



# SERVO HİDROLİK KUMANDA DEVRELERİNDE PID MANTIĞININ İRDELENMESİ

**K.Süleyman YİĞİT**  
**Selim KÜÇÜKATEŞ**

## ÖZET

Elektronik destek sistemleri olan veya olmayan servo valflerin kendilerinden istenen akış kontrolünü en az hata ile yapabilmeleri için çevrelerinde kendilerine yardımcı çözüm birimlerine ihtiyaç duymaktadırlar. Eğer kumanda edilecek nicelik hassas ise tekbaşına kullanılan bir servo valf bu işi neticelendirmede yetersiz kalmaktadır. Bu nedenden dolayı servo valfler beraberlerinde birtakım yardımcı elektronik veya mekanik düzeneklere ihtiyaç gösterirler.

Servo valfler ile kontrolünü istediğimiz büyüklük, takip ettiğimiz büyüklük ile aynı seviyeye geldiğinde her anlamda eşit değildirlir. Bu nedenle kontrol ettiğimiz büyüklük ister istemez bizim istediğimiz değerin dışına çıkmakta ve hatalar meydana gelmektedir. Hataları gidermek için sonsuz sayıda çözüm aranabilir. Ancak hiç bir yapı, içinde sonsuz çözüm birimi içermeyeceği için, insanoğlunun günümüz şartlarında bir kumanda büyüklüğünü sıfır hata ile takip eden bir düzenek yapamayacağı manasına gelir. Bu nedenle çözümleme sırasında belirli bir hata payının kabul edilebilir bir seviyede olması gerekir.

Daha sonra detayları verilecek bu çalışmada, servo valflerde kullanılan PID kontrol sistemleri ele alınıp incelenmiş, servo valf ile kendini kontrol eden kontrol sistemi arasındaki matematiksel ilişki teorik ve grafiksel olarak anlatılmıştır. Servo akış yönlendiricilerinin idaresinde kullanılan PID mantığının karmaşık matematik ifadeler yerine, daha kolay ve rahat anlaşılabilir yöntemler ile çözümünün yapılabildiği gösterilmiştir.

## ABSTRACT

Servo valves with or without electronic supporting system need the auxiliary solution unit in order to satisfy the desired flow control at minimum error. If the quantitative to be controlled is sensitive, only one servo valve remains incapable to result the duty. Therefore, servo valves need some auxiliary electronic or mechanical devices.

When the magnitude controlled by servo valves is in the same level with the observed / tracked magnitude, it doesn't mean that they are equal. Consequently, the magnitude we controlled is necessarily different from the desired one and then some errors appear / occur. Infinite number of solution can be searched in order to eliminate the errors. But, no structure doesn't include infinite solution units, it means that human beings can't currently make the device which tracks the controlled magnitude with zero error. That's why a certain tolerance in error is required to be at acceptable level during solution analysis.

In this study whose details are given later, both electronic and PID control systems used in servo valves are examined and also the relationship between servo valve and the control system controlling itself is exhibited theoretically and diagrammatically.



## GİRİŞ

Servo hidrolik sistemler ilk olarak 1950 li yıllarda uçak ve gemilerde askeri amaçla kullanılmaya başlanmıştır. Uçakların dümenleri, kanatları ve bir çok uçuş sistemlerinin mükemmel kontrolleri servo elektro hidrolik valflerle dizaynlar ve üretimler yapılmış, daha sonraki yıllarda bu tür uygulamalar sanayinin diğer alanlarında da kullanılmaya başlanmıştır[1].

