

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

SU TANKI SİSTEMLERİNİN DAYANAKLI DENETİMİ

ÖZKAN ÖZKARA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

2014

SU TANKI SİSTEMLERİNİN DAYANIKLI DENETİMİ

ROBUST CONTROL OF WATER TANK SYSTEMS

ÖZKAN ÖZKARA

Başkent Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
ELEKTRİK-ELEKTRONİK Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

2014

KABUL VE ONAY SAYFASI

“Su Tankı Sistemlerinin Dayanıklı Denetimi” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından, 06/06/2014 tarihinde, **ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI 'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan-Danışman

Prof. Dr. Alper URAZ

Üye

Prof. Dr. İsmail AVCIBAŞ

Üye

Doç. Dr. Hamit ERDEM

ONAY

..../06/2014

Prof. Dr. Emin AKATA
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEŞEKKÜR

Bu çalıőmanın sonuca ulaőtırılmasında ve karşılaşılan güçlüklerin aőtılmasında her zaman yardımcı ve yol gösterici olduğu için Sayın Prof. Dr. Alper Uraz'a (tez danışmanı),

Çalıőmamda sonuçların elde edilmesinde yardımcı olduğu için Sayın Serhat Güneş'e,

Son olarak da manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim.

ÖZ

SU TANKI SİSTEMLERİNİN DAYANIKLI DENETİMİ

Özkan ÖZKARA

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Sıvı tankı sistemleri endüstride fazlasıyla kullanım alanına sahiptir. Kullanımlarının yaygın olması sebebiyle söz konusu sistemlerin denetlenmesi için birçok yöntem ve yaklaşım geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, su tankı sistemlerinin modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Su tankı modellerinin temelde doğrusal olmayan sistemler olmasından dolayı sürekli zamanda parametreleri belirli aralıklarda değişen bağımsız sistem yapısı çerçevesinde açık döngü aktarım işlevi atanarak modellenmiştir. Parametre aralığında açık döngü aktarım işlevini sürekli zaman özyinelemeli en küçük kareler (SZÖEKK) yöntemiyle sistem kestirimi sağlanmıştır. Kestirim sonucunda ortaya çıkan model üzerinden dayanıklı tümlevsel-türevsel-oransal (PID) denetleç tasarımı yapılmış ve sisteme yönelik geribesleme denetimi gerçekleştirilmiştir.

Uygulamada sistem iki gözlü ve üç gözlü su tankına ayrı ayrı dayanıklı PID denetimi uygulanmıştır. Söz konusu sistemin normal şartlar altında çalıştığı kabul edilerek SIMULINK üzerinden benzetim sonuçları alınmıştır. Su seviyesi ile söz konusu su seviyesine yönelik tanklara sağlanacak su seviyesi için uygulanan gerilim eşit kabul edilmiştir. Benzetim çalışmalarında belirli aralıklarda değişen kare dalga uygulamasıyla sistemin dayanıklı PID denetimi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: su tankı denetimi, dayanıklı (robust) PID denetim, sistem tanıma, sürekli zaman en küçük kareler yöntemi

Danışman: Prof. Dr. Alper Uraz, Başkent Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü.

ABSTRACT

ROBUST CONTROL OF WATER TANK SYSTEMS

Özkan ÖZKARA

Başkent University Institute of Science

Department of Electrical and Electronics Engineering

Water tank systems are widely-used in industry. Due to the widespread use of liquid tank systems, a number of methods and approaches have been developed in order to control these systems.

In this study, the water tank system model is implemented. Liquid tank models are principally non-linear systems, therefore system is modelled in continuous time intervals, within the context of independent systems with parameters varied periodically, by open-loop transfer function. The estimation of the system is achieved by Continuous-time Recursive Least Squares Estimation (CRLS). On the resulting estimated model, a robust proportional, integral and derivative (PID) controller is designed and feedback control for the system is implemented.

In implementation stage, a robust PID controller is applied to two-tank and three-tank systems separately. Simulation results are obtained by SIMULINK, assumed that system is working under normal conditions. The voltage applied to the water level and the water level provided for the tanks are considered to be equal. In simulation, by using square waves varying at specific intervals, robust PID control is implemented.

Keywords: Water tank control, robust PID control, system identification, continuous time recursive least squares

Supervisor: Prof. Dr. Alper Uraz, Baskent University, Department of Electrical and Electronics Engineering

İÇİNDEKİLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER LİSTESİ.....	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	iv
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	x
1 GİRİŞ.....	1
2 DAYANIKLI DENETİM SİSTEMLERİ.....	3
2.1 Belirsiz Sistem Yapıları.....	3
2.1.1 Durum uzayı gösterimi.....	3
2.1.2 Öz denklem gösterimi.....	4
2.1.3 Bağımsız belirsizlik yapısı.....	5
2.2 Dayanıklılığın Çözümlemesi.....	6
2.3 Kharitonov Teoremi.....	9
2.3.1 Hurwitz kararlılığı.....	10
2.4 Dayanıklı Sistem Tasarımı.....	12
2.5 Dayanıklı Oransal-Tümlevsel-Türevsel Denetim Sistemi Tasarımı.....	13
3 SU TANKININ ÖZELLİKLERİ.....	16
3.1 İki Bölmeli Tank Sistemleri.....	16
3.2 Üç Bölmeli Tank Sistemleri.....	18
4 SU TANKINA DAYANIKLI DENETİM UYGULAMASI.....	21
4.1 Tasarım Temelleri.....	21
4.2 Sürekli Zaman En Küçük Kareler Yöntemi.....	22
4.3 İki Gözlü Su Tankı İçin Dayanıklı PID Sistem Tasarımı.....	24
4.4 Üç Bölmeli Su Tankı İçin Dayanıklı PID Sistem Tasarımı.....	25
5 BENZETİM SONUÇLARI.....	26
5.1 İki Bölmeli Su Tankı Benzetim Sonuçları.....	27
5.2 Üç Bölmeli Su tankı Benzetim Sonuçları.....	61
6 SONUÇ.....	96
KAYNAKLAR LİSTESİ.....	98
SÖZLÜK.....	100

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1	Bağımsız İki Parametre İçin Çalışma Bölgesi..... 4
Şekil 2.2	Temel Geribesleme Yapısı..... 7
Şekil 2.3	Kharitonov Dikdörtgenin Sıklık Düzleminde Gösterimi..... 9
Şekil 2.4	Birim Geribesleme Yapılanışı..... 12
Şekil 2.5	$IC(j\omega)G(j\omega)$ için Bode Çizimi 13
Şekil 2.6	PID Denetleğin Gösterimi..... 14
Şekil 3.1	İki Bölmeli Su Tankı..... 16
Şekil 3.2	Üç Bölmeli Su Tankı..... 18
Şekil 5.1	SIMULINK Sistem Tasarımı..... 26
Şekil 5.2	Sisteme Uygulanan Kare Dalga Sinyal Örneği..... 27
Şekil 5.1.1	0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi..... 28
Şekil 5.1.2	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı ($T_s = 1.07$ sn.)..... 28
Şekil 5.1.3	4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi..... 29
Şekil 5.1.4	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı ($T_s = 1.07$ sn.)..... 29
Şekil 5.1.5	8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi..... 30
Şekil 5.1.6	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı ($T_s = 1.07$ sn.)..... 30
Şekil 5.1.7	0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi..... 31
Şekil 5.1.8	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı ($T_s = 1.13$ sn.)..... 32
Şekil 5.1.9	4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi..... 32
Şekil 5.1.10	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı ($T_s = 1.15$ sn.)..... 33
Şekil 5.1.11	8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi..... 33
Şekil 5.1.12	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı ($T_s = 1.13$ sn.)..... 34
Şekil 5.1.13	0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi..... 35
Şekil 5.1.14	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı ($T_s = 1.12$ sn.)..... 35
Şekil 5.1.15	0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi..... 36
Şekil 5.1.16	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı ($T_s = 1.12$ sn.)..... 36

Şekil 5.1.17	8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	37
Şekil 5.1.18	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=1.12 sn.).....	37
Şekil 5.1.19	0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	39
Şekil 5.1.20	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=1.07 sn.).....	39
Şekil 5.1.21	4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	40
Şekil 5.1.22	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=1.15 sn.).....	40
Şekil 5.1.23	8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	41
Şekil 5.1.24	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=1.07 sn.).....	41
Şekil 5.1.25	0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	42
Şekil 5.1.26	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=1.10 sn.).....	43
Şekil 5.1.27	4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	43
Şekil 5.1.28	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=1.09 sn.).....	44
Şekil 5.1.29	8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	44
Şekil 5.1.30	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı (Ts=1.10 sn.).....	45
Şekil 5.1.31	0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	46
Şekil 5.1.32	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=1.04 sn.).....	46
Şekil 5.1.33	4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	47
Şekil 5.1.34	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=1.12 sn.).....	47
Şekil 5.1.35	8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	48
Şekil 5.1.36	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=1.05 sn.).....	48
Şekil 5.1.37	0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	50
Şekil 5.1.38	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=1.07 sn.).....	50
Şekil 5.1.39	4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	51
Şekil 5.1.40	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=1.15 sn.).....	51

Şekil 5.1.41	8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	52
Şekil 5.1.42	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=1.07 sn.).....	52
Şekil 5.1.43	8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	53
Şekil 5.1.44	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=1.13 sn.).....	54
Şekil 5.1.45	4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	54
Şekil 5.1.46	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=1.13 sn.).....	55
Şekil 5.1.47	8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	55
Şekil 5.1.48	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=1.13 sn.).....	56
Şekil 5.1.49	0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	57
Şekil 5.1.50	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=1.08 sn.).....	57
Şekil 5.1.51	4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	58
Şekil 5.1.52	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=1.07 sn.).....	58
Şekil 5.1.53	8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	59
Şekil 5.1.54	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=1.08 sn.).....	59
Şekil 5.2.1	0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	61
Şekil 5.2.2	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=2.89 sn.).....	62
Şekil 5.2.3	4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	62
Şekil 5.2.4	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=2.87 sn.).....	63
Şekil 5.2.5	8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	64
Şekil 5.2.6	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=2.89 sn.).....	65
Şekil 5.2.7	0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	65
Şekil 5.2.8	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=2.56 sn.).....	64
Şekil 5.2.9	4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	66
Şekil 5.2.10	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=2.86 sn.).....	66

Şekil 5.2.11	8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	67
Şekil 5.2.12	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=2.56 sn.).....	67
Şekil 5.2.13	0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	68
Şekil 5.2.14	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=2.84 sn.).....	69
Şekil 5.2.15	4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	69
Şekil 5.2.16	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=2.52 sn.).....	70
Şekil 5.2.17	8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	70
Şekil 5.2.18	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=2.82 sn.).....	71
Şekil 5.2.19	0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	73
Şekil 5.2.20	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=2.89 sn.).....	73
Şekil 5.2.21	4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	74
Şekil 5.2.22	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=2.90 sn.).....	74
Şekil 5.2.23	8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	75
Şekil 5.2.24	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=2.81 sn.).....	75
Şekil 5.2.25	0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	76
Şekil 5.2.26	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=2.31 sn.).....	77
Şekil 5.2.27	0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	77
Şekil 5.2.28	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=2.49 sn.).....	78
Şekil 5.2.29	8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	78
Şekil 5.2.30	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=2.14 sn.).....	79
Şekil 5.2.31	0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	80
Şekil 5.2.32	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=2.79 sn.).....	80
Şekil 5.2.33	4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	81
Şekil 5.2.34	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı (Ts=2.63 sn.).....	81
Şekil 5.2.35	8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi.....	82

Şekil 5.2.36	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı ($T_s=2.80$ sn.)	82
Şekil 5.2.37	0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi	84
Şekil 5.2.38	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı ($T_s=2.92$ sn.)	85
Şekil 5.2.39	4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi	85
Şekil 5.2.40	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı ($T_s=2.90$ sn.)	86
Şekil 5.2.41	8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi	86
Şekil 5.2.42	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı ($T_s=2.93$ sn.)	87
Şekil 5.2.43	0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi	88
Şekil 5.2.44	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı ($T_s=2.66$ sn.)	88
Şekil 5.2.45	4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi	89
Şekil 5.2.46	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı ($T_s=2.87$ sn.)	89
Şekil 5.2.47	8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi	90
Şekil 5.2.48	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı ($T_s=2.66$ sn.)	90
Şekil 5.2.49	0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi	91
Şekil 5.2.50	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı ($T_s=2.85$ sn.)	92
Şekil 5.2.51	4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi	92
Şekil 5.2.52	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı ($T_s=2.83$ sn.)	93
Şekil 5.2.53	8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi	93
Şekil 5.2.54	Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sitemin Durulma Zamanı ($T_s=2.84$ sn.)	94

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 5.1.1	K=1 için Benzetim Sonuçları.....	38
Çizelge 5.1.2	K=2 için Benzetim Sonuçları.....	49
Çizelge 5.1.3	K=3 için Benzetim Sonuçları.....	60
Çizelge 5.2.1	K=1 için Benzetim Sonuçları.....	71
Çizelge 5.2.2	K=2 için Benzetim Sonuçları.....	83
Çizelge 5.2.3	K=3 için Benzetim Sonuçları.....	94

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	Su Tankının Kesit Alanı
C (s)	Denetleç Aktarım İşlevi
C ₁ (s)	İleri Beslemedeki Denetleç Aktarım İşlevi
C ₂ (s)	Geri Beslemedeki Denetleç Aktarım İşlevi
der	Derece
E(s)	Hurwitz Çokterimlisi
e(t)	Hata İşlevi
EKK	En Küçük Kareler
e _{ss}	Kalıcı Durum Hatası
f	Su Akışı
G(s)	Açık Döngü Aktarım İşlevi
H _n	Hurwitz Matrisi
h	Gözlerdeki Düzey Yüksekliği ya da Örnekleme Zamanı
ITAE	Zaman Çarpanlı Mutlak Hatanın Tümleniği
J	Maliyet İşlevi
PO	Yüzde Aşma
Q	Çalışma Aralığı Değer Kümesi
R(s)	Dayanak Girişi
S	Bilgi Matrisi
S ₀	Başlangıç Bilgi Matrisi
SZEKK	Sürekli Zaman En Küçük Kareler
SZÖEKK	Sürekli Zaman Özyineli En Küçük Kareler
T(s)	Kapalı Döngü Aktarım İşlevi
T _r	Yükselme Zamanı
T _s	Durulma Zamanı
U(s)	Fiziksel Sistem Girişi
Y(s)	Sistem Çıkışı
q	Aralık Değer Vektörü
β	Unutma Çarpanı
θ	Parametre Vektörü
φ	Veri Vektörü

ε

Hatanın Süzgeçlenmiş Hali

θ_0

Başlangıç Anındaki Parametre Vektörü

1 GİRİŞ

Sıvı tank sistemleri birçok sanayi kolunda farklı amaçlarda kullanılmaktadır. Kullanımlarına bağlı olarak su tankı sistemlerinin denetimi için çeşitli deneysel yaklaşımlar ortaya konmuştur. Denetim amaçlı tasarımlarda genel olarak oransal-tümlevsel (PI) veya oransal-tümlevsel-türevsel (PID) denetleç tasarımları yapılmaktadır. Söz konusu denetleçler kurulmuş olan sistemde, sistem için bir model ortaya koymadan deneme yanılma yöntemleriyle bulunmaktadır. Ancak bu durum sistem için başarılı sonuçları ortaya koyamamaktadır [7, 13, 27].

Uyarlamalı/özayarlama (adaptive/self-tuning) yöntemlerde sistem giriş ve çıkış sinyalleri kullanılarak parametre kestirim algoritmalarıyla ya denetleç parametreleri kestirilmekte, ya doğrusal bir model kullanılarak modellenen sistem parametreleri kestirilip denetleç parametreleri kestirilen sistem modeline göre hesaplanmakta, ya da hem sistem hem de denetleç parametreleri birlikte kestirilmektedir [15,29]. Oransal- tümlevsel-trüevsel (PID) denetimin yüksek başarımla çalışması için sıvı tankı sistemi için öngörülen belirli aralıklarda parametrelere sahip sistem modelini bir kestirim algoritmasıyla kestirilir. Kestirilen modelin üzerinden PID parametreleri bulunabilir [16, 17, 18, 24, 25, 29].

Sıvı tankı sistemlerinin çalışmalarında basınç, nem, sıvı akışı gibi değişken unsurlar sistemin denetiminin başarıya ulaşmasında ele alınması gereken parametrelerdir. Bu parametreler bağımsız olabileceği gibi bağımlı da olmaktadır. Bu değişkenler sistemi doğrusal sistem özelliğinden çıkartmaktadır. Bu sebeple sıvı tank sistemlerinde söz konusu fiziksel etkilerin sistem için öngörülen modelin tanımlamasında parametreler belirli değer aralıklarında seçilmesi uygun olacaktır.

Öngörülen modelin parametreleri kestirim algoritması çerçevesinde kestirilerek tanımlanır. Kestirim algoritması sonucu belirlenen model için dayanıklı oransal-tümlevsel-türevsel sistemde kullanılacak denetleçlerin parametreleri bulunabilecektir.

Bu çalışmada, su tankı sistemi için Kharitonov Teoremi üzerinden belirli bir aralıkta belirlenmiş matematiksel bağımsız sistem modelinin parametrelerinin uyarlamalı/zayarlamalı yöntem temelinde bir defa olmak üzere sistem kestirimi yapılarak sistem modeli parametreleri ortaya konmuştur. Kesitirim sonucu elde edilen matematiksel model için tümlevsel-oransal-türevsel (PID) denetleç parametreleri hesaplanmıştır.

Söz konusu denetimi gerçekleştirilirken su düzeylerindeki değişiminin denetimi SIMULINK üzerinde yapılan tasarımıla gerçekleştirilmiş ve sistemdeki değişim benzetim üzerinden gerçeklenmiştir.

Bu alışma altı ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, dayanıklı denetim sistemleri ile ilgili olarak, belirsiz sistem yapıları, dayanıklılığın özümlenmesi, dayanıklı denetim sistem tasarımı ve dayanıklı PID sistem tasarımı konuları anlatılmıştır. İkinci bölümde su tankı sistemlerinin denetimi ilgili temel yaklaşımlar özetlenmiştir. nc bölümde iki ve üç bölmeli su tankı sistemlerinin matematiksel modellerinden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde su tankı sistemlerine dayanıklı denetimin uygulaması ile ilgili olarak sistem temelleri, sistem tanıma konularına değinilmiş olup iki ve üç bölmeli su tankları için tanımlanmış sistemler ile ilgili sonuçlar tablolar halinde verilmiştir. Beşinci bölümde SIMULINK üzerinden alınan benzetim sonuçları alınmış ve sistem davranışlarına yer verilmiştir. Altıncı bölümde ise benzetim sonuçlarına ilişkin sonuçlara yer verilmiş bir sonraki çalışmalara katkıda bulunmak amacıyla önerilerde bulunulmuştur.

2 DAYANIKLI DENETİM SİSTEMLERİ

Denetim sistemleri tasarımı iki farklı yolla gerçekleştirilmektedir. Bu iki yol sırasıyla, dışsal yaklaşım ve içsel yaklaşımdır. Dışsal yaklaşımda yüzde aşma, durulma zamanı, kalıcı durum hatası gibi unsurlar dikkate alınarak denetleç tasarımı yapılmaktadır [12].

İçsel yaklaşımda, tasarım için istenilen unsurları sağlayacak bir kapalı döngü aktarım işlevi seçilir. Burada kapalı döngü aktarım işlevi seçimi büyük önem arz etmektedir. Bu aktarım işlevi temelinde denetleç tasarımı uygun düzleşim yapısı kullanılarak yapılmaktadır [6,12].

Genel olarak içsel yaklaşımda cebirsel tasarım yöntemleri uygulanmaktadır. Cebirsel tasarımda öncelikle, tasarım için gerekli çıktıları sağlayacak olan kapalı döngü aktarım işlevi seçilmektedir. İkinci olarak, açık döngü aktarım işlevi için denetleç ve uygun geri besleme yapısı kullanılarak kapalı döngü aktarım işlevi elde edilmektedir. Tasarım yapılırken denetleçlerin tanımlı, sistemin içsel kararlı ve iyi konumlanmış olması sağlanmalıdır [6,12].

Tasarımda model uyumlama ve kutup yerleştirme yöntemleri kullanılmaktadır. Kutup yerleştirmede, kutupların yerlerini değiştirerek tasarım yapılmaktadır. Diğer taraftan model uyumlama açık döngü aktarım işlevinde kutup ve sıfırların yerleri değiştirilerek gerçekleştirilmektedir [6,12].

2.1. Belirsiz Sistem Yapıları

2.1.1. Durum uzayı gösterimi

Belirsiz sistem parametreleri , $q=[q_1, q_2, \dots, q_n]$ belirsizlik vektörü ile gösterilir. Bir sistemin durum uzayı modelinin, belirsiz q parametre vektörüne göre gösterimi,

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= A(q) x(t) + b(q) u(t) \\ y(t) &= C(q) x(t) \end{aligned} \quad (2.1)$$

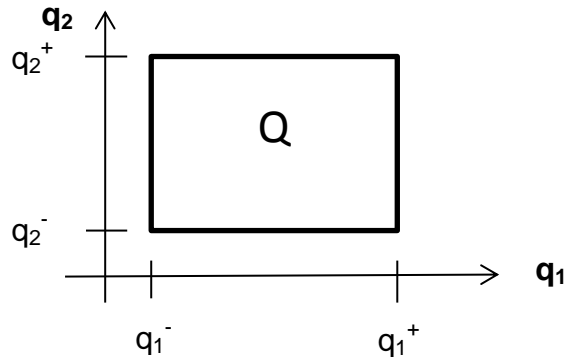
olarak yazılabilir. Burada, q vektörünün birden fazla değere sahip olması durumunda (2.1)'de verilen fiziksel sistem modeli, "belirsiz sistem modeli olarak adlandırılır. Eğer bir parametre kümesi q belirtirse, bu küme içerisinde yer alan q vektörünün ($q \in Q$), oluşturduğu modeli (2.2)'de gösterilen sisteme belirsiz sistem ailesi adı verilir. Parametre Q sınırlı sayıda çalışma noktaları tarafından gösterilebilir ($q^{(i)} \in Q$). Bu durumda, (2.1)'deki eşitlik,

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= A(q^{(j)}) x(t) + b(q^{(j)}) u(t), j= 1, 2, \dots, N \\ y(t) &= C(q^{(j)}) x(t) \end{aligned} \quad (2.2)$$

biçimde yazılır. Bir q parametresinin belirsizlik değerleri, alt ve üst sınırları (q^- ve q^+) olarak tanımlanır. Matematiksel olarak bu ifade, $q \in [q^- ; q^+]$ belirsizlik aralığı olarak gösterilebilir. Belirsiz q parametre vektörlerinin oluşturduğu bölge parametre kutusu diye adlandırılır ve aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$Q = \{ q = [q_1 \ q_2 \ \dots \ q_m]^T \mid q_i \in [q_i^- \ q_i^+], i=1,2,\dots,m \} \quad (2.3)$$

$M = 2$ için parametre kutusu Şekil 2.1 'de gösterilmiştir [21].



Şekil 2.1 Bağımsız İki Parametre İçin Çalışma Bölgesi

2.1.2. Öz denklem gösterimi

Katsayıları, belirsiz sistem parametrelerinin bulunduğu q vektörüne bağımlı olan çokterimliye belirsiz çokterimli ve bu çokteriminin gösterdiği özdenkleme sahip fiziksel sisteme de belirsiz sistem denir. Belirsiz sistemin gösterimi,

$$p(s,q) = a_0(q) + a_1(q)s + a_2(q)s^2 + \dots + a_n(q)s^n \quad (2.4)$$

şeklindedir. Çokterimlinin $a_i(q)$ katsayılarının gerçek olduğu ve değeri sabit ama bilinmeyen, gerçek q parametre vektörüne sürekli bağımlı olduğu kabul edilmiştir.

Eğer bir parametre kümesi, Q ile belirtilirse, bu küme içerisinde yer alan q vektörünün ($q \in Q$), oluşturduğu çokterimliye belirsiz çokterimli ailesi; bu çokterimli ailenin gösterdiği özdenklemlere sahip fiziksel sistemlere “belirsiz çokterimli sistem ailesi” adı verilir. Belirsiz çokterimli ailenin gösterimi,

$$P(s, Q) = \{ P(s, q) \mid q \in Q \} \quad (2.5)$$

şeklindedir.

Şekil 2.1’de dikdörtgen olarak gösterilen Q parametre kümesinin içinde yer alan q parametre vektörleri ikiden fazla eleman içerdiğinde çokludörtgen (hyperrectangle) elde edilir. Bu çokludörtgenin uçları (vertex) ve ayrıtları (edge) aşağıdaki şekilde tanımlanır.

Uç,

$$Q_v = [q_1 \ q_2 \ \dots \ q_m]^T, \ q_i \in \{ q_i^-, q_i^+ \}, \ i=1, \dots, m \quad (2.6)$$

şeklinde parametre vektörü olarak tanımlanır.

Ayrıtlar,

$$Q_E = \{ q \mid q_i \in [q_i^-, q_i^+], \ q_j \in \{ q_j^-, q_j^+ \}, \ \text{tüm } j \neq i \text{ için} \} \quad (2.7)$$

şeklinde parametre kümesi olarak tanımlanır [21].

2.1.3. Bağımsız Belirsizlik Yapısı

Bu belirsizlik yapısında her katsayıdaki belirsizlik, birbirinden bağımsızdır. Yapı,

$$P(s, q) = q \in Q = \{ q : q_i^- \leq q_i \leq q_i^+, \ i= 0, 1, \dots, m \} \quad (2.8)$$

olarak tanımlanmaktadır. Belirsizlik kümesi Q , kutu (dikdörtgen ya da çokludörtgen) olarak seçilmiştir. Bu yapı, belirsizlik yapıları içerisinde en basit olanıdır ve bu yapıya sahip olan çokterimlilere, aralık (interval) çokterimlisi denir.

Fiziksel sistemler incelenirken bu tür belirsizlik yapısıyla sınırlı sayıda karşılaşılmaktadır. Fiziksel sistemlerin katsayılarındaki belirsizlik genellikle birbirine bağımlı olmaktadır [1, 5, 20, 21].

2.2. Dayanıklılığın Çözülmesi

Doğrusal denetim sistemlerindeki en önemli problem, kararlılıktır. Diğer bir deyişle, bir sistemin hangi koşullar altında kararsız olacağıdır. Bir doğrusal, zamanla değişmez sistemin kararlı olup olmadığı, s- düzlemindeki köklerin dağılımından belirlenebilir. Sistemin özdenklemini $p(s)$, n'inci dereceden bir çok terimlidir ve aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$p(s)=a_0+a_1s+a_2s^2+ \dots + a_n s^n, a_n>0 \quad (2.9)$$

Çokterimlinin kökleri, s-düzleminin sol yarısında yer alırsa sistemin geçici yanıtı (transient response), denge noktasına ulaşacaktır. Bu kararlı bir sistemi gösterir ve bu sistemi tanımlayan çokterimli, kararlı olarak adlandırılır. S-düzleminin sol yarısı aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$C^- = \{ s \in C \mid \text{Re} [s] < 0 \} \quad (2.10)$$

Çokterimlinin köklerinden herhangi biri, s-düzleminin sol yarısında değilse geçici yanıt, zamanla, monoton bir şekilde artar ya da artan bir genlikle salınmaya başlar. Bu durum kararsız bir sistemi gösterir ve bu sistemi tanımlayan çokterimli kararsız olarak adlandırılır [18,20].

Bu tanımlaya dayanarak, bir çokterimlinin kararlılığını belirlemek için en belirgin yol, onun köklerini bulmaktır. $P(s)$ çok terimlisinin kökleri kümesini göstermek için aşağıdaki gösterim kullanılmaktadır.

$$\text{Kök } [p(s)] = \{ v \in C \mid p(v) = 0 \} \quad (2.11)$$

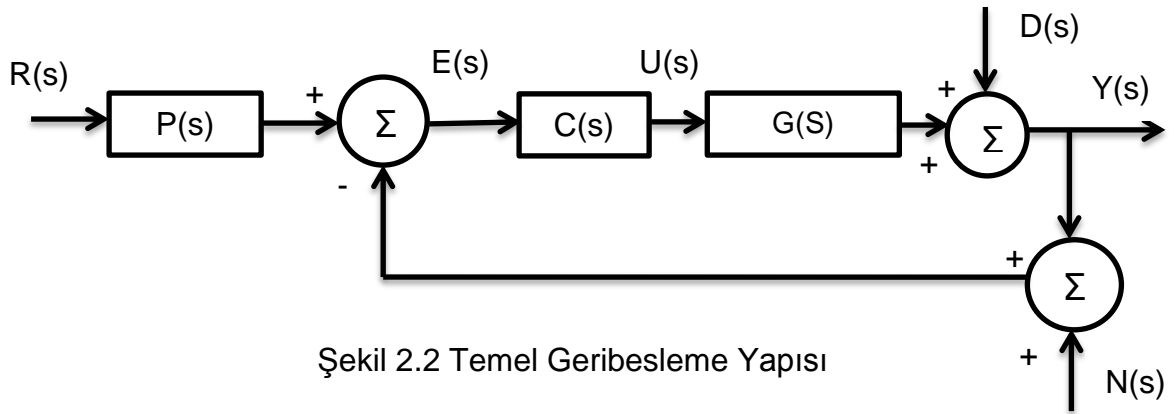
Kararlılık koşulunun,

$$\text{Kök } [p(s)] \subset \mathbb{C}^- \quad (2.12)$$

üzerinden sağlanıp sağlanmadığının çözümlenmesi yapılır.

Verilen bir çokterimli $P(s, Q)$ ailesinde yer alan her çokterimli kararlıysa bu aile, dayanıklı kararlıdır. Tam tersine, bu ailede yer alan çokterimlilerden biri ya da daha fazlası kararsızsa bu aile dayanıklı kararlı değildir [1].

Diğer taraftan sistem duyarlılık işlevi küçük parametre değişimleri için dayanıklı kararlılığın ölçümünde kullanılması mümkündür. Temel geribeslemeli yapı Şekil 2.2'de verilmiştir. Burada $R(s)$ dayanak girişi, $D(s)$ bozanetken girişi, $N(s)$ gürültü girişi, $Y(s)$ çıkış, $G(s)$ fiziksel sistem, $C(s)$ denetleç ve $P(s)$ önsüzgeçtir. İç sinyal olarak $E(s)$ hata sinyalini ve $U(s)$ 'de eyleyici sinyalini göstermektedir.



$Y(s)$ çıkış olarak aşağıda verilen denklem sisteminin sonucu olarak hesaplanmaktadır.

$$Y(s) = \frac{C(s)G(s)P(s)}{1+C(s)G(s)}R(s) + \frac{1}{1+C(s)G(s)}D(s) - \frac{C(s)G(s)}{1+C(s)G(s)}N(s) \quad (2.13)$$

Tasarım yapılırken dikkat edilecek noktalar şunlardır:

- küçük izleme hatası $e(t)=r(t)-y(t)$
- bozunum olan $d(t)$ girişi için küçük çıkış değeri
- küçük sensör gürültüsü ; $|r| > |n|$.

Sistem için duyarlılık işlevi Şekil 2.2'de yer alan sistem üzerinden,

$$E(s) = R(s) - Y(s) = R(s) - [P(s) U(s) - D(s)] \quad (2.14)$$

$$U(s) = C(s) E(s) \quad (2.15)$$

(2.15)'deki ve (2.16)'daki denklem sistemleri yeniden düzenlenirse;

$$E(s) = R(s) - C(s) G(s) E(s) - D(s) \quad (2.16)$$

Eşitlikler yeniden yazıldığında;

$$E(s) [1 + C(s) P(s)] = R(s) - D(s) \quad (2.17)$$

Sonuç olarak,

$$\frac{E(s)}{R(s) - D(s)} = \frac{1}{1 + C(s) G(s)} \quad (2.18)$$

$$\frac{Y(s)}{D(s)} = \frac{1}{1 + C(s) G(s)} \quad (2.19)$$

eşitliği üzerinden,

$$S(s) = \frac{E(s)}{R(s) - D(s)} = \frac{Y(s)}{D(s)} \quad (2.20)$$

olduğu görülecektir.

Duyarlılık işlevi denetlecin başarımı ile ilgili görüş oluşturmamızı sağlamaktadır. Çünkü söz konusu işlev, D(s) işlevinin çıkıştaki etkisini tanımlamaktadır. Uygun denetleç tasarımında D(s) etkisinin bertaraf edilmesi amacıyla S(s) mümkün olduğunca küçük bir değere sahip olmalıdır. S(s)=0 olduğunda en iyi sonuç elde edilecektir.

Kapalı döngü aktarım işlevi için P(s)=1 kabul edildiğinde;

$$T(s) = \frac{C(s)G(s)}{1 + C(s)G(s)} \quad (2.21)$$

olur. S(s)+T(s)=1 olması durumunda T(s) bütünüleyici duyarlılık işlevi olarak adlandırılır.

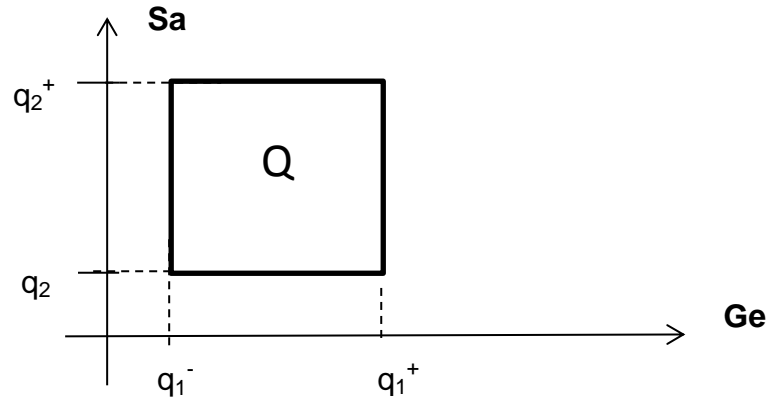
Fiziksel olarak gerçekleştirilebilir sistemler için $C(s)G(s)$ döngü kazancı yüksek sıklıkta küçük olması şarttır. Bu durum sıklık düzleminde $S(j\omega)$ işlevinin 1 değerine yaklaşması başka deyişle 0 dB hattında yer alması yüksek frekanslarda gerçekleşmektedir.

Gürültünün yüksek frekanslarda meydana gelmesinden dolayı gürültünün baskılanması için $T(s)$ yüksek frekans üzerinde küçük olması istenir [26].

2.3. Kharitonov Teoremi

Bağımsız belirsizlik yapısına sahip bir çokterimlinin dayanıklı kararlılığını sınamak için Kharitonov teoreminden yararlanılabilir. Kharitonov teoremi bağımsız belirsizlik yapısına sahip çokterimlinin dayanıklı kararlılığının yalnız dört Kharitonov uç terimlisinin kararlılığı sınanarak bulunabileceğini ortaya koymuştur [10].

Bir aralıkta yer alan çokterimlinin herhangi bir sabit frekanstaki değer kümesinin Şekil 2.3'de görüldüğü gibi kenarları gerçek ve sanal eksene paralel olan bir dikdörtgen olduğu kolayca gösterilebilir. Bu dikdörtgenin köşelerini belirtildiği üzere Kharitonov çokterimlilerini oluşturur ve bu dikdörtgene Kharitonov dikdörtgeni denir. Bu dikdörtgenin kenarları reel ve sanal eksenlere paralel olduğu için orijinin dikdörtgensel değer kümesinin içinde veya dışında kalması köşe noktalarını kullanarak kolayca test edilebilir [10].



Şekil 2.3 Kharitonov Dikdörtgeninin Sıklık Düzleminde Gösterimi

Bir sistemin kesin olmayan parametrelerinin sahip olduğu aşağıda belirtilen yapıdadır.

$$\Delta(s) = a_0 + a_1 s + \dots + a_{n-1} s^{n-1} + a_n s^n = 0 \quad (2.22)$$

Sınırlar içerisinde ifade edilen katsayılar ile a_1^- minimum değer, a_1^+ ise maksimum değer olan yapıya aralık çokterimlisi olarak tanımlanmaktadır.

$$0 < a_1^- \leq a_1 \leq a_1^+ \text{ ya da } a \in [a_1^-, a_1^+] \quad (2.23)$$

Kharitonov teoremi için gerekli ve yeterli şart, $\Delta(s)$ için aşağıda yapıda düzenlenecek olan dört çok terimlinin kesin olarak Hurwitz olmasıdır [26].

$$\begin{aligned} P_1^{+-}(s) &= a_0^+ + a_1^- s + a_2^- s^2 + a_3^+ s^3 + a_4^+ s^4 + \dots \\ P_1^{++}(s) &= a_0^+ + a_1^+ s + a_2^- s^2 + a_3^- s^3 + a_4^+ s^4 + \dots \\ P_1^{-+}(s) &= a_0^- + a_1^+ s + a_2^+ s^2 + a_3^- s^3 + a_4^- s^4 + \dots \\ P_1^{--}(s) &= a_0^- + a_1^- s + a_2^+ s^2 + a_3^+ s^3 + a_4^- s^4 + \dots \end{aligned} \quad (2.24)$$

2.3.1. Hurwitz Kararlılığı

Hurwitz kararlılık ölçütü, çok terimlinin katsayıları cinsinden fiziksel sistemin kararlılık koşullarını verir. Hurwitz n'ninci dereceden çokterimlinin kararlılığı ve bu çokterimliden elde edilen bir dizi belirten $-\Delta_i = \det H_i$, $i = 1, 2, \dots, n$ - ilgilenilmiştir. Belirtenler, n adet Hurwitz matrisinden elde edilmektedir. [1]

N çift sayı ise Hurwitz matrisi,

$$H_n = \begin{pmatrix} a_{n-1} & a_{n-3} & a_{n-5} & \dots & a_1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ a_n & a_{n-2} & a_{n-4} & \dots & a_2 & a_0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & a_{n-1} & a_{n-3} & \dots & a_3 & a_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & a_n & a_{n-2} & \dots & a_4 & a_2 & a_0 & 0 & \dots & 0 \\ \cdot & & \cdot & & \cdot & & & & & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot & & & & & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot & & & & & \cdot \\ 0 & \dots & 0 & a_{n-1} & a_{n-3} & a_{n-5} & \dots & a_3 & a_1 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & a_n & a_{n-2} & a_{n-4} & \dots & a_4 & a_2 & a_0 \end{pmatrix} \quad (2.25)$$

olur.

N tek sayı ise Hurwitz matrisi,

$$\mathbf{H}_n = \begin{pmatrix} a_{n-1} & a_{n-3} & a_{n-5} & \dots & a_0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ a_n & a_{n-2} & a_{n-4} & \dots & a_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & a_{n-1} & a_{n-3} & \dots & a_2 & a_0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & a_n & a_{n-2} & \dots & a_3 & a_1 & 0 & \dots & 0 \\ \\ 0 & \dots & 0 & a_{n-1} & a_{n-3} & a_{n-5} & \dots & a_1 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 0 & a_n & a_{n-2} & \dots & a_2 & a_0 \end{pmatrix} \quad (2.26)$$

biçimindedir.

n'inci dereceden, (2.9)'da verilen birçok terimli, aşağıdaki koşulu sağladığı sürece kararlıdır.

$$\det H_i > 0, \text{ tüm } i = 1, 2, \dots, n \text{ için} \quad (2.27)$$

n'in tek ve çift sayı olduğu durumda, H_n matrisinin son sütunu yardımıyla

$$\det H_n = a_0 \det H_{n-1} \quad (2.28)$$

bulunur. Böylece n tek sayı olduğunda oluşturulan Hurwitz matrisinin kararlılık koşulu $\det H_i > 0, i = 1, 2, \dots, n-1$ için $a_0 > 0$ koşullarına indirgenir.

Genelde, parametre değerlerinin belirli bir bölgede değiştiği çokterimliler için, Hurwitz belirtenlerin artı olup olmadığını belirlemek bir sorundur. Bu sorun biri dışında diğer belirtenler ihmal ederek çözülmüştür.

Bu çerçevede aşağıdaki koşullar sağlandığı sürece $P(s, Q)$ dayanıklı kararlıdır.

- i. Çok terimli aile kümesinde kararlı bir çokterimli vardır, $p(s, q) \in P(s, Q)$
- ii. Tüm $q \in Q$ için, $\det H_n(q) \neq 0$.

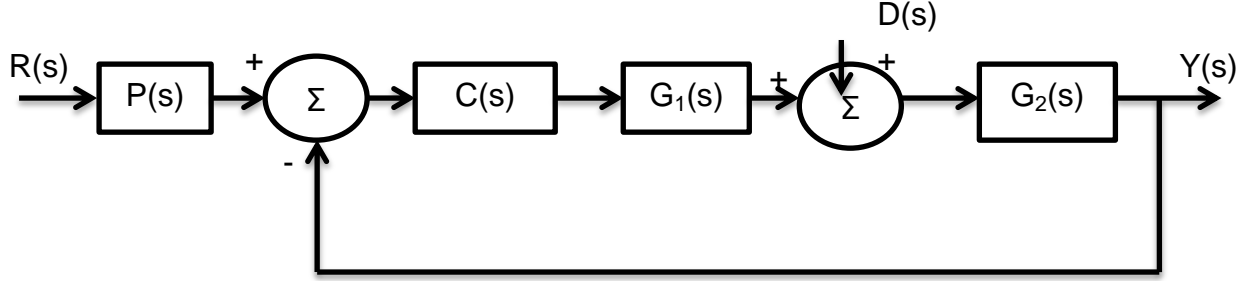
Önermenin ii koşulunu iki eşitlik altında incelendiğinde

$$a_0 \neq 0 ; \det H_{n-1} \neq 0 \rightarrow \det H_n(q) \neq 0 \quad (2.29)$$

olur [1].

2.4. Dayanıklı Sistem Tasarımı

Aşağıdaki şekilde verilen sistemi ele alalım. Burada $P(s)$ önsüzgeç, $C(s)$ denetleç $G_1(s)$ ve $G_2(s)$ fiziksel sistemi göstermektedir.



Şekil 2.4 Birim Geribesleme Yapılanışı

Kapalı döngü aktarım işlevi için,

$P(s)=1$ seçildiğinde;

$$T(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{C(s)G_1(s)G_2(s)}{1+C(s)G_1(s)G_2(s)} \quad (2.30)$$

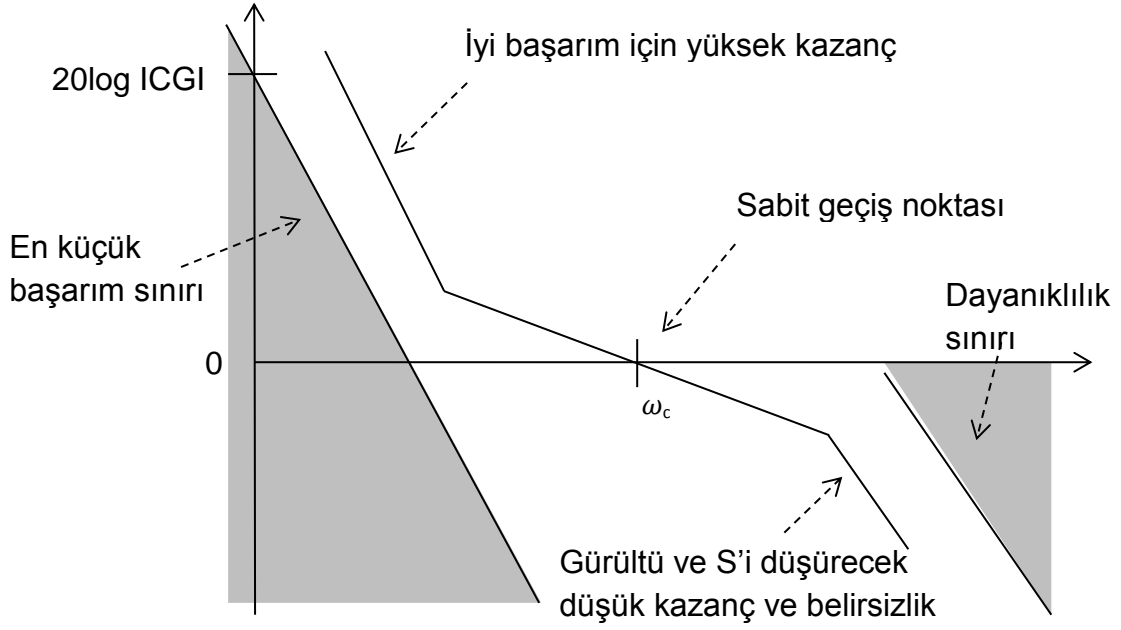
$$\frac{Y(s)}{D(s)} = \frac{G_2(s)}{1+C(s)G_1(s)G_2(s)} \quad (2.31)$$

olarak tanımlanacaktır.

$T(s)$ için duyarlılık işlevi 2.31'de belirtilen şekildedir. Birim geribesleme yapısından yola çıkarak açık döngü aktarım işlevi $L(s) = C(s) G_1(s) G_2(s)$ şeklinde ifade edilecek olup buradan $T(s)$ için kapalı döngü aktarım işlevinde tasarım amaçları;

- $T(s)$ ile $R(s)$ 'nin geniş bant genişliğine bağlı yeniden tanımlanması
- Duyarlılığın azaltılması amacıyla büyük döngü kazancı $L(s)$
- 2.31'de belirtilen denklem sistemi üzerinden geniş döngü kazancı $C(s)$ $G_1(s)$ ile sağlanmaktadır.

Sıklık düzleminde tasarımın gerçekleştirilmesi için bazı kısıtlamaların dikkate alınması gerekmektedir. Bu kısıtlamalar Bode çizimi üzerinden incelendiğinde aşağıda yer alan hususlar tasarım temellerini oluşturacaktır.



Şekil 2.5 $IC(j\omega)G(j\omega)$ için Bode Çizimi

- Bağlı duyarlılık için $C(j\omega)G(j\omega)$ -20dB/dec eğiliminde ya da ω_c sıklığını yakınında kesmesi gerekmektedir.
- Kalıcı durum değeri düşük sıklık kazancında mümkün olmaktadır.
- Tanımlanmış seviyenin altına düşmesi için $IC(j\omega)G(j\omega)$ tarafından ayarlanmış olan bir bant genişliğinin üzerinde bir değere izin verilmemektedir.
- $C(j\omega)$ için sistem bant genişliği üzerinde kazanç $D(s)$ 'nin bertarafını edecektir [26].

2.5. Dayanıklı Oransal-Tümlevsel-Türevsel Denetim Sistemi Tasarımı

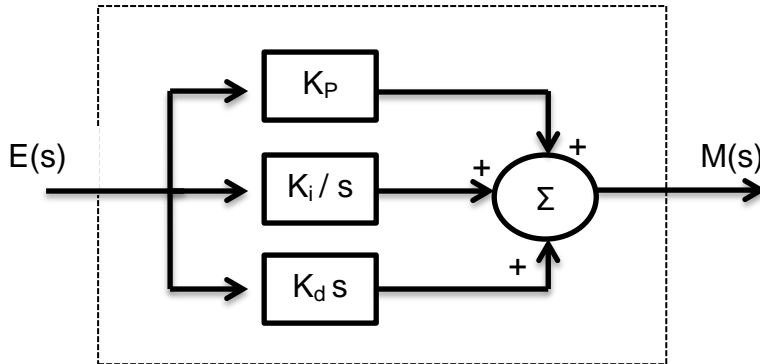
Oransal-tümlevsel-türevsel (PID) denetim geniş çaplı uygulama alanına sahiptir. Bu tasarım yapısının Zaman Çarpanlı Mutlak Hatanın Tümleliği ile birleştirilerek iyi sonuçlar elde edilmesi mümkün olmaktadır [26].

Tümlevsel bileşeni büyük yük değişimleri nedeniyle oluşan kalıcı durum hatasını azaltmak ve yok etmek için kullanılır. Türevsel bileşeni salınım eğilimini azaltır ve

hata sinyalini önceden sezen bir etki sağlar. Türev yöntemi özellikle ani yük değişimlerinin olduğu yapılarda çok kullanışlıdır [26].

PID denetimde set değeri ile ölçülen değer arasındaki fark sinyalinin türevi ve tümlevi alınır. Hata sinyali oransal denetleyiciden geçer ve toplayıcı devresinde türev sinyali, integral sinyali, oransal sinyal toplanır. Bu şekilde dengeleme gerilimi taban alınarak düzeltme yapılmış olur. Türevsel etkinin işlevi üst aşım (overshoot) ve alt aşım (undershoot) değerlerini azaltmaktadır. Tümlevsel etki ise kalıcı durum hatasını sıfırlar.

Birim geribesleme yapılışında belirtilen denetleç $C(s)$ olarak ifade edilmektedir. Oransal-Tümlevsel-Türevsel denetiminin eşitlikleri ve aktarım işlevi sürekli zaman için K_p , K_d ve K_i terimleriyle aşağıdaki gibi gösterilecektir.



Şekil 2.6 PID Denetleğin Gösterimi

$C(s) = K_p + K_i/s + K_d s$ olarak ifade edilmektedir.

Zaman Çarpanlı Mutlak Hatanın Tümleği üzerinden hesaplanacak olan denetleç katsayıları için üç tasarım adımı uygulanacaktır.

- i) Durulma zamanı tanımlanarak kapalı döngü aktarım işlevi için ω_0 seçimi yapılacaktır.
- ii) Zaman Çarpanlı Mutlak Hatanın Tümleği (ITAE) üzerinden kapalı döngü aktarım işlevinin denetleç katsayıları hesaplanacaktır.

