

---

# ENDÜSTRİYEL DENETİMDE GENEL EĞİLİMLER

Prof .Dr. önder YÜKSEL

## AMELELİKTE YARATICILIĞA GEÇİŞİN ÖYKÜSÜ

Hep bilindiği gibi, insanoğlu tarih boyunca sürekli bir savaşımın içinde bulunmuştur. Klasik tarih anlayışına göre bu savaşım her zaman insanın insana karşı üstünlüğünü kanıtlama çabasından kaynaklanır ve bu biçimde sunulur. Oysa günümüzün insan toplumunu biçimlendiren olayları açıklayabilmek için savaşların tarihini değil teknoloji tarihini incelemek gerekir.

Teknoloji tarihi, insanoğlunun doğanın olumsuz etkilerinden korunma ve doğa güçlerini kendi yararına denetim altına alma savaşımının tarihidir. Ateşin bulunmasından bu yana insanoğlu sürekli olarak doğa güçlerine baskın çıkma çabası içinde olmuş, başarılarını çoğu zaman insanlık yararına, kimi zaman da örneğin savaş araçtan geliştirerek insanlık zararına kullanmıştır.

insanoğlunun doğa güçlerini denetime alma savaşımı, belki de yükselen bir hızla bugün de sürmektedir. Biz mühendisler sosyal evrimin yarattığı görev paylaşımı sonucu oluşan meslek grupları arasında, bu savaşımın en ön saf- ta yer alan bir grubu oluşturmaktayız.

## MÜHENDİSLİĞE İLK ADIM

ilk çağlarda, avını mağarasına daha kolay taşımak için tekerleği yapan kişi belki de mühendisliğin temelini atan kişiydi. İzleyen yüzyıllar boyunca insanlar tekerleği, kaldırıcı, palangayı kullanageldiler; fazla soru sormadan, bu yararlı aygıtların, neden ve nasıl yararlı olduğunu araştırmadan.

insanın bu savaşımında iki silahı vardı. Bunlardan birincisi kaba kas gücüydü. Ancak aynı kaba güç, çoğu zaman da fazlasıyla hayvanlarda, hatta cansız doğa olaylarında, esen rüzgarda, akan suda da vardı, insanoğluna üstünlük

sağlayabilecek yetenek ise beyin gücüydü. Doğa güçlerine tam bir egemenlik sağlayabilmek için işte bu gücün kullanılması gerekiyordu. Gerçi insan bir ölçüye kadar hayvanları yönetmeyi, karasabana koşmayı başarmış giderek yeldeğirmenini, bostan dolabını bulmuştu, top kullanarak hemcinsini öldürüyordu ama hâlâ doğa güçleriyle yeterince başedebilmiş değildi: doğa güçlerinden sınırlı olarak yararlanıyordu o kadar. Gerçi ağır tapınak kapılarını buhar gücüyle kapatan, yağ kandillerinde yağ düzeyini ayarlayan düzenekler, yay gücüyle belirli olayları düzenli aralıklarla yineleyen aygıtlar yapılmıyor değildi ama bunlar önemli sosyal sonuçlar olmayan sınırlı uygulamalar olarak kalıyordu. İnsanın kas gücü gene de üretimin başlıca enerji kaynağıydı. Oysa insanın enerjisi sonsuz değildi ve yorulmak, sıkılmak, bıkmak gibi önemli zaaftan vardı, insangücü ve dayanıklılığı gerekli ilerlemeyi sağlamaya yetmiyordu.

## TEKNOLOJİK GELİŞME SONUCU SOSYAL DEĞİŞİM

18. yüzyıl insanlığın sosyal yapısının altüst olduğu dönemdir. Bu yüzyıla doğru Avrupa ana kıtası teknolojik sıçramaya hazır duruma gelmişti. Ancak birikmiş teknolojik olanaklar savaş gereçleri ya da lükse kanalize ediliyordu. Üretim, egemen sınıflar için desenli lüks ipekli dokumalar, fantazi cam eşyalar, süs saatleri, büyükler için oyuncaklar ya da egemenlik ilişkilerini sürdürmek amacıyla silah yapımıyla sınırlıydı. Söz gelimi, Salzburg' da küçük bir akarsuyun gücü dizginlenmiş; ama bu önemli gelişmeden yalnızca güzel melodiler çalmak ya da kukla oynamak için yararlanılmıştı.

