

**ORAN TABANLI AKIŞ KONTROLÜ
ALGORİTMALARININ PENCERE TABANLI
ALGORİTMALARA DÖNÜŞTÜRÜLMESİ VE
UYGULANMASI**

Özen YELBAŞI
Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Aralık – 2003

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Özen Yelbaşı'nın Oran Tabanlı Akış Kontrolü Algoritmalarının Pencere Tabanlı Algoritmalara Dönüştürülmesi ve Uygulanması başlıklı **Elektrik-Elektronik Mühendisliği** Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans tezi 23/12/2003 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Prof. Dr. ALTUĞ İFTAR	
Üye	: Prof. Dr. HÜSEYİN AKÇAY	
Üye	: Yrd. Doç. Dr. OSMAN PARLAKTUNA	

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 07.01.2004 tarih ve 1/3.... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Altuğ İFTAR
Fen Bilimleri Enstitüsü
Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ORAN TABANLI AKIŞ KONTROLÜ ALGORİTMALARININ PENCERE TABANLI ALGORİTMALARA DÖNÜŞTÜRÜLMESİ VE UYGULANMASI

ÖZEN YELBAŞI

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Altuğ İFTAR
Aralık 2003, 89 sayfa

Bu tezde yüksek hızlı veri iletişim ağlarında uygulanan oran tabanlı akış kontrol yöntemlerinin pencere (kredi) tabanlı yöntemlere dönüştürülmesi ele alınmıştır. Tek darboğazlı geçide sahip bir sistem için H^∞ yaklaşımı kullanılarak tasarlanmış oran tabanlı gürbüz bir kontrolörden yararlanılmıştır. Bu kontrolörün belirlediği oran bilgilerinin pencere bilgisine çevrilerek kaynaklara geri besleme ile iletildiği bir sistem modeli oluşturulmuştur. İletim süresince verilerin maruz kalacakları gecikmeler ve bu gecikmelerdeki belirsizlikler dikkate alınarak sistemin belirsizlik modeli elde edilmiştir. Kaynakların veri gönderme oranlarının verilerin pencere büyüklüğü kontrol edilerek dolaylı yoldan kontrolünü sağlayan algoritmalar geliştirilmiştir. Simulink (MATLAB) benzetim programında hazırlanan benzetimlerle sistemin zaman-bölgesi performansı incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Veri iletişim ağları, zaman gecikmeli sistemler, H^∞ kontrol, oran tabanlı akış kontrolü, pencere tabanlı akış kontrolü

ABSTRACT

Master of Science Thesis

CONVERSION OF RATE BASED FLOW CONTROL ALGORITHMS TO WINDOW BASED ALGORITHMS

ÖZEN YELBAŞI

**Anadolu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electrical and Electronics Engineering Program**

**Supervisor: Prof. Altuğ İFTAR
December 2003, 89 pages**

In this thesis, the conversion of rate based flow control algorithms used in high-speed data communication networks to window (credit) based algorithms is studied. A rate based robust flow controller, designed using the H^∞ approach, for a single-bottleneck network is considered. A feedback system model is developed in order to convert the rates, computed by this controller to window sizes and to transmit the window sizes to the sources. The uncertainty model of the system is developed by using the time delay uncertainties. Algorithms are developed so that the sending rates are indirectly controlled by the control of the window sizes. Time-domain behaviour of the system is observed by performing simulations in Simulink (MATLAB).

Keywords: Data communication networks, time-delay systems, H^∞ control, rate based flow control, window based flow control

TEŞEKKÜR

Bu alıŐma sırasında bilgisi, özverisi ve azmi ile beni destekleyen Prof. Dr. Altuğ İFTAR'a sonsuz teŐekkürlerimi sunuyorum.

Aile fertlerime beni yüreklendirdikleri, destekleriyle hep yanımda olduklarını hissettirdikleri için çok teŐekkürler...

Bu çalışmada yeralan oran tabanlı akış kontrol uygulamaları için [8]'de kullanılmıŐ olan programlar temel alınmıştır. Pencere tabanlı kontrol uygulamaları için de amaca uygun olarak benzer programlar oluşturulmuştur.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. MATEMATİKSEL MODEL	3
2.1. Toplam Gecikme Süresinin Öngörülen Değeri için Toplam Gecikme Süresinin Nominal Değeri Kullanıldığında Matematiksel Modelin Elde Edilişi	5
2.2. Toplam Gecikme Süresinin Öngörülen Değeri için Tıkalı Geçitte Ölçülen Toplam Gecikme Süresi Kullanıldığında Matematiksel Modelin Elde Edilişi	11
2.3. Yapay Sistem Modelinin Elde Edilişi	14
3. SİMULASYON SONUÇLARI	18
4. SONUÇ	82
KAYNAKLAR	83
EKLER	84
EK 1 Geri besleme kontrol sisteminin Simulink'te oluşturulan modeli	85
EK 2 H^∞ tabanlı gürbüz kontrolörün Simulink'te oluşturulan modeli	86
EK 3 $w_i(t) = h_i r_i(t)$ ile ifade edilen veri iletim oranından pencere boyutuna dönüşüm işleminin Simulink'te oluşturulan modeli	87

- EK 4 $w_i(t) = \tau_i^{c1}(t) r_i(t)$ ile ifade edilen veri iletim oranından pencere boyutuna dönüşüm işleminin Simulink'te oluşturulan modeli88
- EK 5 $r_i^s(t) = 1/\tau_i^f(t) * w_i^s(t)$ ile ifade edilen pencere boyutundan veri iletim oranına dönüşüm işleminin Simulink'te oluşturulan modeli89

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1. Geri besleme kontrol sistemi	4
2.2. $\tau_i^c(t) = h_i$ eşitliği kullanıldığında elde edilen belirsizlik modeli.....	8
2.3. $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliği kullanıldığında elde edilen belirsizlik modeli	14
2.4. Yapay sistem.....	15
2.5. Kontrolörün yapısı	17
3.1. Durum 1 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$	25
3.2. Durum 1 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$	25
3.3. Durum 1 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^s(t)$	26
3.4. Durum 1 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$	26
3.5. Durum 1 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen pencere boyutları, $w_i^s(t)$	27
3.6. Durum 2 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$	28
3.7. Durum 2 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$	28
3.8. Durum 2 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^s(t)$	29
3.9. Durum 2 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$	29
3.10. Durum 2 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen pencere boyutları, $w_i^s(t)$	30

3.11. Durum 3 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$	31
3.12. Durum 3 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$	31
3.13. Durum 3 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^s(t)$	32
3.14. Durum 3 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$	32
3.15. Durum 3 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen pencere boyutları, $w_i^s(t)$	33
3.16. Durum 4 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$	34
3.17. Durum 4 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$	34
3.18. Durum 4 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^s(t)$	35
3.19. Durum 4 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$	35
3.20. Durum 4 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen pencere boyutları, $w_i^s(t)$	36
3.21. Durum 5 için (a) darboğazlı geçidin veri iletim kapasitesinin zamana bağlı değişim grafiği; pencere tabanlı akış kontrolünde (b) $\tau_i^c(t) = h_i$, (c) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$	37
3.22. Durum 5 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$	37
3.23. Durum 5 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^s(t)$	38
3.24. Durum 5 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$	38

3.25. Durum 5 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen pencere boyutları, $w_i^s(t)$	39
3.26. Durum 6 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$	40
3.27. Durum 6 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$	40
3.28. Durum 6 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^s(t)$	41
3.29. Durum 6 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$	41
3.30. Durum 6 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen pencere boyutları, $w_i^s(t)$	42
3.31. Durum 7 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$	43
3.32. Durum 7 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$	43
3.33. Durum 7 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^s(t)$	44
3.34. Durum 7 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$	44
3.35. Durum 7 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen pencere boyutları, $w_i^s(t)$	45
3.36. Durum 8 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$	46
3.37. Durum 8 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$	46
3.38. Durum 8 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^s(t)$	47

3.39. Durum 8 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$	47
3.40. Durum 8 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen pencere boyutları, $w_i^s(t)$	48
3.41. Durum 9 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$	49
3.42. Durum 9 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$	49
3.43. Durum 9 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^s(t)$	50
3.44. Durum 9 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$	50
3.45. Durum 9 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen pencere boyutları, $w_i^s(t)$	51
3.46. Durum 10 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$	52
3.47. Durum 10 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$	52
3.48. Durum 10 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^s(t)$	53
3.49. Durum 10 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$	53
3.50. Durum 10 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen pencere boyutları, $w_i^s(t)$	54
3.51. Durum 11 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$	55
3.52. Durum 11 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$	55

- 3.53. Durum 11 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$,
 (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri
 iletim oranları, $r_i^s(t)$ 56
- 3.54. Durum 11 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$ 56
- 3.55. Durum 11 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$,
 (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen pencere
 boyutları, $w_i^s(t)$ 57
- 3.56. Durum 12 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$,
 (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk
 uzunluğu, $q(t)$ 58
- 3.57. Durum 12 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$ 58
- 3.58. Durum 12 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$,
 (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri
 iletim oranları, $r_i^s(t)$ 59
- 3.59. Durum 12 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$ 59
- 3.60. Durum 12 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$,
 (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen pencere
 boyutları, $w_i^s(t)$ 60
- 3.61. Durum 13 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$,
 (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk
 uzunluğu, $q(t)$ 61
- 3.62. Durum 13 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$ 61
- 3.63. Durum 13 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$,
 (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri
 iletim oranları, $r_i^s(t)$ 62
- 3.64. Durum 13 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$ 62
- 3.65. Durum 13 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$,
 (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen pencere
 boyutları, $w_i^s(t)$ 63
- 3.66. Durum 14 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$,
 (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk
 uzunluğu, $q(t)$ 64

3.67. Durum 14 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$	64
3.68. Durum 14 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^s(t)$	65
3.69. Durum 14 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$	65
3.70. Durum 14 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen pencere boyutları, $w_i^s(t)$	66
3.71. Durum 15 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$	67
3.72. Durum 15 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$	67
3.73. Durum 15 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^s(t)$	68
3.74. Durum 15 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$	68
3.75. Durum 15 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen pencere boyutları, $w_i^s(t)$	69
3.76. Durum 16 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$	70
3.77. Durum 16 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$	70
3.78. Durum 16 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^s(t)$	71
3.79. Durum 16 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$	71
3.80. Durum 16 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen pencere boyutları, $w_i^s(t)$	72

- 3.81. Durum 17 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$,
 (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$ 73
- 3.82. Durum 17 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$ 73
- 3.83. Durum 17 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$,
 (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^s(t)$ 74
- 3.84. Durum 17 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$ 74
- 3.85. Durum 17 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$,
 (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen pencere boyutları, $w_i^s(t)$ 75
- 3.86. Durum 18 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$,
 (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$ 76
- 3.87. Durum 18 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$ 76
- 3.88. Durum 18 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$,
 (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^s(t)$ 77
- 3.89. Durum 18 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$ 77
- 3.90. Durum 18 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$,
 (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen pencere boyutları, $w_i^s(t)$ 78
- 3.91. Durum 19 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$,
 (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$ 79
- 3.92. Durum 19 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$ 79
- 3.93. Durum 19 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$,
 (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^s(t)$ 80
- 3.94. Durum 19 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$ 80
- 3.95. Durum 19 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$,
 (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen pencere boyutları, $w_i^s(t)$ 81

ÇİZELGELER DİZİNİ

3.1. Durum 1 için simülasyon ve tasarım parametreleri.....	22
3.2. Durum 2 için simülasyon ve tasarım parametreleri.....	22
3.3. Durum 3 için simülasyon ve tasarım parametreleri.....	22
3.4. Durum 4 ve 5 için simülasyon ve tasarım parametreleri	22
3.5. Durum 6 için simülasyon ve tasarım parametreleri.....	22
3.6. Durum 7 için simülasyon ve tasarım parametreleri.....	22
3.7. Durum 8, 9, 10 için simülasyon ve tasarım parametreleri	23
3.8. Durum 9 için pencere tabanlı akış kontrolünde pencere sınır değerleri	23
3.9. Durum 9 için oran tabanlı akış kontrolünde veri iletim oranlarının sınır değerleri	23
3.10. Durum 11 için simülasyon ve tasarım parametreleri	23
3.11. Pencere tabanlı akış kontrolünde $\tau_i^c(t) = h_i$ için γ_i değerleri	23
3.12. Pencere tabanlı akış kontrolünde $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ için γ_i değerleri	24
3.13. Oran tabanlı akış kontrolünde γ_i değerleri	24

1. GİRİŞ

Asenkron Transfer Modu (Asynchronous Transfer Mode, ATM), sabit bantgenişliği servisleriyle yüksek oranda değişken bantgenişliği servislerini tek bir entegre ortam içinde aynı anda destekleyebilen ilk anahtarlama teknolojisidir [1]. ATM ağları dört tür servis sağlar: sabit bit oranı (constant bit rate, CBR), değişken bit oranı (variable bit rate, VBR), kullanılabilir bit oranı (available bit rate, ABR) ve nitelendirilmemiş bit oranı (unspecified bit rate, UBR). Bir iletim hattının bantgenişliği öncelikle VBR ve CBR sınıfları arasında paylaştırılır. Arta kalan bantgenişliği de ABR ve UBR trafiklerince kullanılır. ABR servisi ATM zerindeki veri uygulamalarını desteklemek üzere geliştirilmiştir. ABR mekanizması, kullanımına sunulan bantgenişliğini aktif ABR kaynakları arasında paylaştırır [2].

Bir iletim ağında ABR trafiğinin desteklenebilmesi için geribesleme mekanizmasına ihtiyaç vardır. Geri besleme mekanizmasına dayalı iki temel akış kontrol yöntemi bulunmaktadır: oran tabanlı akış kontrolü ve pencere tabanlı akış kontrolü. Yapılan simulasyon, analiz ve deneyler göstermiştir ki çeşitli trafik biçimleri için kredi (pencere) kontrolü iletim hatlarının verimli kullanılmasını ve gecikmelerin en aza indirilmesini sağlar, tıkanıklık kaynaklı veri kayıplarının oluşumunu engeller. Kredi sistemi özellikle yoğunluğunda ani ve beklenmeyen değişimler yaşanan ve gecikmelere toleransı az olan veri trafiklerine uyumludur. Oran tabanlı akış kontrol yöntemi ise en iyi sonucu düzenli veri akışı olan ağlarda vermektedir [3]. Oran tabanlı kontrol ATM topluluğu (ATM forum) tarafından ATM ağları için standart akış kontrolü olarak seçilmiştir [4].

Oran tabanlı akış kontrolü yönteminde veri kaynaklarına geribesleme bilgisi olarak iletilecek veri oranı gönderilmektedir, pencere tabanlı yöntemde ise kaynağa kullandığı hatlar üzerinde kullanılabilir durumdaki ara bellek alanlarıyla ilgili bilgi gönderilmektedir [1].

Tıkanıklık (congestion) kontrolü bir ağa ait kaynakların bağlantılar arasında adil ve verimli olarak paylaşımını sağlar [3]. Veri paketlerinde kayıplar iki Şekilde gerçekleşir: iletim sırasında oluşan kayıplar; ağdaki tıkanıklık ve iletim hattı üzerindeki ara bellek kapasitesinin yetersiz oluşu nedeniyle yaşanan kayıplar [5]. Tıkanıklık kontrol mekanizmalarının tıkanıklık kaynaklı veri kayıp oranını mümkün olan en düşük seviyede tutması tercih edilir. Paket kaybı ne kadar az olursa iletim oranı da o kadar iyi olur [1].

Pencere tabanlı akış kontrolünün kullanımına İnternette bir nakil katmanı (transport layer) protokolü olan İletim Kontrol Protokolü (Transmission Control Protocol, TCP) mekanizması örnek gösterilebilir. TCP güvenilir olmayan bir ağda uçtan uca (end to end) güvenilir bir veri akışı sağlamak üzere tasarlanmış bağlantı tabanlı (connection oriented) bir protokoldür. TCP'de veri iletimi TCP segmentlerine bölünmüş bir bayt-akışı ile sağlanır. İletilen her baytın bir seri numarası vardır ve her TCP segmenti taşıdığı ilk baytın seri numarasıyla tanımlanır. Alıcı ile kaynak arasında bir bağlantı kurulur kurulmaz pencere büyüklüğü alıcı tarafından belirli bir bayt miktarıyla ifade edilir, bu değişken bir büyüklük olup alıcıdan kaynağa gönderilen her yanıt (Acknowledgement, ACK) paketinde yer almaktadır. ACK paketleri alıcıya ulaşan her veri paketinden sonra yayınlanır ve kaynağı alıcıya doğru sıralamayla ve kayıpsız olarak ulaşan paketler konusunda bilgilendirir. Alıcı tarafından gönderilen bir pakete belirli bir süre içinde ACK yanıtı gelmezse veri paketi yeniden gönderilir. TCP'nin internet standardı olarak kabul gören tıkanıklık kontrol algoritmaları vardır. Yavaş başlangıç (slow start), tıkanıklık önleme (congestion avoidance), hızlı yeniden gönderme (fast retransmit), hızlı geri kazanım (fast recovery) olarak adlandırılan bu algoritmalar ve TCP ile ilgili ayrıntılı bilgiye [5,6] kaynaklarından ulaşılabilir.

Bu çalışmada pencere büyüklüğü kavramı ve pencere tabanlı akış kontrol yöntemi üzerinde durulmuştur. Daha önce yapılmış bir çalışmada [7] yüksek hızlı veri iletişim ağlarında akış kontrolü sağlamak üzere tasarlanmış olan oran tabanlı H^∞ gürbüz kontrolör bu çalışmada pencere tabanlı kontrole uygulanmıştır. Verilerin iletim sırasında maruz kaldığı gecikme süreleri dikkate alınmış, buna bağlı olarak veri iletim oranı ile pencere büyüklüğü arasındaki ilişki ortaya konmuştur. İletim ağlarında değişken olan gecikme süresinin ihtiyaç duyulduğu andaki en geçerli değerini bulmak amacıyla çeşitli ortalama değer ve varyans hesaplamaları yapılmaktadır, bu işlemler hakkında ayrıntılı bilgi için [6] incelenebilir. Bu çalışmada birden fazla kaynak tarafından kullanılan tek darboğazlı bir geri besleme kontrol sistemi oluşturulmuş, gecikme sürelerindeki belirsizliklerin etkisi dikkate alınarak sistemin belirsizlik modeli elde edilmiştir. Tanımlanan sistem, oran tabanlı akış kontrolünün uygulandığı geri besleme sistemiyle [7] performans yönünden karşılaştırılmıştır. Bu analiz sırasında MATLAB ve Simulink benzetim programı kullanılmıştır.

2. MATEMATİKSEL MODEL

Geri besleme kontrol sistemi olarak ele alınan yapı Şekil 2.1'de görülmektedir. Bu sistem kontrolörün yer aldığı tek tıklı geçidi besleyen n tane kaynağa sahiptir. Bir t anında geçitte oluşan kuyruğun uzunluğu şu şekilde tanımlanmaktadır [7]:

$$q(t) = \int_0^t \left[\sum_{i=1}^n r_i^b(v) - c(v) \right] dv + q(0) \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte $r_i^b(t)$, t anında i . kaynaktan geçide ulaşan veri oranını; $c(t)$, t anında geçitten dışarı veri akış oranını; $q(0)$ ise başlangıç ($t = 0$) anındaki kuyruk uzunluğunu göstermektedir. Bu modelde ileri ve geri yöndeki zaman gecikmeleri sırasıyla $\tau_i^f(t)$ ve $\tau_i^b(t)$ ile gösterilmektedir. $\tau_i^b(t)$, kontrolörün i . kaynak için veri iletim oranı komutunu göndermesiyle kaynağın pencere boyutunu o oranı sağlayacak büyüklüğe ayarladığı t anına kadarki gecikme süresidir:

$$\tau_i^b(t) = h_i^b + \delta_i^b(t) \quad (2.2)$$

h_i^b , değeri bilinen ve zamanla değişmeyen geri yönde nominal gecikme süresi; $\delta_i^b(t)$ ise değeri zamanla değişen geri yönde gecikme belirsizliğidir. $\tau_i^f(t)$, t anında geçide ulaşan bir verinin kaynak tarafından yayınlanışından geçide ulaşana kadarki gecikme süresidir:

$$\tau_i^f(t) = h_i^f + \delta_i^f(t) \quad (2.3)$$

h_i^f , değeri bilinen ve zamanla değişmeyen ileri yönde nominal gecikme; $\delta_i^f(t)$ ise değeri zamanla değişen ileri yönde gecikme belirsizliğidir. Şekil 2.1'de $w_i(t)$ ile gösterilen pencere boyutu, kaynağın bir toplam gecikme süresi boyunca gönderebileceği veri miktarını ifade etmektedir. Kontrolör tarafından t anında yayınlanan oran bilgisi, $r_i(t)$, ile pencere boyutu arasında,

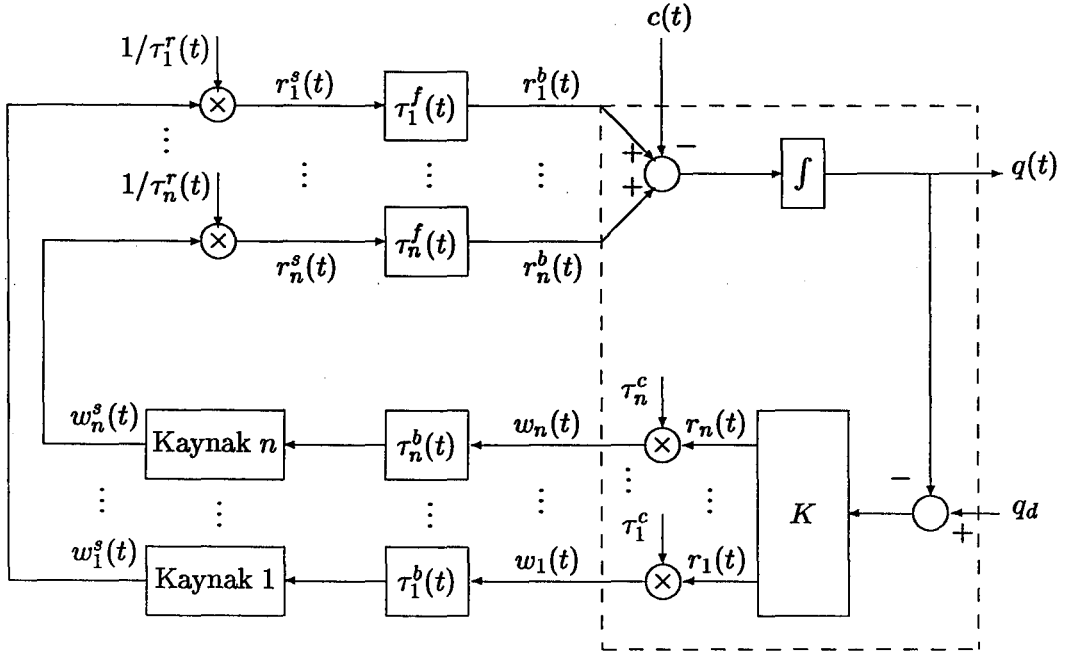
$$w_i(t) = \tau_i^c(t)r_i(t) \quad (2.4)$$

şeklinde bir bağıntı bulunmaktadır. Burada $\tau_i^c(t)$ toplam gecikme süresinin öngörülen değeridir. i . kaynağın verilerine uyguladığı pencere boyutu, $w_i^s(t)$ ile gösterilmektedir:

$$w_i^s(t) = w_i(t - \tau_i^b(t)) \quad (2.5)$$

$w_i^s(t)$ ile t anında i . kaynağın çıkışındaki veri iletim oranı, $r_i^s(t)$, arasında şu şekilde bir ilişki vardır:

$$r_i^s(t) = \frac{w_i^s(t)}{\tau_i^f(t)} \quad (2.6)$$



Şekil 2.1. Geri besleme kontrol sistemi

(2.6)'da $\tau_i^r(t)$ ile gösterilen toplam gecikme süresi, bir t anında kaynağa ulaşan pencere boyutu bilgisinin maruz kalmış olduğu gecikme süresini göstermektedir. Bu süre kaynağın bir veri grubunu gönderiş anından bu verilerin yerine ulaştığına dair bilgilendirilmesine kadar geçen zamandır:

$$\tau_i^r(t) = \tau_i^b(t) + \tau_i^f(t - \tau_i^b(t)) \quad (2.7)$$

Toplam gecikme süresinin nominal değeri h_i ile ifade edilir:

$$h_i = h_i^f + h_i^b \quad (2.8)$$

Toplam gecikme süresindeki belirsizlik ise $\delta_i(t)$ ile ifade edilir:

$$\delta_i(t) = \delta_i^b(t) + \delta_i^f(t - \tau_i^b(t)) \quad (2.9)$$

t anına kadar darboğazlı geçide ulaşan i . kaynağa ait verilerin miktarı şu şekilde hesaplanmaktadır [7]:

$$\int_0^t r_i^b(\varphi) d\varphi = \begin{cases} \int_0^{t-\tau_i^f(t)} r_i^s(\varphi) d\varphi, & t - \tau_i^f(t) \geq 0 \\ 0, & t - \tau_i^f(t) < 0 \end{cases} \quad (2.10)$$

(2.10)'un her iki yanının türevi alındığında $r_i^b(t)$ elde edilir:

$$r_i^b(t) = \begin{cases} (1 - \delta_i^f(t)) r_i^s(t - \tau_i^f(t)), & t - \tau_i^f(t) \geq 0 \\ 0, & t - \tau_i^f(t) < 0 \end{cases} \quad (2.11)$$

Bundan böyle aşağıdaki varsayımların geçerliliği kabul edilecektir [7]:
 $\frac{d}{dt}(t - \tau_i^f(t)) > 0$, $\dot{\tau}_i^f(t) = \delta_i^f(t) < 1$, $|\delta_i(t)| < \delta_i^+$, $0 < \delta_i^+ \leq h_i$; burada δ_i^+ toplam gecikme süresindeki belirsizlik için tanımlanmış olan üst sınırdır.

2.1 Toplam Gecikme Süresinin Öngörülen Değeri için Toplam Gecikme Süresinin Nominal Değeri Kullanıldığında Matematiksel Modelin Elde Edilişi

Bu altbölümdeki işlemler sırasında toplam gecikme süresinin öngörülen değeri, $\tau_i^c(t)$, toplam gecikme süresinin nominal değeri olan h_i 'ye eşit alınacaktır. Buna göre, kaynaktan gönderilen verinin pencere boyutu şu şekilde ifade edilmektedir:

$$w_i^s(t) = w_i(t - \tau_i^b(t)) = h_i r_i(t - \tau_i^b(t)) \quad (2.12)$$

Kuyruk uzunluğu için

$$\begin{aligned} q(t) &= \int_0^t \left[\sum_{i=1}^n r_i^b(v) - c(v) \right] dv + q(0) \\ &= \int_0^t \left[\sum_{i=1}^n (1 - \delta_i^f(v)) r_i^s(v - \tau_i^f(v)) - c(v) \right] dv + q(0) \\ &= \int_0^t \left[\sum_{i=1}^n (1 - \delta_i^f(v)) \frac{h_i r_i(v - \tau_i^f(v) - \tau_i^b(v - \tau_i^f(v)))}{\tau_i^f(v - \tau_i^f(v))} - c(v) \right] dv \\ &\quad + q(0) \end{aligned} \quad (2.13)$$

ve nominal kuyruk uzunluğu için

$$\begin{aligned} q_0(t) &= \int_0^t \left[\sum_{i=1}^n \frac{h_i r_i(v - h_i)}{h_i} - c(v) \right] dv + q(0) \\ &= \int_0^t \left[\sum_{i=1}^n r_i(v - h_i) - c(v) \right] dv + q(0) \end{aligned} \quad (2.14)$$

eşitlikleri elde edilir. İşlemler sırasında

$$r_i^s(t - \tau_i^f(t)) = \frac{h_i r_i(t - \tau_i^f(t) - \tau_i^b(t - \tau_i^f(t)))}{\tau_i^f(t - \tau_i^f(t))} \quad (2.15)$$

eşitliğinden faydalanılmıştır.

