

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ORAN KONTROL YAPILARININ İNCELENMESİ VE ENVANTER
KONTROL SİSTEMLERİNE UYGULANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ceyhun Erhan ÜZÜMCÜ**

Anabilim Dalı : Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği

Programı : Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği

HAZİRAN 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ORAN KONTROL YAPILARININ İNCELENMESİ VE ENVANTER
KONTROL SİSTEMLERİNE UYGULANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ceyhun Erhan ÜZÜMCÜ
504061135**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Nisan 2009

Tezin Savunulduğu Tarih : 05 Haziran 2009

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Müjde GÜZELKAYA (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. İbrahim EKSİN (İTÜ)
Prof. Dr. Serhat ŞEKER (İTÜ)**

HAZİRAN 2009

ÖNSÖZ

Sevinç ve hüznün iç içe olduğu bir sene sonunda ortaya çıkan bu çalışmamda bilgisini, deneyimini ve şefkatini bende esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Müjde GÜZELKAYA'YA sonsuz teşekkür ederim. Yaptığım çalışmalarda bilgisini ve desteğini benden esirgemeyen sevgili hocam Prof. Dr. İbrahim EKSİN'E ve asker ocağında dahi beni yalnız bırakmayan Dr. Engin YEŞİL'E teşekkürü borç bilirim.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasındaki süreçte her an yanımda olan, zamanını, tecrübesini ve sabrını benden esirgemeyen, sevinçlerimi ve hüznlerimi paylaşan sevgili dostum Yük. Müh. Tufan KUMBASAR'A çok özel teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca uzun yıllar boyunca aynı sıraları paylaştığım, birçok mutluluğu ve kederi birlikte yaşadığım meslektaşlarım ve değerli dostlarım Murat KALKAN, Cihan BULUT ve Yasin DİLMAÇ'A ve isimleri buraya sığmayacak kadar uzun olan tüm dostlarıma da teşekkürü borç bilirim.

Hayatımın her anında yanımda olan, maddi, manevi desteklerini benden esirgemeyen bugünlere gelmemdeki en büyük dayanak olan rahmetli babama, uzun ömür dilediğim anneme ve diğer tüm yakınlara sonsuz teşekkür ederim.

Nisan 2009

Ceyhun Erhan ÜZÜMCÜ
Kontrol Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. ENVANTER KONTROL SİSTEMLERİ.....	5
2.1 Giriş.....	5
2.2 Envanter Kontrol Sistemleri Ailesi	8
2.3 Envanter Ve Sipariş Tabanlı Üretim Kontrol Sistemi.....	10
2.4 Otomatik Ara ürün Envanter Ve Sipariş Tabanlı Üretim Kontrol Sistemi	11
2.5 Otomatik Ara Ürün Değişken Envanter ve Sipariş Tabanlı Üretim Kontrol Sistemleri.....	13
2.6 Envanter ve Sipariş Tabanlı Üretim Kontrol Sistemleri İçin Kontrolör Tasarımı	13
2.6.1 PI kontrolör tasarımı	14
2.6.2 PID kontrolör tasarımı	15
3. ORAN KONTROL YAPILARI.....	19
3.1 Giriş.....	19
3.2 Oran Kontrol Yapıları	19
3.2.1 Doğrudan yaklaşım	19
3.2.2 Dolaylı yaklaşım	20
3.2.3 Doğrudan ve dolaylı yaklaşımın karşılaştırılması.....	21
3.3 Dinamik Oran Kontrol Yapıları	21
3.3.1 Seri oran kontrol yapıları	21
3.3.2 Paralel oran kontrol yapısı	22
3.3.3 Çapraz sınırlamalı oran yapısı.....	23
3.3.4 Harmanlama merkezli oran kontrol yapısı.....	24
3.3.5 Uyarlamalı harmanlama merkezli oran kontrol yapısı.....	25
3.3.6 Değişken ağırlık çarpanlı oran kontrol yapısı	27
3.3.7 Dinamik harmanlama merkezli oran kontrol yapısı.....	27
3.3.8 Yük bozucusu bastırabilen oran kontrol yapısı.....	29
3.3.9 Çapraz birleştirilmiş oran kontrol yapısı.....	31
3.4 Dinamik Oran Kontrol Yapılarının Benzetimleri.....	35
3.4.1 Harmanlama merkezi oran kontrol yapıları benzetimleri	35
3.4.2 Uyarlamalı harmanlama merkezi oran kontrol yapıları benzetimleri	37
3.4.3 Değişken ağırlık çarpanlı oran kontrol yapısı benzetimleri	38
3.4.4 Dinamik harmanlama merkezli oran kontrol yapısı benzetimleri.....	40

3.4.5	Yük bozucusu bastırabilen DHM oran kontrol yapısı benzetimleri.....	42
3.4.6	Çapraz birleştirilmiş oran kontrol yapısı benzetimleri.....	44
3.4.7	Dinamik oran kontrol yöntemlerinin benzetimlerinin karşılaştırılması	46
4.	ORAN KONTROL YAPILARININ ENVANTER VE SİPARİŞ TABANLI ÜRETİM KONTROL SİSTEMLERİNDE KULLANILMASI.....	53
4.1	Giriş	53
4.2	Envanter ve Sipariş Tabanlı Üretim Kontrol Sistemlerinde Dinamik Harmanlama Merkezleri Yapıları.....	53
4.3	Envanter ve Sipariş Tabanlı Üretim Kontrol Sistemlerinde Oran Kontrol Yapısı Benzetimleri	56
4.3.1	PI kontrolör kullanılarak gerçekleştirilen benzetimler.....	58
4.3.2	PD kontrolör kullanılarak yapılan benzetimler	65
4.3.3	PID kontrolör kullanılarak yapılan benzetimler.....	70
4.3.4	İçsel model kontrole dayalı PID kontrolör ile yapılan benzetimler	72
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	79
	KAYNAKLAR.....	81
	ÖZGEÇMİŞ.....	83

KISALTMALAR

IOBPCS	: Envanter Ve Sipariş Tabanlı Üretim Kontrol Sistemi
APIOBPCS	: Otomatik Ara Ürün Envanter Ve Sipariş Tabanlı Üretim Kontrol Sistemi
APVIOBPCS	: Otomatik Ara Ürün Değişken Envanter Ve Sipariş Tabanlı Üretim Kontrol Sistemi
OBPCS	: Sipariş Tabanlı Üretim Kontrol Sistemi
IBPCS	: Envanter Tabanlı Üretim Kontrol Sistemi
VOIBPCS	: Değişken Envanter Ve Sipariş Tabanlı Üretim Kontrol Sistemi
VIBPCS	: Değişken Envanter Tabanlı Üretim Kontrol Sistemi
DINV	: İstenen Envanter Seviyesi
AINV	: Aktüel Envanter Seviyesi
EINV	: Envanter Hatası
AVCON	: Ortalama Tüketim
ORATE	: Sipariş Oranı
COMRATE	: Ürün Üretim Oranı
WIP	: Ara Ürün
DWIP	: İstenilen Ara Ürün Seviyesi
EWIP	: Ara Ürün Hatası
BMÖZ	: Birinci Mertebeden Ölü Zamanlı Sistem
BMÖZİE	: Birinci Mertebende Ölü Zamanlı İntegral Etkili Sistem
ÜMS	: Üçüncü Mertebeden Sistem

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Envanter problemi örnekleri.....	2
Çizelge 2.1 : Envanter yapıları hakkında yapılan çalışmalar.	6
Çizelge 2.2 : Envanter yapıları hakkında yapılan çalışmalar.	7
Çizelge 2.3 : Üretim kontrol sistemleri ailesinde kullanılan değişkenler.....	9
Çizelge 2.4 : PI kontrolör tasarımında a ve b parametrelerinin seçimi.	15
Çizelge 2.5 : Farklı λ değerleri için yerleşme zamanları ve aşım değerleri.....	17
Çizelge 2.6 : İMK PID kontrolörü parametreleri.....	18
Çizelge 3.1 : S işaret parametresinin belirlenmesi.....	26
Çizelge 3.2 : Oran kontrol yapılarında klasik sistem çıkışlarına ilişkin inceleme.....	27

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Üretim kontrol sistemleri ailesi.....	8
Şekil 2.2 : Envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemi akış diyagramı.....	10
Şekil 2.3 : Envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemi blok yapısı.....	11
Şekil 2.4 : Otomatik ara ürün envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemi akış diyagramı.....	12
Şekil 2.5 : Otomatik ara ürün envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemi blok yapısı.....	12
Şekil 2.6 : Otomatik ara ürün değişken envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemi blok yapısı.....	13
Şekil 3.1 : Doğrudan yaklaşım oran kontrol yapısı.....	20
Şekil 3.2 : Dolaylı yaklaşım oran kontrol yapısı.....	20
Şekil 3.3 : Seri bağlı oran merkezi yapısı.	22
Şekil 3.4 : Paralel bağlı oran merkezi yapısı.	23
Şekil 3.5 : Çapraz sınırlamalı oran kontrol yapısı.	23
Şekil 3.6 : Harmanlama merkezi kullanılarak oluşturulan oran kontrol yapısı.....	24
Şekil 3.7 : Uyarlamalı harmanlama merkezi kullanılarak oluşturulan oran kontrol yapısı.	25
Şekil 3.8 : Uyarlamalı harmanlama merkezinde incelenen çalışma bölgeleri.....	26
Şekil 3.9 : Harmanlama dinamiği içeren oran kontrol yapısı.	28
Şekil 3.10 : Yük bozucusu bastırabilen dinamik harmanlama merkezli oran kontrol yapısı.	29
Şekil 3.11 : Çapraz birleştirilmiş oran kontrol yapısı.	32
Şekil 3.12 : HM benzetim sonuçları: (a) sistem cevapları, (b) kontrol işaretleri, (c) oran hatası.	36
Şekil 3.13 : UHM benzetim sonuçları: (a) sistem cevabı, (b) kontrol işareti.	37
Şekil 3.14 : UHM benzetim sonuçları: (a) oran hatası, (b) γ ağırlık çarpanı.....	38
Şekil 3.15 : Değişken ağırlık parametrelili oran kontrol yapısı benzetim sonuçları : (a) sistem cevapları, (b) kontrol işaretleri.....	39
Şekil 3.16 : Değişken ağırlık parametrelili oran kontrol yapısı benzetim sonuçları : (a) oran hatası, (b) $\gamma(t)$ ağırlık çarpanı.....	40
Şekil 3.17 : Dinamik harmanlama merkezli oran kontrol yapısı benzetim sonuçları : (a) sistem cevapları, (b) kontrol işaretleri.	41
Şekil 3.18 : Dinamik harmanlama merkezli oran kontrol yapısı oran hatası.....	42
Şekil 3.19 : Yük bozucusu bastırabilen DHM oran kontrol yapısı benzetim sonuçları: (a) sistem cevapları, (b) kontrol işaretleri,(c) oran hatası.	43
Şekil 3.20 : ÇBK oran kontrol yapısı benzetim sonuçları: (a) sistem cevapları, (b) kontrol işaretleri,(c) oran hatası.	45
Şekil 3.21 : Oran kontrol yapıları sistem cevapları.	46
Şekil 3.22 : Oran kontrol yapıları benzetim sonuçları (a) kontrol işaretleri, (b) oran hataları.	47
Şekil 3.23 : Oran kontrol yapıları benzetimleri (a) UHM oran kontrol yapısı γ değişimi (b) DAÇ oran kontrol yapısı $\gamma(t)$ değişimi.	48

Şekil 3.24 : Oran kontrol yapıları sistem cevapları (a) ÇBOK yapısı (b) YBBDHM yapısı.....	49
Şekil 3.25 : Oran kontrol yapıları kontrol işaretleri (a) ÇBOK yapısı (b) YBBDHM yapısı.....	50
Şekil 3.26 : Oran kontrol yapıları oran hataları.	51
Şekil 4.1 : Envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemlerinde oran kontrol yapıları.....	54
Şekil 4.2 : Birinci sistemin üçüncü ve birinci mertebeden ölü zamanlı modeli.	57
Şekil 4.3 : İkinci sistemin üçüncü ve birinci mertebeden ölü zamanlı modeli.	58
Şekil 4.4 : Birinci tasarım yöntemi ile bulunan PI kontrolörler için elde edilen sistem cevapları.	59
Şekil 4.5 : Birinci tasarım yöntemi ile bulunan PI kontrolörlerin kontrol işaretleri.	60
Şekil 4.6 : Birinci tasarım yöntemi ile bulunan PI kontrolörler için sistemde oluşan oran hatası.	60
Şekil 4.7 : İkinci tasarım yöntemi ile bulunan PI kontrolörler için elde edilen sistem cevapları.	61
Şekil 4.8 : İkinci tasarım yöntemi ile bulunan PI kontrolörlerin kontrol işaretleri....	62
Şekil 4.9 : İkinci tasarım yöntemi ile bulunan PI kontrolörler için sistemde oluşan oran hatası.	62
Şekil 4.10 : Üçüncü tasarım yöntemi ile bulunan PI kontrolörler için elde edilen sistem cevapları.	63
Şekil 4.11 : Üçüncü tasarım yöntemi ile bulunan PI kontrolörlerin kontrol işaretleri.	64
Şekil 4.12 : Üçüncü tasarım yöntemi ile bulunan PI kontrolörler için sistemde oluşan oran hatası.	64
Şekil 4.13 : Birinci PD kontrolörler tasarım yöntemi ile elde edilen benzetim sonuçları için (a) sistem cevapları (b) kontrol işaretleri (c) oran hatası..	66
Şekil 4.14 : İkinci tasarım yöntemi ile bulunan PD kontrolörler için elde edilen sistem cevapları.	67
Şekil 4.15 : İkinci tasarım yöntemi ile bulunan PD kontrolörlere ait kontrol işaretleri.	68
Şekil 4.16 : İkinci tasarım yöntemi ile bulunan PD kontrolörler için oran hatası.	68
Şekil 4.17 : İkinci tasarım yöntemi ile bulunan PD kontrolörler benzetimleri (a) sistem cevapları, (b) kontrol işaretleri.....	69
Şekil 4.18 : İkinci tasarım yöntemi ile bulunan PD kontrolörler için sistemde oluşan oran hatası.	70
Şekil 4.19 : PID kontrolörler kullanılarak gerçekleştirilen benzetim sonuçları (a) sistem cevapları (b) kontrol işaretleri.....	71
Şekil 4.20 : PID kontrolörler kullanılarak gerçekleştirilen benzetim sonucunda oluşan oran hatası.	72
Şekil 4.21 : Birinci tasarım yöntemi ile bulunan içsel model kontrole dayalı PID kontrolörler kullanılarak gerçekleştirilen benzetim sonuçları: (a) sistem cevapları (b) kontrol işaretleri.	73
Şekil 4.22 : Birinci tasarım yöntemi ile bulunan içsel model kontrole dayalı PID kontrolörler kullanılarak oluşturulan benzetim oran hataları.	74
Şekil 4.23 : İkinci tasarım yöntemi ile bulunan içsel model kontrole dayalı PID kontrolörler kullanılarak gerçekleştirilen benzetim sonuçları: (a) sistem cevapları (b) kontrol işaretleri (c) oran hatası.	75

Şekil 4.24 : Üçüncü tasarım yöntemi ile bulunan içsel model kontrole dayalı PID kontrolörler ile elde edilen sistem cevapları.....	76
Şekil 4.25 : Üçüncü tasarım yöntemi ile bulunan içsel model kontrole dayalı PID kontrolörler ile elde edilen benzetim sonuçları : (a) kontrol işaretleri (b) oran hatası.....	77

ORAN KONTROL YAPILARININ İNCELENMESİ VE ENVANTER KONTROL SİSTEMLERİNE UYGULANMASI

ÖZET

Bu çalışmada süreç kontrol sistemlerinde sıklıkla kullanılan oran kontrol yapıları incelenmiştir. Oran kontrol sistemlerinin amacı süreç çıkış değişkenlerinin arasındaki oranı referans değer değiştirilse veya bir yük bozucusu oluşsa bile istenen oranda sabit tutmaktır. Bu amaç doğrultusunda önerilen tüm oran kontrol yapılarının benzetimleri yapılmış ve seçilen performans kriteri çerçevesinde benzetimlerin performansları karşılaştırılmıştır.

Günümüz rekabetçi ve kırılğan piyasa koşulları altında firmalar stok seviyesini minimum tutmak ve depolama giderlerini azaltmak istemekte bunun yanında da satışların mevsimsel artışı veya azalması gibi durumlara karşı da üretim ve envanter seviyelerini kontrol etmek istemektedirler. Kontrol teorisi ve sistem dinamikleri tekniği ise bunu mümkün kılmaktadır. Sistem dinamikleri tekniği ile modellenen envanter ve sipariş tabanlı sistemler, kontrol teorisi yaklaşımı ile kontrol edilebilmektedir. Towill'ın ortaya çıkardığı envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemleri ailesinin üç modeli incelenmiştir. Envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemleri için farklı tiplerde kontrolör tasarlanmıştır. Kontrolör tasarlanırken sistem birinci mertebeden ölü zamanlı sistem olarak modellenmiş ve kontrolörlerin daha kolay tasarlanması sağlanmıştır.

Son bölümde incelenen oran kontrol yapılarından performansı en yüksek olan çapraz birleştirilmiş oran kontrol yapısı tasarlanan farklı tiplerdeki kontrolörler için genelleştirilmiş ve envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemlerine uygulanmıştır. Böylece satışları birbirine bağımlı ürünlerin stok seviyelerinin birlikte tutulması sağlanmış olur. Ayrıca bir ürünün yapımında belli oranlarda kullanılan ara ürün ve yarı mamüllerin de stok seviyelerinin etkin bir şekilde tutulması sağlanır.

STUDYING OF RATIO CONTROL STRUCTURES AND USING IN INVENTORY CONTROL SYSTEMS

SUMMARY

In this study ratio control structures which are commonly used in process control, is studied. The aim of a ratio control system is to keep the ratio of the system output variables at desired value. For achieving the aim all of the methods are researched. Their simulations is done and by respect to a performance criteria their performances are compared.

Today most of firm want to minimize the stock level because of the stock prices and they also want to control production and inventory levels against the seasonal effect of increase or decrease of prices. Control theory and system dynamics allow this kind of control. We can create a model with system dynamics and we can control the model with control theory. In the thesis, the second aim is to review of inventory and order based production and control systems family. For inventory and order based production control systems various of controllers are designed. For simplicity in designing the controller, system is modelled to first order with lag time model.

In the last stage the best method which is called cross coupled ratio control system, is applied to inventory and order based production and control system. In this application the cross coupled ratio control structure is generalized for different type of controllers. The aim of this application is to balance and control the inventory level of goods, which are sold respect to each other as beer and chips or wine and cheese. Also the application can be used for the semi-finished goods which are used for producing the main goods as wheel and rim in automotive industry or rims and lenses for producing a glass.

1. GİRİŞ

Kontrol sistemleri, günümüzde endüstrideki üretim bantlarından savunma sanayine, robotik sistemlerden sağlık sektörüne ve iletişim sektöründen bilgisayar sistemlerine kadar, bugün bizim için vazgeçilmez olmuş birçok alanda kullanılmakta ve hayatımızı kolaylaştırmaktadır. Bunların dışında yapılan çalışmalar neticesinde envanter yönetimi, nakit para yönetimi, kişisel enerji seviyesi, tarım gibi sistemlerde kontrol teorisi ile yönetilebilmektedir.

Kontrol teorisinin kullanılması için öncelikle ortada kontrol edilecek sistemin modelinin olması gerekir. Sistem, bir amaç gerçeklemek için bir araya gelen değişkenler kümesidir. Bu değişkenler genelde sistemin fonksiyonlarıdır. Fonksiyonlar sadece fiziksel olayları değil ekonomik, biyolojik, toplumsal sistemler gibi dinamik yapıları da temsil edebilir. Dinamik sistemler, çıkış değişkenlerinin daha önceki zaman dilimlerinde oluşan giriş değişkenlerinden etkilendiği sistemlerdir; (Ogata 1992).

Kontrol edilecek sistemlerde yapı seri kontrol, ileri yol kontrol, oran kontrol gibi farklı yöntemler uygulanarak gerçekleştirilebilir. Bu yöntemlerden oran kontrol yapılarında hedef, süreç çıkış değişkenlerinin arasındaki oranının referans değer değiştirilmesi ya da yük bozucusu oluşması durumlarında bile sabit tutmaktır.

Sistem dinamiği tekniği, sistemlerin geri beslemeli olarak modellenmesini ve benzetimlerinin yapılmasını sağlayan yöntemlerden biridir. Matematiksel modeli bilinen her sistem, sistem dinamiği yöntemi ile modellenebilir. Envanter kontrol sistemleri de dinamik yapıya ve matematiksel modele sahip olduğundan sistem dinamikleri yöntemi ile modellenebilmiştir. Envanter kontrol sistemleri günümüz rekabetçi piyasa koşulları altında firmalara minimum stok tutma ve depolama giderlerini azaltmada yardımcı olmaktadır. Envanter kontrol sistemlerindeki yapı nakit yönetimi, pazarlama, sürüş, yemek pişirme gibi sistemlere uyarlanabilir, (Serman, 1989). Çizelge 1.1'de sistemleri, sistemlerde stoklanan öğeleri, tedarik zincirini, girişi , çıkışı, sipariş oranını ve tipik davranışları belirtilmiştir.

Çizelge 1.1 : Envanter problemi örnekleri.

Sistem	Stok	Tedarik hattı	çıkış	giriş	Sipariş Çeşidi	Tipik Davranış
envanter yönetimi	envanter	sipariş edilen mal	müşteriye ulaştırma	tedarikçiden gelen mallar	Mal siparişi	iş döngüsü
sermaye yatırımı	fabrika	inşaat halindeki fabrika	amortisman	inşaatı bitime	yeni kontratlar	yapı döngüsü
ekipman	ekipman	sipariş edilen ekipman	amortisman	ekipman gelişimi	yeni ekipman siparişi	iş döngüsü
insan kaynağı	çalışanlar	iş arayanlar	işten ayrılmalar	adam tutma oranı	tatile çıkanlar	iş döngüsü
nakit yönetimi	nakit dengesi	askıdaki kiralar	giderler	borç oranı	kira oranı	çeşitli
pazarlama	müşteri tabanı	beklenen müşteriler	rakibe kaptırma	yeni müşteri kapma	yeni müşteri kontratları	Çeşitli
domuz yetiştiriciliği	domuz stoğu	gebe ve genç domuzlar	kesim oranı	olgunlaşma oranı	nesil oranı	domuz döngüsü
tarım ürünleri	envanter	tarladaki mahsul	tüketim	hasat oranı	dikim oranı	mal döngüsü
ticari binalar	bina stoğu	gelişmekte olan bina	amortisman	bitme oranı	gelişme oranı	15 25 sene döngüsü
elektrikli ocakta yemek pişirme	kabın sıcaklığı	ocağın sargılarındaki ısı	havaya yayılan ısı	sargılardan kaba aktarılan	ocak ayarı	çok pişmiş yemek
sürüş	öndeki arabaya olan uzaklık	aracın momentumu	sürtünme	hız	gaz ve fren pedalı	dur kalk
duş alma	su sıcaklığı	borulardaki suyun sıcaklığı	tesisat sınıfı	duştan akan su	musluk ayarı	yan – üşü
kişisel enerji seviyesi	kandaki glikoz	Gl deki şeker ve nişasta	metabolizma	sindirim	besin tüketimi	enerji seviyesi döngüsü
İçki içme	Kandaki alkol	Midedeki alkol	İşten ayrılmalar	mideden kana geçme	içme oranı	Sarhoşluk

Envanter kontrol sistemlerinde oran kontrol yapılarının kullanılması ile satışları birbirine bağlı olan veya aynı merkezde depolanacak olan veya birlikte başka bir ürünün hazırlanmasında kullanılacak olan iki farklı ürünün veya ara ürünün stoklarının istenilen “a” oranında tutulması sağlanır.

Yapılan bu çalışmada envanter kontrol sistemleri ve oran kontrol yapıları ayrı ayrı incelenmiş ve envanter kontrol sistemlerinde kullanılması en uygun oran kontrol yapısı seçilmiştir. Seçilen oran kontrol yapısı envanter kontrol sistemine uygulanmıştır. Yapılan benzetimlerde tasarlanan farklı kontrolörler için sistemin performansı karşılaştırılmıştır.

2. ENVANTER KONTROL SİSTEMLERİ

2.1 Giriş

Geçen yüzyılın başlangıcına baktığımızda endüstride az firma ve buna bağlı olarak az rekabet vardı. Ancak günümüzde serbest piyasa koşullarının altında firmalar arasındaki rekabet üst seviyededir. Firmalar, teknolojideki gelişmeleri günlük kullanıma uygun hale getirerek müşteri isteklerindeki değişikliklere çabuk cevap vermek zorundadır. Sonuçta üretim-envanter sistemleri için dinamik karakteristiğe sahip modele ihtiyaç duyulur. Firmalar stok seviyesini minimum tutmak ve depolama giderlerini azaltmak istemekte bunun yanında da satışların mevsimsel artışı veya azalması gibi durumlara karşı da üretim ve envanter seviyelerini kontrol etmek istemektedirler. Çünkü günümüz rekabetçi piyasasında avantaj sağlamak için, zamanı iyi kullanmak en büyük kaynaktır.

Envanter yapıları gibi iş sistemlerinin modellenmesinde; sistem dinamikleri tekniği, tutarlı sistem tanısı tekniği (Viable System Diagnosis), stratejik varsayım testi (strategic assumption surfacing and testing), interaktif planlama (interactive planning), yumuşak sistem metodolojisi (soft system methodology), ve kritik sistem buluşsal yöntemler tekniği gibi tekniklerle modellenmiştir. Envanter yapıları konusunda yapılan çalışmaların başlıcaları Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2'de gösterilmiştir. Bu tabloda kontrol modelinin cinsi (ayrık, sürekli), kontrol seviyesi (tüketiciye kadar uzanan, fabrika çıkışına kadar uzanan, imalat sonuna kadar), gelişme süreci (dinamik benzetim, teorik çalışma ve ispata yönelik benzetim), ve modelde kullanılan değişkenler (tahmin, envanter pozisyonu, referans seviyesi) ve gözden geçirme yöntemi belirtilmiştir.

Envanter yapıları ilk kez Nobel ödüllü Herbert A. SIMON (1952) tarafından katı sistem modeli (hard system models) ile Laplace Transformasyonu kullanılarak analiz edilmiştir. Forrester (1961) sistem dinamiği yöntemini kullanarak Dynamo adı verilen ve envanter yapılarının davranışını açıklayan bir program geliştirmiştir.

Sharp ve Henry (1979) Ziegler-Nichols yöntemi ile sistemi kontrol etmiştir. Towill(1982), blok diyagramlarını, Laplace transformasyonunu ve düzey katsayı modellerini (co-efficient plane models) kullanarak envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sisteminin modelini ortaya çıkarmıştır. (IOBPCS). John (1994) bu yapıya ara ürün (WIP) değişkenini eklemiş ve, Deziel ve Eilon (1967)'un lineer üretim kontrol sisteminin genel bir modellemesini yapmıştır(APIOBPCS).

Çizelge 2.1 : Envanter yapıları hakkında yapılan çalışmalar.

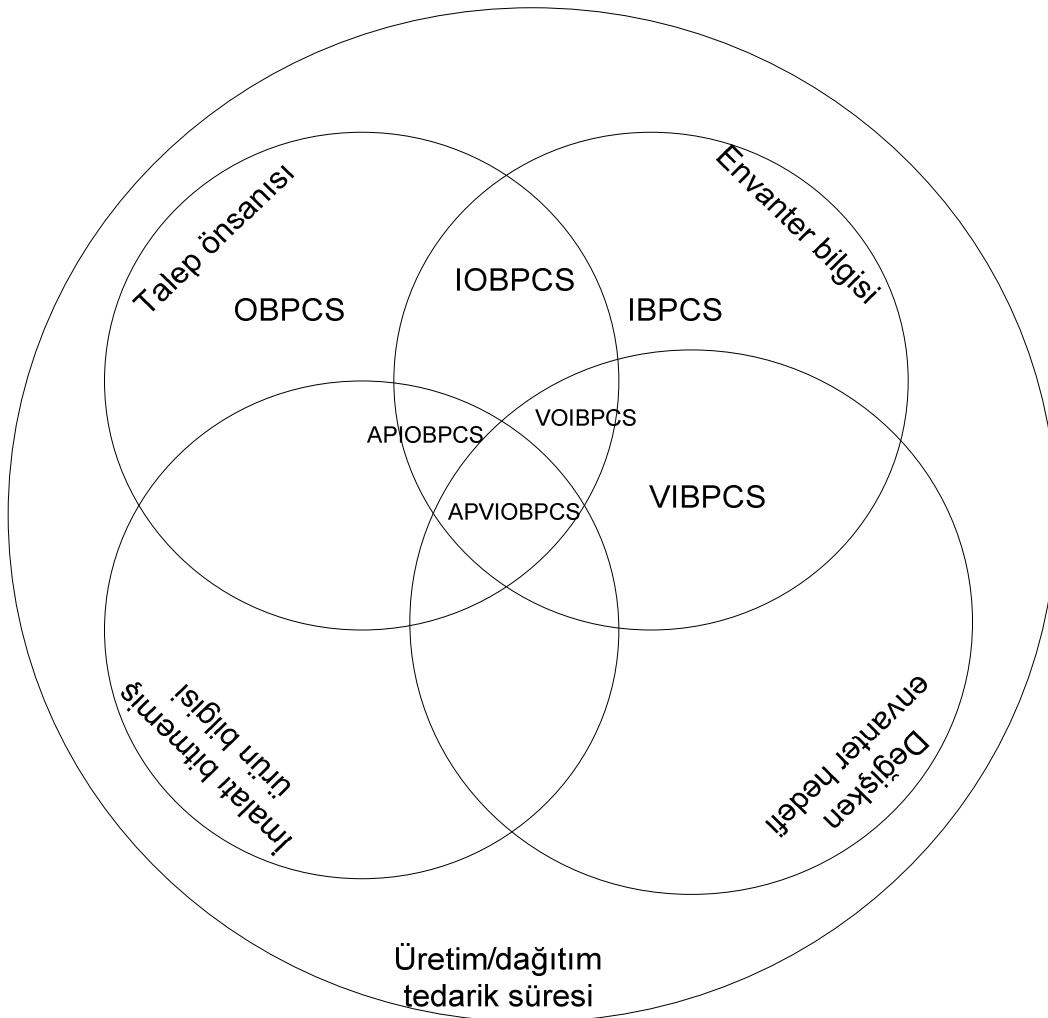
Kontrol yöntemi	GELİŞTİRİLEN MODELLER			MODEL UYGULAMA BİLEŞENLERİ			
	Kontrol seviyesi	Kontrol modeli	Gelişim süreci	Tahmin	Envanter pozisyonu	İstenen referans seviyesi	Gözden geçirme yöntemi
Sistem dinamikleri (Forrester 1961)	Tedarik zinciri	Sürekli	Dinamik benzetim	X	X	X	Sürekli
Tedarik zinciri dinamiklerini yumuşatma (Wikner 1991)	Tedarik zinciri	Sürekli	Dinamik benzetim	X	X	X	Sürekli
Sistem basitleştirilmesi (Wikner 1992)	Tedarik zinciri	Sürekli	Teorik / benzetim	X	X	X	Sürekli
VMI tedarik zinciri (Disney ve Towill 2002)	Tedarik zinciri	Ayrık	Teorik / benzetim	X	X	X	Sürekli
Talep değişimine karşı hızlı envanter kurtarma(Towill 1982)	Fabrika	Sürekli	Teorik / benzetim	X	X	X	Sürekli

Çizelge 2.2 : Envanter yapıları hakkında yapılan çalışmalar.