Servo sistemin kalbi olan servo valfler, ağır yükleri; hızlı, fakat darbesiz, yüksek hassasiyette, iyi zamanlama ile ve istenildiği gibi hareket ettirme ihtiyaçlarına cevap verebilme kabiliyetleri ile önem kazanmıştır. Tabi olarak bu fonksiyonları, yalnız servo valf ile halletmek imkansızdır. Servo sistemin vazgeçilmez elemanları olan, Servo Kontrol elemanları kadar, Kapalı Çevrim Kontrol, Ölçme Teknolojisi, gibi yardımcı fonksiyon elemanları, valf ve hidrolik sistemde önemlidir [ 2]

Kontrol işlemlerine günlük hayatın hemen her anında rastlanır. Kontrol işlemlerinin birçoğu otomatik olarak insan yardımı olmadan gerçekleştirilir. Örneğin Termosifon, şofben ya da fırın sıcaklığının belirli bir değer etrafında tutulması, su basıncının hidrofor sistemleri yardımıyla ayarlanması günlük hayatta her zaman çevremizde görebileceğimiz benzer uygulamalardır. Günümüzde en basit uygulama alanlarından en karmaşık endüstriyel tesis uygulamalarına kadar her yerde yaygın olarak kullanılan kontrol sistemleri; temelde tüm fiziksel ve kimyasal değişkenlerin insan gücüne bağlı olmaksızın denetlenmesi ve kontrol altında tutulması amacıyla hizmet eder [3].

Her hangi bir kontrol döngüsünde kontrol edici blok (karşılaştırma ve kontrol elemanı) yerine yerleştirilecek herhangi bir kontrol cihazı, kontrol noktası (ayar değeri) etrafında çalışması gereken hassasiyette hidrolik sistemi kontrol etmelidir. Hidrolik bir sistemin gerektirdiği hassasiyette çalışacak, hatayı gereken oranda minimuma indirecek çeşitli kontrol türleri mevcuttur. Bu kontrol sistemlerinde, diğer kontrol türlerinin yeterli olmadığı hidrolik sistemlerde tercih edilen PID kontrol türünde; oransal kontrolde oluşan sapma, integral fonksiyonu ile giderilmeye çalışılır. Meydana gelen üst ve alt tepeler bu kontrole ilave olarak türevsel etkininde eklenmesi ile minimum seviyeye indirilir. [4]

Servo akış yönlendiricileri kendilerinden istenen akış denetimini en az hata ile yapabilmeleri için çevrelerinde, kendilerine yardımcı çözüm birimlerine ihtiyaç duymaktadırlar. Eğer kumandası gereken nicelik hız ve konum gibi birden çok değişkene ihtiyaç gösteriyorsa tek başına kullanılan bir servo akış kumanda birimi bu işi neticeye götürmekten acizdir. Hal böyle olunca servo akış yönlendiricileri beraberlerinde birtakım matematik düzeneklere ihtiyaç gösterirler.

Takibini istediğimiz büyüklük, takip ettiğimiz büyüklük ile görülebilen birkaç değer açısından aynı seviyeye geldiğinde her anlamda eşit değildirler. Zaten bütün sorun bu nedenden doğmaktadır. Konuyu açmak gerekirse; Birbirini takip eden iki aracın durumlarından anlam çıkarmak yerinde olur. Yan yana hareket eden iki aracın biri takipçi (çıkış), diğeri takip edilen (giriş) olsun. çıkış, giriş ile yan yana geldiğinde mesafe bağlamında eşit büyüklükte oldukları halde giriş ile hızları farklı olabileceği için eşit durumda sayılamazlar. Gözümüz onları yan yana gördüğü halde hız farklılıkları yüzünden kısa bir süre sonra eşitlik bozulacaktır. Hakikaten girişin hızı 100 km/h iken çıkışın hızı haliyle onu yetişebilme arzusu yüzünden 120 km/h olabilirdi. Eşit mesafede oldukları anı kısacık bir zaman diliminde kaybedebilirlerdi. Gelin görün ki bu iki aracın birbirleri ile buluştukları anda hızları dahi eşit olsa, bu kez hızlarının değişim hızı (ivmeleri) farklılığı yüzünden yine kısa bir süre içinde birbirlerine göre konumları değişecekti. Bu sorunlar ta ki ivmelerinin değişim hızı, ivmelerinin değişim hızının değişim hızı şeklinde sonsuza dek birbirine eşit olmadıkça iki araç hiçbir zaman birbirlerini tam anlamı ile hatasız takip edemeyeceklerdir.

