T. C.
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOLGULU DESTİLASYON KOLONUNUN PULSE VE İMPULSE ETKİSİNDE DİNAMİĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

H. Canan Başkurt

MÜHENDİSLİK - MİMARLIK FAKÜLTESİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
ESKİŞEHİR, 1985

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımda beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen Doç.Dr. Mustafa Alpbaz'a,büyük yardımlarını gördüğüm Yard.Doç.Dr. Mustafa Kara'ya, gerekli kolaylığı sağlayan G.Ü. Müh-Mim.Fak. Kimya Müh.Bölüm Başkanı Yard. Doç.Dr. Ahmet Biçer'e, bana büyük destek olan değerli arkadaşım Yavuz Cabbar'a ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

Bu araştırmada dolgulu destilasyon kolonunun besleme derişimine verilen pulse ve impulse etkisinde çıkış değişkenlerinin zamana göre değişimleri sayısal bilgisayarda çözülerek incelenmiştir. Elde edilen veriler yardımıyla sistemin çıkış değişkenleri eşit integral aralıklarına bölünerek sıklık bazına göre iletim fonksiyonları ve ilgili Bode diyagramları Fourier dönüşümlerinin integrallerinin alınması ile hesaplanmıştır. İntegral işlemleri doğrusal I ve trapezoidal yaklaşımlar ile yapılmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda üst ve alt ürünlerinin Bode diyagramları belli bir frekanstan sonra kararsızlık göstermişlerdir.

ABSTRACT

In this research, when the packed distillation column were under the effect of the pulse and impulse changes given to the feed concentration, the changes of the output variables with time were calculated. With the aid of the data obtained from this calculation, the output variables were divided into equal values of integral step increment. 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 two different methods which were Linear I and Trapezoidal approximations. In the result of this calculations the product of the top and bottom sections showed anstability after some frequency.

İÇİNDEKİLER

SEMBOLLER

a Islanmış yüzey $(\frac{cm^2}{cm^3})$

A Yüzey (cm^2)

B Kazandan çıkan sıvı akış hızı $(\frac{mol}{dak})$; $(\frac{EMY}{dak})$

E Kademe etkinliği

F Besleme akış hızı $(\frac{mol}{dak})$; $(\frac{EMY}{dak})$

|G| Genlik oranı

G(iw) Sıklık temeline göre iletim fonksiyonu

h_L Kolonda her kademe için sıvı birikim miktarı (mol); (EMM); $(\frac{g}{cm^3})$

H_L Kazan sıvı miktarı (mol); (EMM)

K_Y Kütle iletim katsayısı $(\frac{g}{cm^2\ dak})$; $(\frac{mol}{cm^2\ dak})$; $(\frac{EMM}{cm^2\ dak})$

L Sıvı akış hızı $(\frac{mol}{dak})$; $(\frac{EMY}{dak})$

n Kademe sayısı

s Laplace operatörü

S Yüzey (cm^2)

T Sıcaklık (^oC)

T_Q Giriş pulse değişiminin kalma süresi (dak)

T_X Çıkış pulse değişiminin kalma süresi (dak)

V Gaz akış hızı $(\frac{mol}{dak})$; $(\frac{EMY}{dak})$

W Pulse fonksiyonunun sıklık değeri (radyan)

θ_1	Çıkış değişkeni
θ_2	Giriş değişkeni
x	Sıvı fazın derişimi ($\frac{mol}{mol}$); (EMY)
x^0	Sıvı fazı başlangıç derişimi
y	Gaz fazı derişimi ($\frac{mol}{mol}$); (EMY)
y^0	Gaz fazı başlangıç derişimi
y^*	x ile dengede olan buhar derişimi ($\frac{mol}{mol}$); (EMY)
z	Kolon uzunluğu (cm)
Δz	Kademeler arası uzaklık (cm)
ρ	Yoğunluk ($\frac{g}{cm^3}$)
φ	Faz gecikimi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Ekstraksiyon, absorpsiyon ve destilasyon işlemlerinin yapıldığı dolgulu kolonların dinamik özellikleri kuramsal olarak dağılımlı-parametreli sistemler (Distributed parameter system) olarak tanımlanırlar. Bu tür işlemler zaman ve uzay değişkenlerine bağlı olarak, kısmi türevli differansiyel denklemler ile ifade edilirler.

Yukarıda belirtilen sistemlere karşın, tepsi tipi destilasyon kolonlarının dinamik özelliklerine benzer yapıda olanlara kademeli-parametreli sistemler (Lumped-parameter system) olarak tanımlanırlar. Bu işlemlerde birçok fiziksel özellikler kademeler içinde homojen olarak dağılırlar ve bir adi türevli diferansiyel denklem dizisi ile ifade edilirler.

Literatürde, dağılımlı ve kademeli-parametreli sistemlerin dinamiği ve kontrolu üzerine, kuramsal ve deneysel olarak yapılmış birçok araştırmaya rastlanır {1,2,3}. Bu araştırmalarda, bir sistemin kontrolu için yapılan tasarım hesaplarında, aynı sistemin dinamik bulgularından yararlanılması gerektiği vurgulanmış, ayrıca geri beslemeli kontrol sistemleri için ölçümlerin alındığı yerlerin önemi ve kontrol sistemlerinin etkinliği üzerinde de durulmuştur. Bu tip çalışmalarda, kademeli-parametreli sistemlerin matematiksel çözüm yöntemleri, dağılımlı-parametreli sistemlerden daha kolay olduğundan, eşit kademelere bölerek hesaplamalar yapılmıştır.

Dağılımlı-parametreli sistemlerden, ısı değiştiricileri ile, dolgulu, ekstraksiyon ve absorbsiyon kolonlarının dinamiği ve kontroluna ait literatürde fazla miktarda çalışma olmasına karşın, dolgulu destilasyon kolonlarının dinamiği üzerinde çalışmalara az rastlanmıştır.

Bu araştırmada dolgulu destilasyon kolonunun dinamik özellikleri besleme derişimine pulse ve impulse etkisi verilmesi ile incelenmiştir. Bu amaçla su-formik asit destilasyonu seçilmiştir. Bu çalışmada Alpbaz'ın [1] dolgulu destilasyon kolonu için verdiği dağılımlı-parametreli sistem modelinin Taylor açılımı yardımıyla elde edilen kademeli-parametreli sistem modeli kullanılmıştır. Kullanılan kademeli-parametreli model kolonun 20 kademeye bölünmesi ve bir kazan kademesinin eklenmesi ile 42 adet eş zamanlı adi türevli differansiyel denklem içermektedir. Bu modelde gaz birikim miktarı kolon içinde sıfır alınmış ve diferansiyel denklem sayısı 21'e düşürülmüştür.

Su ve formik asidin buharlaşma ısıları eşit olmadığından sıvı ve buhar akış hızları kolon boyunca değişmektedir. Bu ise modele doğrusal olmayan bir özellik katmaktadır. Buna engel olmak için hesaplamalar eşlenik mol yüzdesi (Fictitious mol fraction) cinsinden yapılmıştır. Bu hesaplama yöntemi, kolon içinde sıvı birikim miktarı ile sıvı ve gaz akış hızlarının kademeler arasında ve dinamik süre içinde sabit kaldığı yaklaşımını modele getirmiştir.

Yapılan kuramsal çalışmada yukarıda belirtilen modelin çözümü için bilgisayar çözüm yöntemi önerilmiştir. Çözüm için gerekli olan su-formik asit denge eğrisi, POLREG (Polynomial Regression) paket programı yardımı ile bir denklem olarak elde edilmiştir. Model çözümleri için önce yatışkın-hal denklemlerinden, Newton-Ralphson dene-bul yöntemi ile $K_y aS$ çarpımı ve başlangıç anındaki kademelere giriş derişimleri hesaplanmıştır. Bu bulguların yardımı ile yatışkın olmayan-hal denklemleri Runga-Kutta yöntemi ile sayısal bilgisayarda çözülmüştür. Üst ve kazan ürünlerinin derişimlerinin zamana göre değişimleri kuramsal olarak hesap edilmiştir.

Kolon yatışkın-hal'de çalışırken, besleme çözeltisinin formik asit derişiminde yapılan pulse ve impulse değişimlerinin kolonun dinamik özelliklerine olan etkisi incelenmiştir. Kolon ilk yatışkın-hale gelirken üst ve kazan ürünleri derişimlerinin zamana göre değişimleri kuramsal olarak hesaplanmıştır.

Bu araştırmada ayrıca dolgulu destilasyon kolonunun giriş besleme derişimine verilen pulse ve impulse etkilerinde sistemin çıkış değişkenlerinin zamana göre değişimlerinden elde edilen veriler yardımıyla ilgili Bode diyagramlarının kuramsal hesaplamaları yapılmıştır. Bu hesaplamalar için Fourier dönüşümlerinin integral işlemi için Doğrusal-I {4} ve Trapezoidal {5} yaklaşım yöntemi kullanılmıştır. Önce sistemin besleme derişimine pulse ve impulse değişimi verilmiş üst ve alt ürünlerinin zamana göre değişimleri eşit değerlerde integral adım aralıklarına bölünerek çıkış değişkenlerinin bu adımlardaki noktaları belirlenmiştir. Sonra bu noktalardan yararlanılarak Fourier dönüşümlerinin integral işlemleri yukarıda verilen iki yöntemle yapılmıştır. Bilgisayar hesaplama sonuçlarından faz gecikimi, φ, ve genlik oranı, $|G|$, bulunarak Bode diyagramları çizilmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Dolgulu Destilasyon Kolonlarının Dinamiği Üzerinde Yapılan Çalışmalar

Heinke ve Wagner {6}, dolgulu destilasyon kolonlarının matematik modellenmesi üzerinde çalışma yapmışlardır. Modellerin çözümünde, değişkenlere ayırma ve seri açılımı yöntemlerini kullanmışlardır. Çözümler parametrelerdeki büyük değişiklikler, için geçerli değildir.

Tommosi ve Rice {3}, dolgulu destilasyon kolonun dinamik özelliklerini geri akma oranına verilen kademe değişimi ile incelemişlerdir. Modeli Laplace dönüşümü yöntemi ile çözmüşlerdir. Yapılan çalışma deneysel sonuçlar ile yaklaşım göstermiştir.

Steiner ve Barendreght {6} geri karışım yaklaşımını içeren modelin bilgisayar çözümü ile kolon boyunca derişim profilini bulmuşlardır.

Alpbaz {1}, dolgulu destilasyon kolonunun dinamiğini incelemek için kuramsal bir model kurmuş ve deneysel çalışmalar ile modelin geçerliliğini sağlamıştır. Besleme derişimine kademe değişiminin dolgulu destilasyon kolonunun dinamiği üzerindeki etkilerini incelemiştir.

2.2. Pulse-İmpulse Etkisindeki Sistemlerin Dinamiği ile İlgili Çalışmalar

Sistemlerin dinamiği genel olarak zaman,Laplace ve sıklık temellerine göre yapılır.

Zaman temeline göre analizler, sistemlerin giriş değişkenlerine pulse, impulse, ramp, kademe ve sinüs değişimlerinin çıkış değişkeni üzerindeki etkisini hesaplamak için yapılır.

Sinüs etkisi sistem belirleme tekniklerinden biri olarak bilinir. Pulse test yöntemi ise daha etkili olan bir sistem belirleme tekniğidir. Çıkış değişkenleri yatışkın-halde iken, giriş değişkenlerinden birine h büyüklüğü ve D süresinde pulse verildiğinde dinamik hale geçerler ve tekrar yatışkın-hale gelirler. Pulse değişiminin yardımıyla çeşitli sıklıklarda verilen sinüs değişimlerinden elde edilen benzer Bode diyagramları çizilir.

Son yıllarda sistem belirleme çalışmalarında, impulse ve pseudo-random binary sinyalleri de kullanılır. Pulse yükseklikleri +h ve -h ile eşit imkanlı fakat farklı kalma sürelerine sahip tekrarlanmış seri pulse'lardan meydana gelmektedir.

Dreifke {7} Pulse değişimlerinin bazı matematiksel modeller için iletim fonksiyonlarının dinamik özelliklerine etkilerini incelemiştir. Verilen pulse değişimlerinin yüksekliklerini, h, ve kalma sürelerini değiştirerek çeşitli sistemlere uygulamıştır.

Haugen ve Walsh {8}, dikdörtgen, üçgen ve yarım sinüs şeklindeki pulse değişimleri ve etkileri için kullanılan Fourier dönüşümünün integral işlemini doğrusal yaklaşım yöntemi ile yapmışlardır. Yarım-sinüs şeklindeki pulse değişimleri için integrasyon adım aralığının integrasyon sonucunu etkilediğini ve hata verdiğini göstermişlerdir.

Messa {9}, birinci mertebeden bir sistemin giriş değişkenine verilen impulse değişiminin çıkış değişkenlerine etkisini incelemiştir. Doğrusal ve parabolik yaklaşım yöntemlerinden yararlanarak Fourier dönüşümlerini elde etmiştir. Deneysel veriler ile kuramsal çalışmalarındaki verilerden standart sapmayı hesaplamıştır.

Luyben {4}, sistemlerin giriş değişkenine verilen pulse-impulse etkisinde çıkış değişkenlerinin zamana göre değişimlerinden elde edilen bilgilerle Bode diyagramlarının hesaplanması için doğrusal yaklaşım yöntemi önermiştir.

Watanabe ve Metsubara {5}, Fourier dönüşümlerinin oluşumu için parabolik, doğrusal ve trapezoidal integral yöntemlerini önermişlerdir.

Hiçşaşmaz {10} doğrusal, parabolik ve trapezoidal integral yöntemlerini $CaCl_2$'un su ile karıştırıldığı karıştırma tankına uygulamıştır. $CaCl_2$ derişimine Pulse vererek elde edilen çıkış değişiminin verilerinden Bode diyagramını hesaplamıştır.

Ünal {11}, beş tam karıştırmalı akım reaktörleri dizisinin besleme akış hızına verilen pulse değişiminin etkisinde çıkış değişkenlerinden elde edilen veriler ile Bode diyagramını hesaplamıştır.

BÖLÜM 3

MATEMATİK MODELLEME

Bu bölümde yapılan araştırmada kullanılan dolgulu destilasyon kolonunun yatışkın ve yatışkın olmayan-hal denklemleri verilmiştir.

Denklemlerin kullanışlı ve daha basit olabilmesi için bir takım varsayımlar yapılmıştır, {1}.

1. Kütle aktarım olayında etken olan sıvı miktarıdır. Gaz miktarı sıfır alınır.
2. Soğutucu ünitesi için kütle aktarımında, sıvı ve gaz miktarları çok küçük olduğundan sıfır alınır.
3. Destilasyon kolonunda ısı kaybı yoktur.
4. Kolon boyunca $K_y aS$ çarpımı sabit kabul edilir.
5. Hesaplamalar eşlenik mol yüzdesi cinsinden yapılır.
6. Eşlenik mol ağırlığı yöntemi yardım ile kademeler arası sıvı ve gaz hızları sabit kabul edilir.
7. Kazan kısmı ideal tepsi olarak alınır.
8. Kolon basıncı bir atmosferdir ve sabit olarak kalır.

9. Kolonun yatışkın olmayan-hal süresinde sıvı ve gaz derişimleri, denge-durum değerlerine eşittir.

Yukarıda gösterilen varsayımların yardımı ile aşağıdaki matematiksel model verilebilir;

$$A_x \rho_x \frac{\partial x}{\partial t} - \frac{\partial (Lx)}{\partial Z} + K_y aS\,(y^{*}-y) = 0 \qquad (3.1)$$

Gaz fazı çok uçucu bileşen için yatışkın olmayan-hal kütle dengesi;

$$A_y \rho_y \frac{\partial y}{\partial t} - \frac{\partial (vy)}{\partial Z} - K_y aS\,(y^{*}-y) = 0 \qquad (3.2)$$

Dolgulu kolon yatışkın ve yatışkın olmayan hal için sınır şartları;

Yatışkın-hal;

$$x(0) = x_1^0 \; ; \; y(0) = y_1^0$$

Yatışkın olmayan-hal;

$$x(Z,0) = x(Z) \; ; \; y(Z,0) = y(Z)$$

$$x(0,t) = x_1 \; ; \; y(0,t) = y_1$$

Kazan kademesinde çok uçucu bileşenin yatışkın olmayan-hal kütle dengesi;

$$H_L \frac{dx_{n+1}}{dt} = B(y_{n+1}-x_{n+1}) - L(y_{n+1}-x_n) + F(x_F-y_{n+1}) \qquad (3.3)$$

Kazan kademesinin yatışkın olmayan-hal kütle dengesinin başlangıç şartları;

$$x_n(0) = x_n^0 \quad ; \quad y_{n+1}(0) = y_{n+1}^0$$

$$x_{n+1}(0) = x_{n+1}^0$$

$$x_{n+1} = x_B$$

Yukarıda verilen matematiksel modelin (3.1, 3.2) sonlu farklar yöntemi ile kademeli-parametreli hale dönüştürülebilir. Bu modelde gaz birikim miktarı,hv,sıfır alınır.

i. Soğutucu kademesi

$$y_1 = x_D$$

ii. Kolon kademesi

$$h_L \cdot \frac{dx_k}{dk} = Lx_{k-1} - Lx_k - K_y aS(y_k^{\star} - y_k)\Delta Z \qquad (3.5)$$

$$h_V \cdot \frac{dy_k}{dt} = Vy_{k+1} - Vy_k + K_y aS\,(y_k^{\star} - y_k)\;\Delta Z \qquad (3.6)$$

$$k = 1,2,3,\ldots,n$$

iii. Kazan kademesi

$$H_L \cdot \frac{dx_{n+1}}{dt} = B(y_{n+1} - x_{n+1}) - L(y_{n+1} - x_n) + F(x_F - x_{n+1}) \quad (3.7)$$

$$y_{n+1} = y_{n+1}^{\star} = f(x_{n+1}) \qquad (3.8)$$

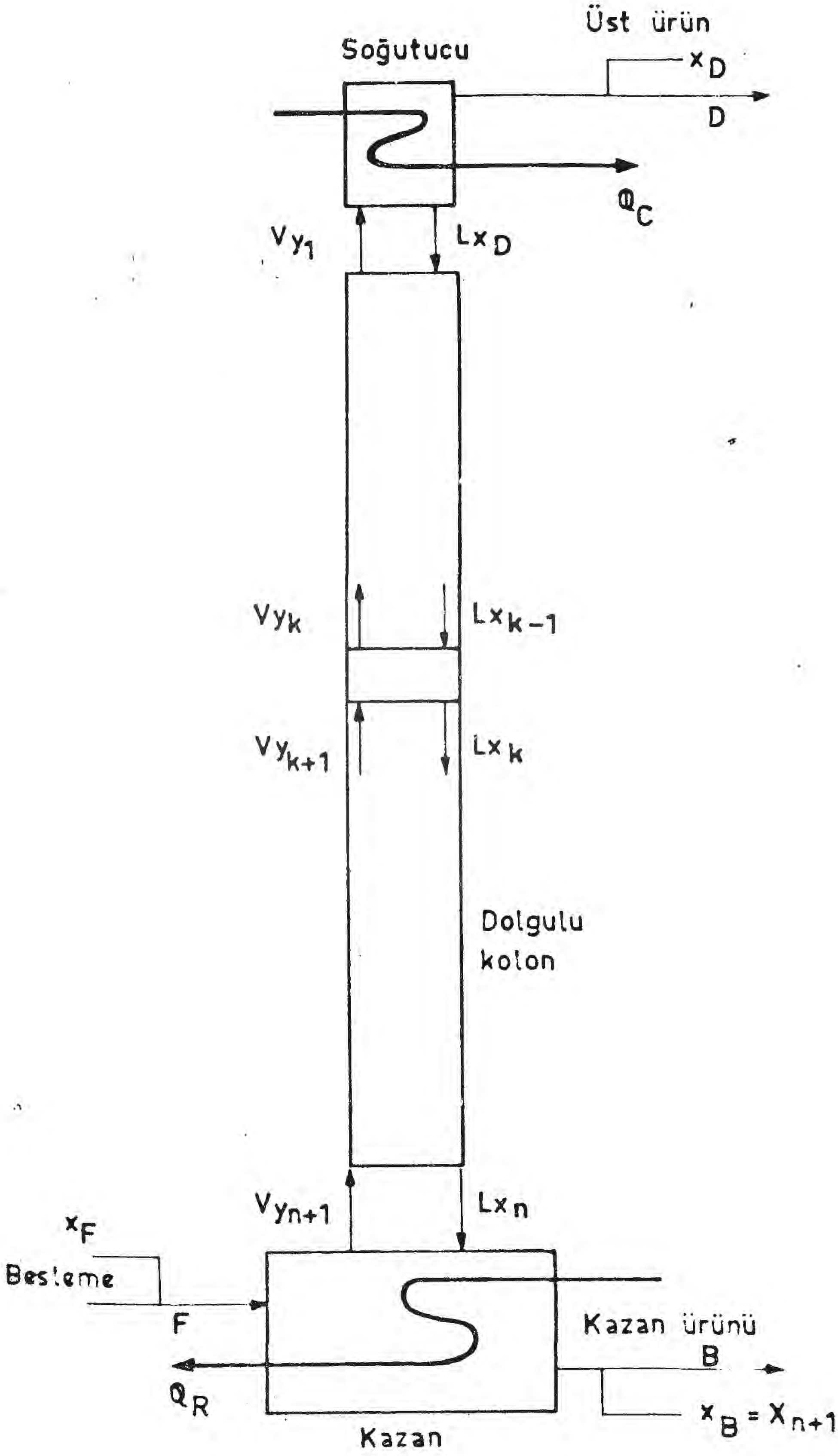
$$E = 1 = \frac{y_{n+1} - y_{n+2}}{y^{\star}_{n+1} - y_{n+2}} \qquad (3.9)$$

Dolgulu kolon yatışkın-hal denklemleri :

$$K_y aS\ (y^{\star}_n - y_n)\Delta Z = Lx_{n-1} - Lx_n \qquad (3.10)$$

$$-K_y aS(y^{\star}_n - y_n)\Delta Z = Vy_{n+1} - Vy_n \qquad (3.11)$$

Yukarıda verilen matematik modelin bilgisayar ile çözüm yöntemleri Bölüm 4'de gösterilmiştir.