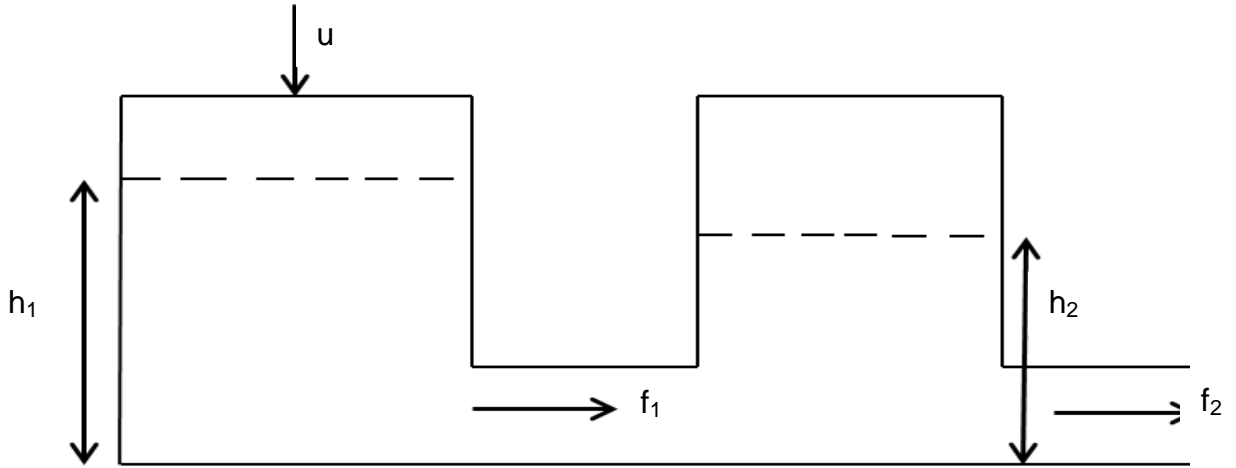
- iii) Hesaplama üzerinden kapalı döngü aktarım işlevinin fazladan sıfırlara sahip olmaması ve aktarım işlevinin istenilen davranışını görülmesi için sistemin girişine ön süzgeç işlevi sağlanmalıdır [26].

Dayanıklı denetim, belirli bir aralıkta değişkenlik gösteren parametrelere sahip bir sistemin birim geribesleme yapılanışı üzerinden denetlenmesini öngörmektedir. Dayanıklı denetim için, Kharitonov Teoremi çerçevesinde belirli tanım aralığında kesin olmayan parametreler üzerinden sistem denetlenmiş olacaktır.

3 SU TANKININ ÖZELLİKLERİ

3.1 İki Bölmeli Tank Sistemleri

Şekil 3.1'de belirtilen iki haznenin bir vana ile birbirine bağlandığı sistemi inceleyelim



Şekil 3.1 İki Bölmeli Su Tankı

Şekilde u sisteme aktarılan su girişini, h_1 , h_2 su tanklarındaki su yüksekliklerini, f_1 , f_2 değişkenleri su akışlarını göstermektedir. Ayrıca haznelerin kesit alanı A olarak tanımlanmaktadır.

Bu değişkenler üzerinden f_1 su akışı için $h_1 - h_2$ sıvı yüksekliği farkı, f_2 su akışı için h_2 sıvı yüksekliği ile orantısal bağlantı vardır. Bu çerçevede, haznelerde zamana bağlı olarak sıvı yüksekliği;

$$A \frac{dh_1}{dt} = u - K_1(h_1 - h_2) \quad (3.1)$$

$$A \frac{dh_2}{dt} = K_1(h_1 - h_2) - K_2 h_2 \quad (3.2)$$

Burada K_1 ve K_2 orantı sabitleridir. Bu denklemlerden h_1 parametresi için eşitlik yazıldığında,

$$h_1 = \frac{A}{K_1} \frac{dh_2}{dt} + \frac{K_1 + K_2}{K_1} h_2 \quad (3.3)$$

elde edilir.

h_1 ve türevi (3.3)'te yerine konulduğunda iki bölmeli su tankının doğrusal modeli

$$h_1 = \frac{A^2}{K_1 K_2} \frac{d^2 h_2}{dt^2} + \frac{A(2K_1 + K_2)}{K_1 K_2} \frac{dh_2}{dt} + h_2 = \frac{1}{K_2} u \quad (3.4)$$

Şeklinde yazılacaktır. Bu denklemin Laplace dönüşümü başlangıç koşulları sıfır kabul edilerek yapılırsa; iki bölmeli su tankı sisteminin sürekli zaman aktarım işlevi aşağıdaki gibi olacaktır.

$$G(s) = \frac{H_2(s)}{U(s)} = \frac{\frac{1}{K_2}}{\frac{A^2}{K_1 K_2} s^2 + \frac{A(2K_1 + K_2)}{K_1 K_2} s + 1} \quad (3.5)$$

Denklem sisteminden yola çıkarak;

$$B_0 = \frac{1}{K_1} \quad ; \quad A_0 = \frac{A^2}{K_1 K_2} \quad A_1 = \frac{A(2K_1 + K_2)}{K_1 K_2} \quad \text{olarak kabul edilirse ve } h_2 \text{ yerine } y \text{ koyulursa aktarım işlevi,}$$

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{B_0}{A_0 s^2 + A_1 s + 1} \quad (3.6)$$

olarak elde edilir.

Temelde su tankı sistemleri doğrusal sistem olarak davranış göstermemektedir. Bununla ilgili olarak f_1 değişkeni $\sqrt{h_1 - h_2}$ sıvı seviyesi farkıyla f_2 değişkeni $\sqrt{h_2}$ sıvı seviyesi ile orantılıdır.

Bunun için birinci ve ikinci bölmeler ile ilgili belirtilen sıvı seviyesi farkı bağlantılarını yazarak tekrar oluşturursak,

$$A \frac{dh_2}{dt} = u - K_1 \sqrt{h_1 - h_2} \quad (3.7)$$

$$A \frac{dh_2}{dt} = K_1 \sqrt{h_1 - h_2} - K_2 \sqrt{h_2} \quad (3.8)$$

olarak elde edilecektir.

Kareköklü terimlerin paydalarını köklü ifadeden kurtarmak için paydalar kendileriyle çarpılarak yeniden yazılırsa;

$$A \frac{dh_2}{dt} = u - K_1 \frac{h_1 - h_2}{\sqrt{h_1 - h_2}} \quad (3.9)$$

$$A \frac{dh_2}{dt} = K_1 \frac{h_1 - h_2}{\sqrt{h_1 - h_2}} - K_2 \frac{h_2}{\sqrt{h_2}} \quad (3.10)$$

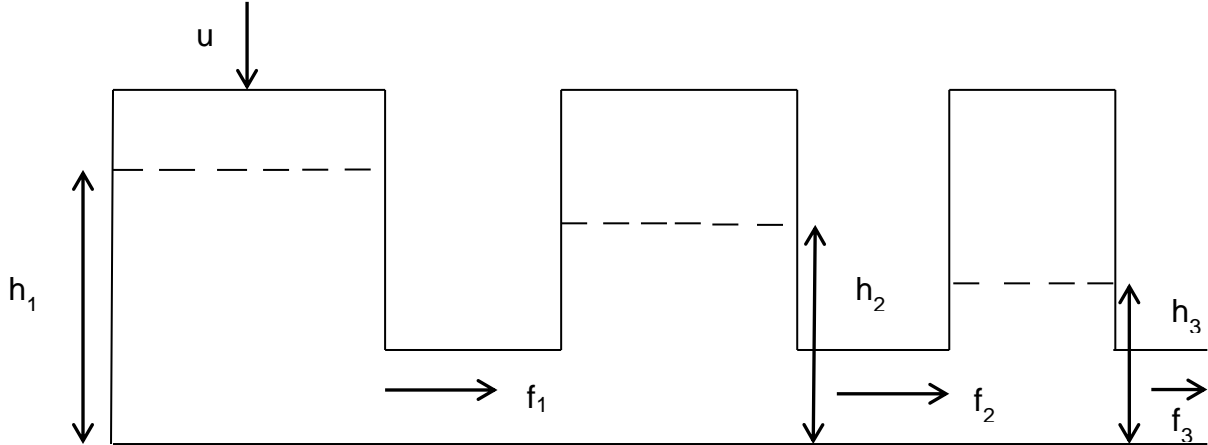
Şeklinde ifade edilecektir. Buradan sistemin parametreleri aşağıdaki denklem eşitlikleri ile gösterilir.

$$B_0 = \frac{\sqrt{h_2}}{K_2} \quad A_0 = \frac{A\sqrt{(h_1 - h_2)h_2}}{K_1 K_2} \quad A_1 = A \left[2 \frac{\sqrt{h_2}}{K_2} + \frac{\sqrt{h_1 - h_2}}{K_2} \right]$$

Bu hesaplamalardan yola çıkarak parametreler birer sabit değildir ve su seviyelerine bağlı olarak değişmektedir. Bu durum sisteme doğrusal olmayan özellik katmakta ve aktarım işlevi su seviyesine bağlı olarak değişmektedir [12, 13, 19, 25, 27].

3.2 Üç Bölmeli Tank Sistemleri

Aşağıda yer alan üç bölmeli su tankını inceleyelim.



Şekil 3.2 Üç Bölmeli Su Tankı

Şekilde u Sistem girişini; h_1, h_2, h_3 değişkenleri su seviyelerini; f_1, f_2, f_3 hazneler arasındaki su akışlarının değişkenlerini ifade etmektedir. Bu değişkenler üzerinden denklem sistemleri yazıldığında;

$$A \frac{dh_1}{dt} = u - K_1(h_1 - h_2) \quad (3.13)$$

$$A \frac{dh_2}{dt} = K_1(h_1 - h_2) - K_2(h_2 - h_3) \quad (3.14)$$

$$A \frac{dh_3}{dt} = K_2(h_2 - h_3) - K_3 h_3 \quad (3.15)$$

elde edilecektir. Burada A parametresi kesit alanını göstermektedir ve üç göz için eşittir. K_1, K_2, K_3 ise birer sabit sayıdır. Burada h_2 parametresi çekildiğinde

$$h_2 = \frac{A}{K_2} \frac{dh_3}{dt} + \frac{K_2 + K_3}{K_2} h_3 \quad (3.16)$$

elde edilecektir. Bu ve türevi (3.14)'de yerine konulduğunda,

$$h_1 = \frac{A^2}{K_1 K_2} \frac{d^2 h_3}{dt^2} + \frac{A(K_1 + 2K_2 + K_3)}{K_1 K_2} \frac{dh_3}{dt} + \frac{K_1 K_2 + K_1 K_3 + K_2 K_3}{K_1 K_2} h_3 \quad (3.17)$$

olur. 3.16 ve 3.17, 3.13'de yerine yazıldığında $h=y$ alınırsa üç bölmeli su tankı sisteminin doğrusal modeli

$$\frac{1}{K_3} u = \frac{A^3}{K_1 K_2 K_3} \frac{d^3 y}{dt^3} + \frac{A^2(2K_1 + 2K_2 + K_3)}{K_1 K_2 K_3} \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{A(3K_1 K_2 + 2K_1 K_3 + K_2 K_3)}{K_1 K_2 K_3} \frac{dy}{dt} + y \quad (3.18)$$

olarak yazılacaktır. Laplace dönüşümü alınır ve başlangıç koşulları sıfır kabul edilirse, üç gözlü su tankı sistemi için giriş çıkış arasındaki ilişkiyi veren sürekli zaman işlevi

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{\frac{1}{K_3}}{\frac{A^3}{K_1 K_2 K_3} s^3 + \frac{A^2(2K_1 + 2K_2 + K_3)}{K_1 K_2 K_3} s^2 + \frac{A(3K_1 K_2 + 2K_1 K_3 + K_2 K_3)}{K_1 K_2 K_3} s + 1} \quad (3.19)$$

gibi bulunabilir [12]. Burada

$$B_0 = \frac{1}{K_3}$$

$$A_0 = \frac{A^3}{K_1 K_2 K_3}$$

$$A_1 = \frac{A^2(2K_1 + 2K_2 + K_3)}{K_1 K_2 K_3}$$

$$A_2 = \frac{A(3K_1 K_2 + 2K_1 K_3 + K_2 K_3)}{K_1 K_2 K_3}$$

için;

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{B_0}{A_0 s^3 + A_1 s^2 + A_2 s + 1}$$

şeklinde olacaktır [12].

4 SU TANKINA DAYANIKLI DENETİM UYGULAMASI

Bu çalışmada su tankı sisteminin ideal ortamda bulunduğu ve çevresel faktörlerden etkilenmediği varsayılmıştır. Sisteme ideal bir su motorunun 0-12 V aralığında çalışarak su bastığı kabul edilmiştir.

Sistem için kabul edilen su motoru için motor sürücü devreye kare dalga uygulandığı ve bu kare dalganın su tankının doluluk boşluk durumuna göre gerilim oluşturduğu tasarımda kabul edilmiştir. Açıklamak gerekirse su motoruna 0-12 cm aralığında su seviyesinin değişimini gözlemlemek için 0-12 V aralığında değişen kare dalga uygulaması yapılmıştır. Su motoruna uygulanan gerilim aralığı ile istenilen su seviyesindeki kontrol doğru orantılı olarak değişmektedir.

Sistem için dayanıklı PID uygulaması su düzeylerinin gerilim ilişkisi çerçevesinde incelenmiştir. Belirtilenler çerçevesinde su tankı için belirlenen işlevin parametreleri Kharitonov Teoremi ile belirli aralıkta alınmıştır. Parametrelerin belirli aralıklarda tanımlanmasındaki temel amaç, su tankı sistemlerinin gerçekte fiziksel olarak bir çok unsurunun etkisi altında olmasıdır. Bu etkiler su tankının sıcaklığı, nemi, su basan motorun verimi şeklinde örneklendirilebilir. Söz konusu örnekler fiziksel olarak sistem için parametrelerdir. Bu sebeple Kharitonov Teoremi aracılığıyla bu etkilerin sistemde parametrelere olan değişkenlik etkisinin çalışmamızda gözlemlenmesi sağlanmıştır.

4.1 Tasarım Temelleri

Bir denetim sisteminin başarısı yükselme zamanı (T_r) durulma zamanı (T_s), yüzde aşım (percent overshoot) ve kalıcı durum hatası (steady state error - e_{ss}) ile ölçülmektedir. Bu değerler bir denetim sisteminde ne kadar küçük elde edilebilirse o kadar sistem başarılıdır. Bu durum fiziksel sistemlerde istenildiği gibi elde edilememektedir.

Sistemlerin tanımlanmış olan ölçütlerin hangilerinin başarıyı ortaya koyduğunun belirlenmesi sistemin ölçütlerinin önceden optimize edilmesi ile ortaya konulabilecektir. Bu çerçevede sistemin başarımı için bir maliyet işlevi tanımlanarak bu sistemin sağladığı ölçütlerin en küçük değerleri için sistem başarılı olarak tanımlanmaktadır. Bu tanımlama hata işlevi ($e(t)$) kullanılarak $e(t) = r(t)-y(t)$, $0 \leq t < \infty$ yapılır.

Maliyet işlevi olarak aşağıda belirtilmiş olan dört adet işlev kullanılmaktadır. Bunlar sırasıyla;

$$J_1 = \int_0^{\infty} e(t) dt \quad (4.1)$$

$$J_2 = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (4.2)$$

$$J_3 = \int_0^{\infty} |e(t)|^2 dt \quad (4.3)$$

$$J_4 = \int_0^{\infty} t |e(t)| dt \quad (4.4)$$

şeklindedir.

Burada ifade edilen J_4 Zaman Çarpanlı Mutlak Hatanın Tümleniği (ITAE) olarak tanımlanmaktadır. Kapalı döngü aktarım işlevinde maliyet işlevlerinden herhangi birini küçük yapacak şekilde seçilmesi ve gerçekleştirilebilir olması tasarım için önem arz etmektedir [6].

4.2 Sürekli Zaman En Küçük Kareler Yöntemi

Parametreler bakımından doğrusal model elde edildikten sonra Sürekli Zaman En Küçük Kareler (SZEKK) parametre kestirim algoritması kullanılarak sistem modeli parametreleri bulunabilmektedir [12].

t anındaki kestirilen parametreler θ olarak kabul edilirse, kestirim hatası,

$$\varepsilon(t, \tau) = y(\tau) - \varphi(\tau) \theta(t) \text{ olarak tanımlanır.}$$

Bu yöntem bir maliyet işlevidir ve aşağıda yer alan model kestirim hatasını en küçük yapmaya çalışmaktadır.

$$J((\theta(t), t) = e^{-\beta t} (\theta(t) - \theta_0)^T S_0 (\theta(t) - \theta_0) + \int_0^t e^{-\beta(t-\tau)} \varepsilon^2(t, \tau) d\tau \quad (4.5)$$

Söz konusu maliyet işlevi kestirim hatasını en küçük yapan $\theta(t)$ vektörünü bulmaya çalışmaktadır. Kestirim hatasına bağlı olarak, kestirim hatası küçük olması durumunda sisteme o kadar yakınsamaktadır.

β sabit unutmaya katsayısı, θ_0 başlangıcındaki parametre kestirim vektörünü, S_0 başlangıç anındaki bilgi matrisini göstermektedir.

β sıfırdan büyük bir sayı, θ_0 genellikle sıfır alınmaktadır. S_0 başlangıç bilgi matrisi ise α biçiminde alınır. Burada α sıfıra çok yakın sabit bir sayı, I ise uygun boyutlu birim matrisidir.

(4.5)'deki maliyet işlevi kullanılarak kestirim hatasını en küçük yapan $\theta(t)$,

$$S(t) = e^{-\beta t} S_0 + \int_0^t e^{-\beta(t-\tau)} \varphi(\tau)\varphi(\tau)^T d\tau \quad (4.6)$$

olmak üzere;

$$\theta(t) = S^{-1}(t) [e^{-\beta t} S_0 \theta_0 + \int_0^t e^{-\beta(t-\tau)} \varphi(\tau)\varphi(\tau)^T d\tau] \quad (4.7)$$

biçimde hesaplanabilir. Burada $S(t)$ bilgi matrisini, $\theta(t)$ ise kestirilen parametre vektörünü göstermektedir. Burada verilen iki denklem SZEKK yöntemini tanımlamaktadır.

Bu iki denklem sistemi kullanılarak $t+h$ anındaki parametre ve bilgi matrisleri özyineli olarak yeniden düzenlenebilmektedir. Bu çerçevede $t+h$ anındaki parametre matrisleri

$$S(t+h) = e^{-\beta h} S(t) + \int_t^{t+h} e^{-\beta(t+h-\tau)} \varphi(\tau)\varphi(\tau)^T d\tau \quad (4.8)$$

$$\theta(t+h) = \theta(t) + S^{-1}(t+h) \int_t^{t+h} e^{-\beta(t+h-\tau)} \varphi(\tau)\varphi(\tau)^T [y(\tau) - \varphi(\tau)^T \theta(t)] d\tau \quad (4.9)$$

biçimde hesaplanmaktadır [25]. Burada h ise örnekleme aralığıdır [12].

4.3 İki Gözlü Su Tankı İçin Dayanıklı Oransal-Tümlevsel-Türevsel Sistem Tasarımı

İki bölmeli su tankının dayanıklı PID denetimi tasarımı için belirlenen aktarım işlevi;

$$G(s) = \frac{K}{(s+a)(s+b)} \text{ şeklindedir.}$$

Bu aktarım işlevi için bağımsız sistem yapısı çerçevesinde Kharitonov Teoremi üzerinden yazılacak olan parametre değerleri; $a \in [1,3]$, $b \in [0.5, 2.5]$, $K \in [1,3]$, olarak belirlenmiştir.

Belirlenen aktarım işlevine ait parametre aralıklarının kutupları s-düzleminin sol yarısındadır ve Hurwitz kararlılığına da sahiptir. Bu durum aktarım işlevini dayanıklı kararlılığını sağlamaktadır.

Bu tanımla, oluşturulan sistemin matematiksel modeli SZÖEKK yöntemiyle kestirilmiştir. Kestirilen parametreler çerçevesinde oluşturulan matematiksel model üzerinden dayanıklı oransal-tümlevsel-türevsel (PID) sistem tasarımı yapılmıştır.

Sistemimizin tasarımı için, durulma zamanı $T_s < 2.5$ sn. ve yüzde aşım (P.O) ≤ 4 olarak belirlenmiştir. Tasarımda hedeflediğimiz değerlere ulaşmak için aşağıdaki üç adım gerçekleştirilmiştir. Bu adımlar;

- i) Optimal kapalı döngü aktarım işlevinin durulma zamanına uygun w_0 seçimi,
- ii) Zaman Çarpanlı Mutlak Hatanın Tümleniği (ITAE) üzerinden denetleçimizin K_p K_i K_d değerlerinin hesaplanması,
- iii) Kapalı döngü aktarım işlevimizin fazladan sifıra sahip olmaması için ön süzgecin elde edilmesi olarak tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Oransal-tümlevsel-türevsel denetleç, Zaman Çarpanlı Mutlak Hatanın Tümleniği (ITAE) ile hesaplanmıştır. Söz konusu tasarım için $\omega_0=10$ olarak alınmıştır.

4.4 Üç Bölmeli Su Tankı İçin Dayanıklı Oransal-Tümlevsel-Türevsel Sistem Tasarımı

Üç bölmeli su tankının dayanıklı PID denetimi tasarımı için belirlenen aktarım işlevi;

$$G(s)=\frac{K}{(s+a)(s+b)(s+c)}$$

şeklindedir.

Bu aktarım işlevi için iki bölmeli su tankı sisteminde oluşturulduğu gibi parametre değerleri; $a \in [2,3]$, $b \in [1, 2]$, $c \in [0.2, 0.3]$, $K \in [1,3]$, olarak belirlenmiş belirlenen çalışma aralığı belirlenen aktarım işlevinin dayanıklı karallılığını sağlamıştır.

Bu sistemin de matematiksel modeli SZÖEKK yöntemiyle MATLAB üzerinde yazılmış olan program üzerinden kestirilmiştir. Kestirilen parametreler çerçevesinde oluşturulan matematiksel model üzerinden dayanıklı oransal-tümlevsel-türevsel (PID) sistem tasarımı yapılmıştır.

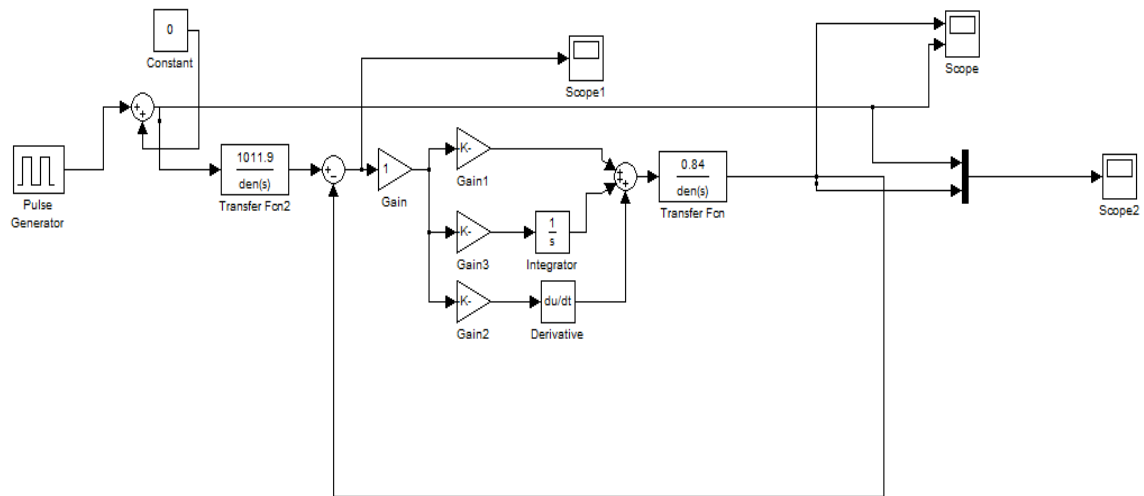
Sistemimizin tasarımını durulma zamanın $T_s < 3$ sn. ve Yüzde Aşım (P.O). $\leq \% 4$ olarak belirlenmiştir.Oransal-tümlevsel-türevsel denetleç, Zaman Çarpanlı Mutlak Hatanın Tümleniği (ITAE) ile hesaplanmıştır. Söz konusu tasarım için $\omega_0=10$ olarak alınmıştır.

5 BENZETİM SONUÇLARI

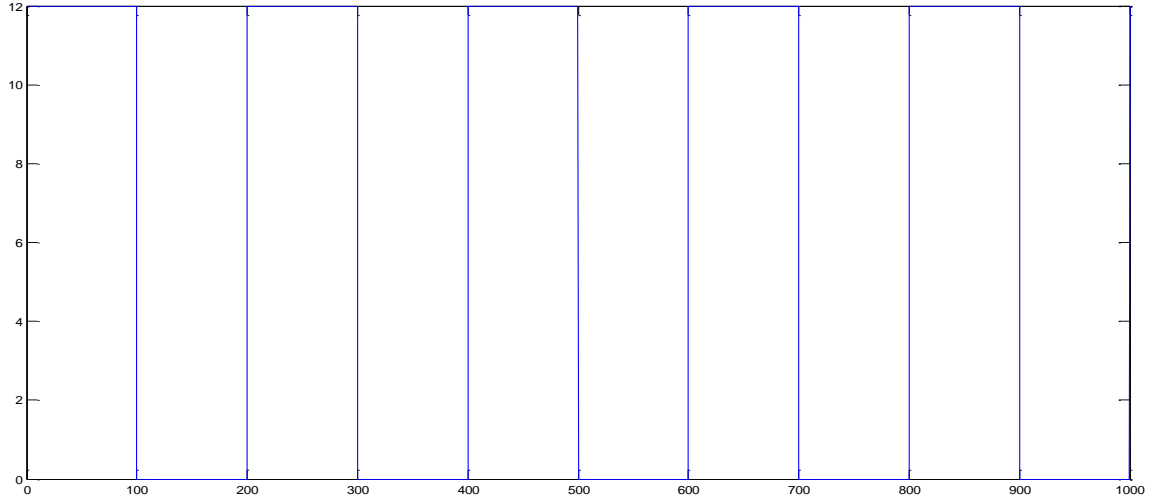
Su tankı sisteminin benzetim sonuçları için seçilen aktarım işlevi ve bu aktarım işlevi üzerinden birim geribesleme sistemi üzerinden tasarılanmış olan sistemin davranışı SIMULINK üzerinden incelenmiştir.

Benzetim sonuçlarında, üç bölmeli ve iki bölmeli su tanklarına belirli bir süre içerisinde su motoru üzerinden pompalanan su ile ilgili durum incelenmemiştir. Su seviyesinin su seviyesi değişimleri karşılık dayanıklı oransal-tümlevsel-türevsel (PID) denetleç tasarımıyla sistemin davranışı incelenmiştir. İncelemede 4-8 cm, 8-12 cm ve 0-12 cm üzerindeki su seviyelerindeki değişimler ile ilgili denetim sonuçları elde edilmiştir.

Su tankı sistemleri değişik çalışma noktalarında farklı aktarım işlevlerine sahip olduğundan denetim sistem kestirimin yapıldığı aralıkta veya ona yakın değerlerde yapılmalıdır [12]. Bu sebeple sistem kestirimi için örnekleme periyodu $h=0.1$ alınmıştır. Kestirim sonucu alınan değerler üzerinden SIMULINK'te uygulama yapılmıştır. İki bölmeli ve üç bölmeli su tankı için matematiksel model ve benzetim aşamaları Bölüm 5.1 ve 5.2 'de detaylandırılmıştır. Çizimlerde yatay eksen saniye olarak alınmıştır. Çizimlerde lacivert çizgiler sisteme verilen sinyali tanımlarken, yeşil çizgiler sistem çıkışını göstermektedir.



Şekil 5.1. SIMULINK Sistem Tasarımı



Şekil 5.2 Sisteme Uygulanan Kare Dalga Sinyal Örneği

5.1 İki Bölmeli Su Tankı Benzetim Sonuçları

Kharitonov Teoreminden yola çıkılarak, Bölüm 4.3'te belirlenmiş olan tasarım ölçütleri kapsamında oluşturulan aktarım işlevi sonucu elde edilen sonuçlar sırasıyla verilmiştir.

İki bölmeli su tankı için ;

$$G(s) = \frac{K}{(s+a)(s+b)} \quad \text{için belirlenen sistem denklemini}$$

Kharitonov Teoreminden yola çıkarak, $K=1$ $a=1$ $b=2.5$ olarak belirlenmiştir. Bu çerçevede oluşturulan denklem sistemi,

$$G(s) = \frac{1}{(s+1)(s+2.5)} \quad \text{olarak oluşturulmuştur. Denklem sistemi için MATLAB}$$

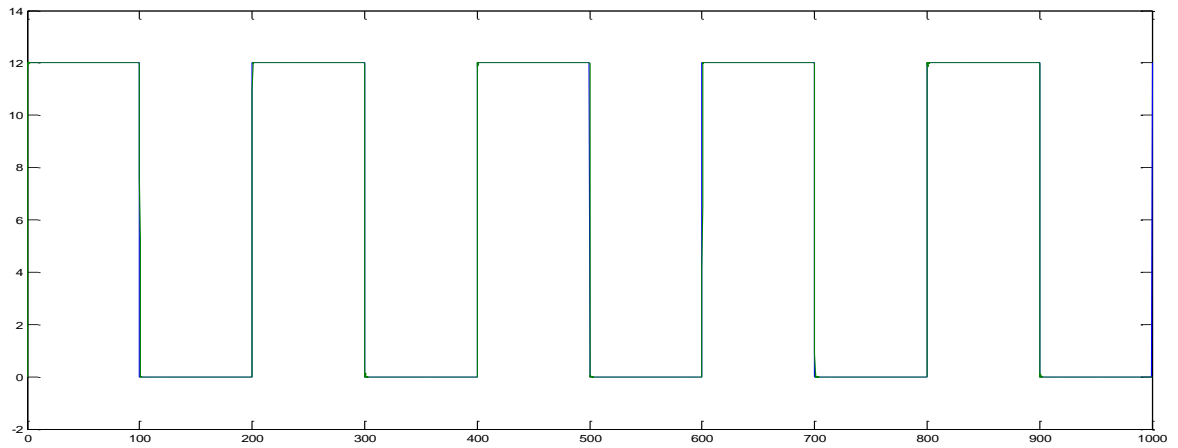
üzerinden hesaplanan kestirim sonucu oluşturulan denklem sistemi;

$$G(s) = \frac{0.84}{0.85s^2 + 3s + 2.5} \quad \text{olarak tanımlanmıştır. Denetleç,}$$

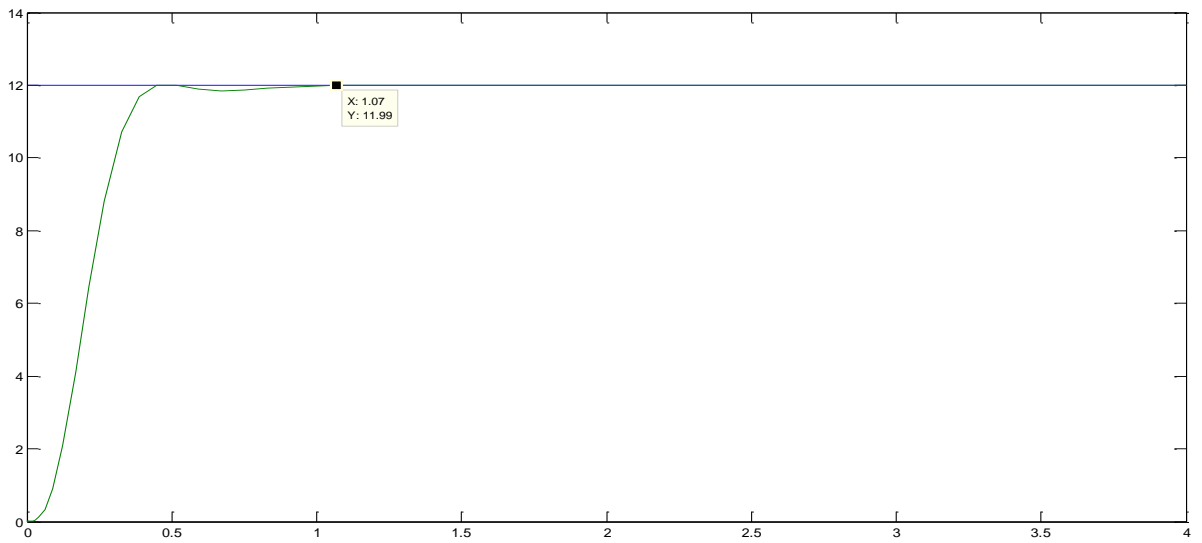
$C(s) = \frac{14.13s^2 + 214.58s + 1011.9}{s}$ olarak tanımlanırken, sistem için tasarım aşamalarında belirtildiği üzere aktarım işlevinin fazladan sıfırlara sahip olamaması için hesaplanan önsüzgeç;

$P(s) = \frac{71.61}{s^2 + 15.19s + 71.61}$ olarak belirlenmiştir.

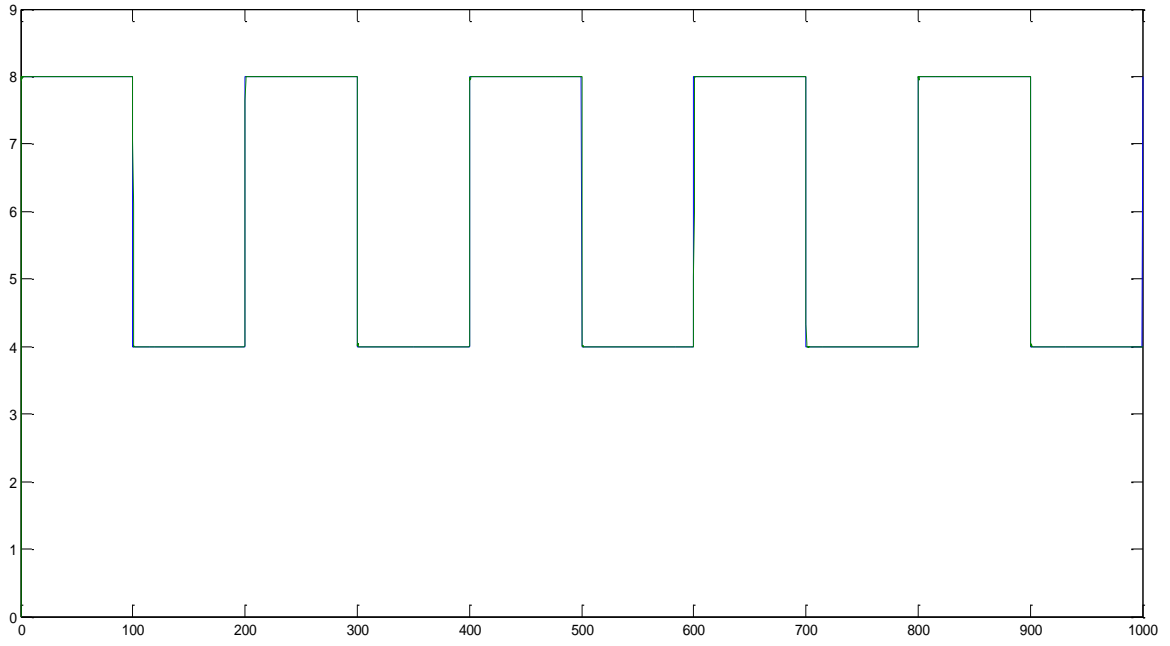
Belirlenenler çerçevesinde sistem SIMULINK üzerinde tasarımı olarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



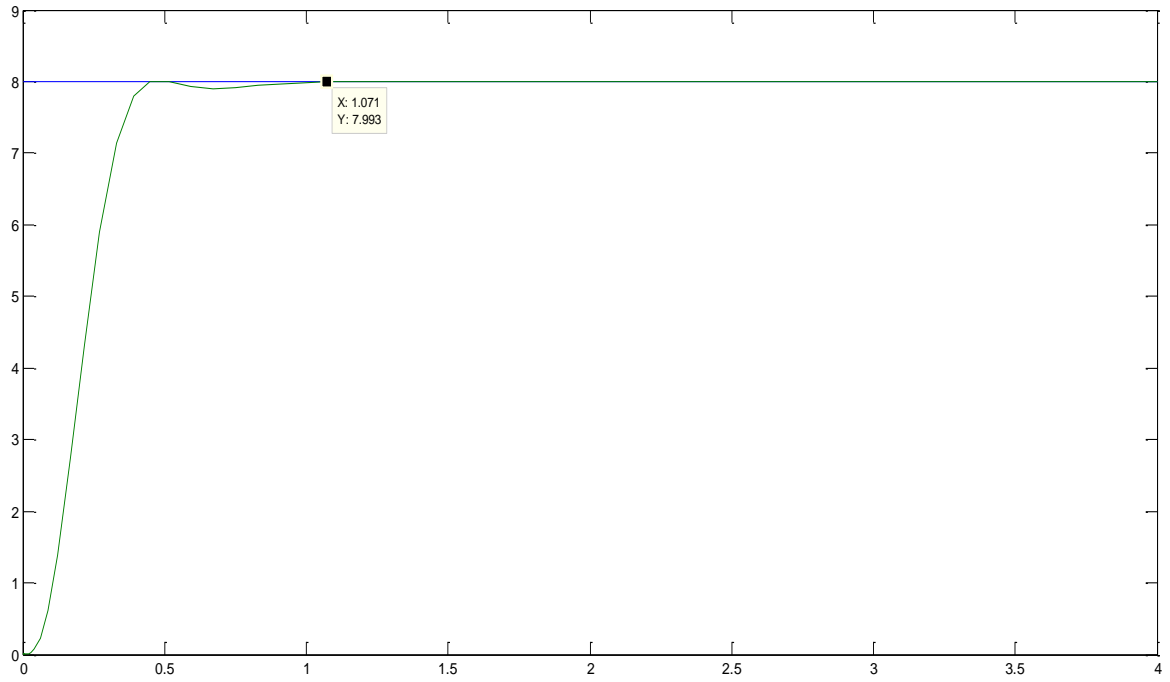
Şekil 5.1.1 0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



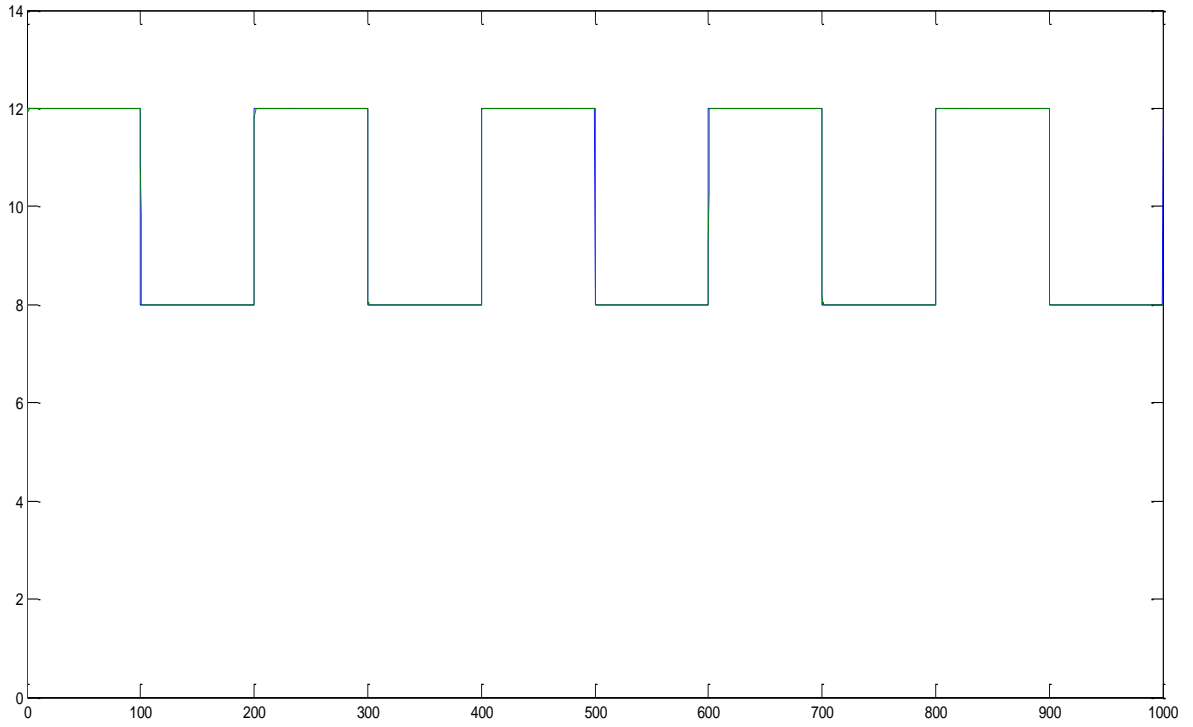
Şekil 5.1.2 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı (Ts = 1.07 sn.)



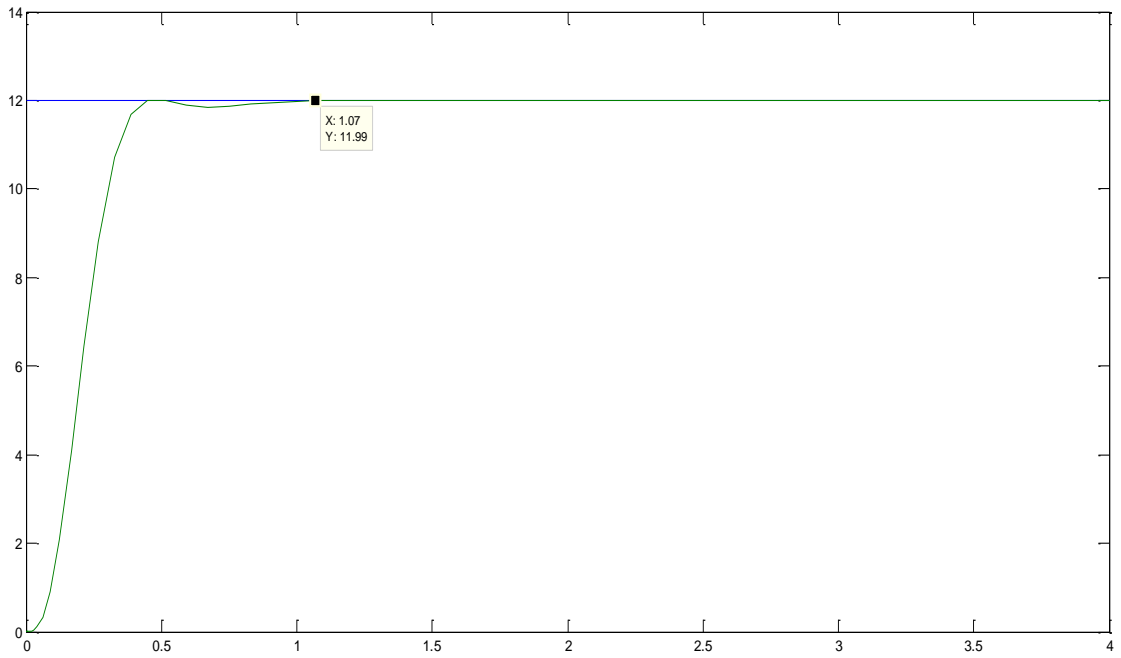
Şekil 5.1.3 4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



Şekil 5.1.4 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı ($T_s=1.07$ sn.)



Şekil 5.1.5 8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



Şekil 5.1.6 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı (Ts=1.07 sn.)

K=1 a=3 b=2.5 olarak belirlenmiştir. Bu çerçevede oluşturulan denklem sistemi,

$$G(s) = \frac{1}{(s+3)(s+2.5)}$$

olarak oluşturulmuştur. Denklem sistemi için MATLAB üzerinden hesaplanan kestirim sonucu oluşturulan denklem sistemi ,

$$G(s) = \frac{0.75}{5.63s^2 + 4.41s + 7.5}$$

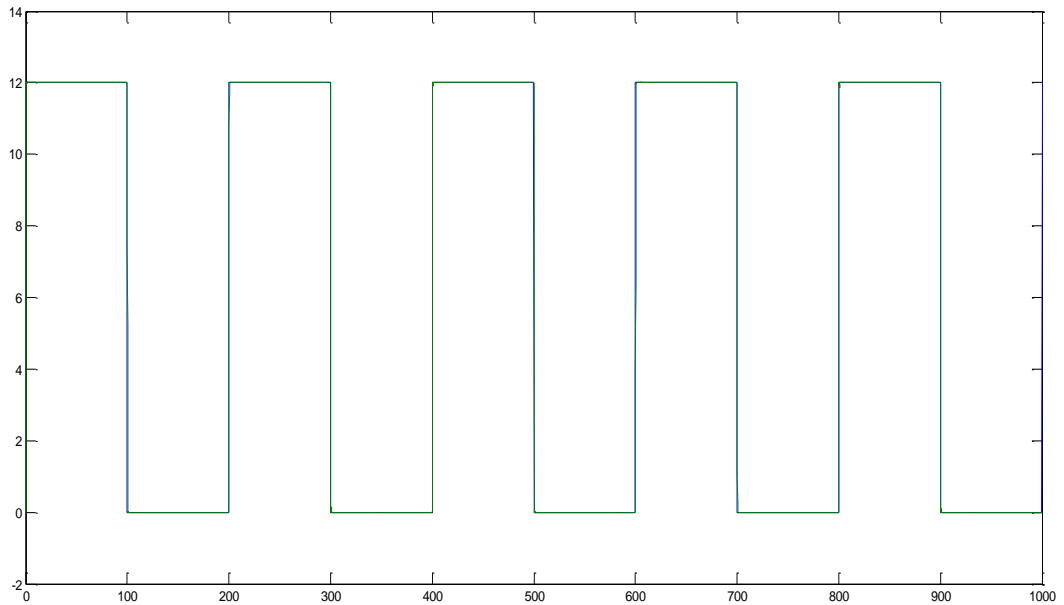
olarak tanımlanmıştır. Denklem sistemi üzerinden PID denetleç tasarımı yapıldığında;

$$C(s) = \frac{125.48s^2 + 1603.93s + 7506.66}{s}$$

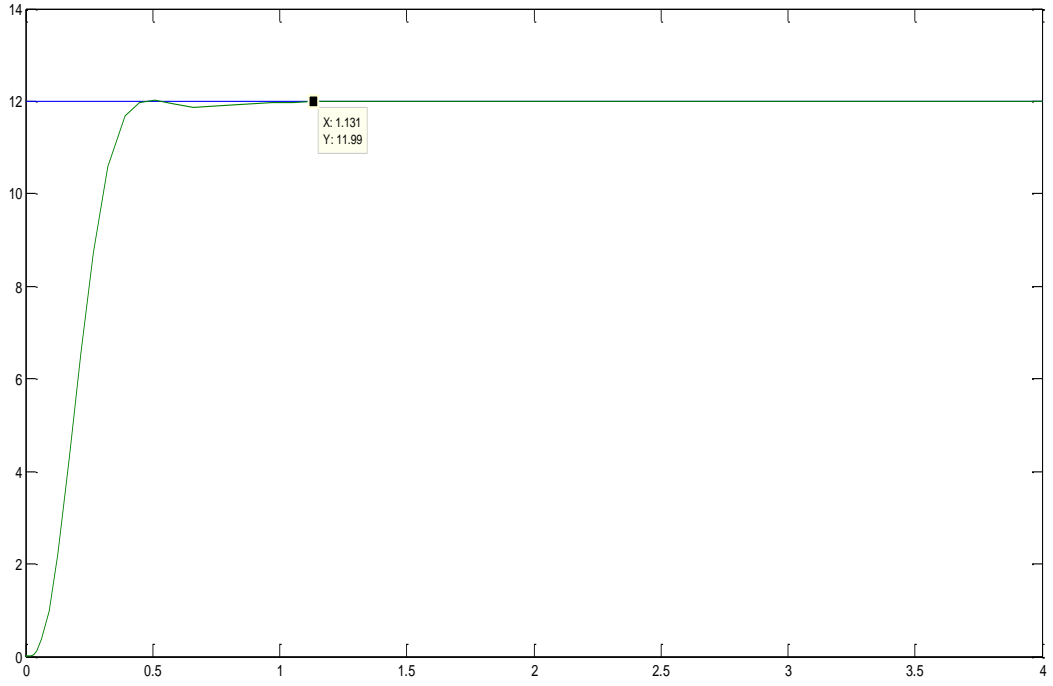
olarak tanımlanırken, sistem için tasarım aşamalarında belirtildiği üzere aktarım işlevinin fazladan sıfırlara sahip olmaması için hesaplanan önsüzgeç;

$$P(s) = \frac{59.82}{s^2 + 12.78s + 59.82}$$

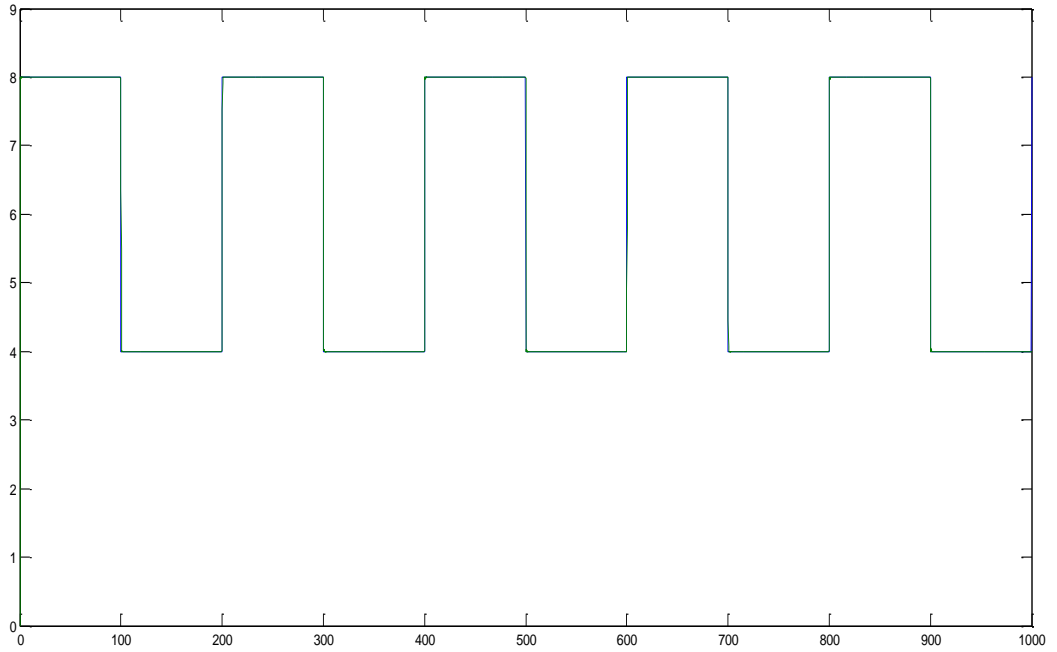
Belirlenenler çerçevesinde sistem SIMULINK üzerinde tasarlanarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



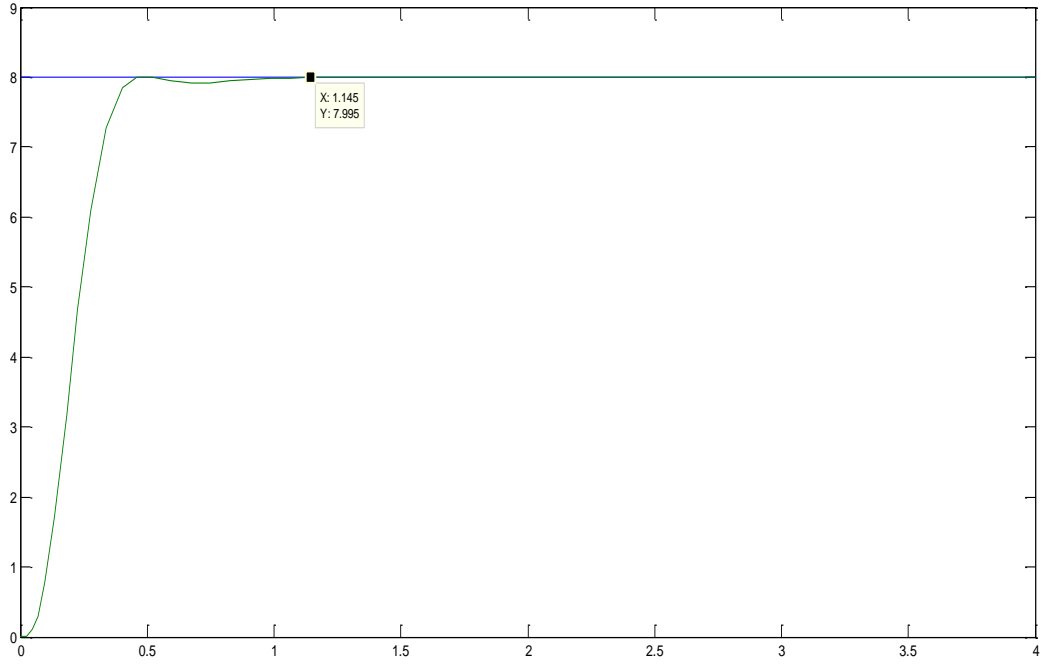
Şekil 5.1.7 0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



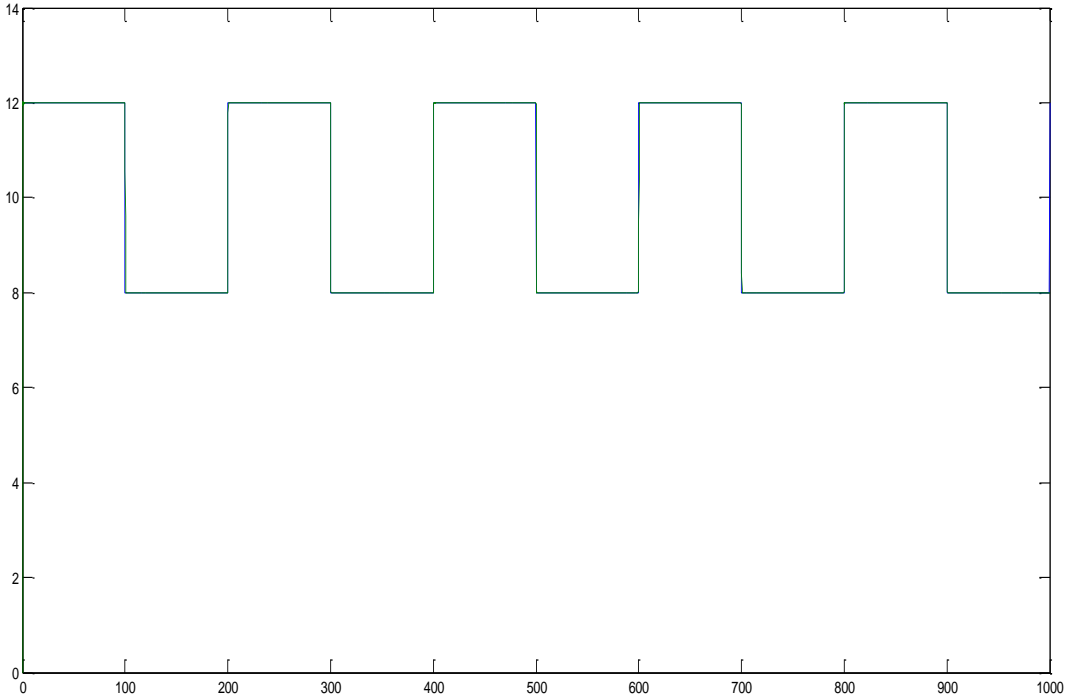
Şekil 5.1.8 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı ($T_s=1.13$ sn.)