Hiç bir yapı, içerisinde sonsuz çözüm birimi bulunduramayacağı için, insan oğlunun günümüz koşullarında bir kumanda büyüklüğünü sıfır hata ile takip eden bir düzenek yapamayacağı anlamına gelir, fakat bu yaklaşım hata payı kabul edilebilir bir düzenek yapılmayacağı manası taşımaz. İşte hata payını istenilen seviyelere çekebilmek için seviyenin kıymeti ve girişin hareket denkleminin karmaşıklığı oranınca fazla çözüm algoritması kullanılması servo kumanda birimlerinin vazgeçilmezleri halini alır.





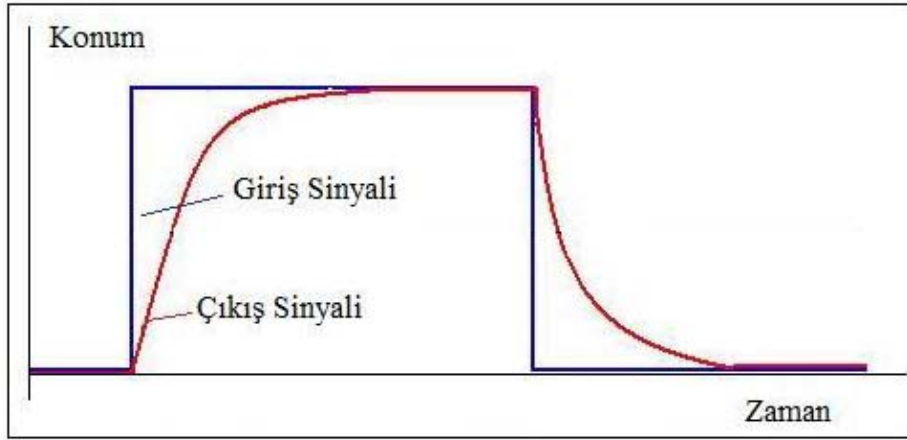
$d(Y_{t_1}) / dt = (X_t - Y_{t_1}) / 2A$  olacağından sonsuz küçük zamanda alacağı yol

$d(Y_{t_1}) = [(X_t - Y_{t_1}) / 2A] dt$  şeklinde bulunur. Bilgisayar programında nümerik yöntemler ile entegral alınacağından ifadenin entegrali program döngüsü içinde

$Y_{t_1} = Y_{t_1} + [(X_t - Y_{t_1}) / 2A] dt$  şekline gelir.

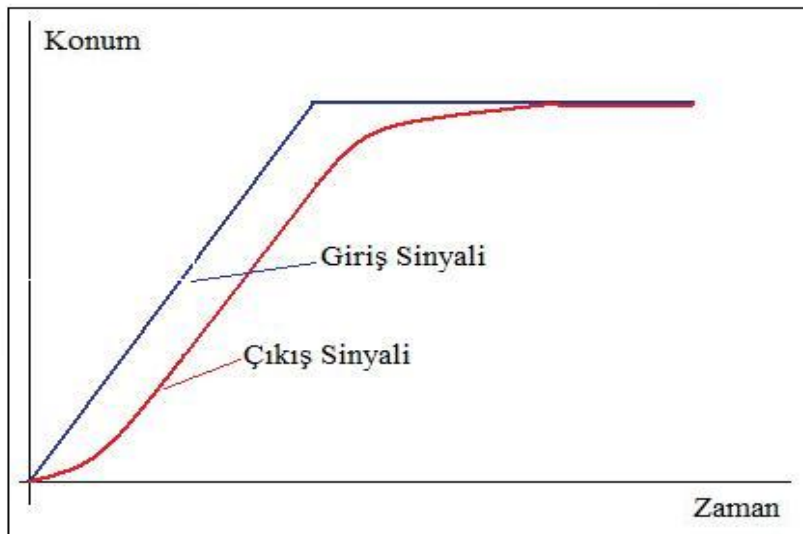
### SINIR KOŞULLARININ İRDELENMESİ

Baştan beri incelediğimiz durum, kare dalga girişine karşılık gelen servo cevabı içermektedir. Giriş eğrisine göre çıkış davranışı Şekil 2 de görüldüğü gibi yalın servo düzeneklerin en temel davranışıdır.



