

29476

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DELİKLİ PLATOLU DESTİLASYON
KOLONUNUN DİNAMİKLERİNİN İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Ş. İsmail KIRBAŞLAR

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

(Temel İşlemler ve Termodinamik Programı)

Danışman: Doç. Dr. Ahmet AYDIN

ŞUBAT - 1993

ÖNSÖZ

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Temel İşlemler ve Termodinamik Anabilim Dalı araştırma laboratuvarlarında yapılan bir araştırmanın ürünüdür.

Bu çalışma " Delikli Platolu Destilasyon Kolonunun Dinamiklerinin İncelenmesi " başlığı altında yapılmıştır.

Destilasyon kolonunun basamak girdi ve puls girdileri karşısındaki dinamik davranışları detaylı olarak incelenmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda destilasyon kolonuna ait transfer fonksiyonları türetilmiştir.

Doktora çalışmalarımın her safhasında fikirlerine ve yardımlarına başvurduğum danışman hocam sayın Doç.Dr. Ahmet AYDIN' a teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince ilgi ve yardımlarını gördüğüm anabilim dalı başkanımız, sayın Prof.Dr.Umur DRAMUR' a teşekkür ederim.

Bilgisayar programlarının geliştirilmesinde yardımcı olan Prof.Dr. Nurbay GÜLTEKİN'e teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarım süresince yardımlarını gördüğüm Doç.Dr.Beşir TATLI, Ar.Gör. Metin HASDEMİR, Ar.Gör.İrfan UNLUSAYIN ve Ar.Gör. Erol İNCE'ye teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	1
KULLANILAN İŞARETLER.....	2

BÖLÜM I

GİRİŞ.....	1
1.1 Amaç ve Kapsam.....	2
1.2 Bu Konuda Daha Önce Yapılan Çalışmalar.....	2
1.3 Kolon Serbestlik Derecesi.....	4
1.4 Dinamik Modelin Derecelenmesi.....	5
1.4.1 Standart Proses Girdileri.....	6
1.4.2 Birinci Mertebeden Sistemlerin Cevabı.....	8
1.4.3 İkinci Mertebeden Sistemlerin Cevabı.....	10
1.5 Kontrol Cihazının Ayarı.....	14
1.5.1 Proses Reaksiyon Eğrisi Yöntemi.....	14
1.6 Kararlı Hal Dizayn Denklemleri.....	16
1.6.1 McCabe-Thiele Yöntemi.....	17

BÖLÜM II

2.1 İki Komponentli Karışım İçin Destilasyon Model Denklemleri	21
2.2 Grafik Metodlar.....	25
2.2.1 Basamak Testlerinin Kullanılmasıyla İkinci Mertebeden Modelleri Geliştirilmesi.....	25
2.2.2 Harriot Metodu.....	26
2.2.3 Smith Metodu.....	27
2.2.4 Ölü Zaman Hesabı.....	28
2.3 Frekans Sahası Dinamikleri.....	29
2.3.1 Puls Testi	29
2.3.2 Puls Testi Deneysel Verilerinden $G(i\omega)$ 'nin Hesaplanması.....	29
2.3.3 Bode Çizimleri.....	30
2.3.4 Transfer Fonksiyonlarının Grafikselsel Olarak Öngörülmesinin Genel Kuralları.....	33
2.3.5 Birinci Mertebeden Artı Zaman Gecikmeli Transfer Fonksiyonlarının Hesaplanması.....	33
2.3.6 İkinci Mertebeden Artı Zaman Gecikmeli Transfer	

	Fonksiyonlarının Hesaplanması.....	34
2.4	Proseslerin Ters (İnverse) Cevabı.....	35
2.5	Destilasyon Kolonunun Asimetrik Davranışı.....	36

BÖLÜM III

3.1	Destilasyon Kolonu.....	37
3.2	Kolonun Teknik Özellikleri.....	39
3.3	Deney Yöntemi.....	39
3.4	Deney Programı.....	40
3.4.1	Deney Çalışma Şartlarının Seçimi.....	41
3.4.2	Birinci Kararlı Hal Durumu.....	41
3.4.3	İkinci Kararlı Hal Durumu.....	41

BÖLÜM IV

Deney Verileri.....	43	
4.1	Deney Tabloları ve Çizilen Grafikler.....	44 - 159

BÖLÜM V

5.1	Basamak Girdi Deneylerinin Değerlendirilmesi.....	160
5.2	Puls Girdi Deneylerinin Değerlendirilmesi.....	161
5.3	Hesaplama Örnekleri.....	162
5.3.1	Harriott Metodunun 1 Numaralı Deneyin Destilat Kompozisyon Değişimlerine Uygulanması.....	163
5.3.2	Smith Metodunun 1 Numaralı Deneyin Destilat Kompozisyon Değişimlerine Uygulanması.....	164
5.3.3	1 Numaralı Deneyde Kazan Kompozisyon Değişiminin İncelenmesi.....	164
5.3.4	1 Numaralı Deneyde Tepe Platosu ve Kazan Kompozisyon Değişimleri İçin Proses Kazançlarının Hesaplanması...165	
5.3.5	1 Numaralı Deneyde Tepe Platosu ve Kazan Kompozisyon Değişimleri İçin Ölü Zaman Hesabı.....	166
5.4	Puls Girdilerine Karşılık Tepe ve Besleme Platoları Temperatür Değişimleri İçin Bode Çizimlerinin Yapılması	167
	Hesaplanan Değerler.....	168 - 184
	Bode Çizimleri.....	185 - 202

BÖLÜM VI

6.1	Yapılan Deneysel ve Kuramsal Çalışmalardan Çıkarılan Sonuçlar.....	207
6.2	İleride Yapılabilecek Araştırmalara İlişkin Öneriler...	208
: BÖLÜM		
	Program 1.....	210
	Program 2.....	212
	Program 3.....	213
	Program 4.....	214
	Program 5.....	215
	ÖZET.....	216
	SUMMARY.....	217
	ÖZGEÇMİŞ.....	218
	YNAK LİSTESİ.....	219



ÖZ

Bu çalışmanın amacı delikli platolu bir destilasyon kolonunun dinamik davranışının incelenmesidir.

Bu çalışmada etilasetat - toluen ikili karışımının sürekli destilasyonu sırasında , kolona basamak girdi değişkeni olarak ; besleme ürünü konsantrasyonu, besleme ürünü debisi ve reflüks oranı değişimleri uygulanmıştır.

Puls girdi değişkeni olarak da kolona ısı girişi ve reflüks değişimleri uygulanmıştır.

Deneyler 3.5 cm. çaplı, 3 m. yükseklikte 53 platodan oluşan delikli platolu bir destilasyon kolonunda yapılmıştır.

Basamak girdi değişimlerinin incelenmesinde Harriott Metodu ve Smith Metodu kullanılmıştır.

Puls girdi ve çıktılarının sapma değişimlerinden faydalanarak dijital bir bilgisayar programı (program 1) vasıtasıyla prosese ait Bode Çizimleri elde edilmiştir.

ABSTRACT

The aim of this study is to examine the dynamic behavior of a perforated plate distillation column.

In this study, during the continuous distillation of the binary mixture of ethyl acetate-toluene, feed concentration, feed flow rate and reflux ratio have been applied to the column as step variables. Also, heat input and reflux variations have been applied to the column as pulse input variables.

The experiments have been performed in a perforated plate distillation column of 3.5 cm diameter and 3 m height and 53 plates.

Harriott Method and Smith Method have been used to study of the step input variations.

Bode diagrams of the process have been obtained from pulse inputs and outputs variations by the computer program (program 1).

KULLANILAN İŞARETLER

Kullanılan işaretler genellikle konu içinde ilk kez verildiklerinde tanımlanmıştır. Ayrıca kolaylık sağlamak için işaretler burada toplu olarak verilmiştir.

- A : Sinüsoidal girdi değişkeni kuvveti.
B : Bakiye debisi (l/h).
 B_1, B_2 : Bakiye debisi ilk ve son kararlı hal, (l/h).
D : Destilat debisi (l/h).
 D_1, D_2 : Destilat debisi, ilk ve son kararlı hal, (l/h).
d : Zararlı büyüklük (disturbance).
F : Besleme debisi (l/h).
G(s) : Laplace sahasındaki transfer fonksiyonu
h : Zaman (saat)
K : Proses kazancı.
L : Kolon boyunca aşağı doğru akan sıvı debisi (l/h); Log modülü (Bode çizimleri).
M : Plato holdup'ı; Genlik; Genlik oranı.
NT : Tepe platosu.
NS : Besleme platosu.
q : Besleme platosuna giren birim mol madde başına besleme platosu üzerinde biriken sıvı miktarı.
PUS : Puls uygulama süresi (dakika)
R : Reflüks oranı.
s : Laplace sahası parametresi.
T : Sıcaklık °C
TRLX : Tepe platosu sıcaklığı °C
TBESL : Besleme platosu sıcaklığı °C
TKAZN : Kazan sıcaklığı °C
t : Zaman sahası parametresi; Zaman (dak.)
V : Kolon boyunca yukarıya yükselen buhar debisi (l/h).
w : Trigonometrik girdi değişkeni frekans (radyan/dak.)
X : Girdi değişkeni;
x : Sıvı kompozisyonu (mol fraksiyonu); çıktı sapma değişkeni
Y : Çıktı değişkeni;

- y : Buhar kompozisyonu (mol fraksiyonu).
 α : Relatif uçuculuk.
 ε : Sapma değeri.
 ϕ : Faz kayması.
 ξ : İkinci mertebeden proses için sönüm oranı, boyutsuz parametre.
 τ : Proses zaman sabiti.
 τ_1, τ_2 : İkinci mertebeden proses modeli kökleri.
 θ : Ölü zaman (gecikme zamanı), (dak.)

Alt işaretler:

- B : Bakiye.
D : Destilat.
F : Besleme.
n : Plato sayısı tanımı, $n = 1, 2, 3, \dots, NS, \dots, NT$.
NT : Tepe platosu.
NS : Besleme platosu.
R : Reflüks oranı tanımı.
res : Artık faz kayması (residual).
RP : Kare puls girdi tanımı (rectangular pulse).
s : Basamak girdi tanımı (step).
sp : Ayar noktası (set-point).

BOLUM I

GİRİŞ

Kimya mühendisliği sahasında zaman değişkenli sistemlerin deneysel ve kuramsal incelenmesinde önemli gelişmeler olmuştur. Bu konuları kapsayan bilim dalına "proses dinamiği ve kontrolü " adı verilmiştir. Proses dinamiği ve kontrolü birbirini tamamlayan iki kavramdır. Genel olarak bir kimyasal proseste kontrol edilmesi gereken beş değişken vardır:

1. Sıcaklık
2. Konsantrasyon
3. Seviye
4. Basınç
5. Debi

Bu değişkenleri istenen düzeyde ve istenen biçimde tutmak için proses kontrol cihazlarına ve bu cihazları ayarlamak için de proses dinamiğine ihtiyaç vardır.

Proses dinamiği, kararlı halde (steady-state) ve normal şartlarda çalışan bir prosese ani olarak, arzu edilerek veya genelde arzu edilmeden, tatbik edilen sistem girdi değişkenlerinin bir veya birkaçının sistem üzerindeki etkisini inceler. Girdide meydana gelen değişimler genelde üç şekilde olmaktadır:

1. Darbeli (impulse) fonksiyon
2. Basamak şeklinde fonksiyon
3. Sinüsoidal fonksiyon

Girdilerdeki bir değişme yukarıdaki fonksiyonların biri ile ifade edildikten sonra matematiksel yöntemlerin yardımı ile prosesin yeni bir kararlı hal durumuna yaklaşımı proses dinamiği ile bulunur.

Proses dinamiği ile bulunan bilgiler, prosesi yeni bir kararlı hal durumunda tutabilmek veya eski kararlı hal durumuna getirebilmek için gerekli olan kontrol cihazlarının seçiminde ve ondan sonra da bu cihazların uygun şekilde ayarlanmasında kullanılır. Bu cihazların kullanmasında mühendislik tecrübesi elbette önemlidir, fakat proses dinamiği ve kontrolü bilgisi olmadan bu

tecrübenin bilimsel olarak kullanılması zordur. Bundan dolayıdır ki proses dinamiği ve kontrolü'nün kimya mühendisliği'ndeki önemi giderek artmaktadır. Bu nedenle bu konularda yoğun araştırmalar yapılmaktadır.

1.1. Amaç ve Kapsamı

Destilasyon kolonu kontrolü konusunda başlıca dört sorunun cevaplandırılması ön planda gelir.

1. Destilasyon işlemi ne dereceye kadar yapılacak ve ne kadar tolerans sağlanacaktır?

2. Sistem girdi değişkenleri olarak hangileri seçilmeli ve hangileri devamlı şekilde sabit tutulmalı ve bunlar geçici durum esnasında nasıl ölçülmelidir?

3. Kontrol edilmesi istenen değişkenlerle bunları dengeleyen diğer değişkenler nelerdir ve bunların arasında nasıl bir bağ vardır? Girdi değişkenlerinin biri veya birkaçının ani olarak kendi kararlı hal durumlarından saptırılması durumunda, kararlı hal durumundan uzaklaşan sistem nasıl ve hangi sürede sağlıklı bir biçimde tekrar eski durumuna getirilir?

4. Kuramsal yöntemlerle elde edilen dinamik kontrol bilgileri ne dereceye kadar uygulanacaktır? Kuramsal bilgilerin elde edilmesinde sayısal yöntemlere başvurulacak mıdır, yoksa problemi basite indirgeyip bazı analitiksel ve deneysel yöntemler mi tercih edilecektir?

Bu çalışmada, üçüncü tür probleme daha çok önem verilmiş ve kararlı halde çalışan delikli platolu kolona basamak ve puls fonksiyonları şeklinde girdi değişkenleri uygulanmıştır.

Bu değişimlerin uygulanmasından itibaren kolonun belli noktalarında konsantrasyon ve sıcaklık ölçümleri yapılmış ve genellikle 1 veya 1.5 saat süren geçici durum süresince kolon çıktı değişkenleri ayrıntılı bir şekilde gözlenmiştir.

Deneysel çıktılardan yararlanarak prosese ait zaman sabitleri, proses kazancı ve ölü zamanlar hesaplanmıştır. Bu neticelerden prosese ait transfer fonksiyonları geliştirilmiştir.

1.2. Bu Konuda Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Destilasyon kolonu geçici durum dinamiği üzerinde yapılan araştırmaların çoğu iki komponentli bir karışımın komponentlerine ayrılması konusunda olmuştur. Geliştirilen dinamik modeller birçok basitleştirmeyi içermektedir [1].

Destilasyon kolonu geçici durum dinamik modelinin elde edilmesi için şu noktalara dikkat edilmelidir:

1. Kolon platolarının herbiri ve her bir bileşen için ayrı ayrı yazılmış kütile-denge denklemi.

2. Sıvı-buhar denge denklemi.

3. Kolon platolarının herbiri ve her bir bileşen için yazılmış entalpi-denge denklemi.

4. Platolar arası buhar akımını gösteren buhar akımı denklemi.

5. Platolar arası sıvı akımını gösteren sıvı akımı denklemi.

Bu denklem seti basitleştirme yapılmadan çözümlenmeye kalkılırsa modelin çözümleri zorlaşır. Bunun için bazı basitleştirmeler yapılması gerekir. Bu basitleştirmeler ilerki bölümlerde gösterilmiştir.

Önceki araştırmalarda çeşitli varsayımlar sayesinde değişik modeller oluşturulmuştur.

Geçici durum dinamik modeline olduğu gibi yaklaşan ilk grup Rose ve arkadaşlarıdır [2,3]. Aynı tür yaklaşım yine Rosenbrock [4] ve grubu tarafından gerçekteştirilmiştir. Dinamik modelin bütün denklemleri yazılmış, bunlar uygun bir şekilde basitleştirilmiş ve çözümler bu basitleştirilmiş denklemlerden elde edilmiştir. Bu tür varsayımlar, platolar arası sabit buhar ve sıvı debileri, sabit plato verimi ve doğrusal kütile-denge bağıntısıdır.

Bütün karmaşık modeller genellikle deneysel sonuçlara büyük ölçüde uymasına rağmen, modellerin çözümleri uzun bilgisayar zamanı gerektirmektedir. Bundan dolayı birçok araştırmacı bu tür yaklaşım yerine uygulanması daha kolay bir yaklaşım olan pratik model yöntemlerini tercih etmiştir.

Bu yöntemleri ilk uygulayanlar arasında Marshall ve Pigford [5] gösterilebilir. Bu tür yaklaşımlar uygulamada büyük önem kazanmış, Wahl ve Harriott tarafından ileri besleme (feed-forward) kontrol mekanizmasına uygulanmıştır [6]. Bu konuda yapılan araştırmalarda elde edilen dinamik modeller sadece çalışılan ikili karışım ve kolon için uygunluk göstermiştir. Her şarta uyan genel bir model

geliştirilememiştir.

1.3 Kolon Serbestlik Derecesi

Destilasyon kolonu geçici durum dinamik modelinin elde edilmesinde kullanılacak tüm denklem setine ilaveten kolonun girdi ve çıktı değişkenlerinin iyi bir şekilde tanımlanması ve gruplandırılması gereklidir. Toplam değişkenlerin sayısı ile model denklemlerinin sayısının farkına proses serbestlik derecesi denir. Bu fark sıfır olduğunda en iyi duruma gelinmiştir. Genellikle bu fark pozitif bir değerdedir. Bu farkı oluşturan değişkenlerin diğer toplam değişkenlerin arasından seçimi ve değerlendirilmesi kolonun kontrolü açısından önemlidir.

Gilliland ve Reed proses serbestlik derecesi konusunda ilginç araştırmalar yapmışlar ve bazı sistemlerde değişken sayısının serbestlik derecesinden fazla olması gerektiğini bulmuşlardır. Yöntem olarak da soğutucu ürünü konsantrasyonu, kazan ürünü konsantrasyonu, kazan ısısının besleme akımı hızına oranı ve destilat ürünü hızının kazan ürünü hızına oranının deneysel olarak izlenmesini ve bunlardan en çok değişime uğrayanın bağımsız değişken olarak seçilmesini teklif etmişlerdir [7].

Destilasyon kolonu serbestlik derecesinin hesaplanmasında besleme debisi F ve besleme kompozisyonu x_F 'nin zararlı büyüklük olduğunu kabul edelim [8].

Değişkenlerin sayısı:

1. Plato kompozisyonları (x_n ve y_n) = 2 NT
2. Plato sıvı akışları (L_n) = NT
3. Plato sıvı holdup'ları (M_n) = NT
4. Reflüks kompozisyonu (x_D) = 1
5. Reflüks akış debisi (R ve D) = 2
6. Reflüks holdap'ı (M_D) = 1
7. Kazan kompozisyonu (x_B ve y_B) = 2
8. Kazan akış debileri (B ve V) = 2
9. Kazan holdap'ı (M_B) = 1

Değişkenlerin toplam sayısı = 4 NT+9

Denklemlerin sayısı:

1. Plato komponent eşitliği	= NT
2. Plato toplam akış eşitliği	= NT
3. Denge (kazan dahil) eşitliği	= NT+1
4. Hidrolik ilişki	= NT
5. Seviye kontrolü	= 2
6. Soğutucu komponent eşitliği	= 1
7. Kondenser toplam akış eşitliği	= 1
8. Kazan komponent eşitliği	= 1
9. Kazan toplam akış eşitliği	= 1

Denklemlerin toplam sayısı = 4 NT+7

Bu eşitliklerden anlaşılacağı gibi, sistem tanımlanmamış iki eşitliğe gereksinme duymaktadır. Kontrol mühendisliği açısından bunun anlamı iki adet değişken kontrol edilebilir. Bu iki değişken R reflüks akışı ve V buhar akışı (veya kazana ısı girişi) olmaktadır. Bunlar açık devre (open-loop) sistemlerde sabit tutulurlar. Kontrol edicili sistemlerde bunlar değiştirilirken diğer iki değişken sabit tutulabilir.

1.4. Dinamik Modelin Derecelenmesi

Proses dinamiği kararlı hal durumunda ve normal şartlarda çalışan bir sisteme ani olarak tatbik edilen girdi değişkenlerinin üç biçimde darbeleri (impulse), basamak ve sinüsoidal olarak tanımlandığı önceden belirtilmişti.

Bu tür girdilerden bir tanesi herhangi bir kararlı hal prosesine uygulandığında proses üç şekilde tepkime gösterecektir. Bu tepkime şekillerine göre prosesi tanımlama imkanı doğar [9,10].

Kimya sanayi proseslerinde sistemler üç dereceye ayrılırlar:

1. Birinci mertebeden sistemler
2. İkinci mertebeden sistemler
3. Üçüncü mertebeden sistemler (veya yüksek mertebeden sistemler)

İkinci mertebeden sistem modeli de kendi arasında üçe ayrılır:

1. Sönümlü

2. Kritik sönümlü

3. Sönümsüz

Kimya endüstrisinde prosesler üçüncü veya daha yüksek mertebeden sistem özelliği göstermesine rağmen bunlar ikinci mertebeden ve sönümlü sistem modeline indirgenerek incelenebilirler. Çünkü ikinci mertebeden bir sistemi formüle etmek oldukça basittir.

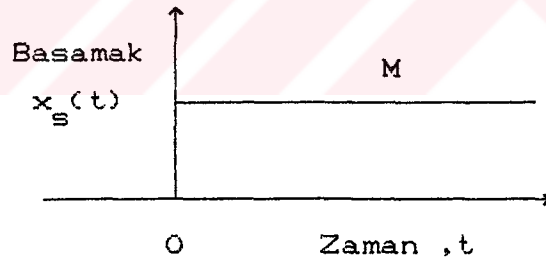
Birinci mertebeden bir sistem üstel bir fonksiyon, ikinci mertebeden bir sistemse sönümlülüğü zamana göre azalan sinüsoidal bir biçimde tepkime gösterir.

1.4.1. Standart Proses Girdileri

Bu kısımda yaptığımız denemelerde kullanılan basamak girdi ve kare puls girdisi detaylı olarak açıklanacaktır [9,10,11]:

Basamak girdi: Endüstriyel proseslerde ani basamak girdiler olabilmektedir. Böyle bir değişimde basamak girdi şöyledir:

$$x_s(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ M & t \geq 0 \end{cases} \quad (1-1)$$



Şekil 1.1. Basamak girdi

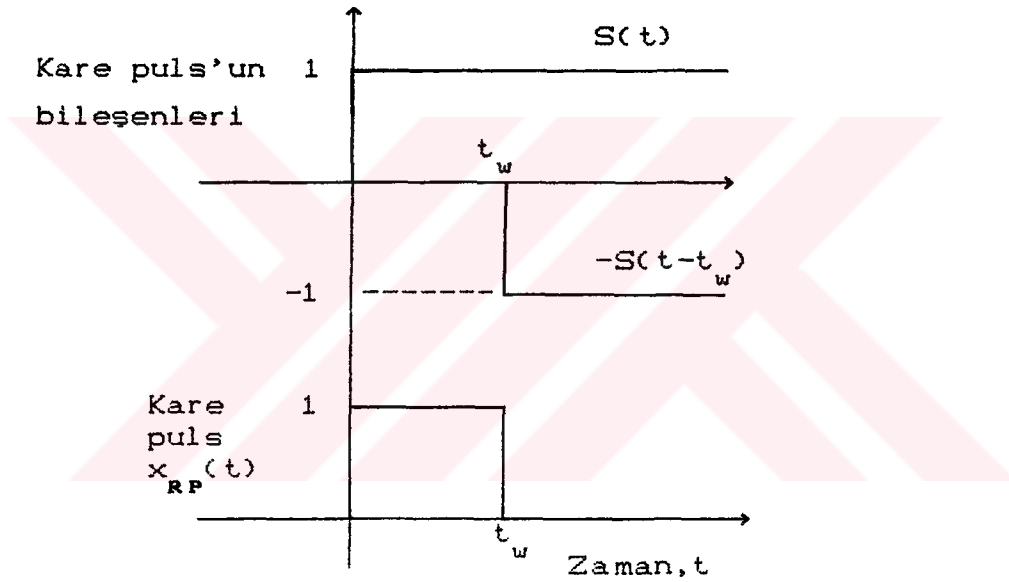
Zamanın sıfırdan önceki hali için bir değişim yoktur, sıfır ve daha sonra girdi değeri M kadar artmaktadır. $x_s(t)$, basamak girdinin sapma değişkeni olarak tanımlanır. Genliği M olan basamak girdinin Laplace transformu

$$X_s(s) = \frac{M}{s} \quad (1-2)$$

olmaktadır.

Kare puls: Prosesler bazan ani fakat süreksiz zararlı girdiye (disturbance) maruz kalabilirler. Biz bu tip girdi değerini kare puls (rectangular pulse) olarak tanımlamaya çalışacağız.

$$x_{RP}(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ h & 0 \leq t \leq t_w \\ 0 & t \geq t_w \end{cases} \quad (1-3)$$



Şekil 1.2. İki adet birim basamak girdinin kare puls'a dönüşümü

Burada t_w genişliği çok kısa (yaklaşık impuls) gibi bir değerden çok uzun bir değere kadar değişebilir. (1-3) ifadesinin alternatif bir açıklaması $t \geq t_w$ için 1'e ve $t < t_w$ için sifıra eşit olarak tanımlanan kaydırılmış birim basamak girdi $S(t-t_w)$ 'yi kullanmaktadır. (1-3) ifadesi iki birim basamak girdinin toplamı olarak alınabilir. Bunlardan biri $t=0$ anında birim basamak girdi, diğeri ise $t = t_w$ anında -1 değerini alan basamak girdisidir. Matematiksel olarak bu kombinasyon şöyle açıklanabilir:

$$x_{RP}(t) = h [S(t) - S(t - t_w)]$$

Yalnızca $t \geq 0$ değeri için ilgilenildiğinden, Laplace transformu $t \geq 0$ durumu için tanımlanabilir.

$$x_{RP}(t) = h [1 - S(t - t_w)] \quad t \geq 0 \quad (1-4)$$

Laplace transformunu alırsak

$$X_{RP}(s) = \frac{h}{s} (1 - e^{-t_w s}) \quad (1-5)$$

1.4.2. Birinci Mertebeden Sistemlerin Cevabı

Genel olarak birinci mertebeden sistemlerin transfer fonksiyonu şöyle gösterilir [1,9]:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (1-6)$$

Bu denkleme τ zaman sabitini K , ise proses kazancını göstermektedir. Burada bazı $X(s)$ girdileri için prosesin çıktıları $Y(s)$ ve $y(t)$ değerlerini hesaplayacağız.

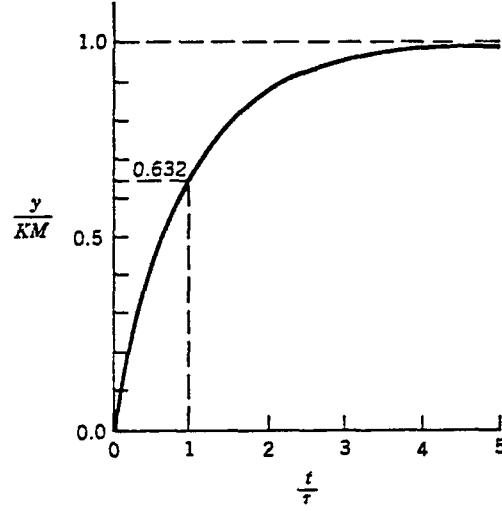
Basamak Girdinin Cevabı: Genliği M olan bir basamak girdinin Laplace transformu $X(s) = M/s$ ve çıktının Laplace transformu

$$Y(s) = \frac{K M}{s(\tau s + 1)} \quad (1-7)$$

Bu denklemin ters Laplace transformunu alırsak

$$y(t) = K M (1 - e^{-t/\tau}) \quad (1-8)$$

olur.



Şekil 1.3. Birinci mertebeden prosesin basamak cevabı

Şekil 1.3. birinci mertebeden prosesin basamak cevabını göstermektedir. Bu eğriden birinci mertebeden prosesin ani bir basamak girdi karşısında anında cevap vermediği görülmektedir. Gerçek şudur ki belli bir zaman intervalinde $t = \tau$ olmaktadır, bu t değerinde proses çıktı cevabı % 63.2 mertebesinde tamamlanabilmektedir. Teorik olarak proses çıktısı asla yeni bir kararlı hale erişemez. Yaklaşık olarak t değeri 3τ veya 5τ ulaştığında proses çıktısı yeni kararlı hale ulaşmış sayılır.

Sinüsoidal cevap: Birinci mertebeden bir processe sinüsoidal bir girdi, $x_{\sin}(t) = A \sin(\omega t)$ uygulandığını kabul edelim. Çıktının Laplace transformu

$$Y(s) = \frac{K A \omega}{(\tau s + 1)(s^2 + \omega^2)} \quad (1-9)$$

şeklindedir.

(1-9) denkleminin ters Laplace transformu alınırsa zaman sahasındaki (time domain) çıktı cevabı

$$y(t) = \frac{K A \omega \tau}{\omega^2 \tau^2 + 1} e^{-t/\tau} + \frac{K A}{\sqrt{\omega^2 \tau^2 + 1}} \sin(\omega t + \phi) \quad (1-10)$$

olmaktadır, burada

$$\phi = -\tan^{-1}(\omega \tau) \quad (1-11)$$

olur.

1.4.3. İkinci Mertebeden Sistemlerin Cevabı

İkinci mertebeden bir sistem iki adet birinci mertebeden sistemin seri şekilde bağlanmasından elde edilebilir. Buna en basit örnek olarak iki adet seri bağlı karıştırmalı akışlı reaktörü verebiliriz. Bunların transfer fonksiyonu şöyle yazılabilir [1,9]:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{K_1 K_2}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)} = \frac{K}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)} \quad (1-12)$$

Burada $K = K_1 K_2$ dir. Diğer bir tanımla ikinci mertebeden prosesler ikinci mertebeden diferensiyel eşitlikle tanımlanan proseslerdir. Biz burada ikinci dereceden bir sistemin transfer fonksiyonunu

$$G(s) = \frac{K}{\tau^2 s^2 + 2\xi\tau s + 1} \quad (1-13)$$

denklemlerle ele alacağız. Denklem (1-13)'de K, proses kazancını, τ cevap hızını belirler. ξ ise boyutsuz bir parametredir, sistemin sönüm oranını belirler. Tablo 1.1. de gösterildiği gibi üç durum mevcuttur. $\xi < 0$ durumu için sistem stabil değildir, herhangi bir girdi değerinden sonra stabil duruma geçmez.

Aşırı sönümlü ve kritik sönümlü davranış şekilleri, birinci mertebeden sistemlerin seri halde bağlanmasından oluşan ikinci dereceden sistemlerde görülür. (1-12) ve (1-13) ifadelerinde paydalar birbirinden farklıdır. Aşırı sönümlü ve kritik sönümlü durum için $\xi \geq 1$ (1-12) ve (1-13) ifadelerinin birbirine eşitlenmesinden

$$\tau^2 s^2 + 2\xi\tau s + 1 = (\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1) \quad (1-14)$$

ve buradan $\tau^2 = \tau_1 \tau_2$, $2\xi\tau = \tau_1 + \tau_2$ elde edilir. Bu denklemlerden gidilerek

$$\tau = \sqrt{\tau_1 \tau_2} \quad (1-15)$$

$$\xi = \frac{\tau_1 + \tau_2}{2 \sqrt{\tau_1 \tau_2}} \quad (1-16)$$

yazılır.

Alternatif olarak (1-14) eşitliğinin sol tarafı da

$$\tau^2 s^2 + 2\xi\tau + 1 = \left[\frac{\tau s}{\xi - \sqrt{\xi^2 - 1}} + 1 \right] \left[\frac{\tau s}{\xi + \sqrt{\xi^2 - 1}} + 1 \right] \quad (1-17)$$

buradan τ_1 ve τ_2 şöyle elde edilir:

$$\tau_1 = \frac{\tau}{\xi - \sqrt{\xi^2 - 1}} \quad (\xi \geq 1) \quad (1-18)$$

$$\tau_2 = \frac{\tau}{\xi + \sqrt{\xi^2 - 1}} \quad (\xi \geq 1) \quad (1-19)$$

Tablo 1.1. İkinci Dereceden Transfer Fonksiyonların Üç Hali

Durum	Sönüm oranı	Cevabın Karakteri	Karakteristik eşitliklerin kökleri
A	$\xi > 1$	Aşırı sönümlü	Gerçek ve farklı
B	$\xi = 1$	Kritik sönümlü	Gerçek birbirine eşit
C	$0 \leq \xi \leq 1$	Sönümsüz	Kompleks ve (a+bi ve a-ib) formunda

Basamak cevap: İkinci mertebeden sistemler için her üç duruma ait

basamak cevap analizi yapacağız. Basamak girdi için çıktının Laplace transformu

$$Y(s) = \frac{K M}{s(\tau^2 s^2 + 2\xi\tau s + 1)} \quad (1-20)$$

şeklindedir. Bu denklemden her üç durum için zaman sahasındaki çıktı denklemlerini türetebiliriz.

A ($\xi > 1$) durumu: (1-20) denkleminin paydası (1-19) ve (1-18) denklemlerinin paydalarıyla birleştirilirse

$$y(t) = K M \left[1 - \frac{\tau_1 e^{-t/\tau_1} - \tau_2 e^{-t/\tau_2}}{\tau_1 - \tau_2} \right] \quad (1-21)$$

çıktı denklemini elde edilir. Eğer (1-20) eşitliği (1-19) ve (1-18) ile birleştirilmeseydi ekivalent olan eşitlik şöyle olacaktı:

$$y(t) = K M \left\{ 1 - e^{-\xi t/\tau} \left[\cosh \left[\frac{\sqrt{\xi^2 - 1}}{\tau} t \right] + \frac{\xi}{\sqrt{\xi^2 - 1}} \sinh \left[\frac{\sqrt{\xi^2 - 1}}{\tau} t \right] \right] \right\} \quad (1-22)$$

B ($\xi = 1$) durumu:

$$y(t) = K M \left[1 - (1 + t/\tau) e^{-t/\tau} \right] \quad (1-23)$$

C ($0 \leq \xi \leq 1$) durumu:

$$y(t) = K M \left\{ 1 - e^{-\xi t/\tau} \left[\cos \left[\frac{\sqrt{1 - \xi^2}}{\tau} t \right] + \frac{\xi}{\sqrt{1 - \xi^2}} \sin \left[\frac{\sqrt{1 - \xi^2}}{\tau} t \right] \right] \right\} \quad (1-24)$$

ξ 'nin farklı değerleri için basamak cevap eğrileri şekil (1-4) ve (1-5)'de verilmiştir. Grafiklerde absislere t/τ oranları yazılmıştır. τ 'nun küçük değerlerinde cevap hızlı, büyük

değerlerinde ise cevap sönümsüz olmaktadır. Sönümsüz durumlarda frekans değeri için $w = 1/\tau$ ifadesi geçerlidir.

Şekil (1-4) ve (1-5)'deki cevaplardan elde edilen bazı neticeler şunlardır:

1. $(y/KM > 1)$ ve $\xi < 1$ halleri için cevap salınım ve aşırılık sergilemektedir.

2. ξ 'nin büyük değerleri için cevap yavaş olmaktadır.