ŞEKİL 3.1 : Dolgulu destilasyon kolonun kütle donanımı

BÖLÜM 4

MATEMATİK MODELİN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

4.1. Dolgulu Destilasyon Kolonunun Matematik Modelin Sayısal Bilgisayar ile Çözümü

Dolgulu destilasyon kolonu için geliştirilen matematiksel model (3.1, 3.2) bu araştırmada sayısal bilgisayar ile çözülmüştür. Yapılan çözümler yatışkın ve yatışkın olmayan-hal için verilmiştir.

4.1.1. Yatışkın-Hal İçin Çözüm

Yatışkın olmayan-hal denklemlerinin çözümü için başlangıç şartlarını ve uygun $K_y aS$ değerini hesaplamak üzere n tane dolgulu kolonda ve bir tane kazan kademesinde olmak üzere toplam n + 1 sayıda denklemin çözümü yapılır. Kademe n'de sıvı fazları ve gaz fazları için yatışkın-hal denklemleri;

$$K_y aS\ (y_n^{\star}-y_n)\Delta Z = Lx_{n-1}-Lx_n \qquad (3.9)$$

$$-K_y aS(y_n^{\star}-y_n)\Delta Z = Vy_{n+1}-Vy_n \qquad (3.10)$$

Yukarıda n kademe için yapılan hesaplamalar kısaca aşağıda özetlenmiştir.

1. Soğutucu kademesi için $x_0 = y_1$ alınır.

2. KyaS değeri için bir ön tahmin yapılır.

3. Denklem (3.9) den x_1 hesap edilir.

4. Denklem (3.10) dan y_2 hesap edilir.

5. Aynı işlemler ile kazan kademesini terk eden, y_{n+1}, değeri hesaplanır.

6. Kazan kademesini terk eden sıvı faz, x_{n+1}, bu kademenin verimi 1 için hesaplanır.

7. Bulunan sıvı faz, x_{n+1}, değeri deneysel bulgular {1} ile karşılaştırılarak K_yaS değerine bir artma verilerek aynı işlemlere devam edilir.

8. Deneysel değerlerin hesap edilmiş sıvı fazı mol miktarı ile eşdeğer çıkması ile işlemler bitirilir.

Yukarıdaki işlemlerin yapılabilmesi için denge eğrisi sayısal bir denklem olarak belirtilmesi gerekir,

$$y_n^* = -1,603484x_n^2 + 3,5799x_n - 0,980806$$

Yatışkın-hal için bilgisayar çözümü El'de verilmiştir.

4.1.2. Yatışkın Olmayan-Hal İçin Çözüm

Denklem (3.5, 3.7) lerin çözümleri için dördüncü dereceden Runga-Kutta yöntemi kullanılmıştır. Hesaplamalar sırası aşağıda verilmiştir.

1. Yatışkın-hal çözümlerinden elde edilen başlangıç şartlarını ve K_yaS değerini kullanarak (3.5) ve (3.6) denklemlerinden bir sonraki zaman için n tane dolgulu kolon ve bir tane kazan kademesinin çıkış sıvı mol değerleri Runga-Kutta denklemler dizisi yardımı ile bulunur.
2. Denklem (3.9) kullanarak bir sonraki zaman için kazan kademesini terk eden buhar mol sayısı hesaplanır.
3. Denklem (3.6) dan dolgulu kolondan çıkan n kademenin buhar mol sayısı bir sonraki zaman için hesaplanır.
4. Soğutucu kademesi için bu kademeyi terk eden sıvı mol sayısı ,x_D, ile aynı kademeye giren buhar mol sayısı, y_1 , eşit alınır.
5. Soğutucu kademesi ile kazan kademesini terk eden sıvı mol sayılarının zamana göre değişimleri aynı sıra ile elde edilir.

Yatışkın olmayan-hal için bilgisayar çözümü El'de verilmiştir.

4.2. Fourier Dönüşümlerinin Sayısal Bilgisayar ile Çözümleri

Genel olarak iletim fonksiyonu, fiziksel bir sistemde iki değişkeni birbirine bağlamaktadır. Bunlardan bir tanesi sistemdeki değişime neden olan değişken (girdi değişkeni) diğeri ise bu değişimden etkilenen değişken (çıkış değişkeni) olmaktadır. Kısaca iletim fonksiyonu çıkış ve giriş değişkenlerinin Laplace oranı olarak tanımlanabilir.

$$G(s) = \frac{\theta_1(s)}{\theta_2(s)} = \frac{\int_0^\infty \theta_1(t)e^{-st}\,dt}{\int_0^\infty \theta_2(t)e^{-st'}\,dt} \qquad (4.1)$$

Bu fonksiyonun sıklık temeline göre Laplace dönüşümü yapılırsa

$$G(iw) = \frac{\int_0^\infty \theta_1(t)e^{-iwt}\,dt}{\int_0^\infty \theta_2(t)e^{-iwt}\,dt} \qquad (4.2)$$

Yukarıdaki denklem (4.2) nin pay ve paydası $\theta_1(t)$ ve $\theta_2(t)$'nin Fourier dönüşümlerini verir. Denklem (4.2)'den iletim fonksiyonunun sıklık yanıtımı pulse ve impulse test yöntemi ile hesaplanabilir.

$$G(iw) = \frac{\int_0^\infty \theta_1(t)Cos(wt)dt - i\int_0^\infty \theta_1(t)Sin(wt)dt}{\int_0^\infty \theta_2(t)Cos(wt)dt - i\int_0^\infty \theta_2(t)Sin(wt)dt} \qquad (4.3)$$

$$= \frac{A-iB}{C-iD} = \frac{(AC + BD) + i(AD - BC)}{C^2 + D^2} \qquad (4.4)$$

$$= ReG\,(iw) + ImG\,(iw) \qquad (4.5)$$

$$A = \int_0^{T_x} \theta_1(t)\ Cos(wt)\ dt \qquad (4.6)$$

$$B = \int_0^{T_x} \theta_2(t)\ Sin(wt)\ dt \qquad (4.7)$$

$$C = \int_{0}^{T_Q} \theta_2(t)\ \mathrm{Cos}(wt)\ dt \qquad (4.8)$$

$$D = \int_{0}^{T_Q} \theta_2(t)\ \mathrm{Sin}\ (wt)\ dt \qquad (4.9)$$

Verilen pulse yanıtımı için A,B,C,D katsayılarının hesaplanması gerekir. Katsayıların hesabında belli bir sıklık değeri ,w, alınır ve aynı zaman aralıkları için integral işlemi yapılarak iletim fonksiyonu G(iw) hesaplanır. Verilen çeşitli sıklık değerleri için elde edilen iletim fonksiyonu bulunur. Tüm sonuçlardan Bode diyagramları çizilir.

Yukarıda verilen iletim fonksiyonu G(iw)'yi hesaplamak üzere Fourier dönüşümlerinin integral çözümleri için iki ayrı yöntem kullanılmıştır.

4.2.1. Doğrusal Yaklaşım

Luyben {4} ve Ünal {11} doğrusal yaklaşım ile ilgili bir çözüm yöntemi kullanmışlardır. Eğer denklem (4.1) çıkış değişkeni, x(t), için Fourier dönüşümü yazılırsa,

$$FIT = \int_{0}^{T_x} x(t)\ e^{-iwt}\ dt \qquad (4.12)$$

Doğrusal yaklaşım ile FIT çözüm yöntemi aşağıda gösterilmiştir.

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

$$\left. - x_{k-1}\left(\frac{e^{-iw\Delta t_k}-1}{w^2\Delta t_k} - \frac{1}{iw}\right)\right] \quad (4.13)$$

Burada Δt'ler zaman aralıklarını, N ise nokta sayısını gösterir. Denklem (4.13) sayısal bilgisayar ile bir takım araştırmalarda çözülmüştür {4,10,11}. Hesaplamalar sonunda faz gecikimi (φ) ve genlik oranı $|G|$ hesaplanır. Bode diyagramı çizilir.

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

$$G(oi) = K_p \int_0^{T_x} \frac{x(t)\,dt}{Q(t)\,dt} \quad (4.14)$$

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

$$\int_0^{\infty} Q_1(t)e^{-iwt}\,dt = \frac{h}{iw}\,(1-e^{-iwD}) \quad (4.15)$$

Bu yöntem için bilgisayar çözümleri ve listesi Ek 2' de verilmiştir.

4.2.2. Trapezoidal Yaklaşım

Watanabe ve Matsubara {5}, ve Ünal {11} tarafından Fourier dönüşümlerinin integral çözümü için kullanılmıştır.

Bu yaklaşımda $w > 0$ iken Fourier dönüşümü ve integral çözümü aşağıda verilmiştir;

$$F(iw) = \Delta t \sum_{n=0}^{N} P_n \, f(n\Delta t) e^{-iwn\Delta t} \tag{4.16}$$

ilgili katsayılar açık şekilde yazılırsa;

$$P_0 = [1 - \cos w\Delta t - i(w\Delta t - \sin w\Delta t)] / (w\Delta t)^2 \tag{4.17}$$

$$P_n = (\sin \tfrac{1}{2} w\Delta t / \tfrac{1}{2} w\Delta t)^2 \tag{4.18}$$

$n = 1, 2, 3, \ldots, N-1$

$$P_N = [1 - \cos w\Delta t + i(w\Delta t - \sin w\Delta t)] / (w\Delta t)^2 \tag{4.19}$$

$w = 0$ iken Fourier dönüşümü ise,

$$F(0) = \Delta t \sum_{n=0}^{N} P_n \, f(n\Delta t) \tag{4.20}$$

ilgili katsayılar;

$$\lim_{w\Delta t \to 0} P_0 = \lim_{w\Delta t \to 0} \frac{1 - \cos w\Delta t}{(w\Delta t)^2} \tag{4.21}$$

$$\lim_{w\Delta t \to 0} P_0 = \frac{1}{2} = \lim_{w\Delta t \to 0} P_N$$

$$\lim_{w\Delta t \to 0} P_n = \lim_{w\Delta t \to 0} \frac{\sin \frac{1}{2} w\Delta t}{\frac{1}{2} w\Delta t} \quad (4.22)$$

$$\lim_{w\Delta t \to 0} P_n = 1$$

Bilgisayar çalışmalarında pulse ve impulse giriş değişkeni için doğrusal-I ve trapezoidal yaklaşım yöntemleri kullanılmıştır. Kullanılan yöntemlerde integral adım aralığı, Δt, Bode diyagramı çiziminde gerekli sayıda nokta seçimi için önemlidir. Ayrıca pulse büyüklüğünün değeri de önemlidir. Pulse büyüklüğü, h, ın büyüklüğü sistemi etkileyebilecek, etkisi gözlenebilecek şekilde olmalıdır.

BÖLÜM 5

SAYISAL BİLGİSAYAR ÇÖZÜMLERİNDEN ELDE EDİLEN KURAMSAL SONUÇLAR

Bu bölümde dolgulu destilasyon kolonunun giriş besleme derişimine verilen pulse ve impulse etkilerinde çıkış değişkenleri, kazan ve üst ürünlerin, derişimlerinin zamana göre değişimleri incelenmiştir.

5.1. Sayısal Bilgisayar Çözümlerinde Kullanılan Parametrelerin Değerleri ve Kolon Boyutları

i. Kolon Boyutları

Bu çalışmada kullanılan kolon 150 cm. boyunda ve 2.5 cm çapındadır, Şekil 5.1 . Kolonun içinde dolgu maddesi olarak iç ve dış çapları olarak 0.75 ve 0.73 cm ve boyu 0.10 cm olan raching halkaları kullanılmıştır. Kolonun kazan kısmı 2 lt.lik bir balon olup bir ısıtıcı manto üzerine yerleştirilmiştir.

ii. Parametrelerin Değerleri

Çözümlerde kullanılan parametrelerin değerleri aşağıda verilmiştir.

Suyun ve Formik asidin buharlaşma ısısı

$\lambda_{su} = 127{,}99$ J/g; $\lambda_{F.asit} = 28{,}46$ J/g olarak alınmıştır.

Formik asidin eşlenik molekül ağırlığı (EMA),

$(EMA) = \dfrac{\lambda_{su}}{\lambda_{F.asit}}$ alınmış ve EMA = 4,5 bulunmuştur.

Su formik asit çözeltisinin denge eğrileri EK 4'de verilmiştir {12}. Su'ya göre eşlenik molekül yüzdesi cinsinden aşağıdaki eşitlik ile kütlesel yüzdeden hesaplanmıştır.

$$X_{Su}(EMY) = \frac{X_{Su}\,(KY).4{,}5}{[X_{Su}(KY).3{,}5] + 1} \qquad (5.1)$$

Bir önceki bölümde açıklandığı gibi bütün hesaplamalar eşlenik mol yüzdesi cinsinden yapılmış ve ilgili hesaplama yöntemi EK 1'de verilmiştir.

5.1.2. Yatışkın-Hal Sonuçları

Tablo 5.1.'de verilen giriş şartlarında dolgulu destilasyon kolonunun yatışkın-hal denklemleri sayısal bilgisayarda çözülmüştür {1}. İlgili ilk ve son yatışkın-hal şartları Tablo 5.2,3'de gösterilmiştir {1}.

5.1.3. Yatışkın Olmayan-Hal Sonuçları

Besleme derişimindeki kademe değişiminin etkisi ile yatışkın olmayan-hal'e geçen kolonun dinamik özellikleri modellenerek sayısal bilgisayarda çözülmüştür. Çözüm sonuçları Şekil 5.2'de verilmiştir. Görüleceği gibi iki yatışkın hal arasında ürün derişimlerinin değişimi zamana göre kararlılık göstermektedir.

5.1.4. Pulse

Bu kısımda besleme derişimine pulse etkisi verilerek çıkış derişimlerinin zamana göre değişimleri incelenmiştir. Kısım 5.1.2. de verilen birinci yatışkın-hal şartlarında dolgulu destilasyon kolonunun besleme derişimine verilen pulse etkisinin özellikleri Tablo 5.4'de verilmiştir. Sistemi etkileyen pulse değişimi ve çıkış değişkenlerinin zamana göre değişimleri Şekil 5.3'de gösterilmiştir.

5.1.5. İmpulse-Etkisi

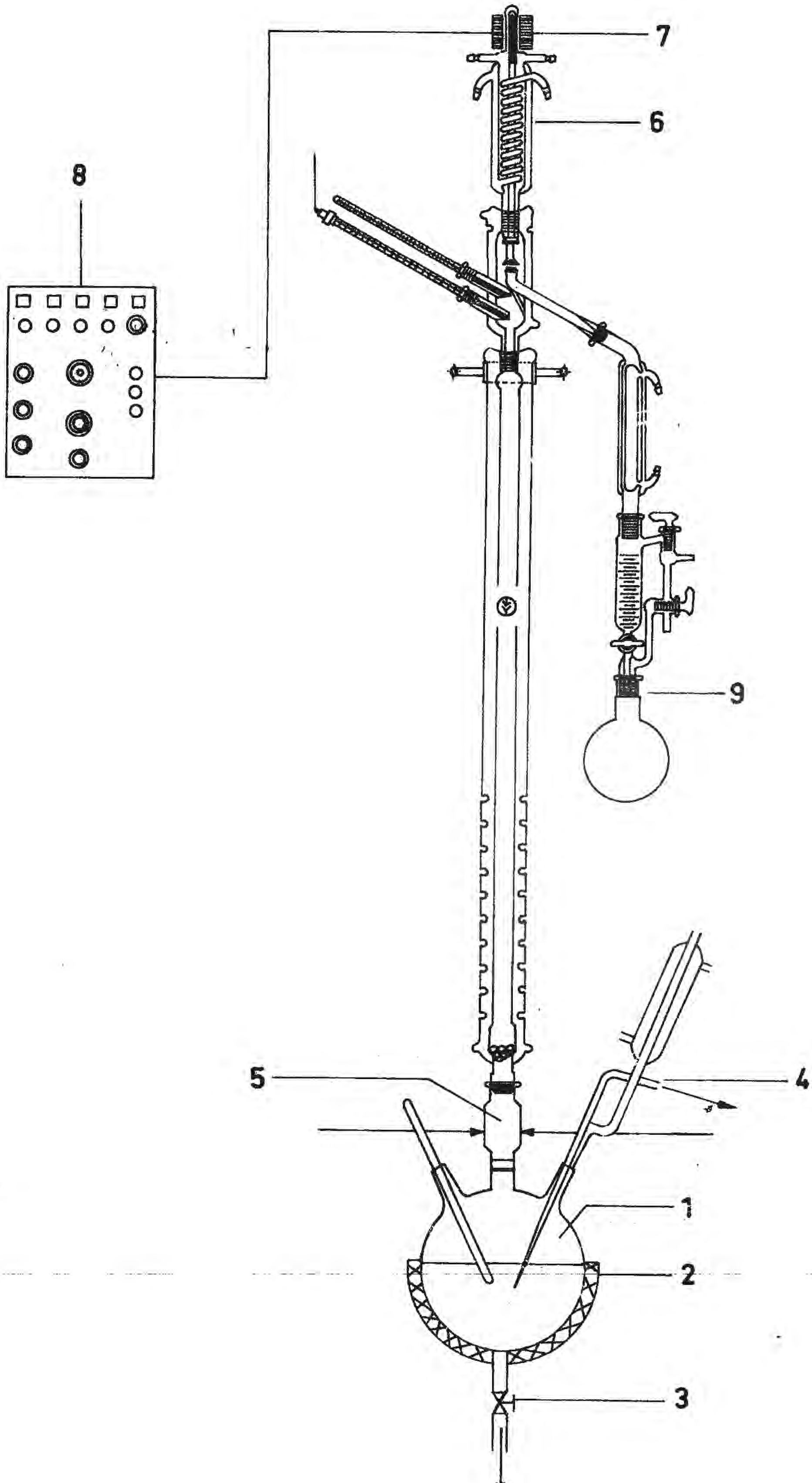
Benzer şekilde impulse etkilerin özellikleri Tablo 5.4'de verilmiştir. Sistemi etkileyen impulse değişimi ve çıkış değişkenlerinin zamana göre değişimleri Şekil 5.4'de gösterilmiştir.

