T. C.
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BEŞ TAM KARIŞTIRMALI AKIM REAKTÖRLERİNİN PULSE ETKİSİNDE DİNAMİĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kimya Müh. NACİYE ÜNAL

MÜHENDİSLİK - MİMARLIK FAKÜLTESİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

ESKİŞEHİR, 1984

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarım esnasında bana büyük destek olan ve yardımlarını esirgemeyen hocam Doç.Dr. Mustafa ALPBAZ'a, bilgisayar ile çalışmalarımda yardımcı olan Anadolu Üniversitesi Bilgi İşlem Merkezi personeline, yardımlarını gördüğüm Araş.Gör. Ayşe Selek ve diğer arkadaşlarıma, teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Bu araştırmada, beş tam karıştırmalı akım reaktörleri dizisinin besleme akış hızına verilen pulse değişiminin etkisinde çıkış değişkenlerinin zamana göre değişimleri bulunarak elde edilen veriler yardımıyla ilgili Bode diyagramları hesaplanmıştır. Bu amaçla sistemin çıkış değişkenleri eşit değerlerde integral adım aralıklarına bölünmüş ve çıkış değişkenlerinin bu adımlardaki noktaları belirlenmiştir. Sıklık bazına göre iletim fonksiyonları ve ilgili Bode diyagramları Fourier dönüşümlerinin integrallerinin alınması ile hesaplanmıştır. İntegral işlemleri doğrusal I, doğrusal II, trapezoidal ve parabolik yaklaşımlar ile yapılmıştır. Hesaplanan Bode diyagramlarının şekilleri bu dört ayrı yöntem için benzer çıkmıştır. Bode diyagramlarında salınımların başladığı sıklık değeri çıkış değişkenlerinin yatışkın hale gelme süresine bağlı olmaktadır.

ABSTRACT

In this research, when the five continous stirred tank reaktors were under the effect of the pulse change given to the feed flow rate, the change of the output variable with time was calculated and with the aid of the data obtained from this calculation, the related Bode diagrams were found. For this purposes, the output variables were divided into equal values of integral step increment and the points in these increments were specified. According to the frequency base, the transfer functions and related Bode diagrams were calculated with the integration of Fourier transform. The integrations were done with four different approximations which are linear I, linear II, trapezoidal and parabolik approximations. The shape of Bode diagrams were found to be similar from the calculation of four different approximation method. The value of frequencies on which the oscillation of Bode diagram starts depend on the time over which the output variables reaches to the first steady state.

İÇİNDEKİLER

SEMBOLLER

A	Isı transfer yüzeyi (cm^2)
Ac	Reaktör kesiti (cm^2)
As	Soğutma yüzeyi (cm^2)
c_o	Besleme giriş derişimi (mol/lt)
c_n	n. tankın çıkış derişimi (mol/lt)
cp_1	Besleme ısı kapasitesi (cal/g^{o}C)
cp_2	Soğutma suyu ısı kapasitesi (cal/g^{o}C)
D	Giriş pulse değişiminin kalma süresi (dak)
$\|G\|$	Genlik oranı
G(iw)	Sıklık temeline göre iletim fonksiyonu
G(s)	İletim fonksiyonu
h	Pulse büyüklüğü (lt/dak), İntegrasyon zaman artışı
ΔH	Reaksiyon ısısı (cal/mol)
k_{11}, k_{21}	Runge Kutta sabitleri
K_p	Yatışkın-hal için iletim fonksiyonu
k(T)	Reaksiyon hız sabiti (1/sn)
L_1	Zaman sabiti
Q(t)	Zamana bağımlı giriş pulse değişkeni
R	Kazanç değeri
s	Laplace operatörü
t	Zaman (sn), (dak)
Δt	Giriş ve çıkış pulse değişimlerinin integral adım aralığı (dak)

T_o	Besleme giriş sıcaklığı (^oC)
T_n	n. Tankın çıkış sıcaklığı (^oC)
T_Q	Giriş pulse değişiminin kalma süresi (dak)
T_x	Çıkış değişkeninin kalma süresi (dak)
U	Isı transfer katsayısı ($cal/cm^2\ s^oC$)
V	Bir tankın hacmi (cm^3), (lt)
V_1	Besleme akış hızı (lt/dak)
V_2	Soğutma suyu akış hızı (lt/dak)
θ_o	Soğutma suyu giriş sıcaklığı (^oC)
θ_n	n. tanktaki soğutma suyu sıcaklığı (^oC)
θ_1	Çıkış değişkeni
θ_2	Giriş değişkeni
ρ_1	Besleme yoğunluğu (g/cm^3)
ρ_2	Soğutma suyu yoğunluğu (gr/cm^3)
w	Pulse fonksiyonunun sıklık değeri (radyan)
X(t)	Zamana bağımlı çıkış pulse değişkeni
φ	Faz gecikimi

GİRİŞ

Kimya mühendisliğinde borusal ve tam karıştırmalı akım reaktörleri birçok proseslerde kullanılmaktadır. Bu tip reaktörlerin matematiksel modelleri dağılımlı-parametreli (Distiributed-parameter) ve kademeli-parametreli (Lumped-parameter) sistem özelliği gösterirler. n kademeli-parametreli bir sistem dağılımlı-parametreli bir sistem için yaklaşım yöntemidir. Beş tam karıştırmalı akım reaktörlerinin dinamiği ve kontrolü üzerinde yapılan çalışmalarda bu amaca yönelik olarak yapılmıştır, (1,2,3,4).

Kimya mühendisliğinde tasarım hesapları genellikle yatışkın-hal şartlarında yapılmaktadır. Yalnız yatışkın-hal şartları için tasarımları yapılan bu sistemler işletme anında giriş değişkenlerinde oluşan birtakım değişimlerin etkisi altında kalabilirler. Bu etkilerin altında sistemler yatışkın olmayan-hal şartlarına geçerek yatışkın-hal tasarım değerlerinden saparlar. Sonuçta sistemde kararsızlık (unstability) görülebilir. Bu nedenlerden dolayı son yıllarda yatışkın olmayan-hal içinde proses tasarımları yapılmaktadır. Bu tip tasarımlar sistemlerin giriş değişkenlerinde birtakım değişimler oluşturarak çıkış değişkenlerinin zamana göre değişimlerinin deneysel ve kuramsal olarak karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Sistemin birtakım parametrelerinin kuramsal seçimi ile deneysel ve kuramsal sonuçlarının uygunluğu sağlanır. Bu tip işlem ve hesaplama yöntemlerine sistem belirleme teknikleri (system identification) ve tahmin etme (estimation) denir. Bu amaçla giriş değişkeninde meydana getirilen birçok değişimlerin bir taneside pulse girişidir.

Bu araştırmada beş tam karıştırmalı akım reaktörleri dizisinin akış hızına verilen bir pulse değişiminde sistemin çıkış değişkenlerinin zamana göre değişimlerinden elde edilen veriler yardımıyla ilgili Bode diyagramlarının kuramsal hesaplamaları yapılmıştır. Bu hesaplamalar için Fourier dönüşümlerinin integral işlemi dört ayrı yöntemle yapılmıştır. Luyben (5), nin önerdiği doğrusal I yaklaşım yöntemi ve Watanabe ve Matsubara (6), nın önerdikleri doğrusal II, trapezoidal ve parabolik yaklaşım yöntemleri integral işlemleri için kullanılmıştır. Önce sistemin akış hızına pulse değişimi verilmiş çıkış değişkenlerinin zamana göre değişimleri eşit değerlerde integral adım aralıklarına bölünerek çıkış değişkeninin bu adımlardaki noktaları belirlenmiştir. Sonra bu noktalardan yararlanılarak Fourier dönüşümlerinin integral işlemleri yukarıda verilen dört yöntemle yapılmıştır. Bilgisayar hesaplama sonuçlarında faz gecikimi φ ve genlik oranı $|G|$ bulunarak Bode diyagramları çizilmiştir.

BÖLÜM 1

GENEL BİLGİLER

Bu bölümde yapılan araştırma ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Beş tam karıştırmalı akım reaktörlerinin dinamiği ve kontrolü üzerine yapılan çalışmalar incelenmiştir. Ayrıca dağılımlı ve kademeli-parametreli sistemlerin pulse etkisinde dinamiği ile ilgili literatürde verilen araştırmalar gösterilmiştir.

1.1. Beş Tam Karıştırmalı Akım Reaktörlerinin Dinamiği ve Kontrolü Üzerine Yapılan Çalışmalar

Bu kısımda, beş tam karıştırmalı akım reaktörlerinin dinamiği ve kontrolu ile ilgili yapılan çalışmalar verilmiştir.

Alpbaz (1) aynı sistem için, besleme akış hızına verilen kademe etkisinde, sistemin dinamiği ile benzer etki altında ileri ve geri beslemeli kontrol sistemlerinin etkinliği üzerinde çalışmalar yapmıştır.

Selek (2) yukarıda verilen sistemin, besleme akış hızına çeşitli frekanslarda verilen sinüs değişimleri altında, ileri ve geri beslemeli kontrol etkisi ile çıkış değişkenlerinin zamana göre değişimlerini incelemiştir.

Kaytakoğlu (3), aynı sistemin giriş besleme akımında verilen çeşitli değerlerde kesikli ve kesiksiz ramp değişiminin çıkış değişkenlerine etkisini dinamik çalışmalar olarak hesaplamış ve sonra ileri ve geri beslemeli kontrol sistemlerinin ilâvesi ile çıkış değişkenlerinin zamana göre değişimini incelemiştir.

Özkan (4), beş tam karıştırmalı akım reaktörlerinin besleme akış hızına verilen kademe, sinüs ve ramp değişimleri altında Cascade ve birbirine etki eden kontrol sistemlerinin etkinliğini incelemiştir. Elde edilen kuramsal hesap sonuçlarını ileri ve geri beslemeli kontrol sistemleri ile karşılaştırmıştır. En etkin kontrol sistemi olarak ileri ve geri beslemeli kontrol sistemini önermiştir. Cascade kontrol sistemlerinde soğutma suyunun sıcaklık ölçüm yerinin önemini vurgulamıştır. Beşinci tanktan alınan soğutma suyu sıcaklık ölçümü ile daha etkin kontrol olduğu yapılan hesaplamalar sonunda görülmüştür.

1.2. Dağılımlı ve Kademeli-Parametreli Sistemlerin Pulse Etkisinde Dinamiği ile İlgili Çalışmalar

Bu kısımda pulse etkisinde dağılımlı ve kademeli-parametreli sistemlerin dinamiği ile ilgili çalışmalar verilmiştir.

Sistemlerin genel olarak dinamik analizleri zaman, Laplace ve sıklık temellerine göre analitik yöntemlerle yapılır.

Zaman temeline göre analizler, sistemlerin giriş değişkenlerine verilen kademe, pulse, impulse, ramp, sinüs değişimlerinin çıkış değişkenlerine etkisini hesaplamak için yapılır. Çözümü yapılan matematik model kademeli veya dağılımlı-parametreli sistem özelliği gösterebilir.

Diğer bir analitik metod Laplace dönüşümleridir. Bu yöntemde diferansiyel denklemlerin önce Laplace dönüşümleri alınır sonra ters Laplace dönüşümünün yardımı ile ilgili denklem çözülür.

Son analitik yöntem ise sıklık temeline göre analizdir. Bu analiz kısaca ilgili diferansiyel denklemin Laplace dönüşümü eşitliğinde (s= iw) konularak elde edilir. Bilhassa kapalı hat yanıtımlarında kararlılık analizleri için uygulanan önemli bir yöntemdir.

Yukarıda verilen analitik çözüm yöntemleri deneysel çalışmalar için sistem belirleme teknikleri olarak kullanılabilir. Kademe, sinüs ve pulse değişimleri deneysel olarak sistemlerin giriş değişkenlerine verilerek çıkış değişkenlerinin zamana göre değişimleri gözlenir ve kuramsal sonuçlarla karşılaştırılarak sistemlerin bir takım parametrelerinin tahmini yapılabilir.

Kademe değişimleri zaman ve sıklık temeline göre sistem dinamiğini tahmin etmek için kullanılabilir. Zaman temeline göre sistemin matematik modeli çözülür ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılır. Bu yöntemin matematiksel modeli belli olmayan sistemler için kullanılması imkânsızdır. Ayrıca kademe etkisinde iki, üç ve daha yukarı mertebeden sistemlerin çıkış değişkenlerinin zamana göre değişimlerini birbirinden ayırmak zordur. Buna karşın kademe etkisinden elde edilen veriler yardımıyla Fourier dönüşümleri ile sıklık yanıtımı elde edilebilir. Bu yöntem kararlılık analizleri için kullanılır.

Direk sinüs etkisi sistem belirleme tekniklerinden biri olarak bilinir. Sistemin giriş değişkenlerine çeşitli sıklıklarda sinüs etkileri verilerek ilgili Bode diyagramları çizilir. Bu diyagramlar bilindiği gibi kapalı hat yanıtımlarının kararlılık testi için önemli bir yöntemdir, (2).

Pulse test yöntemi ise yukarıda verilenlerden daha etkili olan bir sistem belirleme tekniğidir. Pulse değişiminin sisteme verilişi yalnızca bir vanayı açıp ve kapamak şeklinde olduğundan çok basittir. Çıkış değişkenleri yatışkın-halde iken, sistemin giriş değişkenlerinden birine h büyüklüğü ve D süresinde pulse verildiğinde dinamik hale geçerler ve sonra tekrar eski yatışkın-hale gelirler. Pulse değişimin yardımıyla sinüs değişimlerinden elde edilen benzer Bode diyagramları çizilir.

Yukarıda verilen sistem belirleme tekniklerinin yanında son yıllarda impulse ve pseudo-random binary sinyalleride kullanılmaktadır. Bunlardan psedo-random binary sinyali, pulse yükseklikleri +h ve -h ile eşit olasılıklı fakat farklı kalma sürelerine sahip birçok tekrarlanmış seri halde pulselerden meydana gelmektedir. Bu sinyal belirli aralıklarla tekrarlanmaktadır. Böyle bir sinyalden sıklık yanıtımı elde etmek için z dönüşümleri kullanılır.

Dreifke (7), analog bilgisayar ile oluşturulan pulse değişimlerinin bazı matematiksel modeller için geliştirilen iletim fonksiyonlarının dinamik özelliklerine etkilerini incelemiştir. Bunun yanında verilen pulse değişimlerinin kalma süre ve yüksekliklerini değiştirerek çeşitli sistemlere uygulamıştır.

Hougen ve Walsh (8), doğrusal yaklaşım yöntemini kullanarak meydana gelecek olan hataları incelemişlerdir. Bu amaçla dikdörtgen, üçgen ve yarımsinüs şeklindeki pulse değişimleri ve etkileri için kullanılan Fourier dönüşümünün integral işlemini doğrusal yaklaşım yöntemi ile yapmışlardır. Dikdörtgen ve üçgen şeklindeki pulse değişimleri için integral adım aralığının sonuçlara etkisi görülmezken yarım-sinüs şekli için ise adım aralığının integrasyon sonucunu etkilediğini ve hata verdiğini göstermişlerdir.

Messa (9), birinci mertebeden bir sistemin giriş değişkenine verilen bir impulse değişiminin çıkış değişkenlerine etkisini incelemiştir. Fourier dönüşümlerini elde etmek için doğrusal ve parabolik yaklaşım yöntemlerinden yararlanmıştır. İntegral adım aralığının büyümesi ile daha iyi neticeler alındığını görmüştür. Benzer etkiyi deneysel olarak sistemlerde denemiş ve deneysel veriler ile kuramsal sonuçları karşılaştırarak standart sapmayı hesaplamıştır.

Rake (10), pulse karakteristikleri ve Fourier dönüşümünün integrasyon özellikleri hakkında bir özet vermiştir. Ayrıca pseudo-random binary sinyallerin sistem belirleme tekniklerinden biri olabileceğini önermiş ve üstünlüğünü belirtmiştir.

Michael (11), czochralski kristal büyüme sistemlerinde kristal çapının büyümesi ile karıştırıcının güç değişimi arasında iletim fonksiyonunu geliştirebilmek için deneyler yapmıştır. Deneysel yöntemde gallium fosfat kristali kullanılmış ve güç kontrol elamanına pseudo-random binary sinyal verilerek kristal büyümeleri ölçülmüştür. Data prosesing teknikleriyle kristal büyümesi için eşit zaman aralıklarında kristal çapı ölçümleri sayısal bilgisayara girdi olarak verilir. Michael, proses için ilgili sıklık yanıtımını hesaplamada hızlı (fast) Fourier dönüşüm yöntemini kullanmıştır.

Deshpande (12), bir buhar ile ısıtılan suyun bulunduğu akım tankının dinamik özelliklerini bulmak için pulse tekniği yöntemi uygulanmıştır. Dikdörtgen pulse bu amaçla kullanılmış ve giriş akış hızına verilmiştir. Deshpande Bode diyagramlarını hesaplayarak optimal kontrol parametreleri vermiştir. Deshpande (13) diğer bir çalışmasında ticarî bir reaktör olan ekzometrik bir reaksiyon içeren ve polimer fabrikasında kullanılan bir sistemin açık hat yanıtımı için pulse test yöntemi kullanmıştır. Bu çalışmada kinetik veriler belli olmadığından matematik modelleme yapılarak kuramsal ve deneysel sonuçlar karşılaştırılamamıştır.

Yukarıdaki çalışmaların yanında birçok kompleks prosesin iletim fonksiyonlarını bulmak amacıyla sıklık yanıtımı tekniğiyle sistem belirlemesi yapılmıştır, (14,15,16,17,18).

Luyben (5), sistemlerin giriş değişkenlerine verilen pulse değişiminde çıkış değişkenlerinin zamana göre değişimlerinden elde edilen bilgilerle Bode diyagramlarının hesaplanması için doğrusal yaklaşım yöntemini önermiştir.

Watanabe ve Matsubara (6), kesikli Fourier dönüşümlerinin oluşumu için doğrusal, parabolik ve trapezoidal integral yöntemlerini önermiştir.

Hiçşaşmaz (19), yukarıda verilen üç ayrı integral yöntemini $CaCl_2$'ün su ile karıştırıldığı bir karıştırma tankına uygulamıştır. Pulse test yöntemi $CaCl_2$ derişimine uygulanmış ve elde edilen çıkış değişiminin verilerinden Bode diyagramını hesaplanmıştır.

Cresswell (20), içerden bir helozon ile soğutulan tam karıştırmalı akım tankının dinamiğini incelemiştir. Deneysel verilerden elde edilen sonuçlarla ısı iletim katsayısını hesaplamıştır. Giriş sıcaklığına pulse değişimi vererek çıkış değişkeninin zamana göre değişimini deneysel ve kuramsal olarak incelemiştir.

Eroğlu (21), sızıntılı akışlı dolgulu yataklı reaktörlerde impulse test yöntemi yardımıyla sıvı gaz arası kütle-iletim katsayısını hesaplamıştır.

Lubbert, Diekmann, Rotzoll (22), psuedo-random binary sinyas tekniğini bir kabarcıklı kolonun gaz fazı için kalma zaman dağılımını hesaplamak için kullanmışlardır. Bu teknikde en önemli üstünlük giriş akış hızında çok düşük miktarda iz, elemanının kullanılması ve modern mikro prosesırlar ile hesapların on-line yapılabilmesidir.

BÖLÜM 2

MATEMATİK MODELLEME

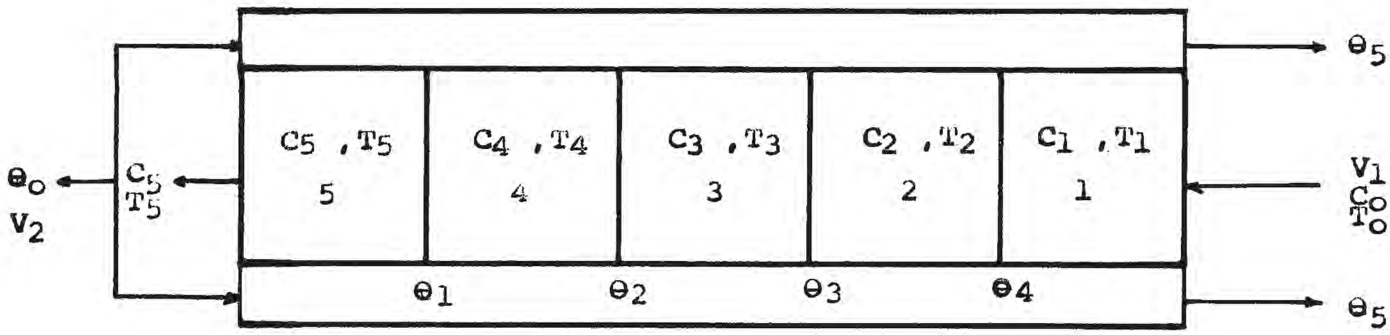
Bu bölümde yapılan araştırmada kullanılan tam karıştırmalı akım reaktörleri için yatışkın ve yatışkın olmayan-hal denklemleri verilmiştir.

Denklemlerin daha basit ve kullanışlı olabilmesi için bir takım varsayımlar yapılmıştır, (1,2,3,4).

1. Reaktörde birinci mertebeden ekzotermik bir reaksiyon oluşmaktadır.
2. Çevreye olan ısı kayıpları ihmâl edilmiştir.
3. Reaktörde yoğunluk, özgül ısı gibi fiziksel özellikler sabittir.
4. Isı transfer katsayısı, soğutma suyunun akış hızı ile değişmektedir.

2.1. Tam Karıştırmalı Akım Reaktörlerinin Yatışkın ve Yatışkın Olmayan - Hal Denklemleri

Bu varsayımlara ek olarak, kullanılan tam karıştırmalı akım reaktörlerinin tüm tanklarının çok iyi karıştırıldığı ve böylece her tank için sıcaklık ve derişim dağılımın aynı olduğu kabul edilir. Birinci mertebeden bir reaksiyon için tam karıştırmalı akım reaktörlerinin matematik modeli aşağıda verilmiştir, Şekil 2.1.



Şekil 2.1.: Yatışkın-halde beş tam karıştırmalı akım reaktörü.

a. Tam Karıştırmalı Akım Reaktörünün Kütle Denkliği

Yatışkın Olmayan-Hal:

$$\frac{dc_1}{dt} = \frac{V_1}{V}(c_o - c_1) - k(T_1)\, c_1 \qquad (2.1)$$

Yatışkın-Hal:

$$\frac{dc_1}{dt} = 0 \quad \text{ve} \quad c_1 = c_1^o$$

buradan

$$c_1^o = \frac{c_o}{1 + \frac{k(T_1^o)\, V}{V_1}} \qquad (2.2)$$

b. Enerji Denkliği

Yatışkın Olmayan-Hal:

$$V_1 \rho_1 cp_1 T_o = V_1 \rho_1 cp_1 T_1 + V_2 \rho_2 cp_2 (\theta_5 - \theta_4) - k(T_1) V c_1 (-\Delta H) + \rho_1 V cp_1 \frac{dT_1}{dt} \qquad (2.3)$$

veya

$$\frac{dT_1}{dt} = \frac{V_1}{V}(T_o - T_1)\ \frac{V_2 \rho_2 cp_2}{\rho_1 V cp_1}(\theta_5 - \theta_4) \frac{\Delta H\, c_1}{\rho_1 cp_1}\ k(T_1) \qquad (2.4)$$

Yatışkın - Hal:

$$\frac{dT_1}{dt} = 0 \quad \text{ve} \quad T_1 = T_1^o \quad \text{buradan}$$

$$T_1^o = T_o\ \frac{V_2 \rho_2 cp_2}{V_1 \rho_1 cp_1}(\theta_5 - \theta_4) - \frac{k(T_1^o)\ V \Delta H c_1^o}{\rho_1 V_1 cp_1}$$

veya

$$T_1^o = T_o - \frac{V_2 \rho_2 c p_2}{V_1 \rho_1 c p_1} (\theta_5^o - \theta_4^o) - \frac{k(T_1^o) V \Delta Hc_o}{\rho_1 V_1 c p_1 (1 + \frac{k(T_1^o) V}{V_1})} \quad (2.6)$$

c. Ceket İçindeki Akışkan için Enerji Denkliği

Yatışkın Olmayan Hal:

$$V_2 \rho_2 c p_2 \theta_4 + UA(T_1 - \theta_5) = V_2 \rho_2 c p_2 \theta_5 + M_c c p_2 \frac{d\theta_5}{dt} \quad (2.7)$$

Yatışkın-Hal:

Denklem (2.7)'nin zaman sabiti çok küçüktür. Bu nedenle birikim terimi yatışkın olmayan-hal için ihmâl edilmiştir.

$$\theta_4 = T_1 - (T_1 - \theta_5) \exp (UA/V_2 \rho_2 c p_2) \quad (2.8)$$

BÖLÜM 3

MATEMATİK MODELİN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Bu bölümde beş tam karıştırmalı akım reaktörleri için Bölüm 2.' de verilen matematiksel çözüm yöntemleri gösterilmiştir. Ayrıca pulse test yönteminde uygulanan bilgisayar çözümleri için ayrıntılı bilgi verilmiştir.

3.1. Beş Tam Karıştırmalı Akım Reaktörlerinin Yatışkın ve Yatışkın Olmayan-Hal Denklemlerinin Sayısal Bilgisayar İle Çözümü

Beş tam karıştırmalı akım reaktörlerinin yatışkın olmayan-hal denklemlerinin bilgisayar ile çözümleri konu ile ilgili önceki araştırmalarda verilmiştir,(1,2,3,4). Bu nedenle bu kısımda bilgisayar çözüm yöntemleri kısaca anlatılmıştır.

3.1.1. Yatışkın-Hal Çözümü

Yatışkın olmayan-hal denklemlerinin çözümü için gerekli olan başlangıç zamanındaki sıcaklık ve derişim değerlerini hesaplar. Besleme ile soğutma suyunun akış hızları sisteme ters yönde girdiklerinden gerekli hesaplamaları yapabilmek için Newton-Raphson iterasyon yöntemi ile Golden-Section Search optimizasyon işlemi kullanılmıştır. Bu kısımla ilgili sayısal bilgisayar çözüm ve listesi Ek 1. de verilmiştir.

3.1.2. Yatışkın Olmayan-Hal Çözümü

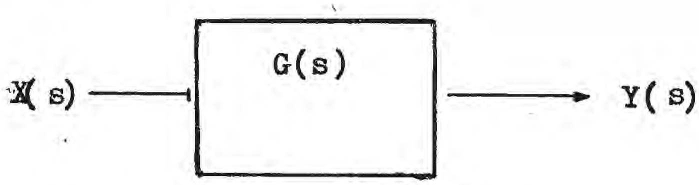
Bu yöntem için gerekli olan başlangıç şartları yatışkın-hal sayısal bilgisayar çözümünden elde edilir. Yatışkın olmayan-hal denklemleri ise dördüncü dereceden Runge-Kutta yöntemi ile çözülür. Bilgisayar çözüm ve listesi Ek 2. de verilmiştir.

3.2. Pulse Test Yöntemi

Bu kısımda konu ile ilgili olan temel bilgiler verilmiştir. Önce Laplace dönüşümleri, iletim fonksiyonları sinüs girişleri ve ilgili Bode diyagramları anlatılmış sonrada pulse girişi, Laplace dönüşümü ve birinci mertebeden bir sisteme pulse etkisi bir örnekle açıklanmıştır.

i) İletim Fonksiyonu

Kontrol ve dinamik çalışmalarda sistemin açıklanabilmesi için iletim fonksiyonları çok kullanılır. Kısaca iletim fonksiyonu çıkış ve giriş değişkenlerinin Laplace dönüşümlerinin oranı olarak tanımlanabilir.



$X(s)$: Giriş değişkeninin Laplace dönüşümü
$Y(s)$: Çıkış değişkeninin Laplace dönüşümü
$G(s)$: İletim Fonksiyonu

$$G(s)=\frac{Y(s)}{X(s)} \qquad (3.1)$$

Şekil 3.1. : İletim Fonksiyonu

ii) Sinüs Girişi

Bir sinüs girişi matematiksel olarak aşağıda gösterilmiştir.

$$t = 0 \qquad f(t) = 0 \qquad (3.2)$$
$$t = t \qquad f(t) = A\sin wt$$

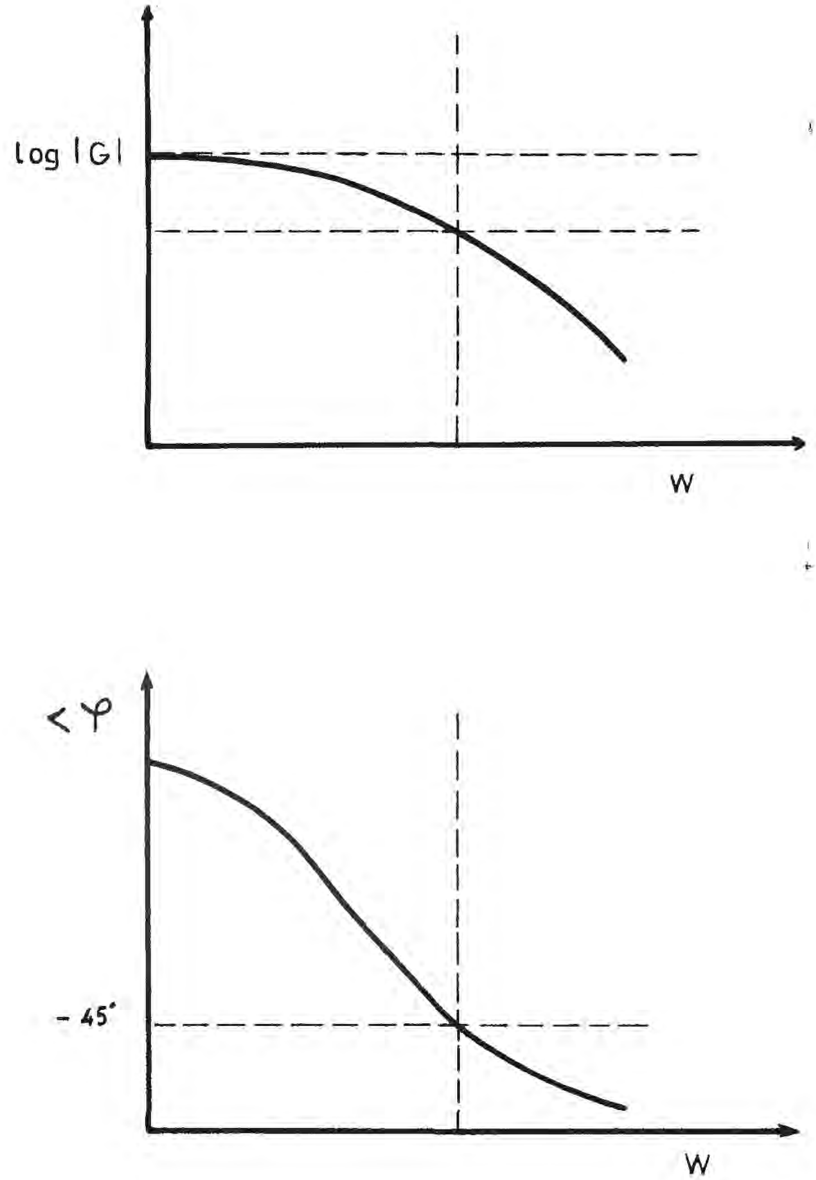
Dinamik ve kontrol çalışmalarında sinüs değişimi genellikle giriş akış hızlarına verilir.

iii) Bode Diyagramları

Bode diyagramları sistemlerin kararlılık analizlerini yapabilmek için önemli bir yöntemdir. Sistemlerin dinamik analizleri sıklık temeline göre yapıldığında Bode diyagramları çok kullanılır. Bu tip diyagramlar faz gecikimi (φ) ve genlik oranı $|G|$ ayrı ayrı çeşitli sıklık değerlerine karşı çizilerek bulunur, Şekil 3.2. Bu şekil, sinüs değişiminin birinci mertebeden bir sisteme etkisini gösteren bir Bode diyagramıdır. Çeşitli mertebeden sistemler için Bode diyagramları çizilebilir. Bode kararlılık kuralına göre birinci mertebeden sistemler için $\varphi = -180^o$ değerinde iken $|G|$, 1 değerinden küçük olmalıdır.

iv) Pulse Girişi

Tipik bir pulse giriş ve çıkışı Şekil 3.3, de gösterilmiştir. Sistem bir yatışkın halde iken h büyüklüğünde ve D süresince pulse verilerek tekrar eski yatışkın-hale getirilir. Pulse değişiminin yardımıyla sinüs değişimlerinden elde edilenlere benzer Bode diyagramları çizilir. Kalma süresi D ve büyüklüğü h olan bir pulse girişi matematiksel olarak aşağıda verilmiştir.



$$G = \frac{1}{(1+W^2 L_1^2)^{1/2}} \qquad \varphi = -tg^{-1}\, W L_1$$

Şekil 3.2: Birinci mertebeden bir sistem için Bode diyagramı.

$$f(t) = \begin{bmatrix} 0 & t < 0 \\ h & 0 < t < D \\ 0 & t > D \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

veya

$$f(t) = h\left[U(t) - U(t - D)\right] \quad (3.4)$$

$U(t)$: Birim kademe değişimi.

Bu girişin Laplace dönüşümü ise;

$$f(s) = h\left(\frac{1 - e^{-sD}}{s}\right) \quad (3.5)$$

Deneysel olarak bir pulse değişiminin sisteme verilmesi için özel bir cihaza ihtiyaç yoktur. Basitçe pulse değişimi sisteme verilerek yanıtım ölçülür. Bir sistem pulse etkisi altında iken çıkış değişkeninin zamana göre değişimi pulse şekline benzer. Böylece giriş ve çıkış değişkenleri birinci yatışkın-halden başlarlar ve sonra tekrar aynı yatışkın-hale dönerler. Birinci mertebeden bir sisteme pulse değişiminin etkisine bir örnek aşağıda verilmiştir.

v) Birinci Mertebeden Bir Sisteme Pulse Etkisi

D kalma süreli ve h büyüklüğünde pulse girişinin Laplace dönüşümü;

$$\theta_2 = \frac{h\,(1 - e^{-Ds})}{s} \quad (3.6)$$

L_1 zaman sabiti ve R kazancını içeren birinci mertebeden bir sistemin iletim fonksiyonu;

$$\frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{R}{L_1 s + 1} \quad (3.7)$$

Pulse girişi verilirse;

$$\theta_1(s) = \frac{Rh\,(1 - e^{-Ds})}{s\,(L_1 s + 1)} \; ; \qquad (3.8)$$

$$\theta_1(s) = Rh \frac{1}{s(L_1 s + 1)} - Rh \frac{e^{-Ds}}{s(L_1 s + 1)} \qquad (3.9)$$

Ters Laplace alınırsa;

$$\theta_1 = Rh \left[1 - e^{-t/L_1}\right] - Rh \left[1 - e^{-t \;\; D/L_1}\right] \qquad (3.10)$$

artıran etki;

$0 < t < D$ $$Rh \left[1 - e^{-t/L_1}\right] \qquad (3.11)$$

düşüren etki;

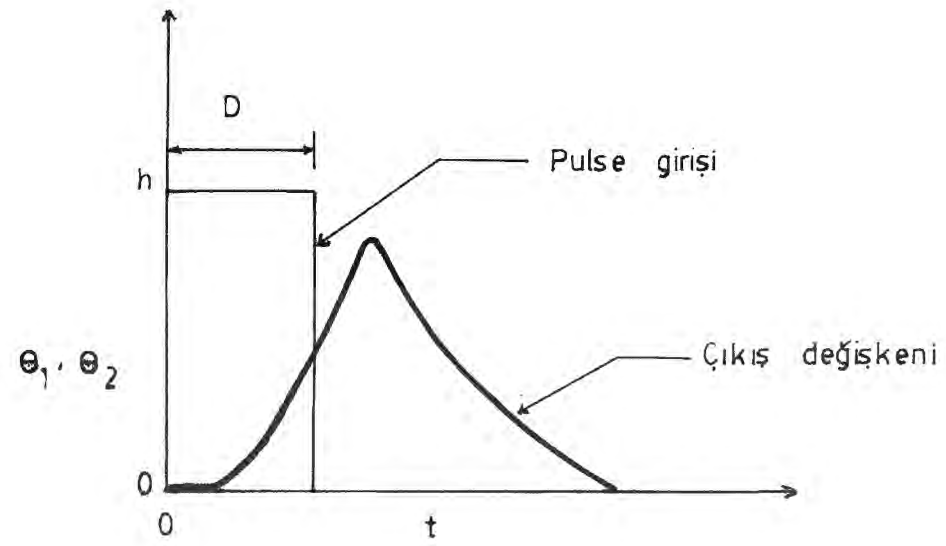
$D < t$ $$Rh \left[e^{-t/L_1} \left(e^{-D/L_1} - 1\right)\right] \qquad (3.12)$$

Bu kısımla ilgili giriş ve çıkış değişkenlerinin zamana göre değişimleri Şekil 3.3. de gösterilmiştir.

3.2.1. Pulse Test Verilerinden İletim Fonksiyonu G(iw)'nin Bulunması

Giriş değişimi $\theta_2(t)$ ve çıkış değişimi $\theta_1(t)$ olan bir sistemin iletim fonksiyonu;

$$G(s) = \frac{\theta_1(s)}{\theta_2(s)} \qquad (3.13)$$



Şekil.3.3.:Bir pulse girişi ve sistemin çıkış değişkenlerinin zamana göre değişimi.

Laplace dönüşümü açık olarak yazılırsa;

$$G(s) = \frac{\int_0^{\infty} \theta_1(t)\, e^{-st}\, dt}{\int_0^{\infty} \theta_2(t)\, e^{-st}\, dt} \tag{3.14}$$

Eğer Laplace temelinden sıklık temeline geçilmek istenirse $s = iw$ konur.

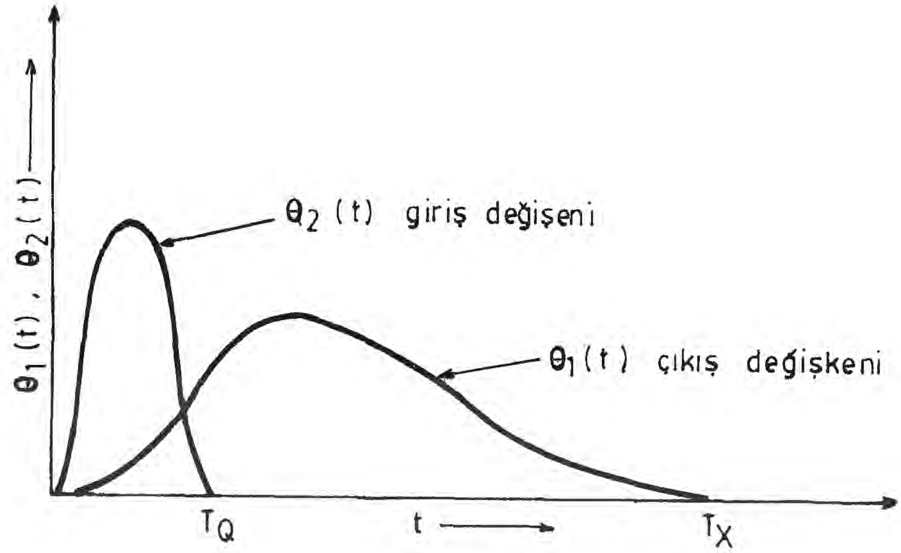
$$G(iw) = \frac{\int_0^{\infty} \theta_1(t)\, e^{-iwt}\, dt}{\int_0^{\infty} \theta_2(t)\, e^{-iwt}\, dt} \tag{3.15}$$

Denklem (3.15)'in pay ve paydası $\theta_1(t)$ ve $\theta_2(t)$ nin Fourier dönüşümlerini verir. Böylece $G(iw)$ nin sıklık yanıtımı pulse test yöntemi ile hesaplanabilir, Şekil 3.4 .

$$G(iw) = \frac{\int_0^{\infty} \theta_1(t)\, \mathrm{Cos}(wt)dt - i \int_0^{\infty} \theta_1(t)\, \mathrm{Sin}(wt)dt}{\int_0^{\infty} \theta_2(t)\, \mathrm{Cos}(wt)dt - i \int_0^{\infty} \theta_2(t)\, \mathrm{Sin}(wt)dt} \tag{3.16}$$

$$= \frac{A - iB}{C - iD} = \frac{(AC + BD) + i\ (AD - BC)}{C^2 + D^2} \tag{3.17}$$

$$= \mathrm{Re}\ G\ (iw) + \mathrm{Im}\ G(iw) \tag{3.18}$$



Şekil 5.4: Pulse test girişinin ve çıkış değişkeninin zamana göre değişimleri ve yatışkın hale geliş süreleri.

$$A = \int_0^{T_x} \theta_1(t)\ \mathrm{Cos}(wt)dt \qquad (3.19)$$

$$B = \int_0^{T_x} \theta_1(t)\ \mathrm{Sin}(wt)dt \qquad (3.20)$$

$$C = \int_0^{T_Q} \theta_2(t)\mathrm{Cos}(wt)dt \qquad (3.21)$$

$$D = \int_0^{T_Q} \theta_2(t)\mathrm{Sin}(wt)dt \qquad (3.22)$$

Görüldüğü gibi problem verilen bir pulse yanıtımı için A,B,C ve D katsayılarının hesaplanmasına indirgenir. Yukarıda verilen katsayıları hesaplamak için ilgili tüm integral işlemlerinde $t = 0$ zamanından $\theta_2(t)$ için T_Q ve $\theta_1(t)$ için T_x zamanlarına kadar yapmak gerekir.

Bir w değeri alınır ve aynı zaman aralıkları için integral işlemi yapılır ve G(iw) alınan w değeri için hesaplanır. Daha sonra bu işlem çeşitli w değerleri için tekrarlanır, ilgili tüm w değerleri değerleri için G(iw) ler hesaplanır. Hesaplama sonuçlarından Bode diyagramı çizilir.

Yukarıda belirtilen integral işlemi sayısal bilgisayarda yapılır. Bu araştırmada Fourier dönüşümlerinin integral çözümleri için dört ayrı yöntem kullanılmıştır ve aynı pulse giriş ve yanıtımları için alınmıştır. Bundan sonraki kısımlarda bu dört ayrı yöntem gösterilmiştir.

3.3. Fourier Dönüşümlerinin Sayısal Bilgisayar ile Çözümleri

Yukarıda verilen G(iw)nin hesaplanabilmesi için Fourier dönüşümlerinin integral işleminin yapılması gerekmektedir. Bu amaçla dört ayrı yöntem uygulanmıştır.

