

## **İNSAN-MAKİNA SİSTEMLERİ VE MANUEL KONTROL MODELİ**

**Yrd. Doç. Dr. Uğur Şimşir, Müh. Kd. Bnb.**  
Deniz Harp Okulu, Makine Mühendisliği Bölüm Başkanlığı  
Tuzla, İstanbul, Türkiye  
usimsir@dho.edu.tr

### **Özetçe**

*Klasik ve akıllı kontrol metotlarındaki bütün gelişmelere rağmen, birçok uygulamanın karmaşık ve belirsiz olması nedeni ile hala insan operatörlerin yerine otomatik kontrol sistemli makineler kullanılmamaktadır. Genellikle insan operatör görsel geri besleme bilgisinden faydalanarak makine ile etkileşim halindedir. Bu görsel bilgiye dayanarak operatör yapacağı eylemin tipine ve miktarına karar verir ve böylece kapalı çevrimi oluşturur. İnsan-Makine Sistemlerinde insan operatör, adaptif, optimal, karar veren kontrolör olarak görev yapmaktadır. Manuel kontrol teorisine teknolojik tarafının yanı sıra, kontrol mühendisliği, fizyoloji, deneysel psikoloji konularını içeren disiplinler arası aktiviteleri insan operatörün davranışlarının kontrol teorisinin tanımlanmasında ve insan psiko-fizyolojik yorumlarının kontrol mühendisliğinde sistem çıkışlarının tespitinde rehber olmuştur .*

## **MAN-MACHINE SYSTEMS AND MODELLING OF MANUAL CONTROL**

### **Abstract**

*Despite the developments of classical and intelligent control methods, since many applications are complex and uncertain, automatic controlled machines still can't be used instead of human operators. Generally, a human operator interacts with a machine using visual sensing. Human operator decides on the type and amount of action to be taken based on the visual information, hence closing the loop between the controlled and the control variables of the system. The Human operator in a man-*

## *İnsan-Makina Sistemleri ve Manuel Kontrol Modeli*

*machine system is the archetype, hierarchical, adaptive, optimizing, decision-making controller . Besides the technological aspects of manual control, interdisciplinary activities between control engineers, physiologists and experimental psychologists have led to control theory descriptions of human subsystem behaviour and to the interpretation of the human's psycho-physiological outputs in control engineering .*

**Anahtar Kelimeler :** *İnsan – Makina Sistemleri, Manuel Kontrol*  
**Keywords :** *Man – Machine Systems, Manual Control*

### **1. İNSAN-MAKİNA SİSTEMLERİ**

İnsan-Makine Sistemlerinde insan operatör, adaptif, optimal, karar veren kontrolör olarak görev yapmaktadır. Manuel kontrol teorisi, teknolojik tarafının yanı sıra, kontrol mühendisliği, psikoloji, deneysel psikoloji konularını içeren disiplinler arası aktiviteleri insan operatörün davranışlarının kontrol teorisinin tanımlanmasında ve insan psiko-fizyolojik yorumlarının kontrol mühendisliğinde sistem çıkışlarının tespitinde rehber olmuştur [1].

En basit operasyonda bile operatörün karakteristik özelliklerinin yanı sıra, kontrolör olarak görev yapan insan operatörün biodinamiğinin etkilendiği çevresel değişkenler ve kullanılan ilaç, alkol veya yorgunluk gibi faktörler nedeniyle operatörün zayıflama derecesinin tespiti ve modele dahil edilmesi gerekmektedir. Bu faktörlerin bir çoğu matematiksel olarak modellenememektedir. İnsan operatör davranışının tüm bu faktörler ile nasıl etkilendiğinin anlaşılması için aşağıda verilen ana başlıklar altında incelenmesi ihtiyacı duyulmuştur [1].

