

## Tarla Pülverizatörlerinin Aktif Dengelenmesi İçin Mekatronik Bir Sistemin Geliştirilmesi

Caner KOÇ, Rahmi KESKİN

Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümü, Ankara  
ckoc@agri.ankara.edu.tr

**Özet:** Bu çalışmanın amacı geniş iş genişliğine sahip tarla pülverizatör burları ile tarla yüzeyi arasındaki mesafeyi sabit tutacak aktif bir bum dengeleme sisteminin geliştirilmesidir. Bu amaçla mekanik, elektronik ve hidrolik tasarım ve simülasyon teknikleri ile birlikte kontrol programını içeren mekatronik bir sistem geliştirilmiştir. Sistem laboratuvar ortamında yapılan testlerde bum yüksekliğini istenilen mesafeye başarılı bir şekilde getirmiş ve sabit tutmuştur. Bu çalışma ile geliştirilen sistem sayesinde, ilaçlama esnasında yakıt ve ürün kaybını azaltacak geniş iş genişliğine sahip tarla pülverizatörlerinin imal edilmesi ve engebeli arazilerde homojen bir ilaçlamanın yapılabilmesi mümkün olabilecektir.

**Anahtar kelimeler:** Elektrohidrolik kontrol, otomasyon, tarla pülverizatörü, bum dengeleme, simülasyon

### Development of a Mechatronic System for Active Suspension of Field Sprayers

**Abstract:** The aim of this study was to develop an active suspension system for field sprayers with large booms to keep the distance between the sprayer nozzles and the field surface at a desired level. For this purpose, a mechatronic system was developed using mechanics, electronics and hydraulics design and simulation techniques as well as a control program. The mechatronic system adjusted the sprayer boom height to the desired level and kept at that height successfully during the laboratory tests. With the help of the developed system, field sprayers with long booms can be designed to reduce the traffic on the field and the product losses during spraying. The system can also make a homogenous spraying possible in uneven fields by keeping the distance between the spray nozzles and ground surface constant.

**Keywords:** Electro-hydraulic control, automation, field sprayer, boom suspension, simulation

### GİRİŞ

Salınımlı çalışan tarla pülverizatör burlarında, birim alana atılan ilacın miktarı ve tekdüzeliği; hastalık, zararlı ve yabancı ot mücadelesinde önemli olmaktadır. Pülverizatör memelerinin, dolayısıyla pülverizatör burlarının, tarla yüzeyine olan paralellikleri atılacak ilaç miktarı üzerinde önemli bir etkidir. Özellikle eğimli ve engebeli arazilerde, bumun iki ucu arasındaki mesafenin tarla yüzeyine olan uzaklığının farklı olması ilaçlama etkinliğini ve tekdüzeliğini olumsuz etkilemektedir. 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.

Traktöre asılır tip pülverizatörlerde ilaçlama yapılacak arazinin engebe durumu özellikle belirli hızda ve ayarlanan yükseklikte püskürtme yapılmak istenildiğinde uygulama başarısını etkilemektedir. İslah edilmemiş arazilerde artan engebelerin traktörde yarattığı yatay ve düşey titreşimler, tarımsal savaşta hızı azalttığı gibi dağılım düzgünlüğünü de olumsuz yönde etkilemektedir (Koçer, 1985).

İlaç dağılımını etkileyen önemli parametreler, pülverizatörün düşey düzlemdeki dönme hareketiyle oluşan salınım hareketi ve buna bağlı olarak meydana gelen meme yüksekliği değişimi, püskürtme sisteminin yatay düzlemdeki salınımları ve bu harekete bağlı ilerleme hızı değişimi olmaktadır (Çilingir, 1989).

Jeon ve ark. (2004a) 27 m bum uzunluğuna sahip bir pülverizatör ile 12.8 km/h hızla değişik yüzey koşullarında bum ivmelenmesini ve yüksekliğin ilaç kalıntısı üzerindeki etkilerini araştırmışlar ve çalışma sonucunda bum stabilitesinin pülverizasyon tekdüzeliği üzerinde çok önemli bir parametre olduğunu belirlemişlerdir.

