

SERVOHİDROLİK AMORTİSÖR DİNAMOMETRESİNİN DİNAMİK MODELİ VE SİMÜLASYONU

Tuna BALKAN
Y. Samim ÜNLÜSOY

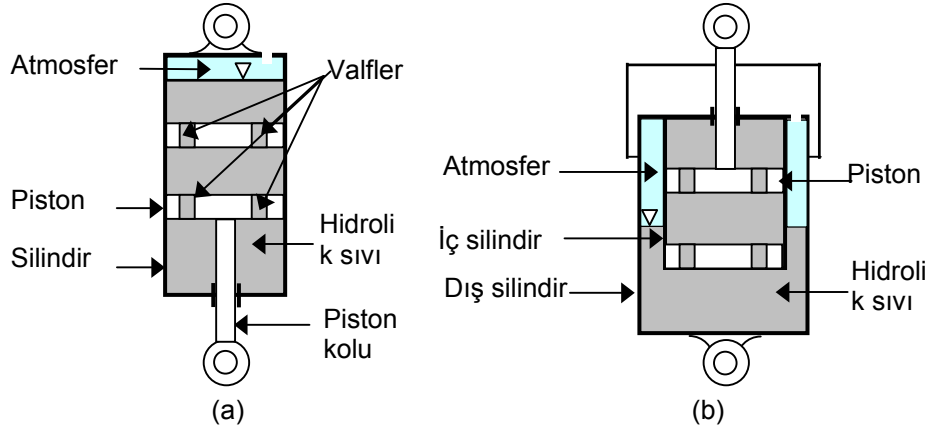
ÖZET

Amortisör karakteristiklerinin elde edilmesinde kullanılan dinamometreler için mekanik, servohidrolik ve elektromanyetik olarak üç değişik tasarım söz konusudur. Mekanik dinamometreler daha basit ve ucuzdur, ancak yetenekleri kısıtlıdır. Üstün performans ve esneklik sağlayan servohidrolik ve elektromanyetik dinamometreler ise daha karmaşık ve pahalıdır.

Bu bildiride servohidrolik bir amortisör dinamometresinin dinamik modeli sunulmakta ve sinüs eğrisi veya üçgen dalga kullanılarak yapılan simülasyonlardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak tartışılmaktadır. Sisteminin uygulanmasıyla ilgili yazılım ve donanım da incelenmiş ve öneriler yapılmıştır.

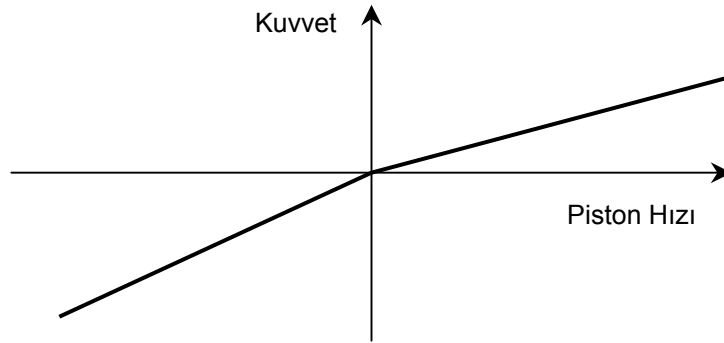
GİRİŞ

Amortisör, karayolu taşıtlarının süspansiyon sistemlerinde tekerlek ile gövde arasında yer alan ve gövde ve tekerlek titreşimlerini sönmek amacıyla kullanılan bir süspansiyon elemanıdır. Yaygın olarak kullanılan tek ve çift silindirli amortisörlerin yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Amortisör yapısı, (a) Tek silindirli, (b) Çift silindirli

Amortisörlerin çeşitli sistemlere uygulanmasında en önemli veri, piston hızının bir fonksiyonu olarak oluşan kuvvet karakteristiğidir. Otomobil süspansiyonu uygulamalarında, tekerlek hızının değeri yukarı doğru harekette (bump) aşağı doğru harekette (rebound) göre yaklaşık iki mislidir. Bu nedenle araç gövdesine uygulanan kuvvetin her iki durumda eşit olmasını sağlamak için, amortisörler Şekil 2'de gösterildiği gibi asimetrik kuvvet-hız karakteristikleri verecek biçimde üretilirler [1].

