

# DENETİM: KURAM VE UYGULAMA

Lütfi. VAROĞLU O

*Bu çalışmada, günümüz toplumlarında, hayatın her aşamasında etkisi görülen **Denetim (control)** biliminin kuram ve uygulamaları incelenmektedir. Batıdaki teknolojik ve endüstriyel gelişmelere kaynak oluşturan denetimin içerdiği anahtar kavramlar, tarihsel gelişimindeki dönüm noktaları, günümüzdeki uygulamaları ve gelecekteki olası yönelimleri üzerinde durulmuştur.*



1960'lerden sonra uzay araştırmalarında önemli gelişmeler gözlenmiştir. Apollo uzay aracının Dünya'dan Ay'a en uygun yörünge üzerinden yollanması ve yumuşak inişi ağırlıklı denetim mühendisliğince sağlanmıştır. Günümüzde Uzay Meckiği'nin uçuşunun her aşaması özişler denetimlidir (automatic control)

Havacılıkta, uçak özüçurucusu (autopilot), yüksek performanslı jet motorlarının denetimi ve yakıtı en iyi şekilde tüketmek için en iyi yörüngeyi saptanması en genel denetim uygulamalarıdır. Son zamanlarda geri - beslemeli denetim yük-

sek performans sağlayan, aerodinamik olarak kararsız olan uzay araçlarını mümkün kılmıştır.

Denetim dizgeleri otomotiv endüstrisinde çarpıcı olanaklar sağlamaktadır. Motorlar için geri - beslemeli denetimle, kaymayı engelleyen fren denetim dizgelerinin sağladığı yolcu güvenliği yüksek bir düzeye ulaştırılmıştır. Tüketici ürünlerinde denetim dizgeleri, performans ve ekonomik başarıda sık sık önemli etmenler olarak gözlenmektedir.

Yapılarda ısıyı düzenleyen basit termostatlardan kompakt disk dizgelerindeki optik denetime, garaj kapısı açıcılarından bilgisayar hard disk sürücülerinin kafa servolarına ve yapay kalplerden uzaktan denetleyicilere (remote manipulators) dek birçok denetim uygulaması sanayileşmiş toplumlarda yaşamın her aşamasında yer almaktadır.

Dizgelerin yüzlerce denetim döngüsü içerebildiği süreç denetiminde (process control), uyarımlı denetleyiciler 1983'ten bu yana ticari olarak erişilebilir duruma gelmişlerdir. Çok değişkenli denetim algoritmaları bugün birkaç büyük şirket tarafından gerçekleştirilmektedir. Dahası düzenlenmiş denetim algoritmaları özellikle tehlikeli maddelerin işlenmesinde kullanılan gereçleri gözle görülür ölçüde azaltmıştır. Nükleer reaktörler denetiminde, düzenlenmiş denetim algoritmaları belirgin bir güvenlik ve ekonomik başarı sağlamışlardır. Güç dizgelerinde, çok sayıda değişkenin eşgüdümlemiş bilgisayarlı denetimi mümkün

**D** TARİHSEL BAKIŞ  
enetim bir bilim olarak düşünsel derinliği ve uygulamadaki başarısı ile zengin bir kalıtı (miras) sahiptir. Denetim dizgeleri, Eski Alexandria'da Ctesibius'un geri - beslemeli denetimi suyun akışını düzenlemek için kullandığı su saatinden, günümüzün uzay araştırmaları ve özişler (automated) üretim tesislerine kadar bilimsel ve teknolojik gelişmenin her aşamasında anahtar görevini üstlenmişlerdir. James Watt'ın uçantop düz^ngeci (flyball governor) (1769), Endüstri Devrimi'ni başlatan bir teknoloji olan Buhar Makinası'nın çalışmasına temel oluşturmuştur. Gerçek anlamda geri-besleme çalışmaları James Clark Maxwell'in "düzengeçli buhar makinasının dizge kararlılığı çözümülemesi" ile başlamıştır (1868). Geri - besleme ve kullanımları üzerine büyük adımlar 1920'lerde Bell Telefon Laboratuvarlarında Black, Nyquist ve Bode'nin tasarımları ile atılmıştır. Yine 1920'lerde Minorsky'nin gemi dümeni çalışması kuramda ve uygulamada özel bir öneme sahiptir. (1)

2. Dünya Savaşı sırasında dönemin sorunlarına koşut olarak büyük gelişmeler kaydedilmiştir. Savaş ve sonrasında 20 yıl süresince gerçekleştirilen araştırmalar birçok alanda uygulamaya geçirilmiştir.

