



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

## IMU ile Tarım Araçlarında Oturma Pozisyonunun Düzeltilmesi

İsmail Umut DURAN <sup>a,\*</sup>, Volkan ÇAVUŞ <sup>a</sup>, Resul TUNA <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Meslek Yüksekokulu, Sinop Üniversitesi, Sinop, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: iduran@sinop.edu.tr

### ÖZET

İnsanoğlunun 10000 yıl önce bitkileri evcilleştirmesi ile tarım, insanın varlığını sürdürmesinde en önemli unsurlardan biri haline gelmiştir. Tarih boyunca basit aletler ile gerçekleştirilen tarım faaliyetleri, 20. Yüzyıl başlarından itibaren büyük bir hızla makineleşmiştir. Tarımsal faaliyetlerin makineler ile gerçekleştirilmesi sonucu işgücü ve zamandan tasarruf sağlanmış ve aynı zamanda verimlilik büyük oranda artmıştır. Günümüzde, artan insan nüfusunun ihtiyacı olan tarımsal kökenli besinlerin elde edilebilmesi için tarım makinelerinin kullanımı bir zorunluluk haline gelmiştir. Tarım makinelerinin getirdiği kolaylıklara karşı eğimli ve bozuk arazi şartlarında uzun süreli olarak bu araçları kullanmak yorucu olmakta ve bazı durumlarda sağlığı tehdit edebilen bir hal alabilmektedir.

Bu çalışmada tarım aracını kullanan sürücünün oturma pozisyonunun, değişen arazi şartlarına otomatik olarak adapte olabilecek şekilde ayarlanabileceği bir sistem geliştirilmiştir. Tarım aracının yeryüzü eksenine göre durumu jiroskop ve ivmeölçer sensörleri kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda, PID kontrolöre bağlı mekanizma ile sürücü koltuğunun arazi şartlarına uygun olarak hareket etmesi sağlanmıştır. Oturma pozisyonunun arazi şartlarına uygun olarak değiştirilmesi ile sürücünün, özellikle bel bölgesini eğerek, vücudunu arazi eğimine uydurma gereksiniminin ortadan kalktığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** IMU, PID Kontrolör, Tarım Araçları

## Improving Seating Position in Agricultural Vehicles with IMU

### ABSTRACT

With the domestication of plants 10000 years ago, agriculture has become one of the most important elements in maintaining human existence. Throughout history, agricultural activities which has been making by simple tools have been mechanized at great speed since the beginning of the 20th Century. Realization of agricultural activities by machines has resulted in saving labor and time, and at the same time efficiency has increased greatly. Today, the use of agricultural machinery has become a necessity in order to obtain the nutrients of agricultural origin, which are increasingly needed by the human population. Against the conveniences of agricultural machinery, it is exhausting to use these tools for long periods under sloping and rough terrain conditions, and in some cases, health can become a threat.

In this study, a system has been developed in which sitting position of the driver of the agricultural machine can automatically adjust to adapt to changing terrain conditions. The attitude of the agricultural vehicle with according to the earth axis is calculated by using gyroscopes and accelerometer sensors. In the direction of the

obtained data, It has been ensured that the driver's seat moves in accordance with the terrain conditions with a mechanism which connected PID controller. By changing the sitting position according to the terrain conditions, it has been determined that the need to adapt the driver's body(especially the waist region) to the pitch of the terrain has been removed.