3.3.1. Doğrusal Yaklaşım

Bu yaklaşım yöntemi iki ayrı şekilde incelenmiştir.

i) Doğrusal Yaklaşım I

Luyben (5), doğrusal yaklaşımla ilgili bir integral çözüm yolu önermiştir. Şekil 3.5. de bir pulse değişiminin etkisinde bir sistemin çıkış değişkeninin zamana göre değişimi gösterilmiştir. Bu değişimi çeşitli t zamanlarına göre parçaladığımızda (X_1, t_1), (X_2, t_2), ..., (X_k, t_k), ..., (X_N, t_N) noktaları elde edilir. Ayrıca $t_N = T_x$ de $X_N = 0$ olmaktadır. Bu noktalar için Δt_k nın eşit aralıklarda alınması şart değildir.

Eğer denklem (3.14), çıkış değişkeni X(t) için Fourier dönüşümü yazılırsa;

$$FIT = \int_0^{T_x} X(t)\, e^{-iwt}\, dt \qquad (3.23)$$

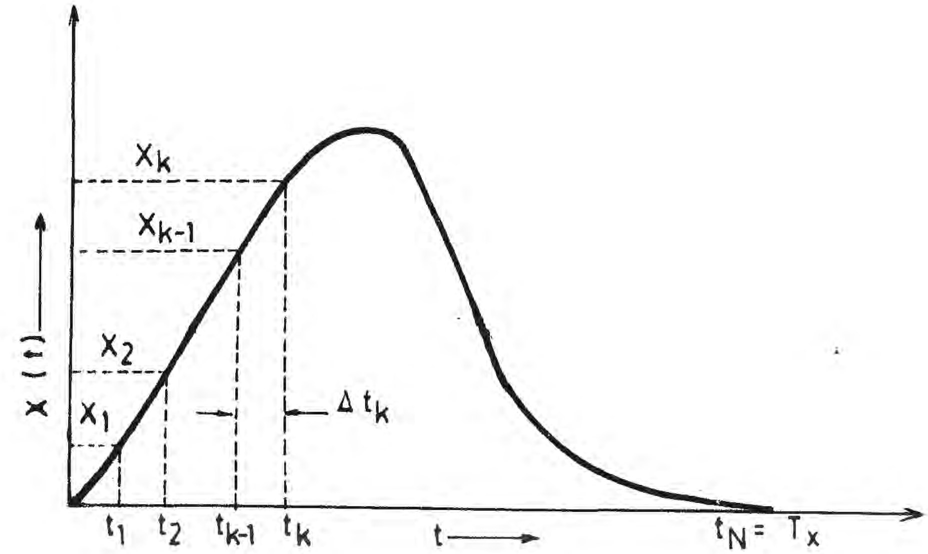
İntegrasyon işlemi için $(0, T_x)$ Δt_k şeklinde eşit olmayan adım aralıklarına bölünürse;

$$FIT = \sum_{k=1}^{N} \left(\int_{t_{k-1}}^{t_k} X(t)\, e^{-iwt}\, dt \right) \qquad (3.24)$$

t_{k-1} ve t_k adım aralığında X_k yı $\phi k(t)$ doğrusal polinom ile ifade edilirse;

$$X(t) \simeq \phi\, k(t) \quad \text{için} \quad t_{k-1} < t < t_k \qquad (3.25)$$

$$\phi\, k(t) = \alpha_{ok} + \alpha_{1k}\,(t - t_{k-1}) \qquad (3.26)$$



Şekil 2.5: Pulse etkisinde bir sistemin çıkış değişkeninin zamana göre değişim grafiğinde Fourier dönüşümlerinin integral işlemi için gerekli noktaların Δt_k adım aralıklarının belirlenmesi.

Bu serilerdeki hesaplama şekli doğrusal yaklaşım yöntemi olarak bilinmektedir.

$$\alpha_{1k} = \frac{X_k - X_{k-1}}{\Delta t_k} \qquad (3.27)$$

α_{1k}, k noktasındaki doğrunun eğimidir.

$$\Delta t_k = t_k - t_{k-1} \qquad (3.28)$$

α_{ok}, k, aralığının başındaki $\emptyset_k$ nın değeridir.

$$\alpha_{ok} = X_{k-1} \qquad (3.29)$$

α_{ok} ve α_{1k} her analiz için değişmektedir.

Denklem (3.24) tekrar yazılırsa;

$$FIT = \sum_{k=1}^{N} \left[\int_{t_{k-1}}^{t_k} \left[\alpha_{ok} + \alpha_{1k} \, (t - t_{k-1}) \right] e^{-iwt} \right] dt \qquad (3.30)$$

Her I_k analitik olarak geliştirilirse;

$$FIT = \sum_{k=1}^{N} I_k \qquad (3.31)$$

$$I_k = \int_{t_{k-1}}^{t_k} \left[\alpha_{ok} + \alpha_{1k} \, (t - t_{k-1}) \right] e^{-iwt} dt \qquad (3.32)$$

$$= \frac{-\alpha_{ok}}{iw} \, e^{-iwt} \Big]_{t_{k-1}}^{t_k} + \alpha_{1k} \int_{t_{k-1}}^{t_k} (t - t_{k-1}) \, e^{-iwt} \, dt \qquad (3.33)$$

integral işlemi yapılırsa;

$$U = t - t_{k-1} \qquad dV = e^{-iwt} \, dt$$

$$dU = dt \qquad V = -\frac{e^{-iwt}}{iw}$$

$$I_k = \frac{\alpha_{ok}}{iw}\left(e^{-iwt_{k-1}} - e^{-iwt_k}\right) - \left[\alpha_{1k}(t-t_{k-1})\,\frac{e^{-iwt}}{iw}\right]_{t_{k-1}}^{t_k} + \frac{\alpha_{1k}}{iw}\int_{t_{k-1}}^{t_k} e^{-iwt}\,dt \qquad (3.34)$$

$$= \frac{\alpha_{ok}}{iw}\left(e^{-iwt_{k-1}} - e^{-iwt_k}\right) - \frac{\alpha_{1k}}{iw}(t_k - t_{k-1})e^{-iwt_k} + \frac{\alpha_{1k}}{w^2}\left(e^{-iwt_k} - e^{-iwt_{k-1}}\right) \qquad (3.35)$$

Denklem (3.27) ve (3.29)'dan α_{ok} ve α_{1k} yerine konursa;

$$I_k = \frac{X_{k-1}}{iw}\left(e^{-iwt_{k-1}} - e^{-iwt_k}\right) - \frac{X_k - X_{k-1}}{\Delta t_k}\,\frac{\Delta t_k}{iw}\,e^{-iwt_k} \qquad (3.36)$$

$$+ \frac{X_k - X_{k-1}}{\Delta t_k}\,\frac{1}{w^2}\left(e^{-iwt_k} - e^{-iwt_{k-1}}\right) \qquad (3.37)$$

$$= \left(X_{k-1}e^{-iwt_{k-1}} - X_{k-1}e^{-iwt_k} - X_k e^{-iwt_k} + X_{k-1}e^{-iwt_k}\right)\frac{1}{iw} \qquad (3.38)$$

$$+ \frac{X_k - X_{k-1}}{w^2\,\Delta t_k}\left(e^{-iwt_k} - e^{-iwt_{k-1}}\right)$$

$$= X_k\left(\frac{-e^{-iwt_k}}{iw} + \frac{e^{-iwt_k} - e^{-iwt_{k-1}}}{w^2\,\Delta t_k}\right) \qquad (3.39)$$

$$+ X_{k-1}\left(\frac{e^{-iwt_{k-1}}}{iw} - \frac{e^{-iwt_k} - e^{-iwt_{k-1}}}{w^2\,\Delta t_k}\right)$$

$$I_k = e^{-iwt_{k-1}} \left[X_k \left(\frac{e^{-iw\,\Delta t_k} - 1}{w^2\,\Delta t_k} - \frac{e^{-iw\,\Delta t_k}}{iw} \right) - \right.$$

$$\left. X_{k-1} \left(\frac{e^{-iw\Delta t_k} - 1}{w^2\,\Delta t_k} - \frac{1}{iw} \right) \right] \qquad (3.40)$$

X(t) nin Fourier dönüşümü;

$$\int_0^{\infty} X(t) e^{-iwt}\, dt \simeq \sum_{k=1}^{N} e^{-iwt_{k-1}} \left[X_k \left(\frac{e^{-iw\Delta t_k} - 1}{w^2\Delta t_k} - \frac{e^{-iw\Delta t_k}}{iw} \right) \right.$$

$$\left. - X_{k-1} \left(\frac{e^{-iw\Delta t_k} - 1}{w^2\Delta t_k} - \frac{1}{iw} \right) \right] \qquad (3.41)$$

Denklem (3.41) sayısal bilgisayarda çözülebilir. Çözümde bilgisayar programına giriş ve çıkış değişkenlerinin verileri okutularak aynı değişkenlerin Fourier dönüşümleri hesaplanır. $G(iw)$ bulunur sonra gerçek ve sanal kısımlardan faz gecikimi (φ) ve genlik oranı $|G|$ hesaplanır Bode diyagramı çizilir.

Yatışkın-hal için iletim fonksiyonu $G(oi)$ aşağıda verilmiştir.

$$K_p = G(oi) \int_0^{T_x} \frac{X(t)\, dt}{Q(t)} \qquad (3.42)$$

Eğer giriş pulse değişkeni dikdörtgen şeklinde ise, $Q(t)$, Fourier dönüşümü;

$$\int_0^{\infty} Q(t)\, e^{-iwt}\, dt = h \int_0^{D} e^{-iwt}\, dt$$

$$= -\frac{h}{iw}\, e^{-iwt} \Big|_0^D$$

$$= \frac{h}{iw} \left(1 - e^{-iwD}\right) \qquad (3.43)$$

Sayısal bilgisayarda dikdörtgen şeklindeki bir pulse girişi ve çıkış değişkenleri için hesaplama yöntemi verilmiştir. Bu yöntem için bilgisayar çözümleri ve listesi Ek 3. de verilmiştir.

ii) Doğrusal Yaklaşım II

Watanabe ve Matsubara (6), aşağıdaki yöntemi önermişlerdir.

$w > 0$ olduğunda ilgili Fourier dönüşümü ve integral çözümü;

$$F(iw) = \Delta t \sum_{n=0}^{N} P_n \; f(n\Delta t) e^{-iwn\Delta t} \tag{3.44}$$

İlgili katsayılar aşağıda verildiği gibi hesaplanır.

$$P_n = \begin{cases} 1/2 & n = 0, N \\ 1 & n = 1, 2, \ldots, N-1 \end{cases} \tag{3.45}$$

$w = 0$ iken Fourier dönüşümü;

$$F(0) = \Delta t \sum_{n=0}^{N} P_n f(n\Delta t) \tag{3.46}$$

İlgili katsayılar

$$P_n = \begin{cases} 1/2 & n = 0, N \\ 1 & n = 1, 2, \ldots, N-1 \end{cases} \tag{3.47}$$

Doğrusal yaklaşım II ile ilgili tüm sayısal bilgisayar çözüm ve listesi Ek 4. de gösterilmiştir.

3.3.2 Trapezoidal Yaklaşım

Watanabe ve Matsubara (6), tarafından Fourier dönüşümlerinin integral çözümü için ikinci bir yöntem olarak verilmiştir. Benzer şekilde

$w > 0$ iken Fourier dönüşümü ve integral çözümü;

$$F(iw) = \Delta t \sum_{n=o}^{N} P_n \, f(n\Delta t) \, e^{-iwn\Delta t} \qquad (3.48)$$

ilgili katsayılar;

$$P_o = \left[1 - \mathrm{Cos} w\Delta t - i(w\Delta t - \mathrm{Sin} w\Delta t)\right] / (w\Delta t)^2 \qquad (3.49)$$

$$P_n = (\mathrm{Sin} \frac{1}{2} w\Delta t \, / \, \frac{1}{2} w\Delta t)^2 \qquad (3.50)$$

$n \quad 1, 2, \ldots., N-1$

$$P_N = \left[1 - \mathrm{Cos} w\Delta t + i(w\Delta t - \mathrm{Sin} w\Delta t)\right] / (w\Delta t)^2 \qquad (3.51)$$

$w = 0$ iken Fourier dönüşümü;

$$F(0) = \Delta t \sum_{n=o}^{N} P_n \, f(n\Delta t) \qquad (3.52)$$

ilgili katsayılar;

$$\lim_{w\Delta t \to o} P_o = \lim_{w\Delta t \to o} \frac{1 - \mathrm{Cos} w\Delta t}{(w\Delta t)^2}$$

$$= \lim_{w\Delta t \to o} \frac{\mathrm{Sin}\, w\Delta t}{2w\Delta t}$$

$$= \lim_{w\Delta t \to o} \frac{\mathrm{Cos}\, w\Delta t}{2} \qquad (3.53)$$

$$= \frac{1}{2}$$

$$\lim_{w\Delta t \to o} P_o = \lim_{w\Delta t \to 0} P_N = \frac{1}{2} \qquad (3.54)$$

$$\lim_{w\Delta t \to 0} P_n = \lim_{w\Delta t \to 0} \frac{\mathrm{Sin}\, \frac{1}{2} w\Delta t}{\frac{1}{2} w\Delta t}$$

$$= \lim_{w\Delta t \to 0} \frac{\frac{1}{2} \mathrm{Cos} w\, t}{\frac{1}{2}} \qquad (3.55)$$

$$\lim_{w\Delta t \to 0} P_n = 1 \qquad (3.56)$$

Bu yaklaşımla ilgili tüm sayısal bilgisayar çözüm ve listesi Ek 5. de gösterilmiştir.

3.3.3 Parabolik Yaklaşım

Watanabe ve Matsubara (6), tarafından önerilmiştir. Filon's formülü olarak bilinir.

$w = 0$ iken Fourier dönüşümü ve integral çözümü;

$$F(iw) = \frac{\Delta t}{2} \sum_{n=0}^{2N} P_n\, f(n \frac{\Delta t}{2}) e^{-iwn\, (\Delta t/2)} \qquad (3.57)$$

İlgili katsayılar;

$$P_o = \frac{2}{(w\Delta t)^2} \Big[(3 + \mathrm{Cos}\, w\Delta t - \frac{4 \mathrm{Sin}\, w\, \Delta t}{w\, \Delta t})$$

$$-i (w\Delta t - \frac{4}{w\, \Delta t} - \frac{4\, \mathrm{Cos} w\Delta t}{w\, \Delta t} + \mathrm{Sin} w\, \Delta t) \Big] \qquad (3.58)$$

$$P_{2n-1} = \frac{16}{(w\, \Delta t)^2} (-\mathrm{Cos} \frac{w\Delta t}{2} + \frac{2}{w\, \Delta t} \mathrm{Sin} \frac{w\Delta t}{2}) \qquad (3.59)$$

n 1,2, ..., N

$$P_{2n} = \frac{4}{(w\, \Delta t)^2} (3 + \mathrm{Cos} w\Delta t - \frac{4 \mathrm{Sin}\, w\, \Delta t}{w\, \Delta t} \qquad (3.60)$$

$n \; 1,2, \ldots\ldots, N-1$

$$P_{2n} = \frac{2}{(w\Delta t)^2}\left[(3+\mathrm{Cos}w\Delta t - \frac{4\mathrm{Sin}w\,\Delta t}{w\,\Delta t})\right.$$

$$\left. i(w\Delta t - \frac{4}{w\Delta t} - \frac{4\mathrm{Cos}w\Delta t}{w\Delta t} + \mathrm{Sin}w\Delta t)\right] \qquad (3.61)$$

$w = 0$ iken Fourier dönüşümü ve integral işlemi Simpson kuralına göre yapılır.

$$F(o) = \frac{\Delta t}{2} \sum_{n=o}^{2N} P_n \; f\,(n \frac{\Delta t}{2}) \qquad (3.62)$$

İlgili katşayılar;

$$\lim_{w\Delta t \to o} P_o = \lim_{w\Delta t \to o} \frac{6w\Delta t + 2w\Delta t\ \mathrm{Cos}w\Delta t - 8\mathrm{Sin}w\Delta t}{(w\,\Delta t)^3} \qquad (3.63)$$

$$= \lim_{\Delta t \to o} \frac{6 - 2w\Delta t\ \mathrm{Sin}w\,\Delta t - 6\mathrm{Cos}w\Delta t}{3\,(w\,\Delta t)^2}$$

$$= \lim_{\Delta t \to o} \frac{-2w\Delta t\ \mathrm{Cos}w\,\Delta t + 4\ \mathrm{Sin}\ w\,\Delta t}{6(w\,\Delta t)}$$

$$= \lim_{w\,\Delta t \to o} \frac{2w\,\Delta t\ \mathrm{Sin}w\,\Delta t + 2\ \mathrm{Cos}w\,\Delta t}{6}$$

$$= \frac{1}{3} \qquad (3.64)$$

$$\lim_{w\Delta t \to o} P_o = \lim_{w\Delta t \to o} P_{2N} = \frac{1}{3} \qquad (3.65)$$

$$\lim_{w\Delta t \to o} P_{2n} = 2\lim_{w\,\Delta t \to o} P_o = \frac{2}{3} \qquad (3.66)$$

$$\lim_{w\Delta t\to o} P_{2n-1} = \lim_{w\Delta t\to o} \frac{-16w\Delta t\,Cos\frac{w\Delta t}{2} + 32\,Sin\,\frac{w\,\Delta t}{2}}{(w\,\Delta t)^3} \tag{3.67}$$

$$\lim_{w\,\Delta t\to o} \frac{8w\,\Delta t\,Sin\,\frac{w\,\Delta t}{2}}{3\,(w\,\Delta t)^2} \tag{3.68}$$

$$= \lim_{w\,\Delta t\to o} \frac{4w\,\Delta t\,Cos\,\frac{w\,\Delta t}{2} + 8Sin\frac{w\,\Delta t}{2}}{6(w\,\Delta t)} \tag{3.69}$$

$$= \lim_{w\,\Delta t\to o} \frac{-2w\,\Delta t\,Sin\,\frac{w\,\Delta t}{2} + 12\,Cos\,\frac{w\,\Delta t}{2}}{6} \tag{3.70}$$

$$= \lim_{w\,\Delta t\to o} P_{2n-1} = \frac{4}{3} \tag{3.71}$$

Parabolik yaklaşım ile ilgili tüm sayısal bilgisayar çözüm ve listesi Ek 6. da gösterilmiştir.

Tüm bilgisayar çalışmalarında pulse giriş değişkeni için I ve II doğrusal yaklaşım yöntemleri kullanılmıştır. Yukarıda verilen dört çözüm yönteminde önemli bir nokta integral adım aralığı Δt'nin seçimidir. Bode diyagramının çizilebilmesi için yeterince nokta seçiminin yapılması gerekir. Ayrıca bir sisteme pulse değişimi verildiğinde h 'ın değerinin sistemi etkileyebilecek derecede büyük olması istenir. Bu sayede çıkış değişkenlerinin zamana göre değişimi gözlenebilir. Dört integral yönteminde'de yüksek sıklık değerleri Bode diyagramlarında salınım verirler.

BÖLÜM 4

SAYISAL BİLGİSAYARDAN ELDE EDİLEN KURAMSAL SONUÇLAR

Bu bölümde beş tam karıştırmalı akım reaktörlerinin akış hızına verilen pulse değişiminde çıkış değişkenlerinin zamana göre değişimleri incelenmiştir.

4.1. Sayısal Bilgisayar Çözümlerinde Kullanılan Parametrelerin Değerleri

Sayısal bilgisayar çözümlerinde kullanılan parametrelerin değerleri aşağıda verilmiştir.

1. Reaksiyon hız sabiti;

$$k = \exp(36.49 - 12100/T) \tag{4.1}$$

2. Reaksiyon ısısı;

$\Delta H = -18600$ cal/mol (Ekzotermik)

3. Çalışma şartları;

$T_o = 23^oC$ $c_o = 0.5$ mol/lt $\theta o = 5^oC$
$V_1 = 1$ ve 2 lt/dak $V_2 = 6$ lt/dak
$V = 3200 cm^3$

Isı iletimi katsayısı U'nun soğutma suyu akış hızı ile değişimi Şekil 4.1. de verilmiştir. Kullanılan akışkanın ve soğutma suyunun özellikleri aşağıdaki gibidir.

Özgül ısı , $c_p = 1.0$ cal/g^oC

Yoğunluk , $\rho = 1.0$ g/cm^3

4.2. Sayısal Bilgisayar ile Elde Edilen Çözüm Sonuçları

Bu kısımda beş tam karıştırmalı akım reaktörlerinin besleme akış hızına verilen pulse etkisinde çıkış değişkenlerinin zamana göre değişimleri sayısal bilgisayarda hesaplanmıştır. Ayrıca aynı değişkenler için sıklık temeline göre gerekli iletim fonksiyonları hesaplanarak ilgili Bode diyagramları çizilmiştir.

4.2.1. Yatışkın-Hal Sonuçları

Tablo 4.1 de verilen giriş şartlarında, beş tam karıştırmalı akım reaktörlerinin yatışkın-hal denklemleri sayısal bilgisayarda çözülmüştür,(1,2,3,4). İlgili ilk ve son yatışkın hal şartları Tablo 4.1 ve sayısal bilgisayar çözüm sonuçları Şekil 4.2 - 4.5 de gösterilmiştir.

4.2.2. Yatışkın Olmayan-Hal Sonuçları

Beş tam karıştırmalı akım reaktörleri Tablo 4.1. de verilen çalışma şartlarında yatışkın-halde iken besleme akış hızına kademe değişimi (V_1=1 lt/dak, V_1=2 lt/dak) verilerek çıkış değişkenlerinin zamana göre değişimleri sayısal bilgisayarda hesaplanmıştır, (1,2,3,4). İlgili diyagramlar Şekil 4.6 , 4.7 de gösterilmiştir. Görüleceği gibi reaktörler dizisi iki yatışkın-hal arasında kararlılık göstermektedir.

4.2.3.1. Pulse Etkisi

Bu kısımda besleme akış hızına çeşitli büyüklüklerde pulse etkileri verilerek çıkış sıcaklık ve derişimlerinin zamana göre değişimleri incelenmiştir.

Kısım 4.2.1. de verilen birinci yatışkın-hal şartlarında, beş tam karıştırmalı akım reaktörlerinin besleme akış hızına verilen pulse etkilerinin özellikleri Tablo 4.2. de verilmiştir. Sistemi etkileyen pulse değişimleri ve çıkış değişkenlerinin zamana göre değişimleri Şekil 4.8-4.21 . de gösterilmiştir.

4.2.3.2. Bode Diyagramları

Kısım 3.3. de pulse değişiminin etkisinde olan bir sistemin çıkış değişkenlerinin zamana göre değişim verilerinden Bode diyagramlarının nasıl çizilebileceği anlatılmıştır. Kısaca özetlenirse önce sistemin çıkış değişkeninin zamana göre değişim verileri Δt_k adım aralıklarına bölünerek her t ye karşı gelen X ler belirlenir. Sonra bu noktalar yardımıyla dört ayrı integral çözüm yöntemi kullanılarak Bode diyagramları için gerekli noktalar hesaplanır. Bu işlem bir örnekle aşağıda açıklanmıştır.

Tablo 4.1. de gösterilen şartlarda giriş akış hızına özellikleri Tablo 4.2. de verilen pulse değişimi ($V_1 = 1$ lt/dak , $h = 1$ lt/dak ve $D = 1.666$ dak) Şekil 4.18. de gösterilmiştir. Beş tam karıştırmalı akım reaktörünün verilen pulse etkisi altında birinci tank çıkış değişiminin, c_1 zamana göre değişimi Şekil 4.18. de ve hesaplama için daha detaylı olarak Şekil 4.22. de gösterilmiştir. Fourier dönüşümlerinin integral çözümlerinin yapılabilmesi için pulse değişimi ve çıkış değişkeninin zamana göre değişimi Δt_k adım aralıklarına bölünmüştür. Adım aralığı pulse değişkeni için DLT 1 ve çıkış değişkeni için DLT 3 olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada pulse süresi D dokuz adım aralığına bölünerek (DLT1 = 0.1851) elde edilmiştir. Benzer şekilde çıkış değişkeni c_1'in pulse değişiminin etkisiyle ilk yatışkın halden çıkıp tekrar aynı yatışkın hale geliş süresi $T_x = 3$ dak. yı onsekiz parçaya bölerek DLT3 = 0.1667 dak bulunur, ve ondokuz nokta elde edilir. Diğer çalışmalardan elde edilen verilerde T_x süresi farklı değerlerde alınmıştır. Bu farklılığın Bode diyagramları üzerinde etkisi görülmüştür.

Luyben (5), in önerdiği doğrusal yaklaşım I de pulse girişinin Fourier dönüşümü Bölüm 3'de verilen denklem (3.43)'e göre hesaplanır. Bu hesaplama yönteminde, pulse girişini Δt_k adım aralıklarına bölmeden yalnızca h ve D değerleri bilgisayar programına verilir.

$$\int_0^{\infty} Q(t)\, e^{-iwt}\, dt = \frac{h}{iw}\left(1 - e^{-iwD}\right) \qquad (3.43.)$$

Bu programda giriş pulse'nin Fourier dönüşümünün integrali GDENOM indisi ile hesaplatılmıştır.

Watanabe ve Matsubara (6), nın önerdikleri doğrusal yaklaşım II ye göre giriş pulse etkisi yukarıda verilen örneğe göre dokuz parçaya bölünerek on nokta elde edilmiştir, (t = 0 da noktalar 1 den başlar) buna göre sayısal bilgisayar programında (-W × (I - 1) × DLT1) teriminde W sıklığı gösterirken I = 10 ve DLT1 = 0.1851 olarak alınır ve (I-1) × DLT1 çarpımı 1.666 dak bulunarak D'ye eşit olur. Bu programda pulse girişinin Fourier transformasyonunun integral çözümü GD indisi ile hesaplattırılmıştır. Bu çalışmada pulse girişleri için doğrusal I ve II kullanılmıştır.

Pulse etkisinde çıkış değişkenlerinin zamana göre değişiminden elde edilen veriler ile Fourier dönüşümlerinin integral işlemi Luyben (5), in bir ve Watanabe ile Matsubara (6), nın önerdiği üç ayrı yöntemle yapılmıştır. Luybenin önerdiği yöntem için çıkış değişkenlerinden elde edilen adım aralıkları ve ilgili noktalar bilgisayar programlarına doğrudan veri olarak verilir. Bu yöntemlerin hepsinde (-W × (K - 1) × DLT3) çarpımı değişmemektedir. Gösterilen örnekte $K = 19$ nokta alınarak onsekiz eşit parçaya bölünmüştür. $DLT3 = 0.1667$ için $(K-1) \times DLT3$ çarpımı pulse çıkış süresi $T_x = 3$ dak ya eşit olmaktadır. Bu yöntemlerle ilgili programlarda ise çıkış değişkeninin Fourier dönüşümlerinin integral çözümü GN ve Luyben (5), in önerdiği doğrusal programda ise GNUM indisleriyle yapılır.

Giriş ve çıkış pulse'lerinin integral işlemi eğer doğrusal yaklaşım I kullanılırsa ilgili iletim fonksiyonu sıklık bazına göre aşağıdaki gibi bulunur.

$$G = \frac{GNUM}{GDENOM} \tag{4.2}$$

Eğer giriş pulse için doğrusal yaklaşım II ve çıkış değişkeni için doğrusal II, trapezoidal ve parabolik (Filon) yaklaşımlarından biri kullanılırsa ilgili iletim fonksiyonu;

$$G = \frac{GN}{GD} \tag{4.3}$$

şeklinde olur.

Yukarıda verilen denklemler (4.2, 4.3) yardımıyla elde edilen kompleks sayıların gerçek ve sanal kısımlarından genlik oranı $|G|$ ve faz gecikimi (φ) hesaplanarak, ilgili Bode diyagramlarının noktaları bulunur.

Bu araştırmada giriş akış hızına çeşitli büyüklükte pulse etkileri verilerek beş tam karıştırmalı akım reaktörlerinin birinci ve beşinci tanklarının çıkış sıcaklık ve derişim verilerinden Fourier dönüşümlerinin integral çözümü yardımıyla ilgili Bode diyagramları hesaplanmıştır. Yapılan çalışmalarda integral adım aralıklarının DLT3 hesaplama sonuçlarına etkisi araştırılmıştır. Sistemin ayrıca yatışkın olmayan-hal sonuçlarında çıkış değişkenleri birinci yatışkın-halden ayrılıp tekrar aynı yatışkın hale geliş süreleri farklı olmaktadır. Bazı hallerde yatışkın-hale gelişler uzun sürmekte ve Fourier dönüşümleri için alınan yatışkın-hale gelme süresi T_x hesap sonuçlarını etkilemektedir. Bu araştırmada yapılan tüm giriş pulse değişimleri integral adım aralıkları ve yatışkın-hale gelme süreleri Tablo 4.3 - 4.6 da ve ilgili Bode diyagramları Şekil 4.23 – 4.43. de gösterilmiştir.

Yapılan bilgisayar çözümlerinden elde edilen sonuçlar aşağıda sırasıyla verilmiştir.

Bode diyagramlarının salınımları pulse kalma süresi büyüdükçe artar.

İntegrasyon adım aralıklarının değişiminin Bode diyagramlarının şekline fazlaca etkisi yoktur. Yalnız dört yaklaşım sonuçları arasında çok ufak farklar görülmektedir.

Yatışkın-hale gelme süresi T_x'in farklı değerlerde alınması Bode diyagramının şekilleri üzerinde değişimlere neden olmaktadır. Örnek olarak Şekil 4.24, 4.26 alındığında, T_x=3.0 dak Bode diyagramı logw=0.35 de salınımlı hale geçerken aynı şartlarda T_x=4.5 dak için Bode diyagramı logw=0.15 değerinde salınım gösterir.

Yapılan çalışmalarda yatışkın-hale gelme süresi için alınan değerler çıkış değişkenlerinin zamana göre değişimlerinin durumuna göre çeşitli farklılıklar göstermiştir. Bu farklılıklar aşağıda sırasıyla verilmiştir.

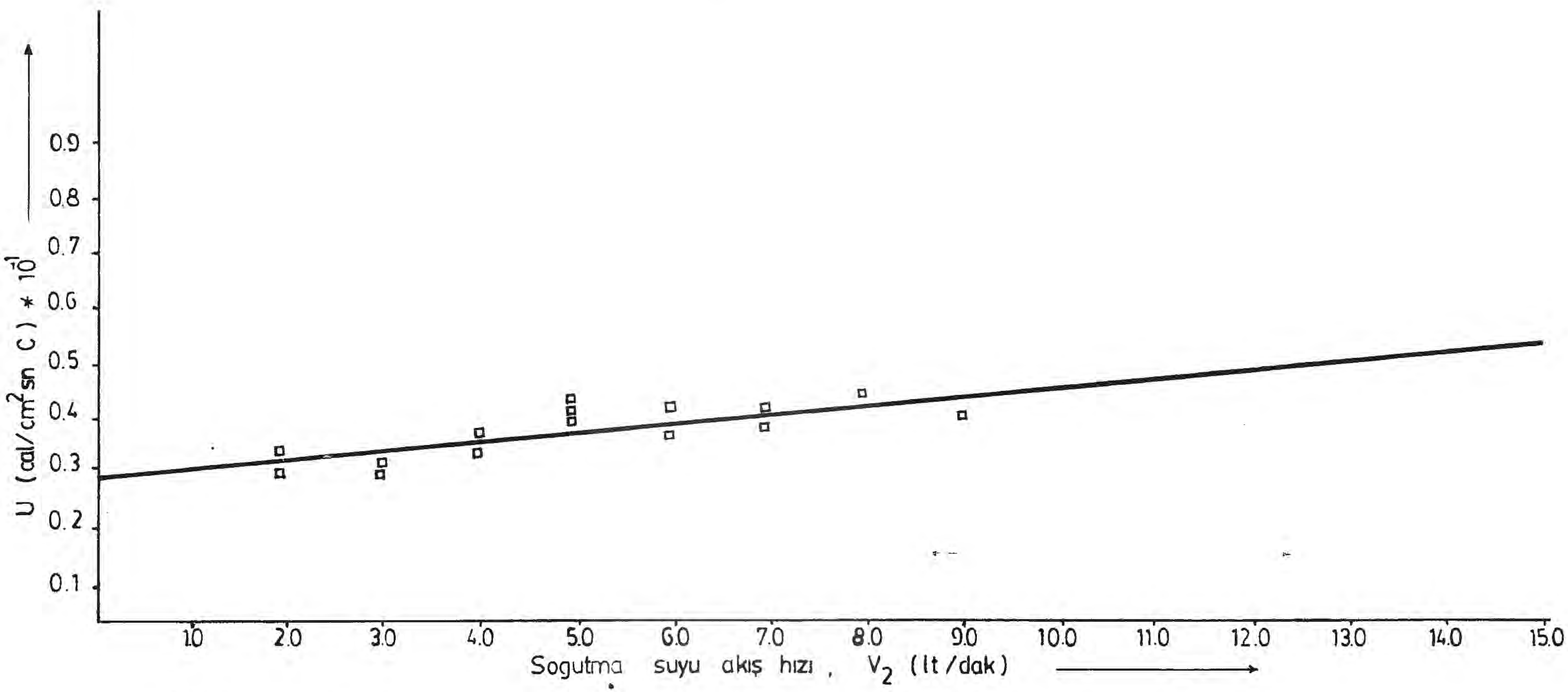
Çıkış değişkeni birinci yatışkın-halden dinamik hale geçerek ikinci yatışkın-hale çok uzun sürede gelmektedir. Şekil 4.16. da verilen T_1 sıcaklığı bu şekle uymaktadır.
Bu gibi hallerde çıkış değişkenlerinin ikinci yatışkın hale uygun bir değerde yaklaştığı süre yatışkın-hale gelme süresi olarak alınabilir.

Bazı hallerde çıkış değişkeni birinci yatışkın halden dinamik hale geçtikten sonra aynı yatışkın hali bir defa geçerek ikinci kez ve daha uzun sürede birinci yatışkın hale gelir, Şekil 4.16. Bu gibi hallerde yatışkın hale gelme süresi çıkış değişkeninin birinci yatışkın hali ilk geçiş süresi olarak alınır.

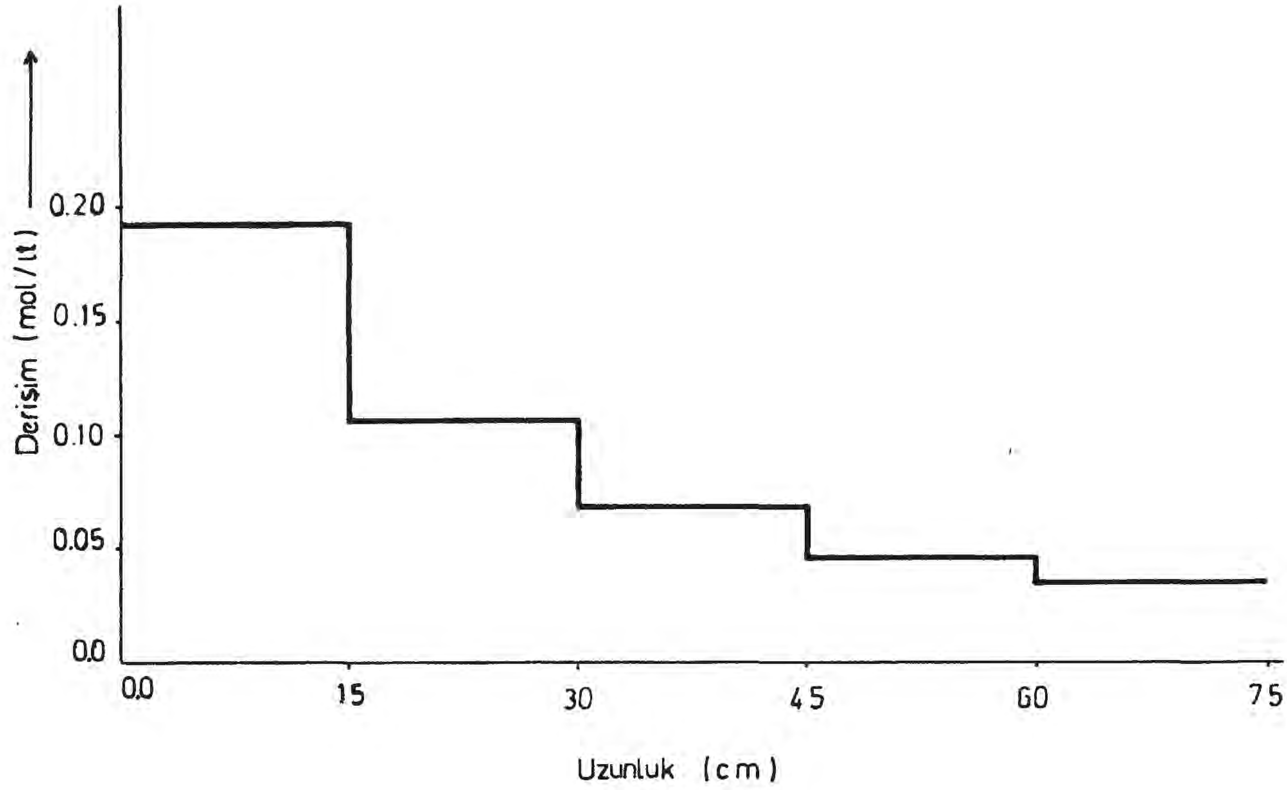
Çıkış değişkenleri için farklı kalma sürelerindeki pulse girişinin, zaman aralığı T_x ve adım aralığı DLT3' ün hesaplanan Bode diyagramlarına etkisi Şekil 4.44 - 4.47. de gösterilmiştir. Görüleceği gibi Bode diyagramları birbirine yaklaşık olarak çıkmıştır.

Çalışma no	V_1 lt/dak	V_2 lt/dak	C_o mol/lt	θ_c °C	T_o °C
1	1.0	6.0	0.5	5.0	23.0
2	2.0	6.0	0.5	5.0	23.0

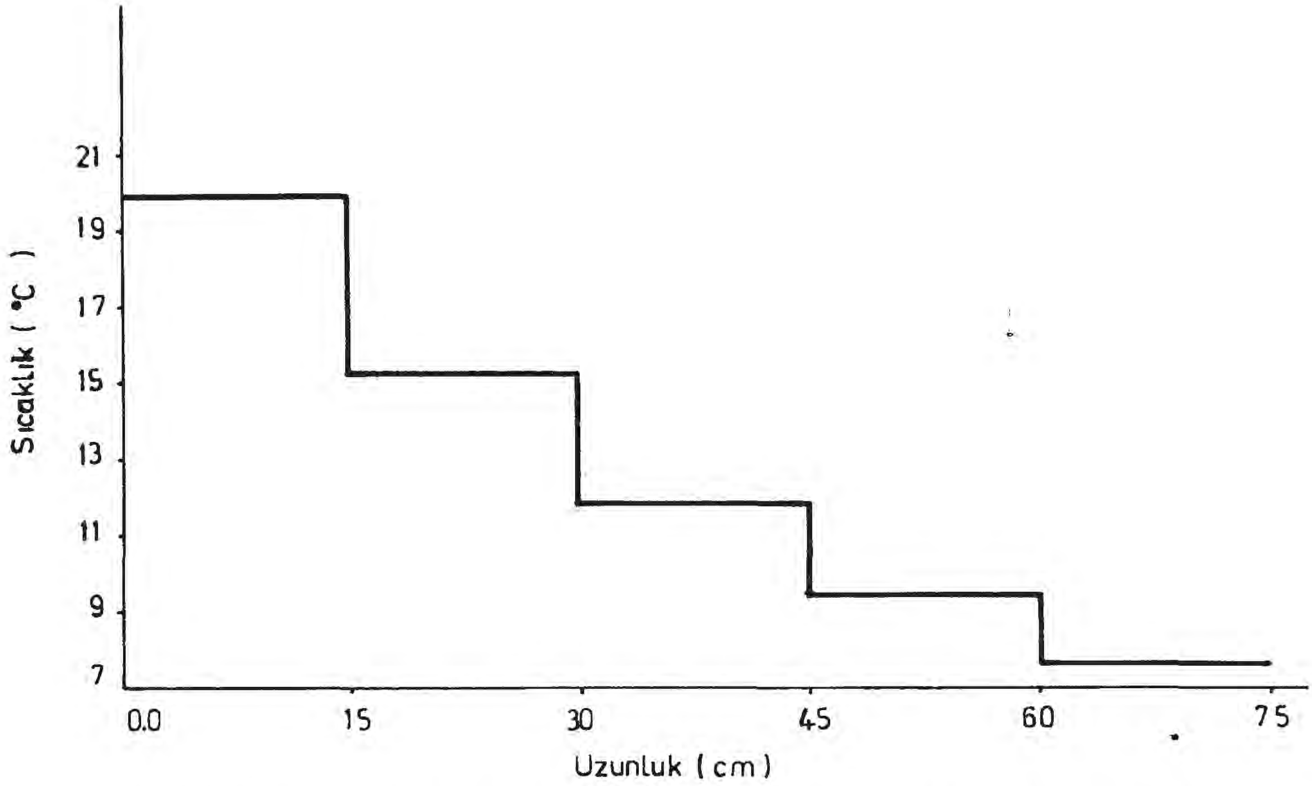
Tablo 4.1 : **Yatışkın-halde beş tam karıştırmalı akım reaktörlerinin çalışma şartları.**



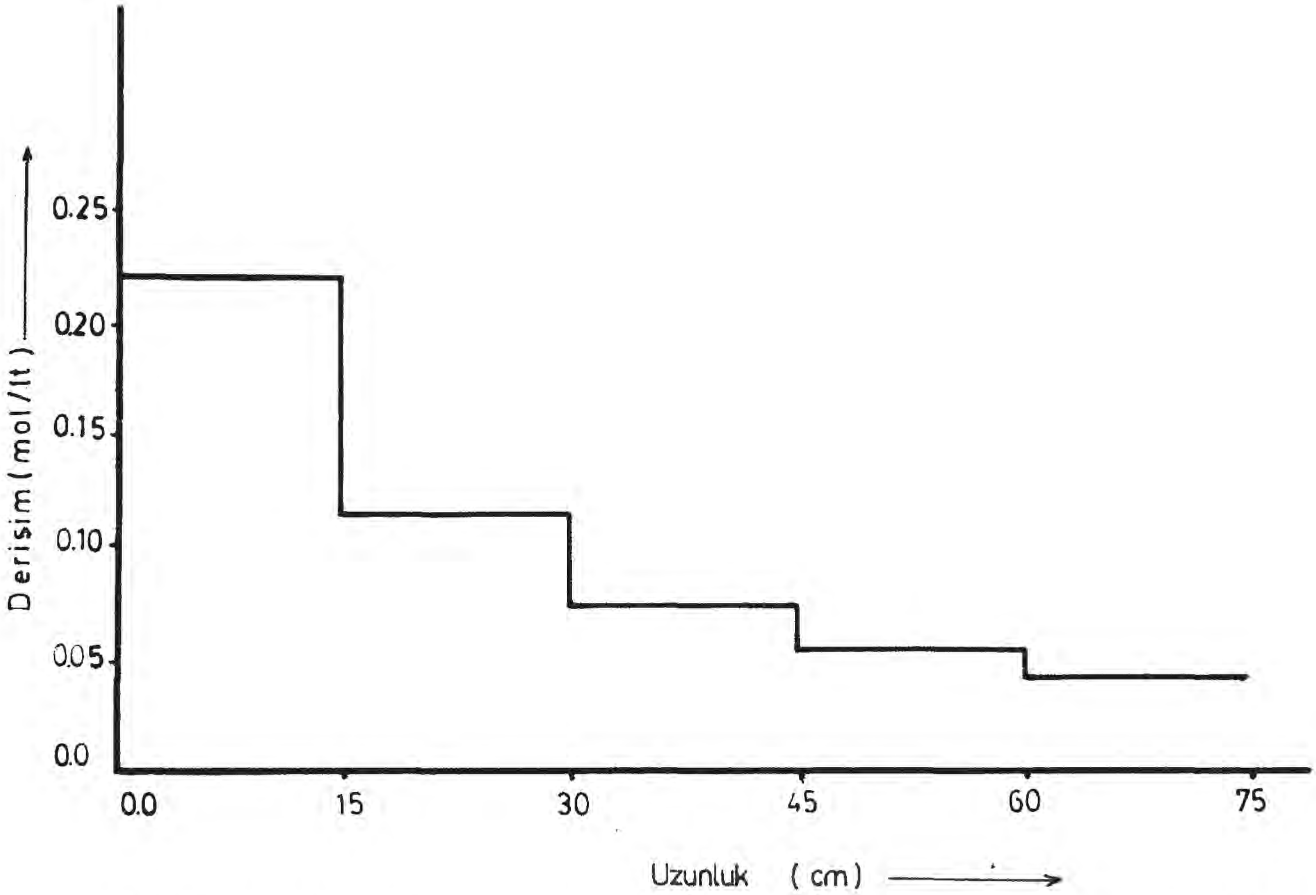
Şekil 4.1. : Isı iletim katsayısının soğutma suyu akış hızı ile değişimi.



