



Tarım Bilimleri Dergisi  
Tar. Bil. Der.

Dergi web sayfası:  
www.agri.ankara.edu.tr/dergi

Journal of Agricultural Sciences

Journal homepage:  
www.agri.ankara.edu.tr/journal

## Tarla Pülverizatörleri İçin PIC Kontrollü Aktif Bir Bum Dengeleme Sisteminin Geliştirilmesi

Caner KOÇ<sup>a</sup>, Rahmi KESKİN<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümü, 06130, Ankara, TÜRKİYE

### ESER BİLGİSİ

Araştırma Makalesi — Tarım Teknolojileri DOI: 10.1501/Tarimbil 0000001153

Sorumlu Yazar: Caner KOÇ, e-posta: ckoc@agri.ankara.edu.tr, Tel: +90(312) 596 11 25

Geliş tarihi: 28 Eylül 2010, Düzeltilmelerin gelişi: 19 Nisan 2011, Kabul: 26 Nisan 2011

### ÖZET

Bu çalışmada, tarla pülverizatörü bumlarını aktif olarak tarla yüzeyine paralel tutulmalarını sağlayacak elektro-hidrolik kontrollü bir ayar düzeninin geliştirilmesi ve modellenmesine yönelik bir mekatronik sistem geliştirilmiştir. Sistemin mekanik, hidrolik ve elektronik aksamaları, bilgisayar ortamında tasarlanıp simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen sistemin denemeleri için tarla pülverizatörü esas alınarak, her birinin uzunluğu 5 m olan mafsallı olarak yataklandırılmış iki kanatlı (sağ ve sol) buma sahip prototip bir dengeleme sistemi tasarlanmış ve imal edilmiştir. Bumların uç kısımlarına yerleştirilmiş olan ultrasonik mesafe ölçüm sensörlerinden gelen yükseklik verilerine bağlı olarak bumların elektro-hidrolik yükseklik kontrolü gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen prototip dengeleme sisteminin denemeleri hem tarla hem de laboratuarda gerçekleştirilmiştir. Tarla denemelerinde üç farklı zemin (anzlı, tırmıkla işlenmiş, yoncalı), üç farklı hız ( $3.5 \text{ km h}^{-1}$ ,  $4.5 \text{ km h}^{-1}$ ,  $6.0 \text{ km h}^{-1}$ ) ve üç farklı yükseklik ayar değeri (60 cm, 80 cm, 100 cm) kullanılmıştır. Denemelerden elde edilen verilerin analizi sonucunda sistemin tarla koşulları ve hız farklılıklarından etkilendiği belirlenmiştir. Sistem tarafından ölçülen bum yükseklikleri ile girilen ayar değerleri arasındaki en düşük ortalama farklılıklar anzlı ve tırmıklı tarla koşullarında  $6 \text{ km h}^{-1}$  ve yoncalı tarlada ise  $3.5 \text{ km h}^{-1}$  lik hızlarda yapılan çalışmalarda elde edilmiştir. Sistem iki bumu ayrı ayrı kumanda etmesine rağmen aynı karakteristik özellikleri göstermiştir. Geliştirilen sistem deneme yapılan test koşullarında girilen ayar değeri farklılıklarını algılamış ve bumları ayrı ayrı istenilen ayar yüksekliklerinde aktif olarak dengede tutmuştur.

Keywords: Hassas tarım; Ultrasonik sensör; Elektro-hidrolik kontrol; Bum dengeleme sistemi

## Developing of PIC Controlled Active Boom Suspension System for Field Sprayer

### ARTICLE INFO

Research Article — Agricultural Technologies

Corresponding author: Caner KOÇ, e-mail: ckoc@agri.ankara.edu.tr, Tel: +90(312) 596 11 25

Received: 28 September 2010, Received in revised form: 19 April 2011, Accepted: 26 April 2011

### ABSTRACT

In this work, a PIC controlled adjustment system was developed and modeled to keep the field sprayer booms parallel to the field ground during field operations. The mechatronic system is composed of mechanic, hydraulic, electronic and programming parts. The mechanic, hydraulic, and electronic parts of the system were designed and simulated by using computer software programs. To test the system, a field sprayer was considered as a basic

oscillatory working agricultural machine to which it is very important to keep the sprayer boom parallel to the ground. A special prototype sprayer boom with two sections (left and right) each with a 5 m width was designed and manufactured. The boom sections on the sprayer were controlled using an electro-hydraulic system. The control of the boom height was based on two ultrasonic height measurement sensors mounted at the end of boom sections. The field experiments were conducted at three different fields (stubble field, harrowed field, clover field), three different speeds ( $3.5 \text{ km h}^{-1}$ ,  $4.5 \text{ km h}^{-1}$ ,  $6.0 \text{ km h}^{-1}$ ) and three different heights (60 cm, 80 cm, 100 cm). The results of the experiments indicated that the system was affected by the field conditions and speed variations. The minimum differences between the measured boom heights and the entered set values were observed when the system was operated at  $6 \text{ km h}^{-1}$  on stubble and harrowed field and  $3.5 \text{ km h}^{-1}$  on clover field. Under the test conditions used for the experiments in this study, the developed system controlled the two boom sections separately at the desired heights. Although the system controlled the boom sections separately, control of both sections showed similar characteristics. The developed system, under the test conditions, kept the booms at desired heights dynamically during the field operations.