*Keywords: IMU, PID Controler, Agricultural Vehicles*

## I. GİRİŞ

**T**arım, artan insan nüfusu ile beraber büyüyen besin ihtiyacının karşılanmasında önemli bir role sahiptir. Ülke ekonomisinin gelişmesinde ve ülkenin kalkınmasında tarım sektöründeki gelişmelerin önemli bir rolü vardır [1]. Tarımsal faaliyetlerden elde edilen ürün miktarı, her ne kadar iklim koşullarına ve toprak kalitesine bağlı olsa da; verimliliğin artırılabilmesi için bir takım girdilerin de kullanılması gerekmektedir. Tarım alanında kullanılan alet ve makineler, bu girdiler arasında önemli bir yere sahiptir [2]. Günümüzde tarım alanında, insan ya da hayvan iş gücünden tasarruf sağlamak ve verimliliği arttırmak için tarım makinelerinin kullanımı bir zorunluluk haline gelmiştir. Teknoloji ile beraber tarım makineleri de zaman içerisinde gelişmiştir. Bu gelişimler ile birlikte çeşitli sensörler ve kontrol arabirimleri kullanılarak otonom olarak çalışan tarım araçları yaygınlaşmaya başlamıştır [3]. Ancak günümüzde kullanılan tarım makinelerinin çok büyük bir kısmı bir operatör tarafından kontrol edilmektedir. Tarım araçları tarımsal faaliyetlerin her aşamasında kullanılmakta olup, en yaygın olarak kullanıldığı aşamalardan birisi de toprağın işlenerek ekime hazır hale getirilme aşamasıdır. Tarla sürme olarak da adlandırılan bu süreçte sürücü, uzun süre tarım aracı üzerinde kalmaktadır. Bu aşamada tarım arazisi düz dahi olsa aracın bir kısmı işlenmiş toprak içerisinde kaldığından araç belirli bir eğim ile hareket etmektedir. Sürücü aracın eğimine karşı dik durma eğiliminde olduğu için, özellikle bel bölgesini bükerek aracı kullanır. Oturarak çalışan kişilerde bel ağrılarından birisi de, belin bir noktasına uzun süreli olarak uygulanan mekanik yüküdür [4]. Eğik oturuş ile beraber araç kaynaklı titreşimler, bel bölgesindeki yükü arttırmakta ve bel ağrılarına sebebiyet vermektedir.

Araçlarda sürüş konforunun artırılması bu ağrıları büyük ölçüde azaltmaktadır. Bu amaçla Mansour A. Karkoub ve Mohamed Zribi tarafından tasarlanan sistemde yay ve pistonlara alternatif olarak, manyetik sönümleyiciler kullanılmış ve arazi şartlarının sürücü koltukları üzerindeki etkisini azaltan bir çalışma yapmışlardır [5]. Qiang Zhao ve Yaxun Yang tasarladıkları benzer bir sistem üzerine PID kontrol uygulayarak sistemin çalışma verimini arttırmayı amaçlamışlardır [6]. Ancak eğimli arazi şartlarında çalışan tarım araçları üzerinde bulunan koltuklarının, titreşimleri sönümlemesinin yanı sıra koltuk eğiminin de değiştirilmesi gerekmektedir. A. Fraiszudeen ve C.H. Yeow yaptıkları çalışmada koltuk altına yerleştirilen hava balonları ile koltuk açısını değiştirmiş ve ortopedik problemler yaşayan kişilerin daha etkin bir biçimde oturma kalkma işlemlerini gerçekleştirebildikleri bir koltuk tasarlamışlardır [7]. Lineer aktüatörler dönme hareketini bir vidalı mil aracılığıyla doğrusal harekete çeviren mekanizmalardır [8]. Bu mekanizmalar hava balonlarına göre daha fazla kaldırma gücü üretebilmektedirler. Tarım araçları için koltuk eğiminin değiştirilmesinde hava balonları yerine bir lineer aktüatör kullanılması eğimi değiştirebilecek daha fazla gücün üretilmesine olanak sağlamaktadır. Tarım araçlarında lineer aktüatörler ve eğim hesaplamalarında kullanılan atalet ölçüm sensörleri çeşitli çalışmalarda kullanılmıştır. Dae H. Lee vd. biçerdöver operatörlerinin görünürlüğünün değerlendirilmesi yaptıkları çalışmada, kabin yönündeki değişimin hesaplanabilmesi amacı ile jiroskop sensöründen faydalanmış ve çalışmalarında kullandıkları sensörlerin hareketini

lineer aktüatör ile sağlamışlardır [9]. Roberto Deboli vd. yaptıkları çalışmada bir tarım traktörünün koltuğunun çeşitli arazi şartlarında hareket ederken maruz kalınan titreşimleri ölçmüş ve bu ölçümleri yaparken ivmeölçer sensöründen faydalanmıştır [10]. Titreşimlerin ölçümünde ivmeölçer sensörü tek başına kullanılabilirken eğim hesaplamasında ivmeölçer ve jiroskop sensörlerinin tek başına kullanılması, hesaplanan eğimin sarsıntılardan etkilenmesine ya da ölçümlerde zamanla kaymalar oluşmasına sebebiyet vermektedir. Diğer çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada bir tarım aracının eğimli bir arazideki hareketi boyunca koltuk eğiminin, yeryüzü eksenine paralel olarak kalacak şekilde değiştirerek sürüş konforunun artırılması amacı ile jiroskop ve ivmeölçer sensörlerinin her ikisinden de alınan değerler, Açık Tamamlayıcı Filtre hesaplama yöntemi içerisinde kullanılmıştır. Koltuk eğiminin yeryüzü eksenine göre istenilen referans değere otomatik olarak getirilmesi amacı ile bir PID kontrolör tasarlanmış ve kontrolör çıkışlarının oluşturulan deney düzeneği üzerindeki lineer aktüatörün hızını ve yönünü kontrol etmesi sağlanmıştır. Oluşturulan sistem farklı eğim değerlerinde çalıştırılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

