

Schueller, John K. 2006. Section 4.1 Automation and Control, pp. 185-195 of Chapter 4 Mechatronics and Applications, in CIGR Handbook of Agricultural Engineering Volume VI Information Technology. Edited by CIGR-The International Commission of Agricultural Engineering; Volume Editor, Axel Munack. St. Joseph, Michigan, USA: ASABE. Copyright American Society of Agricultural Engineers.

Çevirmen: Mücahit SOYASLAN

Çeviri Editörleri: Sefa TARHAN ve Mehmet Metin ÖZGÜVEN

## 4. Bölüm: Mekatronik ve Uygulamaları

### 4.1 Otomasyon ve Kontrol

Yazar: J.K. Schueller

Çevirmen: Mücahit SOYASLAN

**Özet:** Sensörler, eyleyiciler ve kontrolörler kendi tasarlanmış görevleri doğrultusunda otomasyonu veya kontrol sistemlerini kontrol makinelerine veya sistemlerine dönüştürebilirler. Klasik veya modern kontrol teorisi birçok sistemin tasarım ve analizini desteklemektedir. Bu bölümde teknikler ve bileşenler tartışılmış ve bazı örnekler sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Otomasyon, Kontrol, Sensörler, Eyleyiciler.

#### 4.1.1 Giriş

Kendi ayarlanabilir veya hareket edebilir makine ve sistemler otomatik sistemler olarak tanımlanır. *Otomasyon*; bu makinelerin büyük miktarlarda insan müdahalesi olmadan üretken, verimli, güvenilir ve kesin bir şekilde görevlerini gerçekleştirmesine olanak sağlar. *Kontrol*, makine veya insan müdahalesine dayalı düzenleme örneğidir. Otomasyon, makinelerin kendi kendilerini kontrol etmelerine olanak sağlar. Bilgi teknolojilerinin gelişimi, otomasyon ve kontrole daha fazla imkan sağlamıştır.

Tarihi Yunan su saatlerindeki şamandıralar gibi otomatik kontroller uzun bir süredir var olmasına rağmen kontrol teorisi ve otomasyonun mühendislik yaklaşımı oldukça yeni gelişmelerdendir. James Watt'ın buhar motorları için merkezkaç kuvvetli ve toplu hız regülatörü erken bir gelişme olup sanayi devrimine hayati bir katkıdır. 1800'lerde Maxwell, Lyapunov ve diğer bilim adamları tarafından temel teoriler geliştirilmişken, kontrol teorisinin büyük kısmı 1900'lerde uzun mesafe telefon görüşmesi, II. Dünya Savaşı ve havacılık endüstrisi ihtiyaçlarına karşılık olarak gelişmiştir.

Ziraat ve biyoloji mühendisleri, işletmek zorunda oldukları karmaşık biyolojik/kimyasal/ fiziksel ortamlarda, makinelerden ve sistemlerden gerekli doğru yanıtları elde etmek için çalışmalarında, otomatik kontrol ve kontrol teorisini kullanmışlardır.

En ünlü ilk tarımsal kontrol örneği Harry S. Ferguson tarafından 1920'lerde geliştirilen Ferguson sistemidir. Bu sistem traktöre toprak çalışma derinliğini ayarlama imkanı vererek sabit bir yükte çalışma olanağı sağlamıştır. Şu anda ziraat ve biyoloji alanında birçok başarılı kontrol uygulamaları bulunmaktadır. Gübre makineleri GPS yer bilgisine ve değişken oranlı harita bilgisine göre en uygun oranda gübreyi karıştırmakta ve dağıtmaktadır. Hayvan barınaklarının çevre kontrolünün yapılması, hayvanları sağlıklı ve üretken kılmaktadır. Otomatik sulama sistemleri suyun nerede ve ne zaman hangi miktarda gerekli olduğunu kestirerek çalışmaktadır. Bunlar ziraat mühendisliğinde otomatik kontrol sistemlerinin nasıl uygulandığına dair bazı örnekleri teşkil etmektedir.

#### 4.1.2 Kontrol Teorisi

Tek yönlü kontrol sistemleri *açık çevrim* veya *kapalı çevrim* olarak sınıflandırılır. Açık çevrim sistemlerde sisteme bir komut verilir ve bu komutun sistemi düzgün bir şekilde çalıştırdığı varsayılır. Kapalı çevrim sistemler sistemin çıkışını veya sonucunu, tasarlanan çıkışa göre karşılaştırır ve uygun düzeltici eylemleri gerçekleştirir. Kapalı çevrim sistemleri genellikle, daha doğru bir performans sergileyen ancak daha pahalı ve daha kararsız olma eğilimi olan sistemlerdir. Kontrol teorisinin uygulandığı çoğu sistem kapalı çevrimdir.