Kuyruktaki belirsizlik şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$\begin{aligned}\delta_q(t) &:= q(t) - q_0(t) \\ &= \int_0^t \left[\sum_{i=1}^n (1 - \delta_i^f(v)) \frac{h_i r_i (v - \tau_i^f(v) - \tau_i^b(v - \tau_i^f(v)))}{\tau_i^r (v - \tau_i^f(v))} \right. \\ &\quad \left. - r_i (v - h_i) \right] dv\end{aligned}\quad (2.16)$$

$\delta_i^n(v) := \delta_i^f(v) + \delta_i^b(v - \tau_i^f(v))$ için $\hat{\lambda}_i = v - \tau_i^f(v) - \tau_i^b(v - \tau_i^f(v)) = v - h_i - \delta_i^n(v)$ ve $\hat{f}_i(v) := \hat{\lambda}_i$ tanımlamaları yapılmış olsun. $\left((\hat{f}_i)^{-1}(\hat{\lambda}_i) \right)$ fonksiyonunun var olduğu kabul edilmektedir, aksi takdirde i. kaynak tarafından gönderilen bir verinin dar geçide erişimi bir defadan fazla gerçekleşebilir.) Bunlara bağlı olarak aşağıdaki türev ifadesi elde edilir:

$$\begin{aligned}\frac{d\hat{\lambda}_i}{dv} &= 1 - \frac{d\delta_i^n(v)}{dv} \\ &= 1 - \frac{d\delta_i^f(v)}{dv} - \frac{d\delta_i^b(v - \tau_i^f(v))}{dv} \\ &= 1 - \frac{d\delta_i^f(v)}{dv} - \frac{du}{dv} \frac{d\delta_i^b(u)}{du} \Big|_{u=v-\tau_i^f(v)} \\ &= 1 - \frac{d\delta_i^f(v)}{dv} - \left(1 - \frac{d\delta_i^f(v)}{dv} \right) \frac{d\delta_i^b(u)}{du} \Big|_{u=v-\tau_i^f(v)} \\ &= 1 - \hat{g}_i(\hat{\lambda}_i)\end{aligned}\quad (2.17)$$

$\frac{d\hat{\lambda}_i}{dv} > 0$, $\hat{g}_i(\hat{\lambda}_i) < 1$ eşitsizlikleri sağlanmalıdır.

$$\hat{g}_i(\hat{\lambda}_i) := \frac{d\delta_i^f(v)}{dv} + \left(1 - \frac{d\delta_i^f(v)}{dv} \right) \frac{d\delta_i^b(u)}{du} \Big|_{u=v-\tau_i^f(v)}\quad (2.18)$$

İleri ve geri yöndeki gecikme belirsizliklerinin zamana bağlı değişim oranları için üst sınırlar tanımlanır:

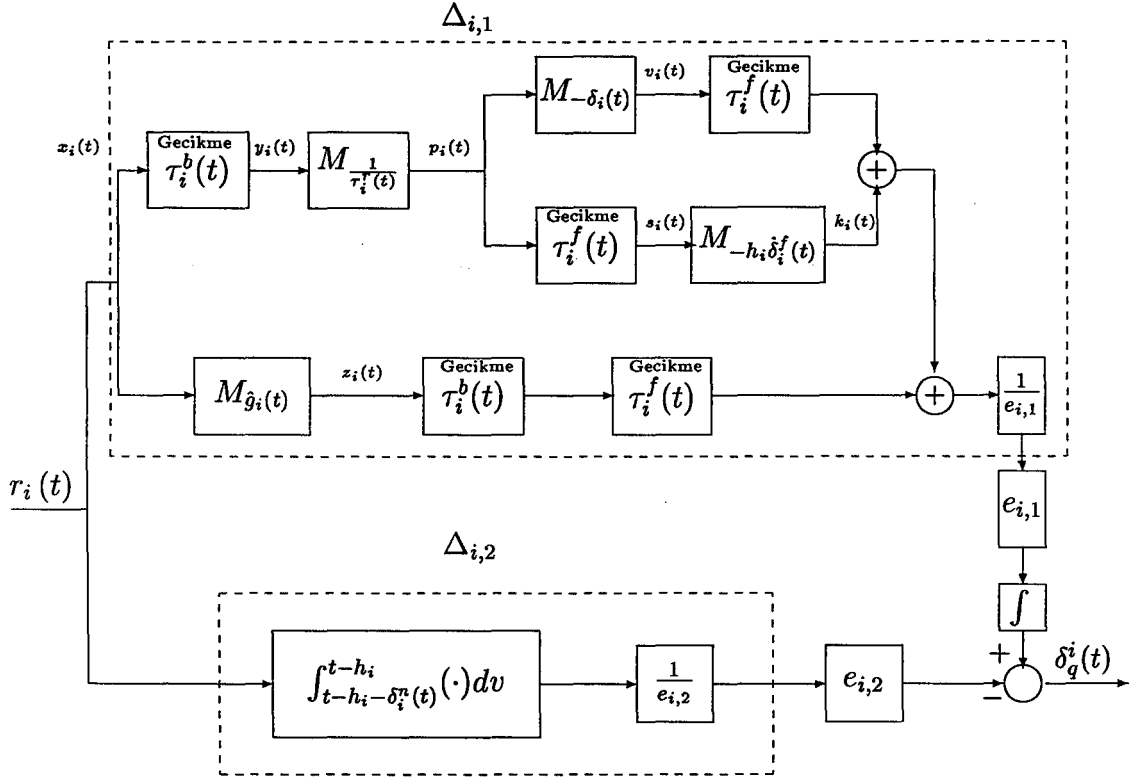
$$\begin{aligned}\left| \frac{d\delta_i^f(v)}{dv} \right| &< \beta_i^f, & \left| \frac{d\delta_i^b(v)}{dv} \right| &< \beta_i^b \\ \left| \frac{d\delta_i^b(u)}{du} \right|_{u=t-\tau_i^f(t)} &< \beta_i^b\end{aligned}$$

$\beta_i = \beta_i^f + \beta_i^b$ tanımlaması yapıldığında, \hat{g}_i 'nin üst sınırı şu şekilde ifade edilir:

$$\left| \hat{g}_i(\hat{\lambda}_i) \right| < \beta_i + \beta_i^f \beta_i^b\quad (2.19)$$

Yukarıdaki tanımlamalardan faydalanarak ve $\delta_i^n(0) = 0$ olduğu kabul edildiğinde Eşitlik (2.16) şu şekilde yazılabilir:

$$\begin{aligned}
\delta_q(t) &= \sum_{i=1}^n \left[\int_0^t (1 - \delta_i^f(v)) \frac{h_i r_i(v - \tau_i^f(v) - \tau_i^b(v - \tau_i^f(v)))}{\tau_i^r(v - \tau_i^f(v))} dv \right. \\
&\quad \left. - \int_{-h_i}^{t-h_i} r_i(\sigma) d\sigma \right] \\
&= \sum_{i=1}^n \left[\int_0^t (1 - \delta_i^f(v)) \frac{h_i r_i(v - \tau_i^f(v) - \tau_i^b(v - \tau_i^f(v)))}{\tau_i^r(v - \tau_i^f(v))} dv \right. \\
&\quad \left. - \int_{-h_i}^{t-h_i} r_i(\sigma) d\sigma + \int_{-h_i}^{t-h_i-\delta_i^n(t)} r_i(\sigma) d\sigma - \int_{-h_i}^{t-h_i-\delta_i^n(t)} r_i(\hat{\lambda}_i) d\hat{\lambda}_i \right] \\
&= \sum_{i=1}^n \left[\int_0^t (1 - \delta_i^f(v)) \frac{h_i r_i(v - \tau_i^f(v) - \tau_i^b(v - \tau_i^f(v)))}{\tau_i^r(v - \tau_i^f(v))} dv \right. \\
&\quad \left. - \int_{t-h_i-\delta_i^n(t)}^{t-h_i} r_i(v) dv - \int_0^t \left\{ r_i(v - \tau_i^f(v) - \tau_i^b(v - \tau_i^f(v))) \right. \right. \\
&\quad \left. \left. * \left(1 - \hat{g}_i(v - \tau_i^f(v) - \tau_i^b(v - \tau_i^f(v))) \right) \right\} dv \right] \\
&= \sum_{i=1}^n \left[\int_0^t r_i(v - \tau_i^f(v) - \tau_i^b(v - \tau_i^f(v))) \right. \\
&\quad \left. * \left(\frac{h_i(1 - \delta_i^f(v))}{\tau_i^r(v - \tau_i^f(v))} - 1 + \hat{g}_i(v - \tau_i^f(v) - \tau_i^b(v - \tau_i^f(v))) \right) dv \right. \\
&\quad \left. - \int_{t-h_i-\delta_i^n(t)}^{t-h_i} r_i(v) dv \right] \\
&= \sum_{i=1}^n \left[\int_0^t r_i(v - \tau_i^f(v) - \tau_i^b(v - \tau_i^f(v))) \right. \\
&\quad \left. * \left(\frac{-h_i \delta_i^f(v) - \delta_i(v - \tau_i^f(v))}{\tau_i^r(v - \tau_i^f(v))} + \hat{g}_i(v - \tau_i^f(v) - \tau_i^b(v - \tau_i^f(v))) \right) dv \right. \\
&\quad \left. - \int_{t-h_i-\delta_i^n(t)}^{t-h_i} r_i(v) dv \right] \tag{2.20}
\end{aligned}$$



Şekil 2.2 $\tau_i^c(t) = h_i$ eşitliği kullanıldığında elde edilen belirsizlik modeli

$$\begin{aligned}
\delta_q^i(t) &= \int_0^t r_i \left(v - \tau_i^f(v) - \tau_i^b(v - \tau_i^f(v)) \right) \\
&\quad * \left(\frac{-h_i \dot{\delta}_i^f(v) - \delta_i(v - \tau_i^f(v))}{\tau_i^f(v - \tau_i^f(v))} + \hat{g}_i \left(v - \tau_i^f(v) - \tau_i^b(v - \tau_i^f(v)) \right) \right) dv \\
&\quad - \int_{t-h_i-\delta_i^q(t)}^{t-h_i} r_i(v) dv \tag{2.21}
\end{aligned}$$

ve $\delta_q(t) = \sum_{i=1}^n \delta_q^i(t)$ olduğu dikkate alındığında sistemin belirsiz kısmının modeli Şekil 2.2'de görüldüğü gibidir. Şekil 2.2'de $\tau_i^b(t)$ ve $\tau_i^f(t)$ ile gösterilen bloklar sırasıyla belirtilen değerdeki gecikme bloklarıdır. Burada,

$$\begin{aligned}
\int_0^\infty |y_i(t)|^2 dt &= \int_0^\infty |x_i(t - \tau_i^b(t))|^2 dt = \int_{-\tau_i^b(t)}^\infty |x_i(\lambda_i^b)|^2 \frac{d\lambda_i^b}{1 - g_i^b(\lambda_i^b)} \\
&= \int_0^\infty |x_i(\lambda_i^b)|^2 \frac{d\lambda_i^b}{1 - g_i^b(\lambda_i^b)} \\
&< \frac{1}{1 - \beta_i^b} \int_0^\infty |x_i(\lambda_i^b)|^2 d\lambda_i^b \tag{2.22}
\end{aligned}$$

olduğundan $\tau_i^b(t)$ ile gösterilen geri yönde gecikme bloklarının endüklenmiş L^2 normları $1/\left(\sqrt{1 - \beta_i^b}\right)$ ifadesinden daha küçüktür. Bu sonuca varabilmek için

aşağıdaki tanım ve sınırlamadan yararlanılmıştır:

$$\lambda_i^b = t - \tau_i^b(t) \quad |g_i^b| < \beta_i^b$$

$\frac{d\lambda_i^b}{dt}$ ifadesinin karşılığı aşağıdaki gibidir:

$$\frac{d\lambda_i^b}{dt} = 1 - \frac{d\delta_i^b(t)}{dt} = 1 - g_i^b(\lambda_i^b)$$

Benzer şekilde,

$$\begin{aligned} \int_0^\infty |s_i(t)|^2 dt &= \int_0^\infty |p_i(t - \tau_i^f(t))|^2 dt = \int_{-\tau_i^f(t)}^\infty |p_i(\lambda_i^f)|^2 \frac{d\lambda_i^f}{1 - g_i^f(\lambda_i^f)} \\ &= \int_0^\infty |p_i(\lambda_i^f)|^2 \frac{d\lambda_i^f}{1 - g_i^f(\lambda_i^f)} \\ &< \frac{1}{1 - \beta_i^f} \int_0^\infty |p_i(\lambda_i^f)|^2 d\lambda_i^f \end{aligned} \quad (2.23)$$

olduğundan $\tau_i^f(t)$ ile gösterilen ileri yönde gecikme bloklarının endüklenmiş L^2 normları $1/\left(\sqrt{1 - \beta_i^f}\right)$ ifadesinden daha küçüktür. Aşağıda verilen tanım ve sınırlama, (2.23) eşitsizliğine ulaşmak için kullanılmıştır:

$$\lambda_i^f = t - \tau_i^f(t) \quad |g_i^f| < \beta_i^f$$

$\frac{d\lambda_i^f}{dt}$,

$$\frac{d\lambda_i^f}{dt} = 1 - \frac{d\delta_i^f(t)}{dt} = 1 - g_i^f(\lambda_i^f)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Şekil 2.2'de $M_{\frac{1}{\tau_i^r(t)}}$ bloğu ile gösterilen sistem, $p_i(t) = \frac{1}{\tau_i^r(t)} y_i(t)$ çarpma ifadesiyle tanımlanmaktadır. $\frac{1}{\tau_i^r(t)}$ için

$$\frac{1}{\tau_i^r(t)} = \frac{1}{h_i + \delta_i(t)}, \quad |\delta_i| < \delta_i^+$$

bilgilerinden yararlanılarak bir üst sınır bulunur:

$$\left| \frac{1}{\tau_i^r(t)} \right| < \frac{1}{h_i - \delta_i^+} \quad (2.24)$$

Şekil 2.2 üzerinde yeralan $M_{(-h_i \delta_i^f(t))}$ bloğu, $k_i(t) = (-h_i \delta_i^f(t)) s_i(t)$ ile tanımlanan sistemi göstermektedir.

$$|\delta_i^f| < \beta_i^f$$

sınırlaması kullanılarak $-h_i \delta_i^f(t)$ için bir üst sınır elde edilir:

$$\left| -h_i \delta_i^f(t) \right| < h_i \beta_i^f \quad (2.25)$$

Aynı şekil üzerindeki diğer çarpma blokları olan $M_{-\delta_i(t)}$ ve $M_{\hat{g}_i(t)}$ ise sırasıyla, $v_i(t) = -\delta_i(t)p_i(t)$ ve $z_i(t) = \hat{g}_i(t)x_i(t)$ ifadeleriyle tanımlanmaktadır. $\hat{g}_i(t)$ 'nin üst sınırı (2.19) ile ifade edilir.

$e_{i,1}$ 'in değeri $\Delta_{i,1}$ 'in endüklenmiş L^2 normu 1'den küçük olacak şekilde belirlenir:

$\Delta_{i,1}$ 'in endüklenmiş L^2 normunun

$$\frac{1}{e_{i,1}} \left[\frac{1}{\sqrt{1 - \beta_i^b} h_i - \delta_i^+} \frac{1}{\left(\frac{\delta_i^+}{\sqrt{1 - \beta_i^f}} + \frac{h_i \beta_i^f}{\sqrt{1 - \beta_i^f}} \right)} + \frac{\beta_i + \beta_i^f \beta_i^b}{\sqrt{1 - \beta_i + \beta_i^f \beta_i^b}} \right]$$

yani

$$\frac{\delta_i^+ + h_i \beta_i^f + (h_i - \delta_i^+) (\beta_i + \beta_i^f \beta_i^b)}{e_{i,1} (h_i - \delta_i^+) \left(\sqrt{1 - \beta_i + \beta_i^f \beta_i^b} \right)}$$

ifadesinden daha küçük olduğu dikkate alındığında $e_{i,1}$,

$$e_{i,1} := \frac{\delta_i^+ + h_i \beta_i^f + (h_i - \delta_i^+) (\beta_i + \beta_i^f \beta_i^b)}{(h_i - \delta_i^+) \left(\sqrt{1 - \beta_i + \beta_i^f \beta_i^b} \right)} \quad (2.26)$$

şeklinde tanımlanır.

$e_{i,2}$ için yapılan tanımlama, $\Delta_{i,2}$ 'nin endüklenmiş L_2 normunu 1'den küçük duruma getirmelidir:

$$\left\| \frac{1}{2\delta_i^+} \int_{t-h_i-\delta_i^+(t)}^{t-h_i} r_i(v) dv \right\|_2 < \left\| \frac{1}{2\delta_i^+} \int_{t-h_i-\delta_i^+}^{t-h_i+\delta_i^+} r_i(v) dv \right\|_2$$

$$\hat{v}_i(s) = \frac{1}{2\delta_i^+} \left(\frac{e^{-(h_i-\delta_i^+)s} - e^{-(h_i+\delta_i^+)s}}{s} \right) r_i(s) \quad (2.27)$$

$\hat{v}_i(s)$ ve $r_i(s)$ sırasıyla $\hat{v}_i(t)$ ve $r_i(t)$ sinyallerinin Laplace dönüşümlerini göstermektedir.

$$\begin{aligned} \|v_i\|_2 &< \|\hat{v}_i\|_2 \\ &< \left\| \frac{1}{2\delta_i^+} \left(\frac{1 - e^{-2\delta_i^+ s}}{s} e^{-(h_i-\delta_i^+)s} \right) \right\|_\infty \|r_i\|_2 \\ &< \|r_i\|_2 \end{aligned} \quad (2.28)$$

$e_{i,2} = 2\delta_i^+$ tanımlaması yapılarak $\Delta_{i,2}$ 'nin endüklenmiş L^2 normu 1'den küçük duruma getirilir [8].

2.2 Toplam Gecikme Süresinin Öngörülen Değeri için Tıkali Geçitte Ölçülen Toplam Gecikme Süresi Kullanıldığında Matematiksel Modelin Elde Edilişi

Bölüm 2.1'de toplam gecikme süresi için öngörülebilir en basit ifade ele alınarak bu sürenin nominal değeri kullanılmıştır. Bu bölümde ise belirsizliklerin de dikkate alındığı bir yaklaşım incelenecek ve tıkalı geçitte ölçülen toplam gecikme süresi ele alınacaktır. Bu nedenle, t anında tıkalı geçide ulaşan i. kaynağa ait veri iletim oranının maruz kalmış olduğu gecikme süresi olan $\tau_i^{c1}(t)$ kullanılacaktır:

$$\tau_i^c(t) := \tau_i^{c1}(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t)) \quad (2.29)$$

Kaynaktan gönderilen verinin pencere boyutu şu şekilde ifade edilmektedir:

$$w_i^s(t) = \tau_i^{c1}(t - \tau_i^b(t)) r_i(t - \tau_i^b(t)) \quad (2.30)$$

Bu yeni tanımlamalara bağlı olarak, kuyruk uzunluğu,

$$\begin{aligned} q(t) &= \int_0^t \left[\sum_{i=1}^n r_i^b(v) - c(v) \right] dv + q(0) \\ &= \int_0^t \left[\sum_{i=1}^n (1 - \delta_i^f(v)) r_i^s(v - \tau_i^f(v)) - c(v) \right] dv + q(0) \\ &= \int_0^t \left[\sum_{i=1}^n (1 - \delta_i^f(v)) \frac{\tau_i^{c1}(v - \tau_i^f(v) - \tau_i^b(v - \tau_i^f(v)))}{\tau_i^r(v - \tau_i^f(v))} \right. \\ &\quad \left. * r_i(v - \tau_i^f(v) - \tau_i^b(v - \tau_i^f(v))) - c(v) \right] dv + q(0) \end{aligned} \quad (2.31)$$

eşitliğiyle ifade edilir. Nominal kuyruk uzunluğunun ifadesi Eşitlik (2.14)'te verilmiştir. Kuyruktaki belirsizlik ise,

$$\begin{aligned} \delta_q(t) &:= q(t) - q_0(t) \\ &= \int_0^t \left[\sum_{i=1}^n (1 - \delta_i^f(v)) \frac{\tau_i^{c1}(v - \tau_i^f(v) - \tau_i^b(v - \tau_i^f(v)))}{\tau_i^r(v - \tau_i^f(v))} \right. \\ &\quad \left. * r_i(v - \tau_i^f(v) - \tau_i^b(v - \tau_i^f(v))) - r_i(v - h_i) \right] dv \end{aligned} \quad (2.32)$$

eşitliğiyle ifade edilmektedir.

Bölüm 2.1'de olduğu gibi $\delta_i^n(v) = \delta_i^f(v) + \delta_i^b(v - \tau_i^f(v))$ için $\hat{\lambda}_i = v - \tau_i^f(v) - \tau_i^b(v - \tau_i^f(v)) = v - h_i - \delta_i^n(v)$ ve $\hat{f}_i(v) := \hat{\lambda}_i$ tanımlamaları yapıldığında ve $(\hat{f}_i)^{-1}(\hat{\lambda}_i)$ fonksiyonunun var olduğu kabul ediliyorken (2.17) ifadesi elde edilir. $\frac{d\hat{\lambda}_i}{dv} > 0$, $\hat{g}_i(\hat{\lambda}_i) < 1$ eşitsizliklerinin sağlanması koşulu altında $\hat{g}_i(\hat{\lambda}_i)$ için (2.18) eşitliği elde edilir. İleri ve geri yöndeki gecikme belirsizliklerinin zamana bağlı değişim oranları için Bölüm 2.1'de tanımlanan üst sınırlar kullanıldığında \hat{g}_i için (2.19) eşitsizliğiyle ifade edilen üst sınır bulunur.

$\delta_i^n(0) = 0$ olduğu kabul edildiğinde Eşitlik (2.32) şu şekilde yazılabilir:

$$\begin{aligned}
\delta_q(t) &= \sum_{i=1}^n \left[\int_0^t (1 - \delta_i^f(v)) \frac{\tau_i^{cl}(v - \tau_i^{cl}(v))}{\tau_i^r(v - \tau_i^f(v))} r_i(v - \tau_i^{cl}(v)) dv - \int_{-h_i}^{t-h_i} r_i(\sigma) d\sigma \right] \\
&= \sum_{i=1}^n \left[\int_0^t (1 - \delta_i^f(v)) \frac{\tau_i^{cl}(v - \tau_i^{cl}(v))}{\tau_i^r(v - \tau_i^f(v))} r_i(v - \tau_i^{cl}(v)) dv - \int_{-h_i}^{t-h_i} r_i(\sigma) d\sigma \right. \\
&\quad \left. + \int_{-h_i}^{t-h_i-\delta_i^n(t)} r_i(\sigma) d\sigma - \int_{-h_i}^{t-h_i-\delta_i^n(t)} r_i(\hat{\lambda}_i) d\hat{\lambda}_i \right] \\
&= \sum_{i=1}^n \left[\int_0^t (1 - \delta_i^f(v)) \frac{\tau_i^{cl}(v - \tau_i^{cl}(v))}{\tau_i^r(v - \tau_i^f(v))} r_i(v - \tau_i^{cl}(v)) dv \right. \\
&\quad \left. - \int_{t-h_i-\delta_i^n(t)}^{t-h_i} r_i(v) dv - \int_0^t \{ r_i(v - \tau_i^{cl}(v)) (1 - \hat{g}_i(v - \tau_i^{cl}(v))) \} dv \right] \\
&= \sum_{i=1}^n \left[\int_0^t r_i(v - \tau_i^{cl}(v)) \left(\frac{\tau_i^{cl}(v - \tau_i^{cl}(v))(1 - \delta_i^f(v))}{\tau_i^r(v - \tau_i^f(v))} - 1 \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + \hat{g}_i(v - \tau_i^{cl}(v)) \right) dv - \int_{t-h_i-\delta_i^n(t)}^{t-h_i} r_i(v) dv \right] \\
&= \sum_{i=1}^n \left[\int_0^t r_i(v - \tau_i^{cl}(v)) \right. \\
&\quad * \left(\frac{(h_i + \delta_i^n(v - \tau_i^{cl}(v))) (1 - \delta_i^f(v)) - h_i - \delta_i(v - \tau_i^f(v))}{\tau_i^r(v - \tau_i^f(v))} \right. \\
&\quad \left. \left. + \hat{g}_i(v - \tau_i^{cl}(v)) \right) dv - \int_{t-h_i-\delta_i^n(t)}^{t-h_i} r_i(v) dv \right]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \sum_{i=1}^n \left[\int_0^t r_i(v - \tau_i^{cl}(v)) \right. \\
&\quad * \left(\frac{-h_i \delta_i^f(v) + \delta_i^n(v - \tau_i^{cl}(v)) (1 - \delta_i^f(v)) - \delta_i(v - \tau_i^f(v))}{\tau_i^r(v - \tau_i^f(v))} \right. \\
&\quad \left. \left. + \hat{g}_i(v - \tau_i^{cl}(v)) \right) dv - \int_{t-h_i-\delta_i^n(t)}^{t-h_i} r_i(v) dv \right] \quad (2.33)
\end{aligned}$$

$\delta_q(t) = \sum_{i=1}^n \delta_q^i(t)$ ve

$$\begin{aligned}
\delta_q^i(t) &= \int_0^t r_i(v - \tau_i^{cl}(v)) \\
&\quad * \left(\frac{-h_i \delta_i^f(v) + \delta_i^n(v - \tau_i^{cl}(v)) (1 - \delta_i^f(v)) - \delta_i(v - \tau_i^f(v))}{\tau_i^r(v - \tau_i^f(v))} \right. \\
&\quad \left. + \hat{g}_i(v - \tau_i^{cl}(v)) \right) dv - \int_{t-h_i-\delta_i^n(t)}^{t-h_i} r_i(v) dv \quad (2.34)
\end{aligned}$$