- a) Duyu organlarının anatomisi ve fizyolojisi ile iskelet-kas sistemi
- b) Vücut hareketlerinin kinematik ve dinamiği
- c) Fiziksel çalışma performansı
- d) Çevresel stresler
- e) Duyusal ve algısal davranışlar
- f) Öğrenme ve eğitim
- g) Motivasyon

## **2. MANUEL KONTROL**

Bir insan operatörün, duyuları ( görme, dokunma v.s.) vasıtasıyla verilen bir sistemin bazı değişkenlerinin ideal durumları ve aynı zamanda ayrı veya beraber olarak bu değişkenlerin çıkış durumları hakkında bilgi alması manuel kontrol olarak adlandırılmaktadır. Operatörün görevi pedal, direksiyon, dümen, vites, buton v.s. gibi mekanik aygıtları kullanarak hatayı yada daha karmaşık fonksiyonları minimize ederek amacına ulaşmaktır.

Manuel kontrol teorisi karmaşık sistemleri kontrol etmek amacıyla geliştirildiyse de sürpriz davranışlar gösteren sistemlerde uygulanması söz konusu değildir. Birkaç serbestlik dereceli araba ve üretim makinaları gibi sistemlerin çalışmaları iyi tanımlanabildiği ve genellikle performanslarının ölçülebilir olduğu kabul edildiği için manuel kontrol teorisinin uygulanması mümkündür [1,2,3].

## **3. MANUEL KONTROL MODELİ**

Manuel kontrol görevinde insan operatörün modellenmesinin iki sebebi vardır. Bunlardan biri pratik uygulama sağlamak, diğeri insan operatörün performansı hakkında genel sorulara bilimsel yaklaşım sağlamaktır.

Manuel Kontrol Modelinde İnsan tarafından kullanılan makine'ya ait bileşenler üzerinden alınan bilgilerden tek başına tahmin yürütülemez ve "İnsan –Makine" performansı beraber değerlendirilir. Yüksek süratli bir hava aracı için, aracı dizayn eden mühendis aracın dinamiğinden faydalanarak eşzamanlı olarak çözebildiği İnsan operatör cevabına ait denklemleri yazamadığı sürece aracın elle kumandası ve kararlılığı hakkında tatmin edici kriterler sağlanamaz. İnsan yada makinenin ayrı ayrı performanslarının kaliteleri İnsan-Makine etkileşiminden doğan sisteme ait performansın kalitesinin tespit edilmesini sağlamaz. İnsan-Makine sisteminin davranışının tespit edilebilmesi için İnsan ve Makine uygun

kantitatif terimlerle karakterize edilmelidir. Bu sebep araştırma için kullanışlı olabilir ancak performans özelliğini genelleştirmek için yeteli değildir.

Kontrol sisteminde İnsan operatörün modellenmesinin ikinci sebebi ise insan organizmasının cevap karakteristiği ve karar verme, kurala bağlı olmayan algılama yeteneği ile mükemmel mukayese yapmasını sağlama, iyi tanımlanması ve deneysel başarısı ile basit yaklaşım yapma yetkisinden dolayı insan operatörün kontrol görevidir. İnsan tarafından düşünmeden mekanik olarak yapılan görevlerin yerine geçecek ve otomatik olarak daha iyi yapabilecek bir sistem tasarlamak nihai amaç olmalıdır.

İlk olarak ortaya atılan model insan davranışını başarılı bir şekilde tahmin eden quasi – lineer modeldir. Kapalı çevrimli telafi edici izleme veya durum düzenleme görevlerinin analizinde çok kullanışlıdır ve insan davranışında hataların minimize edilmesinde çok başarılı olmuştur [1,3,4,5,6].

