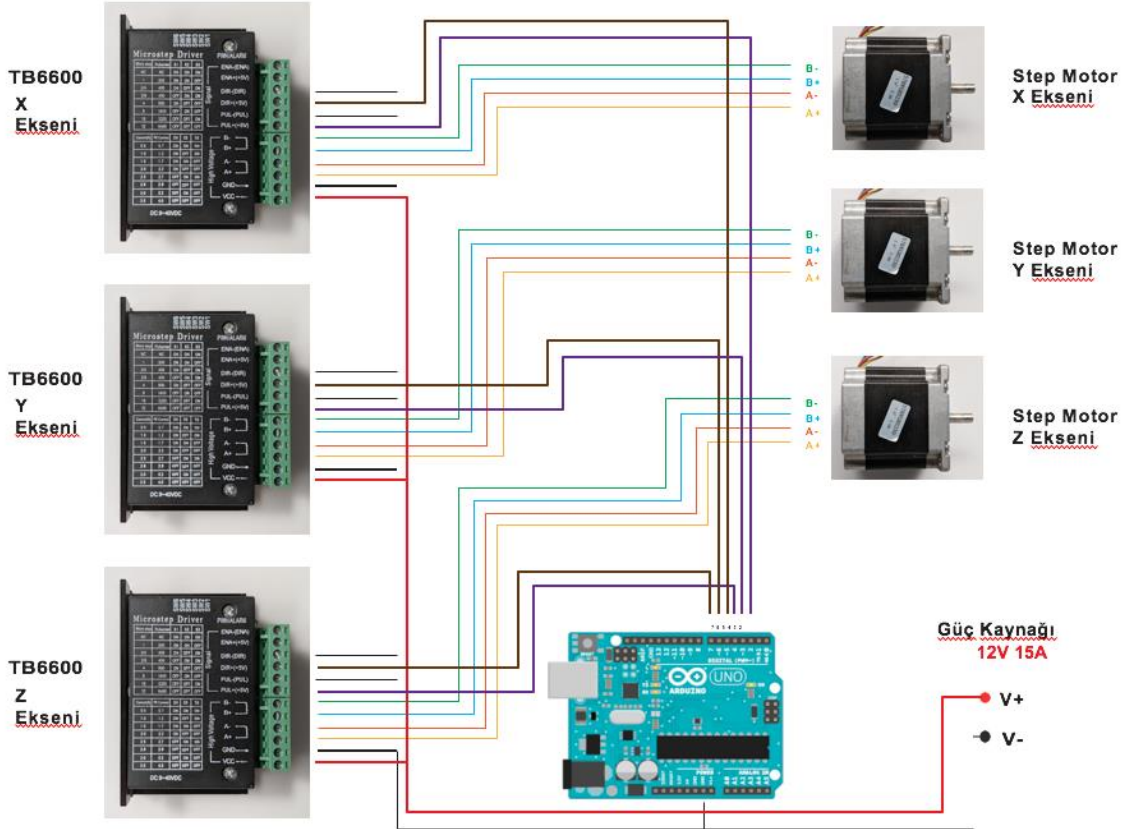
Mikrodenetleyici	ATmega328	DC Akım (I/O pin başına)	40 mA
Çalışma Gerilimi	5V	DC Akım (3.3V pin)	50 mA
Giriş Gerilimi	7-12V	Flash Memory	32 Kbyte
Giriş Gerilimi (Limit)	6-20V	SRAM	2 Kbyte
Dijital I/O Pinleri	14	EEPROM	1 Kbyte
PWM Dijital I/O Pinleri	6	Saat Hızı	16 MHz
Analog Giriş Pinleri	6	Bootloader boyutu	0.5 KByte

2.2.3. Sistem Blok Diyagramı

Sisteme ait blok diyagramı ve bağlantı şeması aşağıda görülmektedir.