	GELİŞTİRİLEN MODELLER			MODEL UYGULAMA BİLEŞENLERİ			
	Kontrol seviyesi	Kontrol modeli	Gelişim süreci	Tahmin	Envanter pozisyonu	İstenen referans seviyesi	Gözden geçirme yöntemi
Plan karar verme desteği (Towill 1997)	Fabrika	Sürekli	Teorik / benzetim	X	X	X	Sürekli
PID ile envanter kontrolü (White 1999)	Fabrika	Sürekli	Teorik / benzetim	X	X	X	Sürekli
Genetik algoritma (Disney 2000)	Fabrika	Sürekli	Teorik / benzetim	X	X	X	Sürekli
Üretim kontrol (Wiendahl ve Breithaupt 2000)	Fabrika	Sürekli	Teorik / benzetim	X	X	X	Sürekli
WIP in kesin kontrolü (Wikner 1994)	Hücre	Sürekli	Teorik / benzetim		X	X	periyodik
PID ile envanter kontrolü (Grubbström ve Wikner 1996)	Hücre	Sürekli	Teorik / benzetim		X	X	Sürekli
Tetik seviyesi ile yenileme(Grubbström ve Wikner 1996)	Hücre	Sürekli	Teorik / benzetim		X	X	sürekli ve periyodik

2.2 Envanter Kontrol Sistemleri Ailesi

Envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemi ailesi (IOBPCS) , talep tahmini (demand forecast) , envanter bilgisi (inventory feedback loop) , imalatı bitmemiş ürün bilgisi (work in progress) ve değişken envanter hedefi (variable inventory target) gibi üretim sürecini etkileyen kavramların birinin ya da birkaçının birlikte göz önüne alınmasıyla ortaya çıkmış bir ailedir. Şekil 2.1 de ailenin şemasal gösterimi yer almaktadır.



Şekil 2.1 : Üretim kontrol sistemleri ailesi.

Sadece talep tahmininin kapsandığı, sipariş tabanlı üretim kontrol sistemi (OBPCS), sadece envanter bilgisinin kapsandığı, envanter tabanlı üretim kontrol sistemi (IBPCS), envanter bilgisi ve değişken envanter hedefinin kapsandığı, değişken envanter hedefi tabanlı üretim kontrol sistemi (VIBPCS), talep tahmini ve envanter bilgisinin birlikte dikkate alındığı, envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemi (IOBPCS) olarak adlandırılmıştır.

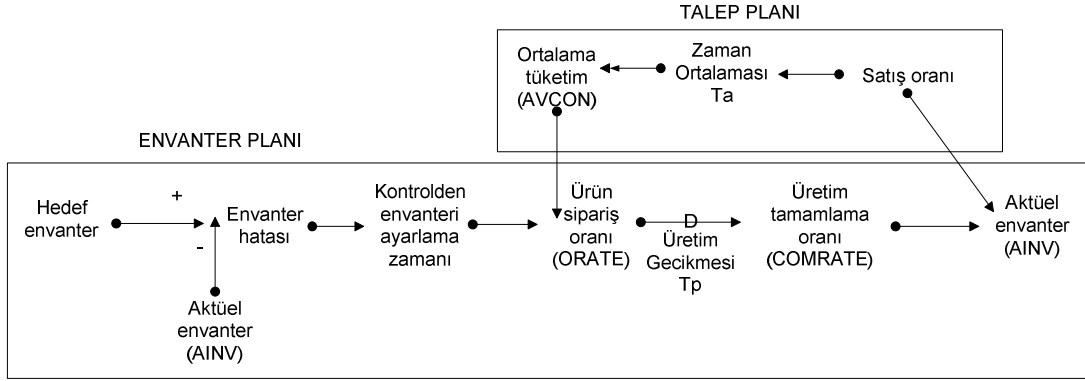
Envanter bilgisi, sipariş tahmini ve değişken envanter hedefinin birlikte düşünüldüğü, değişken envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemi (VIOBPCS), talep tahmini, envanter bilgisi ve imalatı bitmemiş ürün bilgisini birlikte barındıran üretim sistemi de otomatik ara ürün envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemi (APIOBPCS) olarak adlandırılmıştır. Bunların dışında tüm kavramların birlikte dikkate alındığı sistemlerde otomatik ara ürün envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemi (APVIOBPCS) olarak adlandırılmıştır. Çizelge 2.3’de sistemlerin isimleri ve hangi sistemde hangi öğelerin bulunduğu ve bunların özellikleri (sabit, değişken) gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 : Üretim kontrol sistemleri ailesinde kullanılan değişkenler.

	Müşteri talebi	Envanter hedefi	Ara ürün hedefi
Sipariş tabanlı üretim kontrol sistemi	X	-	-
Envanter tabanlı üretim kontrol sistemi	-	Sabit	-
Envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemi	X	Sabit	-
Değişken envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemi	X	Değişken	-
Ara ürün envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemi	X	Sabit	Sabit
Ara ürün değişken envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemi	X	Değişken	Sabit
Otomatik ara ürün envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemi	X	Sabit	Değişken
Otomatik ara ürün değişken envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemi	X	Değişken	Değişken

2.3 Envanter Ve Sipariş Tabanlı Üretim Kontrol Sistemi

Envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemleri, satış bilgisi ve hedef envanter göz önüne alınarak oluşturulmuş envanter modelidir. Hedef envanterden ve satış oranından aktüel envanter bilgisine doğru çizilmiş akış diyagramı şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemi akış diyagramı.

Mevcut akış diyagramından blok yapısına geçildiğinde şekil 2.3'teki envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sisteminin blok yapısı ortaya çıkmıştır. Blok yapısındaki giriş çıkış değişkenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

DINV : referans envanter

AINV : aktüel envanter

EINV : envanter hatası

AVCON : ortalama tüketim

ORATE : sipariş oranı

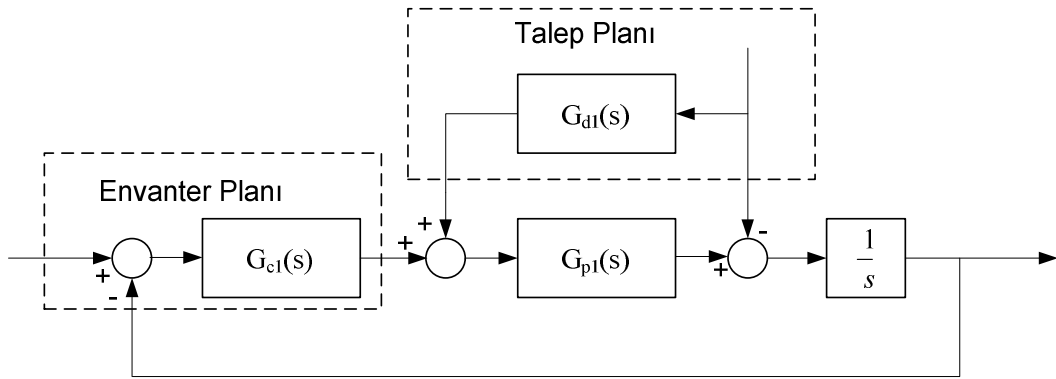
COMRATE : ürün üretim oranı

Yapı, talep planı ve envanter planı olmak üzere iki temel kısımdan oluşur:

Talep planı: Talep önemli bir faktördür. Eğer program algoritmasında ihmal edilirse matematiksel ve deneysel olarak gösterilebilir ki talepte basamak artışı olurken kalıcı envanterde açık oluşur. Ayrıca talebin ortalama değeri alınmazsa, üretim seviyesinde (oranında) aşırı dalgalanmalara sebep olacağı kabul edilmiştir. Bu doğrultuda üretim maliyetinin artması kaçınılmazdır. Bu yüzden market talebinin ölçümünün ortalaması alınır. Bu işi yapmanın en iyi yolu eksponansiyel yumuşatmadır. Eksponansiyel yumuşatma az detaya ihtiyaç duyduğundan , kısa vadeli tahmin için hassas

olduğundan, kontrol teorisindeki birinci dereceden gecikme kapalı bir yaklaşım sağlar.

Envanter planı:Envanterdeki sapmaları düzeltmedeki oran üretimdeki dalgalanmalara büyük etki yaptığından envanter planı göz önünde tutulmalıdır. Endüstride uygulamada üretim hedefleri envanter açığını tek zaman periyodunda kapamak için ayarlanır. Ancak ürünün üretilmesi ve ortaya çıkmasında ve envantere girmesinde birden çok zaman periyodu vardır. Bu tüm ürün tedarik süresi için devam eder. Bu arada ürünler ortaya çıkmaya (envantere girerken) başlarken, işçi tarafında hatırı sayılır miktarda ara ürün bulunur ki bunlarda, çaresiz, stok seviyesini istenen seviyenin ötesine yükseltir. Bu üretimin ortalama pazar talebinden daha az üretilmesi ile azaltılabilir ta ki envanter seviyesi istenen düzeye gelene kadar. Buna rağmen aynı hedef aşırılığa kaçabilir ve üretim oranlarının sürekli dalgalı olmasına neden olur. Stok seviyeleri, müşteri servis seviyesi ve envanter ofsetleri ile bağlantılıdır. Bunun sonucu olarak kesin envanter planı olmadan karar verilemez. Bu istenenler ile farklılıklar düzeltilebilir.

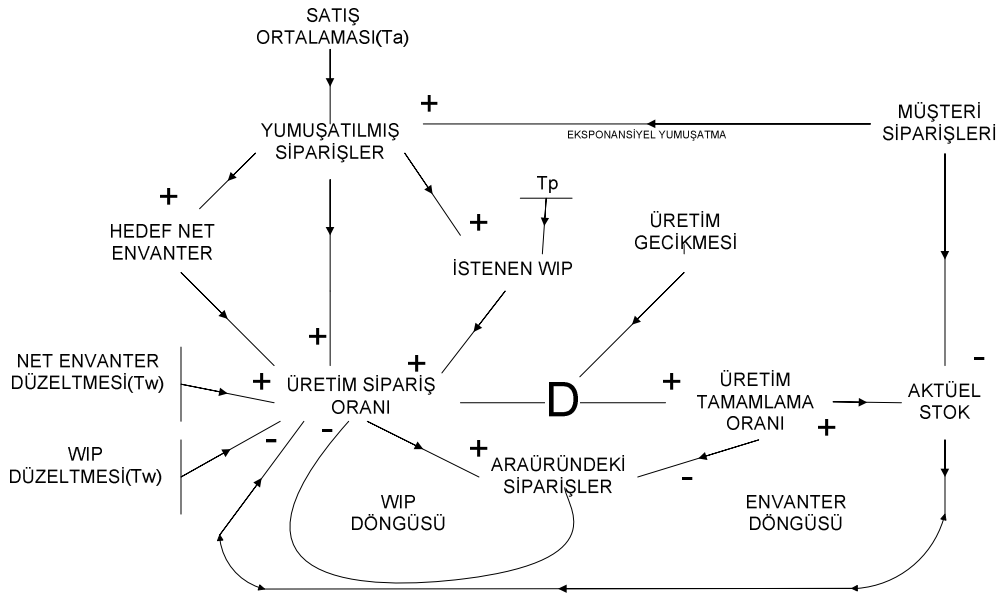


Şekil 2.3 : Envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemi blok yapısı.

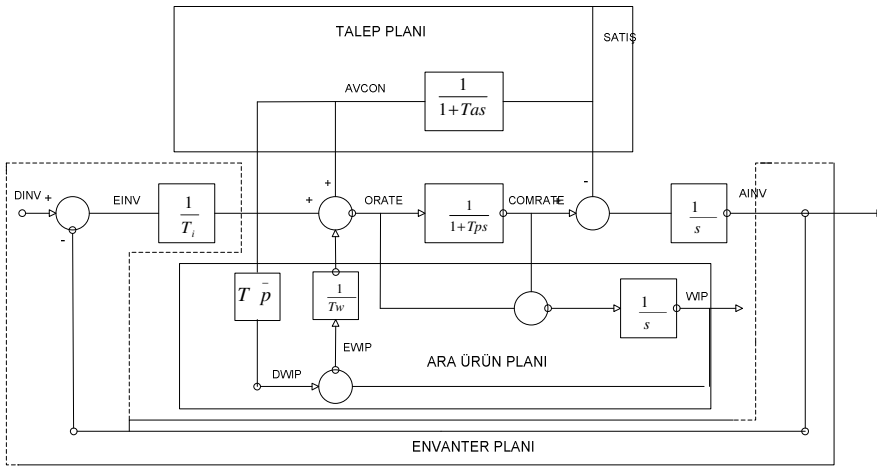
2.4 Otomatik Ara ürün Envanter Ve Sipariş Tabanlı Üretim Kontrol Sistemi

Otomatik ara ürün envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sisteminde; envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemindeki talep planı ve envanter planının yanı sıra ara ürün planı da bulunur. Ara ürün planı, işçi tarafında ne kadar ara ürün olduğuyula ilgilidir. İstenen ara ürün miktarı ortalama talep ve bu ürünlerin üretileceği zamanın, elde etme süresinin, fonksiyonudur. Ürün elde etme süresinin ayarlanmasının işçi tarafından alınan geri besleme ile yapıldığı öngörülmektedir.

Periyotlar boyunca ne zaman yetersiz ara ürün olsa, örneğin talepte gerçek bir artış olsa, ara ürün planı işçi tarafındaki ara ürün eksikliğine cevap vermek için işçi tarafındaki talepleri arttırması açısından faydalı olur. Buna rağmen envanter ve talep planlarının sistemdeki zaman gecikmelerinin etkilerini göz önüne almamasından kaynaklanan ve işçi tarafında aşırı ara ürün bulunan periyotlar da gerçekleşir. Şekil 2.4’de hedeflenen net envanter ve satış bilgisi ile aktüel envanter ve ara ürün döngüsü arasındaki akış diyagramı görülmektedir. Şekil 2.5’de ise şekil 2.4’deki akış diyagramı yardımıyla elde edilen blok yapısı belirtilmiştir.



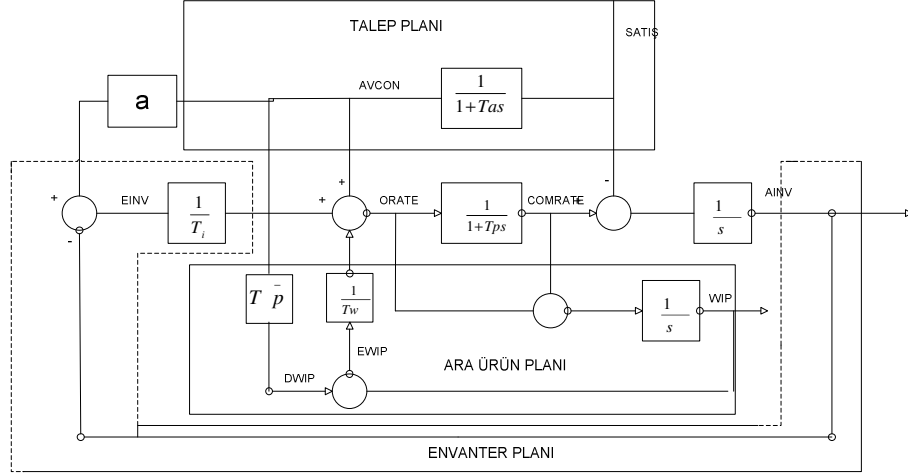
Şekil 2.4 : Otomatik ara ürün envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemi akış diyagramı.



Şekil 2.5 : Otomatik ara ürün envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemi blok yapısı.

2.5 Otomatik Ara Ürün Değişken Envanter ve Sipariş Tabanlı Üretim Kontrol Sistemleri

Otomatik ara ürün değişken envanter tabanlı üretim kontrol sistemlerinde sisteme eklenen a parametresi ile hedef envanterin değişken hale gelmesi sağlanır. A parametresi ile dinamik envanter hedefinin belirlenmesini sağlar. Şekil 2.6'da sistemin blok yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.6 : Otomatik ara ürün değişken envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemi blok yapısı.

2.6 Envanter ve Sipariş Tabanlı Üretim Kontrol Sistemleri İçin Kontrolör Tasarımı

Günümüzde tüm süreçlerin kontrol edilmesinde yaygın olarak kullanılan PI ve PID tipli kontrolörler envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemlerinde de oldukça başarılı performans sergilemektedirler. Wikner (2003) envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemlerinde süreç modelini

$$G_p(s) = \frac{1}{\left(\frac{T_p}{3}s + 1\right)^3} \quad (2.1)$$

şeklinde modellemiştir. Sistemde yer alan integratör ile kontrolör tasarlanması karmaşık bir sistem haline gelmektedir. Kontrolör tasarımının daha kolay yapılabilmesi açısından üçüncü mertebeden olan süreç modeli, birinci mertebeden ölü zamanlı sistem olarak modellenmiştir.

Bu model sistemdeki integratör ile birlikte birinci mertebeden ölü zamanlı ve integratör etkili sistem haline gelmiştir. Bu tipteki sistemler için PI ve PID kontrolörler ile ilgili tasarım yöntemleri incelenmiştir.

2.6.1 PI kontrolör tasarımı

Birinci mertebeden ölü zamanlı ve integratör etkili (BMÖZİE) sistem olara

$$G_P(s) = \frac{K_M e^{-sL}}{s(T_M s + 1)} \quad (2.2)$$

şeklinde modellenen sistem için

$$G_C(s) = K_C \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) \quad (2.3)$$

şeklindeki PI tipli kontrolör seçilmiştir. Shinskey (1994), Birinci mertebeden ölü zamanlı ve integratör etkili modeller için PI kontrolör tasarım yöntemlerini incelemiştir. İlk yöntemde K_c ve T_i parametrelerinin (2.4) ve (2.5)'deki gibi hesaplanmasını önermiştir.

$$K_C = \frac{0.556}{K_M(L + T_M)} \quad (2.4)$$

$$T_i = 3.7(L + T_M) \quad (2.5)$$

İkinci yöntemde ise yine ilk yönteme benzer şekilde K_c ve T_i parametrelerinin

$$K_C = \frac{0.952}{K_M(L + T_M)} \quad (2.6)$$

$$T_i = 4(L + T_M) \quad (2.7)$$

şeklinde hesaplanması önerilmiştir. Üçüncü yöntemde, O'Dwyer (2003), K_c ve T_i parametreleri, a ve b gibi iki farklı parametreye bağlı olarak

$$K_C = \frac{b}{K_M(L + T_M)} \sqrt{\frac{T_M^2}{a(L + T_M)^2} + 1} \quad (2.8)$$

$$T_i = a(L + T_M) \quad (2.9)$$

Şeklinde bulunmuştur. a ve b parametreleri, L/T_M oranına bağlı olarak seçilir. Süreç çıkışına etki eden basamak yük bozucusu ve süreç girişine etki eden yük bozucusuna karşı seçilmesi gereken a ve b parametreleri Çizelge 2.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.4 : PI kontrolör tasarımında a ve b parametrelerinin seçimi.

	L/T_M	a	B	L/T_M	a	b
Çıkış basamak yük bozucusu için	0.2	5.0728	0.5231	0.2	4.7565	0.5250
	0.4	4.9688	0.5237	0.4	4.7293	0.5252
	0.6	4.8983	0.5241	0.6	4.7107	0.5254
	0.8	4.8218	0.5245	0.8	4.6837	0.5256
	1	4.7839	0.5249	1	4.6669	0.5257
Giriş basamak yük bozucusu için	0.2	3.9465	0.5320	0.2	4.0337	0.5312
	0.4	3.9981	0.5315	0.4	4.0278	0.5312
	0.6	4.0397	0.5311	0.6	4.0278	0.5312
	0.8	4.0397	0.5311	0.8	4.0218	0.5313
	1	4.0397	0.5311	1	4.0099	0.5314

2.6.2 PID kontrolör tasarımı

O’Dwyer (2003), BMÖZİE şeklinde modellenmiş süreçler için PID kontrolör tasarım yöntemleri derlemiştir. PID kontrolör yapısı

$$G_c(s) = K_c \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right) \quad (2.10)$$

Şeklinde, içsel model kontrole dayalı PID

$$G_c(s) = K_c \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right) \frac{1}{T_f s + 1} \quad (2.11)$$

yapısındadır. İlk yöntemde K_c , T_i , ve T_d parametrelerinin

$$K_c = \frac{2}{3K_M L} \quad (2.12)$$

$$T_i = 0 \quad (2.13)$$

$$T_d = T_M \quad (2.14)$$

şeklinde olması önerilmiştir. İkinci yöntemde, K_c , T_i , ve T_d parametrelerini

$$K_c = \frac{xT_M}{K_M L} \quad (2.15)$$

$$T_i = 0 \quad (2.16)$$

$$T_d = T_M \quad (2.17)$$

şeklinde bulunmuştur. x parametresi farklı kazanç ve faz değerleri için 1.047, 0.785, 0.524, 0.393, 0.314 olarak hesaplanmıştır. Üçüncü yöntemde, Viteckova (2000), K_c , T_i , ve T_d parametreleri

$$K_c = \frac{x}{K_M L} \quad (2.18)$$

$$T_i = 0 \quad (2.19)$$

$$T_d = T_M \quad (2.20)$$

Olarak belirlenmiştir. x parametresi %0 aşım değeri için 0.368, %5 aşım değeri için 0.514, %10 aşım değeri için 0.581, %15 aşım değeri için 0.641, %20 aşım değeri için 0.696, %25 aşım değeri için 0.748, %30 aşım değeri için 0.801, %35 aşım değeri için 0.853, %40 aşım değeri için, 0.906, %45 aşım değeri için 0.957 ve %50 aşım değeri için 1.008 olarak hesaplamıştır.

Bir başka yöntemde PID parametreleri λ parametresine bağlı olarak

$$K_c = \frac{L + T_M + 2\lambda}{K_M (L + \lambda)^2} \quad (2.21)$$

$$T_i = L + T_M + 2\lambda \quad (2.22)$$

$$T_d = \frac{T_M (L + 2\lambda)}{T_M + L + 2\lambda} \quad (2.23)$$

belirlenmiştir. Ancak bu yöntemde λ 'nın seçiminin nasıl yapılacağı belirtilmemiştir. içsel model kontrole dayalı PID kontrolörün parametreleri

$$K_c = \frac{L + T_M + 3\lambda}{K_M (3\lambda^2 + 3\lambda L + L^2)} \quad (2.24)$$

$$T_i = L + T_M + 3\lambda \quad (2.25)$$

$$T_d = \frac{T_M(L + 3\lambda)}{T_M + L + 3\lambda} \quad (2.26)$$

$$T_f = \frac{\lambda^3}{3\lambda^2 + 3\lambda L + L^2} \quad (2.27)$$

olarak belirlenmiştir. λ parametresi

$$1.5L \leq \lambda \leq 4.5L \quad (2.28)$$

Kriterine göre seçilir. Farklı λ değerlerinde oluşan aşım ve yerleşme zamanı süreleri Çizelge 2.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.5 : Farklı λ değerleri için yerleşme zamanları ve aşım değerleri.

λ	Aşım (%)	Yerleşme Zamanı
1.5L	%58	6L
2.5L	%35	11L
3.5L	%26	16L
4.5L	%22	20L

Diğer bir İMK PID kontrolörü parametreleri Tan (1998) tarafından,

$$K_C = \frac{aT_M}{K_M L^2} \left(1 + \frac{L}{bT_M}\right) \quad (2.29)$$

$$T_i = cL + T_M \quad (2.30)$$

$$T_d = \frac{T_M L}{dT_M + 3L} \quad (2.31)$$

$$T_f = eL \quad (2.32)$$

Şeklinde belirlenmiştir. a, b, c, d ve e parametreleri Çizelge 2.6’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.6 : İMK PID kontrolörü parametreleri.

a	b	c	d	e
0.0337	0.1225	8.1633	0.1225	0.5549
0.0754	0.1863	5.3677	0.1863	0.4482
0.1344	0.2523	3.9635	0.2523	0.2863

λ değişkenine bağlı olarak bulunan diğer yöntemdeki İMK PID parametreleri

$$K_c = \frac{2(L + \lambda) + T_M}{K_M(\lambda^2 + 4\lambda L + 2L^2)} \quad (2.33)$$

$$T_i = 2(L + \lambda) + T_M \quad (2.34)$$

$$T_d = \frac{2T_M(L + \lambda)}{T_M + 2(L + \lambda)} \quad (2.35)$$

$$T_f = \frac{L\lambda^2}{\lambda^2 + 4\lambda L + 2L^2} \quad (2.36)$$

Şeklinde belirlenmiştir. λ parametresinin nasıl seçileceği belirtilmemiştir.

3. ORAN KONTROL YAPILARI

3.1 Giriş

Süreç kontrol problemlerinin çözümünde PID kontrolörlerin sıklıkla kullanıldığı ve maliyet/fayda oranı açısından çok başarılı olduğu görülmektedir. PID kontrolörler; birbirlerine seri kontrol, ileri yol kontrol, oran kontrol gibi farklı yöntemler ile bağlanması ile karmaşık süreç kontrol problemlerinin çözümü sağlanır.

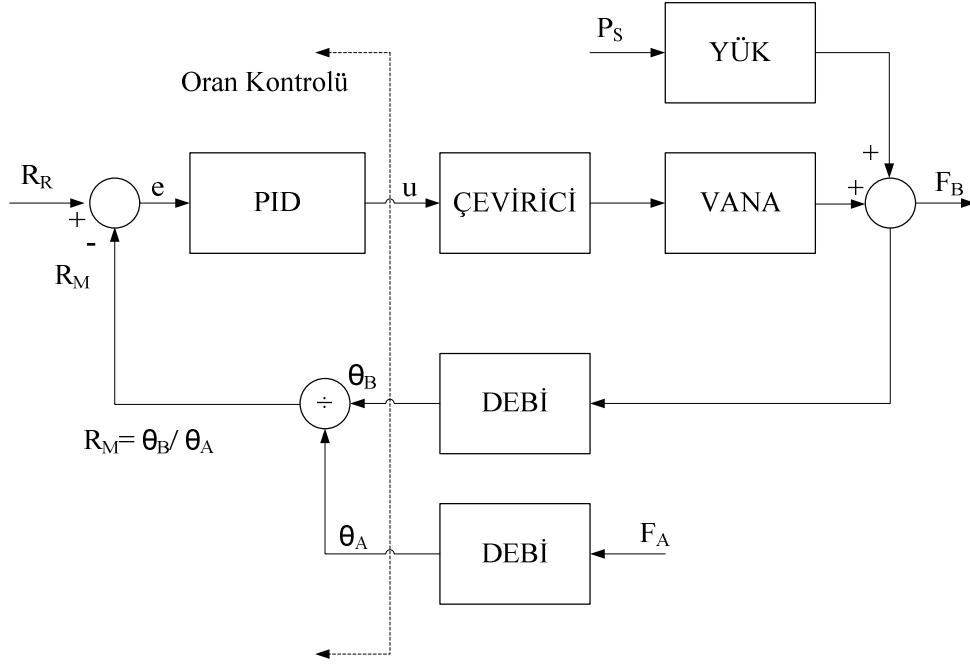
PID kontrolörlerin kullanıldığı karmaşık yapılara, oran kontrol yapıları örnek olarak verilebilir. Oran kontrol yapılarında amaç; süreç değişkenleri olan y_1 ve y_2 arasındaki oranın, referans değerindeki değişiklik veya bir yük bozucusu durumunda dahi istenen “a” oranında kalmasıdır (Hagglund 2001). Bu türden yapılara birçok süreç kontrol uygulamasında karşılaşılmaktadır. Örneğin, (i) bir yanma sisteminde havanın yakıt miktarına oranını optimum seviyede tutmak, (ii) kimyasal bir süreçte soğurucu içindeki buhar akışının sıvı akışına oranının sabit tutulması, (iii) karışım süreçlerinde katkı maddelerinin arasındaki oranı sabit tutmak, (iv) kimyasal süreçlerde atık buharı ile geri kazanılan buhar oranını sabit tutmak (Ou ve diğ., 2005). Örneklerde de görüldüğü üzere oran kontrol yapıları, süreç kontrol yapıları içinde önemli bir yer tutmaktadır. Oran kontrol yapılarında iki ayrı kapalı çevrim bulunur ve her çevrim için iki farklı kontrolör tasarlanır. Tasarlanan bu kontrolörler için PID kontrolörler tercih edilir.

3.2 Oran Kontrol Yapıları

Klasik oran kontrol yapıları genelde karışım süreçlerinde katkı maddelerinin arasındaki oranı sabit tutmak için kullanılmaktadır. Doğrudan ve dolaylı yaklaşım olmak üzere iki şekilde sınıflandırılır.

3.2.1 Doğrudan yaklaşım

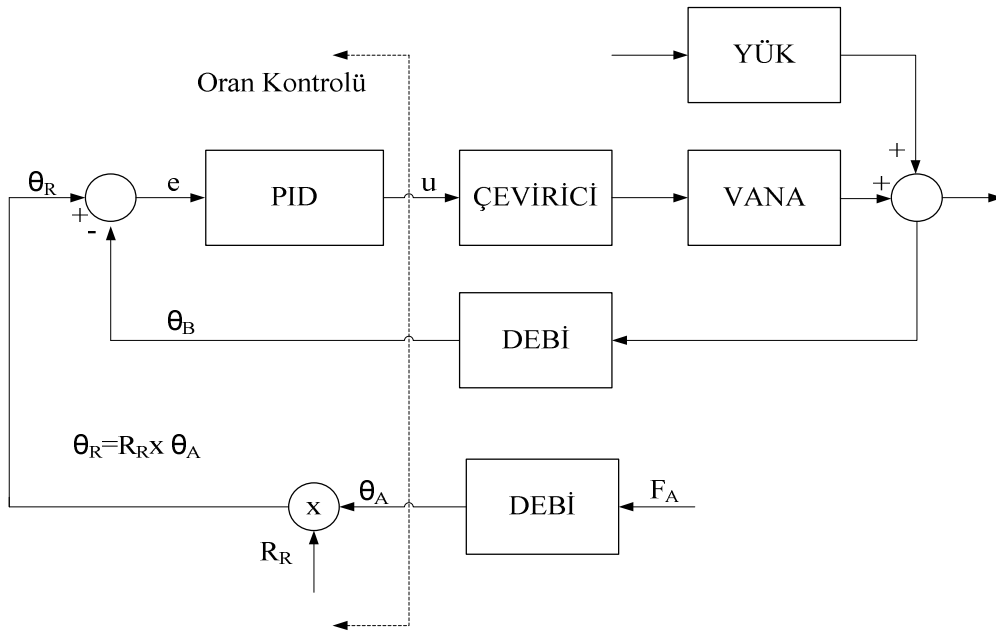
Bu yapıda kontrolsüz şekilde akan A akışkanı ve bir vana ile akışı kontrol edilen B akışkanı yer alır. Şekil 3.1’de bu yapıya ait blok şema görülmektedir.



Şekil 3.1 : Doğrudan yaklaşım oran kontrol yapısı.

A ve B akışkanlarının debi bilgisi oranlararak güncel debi bilgisi elde edilir. Elde edilen oranlanmış debi bilgisi referans değeri ile karşılaştırılarak oran hatası elde edilir ve bu hata PID kontrolör vasıtasıyla vanaya açma yada kapama yönünde sinyal göndererek B akışkanının debisinin ayarlanması ile istenilen oranın elde edilmesi sağlanır ; Love(2007).

3.2.2 Dolaylı yaklaşım



Şekil.3.2 : Dolaylı yaklaşım oran kontrol yapısı.

Şekil 3.2’de gösterilen endirekt yaklaşımda ise direkt yaklaşımdan farklı olarak A akışkanının debisi referans debi değeri ile ölçeklenerek B akışkanının debisi ile karşılaştırılır. Oran hatası yine PID kontrolör aracılığıyla vanaya gönderilecek açma yada kapama sinyali ile B akışkanının debisinin ayarlanmasını sağlar ; Love (2007).