## II. MATERYAL METOD

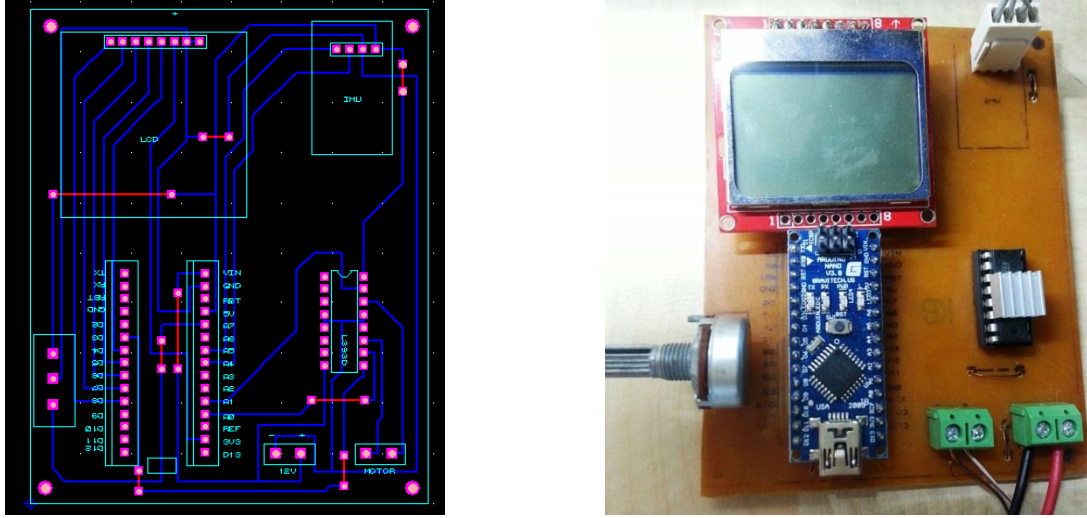
Çalışmanın amacına uygun olarak hazırlanmış bir koltuk modeli Şekil 1’de gösterilmektedir. Bu model için hazırlanan mekanik aksam; bir yükselti üzerinde bulunan döner bir mafsal ile bağlanmış bir koltuk ve bu koltuğa mafsalla bağlanan bir lineer aktüatörden oluşmaktadır.



*Şekil 1. Mekanik Sistem*

Lineer aktüatör, 12 Volt gerilim ile çalışan 500 d/d dönme hızına sahip redüktörlü doğru akım motoru ve bu motora esnek kaplin ile bağlı 8 mm çapında vidalı mil ile oluşturulmuştur. Düzeneğin diğer bileşenleri üç boyutlu yazıcı ile imal edilmiştir. Doğru akım motorunun dönüş yönüne göre, motora bağlı olan bir mil aracılığıyla koltuğun yeryüzü eksenine göre eğiminin değişmesini sağlamaktadır.

Sürücü koluğunun eğime göre düzeltilebilmesi için öncelikle eğimin yeryüzü eksenine göre ölçülmesi gerekmektedir. Bu nedenle sistemin kontrolünü sağlamak amacı ile elektronik bir devre kartı Şekil 2'deki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 2. (a) Elektronik Devre Kartı ve (b) Kontrol devre şeması

Bu çalışmada, koltuk eğim ölçümü bir atalet ölçüm ünitesi (IMU) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. IMU, içerisinde 3 eksende ivmeölçer ve jiroskop sensörlerini barındıran bir cihazdır [11]. İvmeölçer, yerçekimi ivmesi dahil olmak üzere diğer tüm eksenlerdeki ivmelenmeleri ölçmektedir. İdeal bir ortamda ivmeölçer, tek başına eğimin hesaplanması için gerekli veriyi sağlayabilmektedir. Ancak sarsıntılı bir ortamda farklı yönlerden etki eden kuvvetler, eğim hesabı için gerekli ölçümleri bozmaktadır. Jiroskop ise açısal hızı ölçen sensördür ve sarsıntılardan etkilenmemektedir. Açısal hızın integrali alınarak açı değişimi, dolayısıyla eğim hesaplanabilmektedir. Ancak jiroskop sensörünün örneklenme süresi dışında kalan değerler hesaplamalara dahil edilemeyeceğinden, zamanla elde edilen açısal değerlerde kayma meydana gelmektedir. Jiroskoptaki kayma problemi ivmeölçer tarafından ölçülen yerçekimi ivmesi kullanılarak bertaraf edilebilmektedir [12]. Çalışmada kullanılan Pololu MinIMU-9 model IMU' ya ait teknik özellikler Tablo 1'de gösterilmektedir.