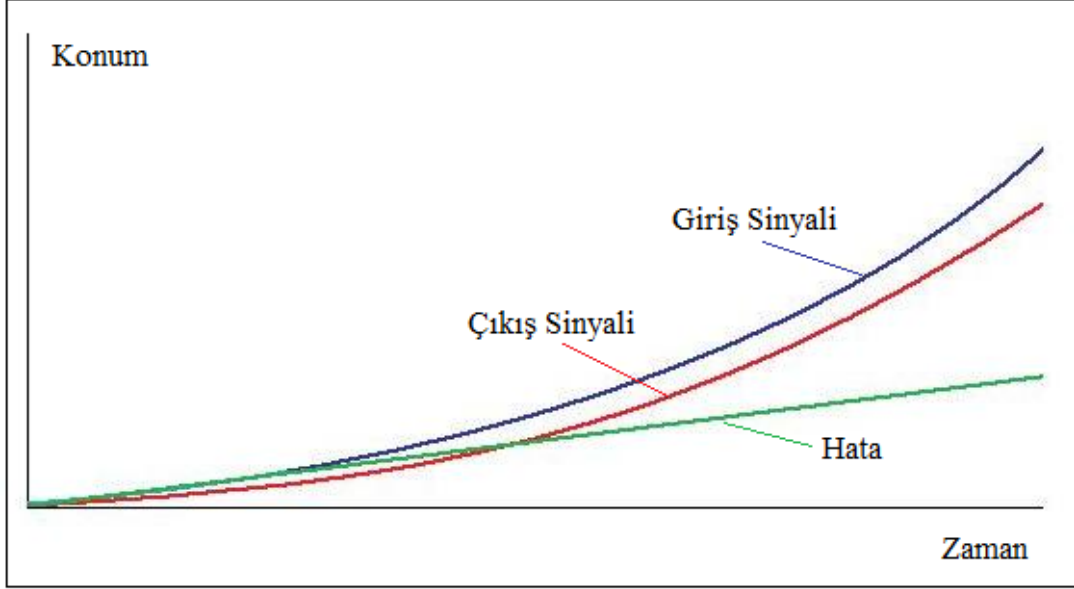
Şekil 2. Yalın servo valfin en genel davranışı

Yalın servo kumanda kabiliyetine sahip düzeneğe rampa fonksiyonu oluşturacak şekilde dümen sabit hız ile belirli bir yöne çevrilirse, giriş denklemi sıfır anından itibaren teorik olarak 10 derece/sn sabit hızla ilerlerken, çıkış denklemi sıfır hızdan 10 derece/sn hıza erişinceye dek servo valfin hata açıklığını artırıp (giriş denkleminin geri kalıp) eşit hızlara ulaşıldığında kalkıştaki gecikmeden dolayı giriş oranla kaybedilen çıkış mesafesi (hata), girişteki sabit hız değişmedikçe korunacaktır. Bu ifadenin grafiksel davranışı Şekil 3 de görülmektedir.



Şekil 3. Yalın servo valfin birinci dereceden fonksiyonel davranışı

Yalın servo kumanda kabiliyetine sahip düzeneğe ikinci derece fonksiyon oluşturacak şekilde dümen sabit ivme ile belirli bir yöne çevrilirse, giriş denklemi sıfır anından itibaren teorik olarak bir derece/sn<sup>2</sup> ivme ile artan hızla ilerlerken, çıkış denklemi sabit ivmeli sürekli artan giriş hızını yetiştirebilme, daima servo valfin akışını hızlandırabilmek için açma aralığını artırma gereği duyup sıfır andan itibaren her an girişe göre mesafe kaybetmek zorunda kalacaktır. (Şekil-4)



Şekil 4. Yalın servo valfin ikinci dereceden fonksiyonel davranışı

Yukarıda incelediğimiz yalın servo kumanda birimlerinin değişen giriş hızlarına değişen hatalarla cevap verdikleri anlaşılmaktadır. Yalın servo valfin derecesi istenildiği kadar artırılarak değişik grafikler elde etmek mümkündür. Elde edilen grafikler incelendiğinde giriş hızı arttıkça hata payının artmakta olduğu görülür.