Anahtar sözcükler: Precision farming; Ultrasonic sensor; Electro-hydraulic control; Boom suspension system

© Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi

## 1. Introduction

Eğimli arazilerde toprak erozyonunu önlemek için tarlaların izdüşüm eğrileri şeklinde sürülmesi tarımsal faaliyetler açısından büyük bir dezavantaj oluşturmaktadır. İslah edilmemiş arazilerde artan engebelerin traktörde yarattığı yatay ve düşey titreşimler, tarımsal savaş makinalarının ilerleme hızını azalttığı gibi ilaç dağılım düzgünlüğünü de olumsuz yönde etkilemektedir. Tarımsal savaşta ilaçların büyük çoğunluğu sıvı olduğu için, damlalar halinde pülverizasyon söz konusu olup, en önemli ilaçlama parametresi damla çapı olmaktadır (Hedden 1961). Bu nedenle damla çapında meydana gelen farklılıklar, tarım ilaçlarının uygulama başarısını etkilemektedir (Kepner et al 1972). Özellikle eğimli ve engebeli arazilerde, pülverizatör buminin iki ucu arasındaki mesafenin tarla yüzeyine olan uzaklığının farklı olması ilaçlama etkinliğini ve ilaçlamanın tekdüzeliğini olumsuz etkilemektedir (Çilingir & Çelen 1995). Bum ile tarla yüzeyi arasındaki mesafenin büyük olduğu tarafta ilaç sürüklenme (drift) nedeniyle hedeften uzaklaşırken, mesafenin kısa olduğu diğer tarafta ise hedef yüzeye atılacak ilaç miktarı artmakta ve ilaçlama düzgünlüğü bozulmaktadır. Bu yüzden bumların ilaçlama esnasındaki yüksekliği sürekli olarak belirlenen ilaçlama mesafesinde tutulmalıdır (Pochi & Vannucci 2001). Tarla koşullarında bum hareketlerinin otomatik olarak algılanması ve aktif olarak bumların tarla düzlemine mümkün olduğunca paralel tutulmaları çok önemlidir (Jeon et al 2004). Son yıllarda tarım faaliyetlerinde kullanılan pülverizatörlerin tarla etkinliklerini artırmak amacıyla bu makinaların iş

genişlikleri gittikçe artırılmaktadır. İş genişliği artırılan bumların engebeli arazilerde etkin bir ilaçlama yapmaları ve çarpmalardan dolayı oluşabilecek zararların önlenmesi için pülverizatör bum yüksekliğinin dinamik olarak ölçülmesi ve kontrol edilmesi gerekmektedir. Pülverizatör bum yüksekliğini kontrol etmek için çok sayıda pasif dengeleme düzenekleri üreticiler tarafından geliştirilmiş ve kullanılmaktadır. Tüm bu pasif dengeleyiciler yerçekimine bağlı olarak çalıştıkları için özellikle eğimli arazilerde verimli çalışmamaktadırlar (Deprez et al 2003). Aktif bum dengeleme düzenekleri ise genellikle kendi yürür tarla pülverizatörlerinde kullanılmaktadır. Bu sistemlerin yüksek maliyetlerinin yanısıra, hali hazırdaki pülverizatör bumlarına monte edilmeleri ise zor olmaktadır. Son yıllarda mikrokontrol yongalarındaki ve algılayıcı teknolojisindeki gelişmeler bu yongaların ve algılayıcıların fiyatlarını oldukça ucuzlatmıştır. Teknolojik gelişmeler ve ekonomik olmaları nedeniyle yongalar ve ultrasonik uzaklık ölçüm algılayıcıları bir çok endüstri alanında olduğu gibi tarımsal alanlarda da yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Her ne kadar yonga ve sensörlerin fiyatı düşük olsa da bu teknolojilerin etkin bir şekilde kullanımı bir yazılım programının geliştirilmesi ile de mümkün olabilmektedir.

Bu çalışmada; tarla pülverizatör bumları ile tarla yüzeyi arasındaki mesafenin sabit tutulmasına yönelik düşük maliyetli ve hali hazırda kullanılan pülverizatörlere monte edilebilecek modüler bir aktif bum dengeleme sisteminin geliştirilmesi ve geliştirilen bu sistemin laboratuvar ve tarla

koşullarında çalışma performansının belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Materyal

Bu çalışmada tarla pülverizatör bumları örnek alınarak prototip bir bum tasarlanmıştır. Geliştirilen prototip makine parçalı yapıda ve kolayca sökülüp takılabilesine imkan tanıyan bağlantı elemanlarından oluşturulmuştur. Prototip bum sisteminde, sağ ve sol bum kolları ayrı ayrı hareket etmeye uygun ve parçalı yapıda imal edilmiştir. Bumların toplam iş genişliği 10 m'dir. Bumlar üzerinde ayrıca çapı 8 cm ve strok boyu 18 cm olan 2 adet hidrolik silindir kullanılmıştır (Şekil 1). Laboratuvar denemelerinde bum sisteminin güç ihtiyacı bir hidrolik güç ünitesinden karşılanmıştır. Hidrolik güç ünitesi 24 V ve 2 kW gücünde bir DC motor, hidrolik pompa, 2 adet selenoid valf, 5 L kapasiteli bir hidrolik yağ deposu, 2 adet 12 V'luk batarya ile elektrik ve hidrolik bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Hidrolik güç ünitesinin çalışma süresi bataryalara bağlı olduğu için uzun süreli çalışmalar için kullanılması mümkün olmamıştır. Bunun için tarla denemelerinde daha uzun süreli çalışmalar için traktör kuyruk milinden hareket alan redüktörlü bir hidrolik sistem kullanılmıştır. Sistem bir adet 1/3 transmisyon oranlı redüktör, 250 bar basınçlı pompa, traktör kuyruk mili, hidrolik borular, 30 l kapasiteli harici depo ve sabitleme aparatlarından oluşturulmuştur. Redüktör 540 min<sup>-1</sup> standart kuyruk mili devrini üç katına çıkararak pompa basıncını artırmak için kullanılmıştır. Redüktör yardımıyla çalışan hidrolik pompa, hidrolik güç üretmek için gerekli hidrolik yağı, prototip bum sistemi çatısı üzerine yerleştirilen hidrolik yağ deposundan sağlamıştır.