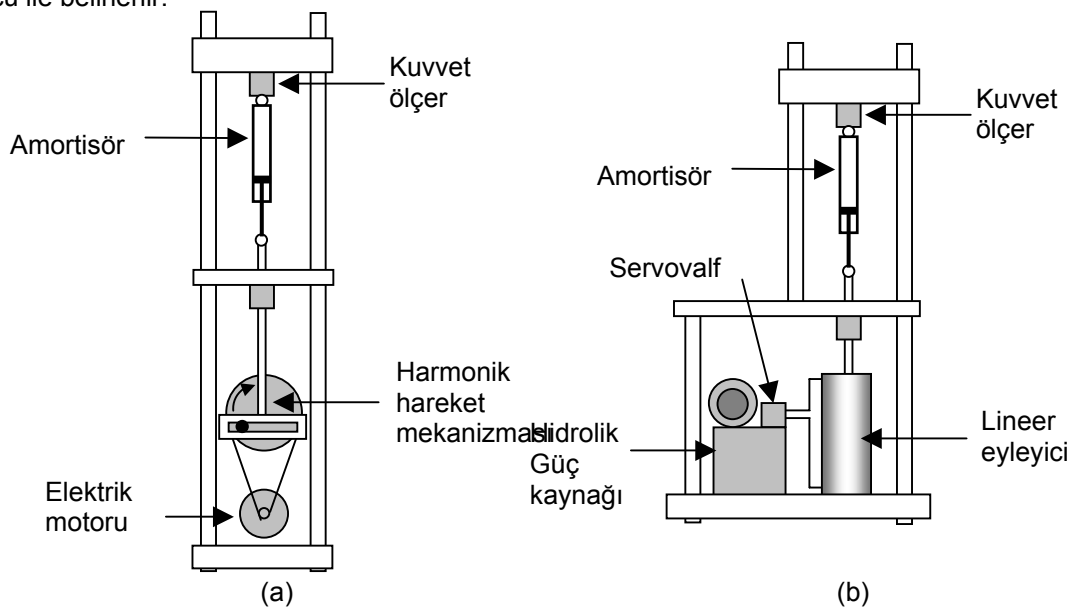


Şekil 2. Amortisör kuvvet-hız karakteristiği

Amortisör testlerinde amaç, kuvvetin konum ve hızın bir fonksiyonu olarak ölçülmesidir. Bu nedenle, amortisörün bir ucu rijit bir çerçeveye monte edilmiş bir kuvvet ölçere bağlanır. Diğer ucu ise kasıntı olmayacak şekilde, sabit deplasmanda değişik hızlarda hareket ettirilerek konum ve hızın fonksiyonu olarak kuvvet ölçümleri alınır.

Amortisör dinamometreleri mekanik, servohidrolik ve elektromanyetik olmak üzere üç sınıfa ayrılır. En yaygın olarak kullanılan mekanik dinamometreler göreceli olarak basit ve ucuz olmakla beraber, daha karmaşık ve pahalı olan servohidrolik ve elektromanyetik aygıtların sağladığı esneklik ve performansa sahip değildir.