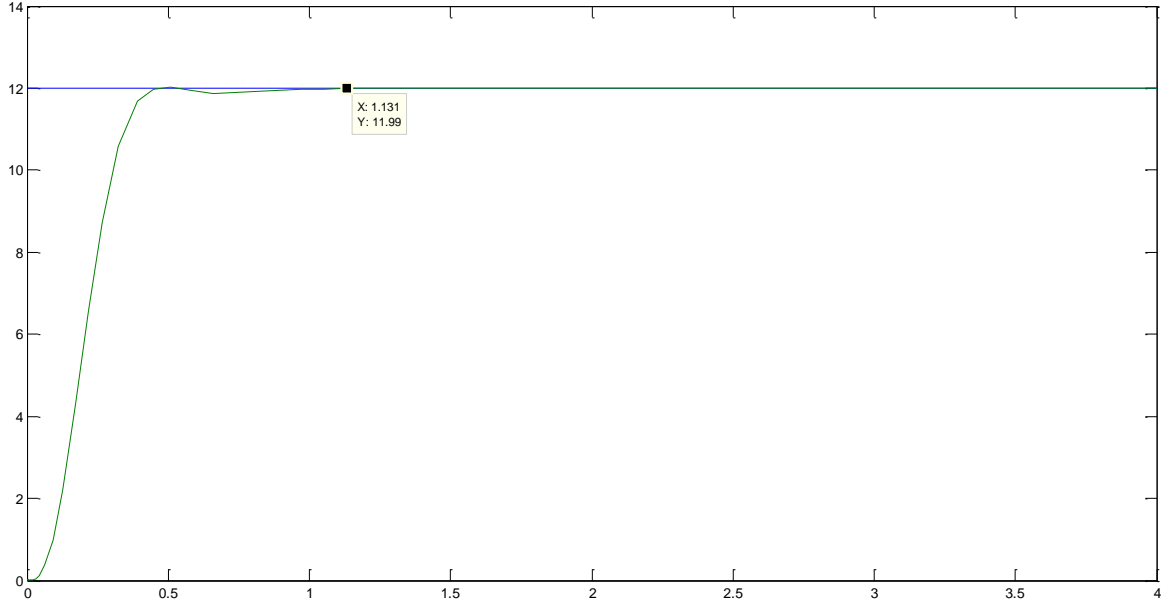
Şekil 5.1.9 4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



Şekil 5.1.10 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı
($T_s=1.15$ sn.)



Şekil 5.1.11 8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte
Gösterimi



Şekil 5.1.12 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı (Ts=1.13 sn.)

K=1 a=1 b=0.5 olarak belirlenmiştir. Bu çerçevede oluşturulan denklem sistemi

$$G(s) = \frac{1}{(s+1)(s+0.5)}$$

olarak oluşturulmuştur. Denklem sistemi için MATLAB

üzerinden hesaplanan kestirim sonucu oluşturulan denklem sistemi

$$G(s) = \frac{0.93}{0.92s^2 + 1.42s + 0.5}$$

olarak tanımlanmıştır. Denetleç,

$$C(s) = \frac{15.78s^2 + 212.15s + 989.25}{s}$$

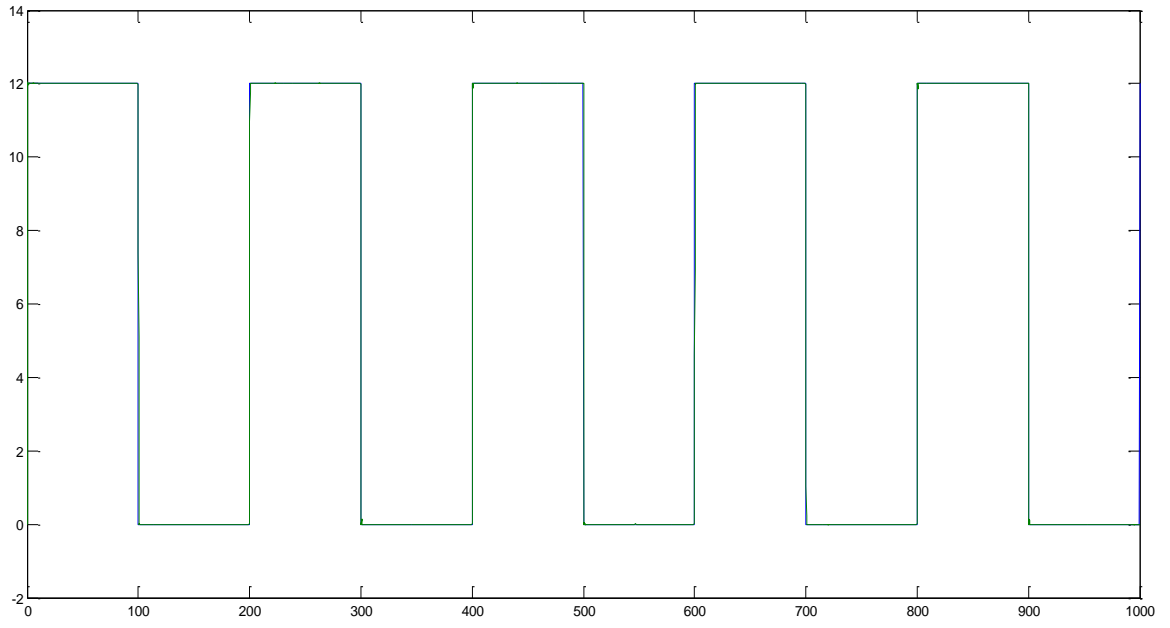
olarak tanımlanırken, sistem için tasarım

aşamalarında belirtildiği üzere aktarım işlevinin fazladan sıfırlara sahip olamaması için hesaplanan önsüzgeç;

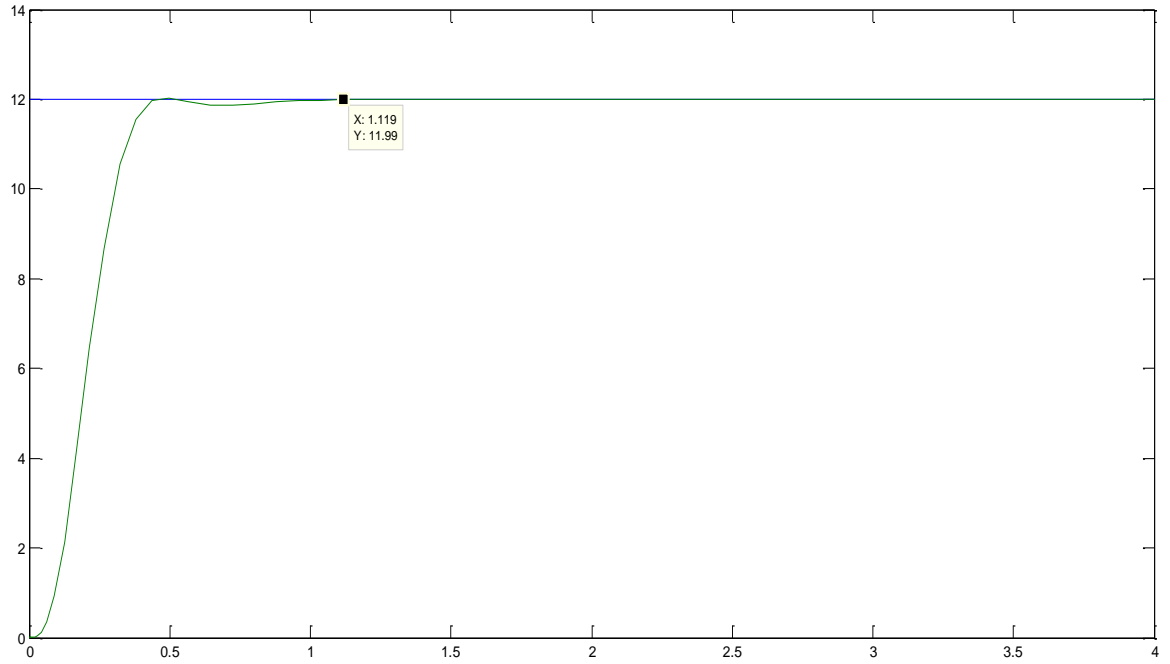
$$P(s) = \frac{62.69}{s^2 + 13.44s + 62.69}$$

olarak belirlenmiştir.

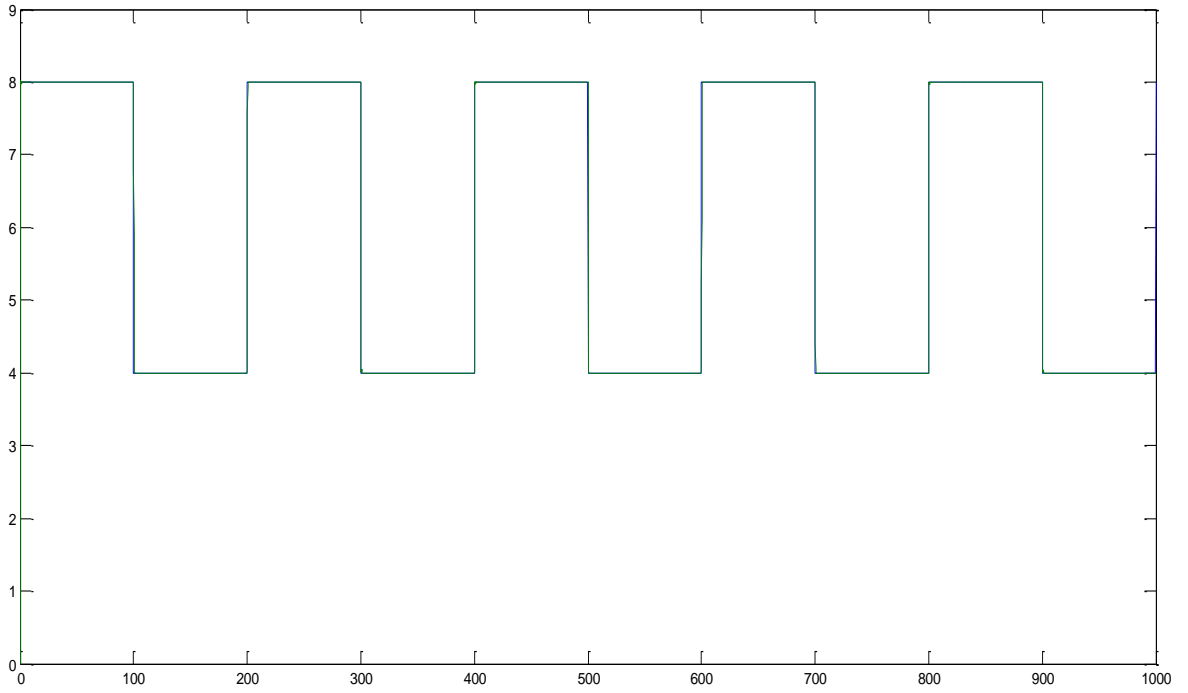
Belirlenenler çerçevesinde sistem SIMULINK üzerinde tasarlanarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



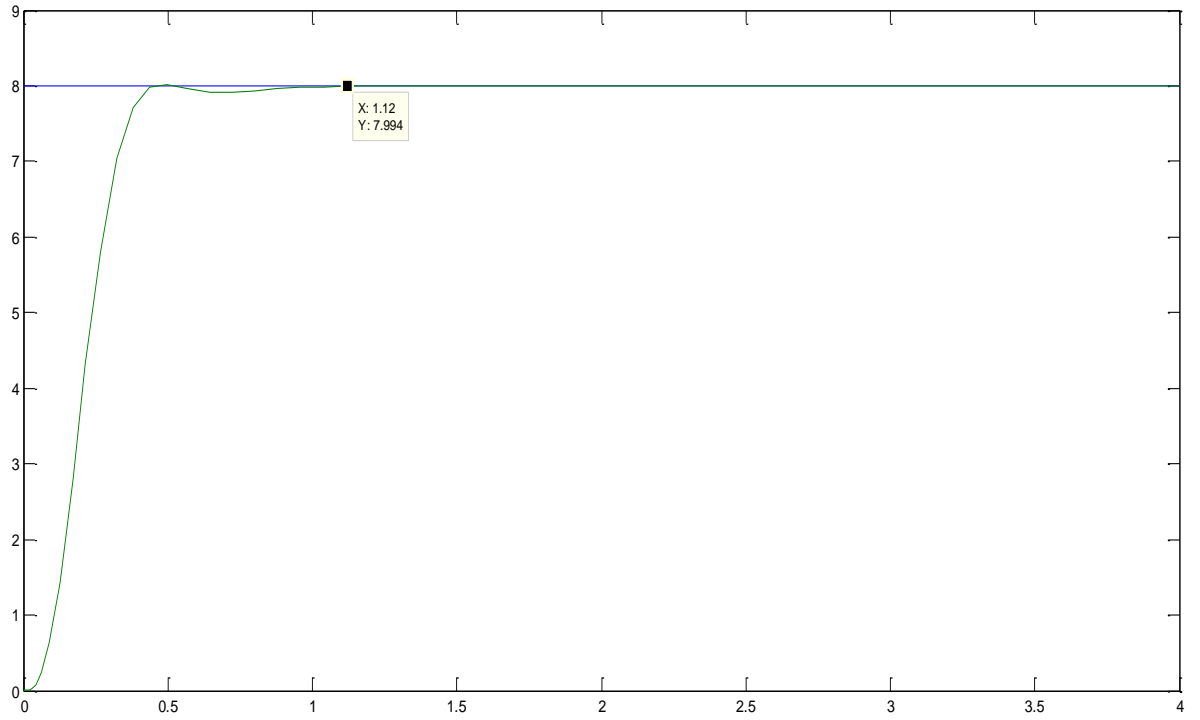
Şekil 5.1.13 0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



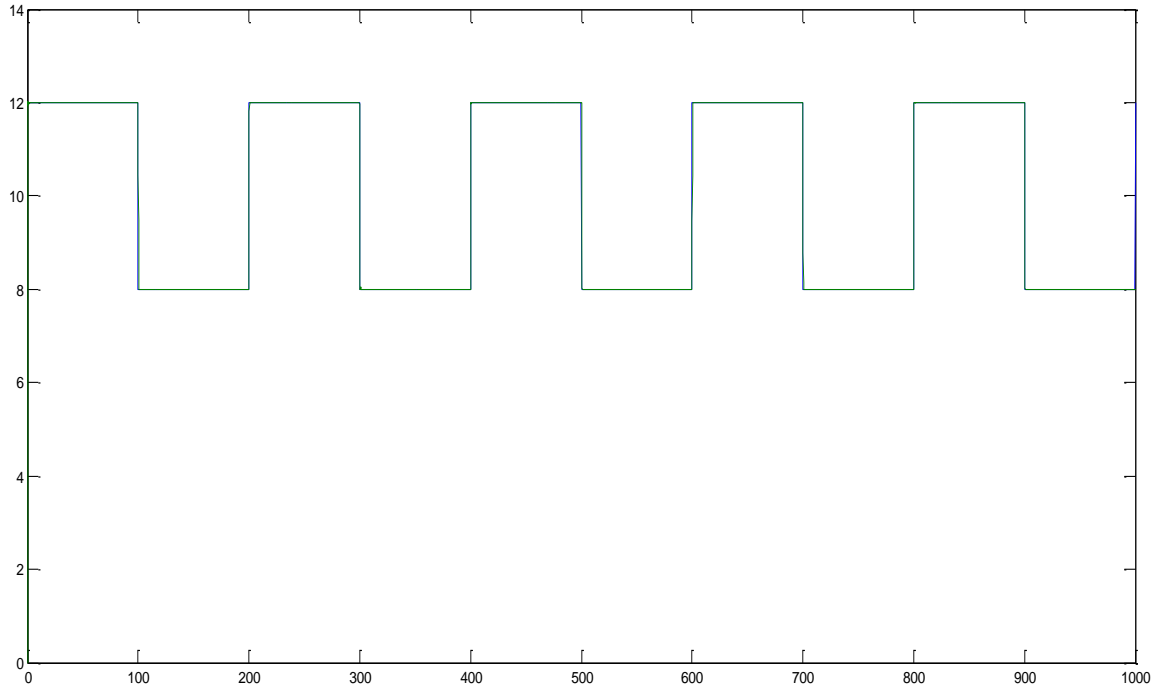
Şekil 5.1.14 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı ($T_s=1.12$ sn.)



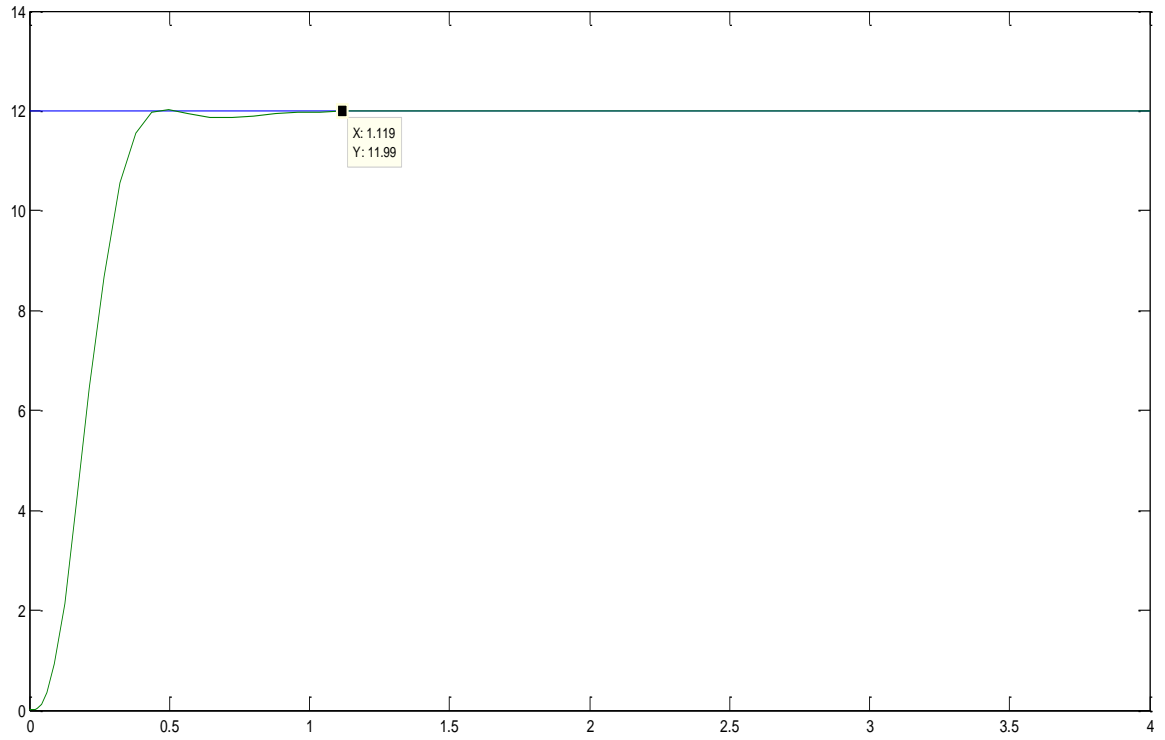
Şekil 5.1.15 4-8 cm. için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



Şekil 5.1.16 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı (Ts=1.12 sn.)



Şekil 5.1.17 8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



Şekil 5.1.18 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı ($T_s=1.12$ sn.)

Çizelge 5.1.1 K=1 için Benzetim Sonuçları

K=1 için seçilen, a ve b değerleri	<i>a= 1 b=2.5</i>	<i>a= 3 b=2.5</i>	<i>a= 1 b=0.5</i>
h=0.1 için kestirilen A₀, A₁ ve B₀ değerleri	<i>A₀=0.85 A₁=3.0 B₀=0.84</i>	<i>A₀=5.63 A₁= 4.41 B₀=0.75</i>	<i>A₀=0.92 A₁=1.42 B₀=0.93</i>
Dayanıklı PID denetleç değerleri	<i>K_p= 214.58 K_i= 1011.90 K_d= 14.13</i>	<i>K_p= 1603.93 K_i= 7506.66 K_d= 125.48</i>	<i>K_p= 212.15 K_i= 989.25 K_d= 15.78</i>
Yüzde aşım (%)	<i>0-12 cm= 0 4-8 cm= 0 8-12cm= 0</i>	<i>0-12 cm= 0 4-8 cm= 0 8-12cm= 0</i>	<i>0-12 cm= 0 4-8 cm= 0 8-12cm= 0</i>
Durulma Zamanı (T_s)	<i>0-12 cm= 1.07 sn. 4-8 cm= 1.07sn. 8-12cm=1.07sn.</i>	<i>0-12 cm= 1.13 sn. 4-8 cm= 1.15 sn. 8-12cm= 1.13 sn.</i>	<i>0-12 cm= 1.12 sn. 4-8 cm= 1.12 sn. 8-12cm= 1.12 sn.</i>
Kalıcı Durum Hatası	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>

K=1 ve tanım aralığından seçilmiş olan a ve b değerleri için tasarım temelleri olarak sistem için ortaya konulan sonuçlar söz konusu değer aralıkları için başarıyla gerçekleştiği görülmüştür. Sistemin çıkışında alınan sinyal davranışlarının sisteme verilen kare dalga ile örtüştüğü ve kararlı bir şekilde sistem içerisindeki su seviyesinin su basımına bağlı olarak istenilen seviyelerde değiştiği gözlemlenmiştir. Yüzde aşım sistem çıkışlarında gözlenmemiştir. Söz konusu seçilen değerlerde sisteme yönelik yapılan dayanıklı PID denetim başarıyla gerçekleştirilmiştir.

K=2 a=1 b=2.5 olarak belirlenmiştir. Bu çerçevede oluşturulan denklem sistemi,

$$G(s)=\frac{2}{(s+1)(s+2.5)} \quad \text{olarak oluşturulmuştur. Denklem sistemi için MATLAB}$$

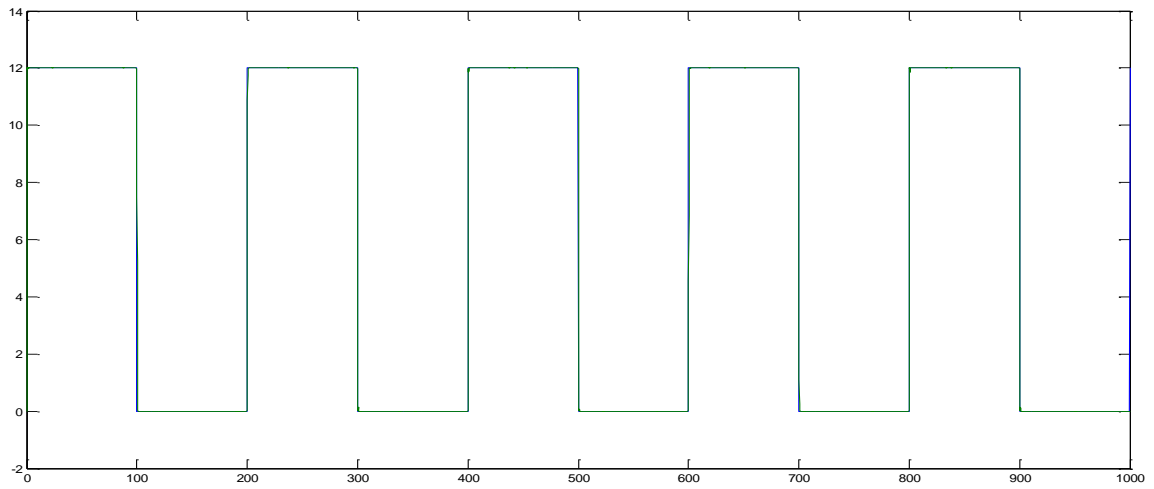
üzerinden hesaplanan kestirim sonucu oluşturulan denklem sistemi,

$$G(s)=\frac{1.69}{2.11s^2+3.06s+2.5} \quad \text{olarak tanımlanmıştır.}$$

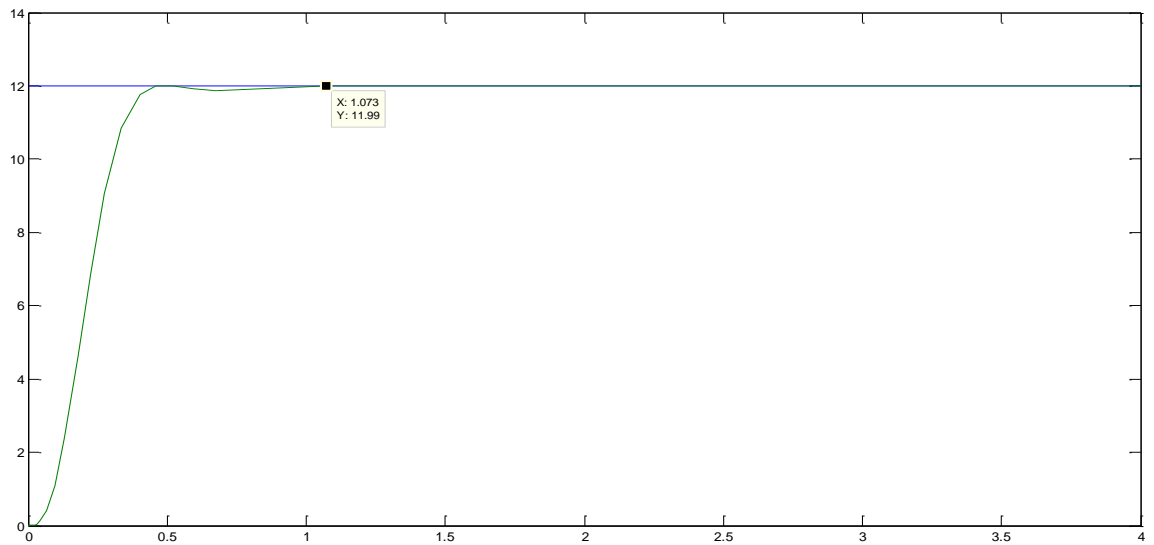
$C(s) = \frac{20.04s^2 + 266.95s + 1248.52}{s}$ olarak tanımlanırken, sistem için tasarım aşamalarında belirtildiği üzere aktarım işlevinin fazladan sıfırlara sahip olmaması için hesaplanan önsüzgeç;

$$P(s) = \frac{62.30}{s^2 + 13.22s + 62.30} \text{ olarak belirlenmiştir.}$$

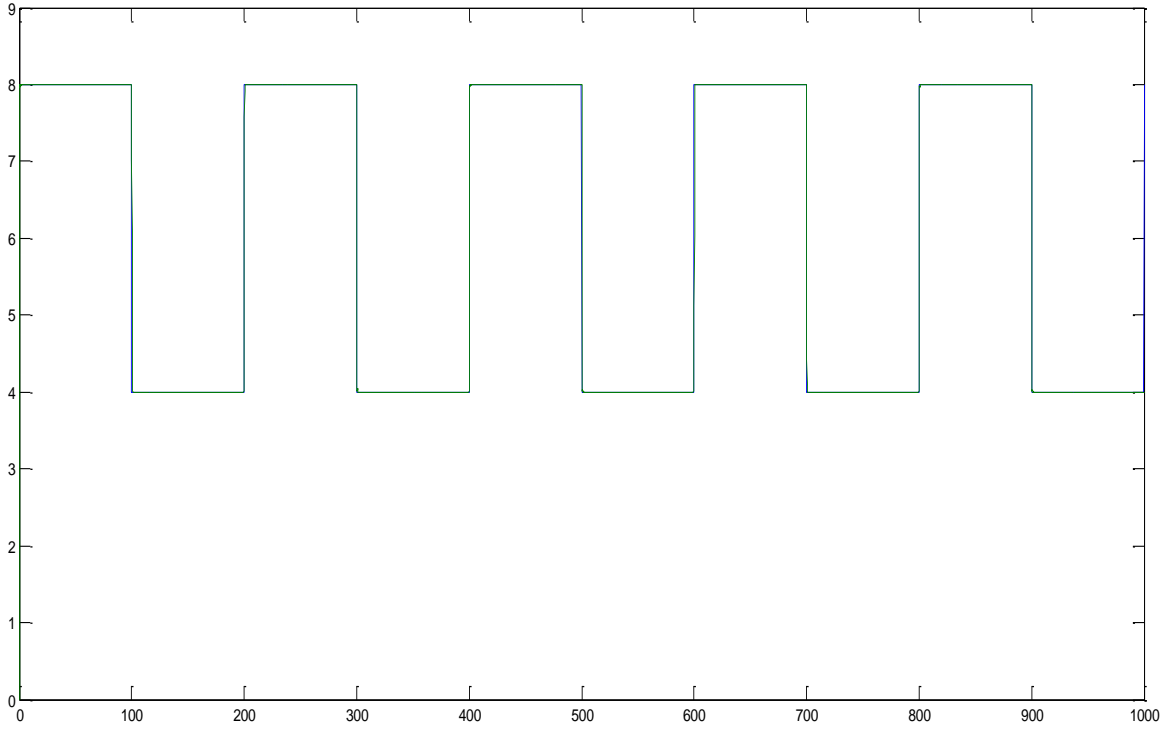
Belirlenenler çerçevesinde sistem SIMULINK üzerinde tasarlanarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



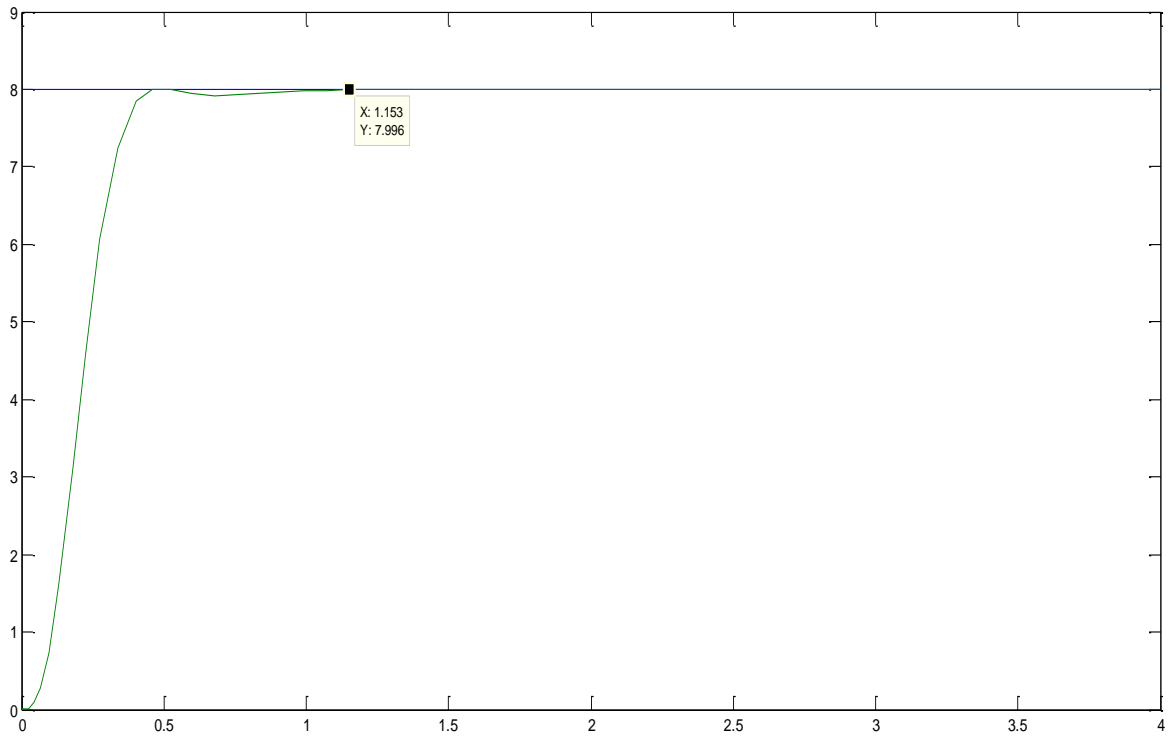
Şekil 5.1.19 0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



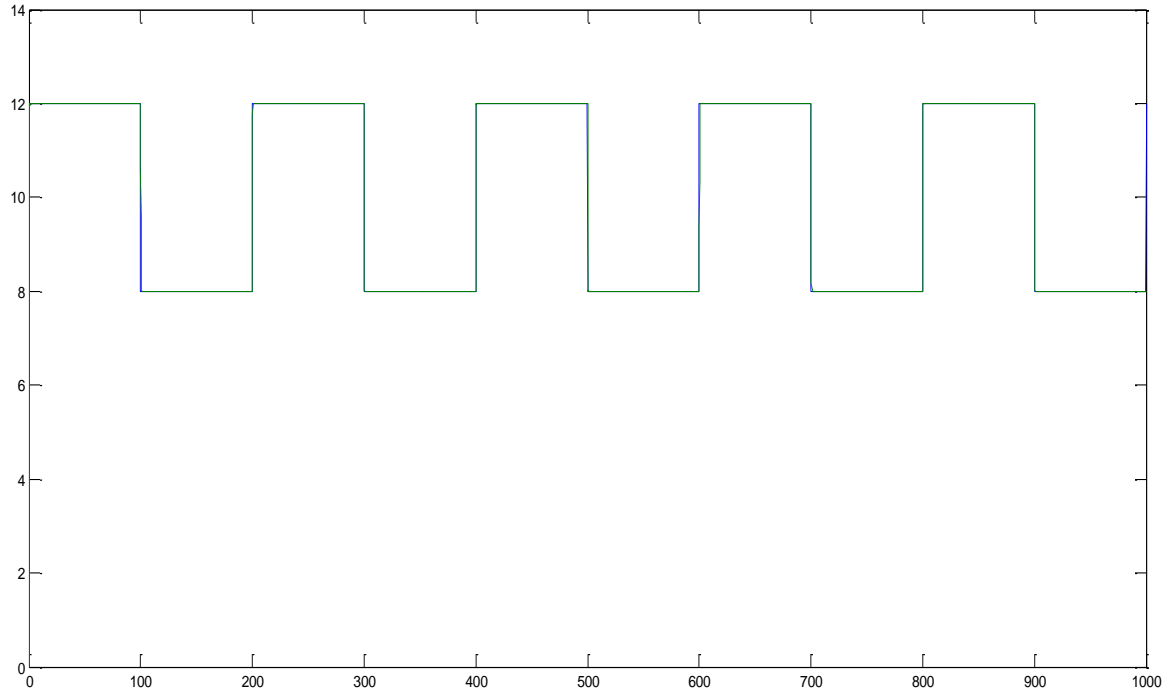
Şekil 5.1.20 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı (Ts=1.07 sn.)



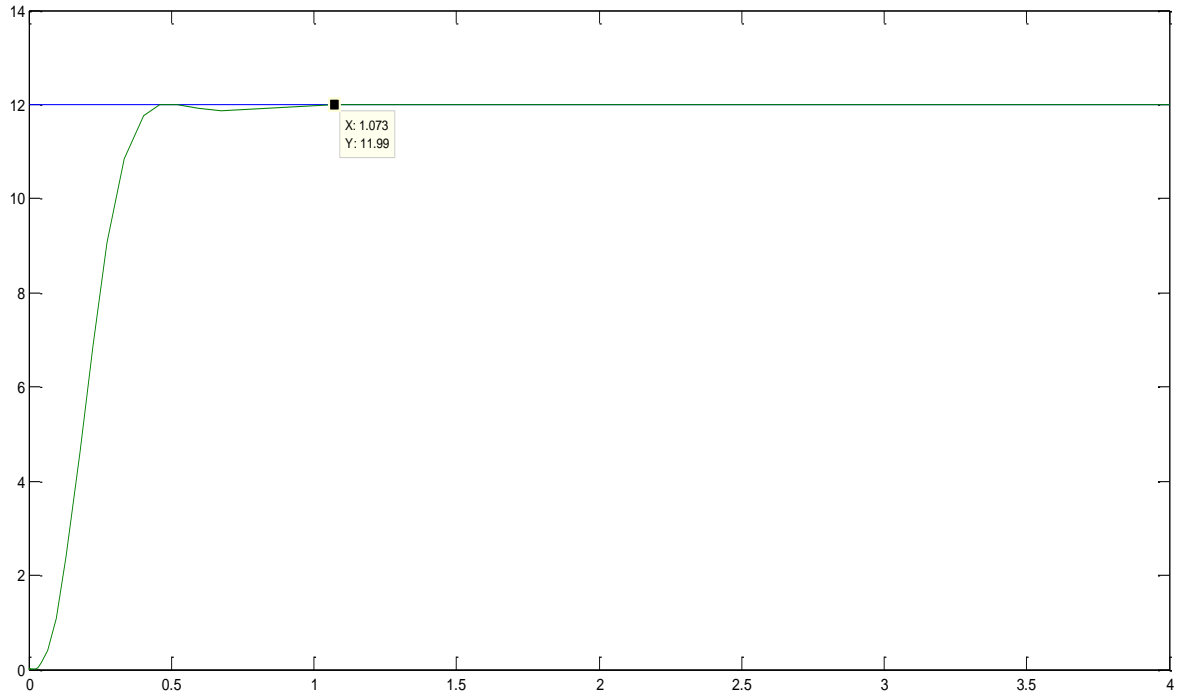
Şekil 5.1.21 4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



Şekil 5.1.22 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı ($T_s=1.15$ sn.)



Şekil 5.1.23 8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



Şekil 5.1.24 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı (Ts=1.07 sn.)

K=2 a=3 b=2.5 olarak belirlenmiştir. Bu çerçevede oluşturulan denklem sistemi,

$$G(s)=\frac{2}{(s+3)(s+2.5)}$$
 olarak oluşturulmuştur. Denklem sistemi için MATLAB

üzerinden hesaplanan kestirim sonucu oluşturulan denklem sistemi,

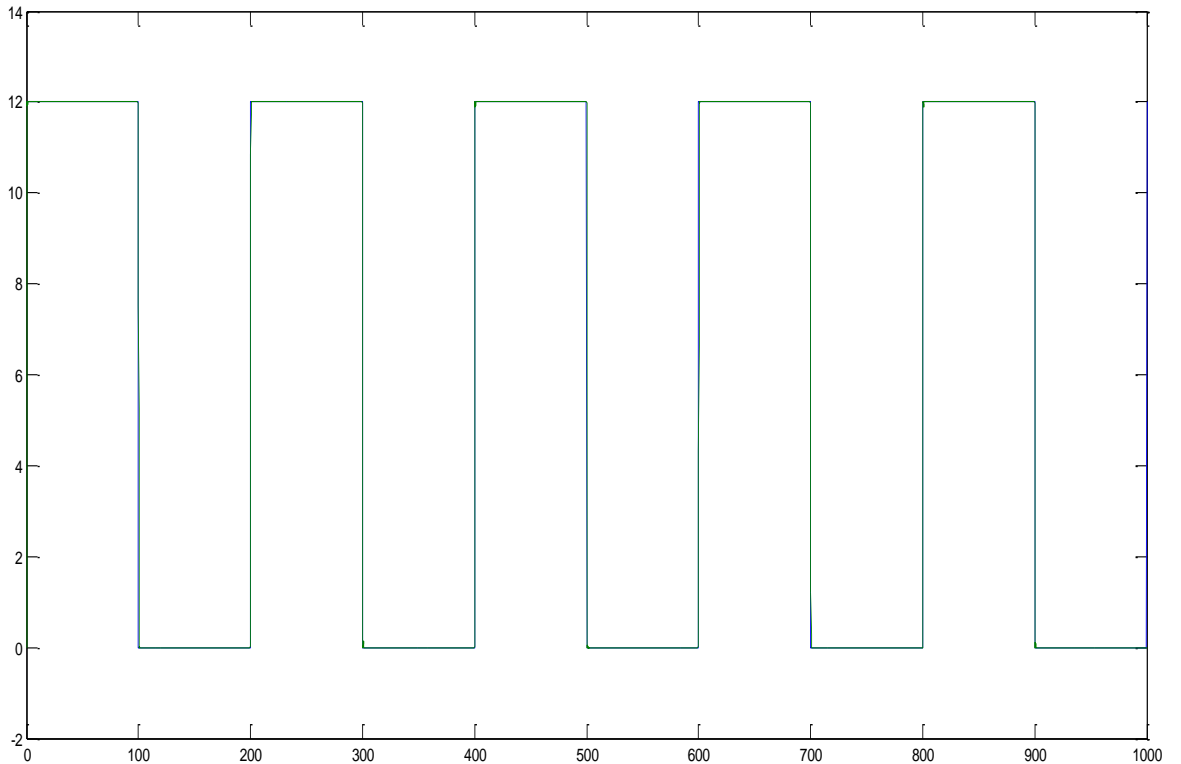
$$G(s)=\frac{1.54}{5.76s^2+4.52s+7.5}$$
 olarak tanımlanmıştır. Denetleç,

$$C(s)=\frac{62.52s^2+799.28s+3740.25}{s}$$
 olarak tanımlanırken, sistem için tasarım

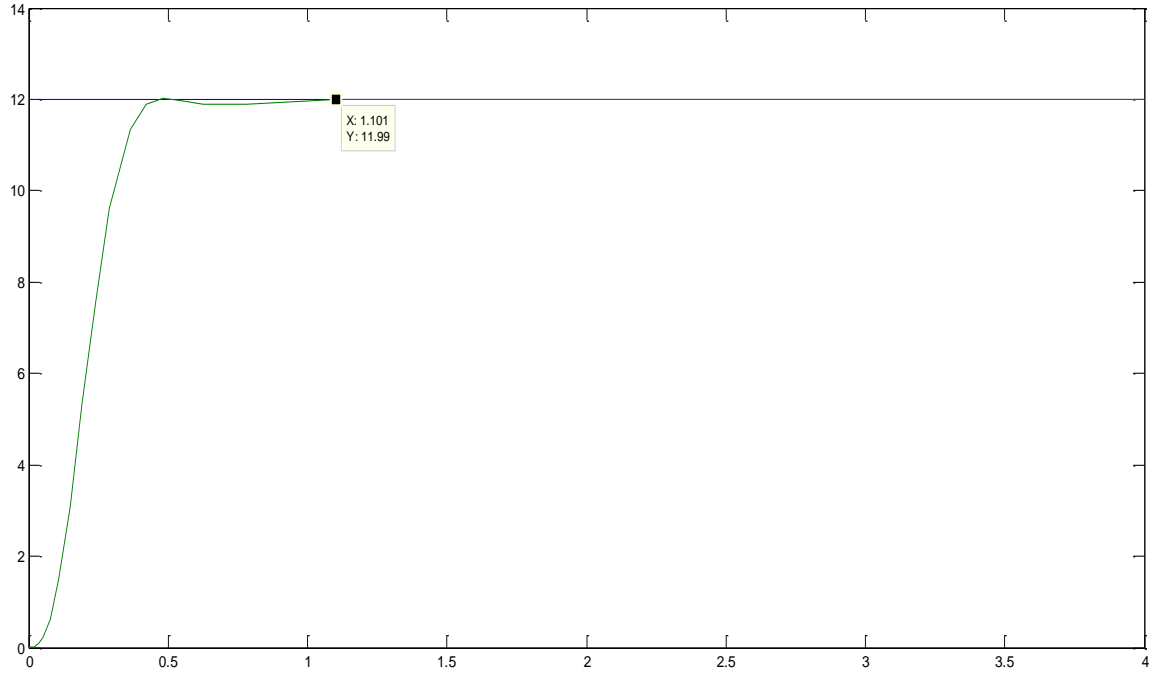
aşamalarında belirtildiği üzere aktarım işlevinin fazladan sıfırlara sahip olamaması için hesaplanan önsüzgeç;

$$P(s)=\frac{59.82}{s^2+12.78s+59.82}$$
 olarak belirlenmiştir.