Buhar ve su gücünün denetime alınması ilk kez İngiltere' de etkisini gösterdi. Artık yalın avadanlıklar yerine makineler çalışıyor; makineler yün eğiriyor, kumaş dokuyor,

maden kuyularından su boşaltıyor, buharlı gemiler üretimi dünyanın dört bir yanına taşıyordu. Yeni güç kaynakları insan kas gücünün yerini almıştı.

Teknolojik gelişmeden kaynaklanan ve insan toplumunun ekonomik, sosyal ve giderek siyasal yapısını etkileyen bu olaylar dizisine "endüstri devrimi" adını veriyoruz.

### **SALT MEKANİZASYON YETERLİ Mİ?**

Endüstri devrimiyle birlikte kas gücü büyük ölçüde devreden çıkmıştı. Artık insan daha çok sinir sistemini kullanarak büyük güçleri, makinaları yönetmekle görevliydi.

Böylesine büyük güçleri yönetmek üzere tasarılanmamış olan sinir sisteminin yetersiz kalması kaçınılmaz bir olguydu. Makinaları yönetmek, söz gelimi hayvanları yönetmeye de benzemiyordu. Herhalde insanların ata bindiği dönemlerde "yanlış sollama yüzünden at çarpması" diye bir kavram yoktu. Salt mekanik güç yanlıgı kabul etmiyor, işletmenin yetersizliklerini kendisi düzeltiyordu. Makinaya bu yeteneği vermek, insanın sinir sisteminin görevlerinin de bir kesiminin makinalarca üstlenilmesini sağlamak gerekiyordu. Bu yöndeki ilk adımlar daha endüstri devriminin başlarında, buhar makinalarının denetimiyle atılmıştı. James Watt'ın buluşu olan düzeneç bir anlamda otomatik denetimin ilk endüstri uygulaması sayılabilir.

ilerde daha derinlemesine inceleyeceğimiz gibi otomatik denetim, yıllar içinde gerek kuramsal, gerekse uygulamalı alanda birbirini destekleyen atılımlarla gelişti. Daha iyi denetim olanakları daha karmaşık üretim sistemlerinin tasarlanmasına yol açarken, karmaşık sistemlerin tasarımı daha da yetkin otomatik denetim yöntemlerine gereksinme doğurdu.

Endüstride otomatik denetimin yaygın biçimde kullanılmasıyla simgelenen döneme "ikinci endüstri devrimi" adı veriliyor. Otomatik denetimin zamanla insanoğlunun görevlerinin daha büyük bir kesimini üstlendiği ve giderek sinir sisteminin en değerli parçasının, beynin görevlerine de göz diktiği görülüyor.

### **KARAR VEREN MAKİNALAR**

Sınırlı ölçüde de olsa kimi mantıksal karardan verebilen ilk "elektronik beyin"Mer yalnız kimi bıkırtıcı hesaplamaları yapmakta kullanılırken, elektronikte sağlanan gelişmelerin yarattığı olanaklarla bugün yüksek sığalı, hızlı karar verebilen bilgisayarlar günlük kullanıma girmiş bulunuyor. Giderek bilgisayarların sayısal elektronik ve özellikle mikroişlemciler biçiminde otomatik denetim döngüsünde de yerini aldığını görüyoruz: insan "güçlerin yönetimi" görevini de makinaya devretmiş "yönetimin

programlanması" görevini üstlenmiştir. Artık "üçüncü endüstri devrimi"nden söz edilebilir.

### **MAKİNALARDA ESNEKLİK**

Tüm bu gelişmelere karşın dizgede yine de bir halka eksiktir. Yönetim bilgisayara devredilmiş olsa bile makinalar belirli görevleri yerine getirmek üzere tasarlanmıştır, değişik koşullara uyum gösterme yetenekleri yoktur.

Günümüzde bu açık da kapatılmak üzeredir. Endüstride oldukça önemli bir yer tutmaya başlayan robotlar, koşullara ve görevin türüne göre değişik davranışlar gösterecek biçimde programlanabilen, oldukça esnek makinlardır. Bu dönem ilerde belki de "dördüncü endüstri devrimi" olarak adlandırılacaktır.

### **GELECEKTE NE GÖRÜNÜYOR, ŞİMDİ NEREDEYİZ?**

Bundan sonraki aşama belki de kendi programını kendi yapan, kendi deneyimleriyle kendini geliştiren, öğrenen makinaların devreye girmesi olacaktır. İnsanoğlu "amelle" olarak başladığı bu serüvende, artık yalnız "yaratma, koruma ve gözetme" göreviyle yükümlü bir tür "tanrı" konumuna geçmek üzeredir.