Şekil 6 . Test sisteminin çalışma diyagramı



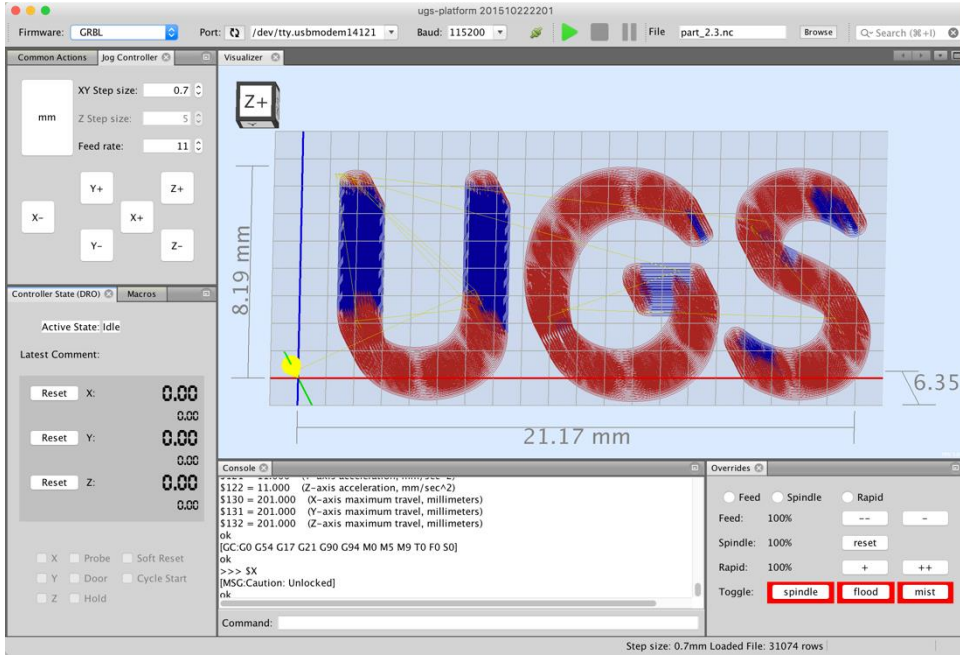
Şekil 7 . Test sisteminin elektriksel bağlantı şeması

2.2.4. Step Motor Kontrol Yazılımı GRBL

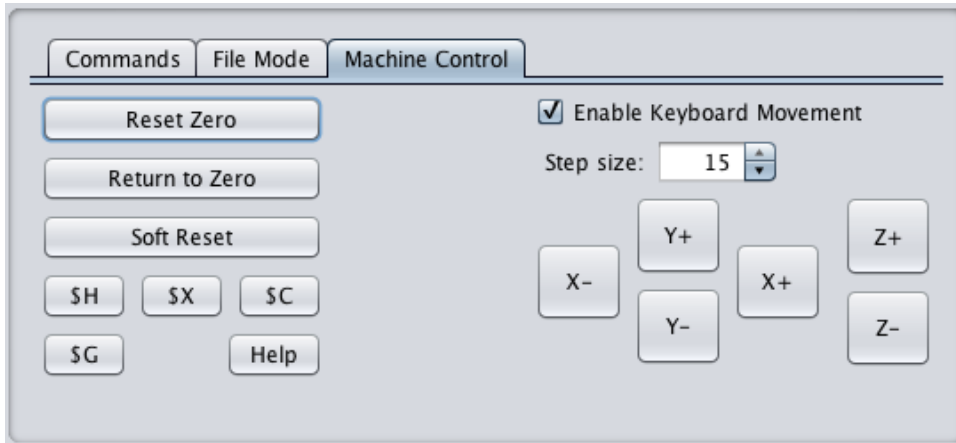
C ve C++ kullanılarak geliştirilmiş, açık kaynak kodlu cnc kontrol yazılımıdır. Bu yazılım kütüphanesi sayesinde step motor kontrol ünitelerine Arduino UNO üzerinden gcode eksen kontrol komutları gönderilebilecektir.

2.2.4.1. Universal Gcode Sender

GRBL üç eksen kontrolünde makine-insan arayüzü olarak UGS (Universal Gcode Sender) kullanılacaktır. UGS üzerinde 3 eksenli hareket, hazırlanan gcode kodu olarak çalıştırılabileceği gibi step motorların kontrolü manuel olarak ta yapılabilmektedir.