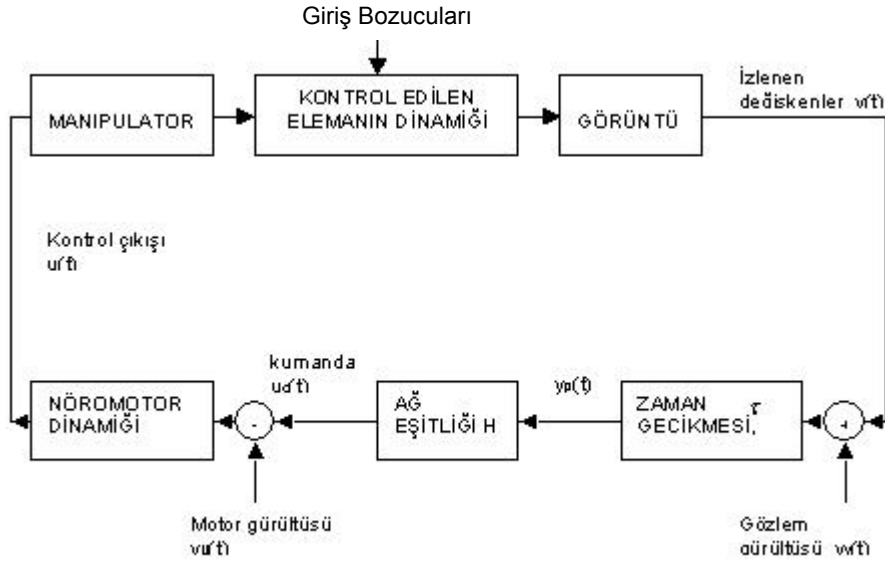
Lineer model, transfer fonksiyonu ile onun parametrelerinin seçimi için kural sabitlerini içerir. Transfer Fonksiyonun karmaşıklığı kontrolör karakteristiğine bağlıdır. Ancak bir çok durumda denklem 1’de gösterilen model formu kullanılabilir [7]

$$H(s) = K_p \frac{(\tau_L s + 1)}{(\tau_1 s + 1)} \left\{ \frac{e^{-\tau s}}{\tau_N s + 1} \right\} \quad (1)$$

Bu denklemde parantez içine alınmış ifade insan operatöre ait reaksiyon süresi gecikmesi (refleks) gibi insanın doğasında olan bazı sınırlamaları içerir. Diğer terimler ise insanın karakteristiğini ifade eder. Buradaki parametreler, insanın yaptığı göreve göre, örneğin insanın, geri beslemeli kapalı çevrim sistemde kontrolör olması durumunda ayarlanabilen ve seçilebilen parametrelerdir.

Herhangi bir makul matematik model insanın doğasından kaynaklanan çeşitli psiko-fiziksel sınırlamaları içermek zorundadır. Bu sınırlamalardan sinir sistemi ile ilgili olanlar zaman gecikmesi ve nöromotor faz gecikmesidir.

Şekil 1’de lineer bir modele ait insan operatör kontrolü blok diyagramı gösterilmiştir. İnsan operatörün kontrol karakteristiği 3 lineer operasyon ile temsil edilmiş olup bunlar zaman gecikmesi, ağ eşitliği, ve sinir-kas ve/veya harekete geçirici dinamiklerdir.



Şekil 1: İnsan operatör kontrolörün çok değişkenli tekil-kontrol izleme görevine ait manuel kontrol modeli [4]

Zaman gecikmesi görsel, nöromotor yada merkezi siniri sisteminden kaynaklanan gecikmelerdir. Algılama ile ilgili olan bu gecikmelerin toplamı  $\tau$  ile gösterilmiştir. Ağ eşitliği  $H_n(s)$  ise insan operatörün verilen

görevi yerine getirecek kontrol stratejisini optimize eden davranışını ifade etmektedir [4].

$$H_n(s) = \frac{1}{(\tau_N s + 1)} \quad (2)$$

$\tau_N$  : Nöro-Motor Faz gecikmesi

Şekil 1’de gösterilen modelde gözlem gürültüsü olarak isimlendirilen ve rastgele bozucu efekti göndererek, insan cevap karakteristiğini etkileyen bozucu  $v_y(t)$ , görsel etkenlere bağlı ve rastgele hataya sebep olan  $y(t)$  ‘ye eklenir ve insan bunların neden olduğu zaman gecikmesi ile sistemin çıkışı olarak  $y_p(t)$ ’yi algılayarak H ağ eşitliğinde değerlendirerek  $u_c(t)$  kontrol sinyalini uygular. Motor gürültüsünün neden olduğu bozucu  $v_u(t)$  nedeniyle insan operatörün kontrolü sonucu çıkış sinyali  $u(t)$  manipulatörü harekete geçirir [4].

$$y_p(t) = y(t - \tau) + v_y(t - \tau) \quad (3)$$

### **3.1 Optimal Kontrol Modeli**

İnsan operatörün temel görevi kendine verilen yöntemle dinamik bir sistemi kontrol etmektir. Sürücü ve algılayıcı dinamiklerini de içeren sistem dinamiği hareketin lineerleştirilmiş dinamiği ile aşağıdaki denklem ile gösterilir.