Giriş çıkış fonksiyon dereceleri açısından genel bir değerlendirme yapılırsa;

- 1- Sıfırıncı derece giriş fonksiyonu için sonsuz zamanda çıkış konum hatası düzeltilebilir. (hata sıfır)
- 2- Birinci derece giriş fonksiyonu için sonsuza dek çıkış konum hatası fonksiyonun eğimi ile doğru orantılı. (hata sıfırıncı dereceden fonksiyon)
- 3- İkinci derece giriş fonksiyonu için çıkış konum hatası fonksiyonun her anki eğimi ile doğru orantılı. (hata birinci dereceden fonksiyon)

Üç seçeneği genelleyecek olursak, yalın servo kumanda birimlerinin girişleri ile çıkışları arasında oluşan hatanın fonksiyonu, giriş fonksiyonunun türevi ile doğru orantılıdır diyebiliriz.

Yukarıda saydığımız hata olma ihtimallerini azaltabilmek için servo kumanda düzeneğine olumlu yönde katkı sağlayacak çözüm yönteminin eklenmesi gerekmektedir. Baştan beri anlatılan konunun özünü teşkil edecek olan bu ek, en basit çözüm olmakla beraber, servo kumanda biriminin giriş ile çıkışı arasındaki oran büyüklüğünün kıyaslanması açısından istenilen en iyi neticeyi sağlamak amacı ile geliştirilmelidir.

## SERVO HİDROLİK SİSTEMİN GELİŞTİRİLMİŞ MODELİ

Şekil-3'de görülen X girişinin hızından kaynaklanan kumanda hatasının giderilebilmesi için düzeneğin Şekil-2'de olduğu gibi konumdan konuma kumanda yapıyor muş gibi davranırılması gerekmektedir.



Temel kumanda biriminin kumanda uçlarına aynı birimi seri olarak bağladığımızda, sabit hızla hareket eden giriş çubuğunun hızının çıkışa iletilmesinde ikinci birim kullanılırken birinci birim hızdan kaynaklanan hata açıklığının sifira yanaştırılmasında görev alacağı için çıkış ile giriş arasındaki benzerlik ilk düzeneğe kıyasla daha fazla olacaktır.

$$Y_{t1} = Y_{t1} + [(Xt - Y_{t1}) / 2A] dt$$
$$Y_{t2} = Y_{t2} + [(Xt - Y_{t1} - Y_{t2}) / 2A] dt$$

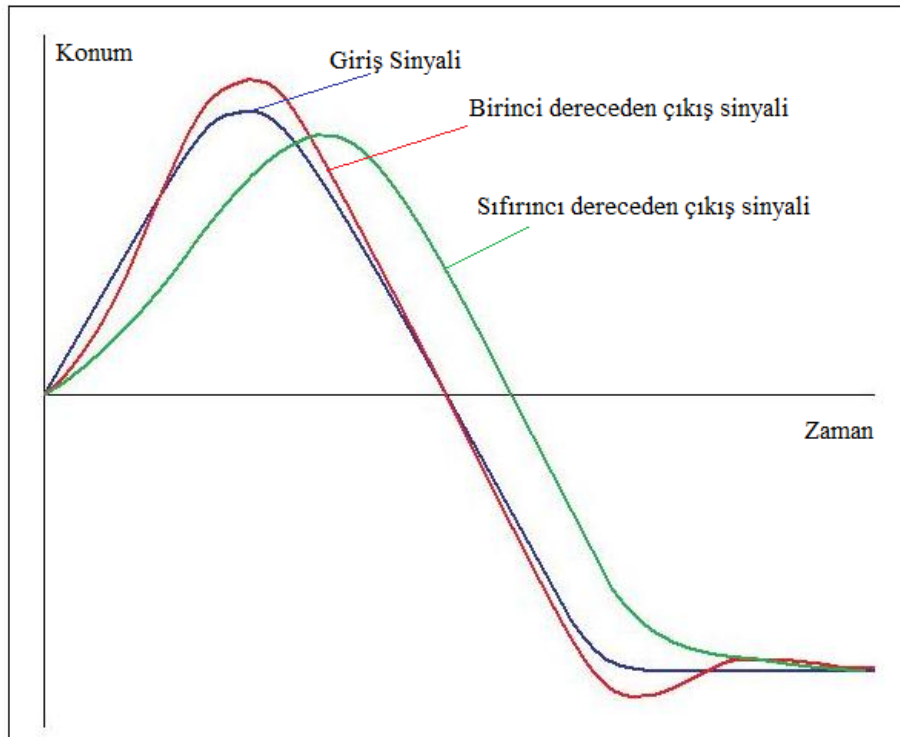
$$Y_{t3} = Y_{t1} + Y_{t2} \text{ olur.}$$