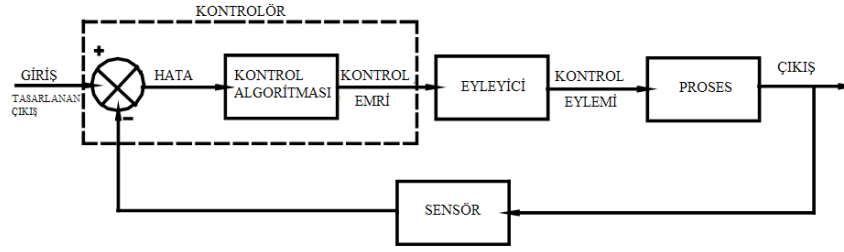
Şekil 1 kapalı çevrim sisteminin bir örneğini göstermektedir. Tasarlanan çıkışı gösteren giriş, algılanan çıkış ile karşılaştırılır ve bunların arasındaki hata, kontrolör tarafından bir komut üretmek için kullanılır. Daha sonra eyleyici (aktüatör), prosesin (kontrol edilen sistemin veya makinenin) tasarlanan şekilde çalışması için bir kontrol eylemi üretir. Açık çevrim sistemi, çıkıştan geri besleme almaya yarayan sensörlere sahip değildir. Açık çevrim sistemleri çıkıştaki sonuç değişikliklerini algılamadığı için bozucu etkilere ve sistemin parametre değişimlerine karşı daha duyarlıdır.

Kontrol sistemleri bir başka deyişle ardışık (sequential), sürekli (continuous) veya ayrık (discrete) olarak da sınıflandırılabilir.

*Ardışık* kontrol sistemleri bir makine veya sistemin belli bir operasyon sırası ile çalışmasını amaçlamaktadır. Bu sistemlerde genellikle çalışma sırasında düzenlemeler yapılmaz. Örnek olarak bir ardışık kontrol sistemi, sağımhanede bulunan bir ineğin süt sağımı bittiğinde sağım makinesini uzaklaştırır, ineğin çıkması için kapıyı açar, inek çıktıktan sonra kapıyı kapatır ve bir sonraki ineği içeri alır. Ardışık kontrol analizleri ve tasarımları genellikle merdiven (ladder) mantığını kullanır. Karmaşık ardışık kontrol sistemleri Boolean Cebri, doğruluk tablosu, akış diyagramları veya durum diyagramları ile analiz edilebilir. Çağdaş ardışık kontrol sistemleri, donanım veya bağlantı değişimi gereksinimleri yerine yazılımda ardışık kontrolün kolayca modifiye edilebilmesine imkan sağlayan programlanabilir mantık kontrolörlerini (PLC, Programmable Logic Controller) kullanabilir.

*Sürekli* kontrol sistemleri kontrol teorisi analizinin olağan bir konusudur [1-3]. Bu tip sistemler sistemin zaman içerisinde giriş-çıkış ilişkisinin adi diferansiyel

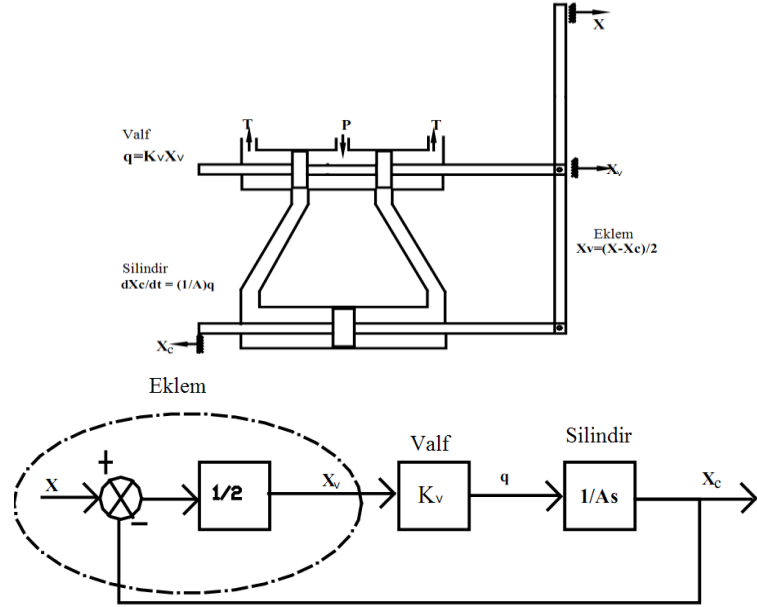
denklemler ile tanımlandığı fiziksel sistemlerdir. Elemanların çoğu fark değişkenlerinin (gerilim, vs) veya doğrudan iletilen değişkenlerin (tork, vs.) bağlantılarının temel bir denklemi olarak modellenebilen bir ilişkiye sahiptir. Örnek olarak, elektriksel bir elemandan geçen akım veya orifisten geçen bir akış bu eleman boyunca geçen gerilim veya basınç ile ilişkilidir.



Şekil 1. Kapalı Çevrim Kontrol Sistemi.

Farklı bileşenler için diferansiyel denklemler yazılarak fiziksel sistemler modellenebilir. Bu sistemler elektriksel, mekanik, akışkan, ısı transferi, elektromekanik, hidrolik sistemler olabilir. Dinamik giriş-çıkış ilişkisini tanımlayan transfer fonksiyonunu elde etmek için denklemler Laplace alanına (domain) dönüştürülebilir.