Aktif bum dengeleme sisteminin kumanda edilmesi için bir adet elektronik kumanda kartı geliştirilmiştir. Elektronik kumanda kartı elemanları; 1 adet PIC 16F877 mikrodenetleyicisi, 7805 regülatör, 4 adet 5V DC röle, dirençler, 4 MHz kristal osilatör ve kapasitörlerden oluşmaktadır. Yer düzlemiyle bum arasındaki yükseklik mesafesini ölçmek için ise sağ ve sol bum uç noktalarına sabitlenen birer adet MaxSonar-

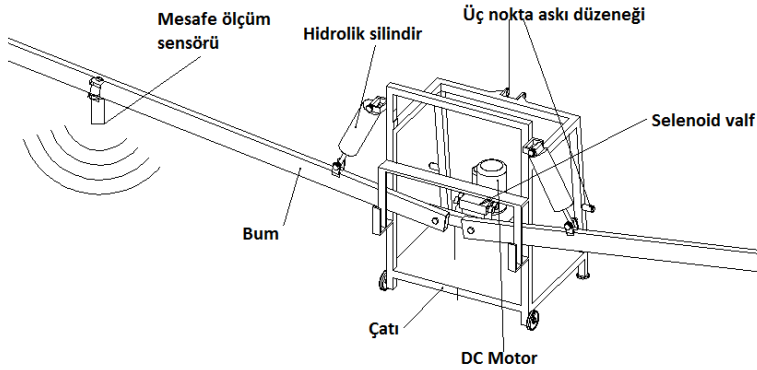
EZ1 (Maxbotix LV, 8757 East Chimney Spring Drive, Tucson AZ 85747 USA ) mesafe ölçüm sensörleri kullanılmıştır. Ayrıca sensörlerden ölçülen kalibre edilmiş mesafe bilgilerinin gösterimi için kullanılan bir adet LCD ekran, okunan sensör verilerinin kaydedilmesi için bir adet diz üstü bilgisayar, LabView 8.2 paket programı (National Instruments Corporation, 11500 N Mopac Expwy Austin, TX 78759-3504, USA) ve ara bağlantı kartı NI 6009 kullanılmıştır. Geliştirilen sistemde, tüm sistemi kumanda eden ve denetleyen PIC BasicPro programlama dilinde yazılmış bir de program geliştirilmiştir.

Tasarımı ve imalatı gerçekleştirilen sistemin amaca uygunluğunu test etmek için laboratuvar ve tarla koşullarında denemeleri yapılmıştır. Denemelerde sensörler ve kontrol programı hassaslaştırılarak prototip bumun ve kontrol düzeneğinin performansı belirlenmiştir. Laboratuvar denemeleri sırasında hava sıcaklığı ortalama 20°C ve tarla denemeleri sırasındaki hava sıcaklığı 30-32°C arasında değişmiştir.

### 2.2. Yöntem

Geliştirilen prototip makine ve aktif dengeleme sisteminin tasarımı ve simülasyonları için bilgisayar destekli tasarım programlarından yararlanılmıştır. Bilgisayar ortamında mekanik, hidrolik ve elektronik aksamların yanı sıra kontrol programının da çalışmaları simüle edilerek tasarımların etkinliği artırılmıştır. Bu şekilde çok kısa sürede hassas bir imalat gerçekleştirilerek muhtemel malzeme ve zaman kayıpları önlenmiştir. Geliştirilen sistemin mekanik kısmının tasarımı ve simülasyonları SolidWorks (Dassault Systems Solid Works Corp. 300 Baker Avenue Concord, MA 01742, USA) programı, elektronik aksamın simülasyonu için Proteus 6.9 (Labcenter Electronics Ltd., UK) programı ve hidrolik aksamın simülasyonu için FluidSIM-h (Festo Corporation 395 Moreland Road Hauppauge, NY 11788, USA) programı deneme sürümleri kullanılmıştır.

Ölçtüğü mesafeye bağlı olarak sistemin çalışmasını sağlayacak olan ultrasonik mesafe ölçüm sensörlerinin kalibrasyonu için 150 cm yüksekliğinde sabit bir düzenden yararlanılmıştır. Bu düzener üzerine sensörler sabitlenerek 10



**Şekil 1-Prototip bum sistemi genel görünümü**

*Figure 1-Overview of the prototype boom system*

cm'lik artışlarla 15 basamakta ölçümler alınmış ve kaydedilmiştir. Elde edilen değerlerden aşağıdaki kalibrasyon denklemi elde edilmiştir:

$$Y = 1.7302 X - 2.274 \quad (1)$$

Bu eşitlikte  $Y$ , ayar edilen yükseklik değeri (cm) ve  $X$ , sensörden okunan gerilim değeri (mV)'dir.