Aynı şekilde sabit ivmeli hareket için üç tane düzeneği ardı ardına seri bağlarsak, üçüncü düzenek ivmelenmeyi çıkışa taşıırken, ikinci düzenek, hızı taşıyacaktır. Birinci düzeneğe ise yukarıda olduğu gibi konum hatasını sifira yaklaştırma işi kalacaktır.

$$Y_{t1} = Y_{t1} + [(Xt - Y_{t1}) / 2A] dt$$
$$Y_{t2} = Y_{t2} + [(Xt - Y_{t1} - Y_{t2}) / 2A] dt$$
$$Y_{t3} = Y_{t3} + [(Xt - Y_{t1} - Y_{t2} - Y_{t3}) / 2A] dt$$

$$Y_{t4} = Y_{t1} + Y_{t2} + Y_{t3} \text{ olur.}$$

Bu denklem takımlarını sistem derecesine göre sonsuza kadar yazmak mümkündür. Ek 1 de 8. dereceden denklem sisteminin ele alınıp incelendiği modelin Basic programlama diliyle yazılmış program görülmektedir.



Şekil 5. Yalın servo valfin sinüs fonksiyonel davranışı

Sinüs fonksiyonu gibi sonsuz dereceden polinom sisteminin oluşturduğu servo hidrolik sistemlerin çözümlenmiş hali incelenecek olursa, Şekil-5 de görüldüğü gibi mavi renkli giriş denklemi sıfırıncı derece çözüm kullanıldığında yeşil eğrideki gibi çıkış verirken birinci derece çözüm kullanıldığında kırmızı eğrideki gibi çıkış oluşturduğu görülür. Kırmızı çıkış eğrisi görüldüğü gibi mavi giriş eğrilerine daha yakın çözüm içermektedirler. İstenildiğinde çözüm derecesi artırılarak eğrilerin üst üste çakışma derecesinde giriş ve çıkış birbirine benzetilebilir. Buna taklit yeteneği mükemmel servo düzenekler denir. Günümüzde aşırı güç ve hassasiyet gerektiren CNC makinelerde bu düzenekler mevcuttur.



## SONUÇ

Doğadaki hareketler sinüs fonksiyonu gibi sonsuz dereceden polinom oluşturdukları için çıkışın girişe uyabilmesi sonsuz sayıda düzeneğin seri bağlantısını gerektirecektir. Bu teknik olarak mümkün olmadığından dolayı sınırlı sayıda seri bağlanmış düzeneğin yardımı ile istenilen hassasiyette kumanda düzenekleri kurulabilir. Bu düzeneklere ait matematiksel ifadeler çok karmaşık görünseler bile gerçekte çok basit mantıkla açıklanmaları mümkündür. Nitekim bu çalışmada servo hidrolik bir sistemin istenilen dereceden matematik modelinin yazılıp uygulanabildiği gösterilmiştir. Arzu edilirse çözüm derecesi artırılarak eğrilerin üst üste çakışma derecesinde giriş ve çıkış birbirine benzetilebilir. Buna taklit yeteneği mükemmel servo düzenekler denir. Günümüzde aşırı güç ve hassasiyet gerektiren CNC makinelerde bu düzenekler mevcuttur. Ayrıca Servo akış yönlendiricilerinin idaresinde kullanılan PID mantığının karmaşık matematik ifadeler yerine, daha kolay ve rahat anlaşılabilir yöntemler ile anlatılması mümkündür.