Farklı bileşenleri bir tek sistemin bütününe birleştirmek için, bileşenlerin isimleri yerine matematiksel transfer fonksiyonu ile Şekil 2'deki gibi bir blok diyagram oluşturulabilir. O zaman blok diyagram cebri, bütün transfer fonksiyonunu hesaplamak ve gösterimi sadeleştirmek için kullanılabilir. Bloklar çarpma veya bölmeyi, toplamlar ekleme veya çıkarmayı belirtmektedir.



$$X_c/X = \left(\frac{1}{2}\right)K_v (1/As) / \left(1 + \left(\frac{1}{2}\right)(K_v)(1/As)\right) = 1 / ((2A/K_v)s + 1)$$

Şekil 2. Hidromekanik bir servonun blok diyagramı ve transfer fonksiyonu.

Burada tartışılanlar da dahil olmak üzere çoğu pratik kontrol teorisi sadece girişi ve çıkışı arasında doğrusal bir ilişkiye sahip olan doğrusal sistemlere uygulanabilir. Bununla birlikte doğrusal olmayan sistemler genellikle normal operasyon noktalarında doğrusallaştırılarak benzetilebilir. Tarımsal ve biyolojik sistemler çok karmaşık olsa da, birçok zaman baskın davranışlı karakteristikleri vardır. Çoğu benzer sistem bir kazanç, gecikme, integratör, birinci derece veya ikinci derece sistem olarak modellenebilir. Bu tip sistemlerin çıkış yanıtları, girişlerin dürtüler, adımlar veya rampalar olarak modellenmesiyle benzetilebilir.

Ziraat ve biyoloji mühendislerinin incelediği sistem çeşitleri analitik olarak modellenemeyecek kadar karmaşık veya bilinmeyenlidir. Ancak, tepki davranışı deneysel olarak tespit edilebilir. Bu tip sistemler, davranış karakteristiklerinin bulunması için adım, sinüoidal veya rastgele tahrikler gibi bilinen girişlere zorunlu tutulabilir. Geçici, frekans veya tahmini yanıtlar dinamik modelin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Aşım (overfitting), doğrusalsızlıklar (özellikle doyumlar ve ölü bölgeler) ve sistemin veya cihazların dinamik ve frekans aralıklarını aşmaktan sakınmak için önlem alınması gerekir. Fakat adım, kırılmış sinüs ve rastgele modelleme çok etkili olabilir.

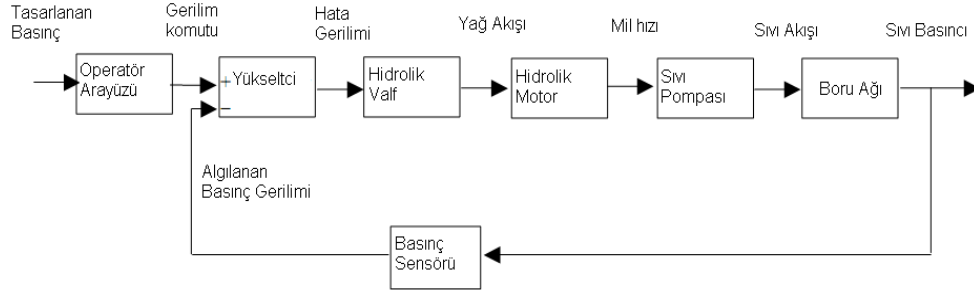
Birçok çağdaş sistem bilgisayarlar tarafından kontrol edilmektedir. Eğer bilgisayar kontrol sistemi, kontrol edilen sistemle dinamik olarak çok hızlı bir şekilde karşılaştırılıyorsa, bu sistem sürekli kontrolör olarak modellenebilir. Ancak, birçok kez ayrık veya dijital kontrol teorisi kullanılır. Bu kontrol tipi, bilgisayarın sistem ile sabit zaman aralıklarında haberleştiği kontrol tipidir. Z dönüşümleri, Laplace dönüşümlerinin klasik ayrık analitik araç kutusu yerine sıklıkla kullanılmaktadır.

Birçok durumda modern kontrol teorisi, klasik kontrol teorisinin yerini almaya başlamıştır. Modern kontrol teorisi, sistemin durumunun durum değişkenlerinin nasıl değiştiğini tanımlayan denklemler ile modellendiği durum uzayı tekniklerini kullanmaktadır. Bilgisayarlar ve lineer cebirin gelişmesi, modern kontrol analizlerini daha izlenebilir hale getirmiştir. Bu kitabın Bölüm 3.2 (Kontrol ve Optimizasyon)'si, kontrol alanlarındaki çağdaş gelişmelerin yanında modern kontrol teorisi olarak bilinen gürbüz (robust) kontrol ve bulanık kontrolün hakkında detaylar içermektedir. Modern gürbüz, bulanık ve diğer yeni geliştirilen kontrol teknikleri güncel araştırma, geliştirme ve pratik uygulama alanlarıdır. Bunlar otomatik makine ve sistemlerin performansını ve güvenilirliğini arttırmada umut vermektedir.