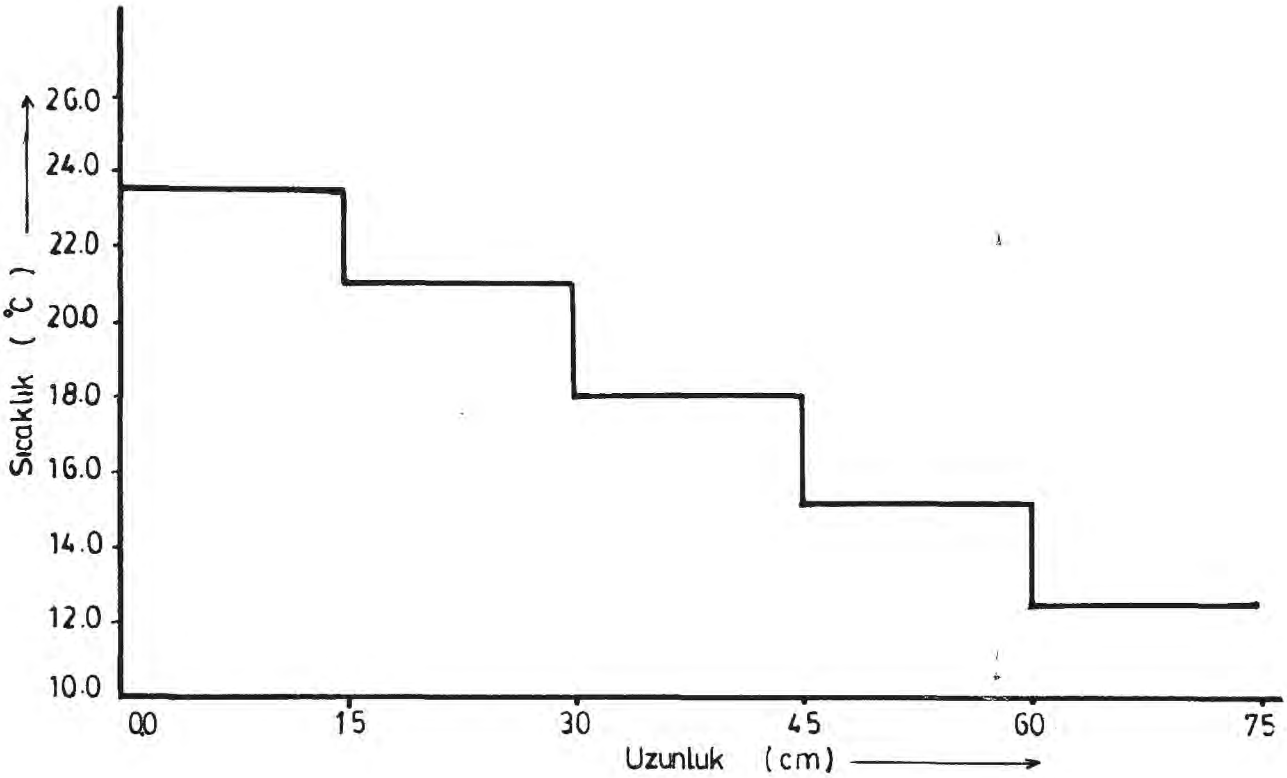
Şekil 4.2: Yatışkın-halde beş tam karıştırmalı akım reaktörünün derişim profili.



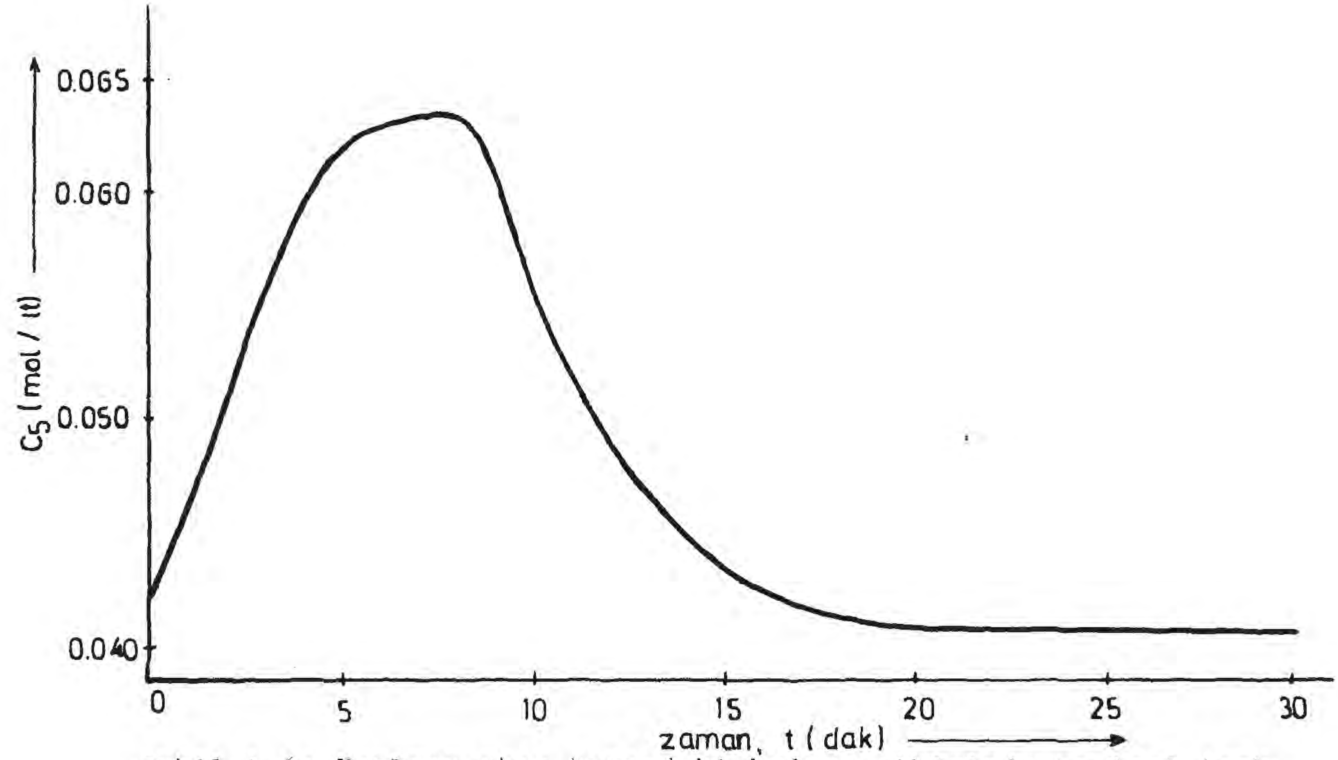
Şekil 4.3: Yatışkın-halde beş tam karıştırmalı akım reaktörünün sıcaklık profili.



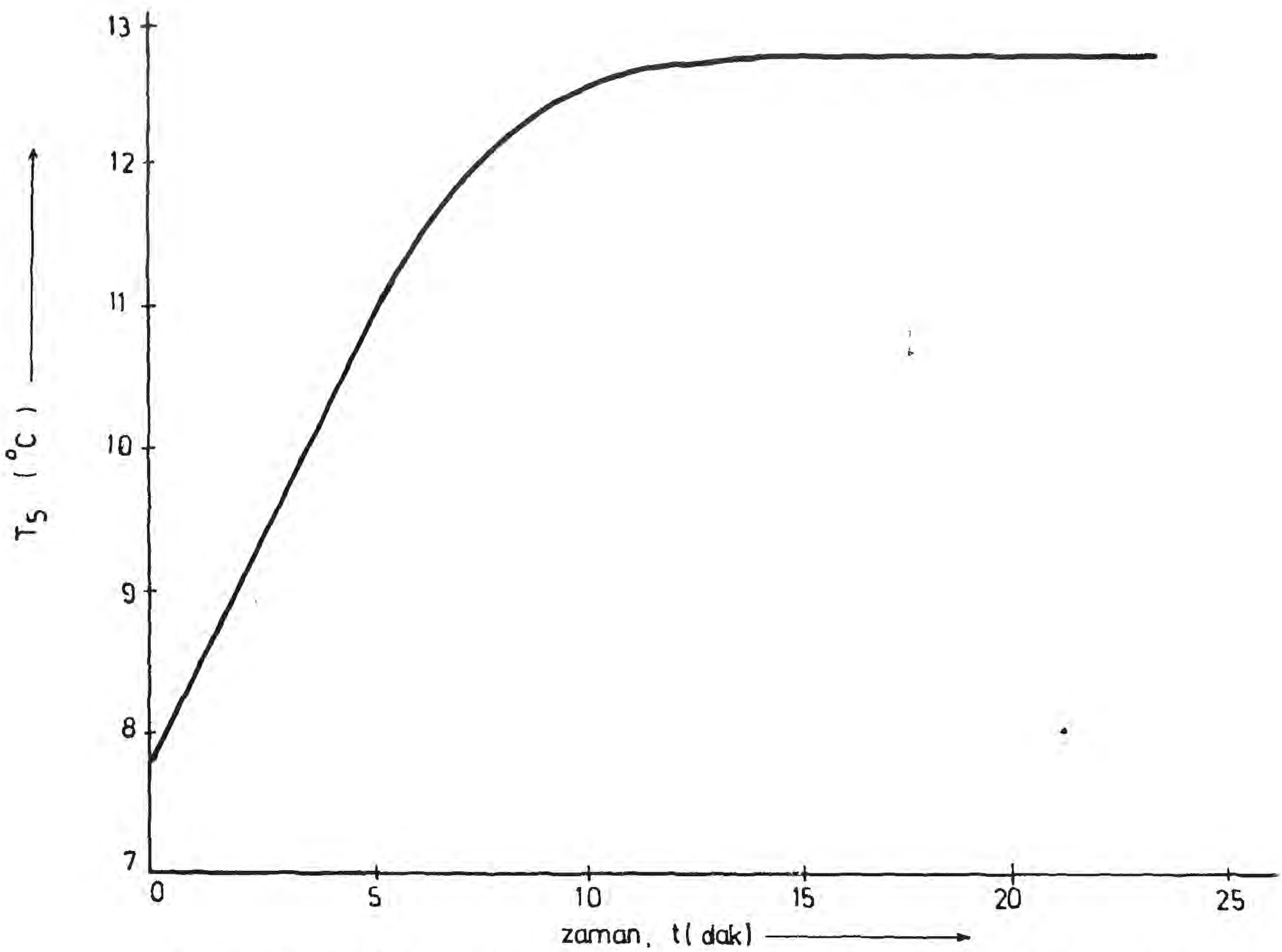
Şekil 4.4: İkinci yatışkın-halde beş tam karıştırmalı akım reaktörünün derişim profili



Şekil 4.5: İkinci yatışkın-halde beş tam karıştırmalı akım reaktörünün sıcaklık profili.



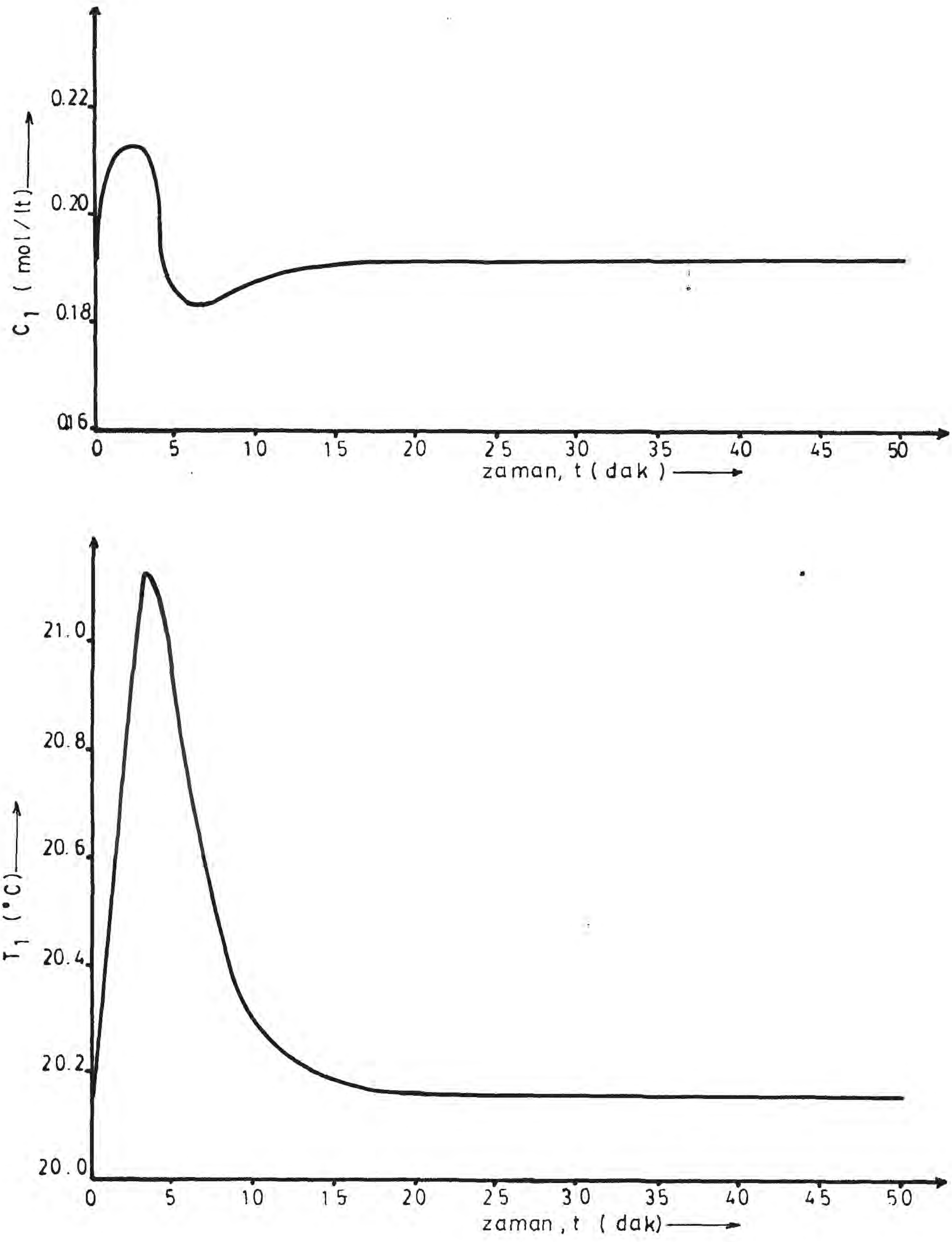
Şekil 4.6: Besleme akış hızındaki kademe etkisinde, beşinci tank çıkış derişiminin zamana göre değişimi.



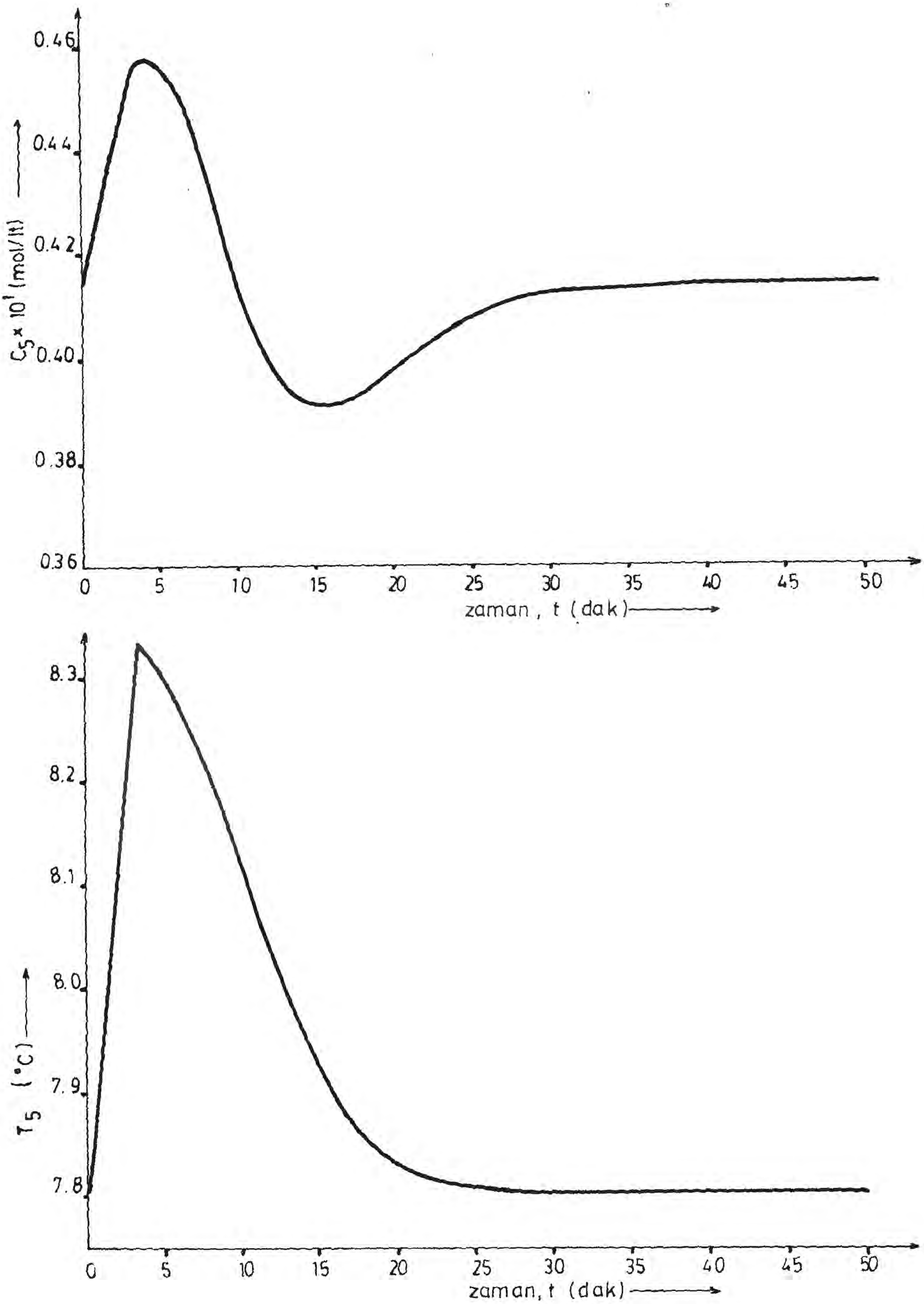
Şekil 4.7: Besleme akış hızındaki kademe etkisinde, beşinci tank çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi.

V_I (lt/dak)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
h(lt/dak)	0.3	0.5	4.0	4.0	1.0	1.0	1.0
D(dak)	4.1666	1.666	1.666	4.1666	0.5	1.666	4.1666
Şekil	4.8 4.9	4.10 4.11	4.12 4.13	4.14 4.15	4.16 4.17	4.18 4.19	4.20 4.21

Tablo 4.2 : Beş tam karıştırmalı akım reaktörler dizisinin besleme akış hızına verilen çeşitli pulse değişimleri.

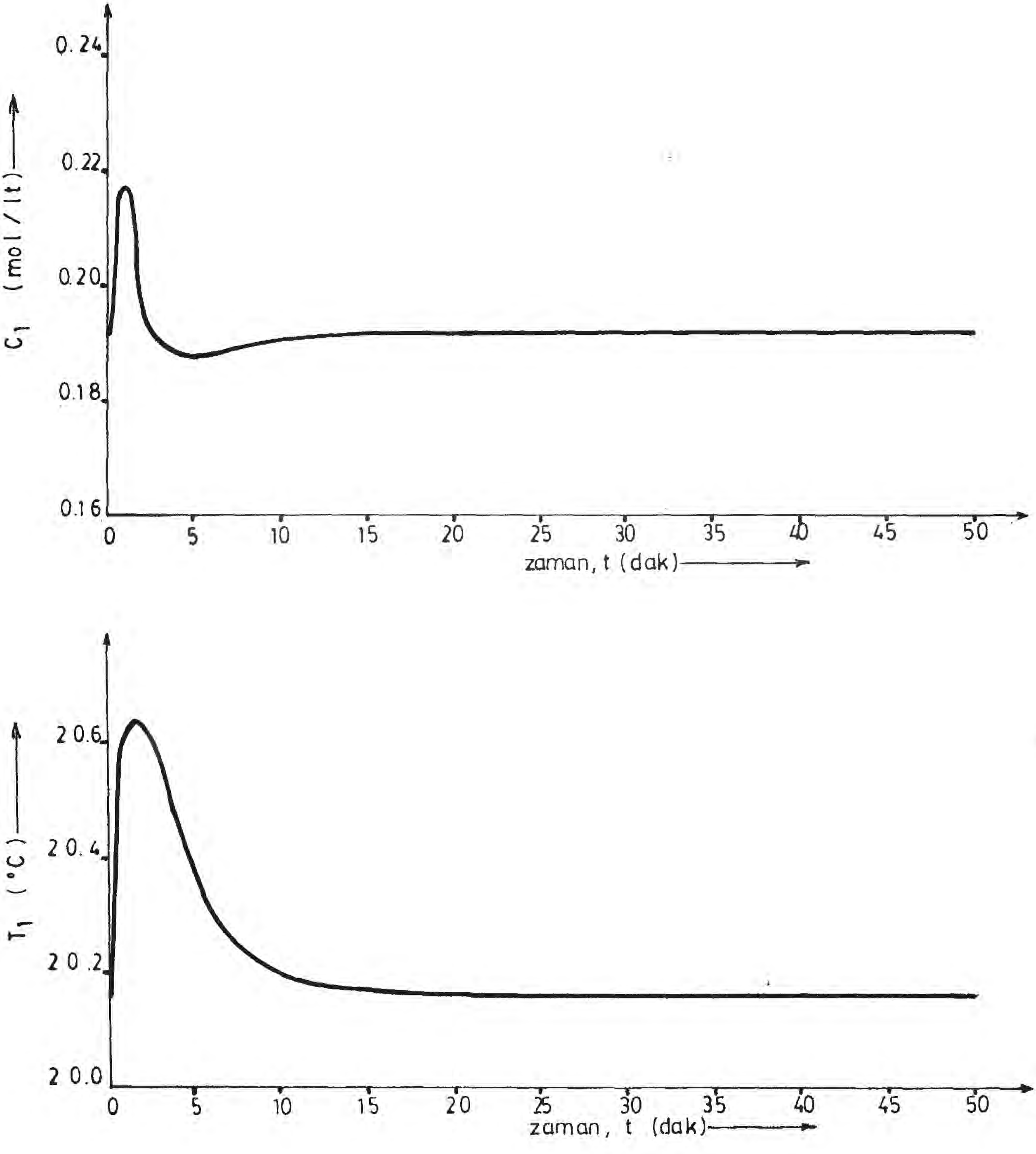


Şekil 4.8: Besleme akış hızındaki pulse etkisinde, birinci tank çıkış derişim ve sıcaklığın zamana göre değişimi. (v_T=1.0 lt/dak , h=0.3 lt/dak , D=4.1666 dak)

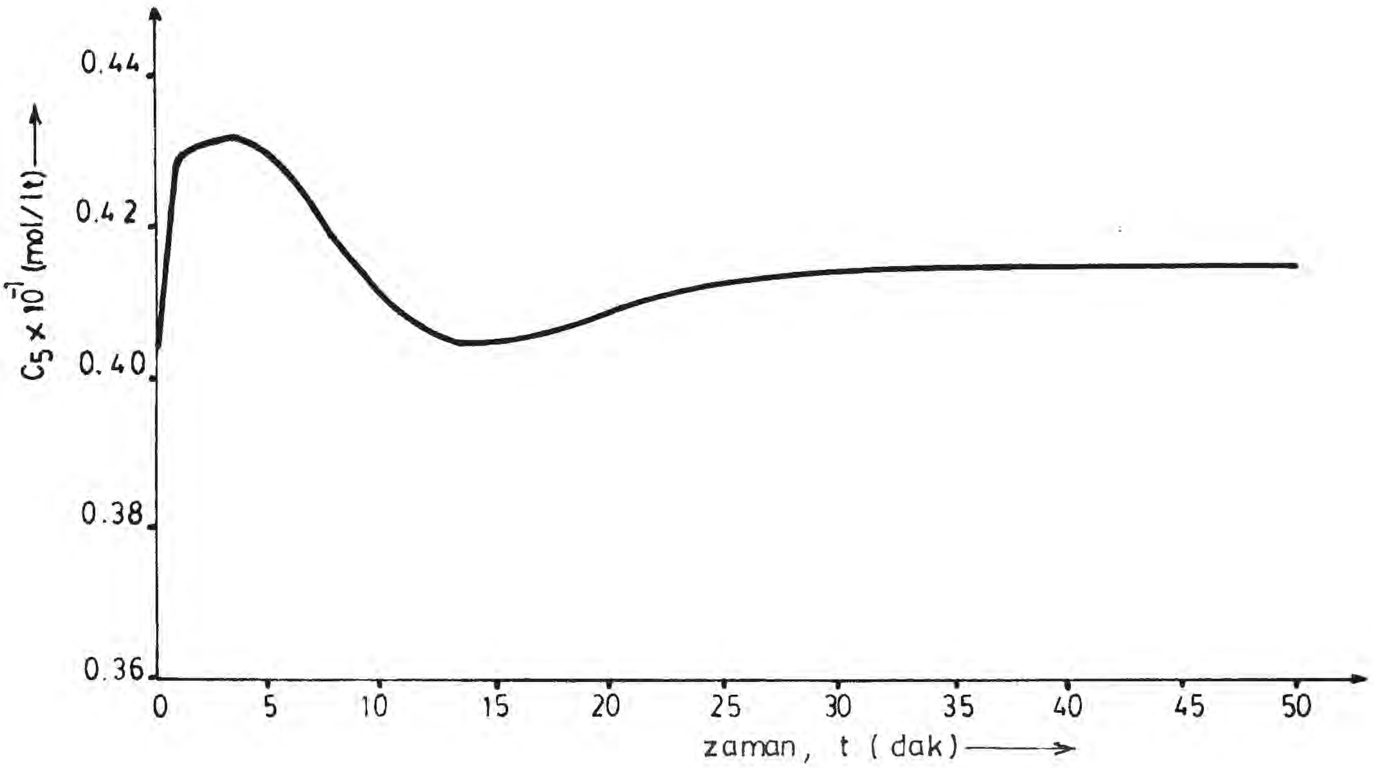


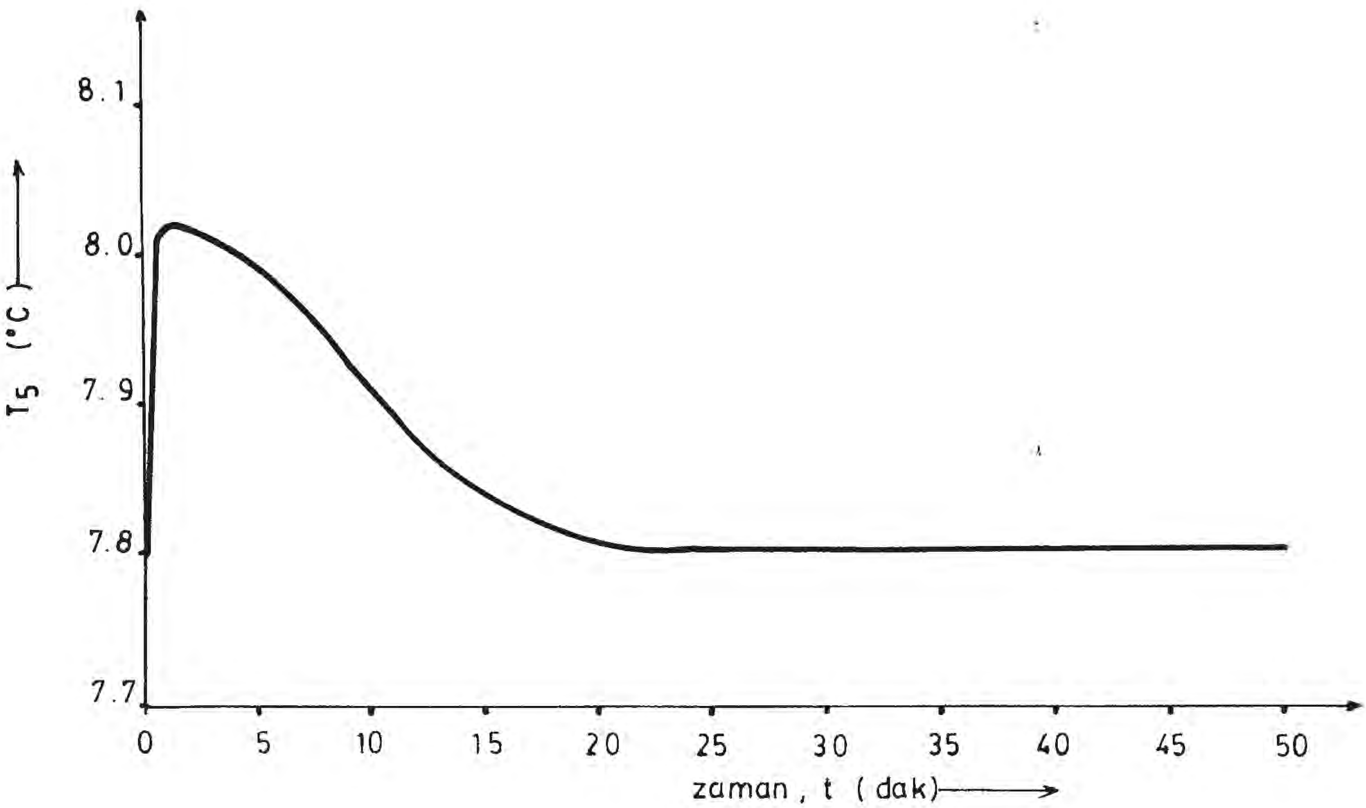
Şekil 4.9: Besleme akışı hızındaki pulse etkisinde, beşinci tank çıkış derişim ve sıcaklığın zamana göre değişimi.

(v_1= 1.0 lt/dak , h=0.3 lt/dak , t=4.1666 dak)

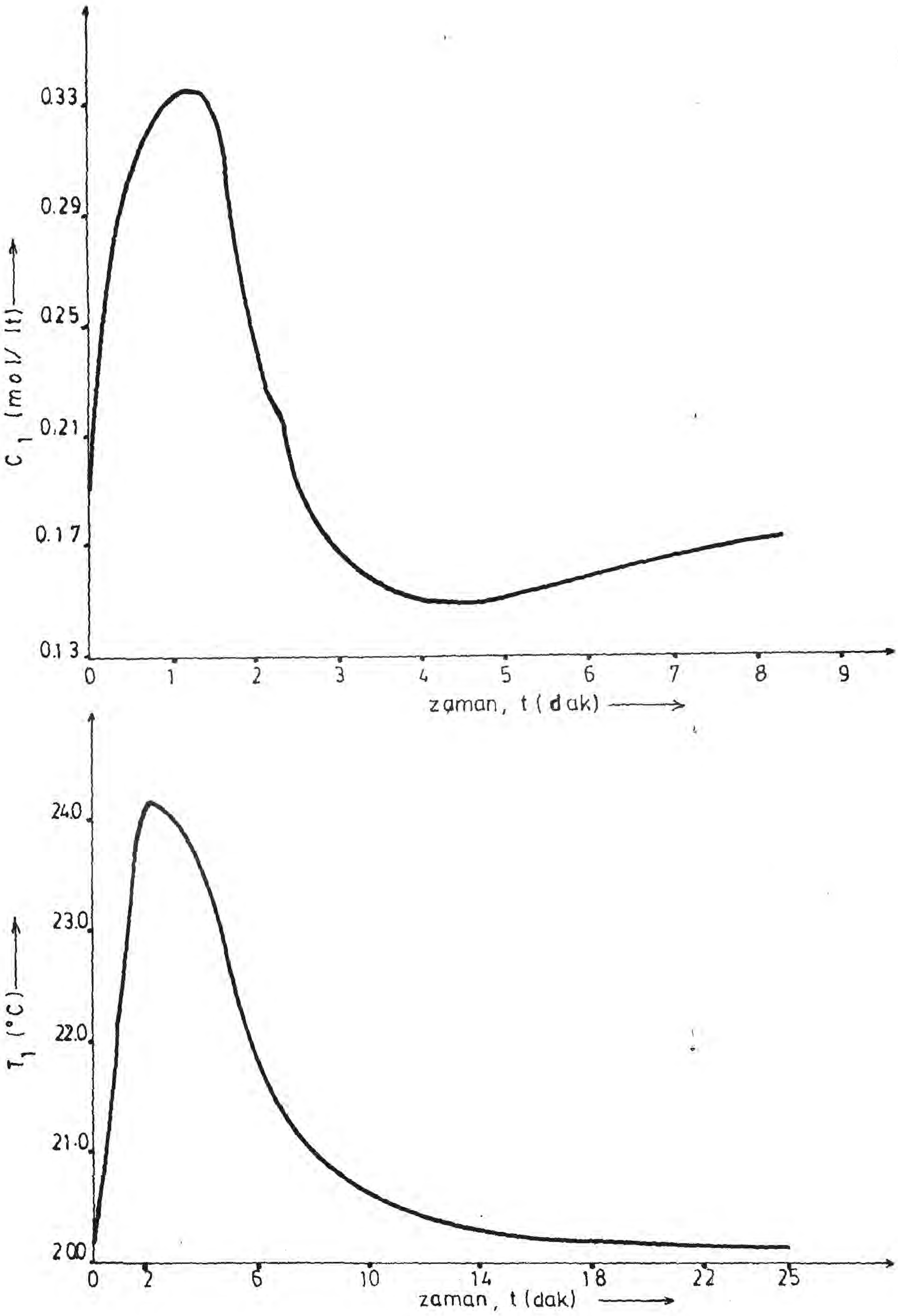


Şekil 4.10: Besleme akış hızındaki pulse etkisinde, birinci tank çıkış derişim ve sıcaklığın zamana göre değişimi. (v_1=1.0 lt/dak , h=0.5 lt/dak , D=1.666 dak)

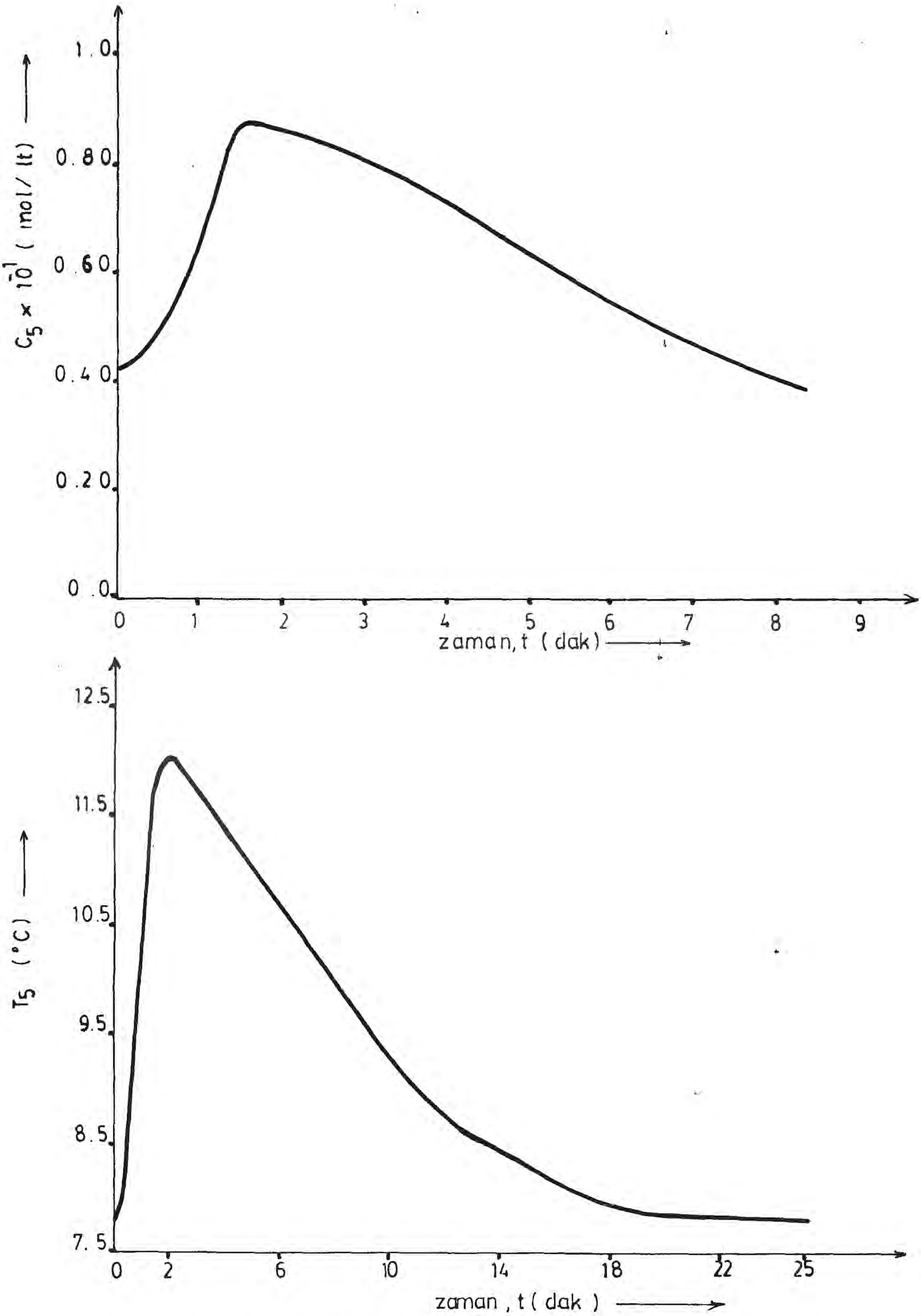




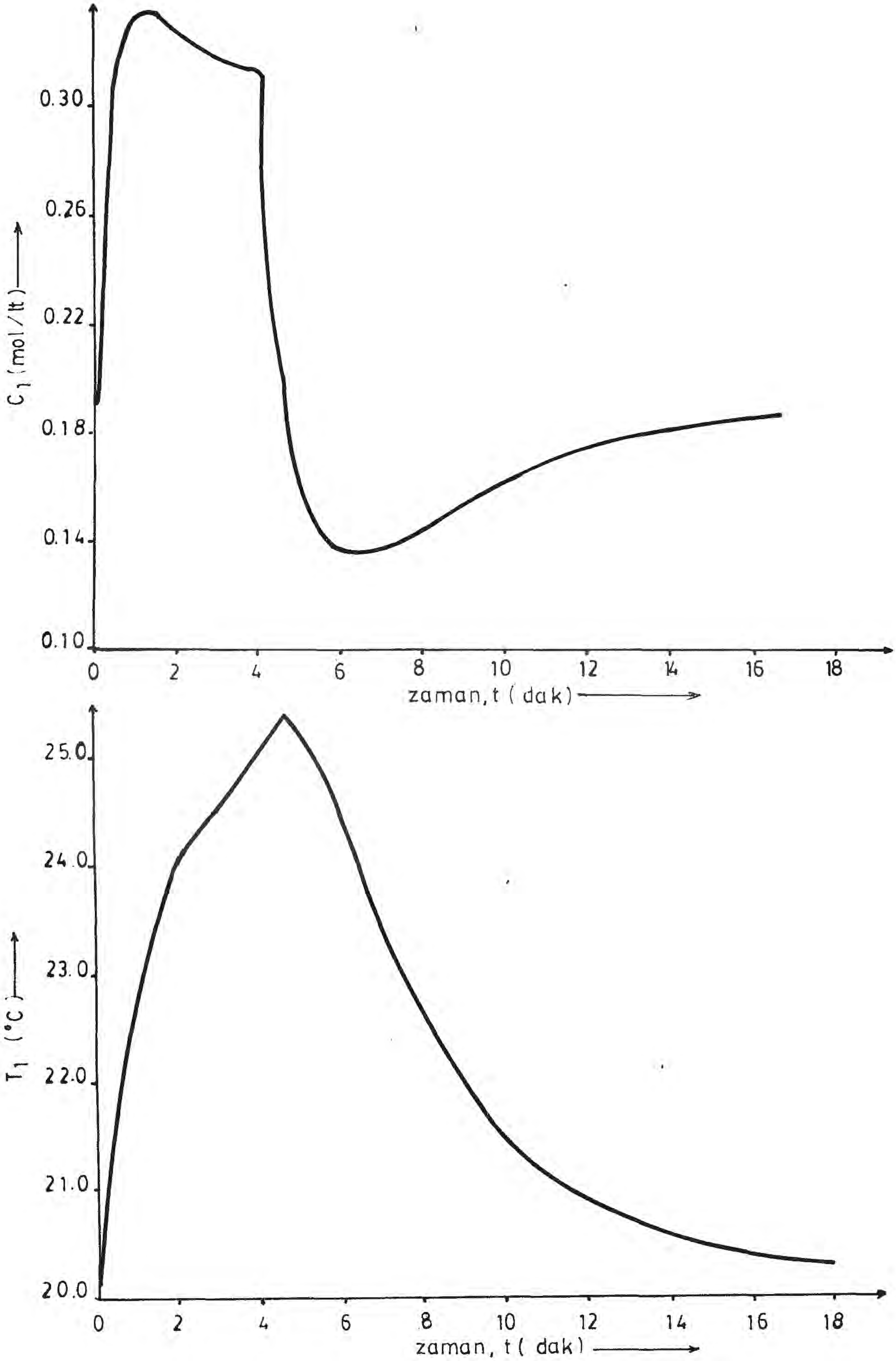
Şekil 4.11: Besleme akış hızındaki pulse etkisinde, beşinci tank çıkış derişim ve sıcaklığın zamana göre değişimi.
(v_1=1.0 lt/dak , h=0.5 lt/dak , D=1.666 dak)