Şekil 8. UGS arayüzü



Şekil 9. UGS manuel kontrol arayüzü

2.2.4.2. G-Code

G-Code (Geometrik kod) CNC makinelerinin kontrolünde kullanılan jenerik kontrol dilidir. Step motorlara istenilen hızda kontrol etme imkanı tanır. Nümerik kontrol üniteleri istenilen hareketi sağlamak için temel blokları kullanır. Kullanılabilecek çeşitli g-code kod blokları aşağıda görülmektedir:

- * G00 : Hızlı pozisyonlama
Bu kod makinanın yüksek hızda çalışmasını sağlar
- * G01: Lineer interpolasyon
Sistem düz bir çizgi üzerinde ilerler
- * G02: Dairesel/Helisel interpolasyon
Sistem saat yönünde daireysel veya helisel bir patern izler
- * G03: Dairesel/Helisel interpolasyon
Sistem saat yönünün ters yönünde daireysel veya helisel bir patern izler
- * G17: X-Y düzlem seçimi
- * G18: X-Z düzlem seçimi
- * G19: Y-Z düzlem seçimi
- * G20: inç olarak programlama
- * G21: mm olarak programlama

Ayrıca püskürtme sistemi depo, pompa, bum ve üzerine bağlanan 1 adet püskürtme memesi kullanılarak oluşturulmuştur. Sistem üzerine takılacak püskürtme sistemi olarak NKÜ Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Atelyesinde yer alan paternatör üzerindeki püskürtme sisteminden faydalanılmıştır. Sistem 400lt depo, Tar50 membranlı pompa, regülatörden oluşmaktadır. Sistem üzerinden basınçlı boru ile proje test standına bağlanarak püskürtme gerçekleştirilmektedir. Test standına bağlandığı yerde selenoid valf ve püskürtme memesi yer almaktadır. Ayrıca gerek püskürtme memesinde gerekse püskürtme sisteminde basınç okuyabilmek için manometre kullanılmıştır.

3. BULGULAR

Bu proje kapsamında klasik uygulamalarda tüm tarlaya ilaç atmak yerine sadece yabancı ot üzerine ilaç atabilen sistemlerin denenmesi ve geliştirilmesi için 3 eksenli bir test standı ve yazılımı geliştirilmiştir.

Tarımsal mücadelede kullanılan püskürtme memelerinin pülverizasyon karakteristiklerini test edebileceğimiz, hız, basınç ve konum ayarlayabileceğimiz bir püskürtme sistemine sahip, ayrıca otomasyonu için yazılım geliştirebileceğimiz bir test düzeneği tasarımı yapmak ve bu standın otomasyonunu sağlamak amacıyla yazılım geliştirilmiştir.