3.2.3 Doğrudan ve dolaylı yaklaşımın karşılaştırılması

Endirekt yaklaşım, direkt yaklaşımla karşılaştırıldığında birçok açıdan daha kullanışlı bir yöntemdir. Endirekt yaklaşımda referans işaret A akışkanına bağlı olarak oluşturulurken direkt yaklaşımda oran iki akışkanın değerine göre belirlenir, Shinskey (2005). Direkt yaklaşımda sistemde bölme işlemi

$$R=B/A \quad (3.1)$$

şeklindedir ve çevrim kazancı “dR/dB”

$$dR/dB=1/A=R/B \quad (3.2)$$

görüldüğü üzere kazanç, B’nin akış debisi ile değişmektedir. Ayrıca sistemdeki hata duyarlılığı “de/dθ_A” direkt ve endirekt yaklaşım için

$$de/d\theta_A=d(R_R-\theta_B/\theta_A)/d\theta_A=\theta_B/\theta_A^2=R/\theta_A \quad (3.3)$$

$$de/d\theta_A=d(R_R \times \theta_B - \theta_A)/d\theta_A=R_R \quad (3.4)$$

şeklinde elde edilir. Denklem (3.3) ve (3.4)’dende görüldüğü üzere hata duyarlılık ifadesi endirekt yaklaşımda doğrusaldır.

3.3 Dinamik Oran Kontrol Yapıları

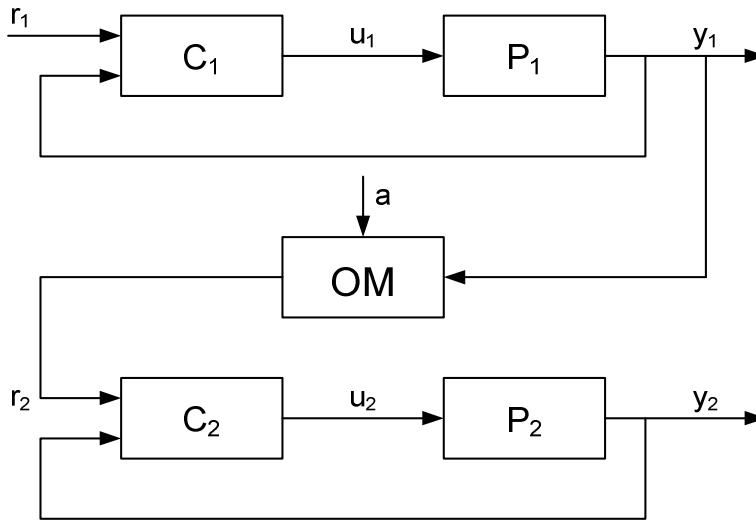
Oran kontrol uygulamalarında, Oran Merkezi (OM), Çapraz Sınırlamalı Kontrol (ÇSK), Harmanlama Merkezi (HM), Dinamik Harmanlama Merkezi (DHM) olmak üzere dört temel yapı kullanılmaktadır. Bu yapılardan OM endüstride daha sık kullanılır. OM yapısı da seri ve paralel bağlı oran kontrol yapıları olmak üzere iki farklı şekilde oluşturulabilir.

3.3.1 Seri oran kontrol yapıları

Şekil 3.3’de görüldüğü üzere birinci kapalı çevrim çıkışının (y₁) OM bloğunun girişine bağlanması suretiyle oluşturulur ve seri bağlı OM olarak adlandırılır. İkinci kapalı çevrimin referans işareti OM bloğu ile

$$r_2(t) = ay_1(t) \quad (3.5)$$

şeklinde oluşturulur (Shinskey, 1996). Bu yapıda iki kapalı çevrim sistem birbirlerine kaskad olarak birleştirilmiştir. Referans işaretinde oluşacak bir değişiklikte ikinci çevrim dinamiği ve ölü zaman sebebiyle y_2 çıkışı y_1 çıkışına göre gecikerek istenilen y_2/y_1 oranının geçici halde korunamamasına neden olur (Hauglund 2001). Sadece kalıcı halde istenen “a” oranı sabit kalır. Oran kontrol yapılarında genel olarak daha iyi performans elde etmek için dinamiği hızlı olan sistem, ikinci çevrim içinde yer alır.



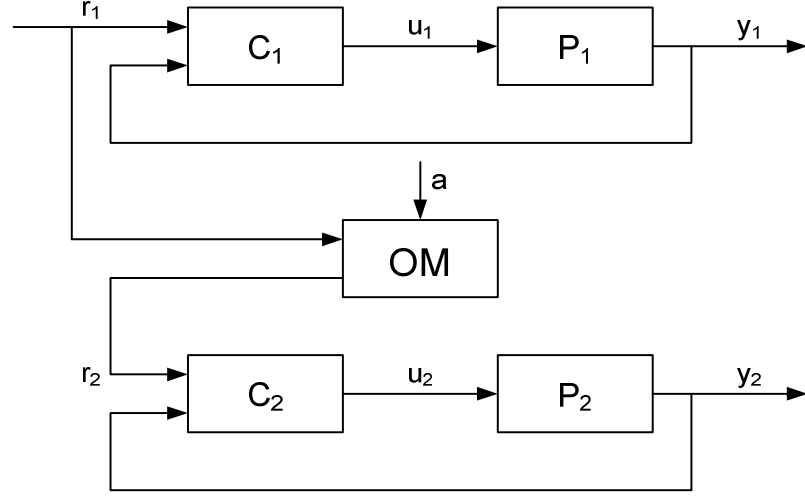
Şekil 3.3 : Seri bağlı oran merkezi yapısı.

3.3.2 Paralel oran kontrol yapısı

Seri oran kontrol yapılarındaki geçici hal davranışını düzeltmek için OM bloğunun girişine birinci çevrime ait referans işareti bağlanabilir. Böylece Şekil 3.4'deki paralel bağlı OM yapısı elde edilir. OM bloğunun çıkışı

$$r_2(t) = ar_1(t) \quad (3.6)$$

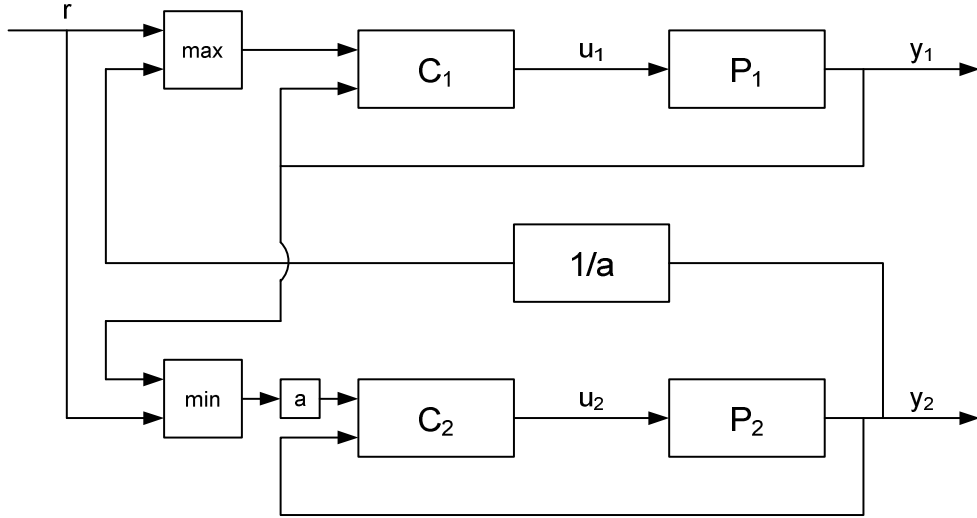
şeklinde belirlenir. Referans işaretinde gerçekleşecek bir değişiklikte ikinci çevrimin dinamiğinden bağımsız olarak herhangi bir gecikme meydana gelmez. Sürekli halde de istenilen oran “a” korunur. Ancak kapalı çevrimlerden birine etki edecek yük bozucusu karşısında veya sistemlerde oluşabilecek bir parametre değişikliğinde diğer sistemin bunu algılamamasına ve istenen oran kontrol yapısının bozulmasına sebep olacaktır. Özetle her iki çevrim birbirinden bağımsız olarak çalışacaktır.



Şekil 3.4 : Paralel bağlı oran merkezi yapısı.

3.3.3 Çapraz sınırlamalı oran yapısı

Diğer geleneksel oran kontrol yapısı Şekil 3.5'teki Çapraz Sınırlamalı Kontrol (ÇSK) yapısıdır (Gomes, 1985).

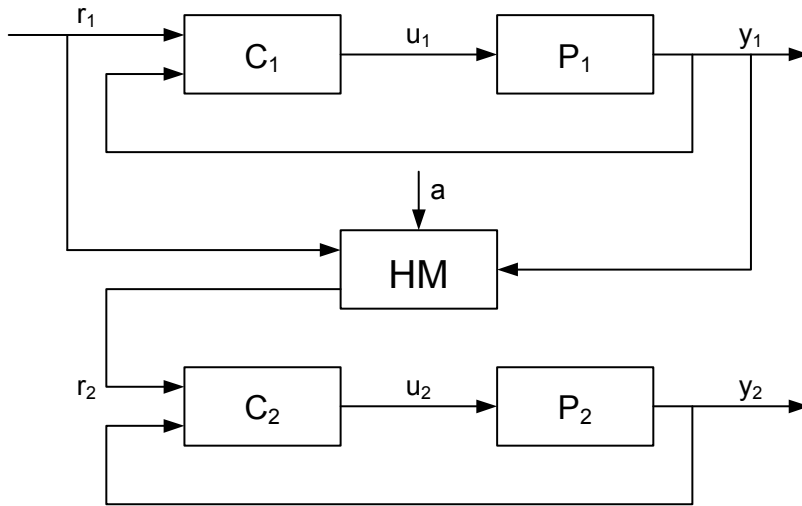


Şekil 3.5 : Çapraz sınırlamalı oran kontrol yapısı.

ÇSK oran kontrol yapısı yanma reaksiyonu süreçlerinde yakıt ve oksijen oranının sabit tutularak yakıt tüketimi sağlanmasında kullanılır. Bu yapıda yer alan min ve maks blokları ile herhangi bir çevrimde oluşacak yük bozucusuna karşı referans değeri belirlenir.

3.3.4 Harmanlama merkezli oran kontrol yapısı

Oran merkezine sahip oran kontrol yapılarının en büyük dezavantajı ikinci çevrimin çıkışı y_2 'nin birinci çevrimin çıkışı y_1 'i belirli bir gecikme ile takip etmesidir. Bunun önlenmesi için Hagglund (2001) hem birinci çevrimin girişini (r_1) hem de birinci çevrimin çıkışını (y_1) ikinci çevrimin girişinin oluşturmasında kullanarak çözmüştür. Harmanlama merkezi (HM) olarak tanımlanan yapı Şekil 3.6'te görülmektedir.



Şekil 3.6 : Harmanlama merkezi kullanılarak oluşturulan oran kontrol yapısı.

HM yapısında ikinci çevrimin referans işareti

$$r_2(t) = a(\gamma r_1(t) + (1 - \gamma)y_1(t)) \quad (3.7)$$

ifadesi ile hesaplanır. Burada γ , r_2 referansının oluşturulmasında r_1 referansı ve y_1 çıkışı arasındaki ilişkiyi belirleyen bir ağırlık çarpanıdır. (4.3) denkleminde de anlaşılacağı üzere $\gamma=0$ seçilmesi durumunda Şekil 3.3'deki seri oran kontrol yapısı, $\gamma=1$ seçilmesi durumunda ise Şekil 3.4'deki paralel oran kontrol yapısı oluşturulabilir. HM yapısı, iki yöntemin birlikte kullanılmasına olanak sağlar. Hagglund (2001) önerdiği oran kontrol yapısında PI kontrolörü

$$C_j(s) = K_{c_j} \left(1 + \frac{1}{T_{I_j} s} \right) \quad (j=1,2) \quad (3.8)$$

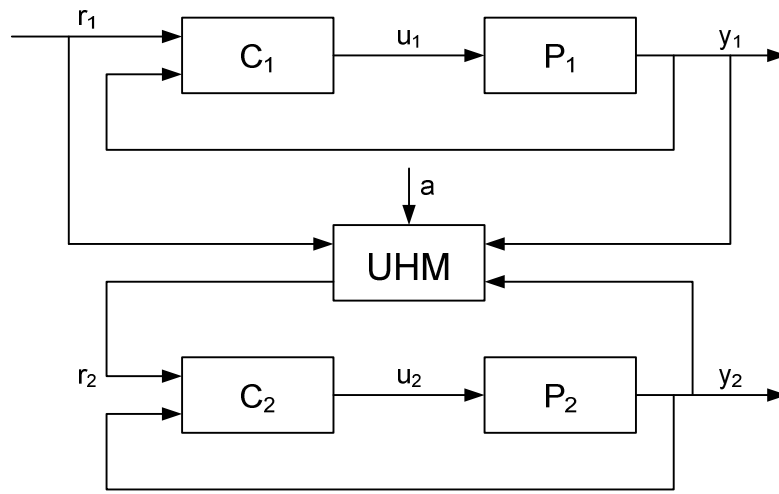
Şeklinde kullanmış ve HM ağırlık çarpanı γ 'nın değerini

$$\gamma = \frac{T_{I_2}}{T_{I_1}} \quad (3.9)$$

Şeklinde hesaplanabileceğini belirtmiştir.

3.3.5 Uyarlamalı harmanlama merkezli oran kontrol yapısı

Hauglund (2001) yılında yaptığı çalışmada γ ağırlık çarpanının uyarlamalı olarak belirlenmesine yönelik bir yöntem de önermiştir. Şekil 3.7’de uyarlamalı harmanlama merkezine (UHM) ait blok diyagram görülmektedir.



Şekil 3.7 : Uyarlamalı harmanlama merkezi kullanılarak oluşturulan oran kontrol yapısı.

Uyarlamalı harmanlama merkezinde y_1 ve y_2 çıkışları kullanılarak γ ağırlık çarpanı belirlenir. Uyarlama mekanizması aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$\frac{d\gamma}{dt} = \frac{S}{T_i} (ay_1 - y_2) \quad (3.10)$$

Denklem (3.10) da gösterildiği üzere γ ağırlık çarpanı iki sistem çıkışının farkının integrali alınarak bulunur. $S=0$ olduğunda veya $ay_1=y_2$ olduğunda denge sağlanır. T_i integral zamanı, uyarlama hızını belirler. T_i , C_1 ve C_2 kontrolörlerinin en uzun integral zamanına sahip olanının 10 katı olarak alınması önerilmiştir (Hauglund 2001). S işaret parametresi +1, -1 ve 0 değerlerini alabilmektedir. Bu parametrenin değerinin bulunmasında kullanılan algoritma Çizelge 3.1’de verilmiştir.

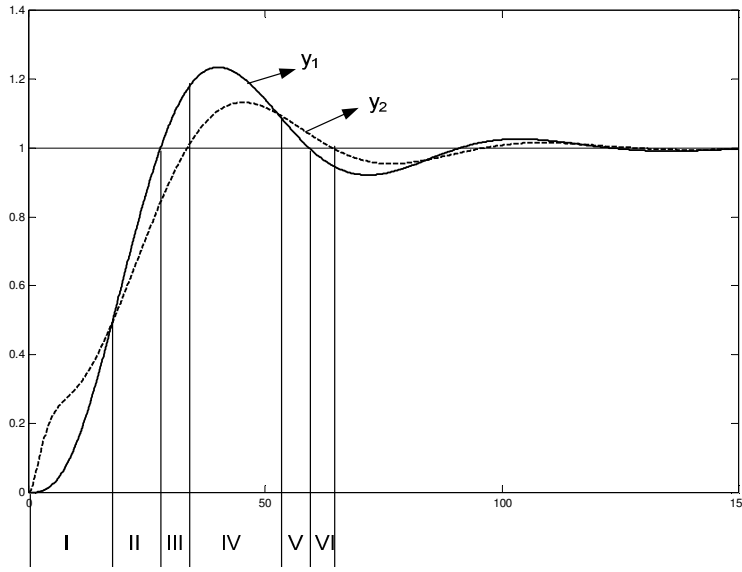
Çizelge 3.1 : S işaret parametresinin belirlenmesi.

EĞER $r_1 > \text{MAKS}(y_1, y_2/a) + \text{eps}$ O HALDE $S=1$

EĞER $r_1 < \text{MIN}(y_1, y_2/a) - \text{eps}$ O HALDE $S= -1$

DİĞER $S=0$

Sistem çıkışları referans değere yaklaştığında uyarlamamanın durması için histerez (eps) yapısı algoritmaya eklenmiştir. Ayrıca, sistem çıkışlarının gürültülere oranının küçük olmaya başladığında da uyarlama duracaktır.



Şekil 3.8 : Uyarlamalı harmanlama merkezinde incelenen çalışma bölgeleri.

Yeşil (2007b) oran kontrol yapılarında klasik sistem çıkışlarını 6 farklı çalışma bölgesinde incelemiştir, S parametresi ile ilgili Çizelge 3.2'yi elde etmiştir. Bu tabloda her çalışma bölgesinde oran hatası ($ay_1 - y_2$), her iki sistemin referans değere göre hatası ($r_1 - y_1, r_1 - y_2$), S işareti, γ değerleri arasındaki fark ve y_2 'nin hedef değeri yer almaktadır.

Çizelge 3.2 : Oran kontrol yapılarında klasik sistem çıkışlarına ilişkin inceleme.

BÖLGE	I	II	III	IV	V	VI
Karşılaştırma (ay_1-y_2)	-	+	+	+	-	-
$e_1=r_1-y_1$	-	-	+	+	+	-
$e_2=r_1-y_2$	-	-	-	+	+	+
S	+1	+1	0	-1	-1	0
$\Delta\gamma$	-	+	0	-	+	0
y_2 'nin hedefi	y_1	r_1	.	y_1	r_1	.

3.3.6 Değişken ağırlık çarpanlı oran kontrol yapısı

Visioli (2005b) , harmanlama merkezinde yer alan γ ağırlık çarpanı yerine zamana bağlı $\gamma(t)$ parametresini önermiştir. Çevrimiçi çalışan bu yeni uyarlama yönteminde $\gamma(t)$ parametresi bir PI tipindeki kontrolörün çıkışı tarafından bulunmaktadır. Uyarlama mekanizmasının girişi;

$$e_r(t) = y_2(t) - ay_1(t) \quad (3.11)$$

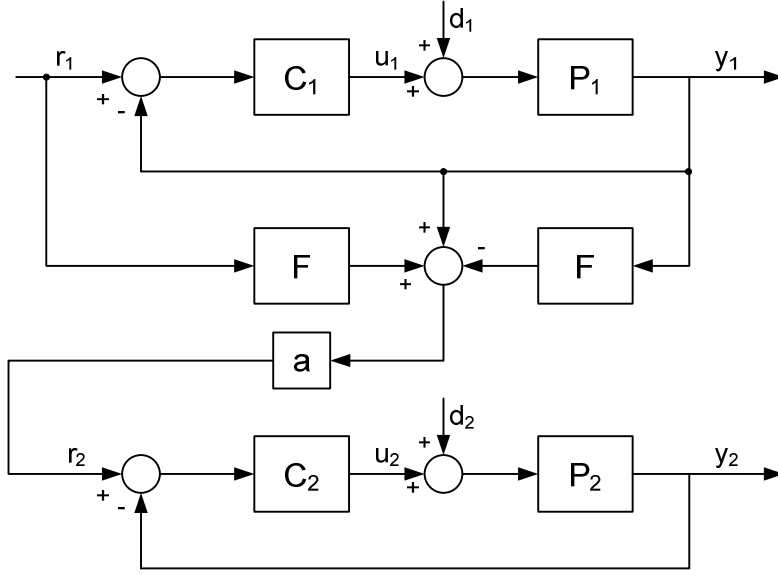
şeklindeki anlık oran hatası ve bir sabit değer olan γ^* nın toplanması ile belirlenir. Geçici hal davranışının başında $y_2(t) > ay_1(t)$ koşulunun sağlanması için $L_1 > L_2$ seçilmelidir. Buna bağlı olarak ölü zamanı büyük olan sistem birinci çevrim içinde yer alır. Bu koşullarda $\gamma(t)$ zamanla değişen ağırlık çarpanı

$$\gamma(t) = \begin{cases} 0 & , \text{eger } L_1 > L_2 \text{ ve} \\ & t < t_0 + L_1 - L_2 \\ \gamma^* + K_p \left(e_r(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e_r(\tau) d\tau \right) & , \text{diğer} \end{cases} \quad (3.12)$$

şeklinde hesaplanır. t_0 referans işaretinin verildiği andır. Bu yapı ile iki sisteminde çıkışı geçici hal davranışına aynı anda başlamaya zorlanmış olur.

3.3.7 Dinamik harmanlama merkezli oran kontrol yapısı

Visioli (2005a), yaptığı diğer bir çalışmada HM ve γ ağırlık çarpanı yerine bir dinamik sistem tasarlayarak Şekil 3.9'da gösterilmekte olan yapıyı önermiştir. Oran kontrol yapılarında, kapalı çevrim sistem çıkışları y_1 ve y_2 nin birbirlerini belli bir "a" oranıyla takip etmesi gerekliliğinden yola çıkarak Visioli (2005a) birinci



Şekil 3.9 : Harmanlama dinamiği içeren oran kontrol yapısı.

sistem çıkışından referans işaretine olan transfer fonksiyonunu ikinci sistem çıkışından yine referans işaretine olan transfer fonksiyonuna eşitleyerek

$$F(s) = \frac{C_1(s)P_1(s)}{C_2(s)P_2(s)} \quad (3.13)$$

şeklinde F(s) dinamik filtresini elde etmiştir. Bu yöntemde P₁ ve P₂ sistemleri birinci mertebeden ölü zamanlı sistemler

$$P_1(s) = \frac{K_1}{T_1s + 1} e^{-L_1s} \quad (3.14)$$

$$P_2(s) = \frac{K_2}{T_2s + 1} e^{-L_2s} \quad (3.15)$$

olarak modellenmiş, her iki çevrime ait C₁ ve C₂ kontrolörleri denklem (3.8) te belirtilen PI tipli kontrolör olarak seçilmiştir. T_{i1}= T₁ ve T_{i2}= T₂ seçilerek F(s) transfer fonksiyonu

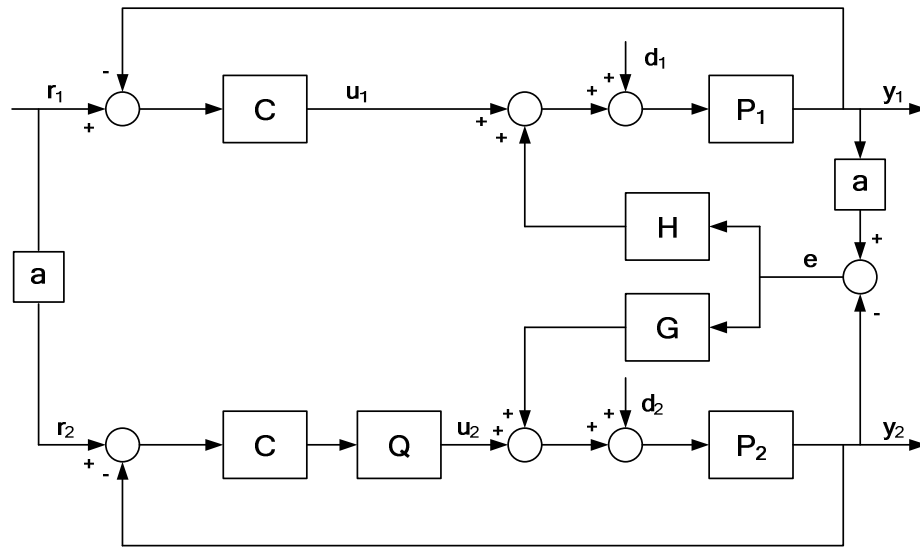
$$F(s) = \frac{K_1 K_{P1} T_{i2}}{K_2 K_{P2} T_{i1}} e^{-(L_1 - L_2)s} \quad (3.16)$$

şeklinde elde edilir. Bu harmanlama dinamiğinin nedensel olabilmesi için ölü zamanı daha büyük olan sistemin birinci kapalı çevrimde yer almalıdır. Oran kontrol yapıları

ile ilgili yapılan çalışmalarda görülmektedir ki “a” oranı sadece, referans değerindeki değişiklikte veya birinci çevrimde oluşacak yük bozucusu karşısında korunmaktadır. Yapılan çalışmalarda ikinci çevrimde oluşacak yük bozucusu karşısında “a” oranı korunamaması; Visioli Veronesi (2004); ikinci sistemde yer alan kontrolörün tasarımına önem verilmesine sebep olmuştur. Visioli (2005a) bu kontrolörün tasarımında duyarlılık fonksiyonunu (M_s) önerilen değer 2 den daha büyük seçip ikinci sistemde oluşacak yük bozucusunu hızlıca bastırmaya çalışmıştır.

3.3.8 Yük bozucusu bastırabilen oran kontrol yapısı

Visioli ve Veronesi (2004) tarafından önerilen şekil 3.10’daki yeni oran kontrol yapısı ile ikinci sistemde oluşacak yük bozucusuna karşı da istenilen “a” oranının korunabilmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.10 : Yük bozucusu bastırabilen dinamik harmanlama merkezli oran kontrol yapısı.

Bu yapıda, iki sürecin birinci mertebeden ölü zamanlı modeli denklem (3.14) ve (3.15) deki gibi elde edilir. Ölü zamanı büyük olan model birinci sistem olarak seçilir. $Q(s)$ transfer fonksiyonu

$$Q(s) = \frac{P_1(s)}{P_2(s)} = \frac{K_1(T_2s + 1)}{K_2(T_1s + 1)} e^{-(L_1 - L_2)s} \quad (3.17)$$

şeklinde seçilerek kontrolörden bağımsız olarak her iki çevriminde tamamlayıcı duyarlılık fonksiyonunun aynı olması sağlanır. Böylece modelleme hatası olmaması

durumunda, geçici hal davranışında “a” oranı korunur.

Denklem (3.8) deki gibi PI tipli bir kontrolör seçilerek kutup-sıfır götürmesine dayalı bir tasarım yöntemi izlenmiştir.

Q(s) filtresi ile geçici hal davranışı düzeltilirken H(s) ve G(s) filtreleri ile de iki çevrimin yük bozucularına karşı performansı iyileştirilir.yük bozucularının bastırılması için H(s) ve G(s) ve aşağıdaki gibi seçilmesi önerilmiştir:

$$H(s) = C(s) = K_c \frac{(T_1s + 1)}{s} \quad (3.18)$$

$$G(s) = C(s) \frac{T_2s + 1}{T_1s + 1} = K_c \frac{(T_2s + 1)}{s} \quad (3.19)$$

H(s) ve G(s) filtreleri ile C(s) kontrolöründe yer alan Kc statik kazancının bulunması için oran hatası ve yük bozucuları d₁ ve d₂ arasında tanımlı iki transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$F_1(s) = \frac{e(s)}{d_1(s)} = \frac{aP_1(s)}{1 + P_1(s)(aH(s) + C(s) + P_2(s)G(s))} \quad (3.20)$$

$$F_2(s) = \frac{e(s)}{d_2(s)} = \frac{aP_2(s)}{1 + P_1(s)(aH(s) + C(s) + P_2(s)G(s))} \quad (3.21)$$

P₁ ve P₂ modelinden gelen ve F₁(s) ve F₂(s) transfer fonksiyonlarında bulunan ölü zaman ifadelerine birinci mertebeden Taylor yaklaşımı ($e^{-Ls} \cong 1 - Ls$) yapılırsa transfer fonksiyonları

$$F_1(s) = -\frac{aK_1s}{(T_1s + 1)p(s)} e^{-L_1s} \quad (3.22)$$

$$F_2(s) = -\frac{aK_2s}{(T_2s + 1)p(s)} e^{-L_2s} \quad (3.23)$$

şeklinde elde edilir. Bu ifadelerdeki p(s)

$$p(s) = (1 - aK_1K_cL_1 - K_1K_cL_1 - K_2K_cL_2)s + (aK_1K_c + K_1K_c + K_2K_c) \quad (3.24)$$

şeklinde tanımlanarak $F_1(s)$ ve $F_2(s)$ transfer fonksiyonlarının ikinci meretebeden olduğu görülmüş olur. K_c tasarım parametresinin seçimiyle kutbun yeri belirlenir. $P(s)$ ifadesinden K_c değeri

$$K_c = \frac{1}{aK_1L_1 + K_1L_1 + K_2L_2 + aT_f K_1 + T_f K_1 + T_f K_2} \quad (3.25)$$

şeklinde sabitlenirse $F_1(s)$ ve $F_2(s)$ filtreleri aşağıdaki gibi elde edilir:

$$F_1(s) = -\frac{aK_1/K_s}{(T_1s + 1)(T_f s + 1)} e^{-L_1s} \quad (3.26)$$

$$F_2(s) = -\frac{K_2/K_s}{(T_2s + 1)(T_f s + 1)} e^{-L_2s} \quad (3.27)$$

Burada

$$K = aK_1K_c + K_1K_c + K_2K_c \quad (3.28)$$

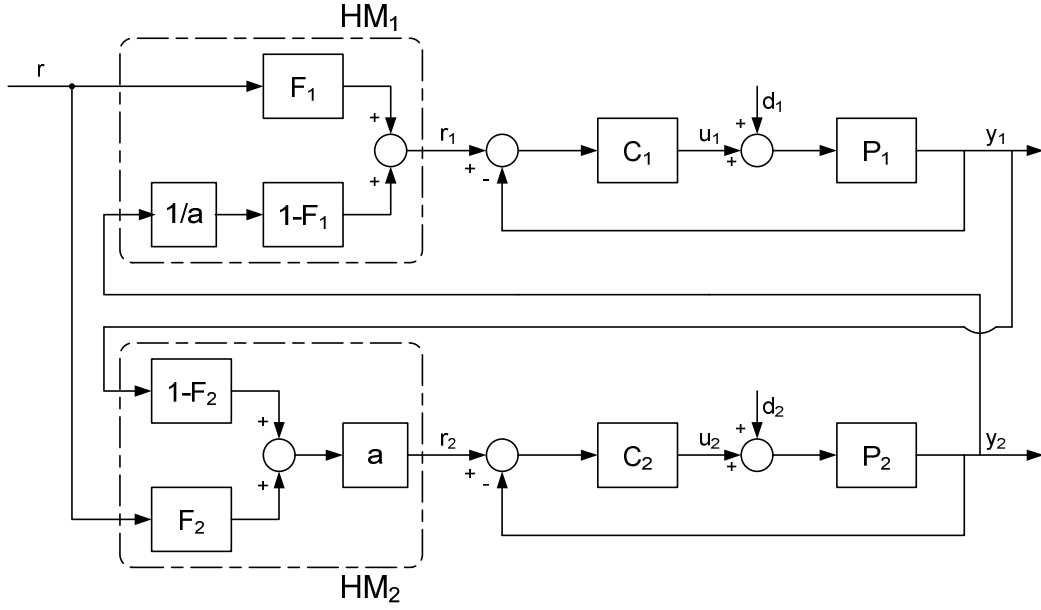
olarak tanımlanmıştır. Dolayısıyla önerilen kontrol yapısında belirlenmesi gereken tek tasarım parametresi ikincil zaman sabiti olarak isimlendirilen T_f parametresidir. Bu parametrenin de seçiminde yük bozucularını bastırılma performansını sistem zaman sabitiyle ilişkilendirmek amacıyla T_f 'nin

$$T_f = \frac{\min(T_1, T_2)}{10} \quad (3.29)$$

şeklinde seçilmesi önerilmiştir. $C(s)$ kontrolörünün statik kazancı K_c parametresinin hesaplanmasında, istenilen oran “a”nın değişken olarak yer alması sebebiyle, a oranındaki değişim K_c parametresinin de yeniden ayarlanmasını gerektirir.

3.3.9 Çapraz birleştirilmiş oran kontrol yapısı

Çapraz birleştirilmiş oran kontrol yapısı (ÇBOK), Yeşil (2007a) tarafından yük bozucularına karşı performansı yükseltmek amacıyla geliştirilmiştir. Şekil 3.11'deki bu yapıda iki adet harmanlama merkezi bulunur. Bu harmanlama merkezlerinin girişleri referans değeri ve diğer sistemin çıkışıdır, harmanlama merkezlerinin çıkışı ise o sisteme ait referans değerini oluşturur. Bu yapı sayesinde hem referans değişikliğinde hem de yük bozucusu karşısında diğer sistem etkilenecek istenen “a” oranının korunması sağlanır.