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + bu(t) + w(t) \quad (4)$$

Bu denklemde  $x$ , araç durumu (mevkisi),  $u$  insan operatör’ün kontrol giriş sinyali,  $w$  harici bozucuları ifade etmektedir. Literatürde  $w(t)$  ‘nin

genelde beyaz gürültü olduğu ve sıfır yada sıfıra yakın olduğu belirtilmektedir.

Aşağıda , sadece rastgele giriş bozucuları dikkate alınmış olarak yazılan denklem gösterilmiştir.

$$E\{w(t)w'(\sigma)\} = W\delta(t - \sigma) \quad (5)$$

Sistemin çıkış değeri  $y(t)$  sistem durumunun lineer kombinasyonlarıdır.

$$y(t) = Cx(t) \quad (6)$$

İnsan operatörün algılamasına ilişkin eşitlik ise (7)' e göre ;

$$y_p(t) = Cx(t - \tau) + v_y(t - \tau) \quad (7)$$

şeklinde gösterilebilir.

İnsan operatörün görevini yerine getirirken doğasından kaynaklanan sınırlamaları ve hataları minimize etmek ve kararlı rejimi sağlamak için teşebbüste bulunduğu farz edilir. Performans indeksi, klasik telafi edici optimal manuel kontrol modelinin matematiksel ifadesidir. Performans indeksi  $q_i \leq 0, r \geq 0, g > 0$  olmak üzere aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

$$J(u) = E\left\{\sum_{i=1}^n q_i x_i^2 + ru^2 + g \dot{u}^2\right\} \quad (8)$$

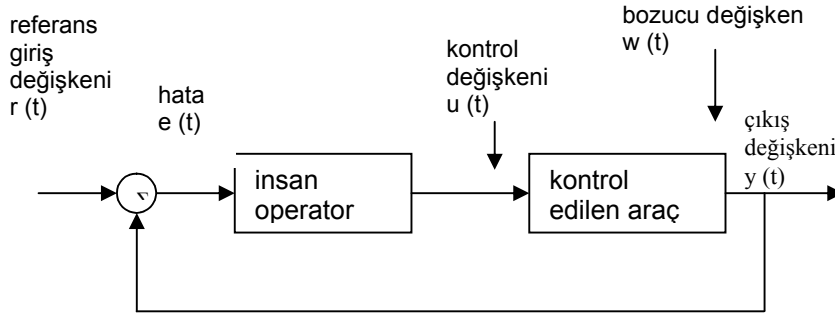
İnsan operatör kontrol karakteristiği, kontrol edilebilirlik ve gözlenebilirlik yaklaşımı ile ilgili olarak, zaman gecikmesi ve gözlem

gürültüsünü de içeren iyi tarif edilmiş optimal lineer regülatör probleminin çözümü ile tespit edilebilir [7].

#### 4. KONTROL SİSTEMİNDE İNSAN OPERATÖRÜN MODELLENMESİ

##### 4.1 Sürekli Kapalı Çevrim Servomekanizma Modeli

Manuel kontrol görevini analiz etmek ve modellemek amacıyla kullanılacak en basit örnek, tek boyutlu sürekli izleme problemidir. Burada operatör kontrol edilen aracın çıkışını  $y(t)$  görüntülenen ideal yada referans bir giriş  $r(t)$  göre takip eder. Bu görevi başarmak için en basit mekanizma şekil 1 deki gibi bir servomekanizma dır. Burada insan operatör hatayı ( $e(t) = r(t) - y(t)$ ) gözler ve kontrol edeceği araca el yada ayağı ile mekanik kontrol mekanizmaları vasıtasıyla kumanda ederek hatayı yok edecek yada azaltacak şekilde telafi etmeye (dengelemeye) çalışır. Bu nedenle Şekil 2 deki diyagram “telafi edici izleme” diyagramı olarak isimlendirilmektedir. Kontrol değişkeni  $u(t)$  olarak adlandırılmaktadır. İnsan operatör YH ve kontrol edilen araç Yc olarak isimlendirilmiştir [1].