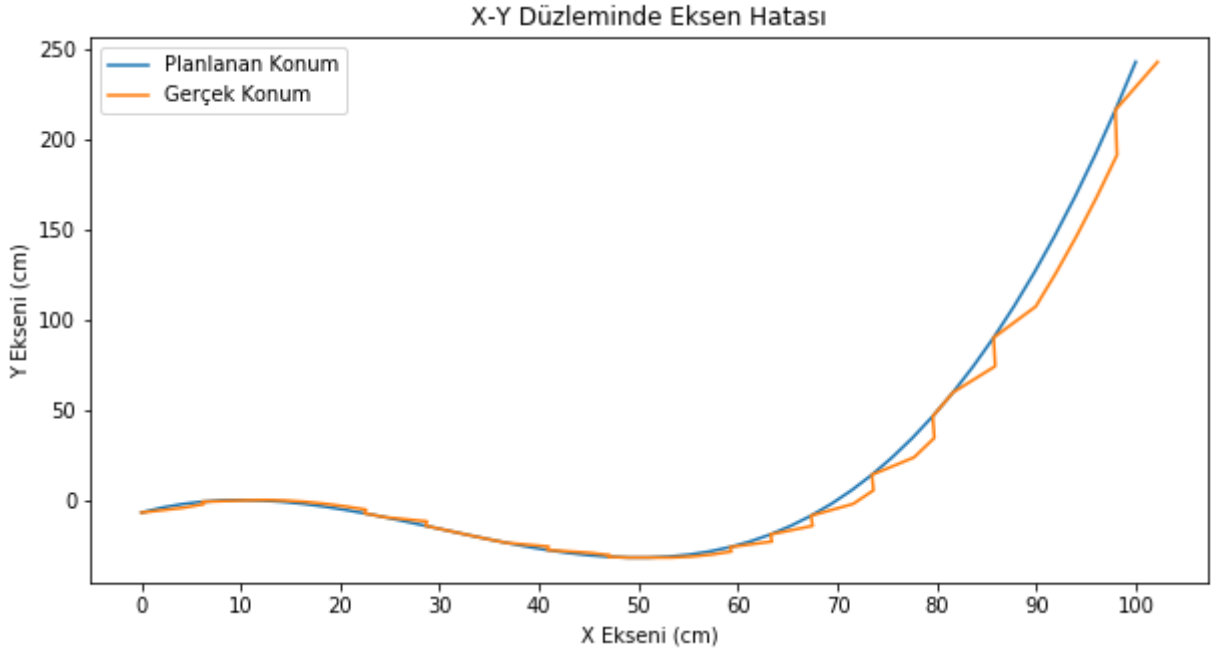


Şekil 10 Prototip şekli

Endüstride yaygın olarak CNC (Bilgisayar Nümerik Kontrol) teknolojisinin püskürtme memelerinin testleri için kullanılması sağlanmıştır. Püskürtme memelerinin üç eksenli olarak kontrolünü sağlayan bu sistemde step motorlar kullanılmış ve motorların kontrolü adaptif PID kontrol imkanı sağlayan CWD556 step motor sürücüsü ile sağlanmıştır.

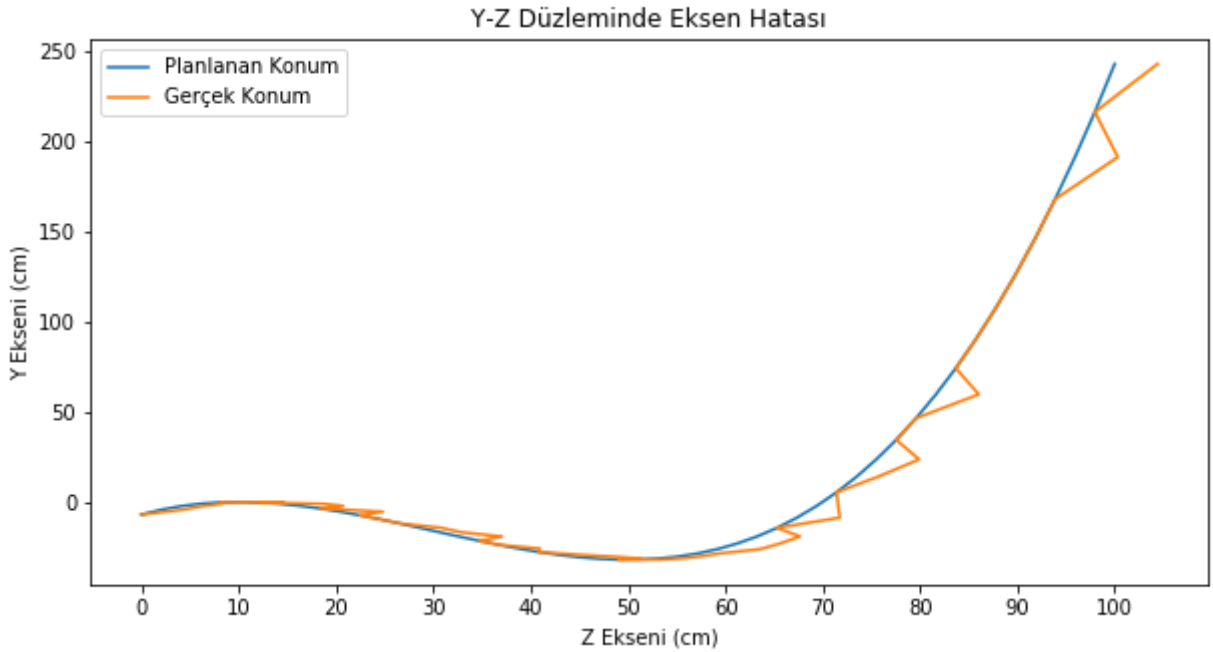
Step motor sürücüsünün gerçekleştireceği komutlar Arduino UNO mikrodenetleyici ünitesine geliştirilen bir yazılım ile oluşturulmuş ve elektrik motorlarının istenilen hareketleri yapması sağlanmıştır.

Testler sırasında X-Y ve Y-Z eksenlerindeki hareket eksen hatası açısından karşılaştırılmıştır.