Stabil bir püskürtücü bumun daha homojen bir pestisit dağılımı sağladığı ve atılan ilaç miktarını azalttığı Anthonis ve ark. (2000) tarafından yapılan bir çalışmayla açıklanmaya çalışılmıştır. Yapılan bu çalışmada stabil bir bum hareketi sağlayabilmek için, yatay bum hareketlerini sönümleyici bir süspansiyon sistemi geliştirmişlerdir. Yatay bum hareketleri iki ivmelendirici (accelerator) ile ölçülmüş ve bir kontrol elemanına gönderilmiştir. Bunun sonucunda süspansiyon sistemine tutturulmuş elektrohidrolik hareketlendirici (actuator) aktif hale getirilmiştir.

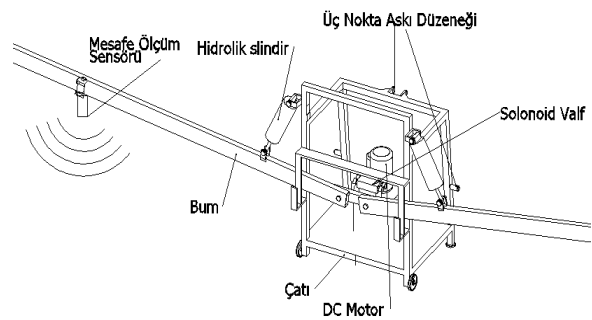
Çoklu mesafe ölçüm sensörleri aracılığıyla bum bölümlerinin yükseklik kontrolünü sağlayan elektronik bir sistem Sartori ve ark.(2002) tarafından geliştirilmiş ve bir pülverizatör üzerine yerleştirilmiştir. Pamuk tarlasında yapılan denemelerde operatör kontrolü ile elektronik kontrol sonuçları aynı kişilerce karşılaştırılmıştır. Sonuçta bumun yükseklik kontrolü elektronik kontrol aracılığı ile gerçekleştirilmiş ve böylece operatörün iş yükünün hafifletildiği belirtilmiştir. Ayrıca elektronik bum yükseklik kontrol mekanizması sayesinde yüksek ilaçlama hızına imkan tanındığı da araştırmacılar tarafından belirtilmiştir.

Tarla pülverizatör bumlarının dengelenmesi ve davranışları hakkında dünyada çeşitli bilim adamları tarafından yapılan değişik araştırmalar bulunmaktadır. Ancak, Türkiye’de bu konuda yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Türkiye’de üretilen tarla pülverizatör bumlarında, sürekli çalışma esnasında aktif bum dengelenmesine yönelik elektro-hidrolik dengeleme ünitesi bulunmamaktadır. Bu çalışmanın amacı geniş iş genişliğine sahip tarla pülverizatör bumları ile tarla yüzeyi arasındaki mesafeyi sabit tutacak aktif bir mekatronik dengeleme sisteminin geliştirilmesidir.

## MATERYAL ve YÖNTEM

Geliştirilen prototip modelde, kolayca sökülüp takılabilmeye imkan tanıyan bağlantı elemanları kullanılmıştır. Prototip bum sisteminde, sağ ve sol bum kolları ayrı ayrı hareket etmeye uygun ve parçalı

yapıda imal edilmiştir. Bumun toplam iş genişliği 10 m’dir. Bum üzerinde ayrıca çapı 80 mm ve strok boyu 180 mm olan 2 adet hidrolik silindir kullanılmıştır (Şekil 1). Sistemin güç ihtiyacı traktör hidroliğinden bağımsız olarak çalışan 2 adet 12 V 60 Ah’lık batarya ve hidrolik güç ünitesinden karşılanmaktadır. Hidrolik güç ünitesi 24 V ve 2 kW gücünde bir DC motor, hidrolik pompa, 2 adet solenoid valf, 5 lt kapasiteli bir yağ deposu ve elektrik ve hidrolik bağlantı elemanlarından oluşmaktadır.