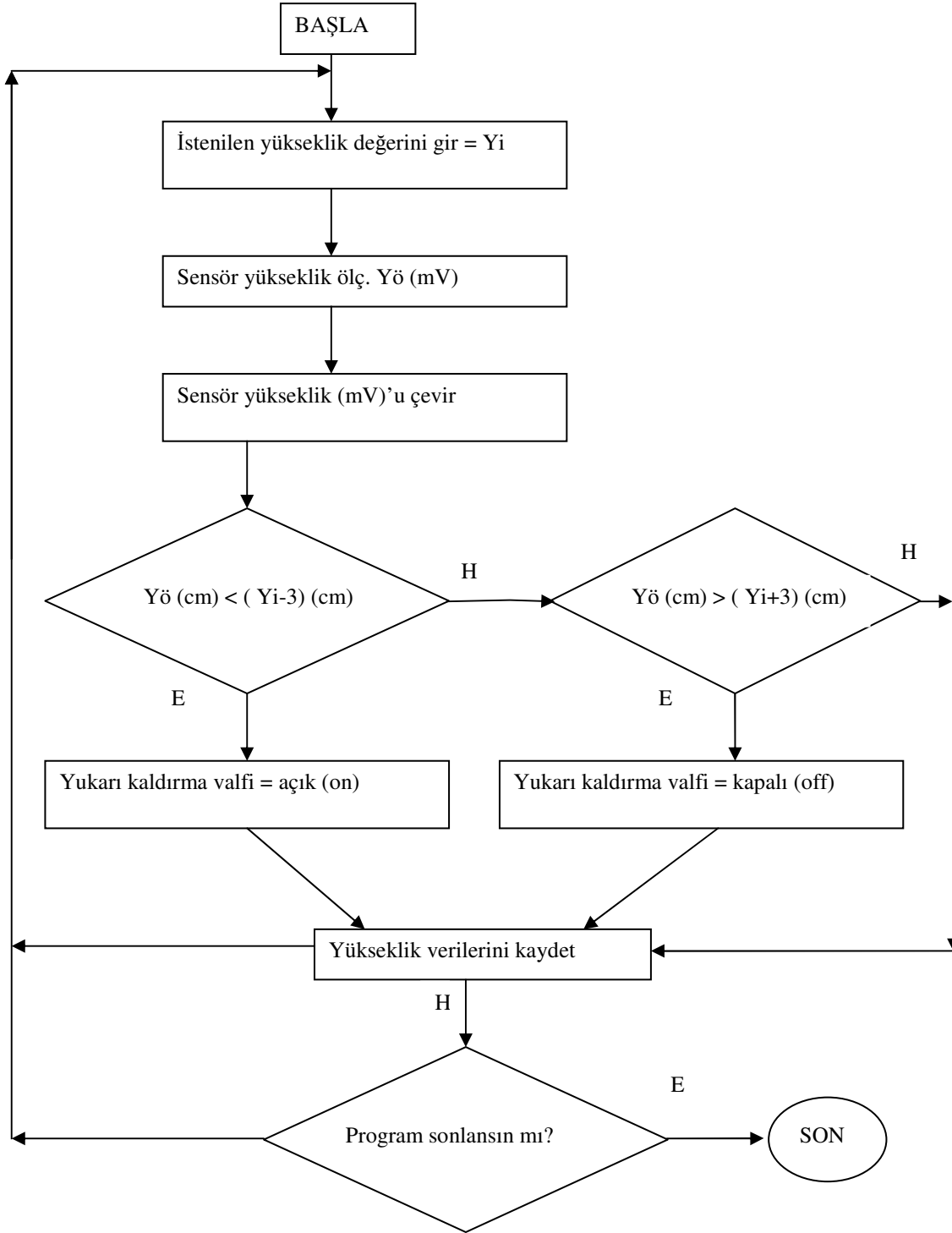
Sistemin çalışması, bumların uçlarına yerleştirilen sensörlerden alınan yükseklik verilerine bağlı olarak elektronik kumanda kartının hidrolik silindireleri kumanda etmesi esasına dayanmaktadır. Tüm sistemin çalıştırılması; PIC 16 F 877 mikrodenetleyicisi üzerine aktarılan, PIC Basic Pro programlama dilinde yazılan kontrol programına göre olmuştur. Geliştirilen programa ilişkin akış diyagramı Şekil 2'de verilmiştir. Program başlangıçta girilen çalışma yüksekliğine göre prototip makine üzerinde yer alan bumları ayrı ayrı kumanda edecek şekilde tasarlanmıştır. Sensörlerden gelen yükseklik değerleri, istenilen çalışma yükseklik değerinden 3 cm ve daha üzerinde ise bumlar aşağı yönde, 3 cm ve daha aşağısında bir değerde ise bumlar yukarı yönde hareket ettirilmektedir. Sistemin çalıştırılması için  $\pm 3$  cm'lik bir bant genişliğinin bırakılması sayesinde; sistemi aç-kapa yaptıran rölelerin aşınmalarının engellenmesinin yanı sıra, elektronik, hidrolik ve mekanik aksamaların uyumlu çalışmaları da sağlanmıştır. Denemeler sırasında elde edilen veriler eş zamanlı olarak elektronik kumanda kartına bağlanan NI 6009 veri algılama kartı ve

Labview 8.2 programında G-grafiksel programlama dilinde geliştirilen yazılım aracılığıyla dizüstü bilgisayara aktarılmış ve kaydedilmiştir.