Dünyanın gelişmiş ülkeleri bugün dördüncü endüstri devriminin doğum sancılarını çekiyor. Ülkemizde ise henüz ikinci endüstri devriminin bolca birinci, biraz da üçüncü endüstri devriminin özellikleriyle renklenmiş bir biçimini yaşamaktayız.

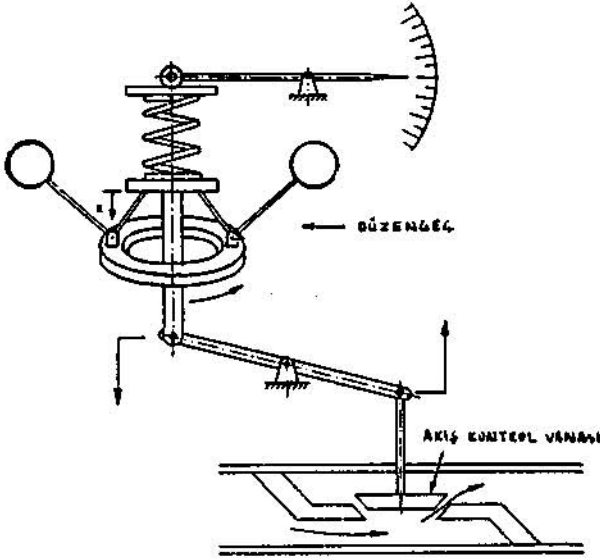
### **OTOMATİK DENETİMİN TARİHSEL GELİŞİMİ**

Belirli görevleri kendi kendine, otomatik olarak yerine getiren aygıtların yapımı insanların çağlar boyu tutkusu olmuştur. Ancak kendi kendine çalışan her aygıt otomatik denetim uygulaması olarak bakmak yanlış olur. Otomatik denetimden söz edebilmek için, öncelikle ortada denetlenmesi gereken bir sistem olmalıdır. Bu sistem genellikle yapısı ve özellikleri otomatik denetim tasarımcısı tarafından saptanmayan, yalnızca veri olarak verilmiş olan bir süreç, fabrika ya da benzeri bir sistemdir.

Otomatik denetimin belkemiği "geribesleme" adı verilen kavramdır. Geribeslemenin, ilk uygulamalarını İsa'dan önce 300 yıllarında eski Yunanda su saatlerinde, yağ kandillerinde sıvı düzey kontrolü biçiminde görüyoruz. Birinci yüzyılda İskenderiye'n Heron tarafından yazılan "Pneumatica" adlı kitapta çeşitli su düzeyi denetim mekanizmalarından söz edilmektedir.

Çağdaş Avrupa'da binaltıyüzlerde kullanılan ilk geribesleme sistemleri Hollandalı Drebbel'in sıcaklık dengenci ve Papin'in düdüklü tencerelerdeki emniyet subabını andıran basınç düzengencidir.

Endüstriyel bir süreçte bilinçli olarak kullanılan ilk geribesleme sisteminin, James Watt'ın 1769'da geliştirdiği hız düzengeci olduğu kabul edilir (Şekil 1). Bu düzengekte, ölçülen hız, dönen topların hareketiyle bir vanayı açıp kapayarak buhar makinasının hızını düzenlemektedir.



SEKİLİ. Watt hız düzengeci

Watt düzengecini başlangıç olarak alırsak, endüstriyel otomatik denetim tarihini tabloda görüldüğü gibi kabaca üç döneme ayırabiliriz. "Zenaat dönemi" adını vereceğimiz ilk dönem 18. yüzyıldan 20. yüzyıl başlarına kadar sürer. Bu dönemde otomatik denetim alanında sağlanan atılımların ortak özelliği sezgisel ve bulgusal nitelikleridir.

Otomatik denetim sistemlerinde duyarlılığı artırmak, yanlıgıyı azaltmak yolundaki çabalar çoğu zaman sistemin aşırı kerte de yavaşlamasına, kimi zaman da kararsızlığa yol açıyordu. "Zenaat" yarı ağır basan otomatik denetim tasarımı kuramsal destekten yoksundu. 1868'de James C. Maxwell'in Watt düzengecinin türevsel denklemini kullanmasıyla matematiksel yöntemlerin önemi ortaya çıktı. Hemen hemen aynı yıllarda, Avrupa'nın diğer ucunda Vişnegradski düzengeler için matematiksel bir kuram geliştirmekteydi.