Mekanik dinamometrelerde amortisör karakteristiklerini sabit hız testleriyle elde etmek pratik değildir. Bu sistemlerde kullanılan motorun çıkışında dişliler veya dişli kayış yoluyla hız düşürülür. Dönme hareketi bir Harmonik Hareket Mekanizması ile doğrusal harekete çevrilerek, amortisörün bir ucu, genliği değişmeyen ancak farklı frekanslarda sinüs dalgası şeklinde hareket ettirilir, Şekil 3 (a). Gerekliğinde hareketin genliği kullanılan mekanizma ile ayarlanabilir. Farklı frekansların elde edilmesi için de motor hızı bir frekans değiştirici ile ayarlanır. Değişik devir sayılarında yapılan deneyler sonucunda, sabit deplasman kapalı kuvvet eğrileri ve sönüm katsayısı-hız eğrisi elde edilir. Genelde uygulama aralıkları frekanslarda 0.5-5.0 Hz, deplasmanda 10-70 mm, hızda ise ise 10-1000 mm/s dir [2]. Deneylerde uygulanabilecek en büyük kuvvet, kuvvet ölçerin kapasitesi ve motorun maksimum gücü ile belirlenir.



Şekil 3. Amortisör dinamometreleri, (a) Mekanik, (b) Servohidrolik

Servohidrolik dinamometreler ise entegre güç kaynağı (motor, pompa ve tank) ve kontrol sistemini de içeren deney aygıtlarıdır. Hidrolik yağ servo kontrol valfi tarafından lineer bir eyleyicinin üst veya alt tarafına gönderilerek, amortisörün bir ucu çekilir veya itilir, Şekil 3 (b). Servo valfin çıktısı Eyleyicinin ölçülen piston konumu istenen konumla karşılaştırılarak, servo valfin çıktısı ayarlanır. Böylece amortisörün değişik dalga şekillerinde, hız ve genlikte uyarılması mümkün olur. Amortisör kuvveti kuvvet ölçer yardımı ile konumun veya hızın bir fonksiyonu olarak ölçülür. Deneylerde gerçekleştirilebilecek genlik ve hızlar servo valfin debi kapasitesi ile sınırlıdır. Uygulanabilecek en büyük kuvvet ise kuvvet ölçerin kapasitesi, kullanılan basınç (tipik değer 210 bar) ve eyleyicinin çapı ile belirlenir. Genelde uygulama aralıkları frekanslarda 0.01-6.0 Hz, deplasmanda 1-100 mm, hızda ise 1-1000 mm/s dir [2].

Elektromanyetik dinamometreler ise, servohidrolik dinamometreler gibi test amortisörünü doğrudan ve her türlü dalga şekillerinde uyarabilecek yeteneklere sahip olduğu gibi, minimum düzeyde boşluk, sürtünme ve aşınma özellikleri vardır [3].

Bu bildiriye servohidrolik bir amortisör dinamometresinin dinamik modeli oluşturulmuş ve deney sürecinin simülasyonu yapılmıştır. Ayrıca böyle bir sistemin donanım ve yazılım gereksinimleri de tartışılmıştır.

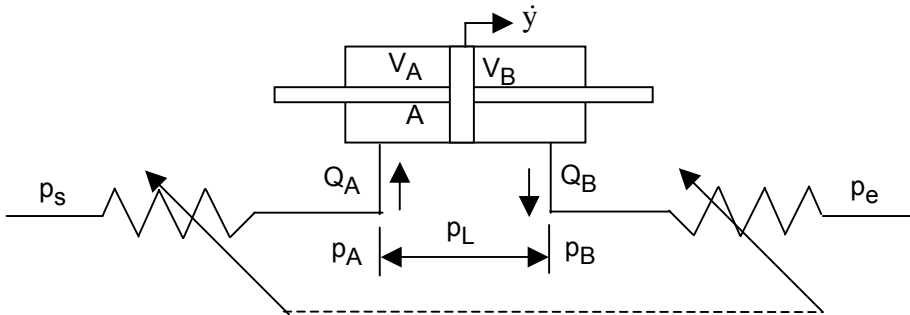
DİNAMİK MODEL

Amortisör dinamometre sisteminin dinamik modelini

- hidrolik güç kaynağı,
- servovalf ve lineer eyleyiciden oluşan hidrolik sistem,
- sayısal denetim sistemi ve
- amortisör

olmak üzere dört ayrı bölümde incelemek mümkündür.