Tarla denemelerinde üç farklı zemin (anızlı, tırmıkla işlenmiş, yoncalı), üç farklı hız ( $3.5 \text{ km h}^{-1}$ ,  $4.5 \text{ km h}^{-1}$ ,  $6.0 \text{ km h}^{-1}$ ) ve üç farklı yükseklik ayar değeri (60 cm, 80 cm, 100 cm) kullanılmıştır. Denemeler, tesadüf parselleri faktöryel deneme tertibinde gerçekleştirilmiş olup ölçülen mesafe ortalamaları arasında fark olup olmadığını araştırmak amacıyla varyans analizi tekniği kullanılmıştır (Özdamar 1999). Sağ ve sol bumlardan ölçülen mesafe ölçümleri ortalaması arasında %5 önem düzeyinde istatistiksel olarak bir fark olup olmadığını belirlemek için ise T- testi uygulanmıştır.

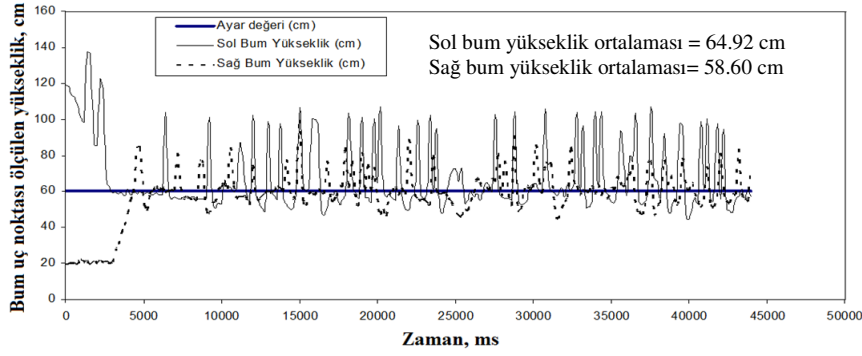
### 3. Bulgular ve Tartışma

Tarla denemeleri sonucunda iki farklı bumdan (sağ ve sol) 27 farklı koşul için bulgular elde edilmiştir. Denemelerden elde edilen verilere ilişkin bazı grafikler Şekil 3-5'te verilmiştir. Ofset tipi tırmıkla işlenmiş tarlada alınan yükseklik verilerine ait grafik Şekil 3'de yer almaktadır. Şekil 3'de sistem 60 cm ayar değerinde, sağ bumdan ölçülen yükseklik değerleri kesikli ve sol bumdan ölçülen yükseklik değerleri ise düz çizgilerle gösterilmiştir. Sistem ilk çalışmaya başladığı anda sağ bumun yerden yüksekliği yaklaşık 20 cm ve sol bumun yerden yüksekliği ise 120 cm dolayındadır. Sistem

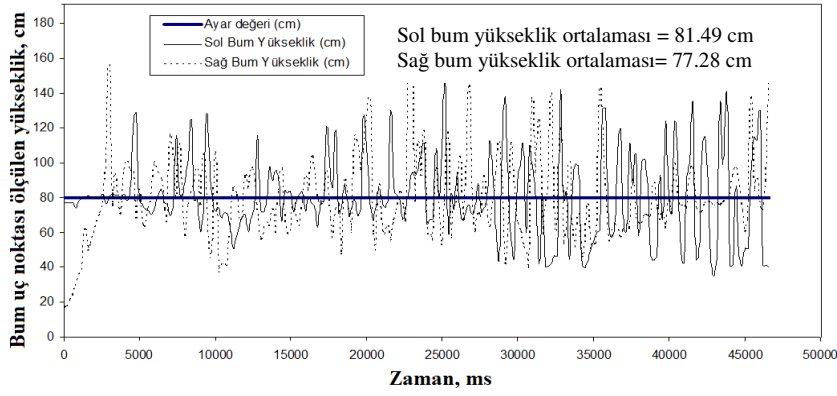


Şekil 2-Geliştirilen programa ilişkin akış diyagramı

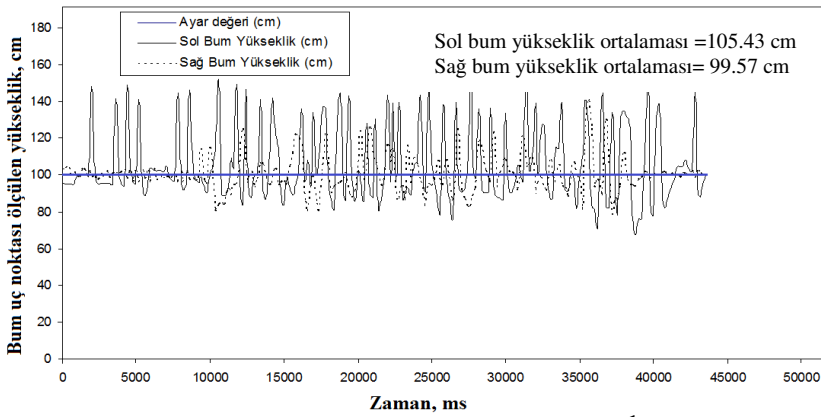
Figure 2-Flow chart related to developed program



Şekil 3-Tırmıkla işlenmiş tarla, ayar değeri 60 cm, hız 3.5 km h<sup>-1</sup>  
Figure 3-Harrowed field, adjusted height value 60 cm, speed 3.5 km h<sup>-1</sup>