Şekil 3.11 : Çapraz birleştirilmiş oran kontrol yapısı.

Harmanlama merkezinde $F_1(s)$ ve $F_2(s)$ dinamik sistemleri yer alır. Bu yapı geleneksel oran kontrol yapılarından ÇSK yapısındaki maks ve min bloklarının harmanlama merkezi ile değiştirilmesiyle oluşturulmuştur;Yeşil (2007b). Bu yapıdaki süreçlerde denklem (3.14) ve denklem (3.15) deki gibi birinci mertebeden ölü zamanlı sistem olarak modellenmiştir. C_1 ve C_2 kontrolörleri aşağıdaki yapıda olan PI tipli kontrolörlerdir:

$$C_j(s) = K_{C_j} \left(1 + \frac{1}{T_{I_j} s} \right) \quad (j=1,2) \quad (3.30)$$

Bu kontrolörler süreç kontrol sistemlerinde sıkça kullanılan İçsel model kontrol yöntemi ile yük bozucularını hızlıca bastırarak şekilde tasarlanmıştır. PI kontrolörde bulunan iki parametre aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$K_{C_j} = \frac{T_j}{K_j(L_j + \lambda_j)}, \quad T_{I_j} = T_j \quad (j=1,2) \quad (3.31)$$

Denklem (3.31) den görüleceği üzere tasarımda aşağıdaki gibi tanımlanan içsel model kontrol filtresinin zaman sabiti olan λ_j parametresi belirlenmelidir:

$$F_{IMC_j}(s) = \frac{1}{(\lambda_j s + 1)^n} \quad (j=1,2) \quad (3.32)$$

Bu filtrenin derecesi n, bir olarak seçilir. Böylece kontrolörün bulunması için sadece bir parametrenin hesaplanması yeterli olacaktır. λ_j 'nin seçimi sistemin performansına ve dayanıklılığına doğrudan etki eder. Küçük λ_j değerleri hızlı kapalı çevrim cevabına karşılık büyük kontrol işaretlerine sebep olurken büyük λ_j değerleri yumuşak ve küçük kontrol işaretlerine karşın yavaş sistem çıkışına sebep olur; Yeşil (2007a). ÇBOK yapısında istenen, sistem çıkışlarının yük bozucusuna karşı birbirlerini daha iyi takip etmesi olduğundan duyarlılık fonksiyonu (M_s) izin verilen en büyük değer olan iki seçilir.

Şekil 3.11'deki kapalı çevrimlere ait transfer fonksiyonları aşağıdaki gibidir:

$$T_1(s) = \frac{Y_1(s)}{R_1(s)} = \frac{C_1 P_1}{1 + C_1 P_1} \quad (3.33)$$

$$T_2(s) = \frac{Y_2(s)}{R_2(s)} = \frac{C_2 P_2}{1 + C_2 P_2} \quad (3.34)$$

Önerilen yapı analiz edildiğinde

$$Y_1(s) = \frac{T_1(s)F_1(s) + T_1(s)T_2(s)(1 - F_1(s))F_2(s)}{1 - T_1(s)T_2(s)(1 - F_1(s))(1 - F_2(s))} R(s) \quad (3.35)$$

$$Y_2(s) = \frac{T_2(s)F_2(s) + T_1(s)T_2(s)(1 - F_2(s))F_1(s)}{1 - T_1(s)T_2(s)(1 - F_1(s))(1 - F_2(s))} aR(s) \quad (3.36)$$

elde edilir. (3.35) ve (3.36) deki $F_1(s)$ ve $F_2(s)$ transfer fonksiyonları, referans işaretinden birinci sistem çıkışı y_1 'e olan transfer fonksiyonunun ve referans işaretinden ikinci sistem çıkışı y_2 'nin "a" oranı ile ölçeklenmiş olan transfer fonksiyonuna eşitlenmesi ile aşağıdaki şekilde bulunur:

$$F_2(s) = F_1(s) \frac{T_2(s)(1 - T_1(s))}{T_1(s)(1 - T_2(s))} \quad (3.37)$$

Denklem (3.33) ve (3.34) da ifade edilen $T_1(s)$ ve $T_2(s)$ kapalı çevrim transfer fonksiyonları denklem (3.37) a yerleştirildiğinde

$$F_2(s) = F_1(s) \frac{C_1(s)P_1(s)}{C_2(s)P_2(s)} \quad (3.38)$$

elde edilir. Denklem (3.14), (3.15) ve (3.30) de ifade edilen süreç modelleri ve kontrolör transfer fonksiyonu (3.38) de yerine konduğunda

$$F_2(s) = F_1(s) \frac{K_1 K_{C_1} T_{I_2}}{K_2 K_{C_2} T_{I_1}} \cdot \frac{(1 + T_{I_1} s)(1 + T_2 s)}{(1 + T_{I_2} s)(1 + T_1 s)} \cdot e^{-(L_1 - L_2)s} \quad (3.39)$$

elde edilir. PI kontrolörünün belirlenmesinde kullanılan (3.31), (3.39) te yerine konduğunda aşağıda gösterilen en sade halini alır:

$$F_2(s) = F_1(s) \frac{\lambda_2 + L_2}{\lambda_1 + L_1} e^{-(L_1 - L_2)s} \quad (3.40)$$

PI parametrelerinin seçiminde M_s değerinin iki seçilmesi yük bozucularının hızlı bastırılmasını sağlarken, referans değer takibinde aşımara ve salınımlara sebep olmaktadır. Yeşil (2007a) $F_1(s)$ harmanlama dinamiğini bu salınımları bastırmak için kullanmış ve $F_1(s)$ 'i aşağıdaki gibi bir sabit olarak seçmiştir:

$$F_1(s) = \beta_1 \quad (3.41)$$

β_1 sabiti bir olarak seçildiğinde iki kapalı çevrim seri olarak bağlanmış olur. Bu durumda yapı şekil 3.3'dekine benzer bir karakteristik içerisinde ikinci sistemde oluşacak bir yük bozucusu birinci çevrimde algılanamayarak istenilen "a" oranının korunamamasına sebep olur. Aksi şekilde β_1 'in çok küçük seçilmesi referans değer takibinin zayıflamasına ve yavaş sistem cevabına sebep olur. Yeşil (2007a), β_1 değerinin [0.5 0.8] aralığında seçilmesini önermektedir. Denklem (3.40) daki kazanç

$$\beta_2 = \frac{\lambda_2 + L_2}{\lambda_1 + L_1} \quad (3.42)$$

şeklinde tanımlanarak $F_2(s)$ harmanlama dinamiği aşağıdaki gibi bulunur:

$$F_2(s) = \beta_1 \beta_2 e^{-(L_1 - L_2)s} \quad (3.43)$$

3.4 Dinamik Oran Kontrol Yapılarının Benzetimleri

3.4.1 Harmanlama merkezi oran kontrol yapıları benzetimleri

Hauglund (2001) yaptığı çalışmada şekil 3.6'teki yapı için P_1 ve P_2 süreçlerini ikinci dereceden

$$\frac{1}{(1+sT)^2} \quad (3.44)$$

şeklinde modellemiş ve birinci süreç modeli için $T=10$, ikinci süreç modeli için $T=2$ seçmiştir.

PI tipindeki C_1 ve C_2 kontrolörleri için katsayıları

$$K_1=1 \quad T_{i1}=7$$

$$K_2=1 \quad T_{i2}=2.8 \quad (3.45)$$

olarak belirlemiştir. Yöntemde önerilen şekilde

$$\gamma = \frac{T_{i2}}{T_{i1}} = \frac{2.8}{7} = 0.4 \quad (3.46)$$

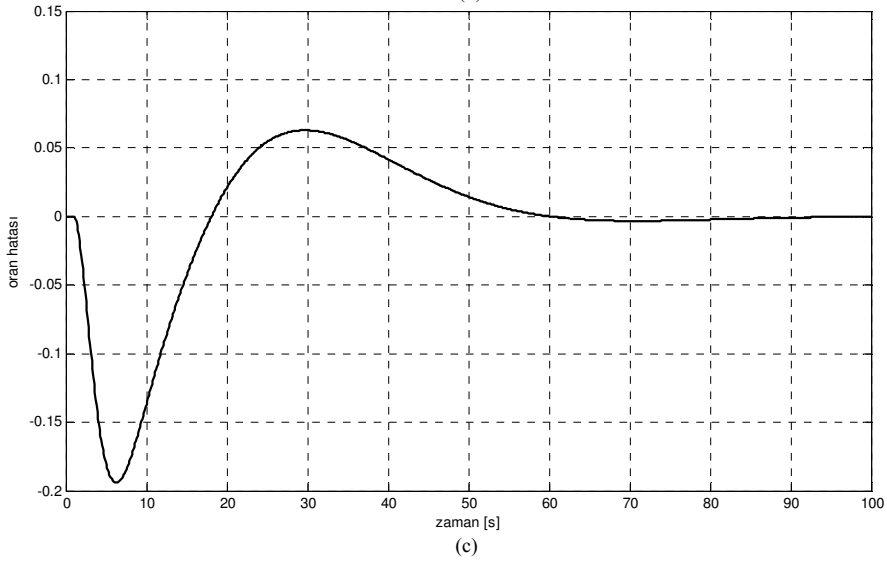
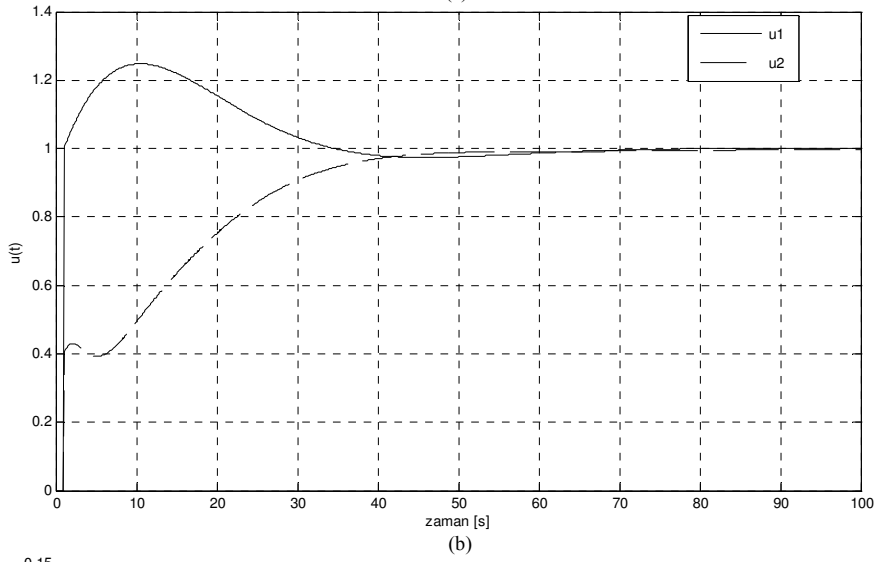
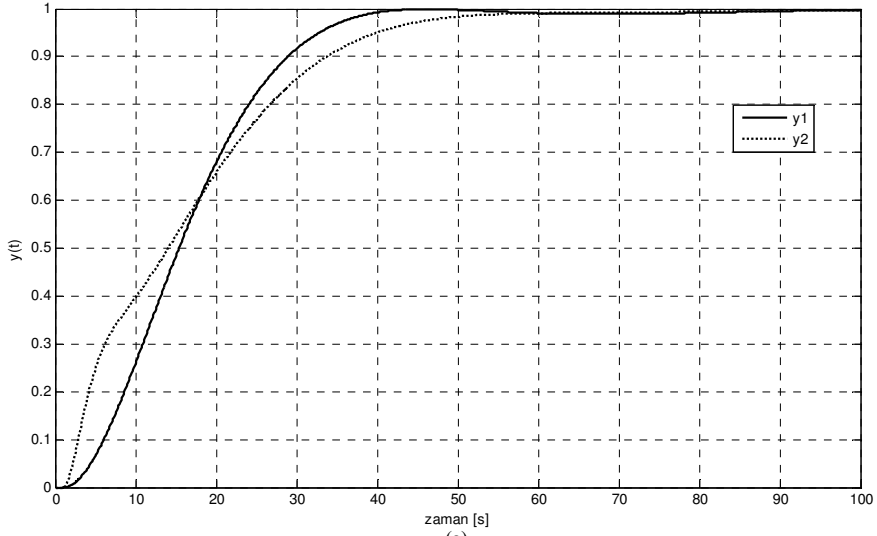
olarak bulunur. Bu yapının sistem cevabı, kontrol işareti ve hata işareti sırasıyla Şekil 3.12'de gösterilmiştir.

Hata işareti olarak

$$e = ay_1(t) - y_2(t) \quad (3.47)$$

şeklinde tanımlanan oran hatasında, birinci sistemin çıkışının istenen oran "a" ile ölçeklenmiş hali ile ikinci sistem çıkışının farkı alınmıştır.

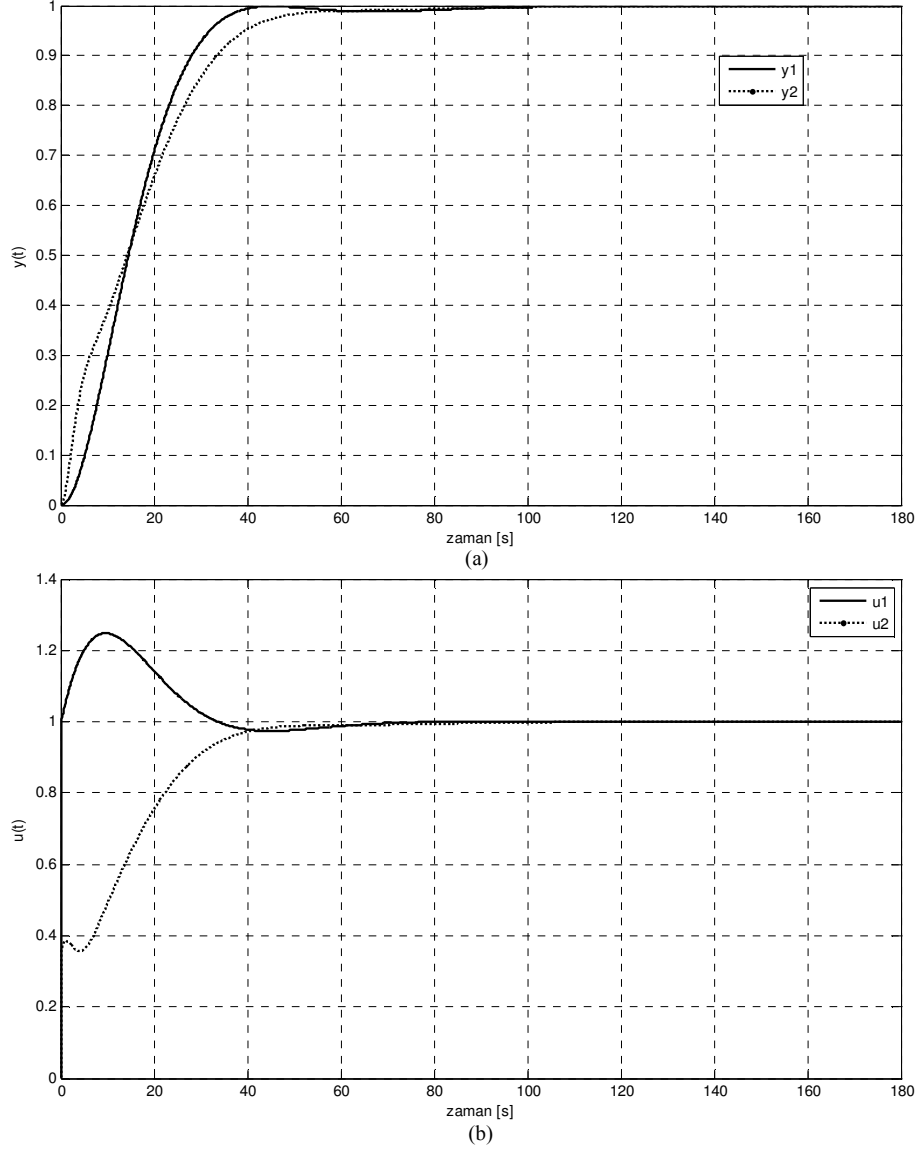
Şekil 3.12'da görüldüğü üzere, ikinci sistem cevabı y_2 , birinci sistem cevabı y_1 'i geçici durumda başarılı bir şekilde takip edememesine rağmen sürekli halde istenen "a" oranını yakalamaktadır.



Şekil 3.12 : HM benzetim sonuçları: (a) sistem cevapları, (b) kontrol işaretleri, (c) oran hatası.

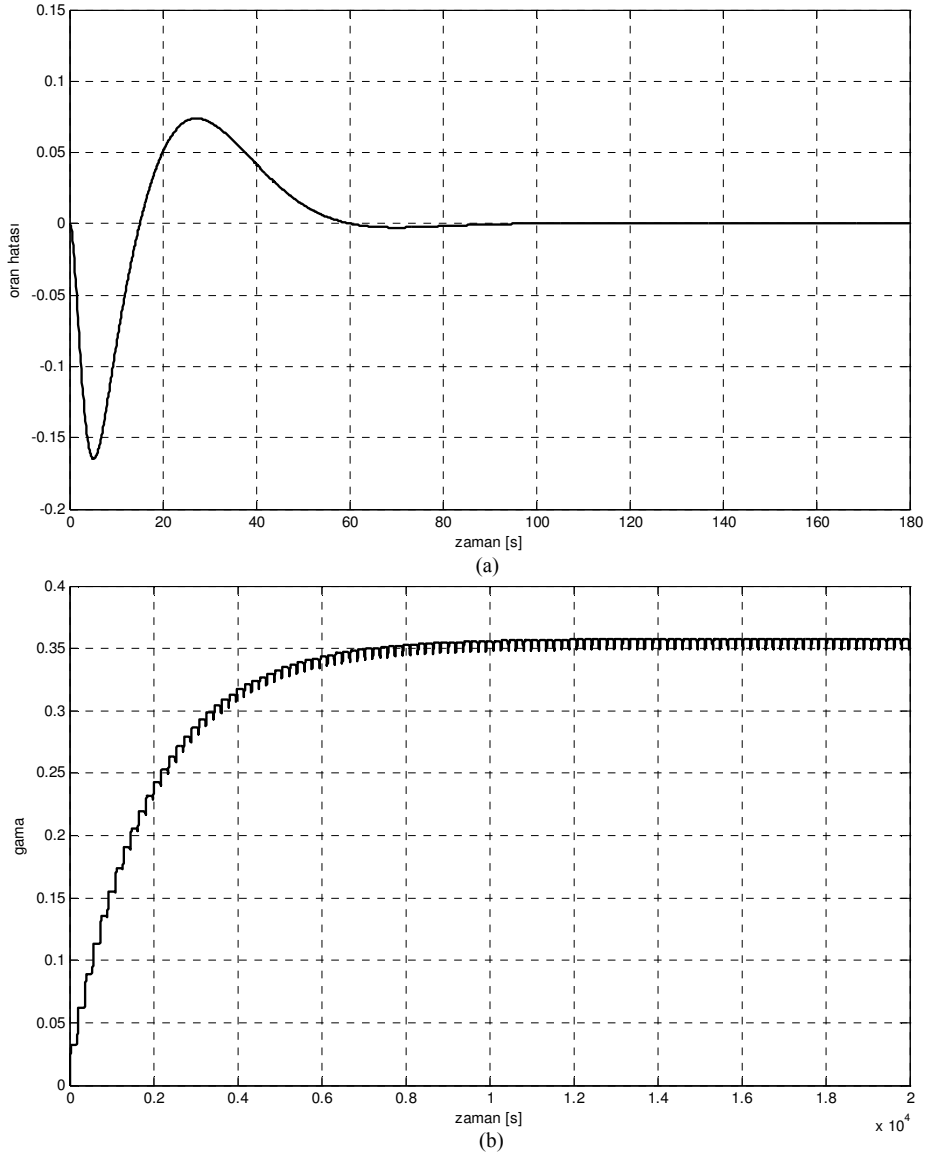
3.4.2 Uyarlamalı harmanlama merkezi oran kontrol yapıları benzetimleri

Harmanlama merkezi benzetiminde kullanılan süreç modelleri (3.44) ve denklem (3.45) deki PI kontrolörler bu benzetimde de kullanılmış, UHM içerisinde denklem (3.10) daki yapı yerleştirilmiştir. Bu koşullar altında yapılan benzetime ait sistem çıkışları ve kontrol işaretleri Şekil 3.13’de gösterilmiştir.



Şekil 3.13 : UHM benzetim sonuçları:(a) sistem cevabı, (b) kontrol işareti.

Oran hatası ve γ değerine ait grafik Şekil 3.14’de gösterilmiştir. ilgili grafikten de görüleceği üzere sürekli halde istenen oran elde edilirken geçici halde çıkışların birbirini takibi gerçekleşmemektedir.



Şekil 3.14 : UHM benzetim sonuçları:(a) oran hatası, (b) γ ağırlık çarpanı.

3.4.3 Değişken ağırlık çarpanlı oran kontrol yapısı benzetimleri

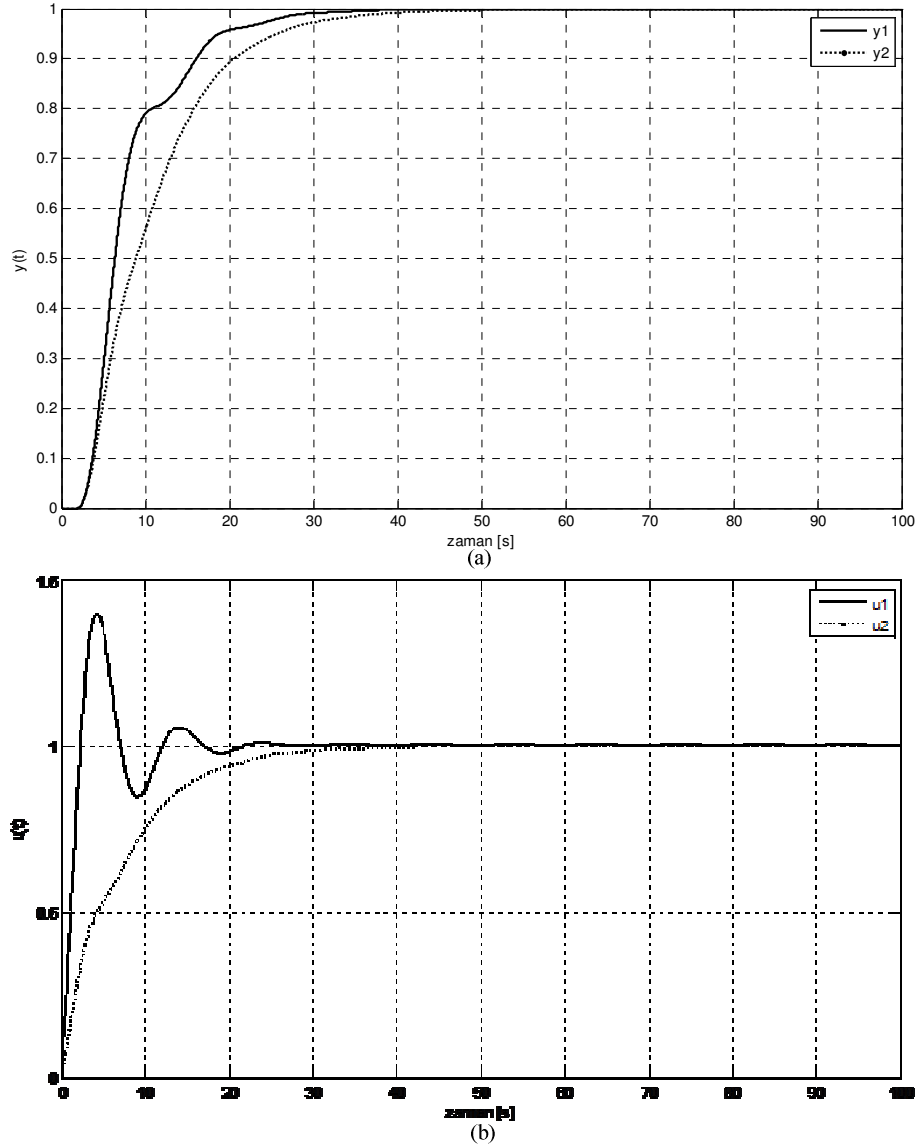
Yapılan çalışmada birinci dereceden ölü zamanlı olarak

$$P_1(s) = \frac{1}{6s+1} e^{-2s} \quad (3.48)$$

$$P_2(s) = \frac{1}{2s+1} e^{-2s} \quad (3.49)$$

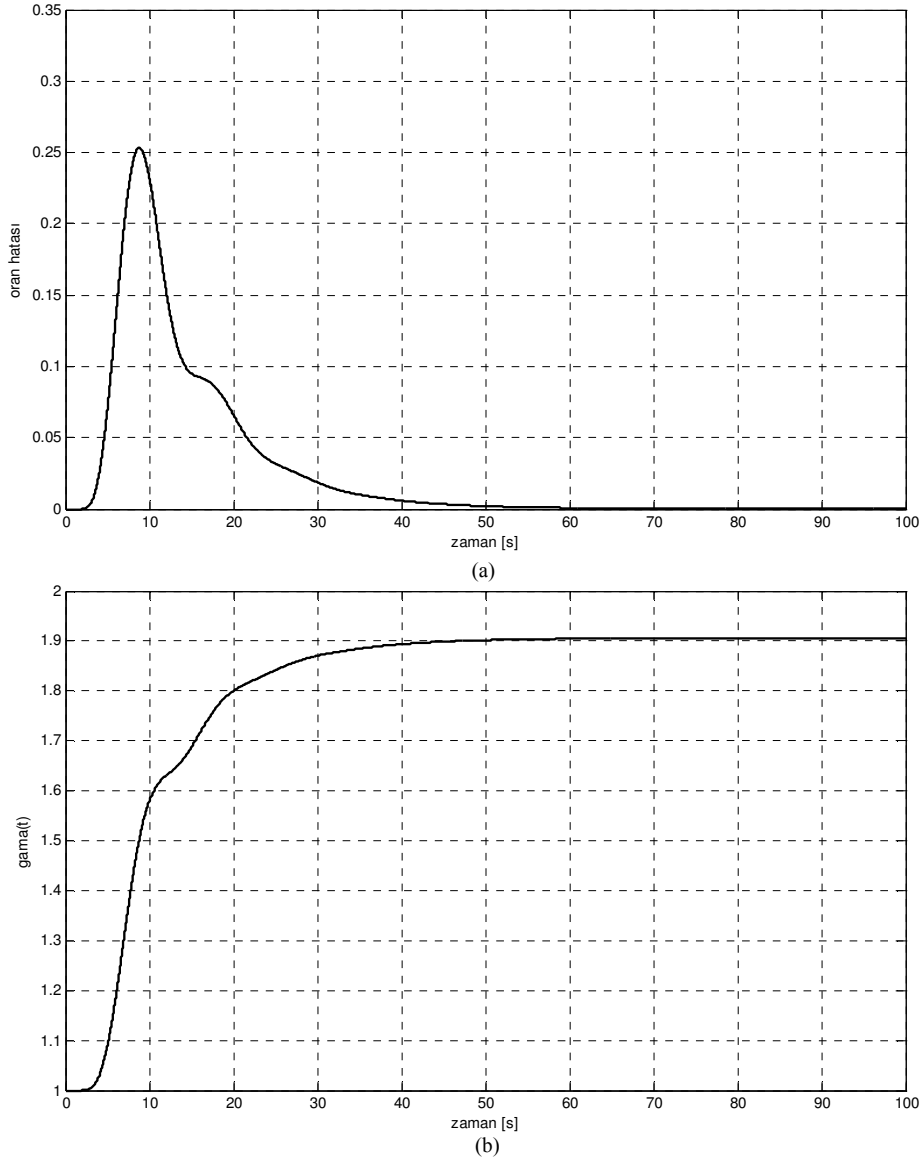
şeklinde modellenmiştir. C_1 ve C_2 PI kontrolör parametreleri $K_{p1}=2.7$, $T_{i1}=6$, $K_{p2}=0.9$, $T_{i2}=6$, γ^* sabiti 1 ve değişken ağırlık çarpanını belirlemede kullanılan kontrolörün katsayıları ise $K_p=1.5$ ve $T_i=3$ şeklinde belirlenmiştir; Visioli (2005a).

Sistem cevapları ve kontrol işaretleri Şekil 3.15'te gösterilmiştir.



Şekil 3.15 : Değişken ağırlık parametrelili oran kontrol yapısı benzetim sonuçları : (a) sistem cevapları, (b) kontrol işaretleri.

Oran hatası ve $\gamma(t)$ 'nin zamana bağlı değişimi sırasıyla, Şekil 3.16'da gösterilmiştir. $\gamma(t)$ ağırlık çarpanı, sıfır ile bir aralığında olması gerekirken Şekil 3.16'da görüleceği üzere 1.9 değerine oturmuştur.



Şekil 3.16 : Değişken ağırlık parametrelili oran kontrol yapısı benzetim sonuçları : (a) oran hatası, (b) $\gamma(t)$ ağırlık çarpanı.