Hidrolik güç kaynağı, sistemin sabit basınç altında çalışmasını sağlamak amacıyla tasarlanmış olup servovalf girişindeki basıncı p_s düzeyinde tutar. Çift etkili hidrolik lineer eyleyici ise servovalf tarafından kontrol edilmekte ve amortisörü tahrik amacıyla kullanılmaktadır. Şekil 4 de servovalf ve hidrolik silindir şematik olarak gösterilmiştir. Servovalf kapalı merkezli olarak kabul edildiğinden, açıklığı x olan iki adet değişken orifis olarak modellenmiştir [4].



Şekil 4. Servovalf ve hidrolik silindir modeli

Hidrolik akışkanın sıkıştırılabilir olduğu kabul edilirse, şekilde gösterilen hız yönü için, matematik model olarak aşağıdaki orifis ve akış sürekliliği denklemleri yazılabilir.

$$Q_A = C_d \cdot \omega \cdot x \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_s - p_A)} \quad (1)$$

$$Q_A = A \dot{y} + \frac{V_A}{\beta} \dot{p}_A \quad (2)$$

Burada,

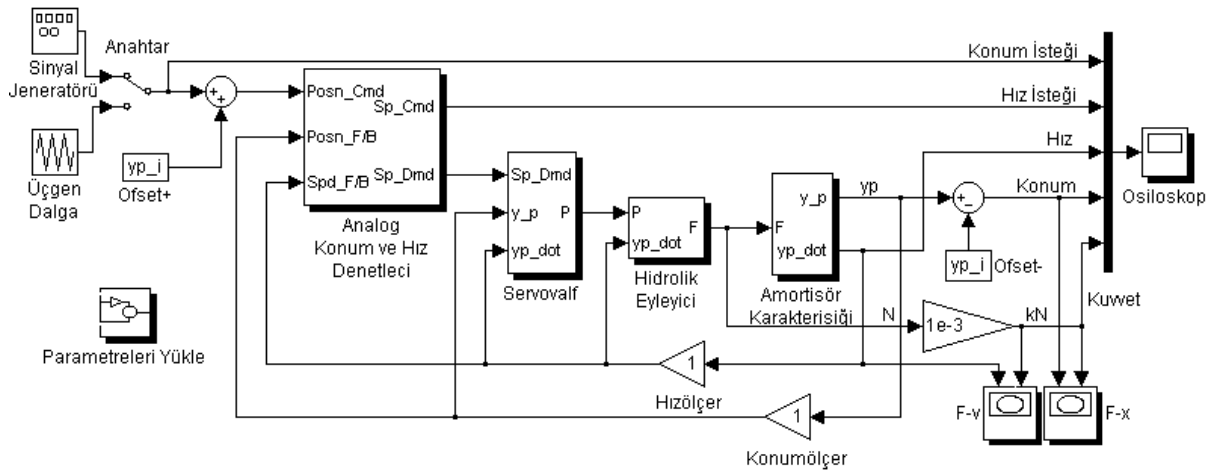
- A Silindir üzerindeki akış kesit alanı
- V_A Silindirin A bölümünün hacmi
- p_A Silindirin A bölümündeki basınç
- p_e Çıkış basıncı
- \dot{y} Pistonun hızı
- C_d Boşaltma katsayısı
- β Hidrolik akışkanın Bulk modülü
- ω Orifisin makara çevresi boyunca genişliği (peripheral width)
- ρ Hidrolik akışkanın yoğunluğu

olarak tanımlanmıştır.