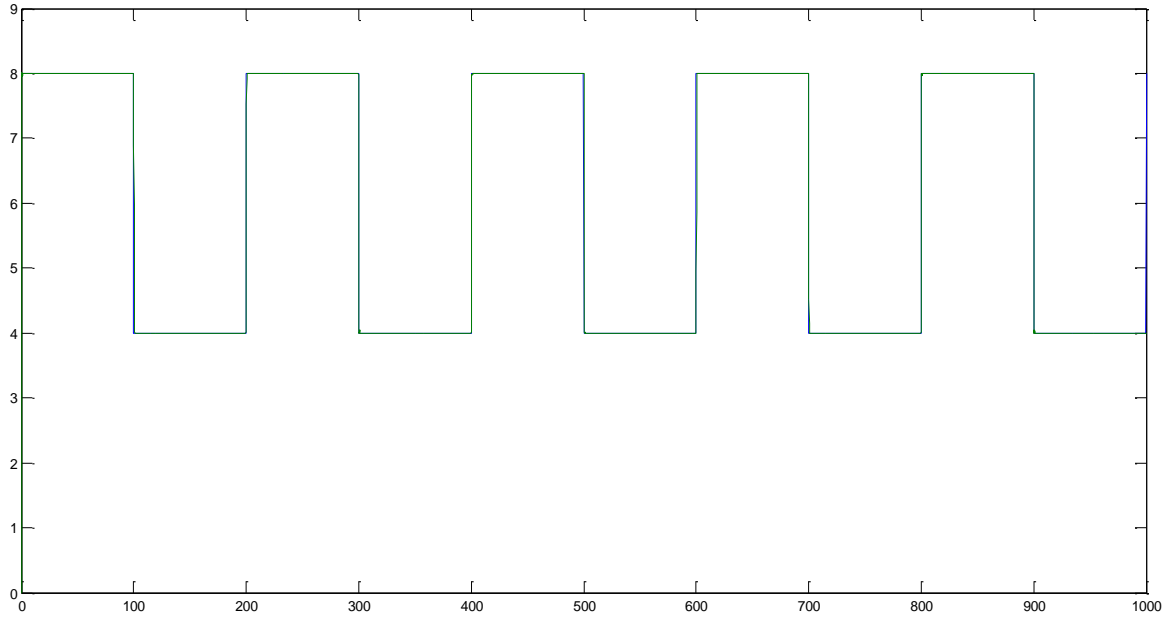
Belirlenenler çerçevesinde sistem SIMULINK üzerinde tasarımı olarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



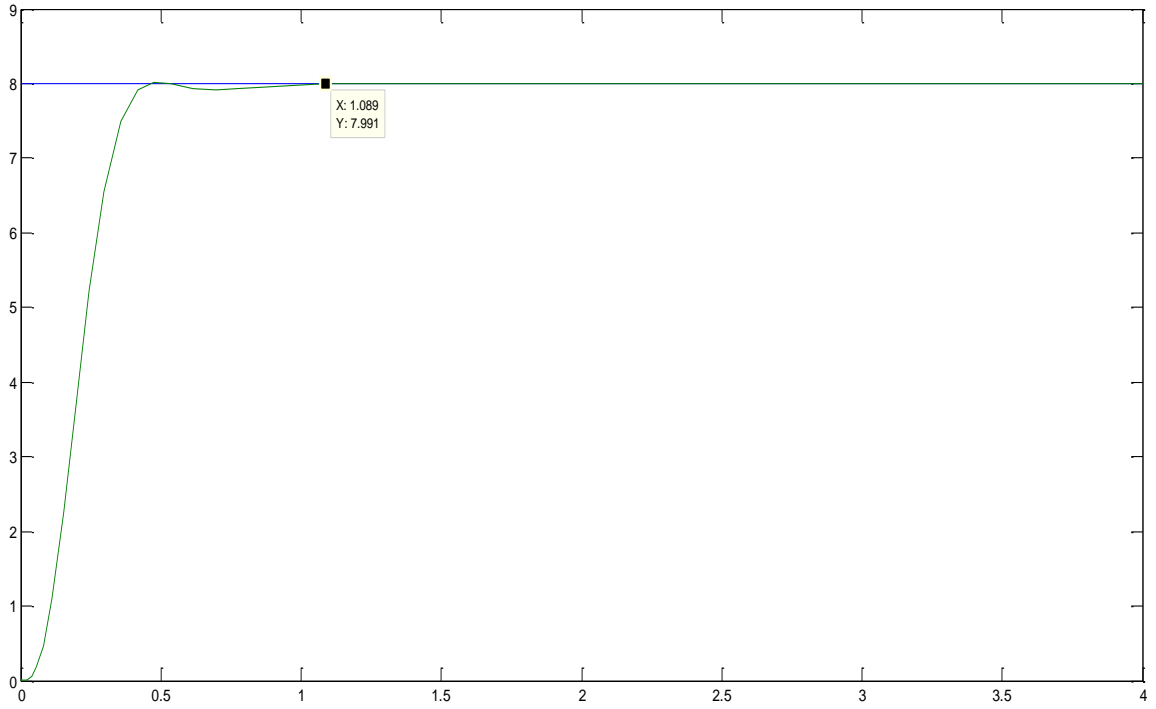
Şekil 5.1.25 0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



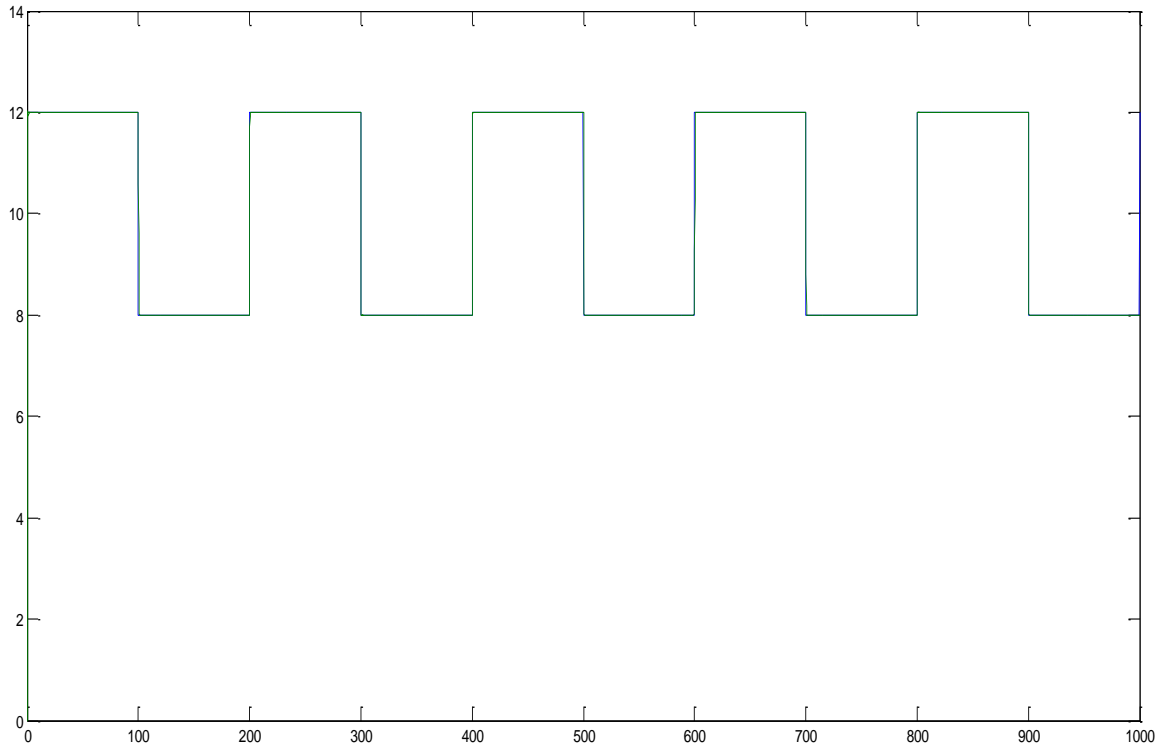
Şekil 5.1.26 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı ($T_s=1.10$ sn.)



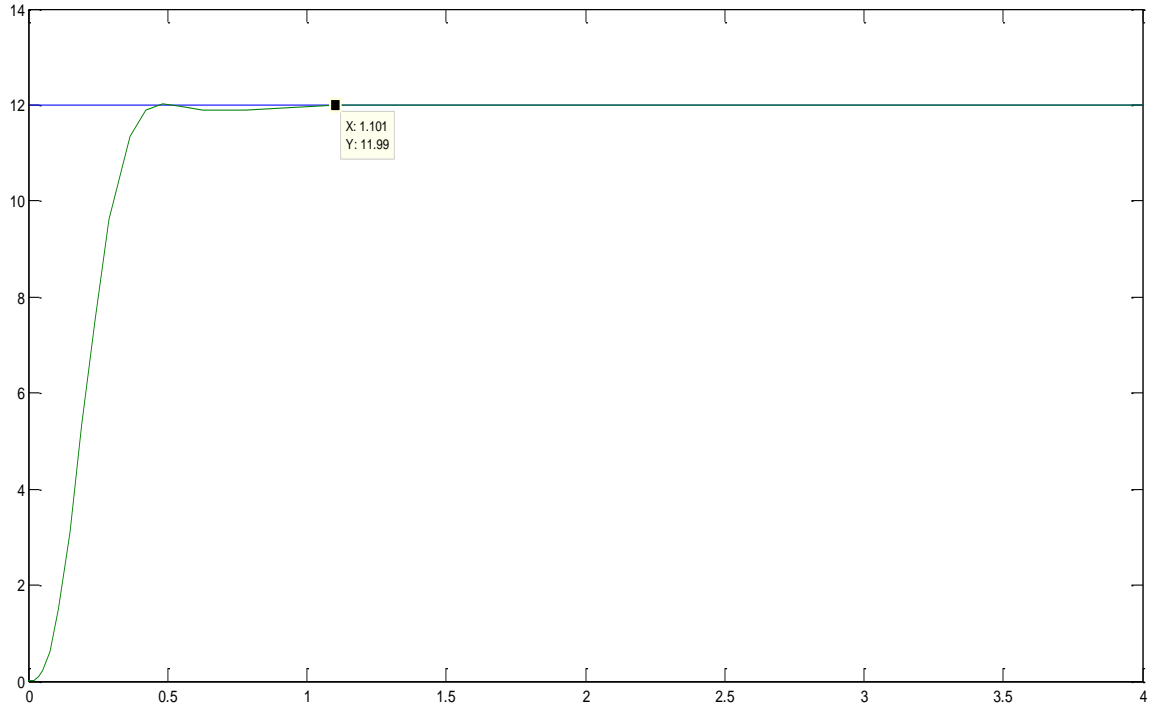
Şekil 5.1.27 4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



Şekil 5.1.28 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı (Ts=1.09 sn.)



Şekil 5.1.29 8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



Şekil 5.1.30 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı (Ts=1.10 sn.)

K=2 a=1 b=0.5 olarak belirlenmiştir. Bu çerçevede oluşturulan denklem sistemi,

$$G(s)=\frac{2}{(s+1)(s+0.5)}$$

olarak oluşturulmuştur. Denklem sistemi için MATLAB

üzerinden hesaplanan kestirim sonucu oluşturulan denklem sistemi,

$$G(s)=\frac{1.85}{0.45s^2+1.41s+0.5}$$

olarak tanımlanmıştır. Denetleç,

$$C(s)=\frac{3.49s^2+52.02s+243.24}{s}$$

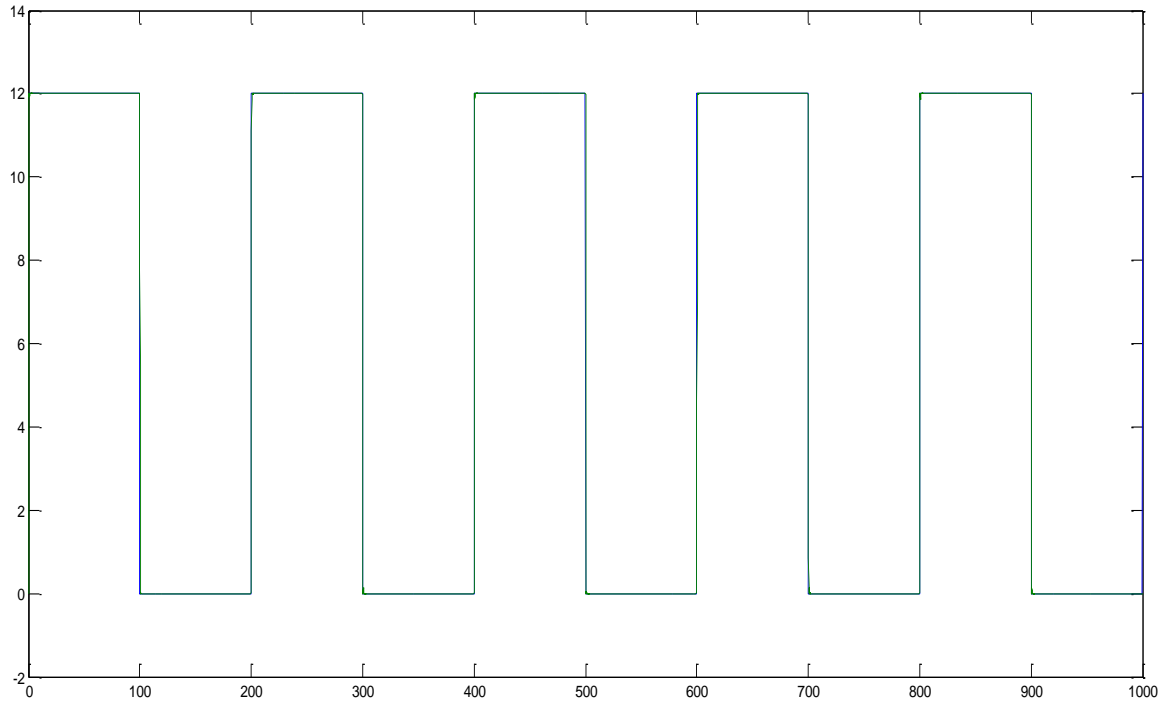
olarak tanımlanırken, sistem için tasarım

aşamalarında belirtildiği üzere aktarım işlevinin fazladan sıfırlara sahip olamaması için hesaplanan önsüzgeç;

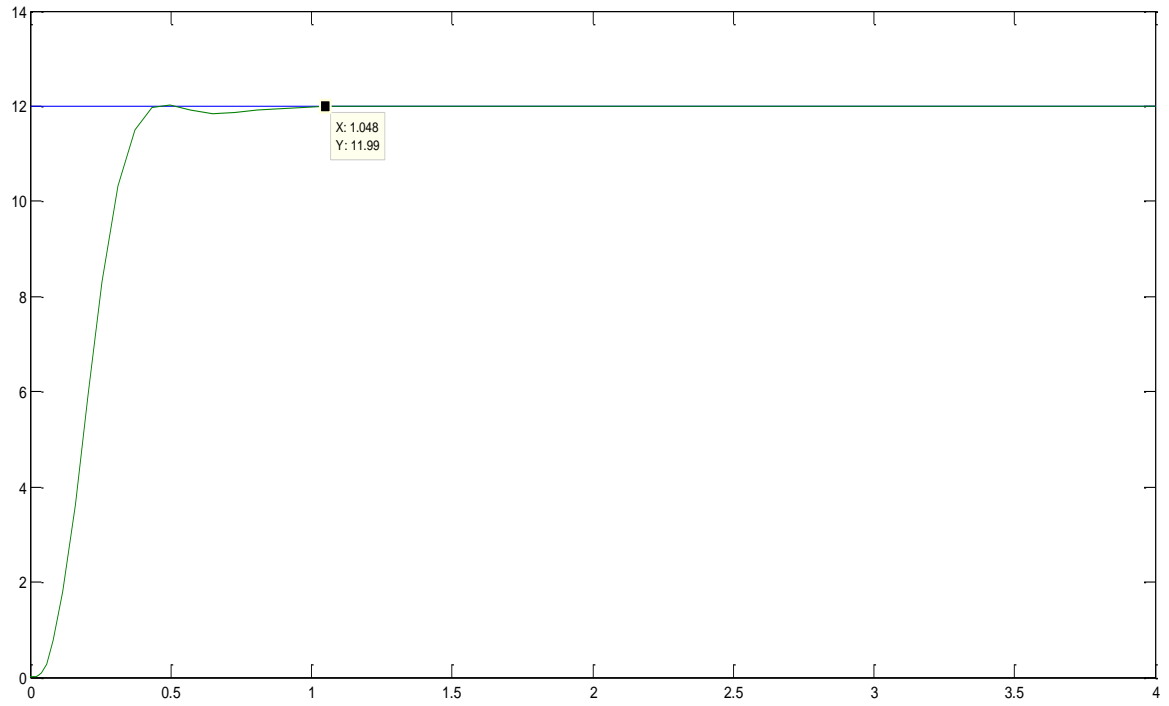
$$P(s)=\frac{69.69}{s^2+14.90s+69.69}$$

olarak belirlenmiştir.

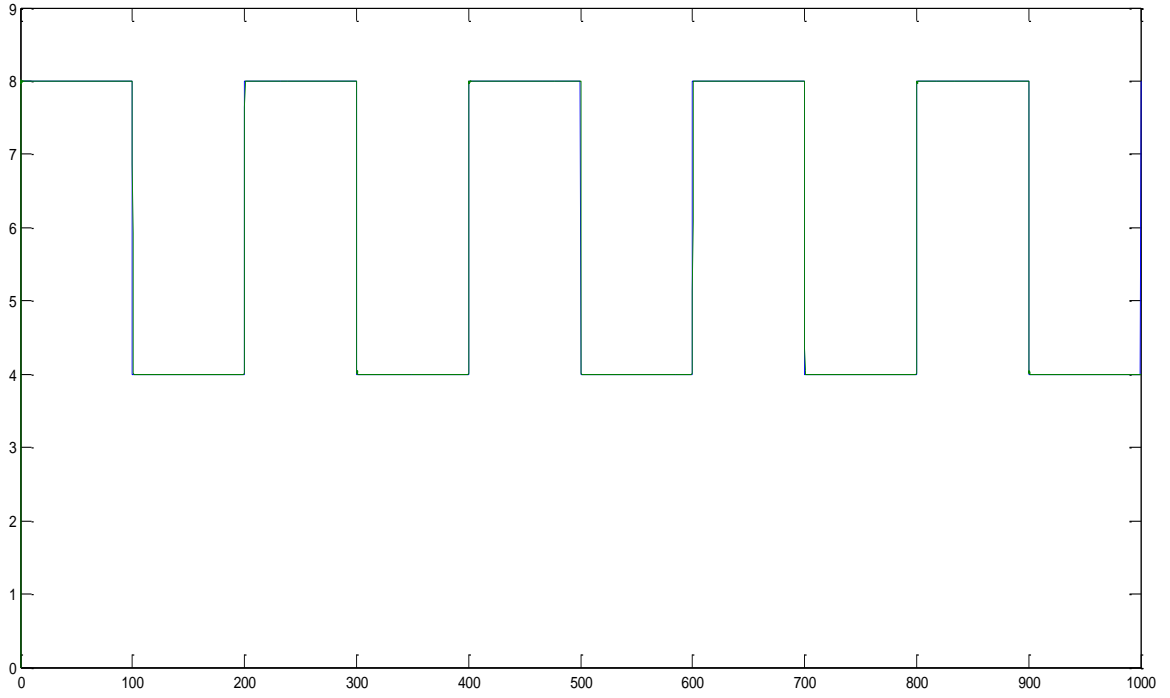
Belirlenenler çerçevesinde sistem SIMULINK üzerinde tasarlanarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



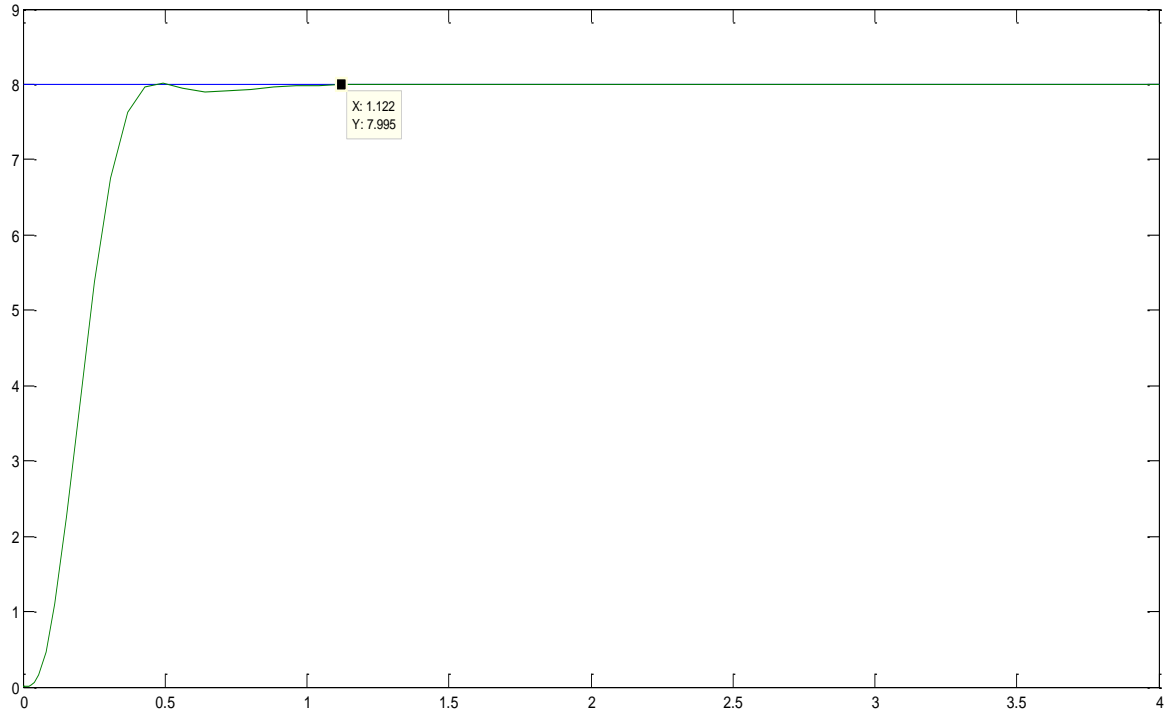
Şekil 5.1.31 0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



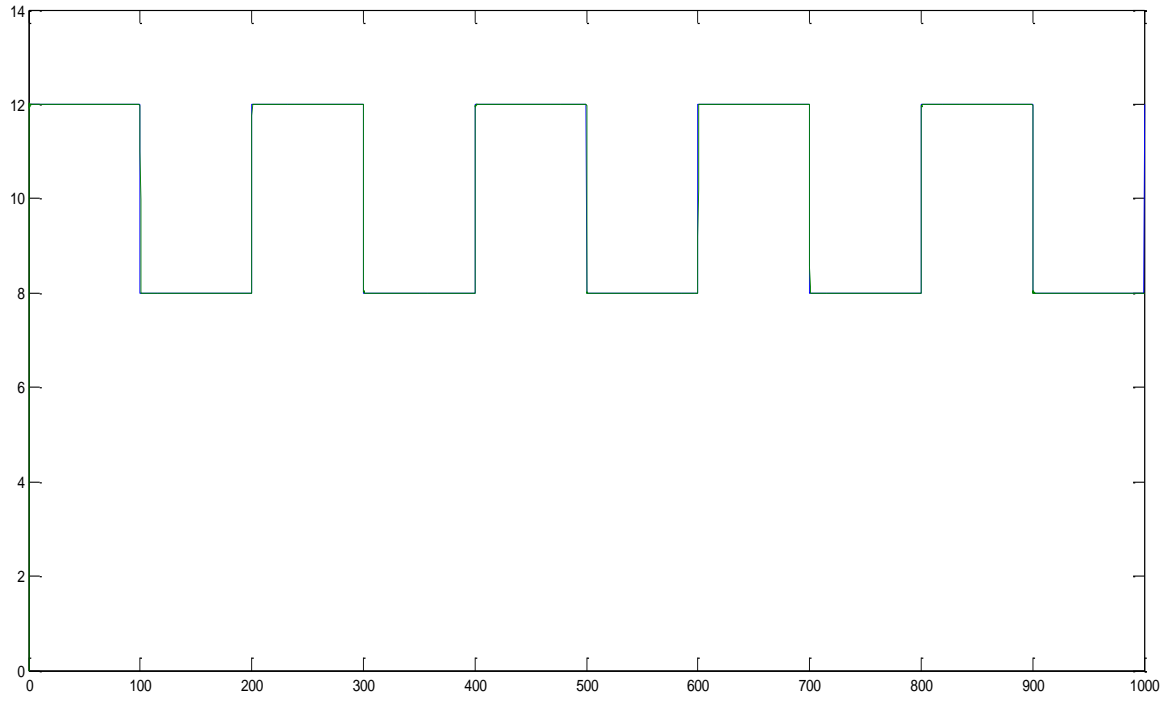
Şekil 5.1.32 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı ($T_s=1.04$ sn.)



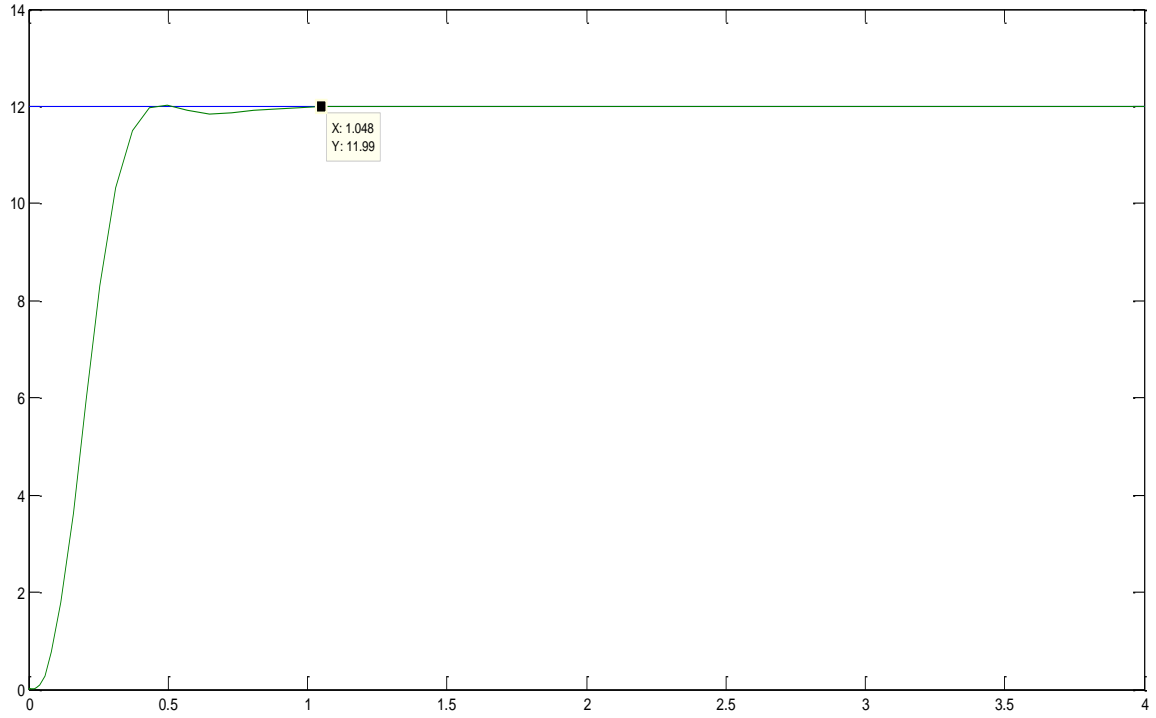
Şekil 5.1.33 4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



Şekil 5.1.34 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı ($T_s=1.12$ sn.)



Şekil 5.1.35 8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



Şekil 5.1.36 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı (Ts=1.05 sn.)

Çizelge 5.1.2 K=2 için Benzetim Sonuçları

K=2 için seçilen, a ve b değerleri	<i>a= 1 b=2.5</i>	<i>a= 3 b=2.5</i>	<i>a= 1 b=0.5</i>
h=0.1 için kestirilen A₀, A₁ ve B₀ değerleri	<i>A₀=2.11 A₁=3.06 B₀=1.69</i>	<i>A₀=5.76 A₁= 4.52 B₀=1.54</i>	<i>A₀=0.46 A₁=1.41 B₀=1.85</i>
Dayanıklı PID denetleç değerleri	<i>K_p= 266.95 K_i= 1248.52 K_d= 20.04</i>	<i>K_p= 799.28 K_i= 3740.25 K_d= 62.52</i>	<i>K_p= 52.02 K_i= 243.24 K_d= 3.49</i>
Yüzde aşım (%)	<i>0-12 cm= 0 4-8 cm= 0 8-12cm= 0</i>	<i>0-12 cm= 0 4-8 cm= 0 8-12cm= 0</i>	<i>0-12 cm= 0 4-8 cm= 0 8-12cm= 0</i>
Durulma Zamanı (T_s)	<i>0-12 cm= 1.07 sn. 4-8 cm= 1.15 sn. 8-12cm=1.07sn.</i>	<i>0-12 cm= 1.10 sn. 4-8 cm= 1.09 sn. 8-12cm= 1.10 sn.</i>	<i>0-12 cm= 1.04 sn. 4-8 cm= 1.12 sn. 8-12cm= 1.05 sn.</i>
Kalıcı Durum Hatası	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>

K=2 için ve bir önceki seçilen değerler üzerinden yapılan kestirim işlemleri ve kestirilen değerler üzerinden hesaplanan PID denetleç katsayıları aynı sistem üzerinde SIMULINK'te uygulanmış ve sistem çıkışları su seviyesi aralıklarında gözlemlenmiştir. K=1 için yapılan uygulama ile benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür. Kestirim sonucu alınan değerler üzerinden hesaplanan PID denetleç katsayıları farklı değerlere sahip olmasına rağmen elde edilen sistem örnekleri kıyaslandığında sistemin benzer davranış gösterdiği görülmüştür.

K=3, a=1 b=2.5 olarak belirlenmiştir. Bu çerçevede oluşturulan denklem sistemi,

$$G(s)=\frac{3}{(s+1)(s+2.5)}$$

olarak oluşturulmuştur. Denklem sistemi için MATLAB

üzerinden hesaplanan kestirim sonucu oluşturulan denklem sistemi

$$G(s)=\frac{2.53}{2.11s^2+3.06s+2.5}$$

olarak tanımlanmıştır. Denetleç,

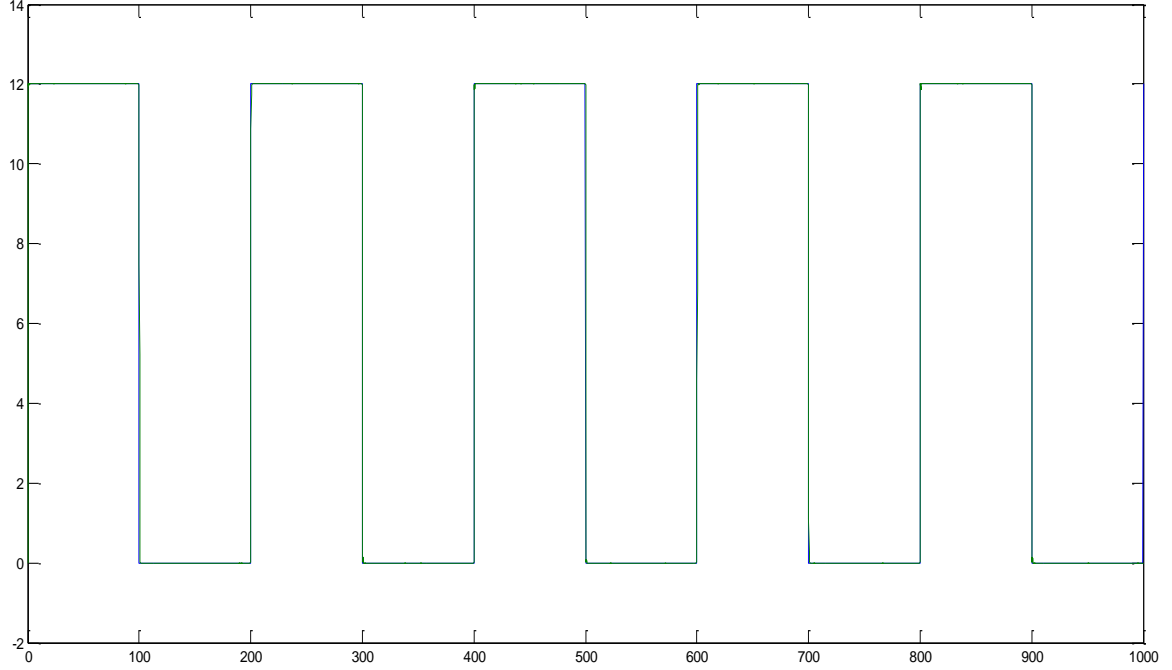
$$C(s)=\frac{13.45s^2+179.17s+837.94}{s}$$

olarak tanımlanırken, sistem için tasarım

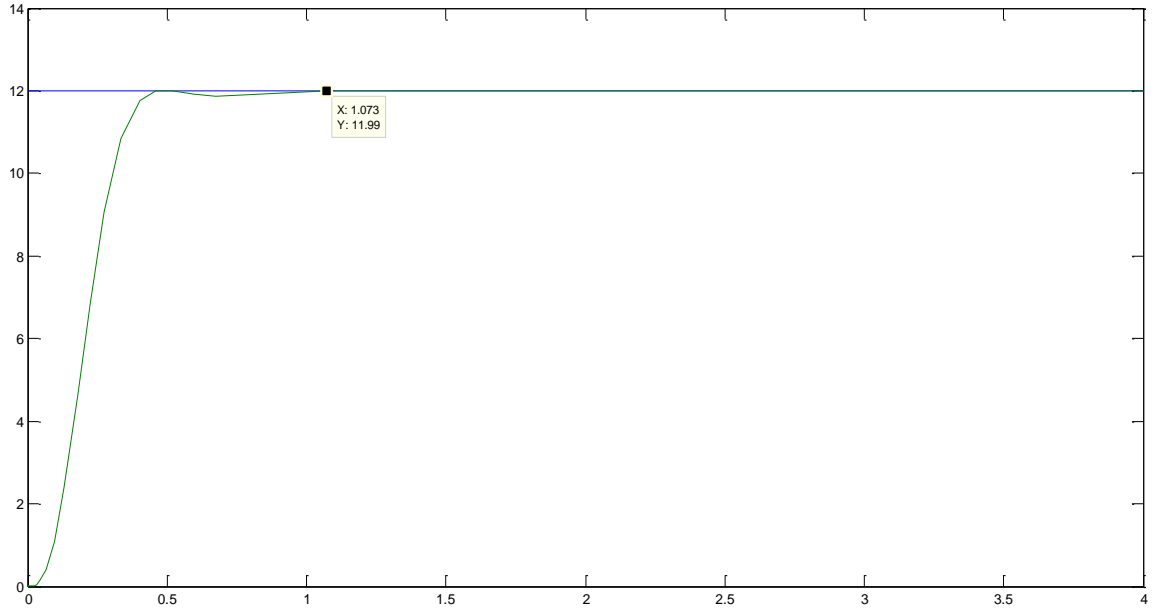
aşamalarında belirtildiği üzere aktarım işlevinin fazladan sıfırlara sahip olamaması için hesaplanan önsüzgeç;

$$P(s) = \frac{62.30}{s^2 + 13.32s + 62.30} \text{ olarak belirlenmiştir.}$$

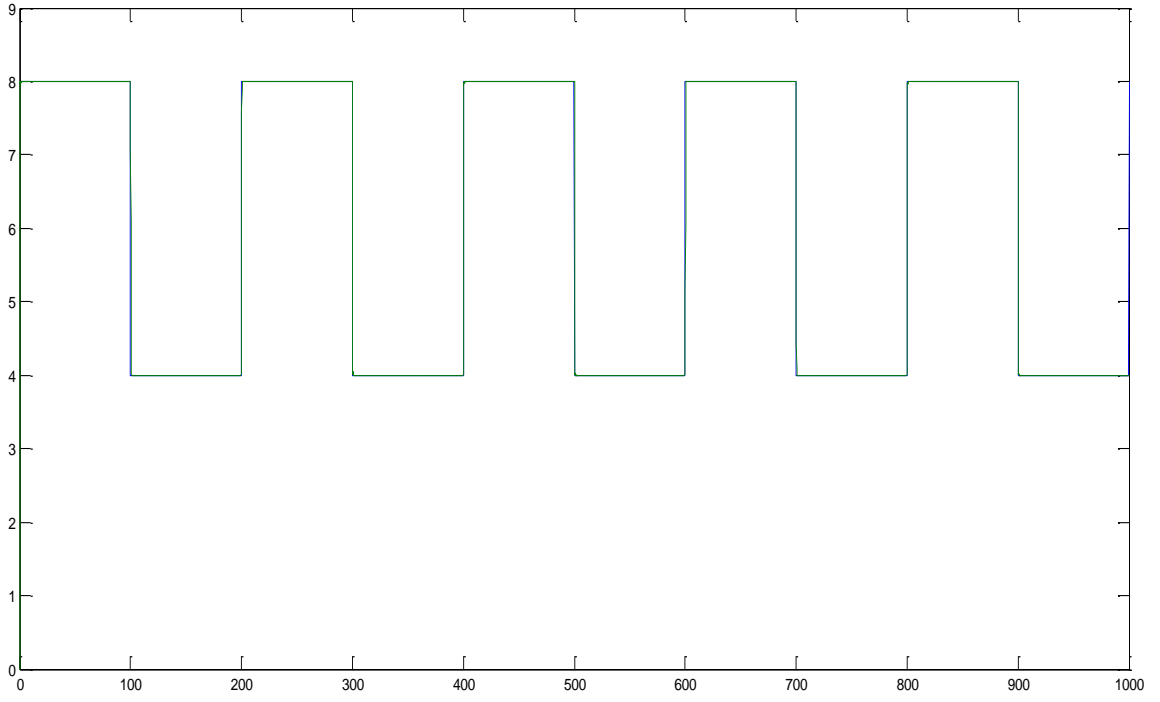
Belirlenenler çerçevesinde sistem SIMULINK üzerinde tasarılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



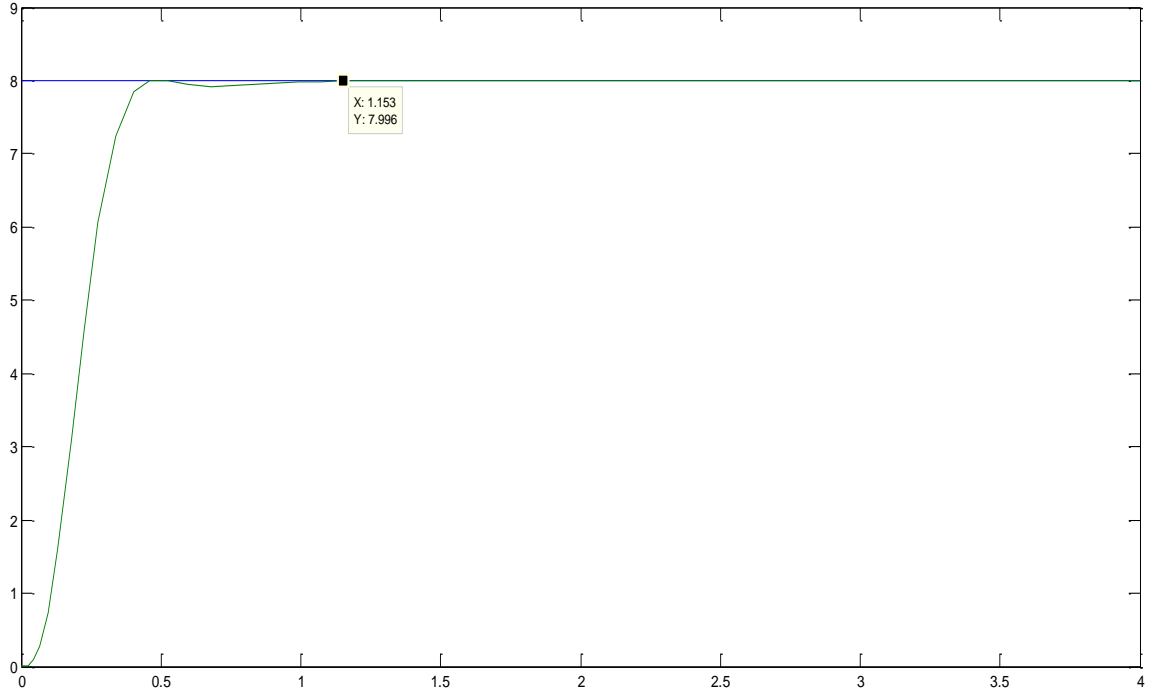
Şekil 5.1.37 0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



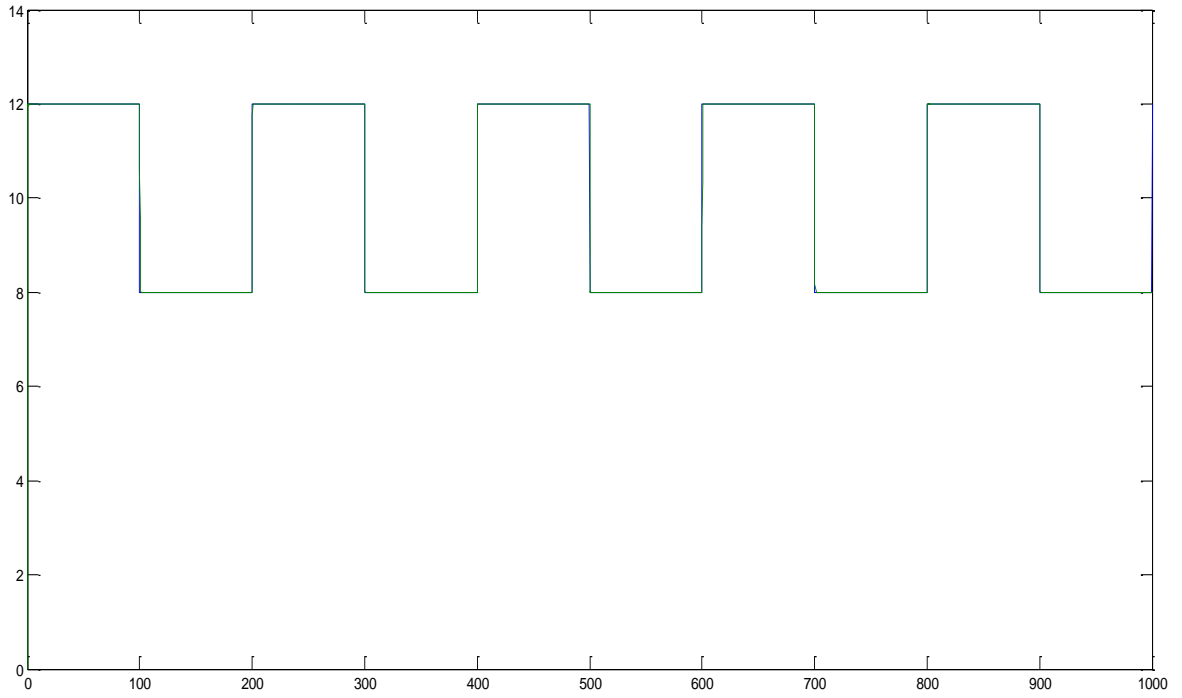
Şekil 5.1.38 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı (Ts=1.07 sn.)



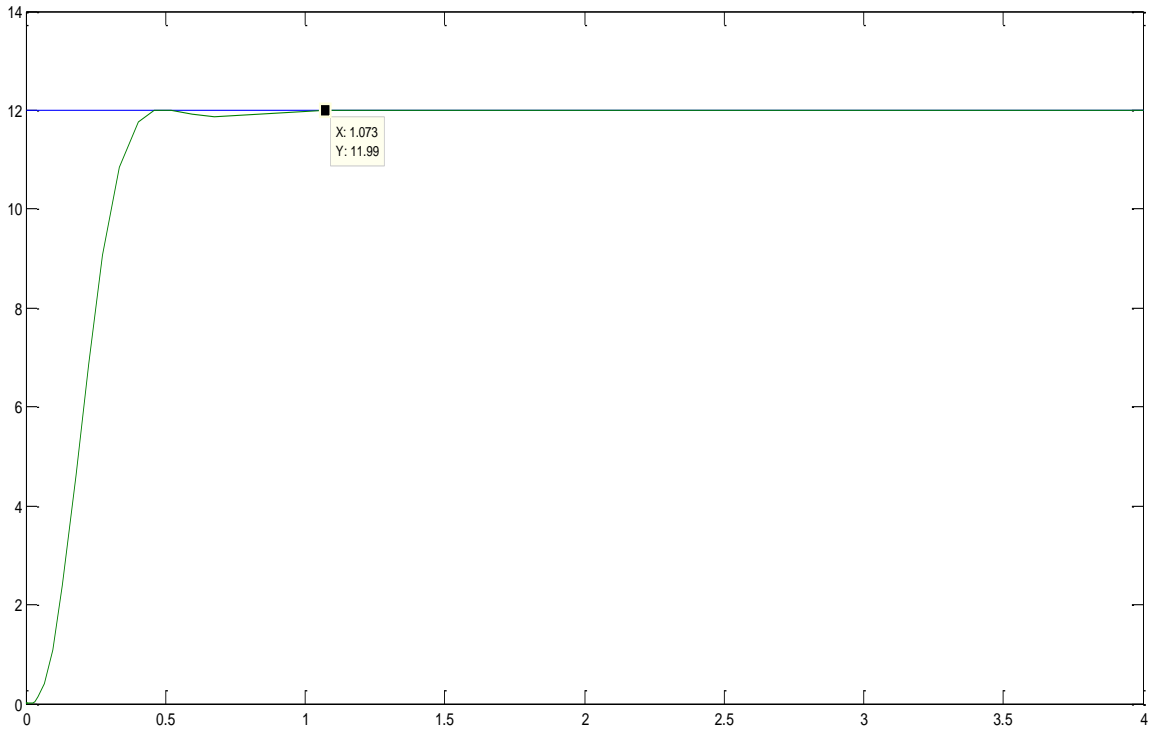
Şekil 5.1.39 4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



Şekil 5.1.40 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı ($T_s=1.15$ sn.)



Şekil 5.1.41 8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



Şekil 5.1.42 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı ($T_s=1.07$ sn.)

K=3 a=3 b=2.5 olarak belirlenmiştir. Bu çerçevede oluşturulan denklem sistemi,

$$G(s)=\frac{3}{(s+3)(s+2.5)}$$
 olarak oluşturulmuştur. Denklem sistemi için MATLAB

üzerinden hesaplanan kestirim sonucu oluşturulan denklem sistemi,

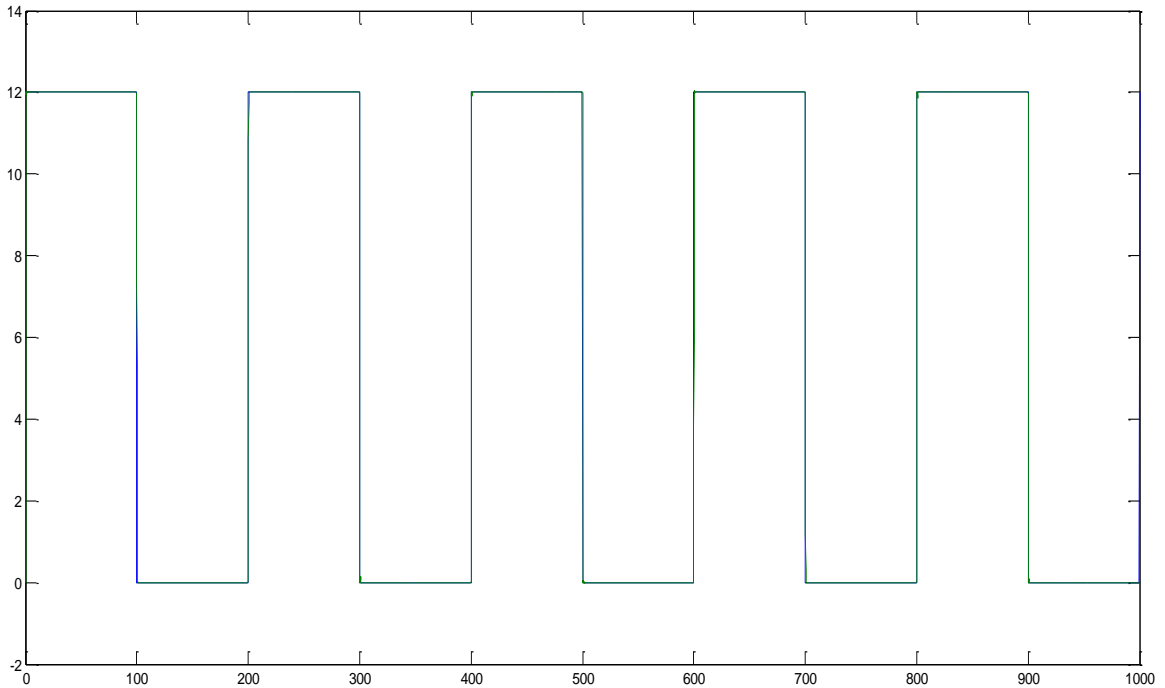
$$G(s)=\frac{2.32}{5.80 s^2+4.54 s+7.5}$$
 olarak tanımlanmıştır. Denetleç,

$$C(s)=\frac{41.79 s^2+534.26 s+2500}{s}$$
 olarak tanımlanırken, sistem için tasarım

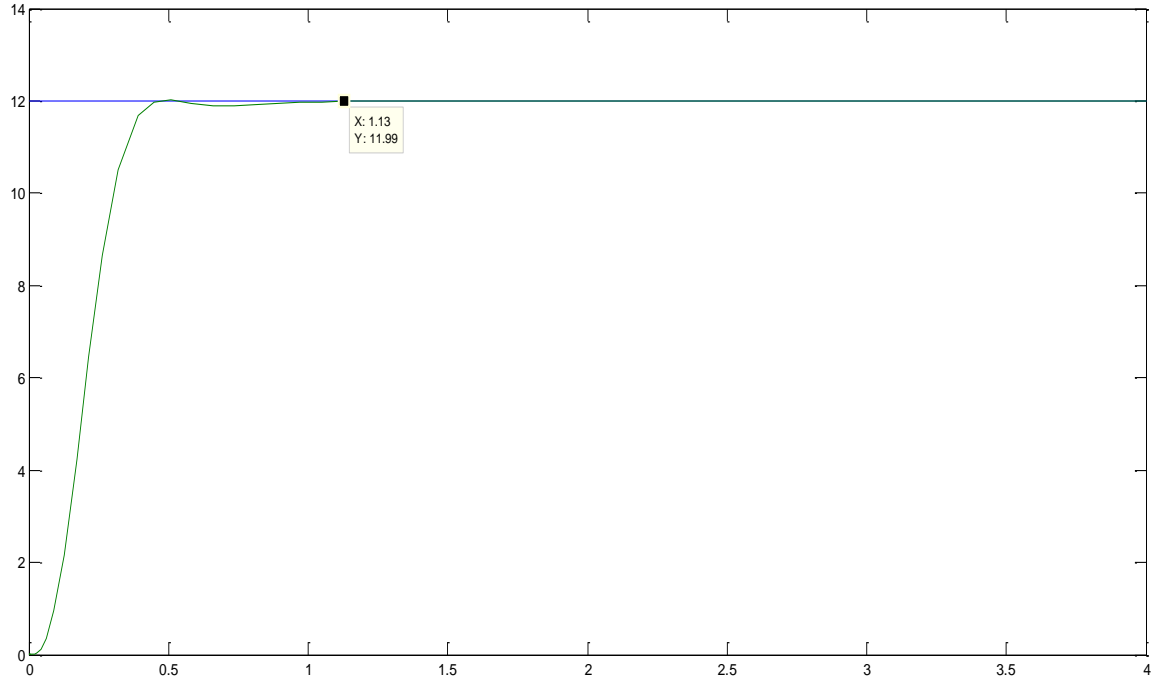
aşamalarında belirtildiği üzere aktarım işlevinin fazladan sıfırlara sahip olamaması için hesaplanan önsüzgeç;

$$P(s)=\frac{59.82}{s^2+12.78 s+59.82}$$
 olarak belirlenmiştir.