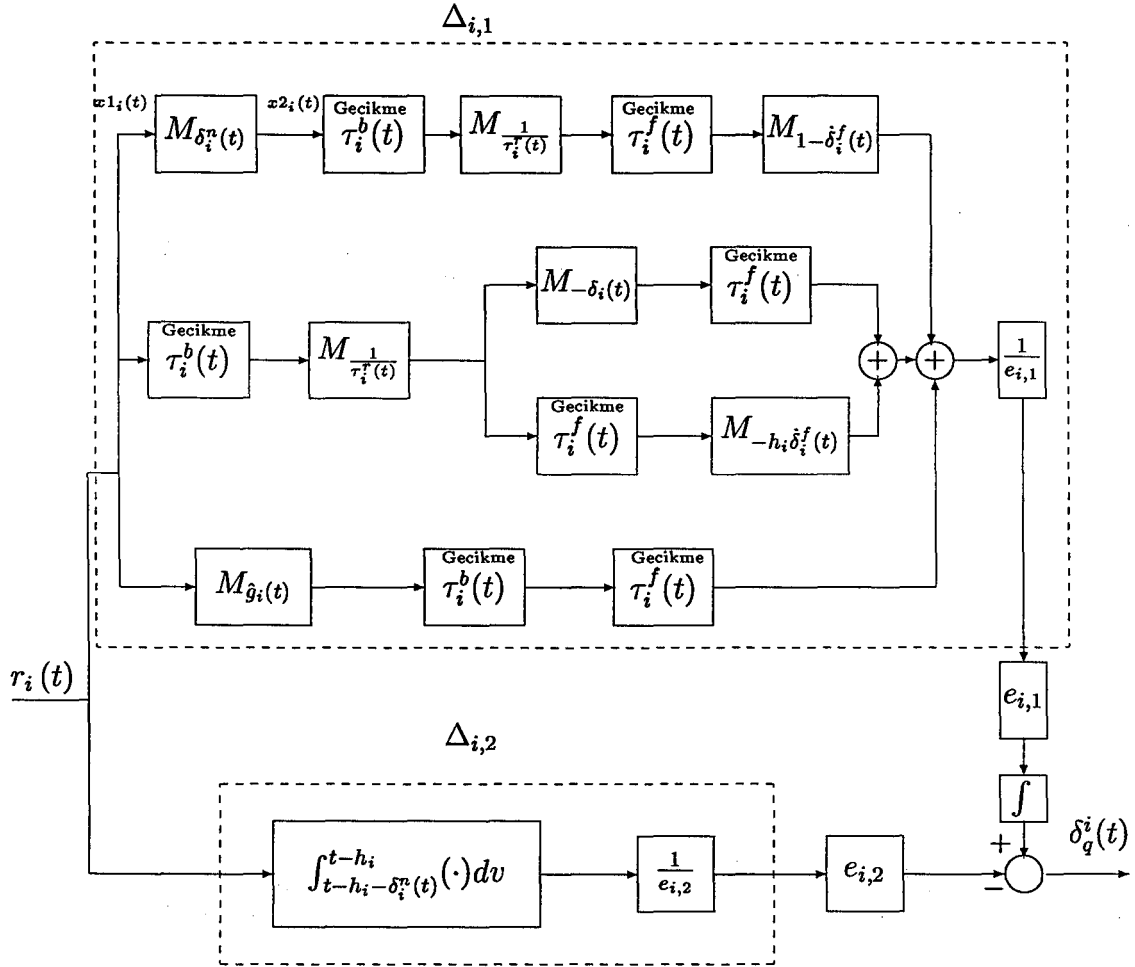
eşitliklerinden faydalanarak Şekil 2.3'te görülen belirsizlik modeli elde edilir. Bu şekilde $M_{\delta_i^n(t)}$, $M_{\frac{1}{\tau_i^r(t)}}$, $M_{1-\delta_i^f(t)}$, $M_{-h_i \delta_i^f(t)}$, $M_{-\delta_i^n(t)}$ ve $M_{\hat{g}_i(t)}$ çarpma bloklarıyla gösterilen sistemler bulunmaktadır. Bu bloklarda gerçekleşen işlemlere örnek olarak $M_{\delta_i^n(t)}$ ele alınacak olursa, bu sistem için

$$M_{\delta_i^n(t)} : x2_i(t) = \delta_i^n(t) x1_i(t) \quad (2.35)$$

şeklinde bir ifade kullanılmaktadır. Bölüm 2.1'de belirtildiği gibi $\tau_i^b(t)$ ve $\tau_i^f(t)$ gecikme bloklarının endüklenmiş L^2 normları sırasıyla $\frac{1}{\sqrt{1-\beta_i^b}}$ ve $\frac{1}{\sqrt{1-\beta_i^f}}$ ifadelerinden daha küçüktür. $e_{i,1}$ ve $e_{i,2}$ 'nin değeri sırasıyla $\Delta_{i,1}$ ve $\Delta_{i,2}$ 'nin endüklenmiş L^2 normunu 1'den küçük duruma getirecek şekilde belirlenir. Buna göre $e_{i,1}$,

$$e_{i,1} := \frac{2\delta_i^+ + (h_i + \delta_i^+) \beta_i^f + (h_i - \delta_i^+) (\beta_i + \beta_i^f \beta_i^b)}{(h_i - \delta_i^+) \sqrt{1 - \beta_i + \beta_i^f \beta_i^b}} \quad (2.36)$$

şeklinde tanımlanır. $e_{i,2}$ için de Bölüm 2.1'de olduğu gibi $e_{i,2} = 2\delta_i^+$ eşitliği kullanılır.



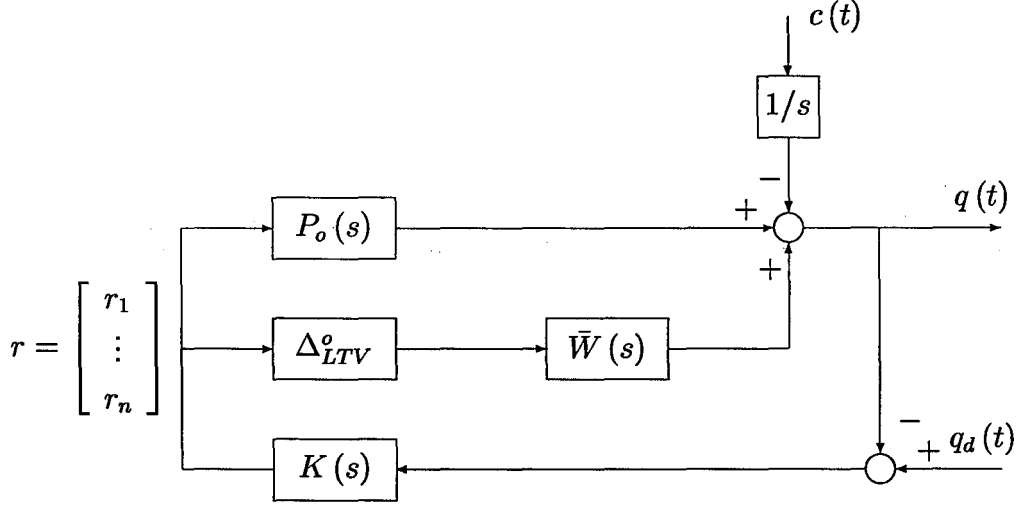
Şekil 2.3. $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliği kullanıldığında elde edilen belirsizlik modeli

2.3. Yapay Sistem Modelinin Elde Edilişi ve H^∞ Optimizasyon Problemi

Geri besleme kontrol sistemi Şekil 2.4'teki yapay sistem modeliyle ifade edilebilir [7]. Δ_{LTV}^o ,

$$\Delta_{LTV}^o := \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta_{1,1}^o \\ \Delta_{1,2}^o \end{bmatrix} & & & 0 \\ & \dots & & \\ 0 & & \begin{bmatrix} \Delta_{n,1}^o \\ \Delta_{n,2}^o \end{bmatrix} & \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

şeklinde tanımlanır. $\Delta_{i,j}^o (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2)$ normları 1'den küçük olan,



Şekil 2.4 Yapay Sistem

doğrusal ve zamana göre değişen sistemlerdir. Δ_{LTV}^o 'ın endüklenmiş L^2 normu $\sqrt{2}$ 'den küçüktür.

Ağırlık vektörü olan $\bar{W}(s)$ aşağıdaki gibidir:

$$\bar{W}(s) = [\bar{W}_1(s) \dots \bar{W}_n(s)] \quad \bar{W}_i(s) = \begin{bmatrix} \frac{e_{i,1}}{s} & e_{i,2} \end{bmatrix} \quad (2.38)$$

Nominal plant (P_0) şu şekilde ifade edilmektedir:

$$P_0(s) = \frac{1}{s} [e^{-h_1 s} \dots e^{-h_n s}] \quad (2.39)$$

Şekil 2.3'teki kapalı-döngü sistem eğer $K(s)$ $P_0(s)$ 'i kararlılaştırabiliyorsa

ve

$$\|K(I + P_0 K)^{-1} \bar{W}\|_{\infty} \leq \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (2.40)$$

sağlanıyor ise her $\|\Delta_{LTV}^o\| < \sqrt{2}$ için gürbüz kararlıdır. (2.40) eşitsizliği,

$$\|WKS\|_{\infty} \leq \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (2.41)$$

ise sağlanmaktadır. Burada S ile gösterilen, duyarlılık fonksiyonudur:

$$S(s) = (I + P_0(s)K(s))^{-1} \quad (2.42)$$

$$W(s) = \sqrt{2} \left(\frac{1}{s} \sqrt{\sum_{i=1}^n e_{i,1}^2} + \sqrt{\sum_{i=1}^n e_{i,2}^2} \right) I_n \quad (2.43)$$

Gürbüz kararlılık koşulu ve $\|W_s S\|_\infty$ normunun minimize edilmesine dayanan nominal performans koşulu birlikte iki blok H^∞ optimizasyon problemini oluştururlar:

$$\inf \left\| \begin{bmatrix} W_s S \\ W K S \end{bmatrix} \right\|_\infty =: \gamma_{opt} \quad (2.44)$$

Hassasiyet ağırlık filtresi olan $W_s(s)$ için

$$W_s(s) = \frac{1}{s^2} \quad (2.45)$$

ifadesi kullanılır. γ_{opt} için bir üst sınır belirlenebilmesi için takibedilen işlemler, H^∞ optimizasyon probleminin çözümü ve $K(s)$ kontrolörünün oluşturulması [7]'de ayrıntılı olarak incelenmiştir. $K(s)$ 'in yapısı ve kullanılan parametreler aşağıda belirtildiği gibidir [7]:

$$K(s) = [K_1(s) \dots K_n(s)]^T$$

$$K_i(s) = \frac{C_i(s)}{1 + C_i(s)P_i(s)} \left(1 - \sum_{j=1}^n \alpha_j \frac{P_j(s)C_j(s)}{1 + P_j(s)C_j(s)} \right)^{-1} \quad (2.46)$$

$$P_i(s) = \frac{1}{\alpha_i s} e^{-h_i s}, \quad \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$$

α_i ağırlıklı adalet koşulunu sağlayacak şekilde değerler alan parametrelerdir.

$$C_i(s) = \frac{\alpha_i \hat{\gamma}_i}{h_i \hat{\delta}_i} \left(\frac{\hat{\delta}_i - k_i}{\hat{\delta}_i} \right) \frac{1}{1 + F_i(\hat{\delta}_i)} \quad \hat{\delta}_i := h_i s \quad \hat{\gamma}_i = \frac{n \gamma_i}{h_i^2}$$

(2.44) ifadesiyle tanımlanan γ_{opt} ile γ_i arasında

$$\gamma_{opt} \leq \sum_{i=1}^n n \alpha_i \gamma_i \quad (2.47)$$

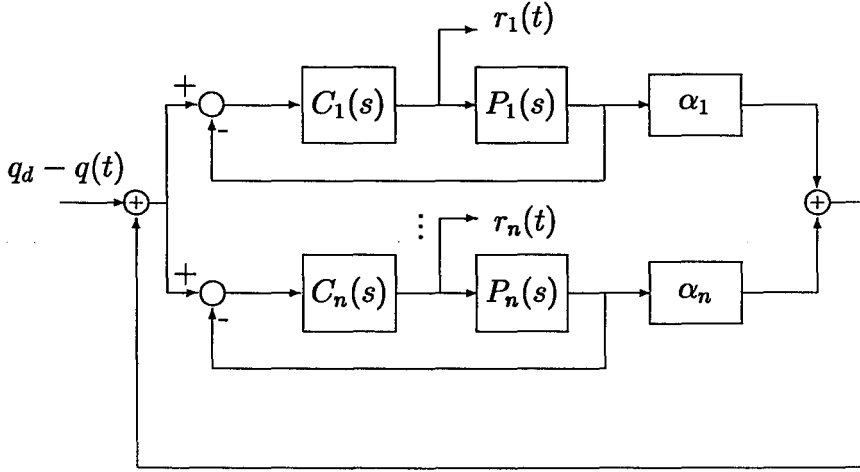
şeklinde bir ilişki tanımlanmıştır.

$$\hat{\delta}_i = \frac{\sqrt{2}}{h_i^2} \sqrt{\sum_{j=1}^n e_{j,2}^2}$$

$$F_i(\zeta) = \frac{(\zeta + k_i)(\zeta + a_i)(\zeta^2 + b_i \zeta + c_i) - (\zeta^4 - \hat{\gamma}_i^{-2}) - \frac{\hat{\gamma}_i}{\hat{\delta}_i} e^{-\zeta} \zeta^2 (\zeta - k_i)}{\zeta^4 - \hat{\gamma}_i^{-2}}$$

$$k_i := \frac{\rho_i - 1}{\sqrt{\hat{\gamma}_i}(\rho_i + 1)} \quad \rho_i := \frac{e^{-\frac{1}{\sqrt{\hat{\gamma}_i}}}}{\hat{\delta}_i \left(\frac{1}{\sqrt{\hat{\gamma}_i}} + a_i \right) \left(\frac{1}{\hat{\gamma}_i} + c_i + \frac{b_i}{\sqrt{\hat{\gamma}_i}} \right)}$$

$$a_i := \frac{1}{c_i \hat{\delta}_i} \sqrt{1 - \frac{\hat{\beta}_i^2}{\hat{\gamma}_i^2}} \quad b_i := \sqrt{\frac{\hat{\beta}_i^2}{\hat{\delta}_i^2} + 2c_i - a_i^2} \quad c_i := \sqrt{x_i}$$



Şekil 2.5 Kontrolörün yapısı

$$x_i, \quad x_i^3 + \frac{1}{\hat{\gamma}_i^2} x_i^2 + \left(1 - \frac{\hat{\beta}_i^2}{\hat{\gamma}_i^2}\right) \frac{\hat{\beta}_i^2}{\delta_i^4} x_i - \frac{\left(1 - \frac{\hat{\beta}_i^2}{\hat{\gamma}_i^2}\right)^2}{\delta_i^4} = 0$$

denkleminin tek pozitif köküdür.

$$\hat{\beta}_i = \frac{\sqrt{2}}{h_i^2} \sqrt{\sum_{j=1}^n e_{j,1}^2}$$

$$\hat{\gamma}_i, \quad 1 - \frac{\hat{\gamma}_i}{\delta_i} e^{-s} s^2 \frac{(s-k_i)}{(s+k_i)(s+a_i)(s^2+b_i s+c_i)} \Big|_{s=j/\sqrt{\hat{\gamma}_i}} = 0$$

denkleminin en büyük köküdür. $K(s)$ kontrolörünün yapısı Şekil 2.5'te görülmektedir [7].

3. SİMULASYON SONUÇLARI

Şekil 2.1'deki geri besleme kontrol sisteminin bir modeli Simulink (MATLAB) benzetim programında oluşturulmuştur. Bu modelin yapısı ve içeriği Ek 1-Ek 5'te gösterilmiştir. Farklı değerlere sahip tasarım ve simulasyon parametreleri kullanılarak oluşturulan farklı koşullarda benzetim çalışmaları yapılarak modelin performansı incelenmiştir. Durum 8, 9 ve 10 için kullanılan 3 kaynaklı model dışında kaynak sayısı, n , 2 olan bir model kullanılmıştır. Durum 5 haricindeki durumlarda dar boğazlı geçidin iletim kapasitesi, $c(t)$, 100 paket/saniye; ulaşılmak istenen kuyruk uzunluğu, q_d , 50 pakettir.

Durum 1: Bu durum için geçerli tasarım ve simulasyon parametreleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Bu çizelgedeki δ^+ ve h_i değerleri incelendiğinde $h_i \geq \delta_i^+$ varsayımına aykırı davranıldığı görülmektedir. Şekil 3.1 - 3.5'teki sonuçlara bakılırsa bu kuraldışı durum oran tabanlı akış kontrolünde problem yaratmazken pencere tabanlı akış kontrolü uygulamasında özellikle $\tau_i^c(t) = h_i$ eşitliğinin kullanılmasıyla sistemin performansı olumsuz yönde etkilenmektedir. Kuyruk uzunluğu, veri iletim oranları ve pencere boyutlarında oluşan osilasyonlar bu olumsuzluğun göstergesidir. Buna rağmen Şekil 3.1 - 3.5'teki sonuçlara göre kuyruk uzunluğu q_d değeri etrafında salınım yapmaktadır, veri iletim oranları ve pencere boyutları da kaynaklara tanınan ağırlıklarla, α_i , orantılı değerler almaktadır.

Durum 2: Bu duruma ait Çizelge 3.2'deki parametre değerlerine bakıldığında $\beta_i^f > |\delta_i^f|$ ve $\beta_i^b > |\delta_i^b|$ sınırlarının ihlal edildiği görülmektedir. Elde edilen sonuçlar Şekil 3.6-3.10'da görülmektedir. Yatışkın duruma gelene kadar görülen salınımlarının genliği artmış olmasına rağmen oran tabanlı kontrolün performansı pencere tabanlı yöntemle göre çok daha iyidir.

Durum 3: Çizelge 3.3'teki değerlere bakıldığında bu durumun Durum 1'den farkının δ_i^+ , β_i ve β_i^f (ve dolayısıyla β_i^b) değerlerindeki artış olduğu görülmektedir. Şekil 3.11 ve 3.12'deki kuyruk uzunluğu grafikleri karşılaştırıldığında oran tabanlı yöntemin üstünlüğü göze çarpmaktadır, fakat oran tabanlı kontrol uygulanan sistemde de kararlı duruma ulaşma süresi uzamıştır. Veri iletim oranları ile pencere boyutlarının zamana göre değişimi Şekil 3.13-3.15'te görülmektedir. Durum 1 ve 2'nin sonuçlarında da görüldüğü gibi pencere tabanlı yöntemde $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliği kullanıldığında elde edilen sonuçlar oran tabanlı akış kontrol yönteminin verdiği sonuçlara daha yakındır.

Durum 4: Bu durumda, sistem modellenirken dikkate alınan varsayımlara uygun parametre değerleri kullanılmıştır. Bu değerler Çizelge

3.4'te verilmiştir. İlk üç durumun sonuçlarıyla karşılaştırıldığında Şekil 3.16-3.20'de görülenler istenen davranışa çok daha yakındır. Salınımlar önemli ölçüde azalmıştır. Her üç yöntemin veri iletim oranı grafiklerinde yatışkın durum davranışları benzerlik göstermektedir. Ancak pencere tabanlı yöntemde $\tau_i^c(t) = h_i$ eşitliği kullanıldığında iletim oranlarındaki ufak salınımlar kuyruk uzunluğu ve pencere boyutlarında belirgin salınımlara yolaçabilmektedir. Pencere tabanlı yöntemde $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliği kullanıldığında ve oran tabanlı yöntemde bu salınımların büyümesi engellenebilmektedir.

Durum 5: Tasarım ve simülasyon parametreleri Durum 4'ün parametreleriyle aynıdır. Bu durumda dar boğazlı geçidin veri iletim kapasitesi, $c(t)$, Şekil 3.21 (a)'da görüldüğü gibi 50 paket/s ile 100 paket/s arasında değişmektedir. Şekil 3.21-3.22'de kuyruk uzunluğunun davranışı kapasitedeki ani değişimlerden etkilenmektedir. Kapasitedeki düşüş kuyruk uzunluğunu arttırmakta, ani yükselmeler ise 0'a kadar düşürebilmektedir. Oran ve pencere bilgilerinin kapasitedeki değişimi takibettiği Şekil 3.23-3.25'te görülmektedir.

Durum 6: Simülasyon parametreleri Çizelge 3.5'te verilmiştir. δ_i^b için δ_i^f 'den, β_i^b için de β_i^f 'ten büyük değerler kullanılmıştır. Ayrıca $\delta_1(t)$ ve $\delta_2(t)$ 'nin frekansları da şimdiye kadarki durumlarda kullanılanların aksine birbirlerinden farklı seçilmiştir. Simülasyon sonuçları Şekil 3.26-3.30'da görüldüğü gibidir.

Durum 7: Bu durum için Çizelge 3.6'daki simülasyon parametreleri kullanılmıştır. δ_i^f ve δ_i^b dışındaki parametreler Durum 6'da kullanılanlarla aynı değerlere sahiptir. δ_i^f 'in değerleri δ_i^b 'nin değerlerinden daha büyüktür. Simülasyon sonuçları Şekil 3.31-3.35'te görüldüğü gibidir.

Durum 8, 9, 10: Her üç durum için de Çizelge 3.7'deki parametre değerleri kullanılmıştır. Durum 8 için elde edilen sonuçlar Şekil 3.36-3.40'ta verilmiştir. Durum 9 için pencere tabanlı akış kontrol uygulamasında kaynaklar pencere boyutlarına sınırlamalar getirmektedir. Pencere boyutlarının sınır değerleri Çizelge 3.8'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 3.41-3.45'te görüldüğü gibidir. Pencere limit değeri 120 paket olan 3.kaynağa ait pencere boyutunun zaman zaman bu değerde sabitlenmek zorunda kaldığı görülmektedir. Ayrıca istenen kapasitenin sağlanabilmesi için diğer kaynakların pencere boyutlarında artış gerçekleşmiştir. Bu sınırlamalar veri iletim oranlarını da etkilemiştir. Oran tabanlı kontrol için de benzer bir uygulama yapılmıştır. Oranların sınır değerleri Çizelge 3.9'da verilmiştir. 3. kaynağın iletim oranında yaşanan sabitlenmeler ve diğer oranlardaki artışlar Şekil 3.44'te görüldüğü gibidir. Durum 10'da $r_1^s(t)$ 'ye ortalaması 0, varyansı 5 olan Gauss

dağılımlı rassal bir sinyal; $r_2^s(t)$ 'ye ise frekansı 1 Hz, genliği 5 olan sinusoidal bir dalga eklenmektedir. Şekil 3.46-3.50'deki sonuçlara göre kaynakların çıkışında yaşanan bu değişim gözlemlenen tüm değerlere yansımaktadır.

Durum 11: Bu durumda Çizelge 3.10'daki değerler kullanılarak Şekil 3.51-3.55'te görülen sonuçlar elde edilmiştir. Zaman gecikmesindeki belirsizliklerin değerindeki azalma sonuçları olumlu etkilemiştir.

Durum 12: $\delta_i^f(t)$ haricindeki tüm simulasyon parametreleri Durum 4'ün parametreleriyle aynıdır. $\delta_i^f(t)$ 'ye sabit bir değer atanmış, $\delta_i^f(t) = 0.01$ olarak alınmıştır. Bu duruma ait tüm sonuçlar Şekil 3.56-3.60'ta verilmiştir. Pencere tabanlı kontrol uygulamasında kuyruk uzunluğundaki ve pencere boyutlarındaki salınımların genliği biraz azalmıştır. Veri iletim oranları için elde edilen sonuçlar Durum 4'ün sonuçlarına oldukça benzemektedir.

Durum 13: $\delta_i^f(t)$ haricindeki tüm simulasyon parametreleri Durum 4'te verilenlerle aynıdır. $\delta_i^f(t)$ parametresinin değeri, türevi olan $\dot{\delta}_i^f(t)$, $|\dot{\delta}_i^f(t)| \leq 0.009$ ile sınırlı düzgün dağılımlı rassal bir sinyal olacak şekilde belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 3.61-3.65'te görülmektedir.

Durum 14: $\delta_i^f(t)$ ve $\delta_i^b(t)$ haricindeki tüm simulasyon parametreleri Durum 4'tekilerle aynıdır. $\dot{\delta}_i^f(t)$, $|\dot{\delta}_i^f(t)| \leq 0.009$ ile sınırlı düzgün dağılımlı rassal bir sinyal olacak şekilde belirlenmiştir. $\delta_i^b(t) = 0.01$ olarak alınmıştır. Şekil 3.66-3.70 sonuçları göstermektedir. Durum 13'ün sonuçlarıyla karşılaştırıldığında $\delta_i^b(t)$ 'nin aldığı değer özellikle pencere tabanlı kontrol yönteminin sonuçlarında belirgin bir iyileşmeye neden olmuştur.

Durum 15: $\delta_i^b(t)$ haricindeki tüm simulasyon parametreleri Durum 4'ün değerlerine sahiptir. $\delta_i^b(t) = 0.01$ olarak alınmıştır. Durum 4'ün sonuçlarıyla karşılaştırıldığında bu durum için pencere tabanlı kontrolün verdiği sonuçlar oldukça iyileşmiştir. Bu duruma ait sonuçlar Şekil 3.71-3.75'te olduğu gibidir.

Durum 16: $\delta_i^f(t)$ ve $\delta_i^b(t)$ haricindeki tüm simulasyon parametreleri Durum 4'tekilerle aynıdır. $\dot{\delta}_i^b(t)$, $|\dot{\delta}_i^b(t)| \leq 0.009$ ile sınırlı düzgün dağılımlı rassal bir sinyaldir. $\delta_i^f(t) = 0.01$ olarak alınmıştır. Sonuçlar Şekil 3.76-3.80'de görüldüğü gibidir.

Durum 17: $\delta_i^b(t)$ haricindeki tüm simulasyon parametreleri Durum 4'te verilenlerle aynıdır. $\dot{\delta}_i^b(t)$, $|\dot{\delta}_i^b(t)| \leq 0.009$ ile sınırlı düzgün dağılımlı rassal bir sinyaldir. Şekil 3.81-3.85'te görüldüğü gibi $\delta_i^b(t)$ 'nin davranışındaki rassallık sadece pencere tabanlı yöntemin verdiği sonuçlarda farkedilmektedir.

Durum 18: $\delta_i^f(t)$ ve $\delta_i^b(t)$ haricindeki tüm simulasyon parametre değerleri Durum 4'ün değerleriyle aynıdır. $\dot{\delta}_i^b(t)$ ve $\dot{\delta}_i^f(t)$, sınırları $|\dot{\delta}_i^b(t)| \leq 0.009$ ve $|\dot{\delta}_i^f(t)| \leq 0.009$ ile ifade edilen düzgün dağılımlı rassal birer sinyaldir. Elde edilen tüm sonuçlar Şekil 3.86-3.90'da verilmiştir.

Durum 19: $\delta_i^f(t)$ ve $\delta_i^b(t)$ haricindeki tüm simulasyon parametreleri için Durum 4'teki değerler kullanılmıştır. $\delta_i^b(t) = 0.01$ ve $\delta_i^f(t) = 0.01$ olarak alınmıştır. Şekil 3.91-3.95'te görüldüğü gibi her üç yöntemle de ideal yatışkın durum davranışları elde edilmiştir, ancak pencere tabanlı yöntemde bu ideal değerlere erişme süresi biraz daha uzundur.

Matlab programı kullanılarak elde edilen γ_i değerleri Çizelge 3.11-3.13'te verilmiştir. γ_i , γ_{opt} için (2.47)'de verilen üst sınır tanımlamasında yer almaktadır bu nedenle büyüklüğü gürbüz kararlılık ve nominal performans ile ilgilidir. Kullanılan tüm yöntemlerde γ_i için en büyük değerler Durum 3'te elde edilmiştir. Bu durum, δ_i^+ , β_i ve β_i^f değerlerinin yüksekliği nedeniyle diğer durumlardan farklıdır. Durum 3 haricinde, oran tabanlı akış kontrolünde elde edilen değerler en küçük, pencere tabanlı akış kontrolünde $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ için elde edilenler en büyüktür. Durum 3'te en küçük γ_i değeri pencere tabanlı akış kontrolünde $\tau_i^c(t) = h_i$ için elde edilmiştir.