Otomatik denetim tarihinin ikinci dönemi 1900'lerle İkinci Dünya Savaşı arasındaki süreyi kapsar. Endüstriyel gelişmenin hız kazandığı bu dönem büyük çapta güç üretimi ve dağıtımının gerçekleşmesine, havacılık endüstrisinin doğuşuna, kimya endüstrisindeki hızlı gelişmeye, iletişim ve elektronikte önemli atılımlara sahne olmuştur. Bu dönemde karmaşık endüstriyel sistemlerin ortaya çıkmasıyla, denetim sistemlerinin tasarımında kuramsal

yaklaşımlar önem kazanmıştır. Ancak, kuramın, doğuda ve batıda değişik yönlerde geliştiğini görüyoruz. ABD'de özellikle Bell telefon laboratuvarlarında biraraya gelen Bode ve Nyquist gibi bilim adamlarının katkısıyla önemli gelişmeler sağlanıyordu. Kullanılan yöntemlerse daha çok sıklık bölgesi yöntemleriydi. Böylelikle daha yüksek kerteli, daha karmaşık sistemler incelenebiliyordu. Sovyetler'de ise konu ile ünlü matematikçi ve uygulamalı mekanikçi ilgileniyordu ve sonuç olarak zaman bölgesinde türevsel denklem formülasyonu en geçerli yöntem olarak görülmüştü.

1940'lara doğru çözümsel yöntemlerin kullanımı artmış ve otomatik denetim mühendisliği kendi içinde bir bilimsel disiplin niteliğine kavuşmuştu. Otomatik denetimin üçüncü döneminin bu tarihlerde başladığı kabul edilebilir.

İkinci Dünya Savaşı denetim kuramı ve uygulamasında önemli atılımlara neden oldu. Otomatik pilotlar, radar ve radarlı atış kontrol sistemleri ve geribeslemeye dayalı diğer askeri uygulamalar karmaşık, duyarlı ve hızlı denetim sistemleri; böyle sistemlerin tasarımı da yeni yöntemler, yeni bir bakış açısı gerektiriyordu.

Sıklık bölgesi yöntemleri, ikinci Dünya Savaşı sonrasında da Laplace dönüşümüyle egemenliğini sürdürdü. Bu yeni bilim dalının sınırları, geribesleme kavramıyla açıklanabilecek yeni problem alanlarıyla ilgilenen "sibernetik" biliminin babası Norbert Wiener'in çalışmalarıyla daha da genişledi. Evans'ın kök yer-eğrisi yöntemi ise s-bölgesi yöntemlerini daha da güçlendirdi.

ilk yapay uydu Sputnik, denetim mühendisliği için yeni bir dürtü oldu. Başlayan uzay yansı daha karmaşık ve daha duyarlı denetim sistemlerine gereksinim duyuyordu. Bu dönemde kuram, örneklenmiş veri sistemlerini, rastgele parametrelili ve doğrusal olmayan sistemleri de içine alacak biçimde gelişti. Tüm bu gelişmeler örneksel ve sayısal bilgisayarların ve doğrudan sayısal denetim için sayısal elektronik ve mikro işlemcilerin gelişmesiyle daha da büyük bir hız kazandı.

1950'lerin sonlarında zaman bölgesi yöntemleri bir anlamda yeniden keşfedildi. Durum uzayı kavramı, yüksek kerteli denetim problemlerinin zaman bölgesinde çözümüne yeni bir açıdan yaklaşılmasını sağladı. 50-80 yıl kadar önce Poincare ve Liyapunov gibi klasik mekanikçiler tarafından geliştirilen yöntemler geniş uygulama alanları buldu.

Uzay çalışmaları yüksek duyarlılık ve hız yanında, roketlerin daha hafif olmasını sağlayacak özel tasarımlar ve enerji tutumluluğu gerektiriyordu. Bu ve buna benzer kaygılar *optimal* ya da *en uygun denetim* kuramının yetersizliğine yol açtı. Bu nedenle Liyapunov ve Minorski'

nin zaman bölgesi yöntemleri ilgi çekti. Ayrıca ABD'de Bellman ve Sovyetler'de Pontriagin yeni optimal denetim kuramları geliştirdiler. Günümüzde enerji harcamalarını ya da hava kirliliğini en aza indirmek ya da verimliliği artırmak gibi kaygılar optimal denetimin endüstriyel üretim sürecinde de dikkate alınmasını gerektirmektedir.