## KAYNAKLAR

- [1] F.L.Westwater, W.A. Waddel, An Introduction to Servomechanism, The English University Press Ltd, London, 1961
- [2] Saban YAZICI, Servo Valfler – Özellikleri Ve Bakımı, III. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi, 2004, İzmir
- [3] Sohl, G. & Bobrow, J. "Experiments and Simulations on the Nonlinear Control of a Hydraulic Servo system", IEEE Transactions on control systems technology, 7, 238, 1999
- [4] H.E. Merritt, *Hydraulic Control Systems*, New York: John Wiley & Sons, Inc., 1967.

## ÖZGEÇMİŞLER

### Kadri Süleyman YİĞİT

1965 yılında Burdur'da doğdu. İlk Orta ve Lise eğitimini Burdur'da tamamladıktan sonra Lisans eğitimini Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde, Yüksek Lisans eğitimini Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde, Doktora eğitimini ise Kocaeli Üniversitesi Fen bilimleri enstitüsünde tamamladı. 2006 yılından beri Aynı üniversitede Doçent olarak görev yapmaktadır. Evli ve üç çocuk babasıdır.

### Selim KÜÇÜKATEŞ

1975 yılında İzmit'te doğdu. İlk Orta ve Lise eğitimini Gölcükte tamamladıktan sonra Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden 1997 yılında mezun oldu. 1994 yılından beri kendilerine ait mekatronik dalında faaliyet gösteren bir işletmede çalışmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.



EK : Sekizinci dereceden fonksiyona sahip modelin programı

SCREEN 12

'----- sabitler tanımlanıyor -----

Yt1 = 0: Yt2 = 0: Yt3 = 0: Yt4 = 0

'----- eksen çizgileri oluşturuluyor -----

LINE (5, 5)-(5, 440), 15

'LINE (5, 240)-(635, 240), 15

'----- zaman sayım yapılıyor -----

FOR t = 0 TO 50000

IF t >= 30000 THEN Xt = Xt ELSE Xt = 200 \* SIN(t / 5000) 'giriş denklemi

Yt1 = Yt1 + ((Xt - Yt1) / 2) / 1000 'geri besleme çubuğunun fonksiyonu

Yt2 = Yt2 + ((Xt - Yt1 - Yt2) / 2) / 1000

Yt3 = Yt3 + ((Xt - Yt1 - Yt2 - Yt3) / 2) / 1000

Yt4 = Yt4 + ((Xt - Yt1 - Yt2 - Yt3 - Yt4) / 2) / 1000

Yt5 = Yt5 + ((Xt - Yt1 - Yt2 - Yt3 - Yt4 - Yt5) / 2) / 1000

Yt6 = Yt6 + ((Xt - Yt1 - Yt2 - Yt3 - Yt4 - Yt5 - Yt6) / 2) / 1000

Yt7 = Yt7 + ((Xt - Yt1 - Yt2 - Yt3 - Yt4 - Yt5 - Yt6 - Yt7) / 2) / 1000

Yt8 = Yt8 + ((Xt - Yt1 - Yt2 - Yt3 - Yt4 - Yt5 - Yt6 - Yt7 - Yt8) / 2) / 1000

IF (t / 25) = INT(t / 25) THEN 'her 25 hesaptan sonra ekrana çizim yapılıyor

Yt = Yt1 + Yt2 + Yt3 + Yt4 + Yt5 + Yt6 + Yt7 + Yt8

H1 = (Xt - Yt1)

H2 = (Xt - Yt)

Tt = t / 65 + 5

PSET (Tt, 240 - Xt), 1

PSET (Tt, 240 - H1), 3

PSET (Tt, 240 - H2), 8

PSET (Tt, 240 - Yt1), 4

PSET (Tt, 240 - Yt), 2

ELSE

END IF

FOR Q = 0 TO 1000: NEXT Q

NEXT t

'bu program geri besleme çubuğunun yönettiği piston'a seri olarak bağlanmış  
'diğer bir pistonun yine ilk geri besleme çubuğuna paralel olduğu bir düzenin ifadesidir.

END