#### **4.1.3 Kontrol ve Otomasyon Uygulaması**

Otomatik kontrol, tarihte ilk olarak mekanik bileşenler ile hayata geçirilmiştir. Örneğin, Watt'ın hız kontrol ünitesi, buhar valfini aktive eden mekanizmayı hareket ettirmek için merkezkaç kuvvetini kullanmıştır. Benzer şekilde, Ferguson'un traktör çeki kontrol sistemi, çeki kuvveti gerektiren aletin yükseltilmesi veya alçaltılması için hidrolik valfi kontrol eden mekanik yer değiştirmeyi elde etmek için kuvveti yaya karşı kullanıyordu. Birçok sistem kontrol için hala mekanik elemanları

kullanılmaktadır. Ancak elektroniğin ve bilgisayarların gelişimi otomatik kontrol ve iyileştirilmiş performans kullanımını yaygınlaştırmıştır.



Şekil 3. Basınç Kontrol Sistemi.

Kontrol evrimine bir örnek olarak binalardaki termostatik sıcaklık kontrolleri verilebilir. İlk fanlar, ısıtıcılar ve klima sistemleri binaların, evlerin, hayvanların ve insanların sıcaklığını istenilen derecede tutmak için genellikle civa anahtarlı mekanik bimetal şeritler kullanmışlardır. Bimetal şeritlerin ısı genleşme aralığı kavimli bir tüp içerisindeki civa balonunun yerini değiştirmiştir. Dolayısıyla bimetalik şeritler, sıcaklık istenen ayarlara gelinceye kadar iklim kontrol ekipmanına güç sağlayan elektrik devresini aktive etmekte ve sıcaklık istenen ayara geldiğinde ise devrenin çalışmasını durdurmaktadır. Çağdaş iklim kontrol sistemleri daha sofistike ve daha iyi kontrolü sağlamak için bilgisayarları, sensörleri ve eyleyicileri kullanabilir. Kontrol sistemi ister mekanik veya ister elektronik olsun çıkışı algılama, onu istenen çıktıyla karşılaştırma ve gerekli düzeltici eylemi gerçekleştirme prensibi aynıdır.

Şekil 1'de kontrol edilecek nesne procestir. Makine veya sistem, ölçülebilir bir çıkışa ve kontrol hareketinin etkilediği prosesin davranışı için bir araca sahip olmalıdır. Şekil 1'in diğer bileşenleri kapalı devre kontrol sistemini tamamlamak için sisteme eklenir. Örnek olarak, Şekil 3 sıvı pestisit veya gübre uygulamalarında kullanılan türde bir basınç kontrol sistemini göstermektedir. Valf, motor, pompa ve boru tesisat ağı kontrol edilecek prosesi oluşturmaktadır.

Sensörler sistemin veya makinenin çıkışını doğru ölçmelidir, aksi takdirde kontrolör yanlış eylemler gerçekleştirecek ve sistemin çıkışı da buna bağlı olarak yanlış olacaktır. Doğruluğun yanında, sensörler yeterli çözünürlük ve aralığa da sahip olmalıdır. Ek olarak, sensörler kontrolörü ve prosesi karşılaştıracak hızlı dinamik cevaplara sahip olmalıdır.

Analog sensörler prosesin çıkışı ile doğru orantılı bir gerilim veya akım üretir. Sensörler genellikle yer değiştirmeyi (potansiyometre, doğrusal değişken türevsel dönüştürücü, çözücü, kapasitif sensör), ivmeyi (ivmeölçerler), sıcaklığı (termal çiftler, direnç termometreler, termistörler), gerilimi (Gerilim ölçer) ve diğer birçok büyüklüğü ölçmek için kullanılır. Sensörler başka bir miktarı ölçmek için mekanik parçalar ile de kullanılabilir. Örneğin gerilimölçerler (strain gauges) gerilmeyi ölçmek için kullanılır, fakat diyaframın üzerine koyulduğunda basıncı da ölçebilir.

Otomatik kontrol işlemlerinde dijital elektronik ve bilgisayarlar daha fazla kullanıldıkça, dijital sensörlerin kullanımında da bir artış gözlemlenmektedir. Bunlar dijital bir çıkış elde etmek için elektroniğe entegre edilmiş analog sensörler veya doğrudan dijital sensörler olabilir. Örneğin, tarım makinelerinin çoğunun üzerindeki millerin hızları, dönen dişlilerin dişleri yanındaki değişken manyetik dirençli sensörlerden, kısa zaman aralıkları süresince darbeleri sayarak elde edilmektedir. Son gelişmeler yeni türde sensörlerin üretilmesine olanak sağlamıştır. Küresel konumlama sistemi (GPS, Global Positioning System) büyük ölçekli yer değiştirmeler için kullanılabilir. Makine görüşü (yapay görme) ve optik sensörler git gide daha güçlü ve sık kullanılan sensörler haline gelmektedir.