5.1.6. Bode Diyagramları

Kısım 5.1.4.'de pulse değişiminin etkisinde olan bir sistemin çıkış değişkenlerinin zamana göre değişim verilerinden Bode diyagramlarının nasıl çizildiğini bir önceki araştırmada {11} anlatılmıştır.

Kısaca özetlenirse önce sistemin çıkış değişkenin zamana göre değişme verileri Δt_k adım aralıklarına bölünerek her t ye karşı gelen x ler belirlenir. Sonra bu noktalar yardımıyla integral çözüm yöntemi kullanılarak Bode diyagramları için gerekli noktalar hesaplanır.

Şekil 5.13,14 de besleme derişimine pulse ve impulse değişimleri verildiğinde elde edilen üst ve kazan ürünlerinin Bode diyagramları karşılaştırılmıştır ve iki ayrı etki altında Bode diyagramları arasında uygunluk görülmüştür.



ŞEKİL 5.1 Dolgulu destilasyon kolonu

(1) Kolonun kazan kısmı

(2) 2 lt'lik balon olup, ortası delik bir ısıtıcı manto

(3) Numunelerin alındığı musluk

(4) Peristaltik pompa

(5) Musluk bulunan kolon

(6) Geri soğutucu

(7) Soğutucu üzerine yerleştirilen mıknatıs

(8) Şamandıra ve geri akım oranını kontrol edici

(9) Üst ürünlerin alındığı bölge

V_F $(\frac{cm^3}{dak})$	V_B $(\frac{cm^3}{dak})$	V_D $(\frac{cm^3}{dak})$	X_F (EMY)	T_F (^oC)	R	HL3 (cm^3)
19.5	15.5	4.0	0.793	27	1	1000
19.5	15.5	4.0	0.880	27	1	1000

Tablo 5.1. : Yatışkın-halde dolgulu kolonun çalışma şartları

X_D	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
0.8970	0.8887	0.8807	0.8732	0.8660	0.8593	0.8531	0.8472	0.8418	0.8367	0.8320
X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}	X_{17}	X_{18}	X_{19}	X_{20}	X_B
0.8277	0.8237	0.8201	0.8168	0.8137	0.8109	0.8084	0.8061	0.8040	0.8021	0.7937
Y_D	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8	Y_9	Y_{10}
0.8970	0.8970	0.8928	0.8889	0.8851	0.8815	0.8782	0.8750	0.8721	0.8694	0.8669
Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{14}	Y_{15}	Y_{16}	Y_{17}	Y_{18}	Y_{19}	Y_{20}	Y_B
0.8645	0.8624	0.8604	0.8586	0.8569	0.8554	0.8540	0.8527	0.8516	0.8505	0.8496

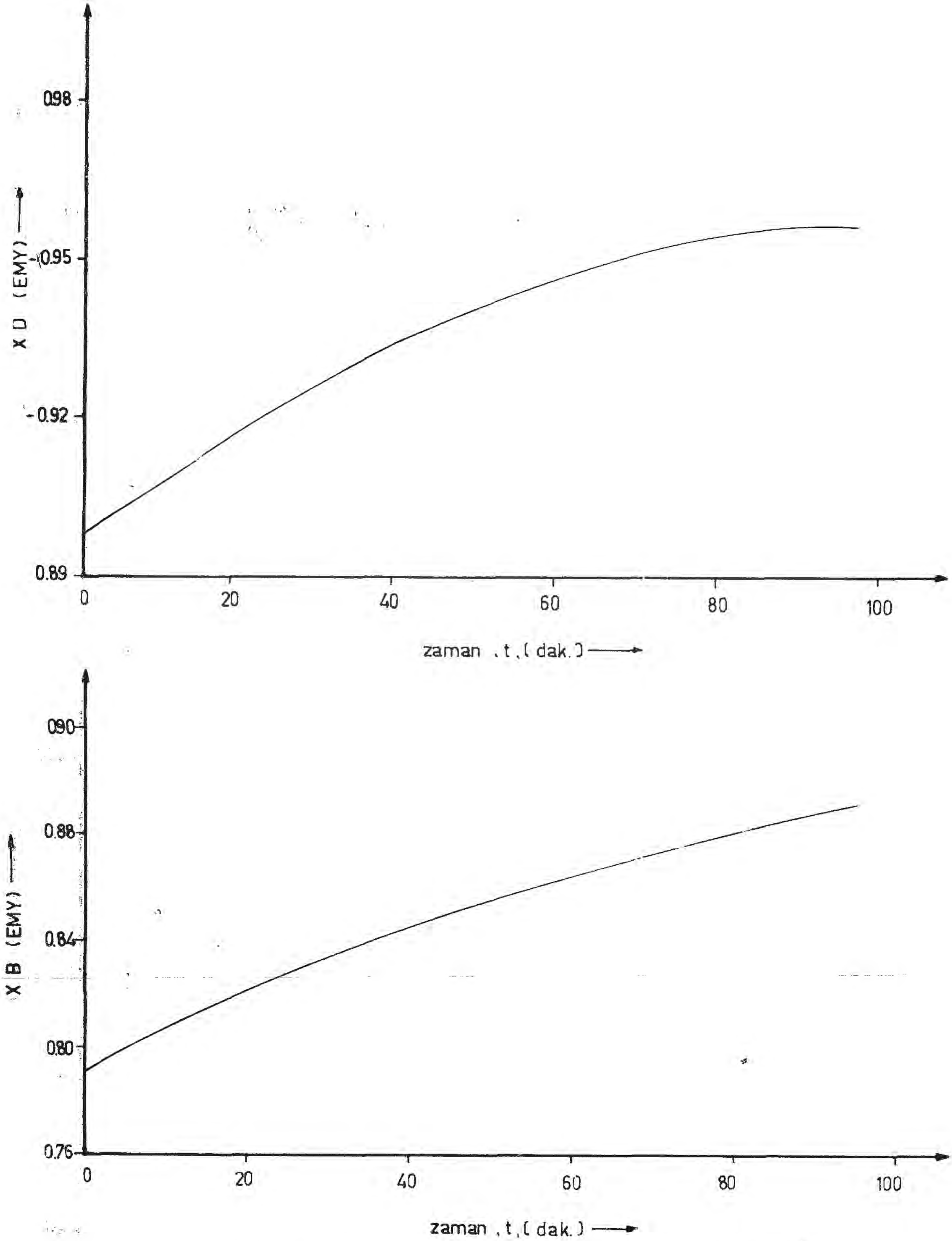
Tablo 5.2. : Yatışkın-hal denklemlerinin sayısal bilgisalar ile çözüm sonuçları

X_D	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
0.9580	0.9543	0.9506	0.9469	0.9433	0.9397	0.9361	0.9326	0.9292	0.9258	0.9226
X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}	X_{17}	X_{18}	X_{19}	X_{20}	X_B
0.9194	0.9162	0.9132	0.9103	0.9074	0.9046	0.9026	0.8994	0.8963	0.8946	0.8794
Y_D	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8	Y_9	Y_{10}
0.9580	0.9580	0.9561	0.9543	0.9525	0.9506	0.9488	0.9471	0.9453	0.9436	0.9419
Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{14}	Y_{15}	Y_{16}	Y_{17}	Y_{18}	Y_{19}	Y_{20}	Y_B
0.9403	0.9387	0.9371	0.9356	0.9341	0.9327	0.9313	0.9300	0.9287	0.9275	0.9263

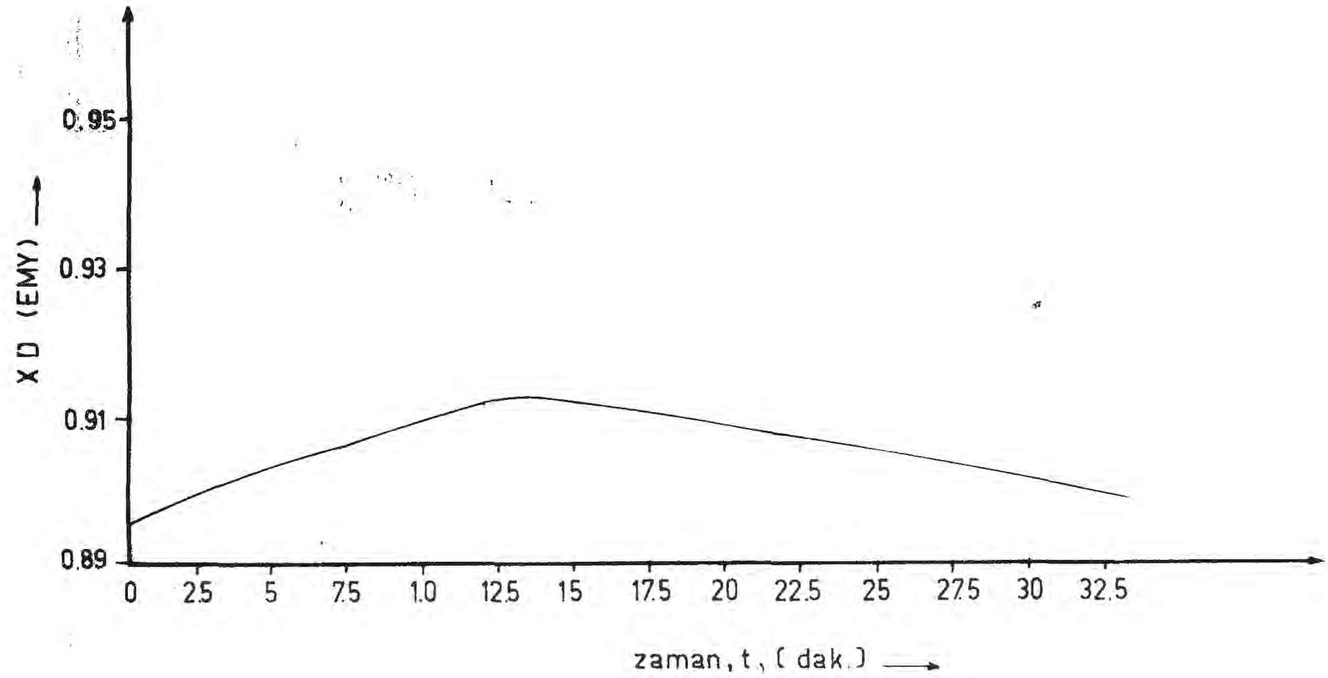
Tablo 5.3. : Yatışkın-hal denklemlerinin sayısal bilgisayar ile çözüm sonuçları

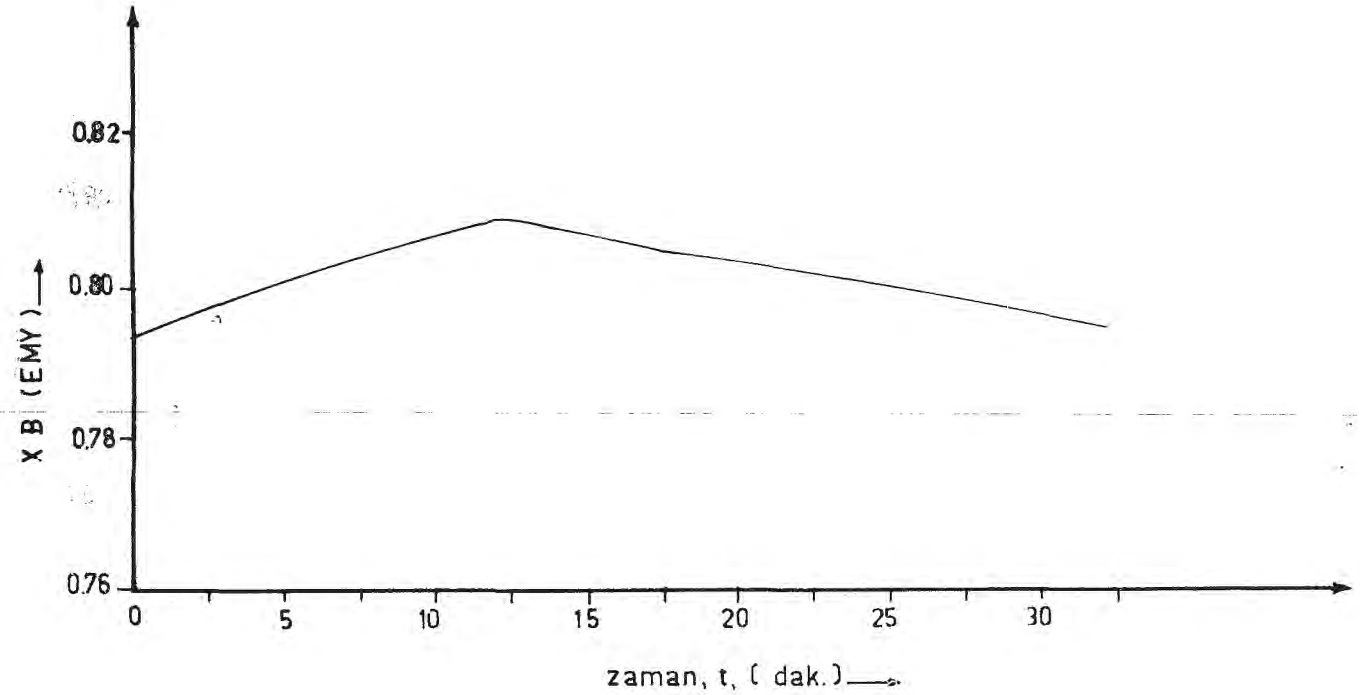
D(dak)	12.75	1
DLT 1 (dak)	1.159	0.333
DLT 3 (dak)	1.213	0.375
Nokta Sayısı	27	20
Tx_D (dak)	32.75	16.25
Tx_B (dak)	32.75	16.25

Tablo 5.4. : Bode diyagramlarının hesaplanması için bilgisayara verilen veriler.

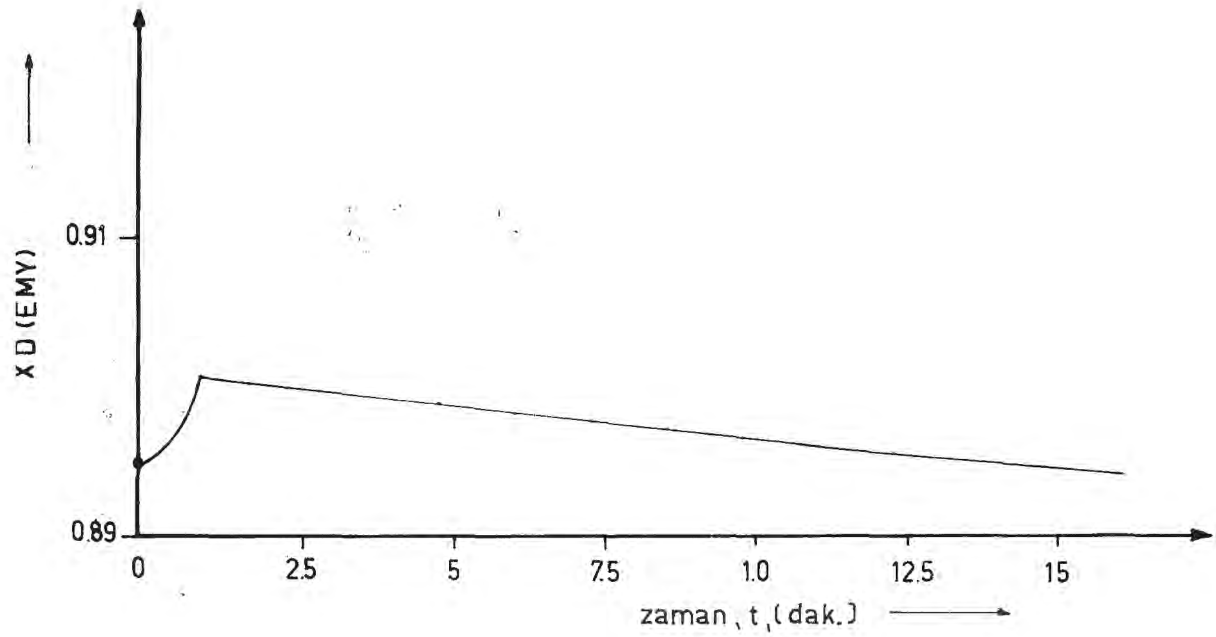


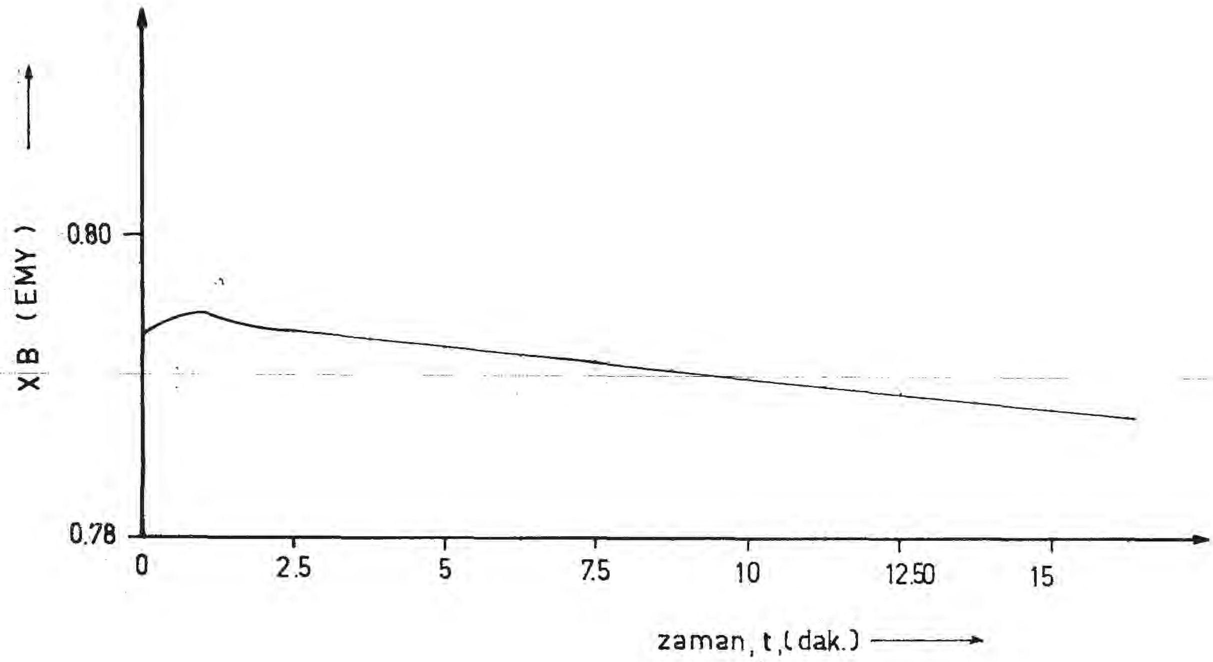
Şekil 5.2 : Üst ve kazan ürünlerinin zamana göre değişimleri (X_{F_1} = 0,793 (IMY); X_{F_2} = 0,880 (EMY))