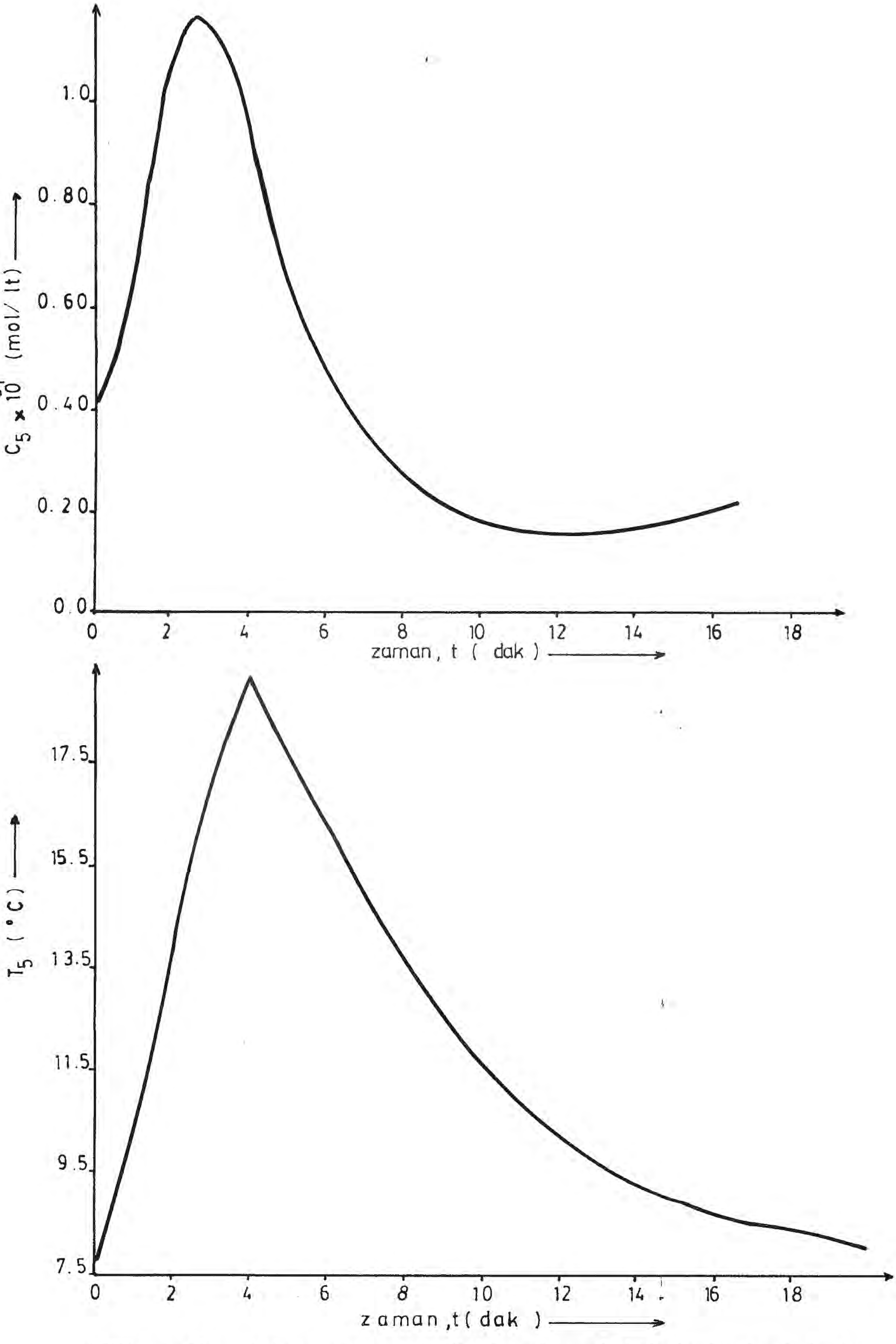
Şekil 4.12: Besleme akış hızındaki pulse etkisinde, birinci tank çıkış derişim ve sıcaklığın zamana göre değişimi. (v_1= 1.0 lt/dak , h=4.0 lt/dak , D=1.666 dak)



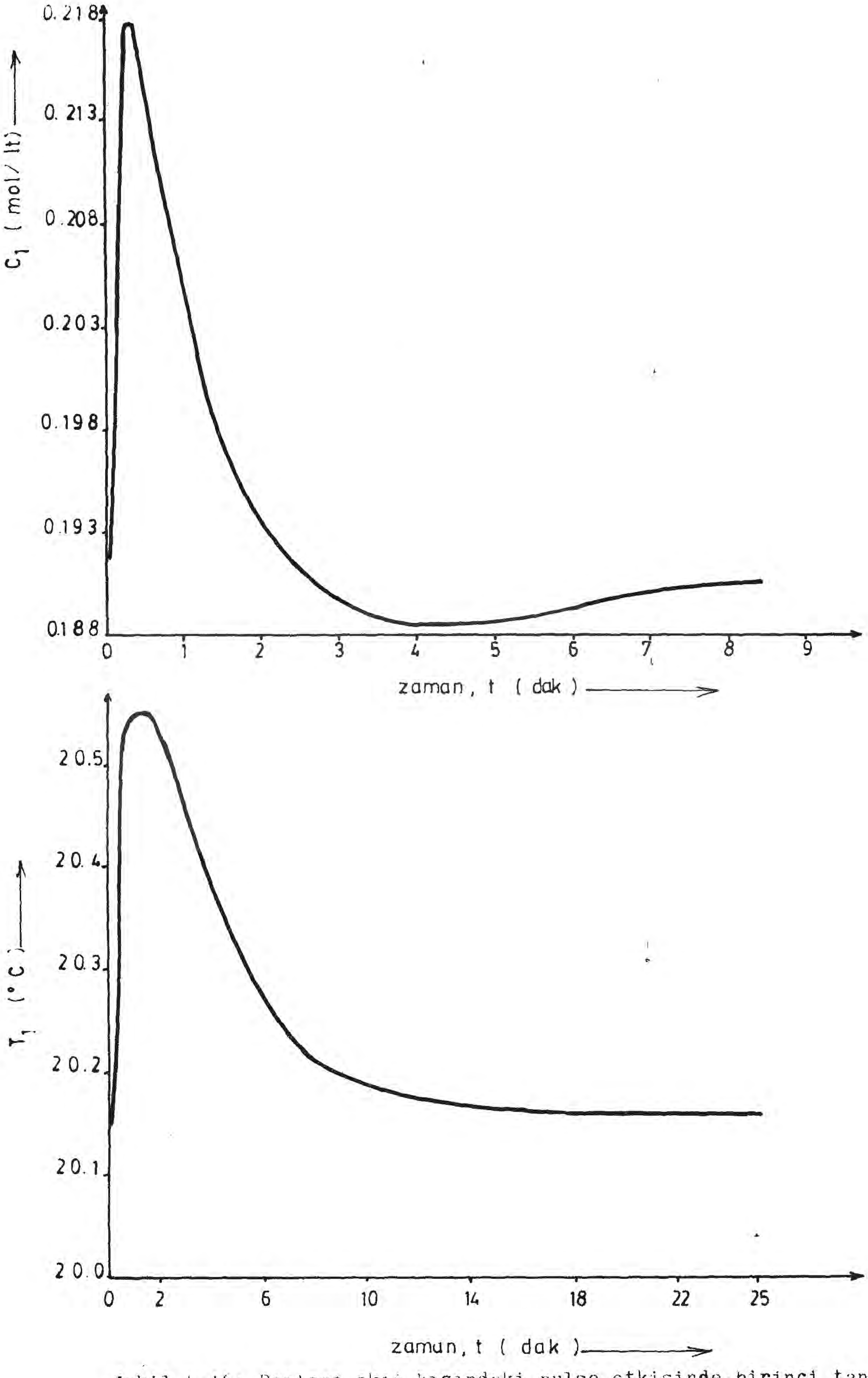
Şekil 4.13: Besleme akış hızındaki pulse etkisinde,beşinci tank çıkış derişim ve sıcaklığın zamana göre değişimi.
(v_I= 1.0 lt/dak , h=4.0 lt/dak , D=1.600 dak)



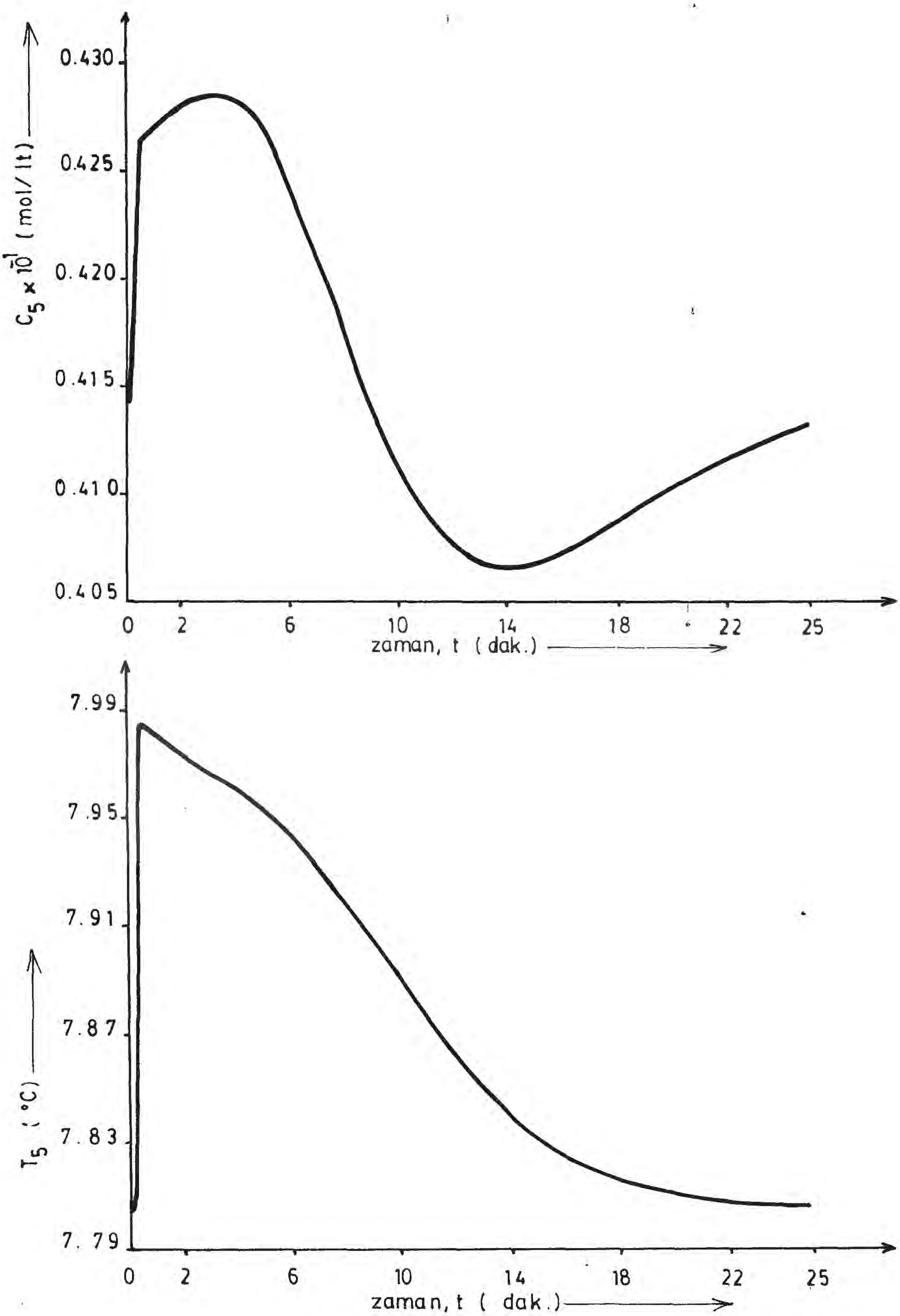
Şekil 4.14: Besleme akış hızındaki pulse etkisinde, birinci tank çıkış derişim ve sıcaklığın zamana göre değişimi.
(v_1=1.0 lt/dak , h=4.0 lt/dak , D=4.1666 dak)



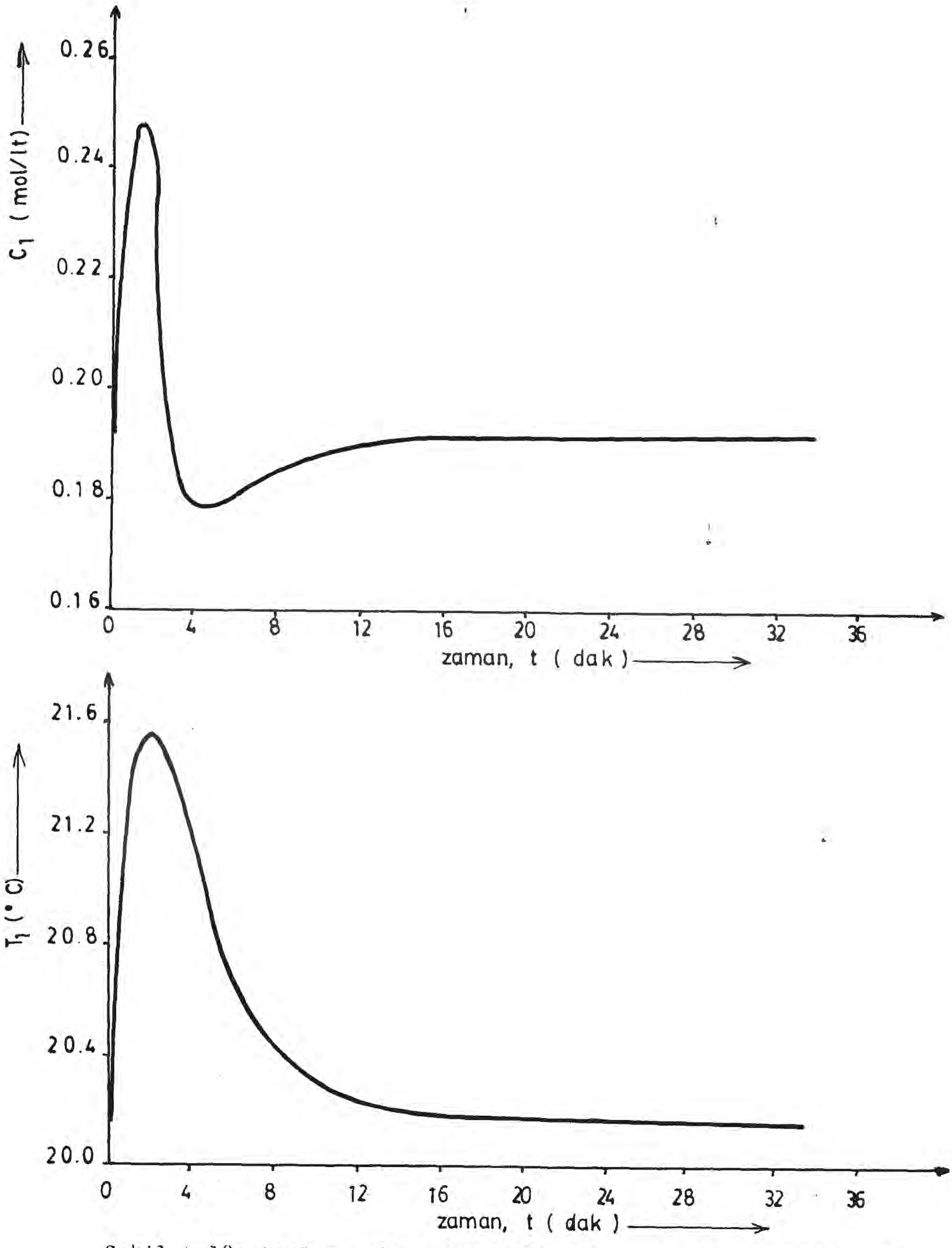
Şekil 4.15: Besleme akış hızındaki pulse etkisinde, beşinci tank çıkış ve derişim sıcaklığın zamana göre değişimi.
(v_1=1.0 lt/dak , h=4.0 lt/dak , D=4.16666 dak)



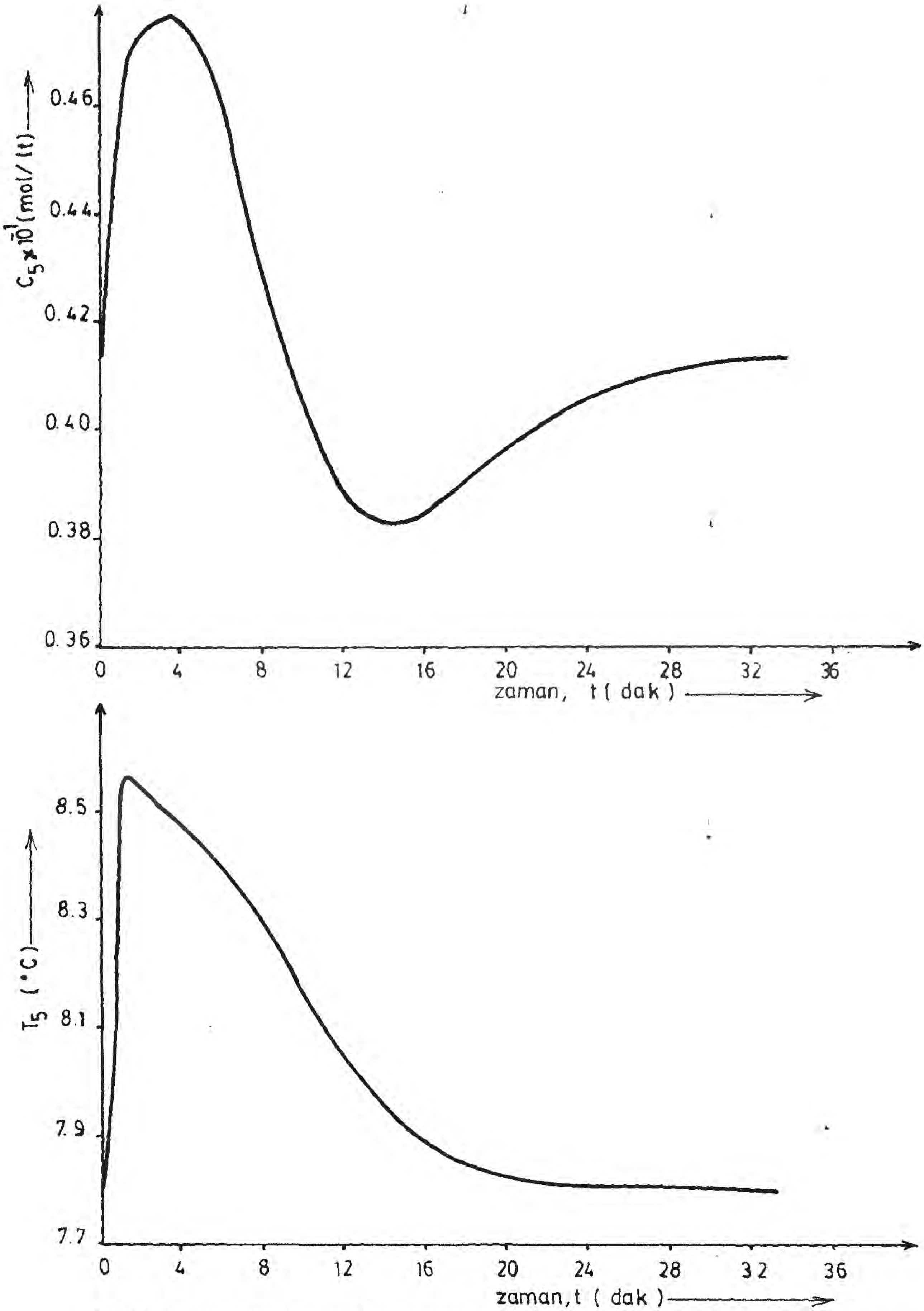
Şekil 4.16: Besleme akış hızındaki pulse etkisinde, birinci tank çıkış derişim ve sıcaklığın zamana göre değişimi. (v_1=1.0 lt/dak , h=1.0 lt/dak , D=0.5 dak)



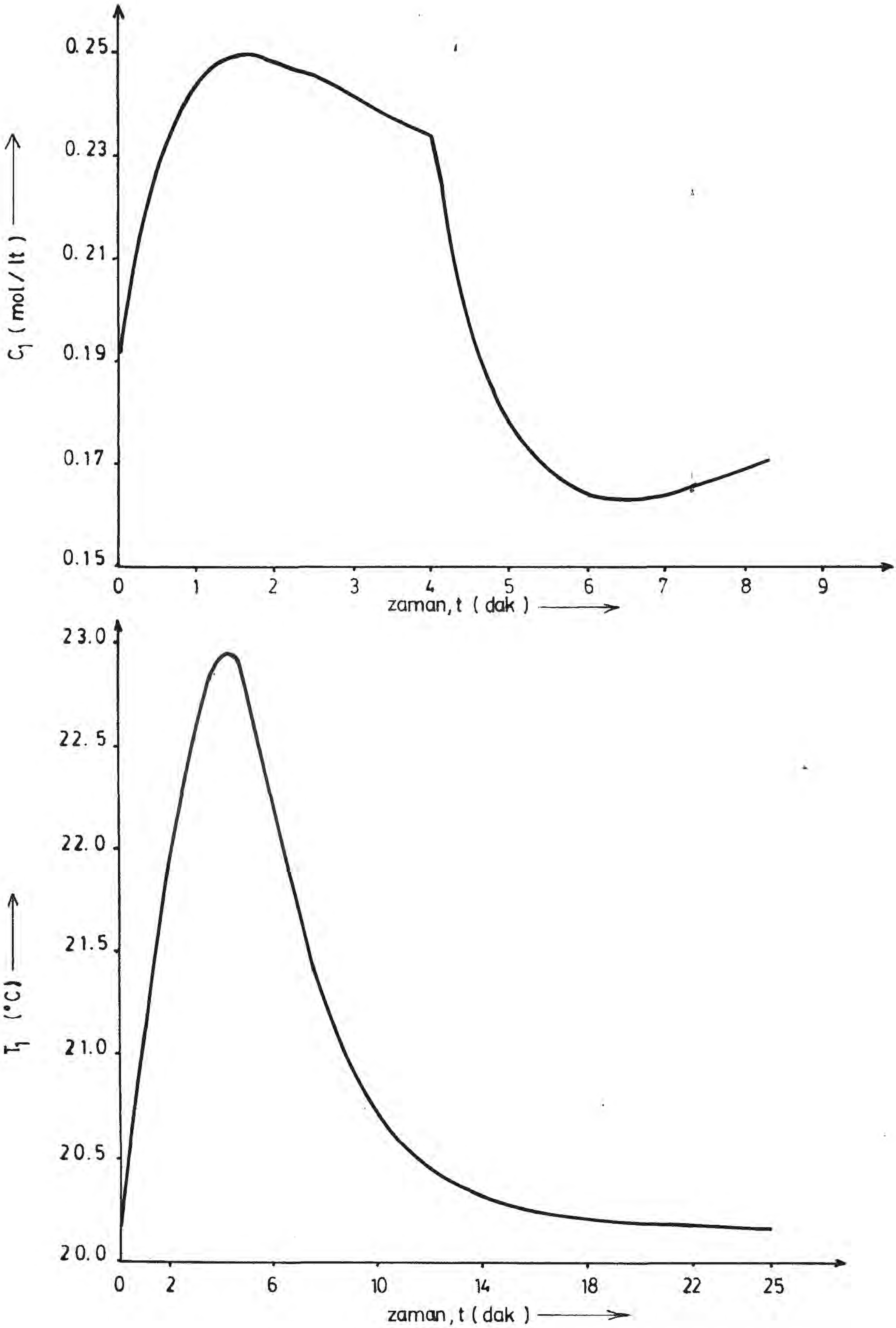
Şekil 4.17: Besleme akış hızındaki pulse etkisinde, beşinci tank çıkış derişim ve sıcaklığın zamana göre değişimi.
(v_1=1.0 lt/dak , h=1.0 lt/dak , D=0.5 dak)



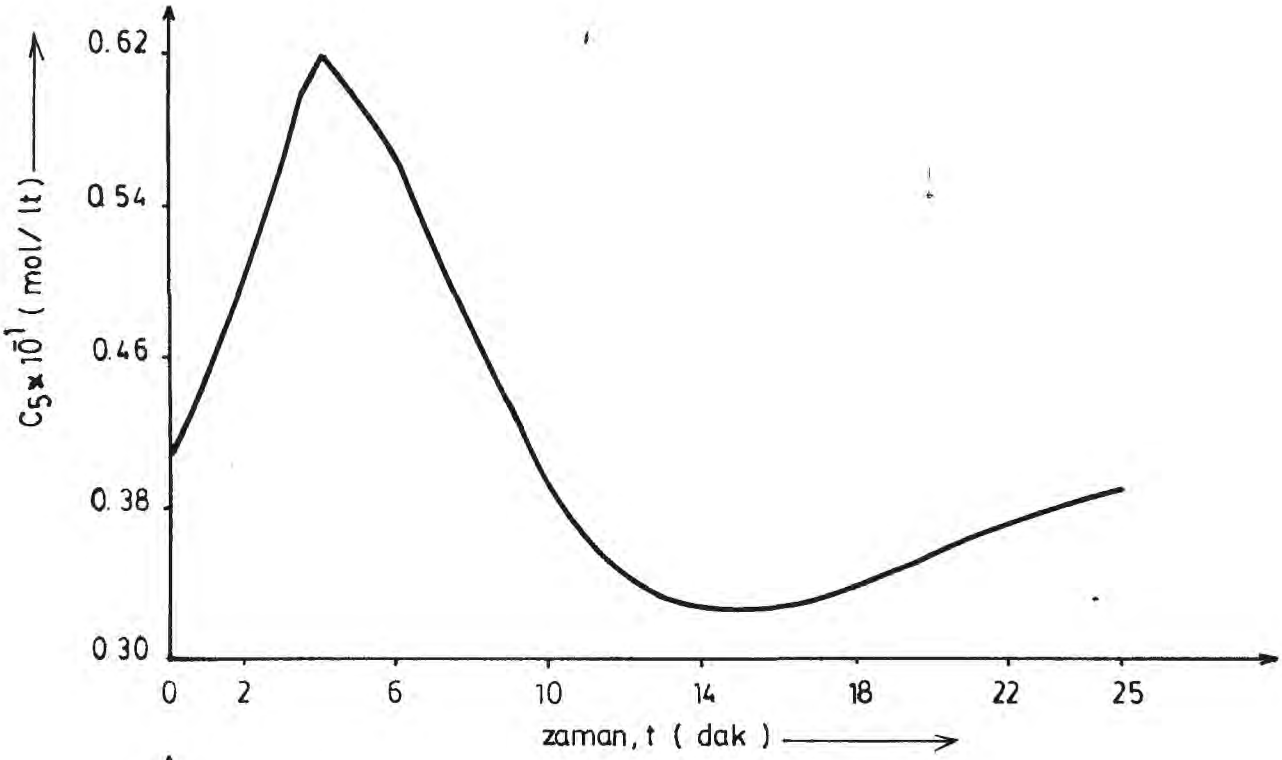
Şekil 4.18: Besleme akış hızındaki pulse etkisinde, birinci tank çıkış derişim ve sıcaklığın zamana göre değişimi. (v_1= 1.0 lt/dak , h=1.0 lt/dak , D=1.666 dak)

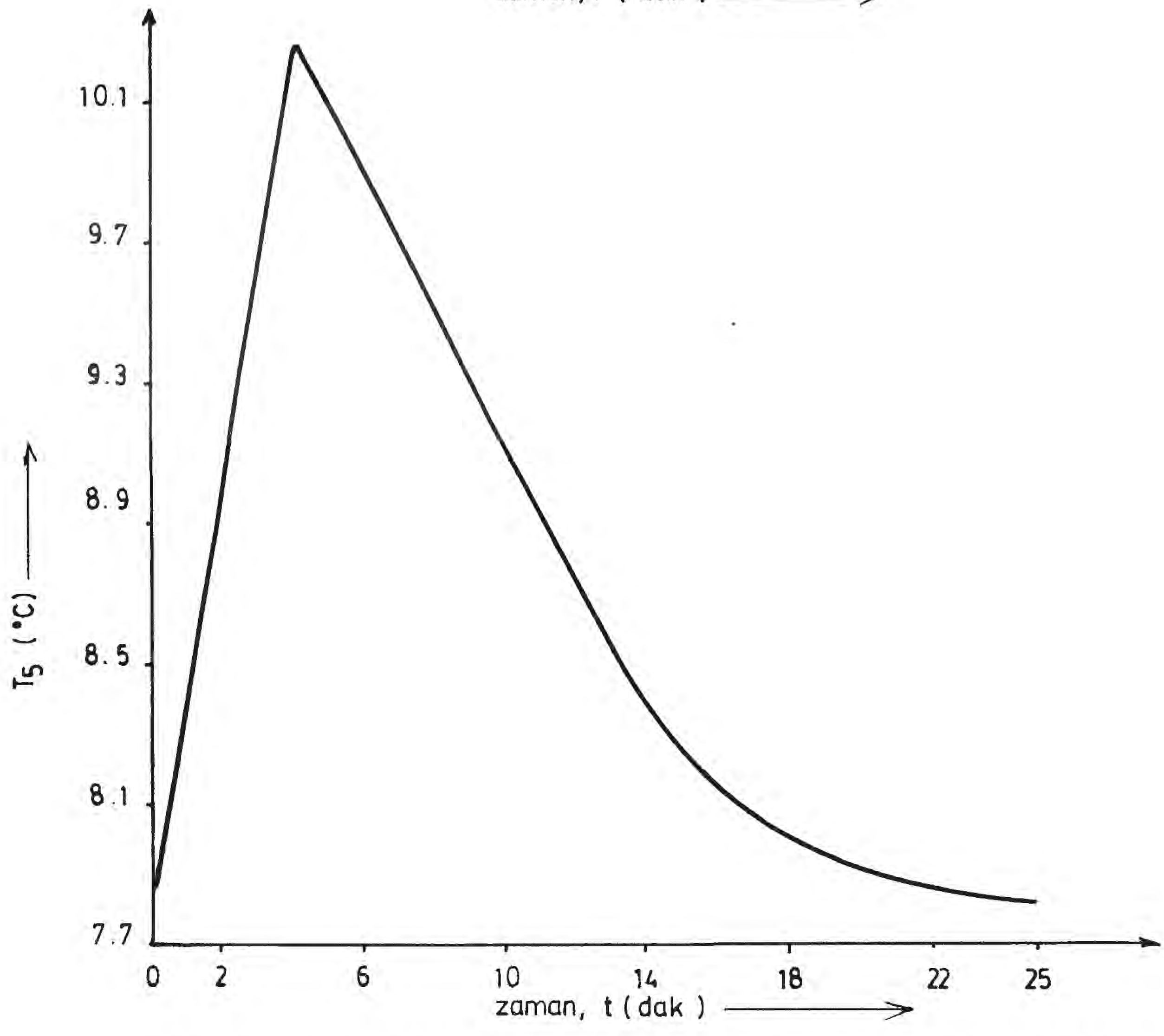


Şekil 4.19: Besleme akış hızındaki pulse etkisinde, beşinci tank çıkış derişim ve sıcaklığın zamana göre değişimi. (v_1= 1.0 lt/dak , h=1.0 lt/dak , D=1.666 dak)

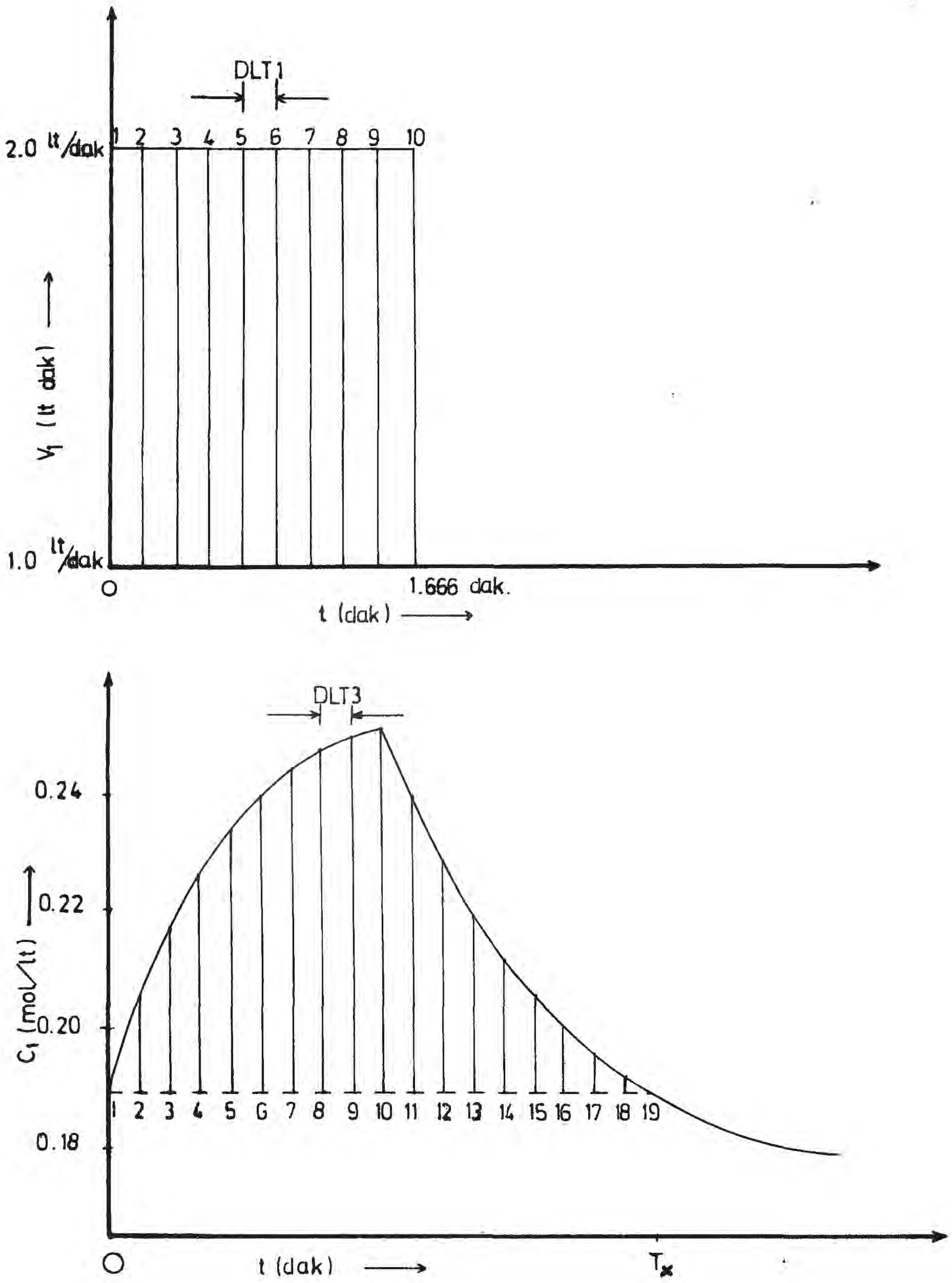


Şekil 4.20: Besleme akış hızındaki pulse etkisinde, birinci tank çıkış derişim ve sıcaklığın zamana göre değişimi.
(v_1=1.0 lt/dak , h=1.0 lt/dak , D=4.1666 dak)





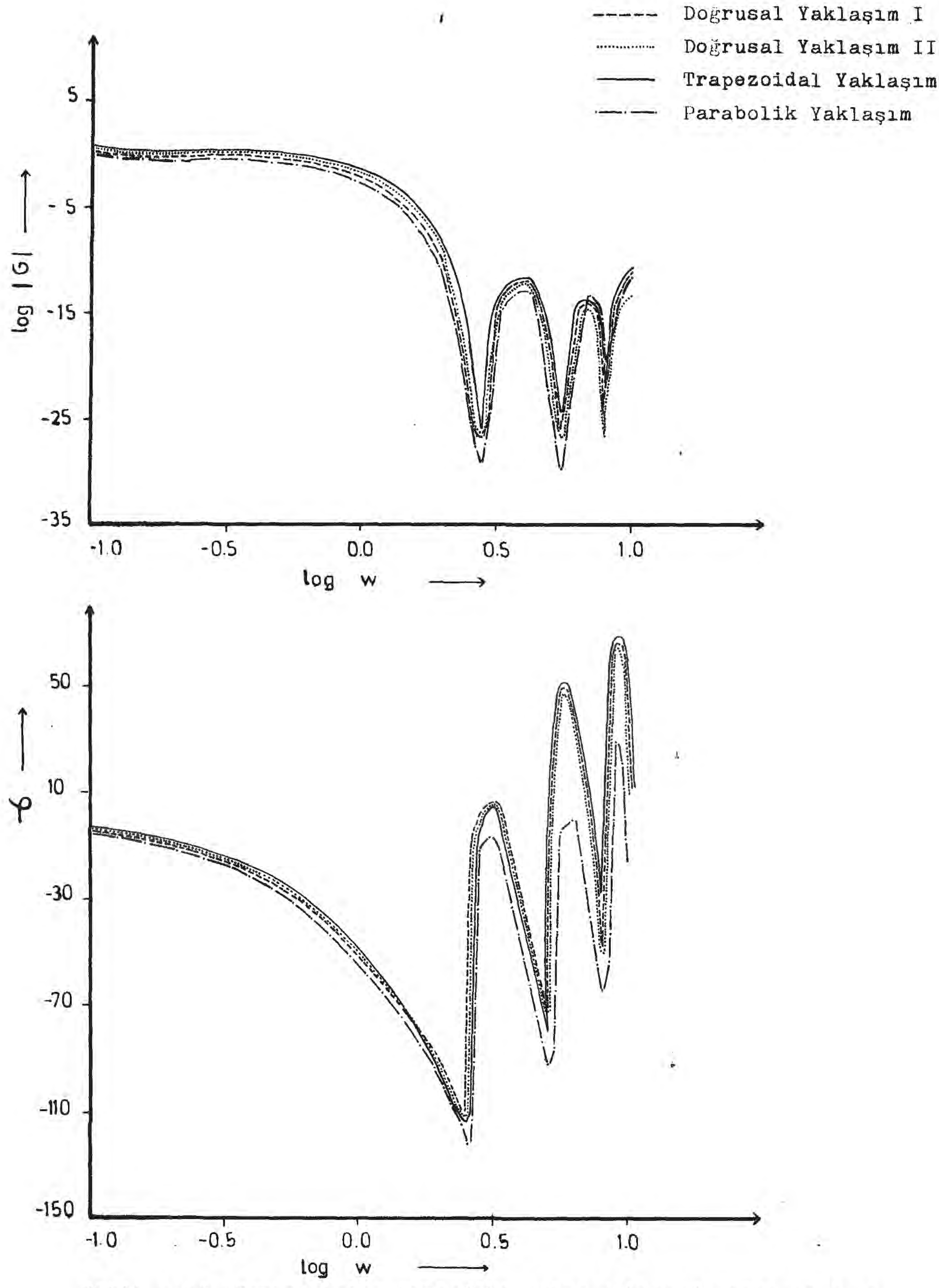
Şekil 4.21: Besleme akış hızındaki pulse etkisinde, beşinci tank çıkış derişim ve sıcaklığın zamana göre değişimi. (v_1=1.0 lt/dak , h=1.0 lt/dak , D=4.1666 dak)



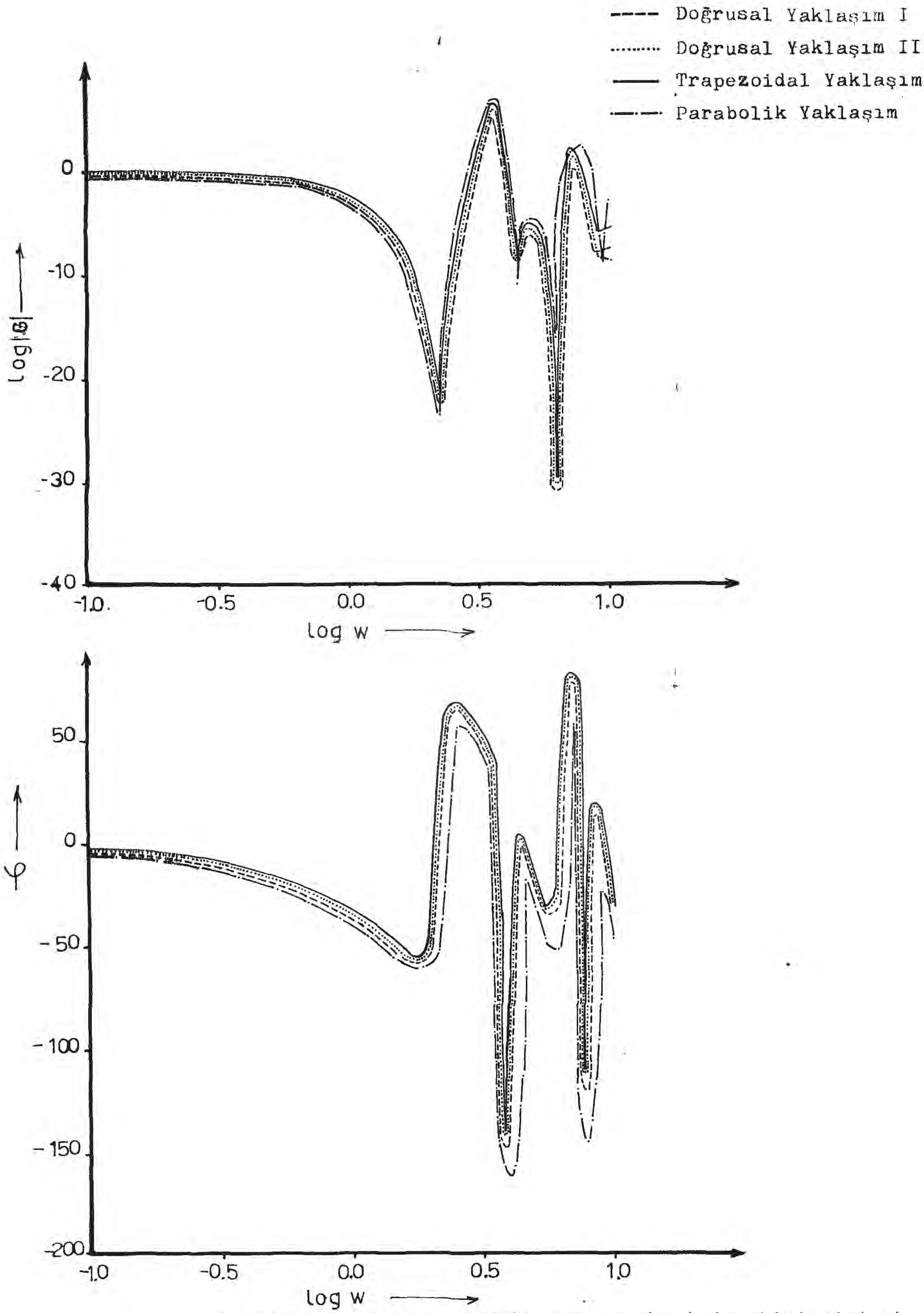
Şekil.4.22 : Giriş akış hızına verilen pulse değişimi ve C_1 derişiminin zamana göre değişiminden Fourier dönüşümlerinin integral işlemleri için gerekli adım aralıkların ve noktaların belirlenmesi.