Pistonun diğer yöndeki hareketi için de Q_B debisini içeren benzer denklemler yazmak mümkündür. Yük basıncı p_L ise aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$p_L = p_A - p_B \quad (3)$$

Diğer taraftan denetim sistemi olarak amortisörün konum ve hızının geribeslendiği ve PI denetleyiciden oluşan basit bir denetim sistemi kullanılmıştır. Denetim sistemine durağan ve dinamik performansı iyileştirmek amacıyla dinamik yük basıncı geri beslemesi de eklemek mümkündür. Ancak mevcut performans göz önüne alındığında buna gereksinim duyulmamıştır. Bu aşamada amortisör dinamiği olarak Şekil 2 de verilen karakteristik kullanılmıştır. Sistemin Matlab®/Simulink diyagramları Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Sistemin Matlab®/Simulink diyagramı

SİMÜLASYON

Sisteme verilen sinus ve üçgen sinyalleri ile ölçüm noktasındaki yerdeğiştirme ve hız eğrileri Şekil 6'da sunulmuştur. Her iki durumda da sistemin istenen sinyalleri takip edebildiği görülmektedir.

Kuvvet-Yerdeğiştirme eğrileri, sinüs ve üçgen girdi sinyallerinin üç değişik frekansı için elde edilmiş ve Şekil 7'de sunulmuştur. Sinüs dalgası kullanıldığında, hızın sürekli değişmesi nedeniyle yuvarlanmış Kuvvet-Yerdeğiştirme eğri takımlarının elde edildiği gözlenmektedir. Üçgen dalganın kullanıldığı durumda ise belirli aralıklarda sabit hız elde edilebilmekte, ancak hızın ani yön değişimi nedeniyle dinamik etkenler daha belirgin hale gelmektedir. Ölçülen Kuvvet-Hız eğrisi ise kullanılan frekanslardan biri için Şekil 8'de verilmiştir. Atalet etkileri nedeniyle Kuvvet-Hız değişimlerinde de kapalı eğriler oluşmaktadır. Üçgen dalga kullanıldığında, kapalı eğrilerin çevirdiği alanın artması dinamik etkenlerin daha belirgin olduğunu göstermektedir. Amortisörün gerçek karakteristiğinin elde edilebilmesi için, ivmenin ölçülmesi veya hesaplanması ve kütle değerleri kullanılarak, atalet etkilerinin de yok edilmesi mümkündür.

YAZILIM VE DONANIM GEREKSİNİMLERİ

Sistemde donanım olarak Matlab®-RTWT uyumlu bir veri toplama ve kontrol kartı kullanılması öngörülmüştür. Geribesleme hatlarını oluşturabilmek ve karakteristik eğrileri çizebilmek için üç adet algılayıcı gerekmektedir. Bunlardan

- konum ve
- hız

algılayıcıları denetleyiciye geribesleme hatlarında ve

- kuvvet

ölçer ise temel amortisör karakteristiklerinin çizilmesinde kullanılacak kuvvet ölçümlerini verecektir.

Sistemin denetimi için Şekil 5'te gösterilen denetleyiciye konum ve hız algılayıcılardan gelen sinyallerin geribeslenmesi ve servovalfe gidecek sinyalin üretilmesi için veri toplama ve kontrol kartı ile Simulink arayüzlerinin eklenmesi gerekmektedir. Bir sonraki aşamada kullanıcı arayüzü de hazırlanarak, yazılım derlenir ve herhangi bir kişisel bir bilgisayar üzerinde Matlab®'den bağımsız olarak kullanıma sunulabilir.

Diğer taraftan amortisör karakteristiklerinin kağıt üzerine alınabilmesi için sisteme bir de yazıcı bağlanması gerekecektir.