Şekil 2. Temel Manuel Kontrol sistemi



Fourier dönüşümü uygulanmış zaman fonksiyonları  $YH(j\omega)$  ve  $YC(j\omega)$  olarak gösterilecektir. İnsan operatör tarafından kumanda edilen bazı sistem ve araçlara ait matematik modelleri Tablo 1' de görülmektedir[1].

Kontrol prosesinde tahmin edilemeyen bir bozucu sinyali  $\omega(t)$  Şekil 2 de gösterilmektedir. Böyle bir bozucu, çevrimin herhangi bir yerinde bulunabilir. Bu tür sürpriz bir sinyalin şiddeti ve yeri genel olarak bilinmemektedir. Değişkenler için formüllerde seçilen semboller ile hafızayla ilgili hususlar kabul edilmektedir. Bunlar modern kontrol mühendisliğinde kabul edilen standart kullanım ile gösterilmektedir.  $u(t)$  ve  $y(t)$  kontrolör çıkışı ve ölçülen kontrol edilmiş prosese ait çıkışı göstermektedir.

Servomekanizma teorisi lineer olmayan karmaşık sistemlerde sadece matematik analiz uygulayarak sonuca gitmek çoğu zaman yeterli olamamıştır. Çok sayıda, giriş / çıkış verilerinden faydalanarak bilinmeyen prosese ait dinamiğin modellenmesi teşebbüslerine rastlanmaktadır. Prosese ait modelin tahmini yaklaşımına dayanan bu teşebbüslerde genellikle istatistiksel yada yapay zeka tercih edilmiştir [8,9] .

İstatistiksel yaklaşım, girişlere bağlı çıkış fonksiyonunun nasıl olacağını tahminini gerektirir. Yapay Sinir Ağları ve Fuzzy Sistemler için ise herhangi bir matematik modele ihtiyaç yoktur. Bunlar modelsiz tahmin edicilerdir [10]. Yapay zeka uzman sistemleri, modele ihtiyaç duymayan tahmin ediciler olarak göz önüne alınabilir.

Kontrol edilen eleman	Araç kontrol durumu
$Y_c = K$ $y = K_u$	çim biçme makinesi
$Y_c = \frac{K_c}{J\omega}$	direksiyon vasıtasıyla küçük açılar ile otomobil konum kontrolü
$\frac{d}{dt}y = K_c u$	hava aracı irtifa dümeni ile alçalma ve yükselme

Kontrol edilen eleman	Araç kontrol durumu
$Y_c = \frac{K}{(J\omega)^2}$ $\frac{d^2}{dt^2} y = Ku$	direksiyon vasıtasıyla küçük açılar ile otomobil pozisyon kontrolü
$Y_c = \frac{K}{j\omega(J\omega + 1/T)}$ $\frac{d}{dt} \left[ \frac{d}{dt} + \frac{1}{T} \right] y = Ku$	kontrol jetleri ile uzay aracı meyil kontrolü
$Y_c = \frac{K}{J\omega - 1/T}$ $\left[ \frac{d}{dt} - \frac{1}{T} \right] y = Ku$	Uçak kanat açısı kontrolü
$Y_c = \frac{1}{j\omega(J\omega - 1/T)}$ $\frac{d}{dt} \left[ \frac{d}{dt} - \frac{1}{T} \right] y = u$	Yüksek dinamik basınçta kararlı olmayan roket iticisi kontrolü

Tablo 1. Bazı sistem ve araçlara ait matematik modeller

#### **4.2 Manuel Kontrol Sistemlerinde Değişkenlerin Sınıflandırılması**

İnsan performansı bir kontrolör olarak kişiden kişiye değişen ve kendi bulduğu, kişiye özel birçok değişkene bağlıdır [1].