(') Orta Doğu Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü Y. Lisans Öğrencisi

kılmak üzeredir. Sadece A.B.D.'de 30000'in üzerinde bilgisayarlı denetim dizgesi gerçekleştirilmiş durumdadır.

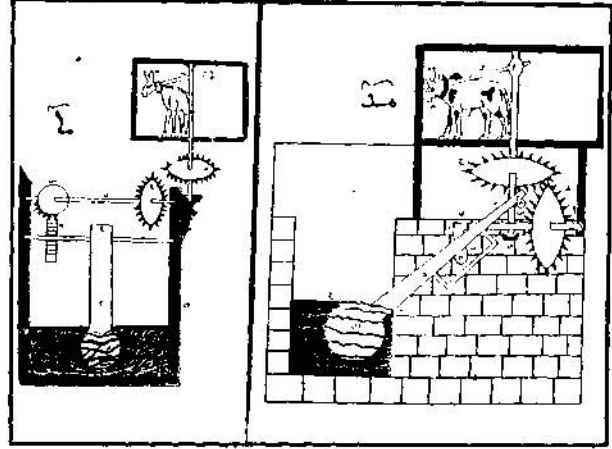
Tartışmaya her zaman açık olmakla birlikte denetim mühendisliğinin askeri uygulamaları, 2. Dünya Savaşı'nda uçaksavarların atış uzaklıklarının saptanmasından günümüzün özsürücülü, füzeleri havada yakalayarak vuran füzeler ve bunlarda kullanılan tanıma ve kestirim yöntemlerine dek uzun bir yol katetmiştir.

## DENETİM VE DİZGELER KURAMININ ANAHTAR KAVRAMLARI

Yukarıda açıklanan araçlar, gereçler ve süreçler gözle görülebilen fiziksel nesnelere karşın tüm bunları gerçekleyen denetim kavramı görünmezdir. Çok gelişmiş bir otomobil fren dizgesi incelenebilir, fakat frenleri verimli kılan denetim algoritmaları görülemez. Bu durum diğer tüm anahtar kavramlar için de aynıdır. Teknolojinin bütün dallarında çok önemli gelişmelere yol açan, yaşamın akışını etkileyen bu kavramların tanımlanıp açıklanmasının, oynadıkları rollerin saptanmasında ayrı bir önemi vardır.

Son yirmibeş yıl boyunca denetimdeki başarıya etkisi en fazla gözlenen anahtar kavramlar Pontryagin'in Temel Maksimum'u, Bellman'ın Dinamik Programlaması ve Wiener-Kalman süzgeci olarak sıralanabilirler. Tüm bunlar geri - besleme, duyarlılık ve dinamik kararlılık kavramları ile bütünleştirilerek çok yönlü fakat uyumlu yapısı ile kuram (theory) ortaya çıkarılmıştır.

Kuramın entellektüel içeriği ve temel bilgileri yalnızca teknolojik gelişmelere değil diğer bilim alanlarına da katkıda bulunmuştur. Örneğin geri - besleme kavramı bugün biyoloji, psikoloji ve ekonomide bazı uygulamalarda önemli bir rol oynamaktadır. Nedenisel görüngüsü (causal phenomena) artık sadece durağan neden - etki zincirleri ile değil aynı zamanda dinamik neden - etki - neden "geri besleme döngüleri" ile de açıklanmaktadır. Mühendislik dizgelerinde ve karar vermede geri - beslemeli denetim paradigması, verilmiş bir amaç görev için girdiyi