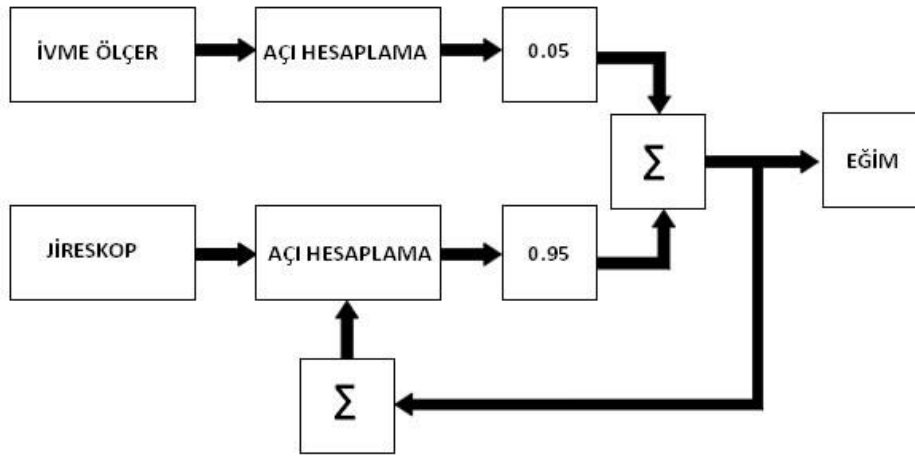
<b>Bağlantı Arabirimi</b>	I2C
<b>Çalışma Gerilimi</b>	2.5 V - 5.5V
<b>Çalışma Akımı</b>	6 mA
<b>Jiroskop Hassasiyet Aralığı</b>	± 245 derece/saniye
	± 500 derece/saniye
	± 2000 derece/saniye
<b>İvmeölçer Hassasiyet Aralığı</b>	± 2 g
	± 4 g
	± 8 g

Tablo 1. Pololu MinIMU-9 Teknik Özellikleri

Lineer aktüatörde bulunan doğru akım motorunun hız ve yön kontrolü L293D motor sürücü entegrasi ile gerçekleştirilmiştir. Motor sürücünün aşırı ısınmasını engellemek için üzerine alüminyum

soğutucu yerleştirilmiştir. Sistemin kontrolü Atmega 328p mikrodenetleyicisi ile gerçekleştirilmiştir. IMU, motor sürücü entegre ve LCD ekran bu mikrodenetleyici tarafından kontrol edilmektedir.

Sistem çalışmaya başladığında eğimin hesaplanması için jiroskop ve ivmeölçer sensörlerinden ölçümler alınmaktadır. Yeryüzü eksenine göre eğimi hesaplayan çeşitli algoritmalar mevcuttur [13]. Bu çalışmada Jiroskoptan elde edilen açısız değer zamanla kayması, belirli bir oranda ivmeölçerden elde edilen açısız değer ile toplanarak giderilmektedir. Bu işleme Açık Tamamlayıcı Filtre hesaplaması adı verilmektedir [14]. Açık Tamamlayıcı Filtrenin hesaplama şeması Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Açık Tamamlayıcı Filtre Şeması

Açık tamamlayıcı filtre kullanılarak eğim hesaplanırken jiroskop ve ivmeölçer için koluğun yeryüzü eksenine göre açı hesapları ayrı ayrı yapılmaktadır. Eşitlik 1 ve 2 de yer alan denklemler ile ivmeölçer ile açı hesaplaması yapılmıştır. Eşitlikte;  $I_x$ ,  $I_y$ ,  $I_z$  ivmeölçerinin x, y, z eksenlerinde aldığı ölçümleri,  $R$  bileşke vektörünü,  $A_x$  ivmeölçer sensörü çıkışları ile hesaplanan eğimi ifade etmektedir. Eşitlik 1 ve 2 de yer çekiminin etkisi ile sensörün pozisyonuna bağlı olarak 3 eksendeki ölçümler alınmış ve bu ölçümlerin bileşke vektörü hesaplanmıştır. Bileşke vektörün yönü her zaman yeryüzü eksenine dik olduğundan sensörün x eksenine uygulanan kuvvet ile bileşke vektör arasındaki açı koluğun x eksenine göre eğimi vermektedir.