3. En hızlı ve aşırılık içermeyen cevap $\xi = 1$ kritik sönümlü cevaptır.

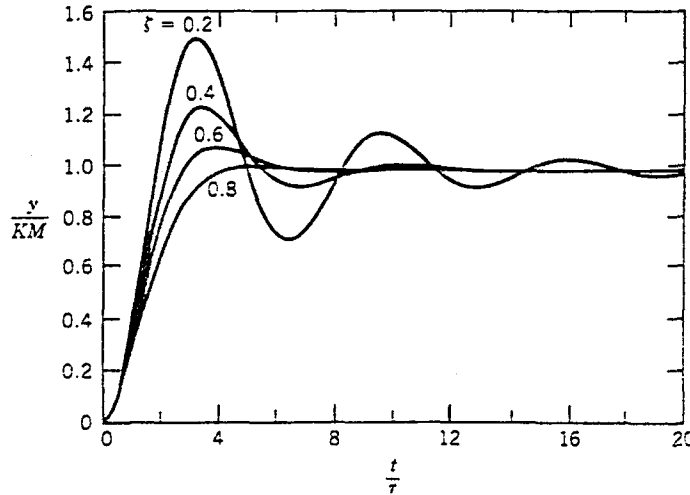
Sinüoidal cevap: İkinci mertebeden lineer bir sisteme $A\sin(wt)$ büyüklüğünde bir girdi yapıldığında çıktının değeri

$$y(t) = \frac{KM}{\sqrt{[1-(w\tau)^2]^2 + (2\xi w\tau)^2}} \sin(wt + \phi) \quad (1-25)$$

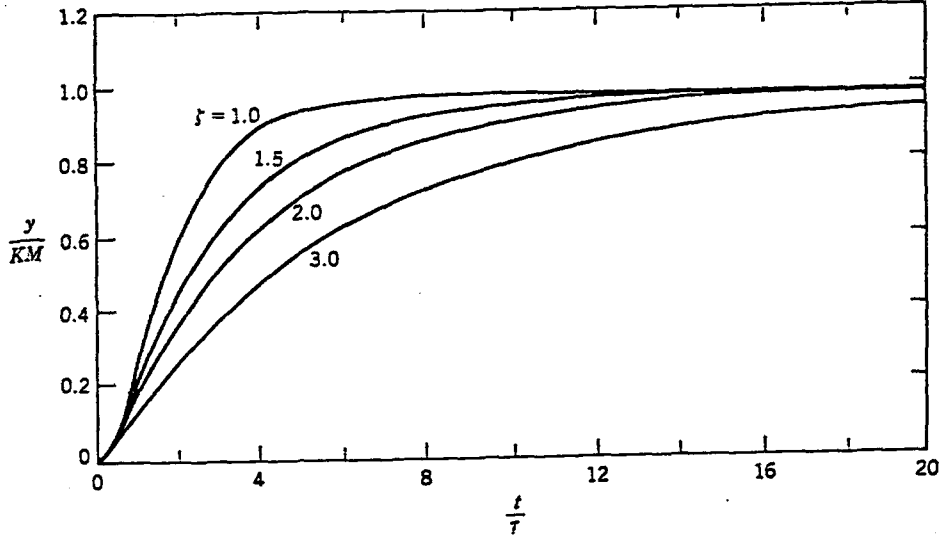
olmaktadır ve burada

$$\phi = -\tan^{-1} \left[\frac{2\xi w\tau}{1-(w\tau)^2} \right] \quad (1-26)$$

olmaktadır.



Şekil 1.4. İkinci mertebeden sönümsüz proseslerin basamak cevabı



Sekil 1.5. İkinci mertebeden proseslerin kritik ve aşırı sönümlü cevabı

1.5. Kontrol Cihazının Ayarı

Karmaşık bir sistemin kontrolü için gerekli olan geçici durum dinamik modelinin formüle edilmesi ve çözümü her zaman mümkün değildir. Diferansiyel denklemler genellikle doğrusal olmadıkları için hesapsal yöntemlerin bulunamamasından dolayı sayısal yöntemlere gerek duyulmaktadır. Bazen sayısal yöntemler uzun bilgisayar zamanına ihtiyaç gösterirler, bu da istenilmeyen bir durumdur. Bu gibi durumlarda sistemin denklemleri doğru bir şekilde derecelenmişse ve elde yeterli deney verisi varsa kontrol cihazının ayarı için bazı pratik yöntemler mevcuttur [10].

Pratik yöntemler ikiye ayrılırlar:

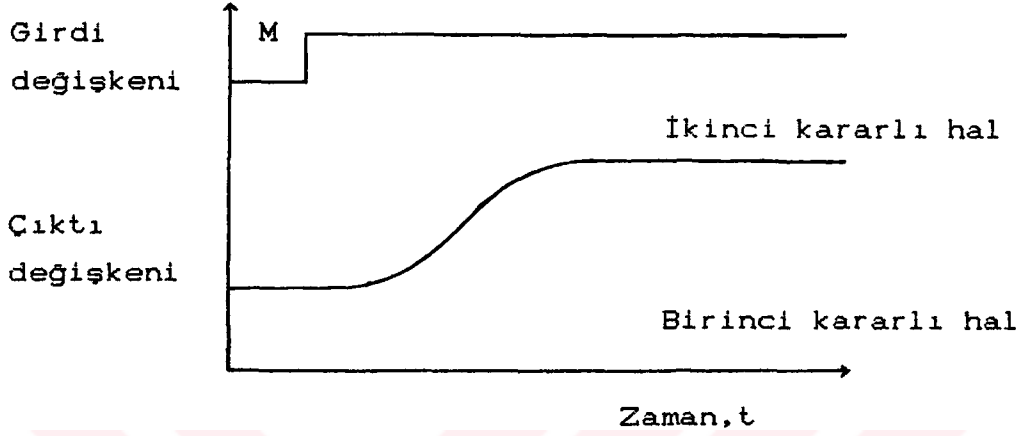
1. Açık devre (open-loop) sistem yöntemi
2. Kapalı devre (closed-loop) sistem yöntemi

Birinci yöntem "proses reaksiyon eğrisi", ikinci yöntem "kontrol devresi ayarlaması" yöntemi de denilir.

1.5.1. Proses Reaksiyon Eğrisi Yöntemi

Genel olarak kararlı hal durumunda çalışan bir sistemin girdi değişkenlerinden biri basamak fonksiyonu şeklinde artırılır. Aynı

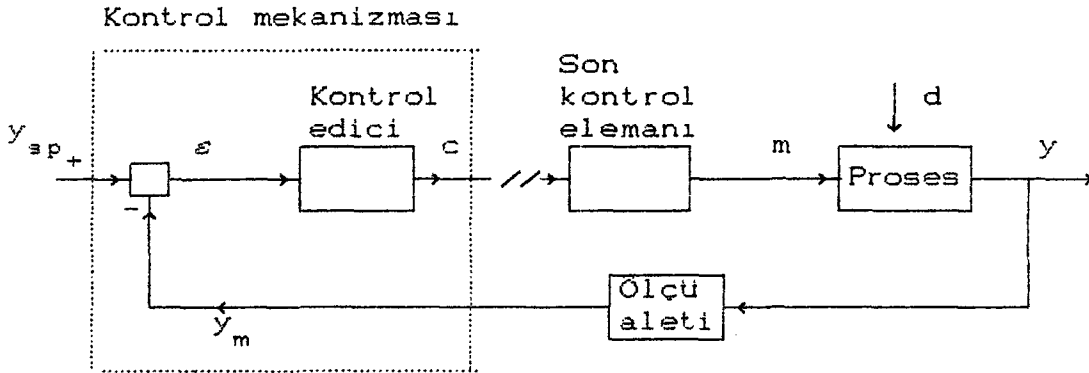
anda girdinin sisteme etki ettirdiği noktadan kontrol devresi açılır. Çıktı değişkenleri eski kararlı hal durumlarından yeni kararlı hal durumlarına genellikle üstel fonksiyon şeklinde yaklaşırlar. Deneysel olarak elde edilen bu eğriye proses reaksiyon eğrisi denir [1,9,10,11].



Şekil 1.6. Proses Reaksiyon Eğrisi

Bu eğrinin başlıca iki parametresi, dönüştürme noktasındaki en büyük eğim ile ölü zaman katsayısıdır. Çıktı değişkeninin geçici durum esnasında yaptığı toplam değişme değeri ile girdi değişkeninin basamak fonksiyonu genliği ve en büyük eğim değerinin arasında bir oran vardır. Bu oranın sayısal olarak elde edilmesi için çeşitli grafiksel yöntemler vardır. Bunlardan "Harriott Yöntemi" ve "Smith Yöntemi" bizim çalışmamızda kullanılmıştır. Bu metodlar ilerki bölümde detaylı olarak incelenmiştir [1,9,11].

Açık devre (open-loop) özellikleri:



Şekil 1.7. Geriye etkili prosesin açık devre blok şeması

Şekil 1.7’de görülen genelleştirilmiş prosesi gözönüne alalım. Proses bir y çıktısı, d muhtemel zararlı büyüklüğü ve m geçerli kumanda edilen değişkene sahiptir. Zararlı büyüklük olan d , öngörülmeyen bir tarzda değişmektedir. Kontrol gayemiz y çıktısının değerini istenen seviyede tutmaktır. Bir geriye etkili kontrol devresi şu kademeleri takip etmektedir:

1. Uygun ölçü aleti kullanarak çıktı (debi, basınç, likid seviyesi, temperatur, kompozisyon) nın değerini ölçer. Ölçü aletinin gösterdiği değer y_m , dir.

2. Bu y_m değeri çıktının istenen değeri y_{sp} ile mukayese edilir. Sapma (hata) $\varepsilon = y_{sp} - y_m$ olarak tanımlanır.

3. ε sapmasının değeri ana kontrol ediciye tatbik edilir. Kontrol edici sapmanın büyüklüğünü azaltacak şekilde kumanda edilen değişken m ’nin değerini değiştirmektedir. Genellikle kontrol edici kumanda edilen değişkeni direkt olarak değil son kontrol elemanı olarak bilinen diğer bir cihazla etkilemektedir.

Bizim çalışmamızda kontrol edici ile son kontrol elemanı arasından devre açılmıştır. Böylece proses üzerinde herhangi bir kontrol etkisi kalmamıştır. Bundan dolayı prosese açık devre (open-loop) proses denilmektedir [12,13,14].

1.6. Kararlı Hal Dizayn Denklemleri

Destilasyon kolonu dizaynında kolon yüksekliği, kolon çapı ve maliyeti ile olan yakın ilişkisinden dolayı denge kademeleri diye tanımlanan kolon platolarının kütle transfer veriminin bilinmesi gereklidir. Kaynama noktaları farklı iki komponentten oluşan bir sıvı karışımının bileşenlerini birbirinden ayırmak için kullanılacak olan bir destilasyon kolonu dizayn parametreleri şu şekilde sıralanır:

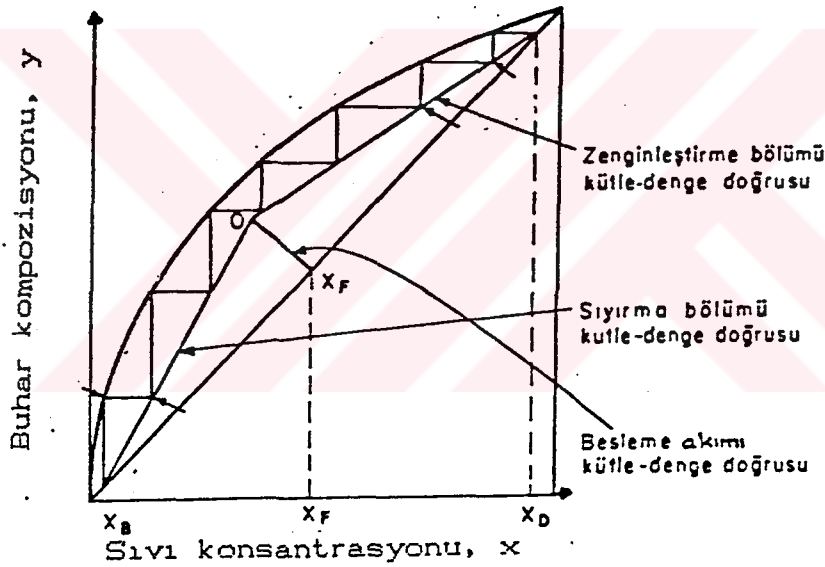
1. Besleme akımı debisi
2. Besleme akımı konsantrasyonu
3. Besleme akımı entalpisi
4. Soğutucu ürünü konsantrasyonu
5. Kazan ürünü konsantrasyonu
6. Kolon basıncı
7. Reflüks oranı ve sıcaklığı

Kolon platolarının gerekli ayırmayı yapabilmesi için belirli sayıda olması gerekir. Plato sayısının bulunması hesapsal veya uygulamaya dönük olan grafiksel yöntemlerle gerçekleştirilir. Her iki yöntemde de kütle-denge ve entalpi-denge denklemlerinden faydalanılır.

Bu araştırmada ideal karışımlar için uygun olan McCabe-Thiele Yöntemi kullanılmıştır.

1.6.1 McCabe-Thiele Yöntemi

İki komponentli bir karışımın destilasyonunda ,buharlaştırma ve spesifik ısıların değişmediği, platolar üzerinde ısı açığa çıkmadığı varsayılırsa zenginleşme ve sürüklenme bölümlerindeki sıvı ve buhar hızlarının sabit olduğu kabul edilebilir. Aksi takdirde bu yöntemin çözümü zordur [10,11].



Şekil 1.8. McCabe-Thiele plato sayısı dizaynı

Şekil 1.8.'den kolayca görülebileceği gibi zenginleşme bölgesi ve sürüklenme bölgesi için kütle-denge doğru denklemleri elde edilir. Bu araştırmada destilasyon kolonu platoları aşağıdan yukarıya doğru sayılacaktır.

1. Zenginleşme bölgesi:

Besleme platosunun üzerinde herhangi bir n.plato için kütle-denge bağıntısı

$$V_{n-1} = L_n + D \quad (1-27)$$

$$V_{n-1} y_{n-1} = L_n x_n + D x_D \quad (1-28)$$

denklemlerinden

$$y_{n-1} = \frac{L_n}{V} x_n + \frac{D}{V} x_D \quad (1-29)$$

elde edilir.

2. Sürüklenme bölgesi:

Besleme platosu ve bu platonun altındaki platolar için de benzer şekilde, herhangi bir n platosu için kütle-denge bağıntısı

$$y_{n-1} = \frac{\bar{L}_n}{V} x_n - \frac{B}{V} x_B \quad (1-30)$$

bulunur. Denklem doğruları şekil 1.8 de gösterilmiştir. Doğrular "o" noktasında birleşir. Bu noktadan besleme akımı kütle-denge doğrusu da geçer, şöyleki;

$$\bar{L} = L + q F \quad (1-31)$$

bağıntısından

$$y_1 = \frac{q}{q-1} x_1 - \frac{x_F}{q-1} \quad (1-32)$$

besleme akımı kütle-denge doğrusu denklemi elde edilir. Kesim noktası kompozisyonları olan x_1 ve y_1 ,

$$x_1 = \frac{(L/D + 1) x_F + (q - 1) x_D}{L/D + q} \quad (1-33-1)$$

$$y_1 = \frac{(L/D) x_F + q x_D}{L/D + q} \quad (1-33-2)$$

denklemlerinden hesaplanır.

Besleme platosuna giren birim mol madde başına besleme platosu üzerinde biriken sıvı q mol olarak tanımlanırsa beslemenin entalpi değerine göre q aşağıdaki değerleri alır:

1. Doymuş sıvı ; $q = 1$; eğim = ∞
2. Doymuş buhar; $q = 0$; eğim = 0
3. Soğuk sıvı ; $q > 1$; eğim = +
4. Aşırı kızgın buhar; $q < 0$; eğim = +
5. Sıvı-buhar karışımı; $0 < q < 1$; eğim = -

Değişik q değerlerine göre değişik besleme bölgesi kütle- denge doğrusu eğimi elde edilir. Eğimin değişmesi sonucunda doğru denklemlerinin kesim noktasının yeri değişir. Bunun sonucunda zenginleşme ve sürüklenme bölümlerindeki plato sayıları da azalma veya çoğalma gösterir.

Şekil 1.8.den kolayca takip edilebileceği gibi McCabe-Thiele yöntemi şu şekilde özetlenebilir:

1. Ulaşılmaması istenen kazan ve soğutucu ürünleri konsantrasyonları olan x_B ve x_D tespit edilir, reflüks oranı, R ve besleme kompozisyonu x_F , besleme debisi, F alınır.

2. Zenginleşme bölümü kütle-denge doğrusu kesim noktası olan $x_D/(R+1)$ 'den kütle-denge ve besleme akımı doğruları çizilir.

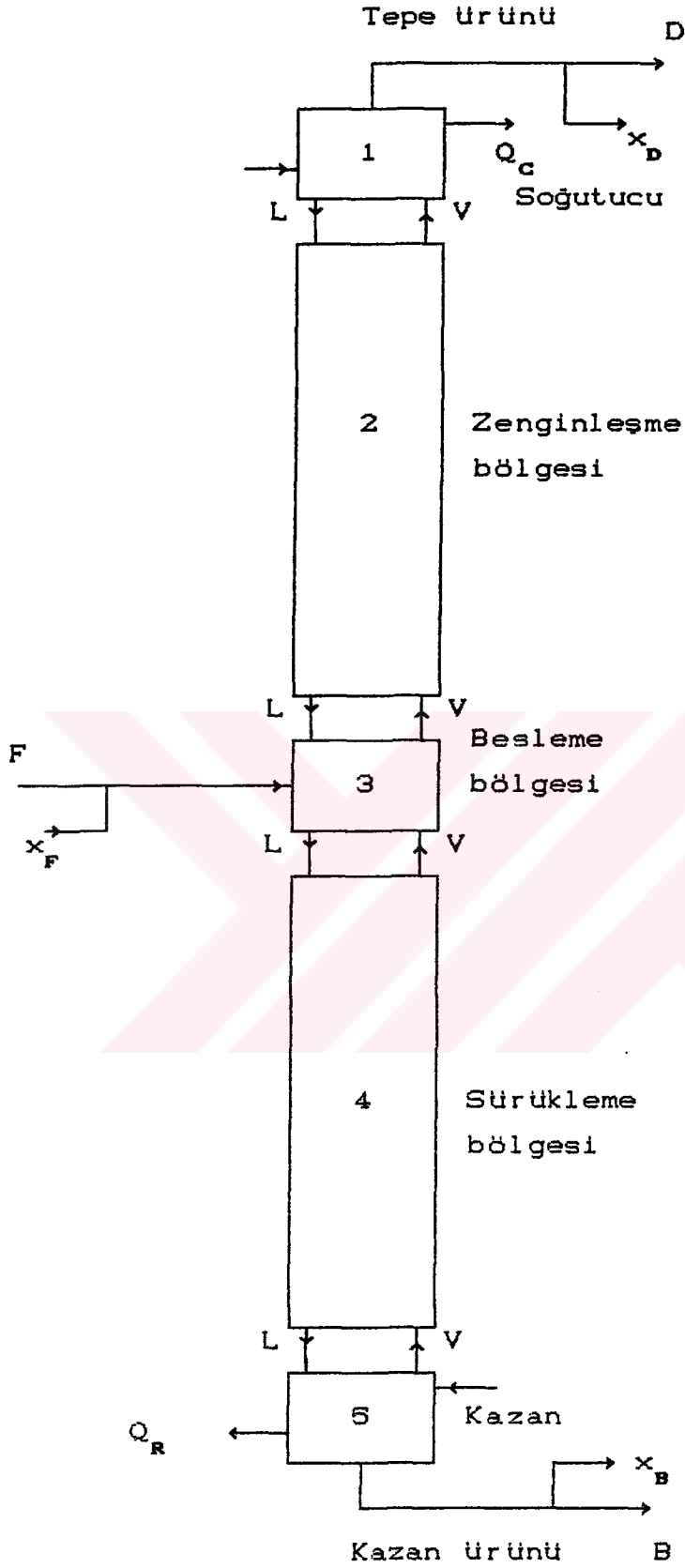
3. x_D , değeri $y = x$ doğrusu üzerine konur, sol tarafa yatay bir çizgi çizilir ve (y_{NT}, x_D) değeri elde edilir. Birinci platonun üzerindeki x_{NT} sıvısı y_{NT-1} ile kütle-dengesi halinde olduğundan dikey bir inışten (y_{NT-1}, x_{NT}) elde edilir. y_{NT-1} ile x_{NT-1} dengede olacağından çizilen yatay doğru x_{NT-1} noktasını verir.

4. İşlem bu şekilde üçgenler çizerek devam eder, "o" noktasını geçince sürüklenme bölümü kütle-denge doğrusu ile sıvı-buhar denge eğrisi sürüklenme bölümü üçgenlerini tespit eder.

5. Bu üçgenleme işlemi x_B noktasına kadar devam eder, toplam üçgen sayısı kazan ünitesi dahil kolon plato sayısını verir.

6. Bu işlemin sağlıklı bir şekilde yürütülebilmesi için besleme akımının ve kompozisyonunun çok iyi seçilmesi gerekmektedir.

Bu yöntemde, L besleme platosunun üzerindeki sıvı akış debisini, \bar{L} ise beslemenin altındaki sıvı debisini gösterir. Bu sıvı debileri sabittir. V ise kolondaki buhar debisini gösterir.



Şekil 1.9. Destilasyon kolonu kütle ve enerji transferi akışı.

BÖLÜM II

DESTİLASYON KOLONU GEÇİCİ DURUM DİNAMİK MODELİ VE UYGULANAN METODLAR

Bölüm I'de iki komponentli bir karışımın destillendiği bir kolonda kararlı hal çalışma yöntemi özetlenmişti. Kararlı hal de çalışan destilasyon işleminde McCabe-Thiele yöntemi geçerlidir. Gerçekte destilasyon kolonuna etki eden zararlı büyüklüklerin çok fazla ve karmaşık olması kolonun genellikle uygun şartlarda ve kararlı hal durumunda çalışmasını önler. Kontrol mühendisinin en önemli görevlerinden biride kararlı hal durumundan istenmeden sapsmış olan kolonu en kısa bir zamanda ve sağlıklı bir şekilde tekrar eski durumuna getirmesi ve en uygun şartlarda çalışmasına devamını sağlamasıdır. Bu işlemin yapılabilmesi de ancak o kolonun geçici durum dinamik modelinin öncelikle bilinmesi ile mümkündür.

2.1 İki Komponentli Karışım İçin Destilasyon Model Denklemleri

Kimya endüstrisinde destilasyon kolonlarının büyük çoğunluğu çok komponentli karışımları ayırırlar, fakat bunlardan bir kısmı ikili veya yalancı ikili (pseudo-binary) karışımlar şekline dönüştürülebilir. Biz bu durumda bazı yaklaşımlar yapmak zorundayız. İdeal hale dönüştürme bazen geçerli olabilir. Fakat çoğu durumda aşırı yaklaşımı gerektirir. Bu basitleştirme ile problemin çözümü kolaylaşır ve eşitliklerin temel yapısı kolaylıkla anlaşılabilir [8,15,16,17,18,19,20,21,22,23].

İkili bir sistemi, sabit rölatif uçuculuk, % 100 etkinlik ve platoyu terkeden buharla sıvının denge halinde olduğu şartları ihtiva eden bir sistem olarak ele alabiliriz. Bu şartlarda sıvı-buhar ilişkisi

$$y_n = \frac{\alpha x_n}{1 + x_n(\alpha - 1)} \quad (2-1)$$

ifadesiyle verilir.

Kolona tek bir noktadan, kaynama noktasında sıvı olarak besleme yapılır. Tepe  rt nt  total kondenserde sıvılaştırılır,  rt nt n bir kısmı kolona geri verilirken bir kısmı destilat olarak dıŐarı alınır .Kolon tepesinde y_{NT} ve x_D daima birbirine eŐittir. Kolon tabanında kazan  rt nt  belirli debide ve kompozisyonda dıŐarıya alınır. Sirkülasyonlu kazan kullanılır, ısınan sıvı-buhar karışımı kolona doğru yükselirken kazan içinde bir sirkülasyon sağlanır. Kazan içindeki sıvı çok iyi karıŐır kompozisyonu ve holdup'ı daima sabittir,kazanda verim % 100'd r.Kolon NT kadar plato içerir,plato holdup'ı M_n (mol) ve kompozisyonuda x_n dir. Buhar holdup'ı kolon boyunca ihmal edilebilir. Buhar hacminin büyük olmasına rağmen mol sayısı genelde k c kt r, bunun nedeni, buhar yoğunluğu sıvı yoğunluğu yanında çok k c kt r. Yüksek basınçlı kolonlarda bu yaklaŐım geçerli değildir.

Daha ileri bir yaklaŐım olarak ekimolar akışı göz  nt ne alcağız. Eğer iki komponentin molar buharlaŐma ısıları yaklaşık aynı ise bir mol buhar kondense olduğunda bir mol sıvı ele geçer. Platodan platoya ısı kayıpları ve temperatur değişimleri ihmal edilebilir. Bu yaklaŐımların sonucu buhar ve sıvı debileri kararlı hal boyunca sabit kalacaklardır. Buhar holdup'ı ihmal edildiğinde buhar debisi kolon boyunca sabit olacak ve dinamik davranış olarak kararlı hale benzeyecektir.

$$V = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_{NT}$$

V' nin her zaman sabit olmadığını g z nt ne almalıyız. Buhar hızına kumanda edilebilir. Ekimolar buhar debisinin matematiksel etkisi her bir plato için enerji balansının yazılmasına gerek duyulmamasıdır.

İdeal durumdan çok fazla sapmalarda herbir plato için enerji-denge denklemleri yazılmalıdır.

Kolon boyunca sıvı akış debileri dinamik davranış y nt nden aynı değildir,burada plato holdup'ı ile sıvı akış debisi arasında basit bir fonksiyon kabul  yapılır. Bu fonksiyon aşağıdaki gibidir.

$$M_n = f(L_n) \quad ; \quad M_n \text{ (mol) ve } L_n \text{ (mol/s)}$$

Bütün bu varsayımlardan sonra sistemi tanımlayan eşitlikleri yazabiliriz. Genel bir adaptasyondan sonra eşitlikler birim zamandaki mol cinsinden yazılabilirler. Kolonda hiçbir kimyasal reaksiyon olmadığı varsayımı yapılmaktadır.

Soğutucu:

Toplam eşitlik

$$\frac{d}{dt} (M_D) = V - R - D \quad (2-2)$$

Komponent eşitliği

$$\frac{d}{dt} (M_D x_D) = V y_{NT} - (R + D) x_D \quad (2-3)$$

Tepe platosu (n = NT):

Toplam eşitlik

$$\frac{d}{dt} (M_{NT}) = R - L_{NT} \quad (2-4)$$

Komponent eşitliği

$$\frac{d}{dt} (M_{NT} x_{NT}) = R x_D - L_{NT} x_{NT} + V y_{NT-1} - V y_{NT} \quad (2-5)$$

(n = NT-1). plato:

Toplam eşitlik

$$\frac{d}{dt} (M_{NT-1}) = L_{NT} - L_{NT-1} \quad (2-6)$$

Komponent eşitliği

$$\frac{d}{dt} (M_{NT-1} x_{NT-1}) = L_{NT} x_{NT} - L_{NT-1} x_{NT-1} + V y_{NT-2} - V y_{NT-1} \quad (2-7)$$

n. plato:

Total eşitlik

$$\frac{d}{dt} (M_n) = L_{n+1} - L_n \quad (2-8)$$

Komponent eşitliği

$$\frac{d}{dt} (M_n x_n) = L_{n+1} x_{n+1} - L_n x_n + V y_{n-1} - V y_n \quad (2-9)$$

Besleme platosu (NS):

Total eşitlik

$$\frac{d}{dt} (M_{NS}) = L_{NS+1} - L_{NS} + F \quad (2-10)$$

Komponent eşitliği

$$\frac{d}{dt} (M_{NS} x_{NS}) = L_{NS+1} x_{NS+1} - L_{NS} x_{NS} + V y_{NS-1} - V y_{NS} + F x_F \quad (2-11)$$

Birinci Plato (n = 1):

Toplam eşitlik

$$\frac{d}{dt} (M_1) = L_2 - L_1 \quad (2-12)$$

Komponent eşitliği

$$\frac{d}{dt} (M_1 x_1) = L_2 x_2 - L_1 x_1 + V y_B - V y_1 \quad (2-13)$$

Kazan:

Toplam eşitlik

$$\frac{d}{dt} (M_B) = L_1 - V - B \quad (2-14)$$

Komponent eşitliği

$$\frac{d}{dt} (M_B x_B) = L_1 x_1 - V y_B - B x_B \quad (2-15)$$

Yukarıda verilen diferensiyel denklemlerle ikili karışımları ayıran bir destilasyon kolonu tanımlanabilir.

2.2. Grafik Metotlar

Bu metodlar çeşitli grafiklerden yararlanarak prosesi tanımlarlar. Bunları, a) Basamak testini kullanan metodlar, b) Puls testini kullanan metodlar, olarak inceleyebiliriz.

2.2.1. Basamak Testlerinin Kullanılmasıyla İkinci Mertebeden Modellerin Geliştirilmesi

Genel olarak ikinci mertebeden model, basamak girdinin deneysel çıktı değerlerinden elde edilebilir. Şekil 2.1, aşırı sönümlü bir model için matematiksel denklem gerektirmeksizin basamak cevapların tahmininde kullanılır. Daha önce ikinci mertebeden bir prosesin transfer fonksiyonu (1-12) denklemiyle verilmişti. Şekil 2.1 de iki limit durum vardır; $\tau_2/\tau_1 = 0$, bu durumda sistem birinci mertebeden dir. $\tau_2/\tau_1 = 1$, bu durumda sistem kritik sönümlüdür. İki zaman sabitinden büyük olanı τ_1 , kontrola sahip olanıdır. τ_2/τ_1 , oranı bire yaklaştıkça " S " şekilli cevaba daha çok yaklaşılır. İkinci mertebeden sistemler için zaman sabitleri bazı grafik yöntemlerin kullanımıyla zaman gecikmelerinide içerebilir. Zaman gecikmesini de içeren transfer fonksiyonu,

$$G(s) = \frac{K e^{-\theta s}}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)} \quad (2-16)$$

şeklindedir.

Bu denklemdeki zaman sabitleri Harriott metodu ile bulunabilmektedir. Ancak bu metod aşırı sönümlü sistemlere uygulanabilmektedir.

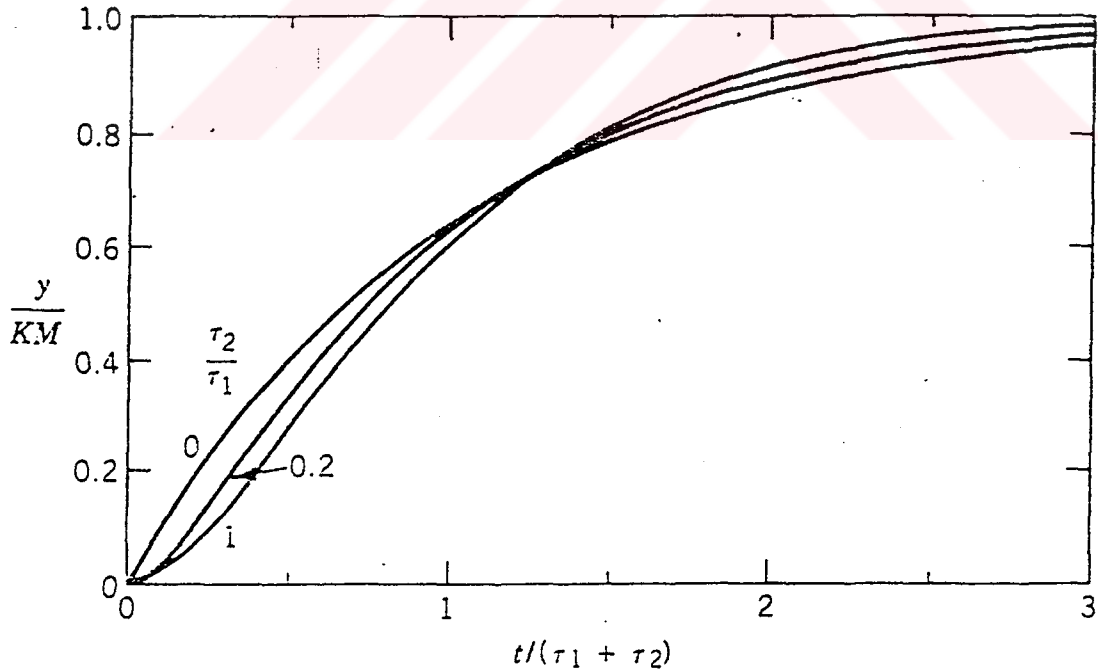
Smith tarafından önerilen daha genel bir metod,

$$G(s) = \frac{K e^{-\theta s}}{\tau^2 s^2 + 2\zeta\tau s + 1} \quad (2-17)$$

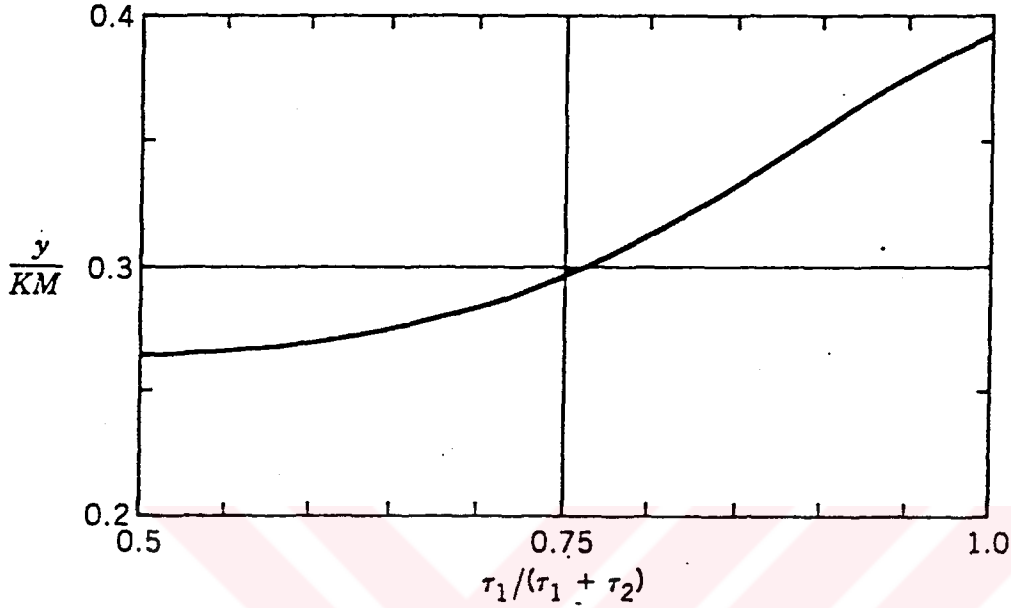
denklemleriyle verilir, bu metod aşırı sönümlü ve sönümsüz sistemlerin her ikisinde uygulanır. Smith metodu'nda τ_1 ve τ_2 'nin tespit edilmesinde gecikme zamanı θ gerçek zamandan çıkarılarak doğrultulmuş zaman bulunur.