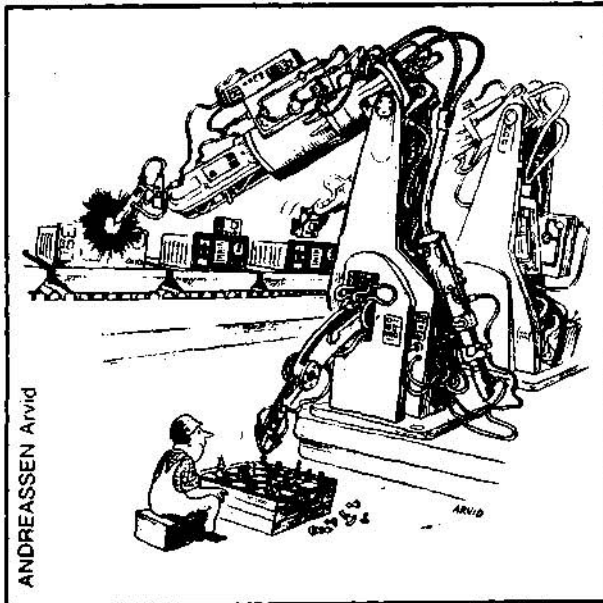


(neden) belirlemek ya da tasarlamak üzere çıktı (etki) hakkındaki bilgiyi kullanma sorunuyla ilgilenmektedir. Bu amaç görevler bir robot düzenleyicinin denetiminden bir nesneyi kavramaya, kimyasal süreçlerde ısı, basınç ve toplanma dağılımı (concentration) düzenlemesinden, üretim dizgelerinde ya da haberleşme şebekelerinde bilgi paketlerinin dinamik olarak yollanmasına, büyük bir uzay yapısının ya da bir güç dizgesinin kararlaştırılmasına (stabilization) kadar geniş bir alan içerisinde değişmektedir. Kompakt disk sürücüsü gibi düşük dereceli bir dizgenin karmaşıklığı bile çok keskin doğruluk ve hız şartlarına bağlı olmaktadır. Büyük dereceli dizgelerde performans gereksinimlerinin tamamen aynıni sağlamak, dizge modelinin ve çevre şartlarının belirsizliği yüzünden çok daha zor olmaktadır.

1960 ve 1970'lerin bir önemli hamleler kümesi de doğrusal durum-uzayı modellerinin denetlenebilirlik (controllability), gözlenebilirlik (observability) ve geri - beslemeli kararlılaştırma kuramı ile girdi-çıkı modellerinin durum - uzayı gerçeklemelerinin birleştirilmiş kuramını içermektedir. Bu yapısalcı kuram, girdileri (actuator: eyleyici) ve çıktıları (sensor : duyarğa) ile bir doğrusal modelin eğer kararsızsa kararlaştırılması, izleme ya da düzenleme görevini yapması hakkındaki sorulara yanıt getirmektedir. Yine bu kuram denetim dizgelerinin bilgisayar destekli tasarımı için birçok yazılım paketinde gerçekleştirilmiştir. Kuramın uygulamaları, matematiksel modeli tamamen bilinen ve bu modelin doğrusal türev (veya fark) denklemleri ile gösterilebildiği alanlarda sınırlandırılmışlardır. (2)

## DENETİM VE DİZGELER KURAMININ GÜNÜMÜZDEKİ DURUMU VE GELECEKTEKİ YÖNELİMLERİ :

Gerçekçi dizge modellerinin pek azı tamamen bilinir ve bilinenlerin çok azı doğrusaldır. Denetim kuramcıları günümüzde dikkatlerini modellenmesi tamamlanmamış, başlangıçta yetersiz betimlenmiş ama çalışma sırasında geliştirilebilen veya ayrık (discrete) olaylarla sürülen dinamik dizgeler üzerinde yoğunlaştırmışlardır. Başka bir deyişle, denetim dizge tasarımcıları modelleme sürecini tasarım sürecinin içine katmakta ve böylece modelleri kesin ve sabit olmaktan çıkartıp zaman içerisinde gelişen



kavramlar olarak kabul etmektedirler. Aynı zamanda yalnızca çözümsel ve sayısal değil nitel ve simgesel bilgilerde içeren yeni model sınıflarının geliştirilmesine de başlamışlardır. Bu tip modellere örnek olarak etkileşimli ayrık olay şebekeleri (interacting discrete event networks) (üretim ya da bilgisayar işletim dizgeleri gibi) verilebilir. Bunlar nedensel ve dinamik olduğu kadar eşzamansız (asynchronous), çözümsüz ve hatta simgeseldirler. Yeni modellere koşturarak gelişen kuramsal denetim yöntemleri, geleneksel modellerin (doğrusal olmayan, stokastik, dağınık parametrelili) daha uygun açılımlarına gerek duymaktadır.