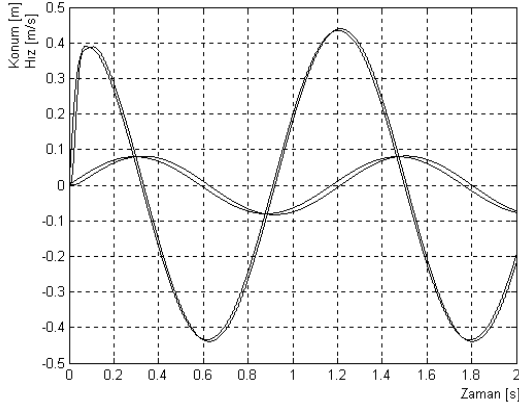
SONUÇ

Servohidrolik bir amortisör dinamometresinin dinamik modeli hazırlanmış, sinüs eğrisi ve üçgen dalga kullanılarak yapılan simülasyonlarla amortisör karakteristiklerinin elde edilebileceği gösterilmiştir. Gerçekleştirilecek bir deney aygıtının temel donanım ve yazılım gereksinimleri belirlenmiştir.

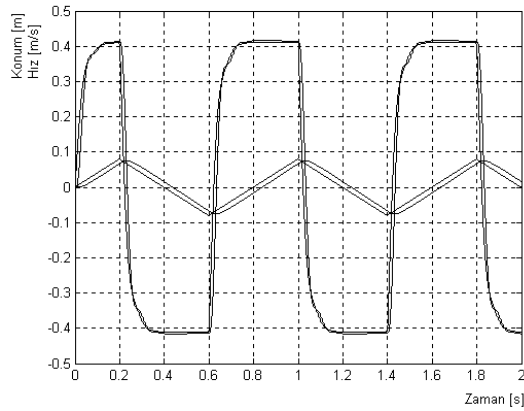
Bu tip deney cihazları, ülkemizde genellikle yurtdışından satın alınmakta veya yurtdışında sipariş üzerine yaptırılmaktadır. Yapılan ön fizibilite çalışmaları, böyle bir cihazın hazır olarak alınabilmesi için ödenecek fiyatın çok altında gerçekleştirilebileceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Milliken, W. F. ve Milliken, D. L., "Race Car Vehicle Dynamics", SAE International, 1995.
 [2] Dynamic Suspensions, U.K., <http://www.dynamicsuspensions.com/comcont.htm>
 [3] Roehrig Engineering, Inc., U.S.A., <http://www.roehrigengineering.com>
 [4] Gürcan, M. B., Başçuhadar, İ. ve Balkan, T., "Servo Denetimli Hidrolik Sistemlerin Benzetimi", II. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi, 8-11 Kasım 2001, İzmir.

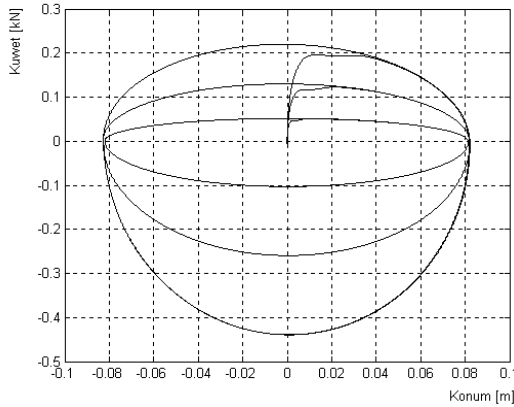


(a)

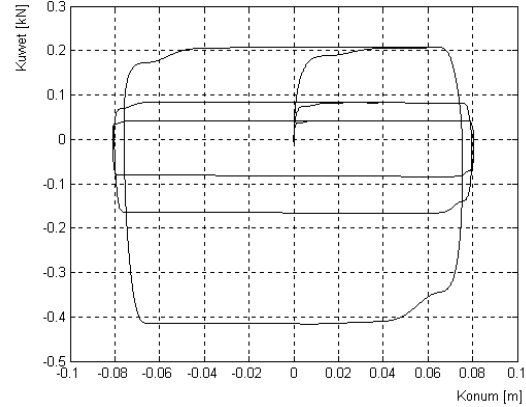


(b)