Oran ve pencere tabanlı kontrol sistemlerinin modellenmesi yapılırken kullanılan parametreler için bazı sınırlamaların olduğu varsayılmıştır. Simulasyonu yapılan durumların ilk üçünde bu varsayımlardan bazılarının ihlal edildiği görülmektedir. Sonuçlardan anlaşılacağı gibi böyle durumlarda pencere tabanlı yöntemin sergilediği davranış ideal olmaktan uzaktır. Varsayımlara uygun parametre değerleri seçildiğinde daha kayda değer sonuçlar elde edilmektedir. Pencere tabanlı akış kontrolünde $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliği kullanıldığında özellikle $\tau_i^s(t)$ için elde edilen sonuçlar çok daha olumludur ve oran tabanlı akış kontrol yönteminin verdiği sonuçlara daha yakındır. Özellikle kontrolör tarafından nominal gecikme süresinin dikkate alındığı pencere tabanlı akış kontrolü uygulamalarında, veri paketlerinin iletim sırasında maruz kaldığı zaman gecikmelerindeki belirsizliklerin sistemin davranışını etkilediği gözlenmiştir. $\delta_i^b(t)$ sinusoidal bir sinyal olarak alındığında pencere tabanlı yöntemle elde edilen kuyruk uzunluğunda kaçınılmaz olarak salınımlar yaşanmaktadır, bu gibi durumlarda oran tabanlı yöntemin belirgin bir üstünlüğü vardır. $\delta_i^b(t)$ için rassal olarak değişen ya da zamanla değişmeyen sabit bir değer kullanıldığında uygulanan kontrol yöntemlerinin verdiği sonuçların birbirine yaklaştığı görülmektedir. $\delta_i^f(t)$ 'nin etkisi incelenirken $\delta_i^b(t)$ 'nin sinusoidal bir sinyal olduğu Durum 4, 12, 13; $\delta_i^b(t)$ 'nin rassal bir sinyal olduğu Durum 16, 17, 18; $\delta_i^b(t)$ 'nin sabit bir sayıyla ifade edildiği Durum 14, 15, 19 durum üçlüleri içinde karşılaştırmalar yapılabilir. Ayrıca Durum 19'da olduğu gibi her üç yöntemle de ideal davranışın gözlemlendiği bir koşulda bile yatışkın duruma erişebilmek için pencere tabanlı kontrol yönteminde oran tabanlı yöntemle göre biraz daha fazla zamana ihtiyaç vardır.

Çizelge 3.1. Durum 1 için simülasyon ve tasarım parametreleri

i	h_i^b	$\delta_i^b(t)$	h_i^f	$\delta_i^f(t)$	α_i	δ_i^+	β_i	β_i^f
1	0.9	$0.1 + 0.5\sin\left(\frac{\pi}{25}t\right)$	0.1	$0.1\sin\left(\frac{\pi}{50}t\right)$	1/3	2	0.1	0.01
2	1.9	$0.1 + 0.5\sin\left(\frac{\pi}{25}t\right)$	0.1	$0.1\sin\left(\frac{\pi}{50}t\right)$	2/3	3	0.1	0.01

Çizelge 3.2. Durum 2 için simülasyon ve tasarım parametreleri

i	h_i^b	$\delta_i^b(t)$	h_i^f	$\delta_i^f(t)$	α_i	δ_i^+	β_i	β_i^f
1	0.9	$0.1 + 0.5\sin\left(\frac{\pi}{25}t\right)$	0.1	$0.1\sin\left(\frac{\pi}{50}t\right)$	1/3	0.5	0.05	0.005
2	1.9	$0.1 + 0.5\sin\left(\frac{\pi}{25}t\right)$	0.1	$0.1\sin\left(\frac{\pi}{50}t\right)$	2/3	1	0.05	0.005

Çizelge 3.3. Durum 3 için simülasyon ve tasarım parametreleri

i	h_i^b	$\delta_i^b(t)$	h_i^f	$\delta_i^f(t)$	α_i	δ_i^+	β_i	β_i^f
1	0.9	$0.1 + 0.5\sin\left(\frac{\pi}{25}t\right)$	0.1	$0.1\sin\left(\frac{\pi}{50}t\right)$	1/3	8	0.7	0.2
2	1.9	$0.1 + 0.5\sin\left(\frac{\pi}{25}t\right)$	0.1	$0.1\sin\left(\frac{\pi}{50}t\right)$	2/3	10	0.7	0.2

Çizelge 3.4. Durum 4 ve 5 için simülasyon ve tasarım parametreleri

i	h_i^b	$\delta_i^b(t)$	h_i^f	$\delta_i^f(t)$	α_i	δ_i^+	β_i	β_i^f
1	0.75	$0.1\sin\left(\frac{\pi}{50}t\right)$	0.75	$0.03\sin\left(\frac{\pi}{50}t\right)$	0.2	1	0.1	0.01
2	0.5	$0.1\sin\left(\frac{\pi}{50}t\right)$	1	$0.03\sin\left(\frac{\pi}{50}t\right)$	0.8	1	0.2	0.02

Çizelge 3.5. Durum 6 için simülasyon ve tasarım parametreleri

i	h_i^b	$\delta_i^b(t)$	h_i^f	$\delta_i^f(t)$	α_i	δ_i^+	β_i	β_i^f
1	0.75	$0.5\sin\left(\frac{\pi}{25}t\right)$	0.75	$0.1\sin\left(\frac{\pi}{25}t\right)$	0.4	1	0.2	0.07
2	0.75	$0.5\sin\left(\frac{\pi}{50}t\right)$	0.75	$0.1\sin\left(\frac{\pi}{50}t\right)$	0.6	1	0.2	0.07

Çizelge 3.6. Durum 7 için simülasyon ve tasarım parametreleri

i	h_i^b	$\delta_i^b(t)$	h_i^f	$\delta_i^f(t)$	α_i	δ_i^+	β_i	β_i^f
1	0.75	$0.1\sin\left(\frac{\pi}{25}t\right)$	0.75	$0.5\sin\left(\frac{\pi}{25}t\right)$	0.4	1	0.2	0.07
2	0.75	$0.1\sin\left(\frac{\pi}{50}t\right)$	0.75	$0.5\sin\left(\frac{\pi}{50}t\right)$	0.6	1	0.2	0.07

Çizelge 3.7. Durum 8, 9, 10 için simülasyon ve tasarım parametreleri

i	h_i^b	$\delta_i^b(t)$	h_i^f	$\delta_i^f(t)$	α_i	δ_i^+	β_i	β_i^f
1	0.75	$0.1\sin\left(\frac{\pi}{50}t\right)$	0.75	$0.03\sin\left(\frac{\pi}{50}t\right)$	0.1	1	0.1	0.01
2	0.5	$0.1\sin\left(\frac{\pi}{50}t\right)$	1	$0.03\sin\left(\frac{\pi}{50}t\right)$	0.3	1	0.2	0.02
3	1	$0.1\sin\left(\frac{\pi}{50}t\right)$	1	$0.03\sin\left(\frac{\pi}{50}t\right)$	0.6	1	0.2	0.02

Çizelge 3.8. Durum 9 için pencere tabanlı akış kontrolünde pencere sınır değerleri

i	1	2	3
d_{w_i} (paket)	75	75	120

Çizelge 3.9. Durum 9 için oran tabanlı akış kontrolünde veri iletim oranlarının sınır değerleri

i	1	2	3
d_{r_i} (paket/saniye)	50	50	60

Çizelge 3.10. Durum 11 için simülasyon ve tasarım parametreleri

i	h_i^b	$\delta_i^b(t)$	h_i^f	$\delta_i^f(t)$	α_i	δ_i^+	β_i	β_i^f
1	0.75	$0.01\sin\left(\frac{\pi}{50}t\right)$	0.75	$0.01\sin\left(\frac{\pi}{50}t\right)$	0.2	1	0.1	0.01
2	0.5	$0.01\sin\left(\frac{\pi}{50}t\right)$	1	$0.01\sin\left(\frac{\pi}{50}t\right)$	0.8	1	0.2	0.02

Çizelge 3.11. Pencere tabanlı akış kontrolünde $\tau_i^c(t) = h_i$ için γ_i değerleri

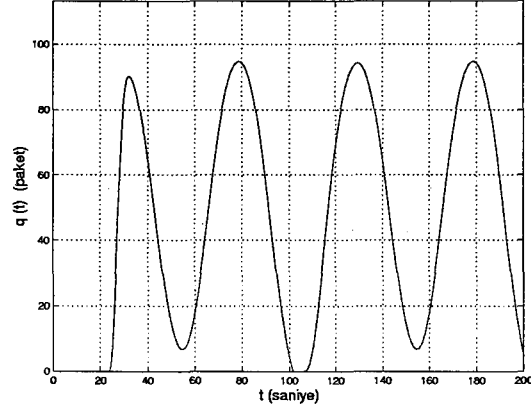
i	1	2	3
Durum 1, γ_i	5.36	7.01	--
Durum 2, γ_i	2.73	3.99	--
Durum 3, γ_i	9.24	11.42	--
Durum 4, γ_i	4.60	4.60	--
Durum 6, γ_i	4.87	4.87	--
Durum 8, γ_i	3.32	3.32	3.83

Çizelge 3.12. Pencere tabanlı akış kontrolünde $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ için γ_i değerleri

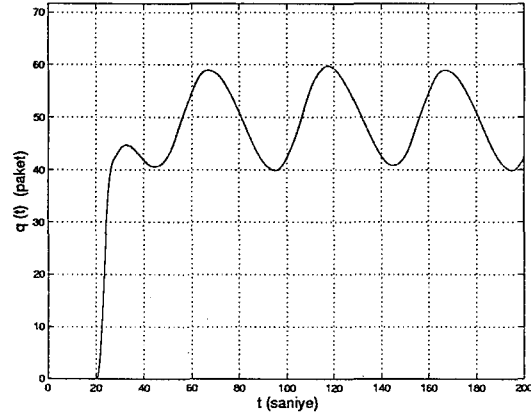
i	1	2	3
Durum 1, γ_i	7.49	9.25	---
Durum 2, γ_i	3.52	4.86	---
Durum 3, γ_i	9.76	11.97	---
Durum 4, γ_i	6.71	6.71	---
Durum 6, γ_i	7.19	7.19	---
Durum 8, γ_i	4.79	4.79	5.35

Çizelge 3.13. Oran tabanlı akış kontrolünde γ_i değerleri

i	1	2	3
Durum 1, γ_i	4.43	6.03	---
Durum 2, γ_i	2.36	3.59	---
Durum 3, γ_i	9.38	11.57	---
Durum 4, γ_i	3.29	3.29	---
Durum 6, γ_i	3.3	3.3	---
Durum 8, γ_i	2.42	2.42	2.89

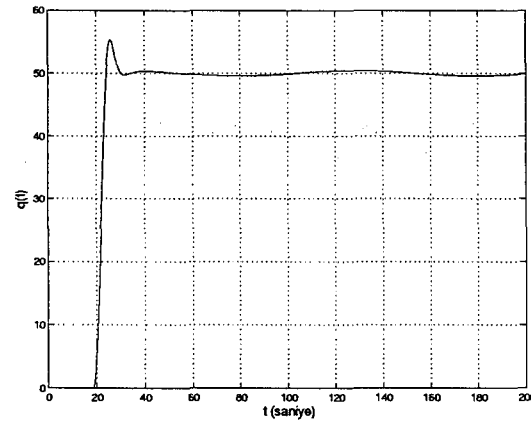


(a)

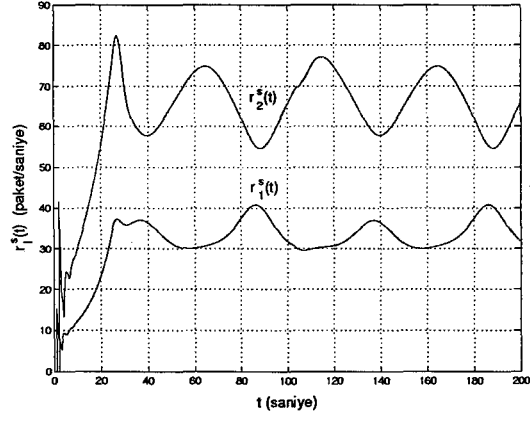


(b)

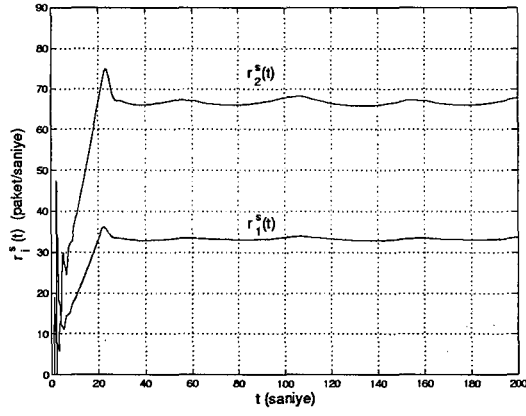
Şekil 3.1 Durum 1 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$



Şekil 3.2 Durum 1 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$

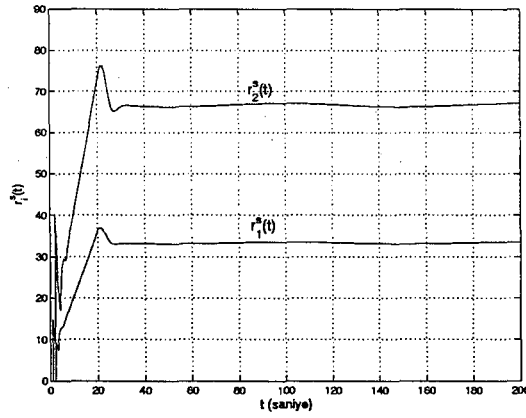


(a)

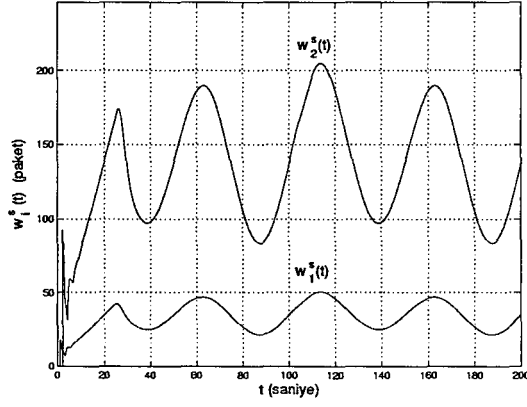


(b)

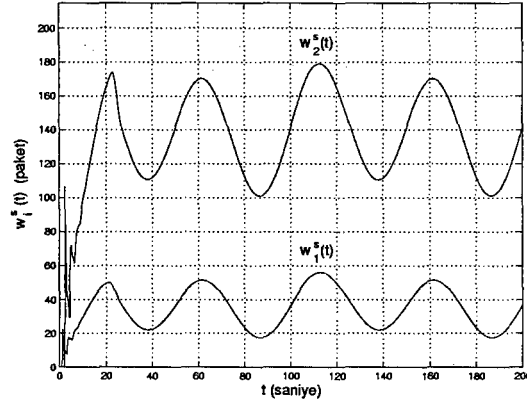
Şekil 3.3 Durum 1 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^s(t)$



Şekil 3.4 Durum 1 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$

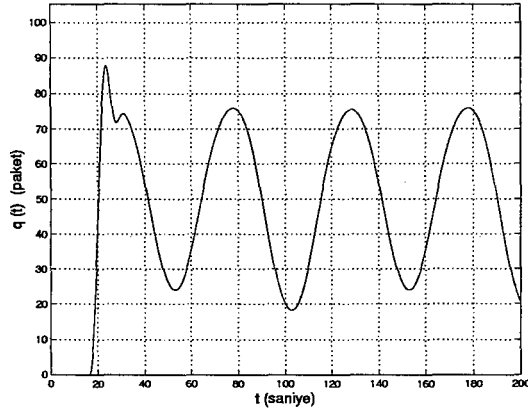


(a)

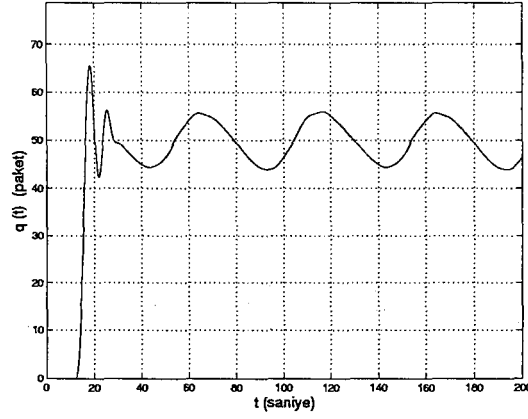


(b)

Şekil 3.5 Durum 1 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen pencere boyutları, $w_i^s(t)$

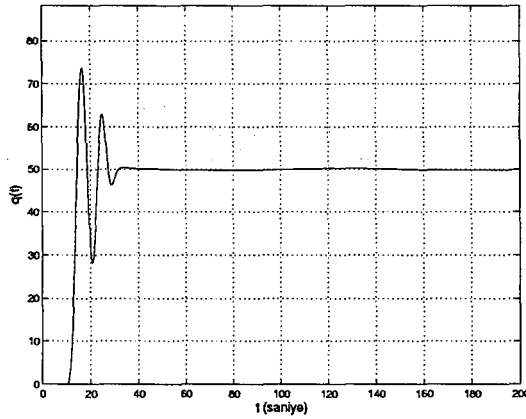


(a)

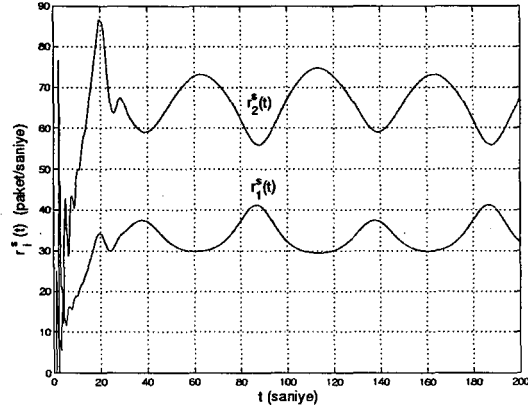


(b)

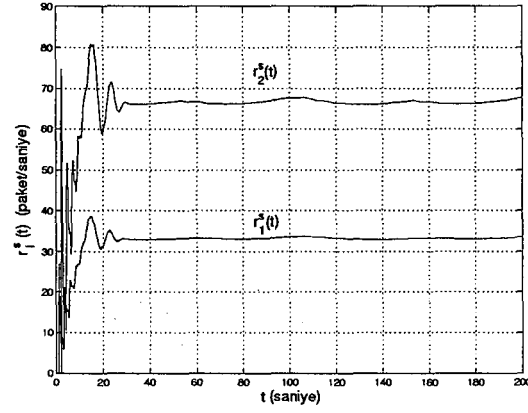
Şekil 3.6 Durum 2 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$



Şekil 3.7 Durum 2 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$

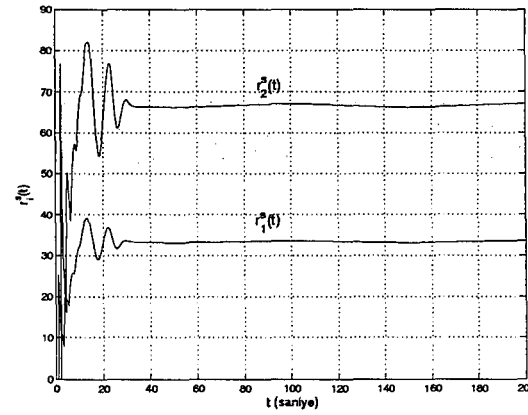


(a)

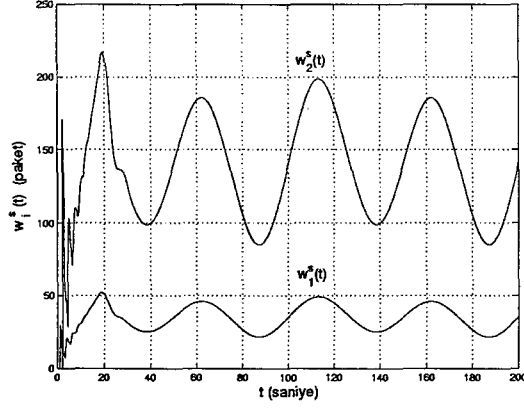


(b)

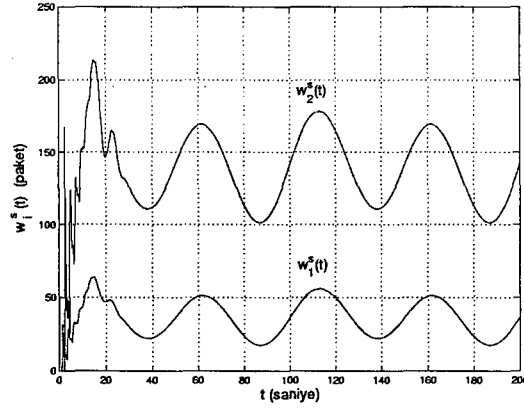
Şekil 3.8 Durum 2 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^s(t)$



Şekil 3.9 Durum 2 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$

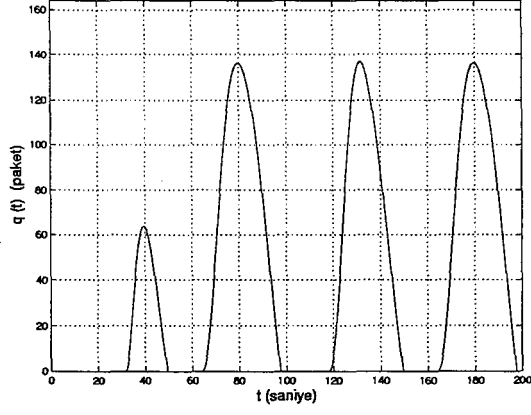


(a)

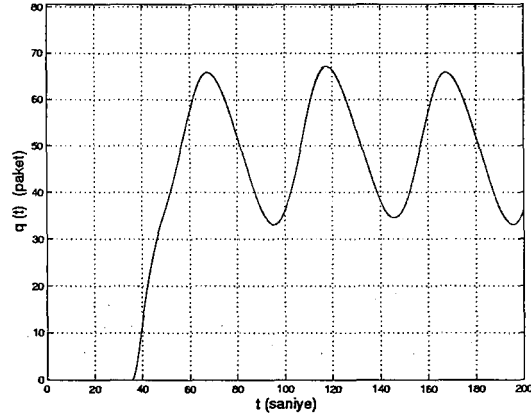


(b)

Şekil 3.10 Durum 2 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$,
 (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen
 pencere boyutları, $w_i^s(t)$

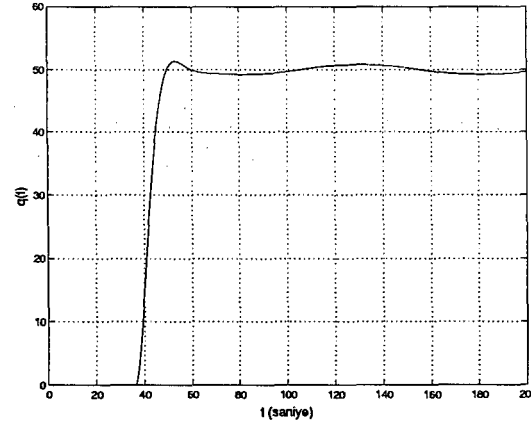


(a)

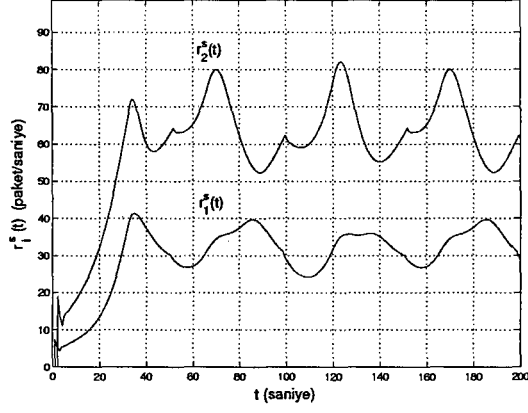


(b)

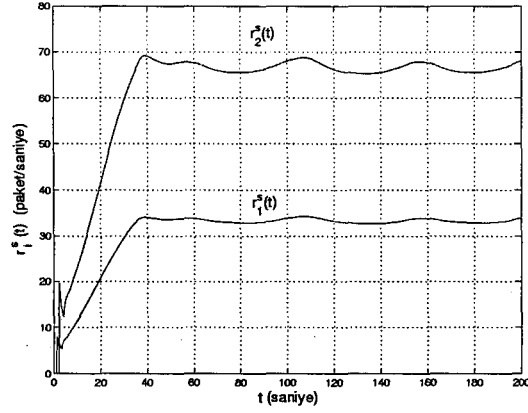
Şekil 3.11 Durum 3 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$



Şekil 3.12 Durum 3 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$

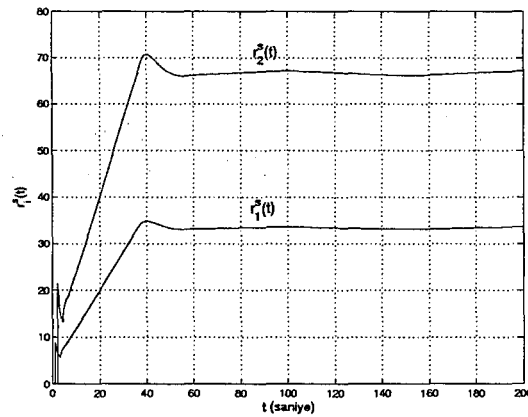


(a)

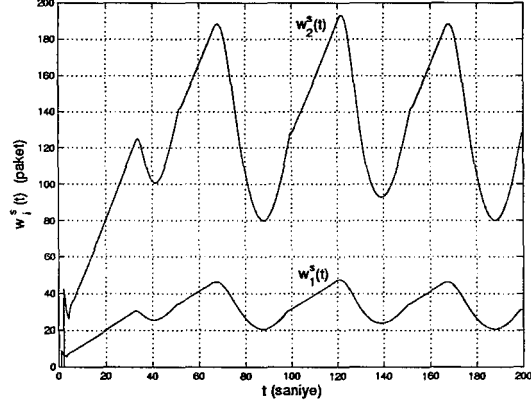


(b)

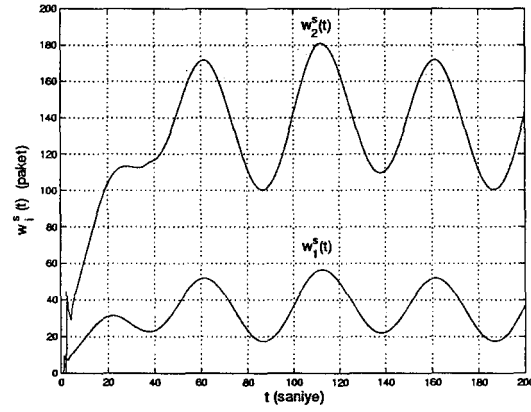
Şekil 3.13 Durum 3 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^s(t)$



Şekil 3.14 Durum 3 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$

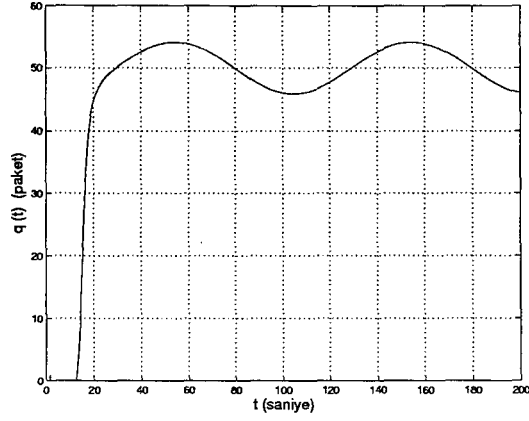


(a)