*“ Denetim mühendisleri bir yandan kendi geleneksel uygulamalarında çalışmaya devam ederken öte yandan, ortak bir iskelet üzerinde, bilgisayarlardan yaşam bilimine dek değişen başlıkları kavrama gereksinimini duymaktadırlar. ”*

sayısal bilgilerle açıklanan bir alt dizgeler karması içeren geleceğin dizgeleri mümkün kılınacaktır.

Geleneksel olmayan modellerle betimlenen dizgelerin denetim kuramı daha genişletilmiş kurallar, yasalar, algoritmalar, stratejiler ve protokoller içermek zorundadır. Daha hızlı ve ucuz bilgisayarların yardımı ile daha iyi denetim ye uyumu birleştiren yeni yasalar oluşturulabilmektedir. Öte yandan denetim yasalarının çevrim-dışı tasarımlarında kullanılan bilgisayar destekli prosedürler sağlam ve hata-kaldıran (fault-tolerant) denetim yapıları için daha geniş birikim-kılavuzlu (experienceguided) araştırmalar içerebilmektedir.

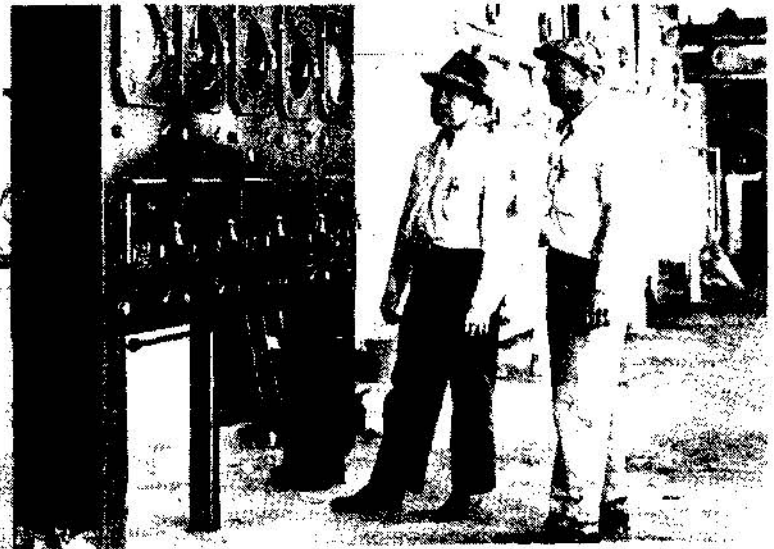
Denetim kuramındaki son gelişmeler ve yönelimler göstermektedir ki kuram üzerine düşen görevleri, gerçekçi bir amaç için, büyük bir hevesle yerine getirmektedir. Ayrık olay dizgeleri gibi yeterince açık olmayan bir alanda bile yalnızca anlamaya yönelik ilk adımlar, bir kuramsal denetim yaklaşımının ne derece yüreklendirici olabileceğini göstermiştir. Algoritma tasarımları için yeni geliştirilen yöntemler haberleşme ve üretim şebekelerinde en iyiye yaklaşıldığının göstergeleridir. Doğrusal geometrik kavramların simgesel işlemler yardımıyla doğrusal olmayan dizgelere açılımı bu yöntemlerin uygulama alanını genişletmiştir, içten bir çekiciliği olan uyumsal denetim (adaptive control) düşüncesi belirsizliğin, uyumsal kestirim (adaptive estimation) ve denetim algoritmalarının yakınsamalarına bağlanarak modellendiği aşamalara ulaşmıştır.

Denetimin etki alanının genişlemesi çok ileri aşamada tartışmalara neden olmaktadır. Bu tartışmalar yukarıda sayılan alanlarda günümüzde veya gelecekte olası uygulamalar, altı çizilen kavramlardaki gelişmeler, bilgisayar ve elektronik teknolojilerinin ortak ilerlemeleri gibi değişik başlıklarla özetlenebilirler. Denetim bilimcileri ve mühendisleri artan karmaşıklıklara karşı hazır olmak zorundadırlar ve bu konu izlenecek araştırma gündeminde çok açık şekilde yer almalıdır. Gelecekteki araştırmalar, denetim mühendislerine önceden bilinmeyen, karmaşıklıktaki dizgeleri planlama, işletme ve denetlemesine izin verecek yeni yöntemler, kuramlar ve algoritmalar sağlamaya yönelik olmalıdır. Böylece daha zorlu performans gereklerini sağlayan, belli dinamik davranışlar gösteren, simgesel ve