D(dak)	0.5	1.666			4.1666
DLT1 (dak)	0.0556	0.1851	0.1851	0.1851	0.46296
DLT3 (dak)	0.1667	0.1667	0.334	0.1667	0.1667
Nokta Sayısı	15	19	10	26	29
T_x (dak)	2.3338	3.0	3.0	4.1675	4.6676
Şekil No	4.23	4.24	4.25	4.26	4.27

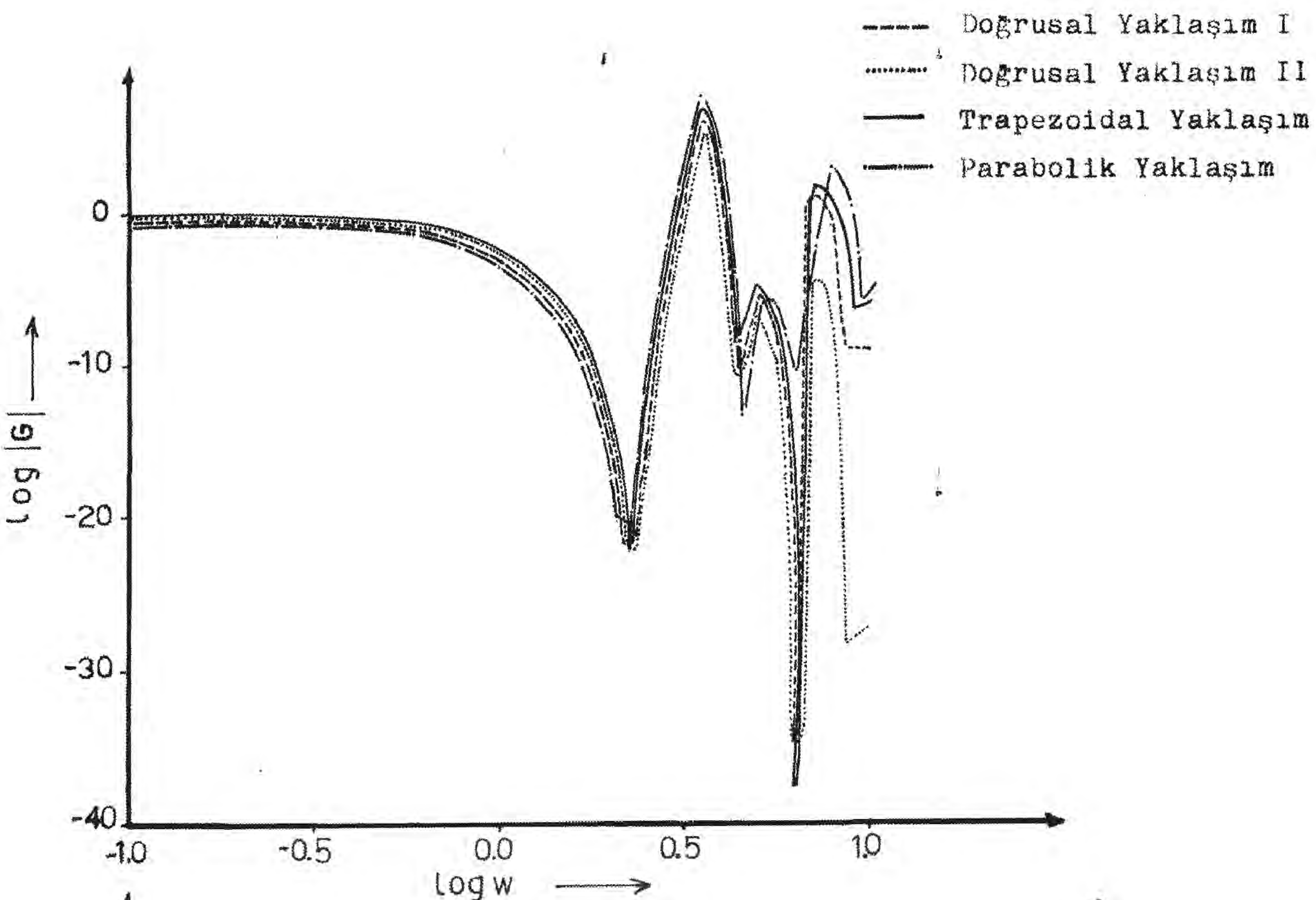
Tablo 4.3 : **Birinci tank çıkış derişimi ile ilgili Bode diyagramlarının** hesaplanması **için bilgisayara verilen** gerekli veriler.
($V_1 = 1.0$ lt/dak) , ($h = 1.0$ lt/dak).

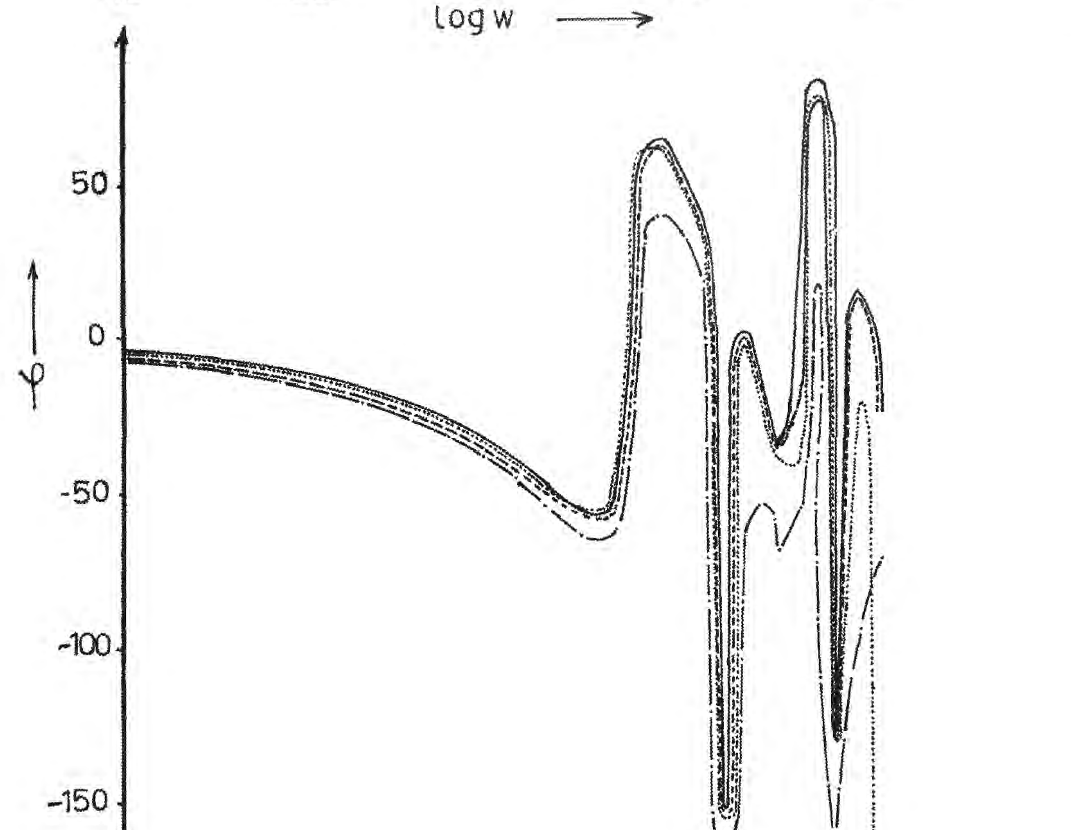


Şekil 4.23.:Besleme akış hızındaki pulse etkisinde,birinci tank çıkış derişimi için Bode diyagramı. (D=0.5 dak , DLT1=0.0556 dak , DLT3=0.1667 dak , T_x=2.3338 dak)

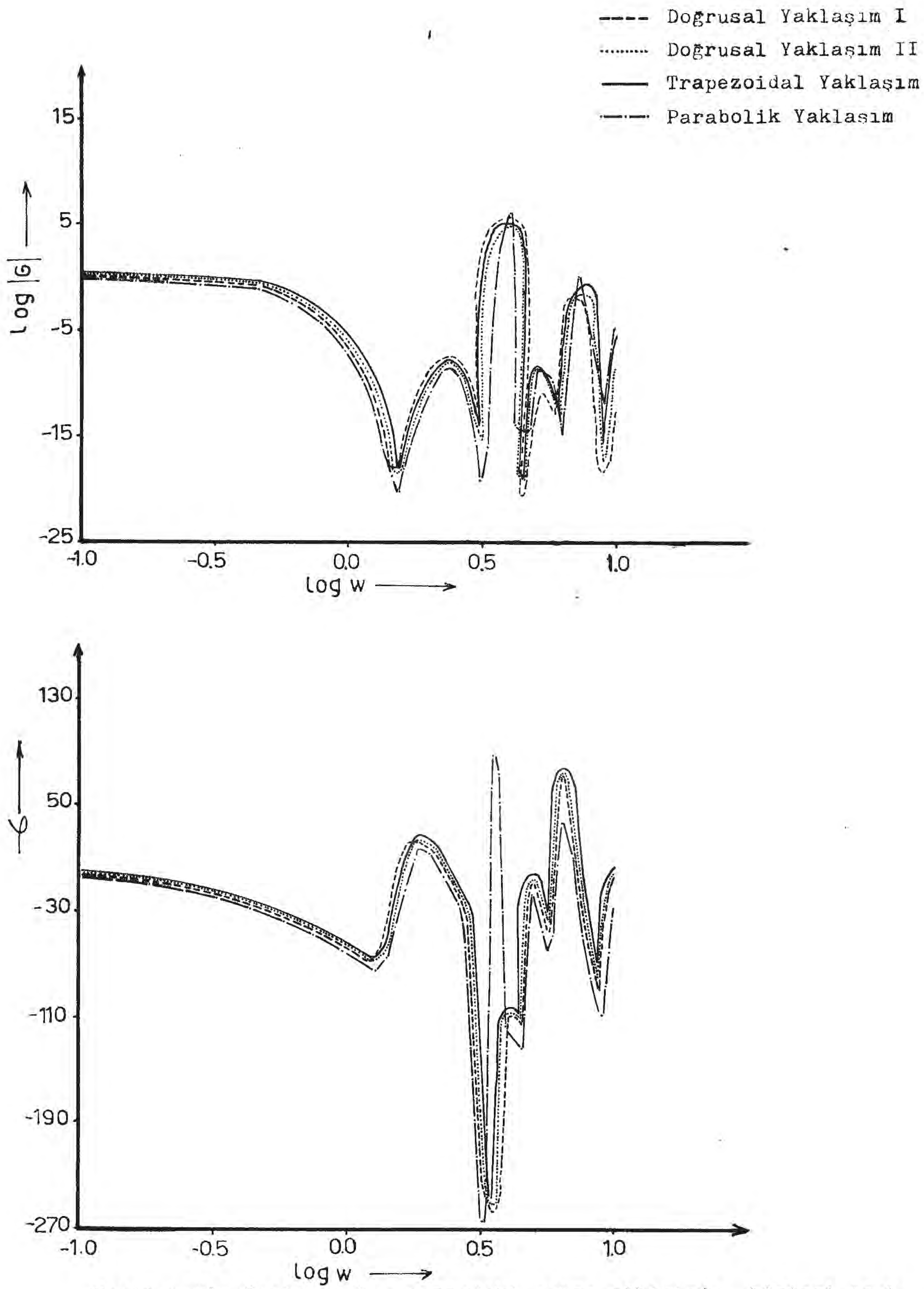


Şekil 4.24.: Besleme akış hızındaki pulse etkisinde, birinci tank çıkış derisimi için Bode diyagramı (D=1.666dak, DLT1=0.1851dak, DLT3=0.1667dak, T_x=3.0dak).

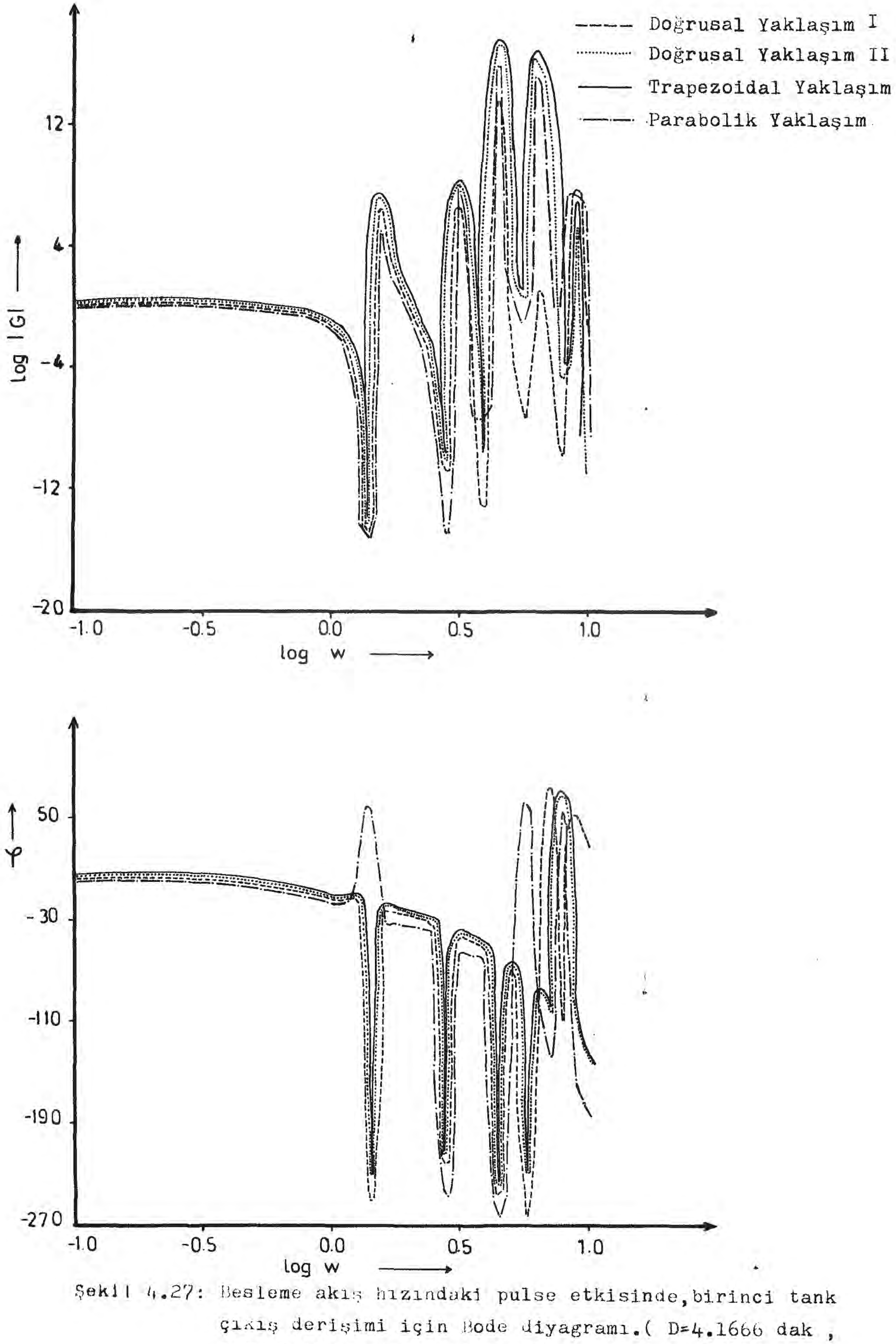




Şekil 4.25.:Besleme akış hızındaki pulse etkisinde, birinci tank çıkış derişimi için Bode diyagramı
(D=1.666dak ,DLT1=0.1851,DLT3=0.334dak, T_x=3.0dak).



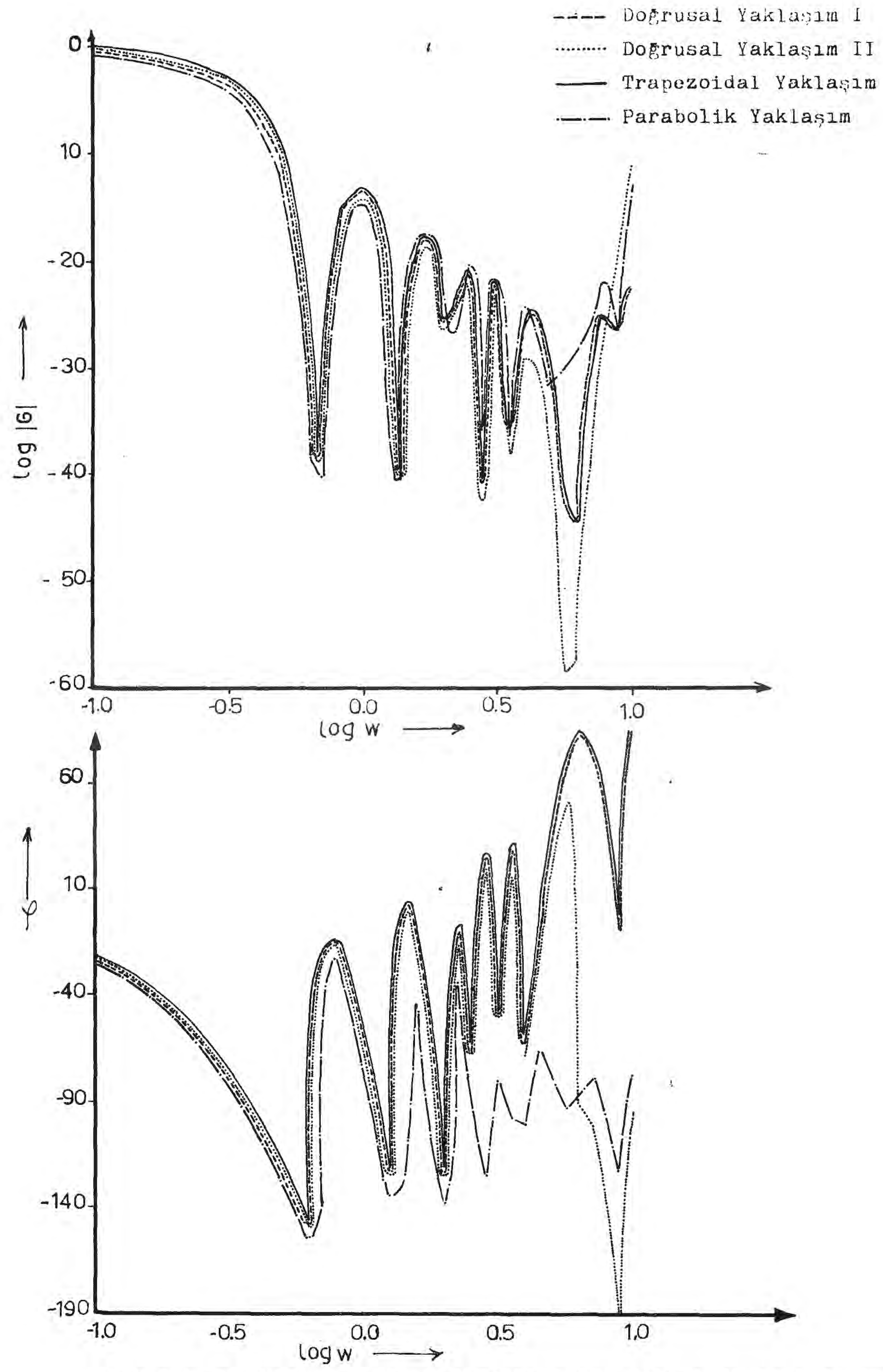
Şekil 4.26.:Besleme akış hızındaki pulse etkisinde, birinci tank çıkış derişimi için Bode diyagramı (D=1.666dak, DLT1=0.1851dak, DLT3=0.1667dak, T_x=4.1675dak).



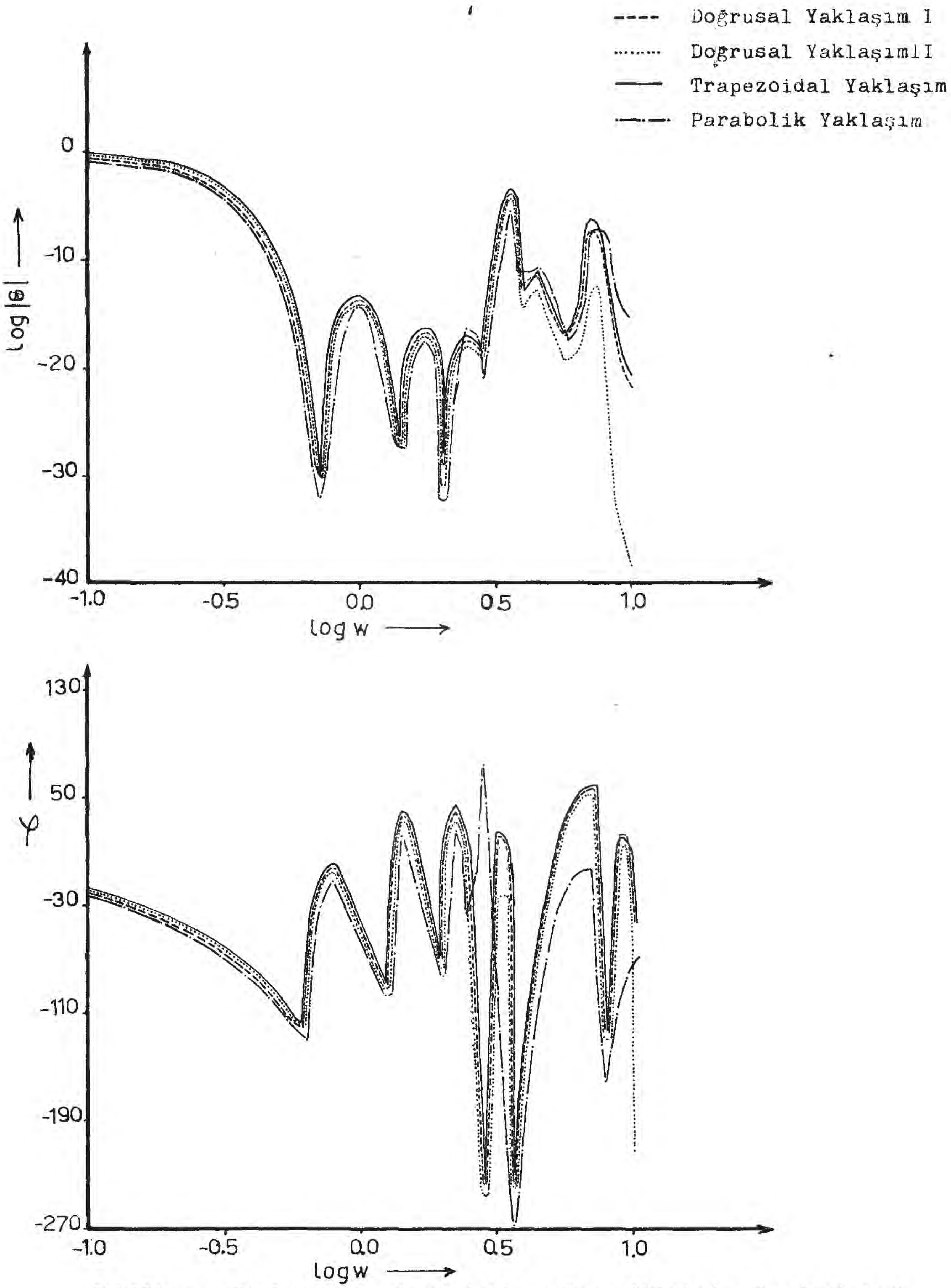
Şekil 4.27: Besleme akış hızındaki pulse etkisinde, birinci tank çıkış derişimi için Bode diyagramı. (D=4.1666 dak , DLT1=0.46296 dak , DLT3=0.1667 dak , T_x=4.6676)

D (dak)	0.5	1.666			4.1666
DLT1 (dak)	0.0556	0.1851	01851	01851	0.46296
DLT3 (dak)	0.5	0.334	0.667	1.667	0.5
Nokta Sayısı	19	29	15	10	20
T_x (dak)	9.0	9.3	9.3	15.0	9.5
Şekil No	4.28	4.29	4.30	4.31	4.32

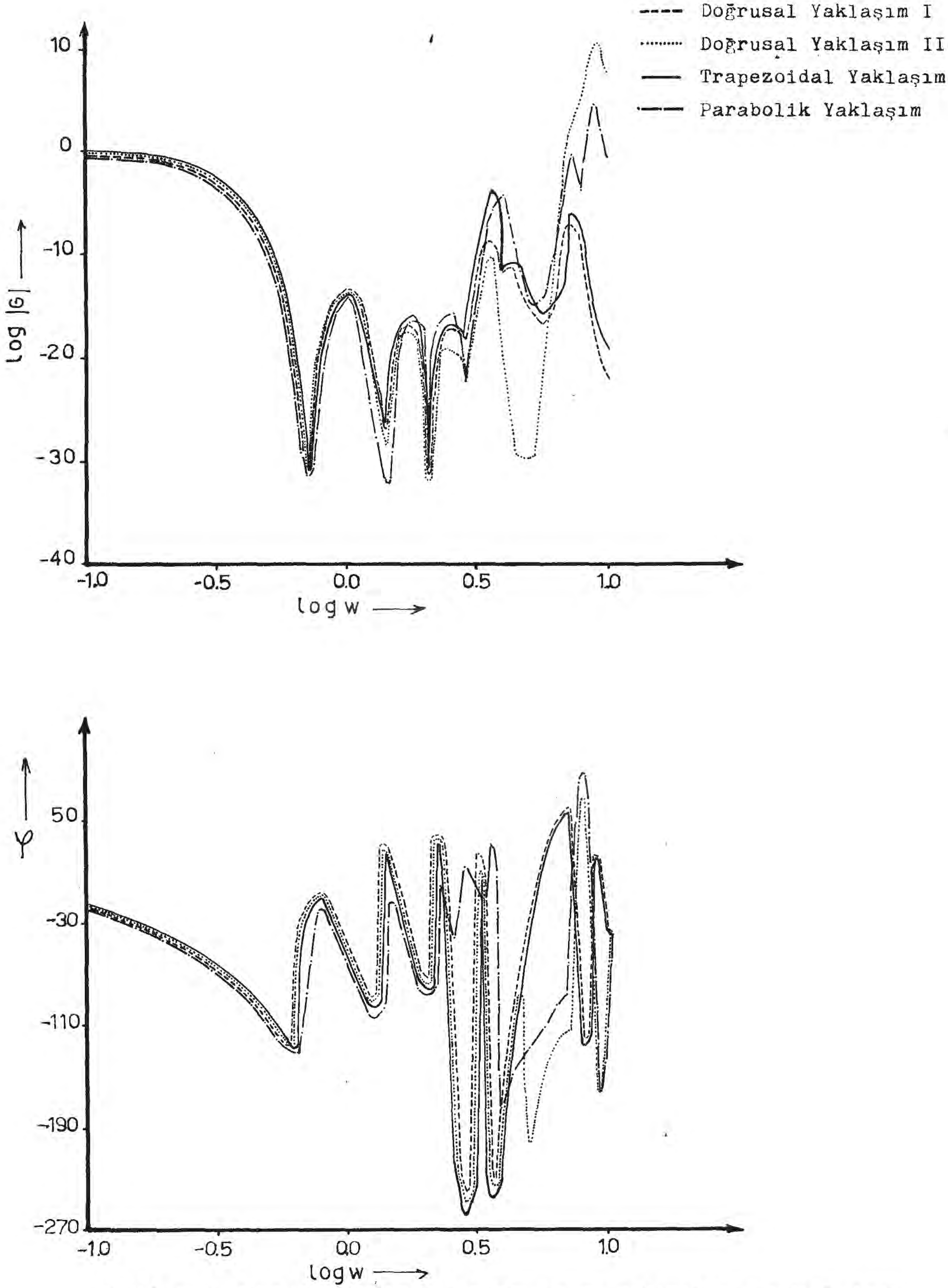
Tablo 4.4 : Beşinci tank çıkış derişimi ile ilgili Bode diyagramlarının hesaplanması için bilgisayara verilen gerekli veriler.
(V = 1.0 lt/dak , h = 1.0 lt/dak).



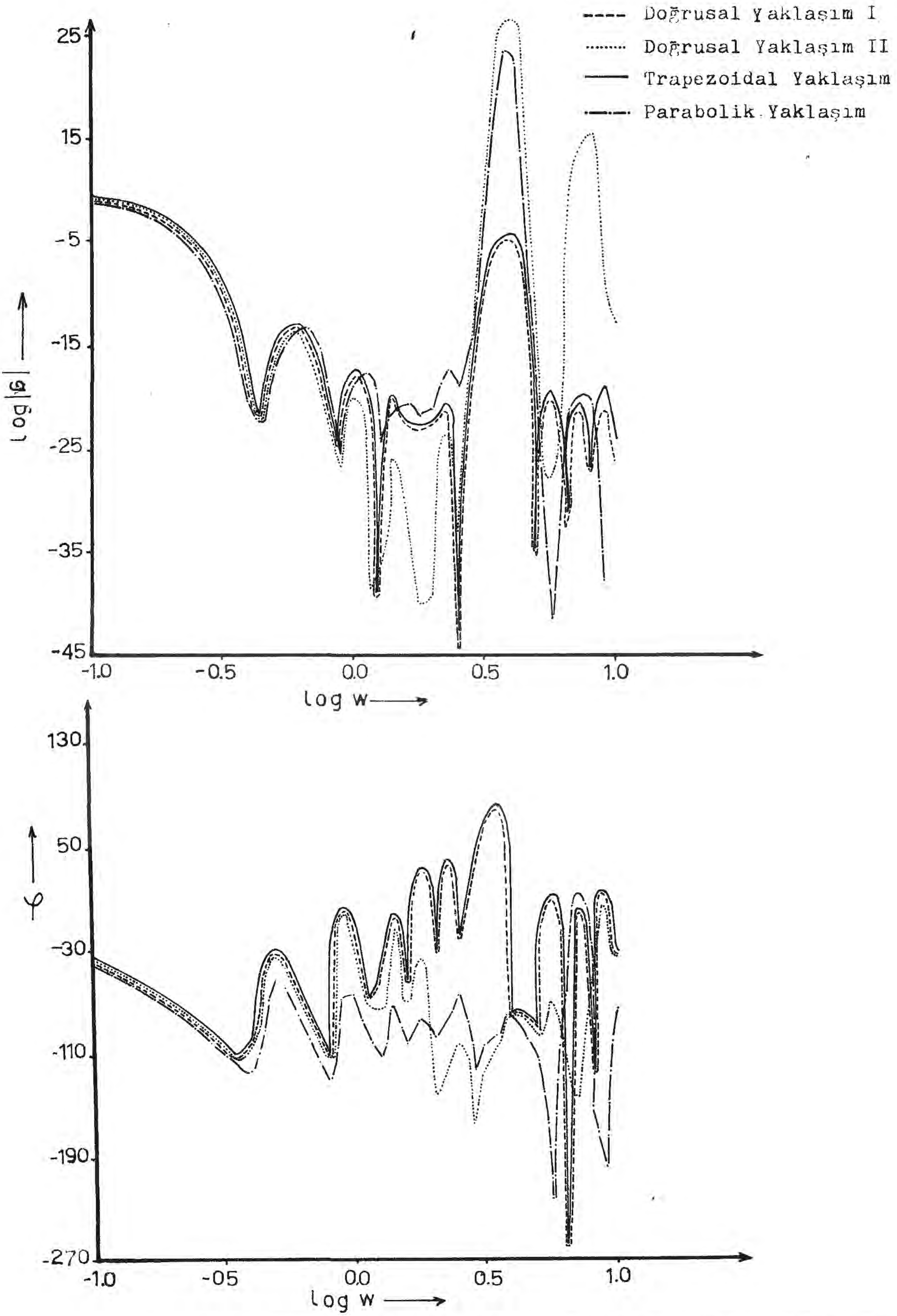
Şekil 4.28.:Besleme akış hızındaki pulse etkisinde,beşinci tank çıkış derişimi için Bode diyagramı ($D=0.5dak, DLT1=0.0556dak, DLT3=0.5 dak, T_x=9.0dak$).



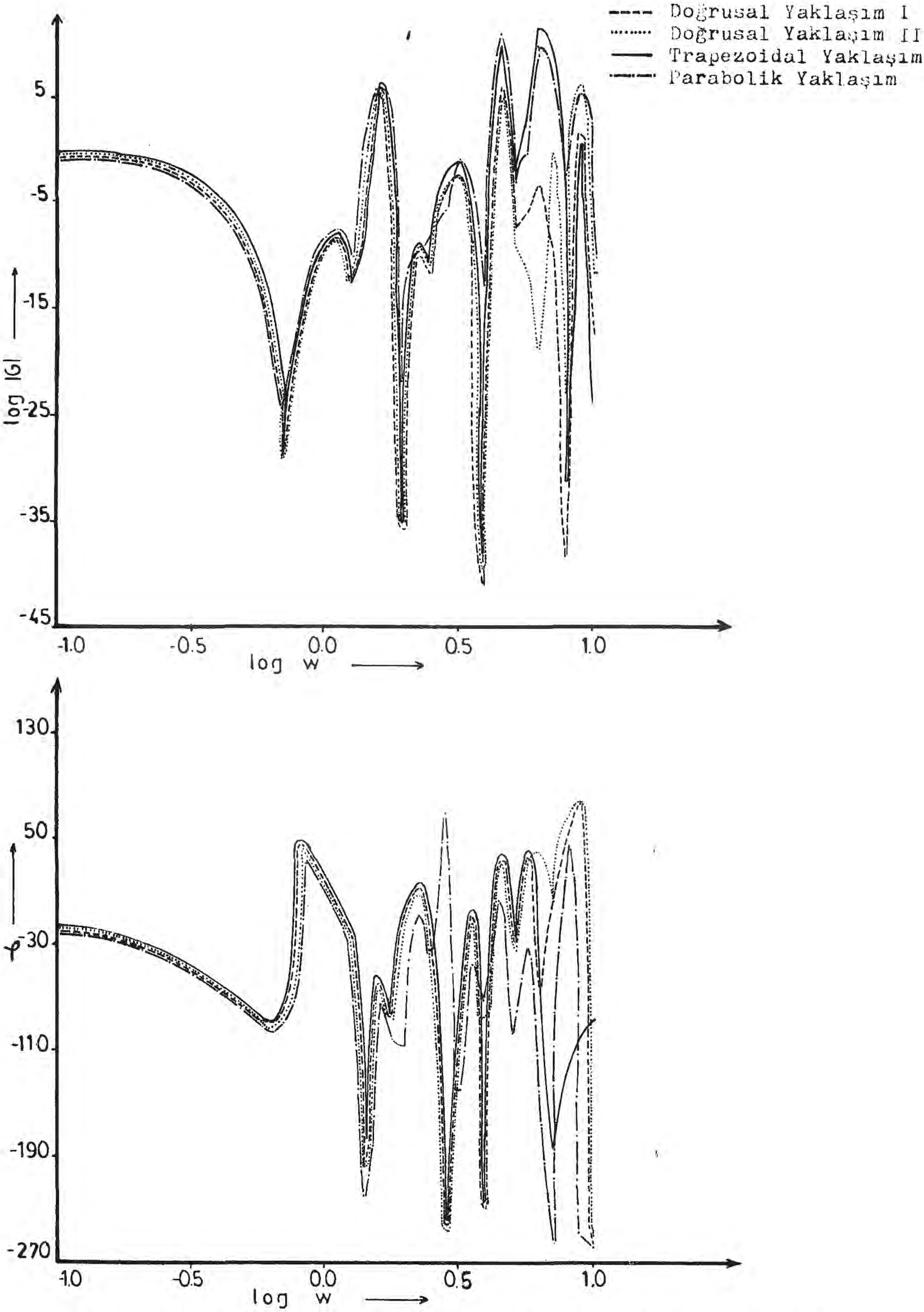
Şekil4.29.:Besleme akış hızındaki pulse etkisinde, beşinci tank çıkış derişimi için Bode diyagramı ($D=1.666$dak, $DLT1=0.1851$dak, $DLT3=0.334$dak, $T_x=9.3$ dak).



Şekil 4.50.:Besleme akış hızındaki pulse etkisinde, beşinci tank çıkış derişimi için Bode diyagramı
(D=1.666dak, DLT1=0.1851dak, DLT3=0.667dak, T_x=9.3dak).



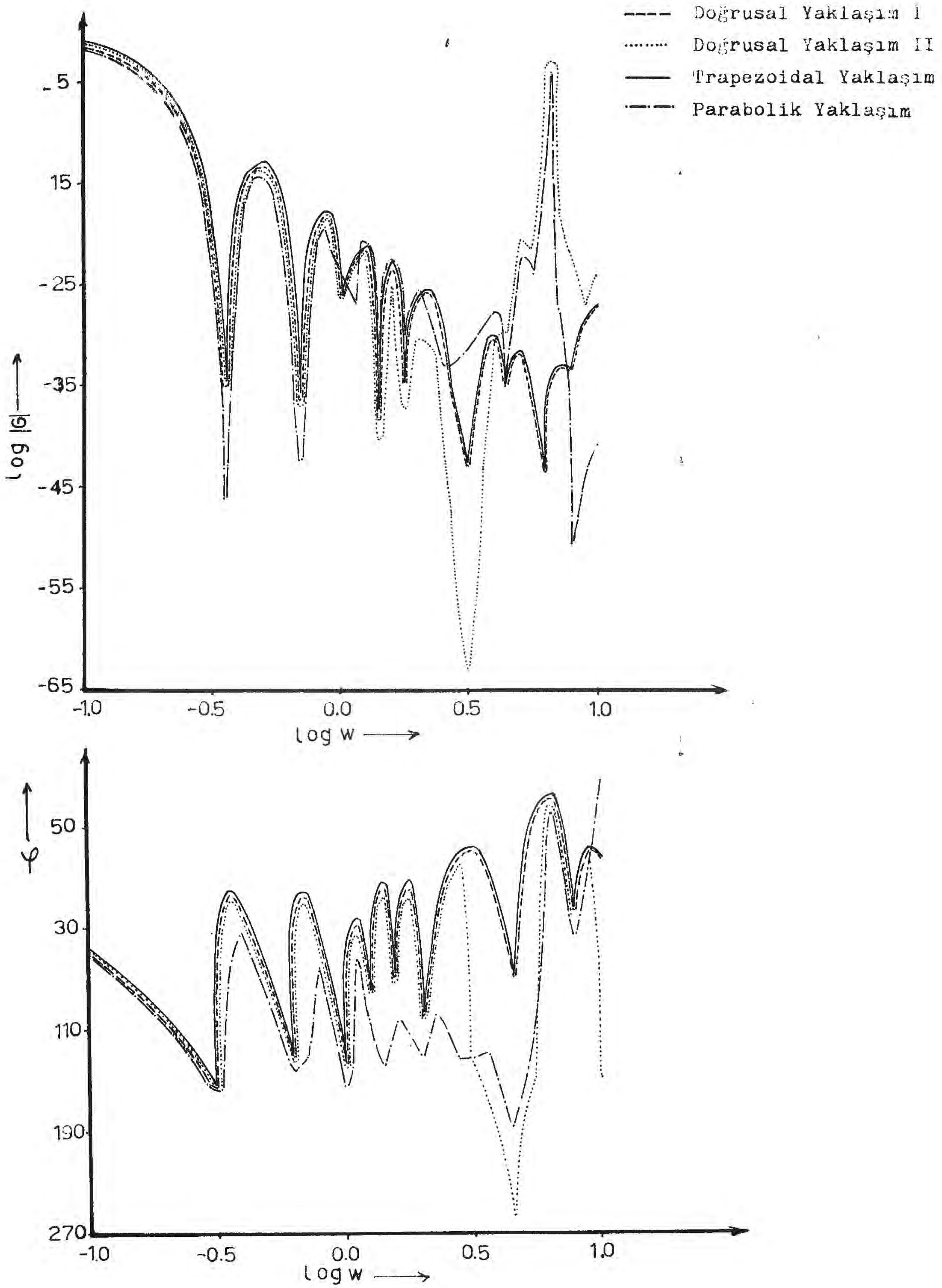
Şekil 4.51.:Besleme akış hızındaki pulse etkisinde, beşinci tank çıkış derişimi için Bode diyagramı
(D=1.666dak,DLT1=0.1851dak,DLT3=1.667dak,T_x=15.0dak).