$$R = \sqrt{I_x^2 + I_y^2 + I_z^2} \quad (1)$$

$$A_x = \arccos\left(\frac{I_x}{R} \cdot \frac{180}{\pi}\right) \quad (2)$$

Hesaplanan  $A_x$  değeri sarsıntılardan etkilendiğinden, eğimin jiroskop sensörü kullanılarak düzeltilmesi gerekmektedir. Jiroskop sensörü çıkışları ile hesaplanan eğim değişimi ( $j_a$ ) Eşitlik 3 ile hesaplanırken, sistemin gerçek eğiminin ( $A$ ) hesabında Eşitlik 4 kullanılmıştır. Burada;  $J_x$  x ekseninde ölçülen jiroskop çıkışını,  $H_j$  jiroskopun 1 derece/saniye sabit hız ile döndüğünde verdiği çıkış değerini ve  $T$  örnekleme zamanını ifade etmektedir. Bu çalışmada örnekleme zamanı 0.02 saniye olarak belirlenmiş olup eşitliklerde yer alan işlemler her 20 milisaniyede bir tekrar etmektedir.

$$j_a = \frac{(J_x \cdot T)}{H_j} \quad (3)$$

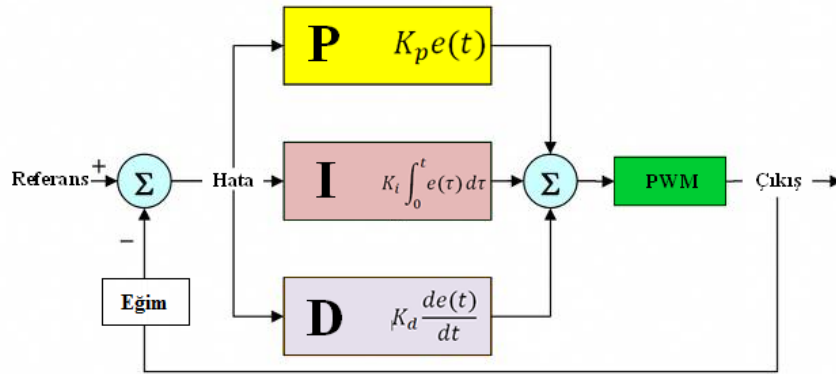
$$A = A_x \cdot 0,05 + (A + j_a) \cdot 0,95 \quad (4)$$

Sistemin kullanılabileceği tarım makinelerinin bozuk arazide ve sarsıntılı bir şekilde çalıştığı bilinmektedir. İvmeölçer sensörü ile hesaplanan eğim değerinin sarsıntılardan etkilendiği göz önüne alındığında Açık Tamamlayıcı Filtre aracılığı ile gerçek eğim değerinin hesaplanmasında, sarsıntılar sonucu oluşan hataları azaltmak için, ivmeölçer sensöründen elde edilen eğim değerinin ağırlığı yüzde 5, Jiroskop sensöründen elde edilen eğim değerinin ağırlığı ise yüzde 95 olarak belirlenmiştir. Açık Tamamlayıcı Filtre işlemi sonucunda hesaplanan ve koltuğun yeryüzü eksenine dik pozisyona getirilmesi için ifade eden  $A$  değeri, sistem başlatıldıktan yaklaşık 0.5 saniye sonra gerçek eğim değerine oturmaktadır. Bu durumun sebebi,  $A$  başlangıç değerinin sıfır olması ve ivmeölçer sensörü ile hesaplanan eğim değerinin yüzde 5 oranında ve birikimli olarak gerçek açı değerinin belirlenmesinde kullanılmasıdır.

Deney düzeneğinin koltuk kısmının eğimi belirli açı değerlerine getirilmiş, bir su terazisi ve açıölçer yardımı ile ölçülmüştür. Ölçülen değerler Açık Tamamlayıcı Filtre hesaplaması sonucu elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Açık Tamamlayıcı Filtre hesaplaması sonucu elde edilen eğim ile gerçek eğim arasındaki farkın bir dereceden daha az olduğu gözlemlenmiştir.

Açık Tamamlayıcı Filtre ve PID kontrolör her 20 milisaniyede bir tekrar çalışmakta ve bu süre içerisinde ölçüm sonuçlarına göre çıkışlar üretilmektedir. Çalışmada kullanılan 16 MHZ işlem hızına sahip Atmega 328p mikrodenetleyicisi için, her bir iterasyonda hesaplama süresi 4020 mikrosaniyedir.