Şekil 11 Planlanan konu ile gerçekte takip edilen konum ilişkisi (Y-X:250-100)

Şekil 11 deki grafikte mavi ile gösterilen çizgi planlanan konumu, turuncu ile gösterilen çizgi ise gerçekte takip edilen konumu göstermektedir. Y ekseninde 250 cm, X ekseninde ise 100 cm hareket edilmiştir. X-Y düzleminde ortalama eksen hatası %7, ve standart sapma ise 0.17 elde edilmiştir.



Şekil 12. Planlanan konu ile gerçekte takip edilen konum ilişkisine (Y-Z: 250-100)

Şekil 12 deki grafikte mavi ile gösterilen çizgi planlanan konumu, turuncu ile gösterilen çizgi ise gerçekte takip edilen konumu göstermektedir. Y ekseninde 250 cm, Z ekseninde ise 100 cm hareket edilmiştir. Y-Z düzleminde ortalama eksen hatası %9,

ve standart sapma ise 0.18 elde edilmiştir. Y-Z ekseninde, X-Y eksenine göre daha fazla sapmanın görülmesi Z ekseninde yapılan hareket sırasında yerçekimi kuvvetine karşı koyulması nedeniyledir.

Tasarım aşamasında Arduino için geliştirilen program aşağıda görülmektedir. Verilen G-code (izlenecek x-y-z konum verileri) bu program aracılığıyla işlenerek step motor sürücüleri kontrol edilmiş bu sayede sistemin çalışması sağlanmıştır.

```
#include <Stepper.h>

#define LINE_BUFFER_LENGTH 512

const int stepsPerRevolution = 20;

Stepper myStepperY(stepsPerRevolution, 2,3,4,5);
Stepper myStepperX(stepsPerRevolution, 8,9,10,11);

struct point {
  float x;
  float y;
  float z;
};

struct point actuatorPos;

float StepInc = 1;
int StepDelay = 0;
int LineDelay = 50;
int penDelay = 50;

float StepsPerMillimeterX = 6.0;
float StepsPerMillimeterY = 6.0;

float Xmin = 0;
float Xmax = 40;
float Ymin = 0;
float Ymax = 40;
float Zmin = 0;
float Zmax = 1;

float Xpos = Xmin;
float Ypos = Ymin;
float Zpos = Zmax;

boolean verbose = false;

void setup() {
  // Setup
  Serial.begin( 9600 );
```

```

myStepperX.setSpeed(250);
myStepperY.setSpeed(250);

Serial.println("Test Unit is working!");
Serial.print("X range is from ");
Serial.print(Xmin);
Serial.print(" to ");
Serial.print(Xmax);
Serial.println(" mm.");
Serial.print("Y range is from ");
Serial.print(Ymin);
Serial.print(" to ");
Serial.print(Ymax);
Serial.println(" mm.");
}

void loop()
{
  delay(200);
  char line[ LINE_BUFFER_LENGTH ];
  char c;
  int lineIndex;
  bool lineIsComment, lineSemiColon;

  lineIndex = 0;
  lineSemiColon = false;
  lineIsComment = false;

  while (1) {

    while ( Serial.available()>0 ) {
      c = Serial.read();
      if (( c == '\n' ) || ( c == '\r' ) ) {
        if ( lineIndex > 0 ) {
          line[ lineIndex ] = '\0';
          if (verbose) {
            Serial.print( "Received : ");
            Serial.println( line );
          }
        }
        processIncomingLine( line, lineIndex );
        lineIndex = 0;
      }
      else {

    }
    lineIsComment = false;

```

```

lineSemiColon = false;
Serial.println("ok");
}
else {
if ( (lineIsComment) || (lineSemiColon) ) {
    if ( c == ')' ) lineIsComment = false;
}
else {
if ( c <= ' ' ) {
}
else if ( c == '/' ) {
}
else if ( c == '(' ) {
    lineIsComment = true;
}
else if ( c == ';' ) {
    lineSemiColon = true;
}
else if ( lineIndex >= LINE_BUFFER_LENGTH-1 ) {
    Serial.println( "ERROR - lineBuffer overflow" );
    lineIsComment = false;
    lineSemiColon = false;
}
else if ( c >= 'a' && c <= 'z' ) {
    line[ lineIndex++ ] = c-'a'+ 'A';
}
else {
    line[ lineIndex++ ] = c;
}
}
}
}
}
}
}
}
}
}
}
}
}
}
}