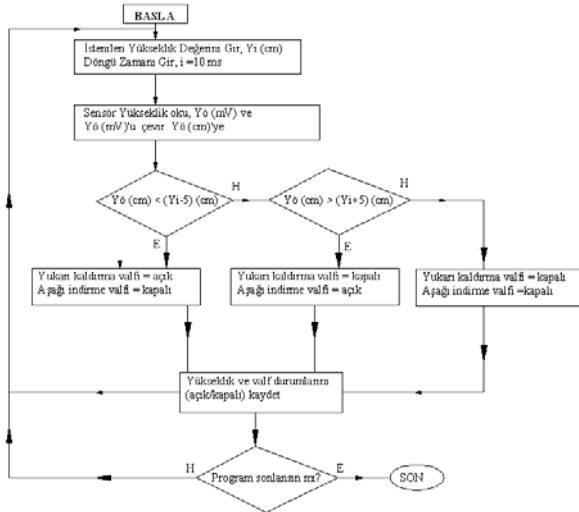


**Şekil 1. Geliştirilen prototip tarla pülverizatörünün sematik görünümü.**

Sistemde kullanılmak üzere ayrıca bir adet elektronik kumanda kartı geliştirilmiştir. Elektronik kumanda kartının geliştirilmesinde 1 adet PIC 16F877 mikro denetleyicisi, 7805 DC gerilim regülatörü, 4 adet 5 VDC röle, dirençler, 4 MHz kristal osilatör ve kapasitörler kullanılmıştır. Yer düzlemiyle bum arasındaki yükseklik mesafesini ölçmek için prototip bumun sağ ve sol ucunda birer adet, Sartori ve ark.(2002) tarafından kullandıklarına benzer, MaxSonar-EZ1 ultrasonik mesafe ölçüm sensörleri (Maxbotix, 8757 East Chimney Spring Drive, Tucson AZ 85747 USA), ve mesafe bilgilerinin gösterimi için bir adet LCD ekran kullanılmıştır. Laboratuar testleri esnasında okunan sensör verilerinin kaydedilmesi için bir adet diz üstü bilgisayar, LabView programı (National Instruments, Mopac Expwy, Austin, TX, USA) ve USB6008 veri algılama kartı (National Instruments, Mopac Expwy, Austin, TX, USA) laboratuar testleri esnasında kullanılmıştır.

Geliştirilen sistemde, tüm sistemi denetleyen ve kumanda eden PIC BasicPro programlama dilinde yazılmış kumanda programına ilişkin akış diyagramı Şekil 2’de verilmiştir. Geliştirilen kumanda programını 16F877 mikrodenetleyicisine aktarmak üzere bir USB

programlayıcı kullanılmıştır. Tasarımı ve imalatı gerçekleştirilen sistemin, amaca uygunluğu laboratuarda beton zemin üzerinde test edilmiştir. Denemelerde sensörler ve kontrol programı hassaslaştırılarak, prototip bumn ve kontrol düzeneğinin beklenen işlevleri yerine getirip getirmediği test edilmiştir.



Şekil 2. Kumanda programı akış diyagramı

### Sensör Kalibrasyonu:

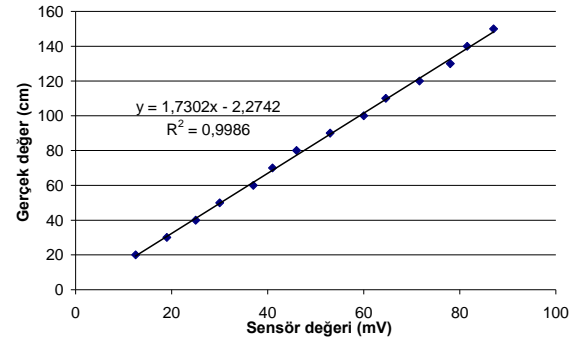
Sensörden alınan mesafe verilerinin kalibrasyonu için sabit ve üzerinde skala değerleri olan bir düzenek kullanılmıştır. Düzenekte yer alan sabit metal çubuk üzerinde aşağı yukarı hareket eden parça üzerine sensörler tek tek sabitlenerek, sensör verileri ile gerçek mesafe arasında bir eşitlik bulunmuştur. Bu amaçla sensörlerden, 20 cm den 150 cm ye kadar 14 basamakta ölçüm değerleri alınmış ve Excel programı kullanılarak birinci dereceden aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir.

$$y = 1,7302x - 2,2742$$

y: yükseklik (cm)

X: sensörden okunan değer (mV)

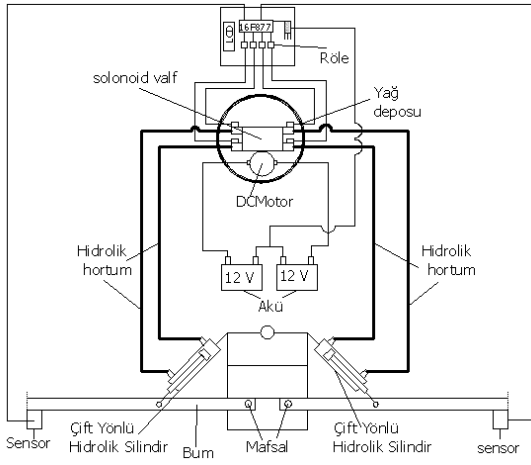
Denkleme bağlı olarak sensörlerin kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Gerçek mesafe değerleri ve sensörden okunan değerler arasındaki ilişki