2.2.2. Harriott Metodu

Harriott ikinci mertebeden sistemlerin kesirsel cevabı ile $t/(\tau_1 + \tau_2)$ arasında değişik τ_2/τ_1 değerleri için grafikler çizmiş, son kararlı hal değerinin cevabın % 73'ne tekabül eden $t/(\tau_1 + \tau_2) = 1.3$ değerine yaklaştığını bulmuştur. Bu durum şekil 2.1.'de gösterilmiştir. Gerçek aralık $0.7275 < y < 0.7326$ 'dır. Böylece cevabın % 73' ne tekabül eden t_{73} zamanını ölçmekle $\tau_1 + \tau_2 = t_{73}/1.3$ ' den $\tau_1 + \tau_2$ değeri bulunur. Harriott kesirsel cevap ile $\tau_1/(\tau_1 + \tau_2)$ arasında $t/(\tau_1 + \tau_2) = 0.5$ için, ikinci bir grafik daha çizmiştir. Şekil 2.1.'de en büyük sapma bu noktada olmuştur, bu kesirsel cevap şekil 2.2.'de gösterilmiştir. Kesirsel cevabın değeri $t = 0.5(\tau_1 + \tau_2)$ değeri için deneysel eğriden elde edilebilir. Şekil 2.2'den $\tau_1/(\tau_1 + \tau_2)$ değeri elde edilebilir. $\tau_1 + \tau_2$ bilindiğinden τ_1 bulunabilir, daha sonra τ_2 bulunur. Eğer kesirsel cevap 0.26'dan küçük ve 0.39'dan büyükse bu metod uygulanamaz, bu durumda sistem daha yüksek mertebeden olabilir veya sönümsüz olabilir. Harriott metodu daha ziyade τ_2/τ_1 değerinin bire yaklaştığı durumlarda iyi neticeler vermektedir. K, proses kazancı, kararlı hal cevabından bulunabilir.



Şekil 2.1. İkinci mertebeden aşırı sönümlü bazı sistemlerin basamak cevabı.



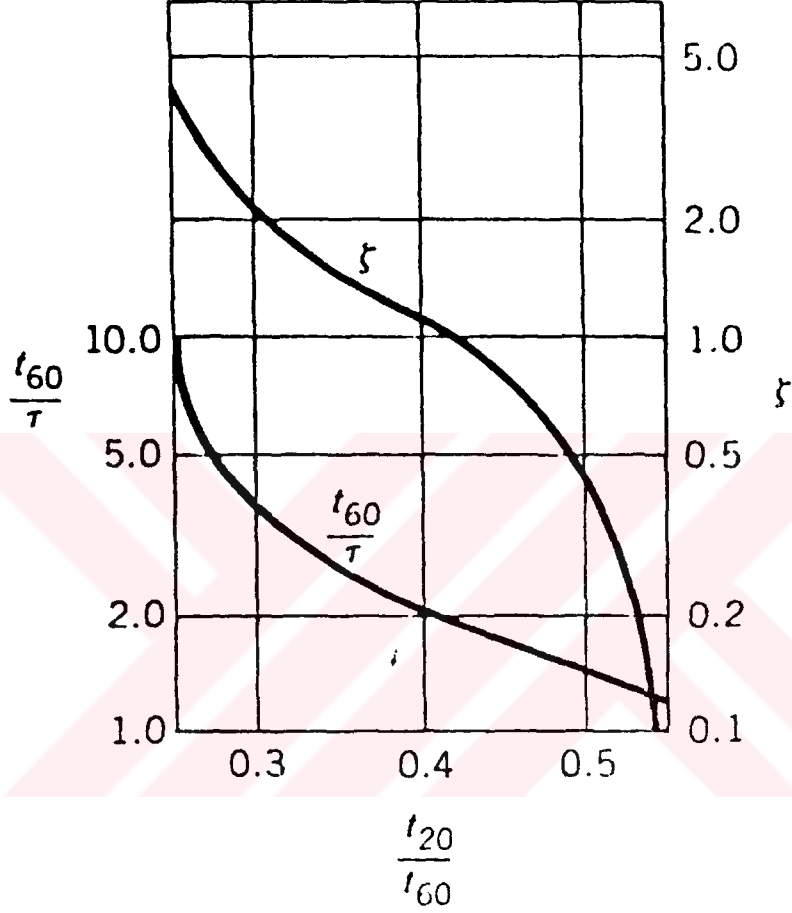
Şekil 2.2. Harriott metodu: İkinci mertebeden aşırı sönümlü sistemlerin $t/(\tau_1 + \tau_2) = 0.5$ değeri için kesirsel cevabı.

2.2.3. Smith Metodu

Smith (2-17) denklemini için sistem kesirsel cevabının % 20 ve %60' na tekabül değerlerden faydalanarak bir model geliştirmiştir. Smith metodu, zaman gecikmesinin (θ) 'nun çıkarılmış olduğu zaman değerini gerektirir. Normalize cevap sırasıyla % 20 ve % 60 değerlerine ulaşır. Şekil 2.3'ün kullanılmasıyla t_{20}/t_{60} oranından ξ değeri bulunur. τ 'nın tahmini değeri t_{60}/τ ile t_{20}/t_{60} arasındaki eğriden bulunur. τ_1 ve τ_2 değerleri aşağıdaki bağıntılardan bulunur.

$$\tau_1 = \tau\xi + \xi\sqrt{\xi^2 - 1} \quad (2-18)$$

$$\tau_2 = \tau\xi - \xi\sqrt{\xi^2 - 1} \quad (2-19)$$



Şekil 2.3. Smith Metodu: ξ ve τ 'nun t_{20} ve t_{60} arasındaki ilişkisi.

2.2.4. Ölü Zaman Hesabı

Bu araştırmada ölü zaman hesaplanması için Sundaresan [24] ve Krishnaswamy' nin geliştirdikleri metod kullanıldı. Bu metoda göre basamak cevabın % 35.3 ve % 95.3'üne tekabül eden cevap zamanları t_1 ve t_2 olarak tespit edilir ve ölü zaman şu formüle göre bulunur:

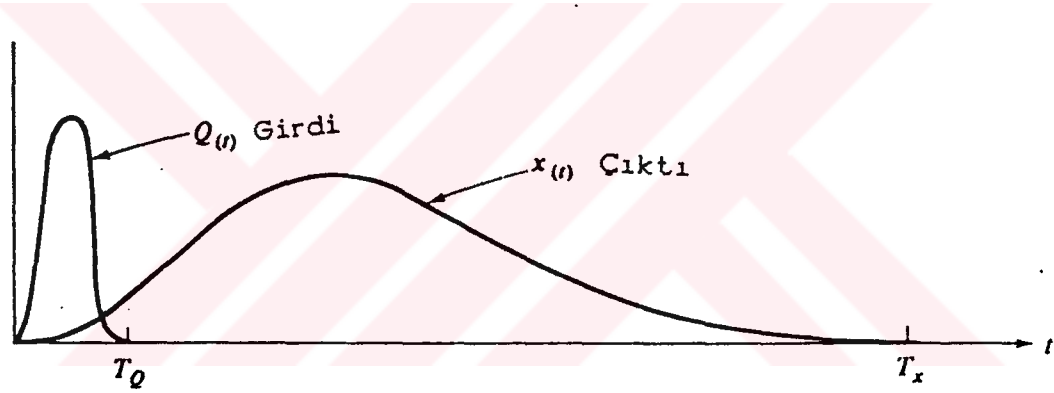
$$\theta = 1.3t_1 - 0.29t_2 \quad (2-20)$$

2.3. Frekans Sahası Dinamikleri

Frekans cevap, kararlı hal' deki bir prosese sinüsoidal girdi durumunda ortaya çıkar. Sinüsoidal girdinin uygulanması zor olduğundan daha pratik bir yöntem olan puls girdi kullanılır [8,9,25,26,27,28].

2.3.1. Puls testi

Puls testi sinüsoidal dalga testinin frekans cevabındaki avantajların çoğuna sahiptir. Bir puls girdisi ve çıktısı şekil 2.4 'de gösterilmiştir. Girdi ve çıktı değerlerinin sonunda orjinal kararlı hal değerlerine döndüklerine dikkat edilmelidir, $x(t)$ çıktının, $Q(t)$ ise girdinin kararlı hal' den sapmasını göstermektedir [8,9,29,30,31].



Şekil 2.4. Puls testi girdi ve çıktı eğrileri

2.3.2. Puls testi deneysel verilerinden $G(i\omega)$ 'nin hesaplanması

$Q(t)$ girdili ve $x(t)$ çıktılı bir prosesi ele alalım, prosesin transfer fonksiyonu,

$$G(s) = \frac{X(s)}{Q(s)} \quad (2-21)$$

Laplace transformunun tanımından ,

$$G(s) = \frac{\int_0^{\infty} x(t) e^{-st} dt}{\int_0^{\infty} Q(t) e^{-st} dt} \quad (2-22)$$

$s = iw$ eşiliğinden frekans sahasında transfer fonksiyonunu yazalım;

$$G(iw) = \frac{\int_0^{\infty} x(t) e^{-iwt} dt}{\int_0^{\infty} Q(t) e^{-iwt} dt} \quad (2-23)$$

Pay ve paydadaki $x(t)$ ve $Q(t)$ fonksiyonlarının Fourier transformları hesaplanabilir. Bununla birlikte proses frekans cevabı, $G(iw)$ deneysel puls verileri olan $x(t)$ ve $Q(t)$ ' den kolaylıkla elde edilebilir (Şekil 2.4).

$$G(iw) = \frac{\int_0^{\infty} x(t) \cos(wt) dt - i \int_0^{\infty} x(t) \sin(wt) dt}{\int_0^{\infty} Q(t) \cos(wt) dt - i \int_0^{\infty} Q(t) \sin(wt) dt} \quad (2-24)$$

$$G(iw) = \frac{A - iB}{C - iD} = \frac{(AC + BD) + i(AD - BC)}{C^2 + D^2} \quad (2-25)$$

$$G(iw) = \text{Re } G(iw) + i \text{Im } G(iw) \quad (2-26)$$

$$A = \int_0^T x(t) \cos(wt) dt$$

$$B = \int_0^T x(t) \sin(wt) dt$$

$$C = \int_0^T Q(t) \cos(wt) dt$$

$$D = \int_0^T Q(t) \sin(wt) dt \quad (2-27)$$

Frekans değerleri, w sipesifiye edilirse, integrasyonlar dijital bilgisayarlarda $x(t)$ ve $Q(t)$ eğrilerinin çıktısından faydalanarak hesaplanabilir. (2-27) eşitlikleri genellikle dijital yöntemlerle hesaplanır. Ek Bölüm'de yaptığımız araştırmadaki kullanılan program verilmiştir (program 1).

2.3.3. Bode Çizimleri

Bode çizimleri iki grafikten oluşur, birincisi faz açısına karşılık frekans, ikincisi ise log modülüne karşılık frekanstır [8,27,32,33].

Genlik oranı;

$$M = \frac{K}{\sqrt{w^2 \tau^2 + 1}} \quad (2-28)$$

log modülü ise;

$$L \equiv 20 \log |M| \quad (2-29)$$

formülü ile verilir. Log modülün birimi decibel (db)'dir. Bu terim iletişim mühendisliğinde iki güç değerinin birbirine oranını gösterir. Bode çizimlerinde, log modülleri sık sık normalize genlik oranı olarak kullanılır. Normalize genlik oranı, genlik oranının, transfer fonksiyonunun kararlı hal kazancının mutlak değerine bölünmesiyle elde edilir.

$$L = 20 \log \frac{|M|}{|\text{kararlı hal kazancı}|} \quad (2-30)$$

$$K = \lim_{w \rightarrow 0} G(iw) = G(0) \quad (2-32)$$

Böylece normalize log modülü;

$$L = 20 \log \frac{|G(iw)|}{|G(0)|} \quad (2-33)$$

olur. Bunları belirledikten sonra, normalize log modülü (db) düşey eksene, frekansın logaritması $\log(w)$ yatay eksene yerleştirilmek suretiyle yarı logaritmik grafik çizilir. İkinci olarak faz açısı ϕ düşey eksene, frekansın logaritması $\log(w)$ yatay eksene yerleştirilmek suretiyle bir grafik daha çizilir. Örnek olarak birinci mertebeden artı zaman gecikmeli bir prosesi inceleyelim:

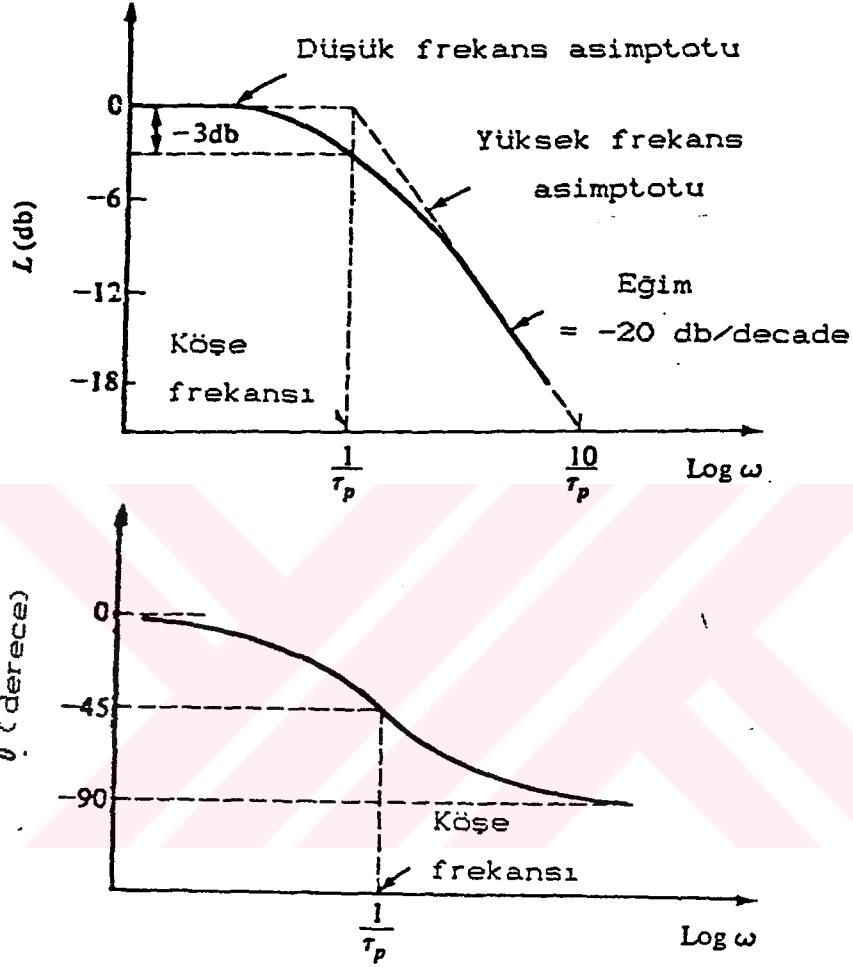
$$M = \frac{K}{\sqrt{w^2 \tau^2 + 1}}$$

denklemini kararlı hal kazancına oranlayarak normalize edersek

$$L = 20 \log \frac{1}{\sqrt{w^2 \tau^2 + 1}}$$

$$\phi = \arctan(-w\tau)$$

bulunur. Bode çizimleri şekil 2.6 'daki gibidir.



Şekil 2.6. Bode çizimleri

Bode çizimlerinin en kullanışlı kısmı log modülü (L) eğrilerinin düşük ve yüksek frekans asimptotlarıdır. w , sıfıra giderken ($w \rightarrow 0$) normalize log modülü (L) sıfıra gider. Frekansın, w , çok büyük değerleri için;

$$L_{w \rightarrow \infty} = 20 \log \frac{2}{\sqrt{w^2 \tau^2}} = -20 \log (w\tau)$$

$$L_{w \rightarrow \infty} = -20(\log(w) - 20 \log(\tau))$$

(2-33)

yazılır.

Bu eşitlik, L ile $\log(w)$ arasında bir doğruya tekabül eder. Bu doğrunun eğimi -20 db/decade' dir.

Yüksek frekans asimptotu ile düşük frekans asimptotunun kesim noktası frekansına köşe frekansı, w_b , denir. Bu frekans değerinden proses zaman sabiti bulunabilir, $w_b = 1/\tau$ ilişkisinden $\tau = 1/w_b$ yazılır. Köşe frekansında faz açısı -45° 'dir.

2.3.4. Transfer Fonksiyonlarının Grafiksels Olarak Öngörülmesinin Genel Kuralları

1. Log modülü (L) ile frekansın logaritması $\log(w)$ arasındaki grafikte düşük frekans asimptotu sıfır eğim gösterirse, transfer fonksiyonu $1/s$ terimi içermez. Eğer -20 eğim gösterirse transfer fonksiyonu $1/s$ terimi ihtiva eder. Eğim -40 ise $1/s^2$ terimi ihtiva eder ve bu işlem benzer tarzda devam eder. Proses modelleri nadir olarak integrasyon elementinden $1/s$ 'den fazlasını ihtiva ederler.

2. Log modülü verileri L , yüksek frekans eğimi pay ve paydanın mertebeleri arasındaki farkın tahmininde kullanılabilir. Integrasyon elementlerinin bulunmaması durumunda, yüksek frekans eğiminden proses mertebesi bulunabilir. Eğer eğim -20 ise proses birinci mertebededir. Eğim -40 ise ikinci mertebededir. Deneysel olarak elde edilen frekans cevap eğrisi nadir olarak -40 'dan küçük değerler sergiler. Bundan dolayı ampirik modeller, ikinci veya üçüncü mertebeden büyük olmayan prosesler için uygundur.

3. Düşük frekans açısı -90° ise, bu sistemde tek bir integrasyon elementinin bulunması anlamına gelir. Yüksek frekans açısı -90° ve katları ($-90, -180, vb.$) değerlerini alması zaman gecikmesinin olmadığını gösterir. Böyle bir durumda ikinci mertebeden bir modeli tespit etmek çok kolaydır. Proseslerde sık sık zaman gecikmesine rastlanılmaktadır. Ayrıca faz kayması negatif ve kesiksiz olmaktadır [6,9,34,35].

2.3.5. Birinci Mertebeden Artı Zaman Gecikmeli Transfer Fonksiyonlarının Hesaplanması:

K , τ ve θ (eğer varsa) şu şekilde hesaplanır:

1. K , kararlı hal kazancı E_k te verilen (1) numaralı program

tarafından hesaplanır. Log modül (L) verileri için düşük frekans asimptotu çizilir.

2. Log modül (L), grafiğinde eğimi -20 olan yüksek frekans asimptotu çizilir. İki asimptotun kesim noktalarına tekabül eden frekans'a köşe frekansı, w_b denildiğini daha önce belirtmiştik. Bu w_b , değerinden zaman sabiti τ bulunabilir. ($\tau = 1/w_b$)

3. Zaman gecikmesi yalnızca faz açısını etkilediği için faz kayması, τ zaman sabitinin kullanılmasıyla yaklaşık olarak hesaplanabilir.

$$\phi_{res}(w_i) = \phi(w_i) - \hat{\phi}(w_i)$$

$$\phi_{res}(w_i) = \phi(w_i) - [-\tan^{-1}(w_i\tau)]$$

$$\phi_{res}(w_i) = \phi(w_i) + \tan^{-1}(w_i\tau) \quad i=1, \dots, r \quad (2-34)$$

$\phi(w_i)$, deneysel olarak w_i değerine tekabül eden açı değeridir. $\hat{\phi}(w_i)$, $1/(\tau s+1)$ terimi ile gösterilen faz açısının miktarını gösterir ve w_i ($i=1, \dots, r$) dir. r , faz açısı değerlerine tekabül eden frekans değerleridir. τ ve θ değerleri bilindiğinde modifiye ϕ_{res} şöyledir:

$$\phi_{res}(w_i) = \phi(w_i) + \tan^{-1}(w_i\tau) + w_i\theta (180/\pi) \quad (2-35)$$

Uygun bir model için, eşitlik (2-35)'in sağ tarafına üçüncü ve dördüncü terimlerin ilave edilmesiyle toplam modelin her bir frekanstaki faz kayması daha doğru olarak hesaplanabilir.

2.3.6. İkinci Mertebeden Artı Zaman Gecikmeli Transfer Fonksiyonlarının Hesaplanması

1. Log modül (L) verileri için düşük frekans asimptotu çizilir.

2. Eğimi -40 olan yüksek frekans asimptotu çizilir, düşük ve yüksek frekans asimptotlarının kesişim noktası, w_b zaman sabitlerinin tespitini sağlar. Eğer model aşırı sönümlü ise, $\tau_1\tau_2 = 1/w_b^2$; eğer sönümsüz ise $\tau^2 = 1/w_b^2$ ve $\tau = 1/w_b$ 'dir.

3. Eğer orta frekans asimptotu -20 olarak çizilebilirse, düşük ve yüksek frekans asimptotlarının kesişim noktaları $\tau_1 = 1/w_{b1}$ ve $\tau_2 = 1/w_{b2}$ zaman sabitleri yaklaşık olarak bulunabilir. Burada deneme yanılma yöntemi ile eğimi -20 olan birkaç tane orta frekans doğrusu çizilir, ve L datasına en uygun olanı seçilir.

4. Zaman gecikmesi hesabı birinci mertebeden modeldeki gibi yapılır.

$$\phi_{res}(w_i) = \phi(w_i) - \hat{\phi}(w_i)$$

$$\phi_{res}(w_i) = \phi(w_i) - [-\tan^{-1}(w_i\tau_1) - \tan^{-1}(w_i\tau_2)]$$

$$\phi_{res}(w_i) = \phi(w_i) + \tan^{-1}(w_i\tau_1) + \tan^{-1}(w_i\tau_2) \quad (2-36)$$

2.4. Proseslerin Ters (Inverse) Cevabı

Ters cevaba ait önemli bir fiziksel proses örneği destilasyon kolonu kazanıdır. Kazan kompozisyonunun değişim cevabı, buhar debisi değişimi ile ters ilişkili olabilir [8,36].

Bir ikili destilasyon kolonunda, buhar debisindeki bir artma daha az uçucu komponentin kolonun üst kısımlarına sürüklenmesine neden olacaktır. Bundan dolayı kazandaki x_B kompozisyonu azalacaktır, ancak plato hidrolikleri umulmadık davranışlar ortaya koymaktadırlar.

Bir platoya giren buhar debisi arttığında a) daha fazla sıvı aşığıya doğru akacaktır, b) aktif plato kısmının yoğunluğu azalacaktır. Buhar hızının artmasının ilk etkisi sıvı debilerinin kolon boyunca azalması, aşağı doğru plato holdup'larının artması şeklinde olacaktır. Daha sonraki etkisi, sıvı holdup'larının belirli bir değere ulaşmasından sonra sıvı debilerinin tekrar artmaya başlamasıdır. Bu etkiyi platolardaki boğulma etkisi gibi değerlendirebiliriz. Bu iki ters etki işletme durumunu ve plato dizaynını etkiler. Delikli platolu kolonlar daha çok etkilenirler.

Eğer yoğunluk etkisi daha önemliyse, buhar debisindeki artma kolonun alt kısmına doğru sıvı debilerinde geçici bir artma sağlar. Sıvı debilerindeki bu artış başlangıçta kolon tabanındaki kolay uçucu miktarını arttıracaktır. Bundan dolayı x_B artmaya

başlayacak, sonunda sıvı debileri eski seviyelerine indiklerinde, buhar debisinin etkisi x_B değerini azaltacaktır. Bütün bunlardan çıkarılan sonuç, sıvı-buhar hidrolikleri V' nin x_B üzerindeki etkisine bağlı olarak ters cevap üretebilecekleridir.

2.5. Destilasyon Kolonunun Asimetrik Davranışı

Destilasyon kolonunun ilginç bir tarafı da geçici durum'larda asimetrik davranışlar sergilemesidir. Deney No: 18'de basamak girdi sonunda reflüks temperaturü birinci kararlı hal'den ikinci kararlı hal'e geçişte cevap zamanı 32 dakikadır. Bunun tersi olarak ikinci kararlı hal'den birinci kararlı hal'e geçişte cevap zamanı 14 dakikadır [37].

Nonlinear sistemlerin asimetrik cevabına 1969 yılından beri rastlanılmaktadır. De Lorenzo ve arkadaşları ikili karışımların destilasyonunda reflüks basamak girdileri için asimetrik dinamikleri incelediler. Onların yaptıkları simülasyon ve deneysel sonuçlara göre asimetrik davranışlar, destilasyon sisteminin operasyon şartlarından ve ikili sistemin bazı karakteristiklerinden (relatif uçuculuk, besleme konsantrasyonu vb.) etkilenmektedir [38]. Onların yaklaşımlarından biri de reflüks değişimlerinin maksimum ayırmalarda yavaş cevaba neden olmasıdır.

BÖLÜM III

DENEY DONANIMI VE YÖNTEMİ

3.1. Destilasyon Kolonu

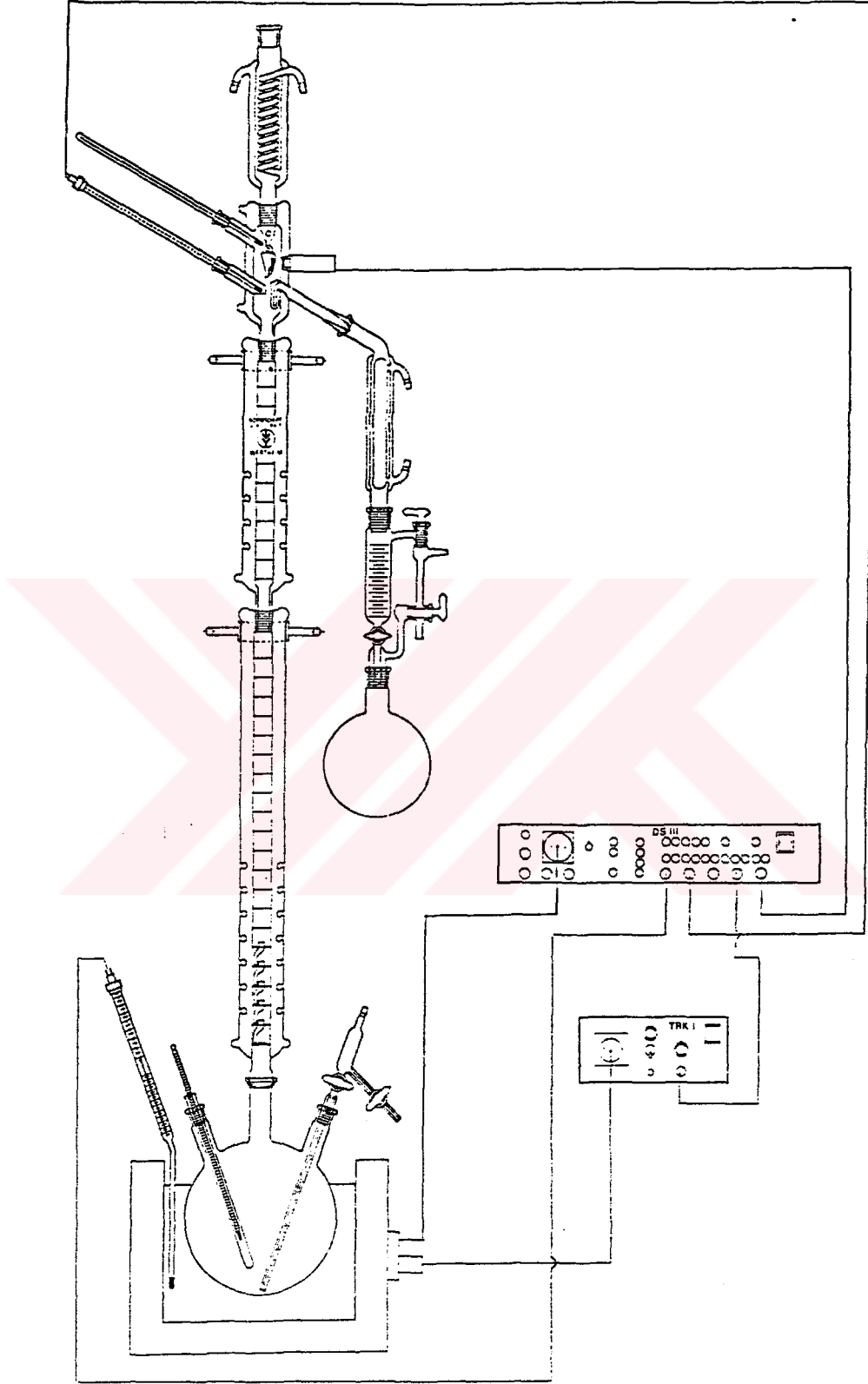
Yaptığımız araştırmada camdan yapılmış 3.5 cm çaplı 53 adet platodan oluşan delikli platolu bir destilasyon kolonu kullanılmıştır. Kolon şematik olarak şekil 3.1'de gösterilmiştir. Kolon beslemenin altı ve beslemenin üstü olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Beslemenin üzerinde 25 plato beslemenin altında 28 plato mevcuttur. Besleme akımı aşağıdan yukarıya doğru 28. platoya yapılmaktadır. Kolonun dış cidarı ayna dökümlü cam manto ile kaplanmıştır. Bu manto ile kolon arasına vakum uygulanmıştır. Böylece kolonun çevre ile ısı alış verişi kesilmiştir.

Kolon tepesine monte edilmiş soğutucu, kolondan gelen doymuş buharı yoğunlaştırır, kondense olan sıvı özel bir tertibat yardımıyla belli ölçülerde ikiye ayrılır. Birinci kısım kolonu terk ederek ikinci bir soğutucuya uğrar, burada ortam sıcaklığına kadar soğutulan ürün destilat olarak toplama kabına alınır. İkinci kısım ise sıvı halde reflüks adı altında kolona geri verilir. Reflüks oranı 1:1 ile 100:1 arasında bir değer alabilir. Bu ayarlama kontrol panosundaki elektronik zaman ayarlayıcısı ile yapılmaktadır.

Kolonun en altında kazan Ünitesi bulunur, içerisinde dışı kuartz kaplı özel ısıtıcı mevcuttur, bu ısıtıcının gücü ayarlanabilir ve bunun sonucunda istenen kazan sıcaklığı sağlanabilir. Kazanda iki adet termometre mevcuttur, bunlardan biri kazan sıcaklığını ölçmeye yarayan hassas termometre, diğeri ise ısıtıcıya kumanda işleminde kullanılan kontakt termometredir.

Besleme akımı, kolona debi ayarlı bir dozaj pompası yardımıyla verilmiştir. Kolona verilen giriş akımı istenilen debiye ayarlanabilir.

Kontrol panosu kolonun yanına monte edilmiştir, panonun yardımıyla kazan sıcaklığına, reflüks oranına ve reflüks akımı sıcaklığına kumanda edilmiştir. Reflüks akımı sıcaklığı istenilen



Şekil 3.1 Destilasyon Kolonunun Şematik Gösterilişi

değerden büyükse kumanda cihazı destilat almayı durdurur ve alarm işareti verir. Benzer şekilde kazan ısısı istenilen değerden büyükse kontakt termometre yardımı ile kazan ısıtıcısına kumanda ederek ısıtmayı durdurur.

3.2. Kolonun Teknik Özellikleri:

- Kontinü bir şekilde çalışan kolon 100-760 mmHg aralığındaki basınçlarda kullanılabilir.
- Kolona verilen besleme akımı 1...8 l/h aralığındadır.
- Kolon 53 adet delikli platodan oluşmuştur.
- 2 Adet özel dozaj pompası mevcuttur, bunlardan bir tanesi besleme akımının kolona verilmesinde, diğeri ise kazan ürtüntünün boşaltılmasında kullanılır.
- 1 Adet reflüks tertibatı.
- 1 Adet sirkülasyonlu kazan.
- 1 Adet dışı kuartz ısıtıcı.
- 1 Adet kolon tepesinden sıvıyı ayırmaya yarayan özel tertibat.
- 1 Adet esas soğutucu.
- 1 Adet destilat soğutucusu.
- 1 Adet kontrol ve kumanda panosu.
- Reflüs oranı 1:1 ile 100:1 arasında değişmektedir.
- 220 volt, 40-60 Hz ve 1 kw özelliklerine sahiptir.
- Kolonun toplam yüksekliği 3.0 m.'dir.

3.3. Deney Yöntemi

Bu araştırmada kullanılan yöntem kısaca şöyle özetlenebilir: Belirli bir çalışma şartı seçilir, kolon kazanı bu şartlar için hazırlanan ikili karışımla doldurulur. Total reflüks altında yaklaşık bir saat çalıştırılır. Tepe platosu, besleme platosu ve kazan sıcaklıkları belirli aralıklarla ölçülür ve bu sıcaklıklar sabit kaldıktan sonra kazan ve tepe platosu kompozisyonları ölçülerek kolonun tam olarak dengeye gelmesi sağlanır [10,29,39].

Kolonun dengeye gelmesinden sonra, besleme akımı pompası, kazan ürtünü akımı pompası ve reflüks vanası açılarak kontinü destilasyon işlemi başlatılır. Bundan sonra belirli zaman aralıklarla soğutucu

ürünü ve kazan ürünü örnekleri alınarak şilifli erlenlerde saklanır, buna ilaveten tepe platosu, besleme platosu ve kazan sıcaklıkları ölçülüp kaydedilir. Bu işlem yaklaşık iki saat devam eder, bu zaman sonunda bütün değişkenlerin sabit kaldığı gözlenir. Bu duruma "Birinci kararlı hal" (steady-state) denilir. Zaman sıfıra ayarlanır ve değişkenlerden sadece bir tanesi değiştirilerek kolona uygulanır. Aynı anda yukarıda sayılan tüm değişkenlerin durumu belli zaman aralıklarında kaydedilir. Başlangıçta soğutucu ürünü ve kazan ürünü örnekleri birer dakika aralıklarla alınırken bir süre sonra ikişer dakikada bir, alınmaktadır. Daha sonra kazan için bu süre daha da uzatılabilmektedir. Bu durum yaklaşık iki saat sürer. Bu zaman sonunda kolon değişkenlerinin zamana karşı değişimi sabit kalır. Bu duruma "İkinci kararlı hal" denir.

Bu araştırmada birinci kararlı hal'den ikinci kararlı hal'e geçişte basmak ve puls girdileri uygulanmıştır.

Bir örnekle açıklayacak olursak, besleme konsantrasyonu $X_F = 0.25$ olan ve kararlı hal'de çalışan bir kolona aniden besleme akımı $X_F = 0.35$ olan ürün beslendiğini kabul edelim. Bu değişimle birlikte diğer değişkenler belirli zaman aralıklarında ölçülmektedir. Bu işlem yaklaşık iki saat sürmektedir ve kolon yeni bir kararlı hal'e ulaşmaktadır. Bu iki kararlı hal arasındaki duruma "Geçici durum" denilmektedir.

Sonuç olarak iki ayrı türde veri elde edilmiştir. Birincisi destilasyon kolonunun birinci kararlı hal'e ulaşma özelliği, ikincisi ise kararlı hal'den sapsmış olan kolonun tekrar yeni bir kararlı hal'e ulaşma özelliğidir. İkinci özellik endüstride karşılaşılan büyük bir problem olduğu için yaptığımız araştırmada bu konuya önem verilmiştir.

Deneyler süresince destilat ve kazan ürünü numuneleri şilifli erlenlerde toplanmıştır ve bunların kırılma indeksleri 30°C 'de refraktometre ile ölçülmüştür. Buna ilaveten kolonun tepe platosu, besleme platosu ve kazan sıcaklıkları belirli aralıklarda ölçülüp kayıt edilmiştir.

3.4. Deney Programı

Destilasyon kolonu geçici durum dinamik modelinin elde edilmesinde izlenen program aşağıda özet halinde verilmiştir:

3.4.1. Deney Çalışma Şartlarının Seçimi

Besleme kompozisyonu basamak girdisi için iki ayrı kompozisyonda 8'er kilogramlık çözelti hazırlanır. İlk besleme ürünü ayarlı dozaj pompasıyla kolona beslenir. Kolonun kazanı belli bir seviyeye kadar doldurulur (yaklaşık 1.5l). Daha sonra kolon dengeye gelinceye kadar total reflüks altında çalıştırılır. Kolonun dengeye gelmesi yaklaşık 1 saat sürer. Kolonun dengeye geldiği, soğutucu ürünü, kazan ürünü kompozisyonlarını ölçmekle, aynı zamanda tepe platosu, besleme platosu ve kazan sıcaklıklarını ölçmekle anlaşılır.

Kolon dengeye geldikten sonra reflüks oranı, besleme pompası ve kazan ürünü pompası istenilen değerlere ayarlanırlar.