Sensörden gelen çıkış geribeslemesi kontrolördeki istenen çıkış (giriş) değeri ile karşılaştırılır. İstenen çıkış ve gerçek çıkış geribeslemesi arasındaki hataya ve bu hatanın zaman geçmişine dayanarak kontrolör komut üretir. Farklı hatalar ve hata geçmişleri için kontrolörün hangi komutu üreteceği, kontrol sistemini tasarlayan mühendisin önemli bir görevidir.

Kontrol sistemleri, bilgisayarlar kullanılmadan elektronik bileşenler içinde uygulanabilir. Birçok benzer sistem, giriş ve çıkış geribeslemesini karşılaştırmak ve hatayla doğru orantılı bir komut üretebilmek için işlemsel yükselteçleri (op-amp, operational amplifiers) kullanmaktadır. Komutu hatanın integrali ile veya hatanın türevi ile kısmen orantılı yapmak için devreye eleman eklemek mümkündür. Bu tipteki kontrol PID oransal, integral ve türev olarak bilinmektedir. Oran kazancını (hata başına üretilen komut miktarını) arttırmak, sistemin daha hızlı cevap vermesini ve daha az kararlı durum hatasına sahip olmasını sağlar, fakat bu ayrıca kararlılığı azaltabilir ve istenen çıkışın aşımını arttırabilir. İntegral kontrolü eklemek kalıcı durum hatasını kaldırabilir, fakat kararlılığı düşürür. Türev kontrolü eklemek sistemi kararlı yapabilir, fakat gürültü ve doyuma karşı da duyarlı yapar. Kontrolü en uygun kontrol ayarlarına göre ayarlamak, sistem performansını herhangi bir donanım eklemekten arttırabilir.

Küçük bilgisayarlar genellikle kontrolör olarak kullanılır. Mikroişlemciler, mikrodenetleyiciler ve dijital sinyal işlemcileri (DSP, Dijital Signal Processors) hızlı ve verimli olarak basit veya karmaşık kontrol çevrimlerini çalıştırabilir. Sıklıkla bilgisayarlar, istenen çıkış ve gerçek çıkışın girildiği ve buna göre uygun kontrol komutunu hesaplayan ve sonrasında sürekli bir çevrimde komut veren basit programları çalıştırır. Bilgisayarların güvenilirliği, bahsedilen gömülü kontrolörlerin kullanıcılarına çoğu kez açık değildir. Yazılım kesme sürümlü veya program sürümlü olabilir.

Kişisel ve daha büyük bilgisayarlar da kontrol uygulamaları için kullanılabilir. Kontrol sisteminin ihtiyaçlarına bağlı olarak, bilgisayarlar klasik işletim sistemlerini veya gerçek zamanlı kontrol için tasarlanmış özel işletim sistemlerini sürebilirler. Bu gibi genel amaçlı bilgisayarlar kullanıldığında, kontrol arayüzleri bir sorun haline gelmektedir. Analog sensör sinyalleri ve analog komutlar gerektiren eyleyciler,

kontrol sistemlerinin analog donanımı ile bilgisayar arayüzü arasında analog-dijital ve dijital analog dönüştürücülerin bulunduğunu varsaymaktadır. Dijital sensörler veya eyleyiciler böyle dönüştürücülere gerek duymaz, fakat iletişim bağlantıları veya terminaller uyumlu olmalıdır.

Birçok kontrolör, proses için hemen giriş olacak şekilde bir çıkış sağlar. Ancak diğer birçok durumda, kontrolör çıkışı uygun bir fiziksel büyüklük (ör: akım yerine kuvvet) değildir, yeterli gücü yoktur veya proses girişi için uygunsuz ölçektir. Eyleyiciler, çoğu prosesin davranışını etkileyen bir kontrol eylemini, kontrol komutuna dönüştürmek için kullanılır. Eyleyicinin komuta uygun kontrol eylemini sağlaması önemlidir. Buna ek olarak eyleyici, kapalı çevrim sistem performans kaybını önlemek için prosesten daha iyi bir dinamik cevaba sahip olmalıdır. Eyleyiciler kontrol teorisinde nadiren tartışılmasına rağmen, ziraat ve biyoloji mühendisleri tarafından karşılaşılan sistem türleri için oldukça önemlidir.

Eyleyicilerin en sık kullanılan tipleri elektromanyetik olanlarıdır. Bir gerilim veya akım girişi bobine (selenoide) veya motora elektrik gücü sağlamaktadır. Eyleyici çıkışı; kuvvet, tork veya yer değiştirir. Elektromekanik eyleyiciler doğrusal veya döner olabilir. Ziraat uygulamalarında gereken yüksek güç ve torklar sebebiyle elektrohidrolik eyleyiciler de yaygındır. İhtiyacın dönel veya doğrusal çıkış olup olmadığına bağlı olarak, hidrolik motor veya silindir olan elektrohidrolik eyleyicinin son bileşeni çoğu uygulamada elektrohidrolik valftir. Bu gibi sistemlerde valflerin performansı oldukça önemlidir. Hidrolik motor veya silindirin yer değiştirmesinin akışkanın integrali ile orantılı olduğu da unutulmamalıdır.