**a.** Bunların bir kısmı görev değişkenleri (task variables) olarak adlandırılır. Referans giriş sinyali ve bozucu giriş sinyali; kontrol edilen dinamik proses ; kullanıcıya görüntülenen ne ve nasıl bilgileri ; ve kontrol prosesini gerçekleştirmek için kullanılan kontrol aygıtı veya manupulator .

b. İkinci sınıf değişkenler ise çevre değişkenleri (environmental variables) olarak adlandırılır. Bunlar ilave görevler olarak tanımlanan bazı faktörleri içerir. Titreşim, çevre aydınlatması, sıcaklık, oksijenin kısmi basıncı bunların bazılarıdır.

c. Üçüncü sınıf operator merkezli değişkenler (operator-centered variables) 'i içermektedir. Bunlara ise Operatörün aldığı eğitim, motivasyon, yetenek ve yorgunluk örnek olarak gösterilebilir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde, bir çok uygulamada insanın yerini alabilen çok gelişmiş kontrol sistemleri kullanılmasına rağmen, özellikle lineer olmayan karaktere sahip ve karar verici mekanizmalarda insanı devre dışı bırakarak kontrol işlemini gerçekleştirmek mümkün olmamaktadır. Uzun yıllardır üzerinde çalışılan İnsan – Makine etkileşimi ve bunun sonucunda insan gibi davranan kontrol sistemleri geliştirilmesi çalışmalarına paralel olarak akıllı sistemler ile kontrol kavramının teknolojiye kullanımının önünün açılması ile, en azından belli bir karaktere sahip insan hareketlerinin öğretilerek makine davranışının insan hareketlerine benzer şekilde karar verici olması sağlanmaya başlamıştır. İnsanın devre dışı bırakılmadığı uygulamalarda, öngörü yaparak insan kontrol sistemine uyarı geri beslemesi sağlamak da mümkündür.

### KAYNAKÇA

- [1] Sheridan, T.B., Ferrell, W.R., 1974, Man-Machine Systems, The MIT Press
- [2] Cacciabue P.C., 1996, Understanding and modelling man-machine interaction, Commission of the European Communities, Joint Research Center, Institute for Systems engineering and Informatics, Nuclear Engineering and design 165 pp 351-358
- [3] McRuer, D.T., 1980, Human Dynamics in Man-Machine Systems, *Automatica*, Vol.16, pp.237-253.
- [4] Kleinman, D.L., Baron, S., Levison, W.H., 1970, An Optimal Control Model of Human Response Part I: Theory and Validation, *Automatica*, Vol.6, pp.357-369

## *İnsan-Makina Sistemleri ve Manuel Kontrol Modeli*

- [5] Baron, S., Kleinman, D.L., Levison, W.H., 1970, An Optimal Control Model of Human Response Part II: Prediction of Human Performance in a Complex Task, *Automatica*, Vol.6, pp.371-383
- [6] Doman, D.B., Anderson, M.R., 2000, Fixed-Order Optimal Control Model of Human Operator Response, *Automatica*, Vol.36, pp.409-418
- [7] Kleinman, D.L., 1969, Optimal Linear Control For Systems with Time Delay and Observation Noise, *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol.AC-14, No:4, pp357-367, October
- [8] Enab, Y.M., 1994, Controller Design for an Unknown Process, Using Simulation of a Human Operator, *Eng. Application Artificial Intelligent, Pergamon*, Vol.8 No.3 pp:299-308
- [9] Enab, Y.M., 1996, Intelligent Controller Design for The Ship Steering Problem, *IEE*, Vol 143, No.1
- [10] Kosko, B., 1992, *Neural Networks and Fuzzy Systems : A Dynamical Systems Approach to Machine Intelligence*. Prentice Hall, New York
- [11] James, H.M., Nichols, N.B., Phillips, R.S., 1947, *Theory of Servomechanism*, McGrawHill, New York, pp 360-368,
- [12] Tustin, A., 1947, An Investigation Of The Operator's Response in Manual Control and its Implications For Controller Design, *J.Inst. Elec.Engrs. 94*
- [13] Wiener, P., 1950, *Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series*, John Wiley, New York
- [14] Elkind, J.I., 1956, Characteristics of Simple Manual Control Systems, *TR111, Mass. Inst. Tech. Lincoln Lab.*, Lexington, April
- [15] MacRuer, D.T., Krendel, E.S., 1957, Dynamic Response of Human Operators. Wright Air Dev. Center WADC TR56-524, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, October
- [16] McRuer, D.T., Graham, D., Krendel, E.S., Reisener, W., 1965, Human Pilot Dynamics in Compensatory Systems, Theory, Models and Experiments with Controlled Element and Focusing Function Variations. AFFDL-TR-65-15, July
- [17] McRuer, D.T., Ashkenas, I.L., Pass, H.R., 1964, Analysis of Multiloop Vehicular Control Systems, ASD-TDR-62-1014, March
- [18] Stapelford, R.L., MacRuer, D.T., Magdalen, R., 1966, Pilot Describing Function Measurement in a Multiloop Task, NASA CR-542, August
- [19] McRuer, D.T., Hofman, L.G., 1968, New Approaches to Human Pilot / Vehicle Dynamic Analysis. AFFDL-TR-67-150, February
- [20] Elkind, J.I., Falb, P.F., 1968, An Optimal Control Method For Prediction Control Characteristics And Display Requirements of Manned-Vehicle systems. AFFDL-TR-67-187, April
- [21] Kleinman, D.L., Perkins, T.R., 1974, Modeling Human Performance in a Time-Varying Anti-Aircraft Tracking Loop, *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol.AC-19, No:4, pp.297-306, August
- [22] Weir, D.H., McRuer, D.T., 1970, Dynamics of Driver Vehicle Steering Control, *Automatica*, Vol.6, pp.87-98