3.4.2. Birinci Kararlı Hal Durumu

Destilasyon kolonu bir önceki kısımda anlatıldığı gibi denge durumuna getirildikten sonra zaman sıfıra ayarlanır, reflüks vanası açılır, besleme ve kazan ürünü pompaları çalıştırılır, kolon tepesinden destilat kolon dibinden ise bakiye alınmaya başlanır. 5-10'ar dakikalık aralıklarla destilattan ve bakiyeden numuneler alınır ve ağız şilifli erlenlerde saklanır. Aynı zamanda tepe platosu, besleme platosu ve kazan sıcaklıkları kaydedilir. Deney sırasında her yarım saatte bir destilat ve bakiye debileri ölçülür ve kaydedilir. Kompozisyonlar ve sıcaklıklar 1-1.5 saat sonra kararlı hal'e ulaşırlar. Bundan sonra zaman tekrar sıfıra ayarlanır ve ikinci kararlı hal durumuna geçilir.

3.4.3. İkinci Kararlı Hal Durumu

Birinci kararlı hal'in sonunda kolonun değişkenleri zamana karşı sabit kalmış durumdadır. Zaman sıfırken kolona ikinci çalışma şartı tatbik edilir. Bu araştırmada, besleme kompozisyonu basamak girdisi, reflüks oranı basamak girdisi ve besleme debisi basamak girdisi uygulanmıştır. Puls girdisi olarak ise kazan ısı girdisi ve reflüks oranı değişimleri uygulanmıştır. Kolonun çalışma şartı değiştiği için tüm noktalarda ani değişimler başlar. Bundan dolayı

başlangıçta birer dakikalık aralıklarla örnekler alınır, daha sonra 2-3'er dakikalık aralıklarla örnekler alınmaya devam edilir. Birinci kararlı hal'de olduğu gibi yarım saat aralıklarla soğutucu ürtünü ve kazan ürtünü debileri ölçülür. Kompozisyonlar ve temperatürler yaklaşık iki saat sonra ikinci kararlı hal'e ulaşırlar. İkinci kararlı hal'e ulaşıldıktan sonra besleme akımı pompası, kazan ürtünü akımı pompası ve reflüks vanası kapatılır, daha sonra kazan ısıtıcısı kapatılır. En son olarak da soğutma suyu kapatılır. Bütün deney süresince toplanan örnekler şilifli erlenlerden alınarak dikkatli bir şekilde analiz edilirler. Deney verilerininin tablo ve şekil haline dönüştürülmeleri Bölüm IV 'de verilmiştir.

BÖLÜM IV

DENEY VERİLERİ

Bu araştırmada 36 deney yapılmıştır. Bunlardan 25 deneyde basamak girdi değişimi uygulanmıştır. Basamak girdilerinden 13 deneyde besleme kompozisyonu, 9 deneyde reflüks oranı, 3 deneyde de besleme akımı debi basamak değişimleri uygulanmıştır.

Geri kalan 11 deneyde puls girdi değişimi uygulanmıştır. Puls girdi değişimlerinden 9 deneyde kazana ısı girişi, 2 deneyde de reflüks oranı puls değişimleri uygulanmıştır.

Bu bölümde verilen tablolarda zaman, dakika; besleme akımı debisi, litre/saat; besleme akımı kompozisyonu, x_F , mol fraksiyonu; soğutucu ve kazan ürünü debileri, D , B , litre/saat; R reflüks oranı olarak verilmiştir. Puls uygulama süresi, PUS, dakika olarak verilmiştir.

Tablolarda kullanılan x_D ve x_B destilatın ve bakiyenin mol fraksiyonlarını gösterir. TRFLX, reflüks; TBESL, besleme platosu; TKAZN, kazan sıcaklıklarını $^{\circ}\text{C}$ olarak göstermektedir.

Deneylerde sıcaklık ölçümleri, kompozisyon ölçümlerinden önce başladığından dolayı kararlı hal bozma zamanı, sıcaklık ölçüm zamanını esas almıştır. Kompozisyon ölçüm tablolarında kararlı hal bozma zamanı B.G.(basamak girdi) şeklinde gösterilmiştir.

Deneyler için hazırlanan tablolar sırasıyla kompozisyon değişim ve sıcaklık değişim tabloları olarak verilmiştir. Tablolardan sonra deneylere ait grafikler verilmiştir.

Reflüks oranı değişimi deneylerinin bazılarında sıcaklık değişimlerini gösteren grafikler de verilmiştir. Bu sıcaklık değişimi grafikleri destilasyon kolonun asimetric davranışının açıklanmasında kullanılmıştır.

Tablo.4.1 - Deney Tanımı ve Çalışma Şartları

Deney	Süre	F	R	x_{F1}	x_{F2}	D_1	D_2	B_1	B_2
1	108	1.803	1	0.396	0.731	0.416	0.863	1.387	0.940
2	113	1.836	1	0.459	0.609	0.927	1.135	0.909	0.701
3	117	1.682	1	0.649	0.426	1.050	0.742	0.632	0.940
4	104	1.869	1	0.638	0.429	1.148	0.904	0.721	0.965
5	119	1.840	1	0.627	0.436	1.150	0.984	0.690	0.856
6	118	1.900	1	0.533	0.288	0.840	0.658	1.060	1.242
7	090	1.800	1	0.535	0.621	0.840	-----	0.960	-----
8	152	1.763	1	0.639	0.510	0.916	0.730	0.848	1.033
9	135	1.678	1	0.625	0.519	1.040	-----	0.638	-----
10	166	1.782	1	0.313	0.748	0.336	0.631	1.446	1.151
11	154	1.782	1	0.356	0.689	0.372	0.727	1.410	1.055
12	202	1.782	1	0.449	0.606	0.072	0.089	1.710	1.693
13	164	1.782	1	0.426	0.613	0.020	-----	1.763	-----

Tablo.4.2 - Deney Tanımı ve Çalışma Şartları

Deney	Süre	F	x_F	R_1	R_2	D_1	D_2	B_1	B_2
14	109	1.843	0.260	4	1	0.463	0.735	1.380	1.108
15	122	1.900	0.305	1	8	0.670	0.345	1.230	1.555
16	126	1.900	0.227	1	4	0.347	0.285	1.553	1.615
17	151	1.200	0.239	1	4	0.360	0.240	0.840	0.960
18	156	1.204	0.233	1	3	0.384	0.289	0.820	0.915
19	136	2.140	0.633	1	3	1.243	-----	0.900	-----
20	078	1.775	0.633	1	3	0.877	-----	0.897	-----
21	221	0.843	0.527	1	2	0.424	0.336	0.419	0.507
22	146	1.917	0.249	3	6	0.719	0.538	1.198	1.379

Tablo 4.3 - Deney Tanımı ve Çalışma Şartları

Deney	Süre	F ₁	F ₂	R	x _F	D ₁	D ₂	B ₁	B ₂
23	139	1.400	1.782	1	0.382	0.532	0.590	0.868	1.192
24	139	2.276	1.400	1	0.423	0.603	0.969	1.673	0.437
25	103	1.882	2.415	1	0.425	0.802	0.825	1.080	1.590

Tablo 4.4 - Deney Tanımı ve Çalışma Şartları

Deney	Süre	F	R	x _F	D	B	PUS
26	17	1.782	1	0.382	0.590	1.192	0.5
27	18	1.782	1	0.748	0.631	1.151	5.0
28	15	1.869	1	0.429	0.904	0.965	5.0
29	17	1.840	1	0.436	0.984	0.856	5.0
30	15	1.900	1	0.289	0.658	1.242	3.5
31	20	0.843	2	0.527	0.336	0.507	5.0
32	15	1.782	1	0.689	0.727	1.055	3.0
33	137	1.770	1	0.387	0.600	1.170	5.0
34	137	1.770	1	0.387	0.600	1.170	5.0

Tablo 4.5 - Deney Tanımı ve Çalışma Şartları

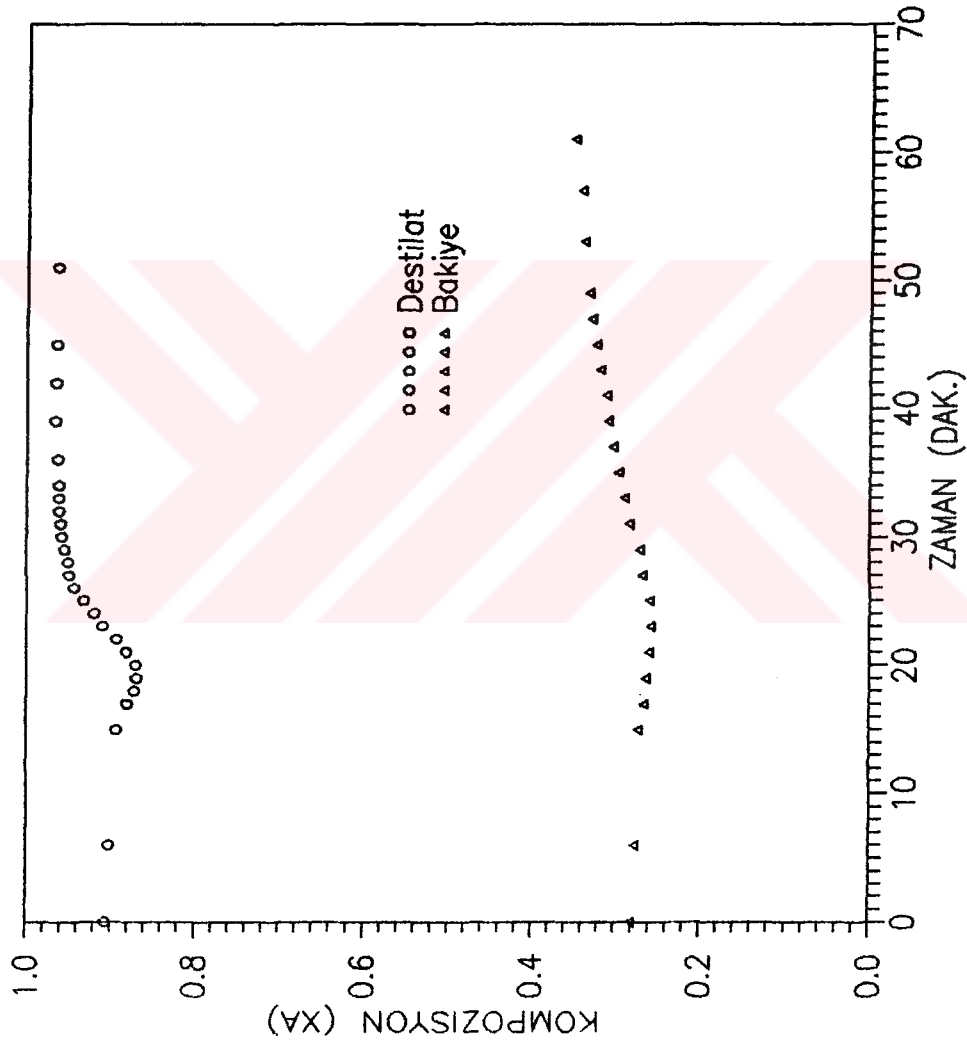
Deney	Süre	F	R	x _F	D	B	PUS
35	21	1.836	1	0.609	1.135	0.701	5.0
36	23	1.682	1	0.426	0.742	0.940	5.0

**Tablo 4.6 (Deney No.1)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri**

Zaman	X_D	Zaman	X_B
0	0.906	0	0.281
6	0.902	6	0.276
B.G. 15	0.894	15	0.272
17	0.881	17	0.266
18	0.873	19	0.264
19	0.870	21	0.260
20	0.871	23	0.258
21	0.882	25	0.260
22	0.894	27	0.268
23	0.910	29	0.271
24	0.920	31	0.284
25	0.933	33	0.289
26	0.944	35	0.297
27	0.950	37	0.304
28	0.951	39	0.309
29	0.955	41	0.311
30	0.958	43	0.319
31	0.960	45	0.324
32	0.962	47	0.329
33	0.962	49	0.333
34	0.962	53	0.340
36	0.964	57	0.343
39	0.967	59	0.351
42	0.966		
45	0.965		
51	0.964		

**Tablo 4.6A (Deney No.1)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri**

Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0	76.7	85.2	94.6
6	77.3	85.2	95.0
23	76.9	84.6	95.4
35	76.7	84.5	95.8
40	77.0	84.5	96.0
46	77.0	84.5	96.0
52	77.3	84.9	96.2
56	77.3	84.8	96.3
61	77.5	84.8	96.3
65	77.8	82.5	96.8
66	77.6	79.0	96.8
67	77.0	78.6	96.7
68	76.7	78.5	96.5
70	76.2	78.3	96.1
72	75.8	78.3	96.0
74	75.7	78.4	95.8
76	75.5	78.4	95.3
79	75.4	78.3	95.0
81	75.6	78.4	94.9
83	75.6	78.4	94.8
86	75.5	78.4	94.4
89	75.6	78.4	94.2
93	75.6	78.4	94.1
95	75.7	78.4	93.8
100	75.9	78.5	93.7
105	76.0	78.5	93.2
108	75.9	78.5	93.1



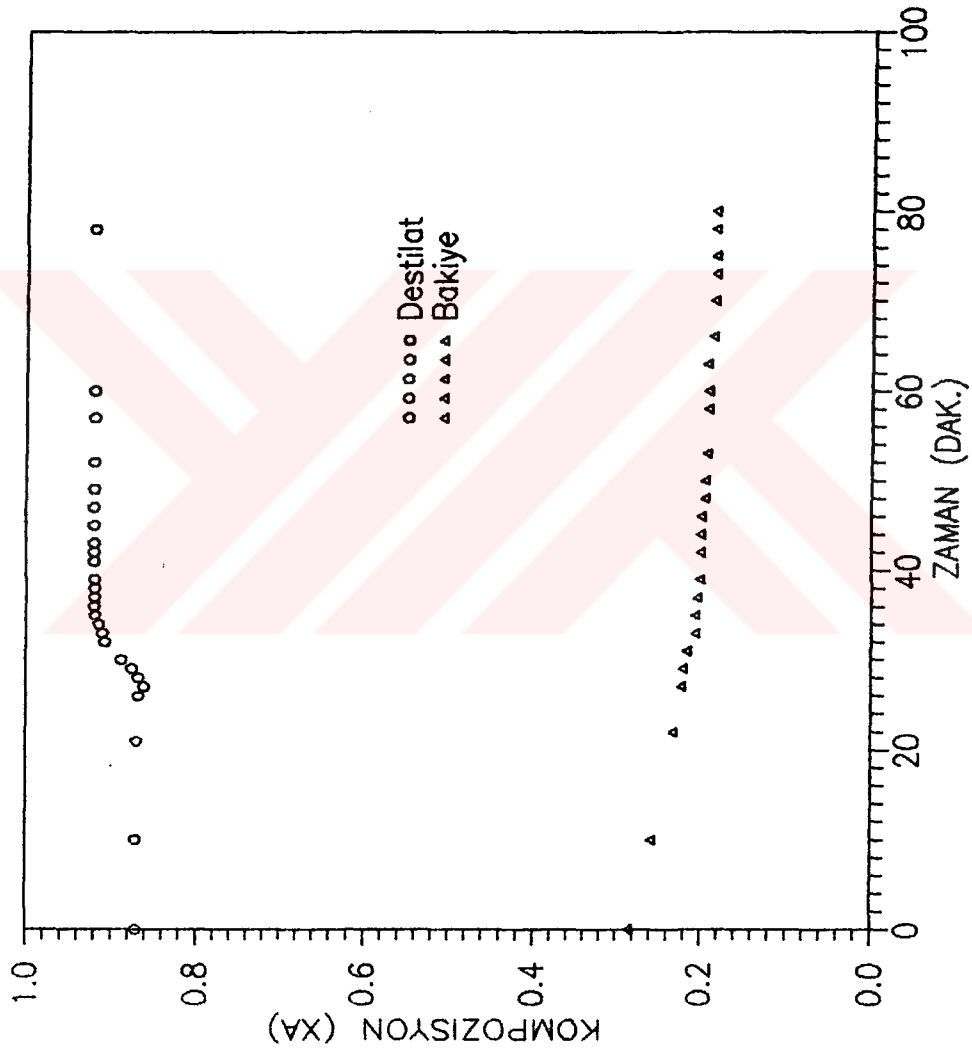
Şekil 4.1 – Deneş No.1 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Konsantrasyonları

**Tablo 4.7 (Deney No.2)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri**

Besleme Komp.		Besleme Debisi		:1.836	
İlk Durum		:0.459 Reflüks Oranı		:1	
Son Durum		:0.609 Kararlı Hal Bozma Zamanı:		60	
Zaman	X_D	Zaman	X_B		
0	0.871	0	0.286		
10	0.871	10	0.258		
B.G 21	0.870	22	0.233		
26	0.868	27	0.223		
27	0.862	29	0.221		
28	0.868	31	0.217		
29	0.876	33	0.207		
30	0.888	35	0.207		
32	0.908	37	0.205		
33	0.911	39	0.201		
34	0.915	42	0.200		
35	0.919	44	0.200		
36	0.920	46	0.199		
37	0.920	48	0.196		
38	0.920	50	0.196		
39	0.920	53	0.194		
41	0.920	58	0.192		
42	0.920	60	0.194		
43	0.920	63	0.187		
45	0.920	66	0.185		
47	0.920	70	0.184		
49	0.920	73	0.184		
52	0.920	75	0.184		
57	0.920	78	0.184		
60	0.920	80	0.184		
78	0.920				

**Tablo 4.7A (Deney No.2)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri**

Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0	76.9	82.2	92.8
9	79.5	84.1	94.0
15	79.6	84.1	94.7
20	79.5	84.0	95.7
39	79.4	84.0	97.0
48	79.5	83.8	98.0
54	79.6	83.8	98.4
60	79.5	82.4	99.0
67	78.1	80.4	99.5
69	78.0	80.4	99.5
74	77.7	80.4	99.4
77	77.6	80.4	99.3
79	77.6	80.4	99.5
81	77.7	80.4	99.5
88	77.8	80.4	99.5
95	77.7	80.4	99.8
99	77.8	80.4	100.0
103	77.7	80.5	100.0
108	77.6	80.4	100.0
113	77.5	80.3	100.0



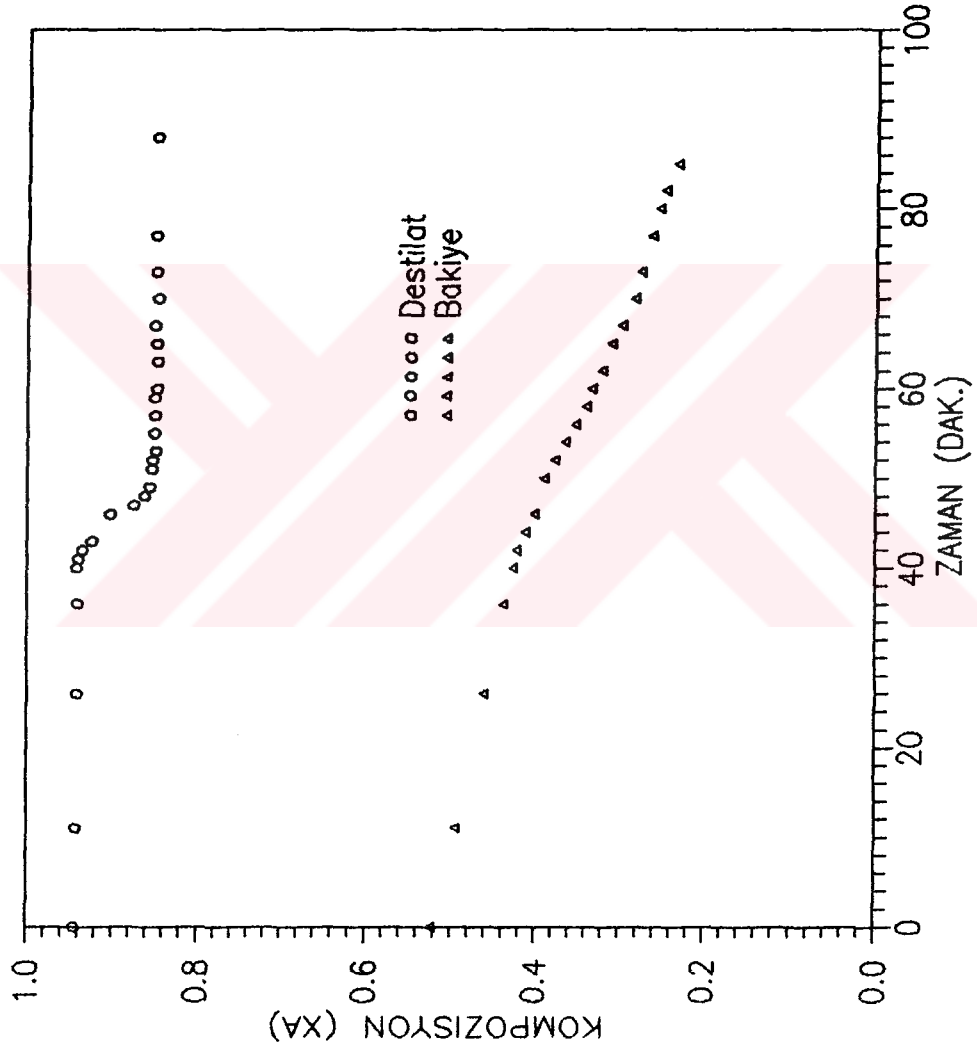
Şekil 4.2 – Deneş No.2 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Konsantrasyonları

Tablo 4.8 (Deney No.3)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri

Zaman	X_D	Zaman	X_B
0	0.944	0	0.523
11	0.943	11	0.496
26	0.942	26	0.463
B.G 36	0.941	36	0.439
40	0.942	40	0.428
41	0.940	42	0.423
42	0.935	44	0.413
43	0.924	46	0.401
46	0.902	50	0.390
47	0.875	52	0.378
48	0.863	54	0.365
49	0.856	58	0.353
51	0.853	60	0.340
52	0.853	62	0.333
53	0.849	65	0.322
55	0.851	67	0.310
57	0.850	70	0.298
59	0.850	73	0.284
60	0.847	77	0.276
63	0.847	80	0.264
65	0.848	82	0.255
67	0.850	85	0.248
70	0.847	88	0.235
73	0.849		
77	0.850		
88	0.849		

**Tablo 4.8A (Deney No.3)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri**

Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0	75.7	80.4	86.5
5	76.6	80.5	87.0
17	77.1	80.5	87.9
26	77.0	80.3	88.7
32	77.0	80.4	88.8
38	77.0	80.3	89.2
43	77.0	80.3	89.8
48	77.0	80.2	90.0
57	77.1	80.0	90.6
69	76.9	80.0	91.2
70	77.0	82.7	91.5
71	77.9	85.0	92.0
75	79.4	85.0	92.5
79	80.4	84.9	93.6
85	80.4	84.8	94.0
89	80.4	84.8	95.0
95	80.3	84.7	95.7
99	80.2	84.8	96.2
103	80.0	84.7	97.0
109	80.1	84.8	97.8
117	80.0	84.8	98.0



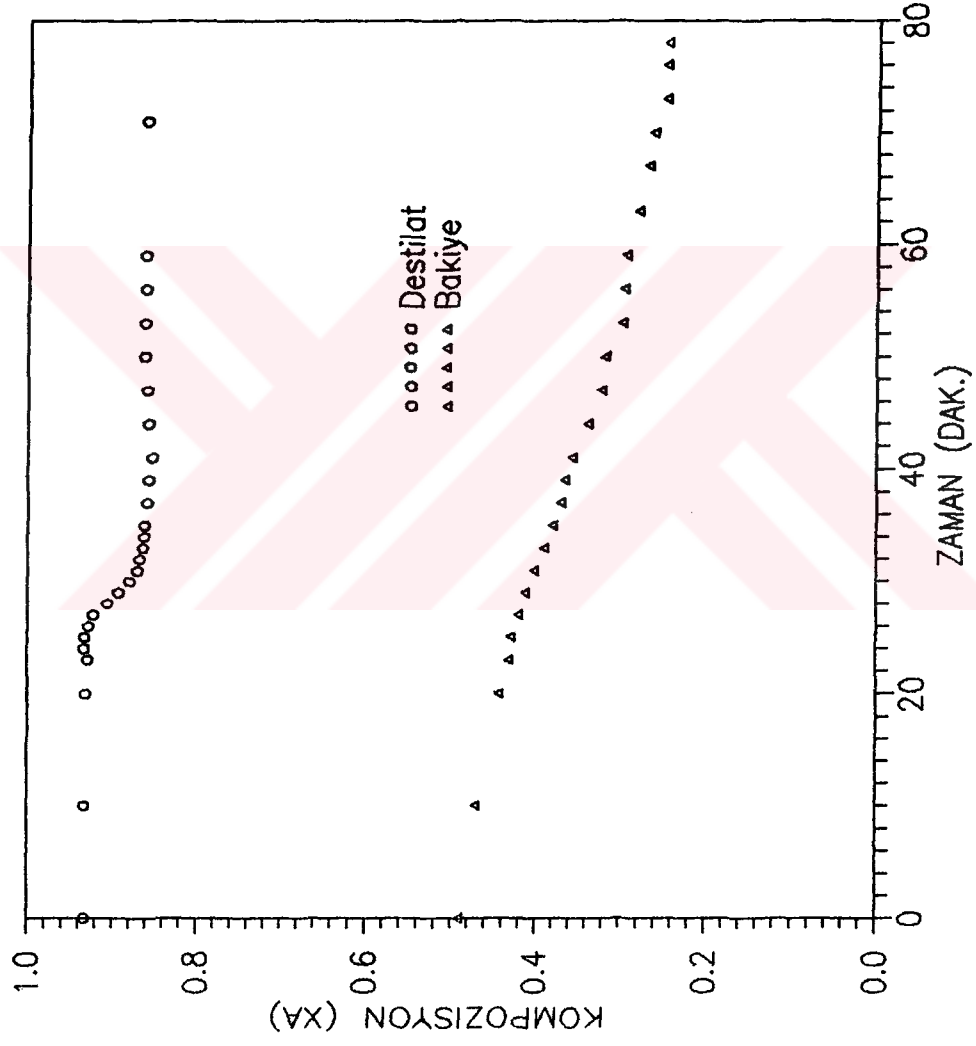
Şekil 4.3 – Deneş No.3 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Konsantrasyonları

**Tablo 4.9 (Deney No.4)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri**

Zaman	X_D	Zaman	X_B
0	0.933	0	0.491
10	0.933	10	0.471
B.G. 20	0.932	20	0.444
23	0.929	23	0.432
24	0.933	25	0.430
25	0.933	27	0.421
26	0.929	29	0.413
27	0.923	31	0.402
28	0.906	33	0.390
29	0.893	35	0.380
30	0.880	37	0.371
31	0.871	39	0.365
32	0.868	41	0.357
33	0.864	44	0.339
34	0.863	47	0.323
35	0.863	50	0.318
37	0.860	53	0.298
39	0.857	56	0.297
41	0.853	59	0.294
44	0.858	63	0.280
47	0.860	67	0.269
50	0.862	70	0.263
53	0.862	73	0.249
56	0.862	76	0.249
59	0.862	78	0.248
71	0.862		

**Tablo 4.9A (Deney No.4)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri**

Besleme Komp.	Besleme Debisi	:1.869	
İlk Durum :0.638	Reflüks Oranı	:1	
Son Durum :0.429	Kararlı Hal Bozma Zamanı:	39	
Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0	77.0	80.0	87.2
4	77.1	80.1	87.8
9	77.0	79.9	89.0
13	77.0	79.8	89.5
24	77.0	79.8	90.0
29	77.0	79.7	90.0
33	77.0	79.7	90.6
38	76.9	79.7	90.6
40	77.1	80.1	90.8
42	76.8	82.5	91.1
45	77.3	83.5	91.5
47	78.1	83.6	92.0
50	78.8	83.7	92.2
52	79.0	83.7	92.8
55	79.3	83.8	93.4
59	79.0	83.6	94.0
64	79.0	83.7	94.8
69	78.9	83.5	95.0
74	78.7	83.7	95.5
78	78.6	83.5	96.0
82	78.4	83.4	96.2
86	78.6	83.5	96.6
91	78.4	83.4	97.0
97	78.4	83.4	97.0
104	78.4	83.4	97.0



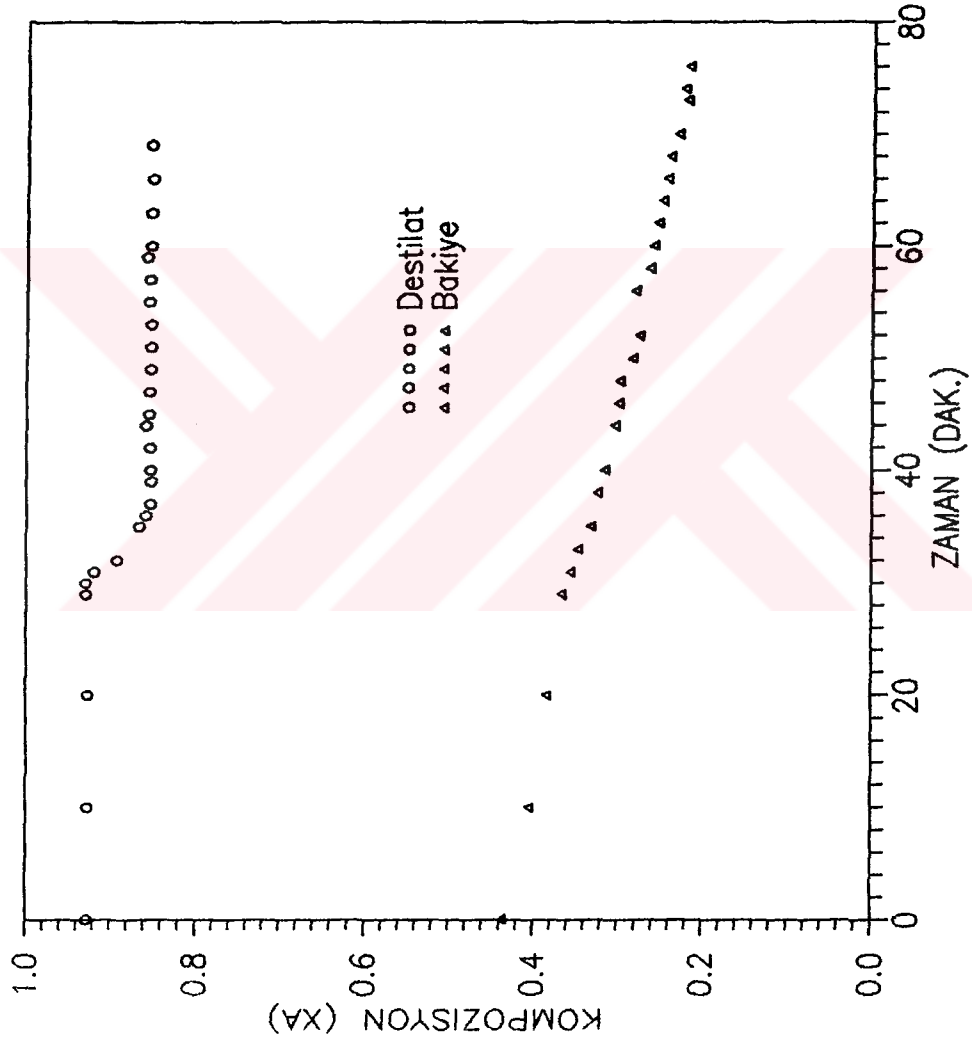
Şekil 4.4 – Deneş No.4 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Konsantrasyonları

**Tablo 4.10 (Deney No.5)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri**

Besleme Komp.	Besleme Debisi	:1.840	
İlk Durum :0.627	Reflüks Oranı	:1	
Son Durum :0.436	Kararlı Hal Bozma Zamanı:	73	
Zaman	X_D	Zaman	X_B
0	0.928	0	0.437
10	0.927	10	0.405
B.G. 20	0.926	20	0.384
29	0.929	29	0.367
30	0.929	31	0.357
31	0.919	33	0.347
32	0.892	35	0.333
35	0.866	38	0.325
36	0.859	40	0.316
37	0.853	44	0.305
39	0.852	46	0.300
40	0.853	48	0.299
42	0.853	50	0.284
44	0.859	52	0.276
45	0.855	56	0.281
47	0.854	58	0.264
49	0.853	60	0.259
51	0.853	62	0.254
53	0.853	64	0.249
55	0.855	66	0.244
57	0.855	68	0.240
59	0.858	70	0.231
60	0.853	73	0.220
63	0.853	74	0.224
66	0.852	76	0.218
69	0.853		

Tablo 4.10A (Deney No.5)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri

Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0	76.6	80.2	87.0
12	77.6	80.1	88.0
26	77.2	79.9	89.3
36	77.5	79.9	90.0
45	77.3	79.8.	91.0
55	77.3	79.9	92.0
65	77.5	70.0	92.5
74	77.0	82.3	93.5
78	78.1	83.9	94.0
82	79.5	83.5	94.4
86	79.6	83.5	96.0
95	79.5	83.4	96.4
100	79.2	83.5	97.0
105	79.3	83.6	97.0
107	79.2	83.6	97.8
114	79.1	83.7	98.0
119	78.2	83.9	98.0



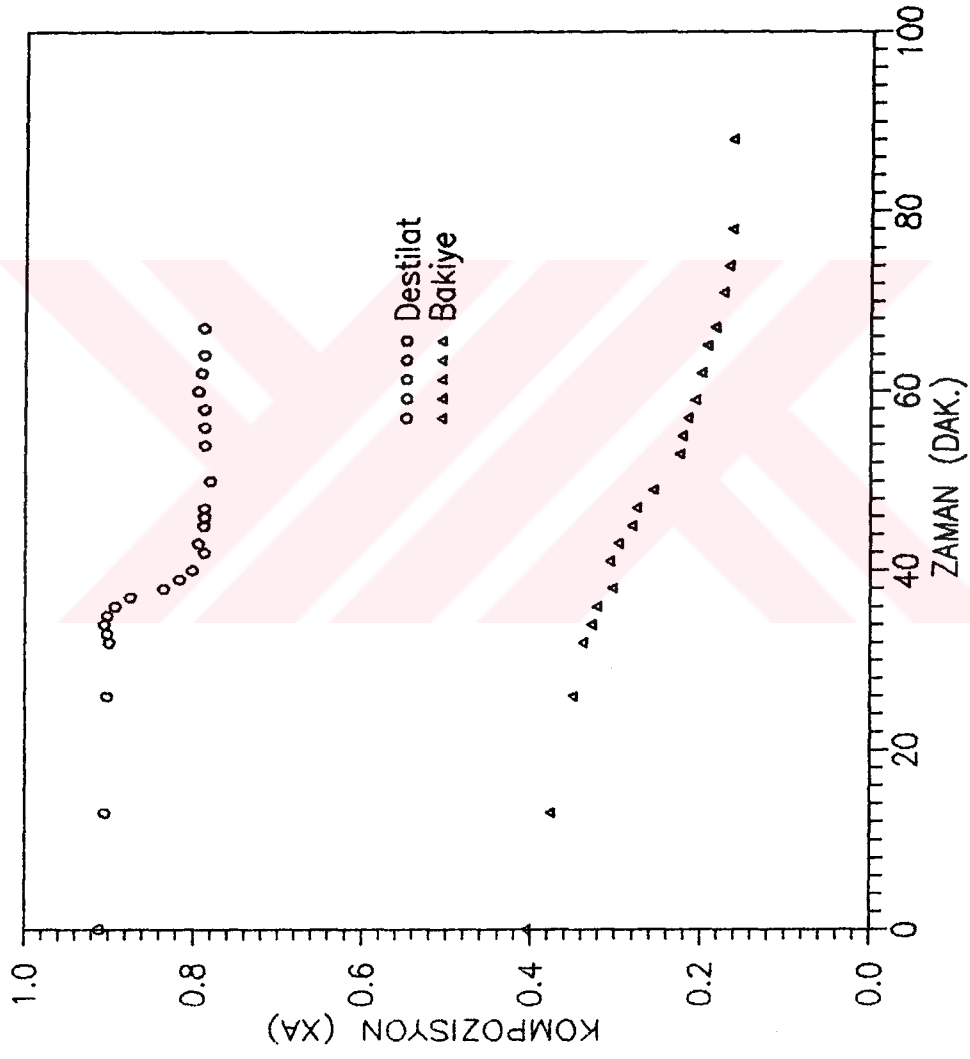
Şekil 4.5 – Deneş No.5 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Konsantrasyonları