Eyleyicilerden gelen kontrol eylemi prosesi tetikler ve istenilen performansı elde etmek için prosesin çıkışını değiştirir. Yukarıda belirtildiği gibi, proses kontrol edilen birimdir. Kontrol sistemi prosesin karakteristiğine, gerekli olan veya istenen performansa göre tasarlanır. Proses, zamanla değişmez ise yani parametreleri ve doğrusallığı zamanla değişmiyorsa, kontrol sistemlerinin tasarlanması kolaydır ve bu sistemler genellikle iyi çalışırlar.

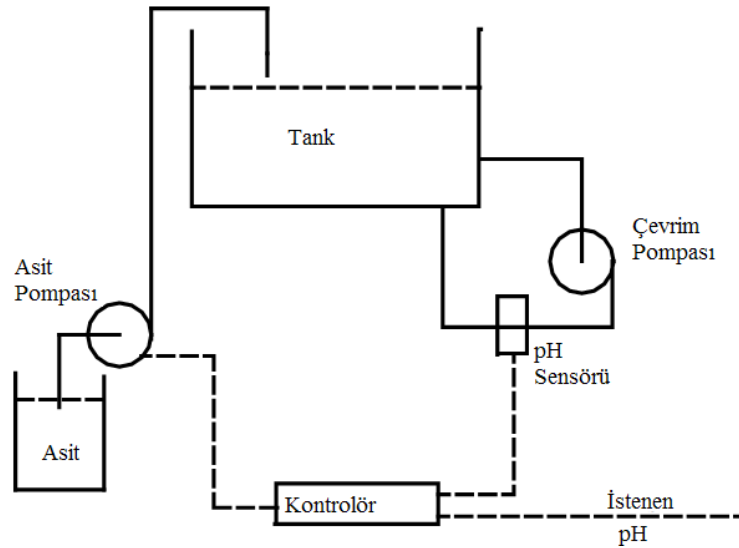
Çeşitli matematiksel teknikler, kontrol sistemlerinin tasarımına yardımcı olmak amacıyla kullanılmaktadır. Kök yereğrisi, kutup yerleştirme, kompansatör (düzenleyici) ve frekans alanı teknikleri gibi genel klasik teknikler birçok mühendislik kitabında anlatılmıştır. Modern kontrol teorisi genellikle optimizasyon metotlarını kullanmaktadır. Yaygın analizleri gerçekleştirmek için ticari yazılımlar mevcuttur. Sistem önemli derecede karmaşık, doğrusal olmayan veya zamanla değişen olduğunda, tipik girişlere farklı aday sistemlerin, zaman alan (time domain) cevaplarının bulunması için kapalı çevrim çözümlerini bulma zorluğu genellikle ticari sistem simülasyon yazılımlarının kullanımlarını gerektirmektedir.

#### **4.1.4 Ziraat ve Benzeri Alanlarda Otomasyon ve Kontrol**

Dünya da bulunan birçok tarım sisteminin çeşitliliği otomasyon ve kontrol uygulamalarını genellemeyi zorlaştırmaktadır [4-6]. Bu yüzden, otomasyon ve

kontrolün birçok benzer uygulamasında durum zordur. Kontrol edilecek sistemler fiziksel, kimyasal ve biyolojik bileşenlerin karmaşık şekilde kombinasyonundan oluşabilir. Şekil 4'deki pH kontrol sistemi örneği de elektriksel, mekaniksel ve kimyasal bileşenlere sahiptir. Birçok tarımsal ve biyolojik otomasyon sistemi sıcaklık, nem ve titreşim gibi birçok atmosferik ve diğer çevresel şartlara maruz kaldıkları tarımsal yapılar içerisine veya dış ortama yerleştirilmektedir. Sistemler genellikle bakım ve servis altyapısının seyrek olduğu uzak veya kırsal yerlere kurulmaktadır. Sistemler, kıyaslamalı olarak vasıfsız çalışanlar için kullanılması kolay, ucuz ve güvenilir olmalıdır. Bu da oldukça zor bir iştir.

Otomasyon ve kontrol kullanımı tartışmaya açıktır. Yerel ekonomik, sosyal ve teknik durumların otomasyon için elverişliliği tespit edilmelidir. Gelişmekte olan ülkelerde işgücü kullanımının azaltılması otomasyonun istenmemesine neden olacak özel bir endişe oluşturabilir. Fakat otomasyon ve kontrol; gıda ve elyaf üretiminin miktarını ve kalitesini arttırırken çevreyi de korumaktadır.



Şekil 4. pH kontrol sistemi örneği.

Ziraat ve ilgili alanlarda otomasyon ve kontrolün uygulandığı birçok örnek bulunmaktadır. Bunların bazıları basit, bazıları ise karmaşık sistemlerdir. Tablo 1'de bu kitabın diğer bölümlerinde bulunan bazı örnekler listelenmektedir. Diğer birçok benzer uygulama kitaplarda, makalelerde, konferans sunumlarında ve literatür kaynaklarında bulunabilir.