- [23] Gingrich, C G; Kuespert, D R; McAvoy, T J., 1992, Modeling human operators using neural networks, Chemical Engineering Department, University of Maryland, *ISA Transactions*, Volume 31, Issue 3 pp 81-90
- [24] Boss,J.F.T, Stassen, H.G., Lunterern, A.V., 1995, Aiding The Operator in the Manual Control of A Space Manipulator, *Control Eng. Practice, Pergamon*, Vol.3 No.2 pp:223-230
- [25] Hoc, J.M., 2000, From Human-Machine Interaction to Human-Machine Cooperation, *Ergonomics* ,ISSN: 0014-0139 ,Volume 43, Issue 7 ,pp 833-843, July
- [26] Murray, S A; Caldwell, B S., 1996, Human Performance and Control of Multiple Systems, *Human Factors* ,ISSN: 0018-7208 ,Volume 38, Issue 2 ,Pages 323-329, June
- [27] Takashima, M., 1980, Yoshizawa, S; Nagumo, J., Human Operator Dynamics in Manual Tracking Systems With Auditory Input, *Biological Cybernetics* ,ISSN: 0340-1200, Volume 37, Issue 3 .pp 159-166
- [28] Sutton, R., 1990, Modelling Human Operators in Control System Design, Royal Naval Engineering College, Plymouth UK
- [29] McCulloch, W.S.,Pitts,W.A., 1943, A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity, *Bulletin of Mathematics and Biophysics*, 5, pp.115-133
- [30] Hebb, D. O., 1949, The Organization of Behaviour, New York, Willey, introduction and Chapter 4 The First Stage of Perception , growth of the assembly, pp.60-78
- [31] Caianiello, E.R., 1961, Outline Of A Theory Of Thought-Processes and Thinking machines, *Journal of Theoretical Biology*, 2, pp. 204-235
- [32] Jang, J.R., and Sun, C.T., 1995, Neuro-Fuzzy Modeling and Control, *Proc. of IEEE*, 83(3), 378-405
- [33] Jang, J.R., 1993, ANFIS:Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System, *IEEE Trans.Syst.,Man, Cybern.*, 23(3), 665-684
- [34] Jang, J.R., Sun, C.T., Mizutani, E., Neuro-Fuzzy and Soft Computing A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence, Prentice Hall, USA
- [35] Patrick,J.,Duncan K.D., 1988, Training, Human Decision Making And Control, University of Wales
- [36] Zapato, G.O.A., Galvao, R.K.H.,Yoneyema,T., 1999, Extracting Fuzzy Control Rules from Experimental Human operator Veri, *IEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics*, Vol.29, No:3,pp.398-406, June
- [37] Şimşir, U., 2007, Dar Su Yolarında El Kumandası ile Seyir Yapan Gemilerin Konmunun Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Öngörülmesi, *Doktora Tezi, İTÜ, Şubat*
- [38] Ertugrul, Ş., 2008, Modeling Human Operator Actions Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inferencing System Based on a Man-Machine Interaction Computer Experiment, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol.21, pp.259-268