Hesaplanan  $A$  değeri, bu sistem için sıfır olarak belirlenen referans değerden çıkarılarak sistemdeki hata değeri bulunur. Hata değeri koltuğun yeryüzü eksenine dik pozisyona getirilmesi için değiştirilmesi gereken açı değerini ifade etmektedir. Hatanın sıfırdan büyük ya da küçük olması lineer aktüatör motorunun dönüş yönünü belirlemektedir. Hatanın mutlak değeri PID kontrolöre giriş olarak verilmektedir. PID kontrolöre ait şema Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. PID Kontrol Şeması

Oluşturulan deney düzeneğinde kullanılan PID kontrolör için “P” katsayısı 10, “I” katsayısı 0.01, “D” katsayısı ise 0.2 olarak belirlenmiştir. Katsayılar deneme yanılma yolu ile bulunmuştur. Belirlenen katsayılar göre hesaplanan PID kontrolör çıkış değerlerinin 0 – 255 arasında hesaplanması sağlanmıştır. PID kontrolör çıkış değerlerinin 0 – 255 arasında oluşturulmasının sebebi, denekte kullanılan mikrodenetleyicinin PWM çıkışlarının 8 bitlik çözünürlüğe sahip olmasıdır. Hesaplanan çıkış değeri, mikrodenetleyici tarafından oluşturulan kare dalganın doluluk oranını belirlemektedir. PID çıkış değeri arttığında, oluşturulan ve motor sürücüsüne gönderilen kare dalganın doluluk oranı artmakta ve böylece motor hızının artırılması sağlanmaktadır. Aynı şekilde PID çıkış değeri azaldığında motor hızı da azalmaktadır.

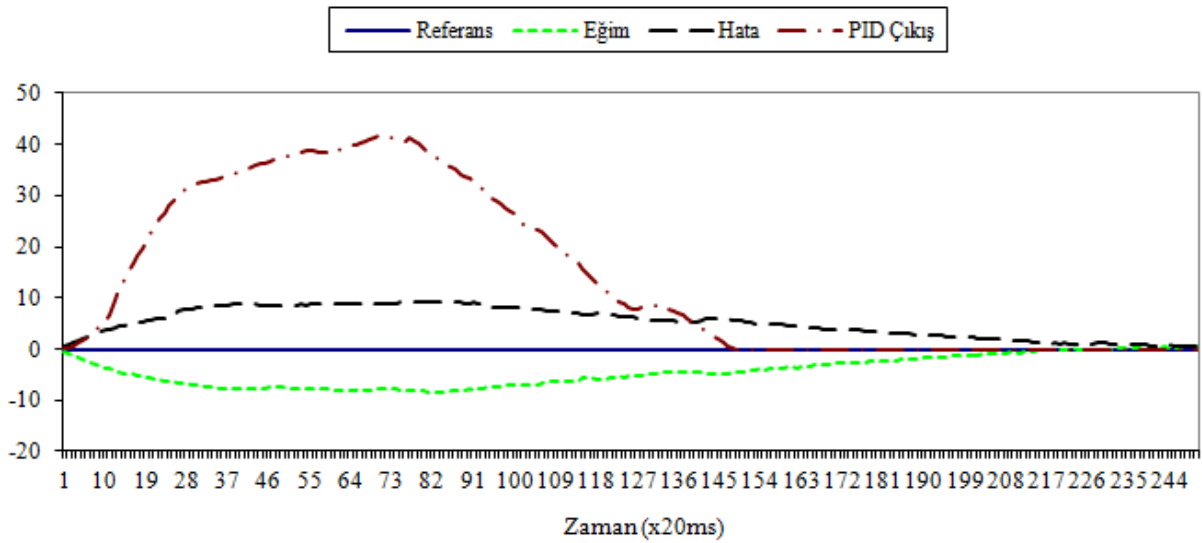
### III. DENEYSEL SONUÇLAR

Oluşturulan sistemin mevcut eğiminden referans eğime ulaşma zamanının belirlenmesi amacı ile iki farklı deney gerçekleştirilmiştir. Deneylerde açı tamamlayıcı filtrenin hesapladığı eğim değerinin yaklaşık 0,5 saniyede gerçek eğim değeri ile uyduğu gözlemlenmiştir. Açı tamamlayıcı filtre sonucu referans eğim ile hesaplanan eğim arasında fark oluşması ile birlikte PID kontrolör bir çıkış üretmektedir. Bu çıkış değeri, kullanılan mikrodenetleyicinin sahip olduğu 8 bitlik analog çıkışa uygun bir değer aralığına getirilmekte ve motor sürücüsüne gönderilecek PWM sinyalinin oluşturulmasını sağlamaktadır. Deneylere ait resimler Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. (a) Birinci deney ve (b) İkinci Deneye Ait Başlangıç Durumları