3.4.4 Dinamik harmanlama merkezli oran kontrol yapısı benzetimleri

Visioli (2005b), çalışmasında birinci ve ikinci süreçleri

$$P_1(s) = \frac{1}{4s+1} e^{-3s} \quad (3.50)$$

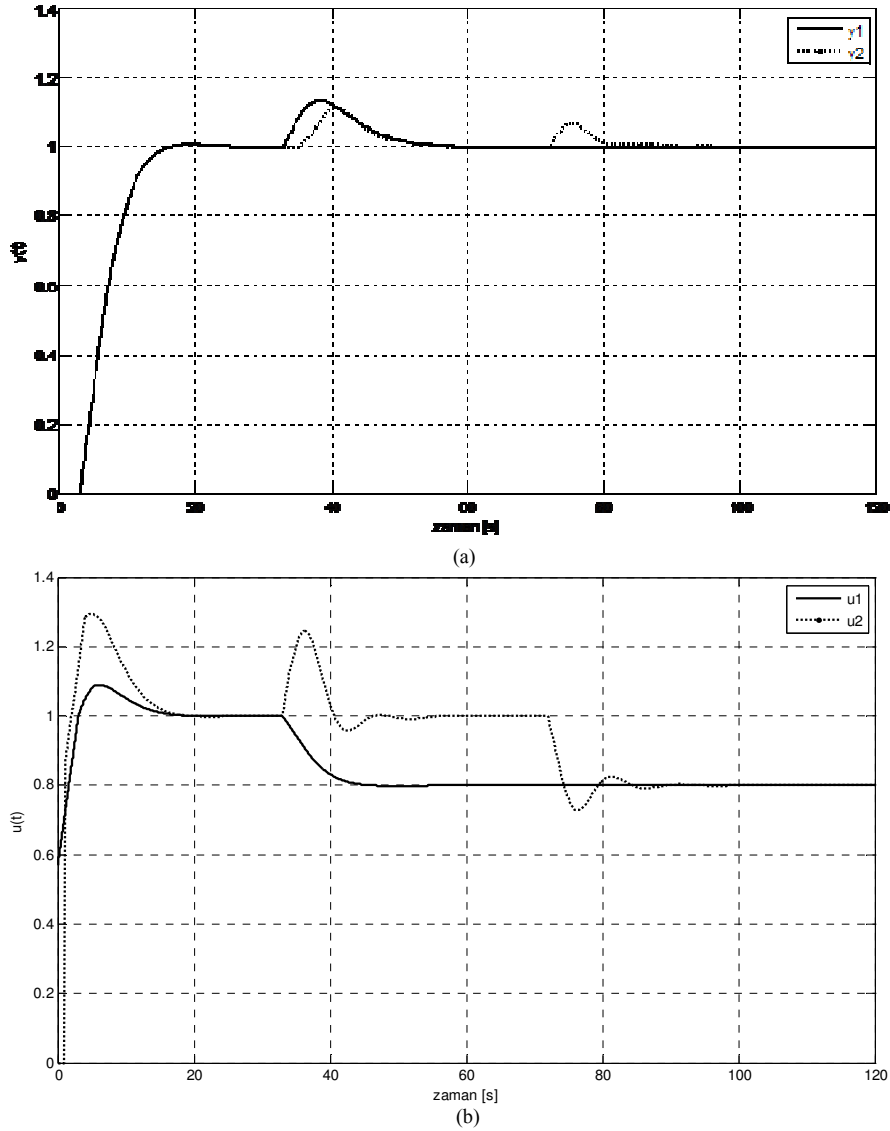
$$P_2(s) = \frac{1}{6s+1} e^{-s} \quad (3.51)$$

Şeklinde birinci dereceden ölü zamanlı sistem olarak modellemiştir. $K_{p1}=0.57$, $T_{i1}=4$, $K_{p2}=2.58$, $T_{i2}=6$ olarak belirlenmiştir. Denklem (3.16) ile

$$F(s)=0.33e^{-s} \quad (3.52)$$

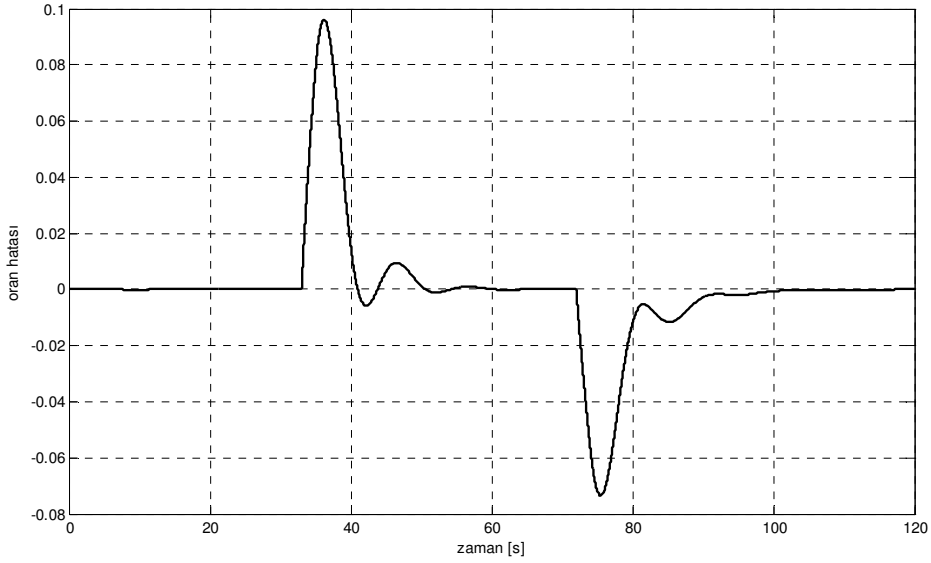
olarak bulunmuştur. Yapılan benzetim sırasında $t=30$ saniyede birinci sisteme, d_1 yüzde yirmilik, $t=70$ saniyede de ikinci sisteme, d_2 yüzde yirmilik yük bozucuları uygulanmıştır.

Sistem cevaplarına ve kontrol işaretlerine ait grafikler Şekil 3.17 gösterilmiştir



Şekil 3.17 : Dinamik harmanlama merkezli oran kontrol yapısı benzetim sonuçları : (a) sistem cevapları, (b) kontrol işaretleri.

Oran hatası Şekil 3.18'de gösterilmiştir. Sistem geçici halde ve sürekli istenen oranın sabit tutulmasını sağlamaktadır, ancak ikinci sisteme etki eden yük bozucusuna karşın etkisizdir.



Şekil 3.18 : Dinamik harmanlama merkezli oran kontrol yapısı oran hatası.

3.4.5 Yük bozucusu bastırabilen DHM oran kontrol yapısı benzetimleri

Bu benzetimde, Visioli Veronesi (2004) birinci ve ikinci çevrimde yer alan süreçler

$$P_1(s) = \frac{1}{4s+1} e^{-3s} \quad (3.53)$$

$$P_2(s) = \frac{1}{6s+1} e^{-2s} \quad (3.54)$$

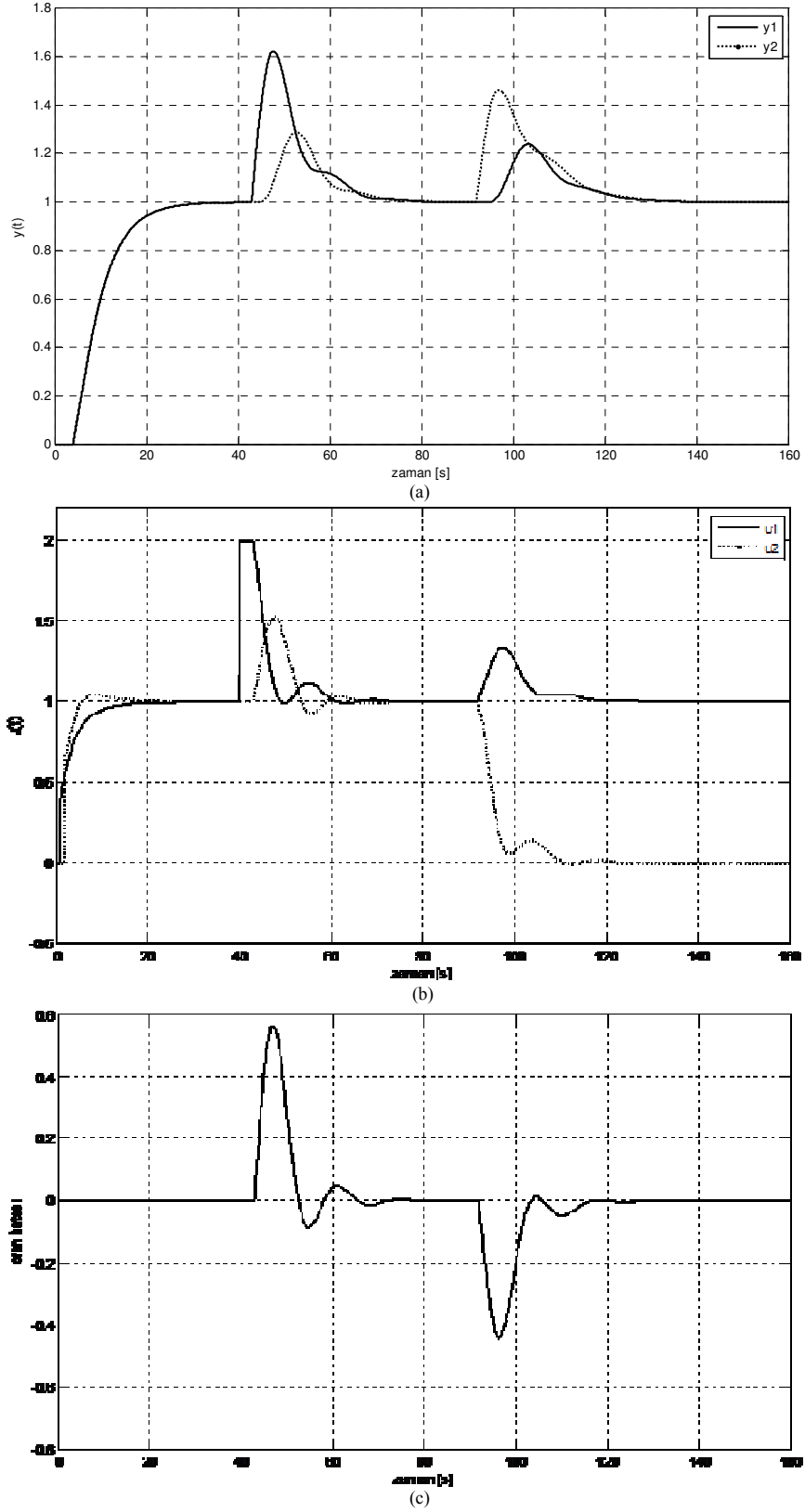
Şeklinde modellemiştir. T_f parametresi denklem (3.29)'dan 0.4 olarak elde edilir. Bu değer aracılığıyla $C(s)$ kontrolörünün statik kazancı K_C (3.25) denkleminden 0.1087 olarak hesaplanır. Hesaplanan bu değerler ve sistem parametreleri kullanılarak $C(s)$, $Q(s)$ kontrolörleri ile $G(s)$ ve $H(s)$ filtreleri ise aşağıdaki gibi elde edilir:

$$C(s) = H(s) = 0.1087 \left(\frac{4s+1}{s} \right) \quad (3.55)$$

$$Q(s) = \frac{6s+1}{4s+1} e^{-s} \quad (3.56)$$

$$G(s) = 0.1087 \left(\frac{6s+1}{s} \right) \quad (3.57)$$

Yapılan benzetimlerde 40. saniyede birinci sisteme 90. saniyede ikinci sisteme basamak yük bozucusu etmiştir. Benzetime ait grafikler Şekil 3.19'dadır.



Şekil 3.19 : Yük bozucusu bastırabilen DHM oran kontrol yapısı benzetim sonuçları: (a) sistem cevapları, (b) kontrol işaretleri, (c) oran hatası.

3.4.6 Çapraz birleştirilmiş oran kontrol yapısı benzetimleri

Yeşil (2007a), yaptığı benzetimde birinci ve ikinci süreci

$$P_1(s) = \frac{1}{1.827s + 1} e^{-1.1733s} \quad (3.58)$$

$$P_2(s) = \frac{0.74}{0.58s + 1} e^{-0.3s} \quad (3.59)$$

Şeklinde modellemiş ve β_1 parametresini 0.57 seçmiştir. İçsel model kontrolörü filtre parametreleri $\lambda_1 = 0.4879$ ve $\lambda_2 = 0.1267$ olarak bulunur. Bu değerler aracılığıyla her bir kapalı çevrim için aşağıdaki PI kontrolör parametreleri denklem (3.31) aracılığıyla hesaplandığında aşağıdaki değerler elde edilir:

$$K_{C1}=1, T_{i1}=1.827, K_{C2}=1.84, T_{i2}=0.58 \quad (3.60)$$

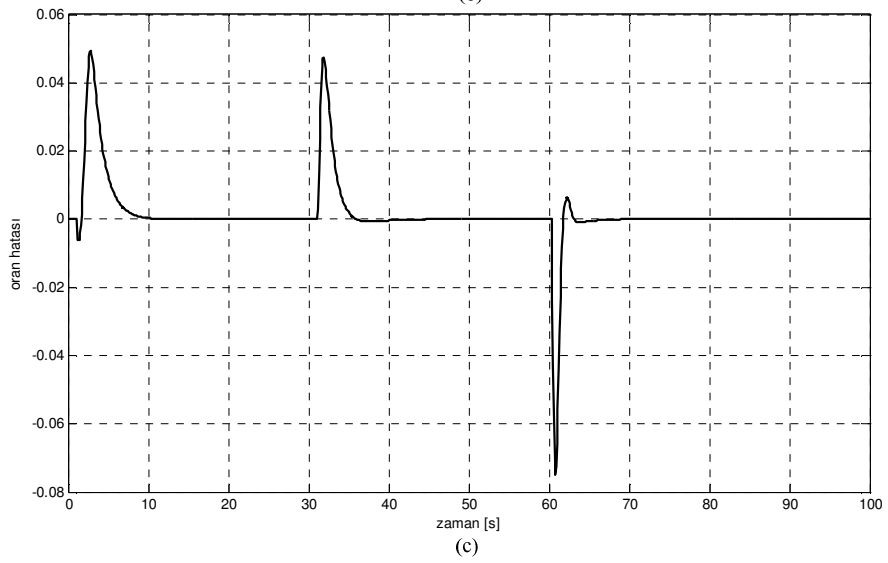
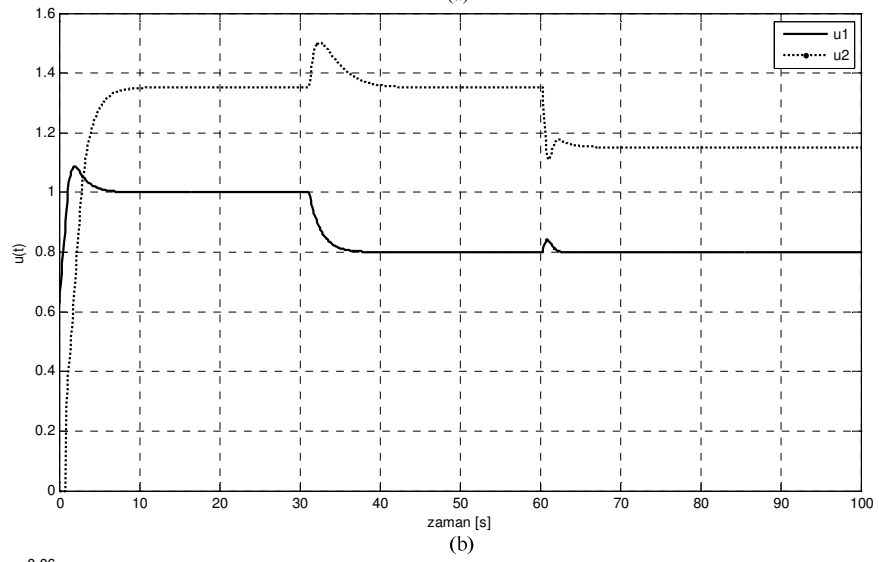
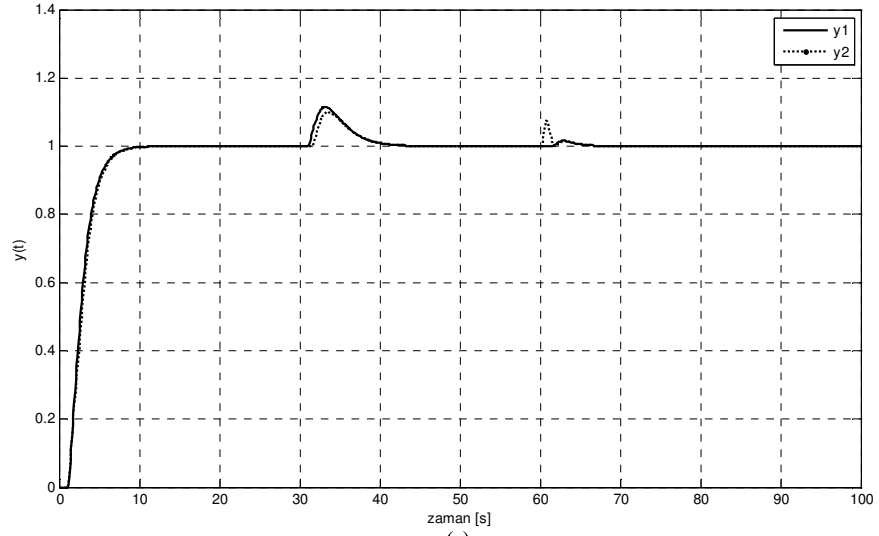
Elde edilen kontrolör parametreleri aracılığıyla önerilen ÇBOK yapısındaki harmanlama dinamikleri aşağıdaki gibi elde edilir:

$$F_1(s) = \beta_1 \quad (3.61)$$

$$F_2(s) = \beta_1 0.1462 e^{-0.873s} \quad (3.62)$$

Bulunan değerlere göre elde edilen sistem cevapları, kontrol işaretleri ve oran hatası Şekil 3.20’de gösterilmiştir.

Grafiklerden de görüleceği üzere sistem referans değişikliklerine, ve her iki sisteme de etki eden yük bozucularına karşı istenilen “a” oranının korunmasını sağlamaktadır.



Şekil 3.20 : ÇBK oran kontrol yapısı benzetim sonuçları: (a) sistem cevapları, (b) kontrol işaretleri,(c) oran hatası.

3.4.7 Dinamik oran kontrol yöntemlerinin benzetimlerinin karşılaştırılması

Dinamik oran kontrol yapılarından, seri bağlı oran merkezi, harmanlam merkezi, uyarlamalı harmanlama merkezi ve değişken ağırlık çarpanlı harmanlama merkezi yöntemleri aynı süreç modelleri ve aynı kontrolörler ile çalıştırılarak performansları karşılaştırılacaktır. Adil performans karşılaştırması yapılabilmesi açısından

$$J = \int_0^{\infty} |ay_1(t) - y_2(t)| dt \quad (3.63)$$

kriteri kullanılacaktır (Visioli, 2005b). Benzetimlerde kullanılan süreçler

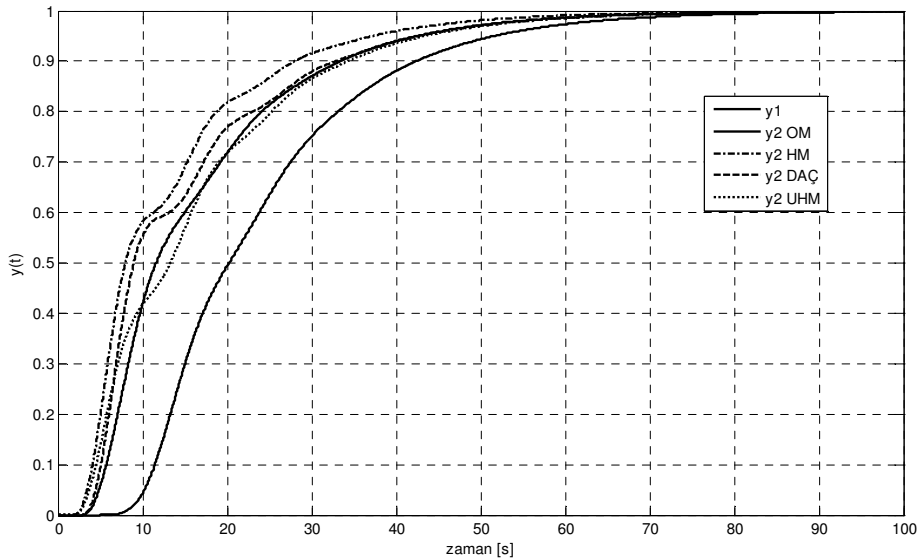
$$P_1(s) = \frac{1}{4s+1} e^{-3s} \quad (3.64)$$

$$P_2(s) = \frac{1}{8s+1} e^{-2s} \quad (3.65)$$

şeklinde modellenmiştir. C_1 ve C_2 kontrolör parametreleri

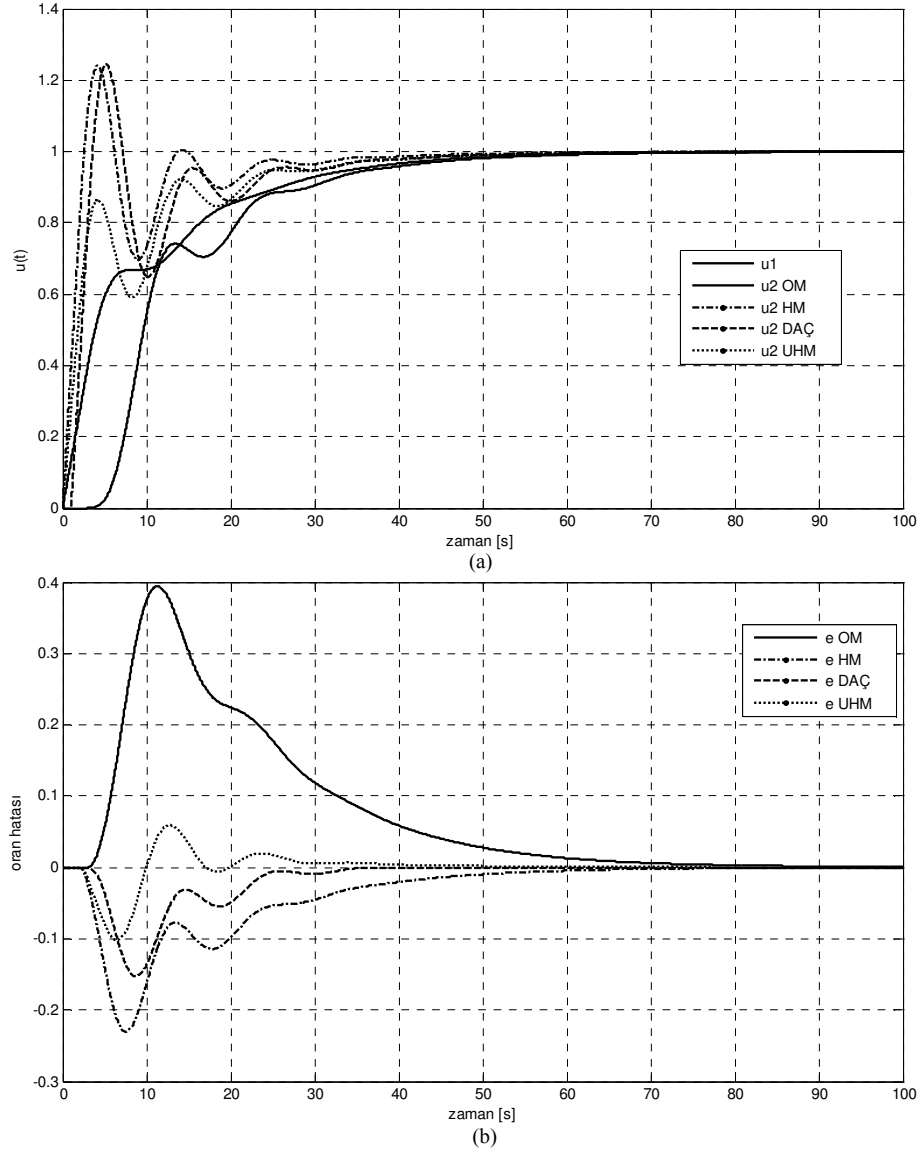
$$K_{p1}=1.2, T_{i1}=9, K_{p2}=3.6, T_{i2}=6 \quad (3.66)$$

olarak hesaplanmıştır (Visioli, 2005b). Benzetimlerde kullanılacak diğer parametreler $\gamma^*=0.67$, $T_i=1.33$ ve $T_a=90$ olarak bulunmuştur. Karşılaştırılan dört yonteme ait sistem cevapları Şekil 3.21'de gösterilmiştir.



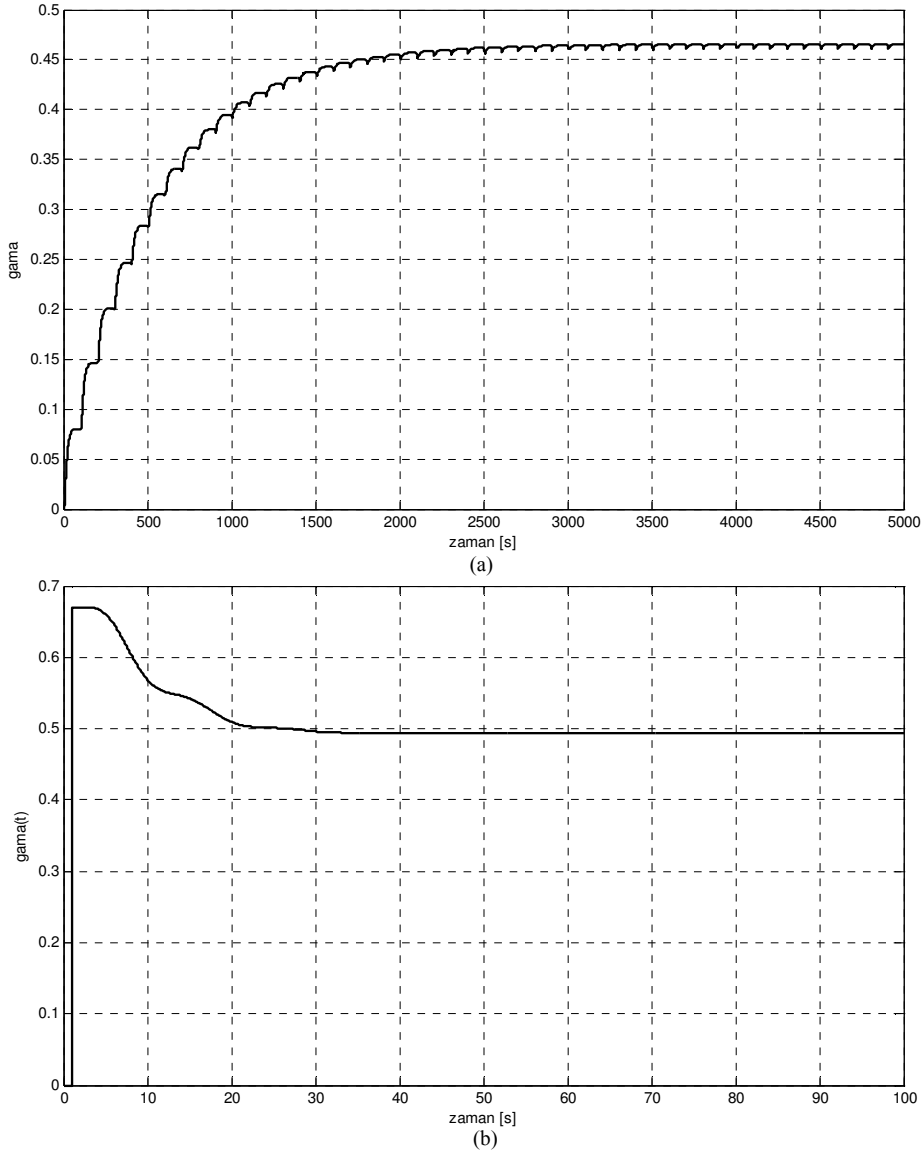
Şekil 3.21 : Oran kontrol yapıları sistem cevapları.

Kontrol işaretleri ve dört sisteme ait oran hataları Şekil 3.22’de gösterilmiştir.



Şekil 3.22 : Oran kontrol yapıları benzetim sonuçları (a) kontrol işaretleri, (b) oran hataları.

Uyarlamalı harmanlama merkezi ve dinamik ağırlık çarpanlı harmanlama merkezi benzetimleri sonucunda elde edilen γ ve $\gamma(t)$ değişkenlerine ait grafikler Şekil 3.23’de verilmiştir.



Şekil 3.23 : Oran kontrol yapıları benzetimleri (a) UHM oran kontrol yapısı γ değişimi (b) DAÇ oran kontrol yapısı $\gamma(t)$ değişimi.

Benzetimler sonucunda seçilen performans kriterine göre; seri bağlı oran merkezi yöntemi için $J=7.658$, harmanlama merkezi yöntemi için $J=3.385$, değişken ağırlık çarpanlı harmanlama merkezi için $J=1.382$ ve uyarlamalı harmanlama merkezi yöntemi için $J=0.0087$ elde edilmiştir. Bu yöntemlerin hiç biri sisteme etki edecek bir yük bozucusu karşısında istenen “a” oranının korunmasında başarılı olamayacaktır.

Bu sebepten her iki süreçte etki eden yük bozucusu karşısında başarılı olan iki yöntem diğer yöntemlerden ayrı olarak birbirleri ile denklem (3.63)’te belirtilen performans kriteri uyarınca karşılaştırılacaktır. Yapılan benzetimlerde (3.58) ve

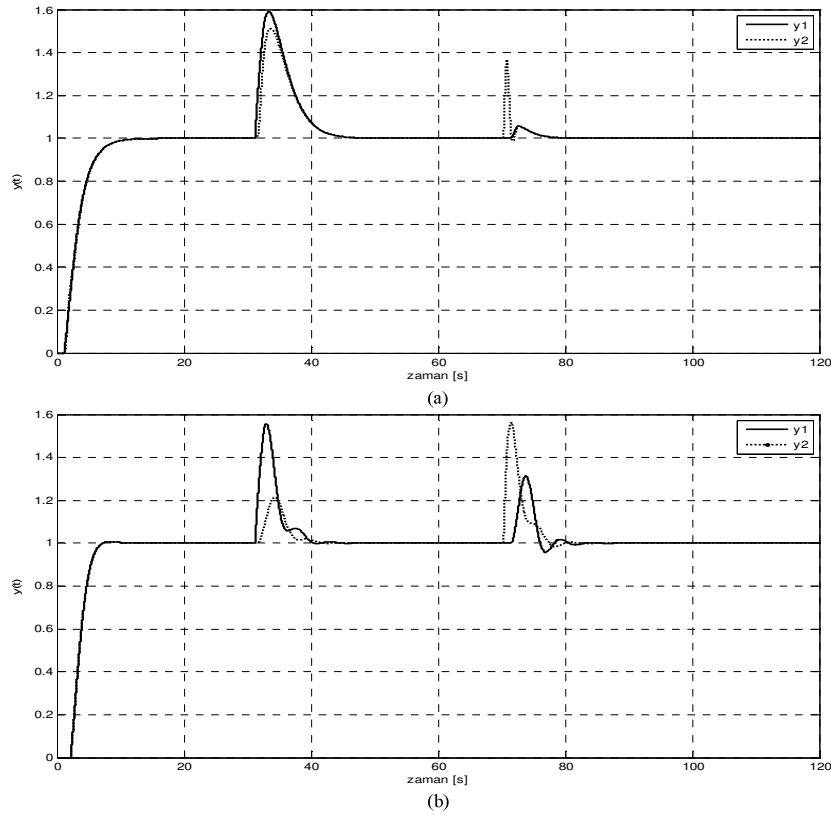
(3.59) daki süreç modelleri kullanılmış, çapraz birleştirilmiş oran kontrol yapısı için kontrolör parametreleri için (3.60) daki ve harmanlama dinamikleri için (3.61) ve (3.62) deki parametreler kullanılmıştır. Yük bozucusu bastırabilen harmanlama merkezli yapı için Yeşil (2005b)'de denklem (3.25)' e göre $K_C=0.3667$ olarak hesaplanmış, denklem (3.29)'a uygun olarak $T_f=0.058$ seçilmiştir. Buna göre

$$C(s) = H(s) = 0.3667 \left(\frac{1.827s + 1}{s} \right) \quad (3.67)$$

$$Q(s) = \frac{0.58s + 1}{0.1827s + 1} e^{-0.873s} \quad (3.68)$$

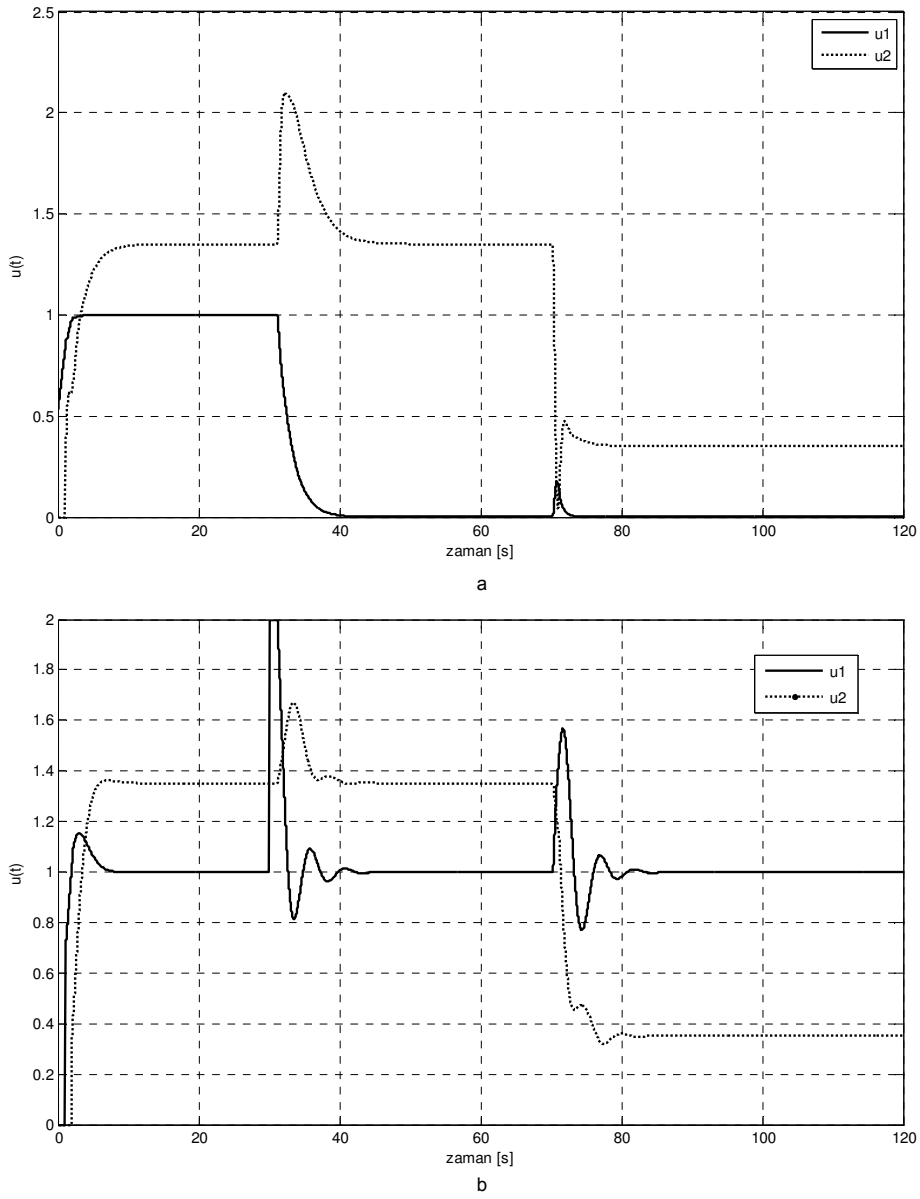
$$G(s) = 0.3667 \left(\frac{0.58s + 1}{s} \right) \quad (3.69)$$

şeklinde elde edilir. Seçilen performans kriterine göre benzetimlerde ÇBOK yapısı için $J=0.7875$ ve YBBDHM için $J=2.623$ olarak hesaplanmıştır. Sistem cevapları Şekil 3.24'te gösterilmiştir.