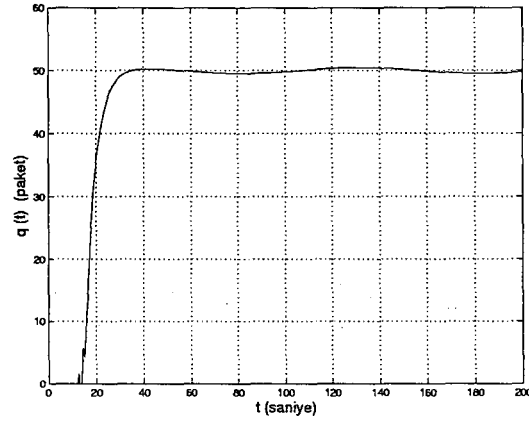


(b)

Şekil 3.15 Durum 3 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen pencere boyutları, $w_i^s(t)$

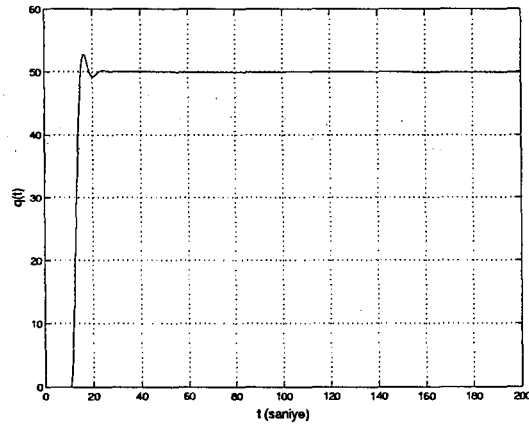


(a)

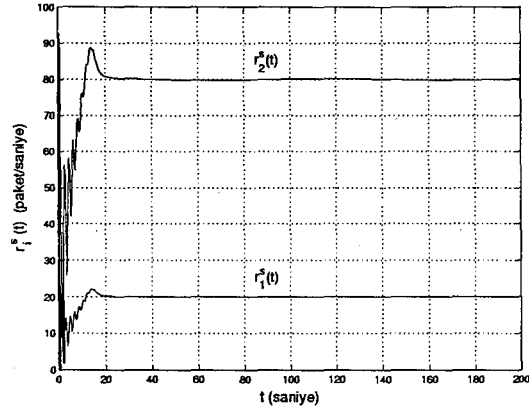


(b)

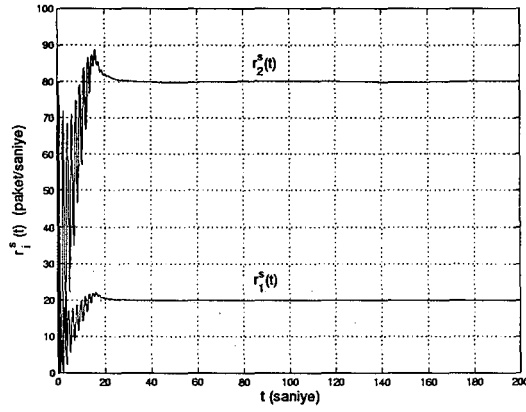
Şekil 3.16 Durum 4 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$,
 (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen
 kuyruk uzunluğu, $q(t)$



Şekil 3.17 Durum 4 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$

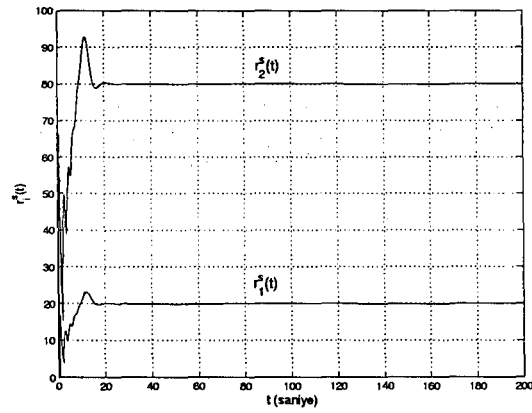


(a)

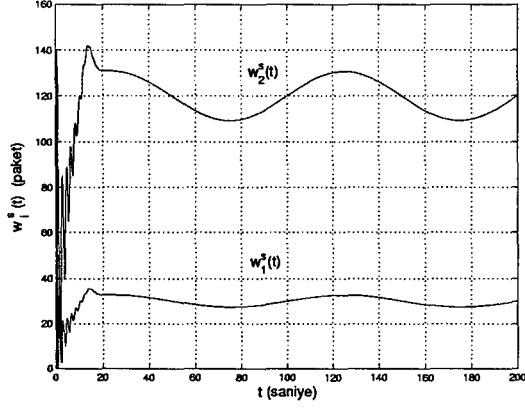


(b)

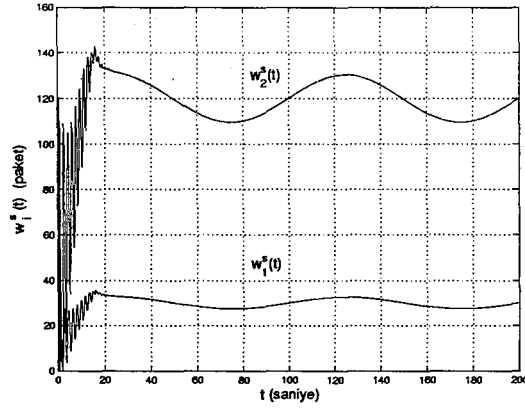
Şekil 3.18 Durum 4 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^s(t)$



Şekil 3.19 Durum 4 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$

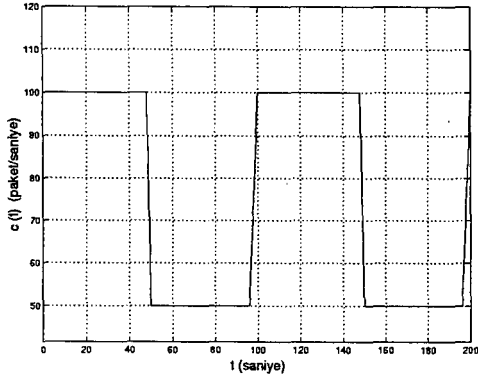


(a)

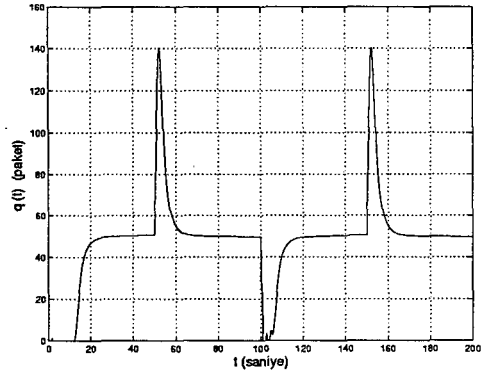


(b)

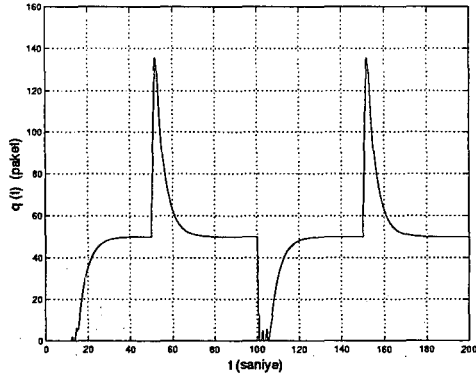
Şekil 3.20 Durum 4 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$,
 (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen
 pencere boyutları, $w_i^s(t)$



(a)

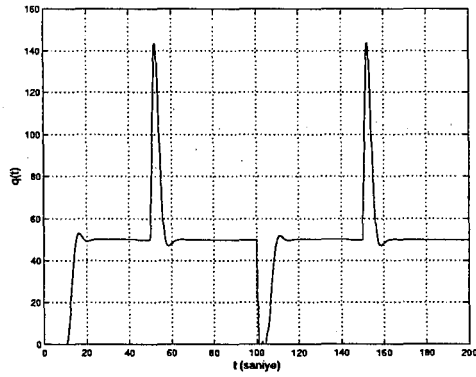


(b)

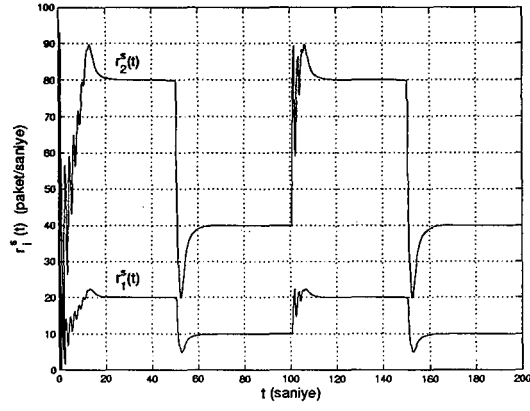


(c)

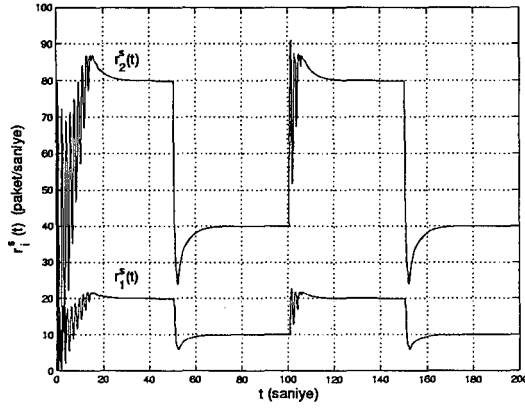
Şekil 3.21 Durum 5 için (a) darboğazlı geçidin veri iletim kapasitesinin zamana bağlı değişim grafiği; pencere tabanlı akış kontrolünde (b) $\tau_i^c(t) = h_i$, (c) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$



Şekil 3.22 Durum 5 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$

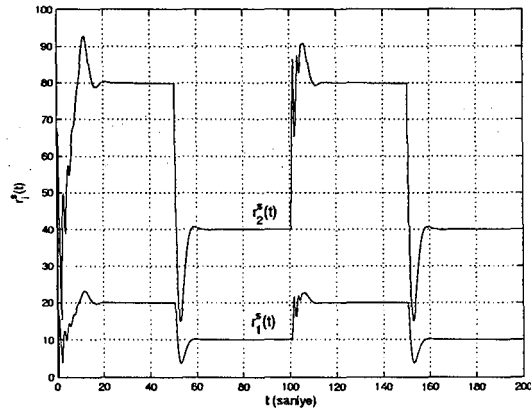


(a)

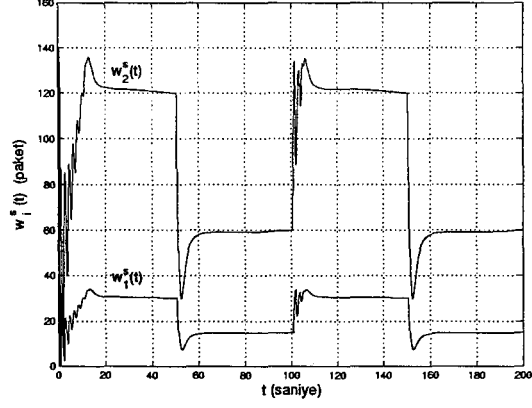


(b)

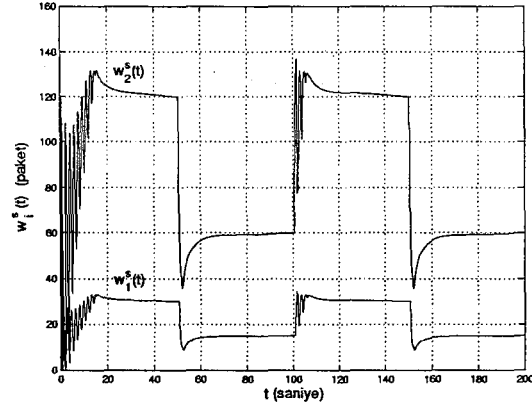
Şekil 3.23 Durum 5 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $\tau_i^s(t)$



Şekil 3.24 Durum 5 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $\tau_i^s(t)$

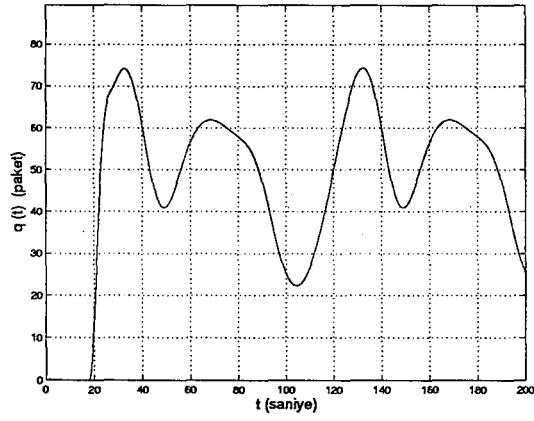


(a)

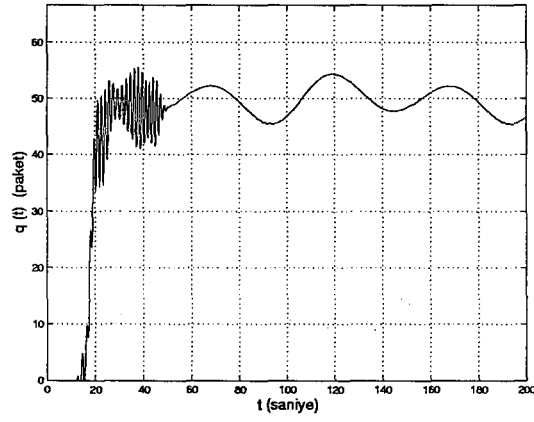


(b)

Şekil 3.25 Durum 5 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$,
 (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen
 pencere boyutları, $w_i^s(t)$

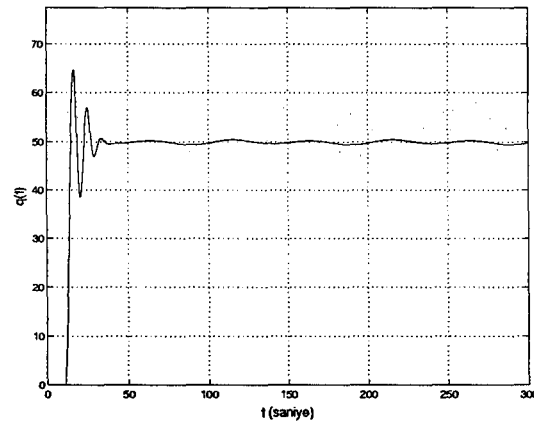


(a)

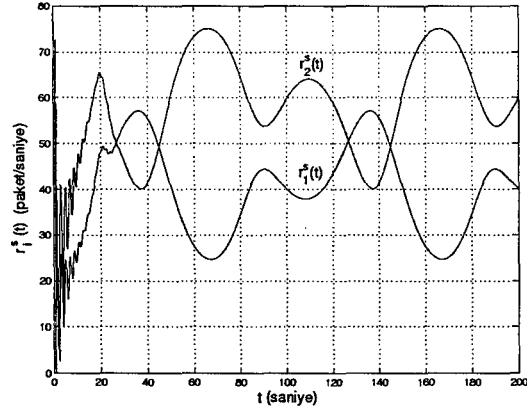


(b)

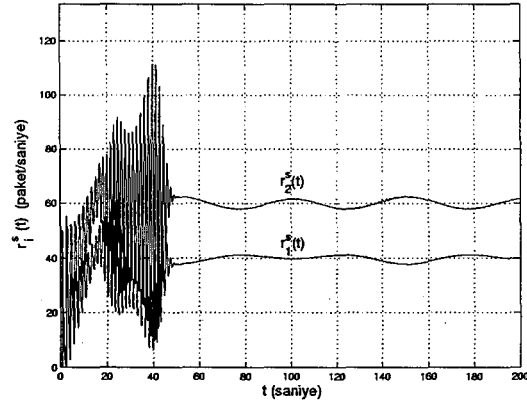
Şekil 3.26 Durum 6 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$



Şekil 3.27 Durum 6 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$

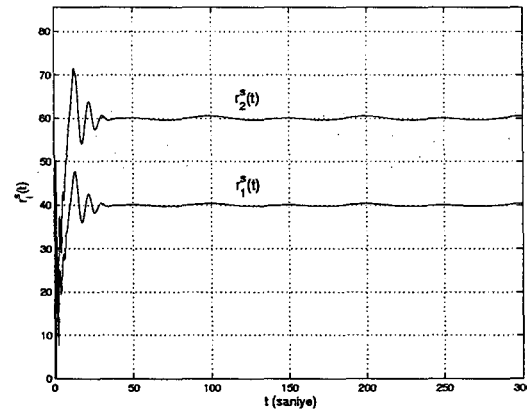


(a)

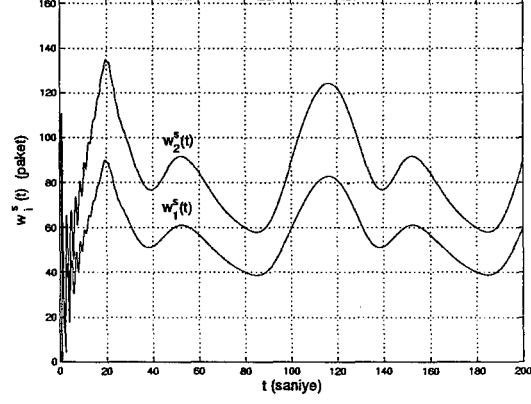


(b)

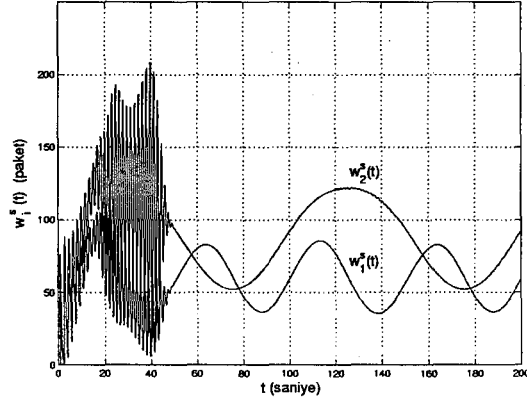
Şekil 3.28 Durum 6 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$,
 (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen
 veri iletim oranları, $r_i^s(t)$



Şekil 3.29 Durum 6 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$

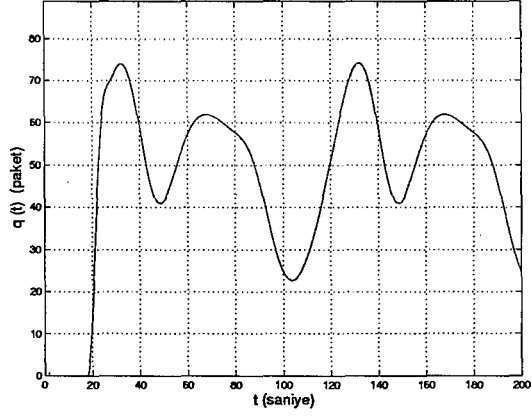


(a)

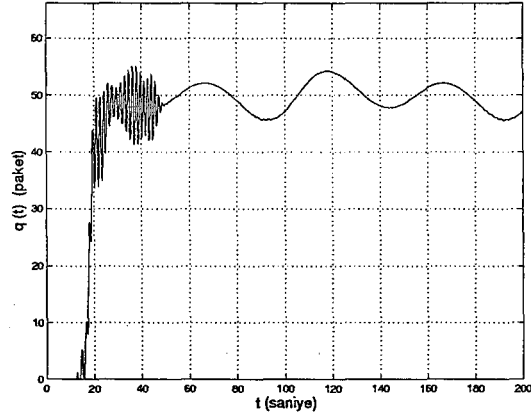


(b)

Şekil 3.30 Durum 6 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$,
 (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen
 pencere boyutları, $w_i^s(t)$

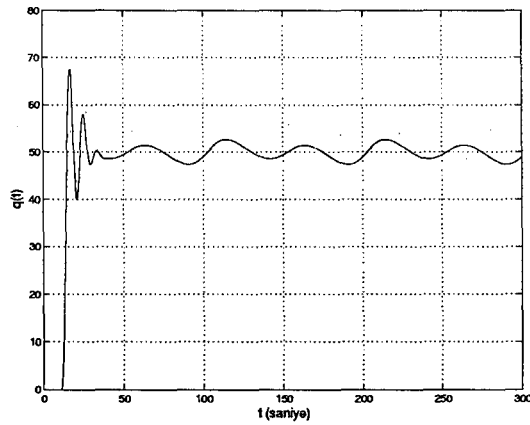


(a)

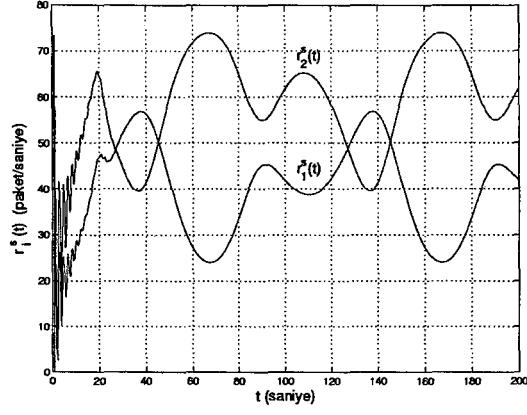


(b)

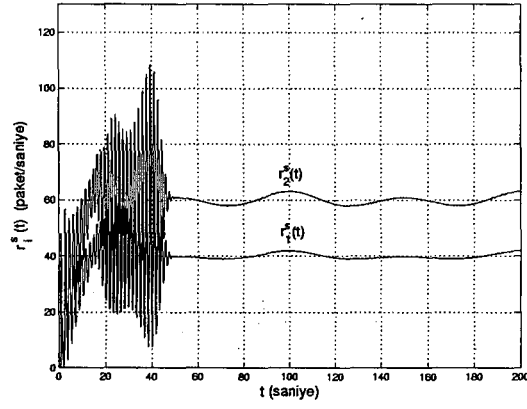
Şekil 3.31 Durum 7 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$



Şekil 3.32 Durum 7 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$

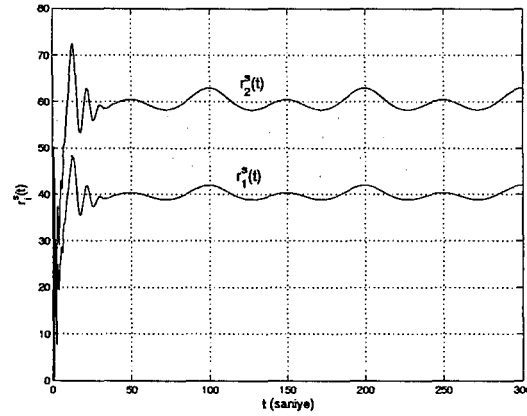


(a)

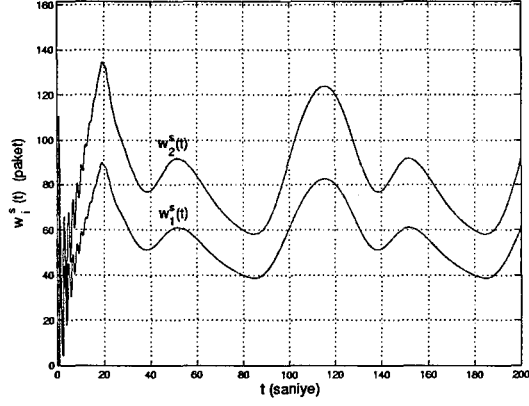


(b)

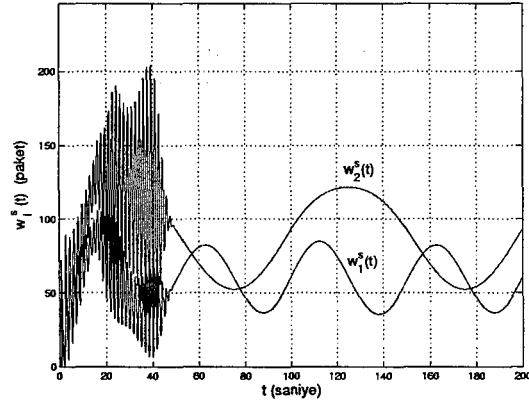
Şekil 3.33 Durum 7 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$,
 (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen
 veri iletim oranları, $r_i^s(t)$



Şekil 3.34 Durum 7 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$

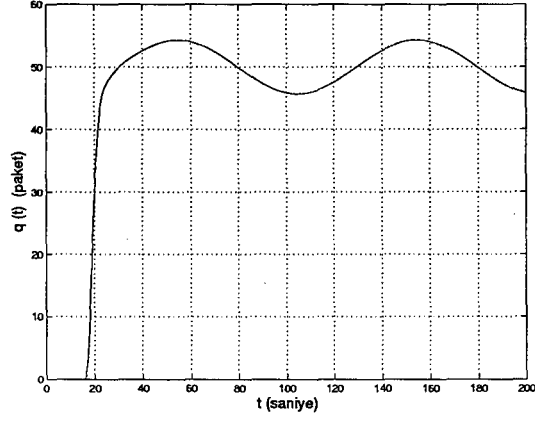


(a)

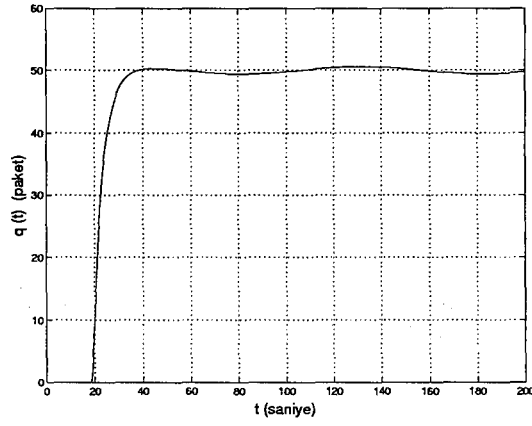


(b)

Şekil 3.35 Durum 7 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen pencere boyutları, $w_i^s(t)$

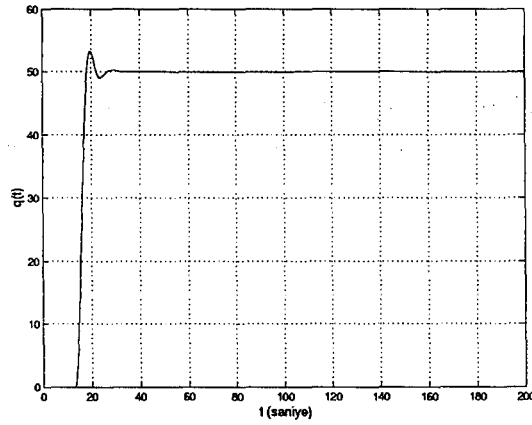


(a)

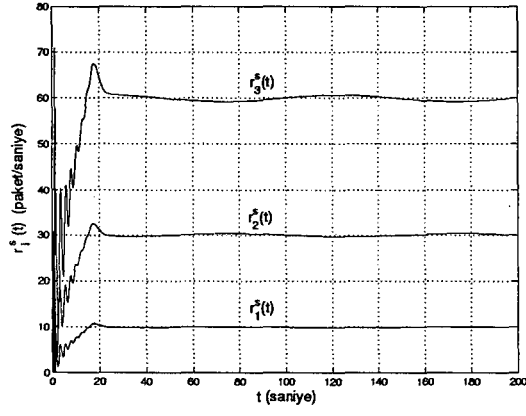


(b)