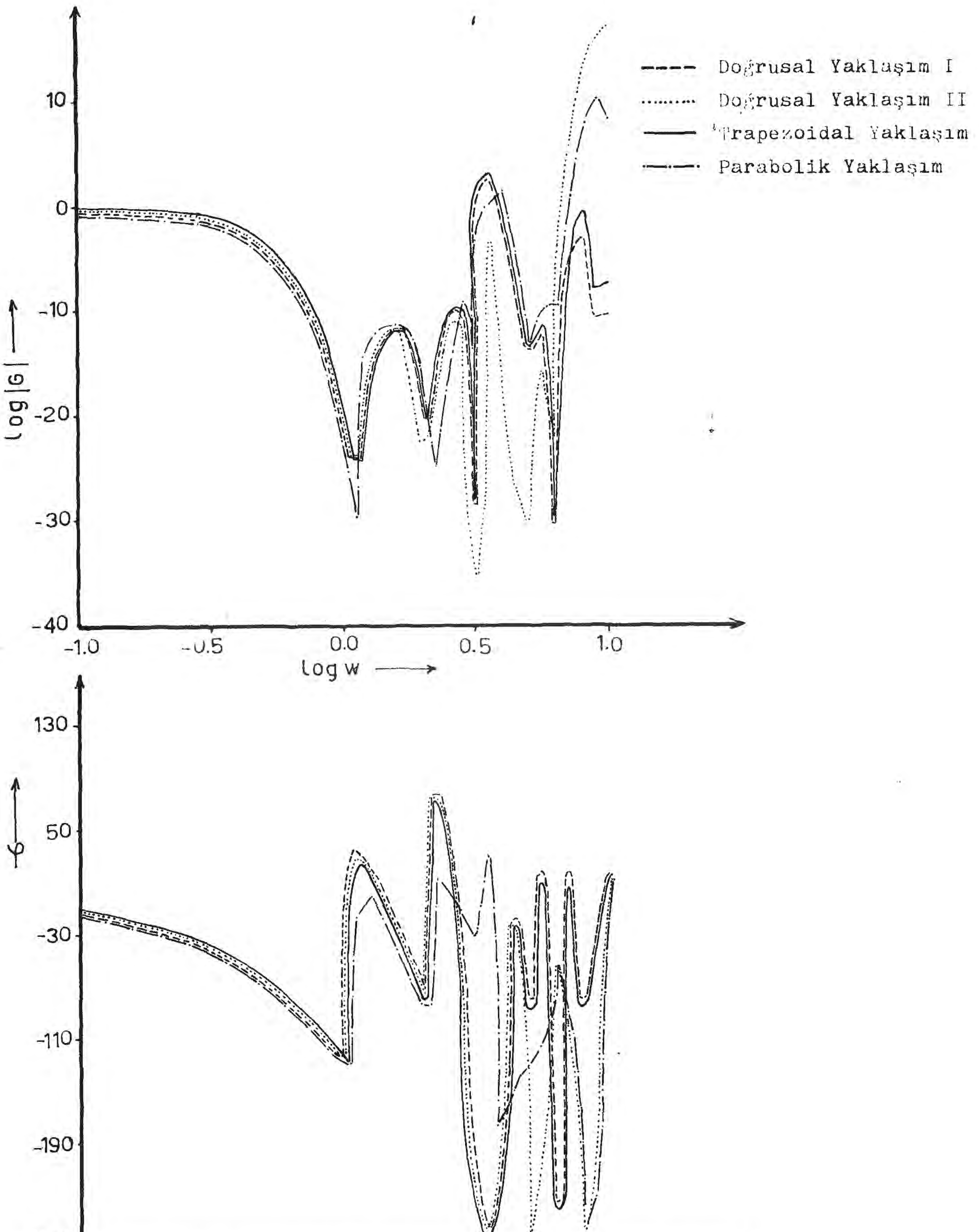
Şekil 4.32.:Besleme akış hızındaki pulse etkisinde, beşinci tank çıkış derişimi için Bode diyagramı (D=4.1666dak,DLT1=0.46296dak,DLT3=0.5dak,T$_s$=9.5dak).

D (dak)	0.5	1.666				4.1666
DLT1 (dak)	0.0556	0.1851	0.1851	0.1851	0.1851	0.46296
DLT3 (dak)	1.0	0.667	0.5	1.334	0.5	0.1
Nokta sayı	19	10	25	10	49	26
T_x (dak)	18.0	6.0	12.0	12.0	24.0	25.0
Şekil no	4.33	4.34	4.35	4.36	4.37	4.38

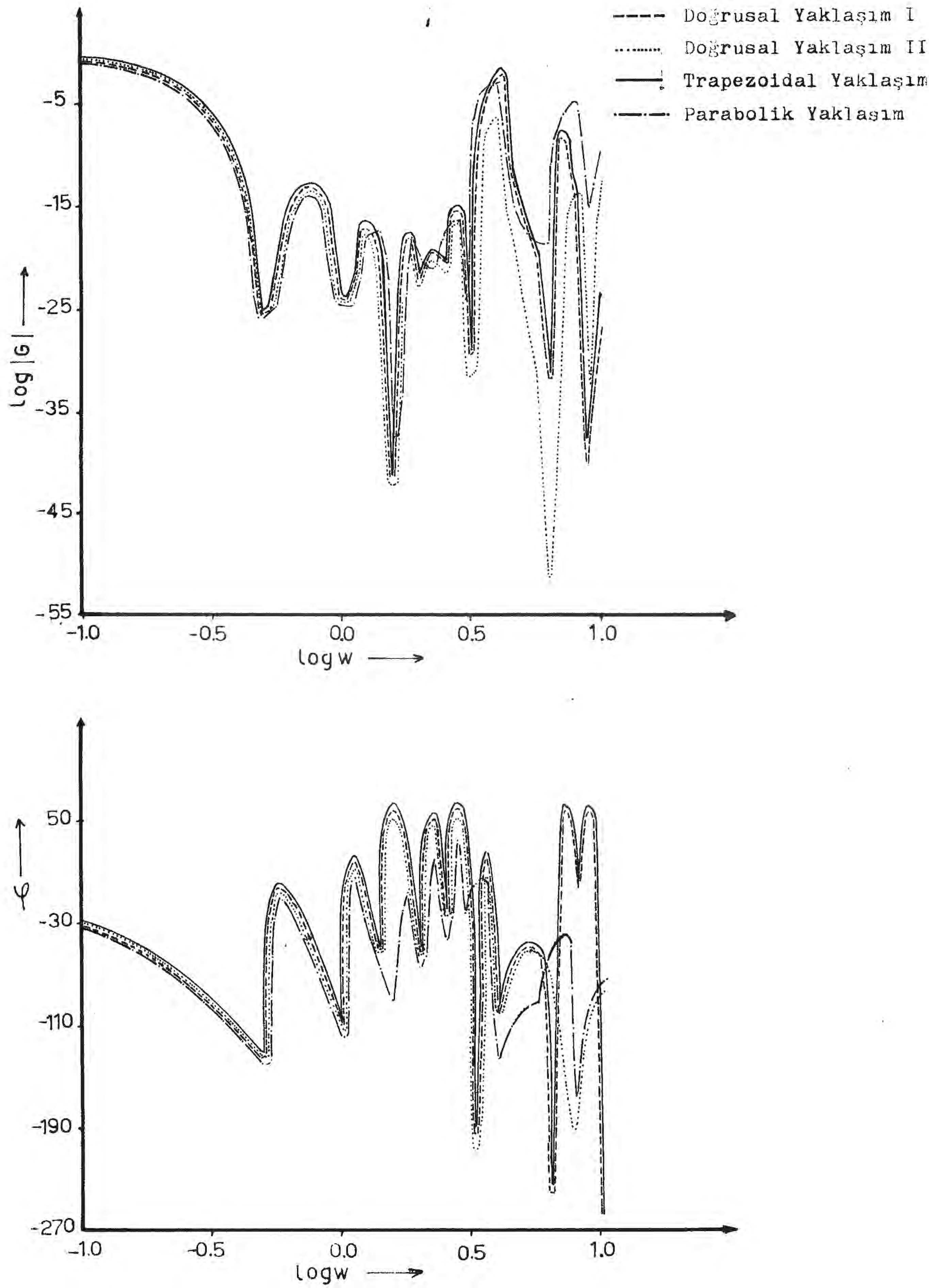
Tablo 4.5 : Birinci tank çıkış sıcaklığı ile ilgili Bode diyağramları - nın hesaplanması için bilgisayara verilen gerekli veriler. (V_1 = 1.0 lt/dak , h = 1.0 lt/dak)



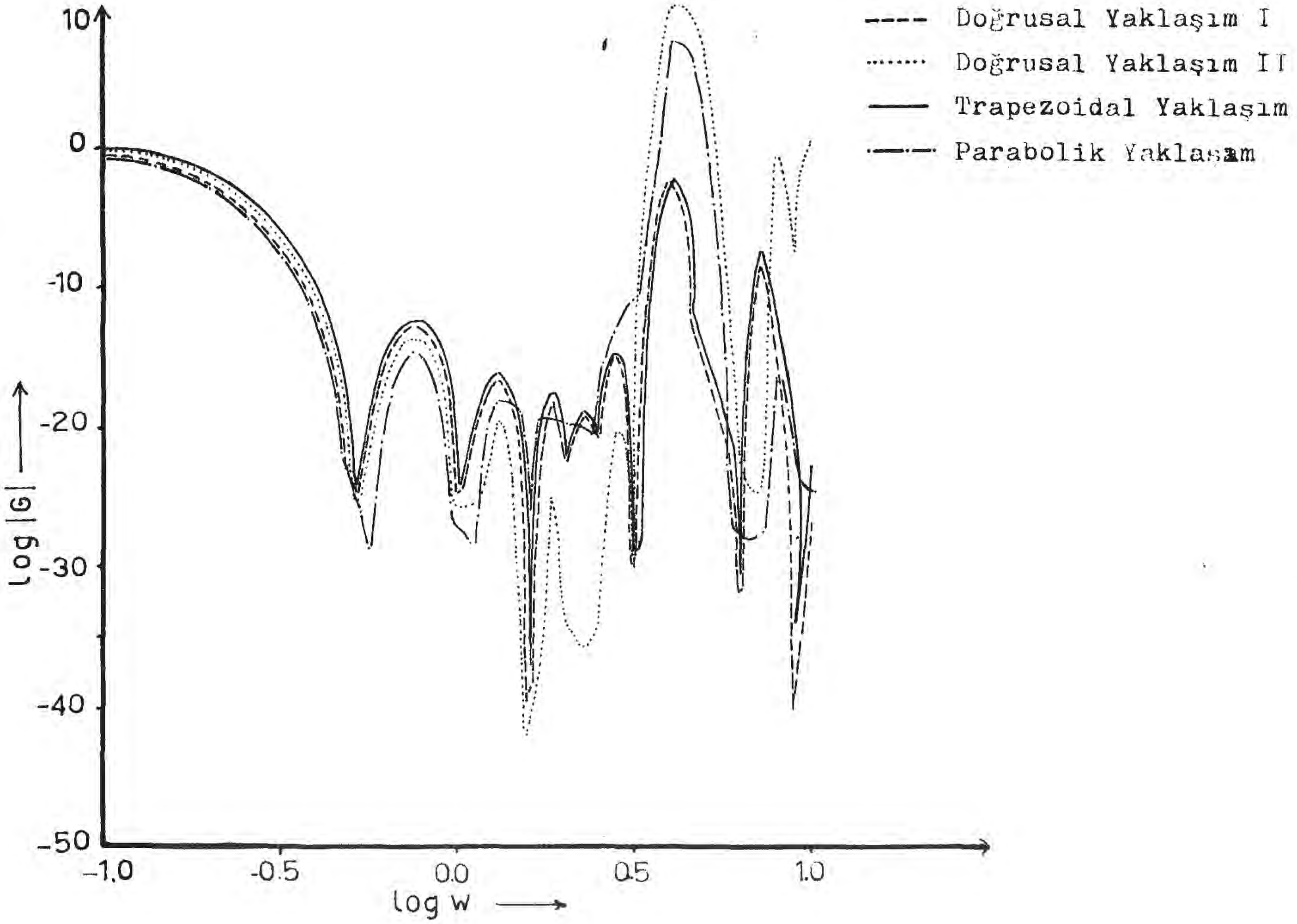
Şekil 4.33.:Besleme akış hızındaki pulse etkisinde, birinci tank çıkış sıcaklığı için Bode diyagramı (D=0.5dak, DLT1=0.0556dak, DLT3=1.0dak, T_x=18.0dak).

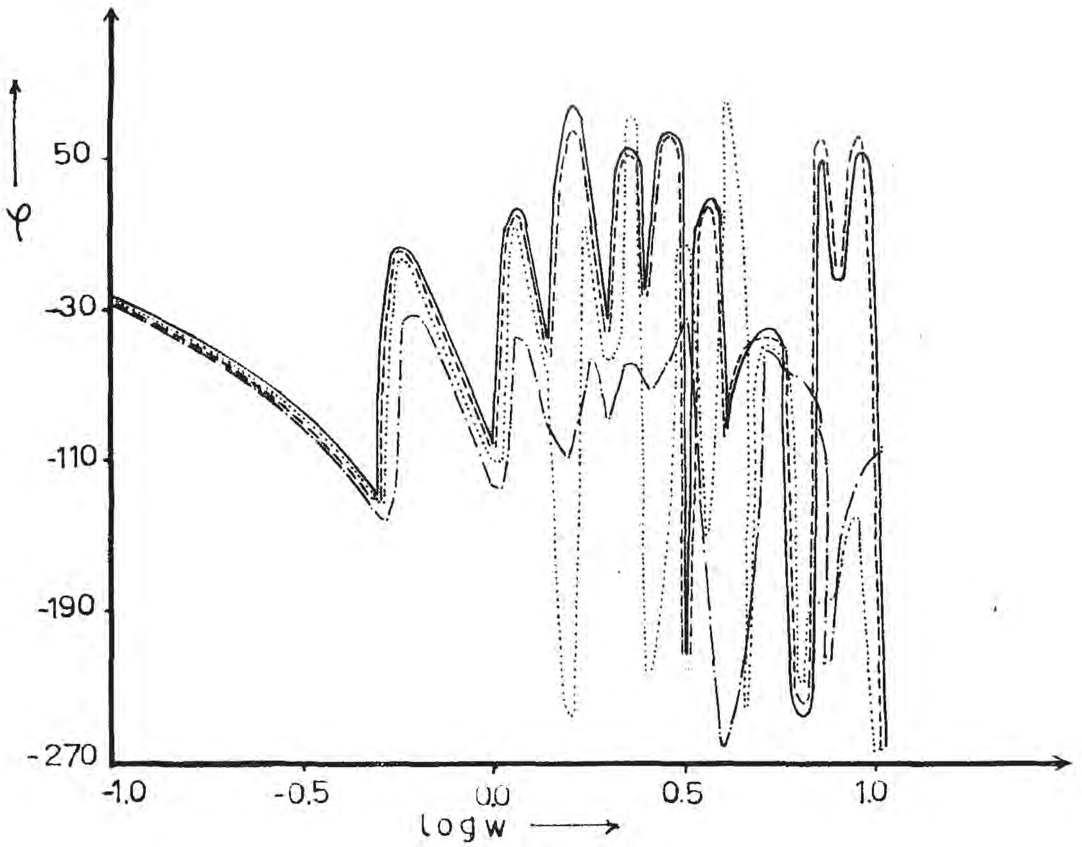


Şekil 4.34.: Besleme akış hızındaki pulse etkisinde, birinci tank çıkış sıcaklığı için Bode diyagramı (D=1.666dak, DLT1= 0.1851dak, DLT3=0.667dak, T_x=6.0dak).

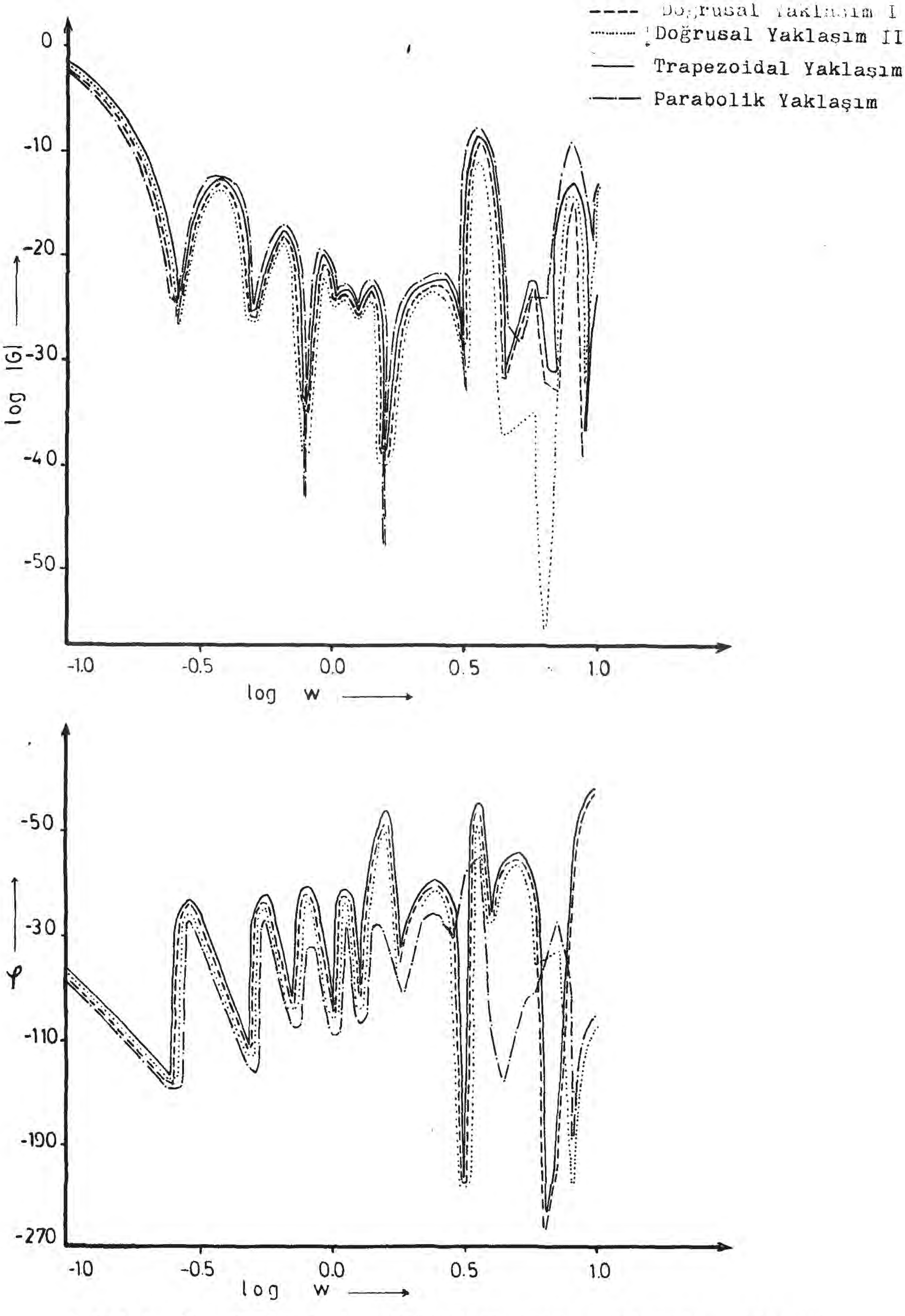


Şekil 4.35.:Besleme akış hızındaki pulse etkisinde, birinci tank çıkış sıcaklığı için Bode diyagramı ($D=1.666$dak, $DLT1=0.1851$dak, $DLT3=0.5$ dak, $T_x=12.0$dak).

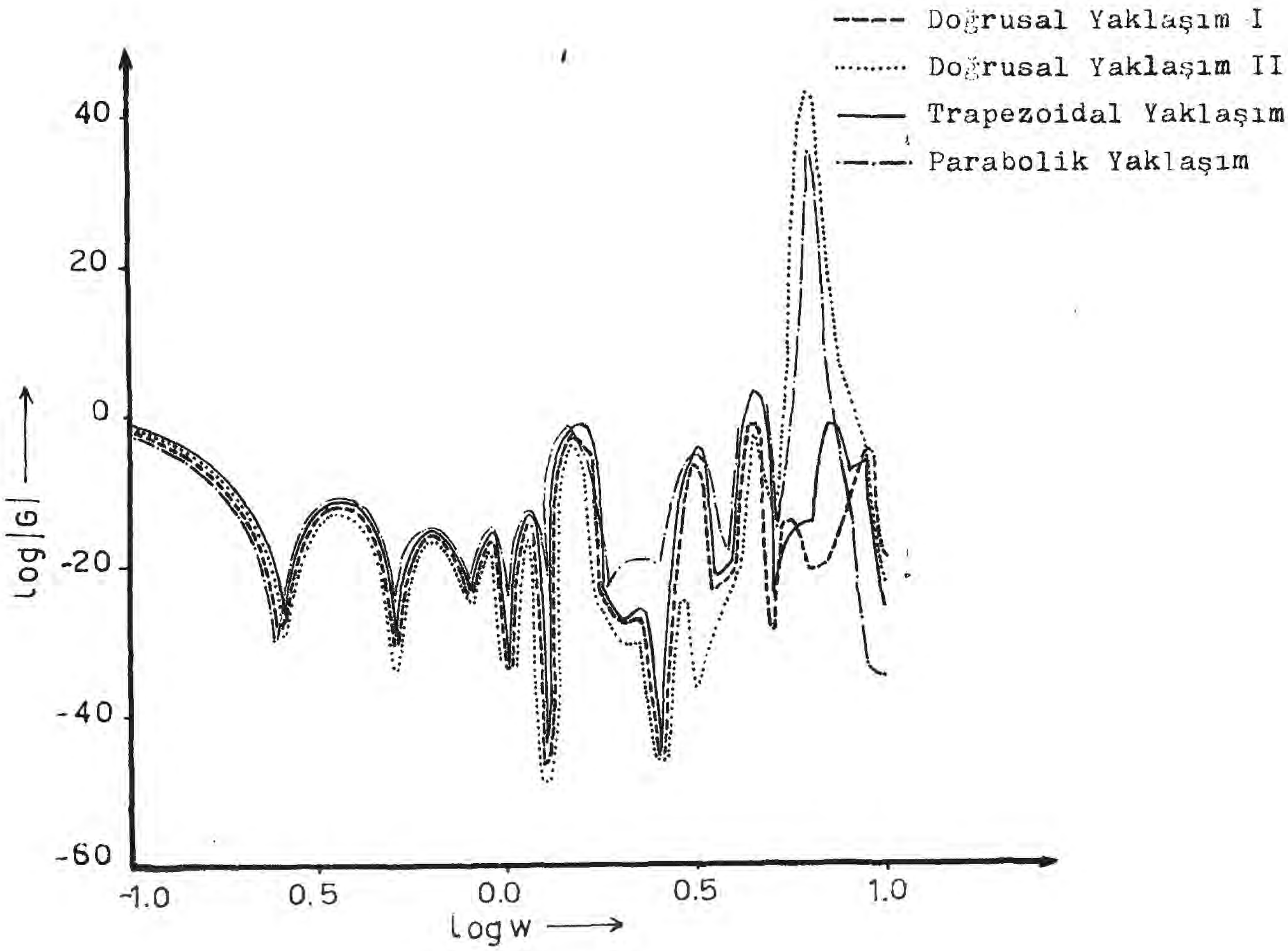


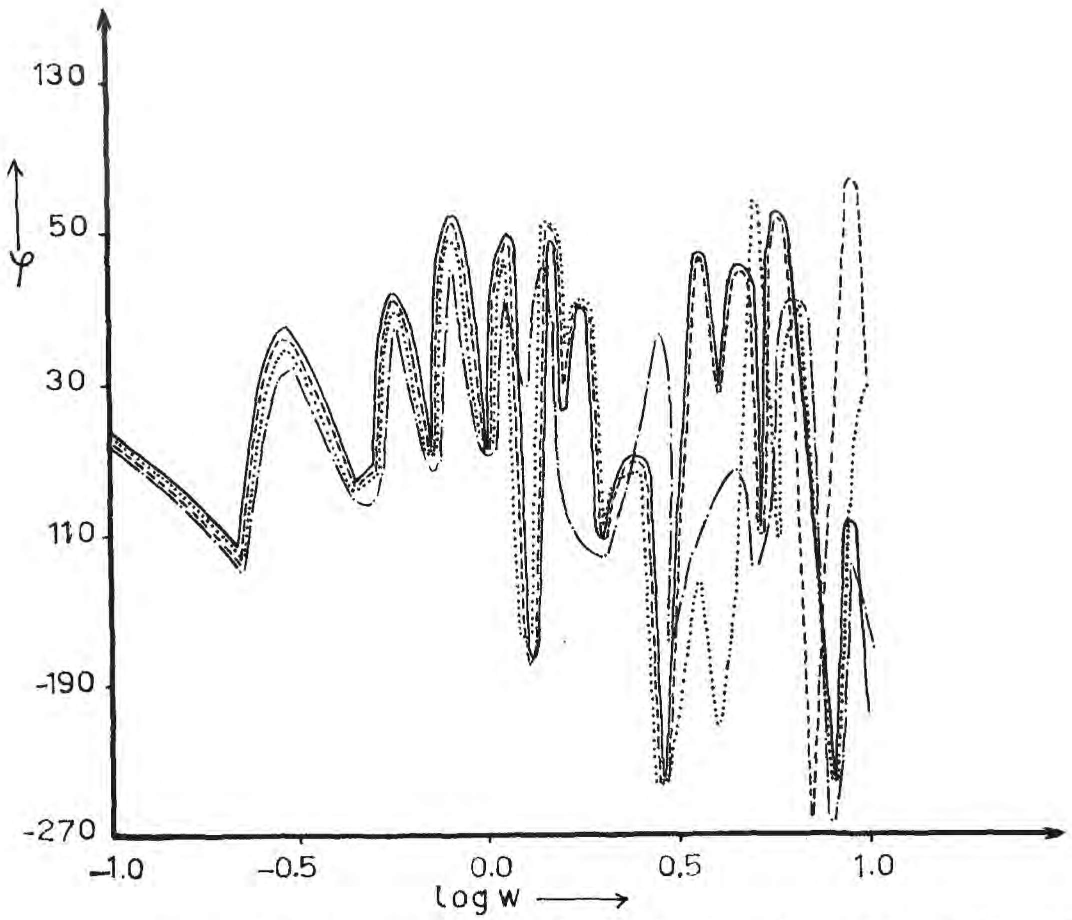


Şekil 4.56.: Besleme akış hızındaki pulse etkisinde, birinci tank çıkış sıcaklığı için Bode diyagramı
(D=1.666dak, DLT1=0.1251dak, DLT3=1.554dak, T_x=12.0 dak).



Şekil 4.37.: Besleme akış hızındaki pulse etkisinde , birinci tank sıcaklığı için Bode diyagramı.
(D=1.666 dak, DLT1=0.1851 dak, DLT3=0.5 dak, T_x=24.0 dak).

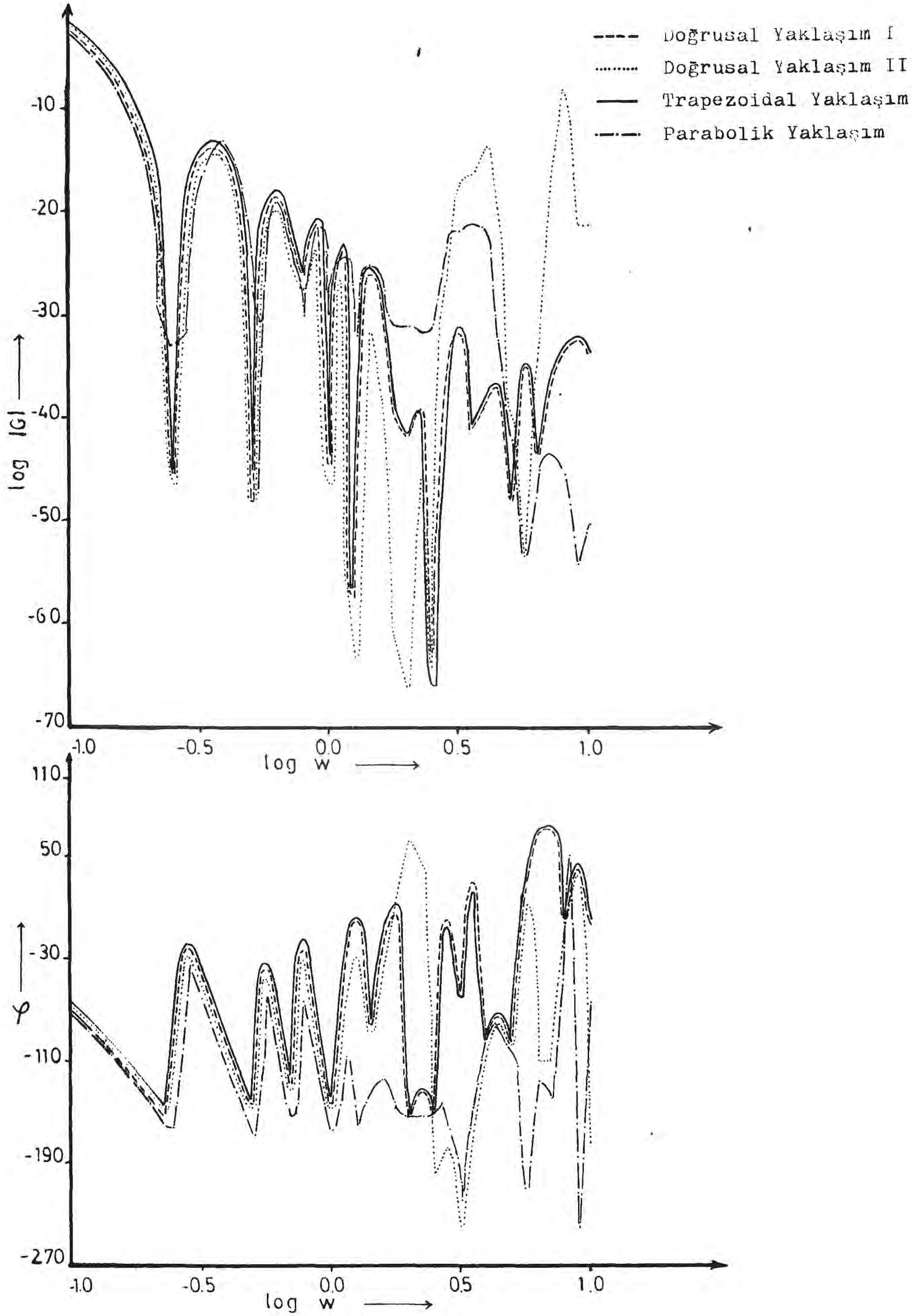




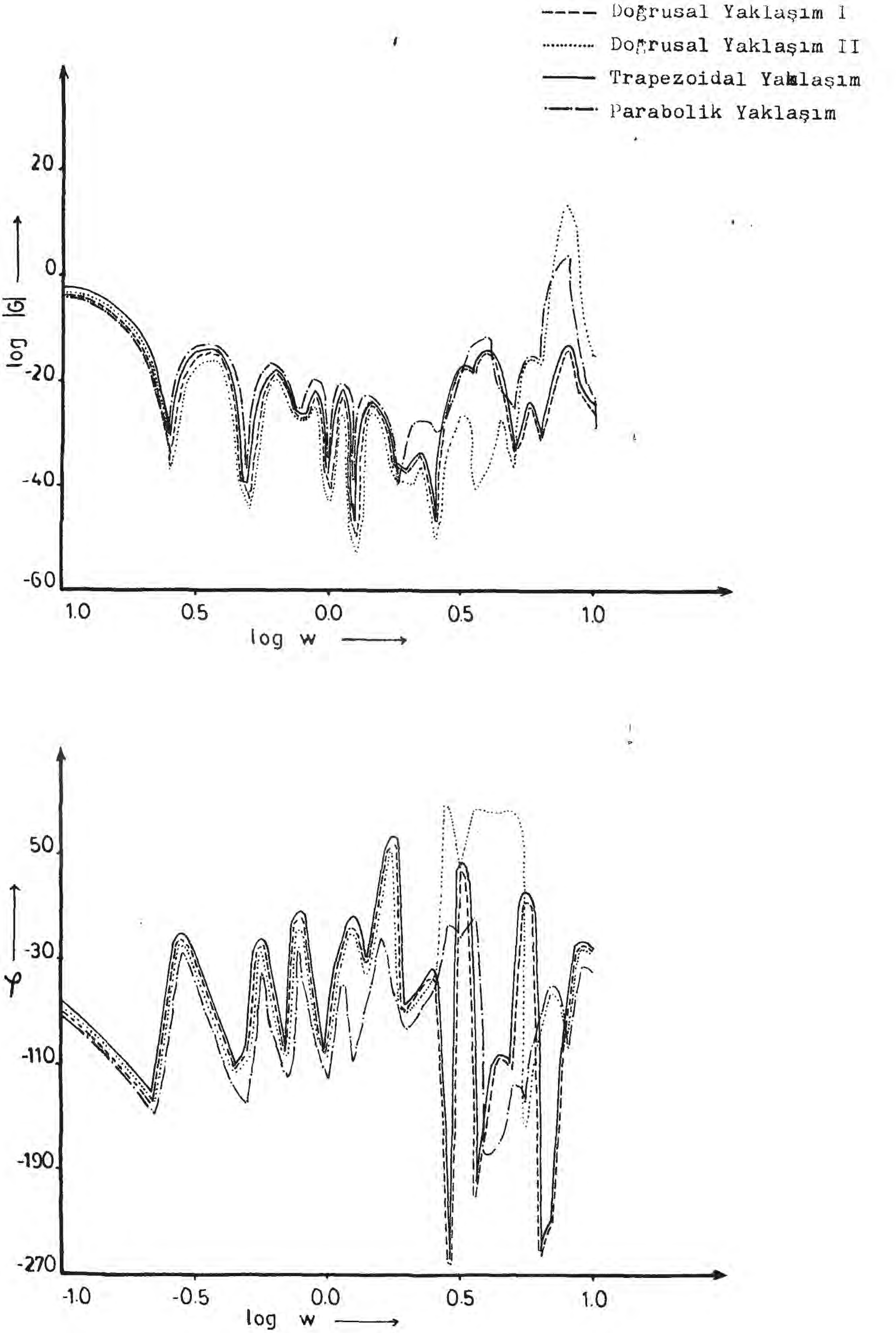
Şekil4.33.:Besleme akış hızındaki pulse etkisinde, birinci tank çıkış sıcaklığı için Bode diyagramı (D=4.1666dak,DLT1=0.46296dak,DLT3=1.0dak,T_x=25.0dak).

D(dak)	0.5	1.666			4.1666
DLT1(dak)	0.0556	0.1851	0.1851	0.1851	0.46296
DLT3(dak)	1.667	0.8334	1.667	1.667	1.667
Nokta Sayısı	16	31	16	10	16
T_x (dak)	25.0	25.0	25.0	15.0	25.0
Şekil No	4.39	4.40	4.41	4.42	4.43

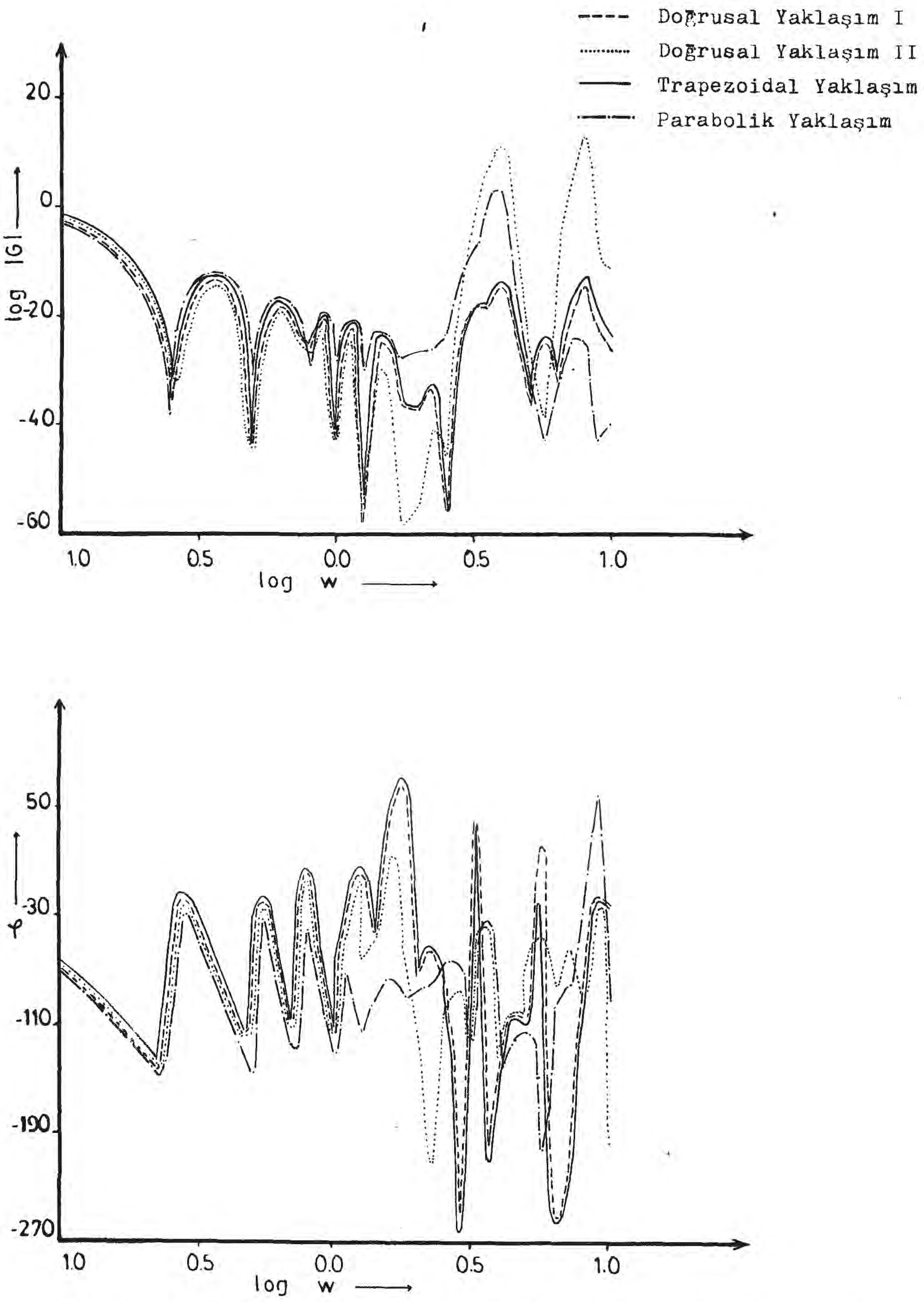
Tablo 4.6. : Beşinci tank çıkış sıcaklığı ile ilgili Bode diyagramlarının hesaplanması için bilgisayara verilen gerekli veriler
(V_1 = 1.0 lt/dak , h = 1.0lt/dak).



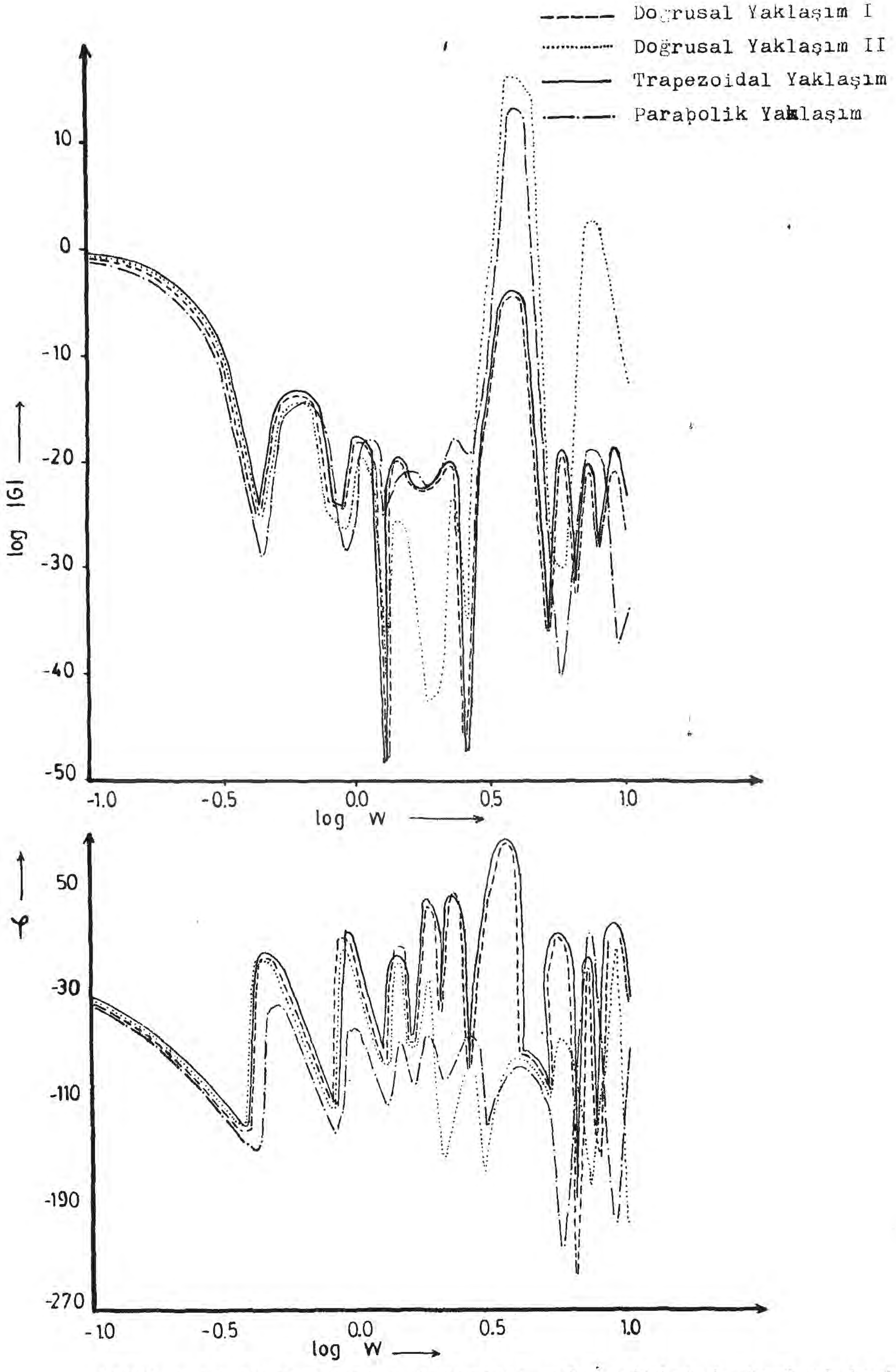
Şekil 4.39.:Besleme akış hızındaki pulse etkisinde, beşinci tank çıkış sıcaklığı için Bode diyagramı (D=0.5dak, DLT1=0.0556dak, DLT3=1.667dak, T_x=25.0dak).