Ferguson sistemi ve yamaç biçerdöverlerindeki kendinden seviyelendirmeli (self-leveling) sistemdeki gibi tarım ekipmanlarında kullanılan ilk kontrol sistemleri, mekanik ve hidromekanik olmuştur. Şimdilerde elektronik ve bilgisayarlı kontroller yeni tasarımlara hakim olmuştur. Mekanik, elektronik ve yazılım elemanlarının



otomasyon sistemlerinde tümleşik olarak kullanılması Avrupa ve Doğu Asya’da *mekatronik* olarak bilinmektedir [7, 8].

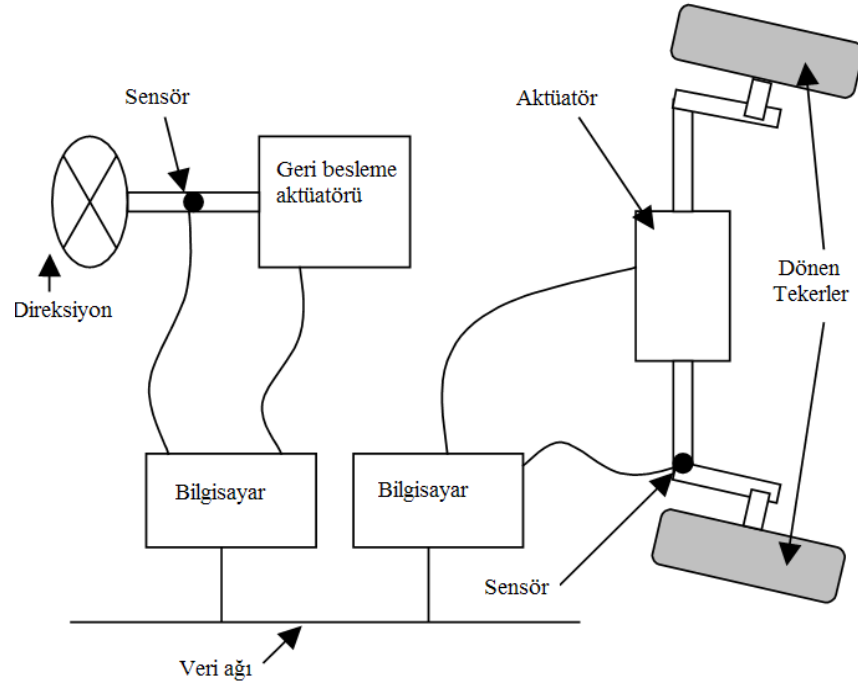
Tablo 1. CIGR kitap serilerinin diğer bölümlerindeki bazı kontrol sistemleri.

Bölüm	Sayfa	Kontrol edilen sistem
I	362	Sulama
	498	Sulama suyu getirilmesi
II	304	Su ürünleri yetiştiriciliği
III	45	Dizel motor enjeksiyonu
	171	Ferguson çekiş sistemi
	309	Doğrudan zehir püskürtme sistemleri
	477	Sera iklimlendirmesi
	610	Hassas tarım uygulamaları
IV	42	Tane kurutucuları
	345	Soğuk depolama dolapları

Mekatronik sistemler, kontrol bilgisayarlarına girilen komutlara göre hareket ederler. Sensörler de sistemin girişi ve çevre koşulları hakkında bilgi verir. Mekatronik sistem, eyleyiciye çıkış olacak sinyale karar vermek için yazılım kullanır. Bu tipteki sistemler öyle esnekler ki yazılımdaki basit bir değişiklik bile sistem karakteristiğini değiştirebilir. Bunlar daha karmaşık ve sofistike kontrol algoritmalarına olanak sağlamaktadır.

Mekatroniğin sık kullanıldığı yerlerden biri de araçlardaki elektronik sürüş (X-by-wire) hareketidir. Elektronik sürüş sistemleri mekanik, elektronik ve yazılımın kombinasyonu ile araçtaki mekanik ve hidromekanik fonksiyonların yerini almaktadır. Örneğin, konvensiyonel araç frenlerinin yerini fren pedalı ve frenler arasında doğrudan bir bağlantı olmayan bir sistem alabilir. Bu sistemler bileşenlerin ve sistemin tümünün yüksek güvenilirlikte olmasını gerektirir.

Şekil 5, aracın direksiyon sisteminin sadeleştirilmiş şematik örneğini göstermektedir. Sürücünün direksiyonu döndürmesi algılanır ve bilgi tekerleği döndüren eyleyiciyi kontrol eden başka bir bilgisayar ile haberleşen ve komut üreten bilgisayara aktarılır. Eyleyici pozisyonu, ikinci bilgisayarın tekerleğin konumunu algılayarak kontrol edilmesinden dolayı kapalı çevrimdir. Geri besleme, birinci bilgisayarla eyleyicinin tekerlek dönüşü üzerindeki etkisini sürücüye bildirir. Bilgisayarlarda uygulanabilen çok sayıdaki algoritma çeşitleri ve veri yolundan erişilebilen diğer bilgiler nedeniyle böyle sistemler çok esnek olmaktadır. Örneğin dümenleme sistemi, direksiyon simidi ile aracın tekerlek açısı arasında değişen bir orana sahip olabilir. Bu oran araç hızıyla değişmektedir.