Tablo 4.11 (Deney No.6)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamik Deney Verileri

Zaman	X_D	Zaman	X_B
0	0.911	0	0.406
13	0.905	13	0.378
B.G. 26	0.902	26	0.351
32	0.900	32	0.340
33	0.903	34	0.329
34	0.906	36	0.323
35	0.902	38	0.305
36	0.893	41	0.307
37	0.875	43	0.298
38	0.836	45	0.282
39	0.817	47	0.276
40	0.802	49	0.257
42	0.788	53	0.226
43	0.795	55	0.223
45	0.789	57	0.217
46	0.788	59	0.208
47	0.788	62	0.200
50	0.781	65	0.194
54	0.788	67	0.184
56	0.788	71	0.175
58	0.788	74	0.168
60	0.795	78	0.164
62	0.791	88	0.164
64	0.789		
67	0.789		

Tablo 4.11A (Deney No.6)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri

Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0	75.6	82.3	89.5
20	77.6	82.4	91.0
25	77.9	82.4	91.5
32	78.1	82.4	92.0
37	78.0	82.3	92.1
46	78.2	82.4	92.8
52	78.4	82.1	93.2
64	78.6	84.3	94.3
67	78.2	87.2	94.7
69	79.0	87.6	95.0
72	80.7	87.6	95.6
75	81.2	87.5	96.0
77	81.3	87.6	96.4
83	81.3	87.4	97.1
85	81.0	87.3	97.7
92	80.7	87.0	98.5
98	81.0	87.3	99.3
101	81.0	87.3	99.5
114	81.0	87.2	101.0
118	80.8	87.1	101.2



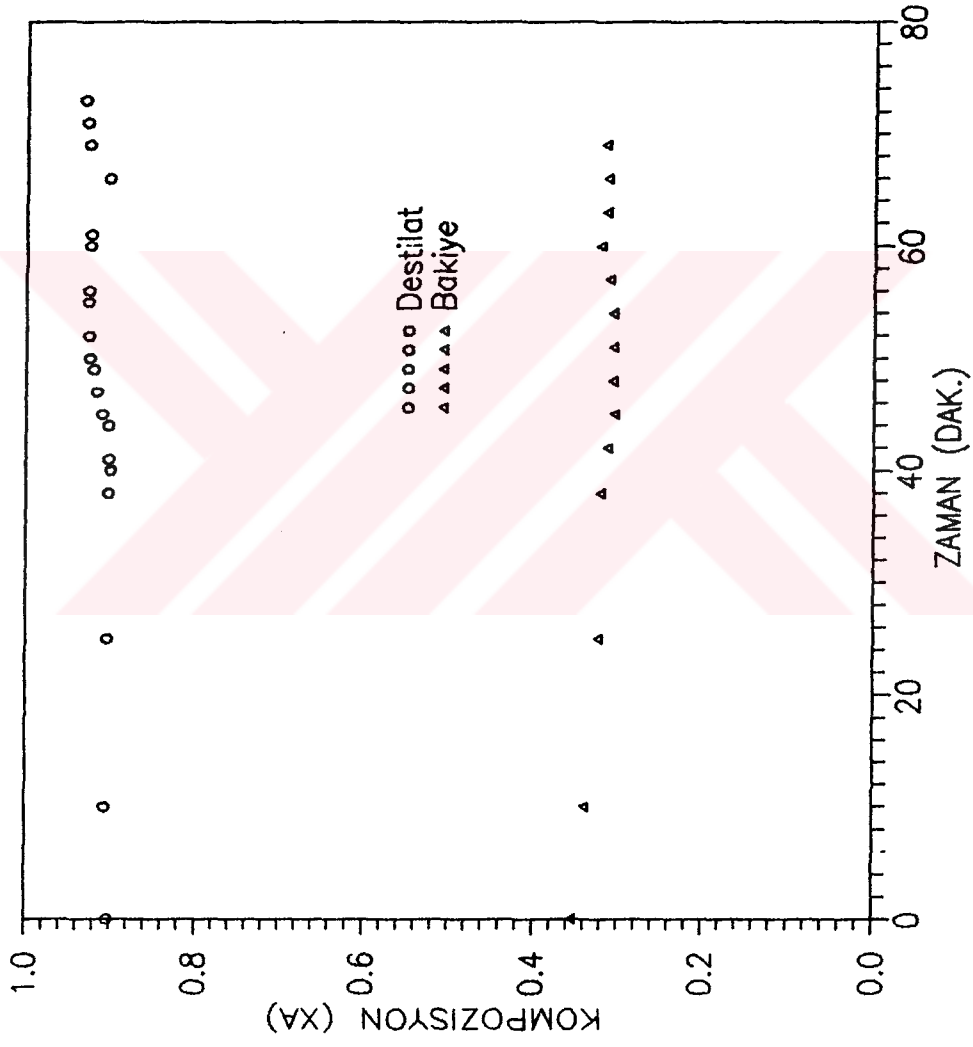
Şekil 4.6 – Deneysel No.6 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Konsantrasyonları

Tablo 4.12 (Deney No.7)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri

Zaman	X_D	Zaman	X_B
0	0.903	0	0.355
10	0.905	10	0.339
25	0.904	25	0.325
B.G. 38	0.903	38	0.322
41	0.902	42	0.313
44	0.903	45	0.305
45	0.910	48	0.307
47	0.917	51	0.307
49	0.919	54	0.307
50	0.925	57	0.311
52	0.926	60	0.323
55	0.927	63	0.315
56	0.926	66	0.315
60	0.925	69	0.315
61	0.924		
66	0.903		
69	0.926		
71	0.929		
73	0.932		

**Tablo 4.12A (Deney No.7)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri**

Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0	77.7	81.9	91.8
7	77.8	81.6	92.0
20	77.5	81.6	92.0
28	77.0	81.4	92.2
35	76.9	81.2	92.5
42	77.0	81.1	93.0
50	76.8	81.3	94.0
56	77.0	81.2	94.1
61	77.5	81.2	94.2
63	77.3	81.3	94.6
65	77.0	80.2	94.6
67	77.0	80.1	94.5
70	76.5	79.8	94.2
74	76.4	79.9	94.1
78	76.4	80.0	94.0
82	76.8	80.0	94.0
86	76.9	79.8	94.0
90	76.6	79.7	93.9



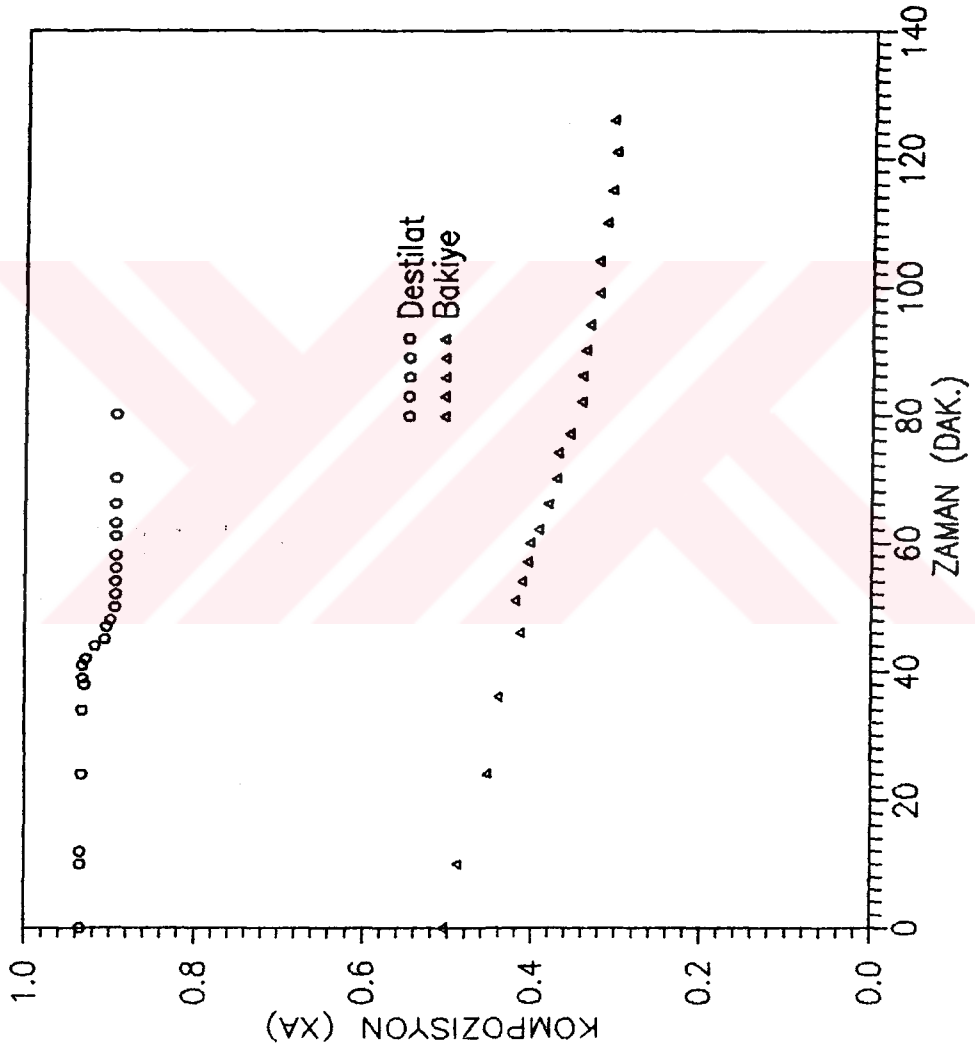
Şekil 4.7 – Deneysel No.7 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Konsantrasyonları

Tablo 4.13 (Deney No.8)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri

Zaman	X_D	Zaman	X_B
0	0.935	0	0.506
10	0.935	10	0.500
12	0.935	24	0.455
24	0.934	36	0.442
34	0.933	46	0.415
B. G. 38	0.931	B. G. 51	0.421
39	0.933	54	0.413
41	0.933	57	0.406
42	0.929	60	0.403
44	0.918	62	0.393
45	0.906	66	0.381
47	0.904	70	0.372
48	0.900	74	0.370
50	0.895	77	0.357
52	0.894	82	0.343
54	0.894	86	0.346
56	0.894	90	0.337
58	0.894	94	0.333
61	0.894	99	0.323
63	0.894	104	0.323
66	0.894	110	0.314
70	0.894	115	0.308
80	0.894	121	0.304
		126	0.307

**Tablo 4.13A (Deney No.8)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri**

Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0	76.7	80.4	87.8
5	76.7	80.3	88.0
11	76.7	80.3	88.2
17	76.9	80.4	88.5
30	77.0	80.3	89.3
36	77.0	80.3	89.6
48	77.0	80.2	90.2
60	77.0	80.2	90.8
66	76.8	80.1	91.0
73	77.5	80.5	91.3
75	76.8	81.8	91.3
78	77.0	82.4	91.5
80	77.4	82.5	92.0
83	77.5	82.4	92.0
87	77.6	82.3	92.2
91	77.4	82.3	92.6
93	77.5	82.4	93.0
98	77.5	82.3	93.0
102	77.4	82.2	93.5
106	77.4	82.1	93.7
110	77.3	82.2	93.8
114	77.3	82.1	94.0
119	77.2	82.2	94.0
124	77.0	82.2	94.5
133	77.0	81.9	94.7
139	77.0	82.1	94.8
146	77.0	81.9	94.9



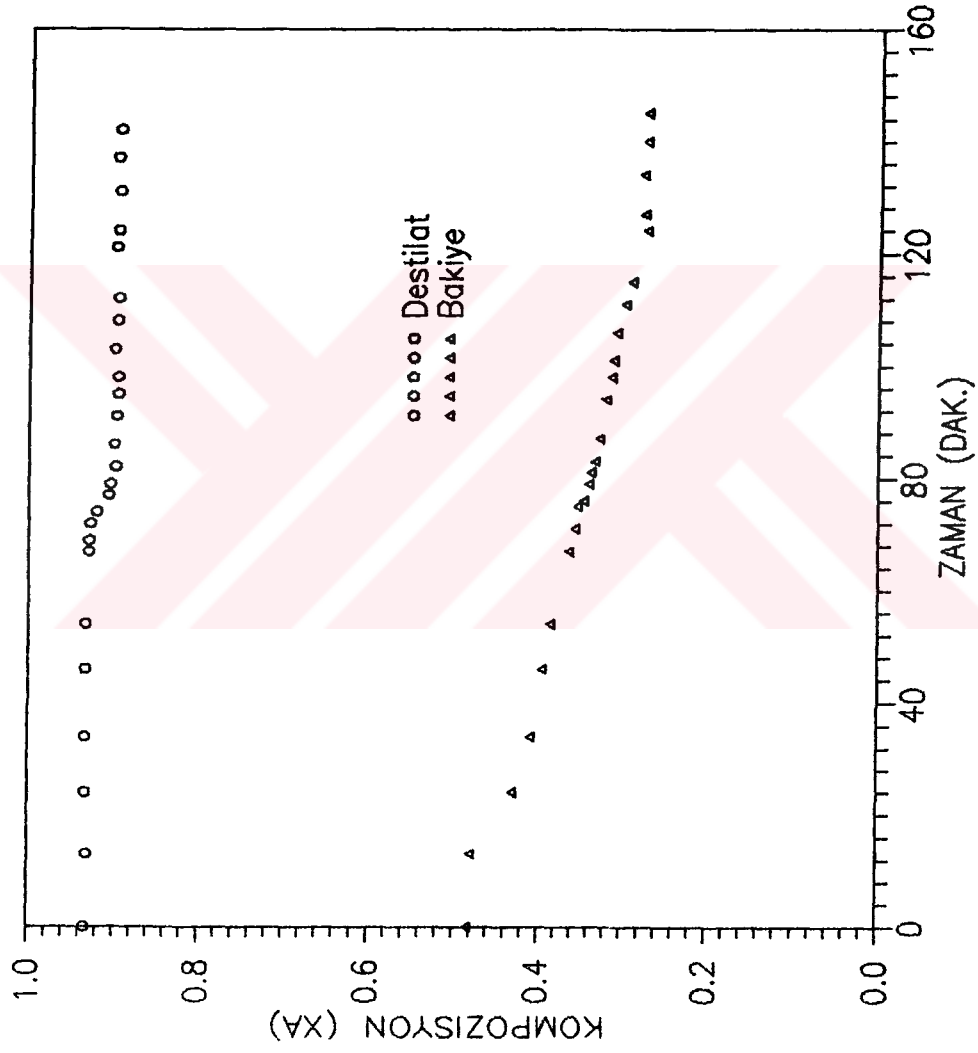
Şekil 4.8 – Deneş No.8 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Konsantrasyonları

**Tablo 4.14 (Deney No.9)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri**

Zaman	X_D	Zaman	X_B
0	0.933	0	0.484
13	0.931	13	0.480
24	0.933	24	0.431
34	0.933	34	0.409
46	0.933	46	0.396
B.G. 54	0.931	54	0.358
67	0.929	67	0.363
69	0.928	71	0.357
72	0.928	75	0.354
74	0.919	76	0.346
77	0.906	79	0.400
79	0.904	81	0.337
82	0.899	83	0.333
86	0.900	87	0.327
91	0.898	94	0.320
95	0.896	98	0.313
98	0.896	101	0.311
103	0.900	106	0.307
108	0.897	111	0.298
112	0.896	115	0.290
121	0.899	124	0.273
124	0.897	127	0.276
131	0.896	134	0.278
137	0.899	140	0.274
142	0.896	145	0.273

Tablo 4.14A (Deney No.9)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri

Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0	78.5	81.1	90.2
8	78.5	80.9	91.0
12	78.4	80.3	91.3
29	78.2	80.7	92.0
41	78.0	80.7	92.5
49	78.1	80.6	93.0
60	77.9	81.5	93.0
67	77.8	81.9	93.8
69	77.7	81.9	93.8
71	77.9	82.3	94.0
73	78.1	82.4	94.0
74	78.2	82.4	94.0
77	78.3	82.5	94.2
80	78.4	82.6	94.2
82	78.4	82.4	94.5
85	78.4	82.5	94.9
91	78.4	82.6	95.0
94	78.3	82.5	95.0
97	78.4	82.5	95.2
101	78.3	82.4	95.2
103	78.3	82.4	95.5
112	78.4	82.6	95.7
119	78.4	82.5	96.0
126	78.6	82.4	96.0
130	78.6	82.5	96.3
135	78.5	82.5	96.4
141	78.5	82.7	96.5



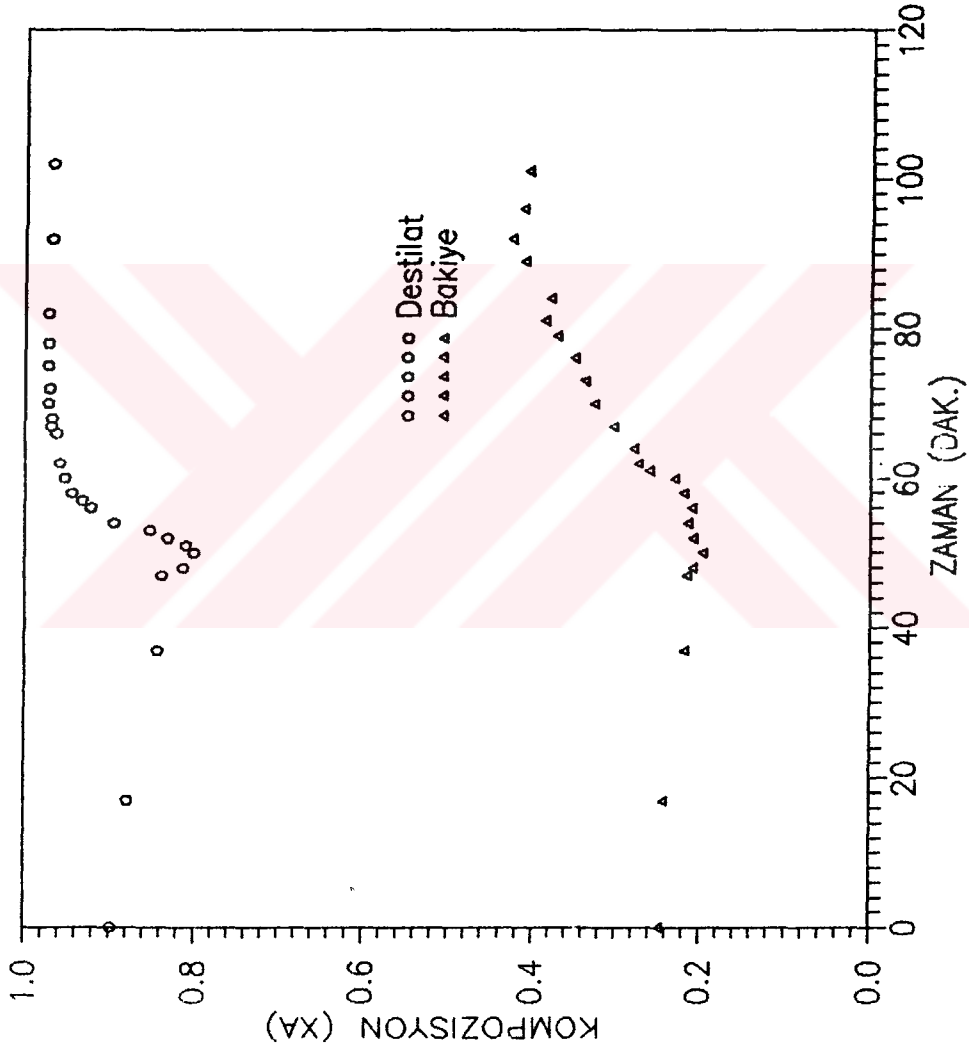
Şekil 4.9 – Deneysel No.9 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Konsantrasyonları

Tablo 4.15 (Deney No.10)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri

Zaman	X_D	Zaman	X_B
0	0.898	0	0.248
17	0.879	17	0.243
37	0.844	37	0.218
B.G. 47	0.839	47	0.216
48	0.813	48	0.209
50	0.801	50	0.198
51	0.811	52	0.209
52	0.832	54	0.215
53	0.853	56	0.210
54	0.896	58	0.220
56	0.922	60	0.231
57	0.933	61	0.260
58	0.945	62	0.273
60	0.953	64	0.279
62	0.959	67	0.303
66	0.963	70	0.326
67	0.969	73	0.338
68	0.969	76	0.350
70	0.973	79	0.372
72	0.971	81	0.386
75	0.973	84	0.379
78	0.973	89	0.411
82	0.973	92	0.426
92	0.969	96	0.414
102	0.969	101	0.407

Tablo 4.15A (Deney No.10)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamîği Deneysel Verileri

Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0	75.4	85.9	96.0
16	77.0	85.8	96.2
26	77.5	85.5	96.7
41	77.6	85.3	96.8
65	78.3	85.9	97.0
76	79.0	86.4	97.7
91	79.1	86.3	98.0
101	79.3	86.5	98.2
103	80.5	86.9	98.8
105	79.8	88.4	98.8
106	78.4	77.1	98.4
108	77.1	76.9	97.8
110	76.4	76.9	97.2
114	75.5	76.7	96.4
116	75.1	76.8	95.4
120	75.0	77.0	94.8
122	74.8	76.8	94.0
126	75.0	77.2	93.3
129	74.8	77.0	93.0
132	75.0	77.0	92.5
136	75.0	77.1	91.8
141	75.1	77.3	91.2
146	75.1	77.3	90.8
153	75.4	77.4	90.1
156	75.3	77.4	89.8
162	75.2	77.4	89.6
166	75.3	77.6	89.0



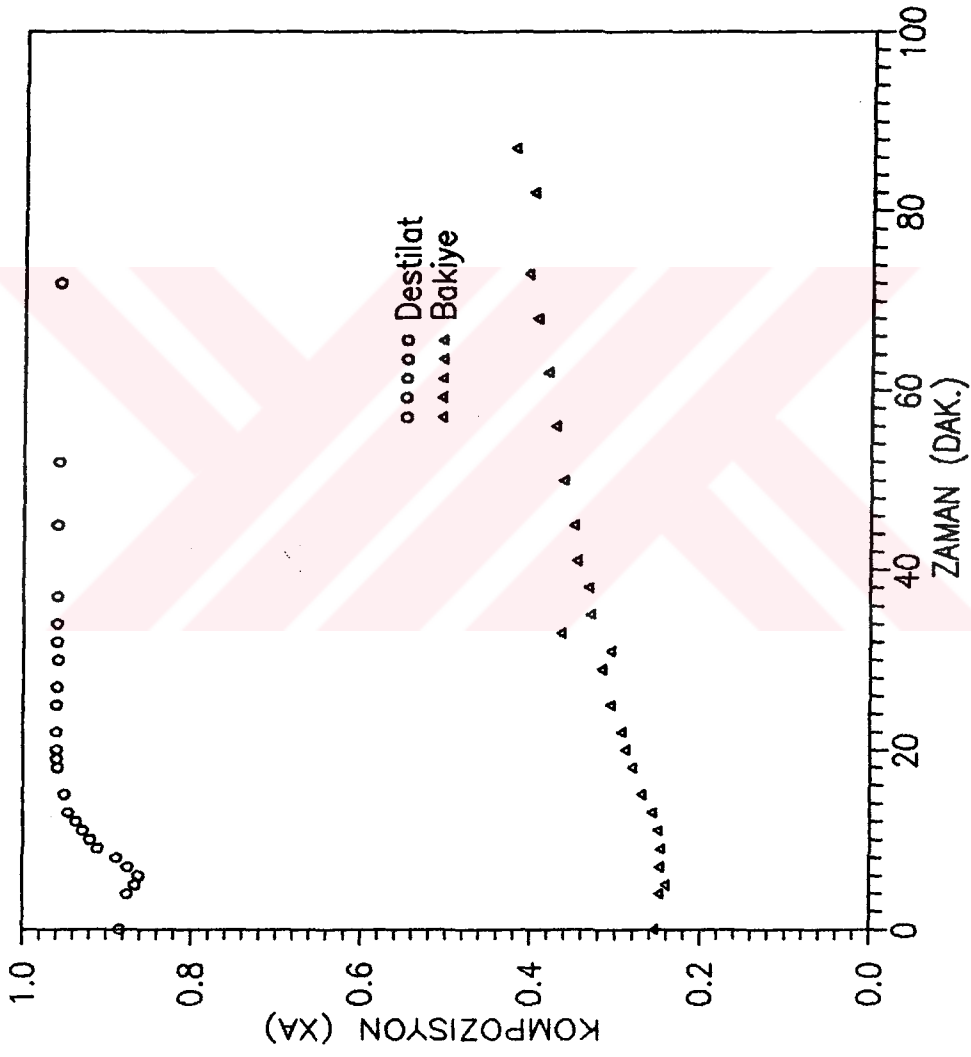
Şekil 4.10— Deneş No.10 Destilasyon Kalonu Geçici Durum Konsantrasyonları

Tablo 4.16 (Deney No.11) -Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri

Zaman	X_D	Zaman	X_B
0	0.884	0	0.255
B.G. 4	0.876	4	0.250
5	0.866	5	0.242
6	0.862	7	0.249
7	0.875	9	0.249
8	0.888	11	0.252
9	0.911	13	0.258
10	0.920	15	0.271
11	0.929	18	0.282
12	0.937	20	0.289
13	0.946	22	0.294
15	0.951	25	0.307
18	0.959	29	0.318
19	0.960	31	0.307
20	0.960	33	0.365
22	0.960	35	0.331
25	0.960	38	0.333
27	0.960	41	0.347
30	0.958	45	0.351
32	0.960	50	0.363
34	0.960	56	0.373
37	0.959	62	0.382
45	0.960	68	0.395
52	0.958	73	0.406
72	0.958	82	0.400
		87	0.423

**Tablo 4.16A (Deney No.11)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri**

Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0	77.4	85.4	94.3
39	77.4	85.1	96.0
50	76.9	84.4	96.0
70	77.6	83.1	96.8
71	77.4	78.8	97.0
73	76.7	78.0	96.8
76	76.0	77.8	96.3
77	75.5	77.7	96.0
78	75.3	77.7	96.0
80	75.3	77.8	95.8
81	75.4	77.9	95.5
84	75.1	77.7	94.8
87	75.2	77.9	94.5
89	75.2	78.0	94.3
93	75.0	77.8	94.0
96	75.1	78.0	94.0
100	75.1	78.1	93.3
103	75.3	78.2	93.1
107	75.4	78.0	93.0
110	75.3	78.1	92.6
114	75.4	78.2	92.3
118	75.4	78.1	92.1
123	75.4	78.1	91.8
127	75.4	78.1	91.7
131	75.4	78.1	91.3
139	75.6	78.2	91.0
147	75.6	78.2	90.8



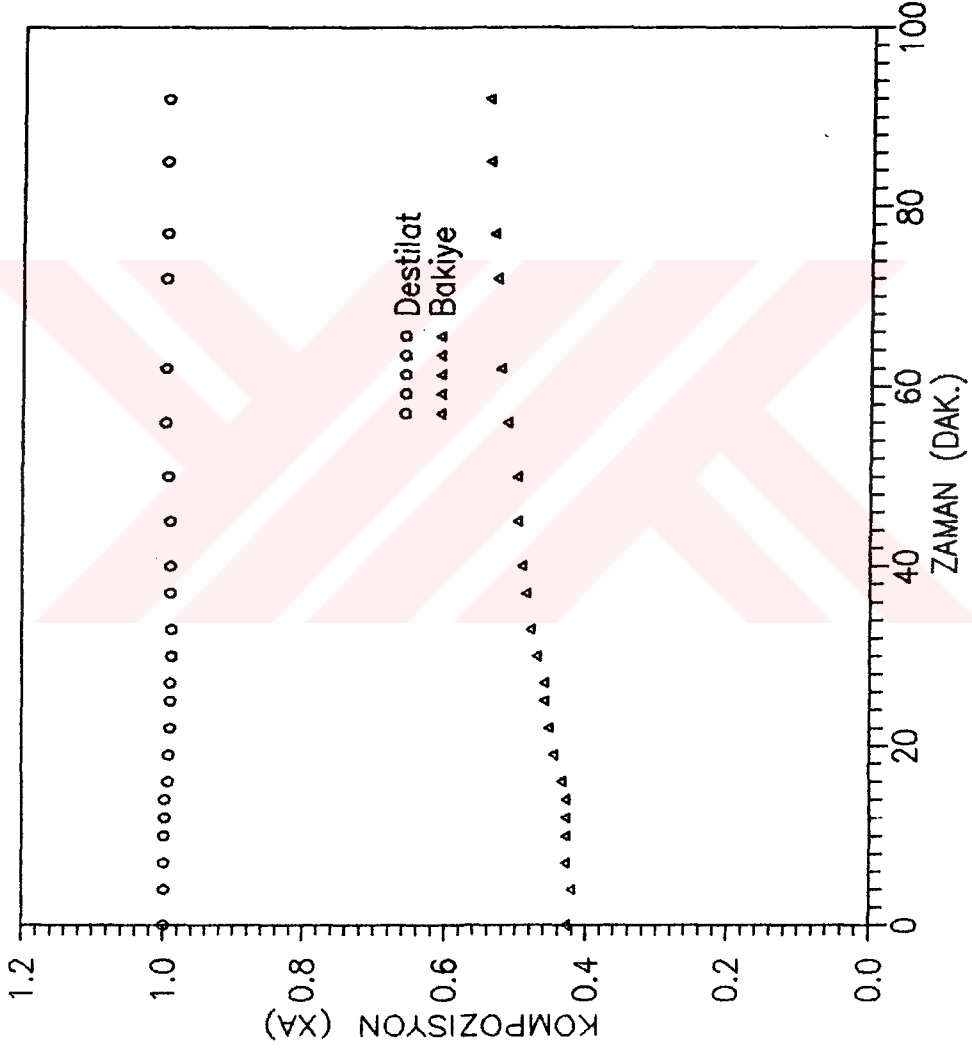
Şekil 4.11– Deneş No.11 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Konsantrasyonları

Tablo 4.17 (Deney No.12)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri

Zaman	X_D	Zaman	X_B
0	1.000	0	0.429
4	1.000	4	0.422
B.G. 7	1.000	7	0.431
10	1.000	10	0.430
12	0.999	12	0.431
14	0.999	14	0.431
16	0.994	16	0.436
19	0.993	19	0.447
22	0.991	22	0.454
25	0.991	25	0.461
27	0.991	27	0.461
30	0.989	30	0.471
33	0.989	33	0.480
37	0.991	37	0.487
40	0.991	40	0.493
45	0.992	45	0.500
50	0.994	50	0.500
56	0.999	56	0.514
62	0.999	62	0.525
72	0.999	72	0.530
77	0.998	77	0.535
85	0.999	85	0.542
92	0.998	92	0.544

**Tablo 4.17A (Deney No.12)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri**

Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0	69.5	76.5	91.4
12	70.0	76.5	91.2
45	74.6	82.2	90.8
71	73.1	81.0	90.8
96	71.1	80.2	90.7
106	71.1	81.1	90.7
116	70.7	77.7	90.5
119	70.6	76.6	90.5
121	70.8	75.4	90.2
122	70.4	75.1	90.0
125	69.8	74.3	89.9
127	69.2	74.5	89.5
130	68.9	74.6	89.4
133	68.6	74.7	89.1
136	68.5	74.6	89.0
138	68.6	75.2	88.9
141	68.6	75.2	88.8
144	68.6	74.9	88.5
148	68.7	75.2	88.2
152	68.6	75.2	88.2
156	68.7	75.9	88.0
161	69.5	75.1	87.9
167	69.6	75.5	87.5
175	68.9	75.5	87.4
183	69.6	75.6	87.2
189	69.6	75.9	87.2
196	70.0	75.8	87.0



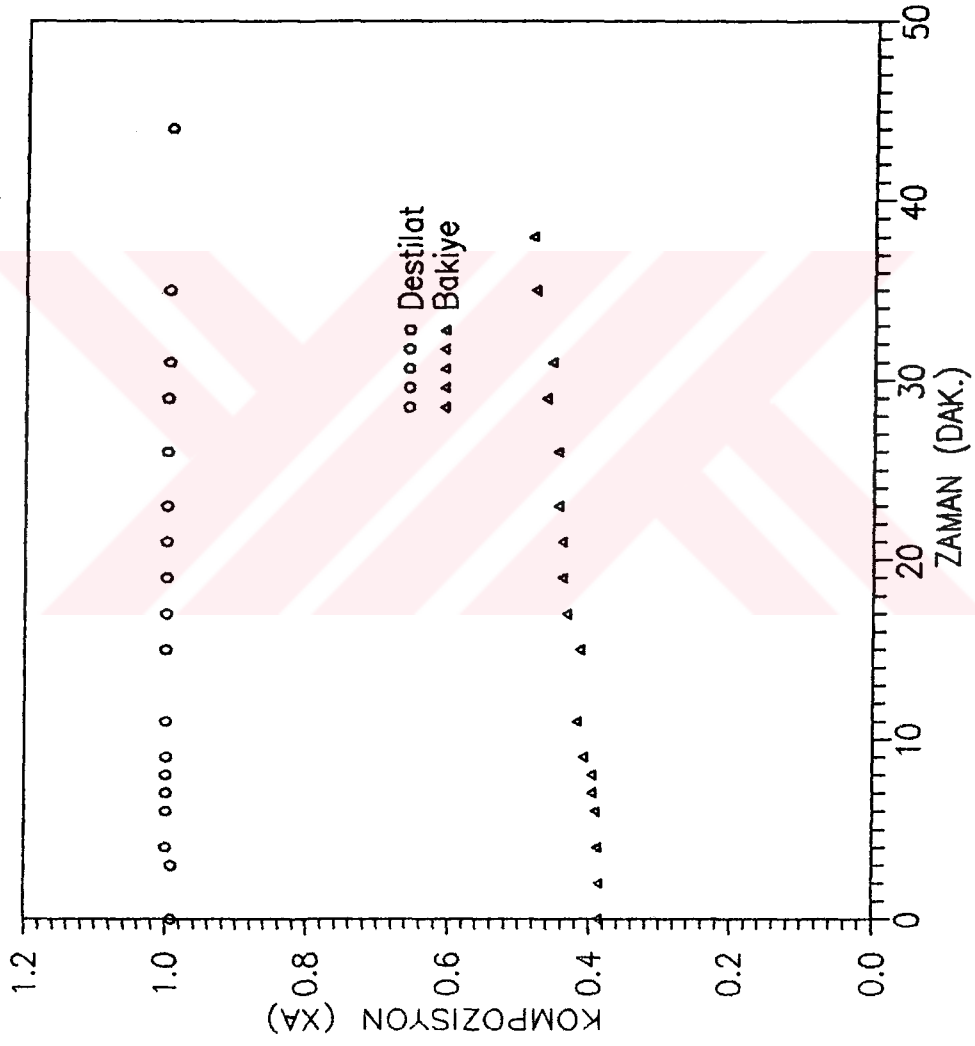
Sekil 4.12– Deneý No.12 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Konsantrasyonları