Şekil 4-Anızlı tarla, ayar değeri 80 cm, hız 6.0 km h<sup>-1</sup>  
Figure 4-Stubble field, adjusted height value 80 cm, speed 6.0 km h<sup>-1</sup>



Şekil 5-Yonca tarlası, ayar değeri 100 cm, hız 6.0 km h<sup>-1</sup>  
Figure 5-Clover field, adjusted height value 100 cm, speed 6.0 km h<sup>-1</sup>

çalıştıktan sonra yaklaşık 2000-3000 ms sonra bumlar istenilen ayar değerine ulaşmıştır. Anızlı tarlada alınan yükseklik verilerine ait grafik Şekil 4'de verilmiştir. Sistem 80 cm ayar değerinde ilk çalışmaya başladığı anda sağ bumun yerden yüksekliği yaklaşık 18 cm ve sol bumun yerden yüksekliği ise 78 cm kadardır. Sistem çalıştıktan sonra sağ bum yaklaşık 2000-3000 ms sonra istenilen ayar değerine ulaşmıştır. Daha sonra ise bu ayar değeri etrafında sistem bumları sabitlemeye çalışmıştır.

Bitki boyu yaklaşık 15-20 cm civarında olan yonca tarlasından alınan yükseklik verilerine ilişkin grafik ise Şekil 5'de yer almaktadır. Sistem 100 cm ayar değerinde ilk çalışmaya başladığı anda sağ bumun yerden yüksekliği yaklaşık 104 cm ve sol bumun yerden yüksekliği ise 95 cm olarak görülmektedir. Sistem çalıştıktan sonra sağ bum ve sol bum istenilen ayar değerine yakın bir değer olduğu için, herhangi bir zaman kaybı yaşanmadan sistem bumları 100 cm etrafında sabitlemeye çalışmıştır. Tarla denemelerinde elde edilen verilerin yükseklik ortalamaları ve standart hata verileri Şekil 6'da görülmektedir.

Yapılan denemelerde elde edilen verilerin istatistik analizlerine ait sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir. Yapılan tüm denemelerde sağ ve sol bumlardan ölçülen yükseklik değerleri ortalamaları arasında istatistiksel olarak farklılık gözlenmemiştir ( $P>0.05$ ). Yani sistem, sağ ve sol bum üzerinde bulunan mesafe ölçüm sensörlerinden gelen verilere bağlı olarak, tüm koşullar altında iki bumu girilen ayar değerlerine bağlı olarak kumanda etmiştir. Sistemin, sağ ve sol bumu kumanda eden hidrolik güç elemanları ve elektronik kumanda elemanlarının çalışmaları sırasında bir farklılık gözlenmemiştir. Sağ bum ve sol bum uç noktalarına sabitlenen sensörlerin ölçtükları yükseklik değerleri arasında bir farklılık çıkmamıştır.

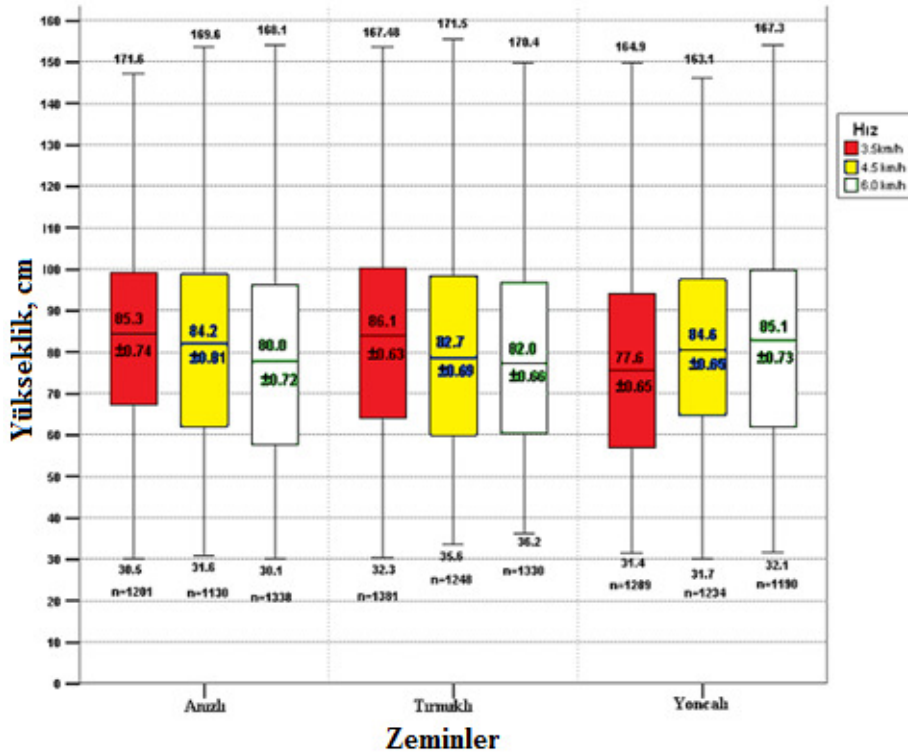
Zeminlere göre tüm denemelerde ölçülen yükseklik ortalamaları arasındaki fark yapılan varyans analizi sonucunda önemli çıkmıştır ( $P<0.05$ ). Bu durum zeminleri oluşturan materyallere (anızlı, tırmıkla işlenmiş ve yoncalı) ait karakteristik empedansların birbirlerinden farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Yani ultrasonik ses ile mesafe ölçümü yaparken tarla yüzeyi koşulları,

ortam yoğunluğu ve sıcaklık ultrasonik sesin yansımaları etkilemiştir (Blitz 1971; Vatandas et al 2007).