```

```

void processIncomingLine( char* line, int charNB ) {
    int currentIndex = 0;
    char buffer[ 64 ];
    struct point newPos;

    newPos.x = 0.0;
    newPos.y = 0.0;

    while( currentIndex < charNB ) {
        switch ( line[ currentIndex++ ] ) {
            case 'U':
                penUp();
                break;
            case 'D':

```

```

penDown();
break;
case 'G':
buffer[0] = line[ currentIndex++ ];
//  buffer[1] = line[ currentIndex++ ];
//  buffer[2] = '\0';
buffer[1] = '\0';

switch ( atoi( buffer ) ){
case 0:
case 1:

char* indexX = strchr( line+currentIndex, 'X' );
char* indexY = strchr( line+currentIndex, 'Y' );
if ( indexY <= 0 ) {
newPos.x = atof( indexX + 1 );
newPos.y = actuatorPos.y;
}
else if ( indexX <= 0 ) {
newPos.y = atof( indexY + 1 );
newPos.x = actuatorPos.x;
}
else {
newPos.y = atof( indexY + 1 );
indexY = '\0';
newPos.x = atof( indexX + 1 );
}
drawLine(newPos.x, newPos.y );
//  Serial.println("ok");
actuatorPos.x = newPos.x;
actuatorPos.y = newPos.y;
break;
}
break;
case 'M':
buffer[0] = line[ currentIndex++ ];
buffer[1] = line[ currentIndex++ ];
buffer[2] = line[ currentIndex++ ];
buffer[3] = '\0';
switch ( atoi( buffer ) ){
case 300:
{
char* indexS = strchr( line+currentIndex, 'S' );
float Spos = atof( indexS + 1 );
//  Serial.println("ok");
if ( Spos == 30 ) {
penDown();
}
}
if ( Spos == 50 ) {

```

```

        penUp();
    }
    break;
}
case 114:
    Serial.print( "Absolute position : X = " );
    Serial.print( actuatorPos.x );
    Serial.print( " - Y = " );
    Serial.println( actuatorPos.y );
    break;
default:
    Serial.print( "Command not recognized : M");
    Serial.println( buffer );
}
}
}
}
}

```

```

void drawLine(float x1, float y1) {

```

```

    if (verbose)
    {
        Serial.print("fx1, fy1: ");
        Serial.print(x1);
        Serial.print(",");
        Serial.print(y1);
        Serial.println("");
    }

    if (x1 >= Xmax) {
        x1 = Xmax;
    }
    if (x1 <= Xmin) {
        x1 = Xmin;
    }
    if (y1 >= Ymax) {
        y1 = Ymax;
    }
    if (y1 <= Ymin) {
        y1 = Ymin;
    }

    if (verbose)
    {
        Serial.print("Xpos, Ypos: ");
        Serial.print(Xpos);
        Serial.print(",");
        Serial.print(Ypos);
        Serial.println("");
    }
}

```



```

}

if (verbose)
{
  Serial.print("x1, y1: ");
  Serial.print(x1);
  Serial.print(",");
  Serial.print(y1);
  Serial.println("");
}

x1 = (int)(x1*StepsPerMillimeterX);
y1 = (int)(y1*StepsPerMillimeterY);
float x0 = Xpos;
float y0 = Ypos;

long dx = abs(x1-x0);
long dy = abs(y1-y0);
int sx = x0<x1 ? StepInc : -StepInc;
int sy = y0<y1 ? StepInc : -StepInc;

long i;
long over = 0;

if (dx > dy) {
  for (i=0; i<dx; ++i) {
    myStepperX.step(sx);
    over+=dy;
    if (over>=dx) {
      over-=dx;
      myStepperY.step(sy);
    }
    delay(StepDelay);
  }
}
else {
  for (i=0; i<dy; ++i) {
    myStepperY.step(sy);
    over+=dx;
    if (over>=dy) {
      over-=dy;
      myStepperX.step(sx);
    }
    delay(StepDelay);
  }
}

if (verbose)
{

```

```

Serial.print("dx, dy:");
Serial.print(dx);
Serial.print(",");
Serial.print(dy);
Serial.println("");
}

if (verbose)
{
Serial.print("Going to (");
Serial.print(x0);
Serial.print(",");
Serial.print(y0);
Serial.println(")");
}

delay(LineDelay);

Xpos = x1;
Ypos = y1;
}

```

Tasarlanan bu test sistemi sayesinde püskürtme memeleri laboratuvar ortamında traktör kullanımına gerek kalmadan istenilen hızlarda kontrol edilebilmektedir. Aynı zamanda hassas tarımsal ilaçlama konusunda yapılacak çeşitli akademik çalışmalar için de altyapı sağlamış olacaktır.