### SONSÖZ YERİNE : UZUN DÖNEMLİ BİR BAKIŞ

Denetim teknolojisi, elektronikteki ilerlemelerle sağlanan olanakları da kullanarak gelişmektedir. Peki bu alan hangi bilimsel temeller üzerine kurulacaktır ? Bu soru araştırmacılar, eğiticiler, ders kitabı yazarları hatta mühendislik dizgeleri tasarlayıcılarını doğrudan ilgilendirmektedir. Çünkü düşüncelerin ve fikirlerin hızlı iletişimi için uygun ve genel anlamda anlaşılır bir dil temeldir. Genel anlamda mühendisliği, özel anlamda denetim kuramını temsil eden fizik ve matematiğe ek olarak, çıkış noktası diğer bilimsel geleneklerde olan düşünceler ve fikirler, denetimi disiplinlerarası bir yapıya dönüştürmektedirler. Denetim mühendisleri bir yandan kendi geleneksel uygulamalarında (otomotiv, uzay ve süreç denetimi endüstrileri gibi) çalışmaya devam ederlerken öte yandan, ortak bir iskelet üzerinde, bilgisayardan yaşam bilimine dek değişen başlıkları kavrama gereksinimini duymaktadırlar. Bu kısa sonsözde denetim mühendisliğinin bu değişimlere bir tepki olarak nasıl bir yöne kayma eğiliminde olduğu irdelenecektir.

Sibernetik -Yunanca'daki "dümenci" kelimesinden türetilmiş- 1940'larda ilk kez Norbert Wiener tarafından kullanılmış bir sözcüktür. Wiener daha sonraları bulduğu ve geliştirdiği söylemlerle bir rüyanın gerçeğe dönüşümünü sağladı. Bu, matematik ve mühendislikten fizyoloji ve



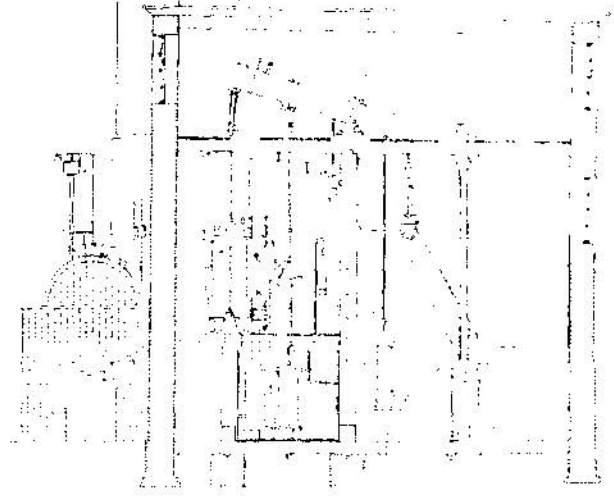
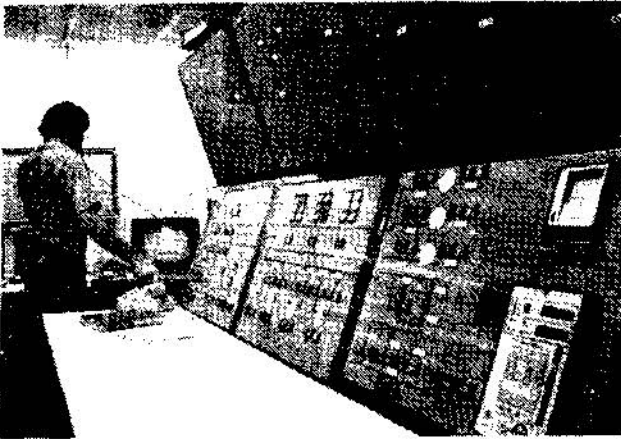
psikolojiye geniş çerçevesi ve entellektüel boyutu ile makina-insan ortak çalışması (synergism) beklentisinin doğuşuydu: insanlığa hizmet eden ve aynı zamanda insan gibi davranabilen makinalar.(3)

1960larda uzay mühendislerinin hedef sorunlarında kullanılan verimli ve çözümcü yöntemler sibernetiği çok yeni ve saf bir alan olarak ortaya çıkardı. Fakat günümüzde durum oldukça değişiktir. Bilgisayar teknolojisinde gelişmeler robot ve bilgisayar görüşü (computer vision) gibi alanlarda çalışmalara olanak sağlamıştır. Bu gelişmeler araştırmacılara çözümsüz kalmış sorunları yeniden gözden geçirme imkanı vermiştir. Bunların sonucunda yeni ve verimli düzenlemeler için paradigma arayışı gündeme gelmiştir:

Biyoloji bilminde bulunan yeni yapılara koşturularak daha iyi makinalar tasarlanabilir mi? Kendi yaratıcılık performansımız üzerinde karar verebilmek için hayvan davranışlarını örnek almak gerçekçi bir yaklaşım mıdır? Bir bakış açısı olarak Sibernetik yeni düşünceler için önemli bir kaynak haline gelecek midir? (2)

Önemli mühendislik sorunlarını çözmek için bir çatı altında birbirleriyle etkileşimleri basitçe açıklanmış alt dizgelerin tanımlanması gerekmektedir. Mühendisler, özışler denetim dizgeleri tasarımında duyarğaları ve eyleyicileri açıklamak için aktarım işlevini (transfer function), etkileşimleri açıklamak içinse geri - besleme kuramını kullanmaktadırlar. Buradan çıkışla denetim mühendisliği yaklaşımları, bitkisel yağların hidrojenlenmesinden böbrek ağrılarında kadar geniş bir aralıktaki sorunların çözümlenmesinde oldukça kullanışlıdır. Fakat bu noktada da dizgelerin daha büyük parçalarla açıklanması gibi bir sorunla karşı karşıya kalmaktadır. Bir grup mühendis simgesel bir giridiyle başlayıp ürünün hangi şekilde çıkacağını gösteren bir dizge tasarlayabilir. Zor olmasına karşın bu tip sorunlar bu yaklaşımla çözümlenebilir. Sorunlara büyük parçalar cinsinden yaklaşılabilir potansiyeline sahip bir çatı oluşturulması için birçok entellektüel ve uygulamalı neden vardır.

Makinalar, bir bütün içerisinde daha simgesel duruma getirilmektedirler. Bu bakımdan mühendislik bir şekilde insanı taklit etmektedir. Makinalar için "zeki" (intelligent) sözcüğünün bir sıfat olarak kullanılıyor olması bir "kavramsal çelişki" olarak görünüyorsa da gerçeğe yakın bir durumu anlatmaktadır.



Daha iyi geri - besleme döngüleri içeren tasarımlar günümüzde çok kolaylıkla gerçekleştirilmektedirler. Ancak birçok denetim dizgesinin performans artırımı dizge tümleşiminin (system integration) daha yüksek derecelerde başarılmasına bağlıdır.

Tüm bunlar denetimin geleceği hakkında ne tür göstergeler göstermektedir? Hangi disiplinler denetim mühendislerinin karşılaştığı sorunlara araç ve düşünce yapıları bakımından aydınlatıcı rol oynayacaktır? İnsan aklının, vücudun birkaç yüz derecedeki serbestliğini nasıl eşgüdümlediğini ortaya çıkarmak için yıllardır uğraş veren psikologların çalışmalarından birşeyler öğrenmek akılcılık değil midir? Zorlukları denetlemek için nesneye yönelik - programlama (object - oriented - programming) gibi yöntemler kullanılan yazılım mühendislerinden neler öğrenilebilir? Dinamik dizge performansı ve bilgisayar mimarisi sorunlarını çözmek üzere bir gerçek - zamanlı denetim kuramı geliştirmek uygun mudur? Klasik ikiye bölünmüş açık döngü- kapalı döngü denetim stratejilerini, daha yüksek seviyede açık döngü ve kapalı döngünün birleştirilerek çalıştırıldığı yeni dizgelerle değiştirmenin zamanı gelmiş midir?

Tüm bu sorular denetim kavramının mühendislik ve bilimde ne denli önemli gelişmelere neden olduğunu göstermektedir. Doğaldır ki bu gelişmelerin sürekliliği uzun dönemde, entellektüel yönden çok geniş bir dizge üzerinde yetmişmiş yeni bir denetim, mühendisleri nesline sağlanacaktır.

KAYNAKÇA

- (1) Singer. Holmyard, Hail, Williams, A. History of Technology, Oxford Press. 1957.
- (2) Challenges to Control : A Collective View. IEEE Trans. on Automatic Control. Vol. AC.32, No. 4. April 1987.
- (3) Wiener N. Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine. Wiley. New York, 1948