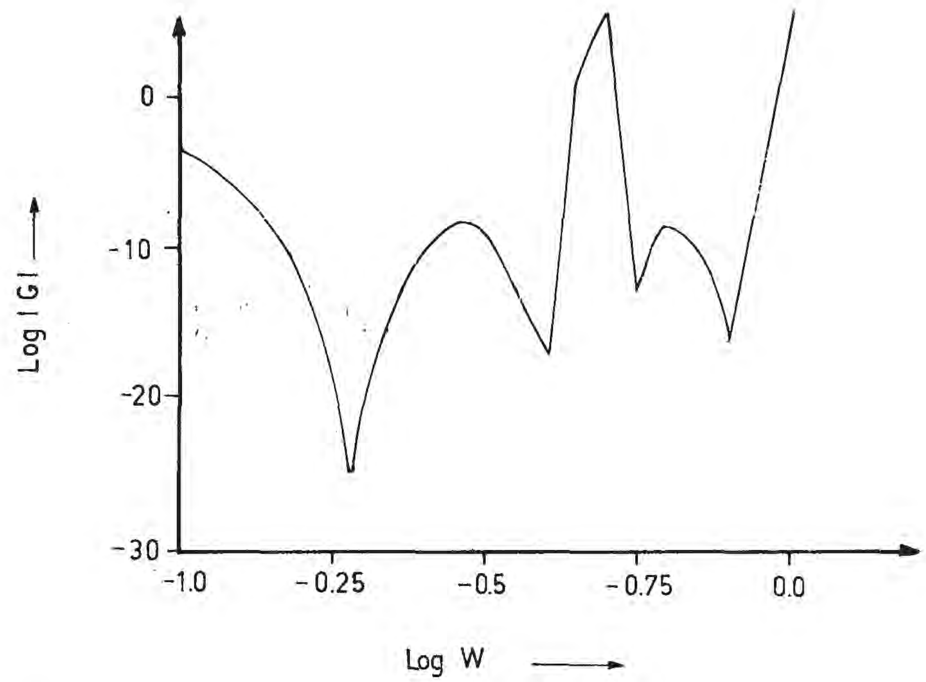


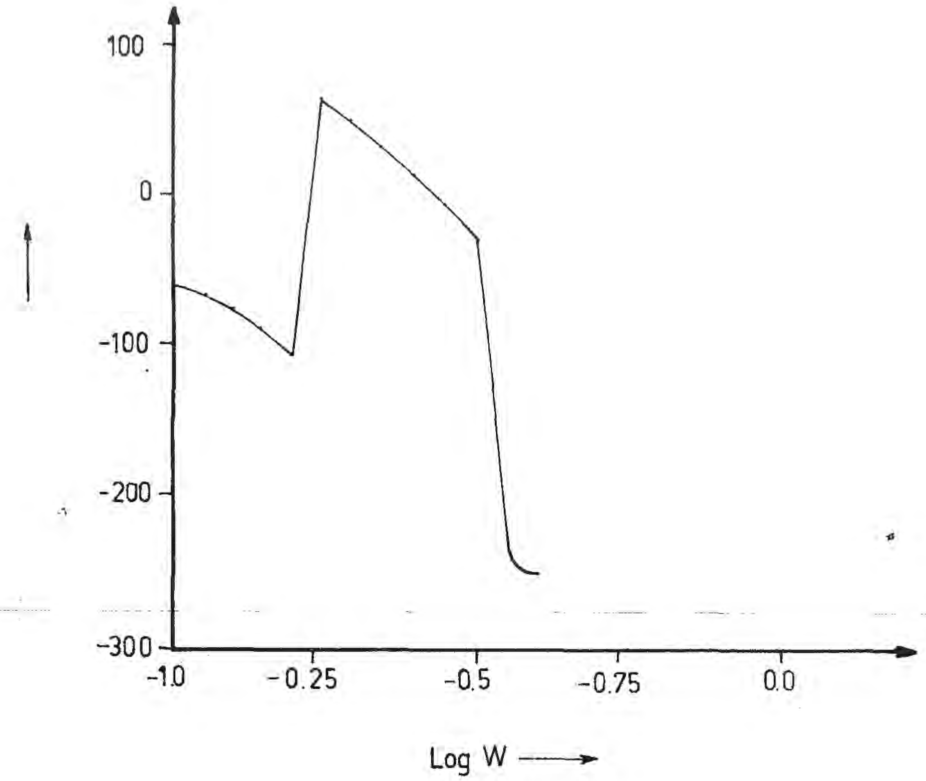
Şekil 5.3 : Besleme derişimindeki pulse etkisinde, kazan ve üst ürün derişimlerinin zamana göre değişimi (h = 0,087; D = 12,75 dak)



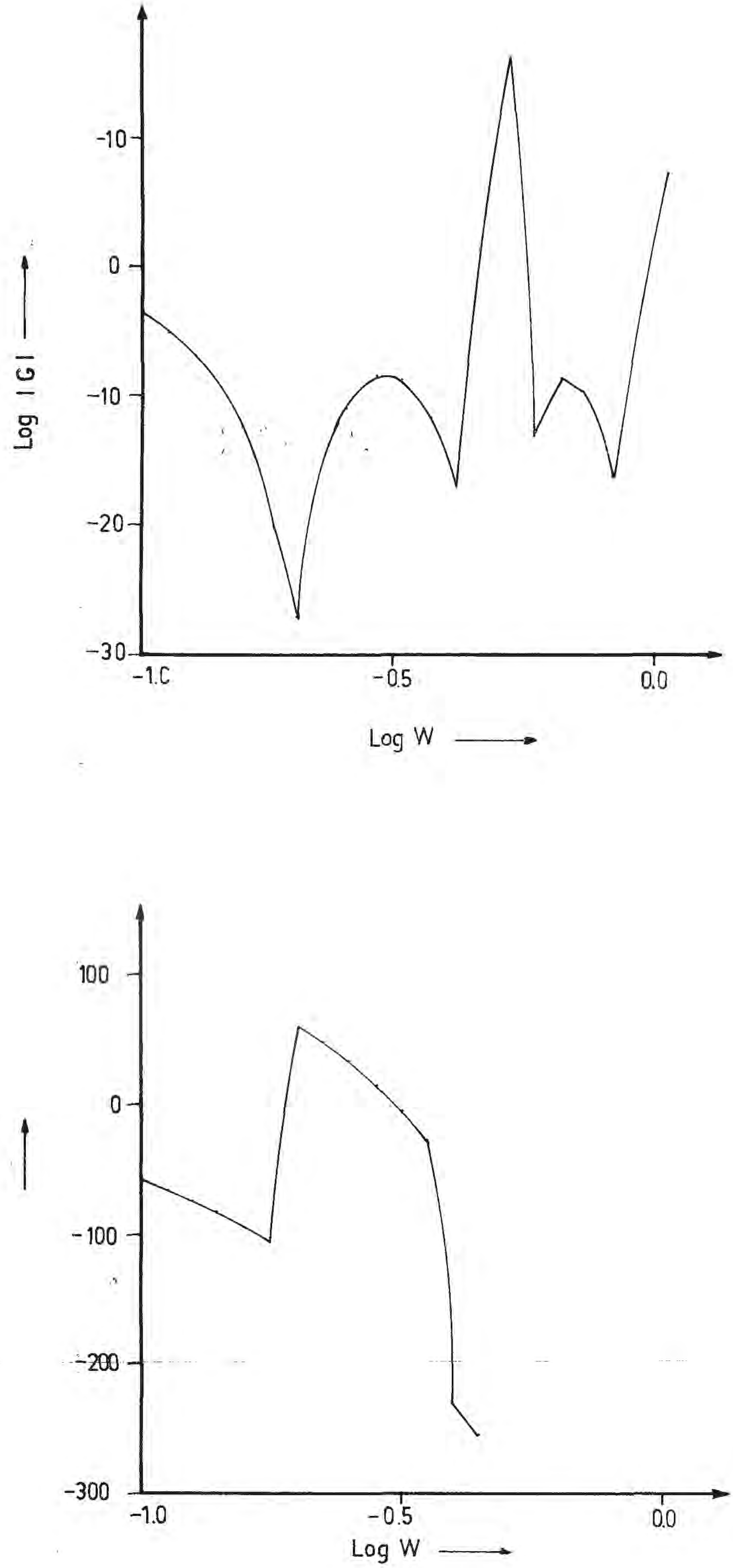


Şekil 5.4 : Besleme derişimindeki impulse etkisinde kazan ve üst ürün derişimlerinin zamana göre değişimi (h = 0,087; D = 1 dak)

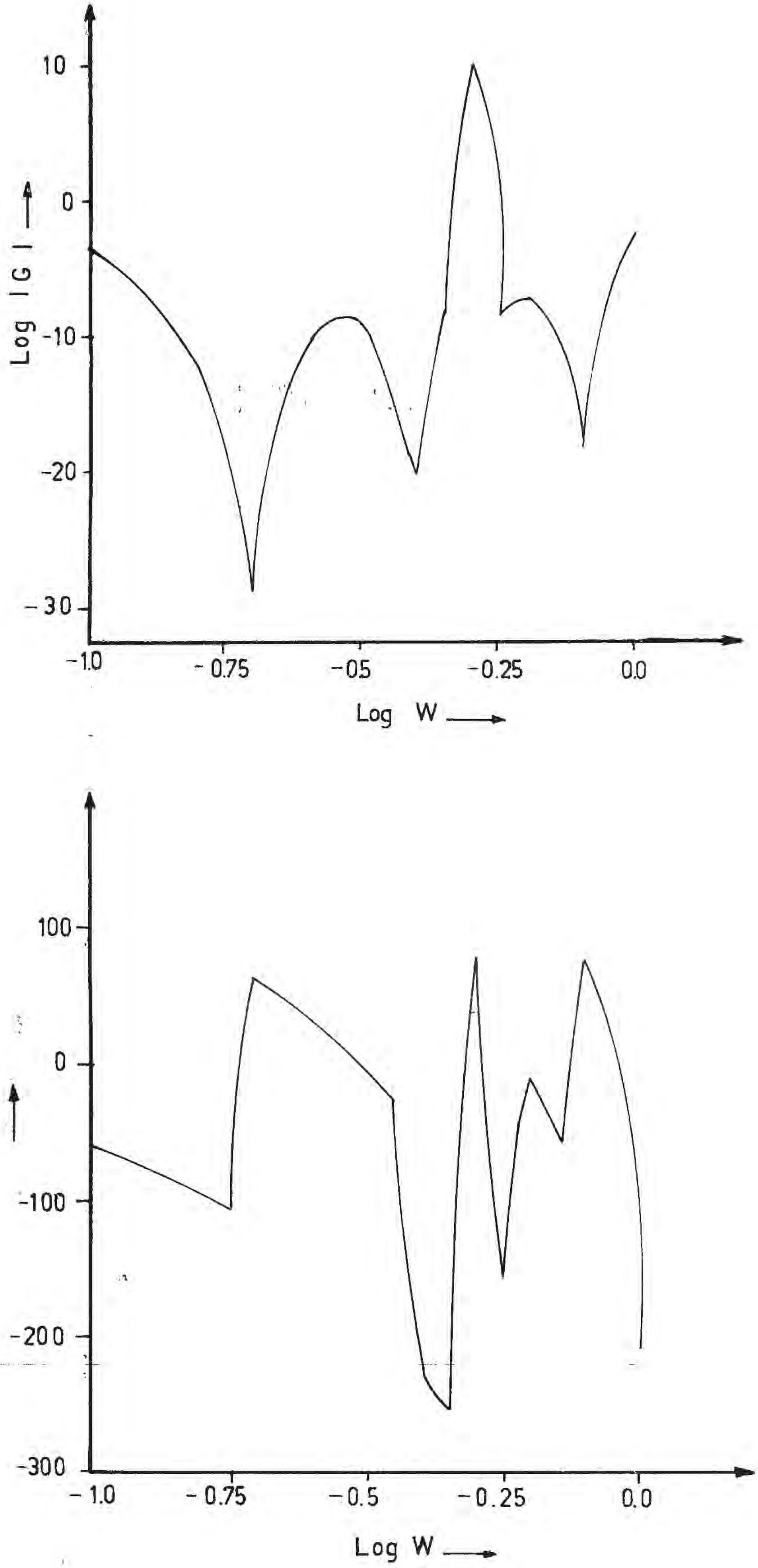




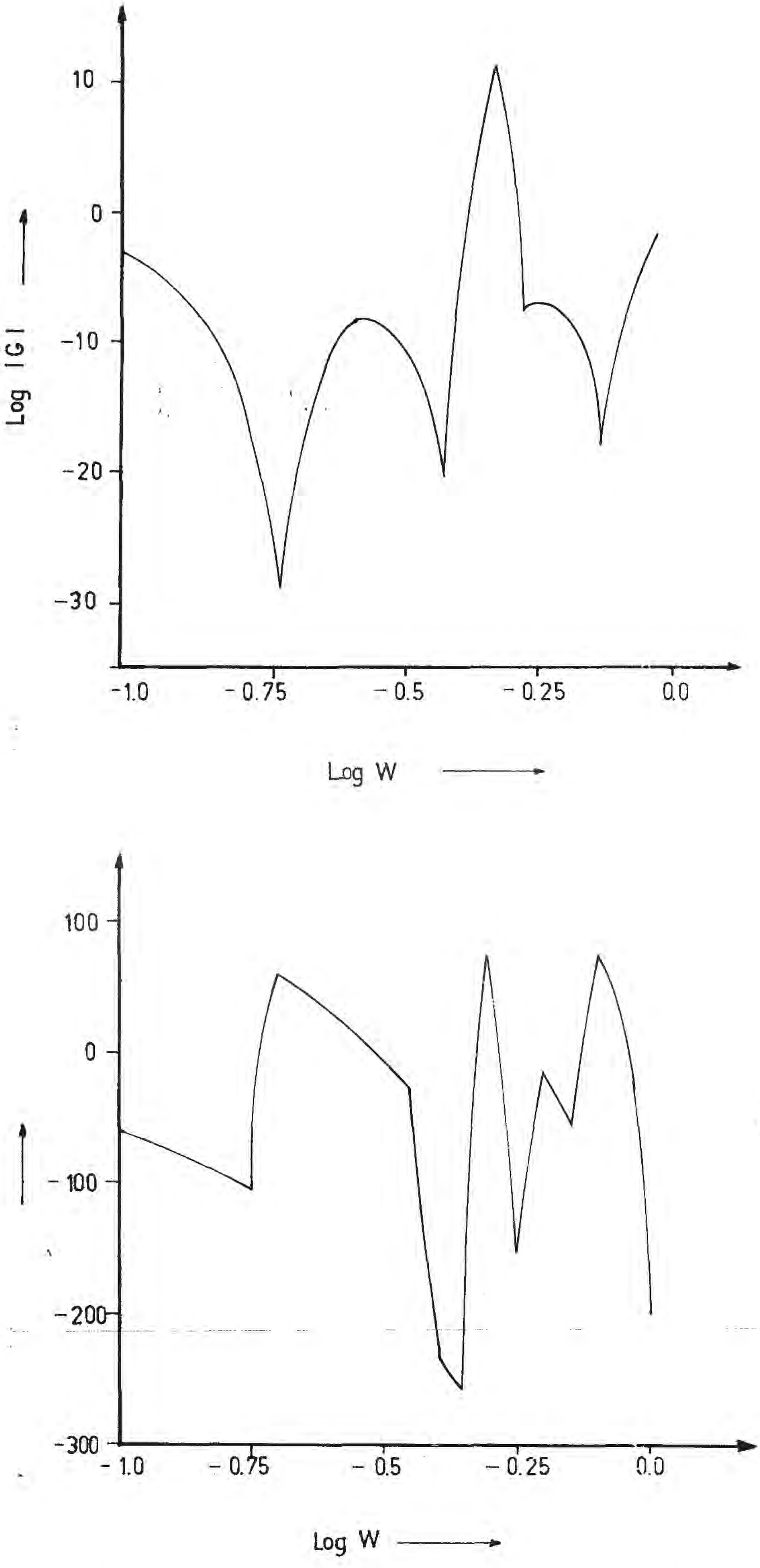
Şekil 5.5 : Besleme derişimindeki pulse etkisinde üst ürün, X_D, çıkış derişimi için Doğrusal-I yaklaşım ile hesaplanan Bode diyagramı



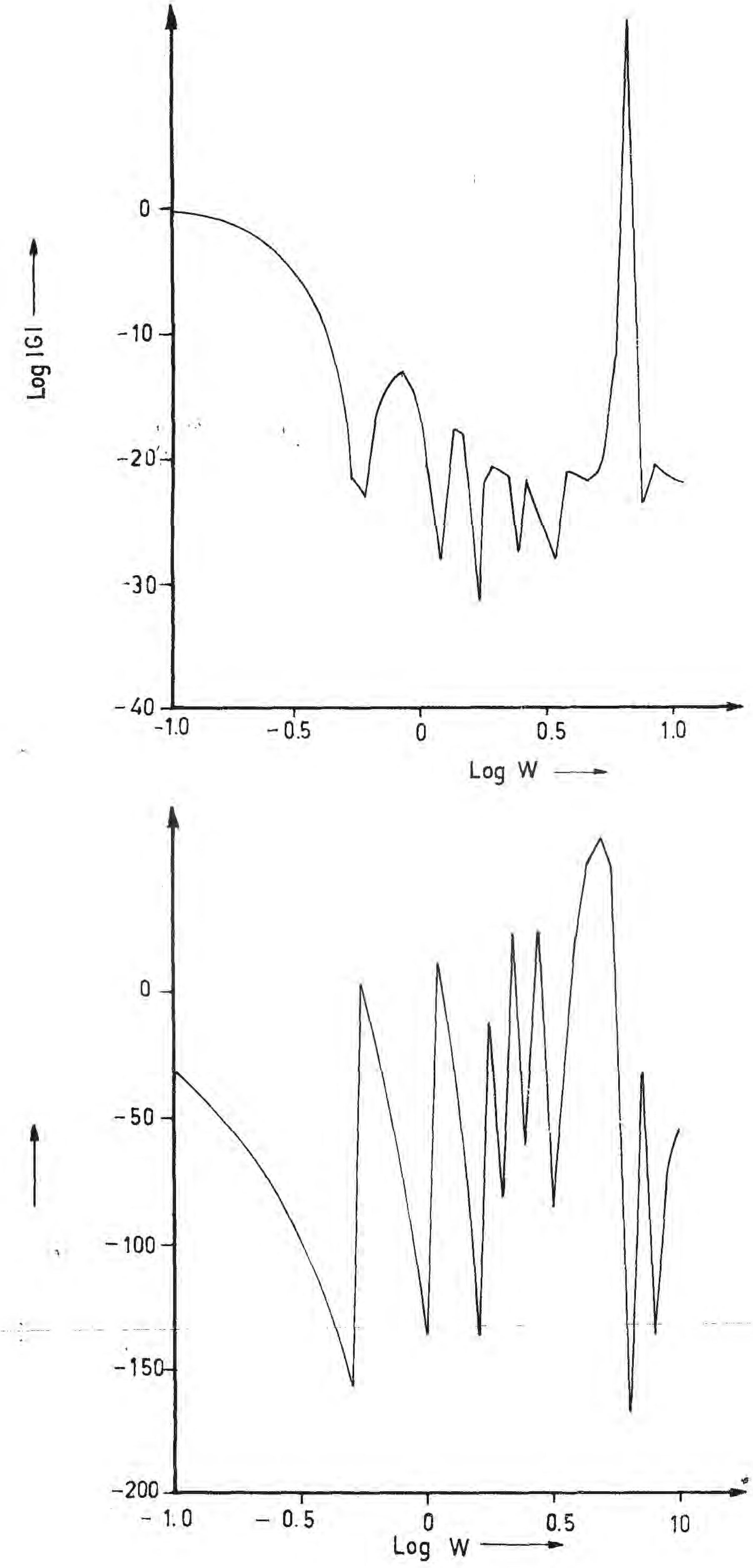
Şekil 5.6 : Besleme derişimindeki pulse etkisinde kazan ürünü, X_B, çıkış derişimi için Doğrusal-I yaklaşım yöntemi ile hesaplanan Bode diyagramı