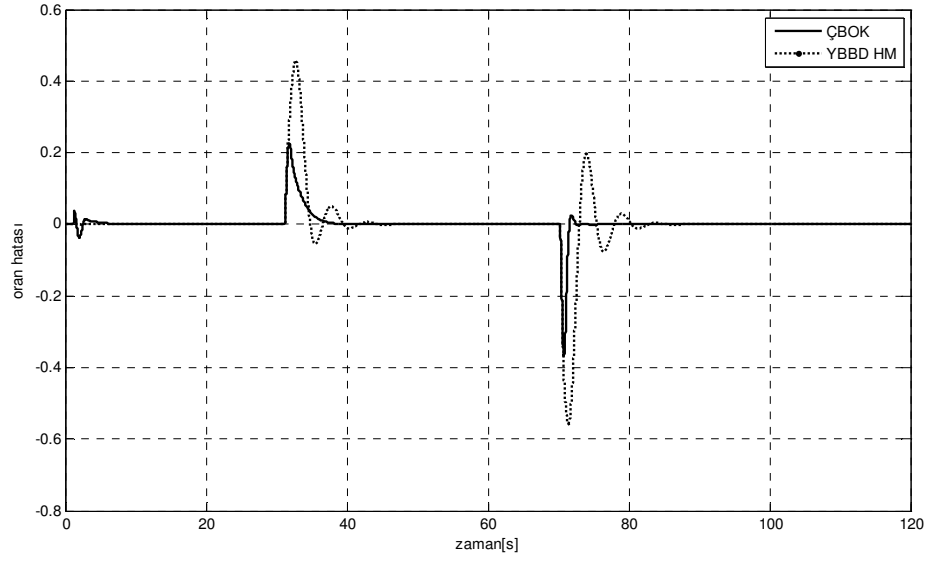
Şekil 3.24 : Oran kontrol yapıları sistem cevapları (a) ÇBOK yapısı (b) YBBDHM yapısı.

Kontrol işaretleri Şekil 3.25'te gösterilmiştir.



Şekil 3.25 : Oran kontrol yapıları kontrol işaretleri (a) ÇBOK yapısı
(b) YBBDHM yapısı.

Oran hatası ise Şekil 3.26'da gösterilmiştir. grafikten de görüldüğü üzere en iyi performans çapraz birleştirilmiş oran kontrol yapısında elde edilmektedir.



Şekil 3.26 : Oran kontrol yapıları oran hataları.

4. ORAN KONTROL YAPILARININ ENVANTER VE SİPARİŞ TABANLI ÜRETİM KONTROL SİSTEMLERİNDE KULLANILMASI

4.1 Giriş

Oran kontrol yapılarının üretim kontrol sistemlerine uygulanması ile envanteri birbirine bağımlı iki ürünün envanterinin istenen “a” oranında tutulması sağlanır. Örneğin süpermarkette satışları birbirine paralel olan peynir-şarap, cips-bira, deterjan-yumuşatıcı gibi ürünlerin stoklarının tutulması sağlanabilir. Ayrıca endüstride üretimi birbirine paralel olarak gerçekleştirilen yarı mamül veya ara ürünlerin stoklarının tutulması da sağlanabilir. Örneğin otomobil üretiminde farklı modellerde de kullanılabilen lastik ve jant stoklarının istenen seviyede tutulması sağlanır.

4.2 Envanter ve Sipariş Tabanlı Üretim Kontrol Sistemlerinde Dinamik Harmanlama Merkezleri Yapıları

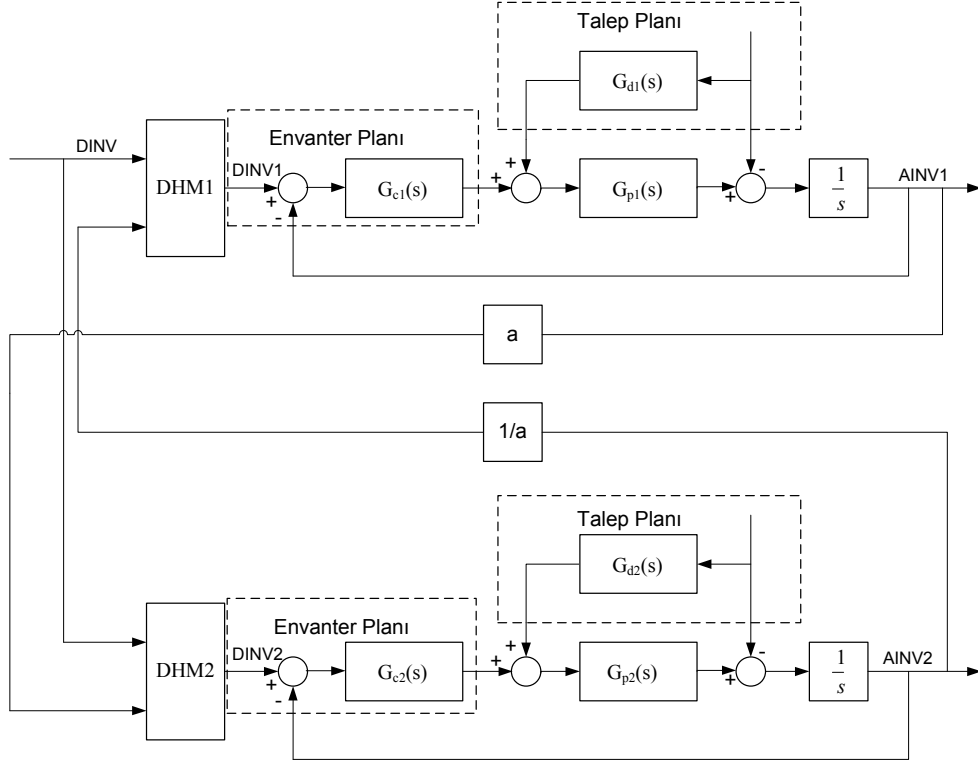
Envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemlerinde kullanılan dinamik harmanlama merkezleri Yeşil (2007a) tarafından ortaya konan çapraz birleştirilmiş oran kontrol yapılarının farklı kontrolörler için genelleştirilmiş halidir. Bu yapı ile $AINV_1$ ve $AINV_2$ güncel envanter çıkışları arasında istenen “a” oranının sabit tutulması sağlanır. Şekil 4.1’de gösterilen yapıda iki adet dinamik harmanlama merkezi yer almaktadır.

Dinamik harmanlama merkezi bloklarının çıkışları

$$DINV_1(s) = F_1(s) \times DINV(s) + (1 - F_1(s)) \times AINV_2(s) \quad (4.1)$$

$$DINV_2(s) = F_2(s) \times DINV(s) + (1 - F_2(s)) \times AINV_1(s) \quad (4.2)$$

şeklindedir.



Şekil 4.1 : Envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemlerinde oran kontrol yapıları.

Şekil 4.1'deki her iki kapalı çövrime ait transfer fonksiyonu

$$T_1(s) = \frac{AINV_1(s)}{DINV_1(s)} = \frac{G_{C1}(s)G_{P1}(s)}{1 + G_{C1}(s)G_{P1}(s)} \quad (4.3)$$

$$T_2(s) = \frac{AINV_2(s)}{DINV_2(s)} = \frac{G_{C2}(s)G_{P2}(s)}{1 + G_{C2}(s)G_{P2}(s)} \quad (4.4)$$

şeklindedir. Bu yapı analiz edildiğinde

$$AINV_1(s) = \frac{T_1(s)F_1(s) + T_1(s)T_2(s)(1 - F_1(s))F_2(s)}{1 - T_1(s)T_2(s)(1 - F_1(s))(1 - F_2(s))} DINV(s) \quad (4.5)$$

$$AINV_2(s) = \frac{T_2(s)F_2(s) + T_1(s)T_2(s)(1 - F_2(s))F_1(s)}{1 - T_1(s)T_2(s)(1 - F_1(s))(1 - F_2(s))} aDINV(s) \quad (4.6)$$

elde edilir.

(4.5) ve (4.6) daki $F_1(s)$ ve $F_2(s)$ transfer fonksiyonları, istenen envanter seviyesinden (DINV) birinci sistem çıkışı $AINV_1$ 'e olan transfer fonksiyonunun ve istenen envanter seviyesinden ikinci sistem çıkışı $AINV_2$ 'nin "a" oranı ile ölçeklenmiş olan transfer fonksiyonuna eşitlenmesi ile aşağıdaki şekilde bulunur:

$$F_2(s) = F_1(s) \frac{T_2(s)(1-T_1(s))}{T_1(s)(1-T_2(s))} \quad (4.7)$$

Denklem (4.3) ve (4.4) da ifade edilen $T_1(s)$ ve $T_2(s)$ kapalı çevrim transfer fonksiyonları denklem (4.7) a yerleştirildiğine

$$F_2(s) = F_1(s) \frac{G_{C1}(s)G_{P1}(s)}{G_{C2}(s)G_{P2}(s)} \quad (4.8)$$

elde edilir. G_{P1} ve G_{P2} sistem modellerine, envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemlerindeki integratör etkisi eklendiğinde

$$G_{P1}(s) = \frac{K_1}{(T_1s+1)s} e^{-L_1s} \quad (4.9)$$

$$G_{P2}(s) = \frac{K_2}{(T_2s+1)s} e^{-L_2s} \quad (4.10)$$

Şeklinde elde edilir. (4.11)'deki PI tipli kontrolör

$$G_{Cj}(s) = K_{Cj} \left(1 + \frac{1}{T_{Ij}s} \right) \quad (j=1,2) \quad (4.11)$$

için $F_2(s)$ aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$F_2(s) = F_1(s) \frac{K_1 K_{C1} T_{I2}}{K_2 K_{C2} T_{I1}} \cdot \frac{(1+T_1s)(1+T_2s)}{(1+T_1s)(1+T_1s)} \cdot e^{-(L_1-L_2)s} \quad (4.12)$$

$$G_{Cj}(s) = K_{Cj} (1+T_{Dj}s) \quad (j=1,2) \quad (4.13)$$

denklem (4.13)'teki PD kontrolör için $F_2(s)$

$$F_2(s) = F_1(s) \frac{K_1 K_{C1}}{K_2 K_{C2}} \cdot \frac{(1+T_{D1}s)(1+T_2s)}{(1+T_{D2}s)(1+T_1s)} \cdot e^{-(L_1-L_2)s} \quad (4.14)$$

elde edilir. denklem (4.15)'teki

$$G_{C_j}(s) = K_{C_j} \left(1 + T_{D_j} s + \frac{1}{T_{I_j} s} \right) \quad (j=1,2) \quad (4.15)$$

PID kontrolör için $F_2(s)$

$$F_2(s) = F_1(s) \frac{K_1 K_{C_1} T_{I_2}}{K_2 K_{C_2} T_{I_1}} \cdot \frac{(1 + T_{I_1} s + T_{D_1} T_{I_1} s^2)(1 + T_2 s)}{(1 + T_{I_2} s + T_{D_2} T_{I_2} s^2)(1 + T_1 s)} \cdot e^{-(L_1 - L_2)s} \quad (4.16)$$

şeklinde elde edilir. İçsel model kontrole dayalı PID kontrolör için $F_2(s)$ filtresi

$$G_{C_j}(s) = K_{C_j} \left(1 + T_{D_j} s + \frac{1}{T_{I_j} s} \right) \frac{1}{\lambda_j s + 1} \quad (j=1,2) \quad (4.17)$$

$$F_2(s) = F_1(s) \frac{K_1 K_{C_1} T_{I_2}}{K_2 K_{C_2} T_{I_1}} \cdot \frac{(1 + T_{I_1} s + T_{D_1} T_{I_1} s^2)(1 + T_2 s)(\lambda_2 s + 1)}{(1 + T_{I_2} s + T_{D_2} T_{I_2} s^2)(1 + T_1 s)(\lambda_1 s + 1)} \cdot e^{-(L_1 - L_2)s} \quad (4.18)$$

şeklinde elde edilir. çapraz birleştirilmiş oran kontrol yapısına benzer şekilde

$$F_1(s) = \beta_1 \quad (4.19)$$

şeklinde seçilerek $F_2(s)$ filtreleri PI, PD, PID ve İçsel model kontrole dayalı PID kontrolörler için elde edilmiş olur. β_1 parametresi [0.4,0.8] aralığında seçilmesi tavsiye edilir.

4.3 Envanter ve Sipariş Tabanlı Üretim Kontrol Sistemlerinde Oran Kontrol Yapısı Benzetimleri

Envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemlerinde oran kontrol yapıları için önerilen yapı ile ilgili PI, PD, PID ve içsel modele kontrole dayalı PID kontrolörler kullanılarak benzetimler gerçekleştirilmiştir. Envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemlerinde süreç modeli

$$G_p(s) = \frac{1}{\left(\frac{T_p}{3}\right)s + 1}^3 \quad (4.20)$$

şeklindedir. birinci süreç için $T_p=6$ ve ikinci süreç için $T_p=4$ seçilerek G_{p1} ve G_{p2} sırasıyla

$$G_p(s) = \frac{1}{(2s+1)^3} \quad (4.21)$$

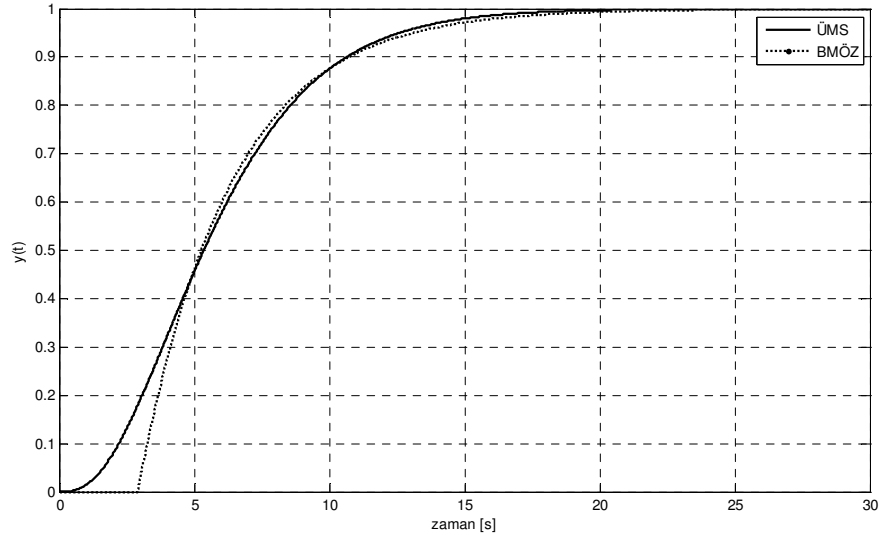
$$G_p(s) = \frac{1}{\left(\frac{4}{3}s+1\right)^3} \quad (4.22)$$

şeklinde elde edilmiştir. Kontrolör tasarımının daha kolay yapılabilmesi için bu iki süreç üç parametre yöntemiyle, birinci mertebeden ölü zamanlı sistemler olarak modellenmiştir. Bu iki sürece ait birinci mertebeden ölü zamanlı sistem modelleri

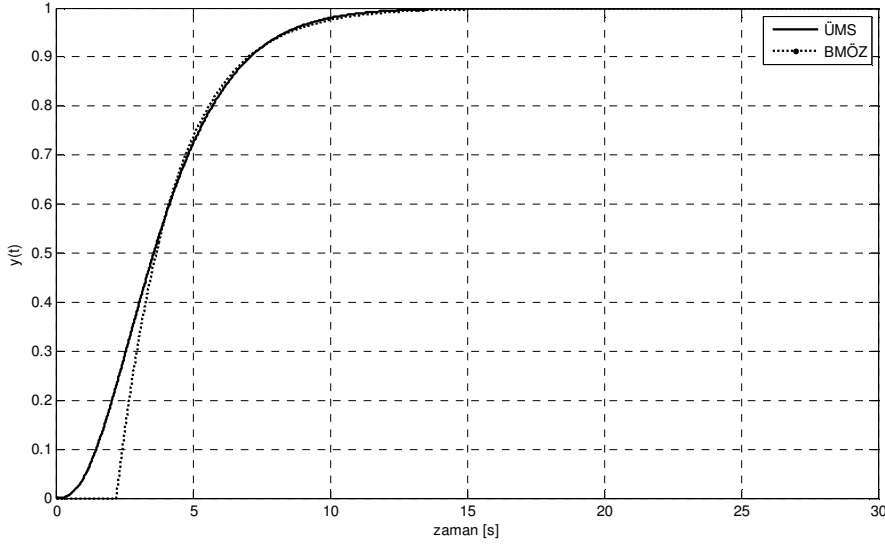
$$G_{p1}(s) = \frac{1}{3.4s+1} e^{-2.9s} \quad (4.23)$$

$$G_{p2}(s) = \frac{1}{2.1s+1} e^{-2.2s} \quad (4.24)$$

şeklinde bulunmuştur. Üçüncü mertebeden sistem (ÜMS) ve birinci mertebeden ölü zamanlı model (BMÖZ) için açık çevrim sistem cevapları; birinci süreç için Şekil 4.2'de, ikinci süreç için Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Ölü zamanı daha küçük olan sistem performansta iyileştirme sağlanması amacıyla ikinci sistem olarak seçilmiştir.



Şekil 4.2 : Birinci sistemin üçüncü ve birinci mertebeden ölü zamanlı modeli.



Şekil 4.3 : İkinci sistemin üçüncü ve birinci mertebeden ölü zamanlı modeli.

4.3.1 PI kontrolör kullanılarak gerçekleştirilen benzetimler

Yapılan benzetimlerde G_{p1} ve G_{p2} sistem modellerinde, denklem (4.23) ve (4.24)'te elde edilen birinci mertebeden ölü zamanlı modeller kullanılmıştır. Talep planında yer alan G_{d1} ve G_{d2}

$$G_{d1} = G_{d2} = \frac{1}{s+1} \quad (4.25)$$

olarak seçilmiştir. Birinci ve ikinci kontrolör, envanter kontrol sistemleri için kontrolör tasarımı kısmında anlatılan ilk yöntem kullanılarak

$$G_{C1}(s) = 0.083 \left(1 + \frac{1}{23.31s} \right) \quad (4.26)$$

$$G_{C2}(s) = 0.1293 \left(1 + \frac{1}{15.91s} \right) \quad (4.27)$$

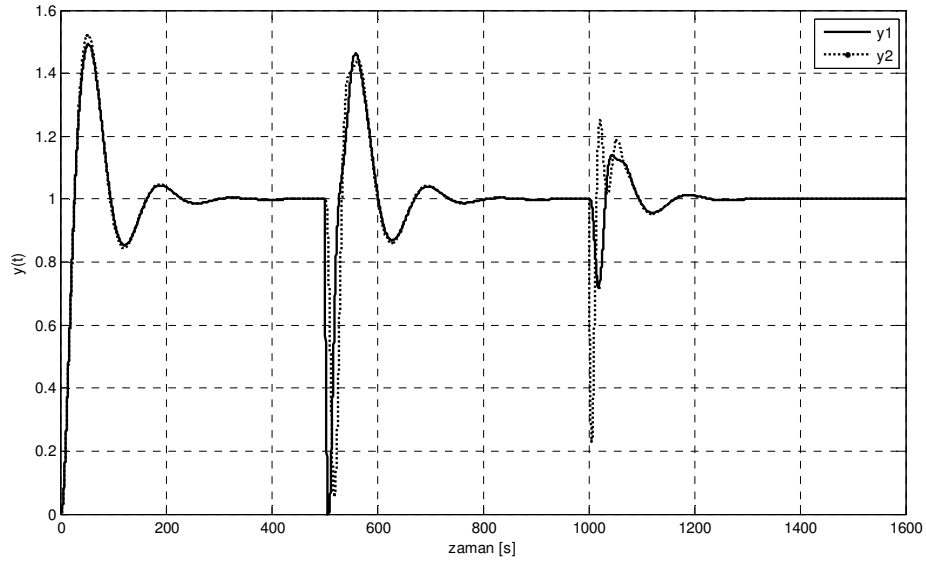
olarak elde edilmiştir. Birinci dinamik harmanlama merkezinde yer alan β_1 değeri 0.5 seçildiğinde ikinci dinamik harmanlama merkezi

$$F_2(s) = 0.2329 \frac{(1+23.31s)(1+2.1s)}{(1+15.91s)(1+3.4s)} \cdot e^{-0.7s} \quad (4.28)$$

olarak elde edilir. Sistemlere ilk önce birim basamak işareti, daha sonra ise 500. saniyede birinci sisteme 1000. saniyede ikinci sisteme birer %20'lik birim basamak yük bozucusu uygulanmıştır. Yapılan benzetimlerin performanslarının karşılaştırılabilmesi için

$$J = \int_0^{\infty} |ay_1(t) - y_2(t)| dt \quad (4.29)$$

kriteri kullanılacaktır. Yapılan benzetimler sonucunda elde edilen sistem cevapları, kontrol işaretleri oran hatasına ait grafikler sırasıyla Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

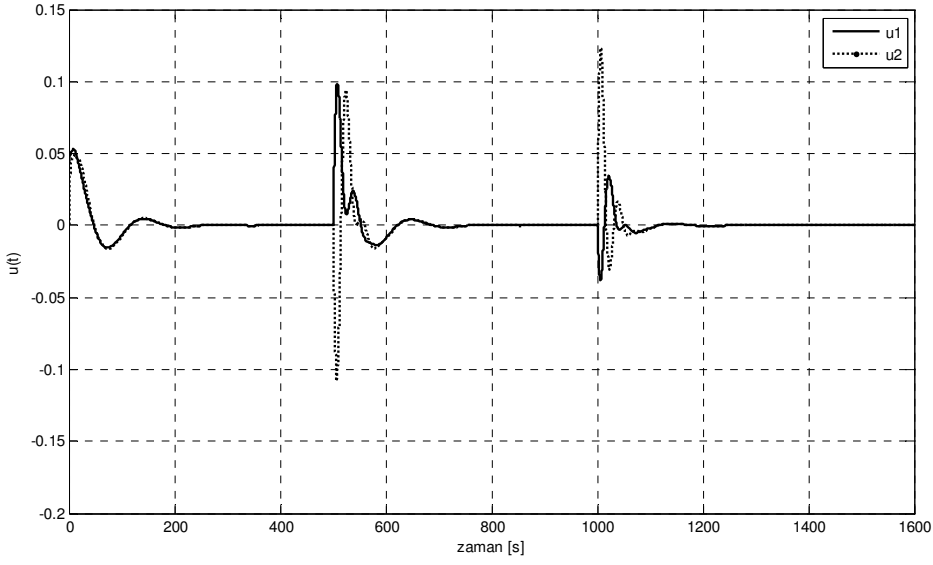


Şekil 4.4 : Birinci tasarım yöntemi ile bulunan PI kontrolörler için elde edilen sistem cevapları.

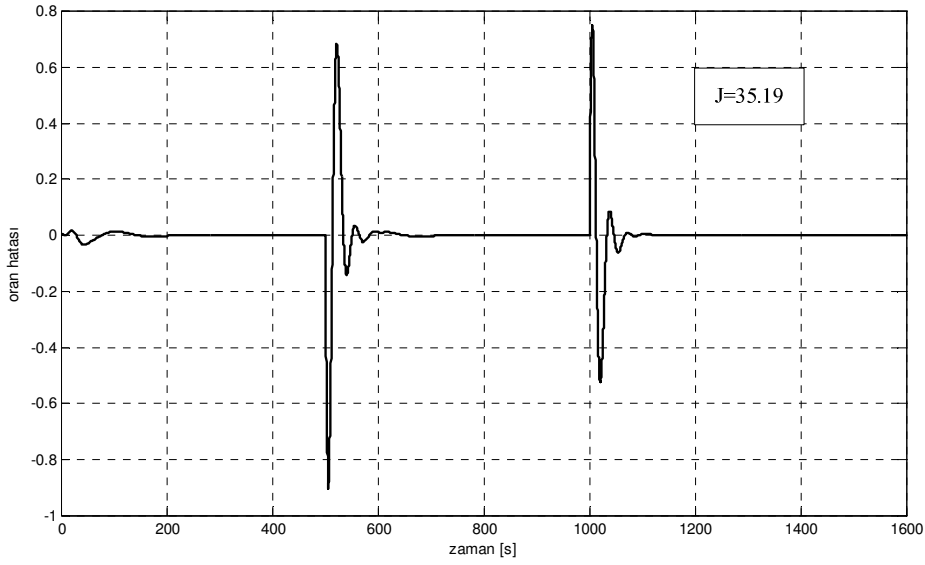
Şekil 4.4'ten görüleceği üzere sistemde yaklaşık %50 aşım yapmaktadır. Buna karşın sistemlerden herhangi birine etki eden yük bozucusu karşısında istenilen oran "a"nın sağlanmasını ve işaret takibini gerçekleştirdiği düşünülebilir.

Şekil 4.5'teki kontrol işaretleri incelendiğinde bu sonuçların makul sınırlar içinde kalan kontrol işaretleri ile gerçekleştirildiği söylenebilir.

Şekil 4.6'daki oran hatası ve performans kriteri açısından, tasarlanan diğer kontrolör ile karşılaştırıldığında vasat bir performans sergilediği görülmektedir.



Şekil 4.5 : Birinci tasarım yöntemi ile bulunan PI kontrolörlerin kontrol işaretleri.



Şekil 4.6 : Birinci tasarım yöntemi ile bulunan PI kontrolörler için sistemde oluşan oran hatası.

İkinci tasarım yöntemi kullanılarak elde edilen PI kontrolörler

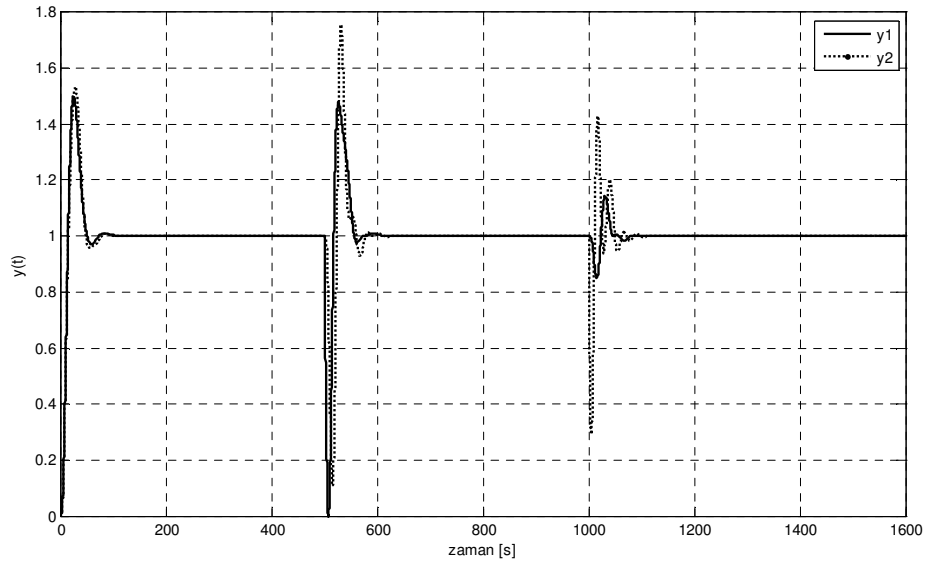
$$G_{C1}(s) = 0.1511 \left(1 + \frac{1}{25.2s} \right) \quad (4.30)$$

$$G_{C2}(s) = 0.2214 \left(1 + \frac{1}{17.2s} \right) \quad (4.31)$$

şeklinde bulunmuştur. Birinci dinamik harmanlama merkezinde yer alan β_1 değeri 0.75 seçildiğinde ikinci dinamik harmanlama merkezi

$$F_2(s) = 0.3494 \frac{(1 + 25.2s)(1 + 2.1s)}{(1 + 17.2s)(1 + 3.4s)} \cdot e^{-0.7s} \quad (4.32)$$

olarak elde edilir. Sistemlere ilk önce birim basamak işareti, daha sonra ise 500. saniyede birinci sisteme 1000. saniyede ikinci sisteme birer %20'lik birim basamak yük bozucusu uygulanmıştır. Yapılan benzetimler sonucunda elde edilen sistem cevapları, kontrol işaretleri oran hatasına ait grafikler sırasıyla Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da gösterilmiştir.

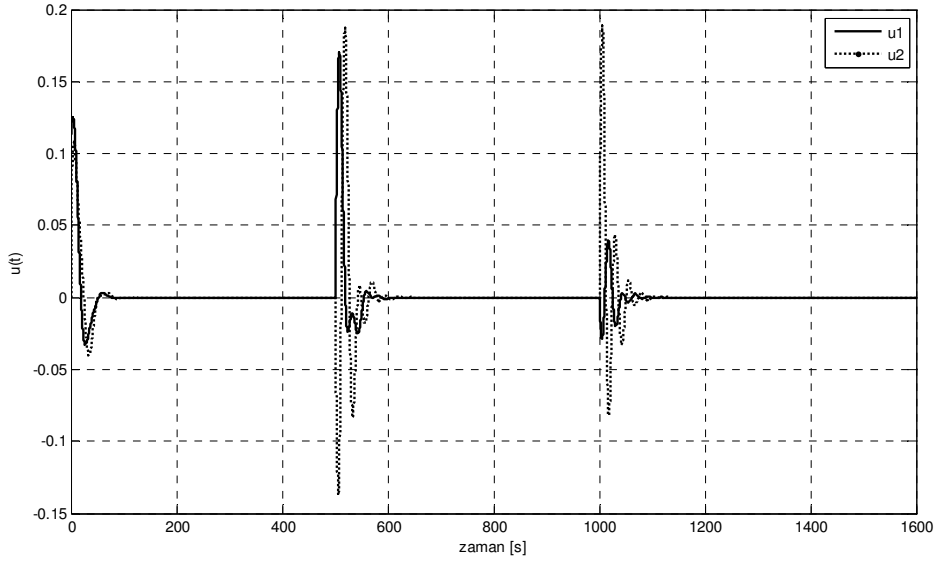


Şekil 4.7 : İkinci tasarım yöntemi ile bulunan PI kontrolörler için elde edilen sistem cevapları.