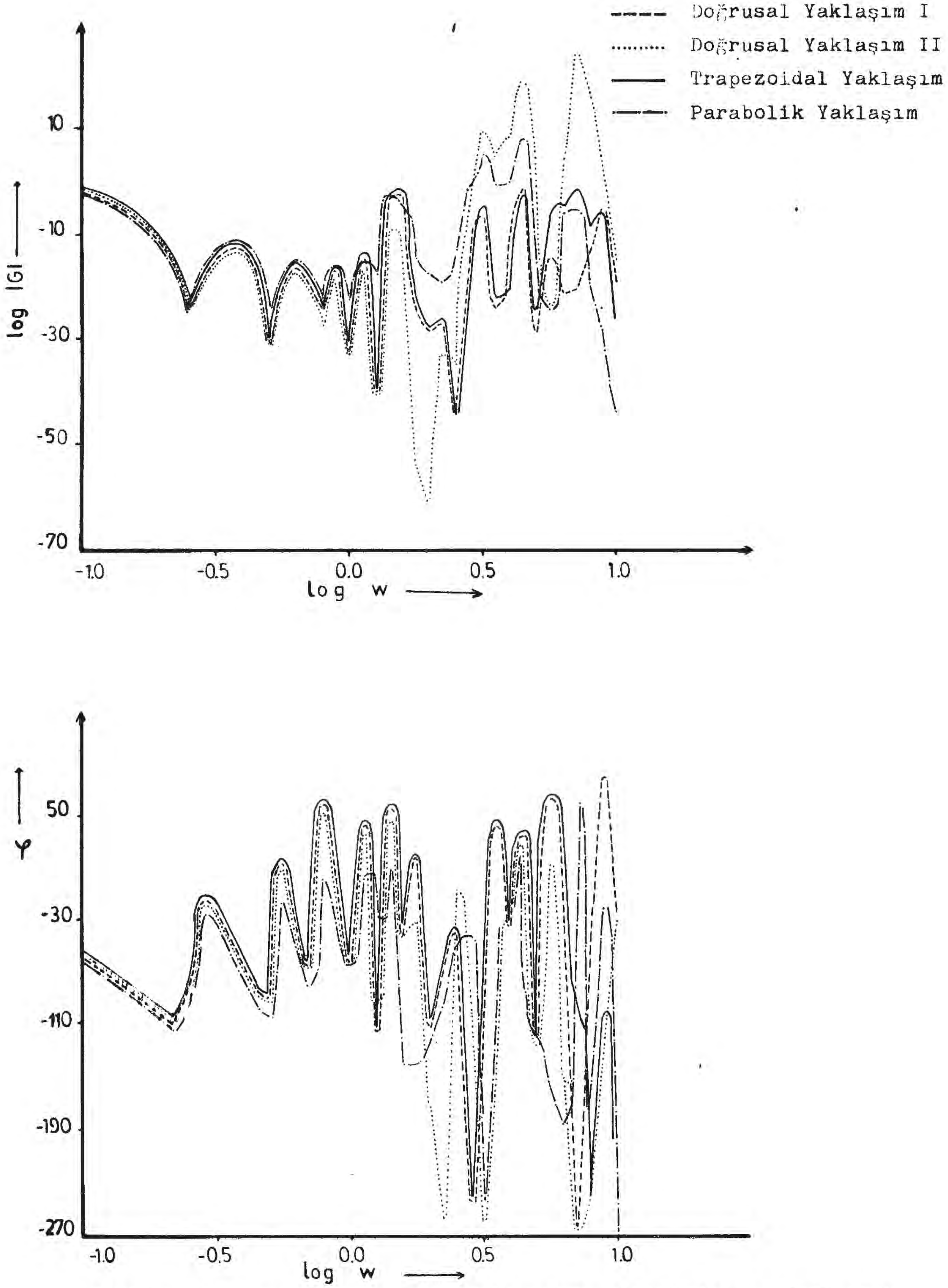
Şekil 4.40.:Besleme akış hızındaki pulse etkisinde,beşinci tank çıkış sıcaklığı için Bode diyagramı (D=1.666dak,DLT1= 0.1851 dak,DLT3=0.8334dak,T_x=25.0dak).



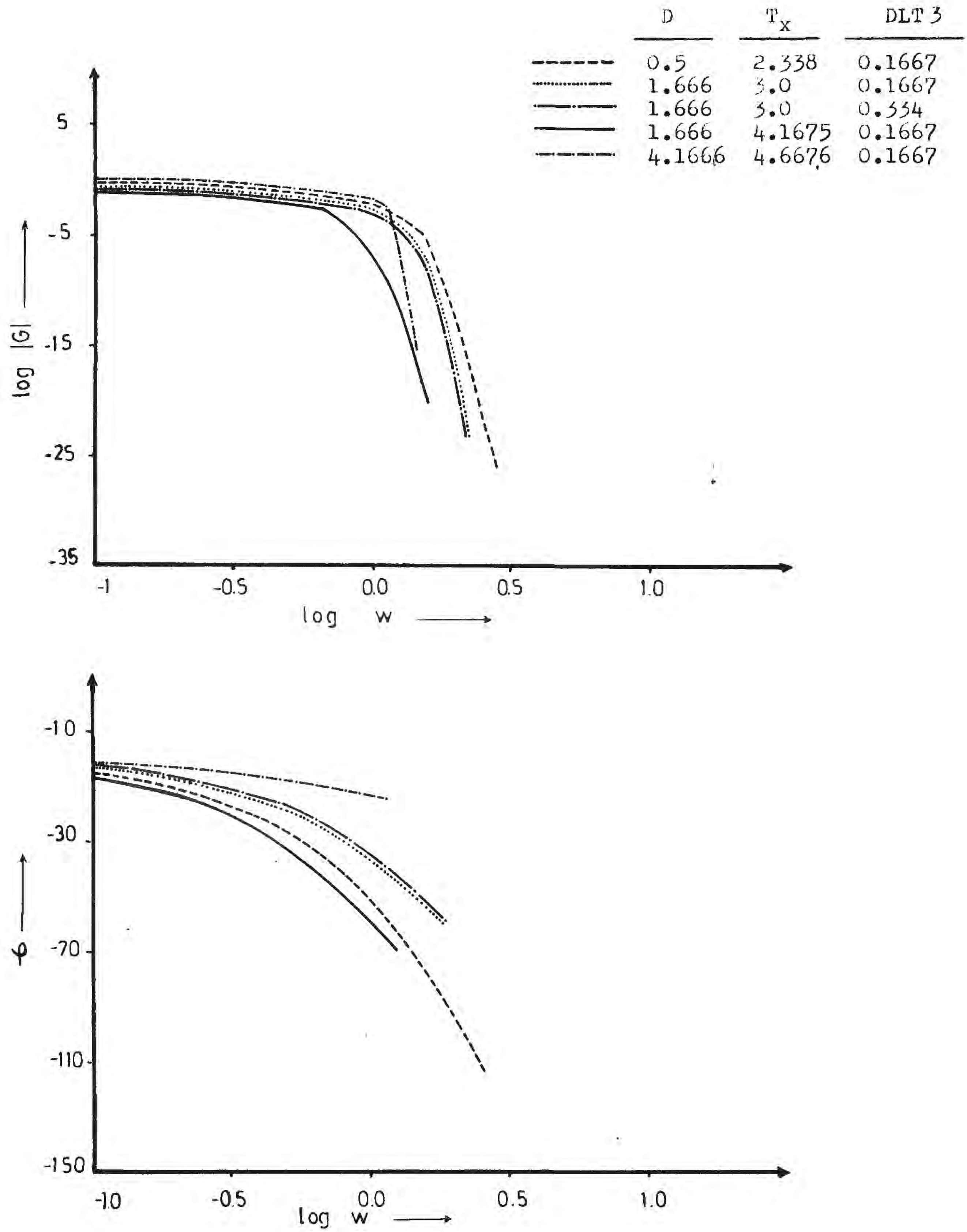
Şekil 4.41.:Besleme akış hızındaki pulse etkisinde, beşinci tank çıkış sıcaklığı için Bode diyagramı ($D=1.666$dak, $DLT1=0.1851$dak, $DLT3=1.667$dak, $T_x=25.0$dak).



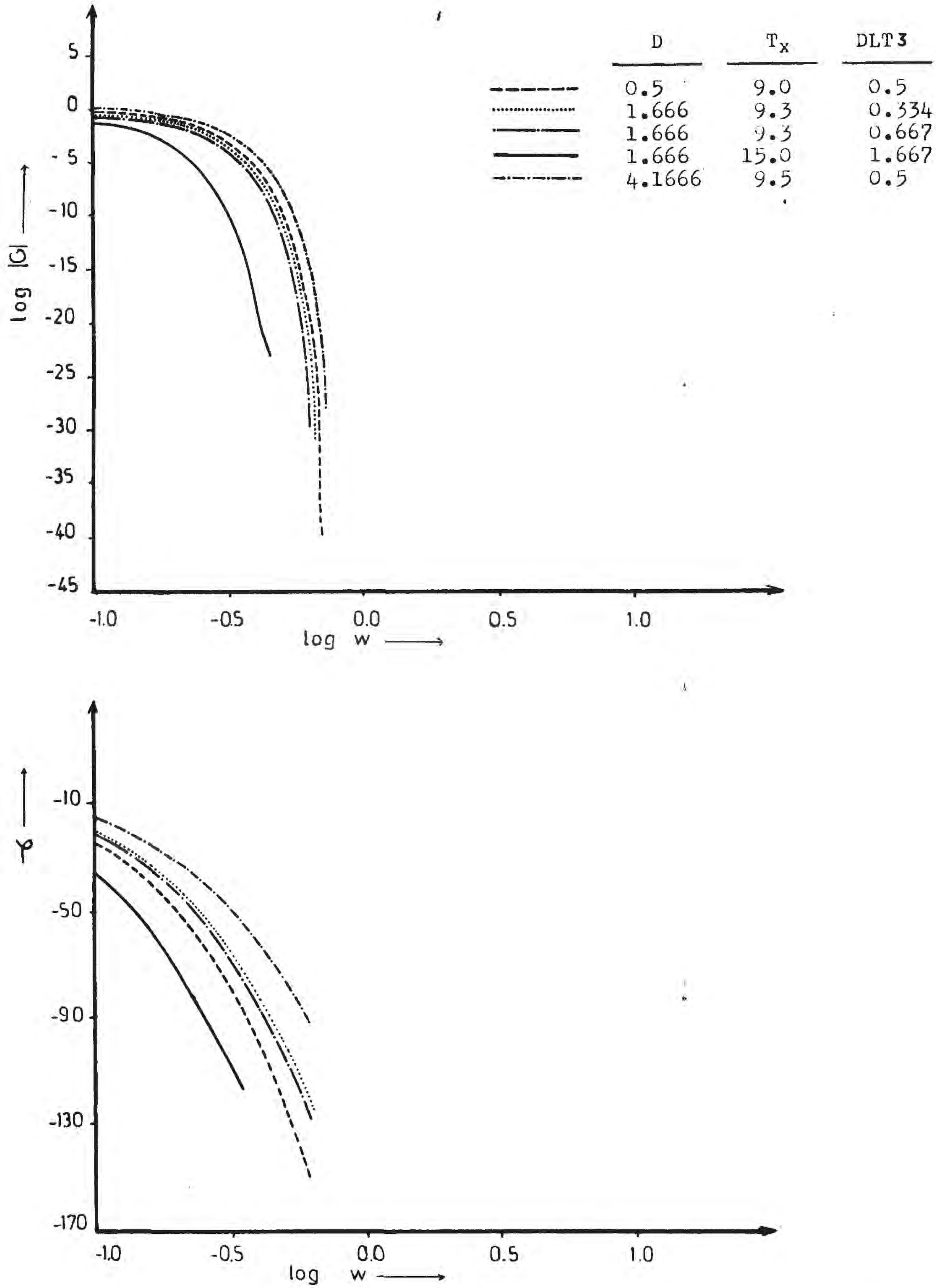
Şekil 4.42.:Besleme akış hızındaki pulse etkisinde,beşinci tank çıkış sıcaklığı için Bode diyagramı (D=1.666dak,DLT1=0.1851dak,DLT3=1.667dak, T_X=15.0dak).



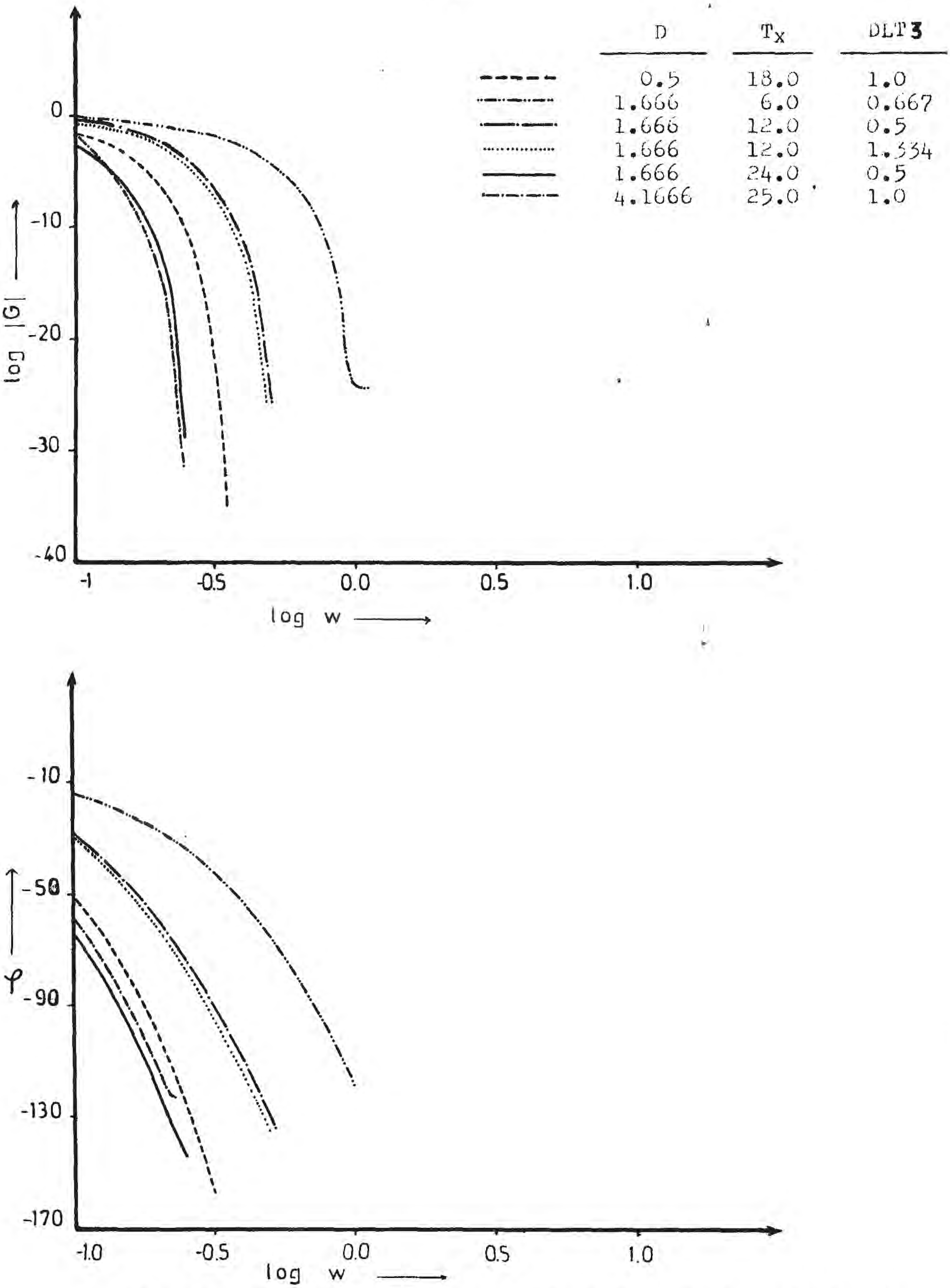
Şekil 4.43.:Besleme akış hızındaki pulse etkisinde, beşinci tank çıkış sıcaklığı için Bode Diyagramı ($D=4.1666$dak,$DLT1=0.46296$,$DLT3=1.667$dak,$T_X= 25$ dak).



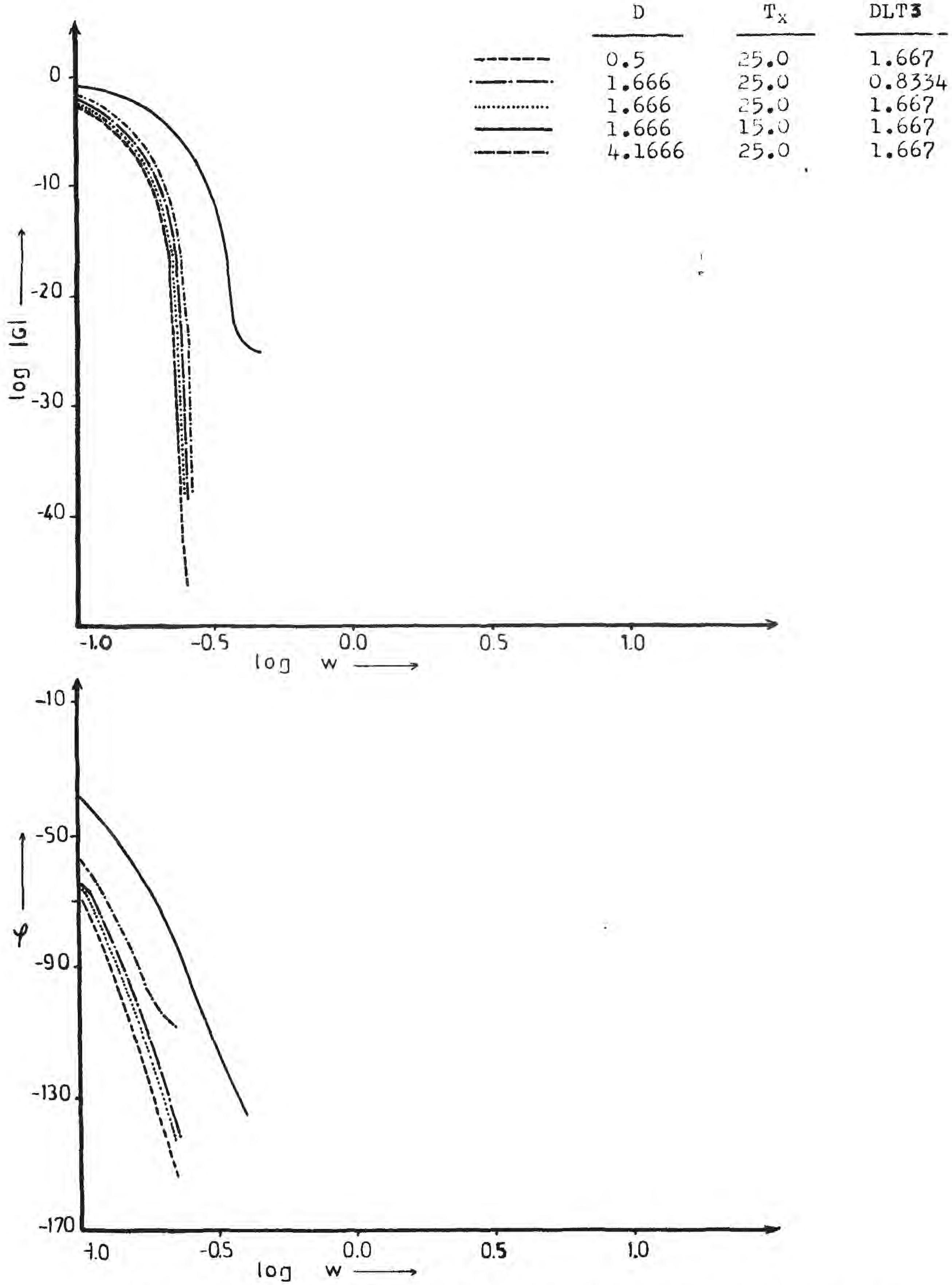
Şekil 4.44 : C_1 derişimi için farklı kalma sürelerindeki pulse girişinin zaman aralığı T_x ve adım aralığı DLT3 'ün ilgili Bode diyagramlarına etkisi.



Şekil 4.45 : C_5 derişimi için farklı kalma sürelerindeki pulse girişinin zaman aralığı T_x ve adım aralığı DLT3 'ün ilgili Bode diyagramlarına etkisi.



Şekil 4.46 : T_1 sıcaklığı için farklı kalma sürelerindeki pulse girişinin zaman aralığı T_X ve adım aralığı DLT3'ün Bode diyagramlarına etkisi.



	D	T_x	DLT3
	0.5	25.0	1.667
	1.666	25.0	0.8334
	1.666	25.0	1.667
	1.666	15.0	1.667
	4.1666	25.0	1.667

Şekil 4.47 : T_5 sıcaklığı için farklı kalma sürelerindeki pulse girişinin zaman aralığı T_x ve adım aralığı DLT3 'ün ilgili Bode diyagramlarına etkisi.

BÖLÜM 5

TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu araştırmadan elde edilen sonuçlar aşağıda gösterilmiştir.

1. Pulse değişimlerinin sistemler üzerindeki etkilerini inceleyebilmek için pulse büyüklüğü sistem yanıtım verebilecek şekilde büyük olmalıdır.

2. Beş tam karıştırmalı akım reaktörünün pulse etkisi altında çıkış değişkenlerinin zamana göre değişimlerinde birinci yatışkın hale tekrar gelişleri uzun bir süre almaktadır.

3. Hesaplanan Bode diyagramlarına integral adım aralıklarının fazlaca etkisi yoktur.

4. Pulse kalma süresinin Bode diyagramlarının şekline etkisi yoktur, ancak salınımları arttırmaktadır.

5. Yatışkın hale gelme süresi T_x Bode diyagramında salınımların başladığı sıklık değerini etkilemektedir.

Bu sonuçların yardımıyla ileri çalışmalar için öneriler aşağıda gösterilmiştir.

1. Beş tam karıştırmalı akın reaktörlerine birim pulse etkisi verilebilir.

2. Benzer şekilde beş tam karıştırmalı akım tankının besleme akış hızına pseudo-random sinyal değişimi verilebilir.

Ek 1. : Yatışkın-Hal denklemlerinin sayısal bilgisayar çözümü Fortran programı.

```
LIST
SEND TO (SEMICOMPILED)
LIBRARY(SUBGROUPSZF7)
WORK(WORKFILE)
DUMP ON(PROGRAM FORT)
RUN
PROGRAM(XXXX)
INPUT1=CR4
OUTPUT2=LP3
END

BES TAM KARISTIRMALI AKIM REAKTORUNUN
YATISKIN-HAL DENKLEMLERININ SAYISAL
BILGI SAYARDA COZUMLERI


SEMBOLLER:

A(I)          :HESAPLANMIS FONKSIYON KISIMLARI
CONC          :HESAPLANMIS CIKIS DERISIMI
DELH          :REAKSIYON ISISI
FK            :REAKSIYON HIZ SABITININ BULUNUSU
FLOWA         :BESLEME AKIS HIZI
FT            :CIKIS SICAKLIGININ BULUNMASINDA
              :KULLANILAN DENKLEM
FTD           :BU DENKLEMIN TUREV ALINMIS HALI
HEATIN        :ACIGA CIKAN ISI
INTVAL        :SINIR DEGERLER ARASINDAKI FARK
L             :SOGUTMA SUYU AKIS HIZI
NTANK         :TANK SAYISI
RHOA          :BESLEME YOGUNLUGU
RHOB          :SOGUTMA SUYU YOGUNLUGU
SPECA         :BESLEME ISI KAPASITESI
SPECB         :SOGUTMA SUYU ISI KAPASITESI
TACT          :SOGUTMA SUYUNUN GIRIS SICAKLIGI
TAS           :VARSAYILAN CIKIS SICAKLIGI
TC            :BIRINCI KADEMEYE GIREN SOGUTMA
              :SUYU SICAKLIGI
TEMPA         :EN DUSUK SICAKLIK LIMITI
TEMPB         :EN YUKSEK SICAKLIK LIMITI
TGUESS        :TAHMIN EDILEN SOGUTMA SUYU CIKIS
              :SICAKLIGI
TOUT          :HESAPLANMIS CIKIS SICAKLIGI
U             :ISI TRANSFER KATSAYISI
X(I)          :BASLANGIC DEGERLERI
VOL           :BIR TANKIN HACMI
WIDTH         :BIR TANKIN GENISLIGI
MASTER PROG
DIMENSION B(10),A(20)
COMMON X(40),U(40,40),TOUT,CONC,TC,L,TEMPA,TEMPB,TGUESS,TACT
F(DUMMY)=EXP(36.49-(12100.0/DUMMY))
READ(1,10)VOL,FLOWA,DELH,RHOA,SPECA
10 FORMAT(5F0.0)
READ(1,11)WIDTH,SPECB,RHOB,U
READ(1,11) TEMPA,TEMPB,TACT,TGUESS
```

```
 11 FORMAT(4F0.0)
    READ(1,12) NTANK
 12 FORMAT(I0)
    READ(1,13) (X(I),I=1,3)
 13 FORMAT(3F0.0)
    WRITE(2,70)
 70 FORMAT(36H CASCADE MODELIN KARARLI HAL ANALIZI)
    WRITE(2,71)
 71 FORMAT(//120(1H-)//)
    B(1)=X(1)
    B(2)=X(2)
    DTEMPA=TEMPA
    DTEMPB=TEMPB
    DTGUES=TGUESS
     NTANK=NTANK+1
    FLOWA=1
    WRITE(2,80)FLOWA
 80 FORMAT(//,17H MADDE AKIS HIZI=,F5.2,5X,9HLITRE/DAK)
    FLOWA=FLOWA*100./6.
    WRITE(2,71)
    DO 15 L=4,20
    U=0.0018333333*L+0.029
    WRITE(2,95)L,U
 95 FORMAT(24H SOGUTMA SUYU AKIS HIZI=,I2,5X,9HLITRE/DAK/,2X,
   *3H U=,F7.4//)
    FLOWB=FLOAT(L)*100./6.
    WRITE(2,72)
 72 FORMAT(3(6X,5HGIRIS,14X,5HCIKIS,7X))
    WRITE(2,73)
 73 FORMAT(2(5X,14HKONSANTRASYONU,3X),2(8X,5HMADDE,6X),2(7X,
   112HSOGUTMA SUYU))
    WRITE(2,75)
 75 FORMAT(2(4X,13HGM-MOL/LITRE ,3X),4(7X,8HDERECE C,5X))
    A(1)=FLOWB*RHOB*SPECB
    A(2)=RHOA*FLOWA*SPECA
    A(3)=A(1)/A(2)
    A(4)=VOL/FLOWA
    A(5)=WIDTH*20.
    A(6)=(U*A(5))/A(1)
    A(7)=(VOL*DELH)/A(2)
    A(8)=EXP(A(6))
     N=1
    K=0
    C1=A(3)*(EXP(A(6))-1)
     C2=12100.0*A(7)
 25 TAS=300.
    J=1
 20 EK=E(TAS)
    TC=TAS-(TAS-X(3))*A(8)
    FT=-TAS+X(2)-C1*(TAS-X(3))-EK*A(7)*X(1)/(1.0+EK*VOL/FLOWA)
     FDT=-1.-C1-C2*X(1)*EK/((TAS**2)*((1.+EK*VOL/FLOWA)**2))
    TOUT=TAS-FT/FDT
    IF(ABS(TOUT-TAS).LT..01) GOTO 21
    TAS=TOUT
    J=J+1
    IF(J.GT.100) GOTO 22
    GOTO 20
```

```
21 CONC=X(1)/(1+(E(TOUT)*A(4)))
   CALL CONVERA
76 FORMAT(2(5X,E11.4,4X),4(6X,F7.3,7X))
   N=N+1
   X(1)=CONC
   X(2)=TOUT
   X(3)=TC
   IF(N.LT.NTANK) GOTO 25
   IF(ABS(TC-TACT).LT..01) GO TO 100
   CALL GOLDA
   TGUESA=TGUESS-273.
   X(1)=B(1)
   X(2)=B(2)
   X(3)=TGUESS
   K=K+1
   N=1
   IF(K.LT.30) GOTO 25
   WRITE(2,44)
44 FORMAT(24H ISTENEN DEGERE ULASMADI)
   STOP
22 WRITE(2,45)
45 FORMAT(29H DAHA FAZLA ITERASYON GEREKLI)
   STOP
100 DO 140 IJ=1,N-1
   WRITE(2,76)(Q(IJ,IK),IK=1,6)
140 CONTINUE
   WRITE(2,77) TGUESA
77 FORMAT(//28H TAHMIN EDILEN YENI SICAKLIK,F9.3)
C      TANKLARDA ACIGA CIKAN ISI MIKTARININ HESAPLANMASI
   WRITE(2,110)
110 FORMAT(//,10X,8HTANK NO.,15X,15HACIGA CIKAN ISI,//)
   DO 120 IH=1,N-1
   HEATIN=E(Q(IH,4)+273.)*VOL*DELH*0.001*Q(IH,2)*4.18
   WRITE(2,130)IH,HEATIN
130 FORMAT(12X,I2,20X,F12.4)
120 CONTINUE
   N=1
   K=0
   TEMPA=DTEMPA
   TEMPB=DTEMPB
   TGUESS=DTGUES
   X(1)=B(1)
   X(2)=B(2)
   X(3)=TGUESS
   WRITE(2,71)
15 CONTINUE
   STOP
   END
   SUBROUTINE CONVERA
   COMMON X(40),Q(40,40),TOUT,CONC,TC,N,TEMPA,TEMPB,TGUESS,TACT
   Q(N,1)=X(1)*1000.
   Q(N,2)=CONC*1000.
   Q(N,3)=X(2)-273.
   Q(N,4)=TOUT-273.
   Q(N,5)=TC-273.
   Q(N,6)=X(3)-273.
   RETURN
   END
```

```
      SUBROUTINE GOLDA
      REAL INTVAL
      COMMON X(40),Q(40,40),TOUT,CONC,TC,H,TEMPA,TEMPB,TGUESS,TACT
      IF(X(3).GT.TACT) GOTO 300
      TEMPA=TGUESS
      GOTO 301
  300 TEMPB=TGUESS
  301 INTVAL=TEMPB-TEMPA
      TGUESS=TEMPA+(INTVAL/1.618)
      RETURN
      END
```

Ek 2. : Yatışkın-Olmayan-hal denklemlerinin sayısal bilgisayar çözümü Fortran programı.

```
LIST
SEND TO (SEMICOMPILED)
LIBRARY(SUBGROUPS2F7)
WORK(WORKFILE)
DUMP ON(PROGRAM FORT)
RUN
PROGRAM(XXXX)
INPUT1=CR4
OUTPUT2=LP3
END

BES TAM KARISTIRMALI AKIM REAKTORUNUN
YATISKIN OLMAYAN-HAL DENKLEMLERININ SAYISAL
BILGI SAYARDA COZUMLERI


SEMBOLLER :

A(I)        :HESAPLANMIS FONKSIYON KISIMLARI
AREA1       :REAKTOR ON KESITI
AREA2       :ISI TRANSFER YUZEYI
AREA3       :SOGUTMA KANALI KESITI
DELH        :REAKSIYON ISISI
FLOWA       :BESLEME AKIS HIZI
FLOWB       :SOGUTMA SUYU BESLEME AKIS HIZI
H           :INTEGRASYON ZAMAN ARTISI
LENGTH      :BIR TANKIN UZUNLUGU
NTANK       :TANK SAYISI
PRINT       :ZAMAN ARTISI
Q(I)        :HESAPLANMIS SISTEM DEGERLERI
RHOA        :BESLEME YOGUNLUGU
RHOB        :SOGUTMA SUYU YOGUNLUGU
SPECA       :BESLEME ISI KAPASITESI
SPECB       :SOGUTMA SUYU ISI KAPASITESI
TIME        :ZAMAN
U           :ISI TRANSFER KATSAYISI
VOLA        :BIR TANKIN HACMI
WIDTH       :BIR TANKIN GENISLIGI
X(I)        :BASLANGIC DEGERLERI
      MASTER PROG
      REAL LENGTH,L,M
      INTEGER PRINT,TIME
      DIMENSION Q(20)
      COMMON/BLOCK1/X(100)/BLOCK3/A(100)
      READ(1,14) AREA3
14    FORMAT(F0.0)
      READ(1,10) WIDTH,FLOWA,RHOA,LENGTH
      READ(1,12) FLOWB,VOLA,DELH
10    FORMAT(4F0.0)
      READ(1,11) NTANK,TIME
11    FORMAT(2I0)
      N=18
      READ(1,12) (X(I),I=1,N)
12    FORMAT(5F0.0)
      READ(1,12)L,M,U
```

```
      READ(1,12) SPECA,SPECB,RHOB
      WRITE(2,51)
 51   FORMAT(1X,72HMADDE AKIS HIZINA PULSE ETKISI VEREREK CASCADE MODELI
     *N ACIK HAT YANITINI,//)
      FLOWA=2.
      FLOWA=FLOWA*100./6.
      FLOWB=FLOWB*100./6.
      AREA1=WIDTH*10.
      AREA2=LENGTH*20.
      A(1)=FLOWA/VOLA
      A(2)=DELH/(RHOA*SPECA)
      A(3)=(FLOWB*RHOB*SPECB)/(RHOA*VOLA*SPECA)
      A(4)=(U*AREA2)/(FLOWB*SPECB*RHOB)
      A(4)=-A(4)
      TIME=1500.
      J=0
 35   WRITE(2,52)J
 52   FORMAT(44H KONSANTRASYON VE SICAKLIGIN ALDIGI DEGERLER,I6,8H  SANI
     *YE)
      WRITE(2,53)
 53   FORMAT(//120(1H-)//)
      WRITE(2,54)
 54   FORMAT(3(6X,5HGIRIS,14X,5HCIKIS,7X))
      WRITE(2,55)
 55   FORMAT(2(3X,14HKONSANTRASYONU,4X),5X,5HMADDE,14X,5HMADDE,12X,12HSO
     1GUTMA SUYU,7X,12HSOGUTMA SUYU)
      WRITE(2,56)
 56   FORMAT(1H ,45X,9HSICAKLIGI,10X,9HSICAKLIGI,13X,9HSICAKLIGI,10X,9HS
     1ICAKLIGI)
      WRITE(2,57)
 57   FORMAT(2(4X,12HGM-MOL/LITRE,5X),4X,8HDERECE C,11X,8HDERECE C,14X,8
     1HDERECE C,11X,8HDERECE C)
      WRITE(2,53)
      DO 61 I=1,N-5,3
      Q(1)=X(I)*1000.
      Q(2)=X(I+3)*1000.
      Q(3)=X(I+1)-273.
      Q(4)=X(I+4)-273.
      Q(5)=X(I+5)-273.
      Q(6)=X(I+2)-273.
      WRITE(2,60) Q(1),Q(2),Q(3),Q(4),Q(5),Q(6)
 60   FORMAT(2(5X,F11.4,4X),4(6X,F7.3,7X))
 61   CONTINUE
      WRITE(2,53)
      IF(J.EQ.TIME) STOP
      J=J+50
      H=1.0
      PRINT=10
      J4=1
      IF(J.GE.100) GO TO 15
      GOTO 49
 15   FLOWA=1.
      FLOWA=FLOWA*100./6.
 49   A(1)=FLOWA/VOLA
      CALL RUNG4(N,H)
      CALL THETA(N)
      IF(J4.EQ.PRINT) GO TO 3
```

```
      J4=J4+1
      GO TO 42
      STOP
      END
      SUBROUTINE RUKU4(N,H)
      REAL K
      DIMENSION K(4,100),Y(100)
      COMMON/BLOCK1/X(100)/BLOCK2/FUN(100)
      DO 100 M=1,N
100   Y(M)=X(M)
      DO 101 I=1,4
      CALL EQNS(N)
      DO 102 J=4,N-2,3
      K(I,J)=H*FUN(J)
      K(I,J+1)=H*FUN(J+1)
      GOTO(103,103,104,105),I
103   X(J)=Y(J)+K(I,J)/2.
      X(J+1)=Y(J+1)+K(I,J+1)/2.
      GOTO 102
104   X(J)=Y(J)+K(I,J)
      X(J+1)=Y(J+1)+K(I,J+1)
      GOTO 102
105   X(J)=Y(J)+(K(1,J)+2.*K(2,J)+2.*K(3,J)+K(4,J))/6.
      X(J+1)=Y(J+1)+(K(1,J+1)+2.*K(2,J+1)+2.*K(3,J+1)+K(4,J+1))/6.
102   CONTINUE
101   CONTINUE
      RETURN
      END
      SUBROUTINE EQNS(N)
      COMMON/BLOCK1/X(100)/BLOCK2/FUN(100)/BLOCK3/A(100)
      E(DUMMY)=EXP(36.49-(12100./DUMMY))
      DO 400 J=4,N-2,3
      FUN(J)=A(1)*X(J-3)-A(1)*X(J)-E(X(J+1))*X(J)
      FUN(J+1)=A(1)*X(J-2)-A(1)*X(J+1)-A(2)*E(X(J+1))*X(J)-A(3)*(X(J-1)-
     1X(J+2))
400   CONTINUE
      RETURN
      END
      SUBROUTINE THETA(N)
      COMMON/BLOCK1/X(100)/BLOCK3/A(100)
      IA=3
      DO 53 I=2,N/3
      X(N-IA)=X(N+2-IA)-((X(N+2-IA)-X(N+3-IA))*EXP(A(4)))
53    IA=IA+3
      RETURN
      END
```

Ek 3. : Doğrusal Yaklaşım I yönteminin sayısal bilgisayar çözümü Fortran programı

```
      LIST
      SEND TO (SEMICOMPILED)
      LIBRARY(SUBGROUPS?F7)
      WORK(WORKFILE)
      DUMP ON(PROGRAM FORT)
      RUN
      PROGRAM(XXXY)
      INPUT5=CR4
      OUTPUT6=LP3
      END
      MASTER PROG
C
C     SEMBOLLER:
C     NIN         :GIRIS PULSE VERI NOKTA SAYISI
C     NOUT        :CIKIS PULSENIN VERI NOKTA SAYISI
C     W           :SIKLIK DEGERI
C     WO          :ILK SIKLIK DEGERI
C     WMAX        :SIKLIK SON DEGERI
C     DW,WNUM     :SIKLIK ARTIM FAKTORU
C     TIN         :GIRIS PULSENIN KALMA SURESI
C     QIN         :GIRIS DEGISKENININ BUYUKLUGU
C     TOUT        :CIKIS DEGISKENININ ADIM ARALIKLARINDA
C                  ZAMAN DEGERLERI
C     XOUT        :CIKIS DEGISKENININ ADIM ARALIKLARINDA
C                  DEGERLERI
C     GDENOM      :GIRIS PULSENIN FOURIER DONUSUMU
C     GNUM        :CIKIS PULSENIN FOURIER DONUSUMU
C     G           :ILETIM FONKSIYONU
C     DR          :GENLIK ORANI
C     DEG         :FAZ GECIKIMI
C     PULSE TEST PROGRAM
      DIMENSION QIN(200),TIN(200),XOUT(200),TOUT(200)
      COMPLEX GNUM,GDENOM,G1,G2,G3,G4,G5,G
      READ(5,1)NIN,NOUT,WO,WMAX,WNUM
    1 FORMAT(2I5,3F6.2)
      IF(NIN.EQ.0) GO TO 22
      READ(5,13) (TIN(I),I=1,10)
      READ(5,13) (QIN(I),I=1,10)
   13 FORMAT(10F0.0)
      WRITE(6,3) NIN,NOUT,WO,WMAX,WNUM
    3 FORMAT(4X,37HNIN      NOUT      WO        WMAX      WNUM,/,2X,2(I5,3X),
     *(F6.2,3X))
      WRITE(6,10)
   10 FORMAT(4X,3HTIN,10X,3HQIN)
      WRITE(6,17) TIN(1),QIN(1)
   17 FORMAT(2(4X,F9.6))
      READ(5,14) (TOUT(K),K=1,19)
      READ(5,14) (XOUT(K),K=1,19)
   14 FORMAT(19F0.0)
      WRITE(6,11)
   11 FORMAT(5X,4HTOUT,9X,4HXOUT)
      WRITE(6,15) ((TOUT(K),XOUT(K)),K=1,19)
   15 FORMAT(2(4X,F9.6))
      DW=10.**(1./WNUM)
      W=0.
```

```
100 IF(W.GT.10.000)W=10.0
    IF(NIN.GT.1) GO TO 30
C   DIKDORTGEN PULSE GIRISI ICIN HESAPLAMA
    IF(W.EQ.0) GO TO 25
    G1=CMPLX(0.,W)
    G2=CMPLX(0.,-W*TIN(1))
    GDENOM=QIN(1)*(1.-CEXP(G2))/G1
    GO TO 50
C   SIFIR SIKLIGI ICIN
 25 GDENOM=CMPLX(QIN(1)*TIN(1),0.)
    GO TO 50
C   RASTGELE PULSE GIRISI ICIN HESAPLAMA
 30 IF(W.EQ.0.) GO TO 40
    G1=CMPLX(0.,W)
    G2=CMPLX(0.,-W*TIN(1))
    GDENOM=QIN(1)*((CEXP(G2)-1.)/(TIN(1)*W**2)-CEXP(G2)/G1)
    DO 35 N=2,NIN
    DELTA=TIN(N)-TIN(N-1)
    G2=CMPLX(0.,-W*DELTA)
    G3=CMPLX(0.,-W*TIN(N-1))
    G4=CEXP(G2)
    G5=(G4-1.)/(DELTA*W**2)
    GDENOM=GDENOM+CEXP(G3)*(QIN(N)*(G5-G4/G1)-QIN(N-1)*(G5-1./G1))
 35 CONTINUE
    GO TO 50
 40 AREA=QIN(1)*TIN(1)/2.
    DO 41 N=2,NIN
    DELTA=TIN(N)-TIN(N-1)
 41 AREA=AREA+(QIN(N)+QIN(N-1))*DELTA/2.
    GDENOM=CMPLX(AREA,0.)
C   RASTGELE CIKIS DEGISKENI ICIN HESAPLAMA
 50 IF(W.EQ.0.) GO TO 60
    G2=CMPLX(0.,-W*TOUT(1))
    GNUM=XOUT(1)*((CEXP(G2)-1.)/(TOUT(1)*W**2)-CEXP(G2)/G1)
    DO 55 N=2,NOUT
    DELTA=TOUT(N)-TOUT(N-1)
    G2=CMPLX(0.,-W*DELTA)
    G3=CMPLX(0.,-W*TOUT(N-1))
    G4=CEXP(G2)
    G5=(G4-1.)/(DELTA*W**2)
    GNUM=GNUM+CEXP(G3)*(XOUT(N)*(G5-G4/G1)-XOUT(N-1)*(G5-1./G1))
 55 CONTINUE
    GO TO 70
 60 AREA=XOUT(1)*TOUT(1)/2.
    DO 61 N=2,NOUT
    DELTA=TOUT(N)-TOUT(N-1)
 61 AREA=AREA+(XOUT(N)+XOUT(N-1))*DELTA/2.
    GNUM=CMPLX(AREA,0.)
C   ILETIM FONKSIYONUNU HESAPLAMA
 70 G=GNUM/GDENOM
    IF(W.EQ.0.) GO TO 90
    DB=20.*ALOG10(CABS(G)/ABS(GAIN))
    DEG=ATAN(AIMAG(G)/REAL(G))*180./3.1416
    IF((REAL(G)/GAIN).LT.0) DEG=DEG-180.
    AI=AIMAG(G)
    RE=REAL(G)
    WRITE(6,75) W,RE,AI,DB,DEG
```

```
75 FORMAT(2X,F10.3,2F10.5,2F10.2)
   IF(W.EQ.10.) GO TO 22
   W=W*DW
   GO TO 100
90 GAIN=REAL(G)
   WRITE(6,91) GAIN
91 FORMAT(1H1,17HSTEADYSTATE GAIN=,F10.3)
   WRITE(6,92)
92 FORMAT(1X,9HFREQUENCY,4X,4HREAL,4X,9HIMAGINARY,2X,3HLOG,1X,7HMODUL
  *US,3X,5HANGLE)
   WRITE(6,93)
93 FORMAT(1X,14H(RADIANS/TIME),25X,4H(DB),5X,9H(DEGREES))
   W=WO
   GO TO 100
22 STOP
   END
```

```
NIN      NOUT      WO       WMAX      WNUM
 1        19      0.10     10.00     20.00
TIN             QIN
 1.666000        1.000000
 TOUT            XOUT
 0.001660        0.192000
 0.166600        0.206500
 0.333300        0.218000
 0.500000        0.227200
 0.666600        0.234400
 0.833300        0.239800
 1.000000        0.243700
 1.166600        0.246500
 1.333300        0.248300
 1.500000        0.249300
 1.666600        0.237700
 1.833300        0.227600
 2.000000        0.218800
 2.166600        0.211400
 2.333300        0.205000
 2.500000        0.199600
 2.666600        0.195000
 2.833300        0.191200
 3.000000        0.188000
```