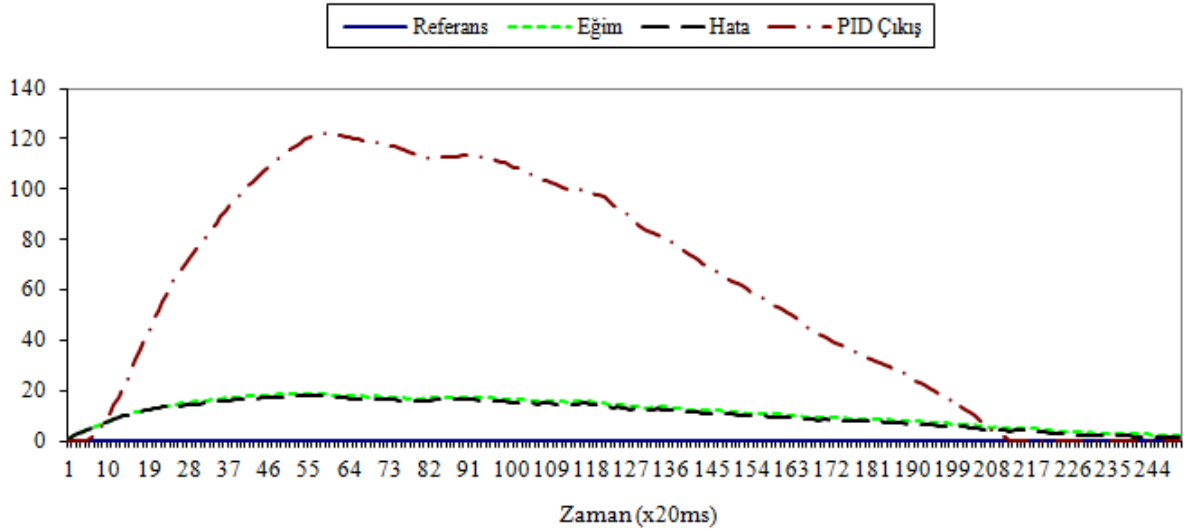
Birinci deneyde; sistem eğimi -10 dereceye getirilmiş ve referans eğim değeri sıfır derece olarak belirlenmiştir. Sistemin zamana bağlı eğim, hata ve PID çıkış grafikleri Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. (-10) - 0 Derece Arası Eğim ve Çıkış Değişim Grafiği

Deney sonucunda açı tamamlayıcı filtre ile hesaplanan eğim, gerçek eğim değerine yaklaşırken artan hata miktarı ile orantılı olarak PID çıkışında artış gözlemlenmektedir. Eğim değeri, referans değere yaklaştıkça hata değeri azalmakta ve PID çıkışı düşmektedir. Eğim değeri, lineer aktüatörün ataleti ile referans değere ulaşacak seviyeye geldiğinde PID çıkışı sıfır olmaktadır. Eğim değeri yaklaşık 4,5 saniyede referans değerine ulaşmaktadır.

İkinci deneyde; sistem eğimi 20 derece referans eğim değeri sıfır derece olarak belirlendiğinde sistemin zamana bağlı eğim, hata ve PID çıkış grafikleri Şekil 7'de gösterilmektedir.



*Şekil 7. 20 - 0 Derece Arası Eğim ve Çıkış Grafiği*

Deney sonucunda referans eğim değeri ile ölçülen eğim değeri arasındaki hata arttıkça PID çıkış seviyesinin de yükseldiği gözlemlenmiştir. 20 derecelik eğim değeri yaklaşık 5 saniyede referans eğim değerine ulaşmıştır.