### Sistemin çalışması:

Sistemin çalışması, bumun uçlarına yerleştirilen sensörlerden alınan yükseklik verilerine bağlı olarak, elektronik kumanda kartının hidrolik silindir pistonlarını yukarı kaldırması veya aşağı indirmesi esasına dayanmaktadır (Şekil 4). Geliştirilen sistem, prototip bumun sağ ve sol kanatlarını birbirinden bağımsız olarak kumanda edilebilmektedir. Sistem belirlenen mesafe aralığı dışına çıktığında devreye girmektedir. Laboratuvar denemelerinde bumun sadece bir kanadı kullanılmıştır. Yapılan denemelerde, istenilen yükseklik değeri 50 cm, 60 cm ve 70 cm olmak üzere üç farklı yükseklik değerine göre test edilmiştir. Sistemde Williams (2007) tarafından belirtilen aç-kapa (on-off) kontrol mantığı kullanılmıştır. Sensörlerden gelen mesafe verisi ayarlanan yükseklik değerinin 5 cm altındaki değerlerde ise, geliştirilen kumanda programı, hidrolik güç ünitesi üzerinde bulunan ve pistonu yukarı kaldırmaya yarayan ilgili solenoid valfi tetikleyerek, hidrolik pistonun bumu istenilen yüksekliğe kadar kaldırılmakta; sensörlerden gelen mesafe verisi, istenilen yükseklik değerinin 5 cm üzerinde ise, hidrolik güç ünitesi üzerinde bulunan ve pistonu aşağı indirmeye yarayan bir solenoid valfin tetiklenmesi ve bumun istenilen aralık değerlerine kadar indirilmesi sağlanmaktadır. Mesafe sensöründen okunan değer istenilen yükseklik sınır değerleri arasında ise, hem yukarı kaldırma pistonunu hemde aşağı indirme pistonunu kumanda eden solenoid valfler kapalı tutulmaktadır. Denemeler sonucunda elde edilen veriler eş zamanlı olarak, geliştirilen kumanda kartına bağlanan, USB 6008 veri algılama kartı ve Labview programı aracılığıyla dizüstü bilgisayara aktarılmış ve kaydedilmiştir.

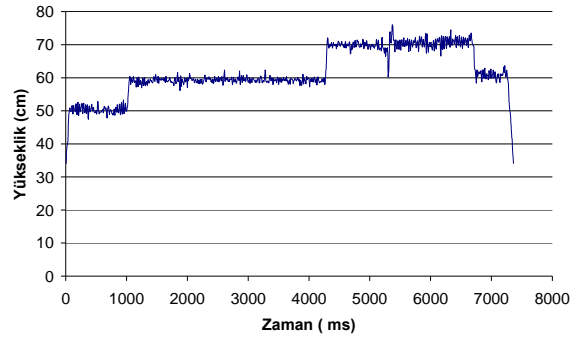


**Şekil 4. Elektro-hidrolik aktif bum dengeleme sisteminin şematik görünümü**

### BULGULAR ve TARTIŞMA

Geliştirilen aktif bum dengeleme sistemiyle yapılan denemelerde, sistemin çalışması sırasında elde edilen bazı sonuçlara ilişkin grafik Şekil 5'te verilmiştir. Sistem devreye girmeden önce bumun yerden yüksekliği yaklaşık 37 cm olarak ölçülmüştür. Sistem devreye girdiğinde yaklaşık olarak 1000 ms içerisinde bumu istenen yükseklik değeri olan 50 cm seviyesine kaldırmış ve bum bu seviyede sabitlenmiştir. Laboratuvar koşullarında, mesafe sensörünün altına konulan bir plakanın aşağı yukarı hareket ettirilmesi sonucunda, sensör ile plaka arasındaki mesafe değiştirilmiştir. Geliştirilen mekatronik sistem pistonları yukarı yada aşağı indirerek bumu istenen yükseklikte tutmuştur. Bumun yerden olan yükseklik değeri 60 cm olarak ayarlandığında, 50 cm yüksekliğinde olan bum yüksekliği yaklaşık 1000 ms'lik süre içerisinde 60 cm seviyesine kaldırmış ve sabitlemiştir. Sistem 70 cm yükseklik değerine ayarlandığında ise bumu yaklaşık 850 ms içerisinde 70 cm seviyesine çekmiş ve bu seviyede tutmuştur. Şekil 5'te istenilen yükseklik değerinin etrafında meydana gelen dalgalanmaların sebebi, sistemin istenilen bum yükseklik değerinin 5 cm üstü ile 5 cm altı arasındaki bant genişliğinde çalışması ve pistonun yukarı yada aşağı hareketi sonucu bum ucunda meydana gelen titreşimlerden dolayıdır. Şekil 5'de 5000 ms ve 6000 ms arasında meydana gelen dalgalanmanın sebebi ise sensör önünden bir plakanın geçirilmesidir. Burada plaka ile sensör arasındaki mesafe değiştirilmiş ve bum belirlenen yüksekliğe