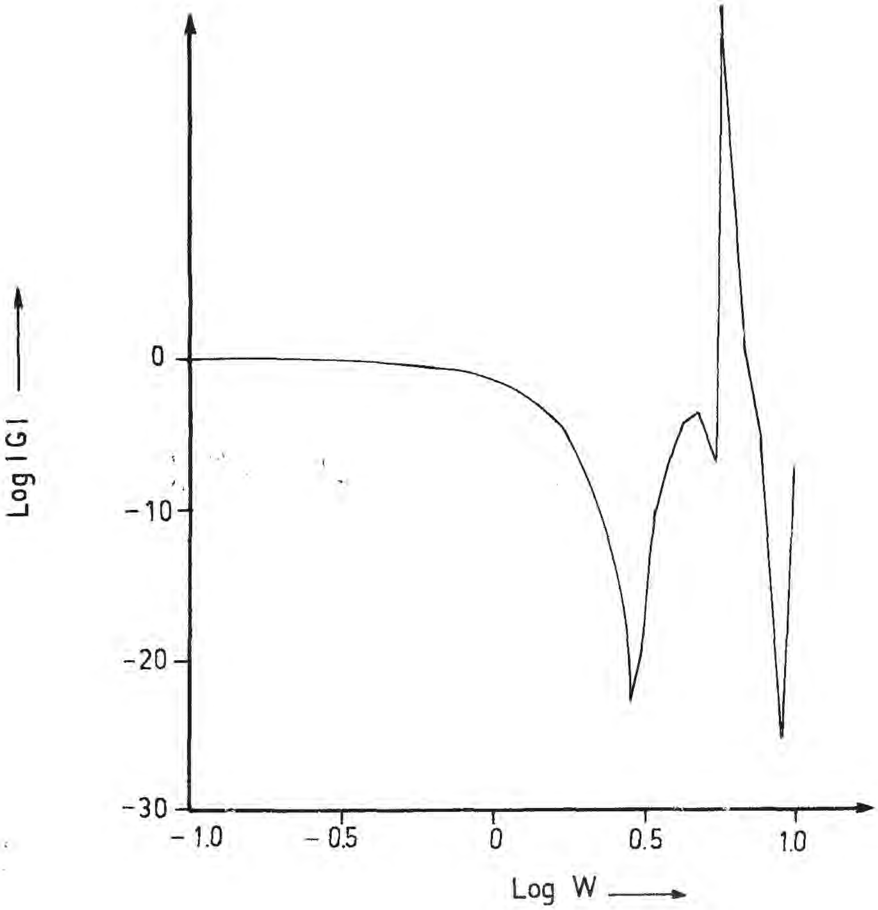
Şekil 5.7 : Besleme derişimindeki pulse etkisinde üst ürün, X_D, çıkış değişimi için Trapezoidal yaklaşım yöntemi ile hesaplanan Bode diyagramı

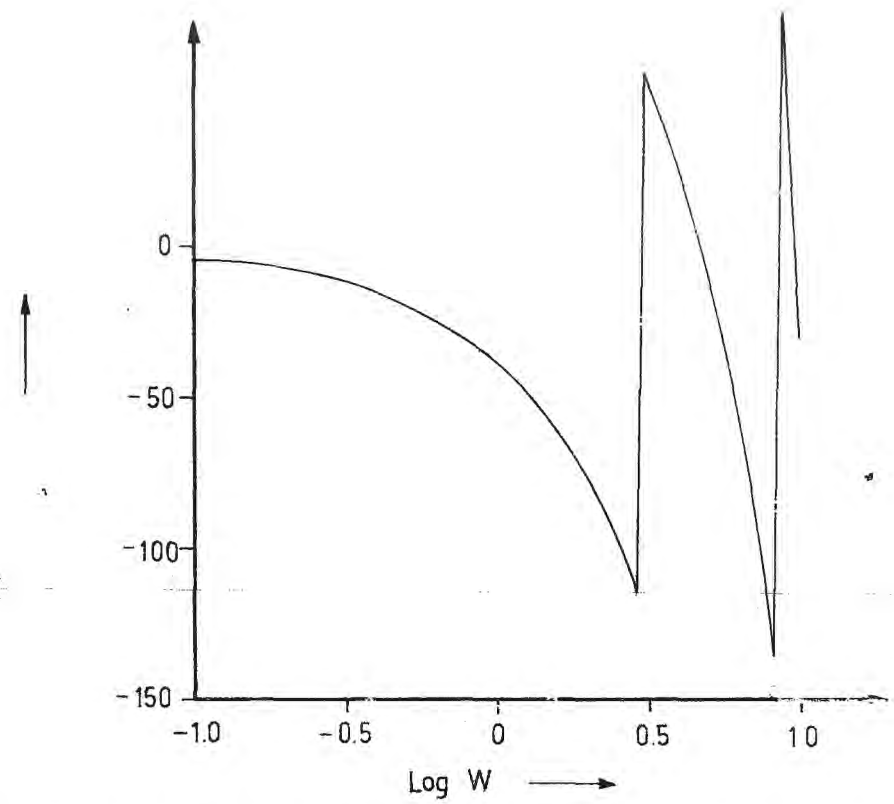


Şekil 5.8 : Besleme derişimindeki pulse etkisinde kazan ürünü X_B, çıkış derişimi için Trapezoidal yaklaşım yöntemi ile hesaplanan Bode diyagramı

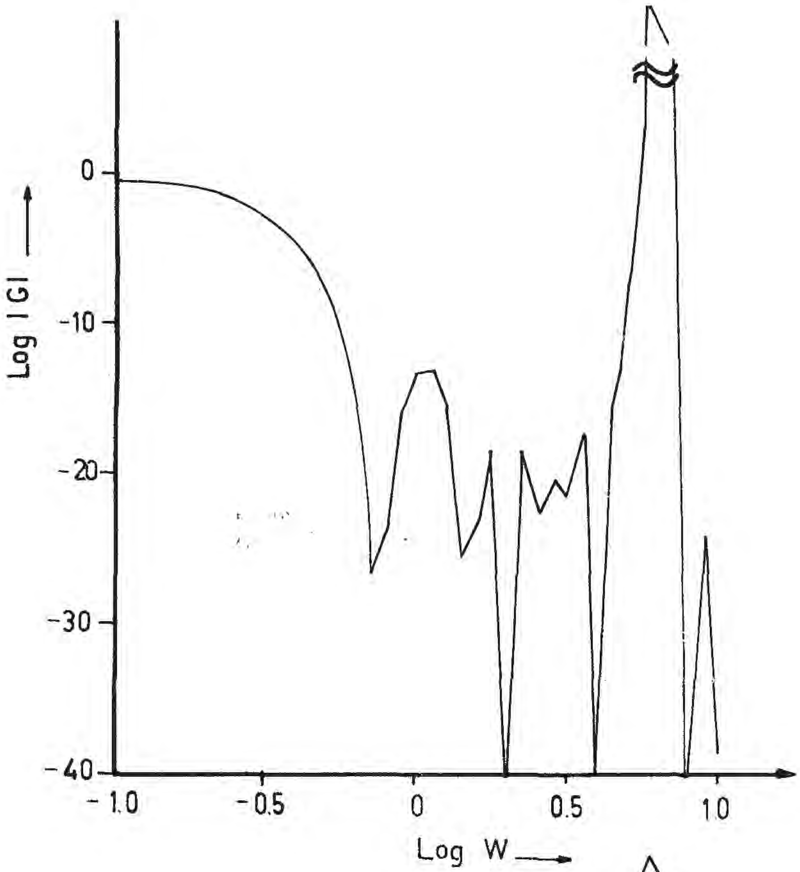


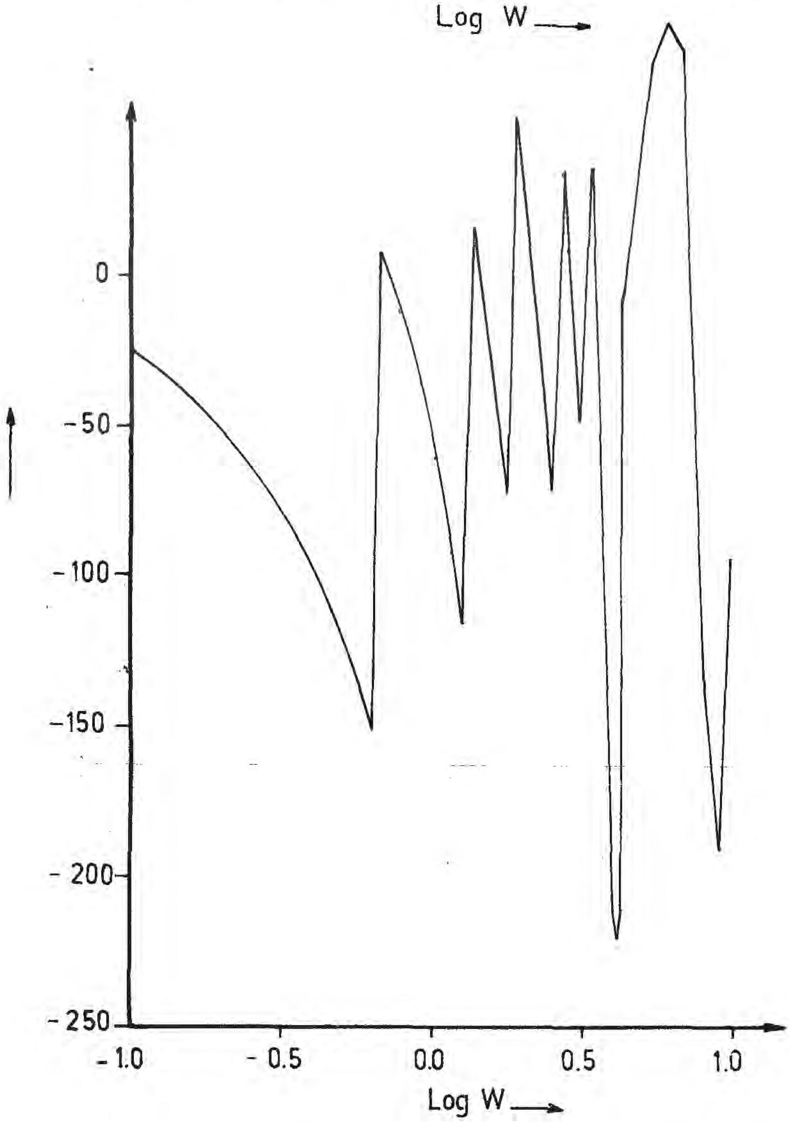
Şekil 5.9 : Besleme derişimindeki impulse etkisinde üst ürün, X_D, çıkış derişimi için Doğrusal-I yaklaşım yöntemi ile hesaplanan Bode diyagramı



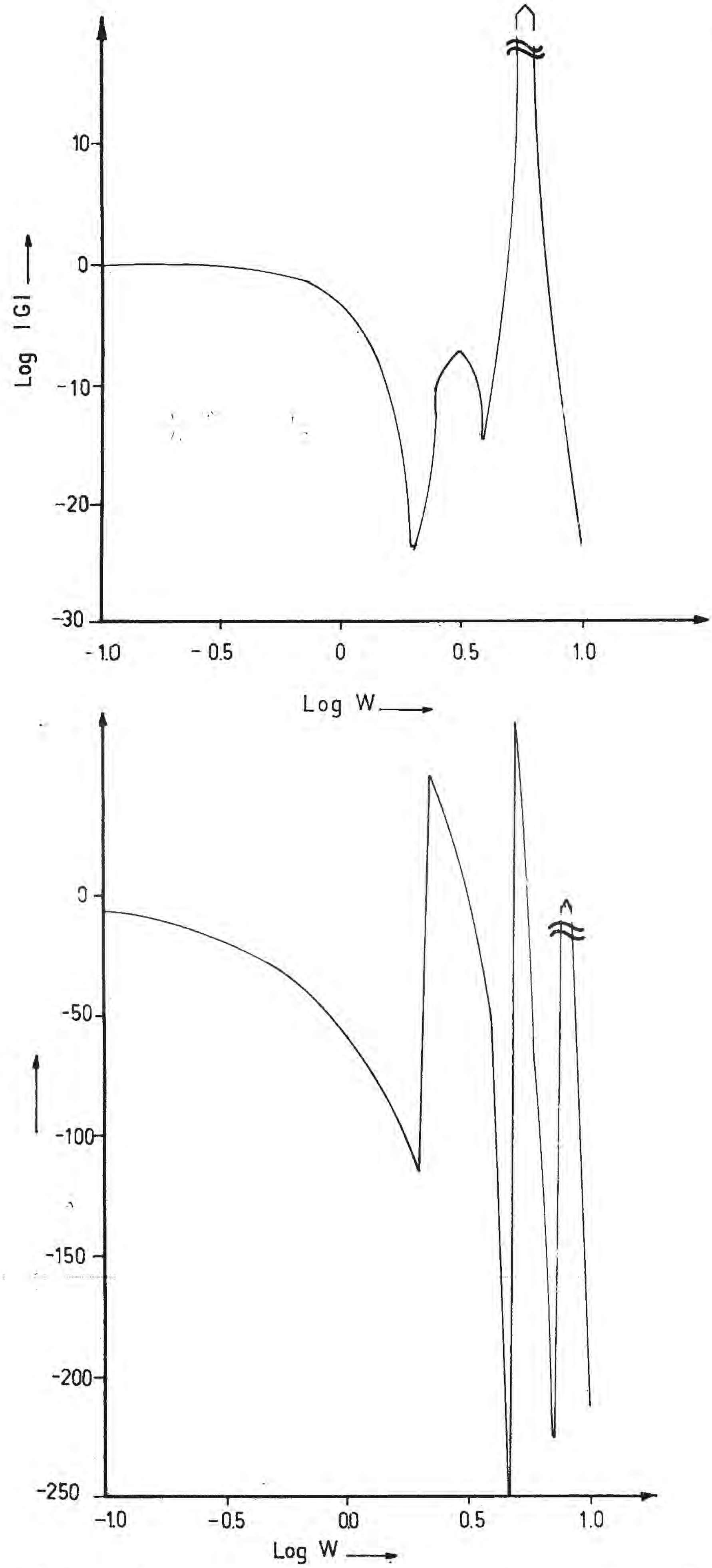


Şekil 5.10 : Besleme derişimindeki impulse etkisinde kazan ürünü, X_B, çıkış derişimi için Doğrusal-I yaklaşım yöntemi ile hesaplanan Bode diyagramı

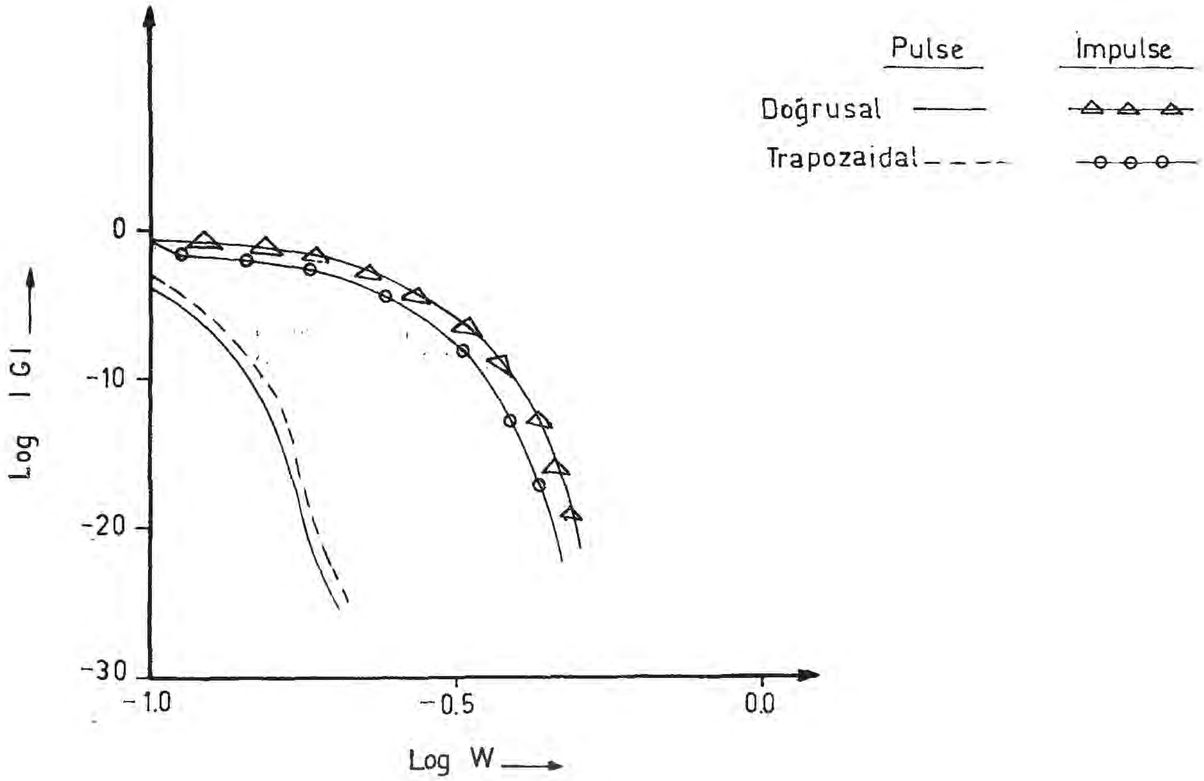


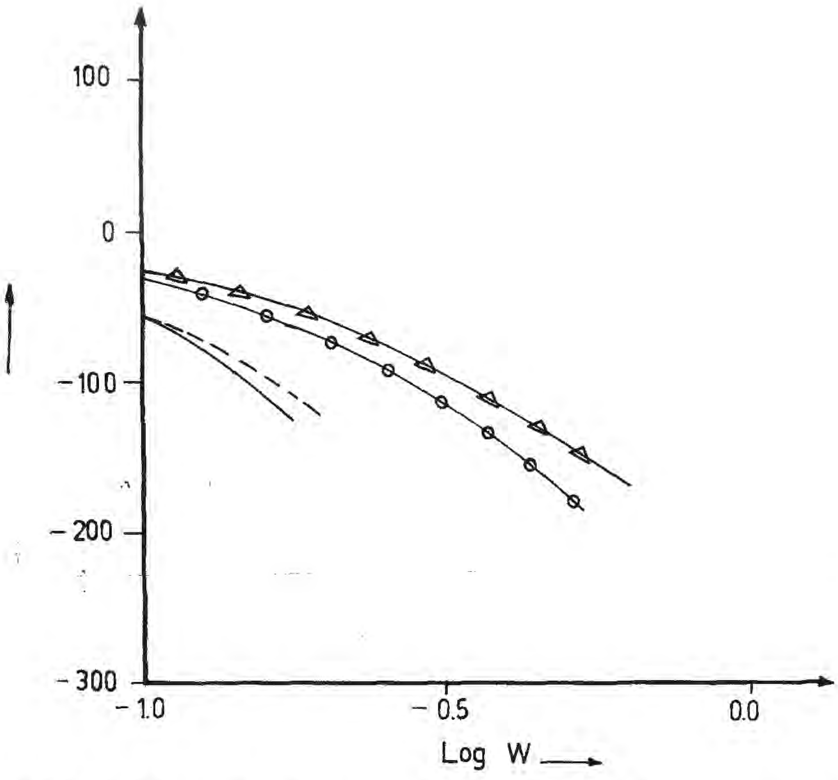


Şekil 5.11 : Besleme derişimindeki impulse etkısınde üst ürün, X_D, çıkış derişimi için Trapezoidal yaklaşım yöntemi ile hesaplanan Bode diyagramı