Günümüzde otomatik denetim mühendisi hem sıklık-bölgesi hem de durum uzayı formülasyonu yoluyla zaman bölgesi yöntemlerini kullanmak zorundadır, öte yandan sürekli-zaman yöntemlerinin yanı sıra, belki de daha fazla, kesikli-zaman ya da örneklenmiş-veri yöntemlerine gereksinim vardır.

Çoğu denetim dizgelerinin dinamik özellikleri çeşitli nedenlerle değişir. Endüstriyel dizgelerde ise bu değişiklikler daha büyük boyutlarda ortaya çıkar. Her ne kadar geribesleme ufak değişikliklerin etkisini azaltırsa da, değişmelerin büyükçe olması durumunda denetim stratejisinin yenilenmesi, yeni koşullara uyarlanması ya da adapte edilmesi gerekir. Kendini otomatik olarak koşullara uyarlayabilen denetim sistemlerine, *uyarlamalı* ya da *adaptif denetim* »istemleri adını veriyoruz. Günümüzde geniş uygulama alanı bulan uyarlamalı denetimin, çevresel koşullarda oluşabilecek değişimlere karşı önlem alınmasının yanı sıra kimi ufak tefek tasarım hataları ve kimi ufak arızaları da dengeleyerek genel güvenilirliği artırdığını da belirtmek gerekir.

Çağımızın karmaşık çok döngülü denetim dizgelerinde karmaşık hesaplama ve değerlendirmeleri yapmak üzere bilgisayar kullanımı yaygın bir uygulamadır. Denetim aygıtı olarak sayısal bilgisayarların kullanıldığı bu tür sistemlere *sayısal denetim sistemi* adını veriyoruz. Günümüzde bu amaçlarla bilgisayarın dizgenin içine kaynaştırılmasına, bilgisayarın mikro işlemci ya da sayısal elektronik yoluyla, denetlenen sistemle doğrudan etkileşim içine sokulmasına çalışılıyor. Bu tür uygulamalara da *doğrudan sayısal denetim idirü* veriyoruz.

Büyük ve karmaşık bir dizgenin denetim öğelerinde oluşabilecek ufak bir arıza ekonomik açıdan çok büyük olumsuzluklara yol açabilir. Tüm dizgenin daha kararlı çalışması için tasarılan bir çok-döngülü denetim sistemi, bir döngünün devre dışı kalması ile tümüyle kararsız bir canavara dönüşebilir. Güvenilirliği artırmak açısından her dizge bileşeninin arıza olanağının en aza indirecek biçimde tasarlanması ve üretilmesi gerekir. Gene de arıza olasılığını tümüyle ortadan kaldırmaya olanak olmadığına göre, arızanın oluşması durumunda da dizgenin denetimden çıkmasına neden olmayacak bir tasarım gereklidir. Bu tür güvenceleri taşıyan denetim yöntemlerine *dayanıklı denetim* adını veriyoruz.

Artık günümüzde denetim dizgelerinin olabildiğince *optimal*, olabildiğince *uyarlamalı* ve olabildiğince *dayanıklı* olması isteniyor.

Dönem	Yıl	Denetim Kuramı	Denetim Uygulaması	Genel Teknolojik Durum
I.	1750		Watt düzengeci ve gelişmesi	Yel değirmeni Buhar makinası
	1850	Haxwell'in çalışması Vişnegradski'nin çalışması Teleskop kontrol dizgesi çözümlemesi	Güç üretimi ve iletimine ilişkin düzengeçler	Elektrik gücü
II.	1900	Hız denetimi kitabı Türevsel denklemler Routh-Hurwitz ölçütü	Süreç ve güç endüstrisi için düzengeçler İletişim için denetim Servo mekanizmalar	I. Dünya Savaşı Endüstride gelişme
	1950	Ziegler-Nichols yöntemi Laplace dönüşümü Sıklık tepkisi yöntemi	Silahlar için denetim Elektronik denetleçler Süreç ve fabrika denetimi	II. Dünya Savaşı Nükleer güç Bilgisayar
III.	1960	Kök-yereğrisi Z-dönüşümü Durum uzayı Liyaapunov kavramı Optimal denetim kuramı	Veri işleme Bilgisayar destekli denetim Doğrudan sayısal denetim	Otomasyon Sputnik Biyomedikal ve diğer alanlarda sistem ve denetim kavramı
	1970	Optimal denetimin ayrıntılı çözümlemesi Soyut matematiksel yöntemler	Dinamik optimizasyon yönünde gelişmeler Yazılımda gelişmeler Robotlar	Ayda ilk insan Mikro işlemciler Enerji krizi