ayarlanmıştır. Ancak plaka aradan çekildiğinde yer düzlemi ile bum arasındaki mesafe farklı olduğundan sistem kendisini bu yeni yükseklik değerine uygun hale getirmiştir. Denemelerin son aşaması 70 cm seviyesinde olan sistemin 60 cm mesafesine tekrar ayarlanmasıyla yapılmıştır. Sistem 70 cm seviyesinden 60 cm seviyesine yaklaşık 800 ms'de inmiş ve belirlenen aralıkta bum yüksekliği sabitlenmiştir.



**Şekil 5. Laboratuvar testleri esnasında ölçülen bum yüksekliğinin zamana bağlı değişimi**

### SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada prototip bir pülverizatör bumu ve aktif bir dengeleme sistemi geliştirilmiş ve laboratuvar ortamından test edilmiştir. Geliştirilen aktif bum dengeleme sisteminin tarla pülverizatörlerinde uygulama alanı bulacağı ve sistemin tarım makineleri alanında örnek olabilecek bir mekatronik uygulaması olduğu düşünülmektedir. Geliştirilen sistem, laboratuvar denemeleri esnasında, prototip bumu istenilen yükseklikte başarılı bir şekilde tutmuştur. Ancak geliştirilen sistemin gerçek hayatta kullanılabilmesi için denemeler ve simülasyonlar sırasında karşılaşılan bazı sorunlar ve çözüm önerileri aşağıda sıralanmaktadır.

- Sistemde kullanılan hidrolik güç kaynağı, ve hidrolik silindirler pülverizatör çatısı üzerine sabitlenmelidir. Hidrolik silindirlerin açıkları ve yerleri kullanılacak bum uzunluğuna göre uygun tespit edilmelidir.
- Sisteminde kullanılan mesafe ölçüm sensörleri bum üzerinde mümkün olduğunca bumun uç noktalarına yakın yerlere bağlanmalı ve olası çarpmalara karşı koruyucu bir aparat ile korunmalıdır.
- Mesafe sensörleri bumun uç kısımlarına yerleştirildiğinden, sensörlerden alınan yükseklik sinyallerinin zayıflamadan mikrodenetleyiciye iletilebilmesi için devrede sinyal güçlendirici kullanılmalıdır.

Geliştirilen sistemin traktöre bağlanarak farklı zeminlerde ve tarla koşullarında dinamik testlerinin

gerçekleştirilmesi, ileride yapılacak çalışma konularını oluşturmaktadır.

### LİTERATÜR LİSTESİ

Anthonis, J., H. Ramon ve J. De Baerdemaeker. 2000. Implementation of an active horizontal suspension on a spray boom. American Society of Agricultural Engineers. Vol. 43(2):213-220.

Çilingir, İ. 1989. Tarla Pülverizatörlerinde Bum Stabilitesi. Tarım Makinaları Bilimi ve Tekniği Dergisi. Sayı 3.

Jeon, H.Y., A.R. Womac ve J. Gunn. 2004. Sprayer Boom Dynamic Effects On Application Uniformity. American Society of Agricultural Engineers. Vol. 47(3): 647-658.

Koçer, H. 1985. Yabancı Ot Savaşında Kullanılan Tarla Püskürtme Sistemleri Üzerine Bir Araştırma. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Basılmamış, Doktora tezi, Ankara.

Sartori, S., E.L. Domingues, J.B. Kimura ve S.A. Garrito. 2002. Automatic Control Of Boom Height And Positioning On A Self Propelled Sprayer. 13 -15 March 2002, Iguacu Falls, Brasil. Pp. 421-431.

Williams, Charles D.H. Feedback and Temperature Control. <http://newton.ex.ac.uk>. Erişim tarihi: 05.02.2007.