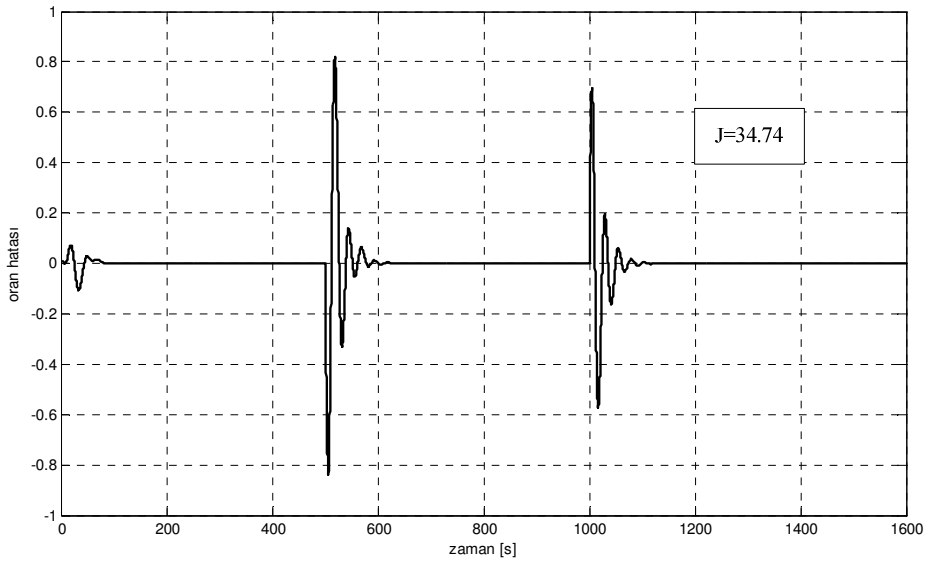
Şekil 4.7'ten görüleceği üzere sistemde yaklaşık %50 aşım yapmaktadır. Buna karşın sistemlerden herhangi birine etki eden yük bozucusu karşısında istenilen oran "a"nın sağlanmasını ve işaret takibinin daha iyi gerçekleştirdiği düşünülebilir.

Şekil 4.8'teki kontrol işaretleri incelendiğinde bu sonuçların makul sınırlar içinde kalan kontrol işaretleri ile gerçekleştirildiği ancak ilk tasarım yönetim ile elde edilen kontrol işaretlerinde daha fazla olduğu söylenebilir.

Şekil 4.9'daki oran hatası ve performans kriteri açısından, tasarlanan diğer kontrolör ile karşılaştırıldığında yine vasat bir performans sergilediği görülmektedir.



Şekil 4.8 : İkinci tasarım yöntemi ile bulunan PI kontrolörlerin kontrol işaretleri.



Şekil 4.9 : İkinci tasarım yöntemi ile bulunan PI kontrolörler için sistemde oluşan oran hatası.

Üçüncü tasarım yöntemi kullanılarak elde edilen PI kontrolörler

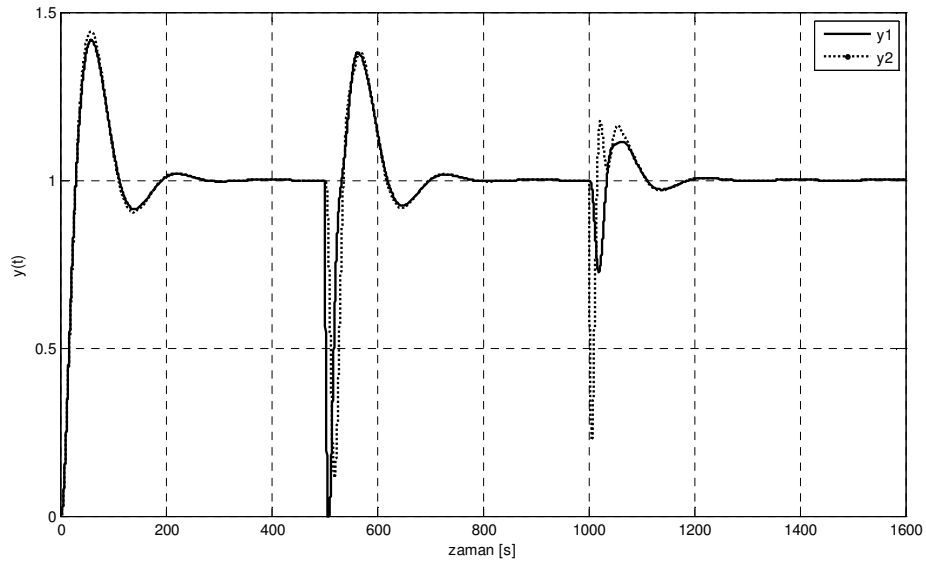
$$G_{C1}(s) = 0.0858 \left(1 + \frac{1}{30.3773s} \right) \quad (4.33)$$

$$G_{C2}(s) = 0.1252 \left(1 + \frac{1}{20.57s} \right) \quad (4.34)$$

şeklinde bulunmuştur. Birinci dinamik harmanlama merkezinde yer alan β_1 değeri 0.5 seçildiğinde ikinci dinamik harmanlama merkezi

$$F_2(s) = 0.2322 \frac{(1 + 30.3773s)(1 + 2.1s)}{(1 + 20.57s)(1 + 3.4s)} \cdot e^{-0.7s} \quad (4.35)$$

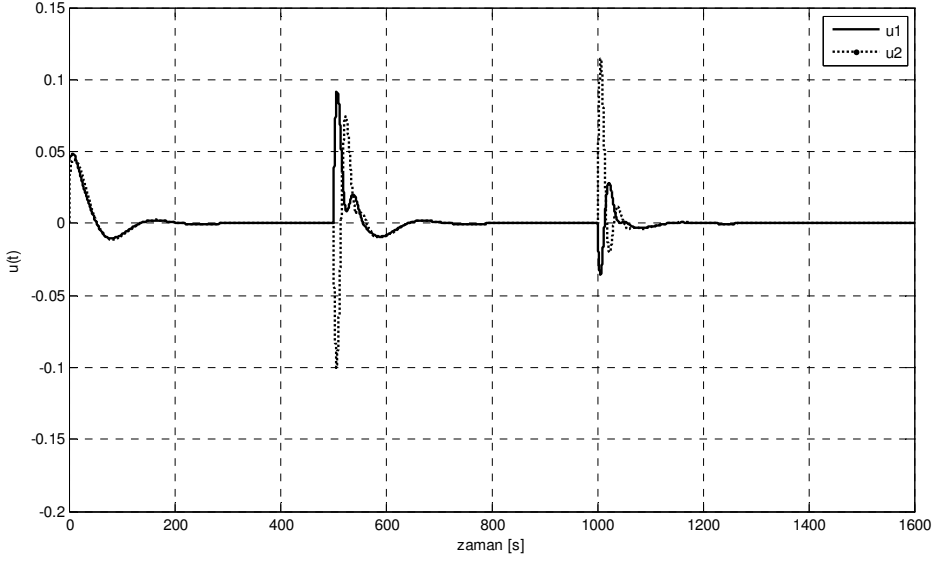
olarak elde edilir. Sistemlere ilk önce birim basamak işareti, daha sonra ise 500. saniyede birinci sisteme 1000. saniyede ikinci sisteme birer %20'lik birim basamak yük bozucusu uygulanmıştır. Yapılan benzetimler sonucunda elde edilen sistem cevapları, kontrol işaretleri oran hatasına ait grafikler sırasıyla Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



Şekil 4.10 : Üçüncü tasarım yöntemi ile bulunan PI kontrolörler için elde edilen sistem cevapları.

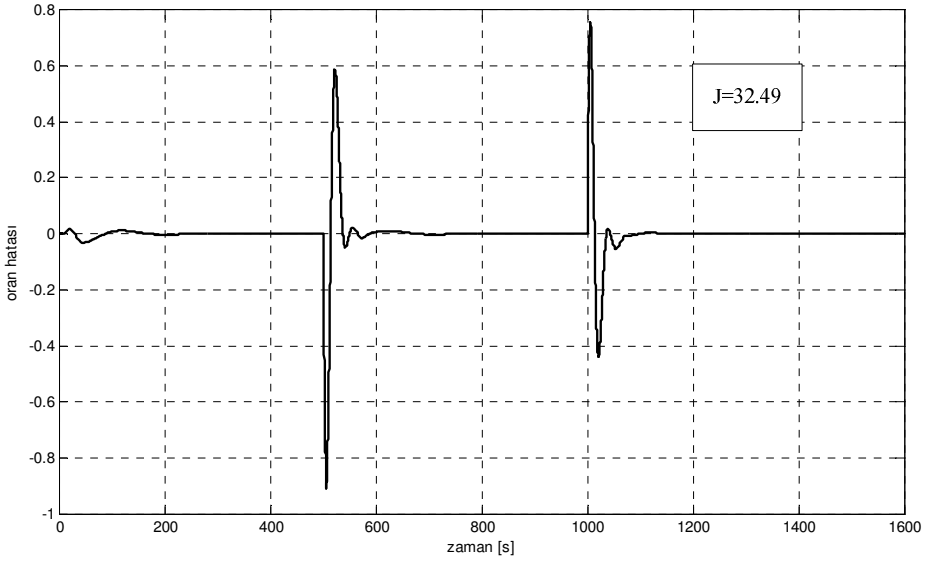
Şekil 4.10'dan görüleceği üzere sistemde yaklaşık %40 aşım oluşmaktadır. Buna karşın sistemlerden herhangi birine etki eden yük bozucusu karşısında istenilen oran "a"nın sağlanmasında ve işaret takibinde tasarlanan PI kontrolörler içinde en iyi sonuç elde edilmiştir.

Şekil 4.12'deki oran hatası ve performans kriteri açısından değerlendirildiğinde, PI kontrolörler içinde en iyi sonucun elde edildiği ancak diğer tasarım yöntemleri ile elde edilen kontrolörler ile karşılaştırıldığında kötü performans sergilediği görülmektedir.



Şekil 4.11 : Üçüncü tasarım yöntemi ile bulunan PI kontrolörlerin kontrol işaretleri.

Şekil 4.11’teki kontrol işaretleri incelendiğinde bu sonuçların makul sınırlar içinde kalan kontrol işaretleri ile gerçekleştirildiği söylenebilir.



Şekil 4.12 : Üçüncü tasarım yöntemi ile bulunan PI kontrolörler için sistemde oluşan oran hatası.

4.3.2 PD kontrolör kullanılarak yapılan benzetimler

Yapılan benzetimlerde G_{p1} ve G_{p2} sistem modellerinde, denklem (4.23) ve (4.24)'te yer elde edilen birinci mertebeden ölü zamanlı modeller kullanılmıştır. Talep planında yer alan G_{d1} ve G_{d2} yine denklem (4.25)'deki gibi alınmıştır. Birinci ve ikinci kontrolör, envanter kontrol sistemleri için kontrolör tasarımı kısmında anlatılan PID kontrolör tasarım yöntemlerinde T_i integral zaman sabitinin sıfır seçilmesi ile bulunmuştur. İlk tasarım yöntemi kullanılarak PD tipli kontrolörler

$$G_{C1}(s) = 0.2299(1 + 3.4s) \quad (4.36)$$

$$G_{C2}(s) = 0.3030(1 + 2.1s) \quad (4.37)$$

olarak bulunmuştur. Birinci dinamik harmanlama merkezinde yer alan β_1 değeri 0.5 seçildiğinde ikinci dinamik harmanlama merkezi

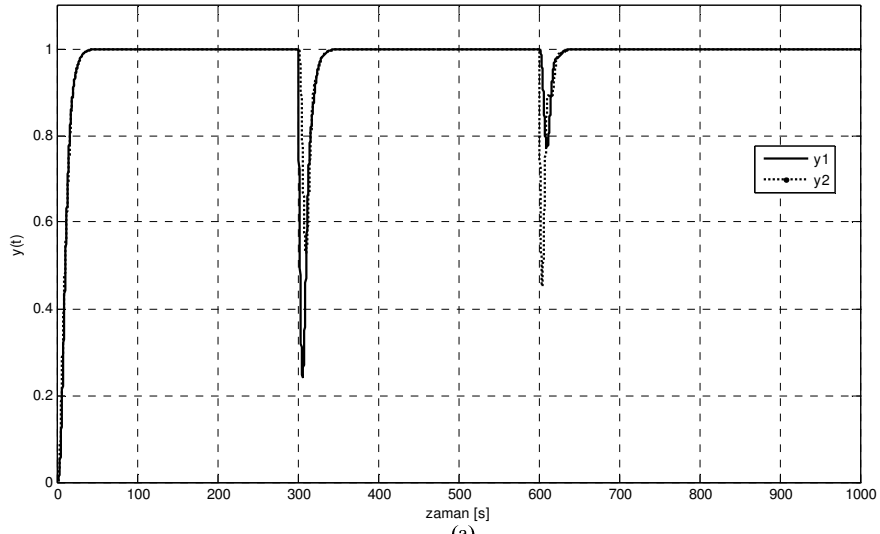
$$F_2(s) = 0.3793.e^{-0.7s} \quad (4.38)$$

olarak elde edilir. Sistemlere ilk önce birim basamak işareti, daha sonra ise 300. saniyede birinci sisteme 600. saniyede ikinci sisteme birer %20'lik birim basamak yük bozucusu uygulanmıştır. Yapılan benzetimler sonucunda elde edilen sistem cevapları, kontrol işaretleri oran hatasına ait grafikler sırasıyla Şekil 4.13'de gösterilmiştir.

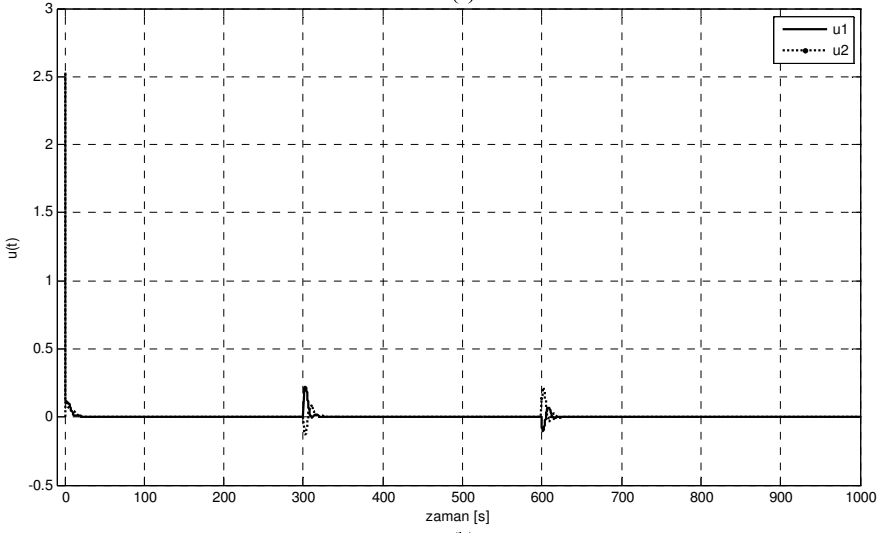
Sistem cevaplarına bakıldığında geçici halde ve sisteme yük bozucuları etki ettiğinde, sistemde aşımın meydana gelmediği görülmektedir. Her iki durumda da sistem çıkışlarının birbirini takibi son derece başarılıdır.

Oran hatası ve seçilen performans kriteri açısından PD kontrolör kullanılarak gerçekleştirilen benzetim incelendiğinde PI kontrolör kullanılarak gerçekleştirilen benzetimlere oranla son derece başarılı sonuçlar elde edildiği gözlenmektedir. Geçici halde ve yük bozucuları etki ettiğinde sistemin aşım yapmaması performans kriterinin düşük olmasında önemli etkindir.

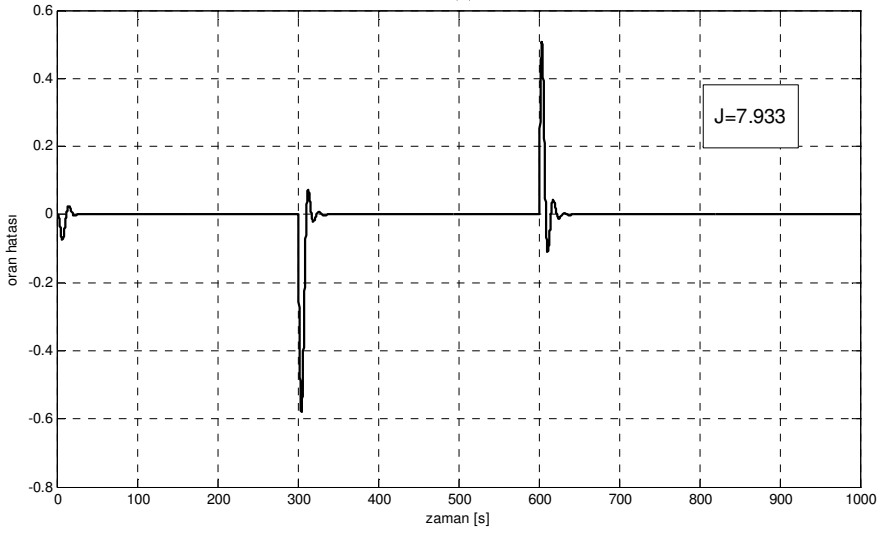
Kontrol işaretleri incelendiğinde, geçici halde sistemde yüksek kontrol işaretlerinin oluştuğu gözlemlenmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.13 : Birinci PD kontrolörler tasarım yöntemi ile elde edilen benzetim sonuçları için (a) sistem cevapları (b) kontrol işaretleri (c) oran hatası.

İkinci tasarım yöntemi kullanılarak PD tipli kontrolörler

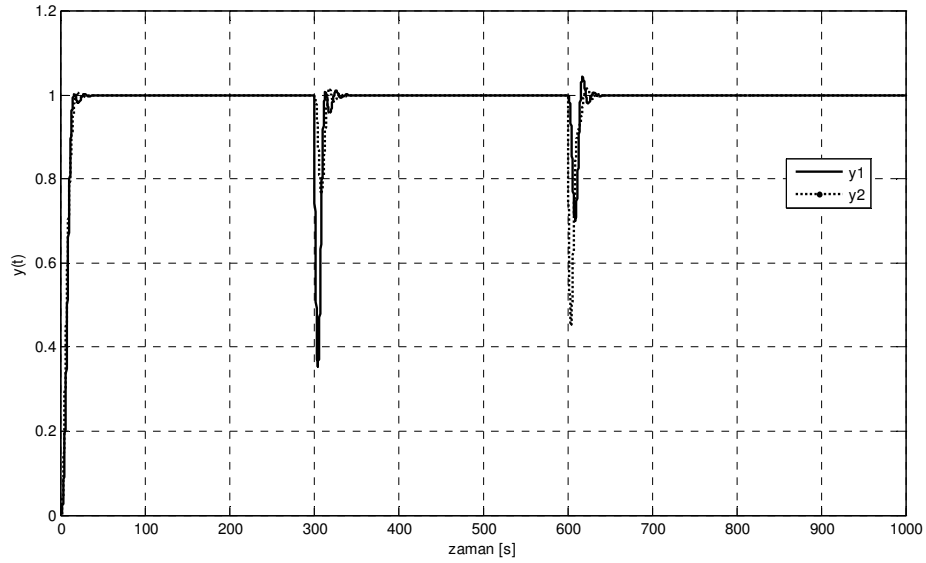
$$G_{C1}(s) = 0.3681(1 + 3.4s) \quad (4.39)$$

$$G_{C2}(s) = 0.2997(1 + 2.1s) \quad (4.40)$$

olarak bulunmuştur. Birinci dinamik harmanlama merkezinde yer alan β_1 değeri 0.5 seçildiğinde ikinci dinamik harmanlama merkezi

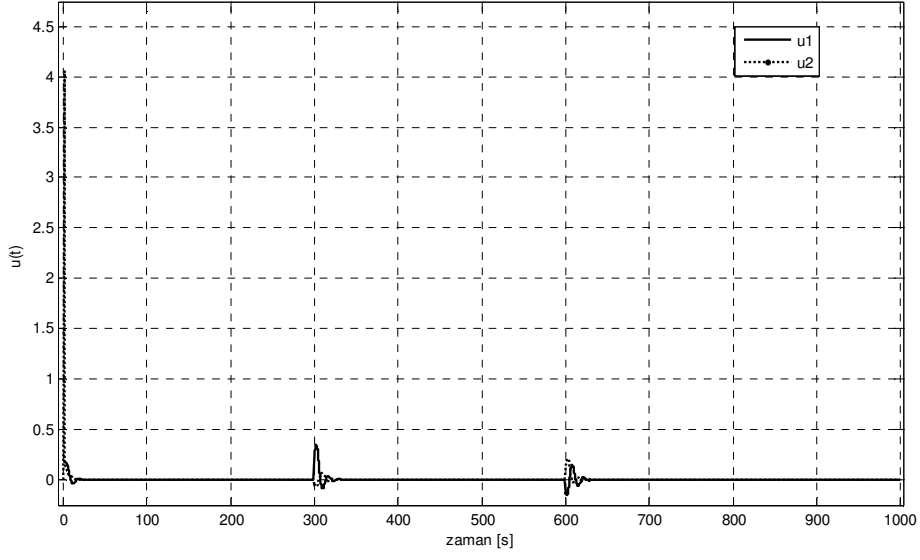
$$F_2(s) = 0.6141.e^{-0.7s} \quad (4.41)$$

olarak elde edilir. Sistemlere ilk önce birim basamak işareti, daha sonra ise 300. saniyede birinci sisteme 600. saniyede ikinci sisteme birer %20'lik birim basamak yük bozucusu uygulanmıştır. Yapılan benzetimler sonucunda elde edilen sistem cevapları, kontrol işaretleri oran hatasına ait grafikler sırasıyla Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da gösterilmiştir.

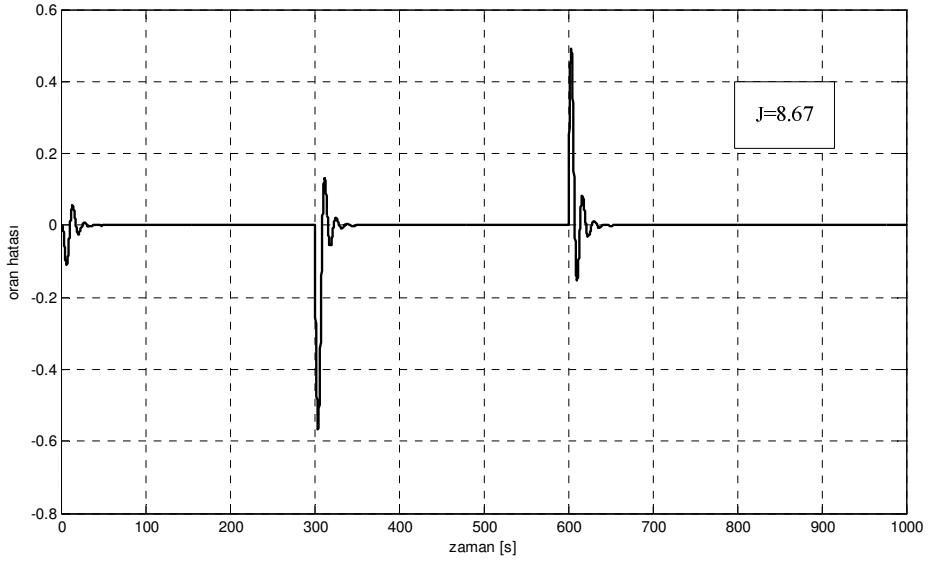


Şekil 4.14 : İkinci tasarım yöntemi ile bulunan PD kontrolörler için elde edilen sistem cevapları.

Sistem cevapları incelendiğinde geçici halde ve yük bozucuları etki ettiğinde sistemde azda olsa aşım gerçekleştiği görülmektedir. Kontrolör, performans kriteri açısından diğer yöntemlere karşın iyi olsa da PD kontrolör tasarım yöntemleri içinde elde edilen en kötü performansa sahiptir.



Şekil 4.15 : İkinci tasarım yöntemi ile bulunan PD kontrolörlere ait kontrol işaretleri.



Şekil 4.16 : İkinci tasarım yöntemi ile bulunan PD kontrolörler için oran hatası.

Üçüncü tasarım yöntemi kullanılarak PD tipli kontrolörler

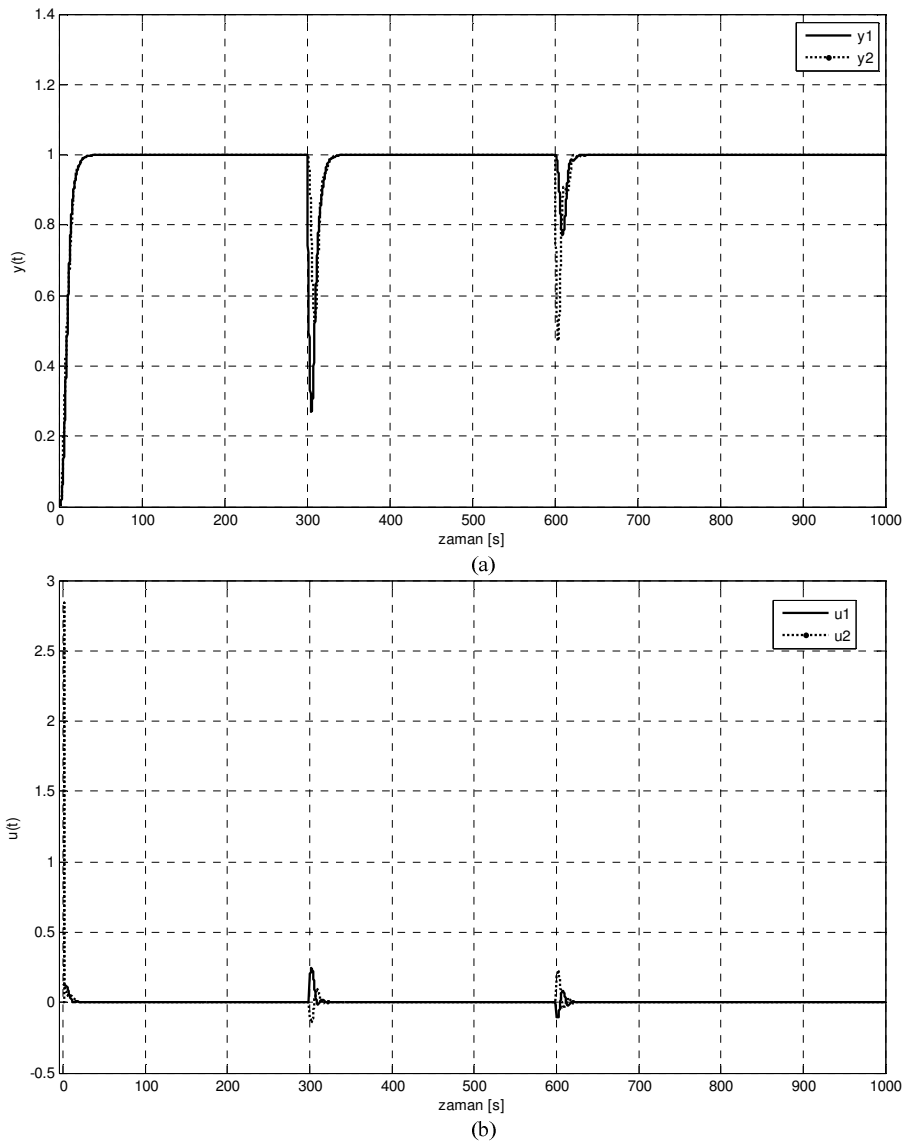
$$G_{C1}(s) = 0.2579(1 + 3.4s) \quad (4.42)$$

$$G_{C2}(s) = 0.34(1 + 2.1s) \quad (4.43)$$

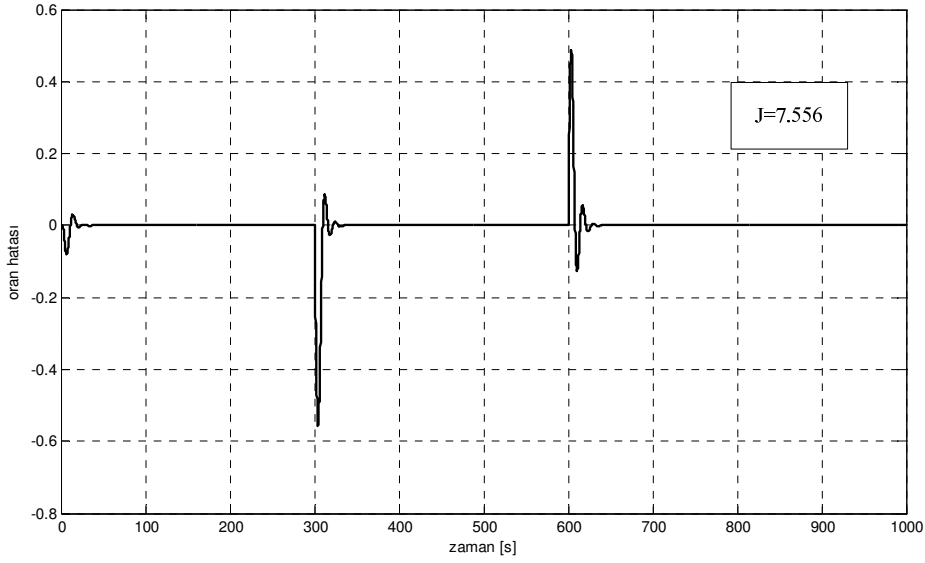
olarak bulunmuştur. Birinci dinamik harmanlama merkezinde yer alan β_1 değeri 0.5 seçildiğinde ikinci dinamik harmanlama merkezi

$$F_2(s) = 0.3793.e^{-0.7s} \quad (4.44)$$

olarak elde edilir. Sistemlere ilk önce birim basamak işareti, daha sonra ise 300. saniyede birinci sisteme 600. saniyede ikinci sisteme birer %20'lik birim basamak yük bozucusu uygulanmıştır. Yapılan benzetimler sonucunda elde edilen sistem cevapları, kontrol işaretleri oran hatasına ait grafikler sırasıyla Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de gösterilmiştir.



Şekil 4.17 : İkinci tasarım yöntemi ile bulunan PD kontrolörler benzetimleri (a)sistem cevapları, (b) kontrol işaretleri.



Şekil 4.18 : İkinci tasarım yöntemi ile bulunan PD kontrolörler için sistemde oluşan oran hatası.