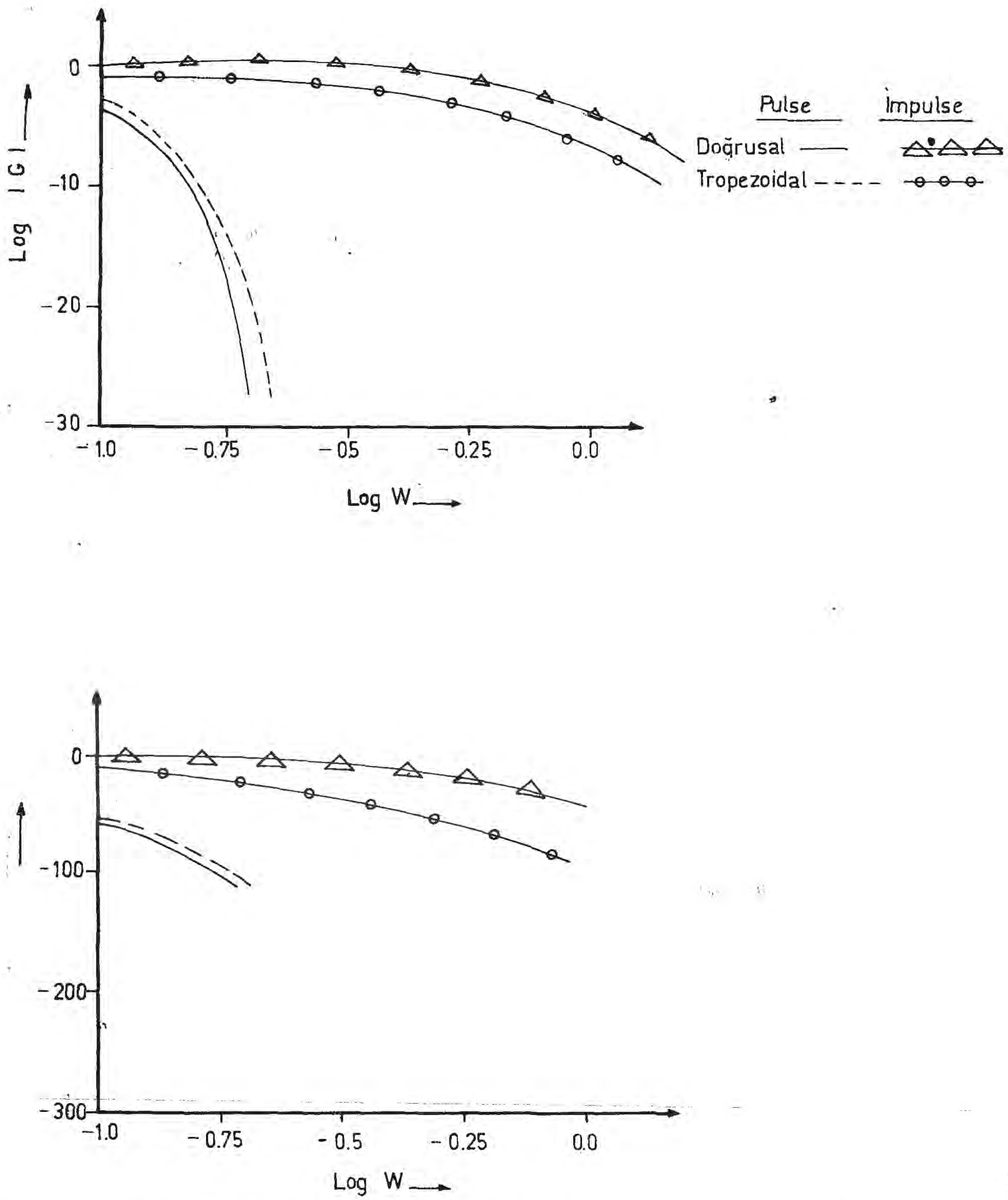


Şekil 5.12 : Besleme derişimindeki impulse etkisinde kazan ürünü, X_B, çıkış derişimi için Trapezoidal yaklaşım için hesaplanan Bode diyagramı.





Şekil 5.13 : Besleme derişimine pulse ve impulse etkileri verildiğinde üst ürün, X_D, için Bode diyagramları



Şekil 5.14 : Besleme derişimine pulse ve impulse etkileri verildiğinde kazan ürün , X_B, için Bode diyagramları

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE İLERİ ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER

Bu bölümde, yapılan araştırmada elde edilen sonuçlar ve ileri çalışmalar için önerilere yer verilmiştir.

1. Besleme derişimine pulse ve impulse değişimleri verilerek çıkış değişimleri olan üst ve kazan ürünlerinin derişimleri Zamana göre değişimleri hesaplanmıştır.
2. Üst ve kazan ürünlerinin derişimlerinin zamana göre değişimlerinden ilgili Bode diyagramları doğrusal ve trapezoidal yaklaşım yöntemleri ile hesaplanmıştır.
3. Hesaplanan Bode diyagramları belli bir frekanstan sonra kararsızlık göstermektedirler.
4. İmpulse ve pulse etkilerinden elde edilen Bode diyagramları birbirine benzemektedirler.

Yukarıda verilen sonuçlar yardımı ile ilgili öneriler aşağıda verilmiştir.

1. Dolgulu destilasyon kolonunun benzer şartlarda pulse etkisi deneysel olarak incelenebilir. Deneysel ve teorik sonuçlar karşılaştırılabilir.

2. Dolgulu destilasyon kolonunun besleme derişimine pseude-random etkisi verilerek daha sağlıklı Bode diyagramları hesaplanabilir.

3. Benzer çalışmalar çok bileşenli kolonlar içinde yapılabilir.

4. Bu kolonun otomatik ve optimal kontrolları yapılabilir.

EK 1

YATIŞKIN VE YATIŞKIN OLMAYAN-HAL DENKLEMLERİNİN SAYISAL BİLGİSAYAR İLE ÇÖZÜMÜ

Yatışkın-hal denkleminde uygun KyaS değerinin bulunması için başlangıç KyaS değerinin hesaplanması aşağıda verilmiştir.

x_F = 0,54 Formik Asit

x_F = 0,46 su

T_F = 27 (^oC)

V_F = 19,5 ($\frac{cm^3}{dak}$)

x_D = 0,34 Formik Asit

x_D = 0,66 su

T_D = 27 (^oC)

V_D = 4,0 ($\frac{cm^3}{dak}$)

x_B = 0,57 Formik Asit

x_D = 0,43 Su

T_B = 104 (^oC)

V_B = 15,5 ($\frac{cm^3}{dak}$)

Hesaplamalar eşlenik mol yüzdeleri cinsinden yapılacağından;

$$X(EMY) = \frac{X(KY).4,5}{[X(KY)3,5]+1}$$ eşitliği kullanılacaktır.

x_F (EMY) = 0,793 Su

x_D (EMY) = 0,897 Su

x_B (EMY) = 0,772 Su

Bir mol çözeltinin gram olarak ağırlığı,

$A = x_{su}(EMY) + (1-x_{su}(EMY)).4,5$ denkleminden hesaplanır.

$A_F = 1,7245$ (g)

$A_D = 1,3605$ (g)

$A_B = 1,7980$ (g)

Bir gramın cm^3 olarak hacmi,

$$V_{TOP} = \frac{x_{su}\ (KY)}{\rho_{su}} + \frac{x_{F.asit}\ (KY)}{\rho_{F.asit}}$$

denkleminden hesaplanır.

$$V_{F_{TOP}} = 0,902\ (\frac{cm^3}{g})$$

$$V_{D_{TOP}} = 0,939\ (\frac{cm^3}{g})$$

$$V_{B_{TOP}} = 0,897\ (\frac{cm^3}{g})$$

Çözeltinin $(\frac{g}{cm^3})$ olarak ortalama yoğunluğu,

$\rho_V = \frac{1}{V}$ denkleminden hesaplanır.

$$\rho_{V_F} = \frac{1}{V_{F_{TOP}}} = 1,103\ (\frac{g}{cm^3})$$

$$\rho_{V_D} = \frac{1}{V_{D_{TOP}}} = 1,065\ (\frac{g}{cm^3})$$

$$\rho_{V_B} = \frac{1}{V_{B_{TOP}}} = 1,115\ (\frac{g}{cm^3})$$

Çözeltilerin giriş hızlarını $\bar{v} = \frac{V\rho_v}{A}$; $(\frac{EMY}{dak})$ denklemi verir.

$V_F = 12,54\ (\frac{EMY}{dak})$

$V_D = 3,131\ (\frac{EMY}{dak})$

$V_B = 9,612\ (\frac{EMY}{dak})$

$V_{Buhar} = V_D\ (1 + R)$

$V_{Buhar} = 6,262\ (\frac{EMY}{dak})$

$L = V_{Buhar} - D \Rightarrow L = 3,13\ (\frac{EMY}{dak})$

$Cp_{su} = 0,239\ (\frac{j}{g^oC})$ $Cp_{F.asit} = 0,7488\ (\frac{j}{g^oC})$

alınırsa;

Çözeltinin öz ısısı;

$\bar{C}p_r = x_{su}(KY).Cp_{su} + x_{F.asit}(KY)\ Cp_{F.asit}$

denkleminden

$\bar{C}p_F = 0,177\ (\frac{j}{g^oC})$ bulunur.

Beslemenin özelliğini belirten parametre (f) $f < 0$ olduğundan

$$f = - \frac{\bar{C}p_F \ (T-T_F)}{\lambda_{su}}$$ denkleminden f = -0,107 bulunur.

$$y = - \frac{1-f}{f} x + \frac{x_F}{f}$$ besleme doğrusu denkleminden,

y = 10,34 x - 7,4 bulunur.

Zenginleştirme bölgesinde çalışma doğrusunu hesaplamak için;

$$y = \frac{R}{R+1} x + \frac{x_D}{R_D+1}$$ Eğim = $\frac{R}{R+1}$

Kesim = $\frac{x_D}{R+1}$

R = 1 olduğundan

Eğim = 0,5 Kesim = 0,4485 bulunur.

Zenginleştirme bölgesinde çalışma doğrusu denklemi

y = 0,5 x + 0,4485 şeklindedir.

Besleme ve zenginleştirme bölgesinde çalışma doğrusunun kesim noktaları grafikten çizim ile bulunmuştur. Şekil E1.1 .

$$\int_{y_B^*}^{y_1} \frac{dy}{y^* - y}$$; denkleminin grafiksel integrasyonu ile, Z uzunluğu bulunur.

$$Z = \int_0^Z dZ \quad \frac{V}{K_y aS} \int_{y_B^\star}^{y_1} \frac{dy}{y^\star - y} \quad \text{veya}$$

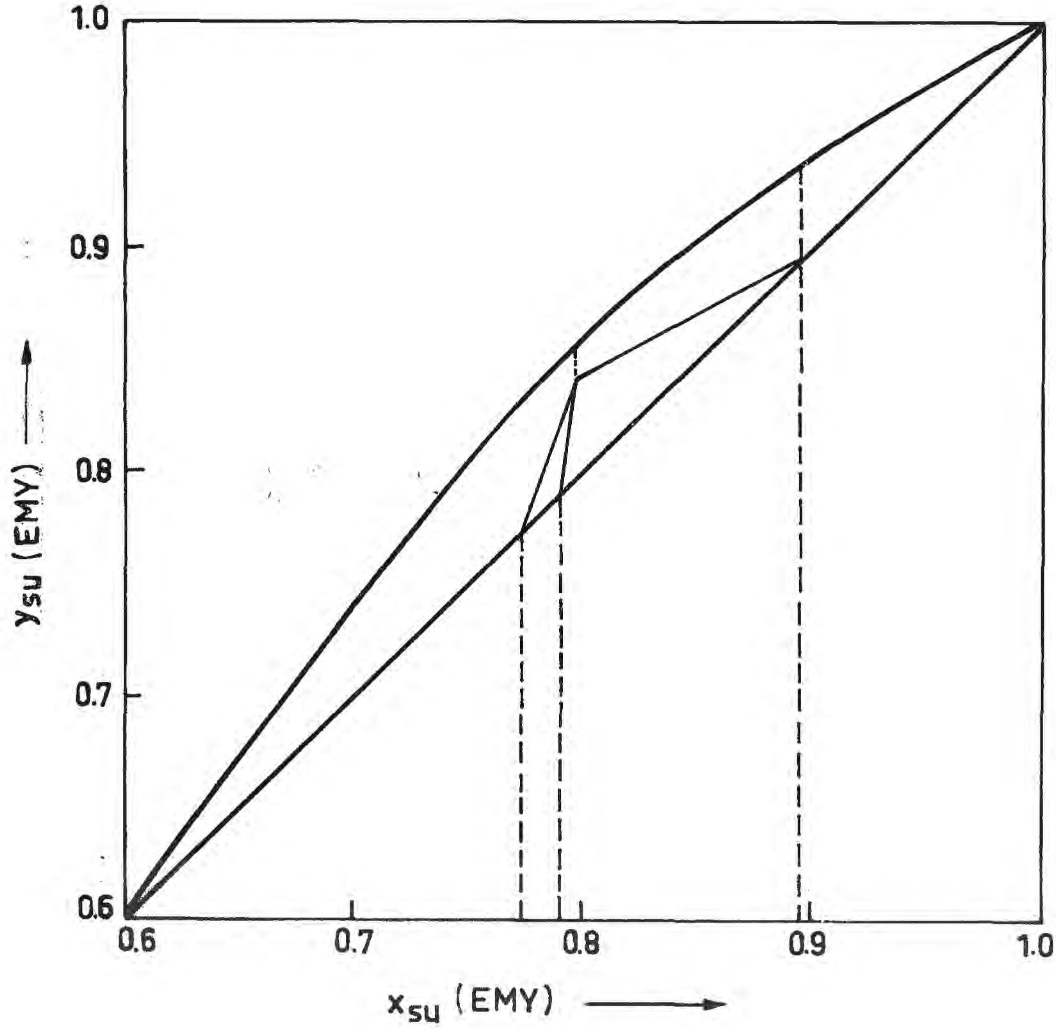
$$Z = \frac{V}{K_y aS} \Sigma \frac{\Delta y}{y^\star - y}$$

Grafiksel integrasyon eğrisi Şekil E1.2'de gösterilmiştir. İşlem sonunda;

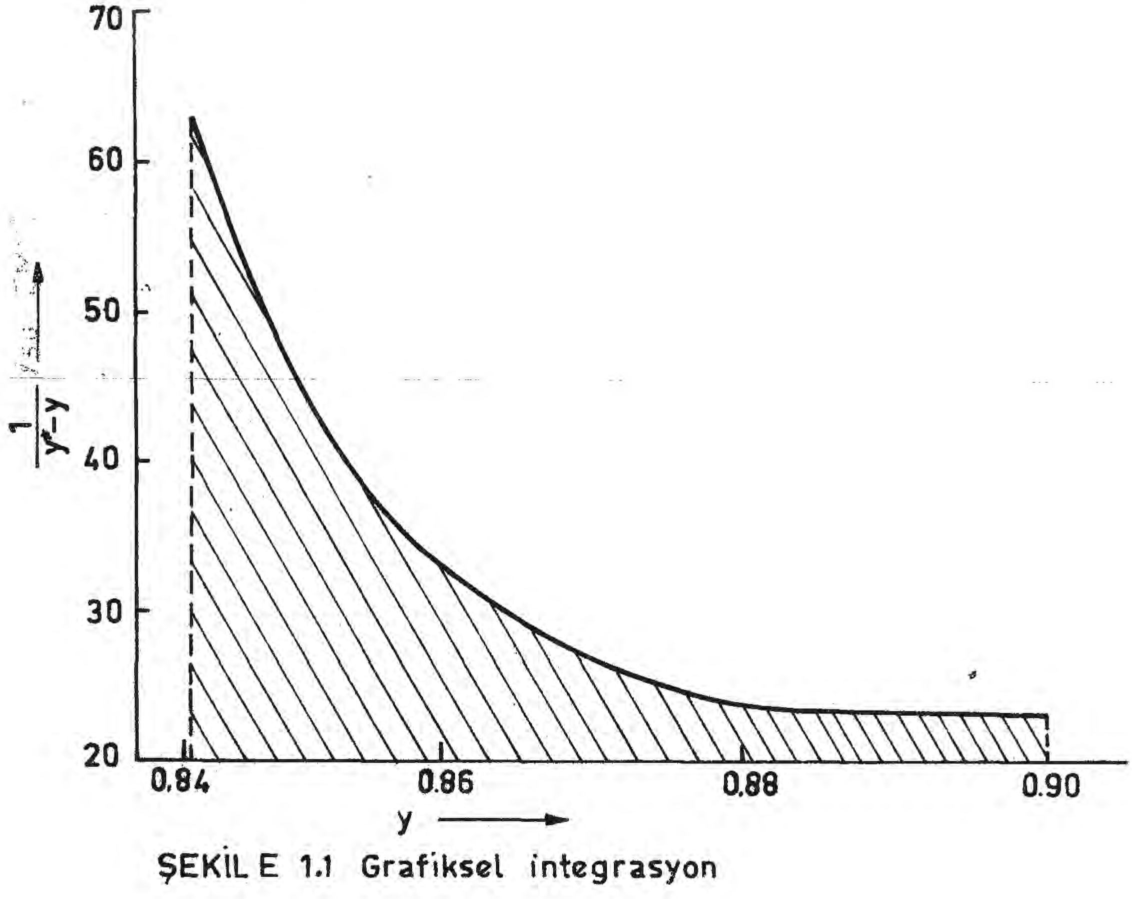
$$\int_{y_B^\star}^{y_1} \frac{dy}{y^\star - y} = 1,7487 \text{ bulunmuş ve}$$