STEADYSTATE GAIN= 0.399

FREQUENCY (RADIANS/TIME)	REAL	IMAGINARY	LOG MODULUS (DB)	ANGLE (DEGREES)
0.100	0.39753	-0.02514	-0.02	-3.62
0.112	0.39688	-0.02818	-0.03	-4.06
0.126	0.39632	-0.03159	-0.03	-4.56
0.141	0.39561	-0.03540	-0.04	-5.11
0.158	0.39473	-0.03965	-0.05	-5.74
0.178	0.39361	-0.04440	-0.06	-6.44
0.200	0.39221	-0.04969	-0.08	-7.22
0.224	0.39045	-0.05557	-0.10	-8.10
0.251	0.38824	-0.06210	-0.13	-9.09
0.282	0.38547	-0.06932	-0.16	-10.19
0.316	0.38200	-0.07728	-0.21	-11.44
0.355	0.37767	-0.08600	-0.26	-12.83
0.398	0.37227	-0.09550	-0.33	-14.39
0.447	0.36554	-0.10576	-0.41	-16.14
0.501	0.35719	-0.11670	-0.52	-18.09
0.562	0.34686	-0.12821	-0.66	-20.29
0.631	0.33416	-0.14004	-0.84	-22.74
0.708	0.31863	-0.15183	-1.07	-25.48
0.794	0.29979	-0.16303	-1.36	-28.54
0.891	0.27719	-0.17283	-1.74	-31.94
1.000	0.25044	-0.18012	-2.24	-35.72
1.122	0.21938	-0.18340	-2.90	-39.90
1.259	0.18422	-0.18074	-3.79	-44.45
1.413	0.14584	-0.16974	-5.02	-49.33
1.585	0.10617	-0.14766	-6.83	-54.28
1.778	0.06863	-0.11146	-9.67	-58.42
1.995	0.03874	-0.05934	-15.01	-56.86
2.239	0.02456	0.01038	-23.50	22.92
2.512	0.03722	0.09626	-11.75	68.86
2.818	0.09224	0.19481	-5.35	64.66
3.162	0.22024	0.30841	-0.45	54.47
3.548	0.63511	0.56430	6.56	41.62
3.981	-0.31830	-0.17050	-0.87	-151.82
4.467	0.13708	0.01072	-9.25	4.47
5.012	0.20923	-0.05156	-5.35	-13.84
5.623	0.13994	-0.10090	-7.28	-35.79
6.310	0.00924	-0.00538	-31.44	-30.20
7.079	0.02410	0.44833	1.02	86.92
7.943	-0.20101	-0.29453	-0.98	-124.31
8.913	0.14356	0.04454	-8.48	17.24
10.000	0.13781	-0.05714	-8.55	-22.52

Ek 4. : Doğrusal Yaklaşım II yönteminin sayısal bilgisayar çözümü Fortran programı

Son üç programda kullanılan tüm semboller bu ekde gösterilmiştir.

```
LIST
SEND TO (SEMICOMPILED)
LIBRARY(SUBGROUPS2F7)
WORK(WORKFILE)
DUMP ON(PROGRAM FORT)
RUN
PROGRAM(XXXX)
INPUT5=CR4
OUTPUT6=LP3
END
MASTER PROG
SEMBOLLER:
NIN          :GIRIS PULSE VERI NOKTA SAYISI
NOUT         :CIKIS PULSENIN VERI NOKTA SAYISI
W            :SIKLIK DEGERI
WO           :ILK SIKLIK DEGERI
WMAX         :SIKLIK SON DEGERI
DW,WNUM      :SIKLIK ARTIM FAKTORU
X            :GIRIS DEGISKENININ BUYUKLUGU
Y            :CIKIS DEGISKENININ ADIM ARALIKLARINDAKI
              DEGERLERI
DLT1=DLT2    :GIRIS PULSENIN INTEGRAL ADIM ARALIGI
DLT3=DLT4    :CIKIS DEGISKENININ INTEGRAL ADIM ARALIGI
N2           :GIRIS PULSENIN VERI NOKTA SAYISI
N4           :CIKIS DEGISKENININ VERI NOKTA SAYISI
TIN          :GIRIS PULSENIN ADIM ARALIKLARINDA ZAMAN
              DEGERLERI
TOUT         :CIKIS DEGISKENININ ADIM ARALIKLARINDA
              ZAMAN DEGERLERI
GDENOM       :GIRIS PULSENIN FOURIER DONUSUMU
GNUM         :CIKIS PULSENIN FOURIER DONUSUMU
G            :ILETIM FONKSIYONU
DR           :GENLIK ORANI
DEG          :FAZ GECIKIMI
PULSE TEST PROGRAM
LINEAR YAKLASIM II
DIMENSION TIN(200),TOUT(200),X(200),Y(200)
COMPLEX G,G1,G2,G11,G12,FJW,FJ,SUM,SU,GD,GN
INTEGER RI,RL
READ INPUT AND OUTPUT DATA
READ(5,1)NIN,NOUT,WO,WMAX,WNUM
1 FORMAT(2I5,3F6.2)
IF(NIN.EQ.0) GO TO 22
READ(5,13) (X(I),I=1,10)
13 FORMAT(10F0.0)
READ(5,14) (Y(K),K=1,19)
14 FORMAT(19F0.0)
DLT1=0.1851
DLT2=0.1851
N1=1
```

```
      N2=10
      DLT3=0.1667
      DLT4=0.1667
      N3=1
      N4=19
      RI=1.
      RL=1.
      DW=10.**(1./WNUM)
      W=0.
      WRITE(6,3) NIN,NOUT,WO,WMAX,WNUM
    3 FORMAT(4X,37HNIN     NOUT      WO        WMAX       WNUM,/,2X,2(I5,7X),3
     *(F6.2,3X))
      TIN(1)=0.
      DO 6 N=2,N2
    6 TIN(N)=TIN(N-1)+0.1851
      WRITE(6,10)
   10 FORMAT(4X,3HTIN,10X,3HXIN)
      WRITE(6,17) TIN(10),X(10)
   17 FORMAT(2(4X,F9.6))
      TOUT(1)=0.
      DO 5 N=2,NOUT
    5 TOUT(N)=TOUT(N-1)+0.1667
      WRITE(6,11)
   11 FORMAT(5X,4HTOUT,9X,4HXOUT)
      WRITE(6,15) ((TOUT(K),Y(K)),K=1,19)
   15 FORMAT(2(4X,F9.6))
  100 IF(W.GT.10.000) W=10.0
      GD=CMPLX(0.,0.)
      SUM=CMPLX(0.,0.)
      IF(W.EQ.0) GO TO 50
C     INTEGRAL ADIM ARALIGI GIRIS PULSE ICIN SABITTIR
      IF(DLT1.EQ.DLT2) GO TO 12
      J=1
C     INTEGRAL ADIM ARALIGININ DEGISIMI
   18 GO TO (19,12),J
   19 MI=1
      MF=N1
      DLT=DLT1
      GO TO 76
   12 J=2
      MI=N1
      MF=N2
      DLT=DLT2
C     FOURIER DONUSUMUNU HESAPLA
   76 LRI=RI
      DO 30 I=MI,MF,RI
      G1=CMPLX(0.,-W*(I-1)*0.1851)
      G2=CEXP(G1)
      IF(I.EQ.MI.OR.I.EQ.MF) GO TO 24
      FJW=X(I)*G2
      GO TO 26
   24 FJW=0.5*X(I)*G2
   26 SUM=SUM+FJW*DLT
   30 CONTINUE
      GO TO(41,42),J
   41 GD=GD+SUM
      SUM=CMPLX(0.,0.)
```

```
      J=2
      GO TO 18
   42 GD=GD+SUM
      IF(W.GE.0.1) GO TO 83
C     SIFIR SIKLIGI ICIN
   50 AREA=0.
      IF(DLT1.EQ.DLT2) GO TO 62
      J=1
   60 GO TO(61,62),J
   61 MI=1
      MF=N1
      DLT=DLT1
      GO TO 65
   62 J=2
      MI=N1
      MF=N2
      DLT=DLT2
   65 LRI=RI
      DO 78 I=MI,MF,RI
      IF(I.EQ.MI.OR.I.EQ.MF) GO TO 79
      AREA=AREA+X(I)*DLT
      GO TO 78
   79 AREA=AREA+0.5*X(I)*DLT
   78 CONTINUE
      GO TO(81,82),J
   81 GD=GD+CMPLX(AREA,0.)
      AREA=0.
      J=2
      GO TO 60
   82 GD=GD+CMPLX(AREA,0.)
   83 GN=CMPLX(0.,0.)
      SU=CMPLX(0.,0.)
      IF(W.EQ.0) GO TO 111
C     INTEGRAL ADIM ARALIGI GIRIS PULSE ICIN SABITTIR
      IF(DLT3.EQ.DLT4) GO TO 105
      L=1
C     INTEGRAL ADIM ARALIGININ DEGISIMI
  102 GO TO(103,105),L
  103 MN=1
      MS=N3
      DLTS=DLT3
      GO TO 104
  105 L=2
      MN=N3
      MS=N4
      DLTS=DLT4
C     FOURIER DONUSUMUNU HESAPLA
  104 LRL=RL
      DO 40 K=MN,MS,RL
      G11=CMPLX(0.,-W*(K-1)*0.1667)
      G12=CEXP(G11)
      IF(K.EQ.MN.OR.K.EQ.MS) GO TO 106
      FJ=Y(K)*G12
      GO TO 108
  106 FJ=0.5*Y(K)*G12
  108 SU=SU+FJ*DLTS
   40 CONTINUE
```

```
      GO TO(109,110),L
  109 GN=GN+SU
      SU=CMPLX(0.,0.)
      L=2
      GO TO 102
  110 GN=GN+SU
      IF(W.GE.0.1) GO TO 86
C     STFIR SIKLIGI ICIN
  111 AR=0.
      IF(DLT3.EQ.DLT4) GO TO 112
      L=1
  113 GO TO(114,112),L
  114 MN=1
      MS=N3
      DLTS=DLT3
      GO TO 115
  112 L=2
      MN=N3
      MS=N4
      DLTS=DLT4
  115 LPL=RL
      DO 116 K=MN,MS,RL
      IF(K.EQ.MN.OR.K.EQ.MS) GO TO 117
      AR=AR+Y(K)*DLTS
      GO TO 116
  117 AR=AR+0.5*Y(K)*DLTS
  116 CONTINUE
      GO TO(118,119),L
  118 GN=GN+CMPLX(AR,0.)
      AR=0.
      L=2
      GO TO 113
  119 GN=GN+CMPLX(AR,0.)
   86 G=GN/GD
      IF(W.EQ.0.) GO TO 90
      DB=20.*ALOG10(CABS(G)/ABS(GAIN))
      DEG=ATAN(AIMAG(G)/REAL(G))*180./3.1416
      IF((REAL(G)/GAIN).LT.0) DEG=DEG-180.
      AI=AIMAG(G)
      RE=REAL(G)
      WRITE(6,75) W,RE,AI,DB,DEG
   75 FORMAT(2X,F10.3,2F10.5,2F10.2)
      IF(W.EQ.10.) GO TO 22
      W=W*DW
      GO TO 100
   90 GAIN=REAL(G)
      WRITE(6,91) GAIN
   91 FORMAT(1H1,17HSTEADYSTATE GAIN=,F10.3)
      WRITE(6,92)
   92 FORMAT(1X,9HFREQUENCY,4X,4HREAL,4X,9HIMAGINARY,2X,3HLOG,1X,7HMODUL
     *US,3X,5HANGLE)
      WRITE(6,93)
   93 FORMAT(1X,14H(RADIANS/TIME),25X,4H(DB),5X,9H(DEGREES))
      W=WO
      GO TO 100
   22 STOP
      END
```

NIN	NOUT	W0	WMAX	WNUM
10	19	0.10	10.00	20.00

TIN	QIN
1.665900	1.000000

TOUT	XOUT
0.000000	0.192000
0.166700	0.206500
0.333400	0.218000
0.500100	0.227200
0.666800	0.234400
0.833500	0.239800
1.000200	0.243700
1.166900	0.246500
1.333600	0.248300
1.500300	0.249300
1.667000	0.237700
1.833700	0.227600
2.000400	0.218800
2.167100	0.211400
2.333800	0.205000
2.500500	0.199600
2.667200	0.195000
2.833900	0.191200
3.000600	0.188000

STEADYSTATE GAIN= 0.399

FREQUENCY (RADIANS/TIME)	REAL	IMAGINARY	LOG MODULUS (DB)	ANGLE (DEGREES)
0.100	0.39754	-0.02515	-0.02	-3.62
0.112	0.39709	-0.02819	-0.03	-4.06
0.126	0.39653	-0.03160	-0.03	-4.56
0.141	0.39583	-0.03541	-0.04	-5.11
0.158	0.39494	-0.03967	-0.05	-5.74
0.178	0.39382	-0.04442	-0.06	-6.44
0.200	0.39242	-0.04971	-0.08	-7.22
0.224	0.39067	-0.05560	-0.10	-8.10
0.251	0.38846	-0.06213	-0.13	-9.09
0.282	0.38570	-0.06935	-0.16	-10.19
0.316	0.38224	-0.07731	-0.20	-11.43
0.355	0.37791	-0.08604	-0.26	-12.83
0.398	0.37252	-0.09555	-0.33	-14.39
0.447	0.36580	-0.10582	-0.41	-16.13
0.501	0.35746	-0.11678	-0.52	-18.09
0.562	0.34715	-0.12829	-0.66	-20.28
0.631	0.33446	-0.14014	-0.84	-22.73
0.708	0.31895	-0.15195	-1.06	-25.47
0.794	0.30014	-0.16317	-1.35	-28.53
0.891	0.27756	-0.17300	-1.73	-31.93
1.000	0.25085	-0.18073	-2.23	-35.71
1.122	0.21982	-0.18366	-2.88	-39.88
1.259	0.18469	-0.18105	-3.77	-44.43
1.413	0.14634	-0.17011	-5.01	-49.30
1.585	0.10668	-0.14808	-6.80	-54.23
1.778	0.06917	-0.11212	-9.63	-58.33
1.995	0.03930	-0.05981	-14.03	-56.69
2.239	0.02518	0.00907	-23.37	21.60
2.512	0.03798	0.09600	-11.75	69.42
2.818	0.09334	0.19481	-5.34	64.40
3.162	0.22219	0.30892	-0.42	54.27
3.548	0.63987	0.56520	6.60	41.45
3.981	-0.32067	-0.17127	-0.81	-151.89
4.467	0.13962	0.01023	-9.10	4.19
5.012	0.21336	-0.05341	-5.18	-14.05
5.623	0.14385	-0.10429	-7.03	-35.94
6.310	0.01135	-0.00755	-29.33	-33.64
7.079	0.02911	0.45818	1.21	86.36
7.943	-0.21166	-0.30520	-0.63	-124.74
8.913	0.15421	0.04606	-7.89	16.63
10.000	0.15442	-0.06543	-7.53	-22.96

Ek 5. : Trapezoidal yaklaşım yönteminin sayısal bilgisayar çözümü Fortran programı

```
LIST
SEND TO (SEMICOMPILED)
LIBRARY(SUBGROUPS2F7)
WORK(WORKFILE)
DUMP ON(PROGRAM FORT)
RUN
PROGRAM(XXXX)
INPUT5=CR4
OUTPUT6=LP3
END

MASTER PROG
PULSE TEST PROGRAM
TRAPEZOIDAL YAKLASIM
DIMENSION TIN(200),TOUT(200),X(200),Y(200)
COMPLEX G,G1,G2,G11,G12,FJW,FJ,SUM,SU,PO,PN,GD,GN
INTEGER RI,RL
READ INPUT AND OUTPUT DATA
READ(5,1)NIN,NOUT,WO,WMAX,WNUM
1 FORMAT(2I5,3F6.2)
IF(NIN.EQ.0) GO TO 22
READ(5,13) (X(I),I=1,10)
13 FORMAT(10F0.0)
READ(5,14) (Y(K),K=1,19)
14 FORMAT(19F0.0)
DLT1=0.1851
DLT2=0.1851
N1=1
N2=10
DLT3=0.1667
DLT4=0.1667
N3=1
N4=19
RI=1.
RL=1.
DW=10.**(1./WNUM)
W=0.
WRITE(6,3) NIN,NOUT,WO,WMAX,WNUM
3 FORMAT(4X,37HNIN      NOUT      WO        WMAX      WNUM,/,2X,2(I5,3X),3
*(F6.2,3X))
TIN(1)=0.
DO 6 N=2,N2
6 TIN(N)=TIN(N-1)+0.1851
WRITE(6,10)
10 FORMAT(4X,3HTIN,10X,3HQIN)
WRITE(6,17) TIN(10),X(10)
17 FORMAT(2(4X,F9.6))
TOUT(1)=0.
DO 5 N=2,NOUT
5 TOUT(N)=TOUT(N-1)+0.1667
WRITE(6,11)
11 FORMAT(5X,4HTOUT,9X,4HXOUT)
WRITE(6,15) ((TOUT(K),Y(K)),K=1,19)
15 FORMAT(2(4X,F9.6))
100 IF(W.GT.10.000) W=10.0
GD=CMPLX(0.,0.)
```

```
      SUM=CMPLX(0.,0.)
      IF(W.EQ.0) GO TO 50
C     INTEGRAL ADIM ARALIGI GIRIS PULSE ICIN SABITTIR
      IF(DLT1.EQ.DLT2) GO TO 12
      J=1
C     INTEGRAL ADIM ARALIGININ DEGISIMI
   18 GO TO (19,12),J
   19 MI=1
      MF=N1
      DLT=DLT1
      GO TO 76
   12 J=2
      MI=N1
      MF=N2
      DLT=DLT2
C     FOURIER DONUSUMUNU HESAPLA
   76 LRI=RI
      DO 30 I=MI,MF,RI
      G1=CMPLX(0.,-W*(I-1)*0.1851)
      G2=CEXP(G1)
      IF(I.EQ.MI.OR.I.EQ.MF) GO TO 24
      FJW=X(I)*G2
      GO TO 26
   24 FJW=0.5*X(I)*G2
   26 SUM=SUM+FJW*DLT
   30 CONTINUE
      GO TO(41,42),J
   41 GD=GD+SUM
      SUM=CMPLX(0.,0.)
      J=2
      GO TO 18
   42 GD=GD+SUM
      IF(W.GE.0.1) GO TO 83
C     SIFIR SIKLIGI ICIN
   50 AREA=0.
      IF(DLT1.EQ.DLT2) GO TO 62
      J=1
   60 GO TO (61,62),J
   61 MI=1
      MF=N1
      DLT=DLT1
      GO TO 65
   62 J=2
      MI=N1
      MF=N2
      DLT=DLT2
   65 LRI=RI
      DO 78 I=MI,MF,RI
      IF(I.EQ.MI.OR.I.EQ.MF) GO TO 79
      AREA=AREA+X(I)*DLT
      GO TO 78
   79 AREA=AREA+0.5*X(I)*DLT
   78 CONTINUE
      GO TO (81,82),J
   81 GD=GD+CMPLX(AREA,0.)
      AREA=0.
      J=2
```

```
      GO TO 60
   82 GD=GD+CMPLX(AREA,0.)
   83 GN=CMPLX(0.,0.)
      SU=CMPLX(0.,0.)
      IF(W.EQ.0) GO TO 111
C     INTEGRAL ADIM ARALIGI GIRIS PULSE ICIN SABITTIR.
      IF(DLT3.EQ.DLT4) GO TO 105
      L=1
C     INTEGRAL ADIM ARALIGININ DEGISIMI
  102 GO TO(103,105),L
  103 MN=1
      MS=N3
      DLTS=DLT3
      GO TO 104
  105 L=2
      MN=N3
      MS=N4
      DLTS=DLT4
C     FOURIER DONUSUMUNU HESAPLA
  104 LPL=RL
      G3=W*DLTS
      G4=G3/2.
      G5=COS(G3)
      G6=SIN(G3)
      G7=SIN(G4)
      G8=(1.-G5)/G3**2
      G9=(G3-G6)/G3**2
      PO=CMPLX(G8,-G9)
      PN=CMPLX(G8,G9)
      DO 40 K=MN,MS,RL
      G11=CMPLX(0.,-W*(K-1)*0.1667)
      G12=CEXP(G11)
      IF(K.EQ.MN) GO TO 106
      IF(K.EQ.MS) GO TO 107
      FJ=Y(K)*G12*(G7/G4)**2
      GO TO 108
  106 FJ=Y(K)*G12*PO
      GO TO 108
  107 FJ=Y(K)*G12*PN
  108 SU=SU+FJ*DLTS
   40 CONTINUE
      GO TO (109,110),L
  109 GN=GN+SU
      SU=CMPLX(0.,0.)
      L=2
      GO TO 102
  110 GN=GN+SU
      IF(W.GE.0.1) GO TO 86
C     SIFIR SIKLIGI ICIN
  111 AR=0.
      IF(DLT3.EQ.DLT4) GO TO 112
      L=1
  113 GO TO (114,112),L
  114 MN=1
      MS=N3
      DLTS=DLT3
      GO TO 115
```

```
112 L=2
    MN=N3
    MS=N4
    DLTS=DLT4
115 LRL=RL
    DO 116 K=MN,MS,RL
    IF(K.EQ.MN.OR.K.EQ.MS) GO TO 117
    AR=AR+Y(K)*DLTS
    GO TO 116
117 AR=AR+0.5*Y(K)*DLTS
116 CONTINUE
    GO TO (118,119),L
118 GN=GN+CMPLX(AR,0.)
    AR=0.
    L=2
    GO TO 113
119 GN=GN+CMPLX(AR,0.)
 86 G=GN/GD
    IF(W.EQ.0.) GO TO 90
    DB=20.*ALOG10(CABS(G)/ABS(GAIN))
    DEG=ATAN(AIMAG(G)/REAL(G))*180./3.1416
    IF((REAL(G)/GAIN).LT.0) DEG=DEG-180.
    AI=AIMAG(G)
    RE=REAL(G)
    WRITE(6,75) W,RE,AI,DB,DEG
 75 FORMAT(2X,F10.3,2F10.5,2F10.2)
    IF(W.EQ.10.) GO TO 22
    W=W*DW
    GO TO 100
 90 GAIN=REAL(G)
    WRITE(6,91) GAIN
 91 FORMAT(1H1,17HSTEADYSTATE GAIN=,F10.3)
    WRITE(6,92)
 92 FORMAT(1X,9HFREQUENCY,4X,4HREAL,4X,9HIMAGINARY,2X,3HLOG,1X,7HMODUL
   *US,3X,5HANGLE)
    WRITE(6,93)
 93 FORMAT(1X,14H(RADIANS/TIME),25X,4H(DB),5X,9H(DEGREES))
    W=WO
    GO TO 100
 22 STOP
    END
```

NIN	NOUT	WO	WMAX	WNUM
10	19	0.10	10.00	20.00

TIN	QIN
1.665900	1.000000

TOUT	XOUT
0.000000	0.192000
0.166700	0.206500
0.333400	0.218000
0.500100	0.227200
0.666800	0.234400
0.833500	0.239800
1.000200	0.243700
1.166900	0.246500
1.333600	0.248300
1.500300	0.249300
1.667000	0.237700
1.833700	0.227600
2.000400	0.218800
2.167100	0.211400
2.333800	0.205000
2.500500	0.199600
2.667200	0.195000
2.833900	0.191200
3.000600	0.188000

STEADYSTATE GAIN= 0.399

FREQUENCY (RADIANS/TIME)	REAL	IMAGINARY	LOG MODULUS (DB)	ANGLE (DEGREES)
0.100	0.39754	-0.02515	-0.02	-3.62
0.112	0.39710	-0.02820	-0.03	-4.06
0.126	0.39654	-0.03160	-0.03	-4.56
0.141	0.39584	-0.03541	-0.04	-5.11
0.158	0.39495	-0.03967	-0.05	-5.74
0.178	0.39384	-0.04442	-0.06	-6.44
0.200	0.39245	-0.04972	-0.08	-7.22
0.224	0.39070	-0.05561	-0.10	-8.10
0.251	0.38850	-0.06214	-0.13	-9.09
0.282	0.38575	-0.06937	-0.16	-10.19
0.316	0.38230	-0.07773	-0.20	-11.44
0.355	0.37799	-0.08607	-0.26	-12.83
0.398	0.37261	-0.09558	-0.32	-14.39
0.447	0.36591	-0.10586	-0.41	-16.14
0.501	0.35760	-0.11683	-0.52	-18.09
0.562	0.34732	-0.12877	-0.65	-20.28
0.631	0.33467	-0.14025	-0.83	-22.74
0.708	0.31920	-0.15210	-1.06	-25.48
0.794	0.30043	-0.16336	-1.35	-28.54
0.891	0.27789	-0.17325	-1.72	-31.94
1.000	0.25120	-0.18065	-2.21	-35.72
1.122	0.22018	-0.18406	-2.87	-39.89
1.259	0.18504	-0.18152	-3.75	-44.45
1.413	0.14663	-0.17064	-4.98	-49.33
1.585	0.10686	-0.14860	-6.77	-54.28
1.778	0.06917	-0.11248	-9.61	-58.41
1.995	0.03910	-0.05976	-14.95	-56.80
2.239	0.02486	0.01085	-23.36	23.59
2.512	0.03788	0.09837	-11.57	68.94
2.818	0.09437	0.19960	-5.15	64.70
3.162	0.22653	0.31750	-0.20	54.49
3.548	0.65693	0.58411	6.86	41.64
3.981	-0.33095	-0.17753	-0.53	-151.79
4.467	0.14662	0.01160	-8.67	4.53
5.012	0.22601	-0.05557	-4.69	-13.81
5.623	0.15378	-0.11079	-6.47	-35.77
6.310	0.00987	-0.00507	-31.12	-27.17
7.079	0.02782	0.52656	2.42	86.98
7.943	-0.24533	-0.36017	0.76	-124.26
8.913	0.18956	0.05900	-6.07	17.29
10.000	0.19625	-0.08117	-5.48	-22.47

Ek 6. : Parabolik yaklaşım yönteminin sayısal bilgisayar çözümü Fortran programı.

```
      LIST
      SEND TO (SEMICOMPILED)
      LIBRARY(SUBGROUPS2F7)
      WORK(WORKFILE)
      DUMP ON(PROGRAM FORT)
      RUN
      PROGRAM(XXXX)
      INPUT5=CR4
      OUTPUT6=LP3
      END
      MASTER PROG
C     PULSE TEST PROGRAM
C     PARABOLIK YAKLASIM
      DIMENSION TIN(200),TOUT(200),X(200),Y(200)
      COMPLEX G,G1,G2,G11,G12,FJW,FJ,SUM,SU,PO,P2N,GD,GN
      INTEGER RI,RL
C     READ INPUT AND OUTPUT DATA
      READ(5,1)NIN,NOUT,WO,WMAX,WNUM
    1 FORMAT(2I5,3F6.2)
      IF(NIN.EQ.0) GO TO 22
      READ(5,13) (X(I),I=1,10)
   13 FORMAT(10F0.0)
      READ(5,14) (Y(K),K=1,19)
   14 FORMAT(19F0.0)
      DLT1=0.1851
      DLT2=0.1851
      N1=1
      N2=10
      DLT3=0.1667
      DLT4=0.1667
      N3=1
      N4=19
      RI=1.
      RL=1.
      DW=10.**(1./WNUM)
      W=0.
      WRITE(6,3) NIN,NOUT,WO,WMAX,WNUM
    3 FORMAT(4X,37HNIN     NOUT      WO       WMAX      WNUM,/,2X,2(I5,3X),3
     *(F6.2,3X))
      TIN(1)=0.
      DO 6 N=2,N2
    6 TIN(N)=TIN(N-1)+0.1851
      WRITE(6,10)
   10 FORMAT(4X,3HTIN,10X,3HQIN)
      WRITE(6,17) TIN(10),X(10)
   17 FORMAT(2(4X,F9.6))
      TOUT(1)=0.
      DO 5 N=2,NOUT
    5 TOUT(N)=TOUT(N-1)+0.1667
      WRITE(6,11)
   11 FORMAT(5X,4HTOUT,9X,4HXOUT)
      WRITE(6,15) ((TOUT(K),Y(K)),K=1,19)
   15 FORMAT(2(4X,F9.6))
  100 IF(W.GT.10.000) W=10.0
      GD=CMPLX(0.,0.)
```

```
      SUM=CMPLX(0.,0.)
      IF(W.EQ.0) GO TO 50
C     INTEGRAL ADIM ARALIGI GIRIS PULSE ICIN SABITTIR
      IF(DLT1.EQ.DLT2) GO TO 12
      J=1
C     INTEGRAL ADIM ARALIGININ DEGISIMI
   18 GO TO (19,12),J
   19 MI=1
      MF=N1
      DLT=DLT1
      GO TO 76
   12 J=2
      MI=N1
      MF=N2
      DLT=DLT2
C     FOURIER DONUSUMUNU HESAPLA
   76 LPI=RI
      DO 30 I=MI,MF,RI
      G1=CMPLX(0.,-W*(I-1)*0.1851)
      G2=CEXP(G1)
      IF(I.EQ.MI.OR.I.EQ.MF) GO TO 24
      FJW=X(I)*G2
      GO TO 26
   24 FJW=0.5*X(I)*G2
   26 SUM=SUM+FJW*DLT
   30 CONTINUE
      GO TO(41,42),J
   41 GD=GD+SUM
      SUM=CMPLX(0.,0.)
      J=2
      GO TO 18
   42 GD=GD+SUM
      IF(W.GE.0.1) GO TO 83
C     SIFIR SIKLIGI ICIN
   50 AREA=0.
      IF(DLT1.EQ.DLT2) GO TO 62
      J=1
   60 GO TO(61,62),J
   61 MI=1
      MF=N1
      DLT=DLT1
      GO TO 65
   62 J=2
      MI=N1
      MF=N2
      DLT=DLT2
   65 LPI=RI
      DO 78 I=MI,MF,RI
      IF(I.EQ.MI.OR.I.EQ.MF) GO TO 79
      AREA=AREA+X(I)*DLT
      GO TO 78
   79 AREA=AREA+0.5*X(I)*DLT
   78 CONTINUE
      GO TO(81,82),J
   81 GD=GD+CMPLX(AREA,0.)
      AREA=0.
      J=2
```

```
      GO TO 60
   82 GD=GD+CMPLX(AREA,0.)
   83 GN=CMPLX(0.,0.)
      SU=CMPLX(0.,0.)
      IF(W.EQ.0) GO TO 111
C     INTEGRAL ADIM ARALIGI GIRIS PULSE ICIN SABITTIR.
      IF(DLT3.EQ.DLT4) GO TO 105
      L=1
C     INTEGRAL ADIM ARALIGININ DEGISIMI
  102 GO TO(103,105),L
  103 MN=1
      MS=N3
      DLTS=DLT3
      GO TO 104
  105 L=2
      MN=N3
      MS=N4
      DLTS=DLT4
C     FOURIER DONUSUMUNU HESAPLA
  104 LRL=RL
      G3=W*DLTS
      G4=G3/2.
      G5=COS(G3)
      G6=SIN(G3)
      G7=COS(G4)
      G8=SIN(G4)
      G9=2.*(3.+G5-4.*G6/G3)/G3**2
      G10=2.*(G3-4./G3-4.*G5/G3+G6)/G3**2
      IF(L.EQ.2) GO TO 106
      P0=CMPLX(G9,-G10)
      P2N=CMPLX(G9,G10)
  106 PODD=16.*(-G7+2.*G8/G3)/G3**2
      PEVEN=4.*(3.+G5-4.*G6/G3)/G3**2
      G11=CMPLX(0.,-W*(MN-1)*0.1667)
      G12=CEXP(G11)
      IF(L.EQ.2) DLTS=DLT3
      SU=SU+DLTS*(P0*Y(MN)*G12)/2.
      G11=CMPLX(0.,-W*(MS-1)*0.1667)
      G12=CEXP(G11)
      SU=SU+DLTS*(P2N*Y(MS)*G12)/2.
      IF(L.EQ.2) DLTS=DLT4
      M1=MS
      L1=MN+RL
      DO 107 K=L1,M1,RL
      G11=CMPLX(0.,-W*(K-1)*0.1667)
      G12=CEXP(G11)
      FJ=Y(K)*G12*PODD
  107 SU=SU+DLTS*FJ/2.
      M2=MS-RL
      L1=MN+RL
      DO 108 K=L1,M2,RL
      G11=CMPLX(0.,-W*(K-1)*0.1667)
      G12=CEXP(G11)
      FJ=Y(K)*G12*PEVEN
  108 SU=SU+DLTS*FJ/2.
      GO TO (31,32),L
   31 GN=GN+SU
```

```
      SU=CMPLX(0.,0.)
      L=2
      GO TO 102
   32 GN=GN+SU
      IF(W.GE.0.1) GO TO 86
C     SIFIR SIKLIGI ICIN(SIMPSON  KURALI)
  111 ODD=0.
      EVEN=0.
      IF(DLT3.EQ.DLT4) GO TO 109
      L=1
  110 GO TO (112,109),L
  112 MN=1
      MS=N3
      DLTS=DLT3
      GO TO 113
  109 L=2
      MN=N3
      MS=N4
      DLTS=DLT4
  113 LRL=RL
      AR=DLTS*(Y(MN)+Y(MS))/6.
      M1=MS
      L1=MN+RL
      DO 114 K=L1,M1,RL
  114 ODD=ODD+Y(K)
      M2=MS-RL
      L1=MN+RL
      DO 115 K=L1,M2,RL
  115 EVEN=EVEN+Y(K)
      AR=AR+DLTS*(4.*ODD+2.*EVEN)/6.
      GO TO (116,117),L
  116 GN=GN+CMPLX(AR,0.)
      ODD=0.
      EVEN=0.
      L=2
      GO TO 110
  117 GN=GN+CMPLX(AR,0.)
   86 G=GN/GD
      IF(W.EQ.0.) GO TO 90
      DB=20.*ALOG10(CABS(G)/ABS(GAIN))
      DEG=ATAN(AIMAG(G)/REAL(G))*180./3.1416
      IF((REAL(G)/GAIN).LT.0) DEG=DEG-180.
      AI=AIMAG(G)
      RE=REAL(G)
      WRITE(6,75) W,RE,AI,DB,DEG
   75 FORMAT(2X,F10.3,2F10.5,2F10.2)
      IF(W.EQ.10.) GO TO 22
      W=W*DW
      GO TO 100
   90 GAIN=REAL(G)
      WRITE(6,91) GAIN
   91 FORMAT(1H1,17HSTEADYSTATE GAIN=,F10.3)
      WRITE(6,92)
   92 FORMAT(1X,9HFREQUENCY,4X,4HREAL,4X,9HIMAGINARY,2X,3HLOG,1X,7HMODUL
     *US,3X,5HANGLE)
      WRITE(6,93)
```

```
93 FORMAT(1X,14H(RADIANS/TIME),25X,4H(DB),5X,9H(DEGREES))
   W=WO
   GO TO 100
22 STOP
   END
```

```
NIN      NOUT      WO       WMAX      WNUM
 10       19       0.10     10.00     20.00
TIN              GIN
 1.665900         1.000000
 TOUT             XOUT
 0.000000         0.192000
 0.166700         0.206500
 0.333400         0.218000
 0.500100         0.227200
 0.666800         0.234400
 0.833500         0.239800
 1.000200         0.243700
 1.166900         0.246500
 1.333600         0.248300
 1.500300         0.249300
 1.667000         0.237700
 1.833700         0.227600
 2.000400         0.218800
 2.167100         0.211400
 2.333800         0.205000
 2.500500         0.199600
 2.667200         0.195000
 2.833900         0.191200
 3.000600         0.188000
```

STEADYSTATE GAIN= 0.399

FREQUENCY (RADIANS/TIME)	REAL	IMAGINARY	LOG MODULUS (DB)	ANGLE (DEGREES)
0.100	0.39102	-0.02662	-0.16	-3.90
0.112	0.39056	-0.02985	-0.16	-4.37
0.126	0.38998	-0.03346	-0.17	-4.90
0.141	0.38926	-0.03749	-0.18	-5.50
0.158	0.38835	-0.04200	-0.19	-6.17
0.178	0.38720	-0.04703	-0.20	-6.92
0.200	0.38577	-0.05263	-0.22	-7.77
0.224	0.38396	-0.05886	-0.24	-8.72
0.251	0.38170	-0.06578	-0.26	-9.78
0.282	0.37886	-0.07342	-0.29	-10.97
0.316	0.37531	-0.08185	-0.33	-12.30
0.355	0.37087	-0.09110	-0.38	-13.80
0.398	0.36534	-0.10116	-0.45	-15.48
0.447	0.35845	-0.11204	-0.53	-17.36
0.501	0.34991	-0.12365	-0.63	-19.46
0.562	0.33937	-0.13585	-0.76	-21.82
0.631	0.32641	-0.14841	-0.93	-24.45
0.708	0.31059	-0.16095	-1.15	-27.39
0.794	0.29146	-0.17288	-1.42	-30.67
0.891	0.26856	-0.18337	-1.78	-34.33
1.000	0.24157	-0.19127	-2.25	-38.37
1.122	0.21040	-0.19504	-2.87	-42.83
1.259	0.17539	-0.19269	-3.70	-47.69
1.413	0.13762	-0.18179	-4.86	-52.87
1.585	0.09932	-0.15962	-6.54	-58.11
1.778	0.06435	-0.12343	-9.15	-62.46
1.995	0.03880	-0.07111	-13.85	-61.38
2.239	0.03153	-0.00216	-22.03	-3.91
2.512	0.05480	0.08115	-12.20	55.97
2.818	0.12620	0.17352	-5.39	53.97
3.162	0.28332	0.27354	-0.12	43.99
3.548	0.80429	0.48619	7.44	31.15
3.981	-0.44793	-0.16173	1.87	-160.93
4.467	0.10227	-0.03314	-11.39	-17.96
5.012	0.18948	-0.11180	-5.17	-30.54
5.623	0.12857	-0.15917	-5.80	-51.07
6.310	0.03714	-0.04715	-16.46	-51.78
7.079	0.28878	0.49849	1.48	59.70
7.943	-0.44016	-0.31705	2.67	-144.23
8.913	0.13464	-0.05941	-8.67	-23.81
10.000	0.18184	-0.18873	-3.65	-46.07

REFERANSLAR

1. ALPBAZ, M.
   Ph.D. Thesis, University of Aston England (1975).
2. SELEK, A.
   M.Sc. Thesis, Anadolu University (1983) .
3. KAYTAKOĞLU, S.
   M.Sc. Thesis, Anadolu University (1983).
4. ÖZKAN, C.
   M.Sc. Thesis, Anadolu University (1983).
5. LUYBEN, W.L.
   Process Modelling Simulation and Control for Chemical Engineers, Mc-Graw Hill.Comp, Kogakusha(1973).
6. WATANABE, N. , MATSUBARA , M.
   Jorn of Chem. Eng. of Japan, 14,78 (1981) .
7. DREİFKE, G.E.
   Ph.D. Thesis, Washington University, USA (1961) .
8. HOUGEN, J.O., WALSH, A.A.
   Chem. Eng. Progress, 67,69 (1961).
9. MESSA, C.J., LUYBEN, W.L., POEHLİN, G.W.
   Ind. Eng. Chem. Fund, 8,745 (1969) .
10. RAKE, H.
    Automatica, 16,519 (1980) .
11. MİCHAEL, J.H.
    Ph.D. Thesis Aston University England (1977).
12. DESPANDE, P.B.,LAUKHUF., NADKİSHOR, G.P.
    Chem.Eng. Ed., Winter 26 (1980).
13. DESPANDE, P.B.
    A.I Chem. Eng, 26,305 (1980).

14. LEVY, E.C.
IRE Trans. Aut, Cont ., 4,37 (1959).

15. SANATHANAN, C.K., KOERNER, J.
IEEE Trans. Aut. Cont ., 8,56 (1963) .

16. LIN , K.F., WU , L.L.
Chem Eng. Sci., 36,435 (1980).

17. PAYNE, P.A.
IEEE Trans. Aut Cont ., 15,480 (1970) .

18. LAWRANCE , P.J., ROGERS, G.J.
Proc. IEE, 126,104 (1979).

19. HİÇŞAŞMAZ, Z.
M.Sc. Ortadoğu Teknik Üniversitesi (1982) .

20. CRESWELL, D.L.
Summer School On Modelling of Dynamical Systems Based on Experimental Data With Chemical Engineering Applications (1980) .

21. EROĞLU İ.
Ph. D. Thesis Ortadoğu Teknik Üniversitesi (1981) .

22. LUBBERT, A., DİEKMANN, J. ROTZOLL, G.
Proceedings of A Summer School Held At Bad Honnef P 223 (1982) .