Şekil 5. Tekerlek için elektronik direksiyon (steering-by-wire) sisteminin basit şeması.

Tarımsal araçlar hava, toprak, bitki veya hayvanlar ile karmaşık çevre koşullarında çalışırken, kontrol sistemleri ile sonuç üretmek büyük bir avantaja sahiptir. Tarihte, hız ve geometrik açıklıklar gibi tarımsal ekipmanların işletme parametreleri, ya sabitlenmiştir ya da insan operatörleri tarafından nadiren ayarlanmıştır. Otomasyon ve kontrol sistemleri üretkenlik, verimlilik ve kaliteyi arttırmak için değişen koşullara cevap olarak işletim parametrelerinde otomatik ayarlanmaya olanak sağlamaktadır. Bu tür kontrol sistemleri uygulamalarında, makine ayarlanabilir olma yeteneğine sahip olmalıdır. Örneğin, sabit oranlı mekanik (kayış, zincir veya dişli gibi) sürücülerin uygun valf ve sürücüye sahip değişken hızlı hidrolik veya elektriksel sürücüler ile değiştirilmesi gerekebilir.

Tarım aletleri kontrol sistemlerine uydurulacak şekilde evrim geçirmiştir [9,10]. Günümüz tane biçerdöveri buna iyi bir örnektir. Biçerdöver; otomatik olarak tabla yüksekliği, dolap devri, seyir hızı, batör hızı, batör kontrbatör aralığı ve elektrik aralığı gibi öğelerin kontrolünü içermektedir. Biçerdöver, kontrol sistemlerinin düzenli şekilde çalışması için sürücüleri ve tahrik sistemleri ile birlikte tasarlanmış olmalıdır. Elektrik ve daha az miktarda hidrolik güç ve sinyaller, ekipmanın bir parçasından diğer parçasına mekanik güç ve ayarlamalara göre daha kolay transfer edildiği için kontrol sistemlerinin bileşenleri tarım ekipmanlarının tasarımı ve çiziminde daha fazla esnekliğe olanak sağlar. Örneğin, dönen bir şaft bir bileşenden diğerine doğrudan giderken bir hidrolik hortum veya elektrik teli kıvrık bir yol boyunca bükülebilir. Biçerdöver örneğine geri dönersek, artık operatör, operatör

kabininden birçok fonksiyonları kontrol edebilmekte ve motor, güç tüketen bileşenlerden çok daha uzağa yerleşilebilmektedir.

Tarım aletlerinden beklenen performans taleplerinin artması ve otomasyon ve kontrol sistemlerindeki ilerlemeler (özellikle sensörler, eyleyiciler ve algoritmalar) sayesinde tarımsal sistemlerde otomasyon ve kontrol sistemleri daha yaygın hale gelecektir. SAE J1939, DIN 9684 ve ISO 11783 gibi standartlar ile birlikte kontrol sistemlerinin birbirleriyle ağa bağlanma trendi yükselmeye devam edecektir. Daha iyi ve daha koordineli bir otomasyon ve kontrol, daha iyi tarımsal ekipmanların yapımına katkıda bulunacaktır.

### **Kaynaklar**

1. Dorf, R. C., and R. H. Bishop. 2005. *Modern Control Systems*, 10th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
2. Ogata, K. 2002. *Modern Control Engineering*, 4th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
3. Wells, R. L., J. K. Schueller, and J. Tlusty. 1990. Feedforward and feedback control of a flexible robotics arm. *IEEE Control Systems* 10(1): 9-15.
4. Cox, S. W. R. 1997. *Measurement and Control in Agriculture*. Oxford, UK: Blackwell Science.
5. Schueller, J. K. 1992. A review and integrating analysis of spatially-variable control of crop production. *Fertilizer Research* 33: 1-34.
6. Searcy, S. W., ed. 1991. *Automated Agriculture for the 21st Century*. St. Joseph, MI: ASAE.
7. De Silva, C. W. 2005. *Mechatronics: An Integrated Approach*. Boca Raton, FL: CRC Press.
8. Hstand, M. B., and D. G. Alciatore. 1999. *Introduction to Mechatronics and Measurement Systems*. New York, NY: McGraw-Hill.
9. Klenin, N. I., I. F. Popov, and V. A. Sakun. 1970. *Sel'skokhozyaistvennyye Mashiney (Agricultural Machines)*. Moscow, Russia: Kolos Publishers.
10. Srivastava, A. K., C. E. Goering, and R. P. Rohrbach. 1993. *Engineering Principles of Agricultural Machines*. St. Joseph, MI: ASAE.