$$K_y aS = \frac{6,262.1,7487}{150} \text{ den,}$$

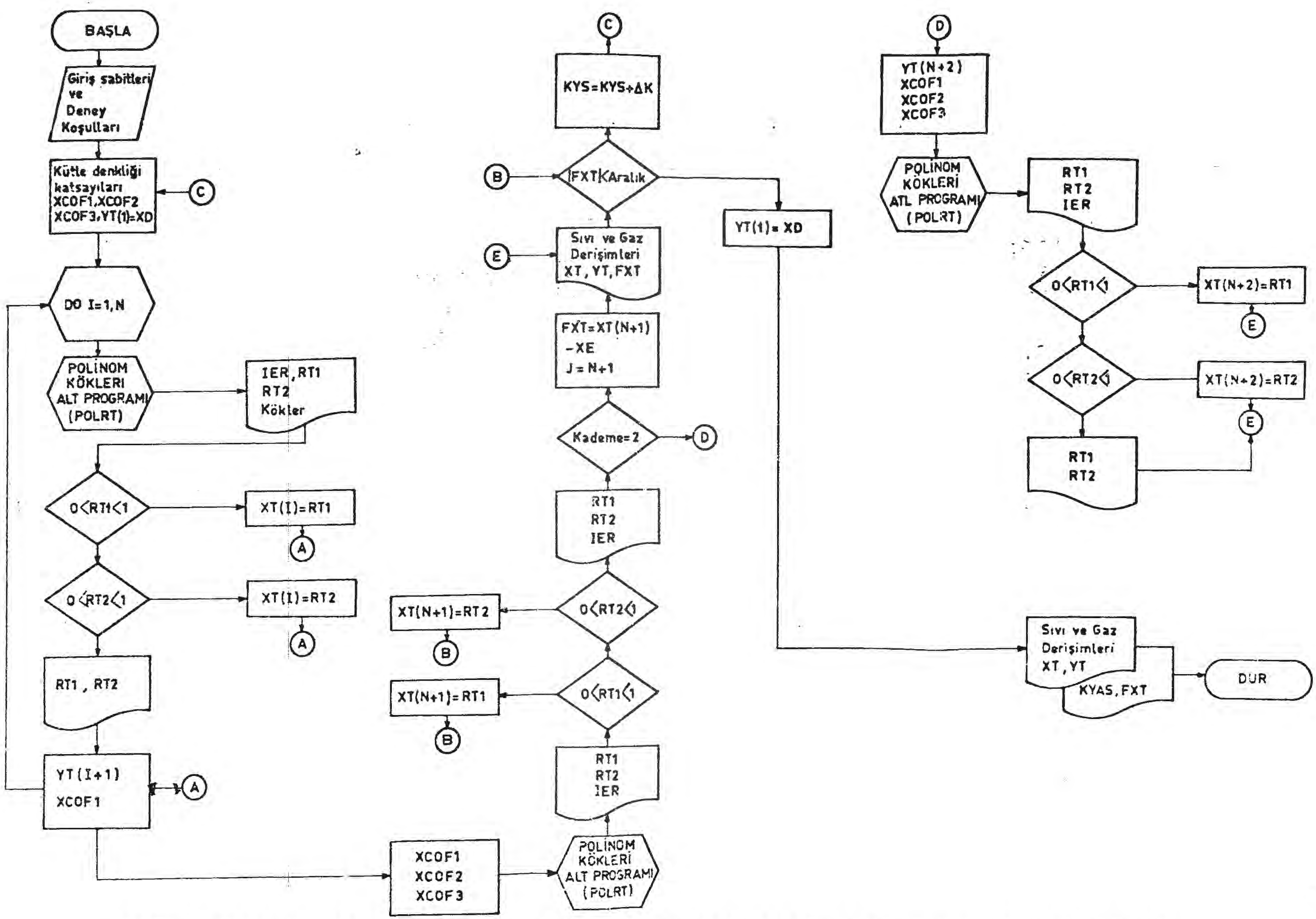
$$K_y aS = 0,07352 \; \left(\frac{\text{EMM}}{\text{cm}^2 \text{ dak}}\right) \text{ bulunmuştur.}$$



ŞEKİL E 2.1 İşletme ve denge doğruları



ŞEKİL E 1.1 Grafiksel integrasyon



ŞEKİL E 1.2 Yatışkan-hal denklemlerinin sayısal bilgisayar çözümü akış diyagramı

YATIŞKIN-HAL DENKLEMLERİNİN SAYISAL BİLGİSAYAR ÇÖZÜMÜ

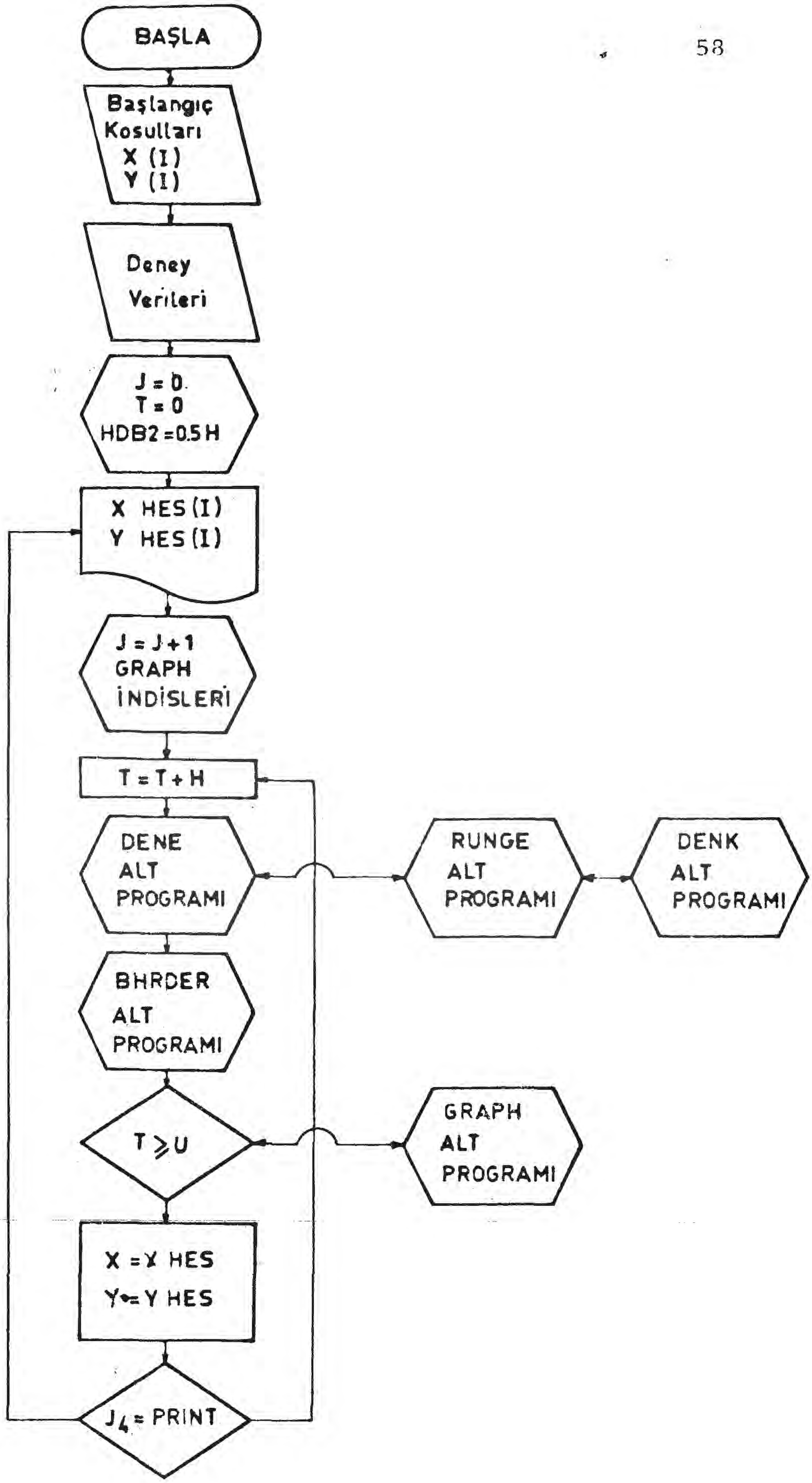
FORTRAN PROGRAMI

```
C       ***GAZI  UNIVERSITESI***
C       CANAN  BASKURT
C       DOLGULU  DISTILASYON  KOLONUNUN  DINAMIGI
        REAL KYAS,L
        DIMENSION XCOF(3),COF(3),RT1(2),RT2(2),XT(200),YT(200)
        READ(5,15)KYAS,YT(1),L,DZ,XD,XE,DK,V,ARALIK,KADEME,EGIM,YKES,N
   15   FORMAT(F9.4,F5.3,F7.3,3F5.3,F7.5,F7.3,F6.4,3X,I1,2F7.3,I2)
  888   YT(1)=XD
        XCOF(1)=-1.*(KYAS*DZ*YT(1)+L*XD-(-0.980806)*KYAS*DZ)
        XCOF(2)=KYAS*DZ*3.5799+L
        XCOF(3)=KYAS*DZ*(-1.603484)
        DO66 I=1,N
        CALL POLRT(XCOF,COF,2,RT1,RT2,IER)
        WRITE(6,99)IER,RT1,RT2
        IF(RT1(1).GE.0.0.AND.RT1(1).LE.1.0)GO TO 10
        IF(RT1(2).GE.0.0.AND.RT1(2).LE.1.0)GO TO 20
        WRITE(6,4)RT1(1),RT1(2)
    4   FORMAT(10X,2F16.8,/)
   10   XT(I)=RT1(1)
        GO TO 8
   20   XT(I)=RT1(2)
    8   YT(I+1)=(V*YT(1)-KYAS*(-1.60348*XT(I)**2+3.5799*XT(I)-0.980806-
       *YT(1))*DZ)/V
        XCOF(1)=-1.*(KYAS*DZ*YT(I+1)+L*XT(I)-(-0.980806)*KYAS*DZ)
        YT(1)=YT(I+1)
   66   CONTINUE
   99   FORMAT(10X,4HI1R,I4,10X,8HKOKIVE2=,4F16.4,/)
        XCOF(1)=-0.980806-YT(N+1)
        XCOF(2)=3.5799
        XCOF(3)=-1.60484
        CALLPOLRT(XCOF,COF,2,RT1,RT2,IER)
        WRITE(6,98) IER,RT1,RT2
   98   FORMAT(10X,4HI2R,I4,10X,8HKOKIVE2=,4F16.4,/)
        IF(RT1(1).GE.0.0.AND.RT1(1).LE.1.0)GO TO 11
        IF(RT1(2).GE.0.0.AND.RT1(2).LE.1.0)GOTO 21
        WRITE(6,4)RT1(1),RT1(2)
   11   XT(N+1)=RT1(1)
        GO TO 88
   21   XT(N+1)=RT1(2)
   88   IF(KADEME.EQ.2)GO TO 1002
        FXT=XT(N+1)-XE
        J=N+1
 1003   WRITE(6,19)(XT(I),YT(I),I=1,J),FXT
   19   FORMAT(//,10X,10F11.4,/)
        IF(ABS(FXT).LE.ARALIK)GO TO 999
        KYAS=KYAS+DK
  881   GO TO 888
 1002   YT(N+2)=EGIM*XT(N+1)+YKES
        XCOF(1)=-0.980806-YT(N+2)
        XCOF(2)=3.5799
        XCOF(3)=-1.60484
        CALL POLRT(XCOF,COF,2,RT1,RT2,IER)
        WRITE(6,100)IER,RT1,RT2
  100   FORMAT(10X,4HI3R,I4,10X,8HKOKIVE2=,4F16.4,/)
        IF(RT1(1).GE.0.0.AND.RT1(1).LE.1.0) GO TO 12
        IF(RT1(2).GE.0.0.AND.RT1(2).LE.1.0) GO TO 22
        WRITE(6,4)RT1(1),RT1(2)
```

```
  12 XT(N+2)=RT1(1)
     GO TO 89
  22 XT(N+2)=RT1(2)
  89 FXI=XT(N+2)-XE
     J=N+2
     GO TO 1003
 999 YT(1)=XD
     WRITE(6,30)
  30 FORMAT(///,3X,78HSIVI VE GAZ FAZLARI DERISIMLERININ DOLGULU DESTIL
    %ASYON KOLONU BOYUNCA DEGISIMI,/,3X,78H****************************
    **************************************************,/)
     WRITE(6,31)
  31 FORMAT(10X,40HSIVI FAZI KADEME CIKIS DERISIMLERI (EMY),/)
     WRITE(6,32) (XT(I),I=1,10)
  32 FORMAT(5X,2HX1,7X,2HX2,7X,2HX3,7X,2HX4,7X,2HX5,7X,2HX6,7X,2HX7,7X
    *,2HX8,7X,2HX9,7X,3HX10,/,3X,10F9.4)
     WRITE(6,33) (XT(I),I=11,20)
  33 FORMAT(5X,3HX11,6X,3HX12,6X,3HX13,6X,3HX14,6X,3HX15,6X,3HX15,6X,
    *3HX16,6X,3HX17,6X,3HX18,6X,3HX19,6X,3HX20,/,3X,10F9.4)
     WRITE(6,34) XT(21)
  34 FORMAT(20X,3HX21,F11.4)
     WRITE(6,35)
  35 FORMAT(10X,39HGAZ FAZI KADEME CIKIS DERISIMLERI (EMY),/)
     WRITE(6,36) (YT(I),I=1,10)
  36 FORMAT(5X,2HY1,7X,2HY2,7X,2HY3,7X,2HY4,7X,2HY5,7X,2HY6,7X,2HY7,7X,
    *2HY8,7X,2HY9,7X,3HY10,/,3X,10F9.4)
     WRITE(6,37) (YT(I),I=11,20)
  37 FORMAT(5X,3HY11,6X,3HX12,6X,3HY13,6X,3HY14,6X,3HY85,6X,3HY16,6X,3H
    *Y17,6X,3HY18,6X,3HY19,6X,3HY20,/,3X,10F9.4)
     WRITE(6,38) YT(21)
  38 FORMAT(20X,3HY21,F11.4)
     WRITE(6,39)KYAS,FXT
  39 FORMAT(10X,14HKYAS (EMY/DAK),25HFXT=X21(HESAP)-X21(DENEY),/,10X2F11
    *1.4)
     STOP
     END
     SUBROUTINEPOLRT(XCOF,COF,M,RCOTR,RCOTI,IER)
     DIMENSIONXCOF(1),COF(1),RCOTR(1),RCOTI(1)
     DOUBLEPRECISIONXO,YO,X,Y,XPR,YPR,UX,UY,V,YT,XT,U,XT2,YT2,SUMQ,DX,
    +DY,TEMP,ALPHA
     IFIT=0
     N=M
     IER=0
     IF(XCOF(N+1))10,25,10
10   IF(N)15,15,32
15   IER=1
20   RETURN
25   IER=4
     GO TO 20
30   IER=2
     GO TO 20
  32 IF(N-36)35,35,30
35   NX=N
     NXX=N+1
     N2=1
     KJ1=N+1
     DO40L=1,KJ1
     MT=KJ1-L+1
40   COF(MT)=XCOF(L)
```

```
 45    XO=.00500101
       YO=0.01000101
       IN=0
 50    X=XO
       XO=-10.0*YO
       YO=-10.0*X
       X=XO
       Y=YO
       IN=IN+1
       GO TO 59
 55    IFIT=1
       XPR=X
       YPR=Y
   59  ICT=0
   60  UX=0.0
       UY=0.0
       V=0.0
       YT=0.0
       XT=1.0
       U=COF(N+1)
       IF(U)65,130,65
 65    DO70I=1,N
       L=N-I+1
       TEMP=COF(L)
       XT2=X*XT-Y*YT
       YT2=X*YT+Y*XT
       U=U+TEMP*XT2
       V=V+TEMP*YT2
       FI=I
       UX=UX+FI*XT*TEMP
       UY=UY-FI*YT*TEMP
       XT=XT2
 70    YT=YT2
       SUMQ=UX*UX+UY*UY
       IF(SUMQ)75,110,75
   75  DX=(V*UY-U*UX)/SUMQ
       X=X+DX
       DY=-(U*UY+V*UX)/SUMQ
       Y=Y+DY
   78  IF(DABS(DY)+DABS(DX)-1.0D-05)100,80,80
 80    ICT=ICT+1
       IF(ICT-500)60,85,85
 85    IF(IFIT)100,90,100
   90  IF(IN-5)50,95,95
 95    IER=3
       GO TO 20
  100  DO105L=1,NXX
       MT=KJ1-L+1
       TEMP=XCOF(MT)
       XCOF(MT)=COF(L)
 105   COF(L)=TEMP
       ITEMP=N
       N=NX
       NX=ITEMP
       IF(IFIT)120,55,120
 110   IF(IFIT)115,50,115
 115   X=XPR
       Y=YPR
 120   IFIT=0
```

```
 122 IF(DABS(Y)-1.0D-4*DABS(X))135,125,125
125   ALPHA=X+X
      SUMQ=X*X+Y*Y
      N=N-2
      GO TO 140
130   X=0.0
      NX=NX-1
      NXX=NXX-1
135   Y=0.0
      SUMQ=0.0
      ALPHA=X
      N=N-1
 140  COF(2)=COF(2)+ALPHA*COF(1)
145   N3=N
      IF(N3-2)5,146,146
5     N3=2
146   DO150L=2,N3
 150  COF(L+1)=COF(L+1)+ALPHA*COF(L)-SUMQ*COF(L-1)
 155  RCOTI(N2)=Y
      RCOTR(N2)=X
      N2=N2+1
      IF(SUMQ)160,165,160
 160  Y=-Y
      SUMQ=0.0
      GO TO155
165   IF(N)20,20,45
      END
```



ŞEKİL E1.3 : Yatışkın olmayan-hal denklemlerinin sayısal bilgisayar çözümü akış diagramı