Daha sonraki çalışmalarda bu test sistemi servo motor kullanılarak step motorlara göre daha hassas şekilde kontrol edilebileceği gibi eksen sonlarına eklenecek limit anahtarları ile daha güvenli bir çalışma da sağlanabilir.

4. KAYNAKLAR

Tian L., Zheng J.. Dynamic Deposition Pattern Simulation Of Modulated Spraying. Transactions of The ASAE, 2000, Vol. 43(1): 5-11

Fritz B.K., Hoffmann W. C., Bagley W. E., Kruger G. R., Czaczyk Z., Henry R. S.. Measuring Droplet Size of Agricultural Spray Nozzles—Measurement Distance And Airspeed Effects. USDA, 2000.

Buttler Ellis M. C., Bradley A.. The Influence of Formulation on Spray Drift. Aspects of Applied Biology, International Advances in Pesticide Application. 2002, 66:251-258

Goossens E. Braekman P.. Accreditation As A Safeguard For The Quality Of The Inspection Of Sprayers And The Spray Technology Laboratory. Stosofwanie Agrochemikalińw, XI Krajowe Seminarium. Pulawy, 2003, Poland.

Declercq, J., Huyghebaert, B., Nuyttens, D.. An overview of the defects on tested field sprayers in Belgium Third European Workshop on Standardised Procedure for the Inspection of Sprayers - SPISE 3 -, Brno, 2010, September 22-24,

Dekeyser D., Foque D, Endalew A M, Verboven P, Goossens T, Hendrickx N, Nuyttens D. Assessment of Orchard Sprayers Using Laboratory Trials. *Aspects of Applied Biology, International Advances In Pesticide Application*, 2012, 114,

Nuyttens D., Sonck B., De Schampheleire M., Steurbaut W., Baetens K., Verboven P., Nicolaï B., Ramon H.. A Pdpa Laser-Based Measuring Set-Up For The Characterisation Of Spray Nozzles. [Commun Agric Appl Biol Sci](#). 2005;70(4):1023-35.

Vulgarakis Minov S, Cointault F, Vangeyte J, Pieters J G, Nuyttens D. Spray Nozzle Characterization Using A Backlighted High Speed Imaging Technique Aspects Of Applied Biology 122, *International Advances In Pesticide Application*, 2015, 353.

Luck J.D., Sama M.P., Shearer S.A.. Spray Pattern and Droplet Spectra Characteristics From An Actively Controlled Variable-Orifice Nozzle. *Transactions Of The Asabe (American Society of Agricultural And Biological Engineers)*, 2015, 58(2):261-269

Çelen İ.H.. Hava Emişli Yelpaze Hüzmeli Püskürtme Memelerinde Püskürtme Dağılımının İlerleme Hızına Bağlı Olarak Değişim. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi* , 2016, 13 (01) :99-106

José Márcio de Souza Júnior, Renato Adriane Alves Ruas, João de Deus Godinho Júnior, Alberto Carvalho Filho, Vinícius Ribeiro Faria. Vertical volumetric distribution of an axial fan sprayer on the *Brevipalpus phoenicis* control. *Agropec. Trop.*, Goiânia, v. 46, n. 2, p. 183-190, 2016 Apr./Jun

Sharda A., Fulton J. P., Taylor R. K.. Performance of Variable-Orifice Nozzles For Liquid Fertilizer Applications *Applied Engineering in Agriculture*, 2016, Vol. 32(3): 347-352

Vladimir Višacki , Aleksandar Sedlar , Rajko Bugarin , Jan Turan , Patrik Burg. Effect Of Pressure On The Uniformity Of Nozzles Transverse Distribution And Mathematical Model Development *Acta Universitatis Agriculturae Et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 2017, Volume 65 60 Number 2