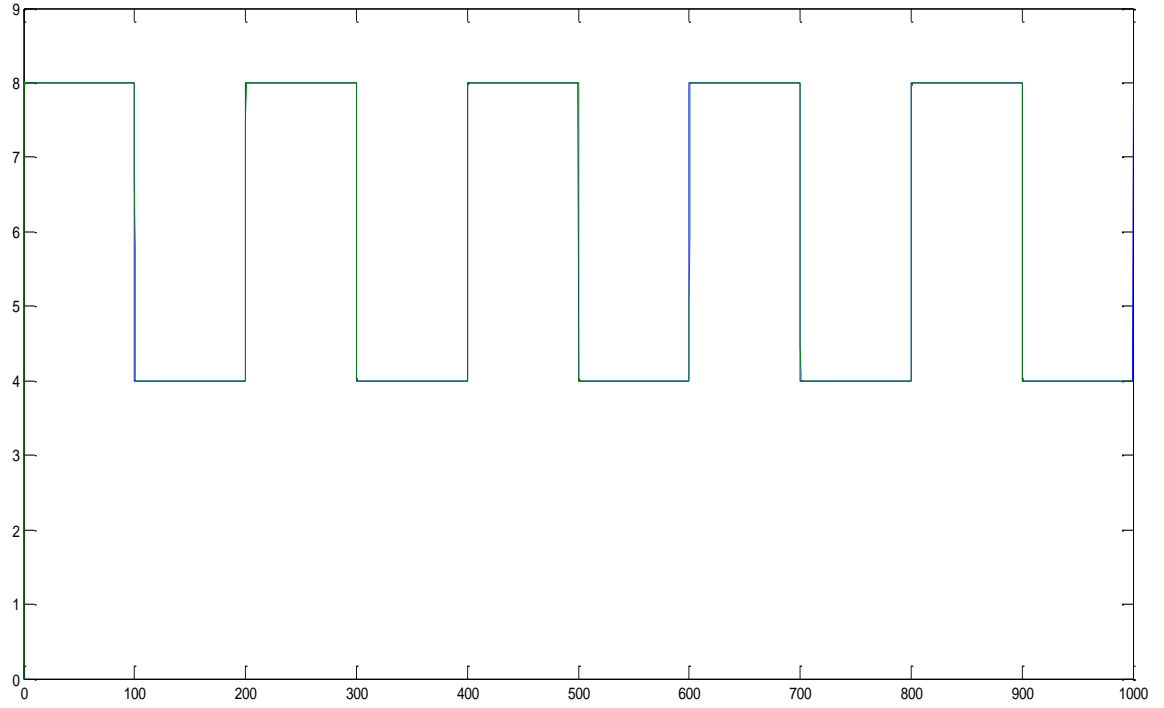
Belirlenenler çerçevesinde sistem SIMULINK üzerinde tasarlanarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



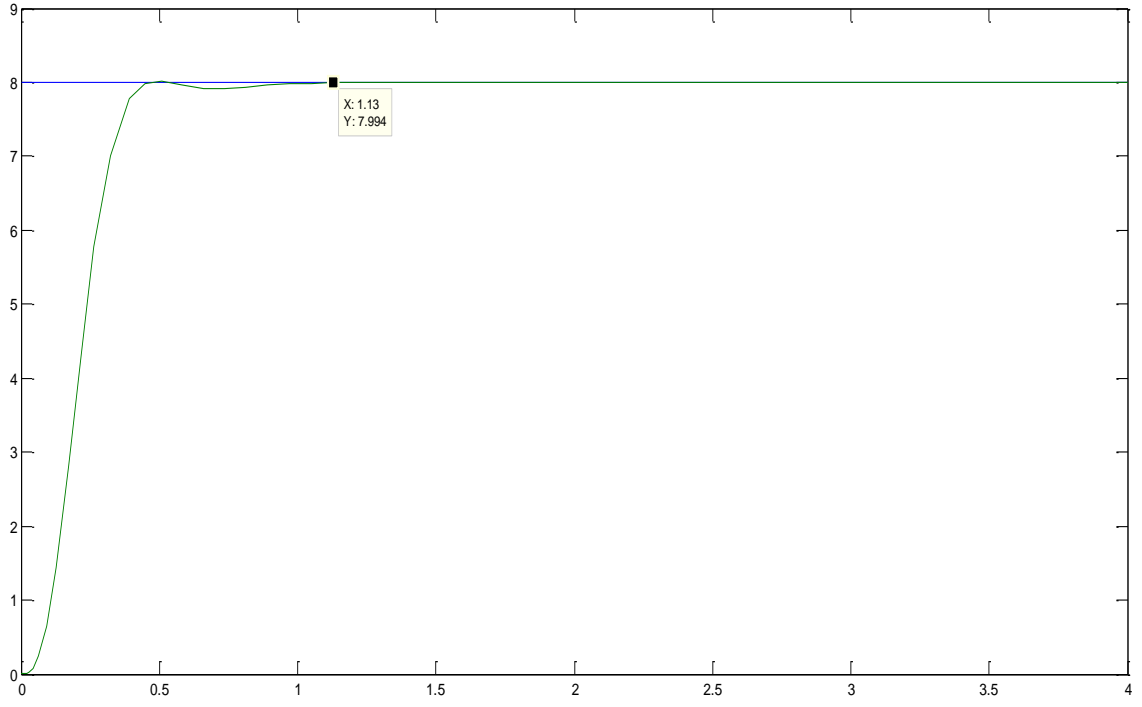
Şekil 5.1.43 8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



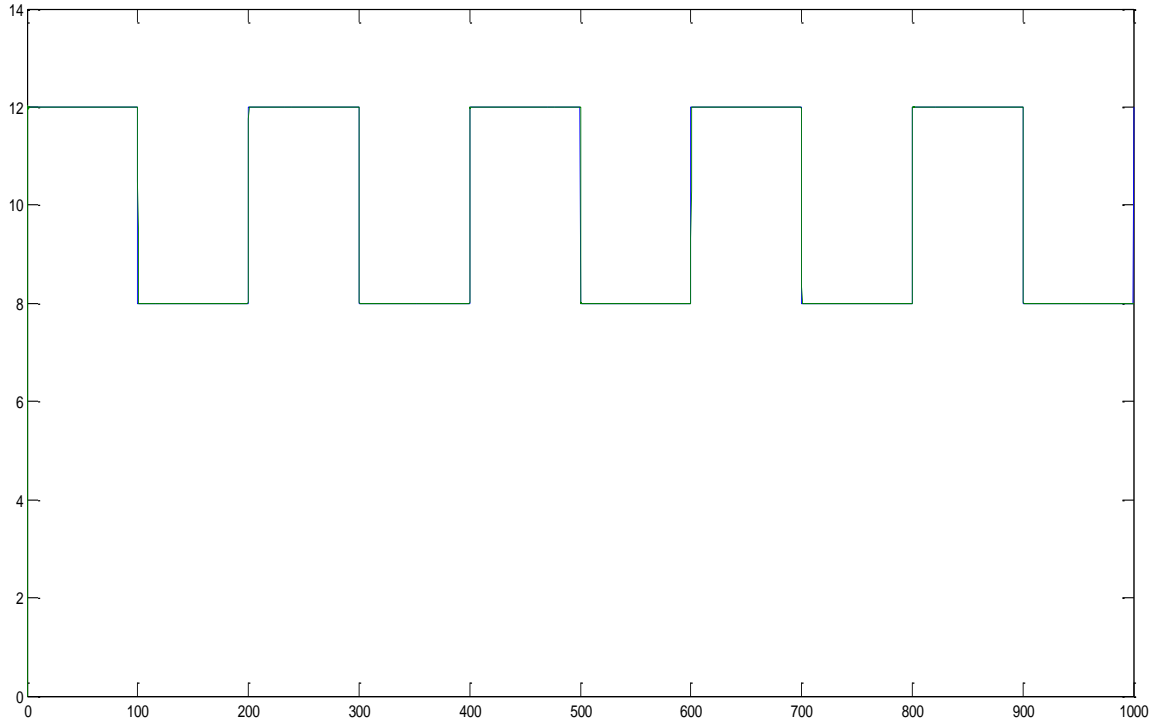
Şekil 5.1.44 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı (Ts=1.13 sn.)



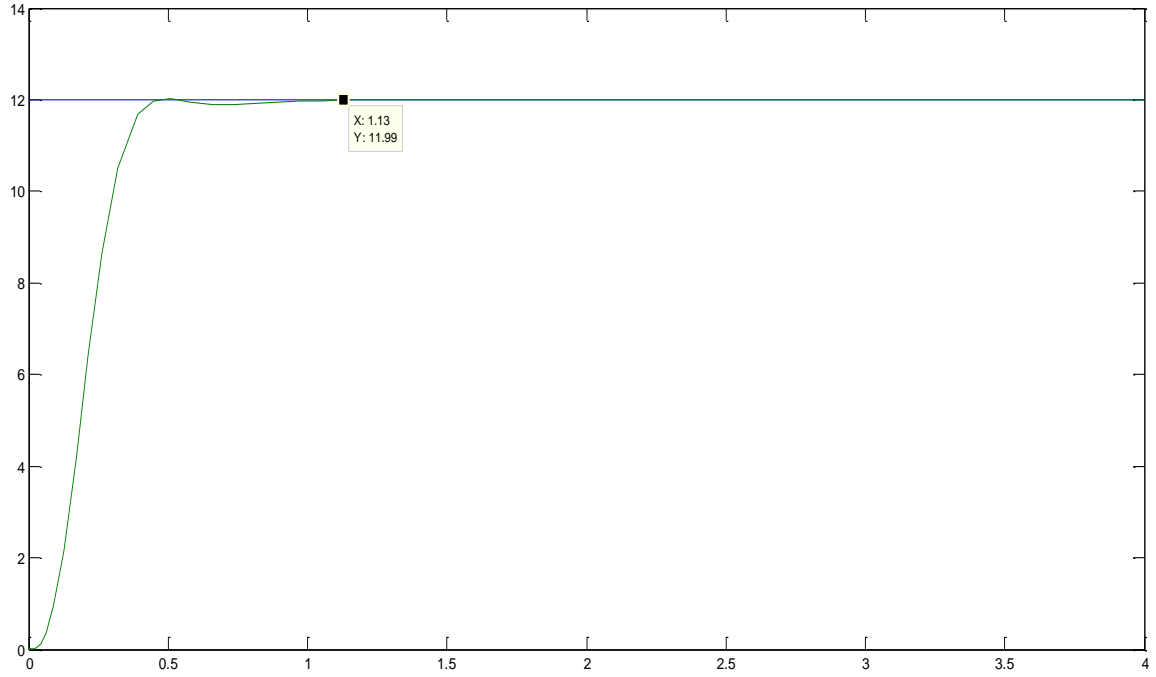
Şekil 5.1.45 4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



Şekil 5.1.46 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı ($T_s=1.13$ sn.)



Şekil 5.1.47 8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



Şekil 5.1.48 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı (Ts=1.13 sn.)

K=3 a=1 b=0.5 olarak belirlenmiştir. Bu çerçevede oluşturulan denklem sistemi,

$$G(s) = \frac{3}{(s+1)(s+0.5)}$$

olarak oluşturulmuştur. Denklem sistemi için MATLAB

üzerinden hesaplanan kestirim sonucu oluşturulan denklem sistemi,

$$G(s) = \frac{2.65}{0.44 s^2 + 2.23 s + 0.5}$$

olarak tanımlanmıştır. Denetleç,

$$C(s) = \frac{2.06 s^2 + 35.51 s + 166.04}{s}$$

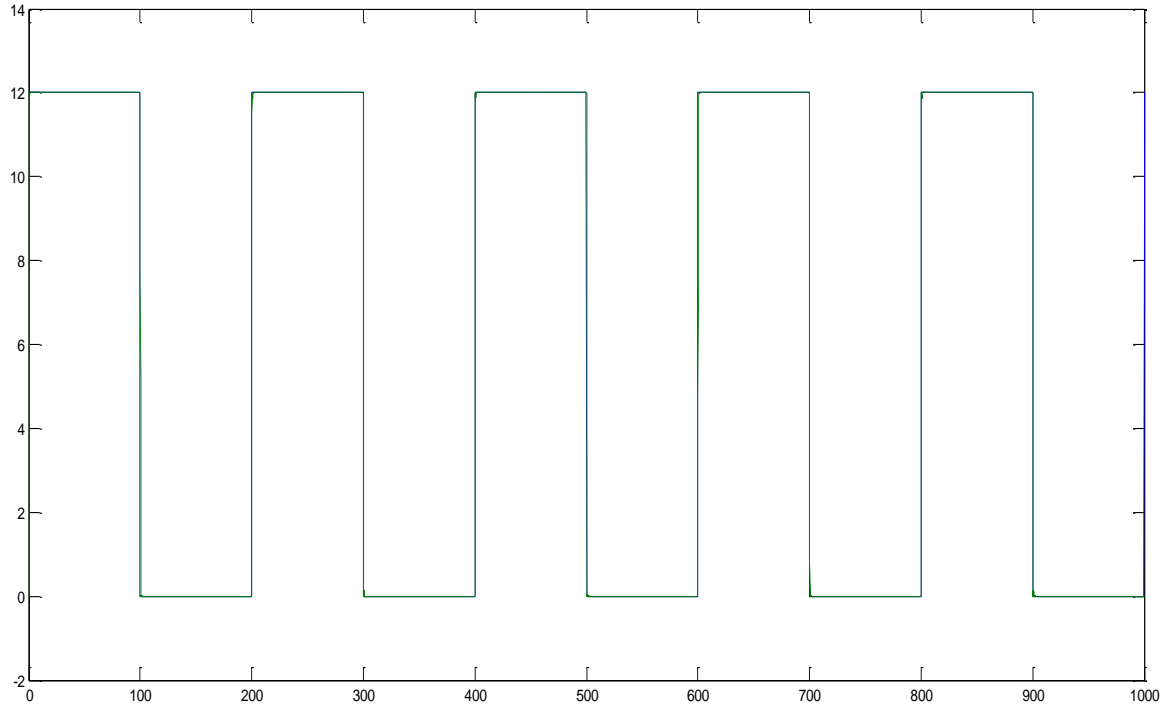
olarak tanımlanırken, sistem için tasarım

aşamalarında belirtildiği üzere aktarım işlevinin fazladan sıfırlara sahip olamaması için hesaplanan önsüzgeç;

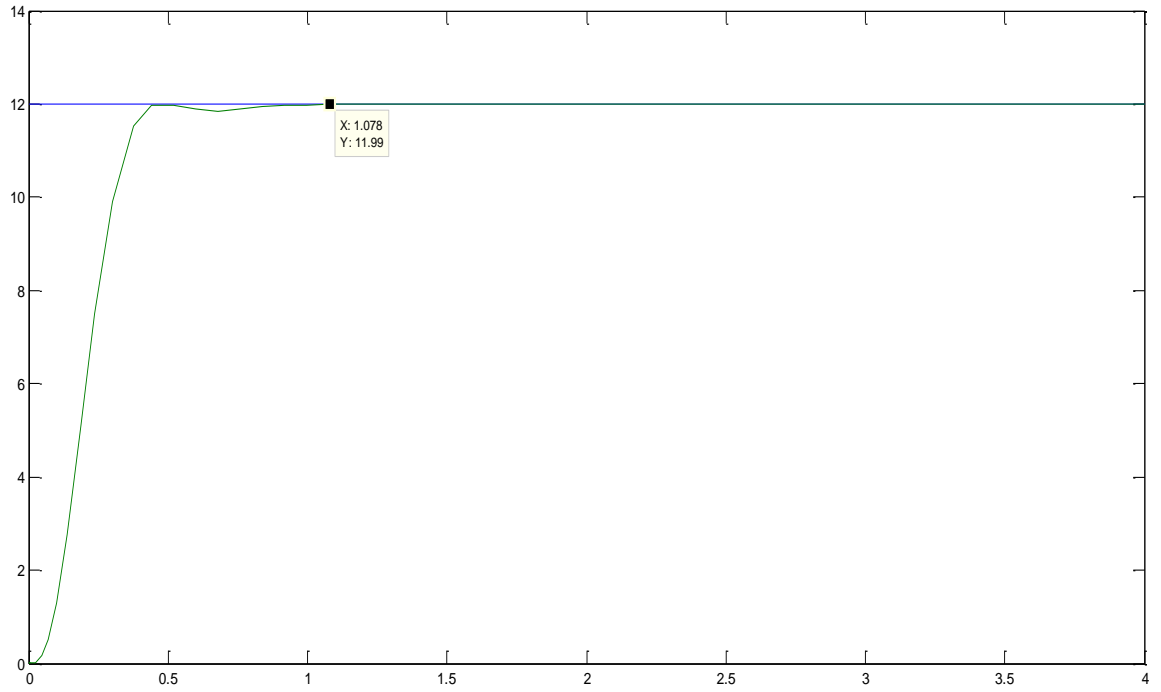
$$P(s) = \frac{80.60}{s^2 + 17.23 s + 80.60}$$

olarak belirlenmiştir.

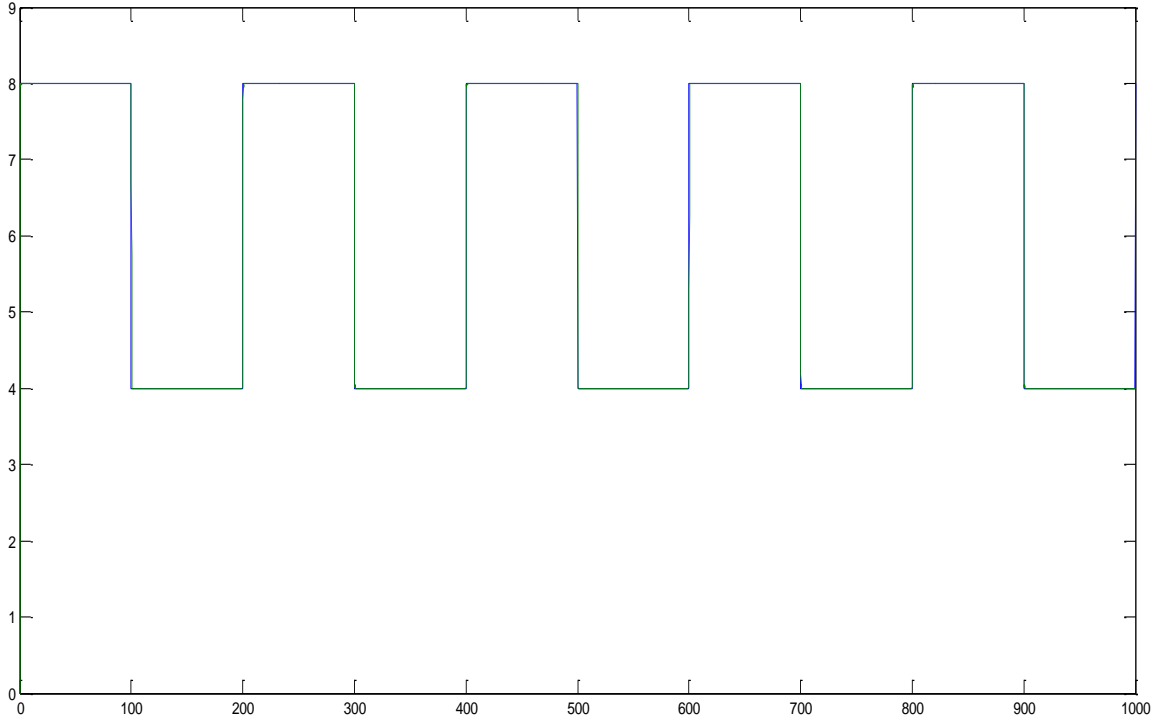
Belirlenenler çerçevesinde sistem SIMULINK üzerinde tasarlanarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



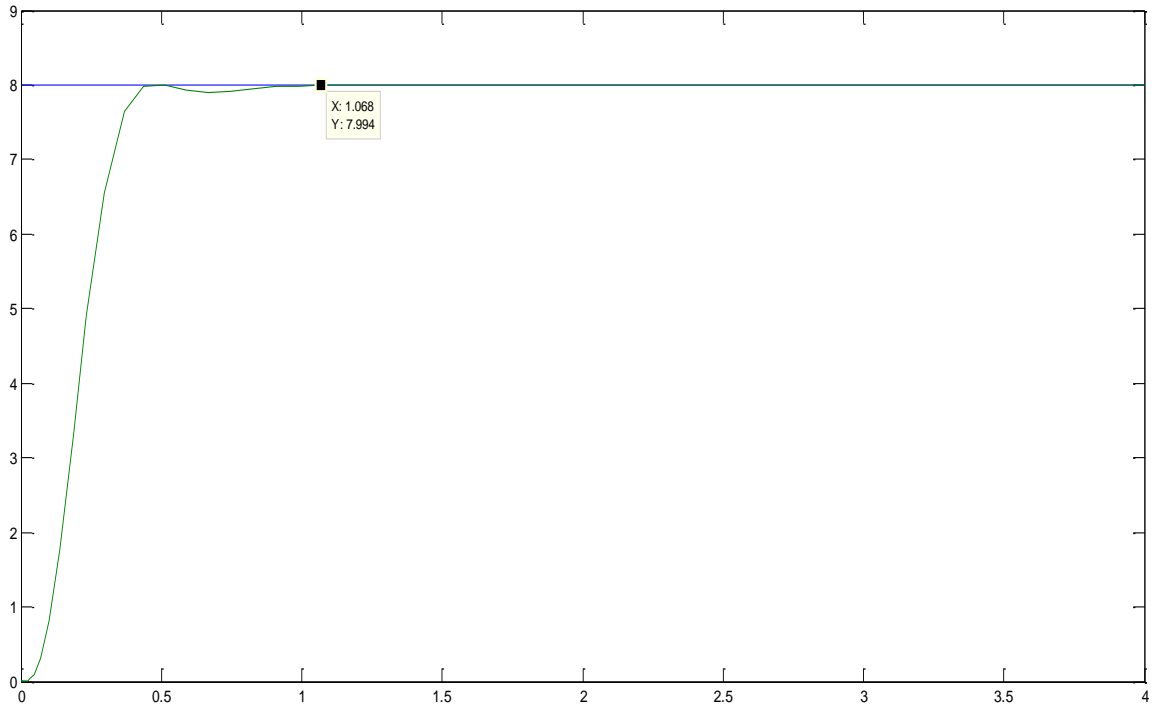
Şekil 5.1.49 0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



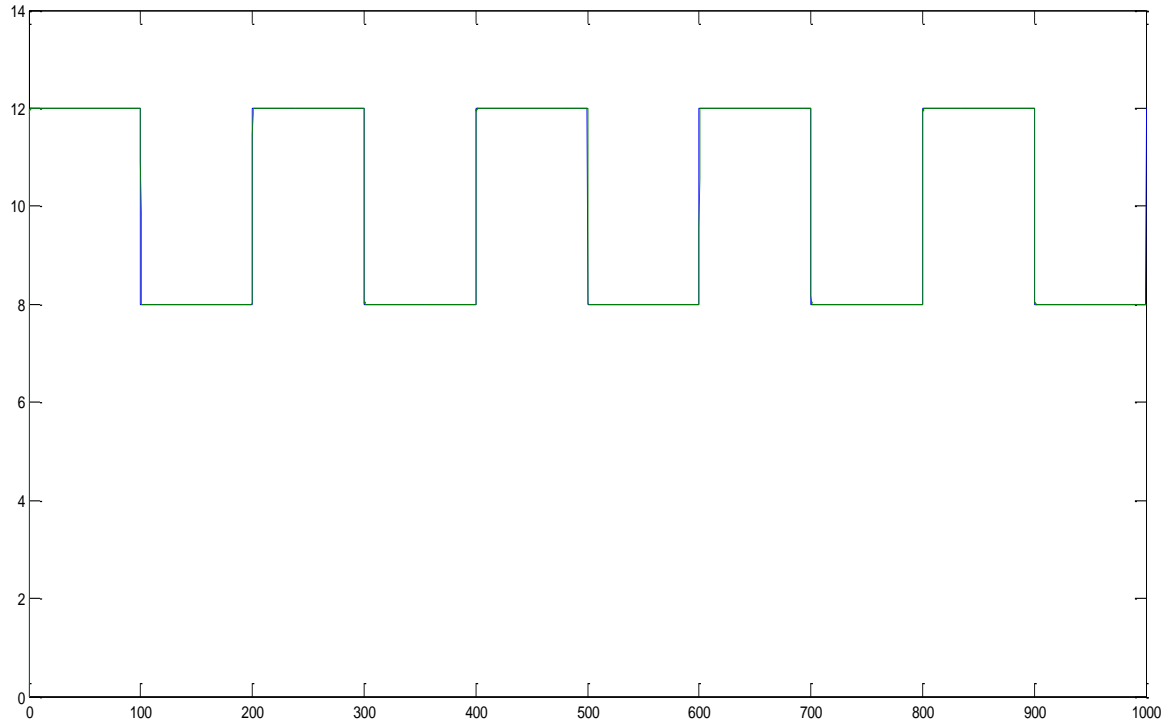
Şekil 5.1.50 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı ($T_s=1.08$ sn.)



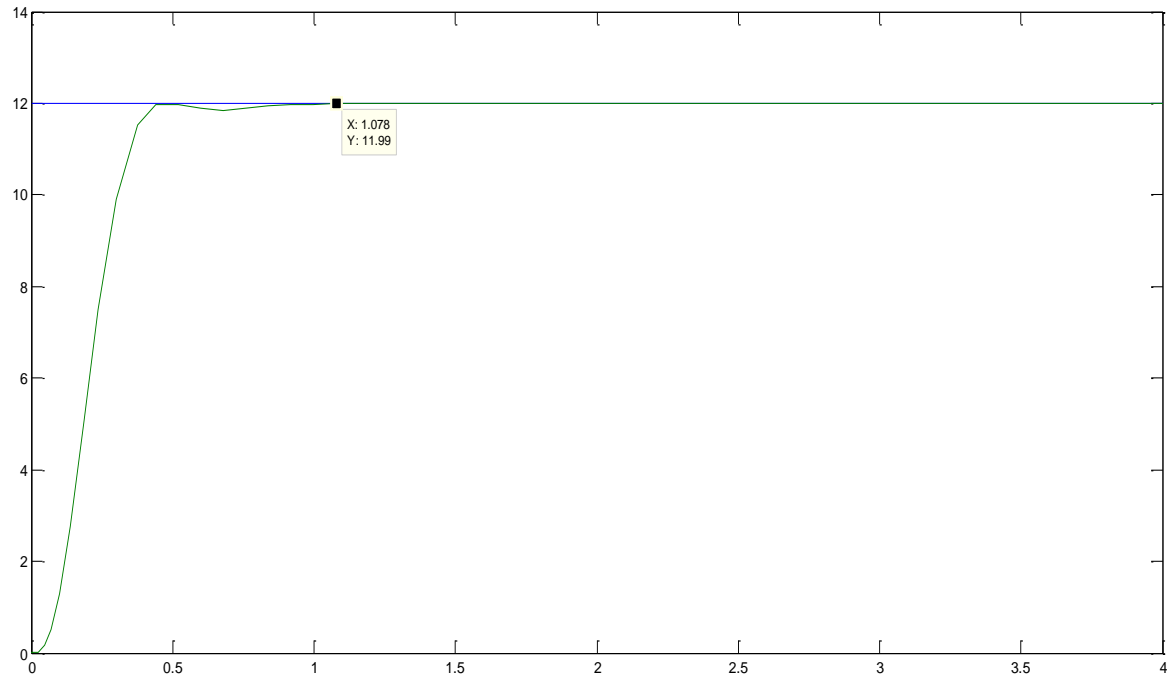
Şekil 5.1.51 4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



Şekil 5.1.52 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı ($T_s=1.07$ sn.)



Şekil 5.1.53 8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



Şekil 5.1.54 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı ($T_s=1.08$ sn.)

Çizelge 5.1.3 K=3 için Benzetim Sonuçları

K=3 için seçilen, a ve b değerleri	<i>a= 1 b=2.5</i>	<i>a= 3 b=2.5</i>	<i>a= 1 b=0.5</i>
h=0.1 için kestirilen A₀, A₁ ve B₀ değerleri	<i>A₀=2.12 A₁=3.06 B₀=2.53</i>	<i>A₀=5.80 A₁= 4.54 B₀=2.32</i>	<i>A₀=0.44 A₁=2.23 B₀=2.65</i>
Dayanıklı PID denetleç değerleri	<i>K_p= 179.17 K_i= 837.94 K_d= 13.45</i>	<i>K_p= 534.26 K_i= 2500 K_d= 41.79</i>	<i>K_p= 35.51 K_i= 166.04 K_d= 2.06</i>
Yüzde aşım (%)	<i>0-12 cm= 0 4-8 cm= 0 8-12cm= 0</i>	<i>0-12 cm= 0 4-8 cm= 0 8-12cm= 0</i>	<i>0-12 cm= 0 4-8 cm= 0 8-12cm= 0</i>
Durulma Zamanı (T_s)	<i>0-12 cm= 1.16 sn. 4-8 cm= 1.17 sn. 8-12cm=1.25 sn.</i>	<i>0-12 cm= 1.36 sn. 4-8 cm= 1.18 sn. 8-12cm= 1.22 sn.</i>	<i>0-12 cm= 1.25 sn. 4-8 cm= 1.05 sn. 8-12cm= 1.14 sn.</i>
Kalıcı Durum Hatası	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>

K=3 için ve seçilen a ve b değerleri için SZÖEKK yöntemi ile elde edilen kestirim değerleri sonrasında PID denetleç değerleri hesaplanmıştır. Bu değerlerin sistem üzerinde uygulanmasıyla, K=1 ve K=2 değerleri için elde edilen Sistem çıkışlarının benzer davranışlara sahip olduğu görülmüştür. Su seviyelerindeki değişim için sisteme verilen kare dalga sistem üzerinden tasarım ölçütleri çizelgede belirtilmiş değerler ile sağlanmıştır.

İki gözlü Sistemde yapılan dayanıklı PID uygulamasının genel olarak SIMULINK üzerinden alınan çıktılar bir bütün olarak incelendiğinde, sistemin belirlenen tasarım ölçütlerini sağladığını hızlı bir şekilde karalı hale geçerek sisteme verilen kare dalga ile örtüşerek sistemin su seviye değişimini sağladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca her üç K değeri ve seçilen a, b, c değerleri için kalıcı durum hatası gözlemlenmemiştir.

5.2 Üç Bölmeli Su tankı Benzetim Sonuçları

$K=1$ $a=1$ $b=1.5$ $c=0.3$ olarak belirlenmiştir. Bu çerçevede oluşturulan denklem sistemi,

$$G(s)=\frac{1}{(s+1)(s+1.5)(s+0.3)} \quad \text{olarak oluşturulmuştur. Denklem sistemi için MATLAB}$$

üzerinden hesaplanan kestirim sonucu oluşturulan denklem sistemi,

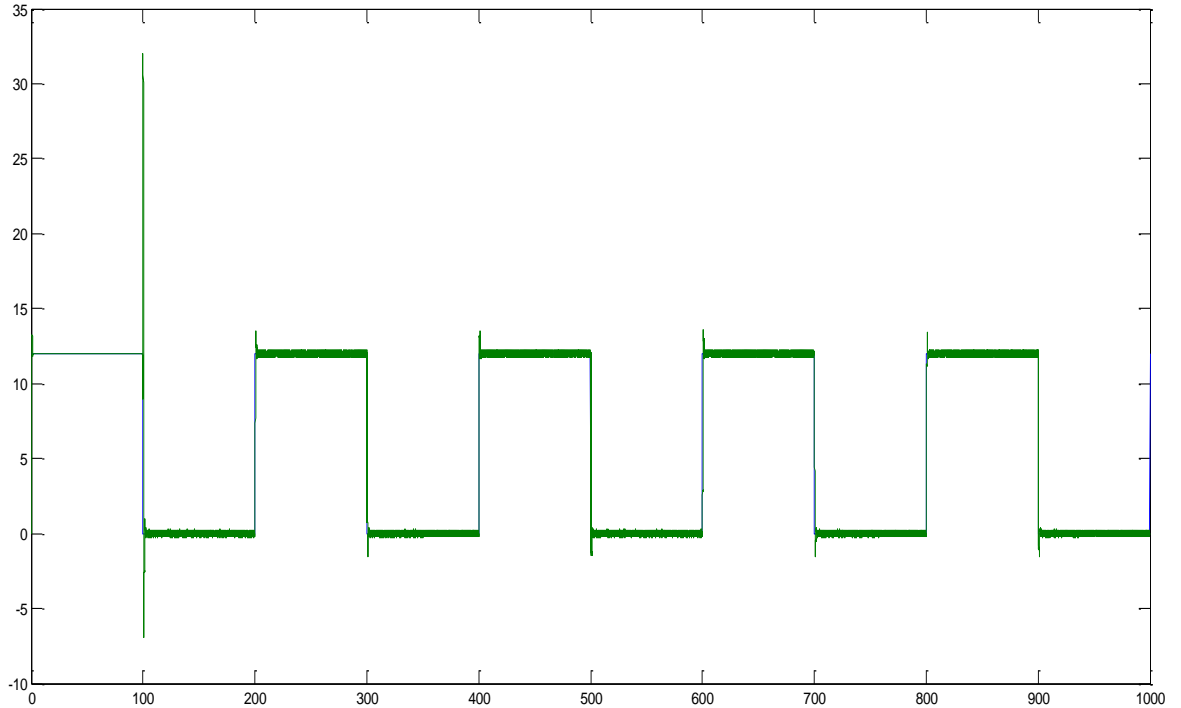
$$G(s)=\frac{2.22}{2.54 s^3+ 6.45 s^2+5.05 s+0.45} \quad \text{olarak tanımlanmıştır. Denetleç,$$

$$C(s)=\frac{386.73 s^2+3088.98 s+11441.44}{s} \quad \text{olarak tanımlanırken, sistem için tasarım}$$

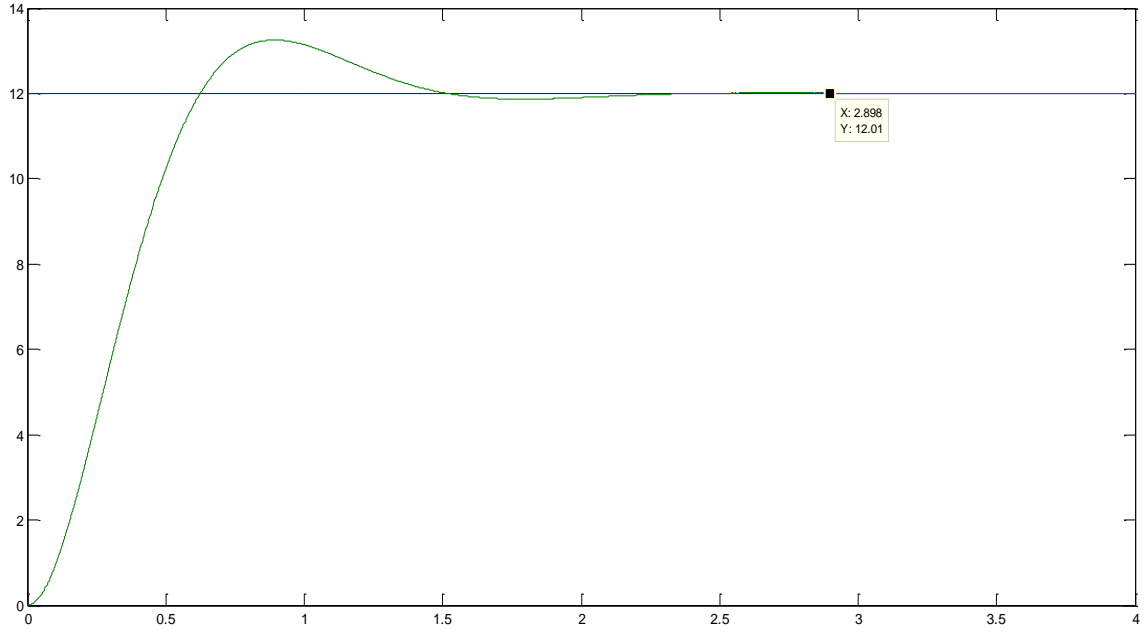
aşamalarında belirtildiği üzere aktarım işlevinin fazladan sıfırlara sahip olamaması için hesaplanan önsüzgeç;

$$P(s)=\frac{29.59}{s^2+7.98 s+29.59} \quad \text{olarak belirlenmiştir.}$$

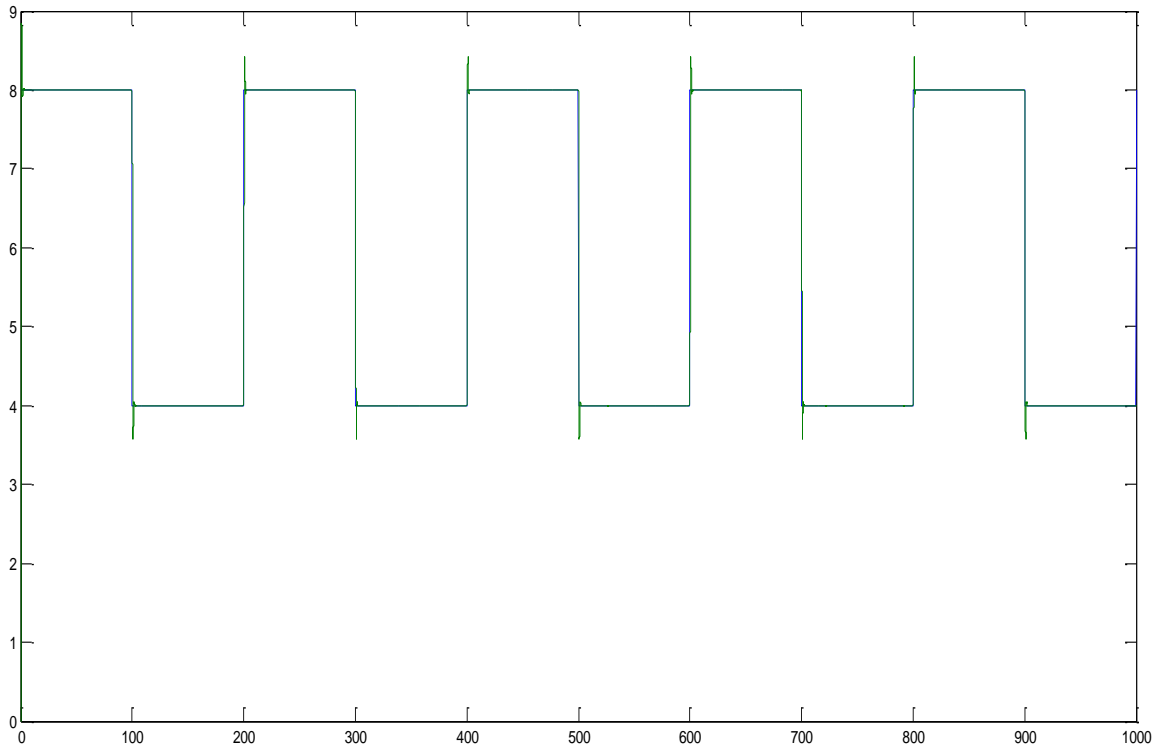
Belirlenenler çerçevesinde sistem SIMULINK üzerinde tasarlanarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



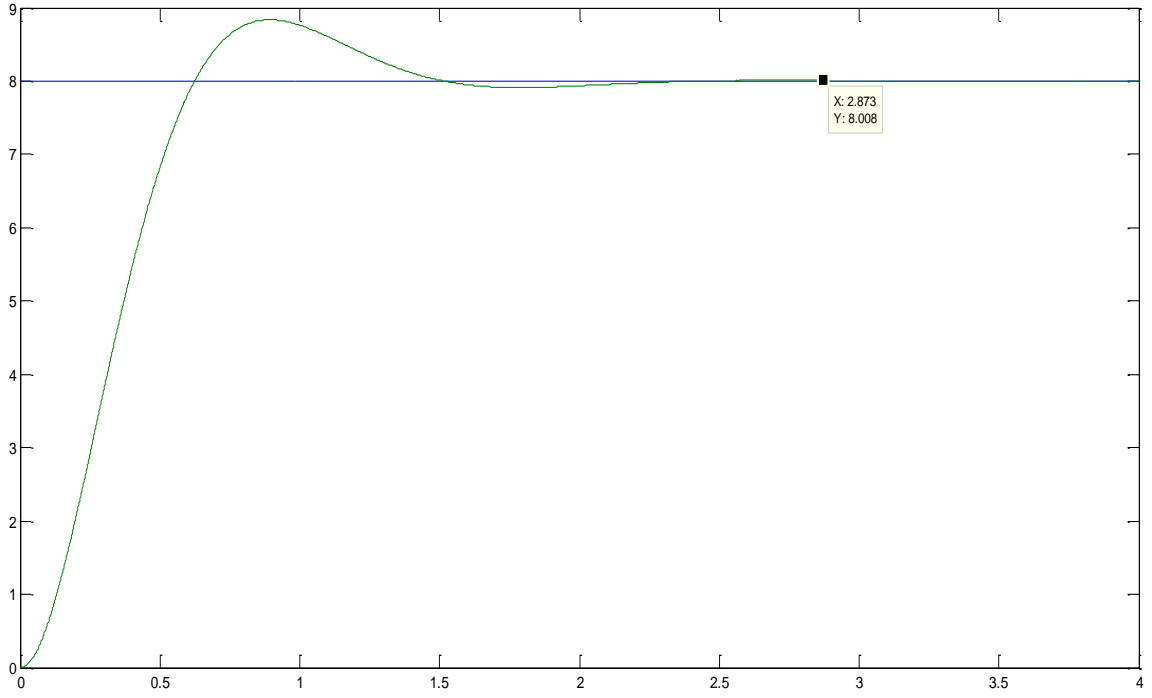
Şekil 5.2.1 0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



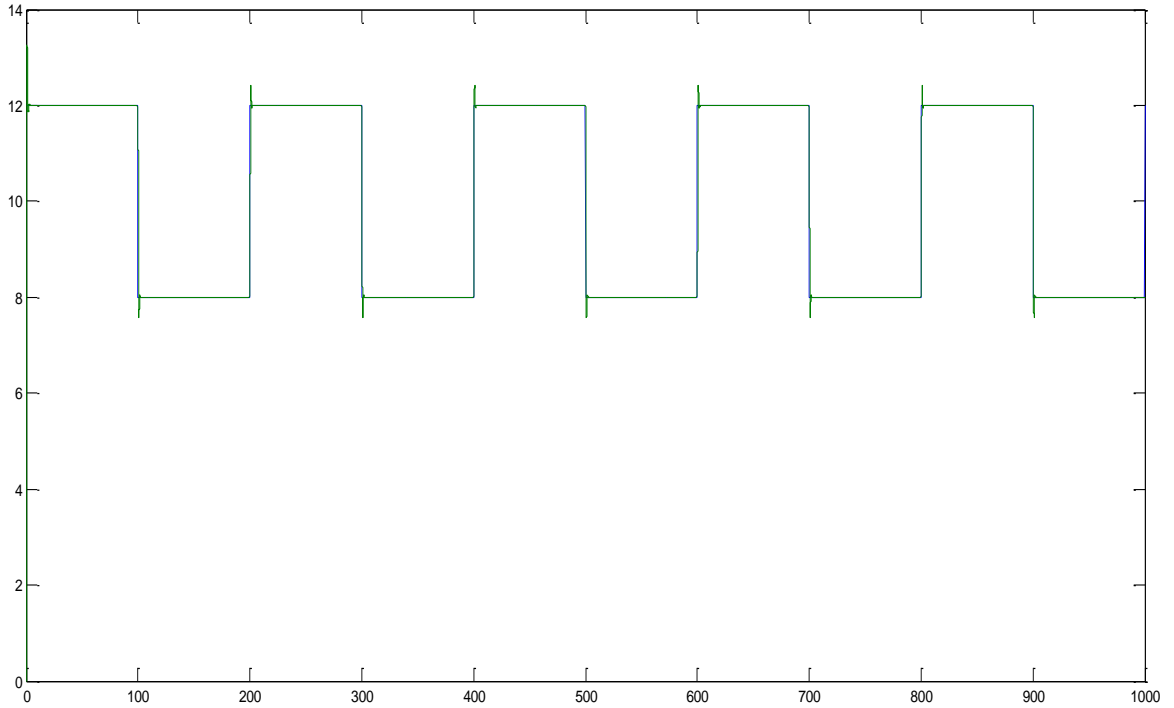
Şekil 5.2.2 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı (Ts=2.89 sn.)



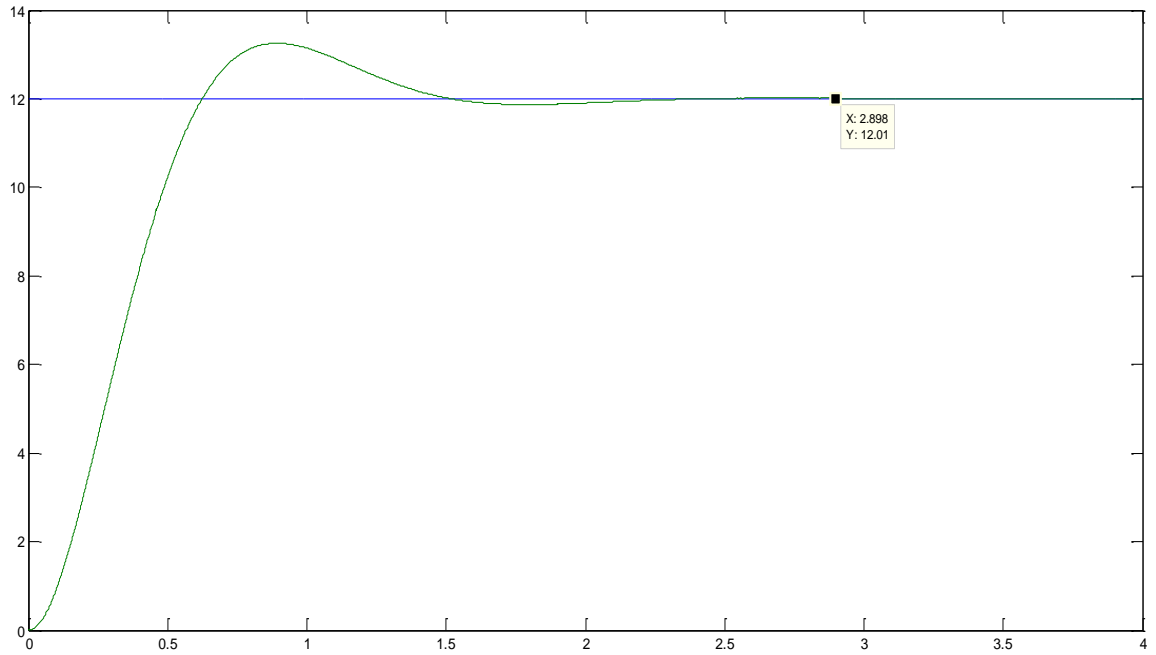
Şekil 5.2.3 4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



Şekil 5.2.4 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı
($T_s=2.87$ sn.)



Şekil 5.2.5 8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte
Gösterimi



Şekil 5.2.6 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı (Ts=2.89 sn.)