Hızlara göre tüm denemelerde ölçülen yükseklik ortalamaları arasındaki fark yapılan varyans analizine göre önemli çıkmıştır ( $P<0.05$ ). Lida & Burks (2002) tarafından yapılan çalışmada ultrasonik mesafe ölçüm sensörlerinin hızdan etkilendiğini ve hız artışıyla birlikte standart sapmanın da en üst noktaya ulaştığı bildirilmiştir. Denemelerde belirlenen ayar değerlerinde, kullanılan üç hız kademesinde elde edilen yükseklik ölçüm ortalamaları arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemli çıkmıştır ( $P<0.05$ ). Üç farklı zeminde kullanılan ayar değerlerinden 60 cm ayar değerinde  $3.5 \text{ km h}^{-1}$  -  $4.5 \text{ km h}^{-1}$  ve  $3.5 \text{ km h}^{-1}$  -  $6.0 \text{ km h}^{-1}$  hız kademelerinde elde edilen yükseklik ortalamaları arasında farklılık gözlenmiştir ( $P<0.05$ ). 80 cm ayar değerinde  $3.5 \text{ km h}^{-1}$  -  $4.5 \text{ km h}^{-1}$  ve  $4.5 \text{ km h}^{-1}$  -  $6.0 \text{ km h}^{-1}$  hız kademelerinde elde edilen yükseklik ortalamaları arasında farklılık gözlenmiştir ( $P<0.05$ ). Üçüncü ayar değeri olan 100 cm'de ise  $3.5 \text{ km h}^{-1}$ ,  $4.5 \text{ km h}^{-1}$  ve  $6.0 \text{ km h}^{-1}$  hız kademelerinde elde edilen yükseklik ortalamaları arasında bir farklılık gözlenmemiştir ( $P>0.05$ ).

Zeminlerin ölçülen yükseklik ortalamalarına etkileri 60 cm'de ve 80 cm'de istatistiksel olarak önemli çıkmamıştır ( $P>0.05$ ). 100 cm'lik ayar değerlerinde, anızlı, tırmıkla işlenmiş ve yoncalı zeminlerde ölçülen yükseklik ortalamaları arasında farklılık istatistiksel olarak önemli çıkmıştır ( $P<0.05$ ). Denemelerin yapıldığı tarla yüzey koşulları birbirlerinden farklı yoğunlukta oldukları için (anızlı, tırmıkla işlenmiş ve yoncalı), ultrasonik mesafe ölçüm sensörlerinin bu koşullarda ölçtükları yükseklik verileri farklılık göstermiştir.

İstenilen ayar değerlerinde, bumlara göre ölçülen yükseklik ortalamaları arasındaki farklılık önemli çıkmamıştır ( $P>0.05$ ). Yani farklı ayar değerlerinde, sağ ve sol bum birbirlerinden bağımsız olarak çalışmalarına rağmen, aynı karakteristik özellikleri göstermişlerdir. Sistem bumları birbirinden bağımsız olarak kumanda edebilmiştir. Bumların uç noktalarında yer alan sensörlerden gelen yükseklik verileri farklılık göstermemiştir. Buradan çıkarılacak diğer bir sonuç ise farklı zeminlerde veya eğimli arazilerde, sistem



**Şekil 6-Zeminlere göre üç farklı hız kademesinde elde edilen yükseklik ortalamaları ve standart hata verileri**

Figure 6-According to the ground conditions, data for mean height and standard error obtained at three different speed levels

sağ ve sol bumu girilen ayar değerlerine göre tarla düzlemine paralel olarak tutabilmiştir.

Farklı zeminlerde istenilen ayar değerlerinde, ölçülen yükseklik ortalamaları arasındaki fark istatistiksel olarak önemli çıkmıştır ( $P < 0.05$ ). Bu sonuç sistemin çalışmasının olumlu bir göstergesidir. Sistem girilen ayar değeri farklılıklarını algılamış ve bu farklılıklara uygun olarak bumlari tarla düzlemine paralel tutmaya çalışmıştır.

Zeminlere göre, farklı hızların ölçülen yükseklik ortalamalarına etkisi tırmıklı zeminde istatistiksel olarak önemli çıkmıştır ( $P < 0.05$ ). Bu farklılık ultrasonik mesafe ölçüm sensörlerinin farklı ilerleme hızlarından etkilenmesinden kaynaklanmıştır (Lida et al 2002). Anızlı zeminde ve yoncalı zeminde hızlara göre istatistiksel olarak farklılık çıkmamıştır ( $P > 0.05$ ). Zeminlere göre

ölçülen sağ ve sol bum yükseklik ortalamaları arasında istatistiksel olarak bir farklılık çıkmamıştır ( $P > 0.05$ ).

#### 4. Sonuçlar

Tarla pülverizatör bumlariinin aktif dengelenmesi için geliştirilen PIC kontrollü aktif bum dengeleme sistemi, denemelerden elde edilen verilerin analizleri sonucunda; tarla koşullari ve hız farklılıklarından etkilenmiştir. Sistem anızlı ve tırmıklı işlenmiş tarlada  $6 \text{ km h}^{-1}$  ve yoncalı tarlada ise  $3.5 \text{ km h}^{-1}$  lik hızlarda elde edilen verilerin ortalamasına göre daha başarılı olmuştur. Sistemde kullanılacak olan ultrasonik mesafe ölçüm sensörlerinin çalışılacak tarla koşullari ve ilerleme hızına göre kalibre edilmesiyle sistem; tek bumlu ya da çift bumlu tarla pülverizatörlerinde aktif dengeleme için etkin bir şekilde kullanılabilir.