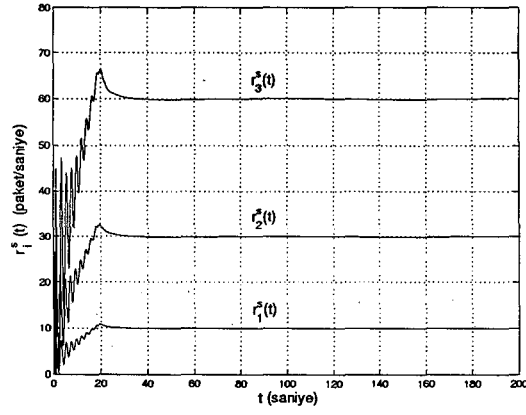
Şekil 3.36 Durum 8 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$



Şekil 3.37 Durum 8 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$

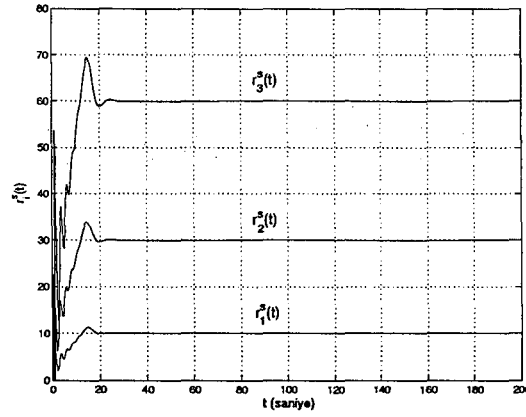


(a)

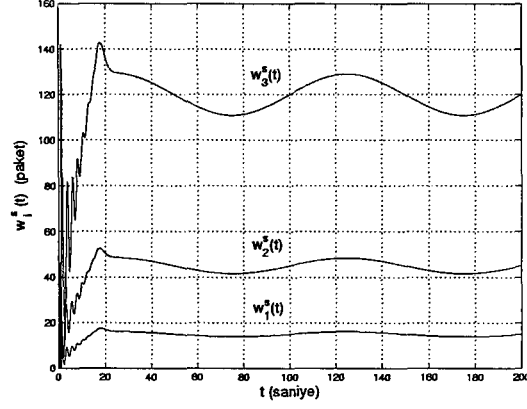


(b)

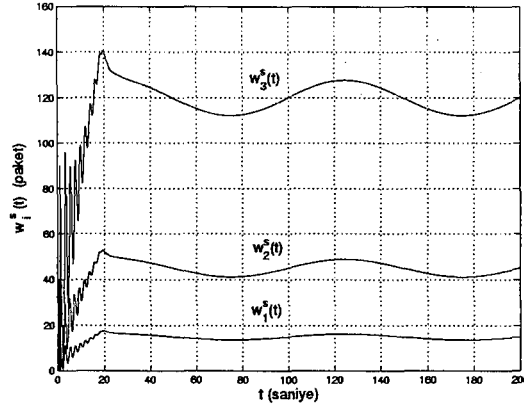
Şekil 3.38 Durum 8 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^s(t)$



Şekil 3.39 Durum 8 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$

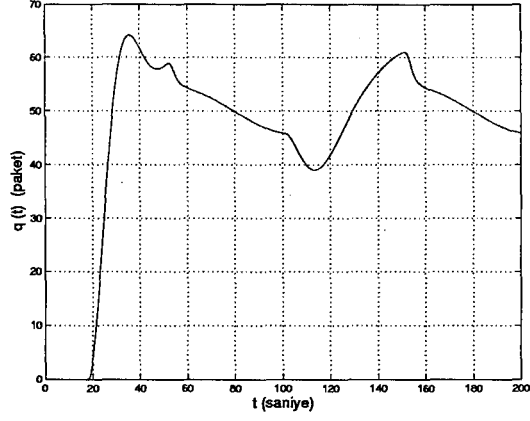


(a)

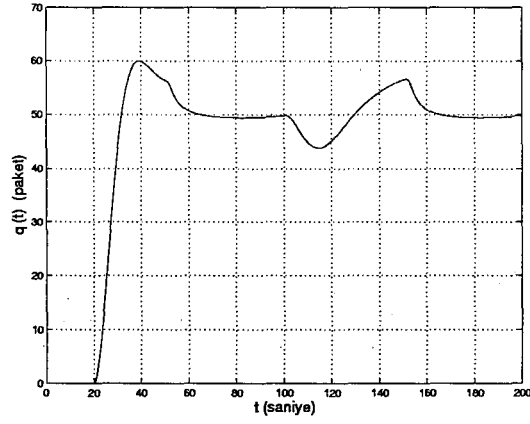


(b)

Şekil 3.40 Durum 8 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$,
 (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen
 pencere boyutları, $w_i^s(t)$

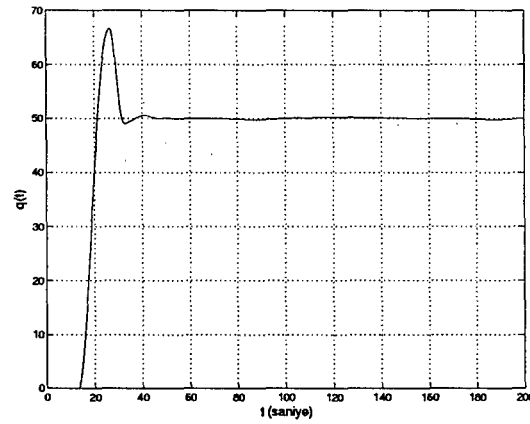


(a)

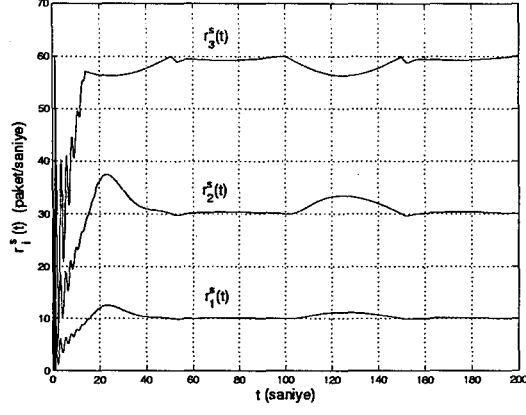


(b)

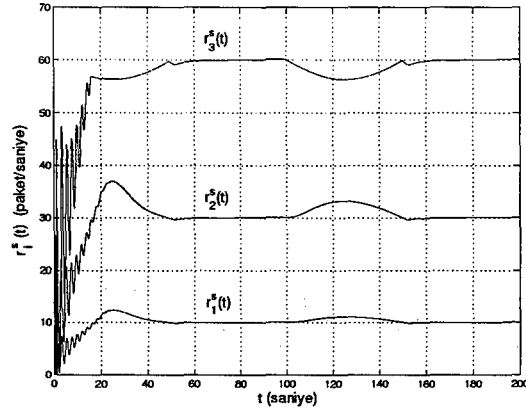
Şekil 3.41 Durum 9 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$,
 (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen
 kuyruk uzunluğu, $q(t)$



Şekil 3.42 Durum 9 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$

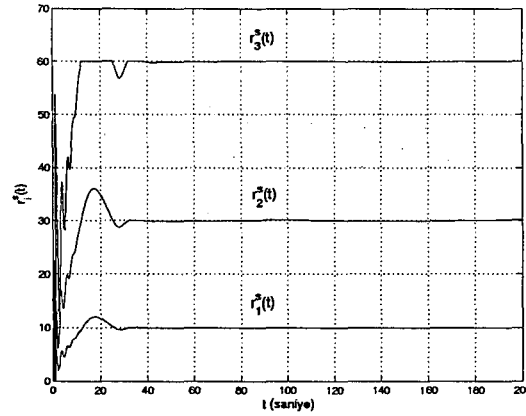


(a)

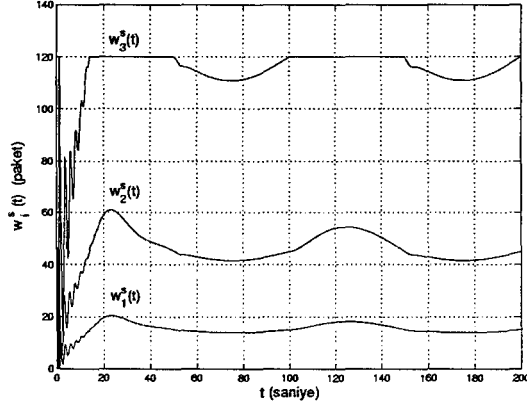


(b)

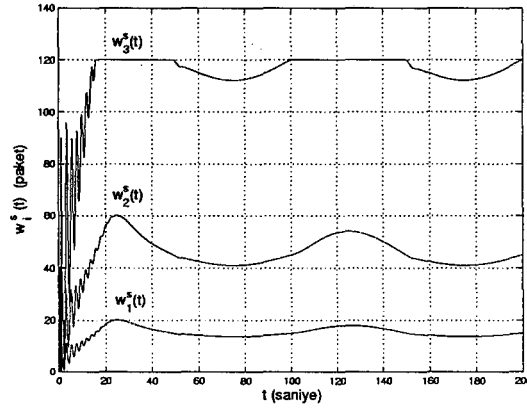
Şekil 3.43 Durum 9 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^s(t)$



Şekil 3.44 Durum 9 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$

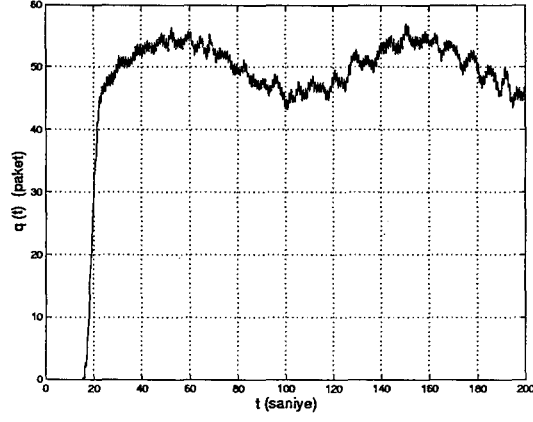


(a)

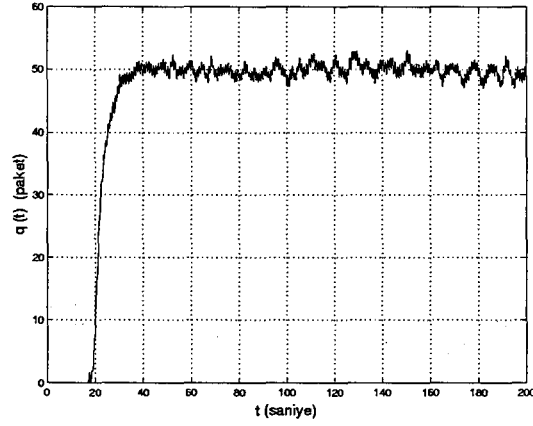


(b)

Şekil 3.45 Durum 9 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen pencere boyutları, $w_i^s(t)$

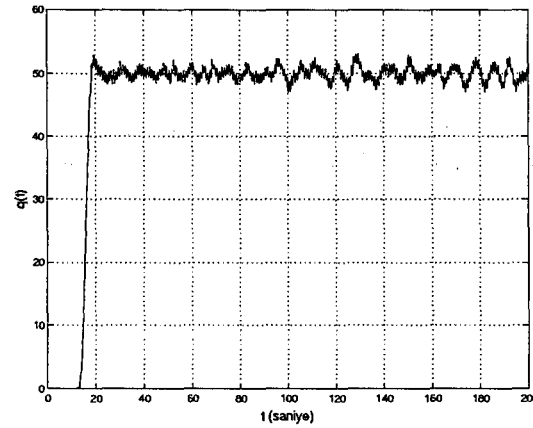


(a)

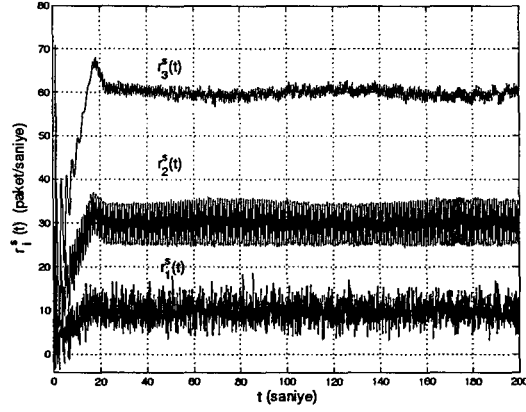


(b)

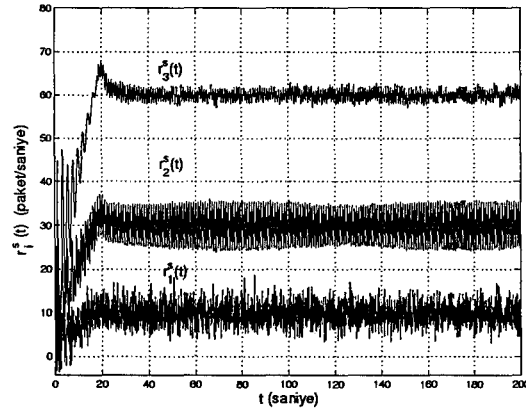
Şekil 3.46 Durum 10 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$



Şekil 3.47 Durum 10 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$

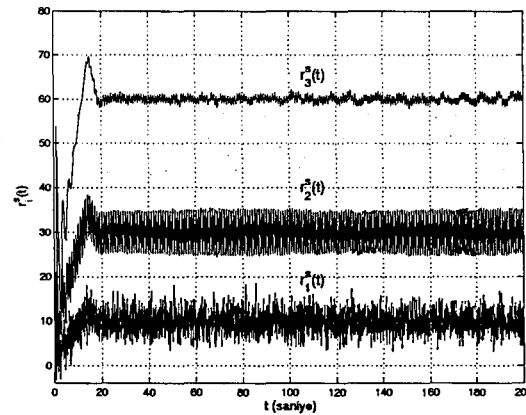


(a)

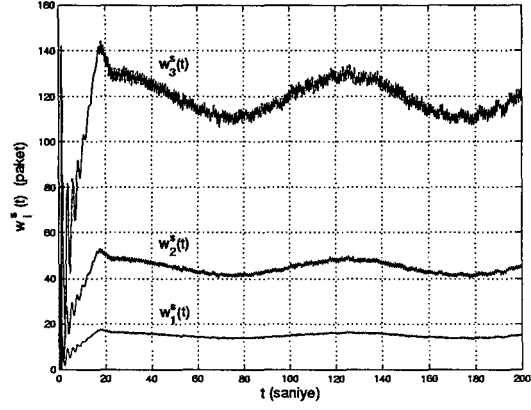


(b)

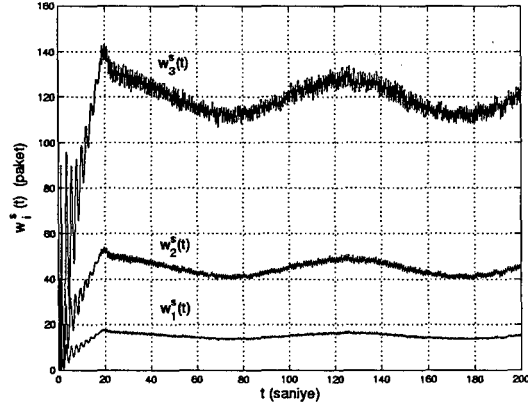
Şekil 3.48 Durum 10 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^s(t)$



Şekil 3.49 Durum 10 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$

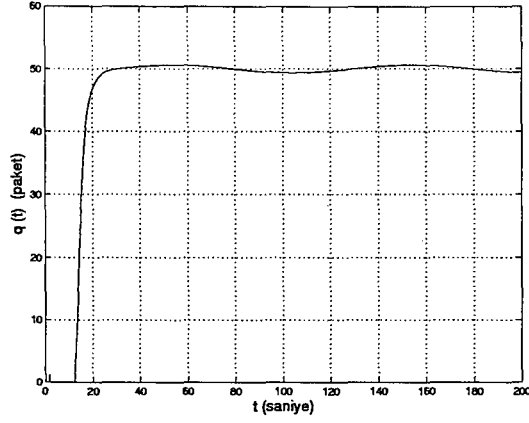


(a)

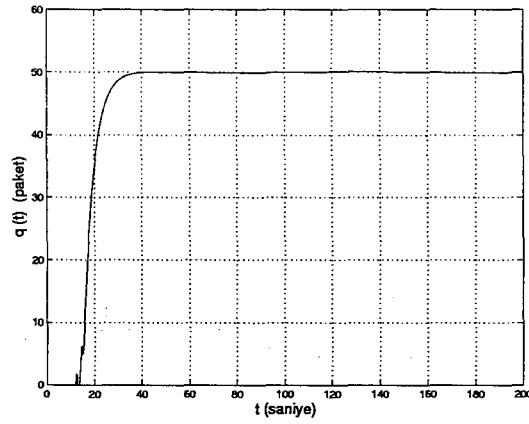


(b)

Şekil 3.50 Durum 10 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$,
 (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen
 pencere boyutları, $w_i^s(t)$

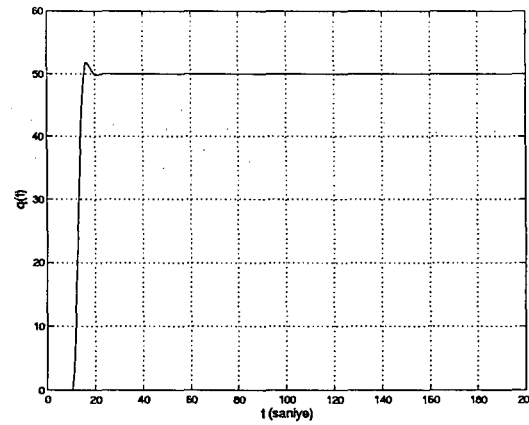


(a)

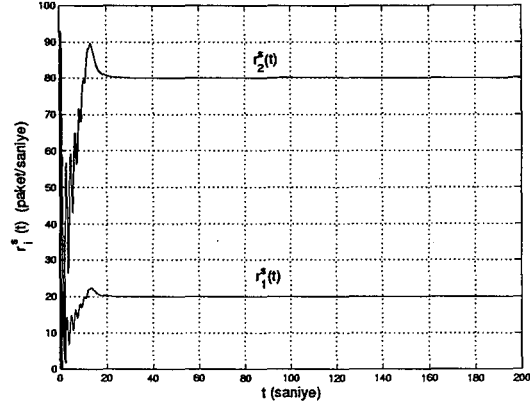


(b)

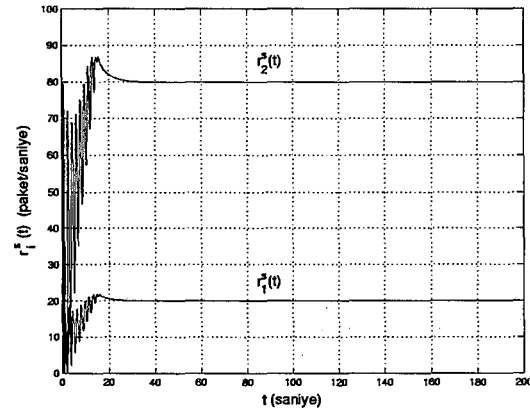
Şekil 3.51 Durum 11 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$



Şekil 3.52 Durum 11 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$

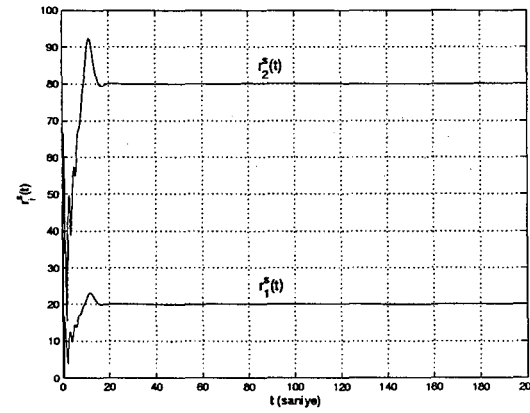


(a)

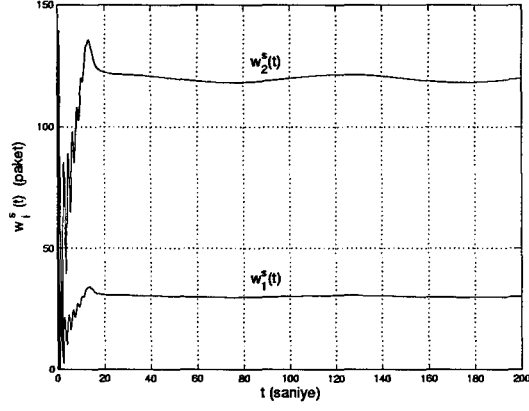


(b)

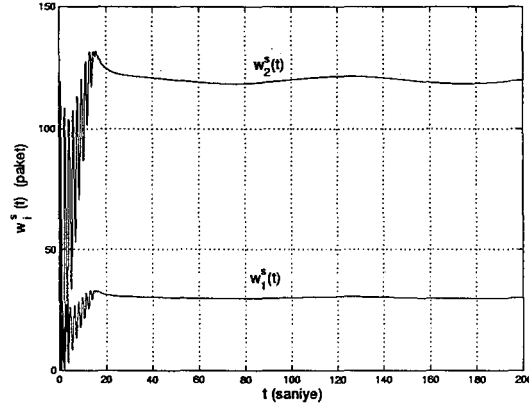
Şekil 3.53 Durum 11 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^s(t)$



Şekil 3.54 Durum 11 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$

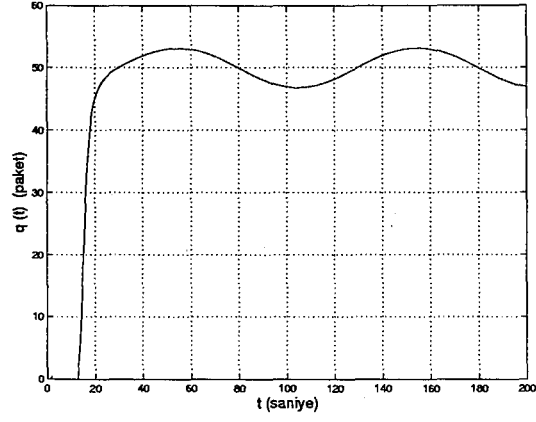


(a)

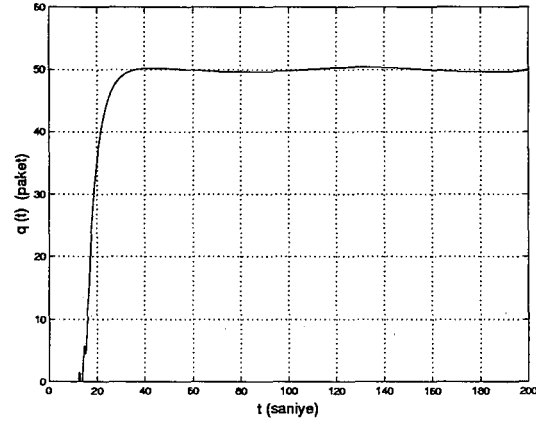


(b)

Şekil 3.55 Durum 11 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen pencere boyutları, $w_i^s(t)$

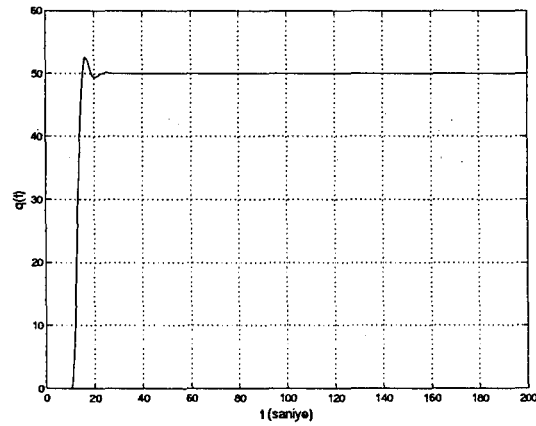


(a)

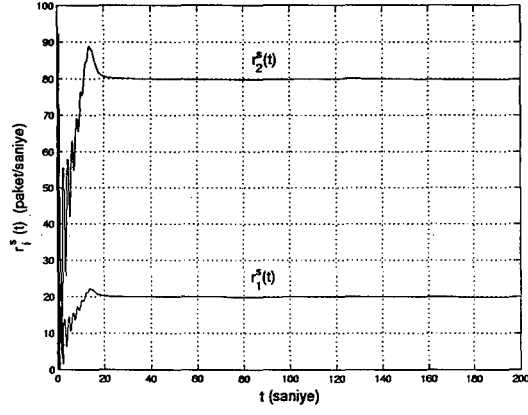


(b)

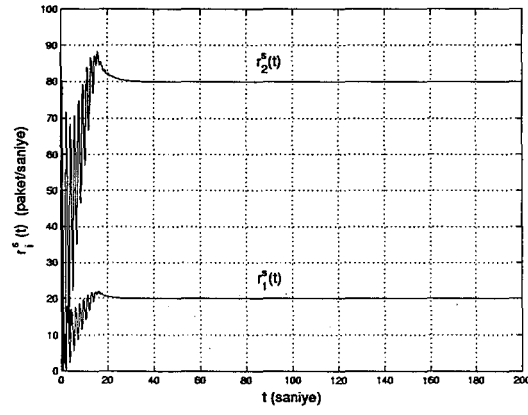
Şekil 3.56 Durum 12 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$



Şekil 3.57 Durum 12 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$

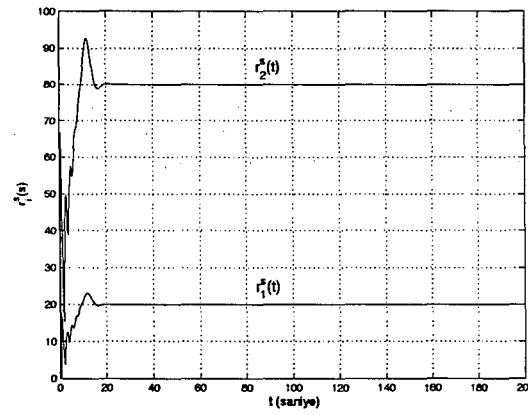


(a)

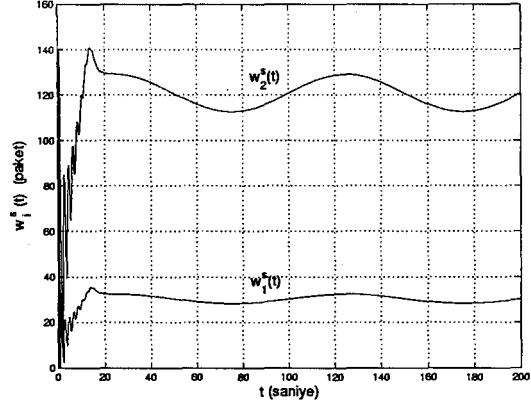


(b)

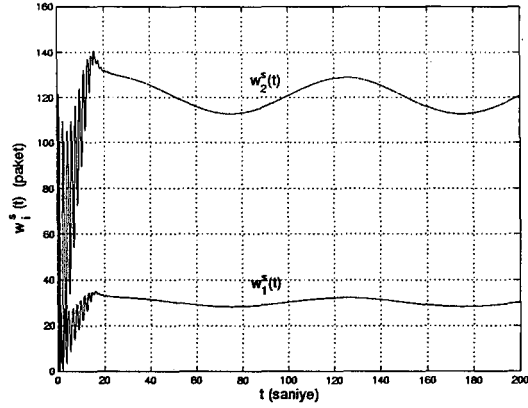
Şekil 3.58 Durum 12 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^s(t)$