K=1 a=2.5 b=2 c=0.2 olarak belirlenmiştir. Bu çerçevede oluşturulan denklem sistemi,

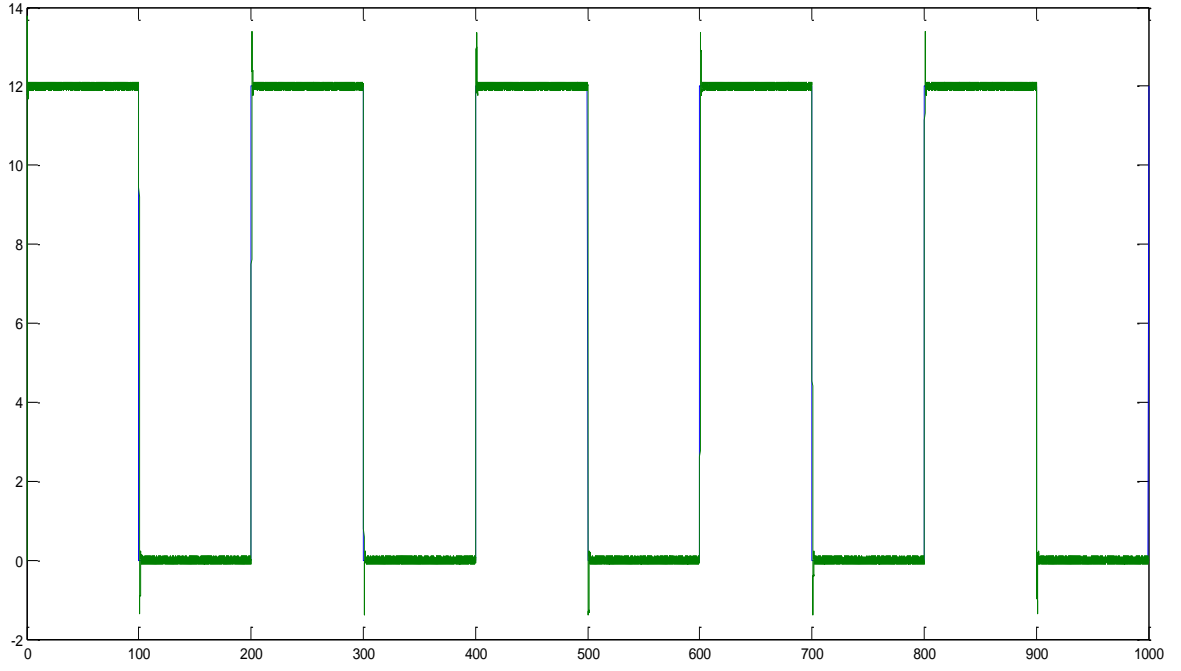
$G(s)=\frac{1}{(s+2.5)(s+2)(s+0.2)}$ olarak oluşturulmuştur. Denklem sistemi için MATLAB üzerinden hesaplanan kestirim sonucu oluşturulan denklem sistemi,

$G(s)=\frac{1}{1.24 s^3 + 4.98 s^2 + 5.95 s + 1}$ olarak tanımlanmıştır. Denetleç,

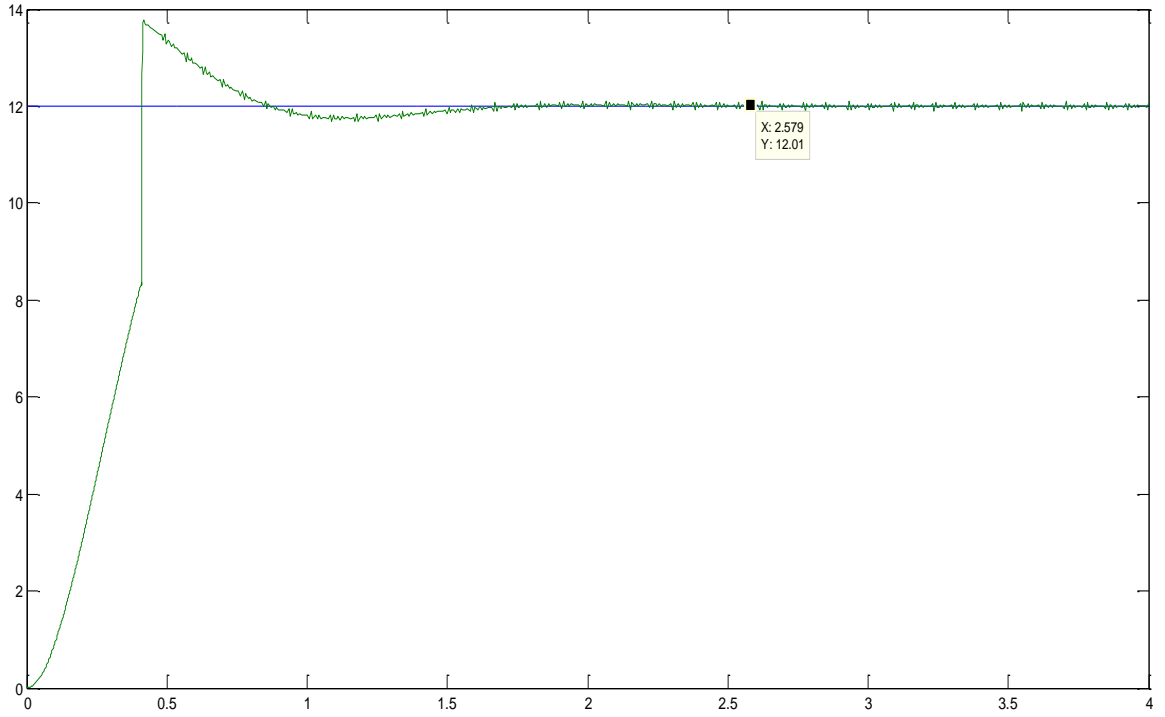
$C(s)=\frac{415.65 s^2 + 3347s + 12400}{s}$ olarak tanımlanırken, sistem için tasarım aşamalarında belirtildiği üzere aktarım işlevinin fazladan sıfırlara sahip olamaması için hesaplanan önsüzgeç;

$P(s)=\frac{29.83}{s^2 + 8.05 s + 29.83}$ olarak belirlenmiştir.

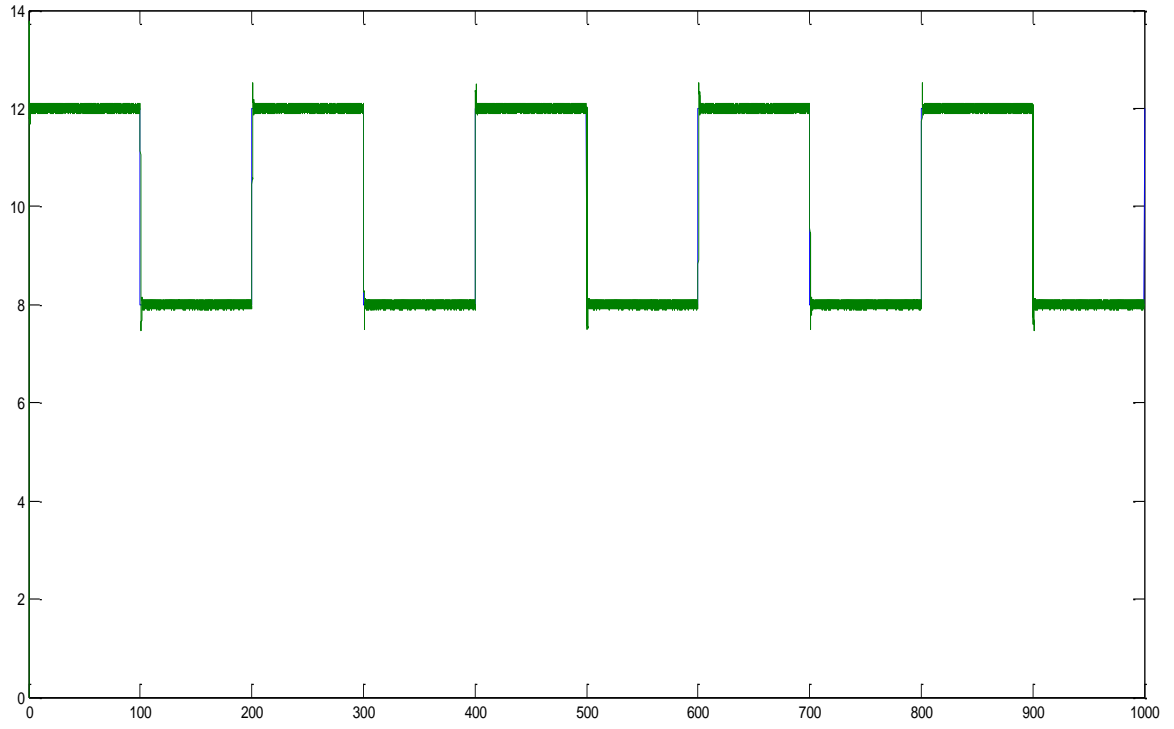
Belirlenenler çerçevesinde sistem SIMULINK üzerinde tasarlanarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



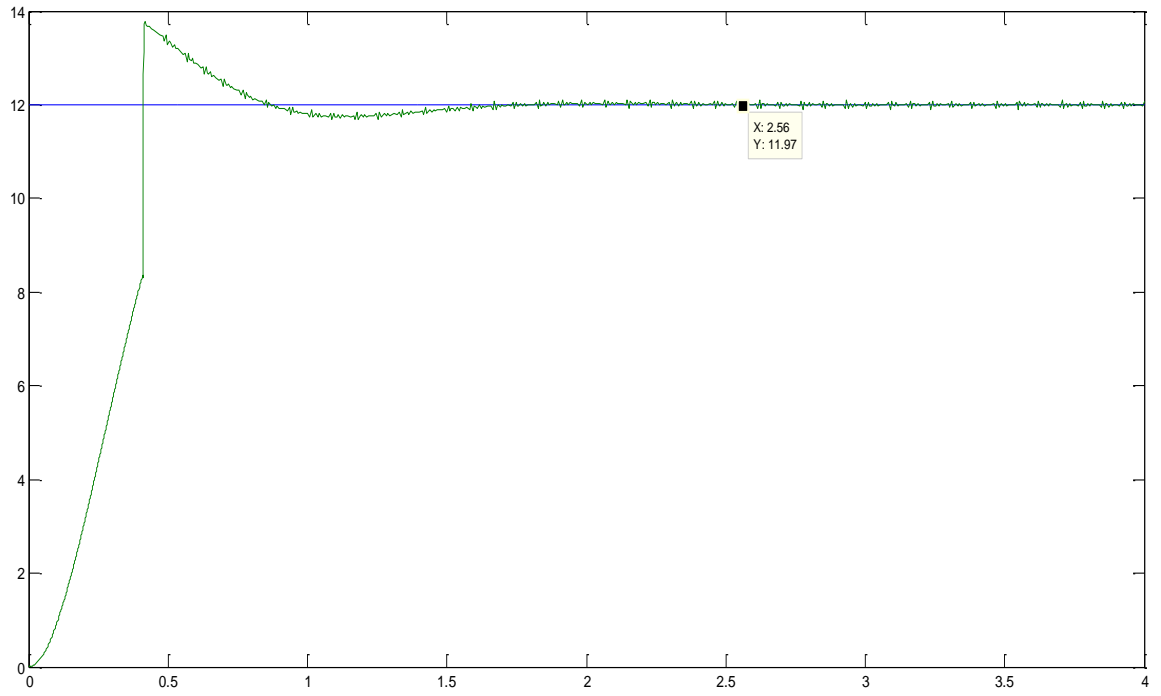
Şekil 5.2.7 0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



Şekil 5.2.8 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı ($T_s=2.56$ sn.)



Şekil 5.2.11 8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



Şekil 5.2.12 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı ($T_s=2.56$ sn.)

K=1 a=3 b=2 c=0.25 olarak belirlenmiştir. Bu çerçevede oluşturulan denklem sistemi,

$$G(s) = \frac{1}{(s+3)(s+2)(s+0.25)}$$

üzerinden hesaplanan kestirim sonucu oluşturulan denklem sistemi,

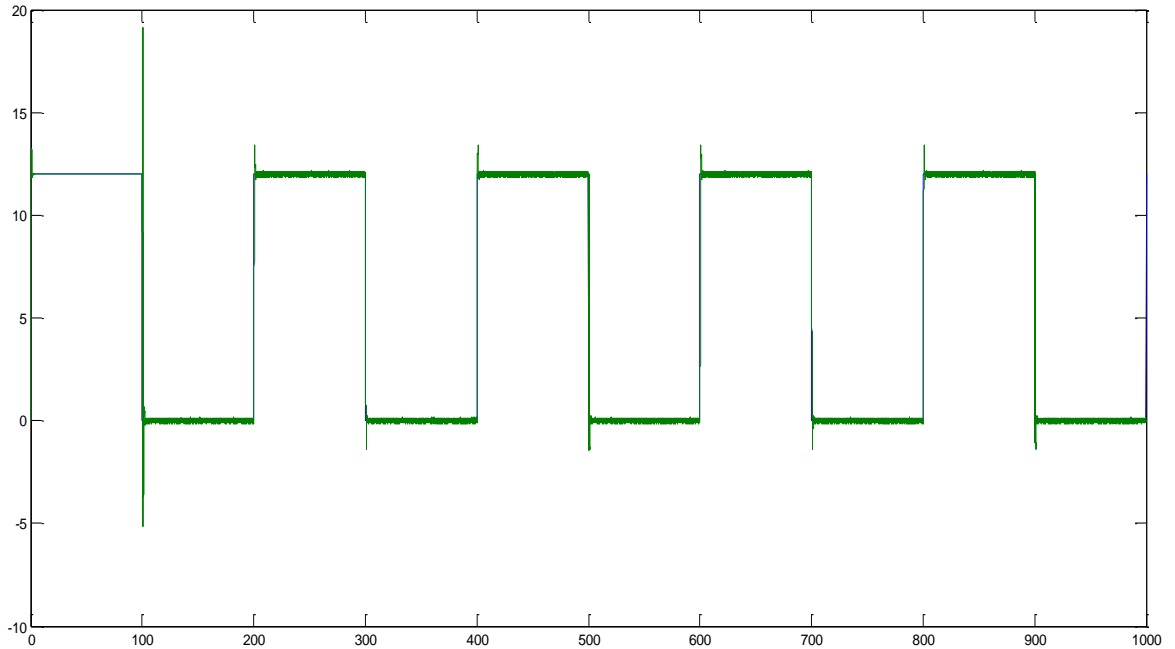
$$G(s) = \frac{0.66}{0.84 s^3 + 3.73 s^2 + 4.88 s + 1.5}$$

$$C(s) = \frac{425.33 s^2 + 3434.09 s + 12727.27}{s}$$

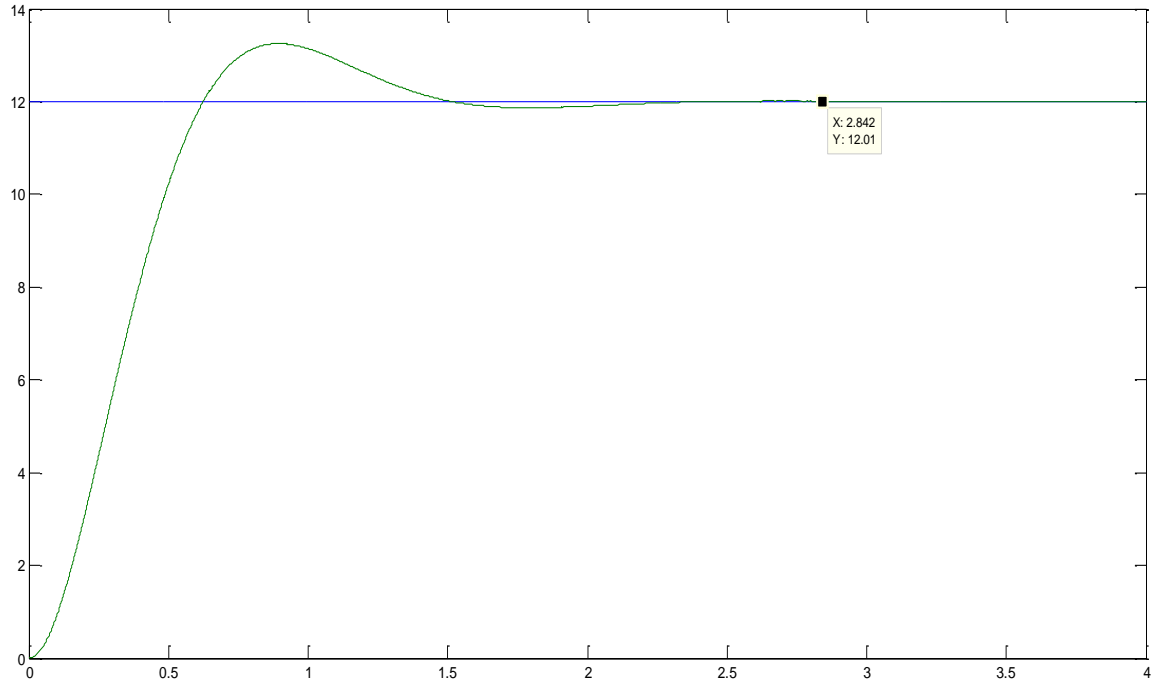
olarak tanımlanırken, sistem için tasarım aşamalarında belirtildiği üzere aktarım işlevinin fazladan sıfırlara sahip olamaması için hesaplanan önsüzgeç;

$$P(s) = \frac{29.92}{s^2 + 8.07 s + 29.92}$$

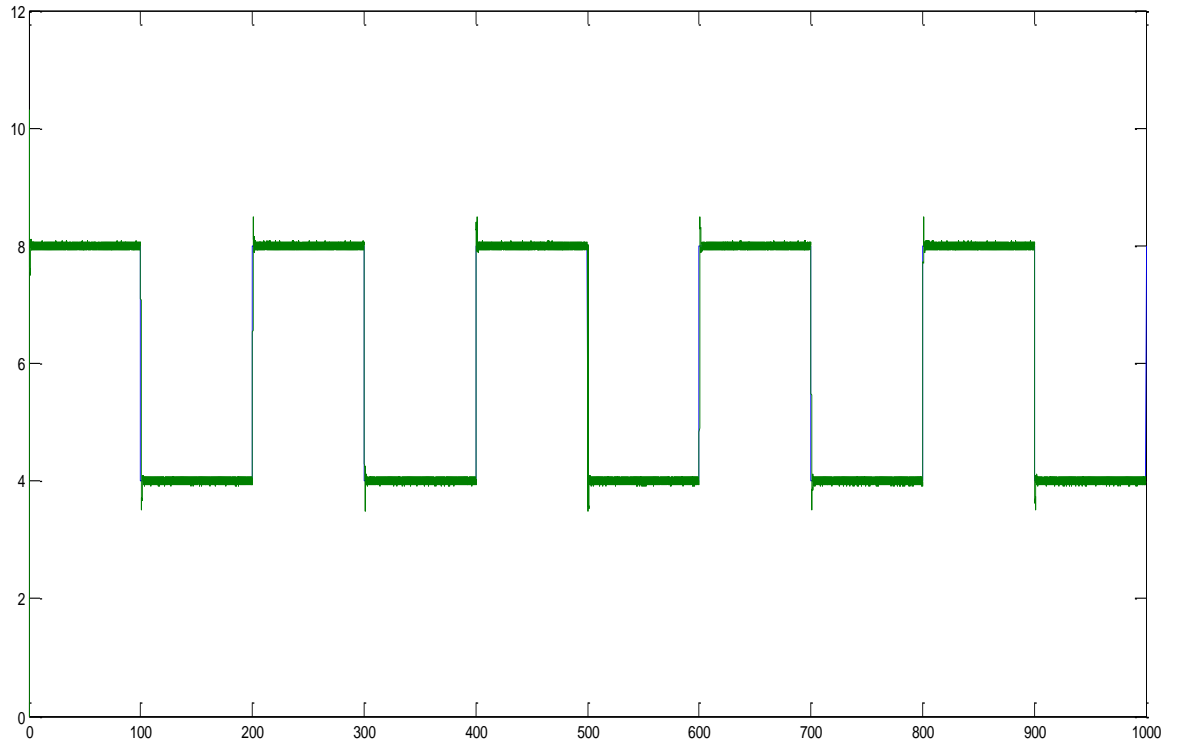
Belirlenenler çerçevesinde sistem SIMULINK üzerinde tasarlanarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



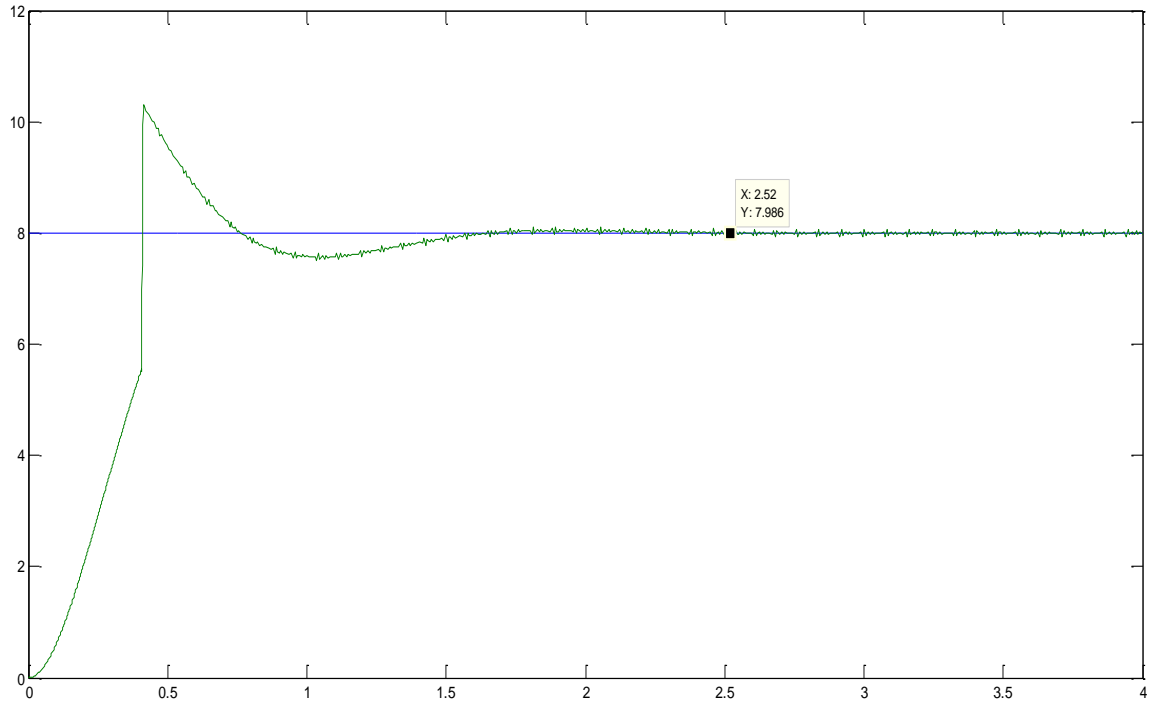
Şekil 5.2.13 0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



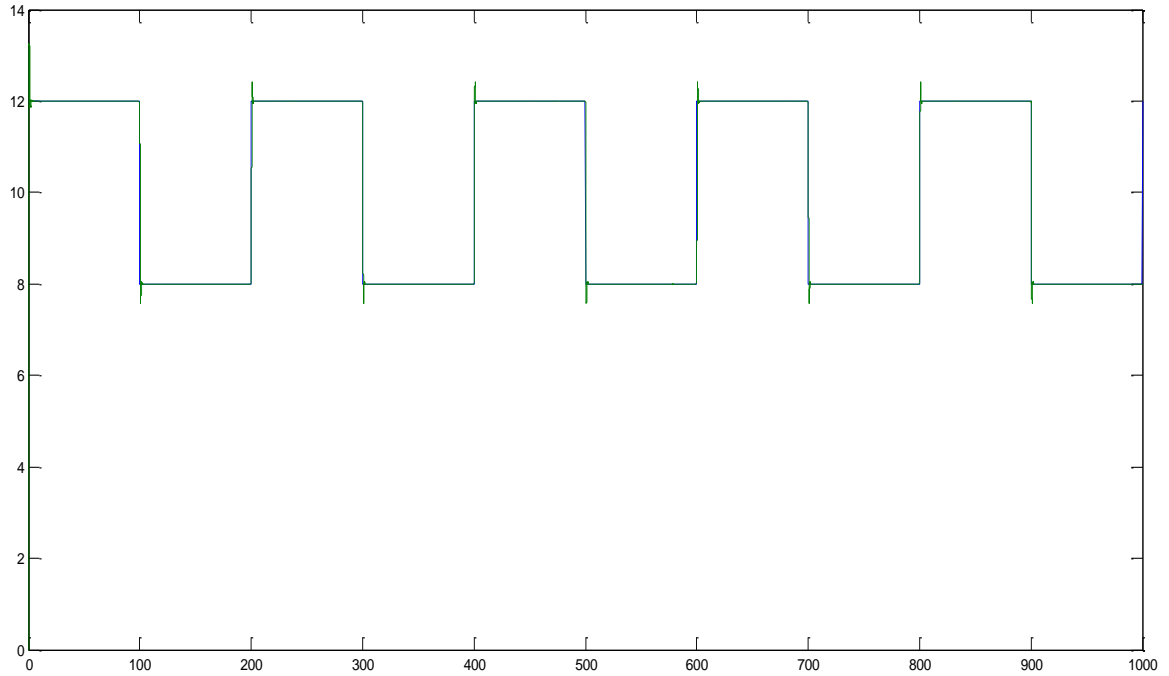
Şekil 5.2.14 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı
($T_s=2.84$ sn.)



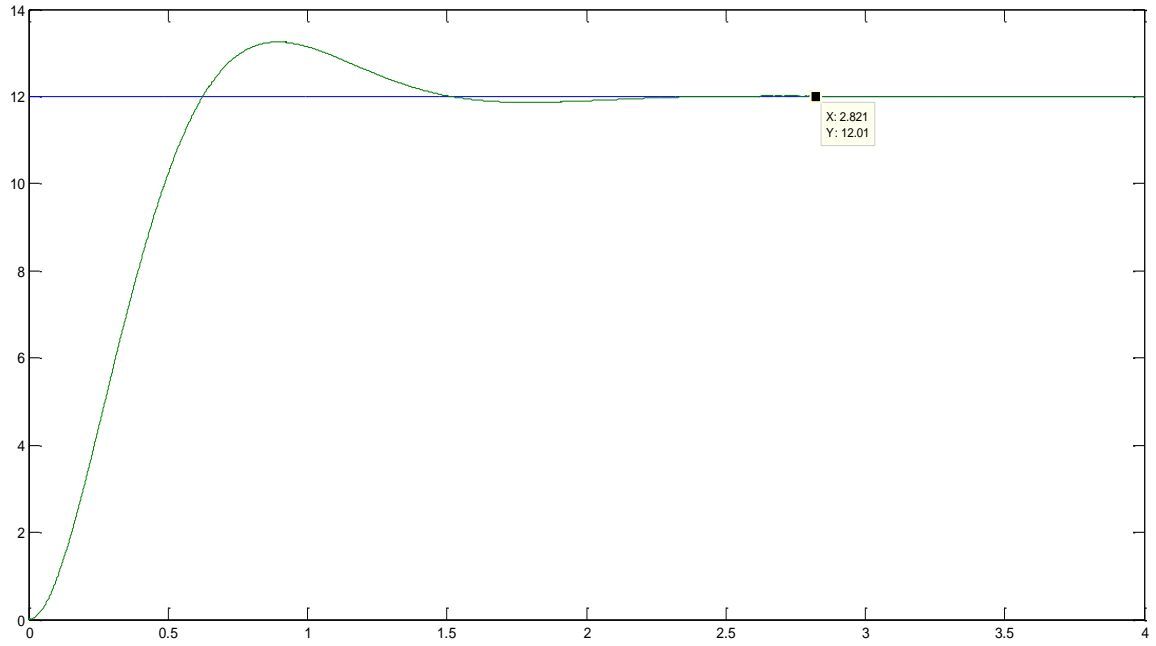
Şekil 5.2.15 4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte
Gösterimi



Şekil 5.2.16 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı (Ts=2.52 sn.)



Şekil 5.2.17 8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



Şekil 5.2.18 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı (Ts=2.82 sn.)

Çizelge 5.2.1 K=1 için Benzetim Sonuçları

K=1 için seçilen a, b ve c değerleri	<i>a= 1 b=1.5 c= 0.3</i>	<i>a= 2.5 b=2 c=0.2</i>	<i>a= 3 b=2 c=0.25</i>
h=0.1 için kestirilen A₀, A₁, A₂ ve B₀ değerleri	<i>A₀=2.54 A₁=6.45 A₂=5.05 B₀=2.22</i>	<i>A₀=1.24 A₁= 4.98 A₂=5.95 B₀=1</i>	<i>A₀=0.84 A₁=3.73 A₂=4.88 B₀=0.66</i>
Dayanıklı PID denetleç değerleri	<i>K_p= 3088.98 K_i= 11441.44 K_d= 386.73</i>	<i>K_p= 3347 K_i= 12400 K_d= 415.65</i>	<i>K_p= 3434.09 K_i= 12727.27 K_d= 425.33</i>
Yüzde aşım (%)	<i>0-12 cm= % 10.48 4-8 cm= % 10.38 8-12cm= % 10.48</i>	<i>0-12 cm= %15.8 4-8 cm= %10.47 8-12cm= %15.48</i>	<i>0-12 cm= %10.41 4-8 cm= %26.37 8-12cm= %10.42</i>
Durulma Zamanı (T_s)	<i>0-12 cm=2.89 sn. 4-8 cm= 2.87 sn. 8-12cm=2.89 sn.</i>	<i>0-12 cm= 2.56 sn. 4-8 cm= 2.86 sn. 8-12cm= 2.56 sn.</i>	<i>0-12 cm= 2.84 sn. 4-8 cm= 2.52 sn. 8-12cm= 2.82 sn.</i>
Kalıcı Durum Hatası	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>

Üç bölmeli su tankı belirlenen sistem denkleminde $K=1$ ve seçilen a, b, c değerleri için kestirim yapılmış ve yapılan kestirim sonuçları alınmıştır. Kestirim değerleri için PID denetleç katsayıları hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler SIMULINK ortamında sistem denetimi için kullanılmış ve istenilen su seviye aralıkları için uygulama gerçekleştirilmiştir. Seçilen değerler üzerinde elde edilen sonuçlara bakıldığında, sistemin 3 saniyeden az bir durulma zamanı değerinde kararlı hale geçtiği görülmüştür. Ancak sistemin kararlı hale geçiş süresinde yüzde aşım, belirlenen değerden yüksek bir seviyede gerçekleşmiştir. Sistem çıktıları genel anlamda incelendiğinde, sistemin kararlı hale geçerek su seviyesinin kontrolünün başarıyla gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Sistem kararlı hale geçtikten sonra her kare sinyal dalgası salınımında %4 yüzde aşım değerinin altında bir değer olduğu çıkış sinyalinde görülmüştür.

$K=2$ $a=2$ $b=1.5$ $c=0.3$ olarak belirlenmiştir. Bu çerçevede oluşturulan denklem sistemi,

$G(s)=\frac{2}{(s+2)(s+1.5)(s+0.3)}$ olarak oluşturulmuştur. Denklem sistemi için MATLAB üzerinden hesaplanan kestirim sonucu oluşturulan denklem sistemi ,

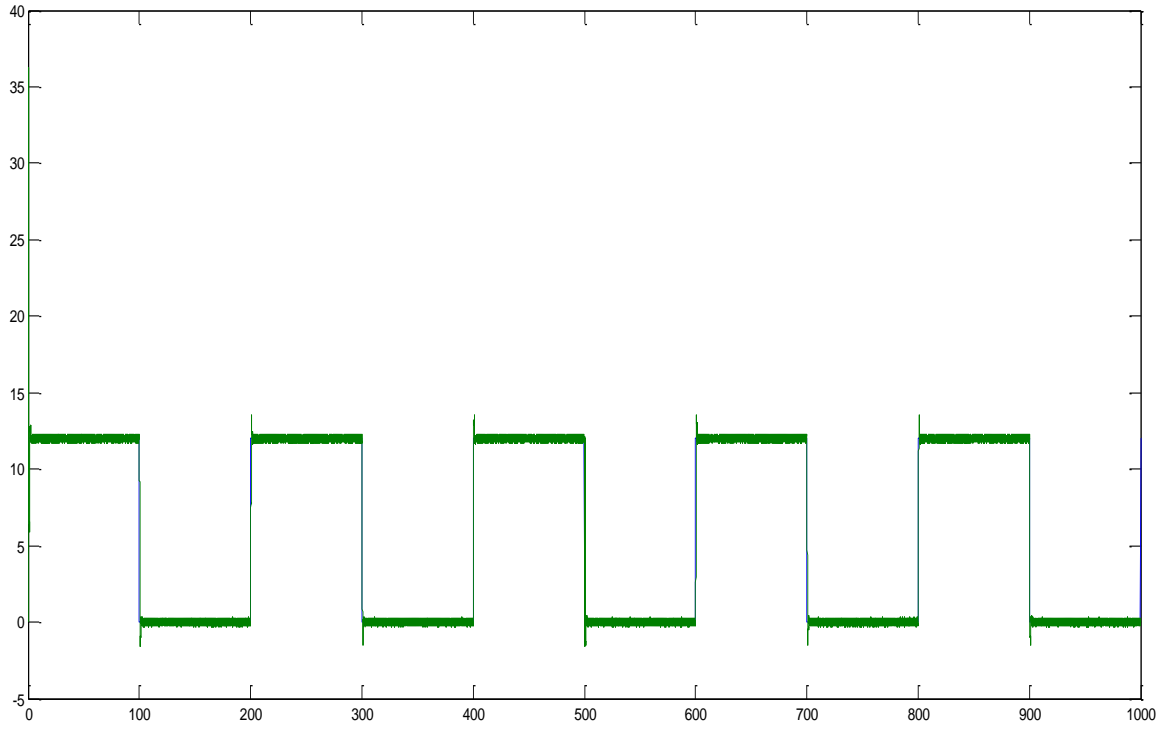
$G(s)=\frac{4.44}{2.54 s^3 + 6.45 s^2 + 5.02 s + 0.45}$ olarak tanımlanmıştır. Denetleç,

$C(s)=\frac{193.37 s^2 + 1544.49 s + 5720.72}{s}$ olarak tanımlanırken, sistem için tasarım

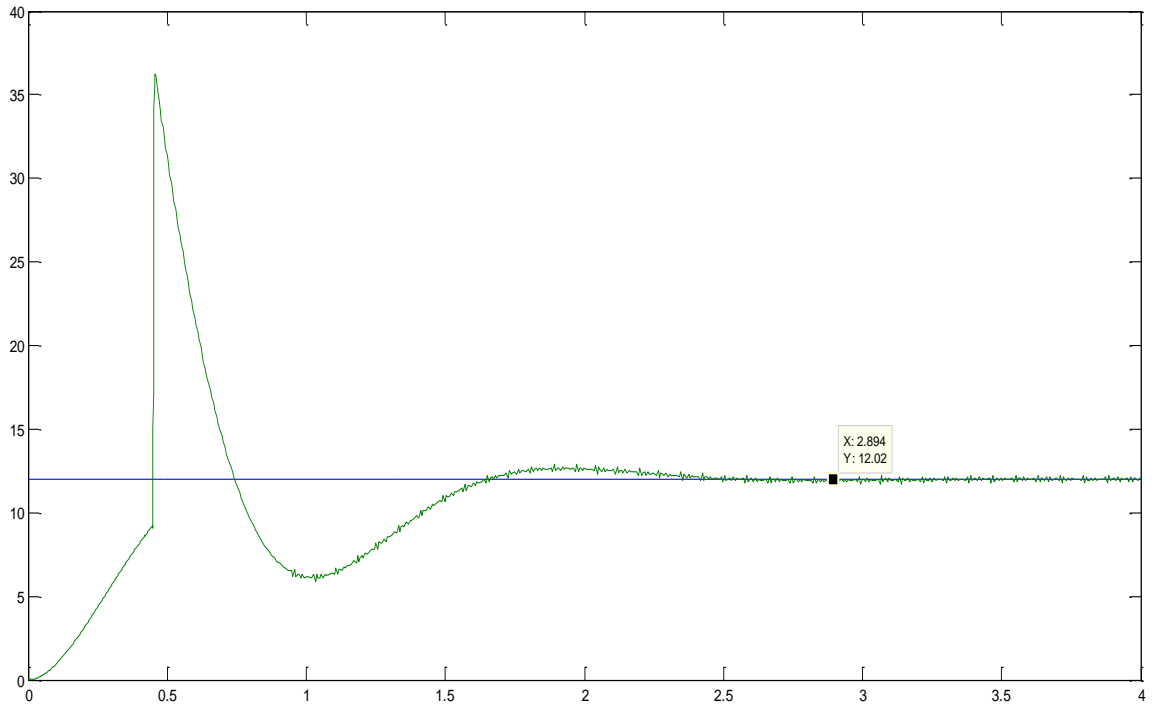
aşamalarında belirtildiği üzere aktarım işlevinin fazladan sıfırlara sahip olamaması için hesaplanan önsüzgeç;

$P(s)=\frac{29.58}{s^2 + 7.99 s + 29.58}$ olarak belirlenmiştir.

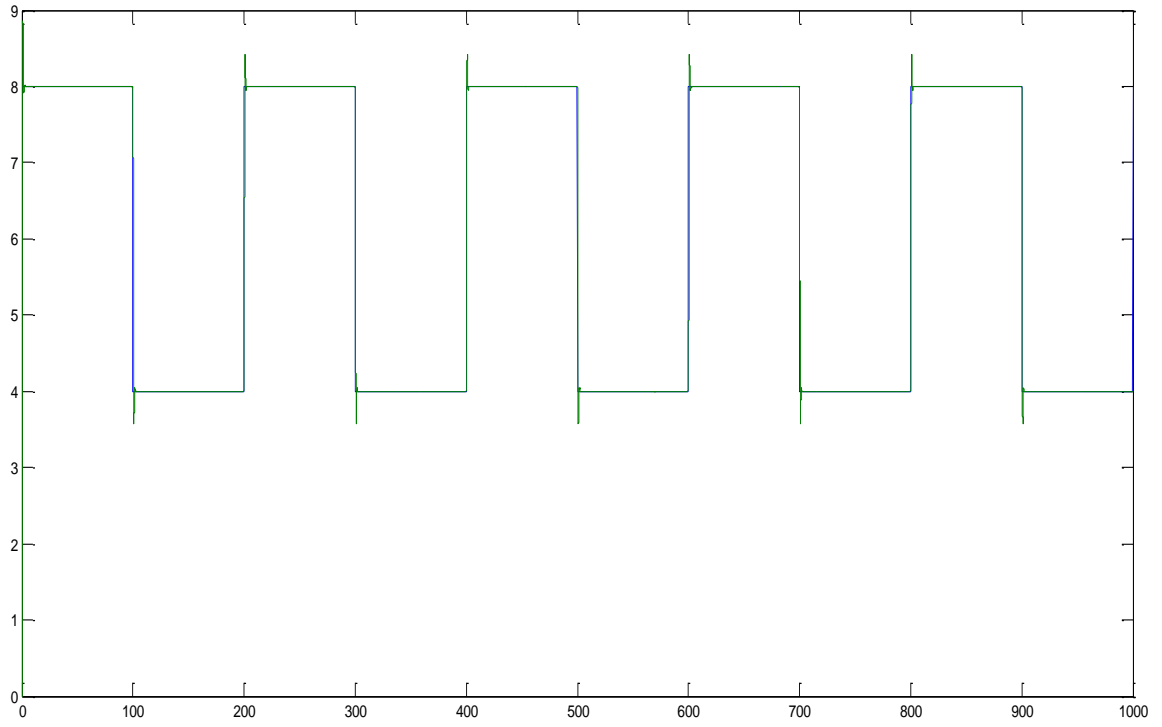
Belirlenenler çerçevesinde sistem SIMULINK üzerinde tasarlanarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



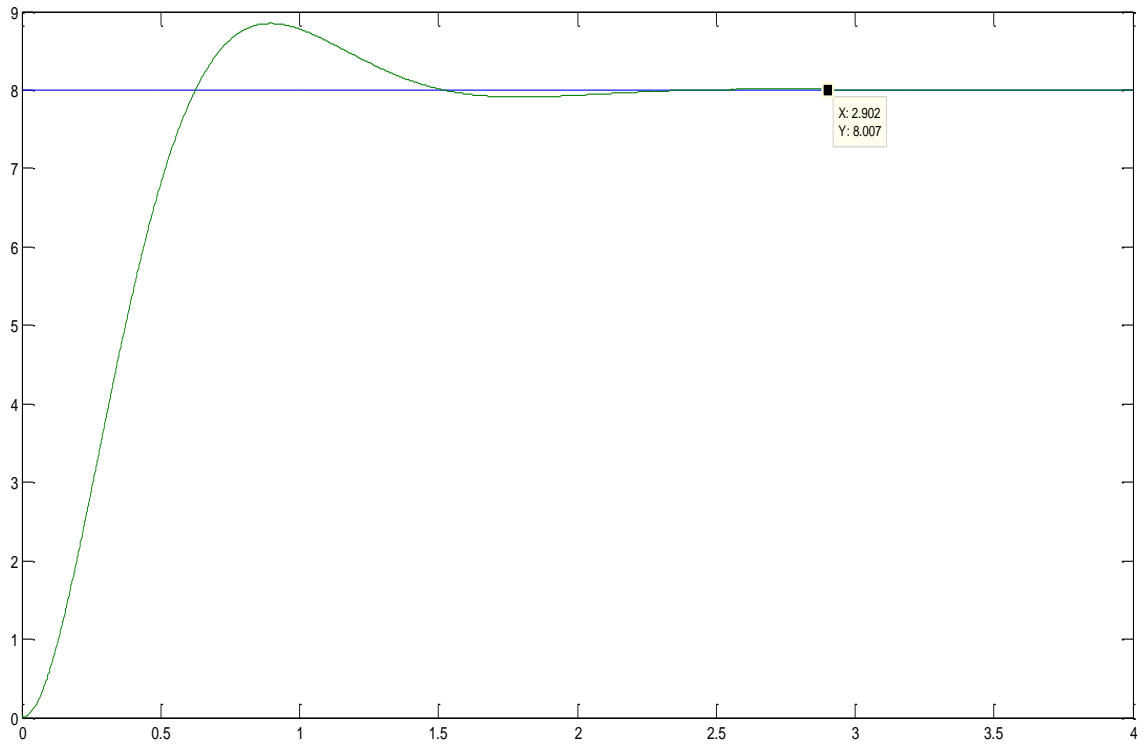
Şekil 5.2.19 0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



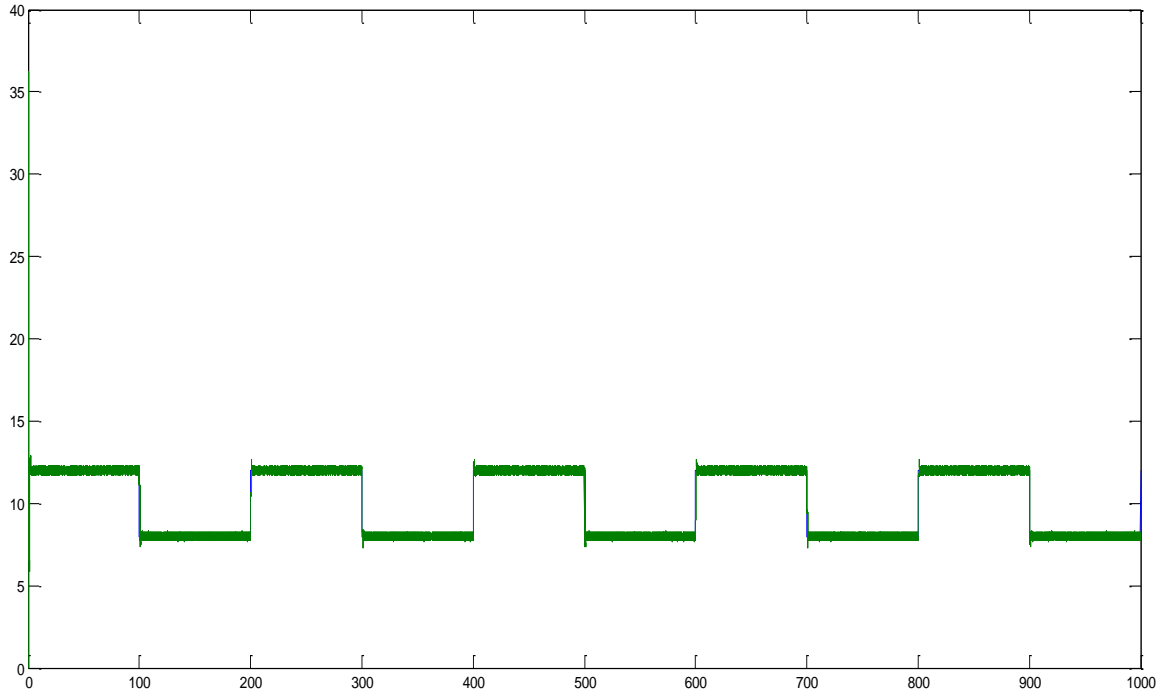
Şekil 5.2.20 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı ($T_s=2.89$ sn.)



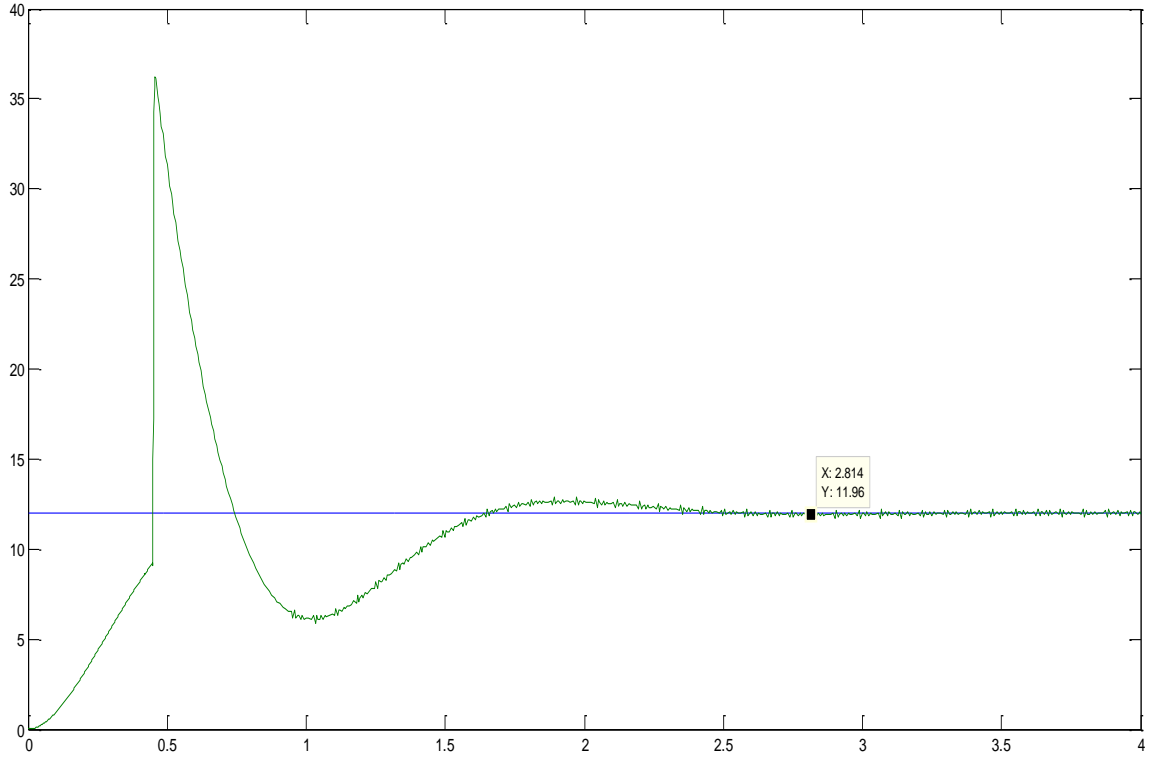
Şekil 5.2.21 4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



Şekil 5.2.22 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı ($T_s=2.90$ sn.)



Şekil 5.2.23 8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



Şekil 5.2.24 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı ($T_s=2.81$ sn.)

K=2 a=2.5 b=2 c=0.2 olarak belirlenmiştir. Bu çerçevede oluşturulan denklem sistemi,

$$G(s) = \frac{2}{(s+2.5)(s+2)(s+0.2)}$$
 olarak oluşturulmuştur. Denklem sistemi için MATLAB

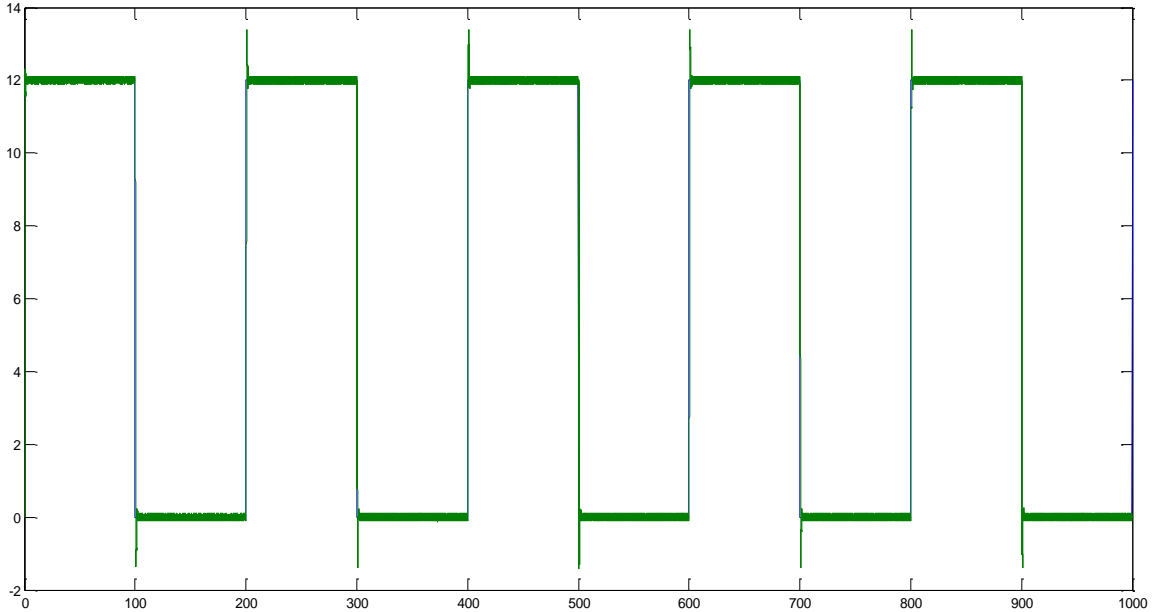
üzerinden hesaplanan kestirim sonucu oluşturulan denklem sistemi,

$$G(s) = \frac{2}{1.24 s^3 + 4.98 s^2 + 5.95 s + 1}$$
 olarak tanımlanmıştır.