**Çizelge 1-Denemelerde elde edilen verilerin istatistik analiz sonuçları**  
*Table 1-Statistical analysis result of the data obtained from the experiments*

Ölçümlerin alındığı ortamlar	Teste tabi tutulan ölçümlerin konumu	Karşılaştırılan değişkenler ve farklılıklar	n, Tarla denemeleri süresince 200 ms'de bir kaydedilen veri sayısı	P değeri		
Bumlar	Tüm denemelerde	Sağ Bum Sol Bum	4139 4348	0.541		
Zemin	Tüm denemelerde	Anızlı <sup>a</sup> Tırmıklı <sup>b</sup> Yoncalı <sup>c</sup>	2460 3009 3018	0.000		
Hız	Tüm denemelerde	3.5 km h <sup>-1a</sup> 4.5 km h <sup>-1b</sup> 6.0 km h <sup>-1b</sup>	2826 2725 2936	0.000		
Ayar değerlerinde	60 cm	3.5 km h <sup>-1a</sup> 4.5 km h <sup>-1b</sup> 6.0 km h <sup>-1b</sup>	973 817 955	0.000		
		Anızlı <sup>a</sup> Tırmıklı <sup>b</sup> Yoncalı <sup>c</sup>	603 1075 1067		0.000	
		Sağ Bum Sol Bum	1344 1401			0.489
	80 cm	3.5 km h <sup>-1a</sup> 4.5 km h <sup>-1b</sup> 6.0 km h <sup>-1a</sup>	1175 863 818	0.000		
		Anızlı <sup>a</sup> Tırmıklı <sup>b</sup> Yoncalı <sup>b</sup>	794 1184 878		0.003	
		Sağ Bum Sol Bum	1400 1456			0.975
	100 cm	3.5 km h <sup>-1</sup> 4.5 km h <sup>-1</sup> 6.0 km h <sup>-1</sup>	678 1045 1163	0.799		
		Anızlı Tırmıklı Yoncalı	1063 750 1073		0.106	
		Sağ Bum Sol Bum	1395 1491			0.940
	Zeminlerde	Anızlı	60 cm <sup>a</sup> 80 cm <sup>b</sup> 100 cm <sup>c</sup>	603 794 1063		
			3.5 km h <sup>-1</sup> 4.5 km h <sup>-1</sup> 6.0 km h <sup>-1</sup>	843 764 853	0.543	
			Sağ Bum Sol Bum	1226 1234		0.842
Tırmıklı		60 cm <sup>a</sup> 80 cm <sup>b</sup> 100 cm <sup>c</sup>	1075 1184 750	0.000		
		3.5 km h <sup>-1a</sup> 4.5 km h <sup>-1a</sup> 6.0 km h <sup>-1b</sup>	915 938 1156		0.000	
		Sağ Bum Sol Bum	1464 1545			0.326
Yoncalı	60 cm <sup>a</sup> 80 cm <sup>b</sup> 100 cm <sup>c</sup>	1067 878 1073	0.000			
	3.5 km h <sup>-1</sup> 4.5 km h <sup>-1</sup> 6.0 km h <sup>-1</sup>	1068 1023 927		0.332		
	Sağ Bum Sol Bum	1449 1569			0.270	

Geliştirilen modüler sistem hali hazırda kullanılmakta olan pülverizatör bumlarına kolaylıkla monte edilebilecek yapıdadır.

## Kaynaklar

- Blitz J (1971). *Ultrasonics Methods and Applications*. Van Nostrand Reinhold Company, New York
- Çilingir İ & İ H Çelen (1995). Tarla pülverizatörlerinde bum stabilitesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi* **4** (1-2):157-167
- Deprez K, J Anthonis & H Ramon (2003). System for vertical boom corrections on hilly fields. *Journal of Sound and Vibration* **266**: 613-624
- Hedden O K (1961). Spray drop sizes and size distribution in pesticide sprays. *Transactions of ASAE* **4**(2): 158-159
- Jeon H Y, Womac A R & Gunn J (2004). Sprayer Boom Instrumentation For Field Use. *American Society of Agricultural Engineers* **47**(3): 659-666
- Kepner R A, Bainer R & Barger EL (1972). *Principles of Farm Machinery*. The Avi Publishing Company, Second Edition, Connecticut
- Koc C (2008). Salmımlı Çalışan Tarım Makinalarında Zemine Paralellik Sağlayan Ayar Düzeninin Geliştirilmesi ve Modellenmesi. Doktora tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Basılmamış), Ankara
- Lida M & Burks TF (2002). Ultrasonic Sensor Development for Automatic Steering Control of Orchard Tractor. Proc. Automation Technology for Off-Road Equipment, Chicago, Illinois. pp 221-229
- Özdamar K (1999). SPSS ile Biyoistatistik. 3. Baskı, Kaan Kitabevi, Eskişehir
- Pochi D & D Vannucci (2001). Laboratory Evaluation Of Linear And Angular Potentiometers For Measuring Spray Boom Movements. *Journal of Agricultural Engineering Research* **80**(2): 153-161
- Vatandas M, Koc A B & Koc C (2007). Ultrasonic velocity measurements in ethanol water and methanol water mixtures. *European Food Research and Technology* **225**: 525-532