Şekil 3.59 Durum 12 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$

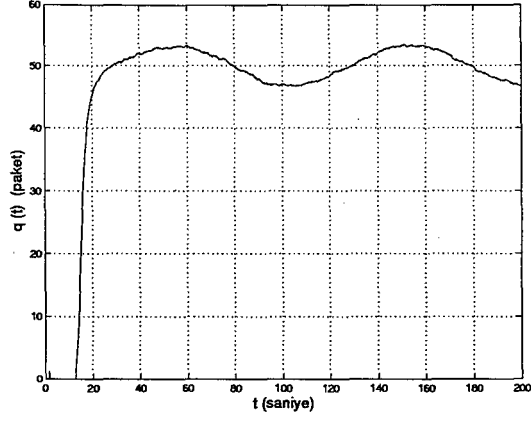


(a)

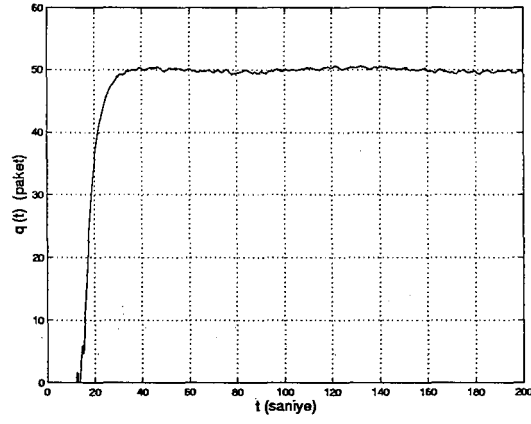


(b)

Şekil 3.60 Durum 12 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$,
 (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen
 pencere boyutları, $w_i^c(t)$

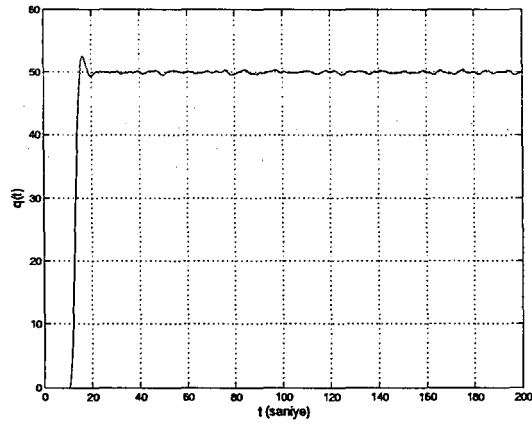


(a)

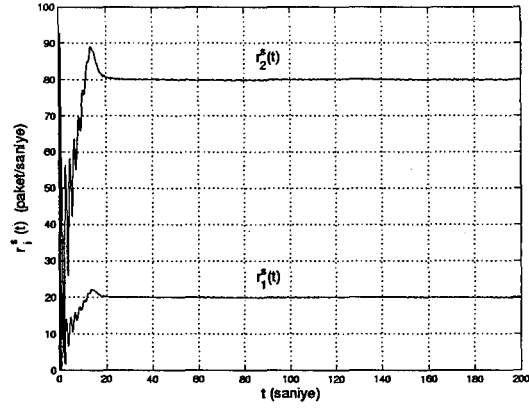


(b)

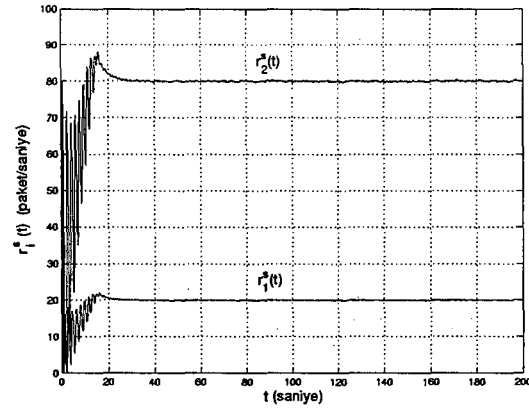
Şekil 3.61 Durum 13 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$



Şekil 3.62 Durum 13 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$

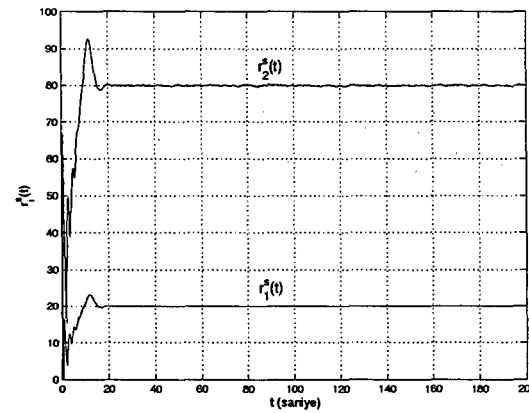


(a)

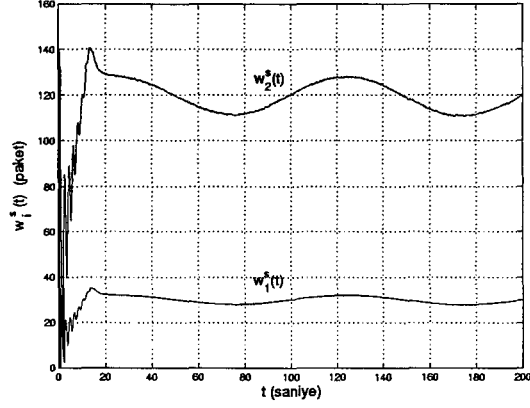


(b)

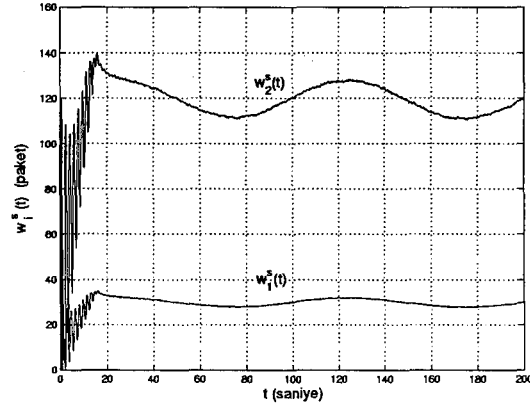
Şekil 3.63 Durum 13 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^g(t)$



Şekil 3.64 Durum 13 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^g(t)$

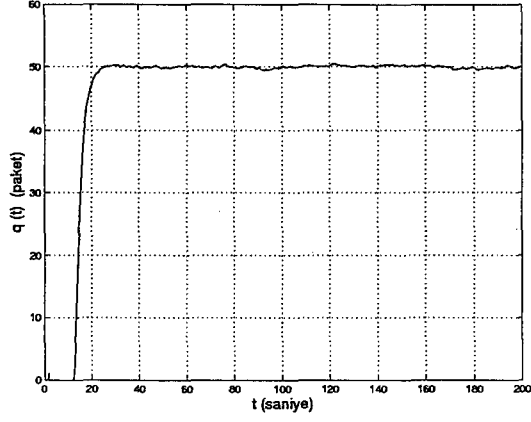


(a)

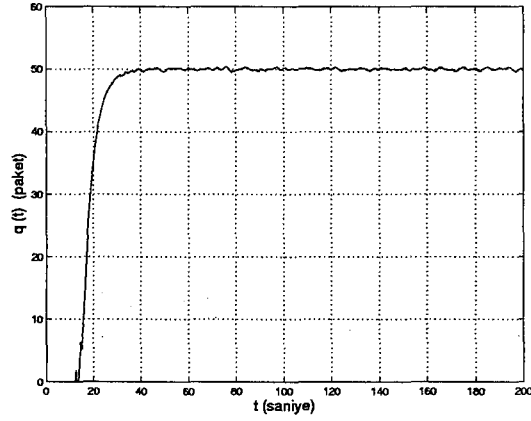


(b)

Şekil 3.65 Durum 13 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen pencere boyutları, $w_i^s(t)$

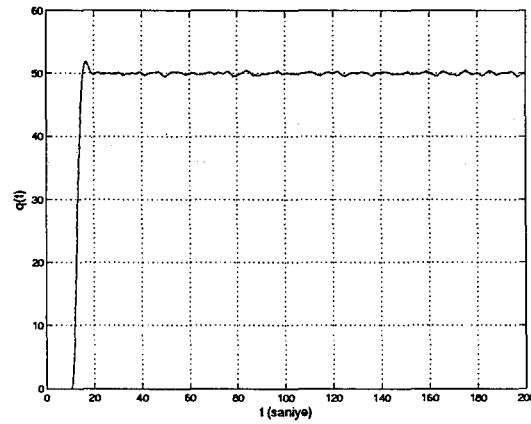


(a)

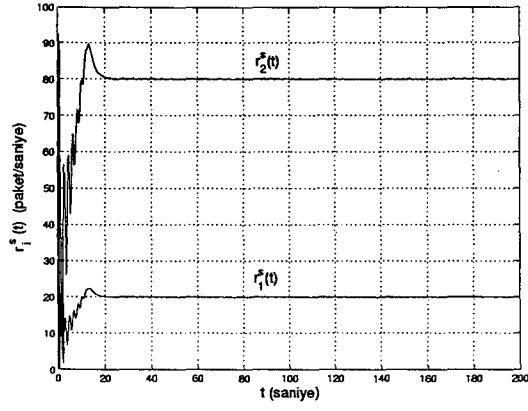


(b)

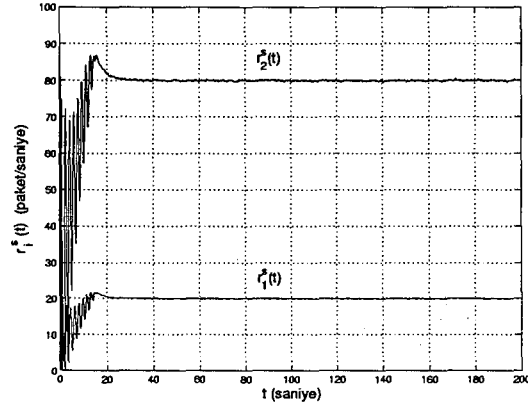
Şekil 3.66 Durum 14 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$



Şekil 3.67 Durum 14 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$

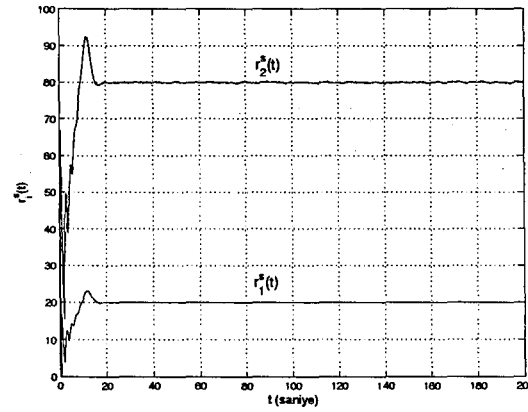


(a)

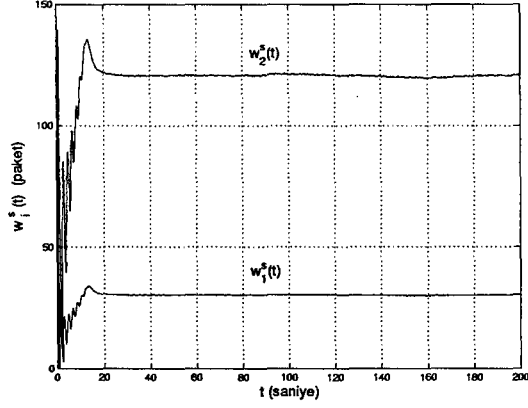


(b)

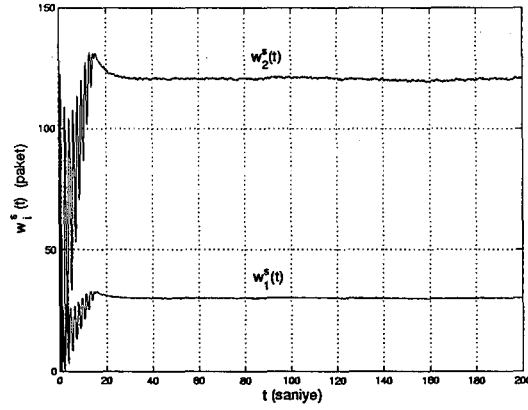
Şekil 3.68 Durum 14 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^s(t)$



Şekil 3.69 Durum 14 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$

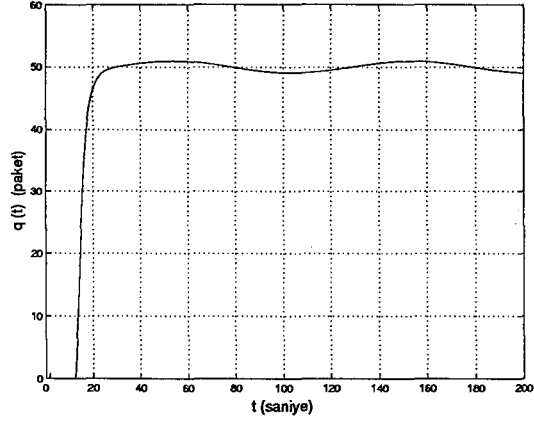


(a)

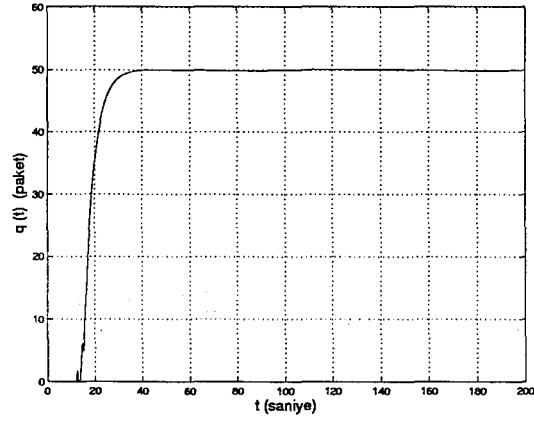


(b)

Şekil 3.70 Durum 14 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen pencere boyutları, $w_i^s(t)$

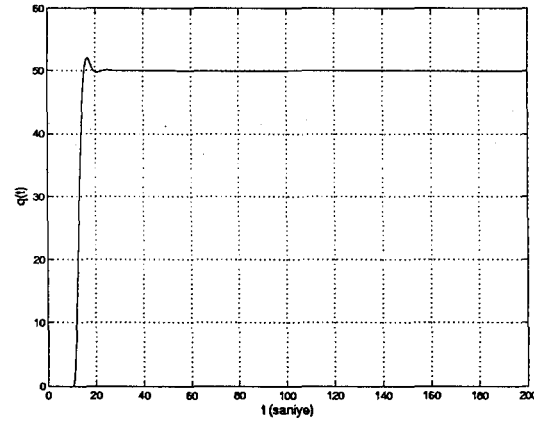


(a)

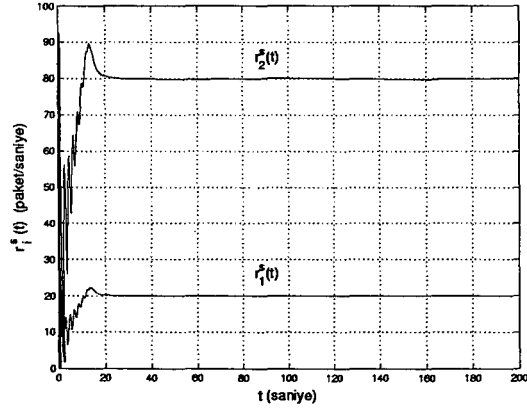


(b)

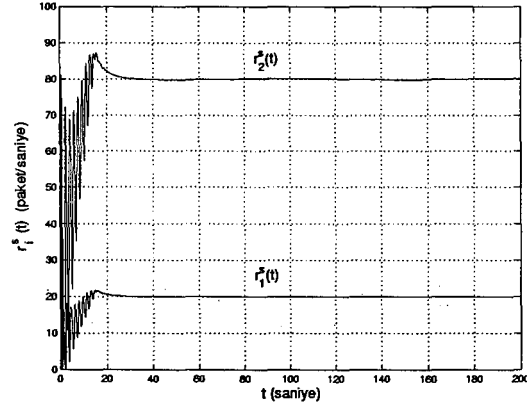
Şekil 3.71 Durum 15 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$



Şekil 3.72 Durum 15 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$

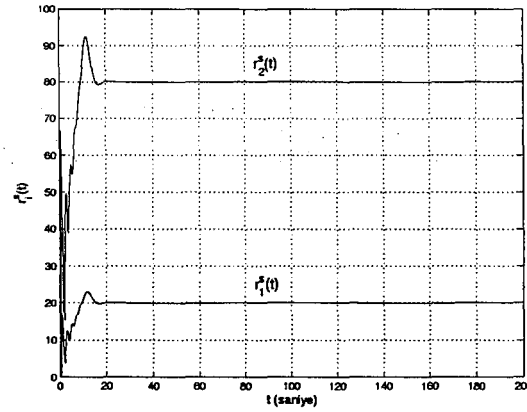


(a)

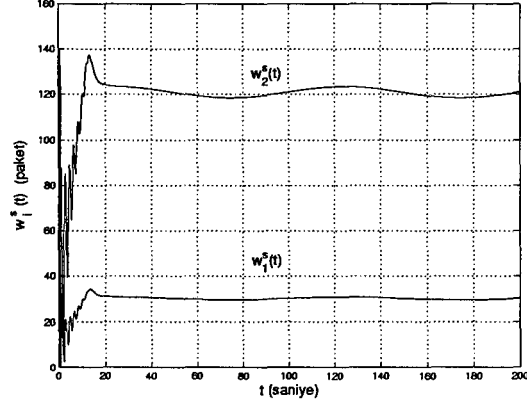


(b)

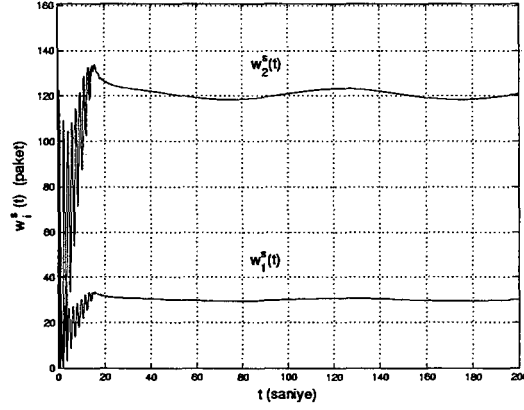
Şekil 3.73 Durum 15 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^g(t)$



Şekil 3.74 Durum 15 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^g(t)$

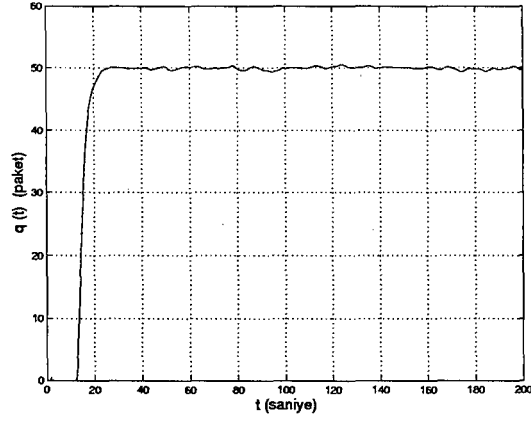


(a)

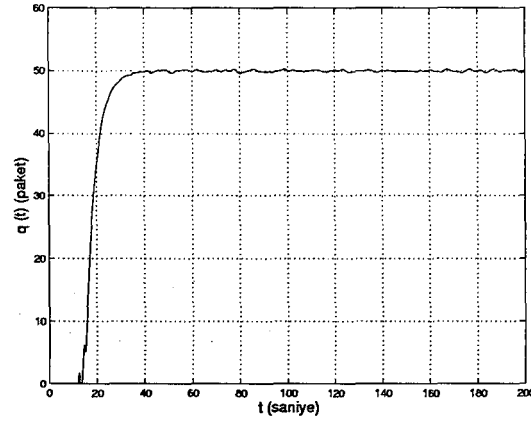


(b)

Şekil 3.75 Durum 15 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen pencere boyutları, $w_i^s(t)$

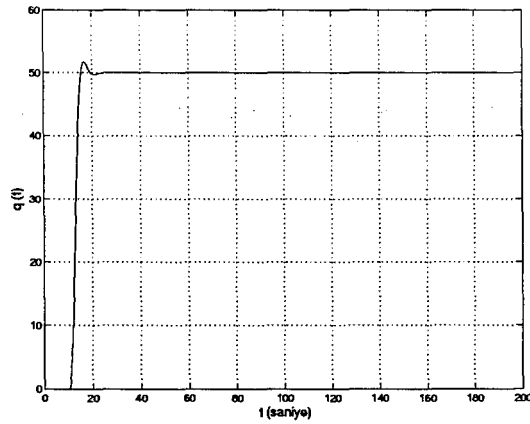


(a)

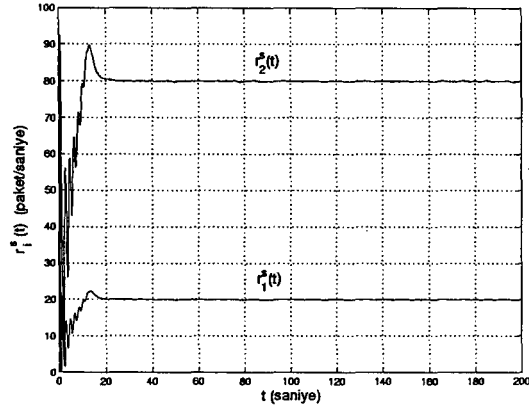


(b)

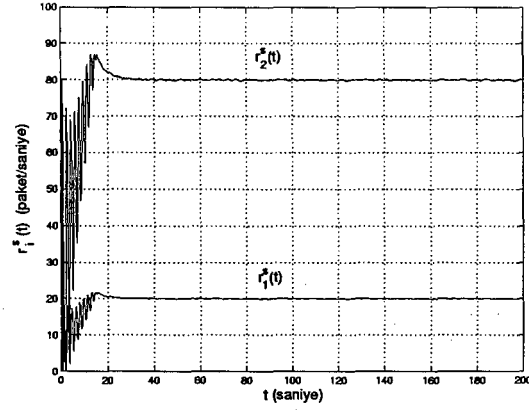
Şekil 3.76 Durum 16 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$



Şekil 3.77 Durum 16 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$

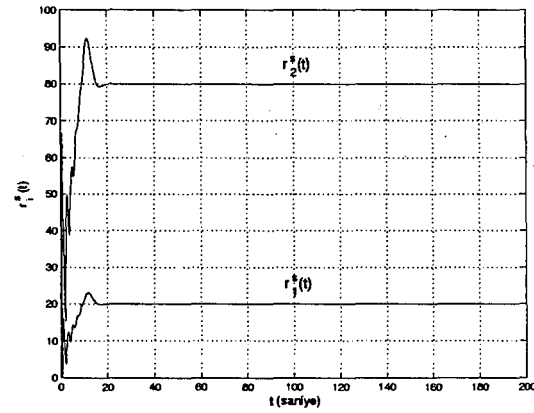


(a)

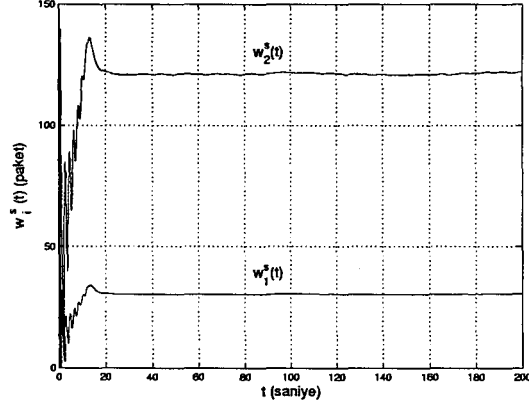


(b)

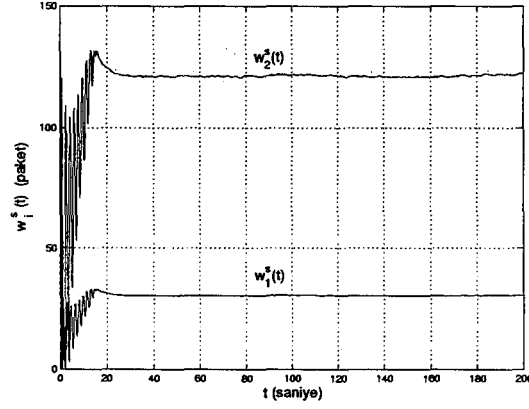
Şekil 3.78 Durum 16 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^s(t)$



Şekil 3.79 Durum 16 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$

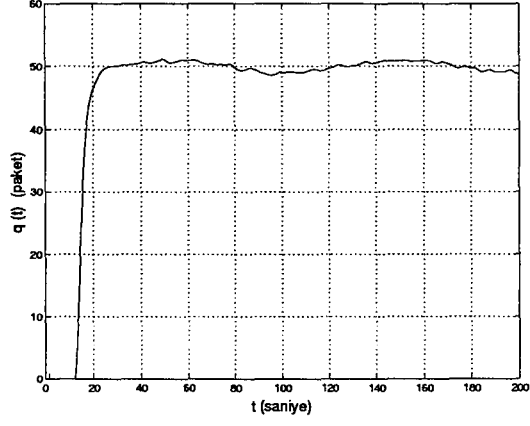


(a)

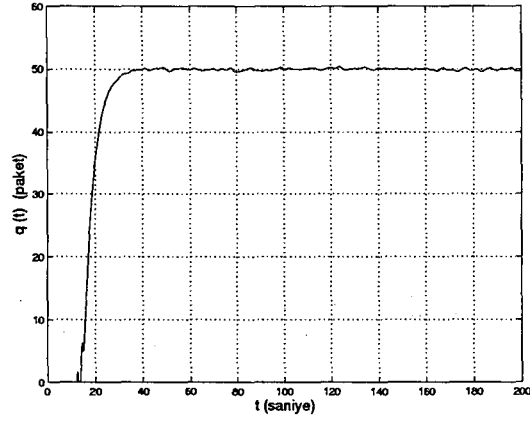


(b)

Şekil 3.80 Durum 16 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen pencere boyutları, $w_i^s(t)$

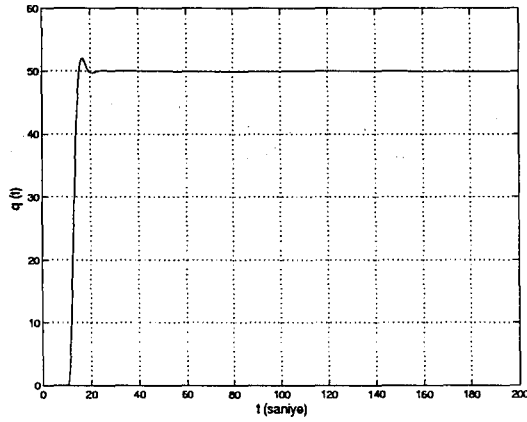


(a)

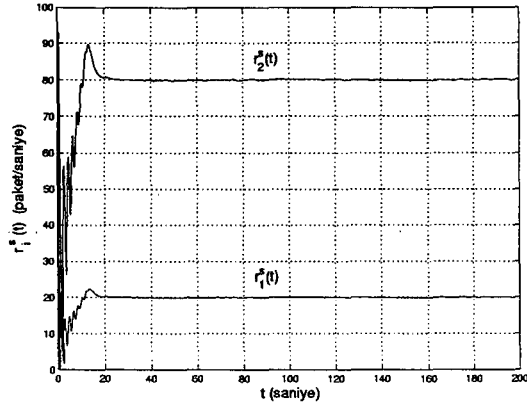


(b)