Tablo 4.18 (Deney No.13)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri

Zaman	X_D	Zaman	X_B
0	0.798	0	0.378
30	0.992	30	0.388
B.G. 33	0.992	32	0.387
34	1.000	34	0.390
36	1.000	36	0.393
37	1.000	37	0.397
38	1.000	38	0.397
39	1.000	39	0.410
41	1.000	41	0.419
45	1.000	45	0.414
47	1.000	47	0.434
49	1.000	49	0.440
51	1.000	51	0.441
53	1.000	53	0.446
56	1.000	56	0.447
59	0.998	59	0.465
61	0.998	61	0.456
65	0.996	65	0.479
74		68	0.484

Tablo 4.18A (Deney No.13)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri

Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0	72.4	76.8	92.2
16	76.3	84.2	92.2
31	76.7	84.2	92.2
40	77.1	84.1	92.2
55	76.8	84.0	92.6
63	77.3	83.9	92.7
95	76.6	83.9	92.2
100	77.5	83.5	92.0
115	72.3	82.4	91.8
122	77.1	81.0	91.3
124	72.8	76.9	91.3
126	72.1	76.9	91.3
127	71.8	77.0	91.0
129	71.3	76.7	91.0
130	70.6	76.5	90.6
133	70.3	76.4	90.3
135	70.0	76.3	90.0
136	69.9	76.5	90.0
139	70.0	76.9	90.0
141	70.2	76.9	89.8
143	70.5	77.4	89.7
147	71.0	77.2	89.4
151	71.1	77.5	89.0
153	72.3	77.5	89.0
158	72.4	77.8	88.8
160	72.6	77.8	88.7



Şekil 4.13- Deneysel No.13 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Konsantrasyonları

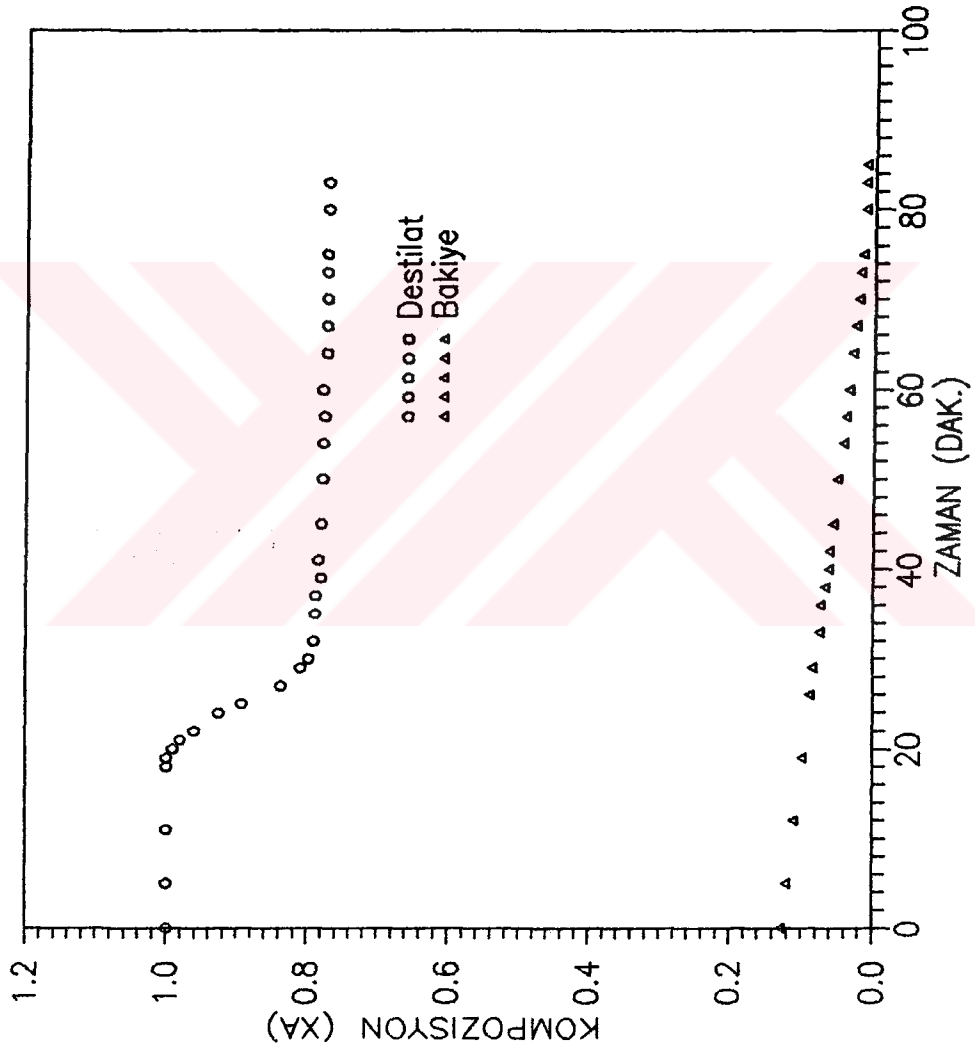
**Tablo 4.19 (Deney No.14)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri**

Zaman	X_D	Zaman	X_B
0	1.000	0	0.129
5	1.000	5	0.121
B.G. 11	1.000	12	0.111
15	1.000	19	0.100
19	1.000	26	0.089
20	0.991	29	0.085
21	0.980	33	0.076
22	0.960	36	0.075
24	0.926	38	0.068
25	0.893	40	0.063
27	0.837	42	0.063
29	0.809	45	0.058
30	0.797	50	0.052
32	0.791	54	0.044
35	0.788	57	0.040
37	0.787	60	0.036
39	0.780	64	0.031
41	0.784	67	0.027
45	0.780	70	0.023
50	0.778	73	0.021
54	0.778	85	0.018
57	0.776	80	0.014
60	0.778	83	0.014
64	0.773	85	0.013
73	0.773		
75	0.773		
83	0.771		

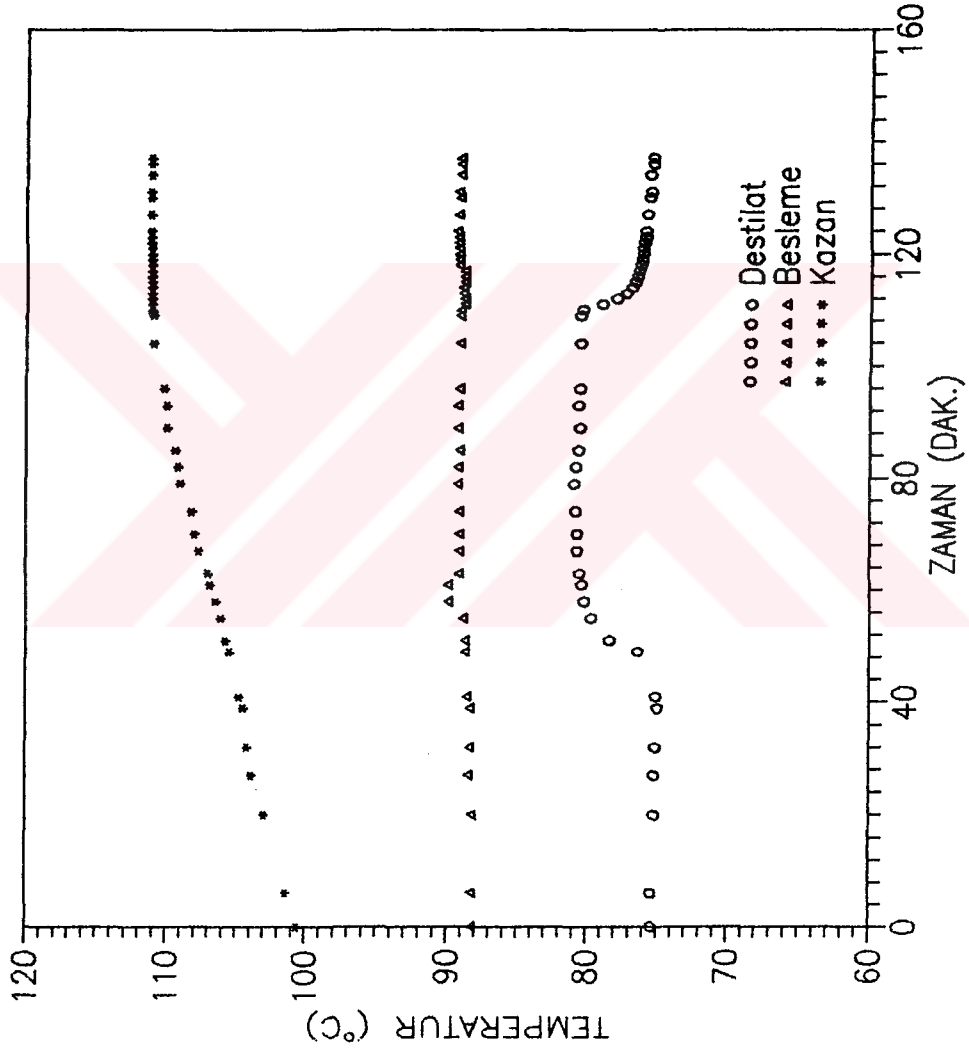
**Tablo 4.19A (Deney No.14)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamığı Deneysel Verileri**

Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0	75.4	88.3	100.6
6	75.4	88.3	101.4
20	75.2	88.3	103.9
27	75.2	88.5	104.2
32	75.1	88.4	104.2
39	75.0	88.4	104.5
41	75.1	88.6	104.8
49	76.4	88.8	105.5
51	78.4	88.8	105.8
55	79.7	88.9	106.1
58	80.2	90.0	106.5
61	80.4	0.0	106.9
63	80.5	89.2	107.0
67	80.7	89.2	107.7
70	80.7	89.2	108.0
74	80.8	89.2	108.2
79	80.9	89.3	109.0
82	80.8	89.3	109.2
85	80.6	89.2	109.4
89	80.5	89.3	110.0
93	80.6	89.3	110.0
96	80.5	89.2	110.2
104	80.5	89.2	111.0
109	80.5	89.2	111.0
110	80.4	89.2	111.2
111	79.0	88.9	111.2
112	78.0	88.9	111.2

113	77.3	89.0	111.2
114	76.9	89.0	111.2
115	76.7	88.9	111.2
116	76.5	88.9	111.2
117	76.4	88.9	111.2
118	76.3	89.3	111.2
119	76.2	89.3	111.2
120	76.1	89.3	111.2
121	76.1	89.3	111.2
122	76.0	89.3	111.2
123	75.9	89.3	111.2
124	75.9	89.4	111.2
127	75.8	89.3	111.2
130	75.6	89.2	111.2
131	75.5	89.3	111.2
134	75.6	89.2	111.2
136	75.4	89.2	111.2
137	75.4	89.2	111.2



Şekil 4.14— Deneş No.14 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Konsantrasyonları



Şekil 4.14A—Deney No 14 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Temperaturleri

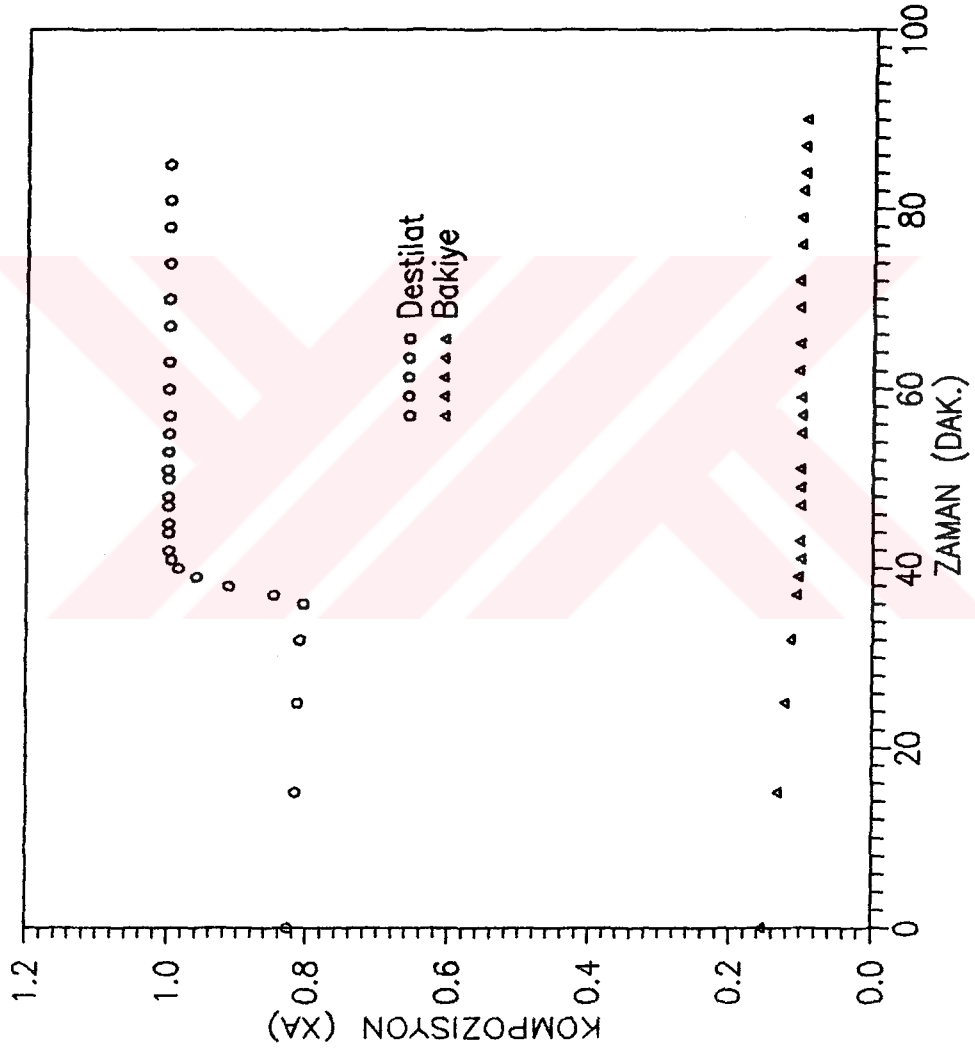
Tablo 4.20 (Deney No.15)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri

Zaman	X_D	Zaman	X_B
0	0.827	0	0.156
15	0.818	15	0.135
25	0.813	25	0.123
B.G. 32	0.811	32	0.116
36	0.806	37	0.108
37	0.849	39	0.105
38	0.913	41	0.102
39	0.960	43	0.103
40	0.986	47	0.102
41	0.996	49	0.102
42	1.000	51	0.102
44	1.000	55	0.102
45	1.000	57	0.102
47	1.000	59	0.102
48	1.000	62	0.105
50	1.000	65	0.104
51	1.000	69	0.104
53	1.000	72	0.105
55	1.000	76	0.103
57	1.000	79	0.103
60	1.000	82	0.102
63	1.000	84	0.098
67	1.000	87	0.098
70	1.000	90	0.097
74	1.000		
78	1.000		
85	1.000		

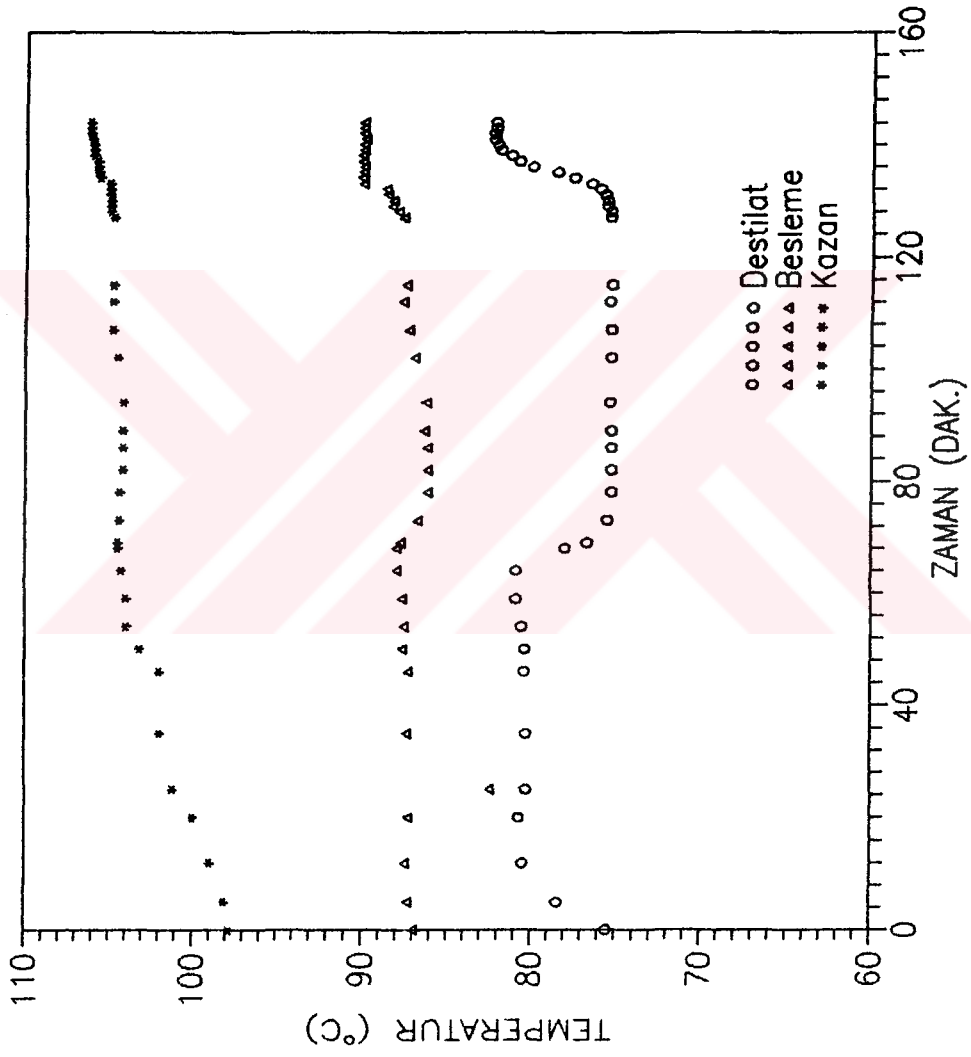
Tablo 4.20A -(Deney No.15)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri

Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0	77.5	87.0	97.8
5	78.4	87.3	98.1
12	80.5	87.5	99.0
20	80.7	87.3	100.0
25	80.3	87.5	101.2
35	80.3	87.4	102.0
46	80.4	87.3	102.0
50	80.4	87.7	103.2
54	80.6	87.6	104.0
59	80.9	87.7	104.0
64	80.9	88.0	104.3
68	78.0	88.0	104.5
69	76.7	87.9	104.5
73	75.5	86.8	104.4
78	75.3	86.2	104.4
82	75.3	86.2	104.2
86	75.3	86.2	104.2
89	75.3	86.4	104.2
94	75.4	86.3	104.2
102	75.3	87.0	104.5
107	75.3	87.3	104.8
115	75.3	87.5	104.8
122	75.4	87.8	104.8
125	75.4	87.7	104.8
127	75.4	87.7	104.8
128	75.5	88.0	105.0
129	75.6	88.4	105.0

130	75.6	88.3	105.0
131	75.7	88.6	105.0
132	76.0	88.7	105.0
133	76.5	90.0	105.0
134	77.5	90.1	105.6
135	78.5	90.0	105.7
136	80.0	90.0	105.8
137	80.8	90.1	105.8
138	81.3	90.1	106.0
139	81.9	90.0	106.0
140	82.1	90.0	106.0
141	82.3	89.9	106.1
142	82.3	90.0	106.2
143	82.2	90.0	106.2
144	82.2	90.0	106.2



Şekil 4.15- Deneý No.15 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Konsantrasyonları



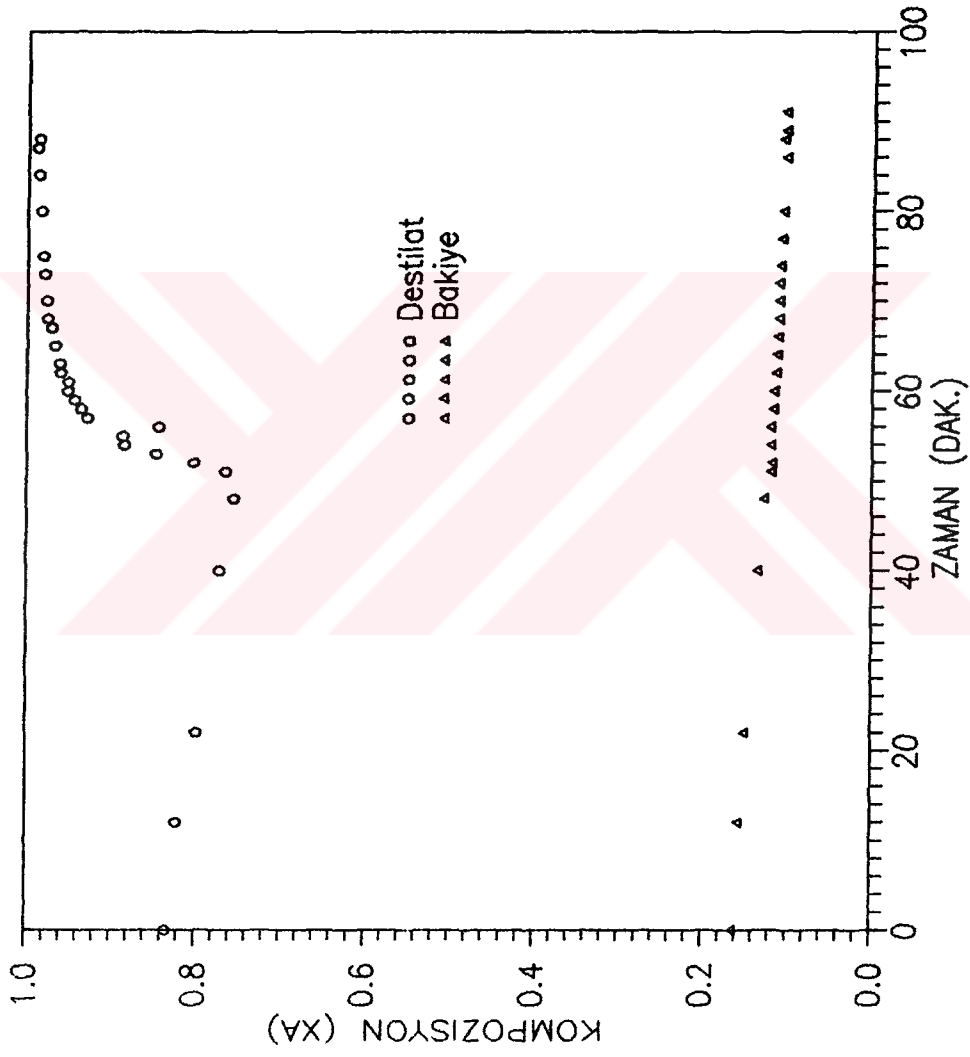
Şekil 4.15A-Deney No 15 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Temperaturleri

Tablo 4.21-(Deney No.16) -Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri

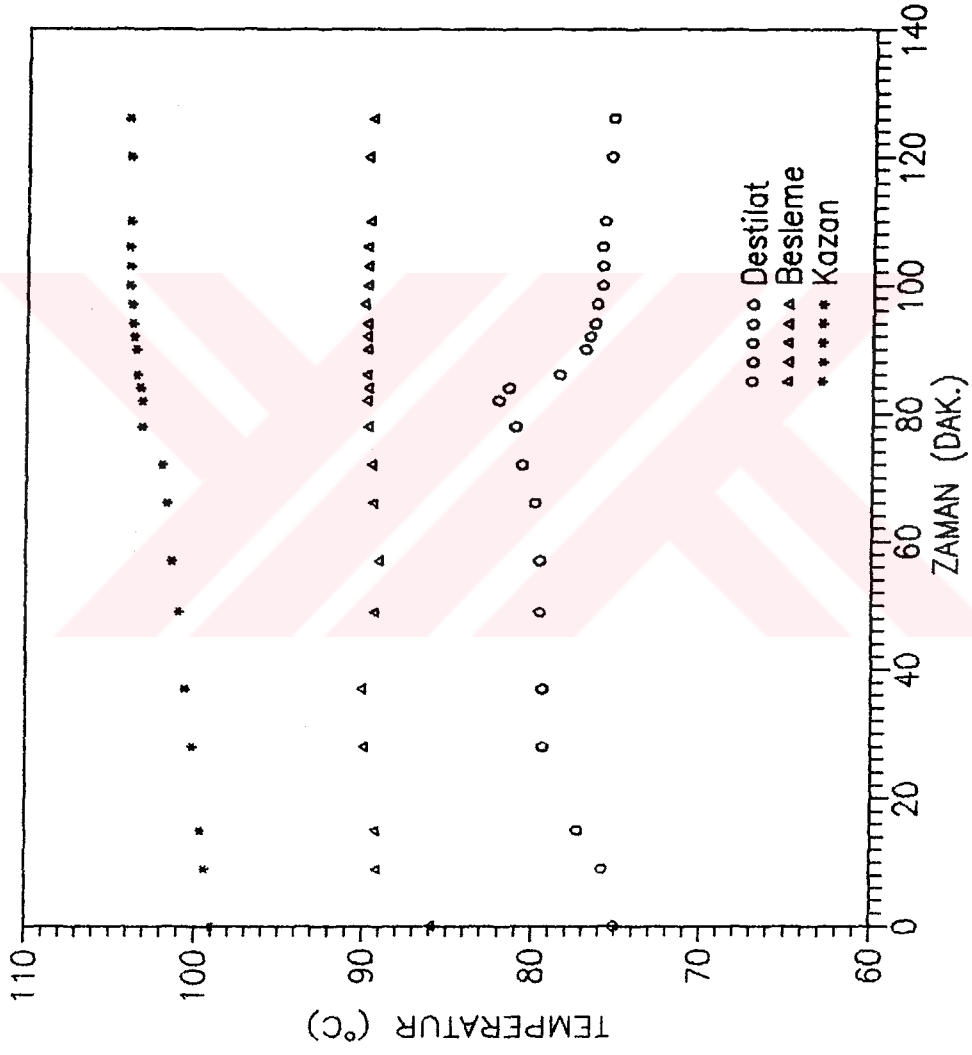
Zaman	X_D	Zaman	X_B
0	0.834	0	0.164
11	0.822	12	0.158
21	0.798	22	0.150
40	0.772	40	0.135
B.G. 48	0.755	48	0.127
51	0.765	51	0.120
52	0.803	52	0.119
53	0.847	54	0.120
54	0.884	56	0.120
55	0.886	58	0.117
56	0.844	60	0.116
57	0.928	62	0.114
58	0.935	64	0.113
59	0.943	66	0.112
60	0.951	68	0.111
61	0.951	70	0.111
62	0.960	72	0.111
63	0.961	74	0.110
65	0.968	77	0.109
67	0.971	80	0.107
68	0.976	86	0.104
70	0.977	88	0.108
73	0.980	89	0.105
75	0.982	91	0.105
80	0.984		
84	0.988		
88	0.988		

**Tablo 4.21A-(Deney No.16) -Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri**

Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0	75.1	86.0	99.0
9	75.8	89.2	99.4
15	77.3	89.3	99.7
28	79.4	90.0	100.2
37	79.4	90.1	100.6
49	79.6	89.4	101.0
57	79.6	89.1	101.4
66	79.9	89.5	101.7
72	80.7	89.6	102.0
78	81.1	89.8	103.2
82	82.1	89.9	103.2
84	81.5	89.8	103.3
86	78.5	89.9	103.5
90	77.0	89.9	103.6
92	76.7	89.9	103.7
94	76.4	89.9	103.8
97	76.3	90.1	103.9
100	76.0	89.9	104.0
103	76.0	89.9	104.0
106	76.0	89.9	104.0
110	75.9	89.8	104.0
120	75.5	89.9	104.0
126	75.4	89.7	104.1



Şekil 4.16— Deneş No.16 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Konsantrasyonları



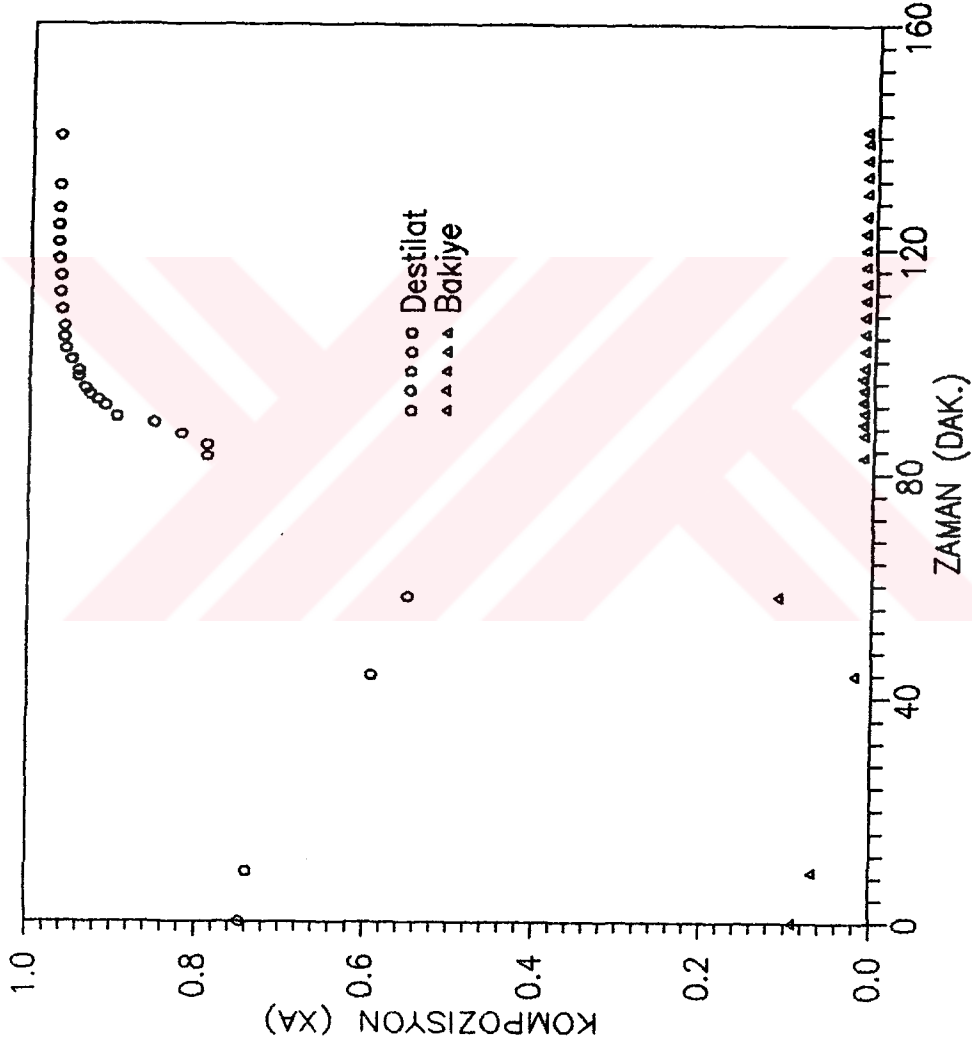
Şekil 4.16A—Deney No 16 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Temperaturleri

Tablo 4.22-(Deney No.17) -Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri

Zaman	X_D	Zaman	X_B
0	0.747	0	0.092
9	0.737	9	0.068
44	0.592	44	0.021
58	0.549	58	0.011
83	0.790	83	0.013
B.G. 85	0.789	87	0.013
87	0.821	89	0.013
89	0.853	91	0.013
90	0.897	93	0.013
92	0.911	95	0.013
93	0.919	97	0.013
94	0.928	99	0.013
95	0.934	102	0.013
97	0.941	105	0.013
98	0.941	108	0.013
100	0.951	111	0.013
102	0.958	114	0.013
104	0.959	117	0.013
106	0.959	120	0.013
109	0.964	123	0.013
112	0.966	126	0.013
115	0.966	130	0.013
118	0.968	133	0.013
121	0.968	136	0.013
124	0.968	139	0.013
127	0.968	141	0.013
140	0.968		

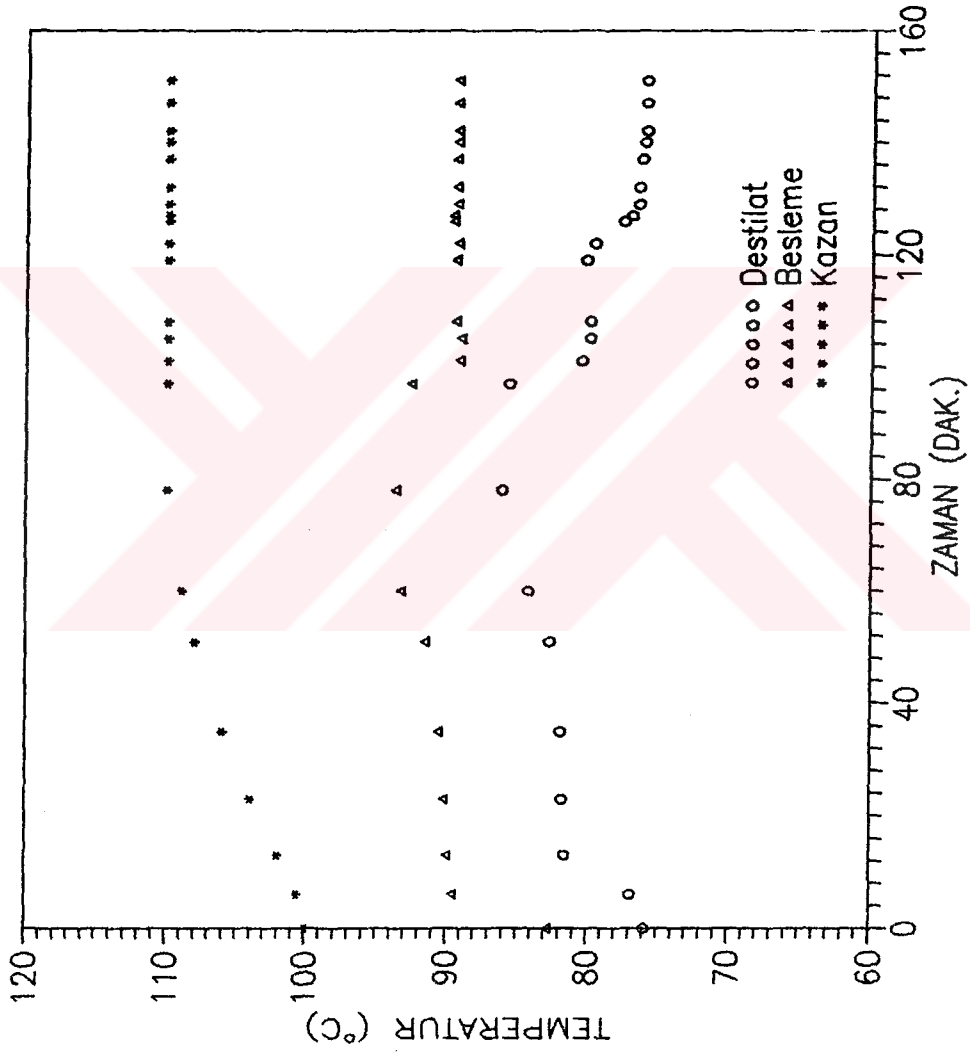
Tablo 4.22A-(Deney No.17) -Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri

Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0	75.9	82.8	100.0
6	76.9	89.6	100.6
13	81.8	90.0	102.0
23	81.8	90.2	104.0
35	81.9	90.6	106.0
51	82.7	91.6	108.0
60	84.2	93.3	108.9
78	86.1	93.7	110.0
97	85.6	92.6	110.0
101	80.5	89.2	110.0
105	79.9	89.1	110.0
108	79.9	89.5	110.0
119	80.2	89.5	110.0
122	79.6	89.3	110.0
126	77.6	89.7	110.0
127	77.0	89.7	110.0
129	76.5	89.4	110.0
132	76.5	89.5	110.0
137	76.3	89.5	110.0
140	76.1	89.4	110.0
142	76.0	89.4	110.0
147	76.0	89.4	110.0
151	76.0	89.4	110.0



Şekil 4.17- Deneysel No.17 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Konsantrasyonları

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**



Şekil 4.17A—Deney No 17 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Temperaturleri

Tablo 4.23 -(Deney No.18) -Destilasyon kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri

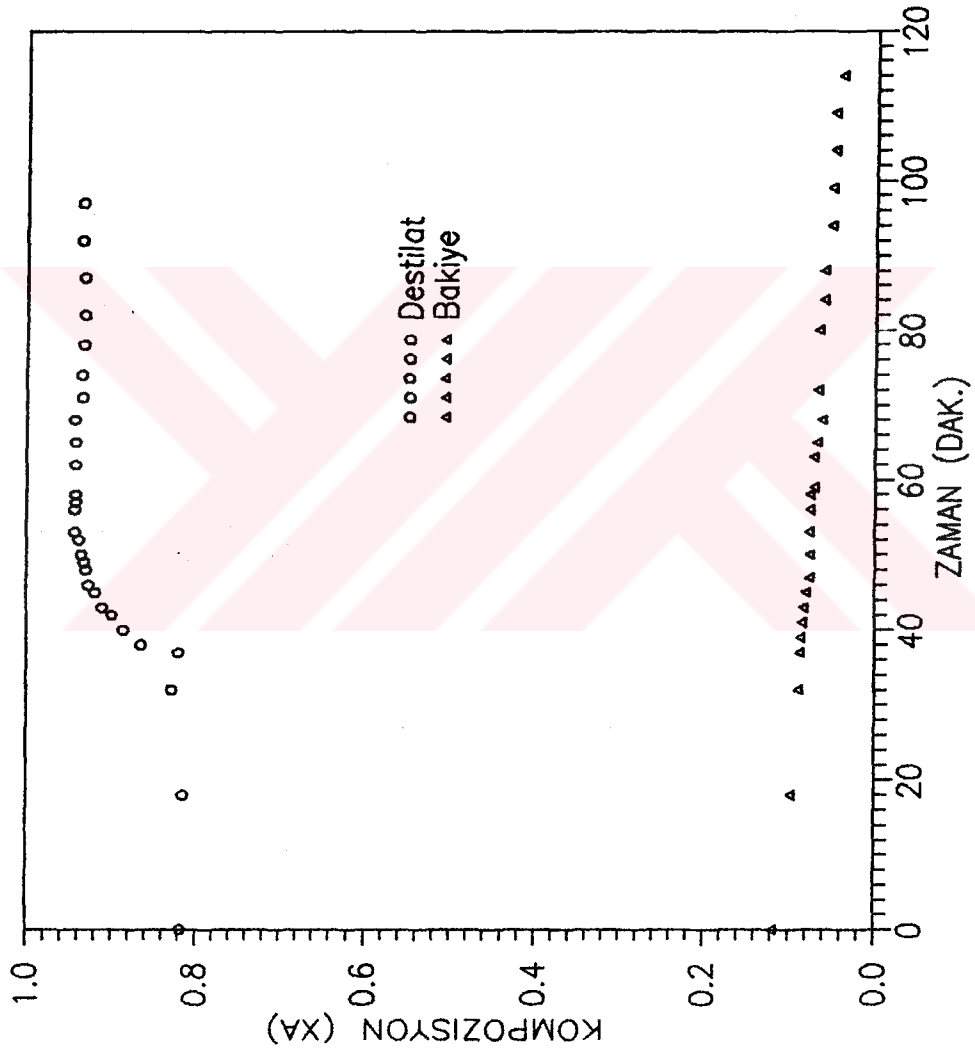
Zaman	X_D	Zaman	X_B
0	0.817	0	0.119
18	0.815	18	0.098
B.G. 32	0.829	32	0.089
37	0.821	37	0.088
38	0.829	39	0.087
40	0.865	41	0.085
42	0.886	43	0.083
43	0.890	45	0.080
45	0.910	47	0.076
46	0.919	50	0.076
48	0.927	53	0.076
49	0.931	56	0.076
50	0.933	58	0.076
52	0.936	59	0.075
53	0.939	63	0.071
56	0.943	65	0.071
57	0.944	68	0.069
58	0.943	72	0.063
62	0.943	76	0.065
65	0.943	80	0.067
68	0.944	84	0.061
71	0.935	88	0.061
74	0.935	94	0.053
78	0.934	99	0.053
82	0.932	104	0.050
87	0.933	109	0.050
95	0.935	114	0.412

Tablo 4.23A-(Deney No.18)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri

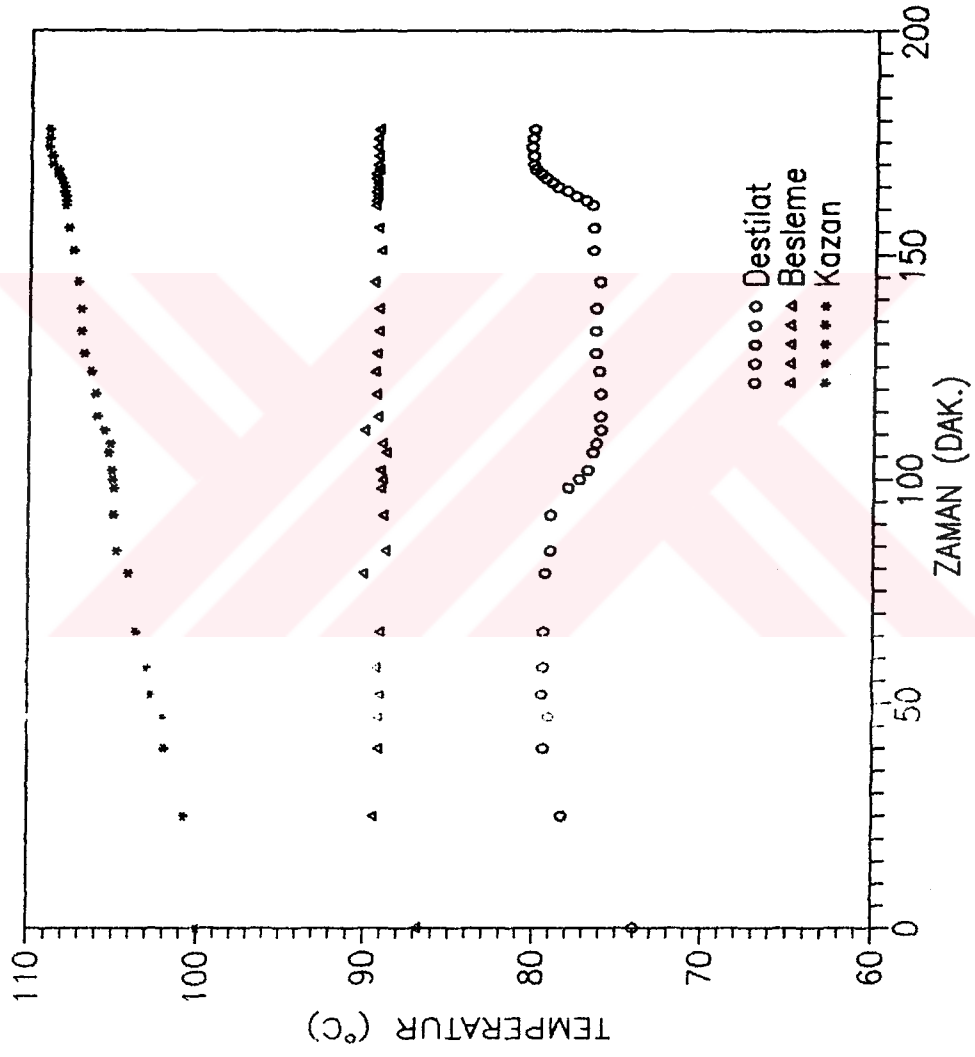
Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0	74.0	86.9	100.0
25	78.3	89.5	100.8
40	79.4	89.2	102.0
47	79.1	89.2	102.1
52	79.5	89.1	102.8
58	79.4	89.3	103.0
66	79.3	90.1	104.1
79	79.3	90.1	104.1
84	79.0	88.8	104.8
92	79.0	88.9	105.0
98	78.0	89.1	105.0
100	77.3	89.0	105.1
102	76.8	89.1	105.1
106	76.5	88.8	105.3
108	76.3	89.0	105.2
111	76.1	91.1	105.6
114	76.1	89.3	106.0
119	76.1	89.4	106.1
124	76.2	89.5	106.4
128	76.4	89.4	106.8
133	76.4	89.3	107.0
138	76.4	89.3	107.0
144	76.2	89.6	107.2
151	76.6	89.2	107.5
156	76.6	89.4	107.8
161	76.7	89.6	108.6
162	77.1	89.6	108.0

163	77.7	89.5	108.0
164	78.2	89.6	108.1
165	78.8	89.5	108.1
166	79.1	89.5	108.2
167	79.5	89.6	108.3
168	79.8	89.6	108.5
169	80.1	89.4	108.5
170	80.2	89.5	108.8
172	80.2	89.4	108.8
174	80.3	89.5	109.0
176	80.3	89.5	109.0
178	80.2	89.4	109.0





Şekil 4.18– Deneş No.18 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Konsantrasyonları



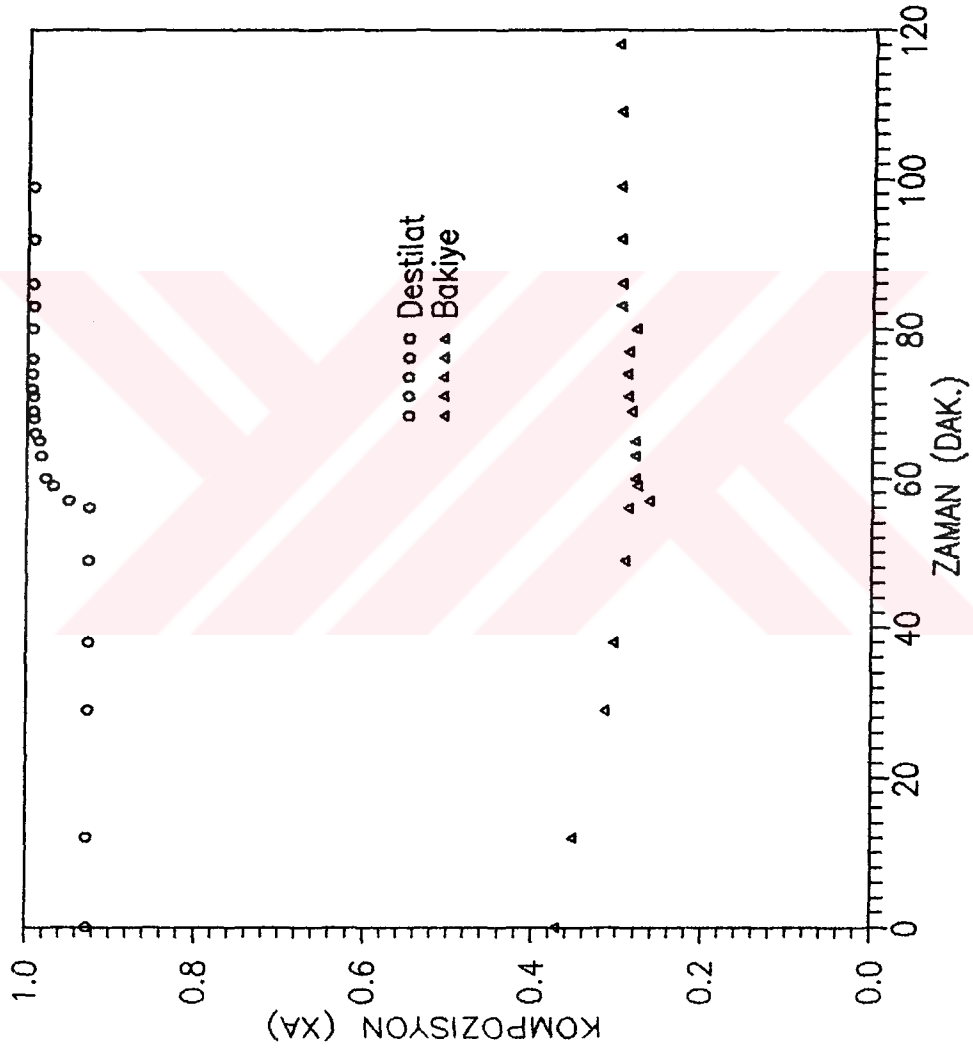
Şekil 4.18A-Deney No 18 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Temperaturleri

**Tablo 4.24 -(Deney No.19) -Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri**

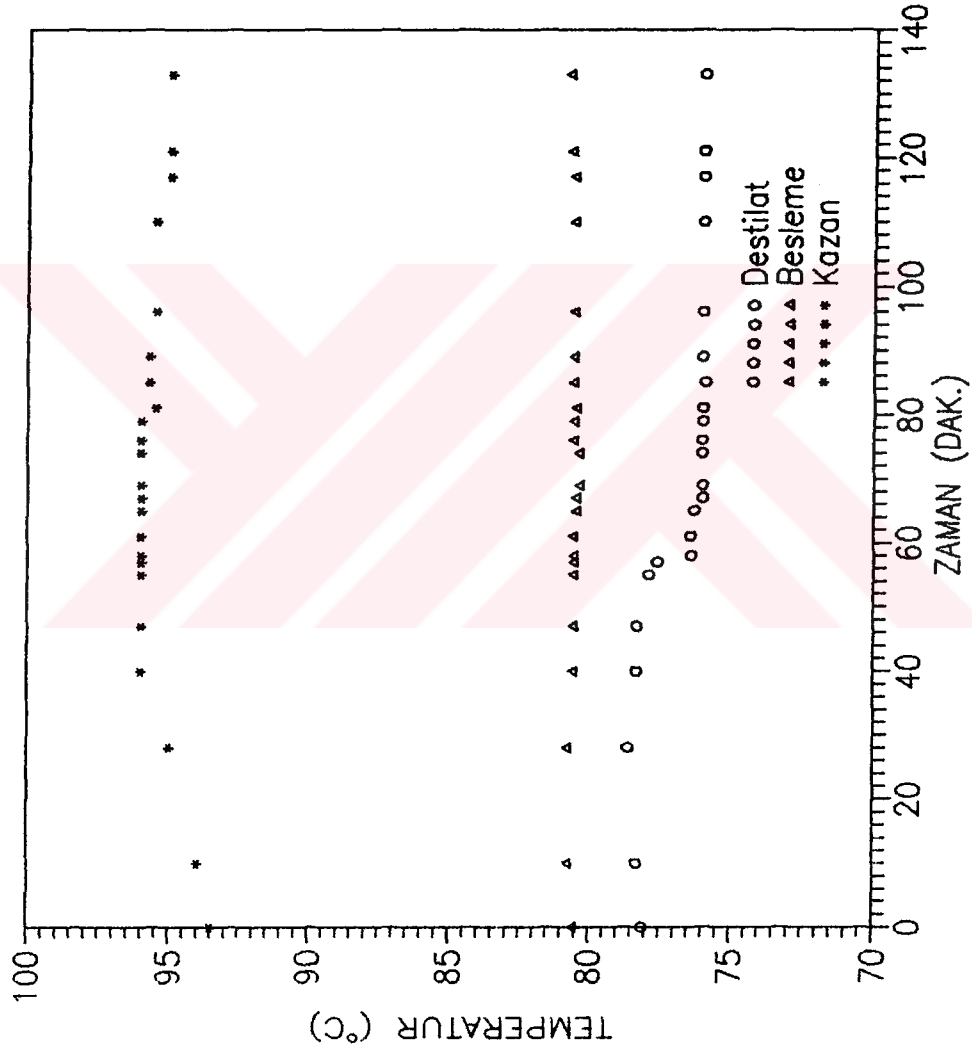
Reflüks Oranı	Besleme Debisi	:2.140	
İlk Durum : 1	Besleme Konsantrasyonu	:0.633	
Son Durum : 3	Kararlı Hal Bozma Zamanı	:55	
Zaman	X_D	Zaman	X_B
0	0.927	0	0.373
12	0.928	12	0.354
29	0.927	29	0.316
38	0.926	38	0.306
49	0.926	49	0.292
B.G. 56	0.926	56	0.289
57	0.951	57	0.265
59	0.969	59	0.278
60	0.977	60	0.281
63	0.983	63	0.281
65	0.986	65	0.282
66	0.990	69	0.286
68	0.992	71	0.289
69	0.993	74	0.290
71	0.993	77	0.289
72	0.994	80	0.281
74	0.994	83	0.297
76	0.994	86	0.297
80	0.994	92	0.300
83	0.993	99	0.300
86	0.994	109	0.301
92	0.994	118	0.305
99	0.994		

Tablo 4.24A-(Deney No.19) -Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri

Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0	78.1	80.6	93.5
10	78.3	80.8	94.0
28	78.6	80.8	95.0
40	78.3	80.6	96.0
47	78.3	80.6	96.0
55	77.9	80.6	96.0
57	76.7	80.6	96.0
58	76.4	80.6	96.0
61	76.4	80.6	96.0
65	76.3	80.5	96.0
67	76.0	80.5	96.0
69	76.0	80.4	96.0
74	76.0	80.4	96.0
76	76.0	80.6	96.0
79	76.0	80.6	96.0
81	76.0	80.5	95.5
85	75.9	80.6	95.7
89	76.0	80.6	95.7
96	76.0	80.6	95.5
110	76.0	80.6	95.5
117	76.0	80.6	95.0
121	76.0	80.7	95.0
133	76.0	80.8	95.0



Şekil 4.19– Deneý No.19 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Konsantrasyonları



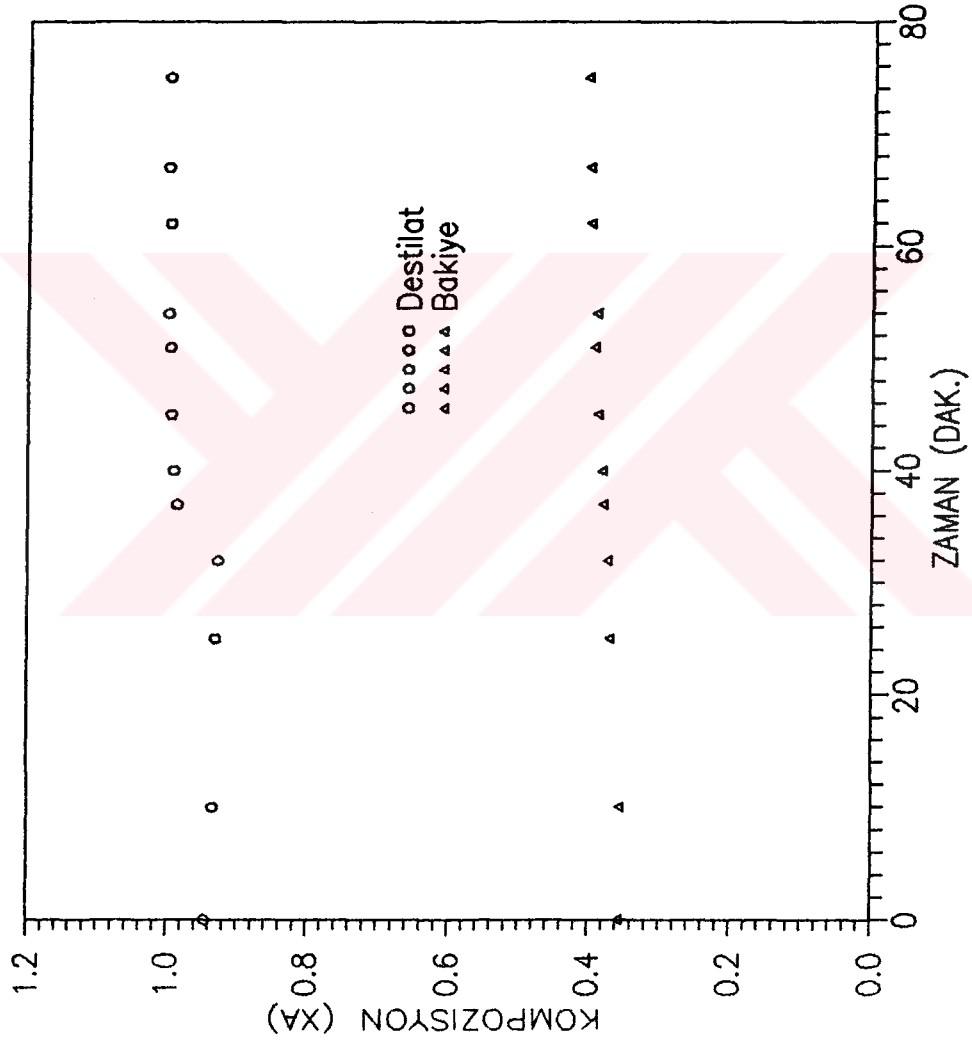
Şekil 4.19A—Deney No 19 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Temperaturleri

Tablo 4.25 -(Deney No.20) -Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri

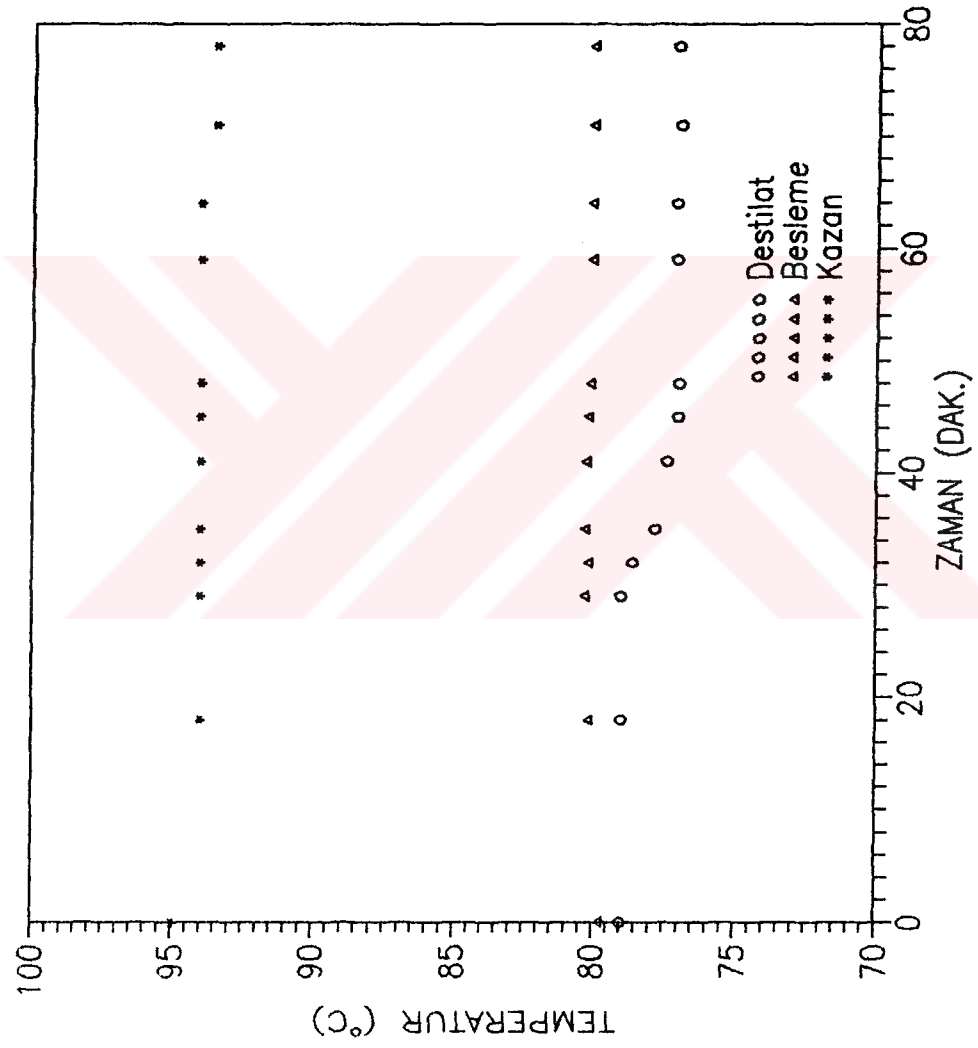
Reflüks Oranı	Besleme Debisi	:1.775	
İlk Durum : 1	Besleme Konsantrasyonu	:0.633	
Son Durum : 3	Kararlı Hal Bozma Zamanı	:30	
Zaman	X_D	Zaman	X_B
0	0.945	0	0.358
10	0.935	10	0.356
25	0.931	25	0.370
B.G. 32	0.927	32	0.373
37	0.986	37	0.380
40	0.991	40	0.381
45	0.995	45	0.388
51	0.996	51	0.393
54	0.999	54	0.390
62	0.997	62	0.400
67	1.000	67	0.401
75	1.000	75	0.405

Tablo 4.25A-(Deney No.20) -Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri

Reflüks Oranı	Besleme Debisi	: 1.775	
İlk Durum : 1	Besleme Konsantrasyonu	: 0.633	
Son Durum : 3	Kararlı Hal Bozma Zamanı	: 30	
Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0	79.0	79.8	95.0
18	79.0	80.2	94.0
29	79.0	80.3	94.0
32	78.6	80.2	94.0
35	77.8	80.3	94.0
41	77.4	80.2	94.0
45	77.0	80.2	94.0
48	77.0	80.2	94.0
59	77.1	80.1	94.0
64	77.1	80.1	94.0
71	77.0	80.1	93.5
78	77.1	80.1	93.5



Şekil 4.20– Deneş No.20 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Konsantrasyonları



Şekil 4.20A—Deney No 20 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Temperaturleri

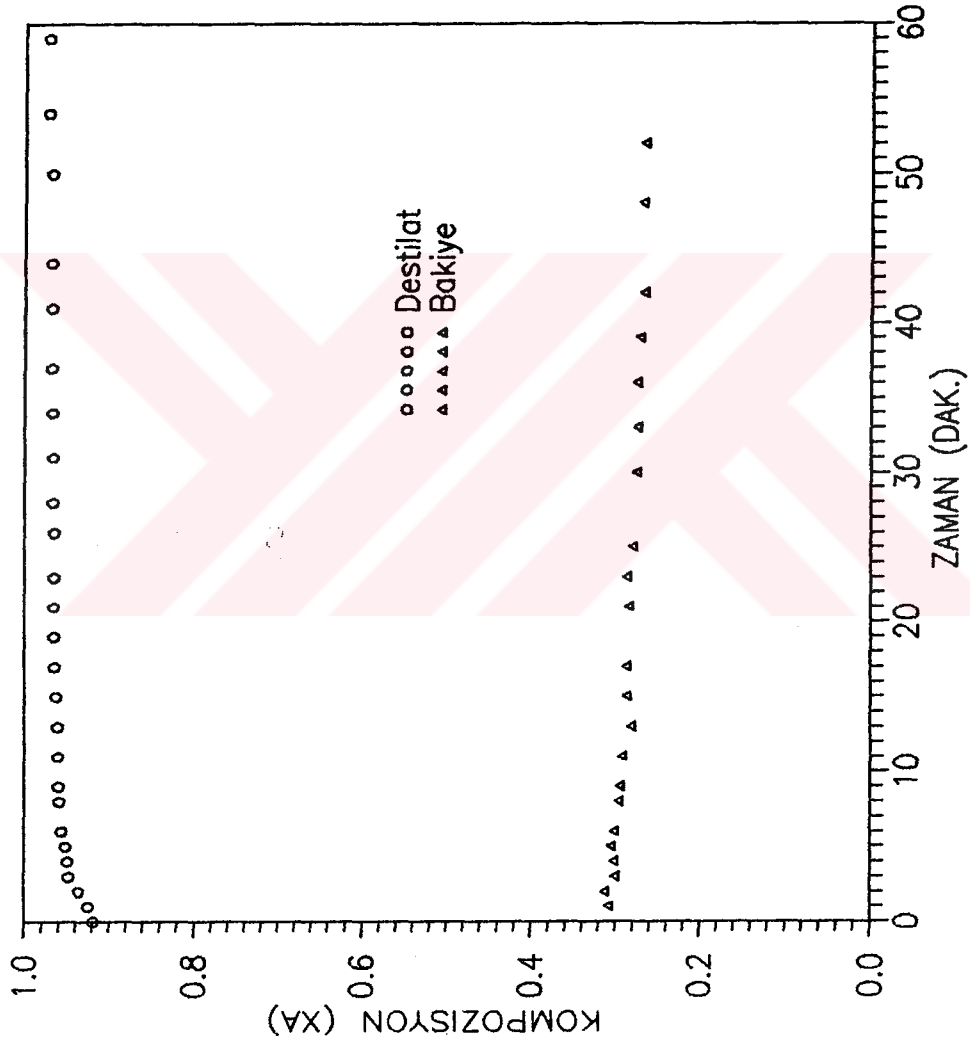
Tablo 4.26 -(Deney No.21)-Destilasyon kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri

Zaman	X_D	Zaman	X_B
B.G. 0	0.919	0	0.308
1	0.925	1	0.313
2	0.936	2	0.301
3	0.948	3	0.303
4	0.950	4	0.306
5	0.952	5	0.302
6	0.956	6	0.297
8	0.959	8	0.295
9	0.960	9	0.293
11	0.961	11	0.292
13	0.961	13	0.282
15	0.963	15	0.288
17	0.965	17	0.288
19	0.966	21	0.285
21	0.966	23	0.288
23	0.966	25	0.280
26	0.966	30	0.276
28	0.967	33	0.275
31	0.967	36	0.275
34	0.967	39	0.272
37	0.968	42	0.268
41	0.969	48	0.270
44	0.969	52	0.268
50	0.969		
54	0.973		
59	0.973		

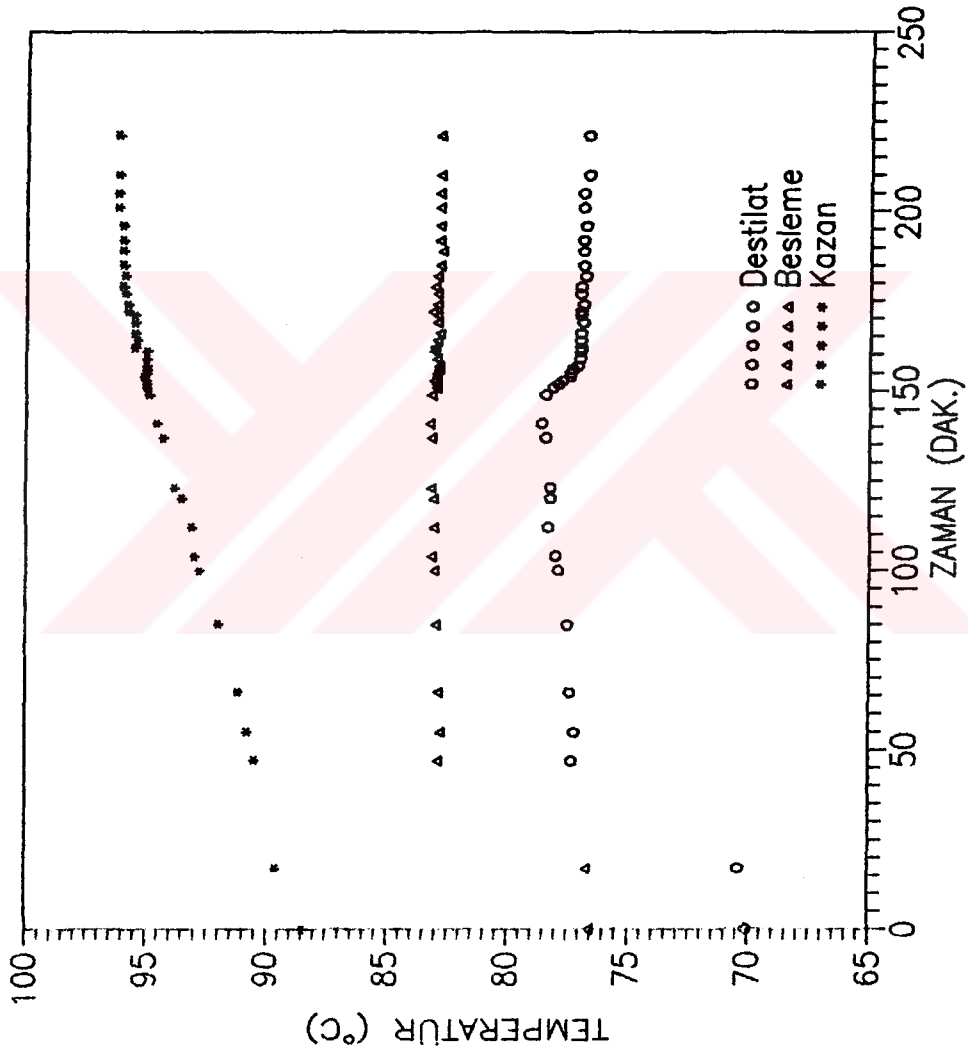
**Tablo 4.26A-(Deney No.21)-Destilasyon kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri**

Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0	70.1	76.6	88.5
17	70.4	76.7	89.6
47	77.3	82.9	90.5
55	77.2	82.8	90.8
66	77.4	82.9	91.2
85	77.5	83.0	92.0
100	77.9	83.1	92.8
104	78.0	83.2	93.0
112	78.3	83.1	93.1
120	78.2	83.1	93.5
123	78.2	83.2	93.8
137	78.4	83.2	94.3
141	78.6	83.3	94.6
149	78.4	83.2	94.9
151	78.1	83.0	95.0
152	77.9	83.0	95.0
153	77.7	83.1	95.0
154	77.4	83.0	95.1
155	77.4	83.0	95.0
156	77.3	82.9	95.0
157	77.1	82.9	95.0
159	77.0	83.0	95.0
161	77.0	83.1	95.0
162	77.0	83.1	95.5
164	77.0	83.0	95.4
166	77.0	82.9	95.5
169	76.9	83.0	95.5

171	77.0	83.0	95.5
172	77.0	83.2	95.8
174	76.9	83.0	95.8
177	77.0	83.0	95.9
179	77.0	83.1	96.0
182	76.8	83.0	95.9
185	76.9	82.9	96.0
189	79.6	82.8	96.0
192	76.9	82.9	96.0
196	76.8	82.9	96.0
201	76.9	82.9	96.2
205	76.9	82.9	96.2
210	76.7	82.9	96.2
221	76.7	82.9	96.2



Şekil 4.21 – Deneý No.21 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Konsantrasyonları