Şekil 6. İstenen ve elde edilen konum ve hız eğrileri, a) Sinüs sinyali, b) Üçgen dalga sinyali

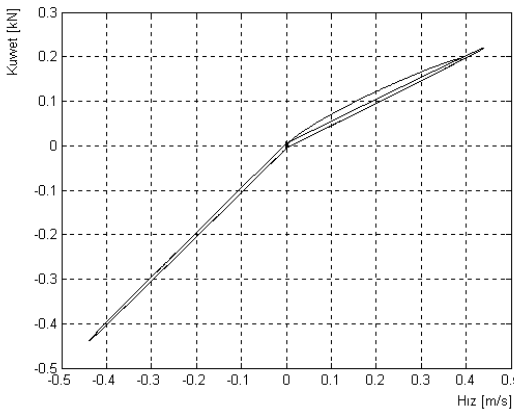


(a)

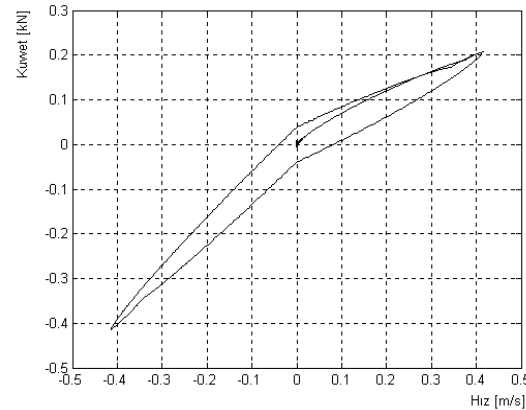


(b)

Şekil 7. Kuvvet-Hız eğrileri, a) Sinüs sinyali, b) Üçgen dalga sinyali



(a)



(b)

Şekil 8. Kuvvet-Yerdeğiştirme eğrileri, a) Sinüs sinyali, b) Üçgen dalga sinyali

ÖZGEÇMİŞLER

Tuna BALKAN

1957 yılında Manisa'da doğdu. Halen çalışmakta olduğu Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 1979 yılında "Lisans", 1983 yılında "Yüksek Lisans", 1988 yılında da "Doktora" derecelerini aldı. 1985 yılında "Öğretim Görevlisi", 1988 yılında "Yardımcı Doçent", 1990 yılında "Doçent" ve 2000 yılında da "Profesör" oldu. 1998 yılından beri ODTÜ Bilgisayar Destekli Tasarım, İmalat ve Robotik Araştırma ve Uygulama (BİLTİR) Merkezi Başkan Yardımcılığı ve Aselsan A.Ş.'de danışman olarak görev yapmaktadır. Çalışmaları sistem dinamiği, otomatik kontrol, sistem modellenmesi, simülasyonu ve tanılması, akışkan gücü kontrolü, robotik ve uygulamaları alanlarında yoğunlaşmıştır.

Yavuz Samim ÜNLÜSOY

1949 yılında Bursa'da doğdu. 1971 ve 1973 yıllarında ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümünden Lisans ve Yüksek Lisans ve 1979 yılında Birmingham Üniversitesinden doktora (Ph.D.) derecesini aldı. ODTÜ'de 1980 yılında Yardımcı Doçent, 1984 yılında Doçent ve 1990 yılında profesör oldu. 1988-90 yıllarında Suudi Arabistan King Saud Üniversitesinde ders verdi ve araştırma yaptı. 1992-1995 yılları arasında ODTÜ Bilgisayar Destekli Tasarım, İmalat ve Robotik Araştırma ve Uygulama (BİLTİR) Merkezi Başkanlığı yaptı. ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümünde "Otomotiv Mühendisliği", "Araç Dinamiği", "Hidrolik ve Pnömatik Güç Sistemleri" ve "Otomatik Kontrol" konularında dersler vermekte, araştırma yapmakta ve uygulamalı araştırma projelerine katkıda bulunmaktadır.