YATIŞKIN OLMAYAN-HAL DENKLEMLERİNİN SAYISAL BİLGİSAYAR ÇÖZÜMÜ FORTRAN PROGRAMI

```
      REAL KYAS,L
      INTEGER HL3,PRINT
      DIMENSION X(100),Y(100),XHES(100),YHES(100),XA(100),XB(100),
     *C1(100),C2(100),C3(100),C4(100),TUR(100),TP(300),TP2(300),
     *XP(300),XP2(300),ORD(3),APS(3),TITLE(20),Z(300)
      COMMON V,L,HL1,HL2,HL3,F,XF,KYAS,DZ,HDB2,B,HATAL,D
      WRITE(6,100)
100   FORMAT(1H1,///,T10,' BESLEME DER$@$M$NDEK$ NEGAT$F KADEME DE]$@$M
     1ININ KOLON D$NAM$]$NE ETK$S$',/,T10,80('-'),////)
      WRITE(6,105)
105   FORMAT(1H1)
      READ(5,5) N
5     FORMAT(I3)
      READ(5,6)(X(I),I=1,N)
      READ(5,6)(Y(I),I=1,N)
      READ(5,7)KYAS,V,L,F,XF,H,DZ,HL1,HL2,HL3,HATAL,U,M,N
      READ(5,8)B,D
      READ(5,10) ORD,APS,TITLE
10    FORMAT(2(3A4/),20A4)
      WRITE(6,104) H
104   FORMAT(T10, 'H = ',E12.6)
      J=0
      T=0.
      HDB2=0.5*H
68    WRITE(6,101)T
101   FORMAT(T10,'T= ',E12.6,' DAKIKADA SIVI VE GAZ FAZLARINDAKI KADEMEL
     1ERIN CIKIS DERISIMLERI(EMY)',/,T25,80('-'),//)
      WRITE(6,102)
102   FORMAT(1X,'**** SIVI FAZI ****',//)
      WRITE(6,16)(XHES(I),I=1,N)
      WRITE(6,103)
103   FORMAT(1X,'**** GAZ FAZI ****',//)
      WRITE(6,16)(YHES(I),I=2,N)
16    FORMAT(//,10G12.4)
      J4=1
      PRINT=10
      J=J+1
      TP(J)=T
      TP2(J)=T
      Z(J)=PLUS
      XP(J)=X(1)
      XP2(J)=X(22)
63    T=T+H
      IF(J.GE.1) GO TO 24
      GO TO78
24    V=6.262
      L=3.13
      F=12.54
      B=9.612
      D=3.131
      XF=0.793
78    CALL DENE(T,X,H,N,K,XHES,XA,XB,TUR,C1,C2,C3,C4,Y,M)
      CALL BHRDER(N,XHES,YHES,X,Y)
      IF(T.GE.U) GO TO 88
      DO 66 I=1,N
66    X(I)=XHES(I)
      DO 67 I=2,N
67    Y(I)=YHES(I)
      IF(J4.EQ.PRINT) GO TO 68
      J4=J4+1
      GO TO 63
88    STOP
      DATA PLUS/'+'/
6     FORMAT(8F10.4)
7     FORMAT(F6.4,3F6.3,2F5.3,F3.1,2F7.4,I7,F6.4,F4.1,2I3)
8     FORMAT(2F7.4)
      END
```

```
      SUBROUTINE DELT(I,X,H,N,K,XHES,XA,XB,TUR,C1,C2,C3,C4,Y,M)
      DIMENSION X(N),XA(N),XB(N),XHES(N),TUR(N),C1(N),C2(N),C3(N),C4(N),
     *Y(N)
      REAL KYAS,L
      INTEGER HL3
      COMMON V,L,HL1,HL2,HL3,F,XF,KYAS,D7,HDB2,B,HATAL,D
      K=0
      DO 10 I=1,N
      XA(I)=Y(I)
   10 XB(I)=X(I)
      CALL RUNGE(I,XA,N,H,TUR,C1,C2,C3,C4,Y,M)
      CALL RUNGE(I,XB,N,HDB2,TUR,C1,C2,C3,C4,Y,M)
      DO 15 I=2,N
      HATA=(XA(I)-XB(I))/1.0
   15 XHES(I)=XB(I)+HATA
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE RUNGE(I,X,N,H,TUR,C1,C2,C3,C4,Y,M)
      DIMENSION X(N),TUR(N),C1(N),C2(N),C3(N),C4(N),Y(N),XA(100)
      REAL KYAS,L
      INTEGER HL3
      COMMON V,L,HL1,HL2,HL3,F,XF,KYAS,D7,HDB2,B,HATAL,D
      CALL DENK(N,M,X,Y,TUR)
      DO 10 I=2,N
      XA(I)=X(I)
   10 C1(I)=H*TUR(I)
      DO 15 J=2,N
   15 X(J)=XA(J)+C1(J)/2.0
      CALL DENK(N,M,X,Y,TUR)
      DO 20 I=2,N
   20 C2(I)=H*TUR(I)
      DO 25 J=2,N
   25 X(J)=XA(J)+C2(J)/2.0
      CALL DENK(N,M,X,Y,TUR)
      DO 30 I=2,N
   30 C3(I)=H*TUR(I)
      DO 35 J=2,N
   35 X(J)=XA(J)+C3(J)
      CALL DENK(N,M,X,Y,TUR)
      DO 40 I=2,N
   40 C4(I)=H*TUR(I)
      DO 45 I=2,N
   45 X(I)=XA(I)+(C1(I)+2.0*(C2(I)+C3(I))+C4(I))/6.0
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE DEFK(N,M,X,Y,TUR)
      DIMENSION X(N),Y(N),TUR(N)
      REAL KYAS,L
      INTEGER HL3
      COMMON V,L,HL1,HL2,HL3,F,XF,KYAS,DZ,HDB2,B,HATAL,D
      DO 60 I=2,N
      XF=(-1.603484*X(I)**2+3.579*X(I)-0.98086)
      IF(I.LT.M) GO TO 62
      TUR(I)=(H*(Y(I)-X(I))-L*(Y(I)-X(I-1))+F*(XF-Y(I)))/HL3
      GO TO 60
62    TUR(I)=(L*X(I-1)-L*X(I)-KYAS*DZ*(XP-Y(I)))/HL2
60    CONTINUE
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE FORDER(N,XHES,YHES,X,Y)
      DIMENSION X(N),Y(N),XHES(N),YHES(N)
      REAL KYAS,L
      INTEGER HL3
      COMMON V,L,HL1,HL2,HL3,F,XF,KYAS,DZ,HDB2,B,HATAL,D
      NN=N-1
      DO 68 I=1,NN
      IF(I.NE.1) GO TO 61
      YHES(N+1-I)=-1.603484*YHES(N+1-I)**2+3.5799*XHES(N+1-I)-0.980806
      GO TO 68
61    YP=-1.603484*XHES(N+1-I)**2+3.5799*XHES(N+1-I)-0.980806
      YHES(N+1-I)=(V*YHES(N+2-I)+KYAS*DZ*YP)/(V+KYAS*DZ)
68    CONTINUE
      XHES(1)=YHES(2)
      RETURN
      END
```

DOĞRUSAL YAKLAŞIM YÖNTEMİNİN SAYISAL BİLGİSAYAR ÇÖZÜMÜ

FORTRAN PROGRAMI

```
      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=1,3)
 13   FORMAT(3F5.3)
      READ(5,12) (QIN(I),I=1,3)
 12   FORMAT(3F5.4)
      WRITE(6,3)NIN,NOUT,WO,WMAX,WNUM
 3    FORMAT(4X,37HNIN    NOUT     WO     WMAX     WNUM,/,2X,2(I5,3X),3
     $(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(5,2) (TOUT(K),K=1,24)
 2    FORMAT(20F4.3,/,4F5.3)
      READ(5,16) (XOUT(K),K=1,24)
 16   FORMAT(10F8.7)
      WRITE(6,11)
 11   FORMAT(5X,4HTOUT,9X,4HXOUT)
      WRITE(6,15) ((TOUT(K),XOUT(K)),K=1,24)
 15   FORMAT(2(4X,F9.6))
      DW=10.**(1./WNUM)
      W=0.
 100  IF(W.GT.10.000)W=10.0
      IF(NIN.GT.13) 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 DEDGISKENI 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 55N=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 61N=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
```

```
      DP=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,DP,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
```

TRAPEZOİDAL YAKLAŞIM YÖNTEMİNİN SAYISAL BİLGİSAYAR ÇÖZÜMÜ

FORTRAN PROGRAMI

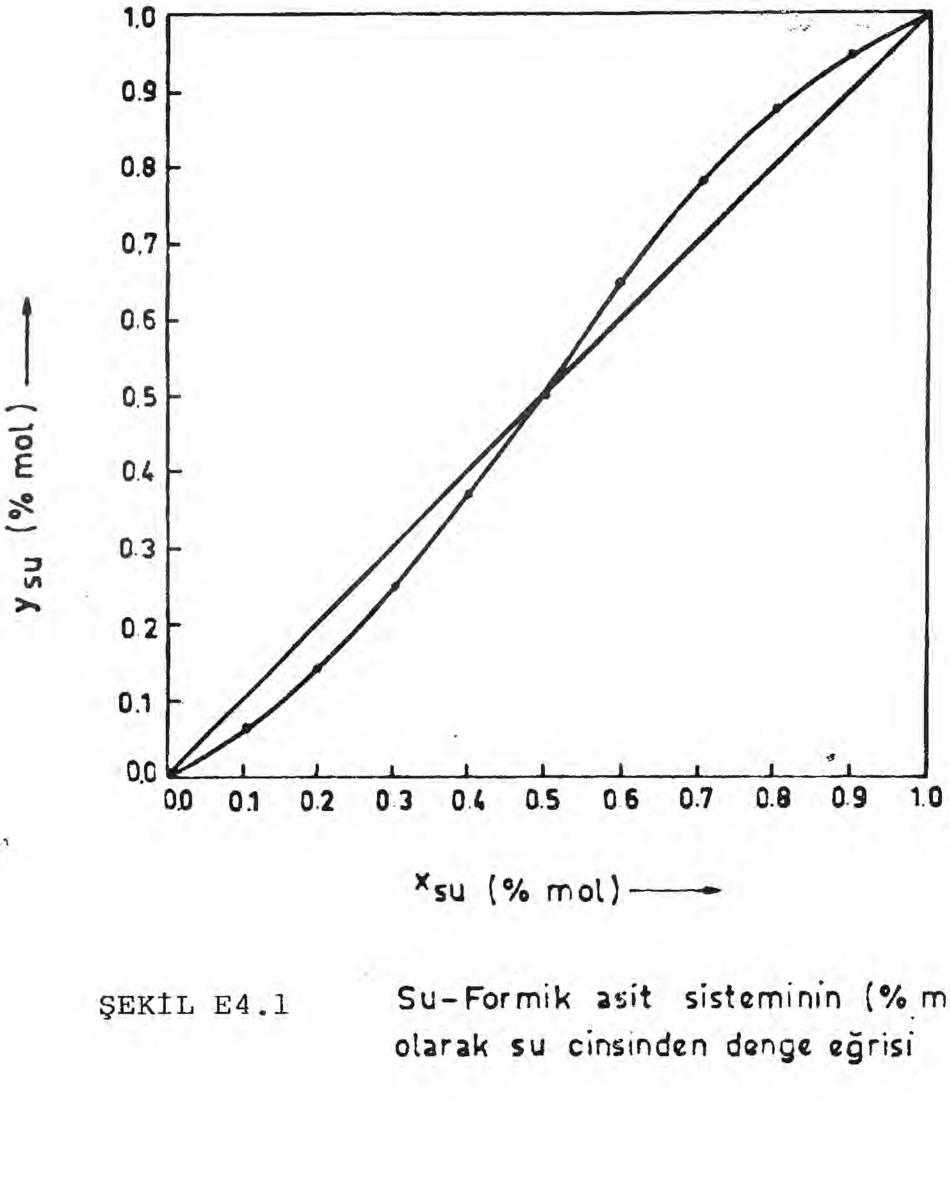
```
      DIMENSION TIN(200),TOUT(200),X(200),Y(200)
      COMPLEX G,G1,G2,G11,G12,FJW,FJ,SUM,SU,PO,PN,GD,GN
      INTEGER RI,RL
C     READ INPUT AND OUTPUT DATA
      READ(5,1)NIN,NOUT,WO,WMAX,WNUM
    1 FORMAT(2I5,3F6.2)
      IF(NIN.EQ.0) GO TO 22
      READ(5,13) (X(I),I=1,3)
   13 FORMAT(3F5.4)
      READ(5,14) (Y(K),K=1,7)
   14 FORMAT(7F8.7)
      DLT1=0.5
      DLT2=0.5
      N1=1
      N2=3
      DLT3=0.5
      DLT4=0.5
      N3=1
      N4=7
      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)+0.5
      WRITE(6,10)
   10 FORMAT(4X,3HTIN,10X,3HQIN)
      WRITE(6,17) TIN(3),X(3)
   17 FORMAT(2(4X,F9.6))
      TOUT(1)=0.
      DO 5 N=2,NOUT
    5 TOUT(N)=TOUT(N-1)+0.5
      WRITE(6,11)
   11 FORMAT(5X,4HTOUT,9X,4HXOUT)
      WRITE(6,15)((TOUT(K),Y(K)),K=1,7)
   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)*0.5)
      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
       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)*0.5)
       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
```

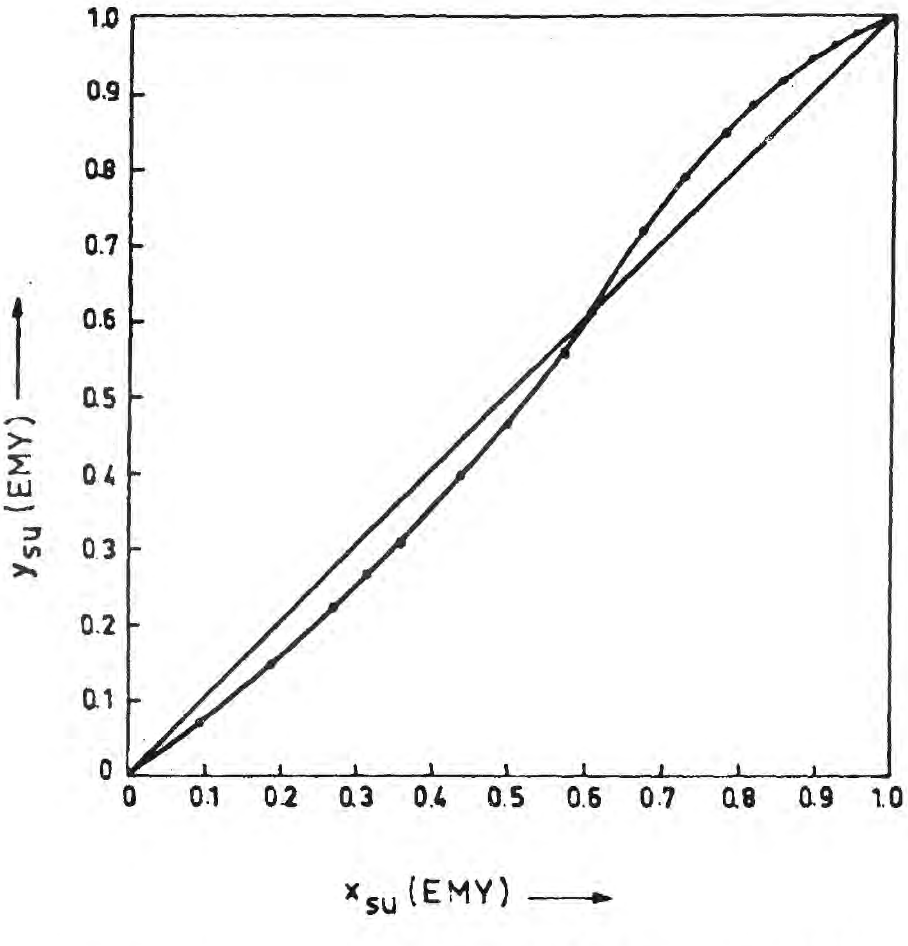
```
115   LRL=RL
      DO116 K=MN,MS,RL
      IF(K.EQ.MN.OR.K.EQ.MS) GO TO 117
      AR=AR+Y(K)*DLTS
      GO TO 116
117   AR=AR+0.5*Y(K)*DLTS
116   CONTINUE
      GO TO (118,119),L
118   GN=GN+CMPLX(AR,0.)
      AR=0.
      L=2
      GO TO 113
119   GN=GN+CMPLX(AR,0.)
 86   G=GN/GD
      IF(W.EQ.0.) 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
```

EK 4

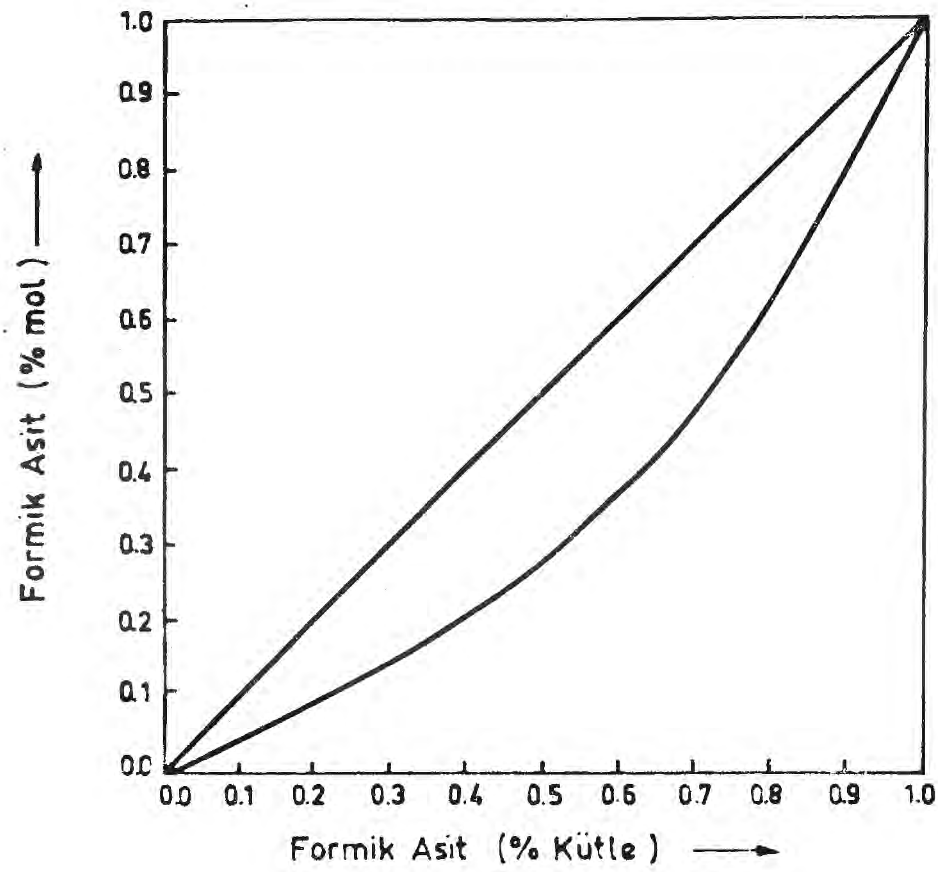
DENGE VE REFERANS EĞRİLERİ



ŞEKİL E4.1 Su-Formik asit sisteminin (% mol) olarak su cinsinden denge eğrisi



ŞEKİL E4.2 Su-Formik asit sisteminin EMY olarak su cinsinden denge eğrisi



ŞEKİL E4.3 Formik asidin (% Kütle)'den (% mole) çevirimi.

REFERANSLAR

1. ALPBAZ, M.

Ankara Üniversitesi Yayınları (1984).

2. HEINKE, G.E.

Ph.D.Thesis, Washington University, USA (1961).

3. TOMMASI, G and RICE, P

Ing.Eng.Chem.Process. Des.Dev.Vol. 9, 224 (1970).

4. LUYBEN, W.L.

Process, Modelling Simulation and Control for Chemical Engineers, Mc-Graw Hill. Comp, Kogokusha (1973).

5. WATANABE, N., MATSUBARA, M.

Jorn of Chem.Eng. of Japan, 14, 78 (1981).

6. STEINER, L. BARENDREGHT, H.P. and HARILAND, S.

Chem. Eng.Sci. Vol. 33, 225 (1977).

7. DREIFKE, G.E.

Ph.D. Thesis, Washington University, USA (1961).

8. HOUGEN, J.D., 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. HİÇŞAŞMAZ, Z.

M.Sc. Ortadoğu Teknik Üniversitesi (1982).

11. ÜNAL, N.

M.Sc. Anadolu Üniversitesi (1984).

12. International Critical Tables

Mc-Graw Hill. Comp (1926).