4.3.3 PID kontrolör kullanılarak yapılan benzetimler

Yapılan benzetimlerde G_{p1} ve G_{p2} sistem modellerinde, denklem (4.23) ve (4.24)'te y elde edilen birinci mertebeden ölü zamanlı modeller kullanılmıştır. Talep planında yer alan G_{d1} ve G_{d2} yine denklem (4.25)'deki gibi alınmıştır. Birinci ve ikinci kontrolör, envanter kontrol sistemleri için kontrolör tasarımı kısmında anlatılan PID kontrolör tasarım yöntemi uygulanarak

$$G_{C1}(s) = 0.1114 \left(1 + 3.0867s + \frac{1}{36.9s} \right) \quad (4.45)$$

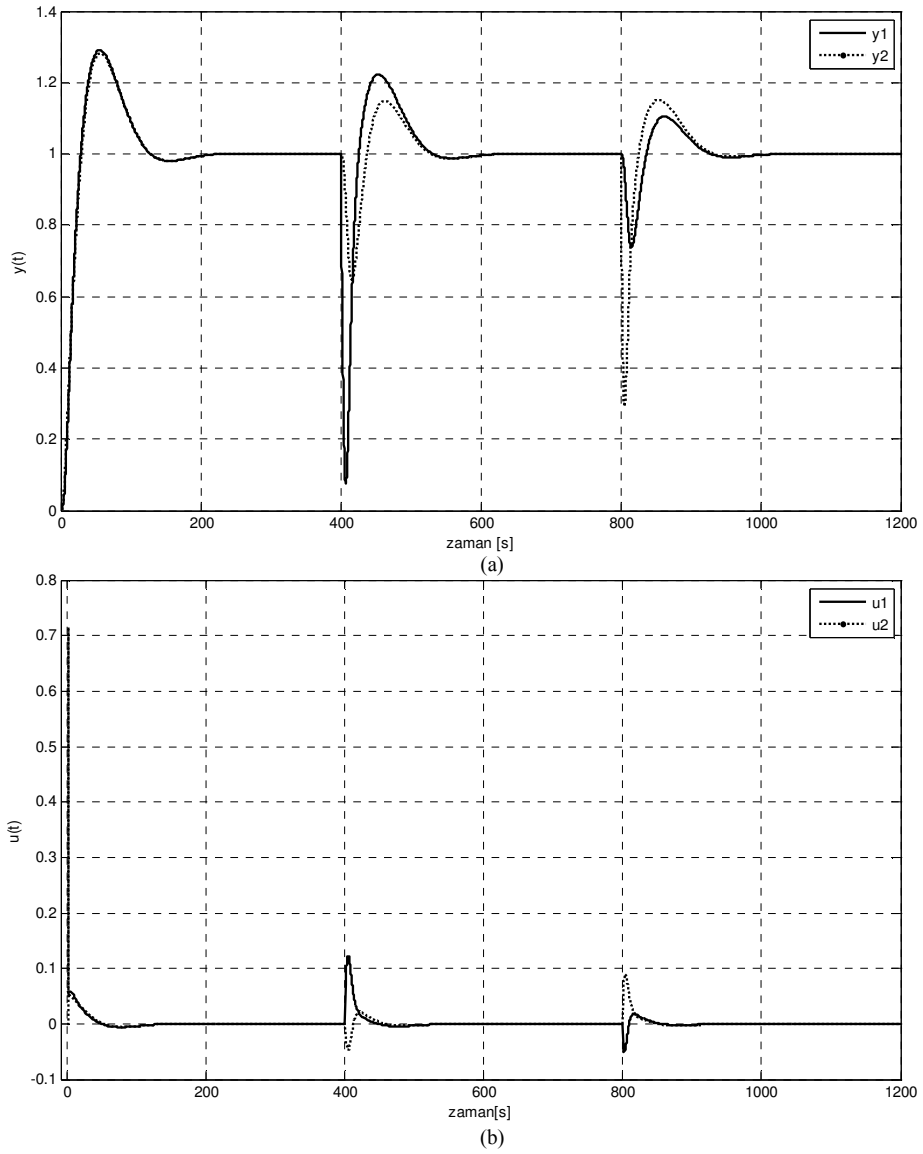
$$G_{C2}(s) = 0.1096 \left(1 + 1.9785s + \frac{1}{36.3s} \right) \quad (4.46)$$

olarak bulunmuştur. Birinci dinamik harmanlama merkezinde yer alan β_1 değeri 0.5 seçildiğinde ikinci dinamik harmanlama merkezi

$$F_2(s) = 0.5 \frac{(1 + 36.9s + 113.9s^2)(1 + 2.1s)}{(1 + 36.3s + 71.82s^2)(1 + 3.4s)} \cdot e^{-0.7s} \quad (4.47)$$

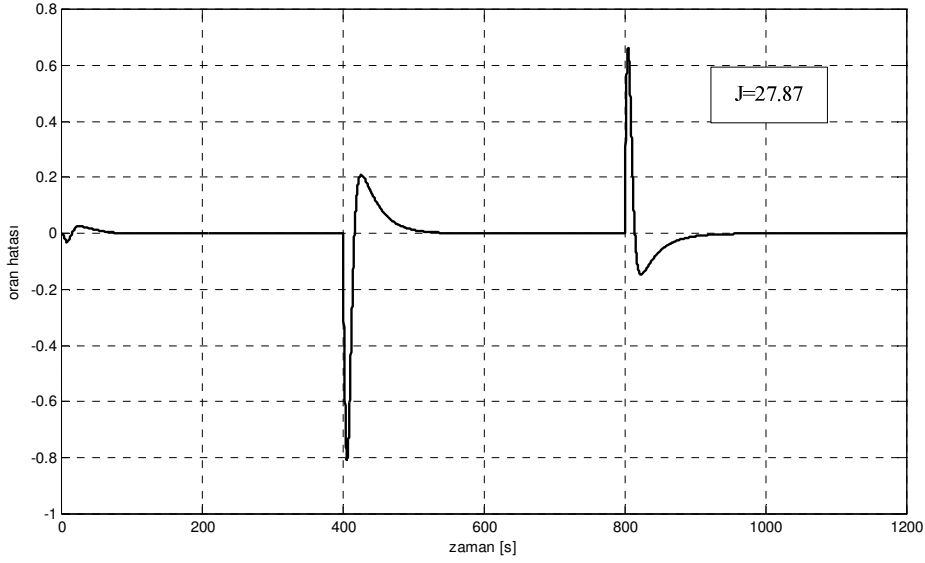
olarak elde edilir. Sistemlere ilk önce birim basamak işareti, daha sonra ise 400. saniyede birinci sisteme 800. saniyede ikinci sisteme birer %20'lik birim basamak yük bozucusu uygulanmıştır. Yapılan benzetimler sonucunda elde edilen sistem

cevapları, kontrol işaretleri oran hatasına ait grafikler sırasıyla Şekil 4.19 ve Şekil4.20’de gösterilmiştir.



Şekil 4.19 : PID kontrolörler kullanılarak gerçekleştirilen benzetim sonuçları (a) sistem cevapları (b) kontrol işaretleri.

Yapılan benzetim oran hatası ve performans kriterleri açısından değerlendirildiğinde PI kontrolör kullanılarak gerçekleştirilen benzetimlere göre daha iyi sonuçlar vermesine karşın PD kontrolör kullanılan benzetimlerin performans açısından gerisinde kalmıştır.



Şekil 4.20 : PID kontrolörler kullanılarak gerçekleştirilen benzetim sonucunda oluşan oran hatası.

4.3.4 İçsel model kontrole dayalı PID kontrolör ile yapılan benzetimler

Yapılan benzetimlerde G_{p1} ve G_{p2} sistem modellerinde, denklem (4.23) ve (4.24)'te yer elde edilen birinci mertebeden ölü zamanlı modeller kullanılmıştır. Talep planında yer alan G_{d1} ve G_{d2} yine denklem (4.25)'deki gibi alınmıştır. Birinci ve ikinci kontrolör, envanter kontrol sistemleri için kontrolör tasarımı kısmında anlatılan ilk içsel modele dayalı PID kontrolör tasarım yöntemi uygulanarak

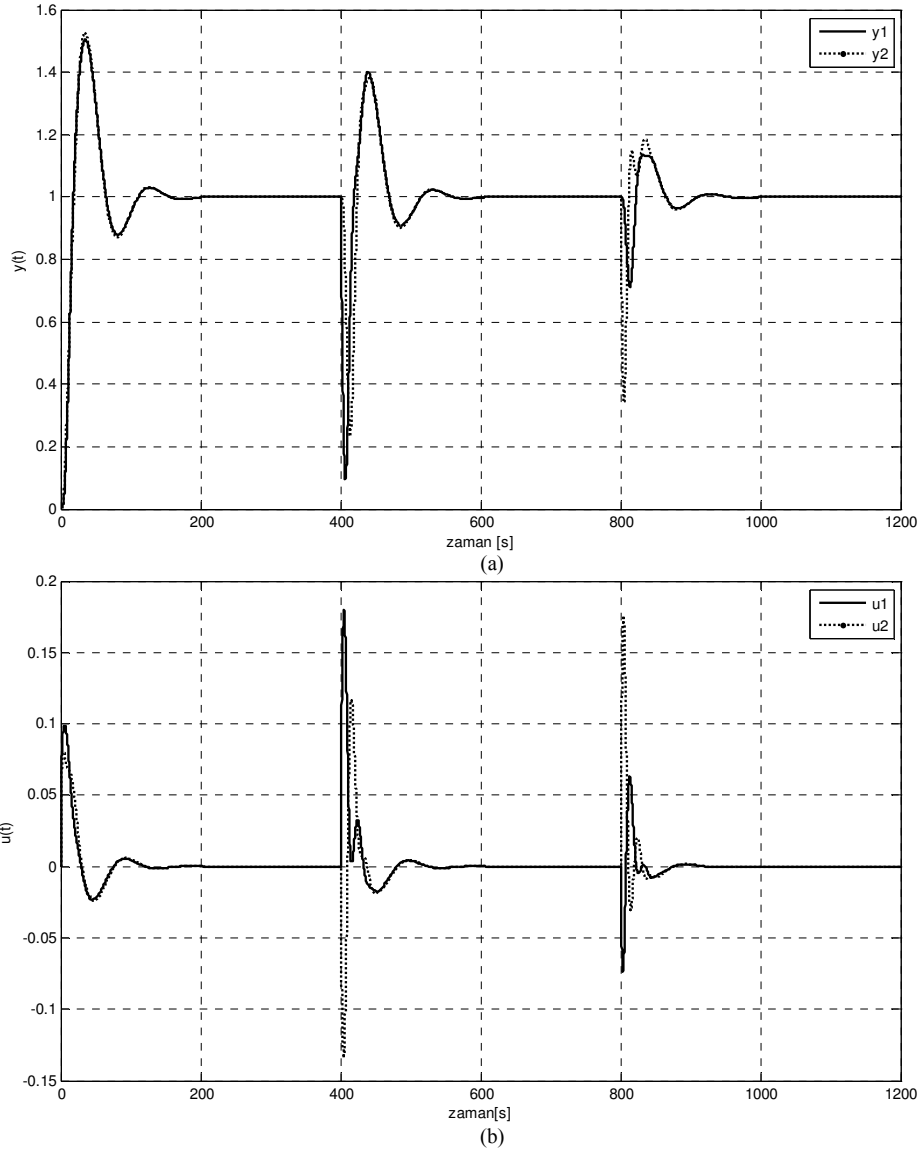
$$G_{C1}(s) = 0.1704 \cdot \left(1 + 2.8026s + \frac{1}{19.35s} \right) \cdot \frac{1}{0.79s} \quad (4.48)$$

$$G_{C2}(s) = 0.2173 \cdot \left(1 + 1.7894s + \frac{1}{14.2s} \right) \cdot \frac{1}{0.6061s} \quad (4.49)$$

olarak bulunmuştur. Birinci dinamik harmanlama merkezinde yer alan β_1 değeri 0.5 seçildiğinde ikinci dinamik harmanlama merkezi

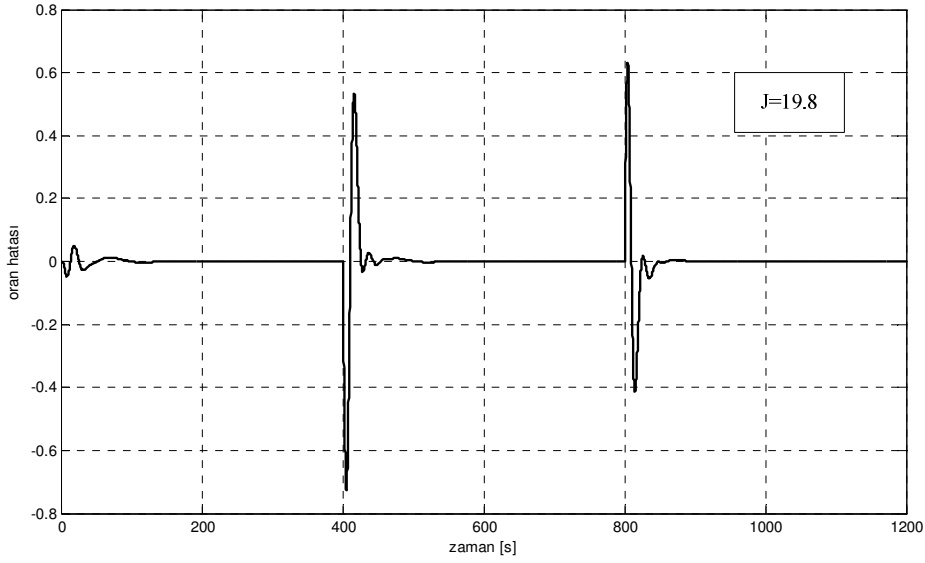
$$F_2(s) = 0.2878 \frac{(1+19.35s+54.18s^2)(1+2.1s)(1+0.6061s)}{(1+14.2s+25.45^2)(1+3.4s)(1+0.79s)} \cdot e^{-0.7s} \quad (4.50)$$

olarak elde edilir. Sistemlere ilk önce birim basamak işareti, daha sonra ise 400. saniyede birinci sisteme 800. saniyede ikinci sisteme birer %20'lik birim basamak yük bozucusu uygulanmıştır. Yapılan benzetimler sonucunda elde edilen sistem cevapları, kontrol işaretleri oran hatasına ait grafikler sırasıyla Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



Şekil 4.21 : Birinci tasarım yöntemi ile bulunan içsel model kontrole dayalı PID kontrolörler kullanılarak gerçekleştirilen benzetim sonuçları: (a) sistem cevapları (b) kontrol işaretleri.

İçsel model kontrole dayalı PID kontrolör performans kriteri açısından PID kontrolörden daha iyi sonuç vermesine karşın PD kontrolörün gerisinde kalmaktadır. En kötü sonuçlar PI kontrolörün kullanıldığı benzetimlerdir.



Şekil 4.22 : Birinci tasarım yöntemi ile bulunan içsel model kontrole dayalı PID kontrolörler kullanılarak oluşturulan benzetim oran hataları.

İkinci içsel modele dayalı PID kontrolör tasarım yöntemi uygulanarak

$$G_{C1}(s) = 0.238 \left(1 + 2.624s + \frac{1}{14.89s} \right) \cdot \frac{1}{0.83s} \quad (4.51)$$

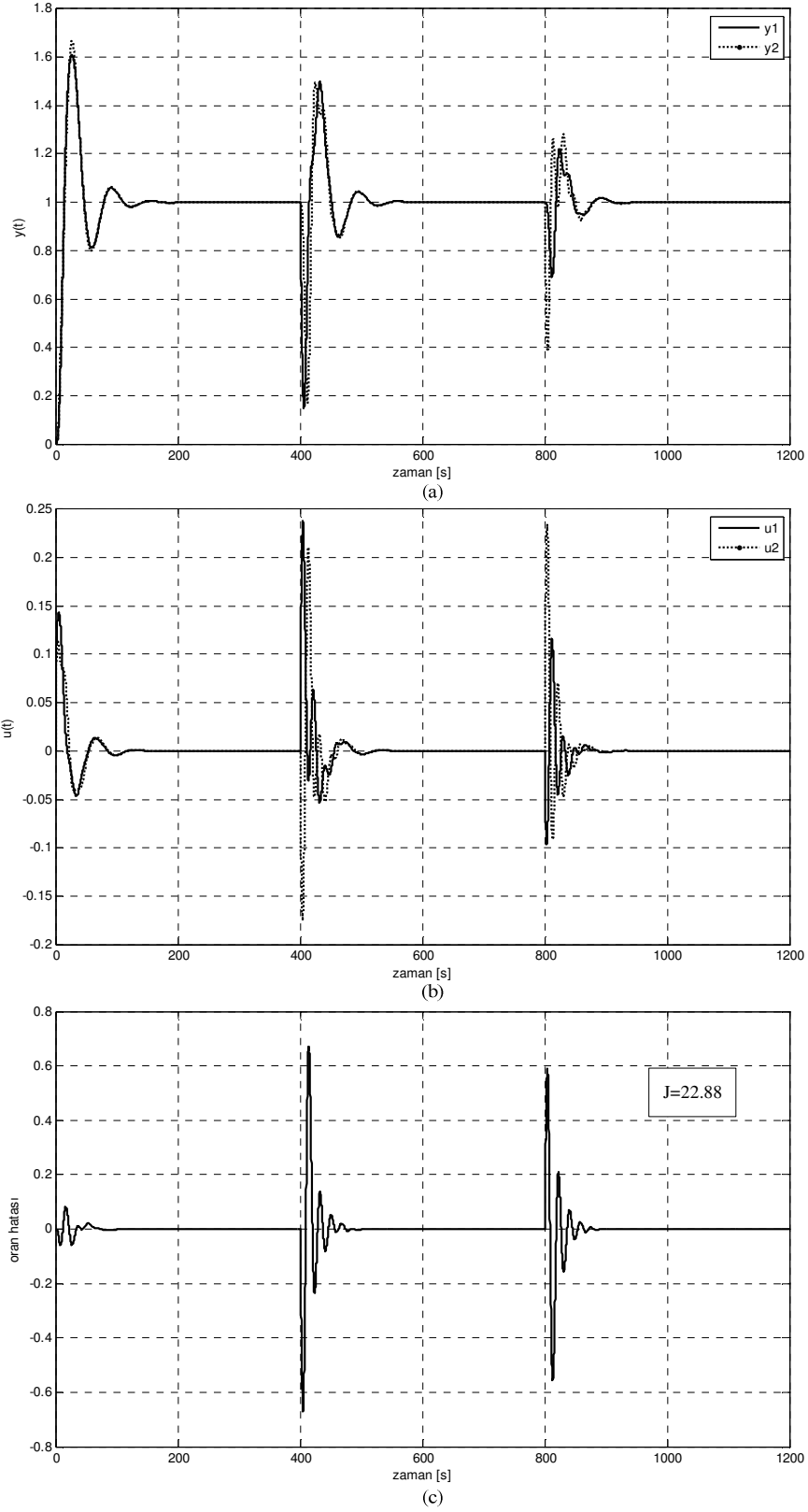
$$G_{C2}(s) = 0.3 \left(1 + 1.69s + \frac{1}{10.82s} \right) \cdot \frac{1}{0.63s} \quad (4.52)$$

olarak bulunmuştur. Birinci dinamik harmanlama merkezinde yer alan β_1 değeri 0.5 seçildiğinde ikinci dinamik harmanlama merkezi

$$F_2(s) = 0.2878 \frac{(1 + 14.89s + 38.92s^2)(1 + 2.1s)(1 + 0.63s)}{(1 + 10.82s + 18.28s^2)(1 + 3.4s)(1 + 0.83s)} \cdot e^{-0.7s} \quad (4.53)$$

olarak elde edilir. Sistemlere ilk önce birim basamak işareti, daha sonra ise 400. saniyede birinci sisteme 800. saniyede ikinci sisteme birer %20'lik birim basamak yük bozucusu uygulanmıştır. Yapılan benzetimler sonucunda elde edilen sistem cevapları, kontrol işaretleri oran hatasına ait grafikler sırasıyla Şekil 4.23'te gösterilmiştir.

Sistemde geçici halde oluşan yüksek aşım dikkat çekmektedir.



Şekil 4.23 : İkinci tasarım yöntemi ile bulunan içsel model kontrole dayalı PID kontrolörler kullanılarak gerçekleştirilen benzetim sonuçları: (a) sistem cevapları (b) kontrol işaretleri (c) oran hatası.

Üçüncü içsel modele dayalı PID kontrolör tasarım yöntemi uygulanarak

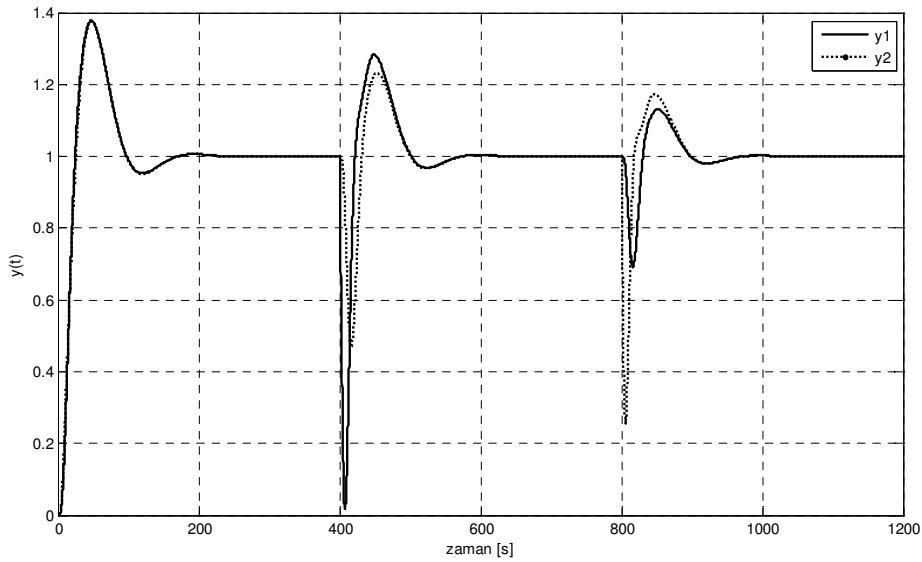
$$G_{C1}(s) = 0.1254 \left(1 + 3s + \frac{1}{29.2s} \right) \cdot \frac{1}{1.25s} \quad (4.54)$$

$$G_{C2}(s) = 0.1341 \left(1 + 1.93s + \frac{1}{26.5s} \right) \cdot \frac{1}{1.113s} \quad (4.55)$$

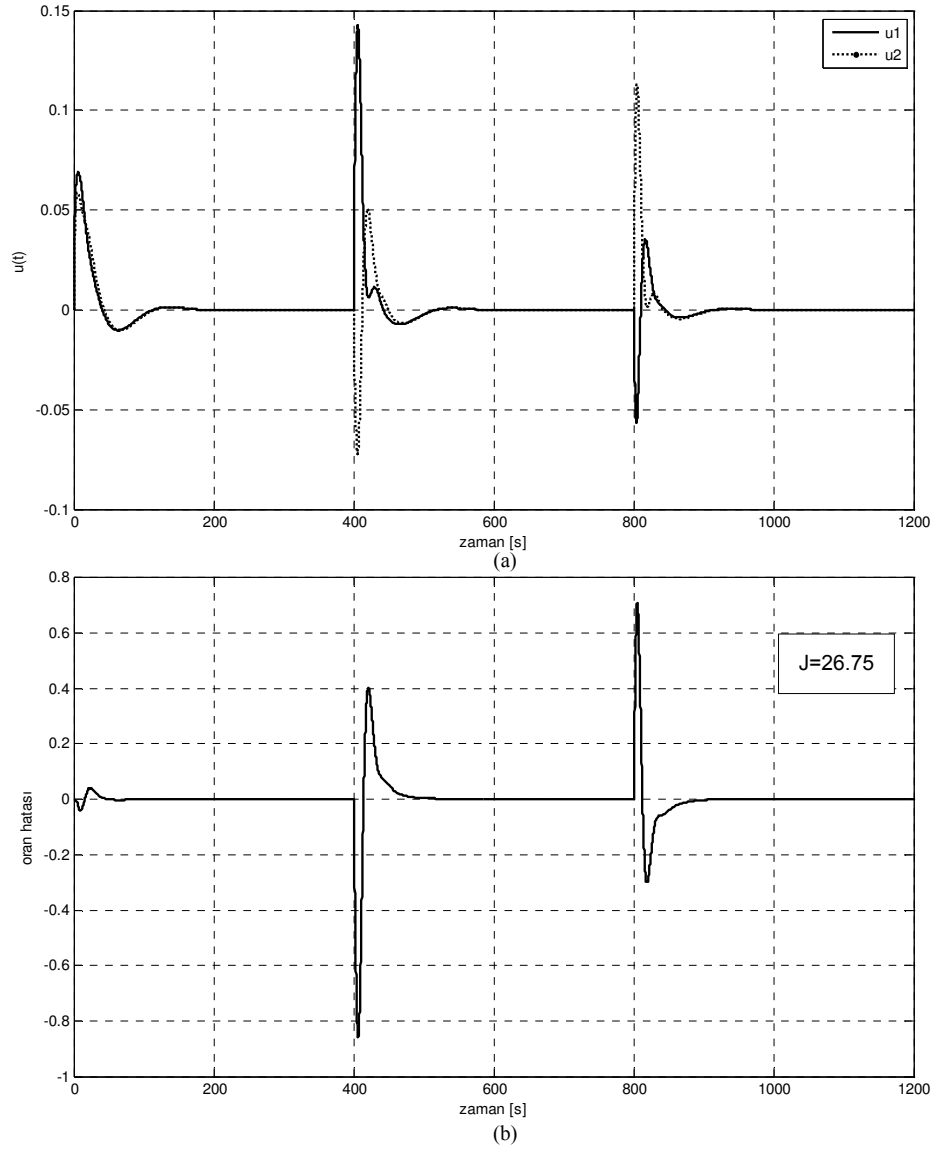
olarak bulunmuştur. Birinci dinamik harmanlama merkezinde yer alan β_1 değeri 0.5 seçildiğinde ikinci dinamik harmanlama merkezi

$$F_2(s) = 0.4245 \frac{(1 + 29.2s + 87.6s^2)(1 + 2.1s)(1 + 1.113s)}{(1 + 26.5s + 51.145^2)(1 + 3.4s)(1 + 1.25s)} \cdot e^{-0.7s} \quad (4.56)$$

olarak elde edilir. Sistemlere ilk önce birim basamak işareti, daha sonra ise 400. saniyede birinci sisteme 800. saniyede ikinci sisteme birer %20'lik birim basamak yük bozucusu uygulanmıştır. Yapılan benzetimler sonucunda elde edilen sistem cevapları, kontrol işaretleri oran hatasına ait grafikler sırasıyla Şekil 4.24 ve Şekil 4.35'te gösterilmiştir.



Şekil 4.24 : Üçüncü tasarım yöntemi ile bulunan içsel model kontrole dayalı PID kontrolörler ile elde edilen sistem cevapları.



Şekil 4.25 : Üçüncü tasarım yöntemi ile bulunan içsel model kontrole dayalı PID kontrolörler ile elde edilen benzetim sonuçları : (a) kontrol işaretleri (b) oran hatası.

Tüm kontrolör tasarım yöntemleri birlikte değerlendirildiğinde en iyi performansın PD kontrolör kullanılarak gerçekleştirilen benzetimlerde elde edildiği gözlemlenmiştir. β parametresinin seçimi de bu performans kriterinde önemli yer oynamaktadır. Daha küçük β değerleri için bu performans kriteri daha küçük değerler almasına karşın sistemin daha yavaş bir dinamikte olmasına sebep olmaktadır. B parametresinin daha büyük seçilmesi durumunda ise sistem daha hızlı davranmasına karşın bu sefer de seçilen performans kriteri açısından daha kötü performans gösterecektir. Geliştirilecek farklı bir kontrolör ile hem hızlı hem de oran hatasını minimumda tutacak bir sistem oluşturulabilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada süreç kontrol problemlerinde kullanılan oran kontrol yapıları incelenmiş ve benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Seçilen performans kriteri doğrultusunda oran kontrol yapılarının karşılaştırılması yapılarak en iyi performansa sahip oran kontrol yapısı seçilmiştir.

İkinci olarak günümüzde endüstri mühendisliği disiplinin en önemli konularından biri olan stok kontrol problemine yönelik kontrol teorisi kullanılarak yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bu yapılar içinden en temel model olan envanter ve sipariş tabanlı üretim kontrol sistemleri modeli için farklı yapılarda kontrolör tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Envanter kontrol probleminde oran kontrol yapıları kullanılarak gerçekleştirilen üçüncü kısımda stok seviyeleri birbirine bağımlı ürünlerin harmanlama merkezi yapısıyla istenilen oranda stok seviyelerinin tutulması sağlanmıştır. Bu yapı ile süpermarketlerde tüketici tarafından birbirine bağılı olarak belli oranda tüketilen bira-cips, şarap-peynir, tenis topu-tenis raketi, deterjan yumuşatıcı gibi ürünlerin raftaki ve depodaki stok seviyelerinin takibi ve kontrolü gerçekleştirilebilir. Ayrıca bir ürünü oluşturmada kullanılan yarı mamül ve ara ürünlerin de stok seviyesinin tutulmasına yardımcı olur.

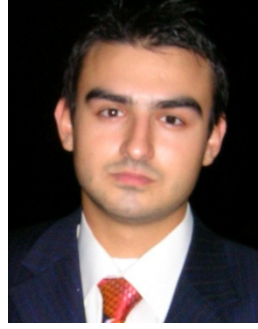
İleride yapılacak çalışmalarda farklı envanter kontrol sistemlerinde de oran kontrol yapılarının entegre edilmesi sağlanabilir. Bunun yanı sıra seçilecek pilot bir perakendeci ile yapılan çalışma gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Disney S.M., Naim M.M., Towill, D.R.** 2000. Genetic algorithm optimisation of a class of inventory control systems. *International Journal of Production Economics* , **68**, 259-278.
- Disney S.M. and Towill, D.R.** 2003. Measuring and avoiding the bulklwhip effect: A control theoretic approach. *International Journal of Production Research* , **147**, 567-590.
- Disney S.M. and Towill, D.R.** 2003. Eliminating drift in inventory and order based production control systems. *International Journal of Production Economics* , **93-94**, 331-344.
- Disney S.M. and Towill, D.R.** 2003. 2003.On the equivalence of control theoretic, differential, and difference equation approaches to modeling supply chains. *International Journal of Production Economics* , **101**, 194-208.
- Forrester, J.** 1961. *Industrial Dynamics*. MIT Pres, Cambridge, MA.
- Gomes, V.G.**, 1985. *Controlling fired heaters*, *Chem. Eng.* **63**.
- Hägglund, T.**, 2001. The blend station – a new ratio control structure, *Control Engineering Practice*, **9 (11)**, 1215-1220.
- John, S., Naim, M.M., Towill, D.R.**, 1994. Dynamic analysis of a WIP compensated decision support system. *International Journal of Manufacturing Systems Design* **1 (4)**, 283–297.
- Love, J.**, 2007. *Process Automation Handbook-Chapter 26*, Springer, London.
- O’Dawyer, A.**, 2003. *Handbook of PI and PID Controller Tuning Rules*, Imperial College Press, London.
- Ogata, K.**, 1992. *System Dynamics*. Prentice –Hall, New Jersey.
- Ou, L., Zhang, W., Gu, D. and Cai, Y.**, 2005. A two-degree-of-freedom ratio control scheme, *IEEE International Conference on Industrial Technology, ICIT-2005*, 817-822.
- Sharp, J.A. & Henry, R.M.** 1979. Designing Policies the Ziegler Nichols way, *Dynamica*, 5, no. 2, 79-94.
- Shinskey, F.G.**, 1996. *Process Control Systems – Application, Design, and Tuning*, McGraw-Hill. New York, USA.
- Shinskey, F.G.**, 2005. *Instrument Engineers’ Handbook: 4th Edition-Chapter 2.23*, Taylor & Francis. London, England.
- Simon, H.A.** 1952. On the application of servomechanism theory in a study of Production Control, *Econometra* ,20, no.2, 247-26.

- Sterman, J.**, 1989. Modelling managerial behaviour: Misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment. *Management Science* **35** (3), 321–339.
- Tan, K.K., Lee, T.H., and Whang Q.G.**, 1996. *AIChE Journal*, **42**, 2552-2562.
- Visioli, A.**, 2005a. A new ratio control architecture, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **44**, 4617-4624.
- Visioli, A.**, 2005b. Design and tuning of a ratio control structure, *Control Engineering Practice*, **13** (4), 485-497.
- Visioli, A. and Veronesi, M.**, 2004. A ratio control architecture for set-point following and load disturbance rejection, *7th Intl. Symp. on Dyn. and Cont. of Process Syst. (DYCOPS-2004)*, Cambridge (USA).
- Viteckova, V., Vitecek, A., and Smutny, L.**, 2000. Preprints Proc. PID '00: *IFAC Workshop On Digital Control*, 289-294, Terresa, Spain.
- White, A.S.**, 1999. Management of inventory using control theory. *Int. J. Technology Management*, **101**, 194-208.
- Wikner, J.**, 2003. Continuous-time dynamic modelling of variable lead times, *International Journal of Production Research*, 41:12, 2787-2798.
- Yeşil, E., Güzelkaya, M., Eksin İ., and Tekin, Ö.A.**, 2007a. A cross-coupled ratio control structure, *International Journal of Instrumentation Science & Technology*, **35** (5), 523-536.
- Yeşil, E.**, 2007b. Süreç kontrol sistemlerinde harmanlama mekanizmalarına dayalı kontrol yapıları ve yöntemleri, *Doktora Tezi*, İTÜ, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Ceyhun Erhan ÜZÜMCÜ

Doğum Yeri ve Tarihi: Kadıköy 27/01/1983

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi Kontrol Mühendisliği