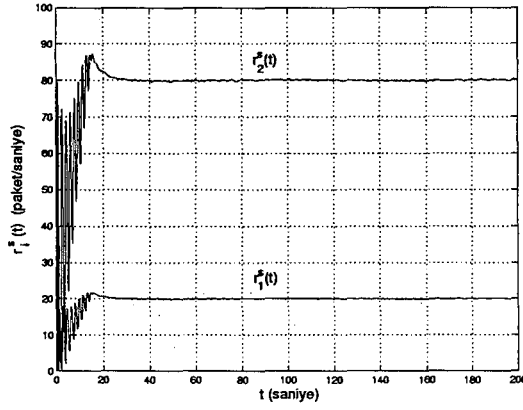
Şekil 3.81 Durum 17 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$



Şekil 3.82 Durum 17 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$

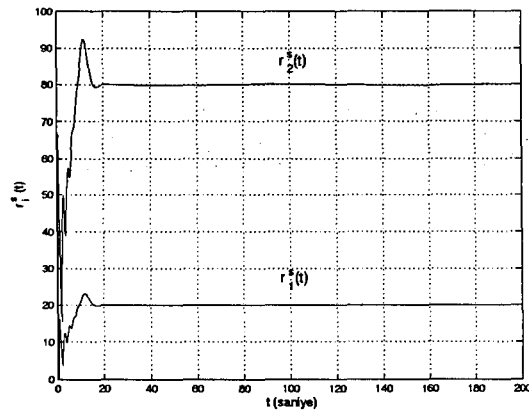


(a)

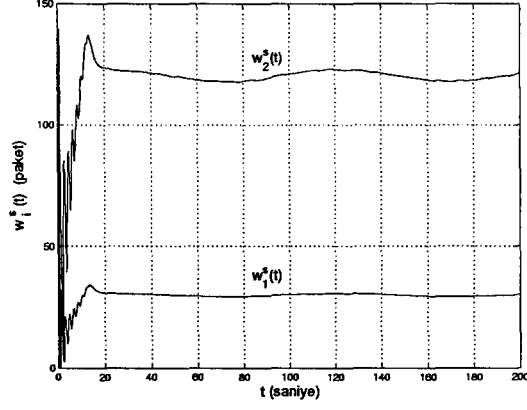


(b)

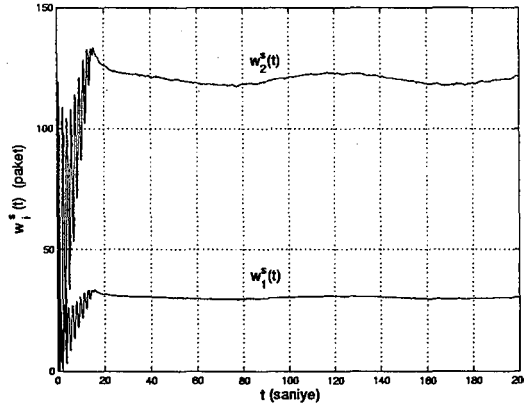
Şekil 3.83 Durum 17 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^s(t)$



Şekil 3.84 Durum 17 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$

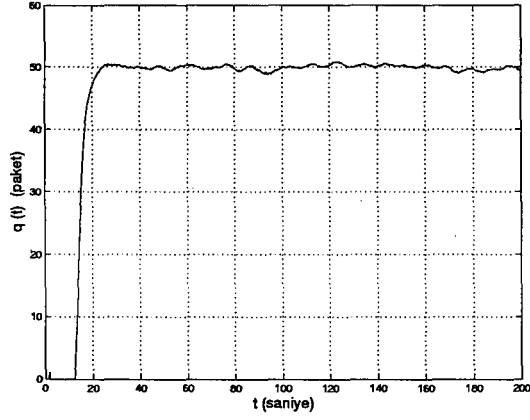


(a)

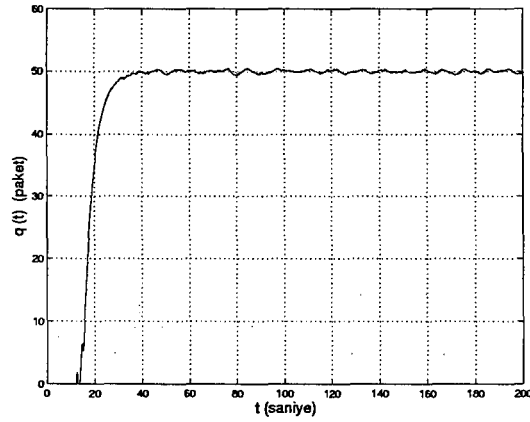


(b)

Şekil 3.85 Durum 17 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen pencere boyutları, $w_i^s(t)$

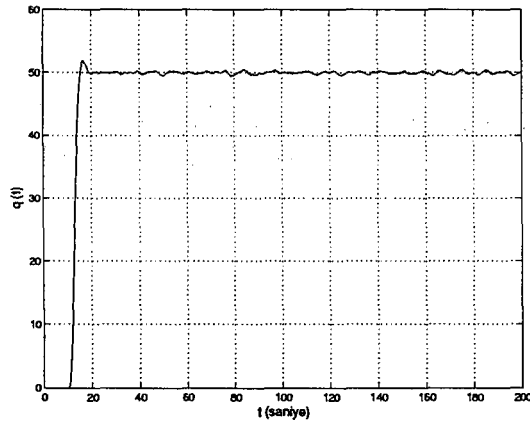


(a)

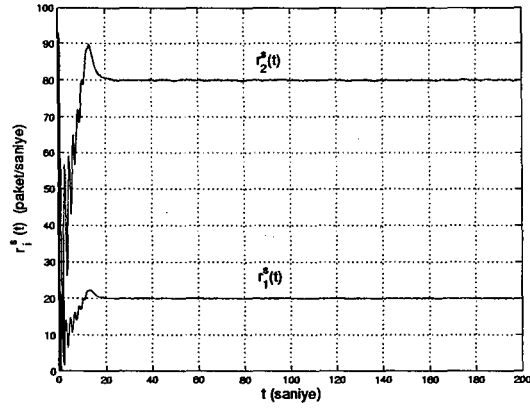


(b)

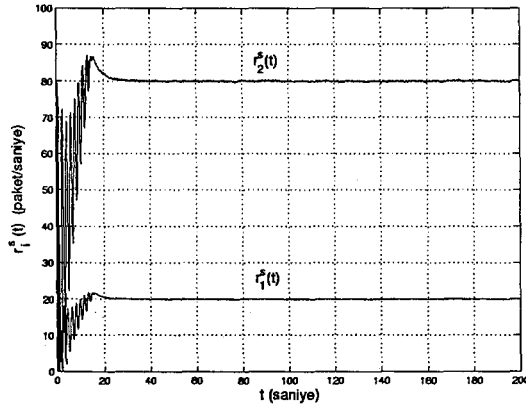
Şekil 3.86 Durum 18 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$



Şekil 3.87 Durum 18 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$

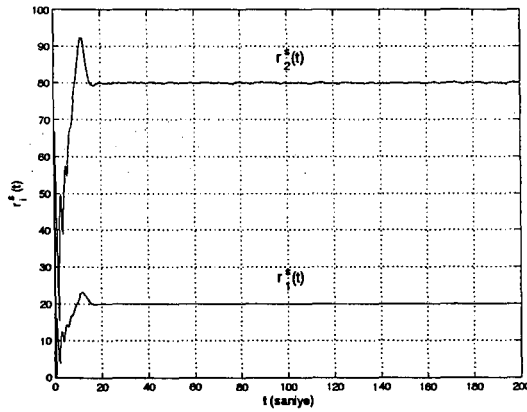


(a)

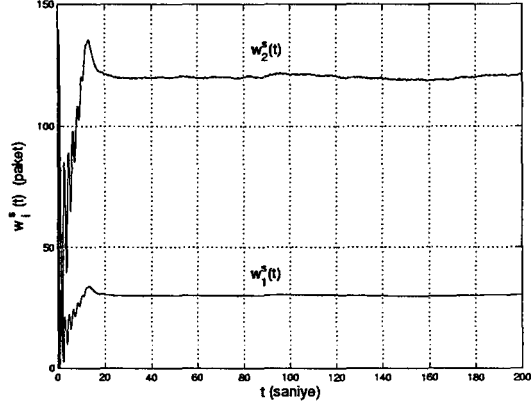


(b)

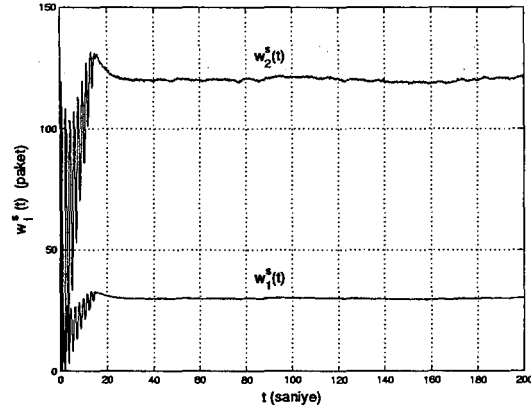
Şekil 3.88 Durum 18 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^s(t)$



Şekil 3.89 Durum 18 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$

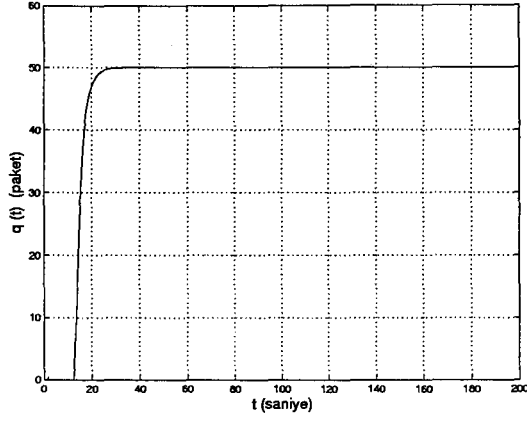


(a)

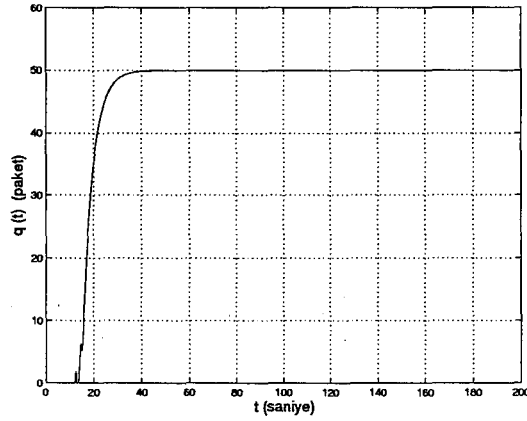


(b)

Şekil 3.90 Durum 18 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen pencere boyutları, $w_i^s(t)$

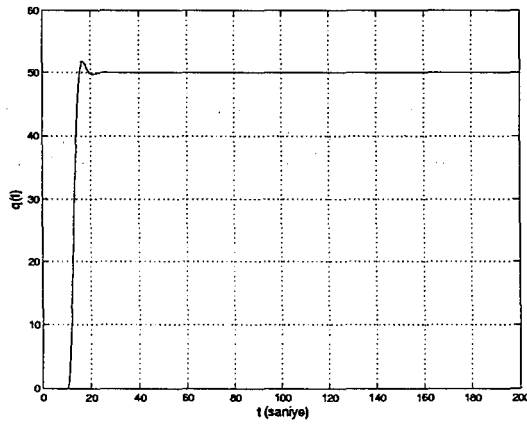


(a)

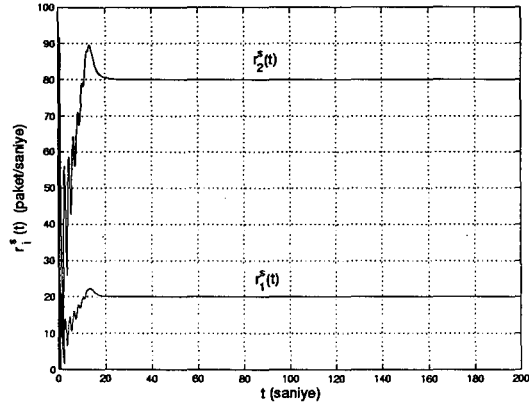


(b)

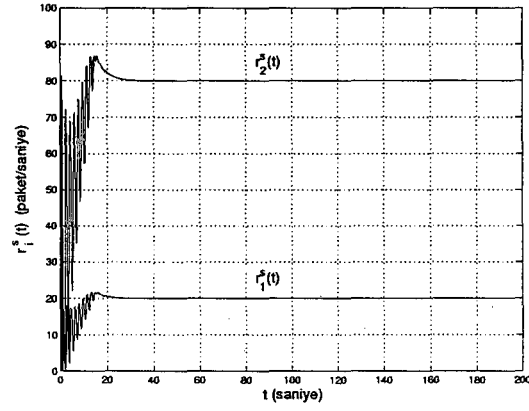
Şekil 3.91 Durum 19 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen kuyruk uzunluğu, $q(t)$



Şekil 3.92 Durum 19 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $q(t)$

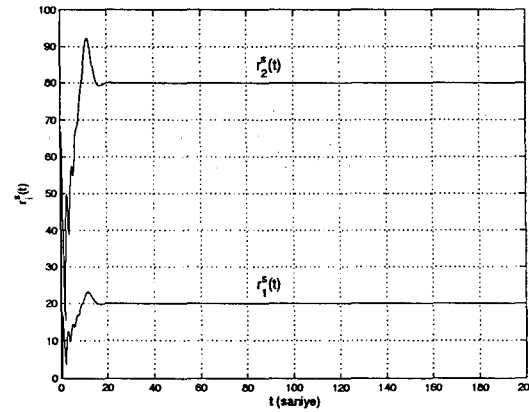


(a)

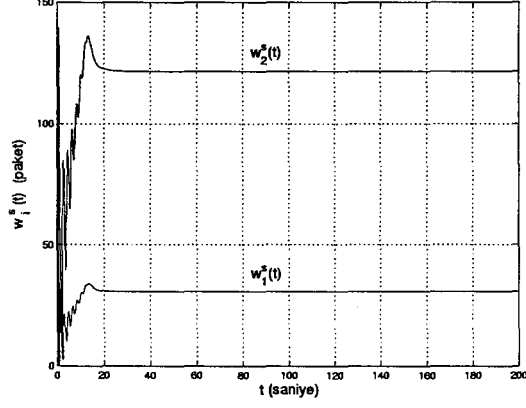


(b)

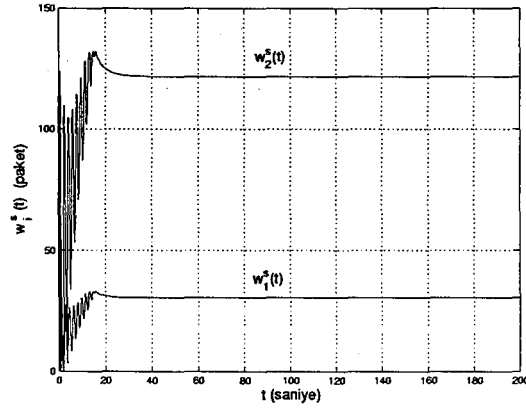
Şekil 3.93 Durum 19 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$, (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen veri iletim oranları, $r_i^s(t)$



Şekil 3.94 Durum 19 için oran tabanlı akış kontrol yöntemiyle elde edilen $r_i^s(t)$



(a)



(b)

Şekil 3.95 Durum 19 için pencere tabanlı akış kontrolünde (a) $\tau_i^c(t) = h_i$,
 (b) $\tau_i^c(t) = \tau_i^f(t) + \tau_i^b(t - \tau_i^f(t))$ eşitliğinden yararlanılarak elde edilen
 pencere boyutları, $w_i^s(t)$

4. SONUÇ

Bu çalışmada tek tıklı geçide sahip bir veri iletişim ağında akış kontrolünü sağlamak üzere geliştirilmiş oran tabanlı algoritmaların, iletilebilecek veri miktarını dikkate alan pencere tabanlı akış kontrolü algoritmalarına dönüştürülmesi amaçlanmıştır. [7]'de tasarlanmış olan oran tabanlı gürbüz kontrolörden yararlanılarak bu amaca yönelik bir geri besleme sistemi oluşturulmuştur. Bu sistemde kontrolörün belirlediği veri iletim oranları, pencere bilgisine dönüştürülerek veri kaynaklarına iletilmektedir. Böylece kaynakların belirli bir sürede kendilerine tanınan veri iletim oranını sağlayacak miktarda veri göndermesine imkan sağlanır. Ancak bu dönüşüm işleminin en az hata ile yapılabilmesi için veri paketinin maruz kalacağı toplam gecikme süresinin doğru bir şekilde değerlendirilerek hesaplanması gerekmektedir. Bu çalışmada toplam gecikme süresinin öngörülen değer için iki farklı yaklaşım ele alınmıştır ve buna bağlı olarak geri besleme kontrol sistemine ait iki farklı belirsizlik modeli elde edilmiştir. Birinci modelde toplam gecikme süresinin öngörülen değer için nominal gecikme süresi, diğerinde ise tıklı geçitte ölçülen toplam gecikme süresi kullanılmıştır. Simulink (MATLAB) benzetim programında geri besleme kontrol sisteminin bir modeli oluşturulmuş ve yapılan simulasyonlarla çeşitli durumlar için sistemin zaman bölgesi performansı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar oran tabanlı yöntem kullanılarak bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Tıklı geçitte ölçülen gecikme süresinin dikkate alındığı pencere tabanlı kontrol yönteminde elde edilen kuyruk uzunluğu ve iletim oranlarındaki salınımların genliği genellikle nominal gecikme süresi dikkate alındığında gözlemlenenlere göre daha küçüktür. Ayrıca bu yöntemle oran tabanlı akış kontrolünün sonuçlarına daha yakın sonuçlar elde edilmektedir. Pencere tabanlı akış kontrolünde özellikle nominal gecikme süresinin ele alındığı uygulamada veri paketlerinin iletim sırasında maruz kaldığı zaman gecikmelerindeki belirsizliklerin sistemin davranışını etkilediği gözlemlenmiştir. Belirsizliklerin değer arttıka kuyruk uzunluklarında ve veri iletim oranlarında görülen salınımların genliğinde de belirgin bir artış olmaktadır. Belirsizliklerin etkisini daha ayrıntılı inceleyebilmek amacıyla hem ileri hem de geri yöndeki belirsizlikler için farklı atamalar yapılmıştır. Sinusoidal bir sinyal, sabit bir sayı ya da türevi düzgün dağılımlı rassal bir sinyal olacak şekilde belirlenmiş belirsizlikler karşısında kuyruk uzunluğu, veri iletim oranları ve pencere boyutlarının davranışları gözlenmiştir.

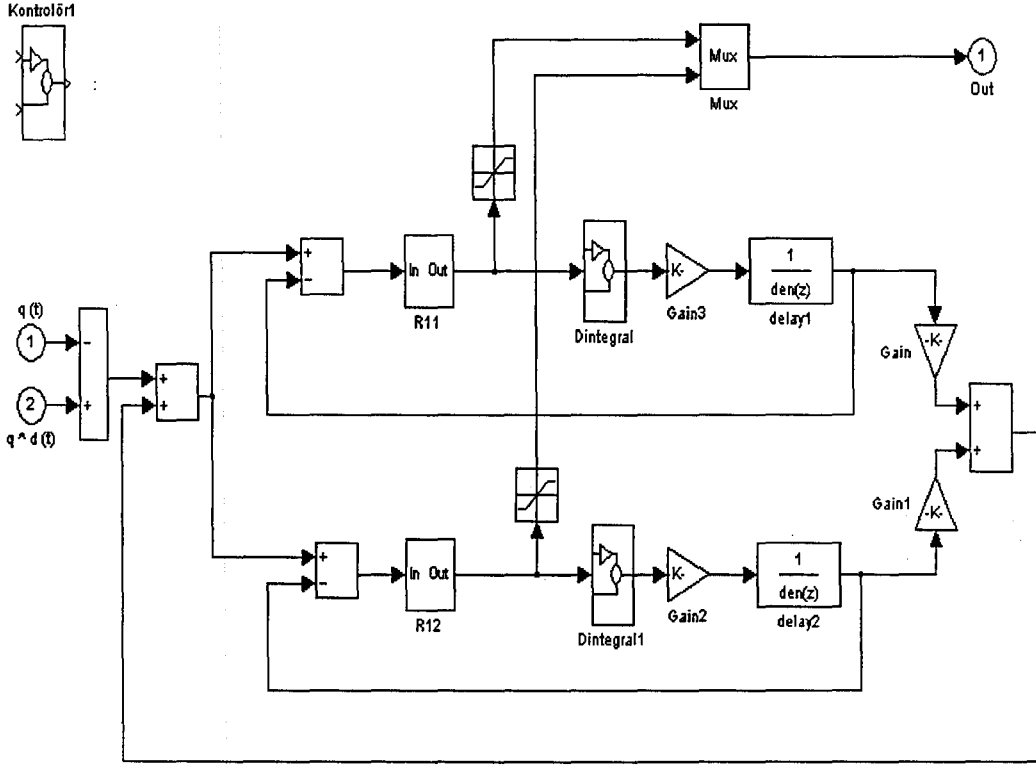
KAYNAKLAR

1. RAMAKRISHNAN, K.K. ve NEWMAN, P., *Integration of rate and credit schemes for ATM flow control*, IEEE Network Magazine, **9** (No:2), 49-56 (March/April 1995).
2. KALYANARAMAN, S., JAIN, R., FAHMY, S., GOYAL, R., LU, F. ve SRINIDHY, S., *Performance of TCP/IP over ABR Service on ATM Networks*, Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference (Globecom'96), **1**, 468-475 (November 1996).
3. KUNG, H.T. ve MORRIS, R. *Credit-Based Flow Control for ATM Networks*, IEEE Network Magazine, **9** (No:2), 40-48 (March/April 1995).
4. ATM Forum Traffic Management AF-TM-0056.000, *The ATM Forum Traffic Management Specification Version 4.0*, (April 1996). (Aktaran [7])
5. STEVENS, W., *TCP Slow Start, Congestion Avoidance, Fast Retransmit, and Fast Recovery Algorithms*, Request for Comments (RFC) 2001, (January 1997). <http://www.ietf.org/rfc/rfc2001.txt?number=2001>
6. JACOBSON, V., *Congestion avoidance and control*, Proceedings of ACM/SIGCOMM, 314-329 (August 1988).
7. QUET, P.-F., ATAŞLAR B., İFTAR A., ÖZBAY, H., KALYANARAMAN, S. ve KANG, T., *Rate-based flow controllers for communication networks in the presence of uncertain time-varying multiple time-delays*, Automatica, **38**, 917-928 (2002).
8. ATAŞLAR B., QUET, P.-F., İFTAR A., ÖZBAY, H., KANG, T. ve KALYANARAMAN, S. *Robust rate-based flow controllers for high-speed networks: the case of uncertain time-varying multiple time-delays*, Proceedings of the American Control Conference, **4**, 2804-2808 (2000).

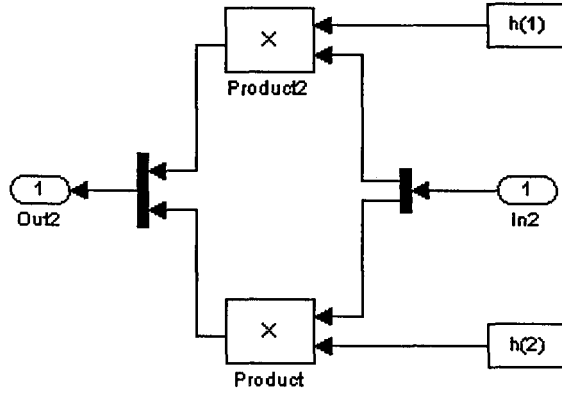
EKLER

EK 2 H^∞ tabanlı gürbüz kontrolörün Simulink'te oluşturulan modeli

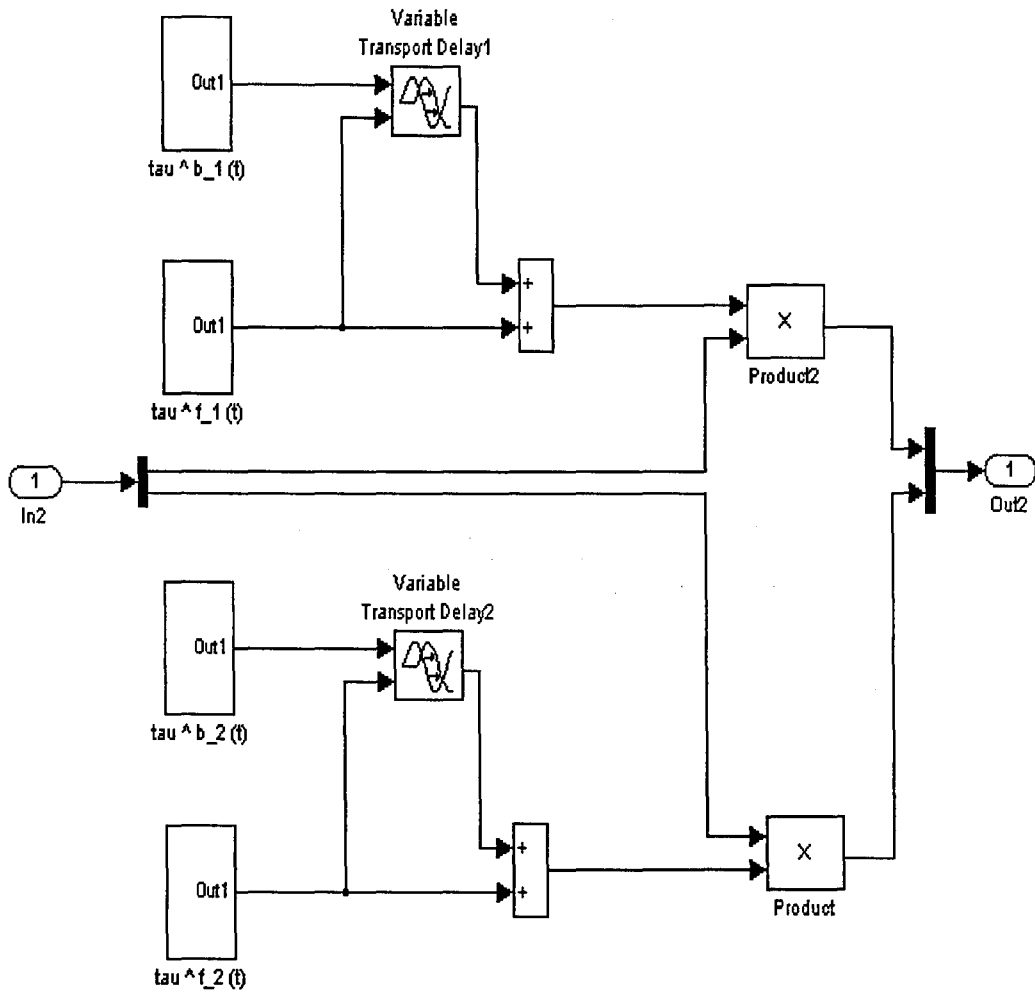
Bu model [7]'de tasarlanmış olan H^∞ tabanlı gürbüz kontrolöre aittir.



EK 3 $w_i(t) = h_i r_i(t)$ ile İfade Edilen Veri İletim Oranından Pencere Boyutuna Dönüşüm İşleminin Simulink'te Oluşturulan Modeli



EK 4 $w_i(t) = \tau_i^{c1}(t) r_i(t)$ ile İfade Edilen Veri İletim Oranından Pencere Boyutuna Dönüşüm İşleminin Simulink'te Oluşturulan Modeli



EK 5 $r_i^s(t) = 1/\tau_i^r(t) * w_i^s(t)$ ile İfade Edilen Pencere Boyutundan Veri İletim Oranına Dönüşüm İşleminin Simulink'te Oluşturulan Modeli