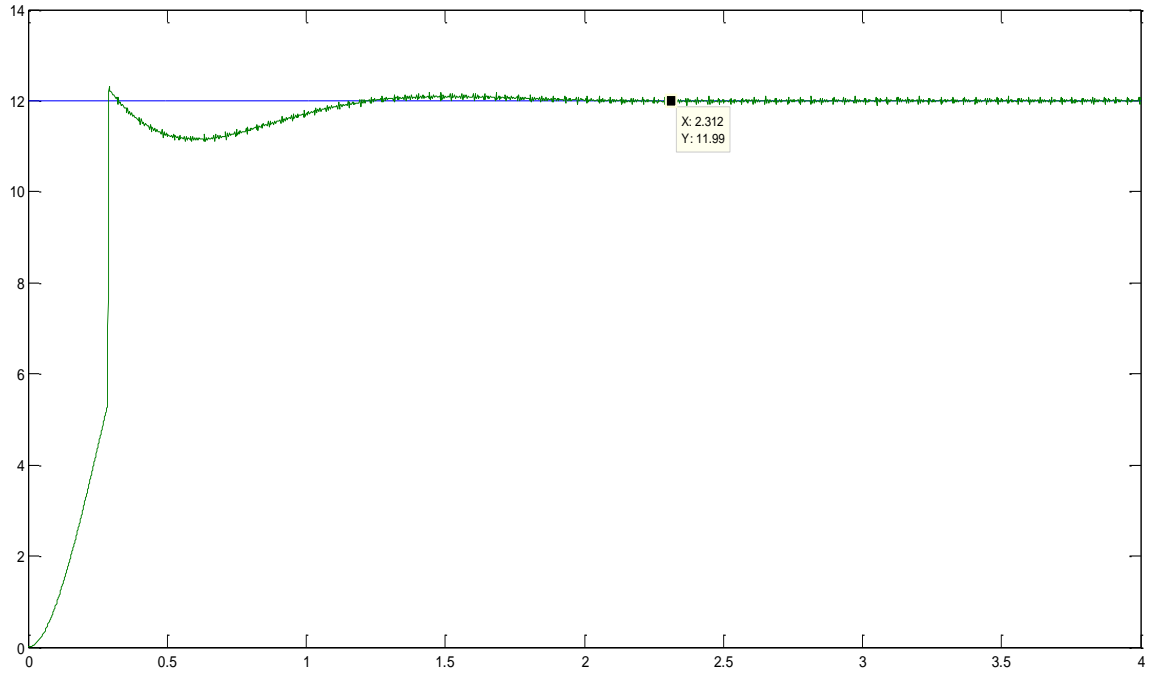
$C(s) = \frac{415.65 s^2 + 3347 s + 12400}{s}$ olarak tanımlanırken, sistem için tasarım aşamalarında belirtildiği üzere aktarım işlevinin fazladan sıfırlara sahip olamaması için hesaplanan önsüzgeç;

$$P(s) = \frac{29.83}{s^2 + 8.05 s + 29.83}$$
 olarak belirlenmiştir.

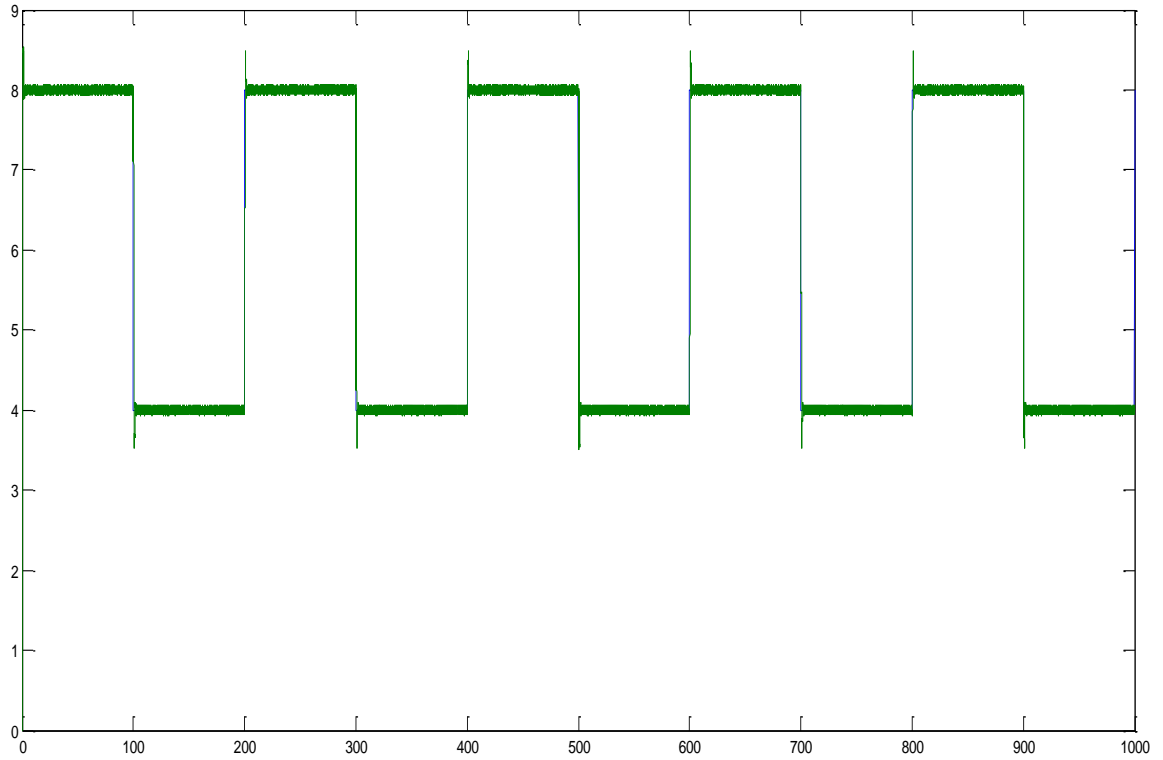
Belirlenenler çerçevesinde sistem SIMULINK üzerinde tasarlanarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



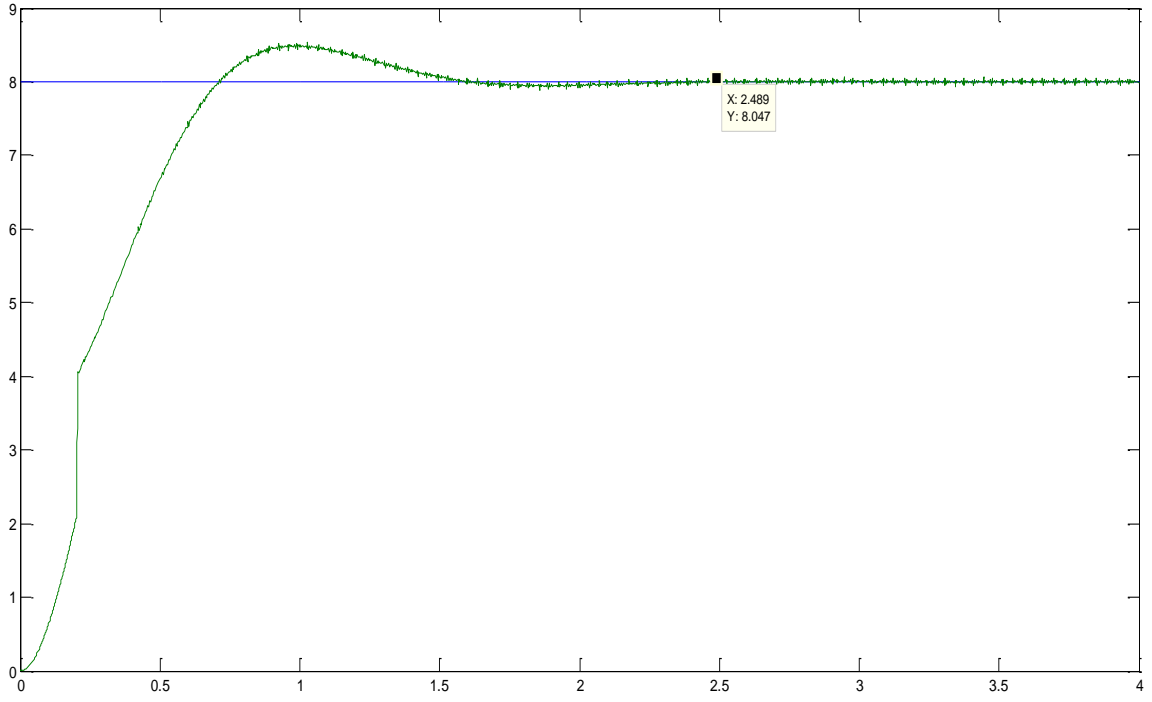
Şekil 5.2.25 0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



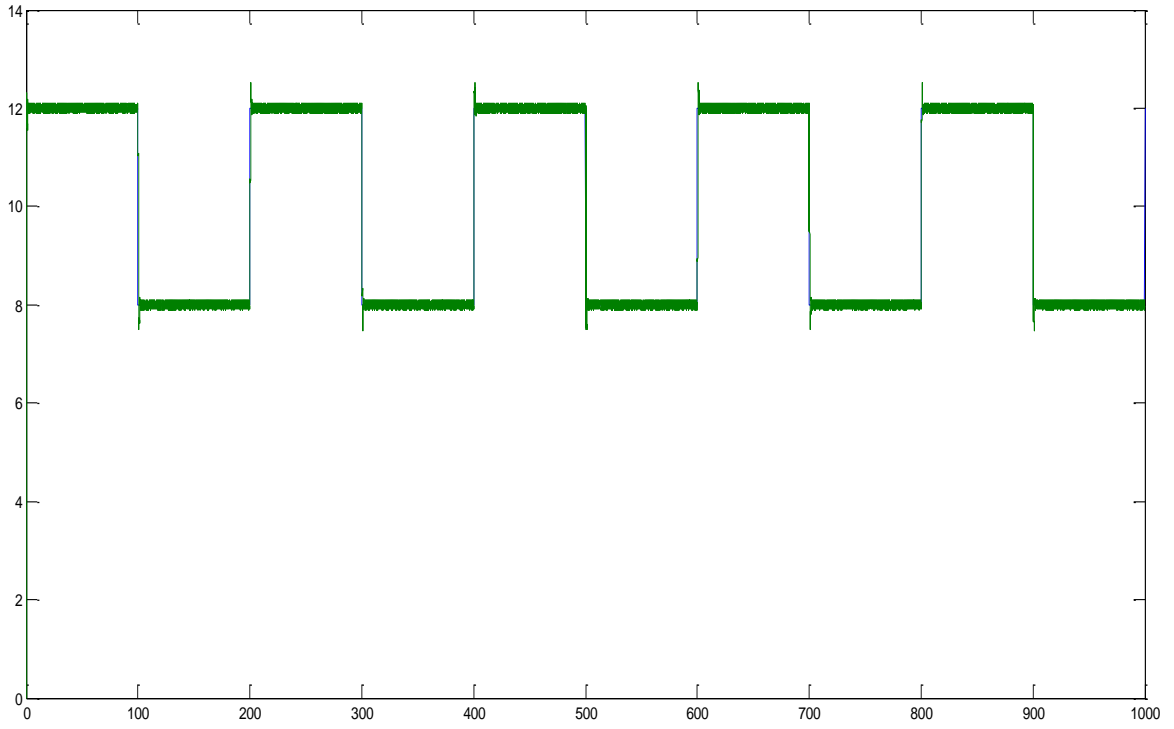
Şekil 5.2.26 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı
($T_s=2.31$ sn.)



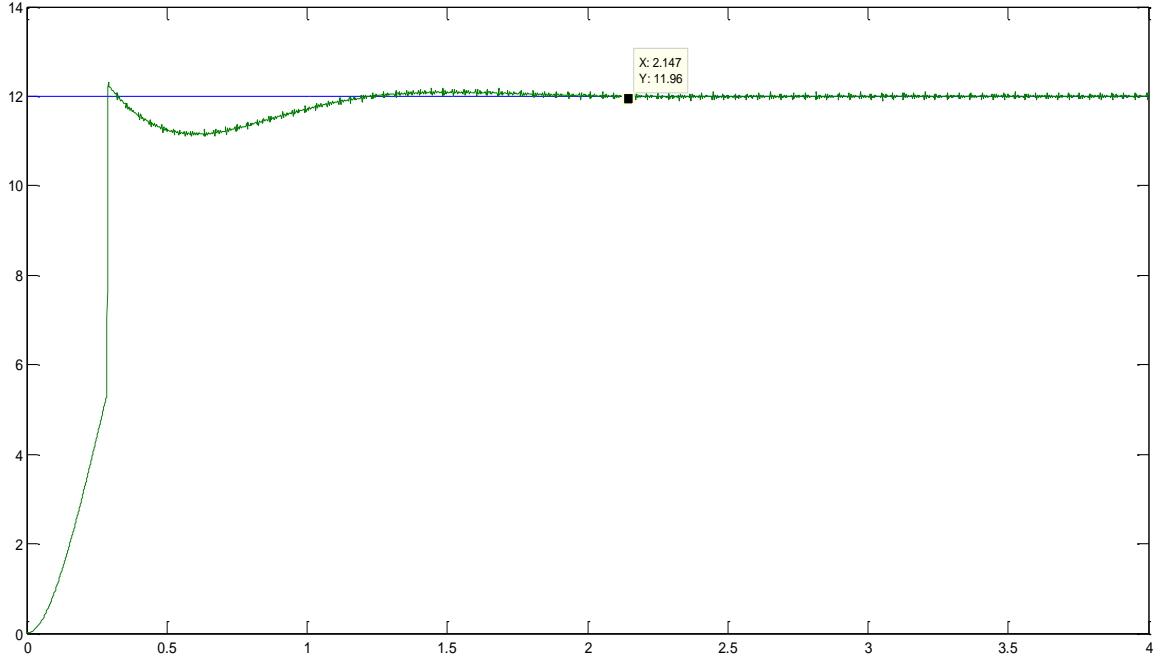
Şekil 5.2.27 4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte
Gösterimi



Şekil 5.2.28 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı
($T_s=2.49$ sn.)



Şekil 5.2.29 8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte
Gösterimi



Şekil 5.2.30 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı (Ts=2.14 sn.)

K=2 a=3 b=2 c=0.25 olarak belirlenmiştir. Bu çerçevede oluşturulan denklem sistemi

$$G(s) = \frac{2}{(s+3)(s+2)(s+0.25)} \quad \text{olarak oluşturulmuştur. Denklem sistemi için MATLAB}$$

üzerinden hesaplanan kestirim sonucu oluşturulan denklem sistemi,

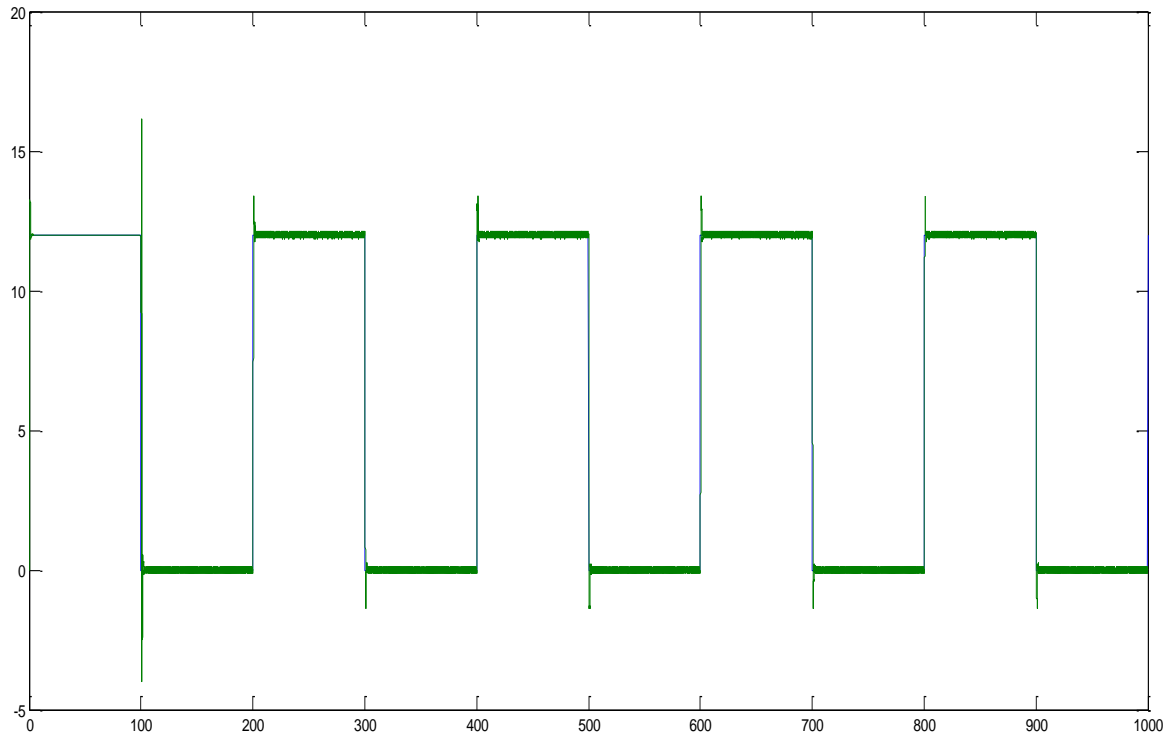
$$G(s) = \frac{1.33}{0.85 s^3 + 3.73 s^2 + 4.88 s + 1.5} \quad \text{olarak tanımlanmıştır. Denetleç,$$

$$C(s) = \frac{213.62 s^2 + 1724.43 s + 6390.97}{s} \quad \text{olarak tanımlanırken, sistem için tasarım}$$

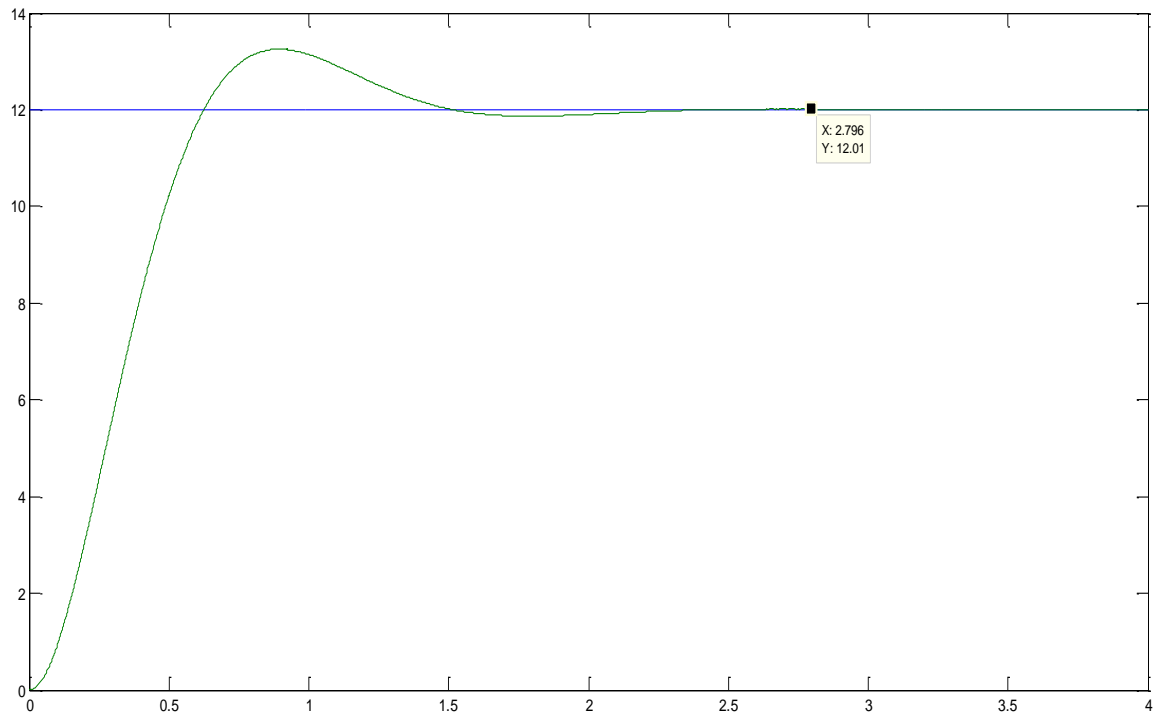
aşamalarında belirtildiği üzere aktarım işlevinin fazladan sıfırlara sahip olamaması için hesaplanan önsüzgeç;

$$P(s) = \frac{29.91}{s^2 + 8.07 s + 29.91} \quad \text{olarak belirlenmiştir.}$$

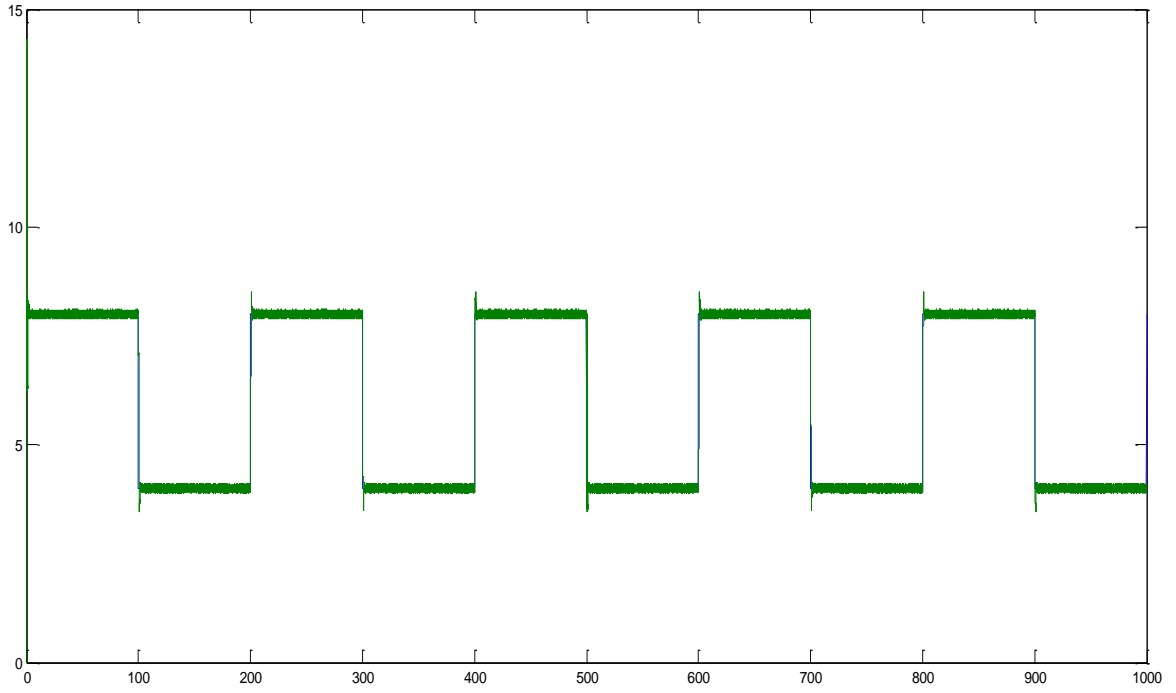
Belirlenenler çerçevesinde sistem SIMULINK üzerinde tasarlanarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



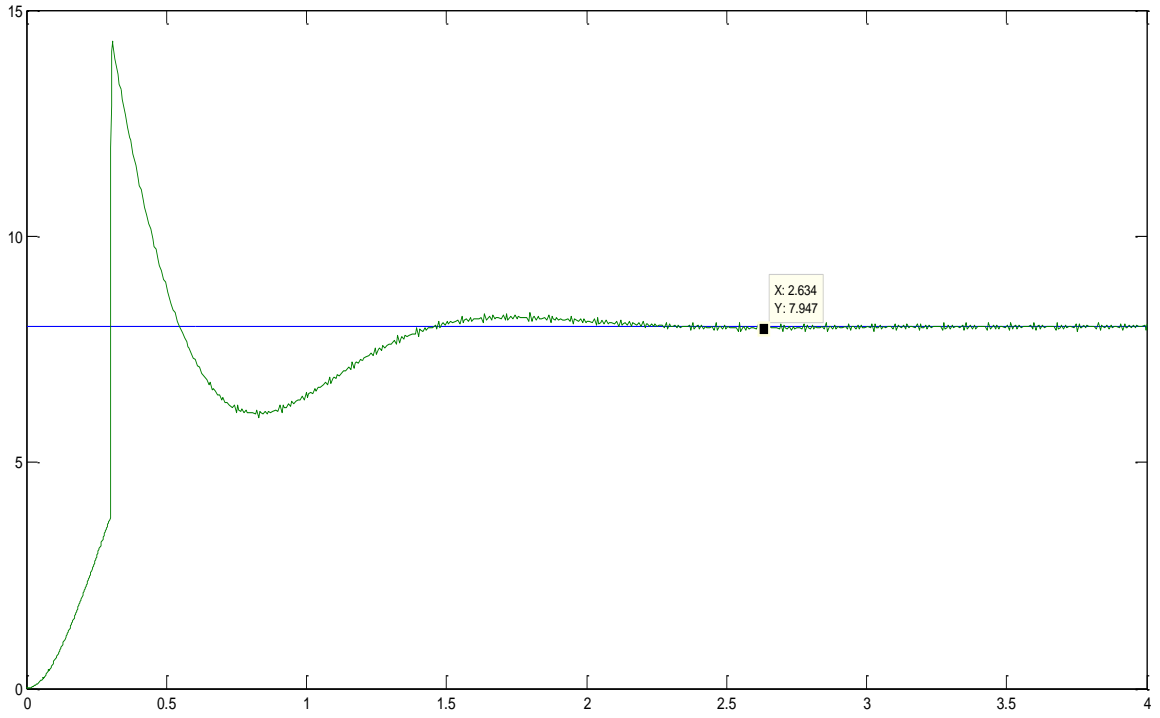
Şekil 5.2.31 0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



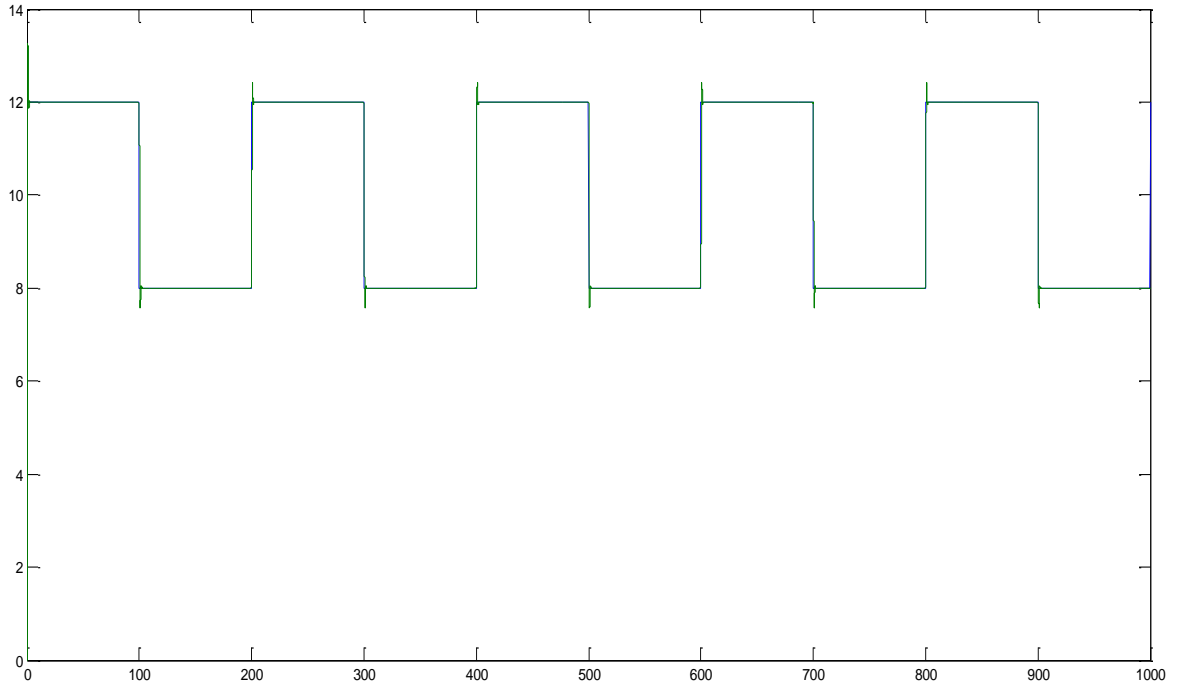
Şekil 5.2.32 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı ($T_s=2.79$ sn.)



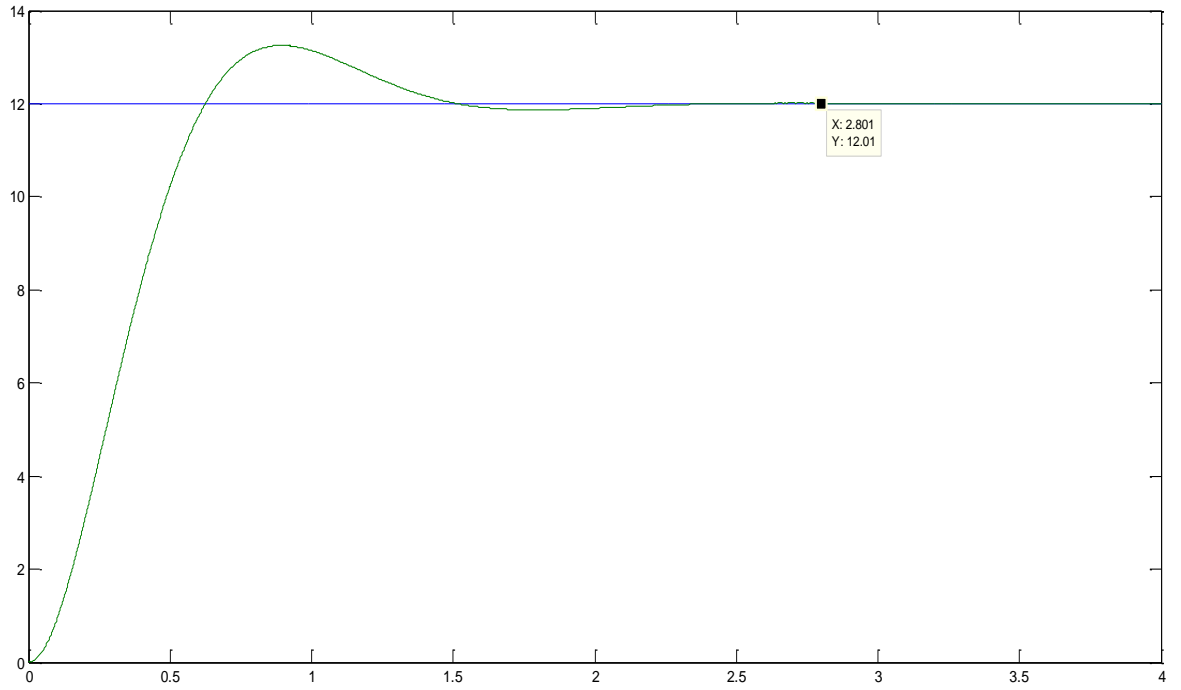
Şekil 5.2.33 4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



Şekil 5.2.34 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı (Ts=2.63 sn.)



Şekil 5.2.35 8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



Şekil 5.2.36 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı (Ts=2.80 sn.)

Çizelge 5.2.2 K=2 için Benzetim Sonuçları

K=2 için seçilen a, b ve c değerleri	$a=1$ $b=1.5$ $c=0.3$	$a=2.5$ $b=2$ $c=0.2$	$a=3$ $b=2$ $c=0.25$
h=0.1 için kestirilen A_0, A_1, A_2 ve B_0 değerleri	$A_0=2.54$ $A_1=6.45$ $A_2=5.02$ $B_0=4.44$	$A_0=1.24$ $A_1=4.98$ $A_2=5.95$ $B_0=2$	$A_0=0.85$ $A_1=3.73$ $A_2=4.88$ $B_0=1.33$
Dayanıklı PID denetleç değerleri	$K_p=1544.49$ $K_f=5720.72$ $K_d=193.37$	$K_p=1673$ $K_f=6200$ $K_d=207.82$	$K_p=1724.43$ $K_f=6390.97$ $K_d=213.62$
Yüzde aşım (%)	0-12 cm= %200 4-8 cm= %10.12 8-12cm= %200	0-12 cm= %81.25 4-8 cm= %19.37 8-12cm= %25	0-12 cm= %10.41 4-8 cm= %78.37 8-12cm= %10.41
Durulma Zamanı (T_s)	0-12 cm=2.89 sn. 4-8 cm= 2.90 sn. 8-12cm=2.81 sn.	0-12 cm= 2.31 sn. 4-8 cm= 2.49 sn. 8-12cm= 2.14 sn.	0-12 cm= 2.79 sn. 4-8 cm= 2.63 sn. 8-12cm= 2.80 sn.
Kalıcı Durum Hatası	0	0	0

Yukarıdaki çizelgede K=2 ve tanım aralığında seçilen değerler üzerinden elde edilen kestirim değerleri sonucunda hesaplanan PID denetleç değerleri üzerinden dayanıklı denetimin SIMULINK çıktılarının sonuçları yer almaktadır. Belirlenmiş olan tasarım ölçütleri ile ilgili olarak yüzde aşım değerlerinin istenilen değerden yüksek çıktığı görülmüştür. Sistemin çıkışları incelendiğinde, K=1 değeri için sistem çıkışında alınan sinyallerin davranışına benzemektedir. Ayrıca sistemin kararlı hale geçmesi için geçen süre sonunda çıktılarından okunan durulma zamanı değerleri tasarım ölçütlerini sağlamıştır. Sistem kararlı hale geçtikten sonraki davranışında 0-12 cm arasındaki su seviyesinin kontrolünde yüzde aşım değeri %4 üzerinde kalmaya devam ederken 4-8 cm ve 8-12 cm su seviyesi aralıklarında kararlı halde belirlenen %4'lük yüzde aşım değerinden daha az bir değerde sonuçlar sistem çıkışında gözlemlenmiştir. Ayrıca a=3, b=2 ve c=0.25 değerleri için uygulama sonucunda 0-12 cm su seviyesi için sistem davranışı kararlı hale geçmesine rağmen çıkış sinyaline bazı istenmeyen salınımların olduğu gözlemlenmiştir.

K=3 a=2 b=1.5 c=0.3 olarak belirlenmiştir. Bu çerçevede oluşturulan denklem sistemi,

$$G(s) = \frac{3}{(s+2)(s+1.5)(s+0.3)}$$
 olarak oluşturulmuştur. Denklem sistemi için MATLAB

üzerinden hesaplanan kestirim sonucu oluşturulan denklem sistemi,

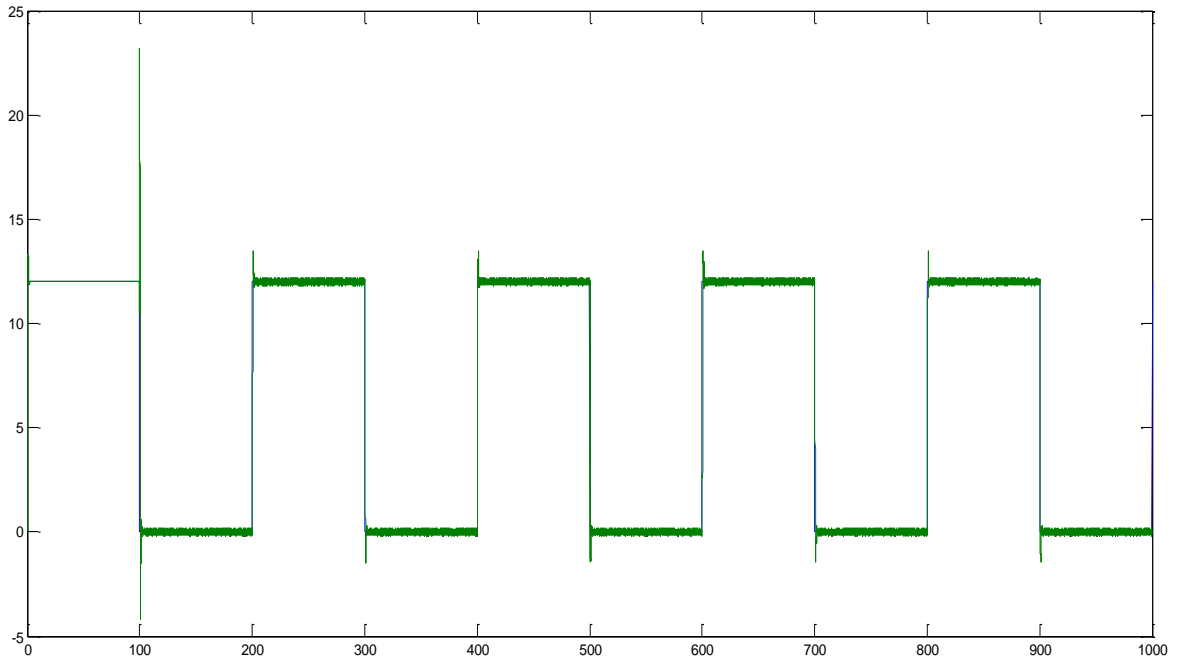
$$G(s) = \frac{6.66}{2.54 s^3 + 6.45 s^2 + 5.05 s + 0.45}$$
 olarak tanımlanmıştır. Denetleç,

$$C(s) = \frac{128.91 s^2 + 1029.66 s + 3848.48}{s}$$
 olarak tanımlanırken, sistem için tasarım

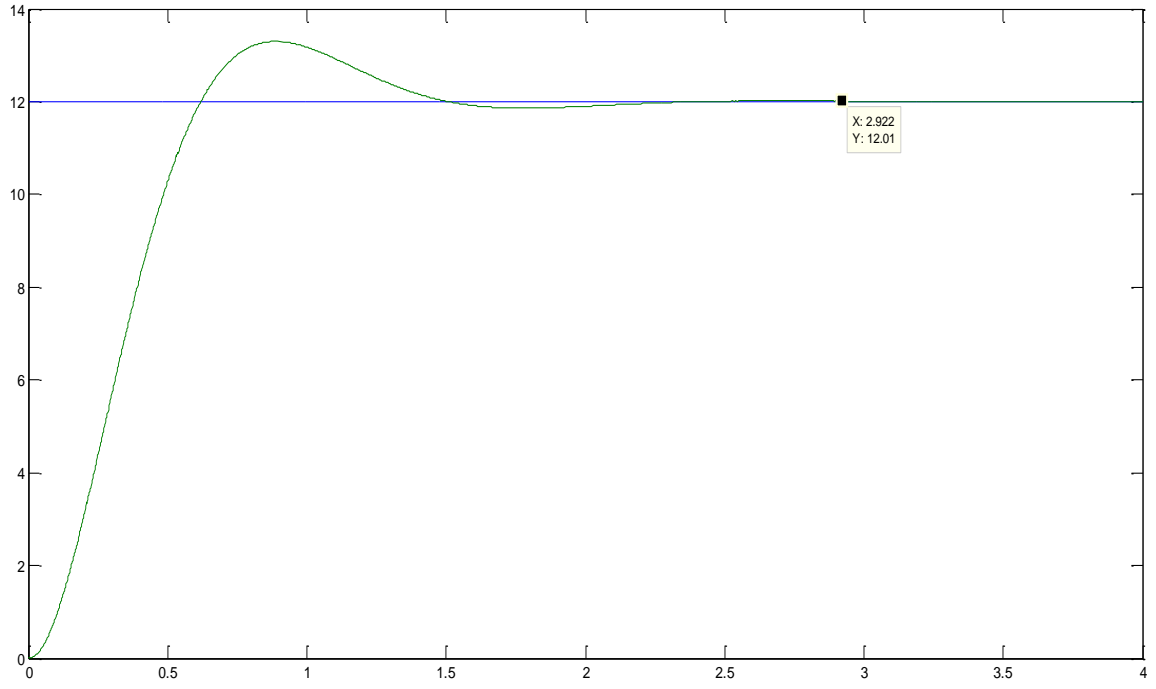
aşamalarında belirtildiği üzere aktarım işlevinin fazladan sıfırlara sahip olamaması için hesaplanan önsüzgeç;

$$P(s) = \frac{29.85}{s^2 + 7.98 s + 29.85}$$
 olarak belirlenmiştir.

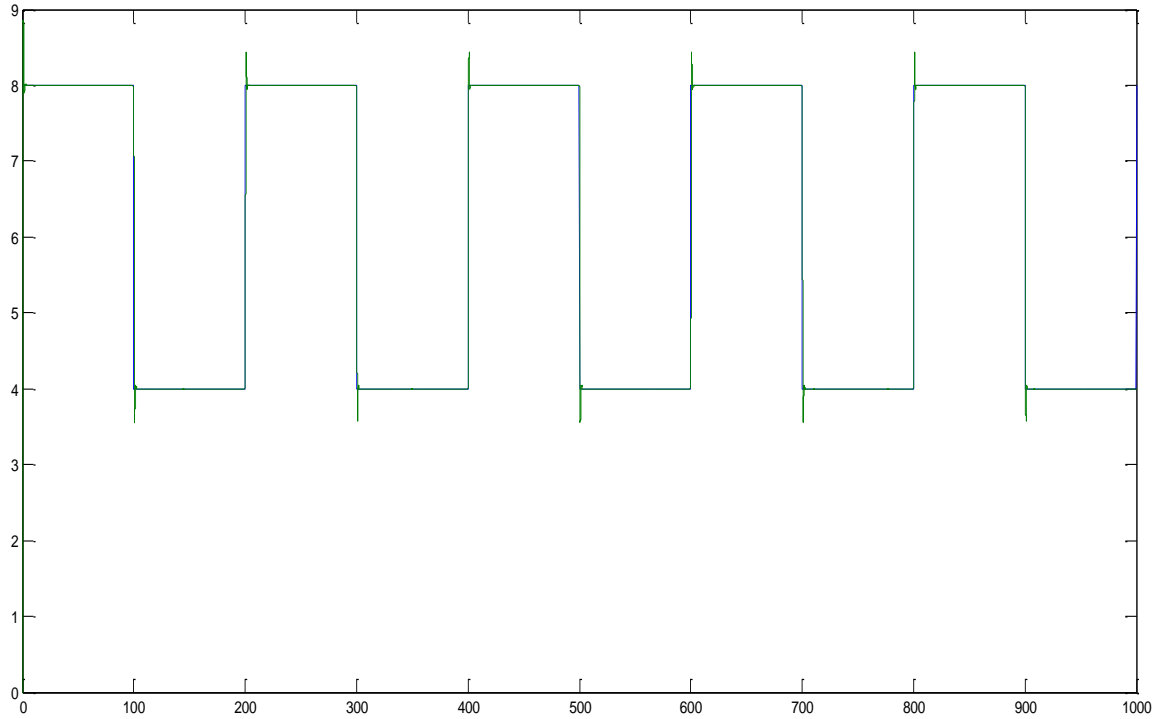
Belirlenenler çerçevesinde sistem SIMULINK üzerinde tasarlanarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



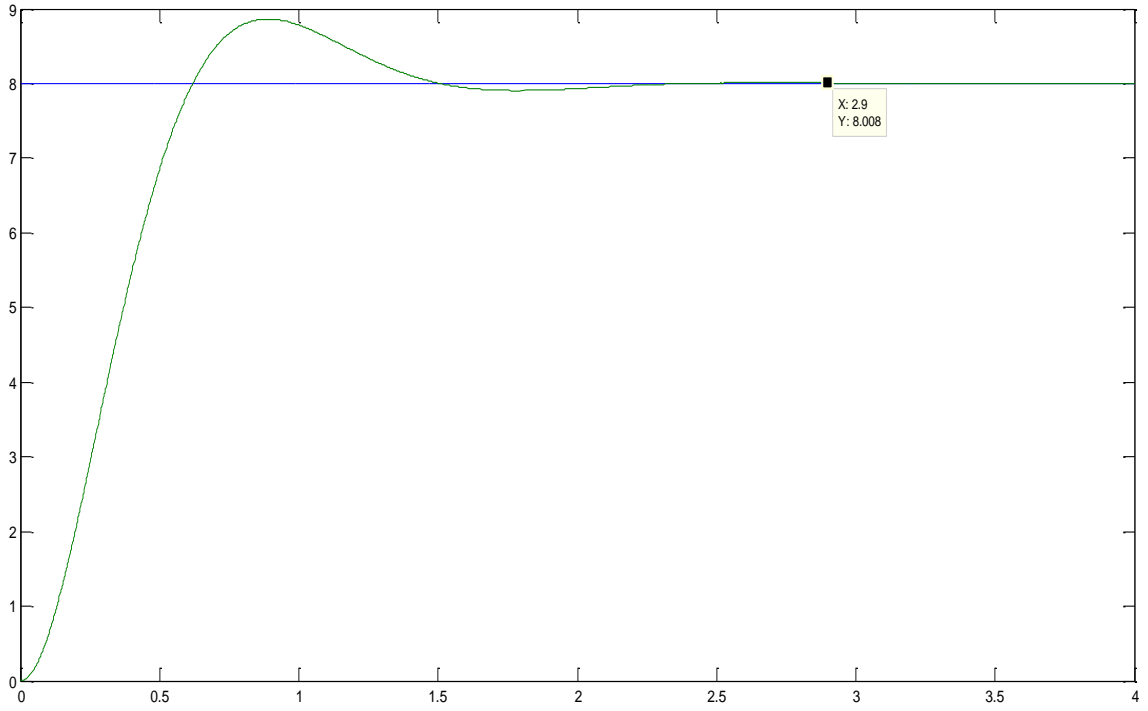
Şekil 5.2.37 0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



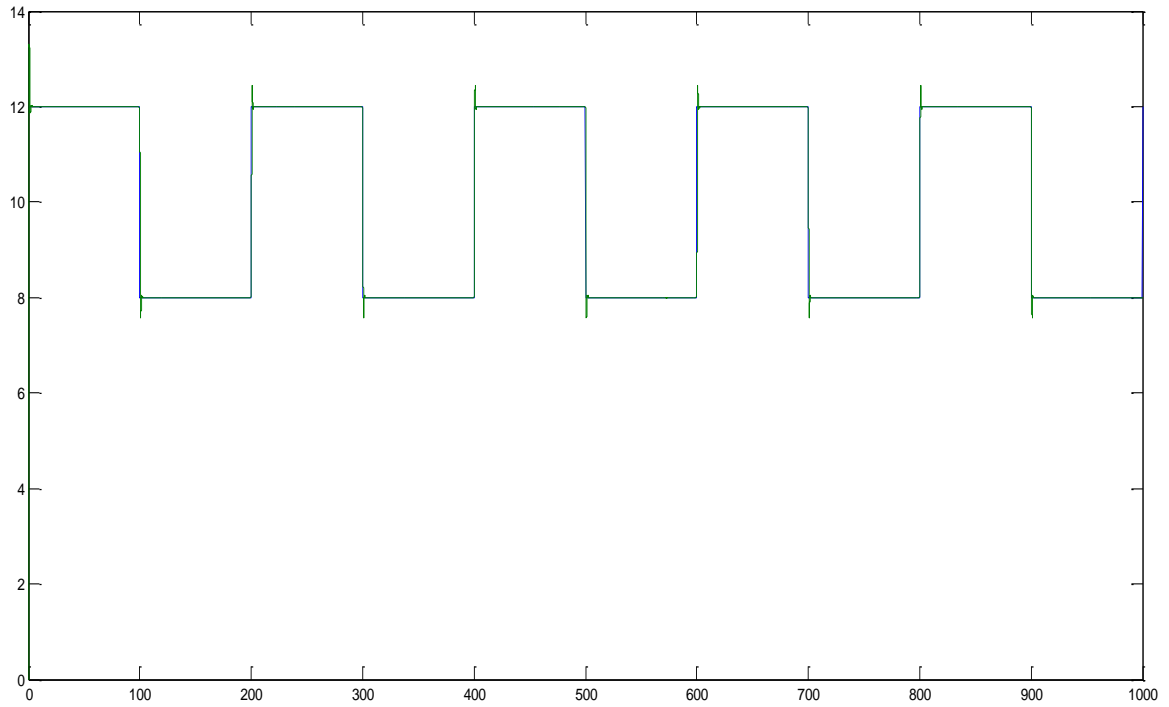
Şekil 5.2.38 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı
($T_s=2.92$ sn.)