#### IV. SONUÇ

Bu çalışma ile tarım araçlarının eğimli arazilerde kullanım konforunun artırılmasına yönelik koltuk eğiminin arazi koşullarına adapte olacak şekilde değiştirilebileceği bir deney düzeneği gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen bu sistem tarım makinelerinin uzun süreli kullanımında düz bir oturuş sağlamak ve buna bağlı olarak sürüş konforunu arttırmaktadır. Sensörlerden alınan ölçümler ve kullanılan hesaplama yöntemi sonucu elde edilen eğim değerlerinin gerçek eğim değerleri ile uyduğu gözlemlenmiştir. Kullanılan PID kontrolör mevcut katsayılar ile eğim değişiminin sağlanması için gerekli çıkışları doğru bir şekilde üretmektedir. Kontrolörün katsayılarında yapılacak değişiklikler sistemin daha doğru çalışmasını sağlayabilir. Lineer aktüatör maliyet ve ürettiği güç açısından böyle bir sistem için oldukça kullanışlı olmaktadır. Vida adımı daha büyük olan bir vidalı mil ve daha hızlı ve güçlü bir motor kullanılarak sistemin adaptasyon süresi kısaltılabilir. Sistem, oturuş eğimini değiştirdiği için tarım aracını kullanan kişi arazinin mevcut eğimini algılamakta güçlük çekebilir. Bu da aracın kullanımını daha riskli bir hale getirecektir. Bu durum, tasarlanan sisteme, aracın eğimi kritik bir seviyeye geldiğinde, sürücüye uyarıda bulunacak ya da sistemi dengeleyecek bir kontrol sisteminin eklenmesi ile engellenebilir.



## V. KAYNAKLAR

- [1] M. Ersoy ve M.Ş. Özsoy, “Tarım Finansmanının Kalkınmadaki Rolü ve Önemi: Bir Model Önerisi” *Öneri Dergisi*, c. 12, s. 47, ss. 1-14, 2017.
- [2] E. Işık, T. Güler ve A. Ayhan, “Bursa İline İlişkin Mekanizasyon Düzeyinin Belirlenmesine Yönelik Bir Çalışma” *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 17, s. 2, ss. 125–136, 2003.
- [3] R. Eaton, J. Katupitiya, K.W. Siew ve K.S. Dang, “Precision Guidance of Agricultural Tractors for Autonomous Farming” *IEEE International System Confrence*, Montreal/Canada, ss. 7-10, 2008.
- [4] J.H. van DieEn, M.P. De Looze ve V. Hermans, “Effect of Dynamic Office Chairs on Trunk Kinematics, Trunk Extensor EMG and Spinal Shrinkage” *Ergonomic*, c. 44, s. 7, ss. 739-750, 2001.
- [5] M.A. Karkoub ve M. Zribi, “Active/Semi-active Suspension Control Using Magnetorheological Actuators” *International Journal of Systems Science*, c. 37, s. 1, ss. 35-44, 2006.
- [6] Q. Zhao ve Y. Yang, “Improved Single Neuron PID Control for Heavy-Duty Vehicle Magnetorheological Seat Suspension” *IEEE Vehicle and Propulsion Confrence*, Harbin/China, ss.3-5, 2008.
- [7] K. Meruva ve Z. Bi, “Fatigue Life Modeling of Lineer Actuators in Robotics and Automation” *IEEE International Confrence on Information and Aotumation*, Ningbo/China, ss.299-304, 2016.
- [8] A. Fraiszudeen ve C.H. Yeow, “Soft Robotic Sit-to-Stand Trainer Seat” *IEEE International Confrence on Biomedical Robotics and Biomechatronic*, Utown/Singapore, ss.26-29, 2016.
- [9] H.D. Lee, Y.J. Kim, C.H. Choi, S.O. Chung, Y.S. Nam, ve J.H. So, "Evaluation of operator visibility in three different cabins type" *Far-East combine harvesters. International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, c.9, s.4, ss.33-45, 2016.
- [10] R. Deboli, A. Calvo, ve C. Preti, "Whole-body vibration: Measurement of horizontal and vertical transmissibility of an agricultural tractor seat" *International Journal of Industrial Ergonomics*, c.58, ss.69-78, 2017.
- [11] S.O.H. Madqwick, A.J.L. Harrison, R. Vaidyanathan, “Estimation of IMU and MARG Arientation Using a Gradient Descent Algorith” *IEEE International Confrence on Rehabilitation Robotics*, Zurich/Swithzerland, ss.1-7, 2011.
- [12] H.J. Luinge ve H.V. Peter, “Measuring orientation of human body segments using miniature gyroscopes and accelerometers” *Medical and Biologic Engineering and Computing*, c. 43, s. 2, ss.273-282, 2005.
- [13] A.M. Sabatini, “Estimating Three-Dimensional Orientation of Human Body Parts by Inertial/Magnetic Sensing” *Sensors*, c. 11, s. 2, ss.1489-1525, 2011.

[14] A.J. Baerveldt ve K. Robert, "A low-cost and low-weight attitude estimation system for an autonomous helicopter" *Intelligent Engineering System*, Budapest/Hungary, ss.391-395, 1997