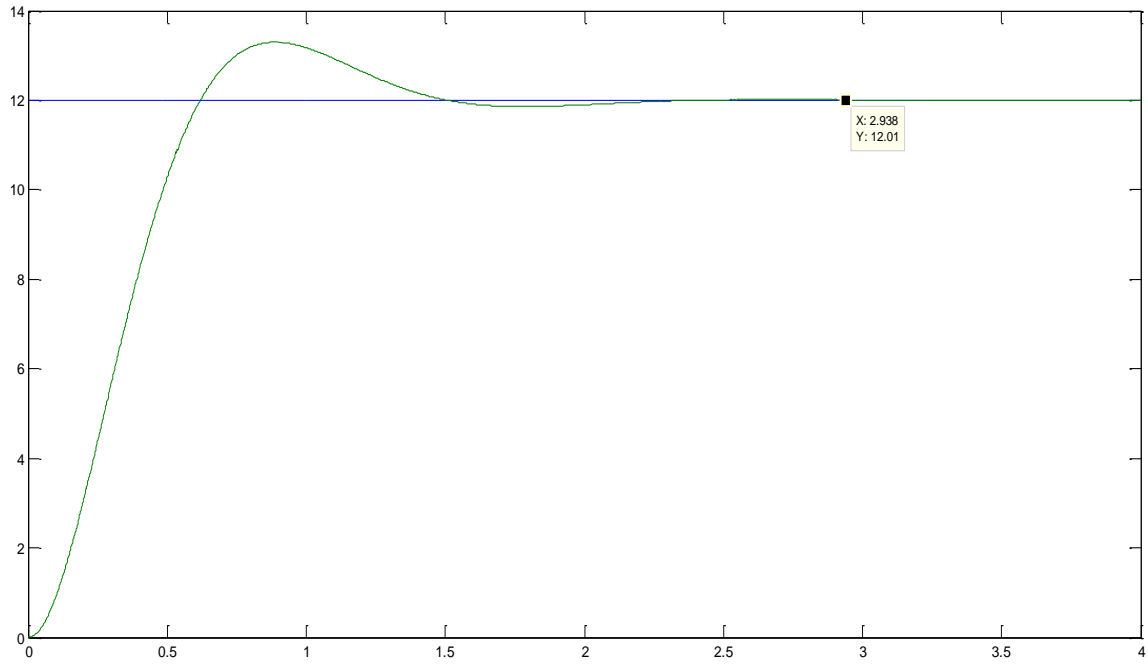
Şekil 5.2.39 4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte
Gösterimi



Şekil 5.2.40 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı (Ts=2.90 sn.)



Şekil 5.2.41 8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



Şekil 5.2.42 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı (Ts=2.93 sn.)

K=3 a=2.5 b=2 c=0.2 olarak belirlenmiştir. Bu çerçevede oluşturulan denklem sistemi,

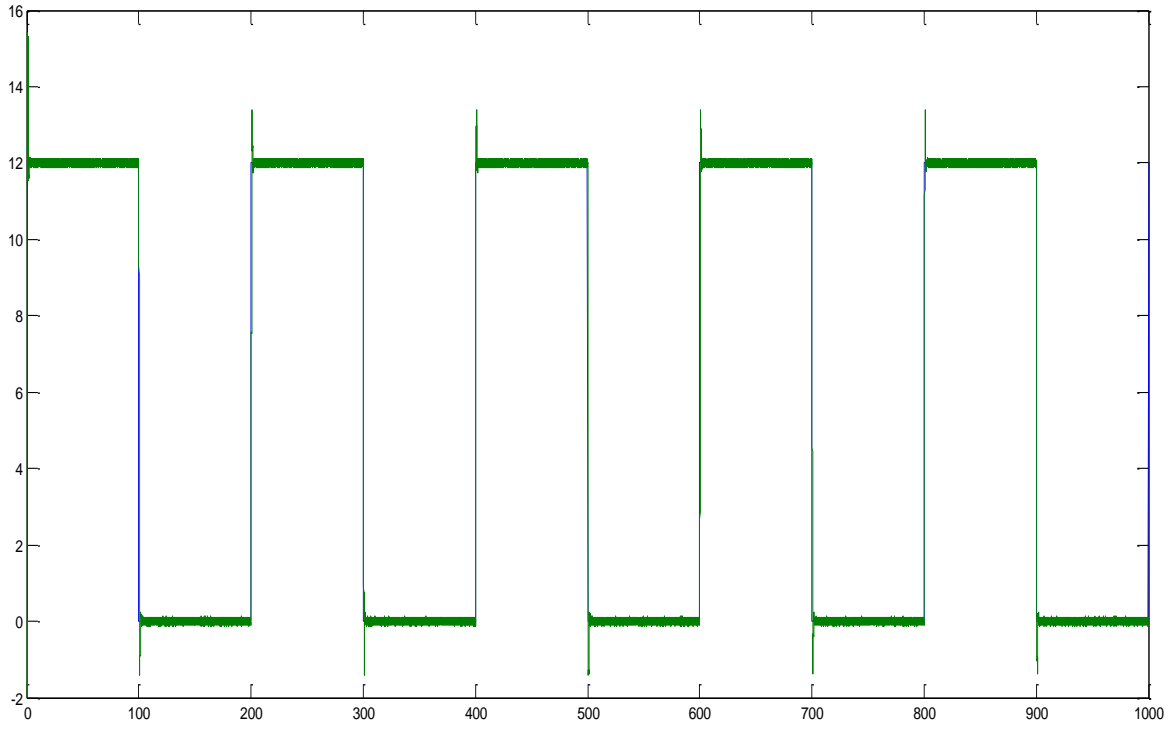
$G(s) = \frac{3}{(s+2.5)(s+2)(s+0.2)}$ olarak oluşturulmuştur. Denklem sistemi için MATLAB üzerinden hesaplanan kestirim sonucu oluşturulan denklem sistemi,

$G(s) = \frac{3}{1.24 s^3 + 4.98 s^2 + 5.95 s + 1}$ olarak tanımlanmıştır. Denetleç,

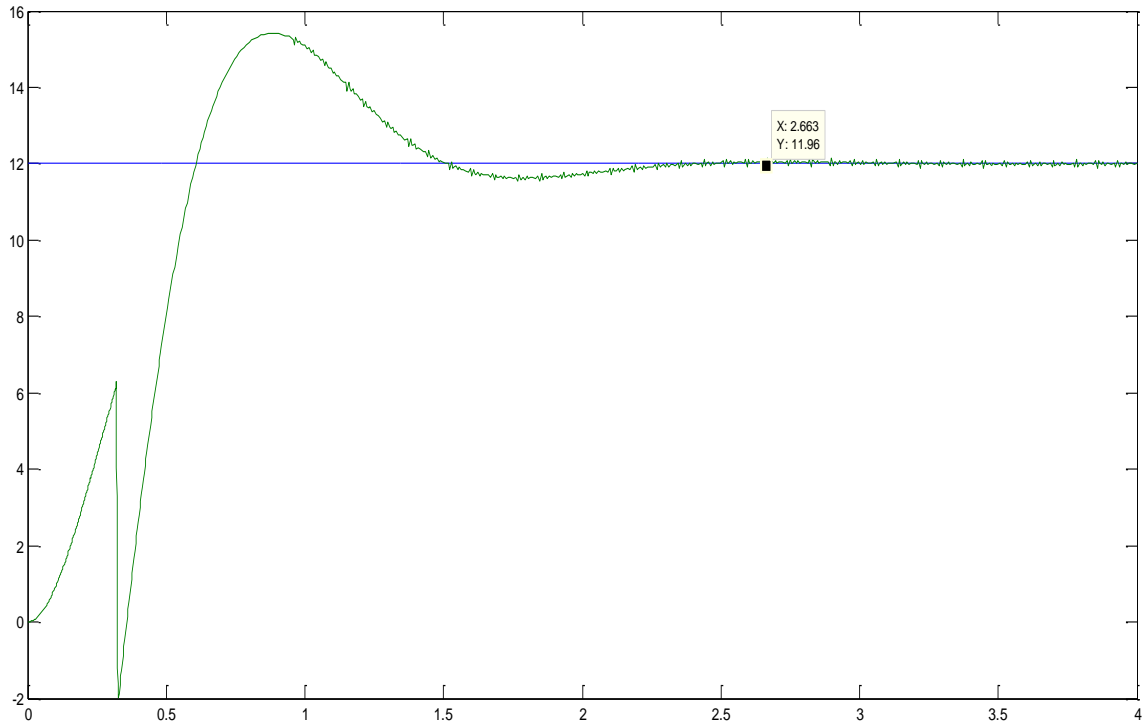
$C(s) = \frac{138.55 s^2 + 1115.66 s + 4133.33}{s}$ olarak tanımlanırken, sistem için tasarım aşamalarında belirtildiği üzere aktarım işlevinin fazladan sıfırlara sahip olamaması için hesaplanan önsüzgeç;

$P(s) = \frac{29.83}{s^2 + 8.05 s + 29.83}$ olarak belirlenmiştir.

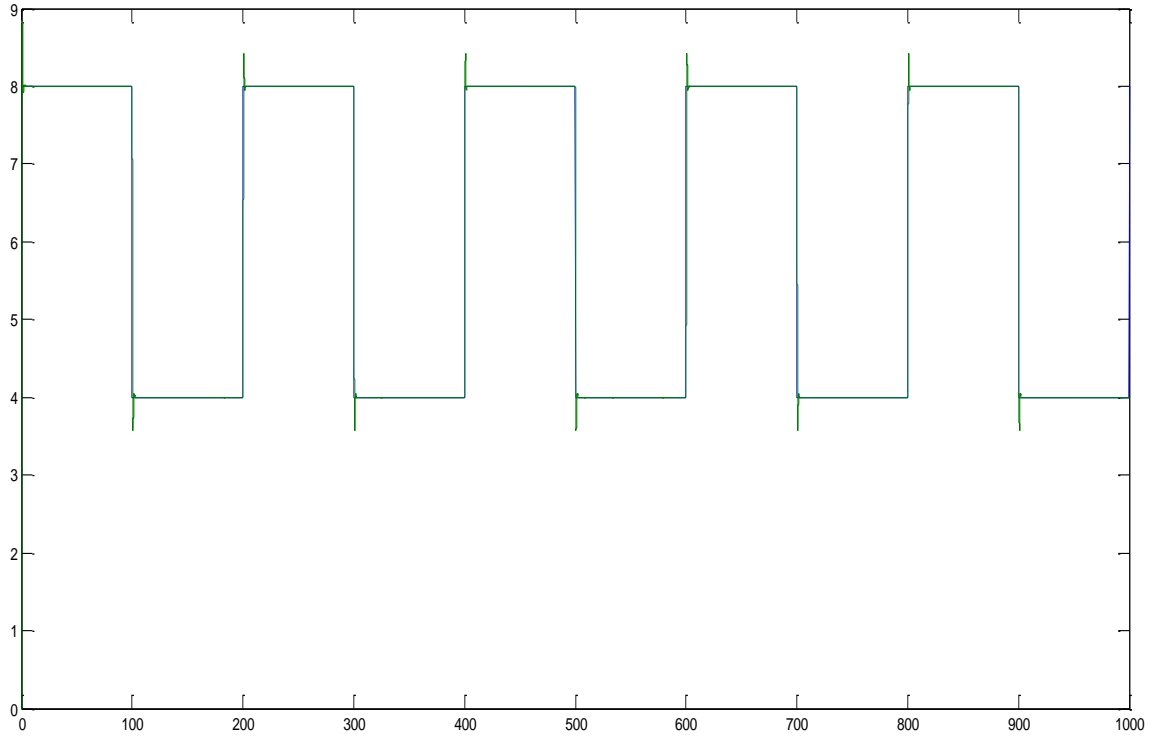
Belirlenenler çerçevesinde sistem SIMULINK üzerinde tasarlanarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



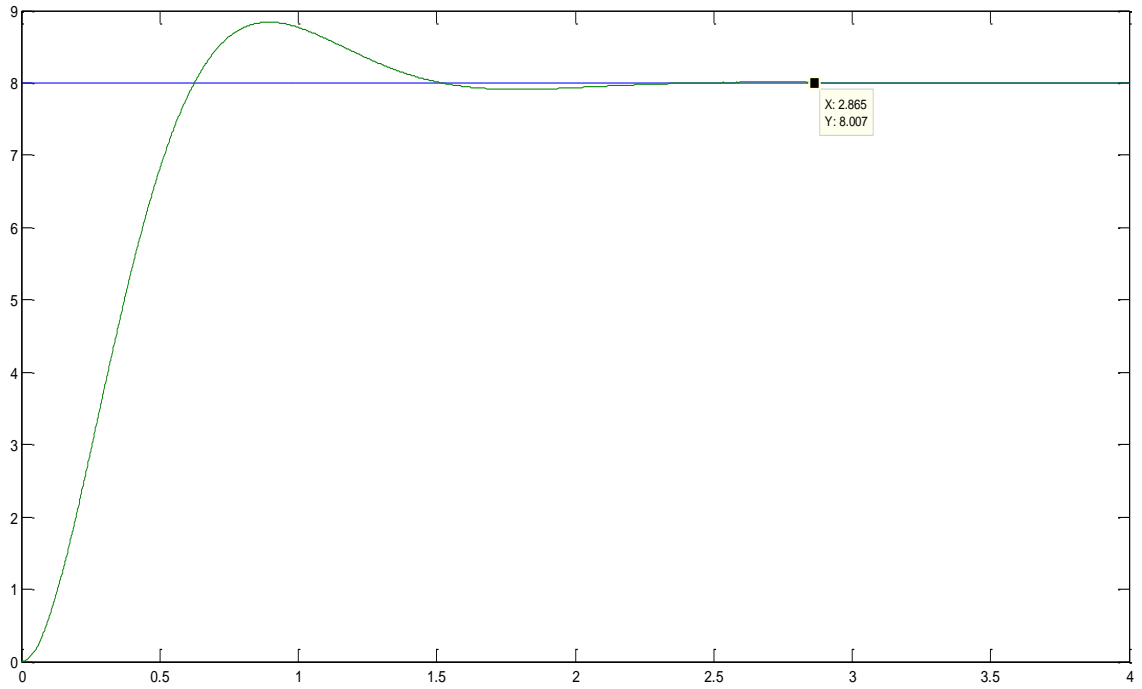
Şekil 5.2.43 0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



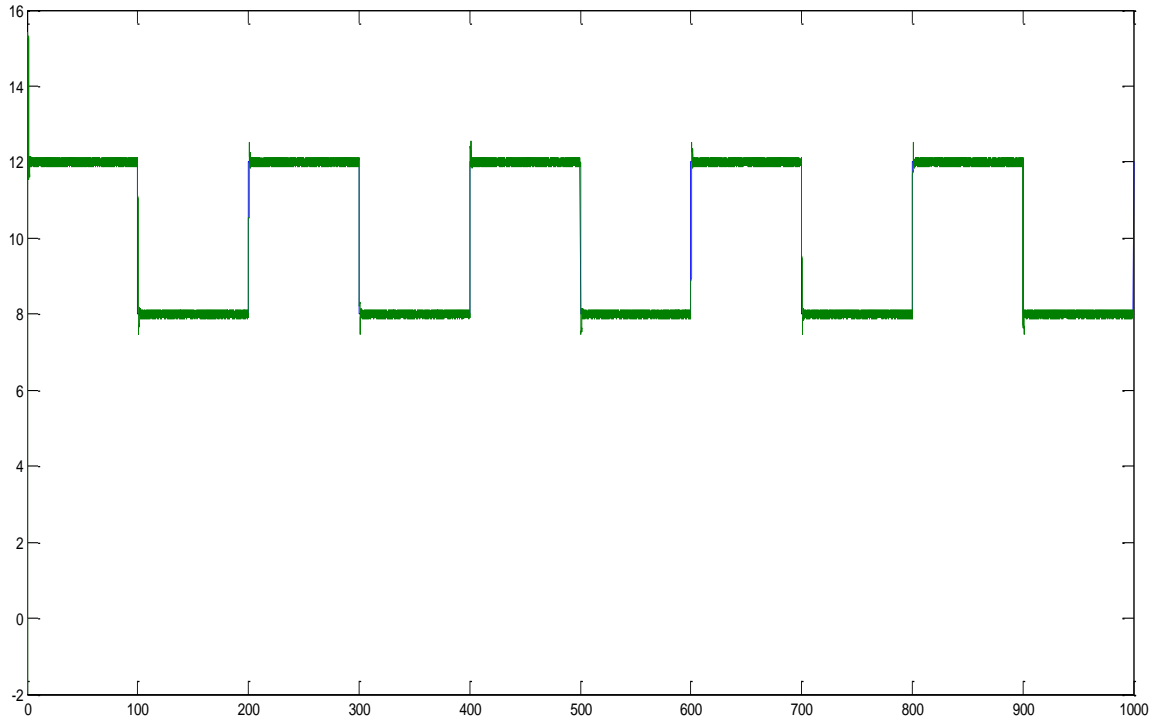
Şekil 5.2.44 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı ($T_s=2.66$ sn.)



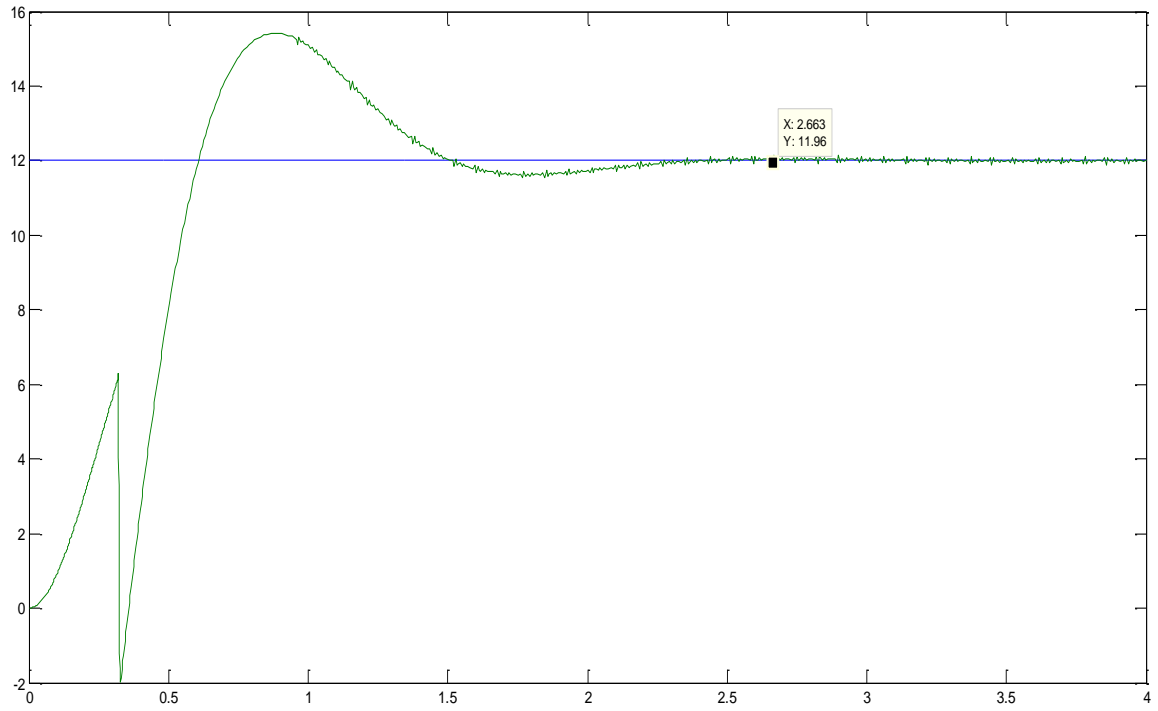
Şekil 5.2.45 4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



Şekil 5.2.46 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı ($T_s=2.87$ sn.)



Şekil 5.2.47 8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



Şekil 5.2.48 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı ($T_s=2.66$ sn.)

K=3 a=3 b=2 c=0.25 olarak belirlenmiştir. Bu çerçevede oluşturulan denklem sistemi

$$G(s) = \frac{3}{(s+3)(s+2)(s+0.25)}$$

olarak oluşturulmuştur. Denklem sistemi için MATLAB

üzerinden hesaplanan kestirim sonucu oluşturulan denklem sistemi,

$$G(s) = \frac{2}{0.84 s^3 + 3.73 s^2 + 4.88 s + 1.5}$$

olarak tanımlanmıştır. Denetleç,

$$C(s) = \frac{140.36 s^2 + 1133.25 s + 4200}{s}$$

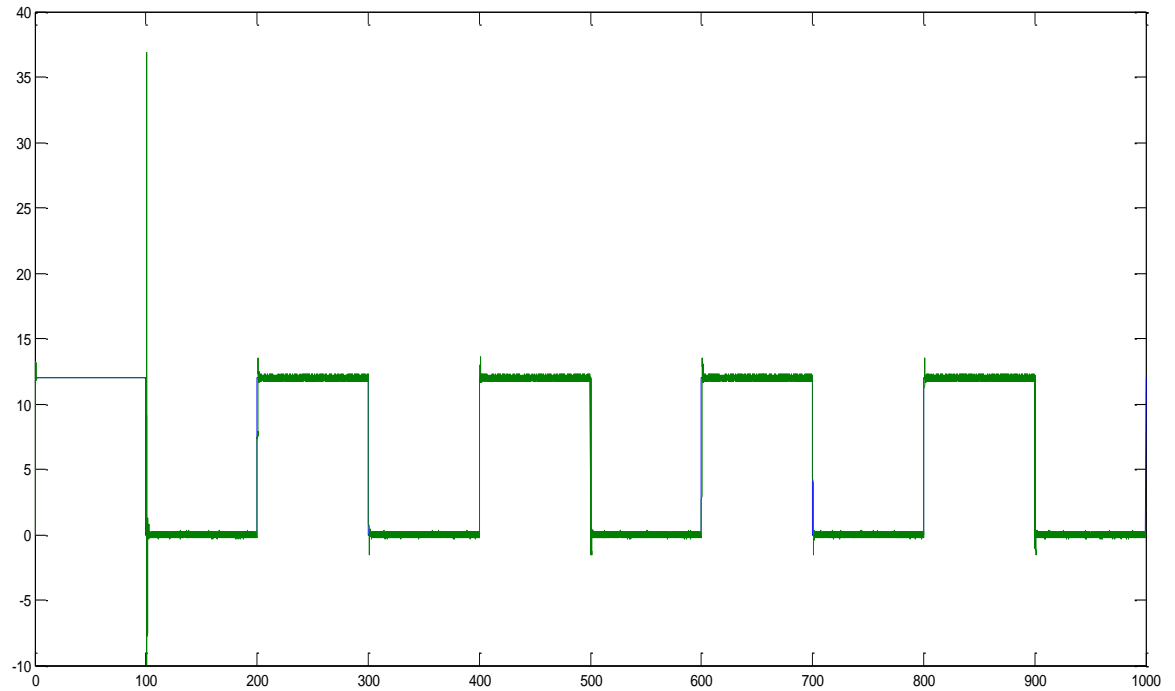
olarak tanımlanırken, sistem için tasarım

aşamalarında belirtildiği üzere aktarım işlevinin fazladan sıfırlara sahip olamaması için hesaplanan önsüzgeç;

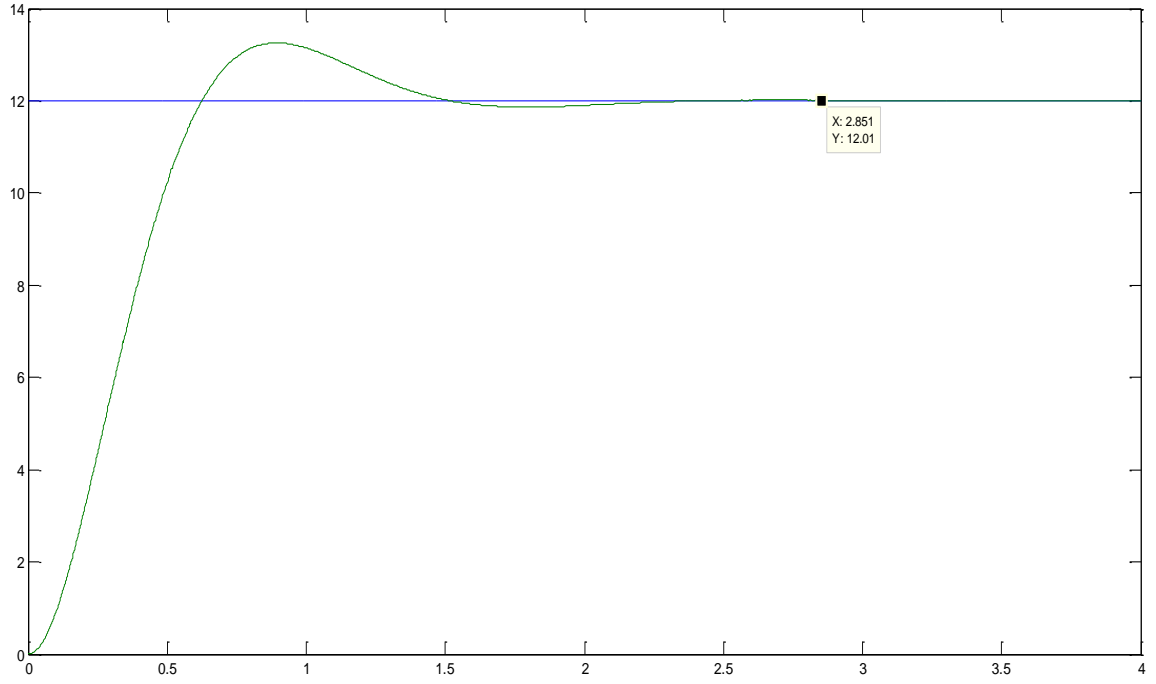
$$P(s) = \frac{29.92}{s^2 + 8.07 s + 29.92}$$

olarak belirlenmiştir.

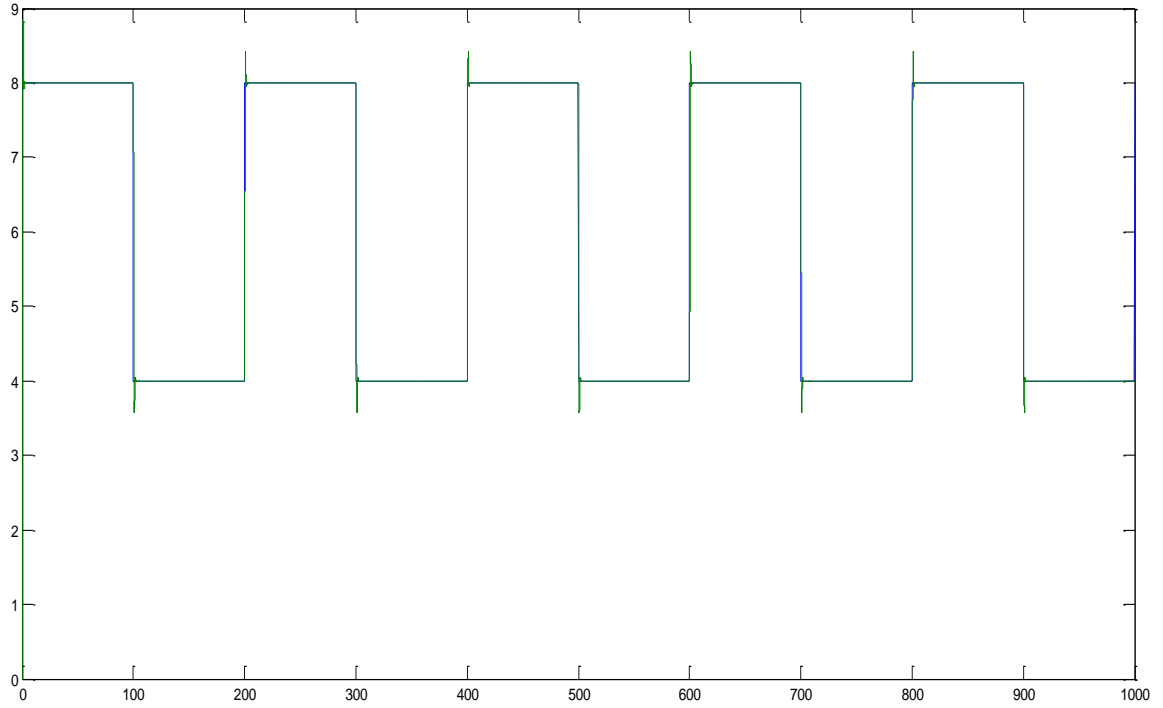
Belirlenenler çerçevesinde sistem SIMULINK üzerinde tasarlanarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



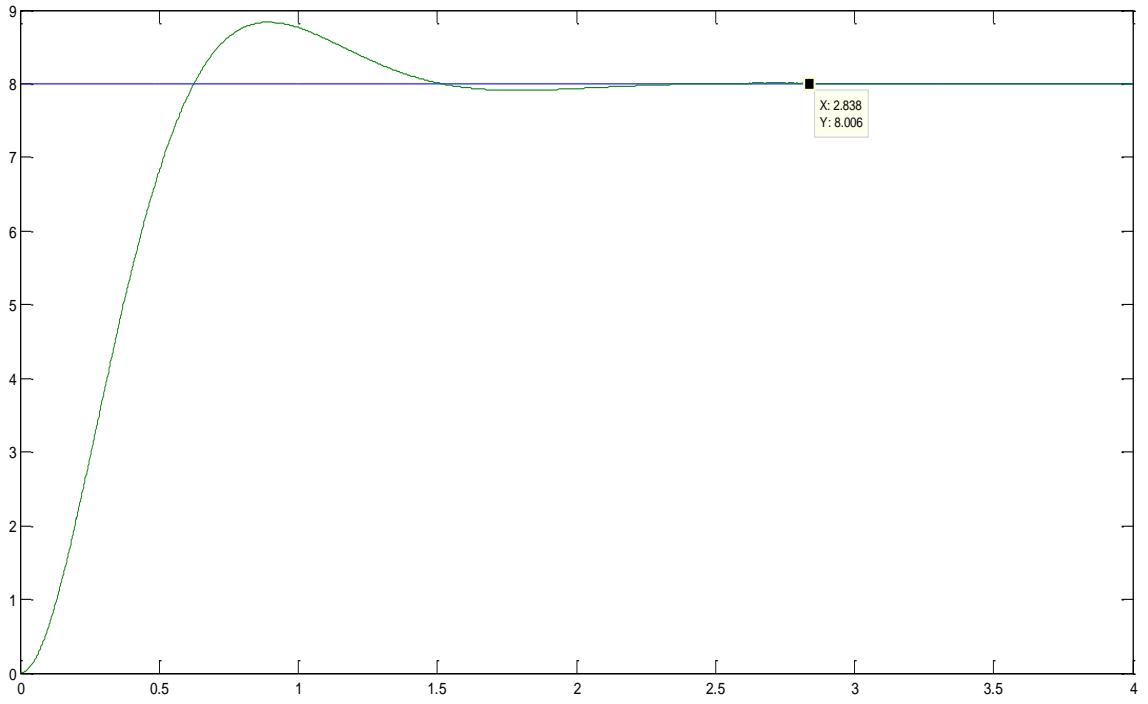
Şekil 5.2.49 0-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



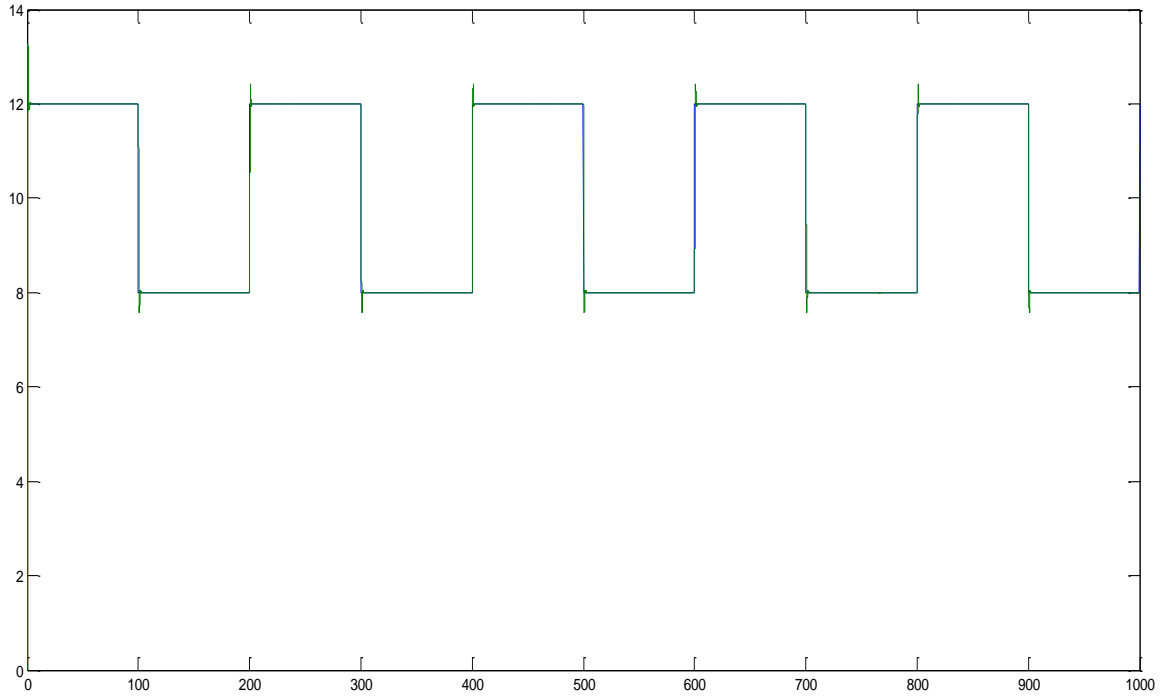
Şekil 5.2.50 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı
($T_s=2.85$ sn.)



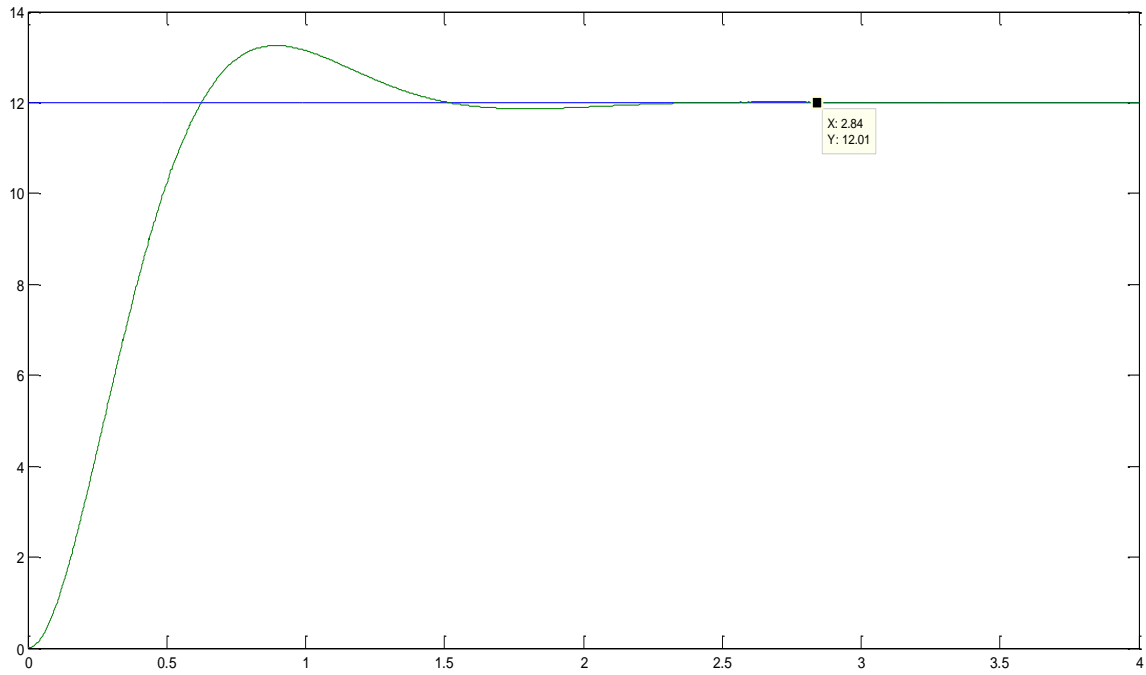
Şekil 5.2.51 4-8 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte
Gösterimi



Şekil 5.2.52 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı (Ts=2.83 sn.)



Şekil 5.2.53 8-12 cm için Dayanıklı PID Denetim Giriş-Çıkış Sinyali Birlikte Gösterimi



Şekil 5.2.54 Dayanıklı PID Denetim Uygulanan Sistemin Durulma Zamanı (Ts=2.84 sn.)

5.2.3 K=3 için Benzetim Sonuçları

K=3 için seçilen a, b ve c değerleri	<i>a= 1 b=1.5 c= 0.3</i>	<i>a= 2.5 b=2 c=0.2</i>	<i>a= 3 b=2 c=0.25</i>
h=0.1 için kestirilen A₀, A₁, A₂ ve B₀ değerleri	<i>A₀=2.54 A₁=6.45 A₂=5.05 B₀=6.66</i>	<i>A₀=1.24 A₁= 4.98 A₂=5.95 B₀=3</i>	<i>A₀=0.85 A₁=3.73 A₂=4.88 B₀=1.33</i>
Dayanıklı PID denetleç değerleri	<i>K_p= 1029.66 K_i= 3848.48 K_d= 128.91</i>	<i>K_p= 1115.66 K_i= 4133.33 K_d= 138.55</i>	<i>K_p= 1724.43 K_i= 6390.97 K_d= 213.62</i>
Yüzde aşım (%)	<i>0-12 cm= %10.83 4-8 cm= %10.75 8-12cm= %10.83</i>	<i>0-12 cm= %28.33 4-8 cm= %10.5 8-12cm= %28.41</i>	<i>0-12 cm= %10.41 4-8 cm= %10.37 8-12cm= %10.41</i>
Durulma Zamanı (T_s)	<i>0-12 cm=2.92 sn. 4-8 cm= 2.90 sn. 8-12cm=2.93 sn.</i>	<i>0-12 cm= 2.66 sn. 4-8 cm= 2.87 sn. 8-12 cm= 2.66 sn.</i>	<i>0-12 cm= 2.85 sn. 4-8 cm= 2.83 sn. 8-12cm= 2.84 sn.</i>
Kalıcı Durum Hatası	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>

K=3 için ve seçilen değerler üzerinden yapılan dayanıklı PID uygulamasında, yüzde aşım değerleri tasarım ölçütlerinden belirlenen %4'lük yüzde aşım değeri sağlanamamıştır. Yüzde aşım değeri sistem kararlı hale geçtikten sonra da çıkış sinyalinde yüzde aşım olduğu görülmüştür ancak bu değerler istenilen %4'lük ölçütün altında kalmıştır. Bununla beraber durulma zamanı için belirlenen $T_s < 3$ sn. sağlanmıştır. K=2, a=2.5, b=2 c=0.2 için 4-8 cm ve 8-12 cm için alınan sistem çıkışlarında yükselme zamanı için geçen sürede salınımların olduğu gözlenmiştir. Ancak bu salınımlar istenilen durulma zamanı değerinin sağlanmasını engellememiştir.

Sistem kararlı hale geçtikten sonraki davranışında, sistem çıkışından alınan sinyal üzerinde küçük salınımlar gözlemlenmiştir. Ancak bu durum sinyal üzerinde küçük boyutta olmasından dolayı sistemin kararlılığına etki etmediği gözlemlenmiştir.

Üç bölmeli su tankı dayanıklı PID sistem denetiminde, tüm K değerleri içerisinde K=3 için gözlemlenen 0-12cm, 4-8 cm ve 8-12 cm sistem çıkışlarında K=1 ve K=2 için gözlemlenen sistem çıkışlarına göre daha iyi sonuçlar alınmıştır. Dayanıklı PID denetiminin üç bölmeli su tankına uygulanmasında başarımlar sağlanmıştır.

6 SONUÇ

Bu tezde genel belirsizlik yapısına sahip su tankı sistemlerinin dayanıklı denetimi ile ilgili çalışma yapılmıştır. Su tankı sistemleri fiziksel yapıları gereği temelde doğrusal olmayan sistemlerdir. Bu yapıların denetlenmesi için bir doğrusal açık döngü aktarım işlevi seçilmiştir. Bu aktarım işlevinin parametreleri belirli aralıklarda değişen bağımsız belirsizlik yapısı çerçevesinde belirlenmiştir. Belirlenen parametre aralıkları ile aktarım işlevinin kutuplarının sol yarı düzlemde olması sağlanmış, böylece sistemin açık döngü aktarım işlevi kararlı yapıya sahip olmuştur.

Bu çalışmada söz konusu açık döngü aktarım işlevi iki bölmeli ve üç bölmeli su tankı sistemleri için sistem tek girişli tek çıkışlı ikinci ve üçüncü dereceden sistem olarak düşünülmüştür. İkinci ve üçüncü dereceden iki farklı aktarım işlevi seçilmiştir.

Seçilen aktarım işlevi SZÖEKK algoritması çerçevesinde sistem kestirimi yapılmıştır. Kestirim işleminde örnekleme sıklığı küçük seçilerek sistemin tanımlanması gerçekleştirilmiştir. Kestirim sonucu oluşan hata değerinin küçük olması sağlanarak gerçeğe yakın değerlere sistem kestiriminin yapılması hedeflenmiştir.

Su tankı sistemlerinin dayanıklı denetim sistem tasarımı için aktarım işlevinin belirli aralıklara sahip parametreleri üzerinden gerçekleştirilen kestirim sonucu elde edilen aktarım işlevlerini kullanarak Zaman Çarpanlı Mutlak Hatanın Tümleniği üzerinden dayanıklı PID denetleç tasarımı yapılmıştır. Tasarım gereği olarak sisteme bir önsüzgeç ilavesi yapılmış ve sistemin sınırları yok edilmiştir.

Yapılan tasarım SIMULINK üzerinden uygulama ile benzetim sonuçları ile gözlemlenmiştir. Yapılan tasarımda su tankı sistemlerinin ideal koşullarda çalıştığı kabul edilmiştir. Bu çerçevede, sisteme basılan su hacmi ile suyu basacak olan su motoruna uygulanan gerilim aynı kabul edilmiştir.

Benzetim sonuçlarında, ikinci dereceden sistemde sistemin tasarım temelleri çerçevesinde hareket etmiş ve istenilen sonuçlar alınmıştır. Değişken parametreler üzerinden üçüncü dereceden sistemde benzer sonuçlar alınmıştır. Ancak üçüncü derecen sistem uygulamasında, sistemin kararlı hale geçmesinde, istenilen sonuçlar elde edilmesine rağmen özellikle sistem kararlı hale geçerken yüzde aşım oranı tasarım temeline göre fazlalık göstermiştir. Ayrıca, üçüncü dereceden sistemde, sistemin çalışmasına zarar vermeyecek kararlılığı etkilemeyecek salınımlar gözlenmiştir. İki bölmeli su tankı için dayanıklı PID uygulamasının tasarım temelleri olarak belirlenen değerlere ulaşması ve sistemde küçük kabul edilebilecek salınımların görülmemesi nedeniyle üç bölmeli su tankına göre daha iyi başarımla gözlemlenmiştir. Her iki sistem karşılaştırıldığında sistemlerde bölme sayının artması ile kararlılığa etki etmeyen salınımların oluştuğu ve durulma zamanının yükseldiği tespit edilmiştir.

Her iki sistem üzerinde uygulanan dayanıklı PID sisteme verilen kare dalga ile benzer sonucu vermiştir ve başarımla gerçekleşmiştir. Sistemin farklı parametre değerlerinde de benzer sonucu vermesinden dolayı dayanıklı PID denetimi ile su tankı denetiminde istenilen sonuç alınmıştır.

Su tankının ideal ortam kabul edilerek söz konusu dayanıklı denetimin yapılması normal koşullarda çalışan su tankı sistemlerinin denetimine katkı sunmaktadır. Çünkü nem, çözelti yoğunluğu, basınç gibi birbirinden bağımsız unsurlar su tankı sistemlerinde çalışma sürecinde önemli etkiye sahip olması kaçınılmaz olacaktır. Bu sebeple belirli aralıkta değişken parametrelere göre benzetim çalışmasının yapılması normal çalışma şartlarına yol göstermektedir.

Bir su tankı sistemine dayanıklı PID uygulamasının yapılması ile değişken fiziksel etkenlerin sisteme yaptıkları etki bertaraf edilmesi mümkün görülmektedir. Özellikle endüstrideki uygulamalarda dayanıklı PID üzerinden kurulacak SCADA veya PLC denetim sistemlerinde iyi uygulama örneği sağlayacaktır. Su tankı sistemi doğrusal olmayan özelliğe sahip olmasına karşın bu çalışmada doğrusal model kullanılmıştır. Bu sebeple ileriye yönelik çalışma olarak doğrusal olmayan denetim düşünülebilir.

KAYNAKLAR LİSTESİ

- [1] Ackerman, J., Robust Control Systems with Uncertain Physical Parameters, Springer-Verlag,1993.
- [2] Aström,K J, Wittenmark, B, Adaptive Control, Addison Wesley,1989.
- [3] Bateson, R. N., Introduction to Control System Technology, 7th Edition,Printice Hall,2002.
- [4] Bequette, B. W., Process Control: Modeling, Design and Simulation, Printice Hall,2003
- [5] Bhattacharyya S.P., Chapellat, Keel L. H.,Robust Control The Parametric Approach,Printice Hall,1995
- [6] Chen, C. T., Control System Design: Transfer Function, State-Space and Algebraic Methods, Sounders-HBJ,1993
- [7] Civan, G., Çokdeğişkenli SUGÖNDE Yönteminin Pratik Bir Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2004.
- [8] D'Azzo, J.J., Houpis, C. H ., Linear Control Systems: Analysis and Design, Mc-Graw Hill,1995.
- [9] Emekli, A. Ö., Çift Tanklı Bir Sıvı Seviye Kontrol Sisteminin Gerçeklenmesi, Yüksek Lisans Tezi , İstanbul Teknik Üniversitesi, 2002
- [10] Daş, E., Genel Belirsizlik Yapısına Sahip Sistemlerin Çözülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara,2004
- [11] Demircioğlu H., Karasu, E., Generalized Predictive Control: A Practical Application and Comprasion of Discrete and Contious Time Versions, IEEE Control Systems Magazine, Ekim 2000.
- [12] Güneş, N. S., Su Tankı Sisteminin İki Serbestlik Dereceli Denetleç İle Denetlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi, Ankara,2008.
- [13] Karasu E., GÖNDE ve SUGÖNDE Denetim Yöntemlerinin Gerçek Bir Sisteme Uygulanması ve Kıyaslanması, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara , 1997.
- [14] Kasap, E., Diofant Denklemleri ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi,1998.
- [15] Kumbay, Ş., Demircioğlu, H. Model Dayanıklı Uyarlamalı Denetim Uygulamaları, TOK 2006 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, Ankara, 2006.

- [16] Küçükkavruk, İ., Sıvı Seviyesinin PLC'de PID Yöntemini Kullanarak Scade Destekli Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2002.
- [17] Ljung, L., System Identification: Theory for User, Printice-Hall, Englewood-Cliffs, New Jersey, 1987.
- [18] Ogata, K., Modern Control Engineering, Printice Hall,1990.
- [19] Özcan, A., OTT Denetleçler İçin Otomatik Ayarlama Teknikleri: Uygulamalı ve Karşılaştırmalı Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara,1998.
- [20] Özmen, A., Belirsiz Yapılı Sistemlerin Dayanıklılık Çözümlemesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniveristesi,2001.
- [21] Peköz, B. D., Dayanıklı Denetim Sistemlerinin Parametre Uzayı Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2001.
- [22] Rojas,I, Anguita,M, Pomares, H., Prieto, A., Analysis and Electronic Implementation of a Fuzzy System for Control of a Liquid Tank, Fuzzy Systems, Proceedings of the 6th IEEE International Conference on , s 1541-1547 vol 3, Spain,1997.
- [23] Skogestad, S., Pstlethwaite, L., Multivariable Feedback Control: Analysis and Design, John Wiley & Sons,1996.
- [24] Söderström, T., Stoica, P., System Identification, Printice Hall,1989
- [25] Toktaş, A., Sistem Tanıma: Gerçek Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe University Faculty of Engineering Publications, 2003
- [26] Uraz, A. Control Systems, , Hacettepe University Faculty of Engineering Lecture Notes, 2003.
- [27] Yavuzılmaz, Ç, Kısıtlımalı SUGÖNDE Yönteminin Pratik Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara 2000
- [28] Zhou, K, Doyle J C, Essentials of Robust Control, Printice Hall,1998.
- [29] Zobar, S., Demircioğlu H., Kutup Atamaya Dayalı Özuyarlamalı Çokdeğişkenli Otüm Denetim, TOK 2006 Otomotik Kontrol Ulusal Toplantısı, Ankara, 2006.

SÖZLÜK

Acceleration	İvme
Adaptive Control	Uyarlamalı Denetim
Asymtotic Tracking	Sonuşur İzleme
Block Diagram	Öbek Çizeneği
Closed Loop Transfer Function	Kapalı Döngü Aktarım İşlevi
Configuraiton	Yapılanış
Control	Denetim
Controller	Denetleç
Cost Function	Maliyet İşlevi
DC Motor	Doğru Akım Motoru
External	Dışsal
Full Row Rank	Tam Satır Kertesi
Function	İşlev
Implementable	Uygulanabilir
Input/Output Feedback	Giriş Çıkış Geri Besleme
Integral	Tümlev
Integral of Absolute Error (IAE)	Tümlenik Mutlak Hata
Integral of Square Error	Tümlenik Kare Hata
Integral of Time Multiplied by Absolute Error (ITAE)	Zaman Çarpanlı Mutlak Hatanın Tümleniği
Integrator	Tümlev Devresi
Internal	İçsel
Internal Model Principle	İçsel Model İlkesi
Internal Stability	İçsel Kararlılık
Level	Düzey
Least Squares	En Küçük Kareler
Model Matching	Model Uyumlama
Offset	Sapma
Open Loop Transfer Fuction	Açık Döngü Aktarım İşlevi
Optimal	En iyi
Percent Overshoot	Yüzde Aşma

Performance	Başarım
Plant	Fiziksel Sistem
Pole Placement	Kutup Yerleştirme
Polynomial	Çok Terimli
Prediction	Öngörü
Predictive Control	Öngörülü Denetim
Ramp	Yokuş
Realizable	Gerçeklenebilir
Recursive Least Squares	Öz Yinelı En Küçük Kareler
Robust	Dayanıklı
Rise Time	Yükselme Zamanı
Self Tunning	Özayarlamalı
Sensor	Algılayıcı
Simulation	Benzetim
Stable	Kararlı
State Variable Filter	Durum Değişkeni Süzgeci
Steady State Error	Kalıcı Durum Hatası
Step	Basamak
System Identification	Sistem Tanıma
Unity Feedback	Birim Geribesleme