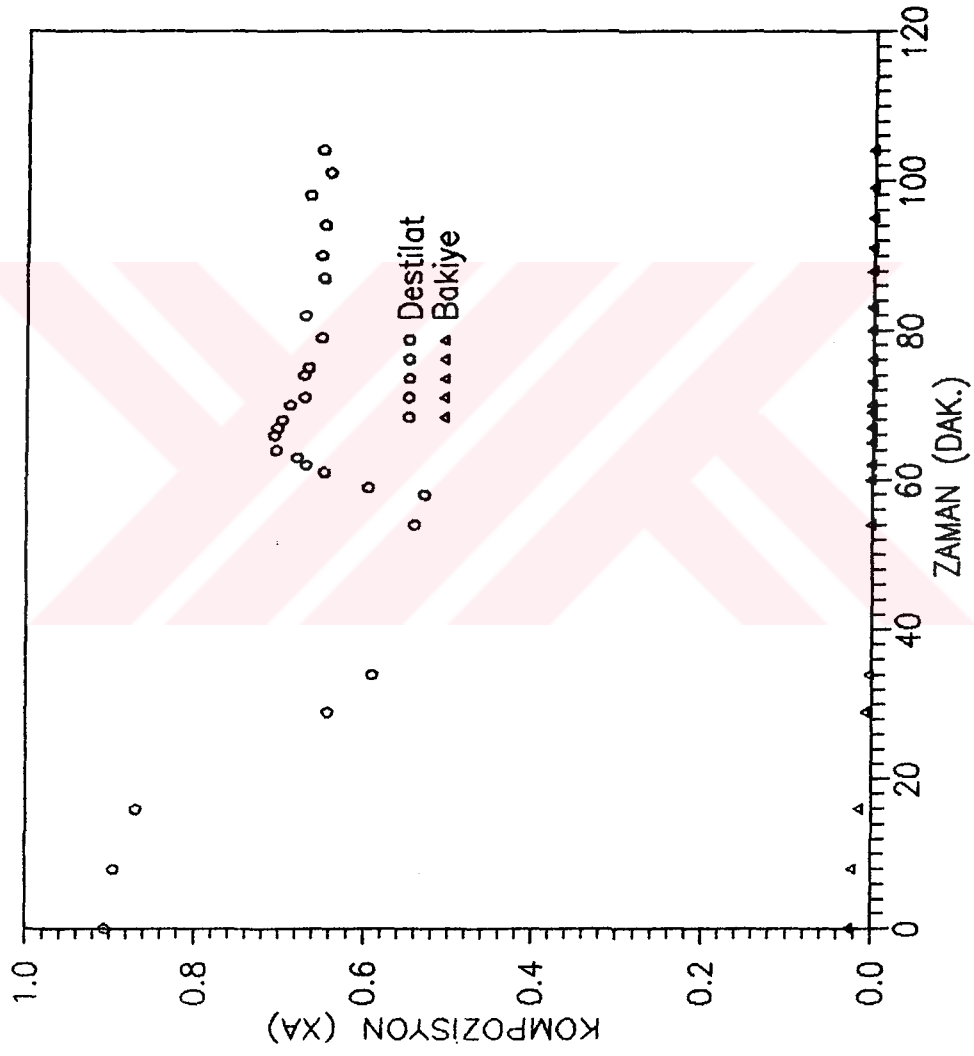
Şekil 4.21A-Deney No 21 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Temperaturleri

Tablo 4.27 -(Deney No.22) -Destilasyon kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri

Zaman	X_D	Zaman	X_B
0	0.906	0	0.027
8	0.896	8	0.023
16	0.870	16	0.016
29	0.643	29	0.009
34	0.591	34	0.004
54	0.541	54	0.003
B.G. 58	0.529	60	0.003
59	0.595	62	0.003
61	0.648	65	0.003
62	0.669	67	0.003
63	0.680	69	0.003
64	0.705	70	0.003
66	0.707	73	0.003
67	0.703	76	0.003
68	0.698	80	0.003
70	0.688	83	0.003
71	0.671	88	0.003
74	0.672	91	0.003
75	0.667	95	0.003
79	0.651	99	0.003
82	0.671	104	0.003
87	0.649	106	0.003
90	0.652	109	0.003
94	0.649	111	0.003
98	0.666	113	0.003
101	0.643		
104	0.651		

**Tablo 4.27A-(Deney No.22) -Destilasyon kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri**

Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0	76.4	89.0	103.2
19	78.4	89.4	107.1
28	78.4	89.5	108.2
35	78.4	89.7	109.1
47	78.4	90.1	110.5
56	79.5	93.7	111.0
59	83.3	94.3	111.2
66	86.3	96.1	111.5
72	87.3	96.9	111.8
76	87.2	96.8	111.8
78	87.3	97.5	111.9
87	89.5	98.4	112.0
91	90.1	98.4	112.0
93	89.9	98.5	111.9
96	88.5	98.9	111.9
97	85.0	98.0	111.8
102	84.3	98.3	111.9
103	84.3	99.0	112.0
106	85.1	98.8	112.0
110	85.9	99.3	112.0
115	85.6	99.0	112.0
122	86.0	99.1	112.0
128	86.1	99.2	112.0
130	85.8	99.3	112.0
138	85.3	99.5	112.0
143	85.5	98.7	112.0
146	85.7	98.9	112.0



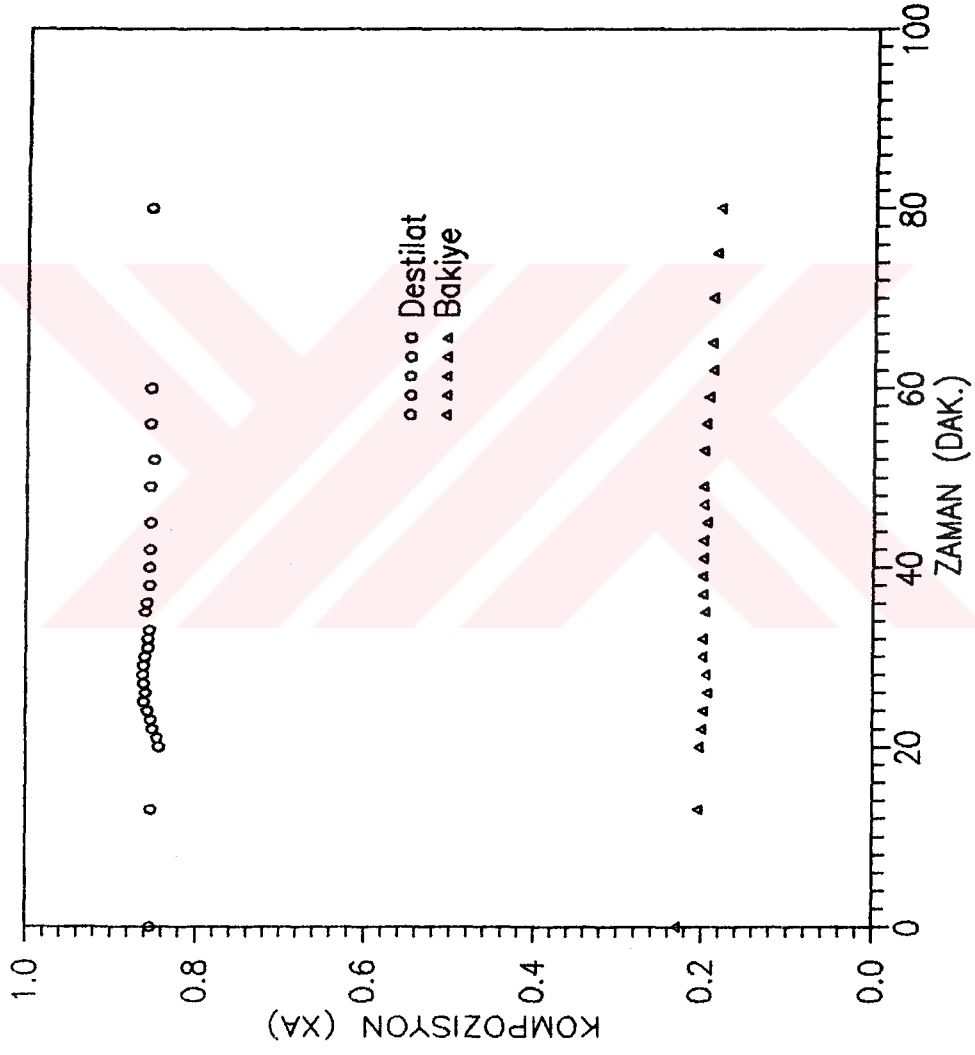
Şekil 4.22- Deneş No.22 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Konsantrasyonları

Tablo 4.28 -(Deney No.23) -Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri

Besleme Debisi Reflüks Oranı :1			
İlk Durum :1.400 Besleme Konsantrasyonu :0.382			
Son Durum :1.782 Kararlı Hal Bozma Zamanı :70			
Zaman	X_D	Zaman	X_B
0	0.854	0	0.231
13	0.853	13	0.205
B.G. 20	0.844	20	0.204
21	0.846	22	0.201
22	0.851	24	0.199
23	0.853	26	0.195
24	0.857	28	0.197
25	0.862	30	0.200
26	0.860	32	0.200
27	0.862	35	0.198
28	0.863	37	0.200
29	0.862	39	0.200
30	0.862	41	0.200
31	0.860	43	0.200
32	0.857	45	0.194
33	0.857	47	0.200
35	0.855	49	0.200
36	0.860	53	0.200
38	0.858	56	0.198
40	0.855	59	0.195
42	0.855	62	0.190
45	0.855	65	0.912
49	0.855	70	0.190
52	0.855	75	0.186
56	0.855	80	0.183
60	0.855		
80	0.855		

**Tablo 4.28A-(Deney No.23) -Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri**

Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0	75.4	85.0	94.3
12	78.4	86.0	95.5
17	78.8	85.7	96.0
23	79.0	85.6	96.4
30	79.0	85.9	96.8
34	79.0	85.7	97.1
43	79.0	85.8	97.7
49	79.2	85.7	98.0
53	79.1	85.6	98.2
61	79.2	85.8	98.8
70	79.3	85.8	99.3
77	79.6	85.6	99.5
78	79.2	85.5	99.5
80	79.0	85.6	99.7
82	79.0	85.3	99.7
84	79.0	85.4	99.5
87	79.0	85.5	99.5
91	79.0	85.3	99.5
93	79.0	85.4	99.5
98	79.1	85.5	99.5
101	79.2	85.6	99.5
106	79.2	85.6	99.6
112	79.3	85.8	99.8
117	79.2	85.7	99.8
127	79.2	85.7	100.0
133	79.2	85.7	100.0
139	79.2	85.7	100.0



Sekil 4.23- Deneý No.23 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Konsantrasyonları

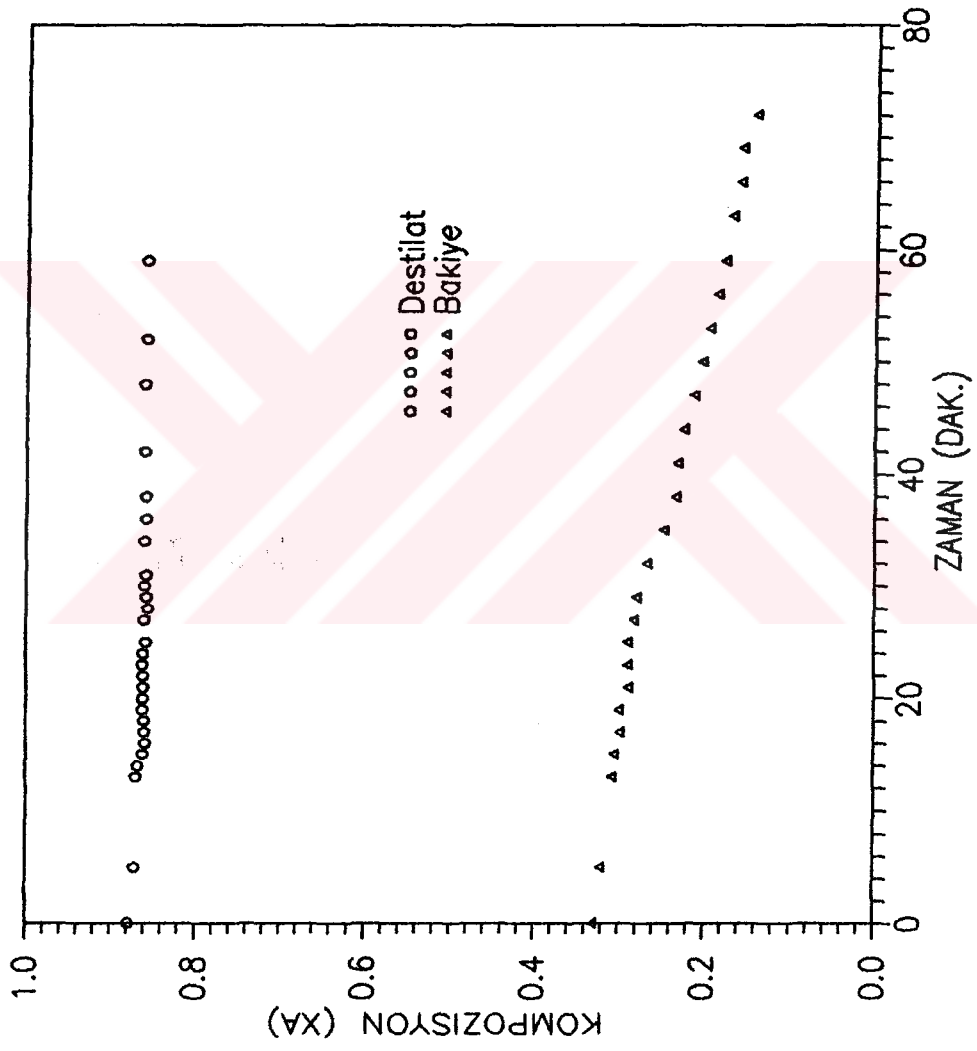
Tablo 4.29 -(Deney No.24) -Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri

Zaman	X_D	Zaman	X_B
0	0.879	0	0.331
5	0.871	5	0.322
B.G. 13	0.869	13	0.307
14	0.867	15	0.306
15	0.862	17	0.299
16	0.859	19	0.300
17	0.860	21	0.289
18	0.860	23	0.289
19	0.862	25	0.289
20	0.862	27	0.283
21	0.862	29	0.280
22	0.862	32	0.268
23	0.862	35	0.248
24	0.861	38	0.235
25	0.858	41	0.233
27	0.860	44	0.225
28	0.856	47	0.213
29	0.858	50	0.204
30	0.860	53	0.195
31	0.858	56	0.186
34	0.860	59	0.178
36	0.858	63	0.169
38	0.859	66	0.161
42	0.860	69	0.159
48	0.860	72	0.143
52	0.858		
59	0.858		

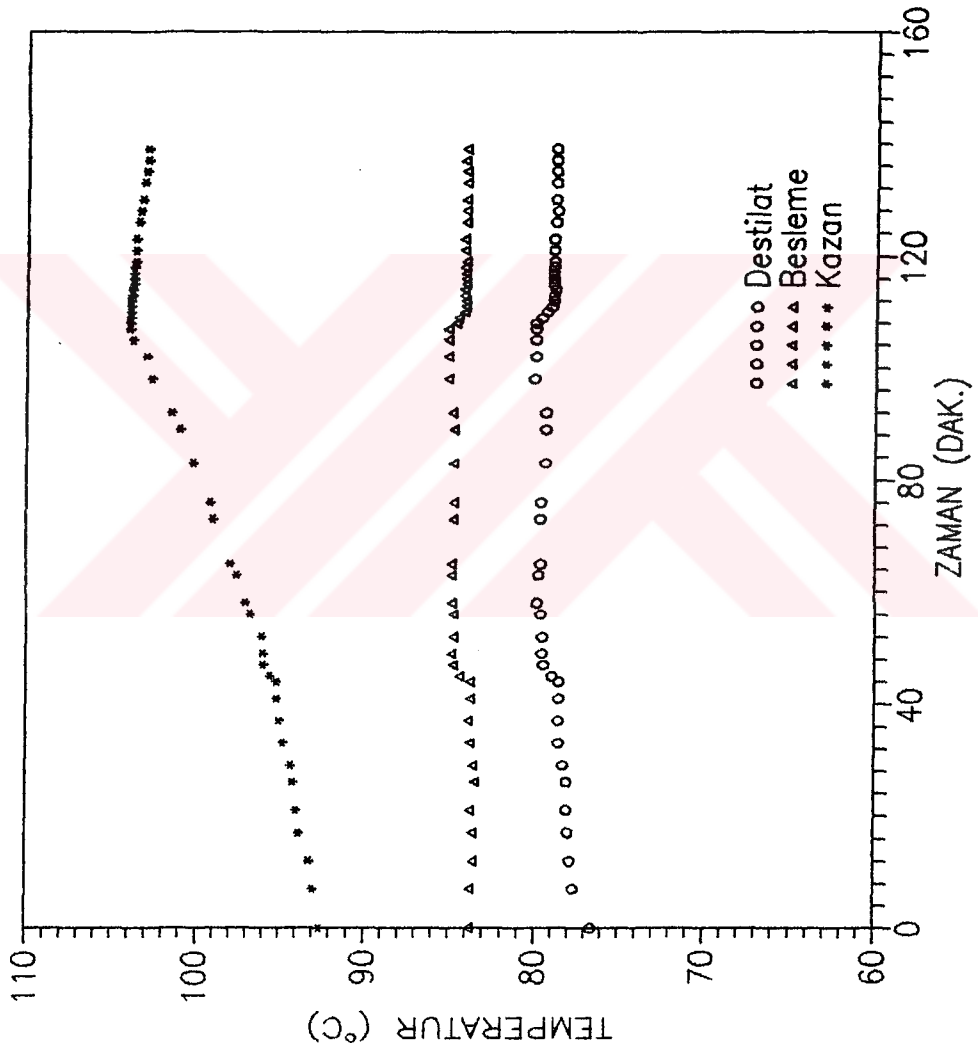
Tablo 4.29A-(Deney No.24)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri

Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0	76.6	83.8	92.6
7	77.7	83.8	93.0
12	77.9	83.6	93.2
17	78.0	83.6	93.8
21	78.1	83.8	94.0
26	78.1	83.5	94.2
29	78.3	83.6	94.3
33	78.6	83.8	94.8
37	78.6	83.9	95.0
41	78.6	83.8	95.2
44	78.6	83.8	95.2
45	79.0	84.4	95.6
47	79.5	84.8	96.0
49	79.6	84.9	96.0
52	79.6	84.8	96.1
56	79.7	84.8	96.8
58	79.9	84.9	97.1
63	79.8	84.9	97.6
65	79.7	84.9	98.0
73	79.7	84.8	99.0
76	79.7	84.8	99.2
83	79.4	84.8	100.2
89	79.4	84.8	101.0
92	79.4	84.9	101.5
98	80.1	85.2	102.7
102	80.0	85.2	103.0
105	80.0	85.2	103.8

107	80.0	84.7	104.0
108	79.7	84.6	104.0
109	79.4	84.3	104.0
110	79.1	84.2	104.0
111	79.0	84.2	104.0
112	79.0	84.3	104.0
113	78.9	84.3	103.9
114	79.0	84.2	103.9
115	79.0	84.2	103.8
116	79.0	84.2	103.8
117	79.0	82.2	103.8
118	79.0	84.3	103.8
119	79.0	84.2	103.7
121	79.0	84.3	103.7
123	79.0	84.3	103.7
126	78.9	84.2	103.5
128	78.8	84.2	103.4
130	78.9	84.2	103.3
133	78.9	84.2	103.2
135	78.9	84.2	103.1
137	78.9	84.3	103.0
139	78.9	84.2	103.0



Şekil 4.24– Deneş No.24 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Konsantrasyonları



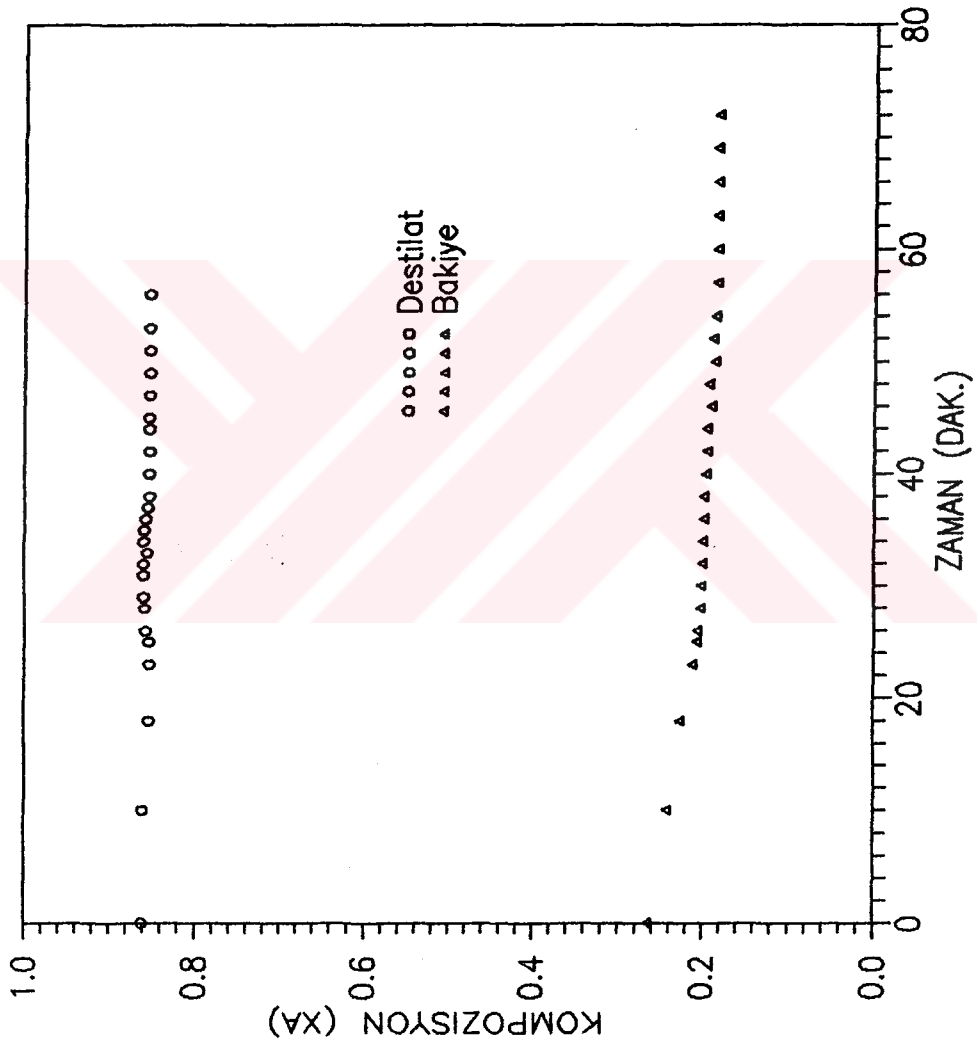
Şekil 4.24A—D deney No 24 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Temperaturleri

Tablo 4.30-(Deney No.25) -Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri

Besleme Debisi Reflüks Oranı :1			
İlk Durum :1.882 Besleme Konsantrasyonu :0.425			
Son Durum :2.415 Kararlı Hal Bozma Zamanı:57			
Zaman	x_D	Zaman	x_B
0	0.862	0	0.266
10	0.861	10	0.243
B.G. 18	0.853	18	0.227
23	0.853	23	0.213
25	0.854	25	0.208
26	0.858	26	0.207
28	0.859	28	0.203
29	0.860	30	0.202
31	0.860	32	0.200
32	0.860	34	0.200
33	0.855	36	0.199
34	0.860	38	0.199
35	0.860	40	0.197
36	0.858	42	0.196
37	0.855	44	0.196
38	0.853	46	0.191
40	0.853	48	0.194
42	0.853	50	0.187
44	0.853	52	0.189
45	0.853	54	0.186
47	0.853	57	0.184
49	0.853	60	0.184
51	0.853	63	0.184
53	0.853	66	0.184
56	0.853	69	0.184
		72	0.184

**Tablo 4.30A-(Deney No.25) -Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri**

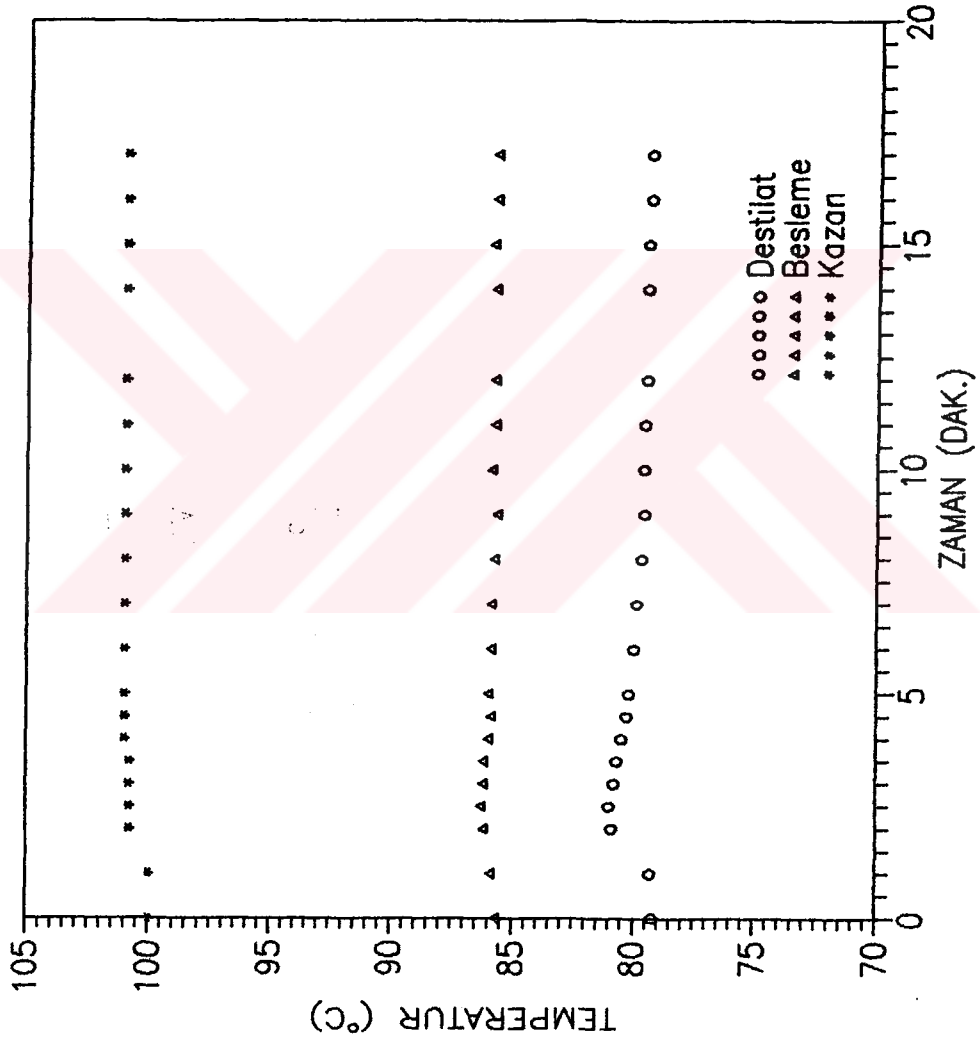
Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0	76.6	84.4	93.3
10	78.9	84.7	94.2
14	78.9	84.8	94.8
23	79.0	85.1	95.8
33	79.4	85.4	96.8
40	79.2	85.3	97.2
46	79.2	85.4	98.0
51	79.1	85.4	98.2
56	79.2	85.4	98.8
59	78.9	84.3	99.0
62	78.7	84.4	99.0
65	78.6	84.4	99.0
67	78.7	84.3	99.1
70	78.1	84.4	99.2
73	78.9	84.3	99.1
76	78.9	84.5	99.2
80	79.0	84.5	99.5
84	79.0	84.5	99.7
88	79.0	84.5	99.9
93	79.0	84.3	99.9
96	78.9	84.3	100.0
103	78.9	84.3	100.0



Şekil 4.25– Deneş No.25 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Konsantrasyonları

**Tablo 4.31 -(Deney No.26) -Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri**

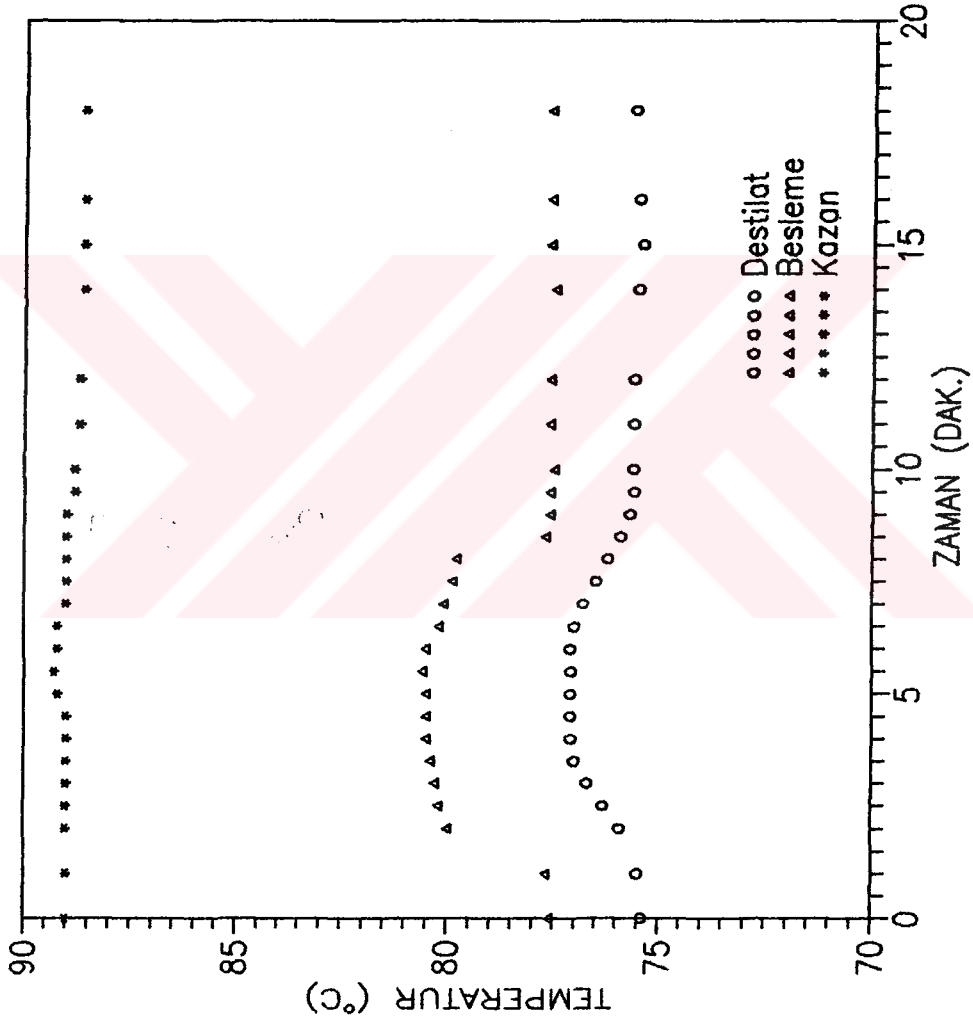
Isıtıcı Göst.	Reflüks Oranı	: 1	
İlk Durum :58	Besleme Konsantrasyonu	: 0.382	
Son Durum :100	Puls Uygulama Süresi	: 0.5	
Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0.5	79.2	85.7	100.0
1.0	79.3	85.9	100.0
2.0	80.9	86.2	100.8
2.5	81.0	86.3	100.8
3.0	80.8	86.2	100.8
3.5	80.7	86.2	100.8
4.0	80.5	86.0	101.0
4.5	80.3	85.9	101.0
5.0	80.2	86.0	101.0
6.0	80.0	85.9	101.0
7.0	79.9	85.9	101.0
8.0	79.7	85.8	101.0
9.0	79.6	85.7	101.0
10.0	79.6	85.9	101.0
11.0	79.6	85.9	101.0
12.0	79.5	85.8	101.0
14.0	79.5	85.8	101.0
15.0	79.5	85.9	101.0
16.0	79.4	85.8	101.0
17.0	79.4	85.8	101.0



Şekil 4.26– Deneý No 26 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Temperaturleri

**Tablo 4.32-(Deney No.27) -Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri**

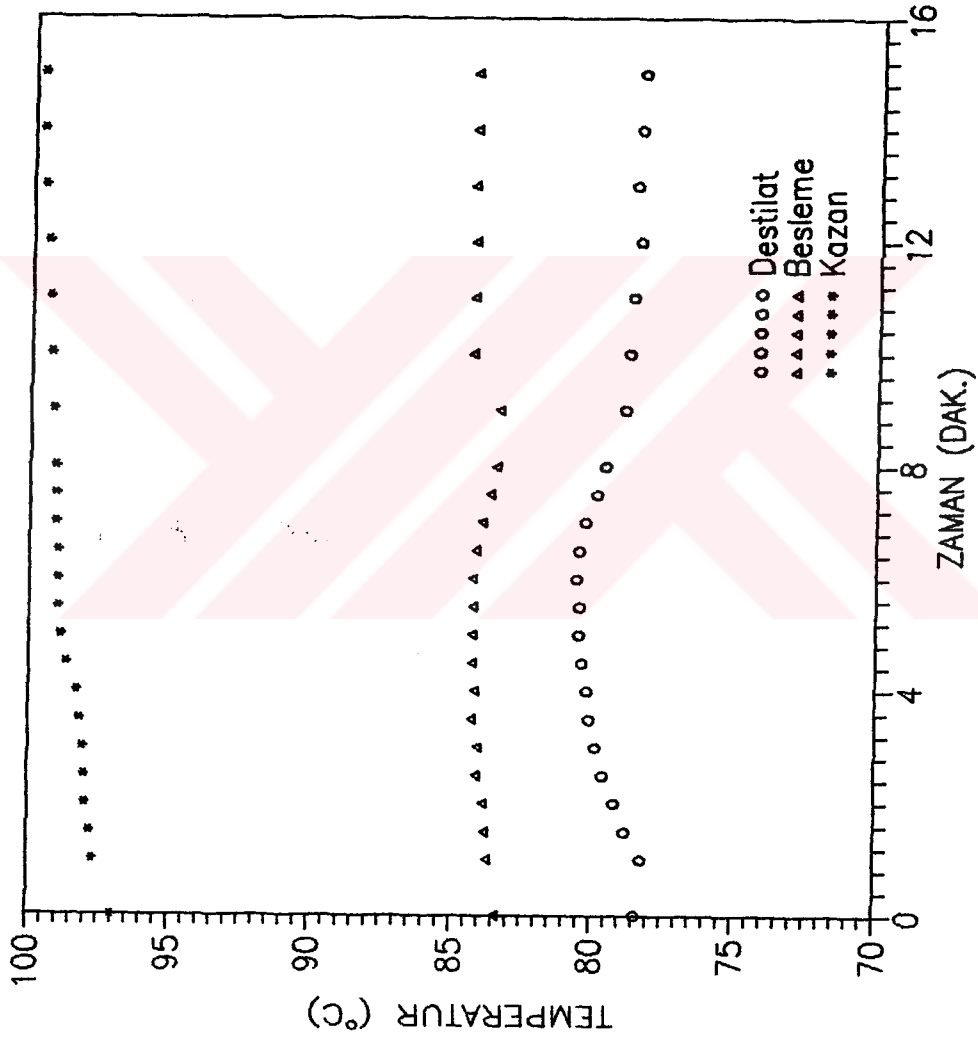
Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0.5	75.4	77.6	89.0
1.0	75.5	77.7	89.0
2.0	75.9	80.0	89.0
2.5	76.3	80.2	89.0
3.0	76.7	80.3	89.0
3.5	77.0	80.4	89.0
4.0	77.1	80.5	89.0
4.5	77.1	80.5	89.0
5.0	77.1	80.5	89.2
5.5	77.1	80.6	89.3
6.0	77.1	80.5	89.2
6.5	77.0	80.2	89.2
7.0	76.8	80.1	89.0
7.5	76.5	79.9	89.0
8.0	76.2	79.8	89.0
8.5	75.9	77.7	89.0
9.0	75.7	77.6	89.0
9.5	75.6	77.6	89.0
10.0	75.6	77.5	88.8
11.0	75.6	77.6	88.8
12.0	75.6	77.6	88.7
14.0	75.5	77.5	88.7
15.0	75.4	77.6	88.6
16.0	75.5	77.6	88.6
18.0	75.6	77.6	88.6



Şekil 4.27- Deneysel No 27 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Temperaturleri

**Tablo 4.33-(Deney No.28) -Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri**

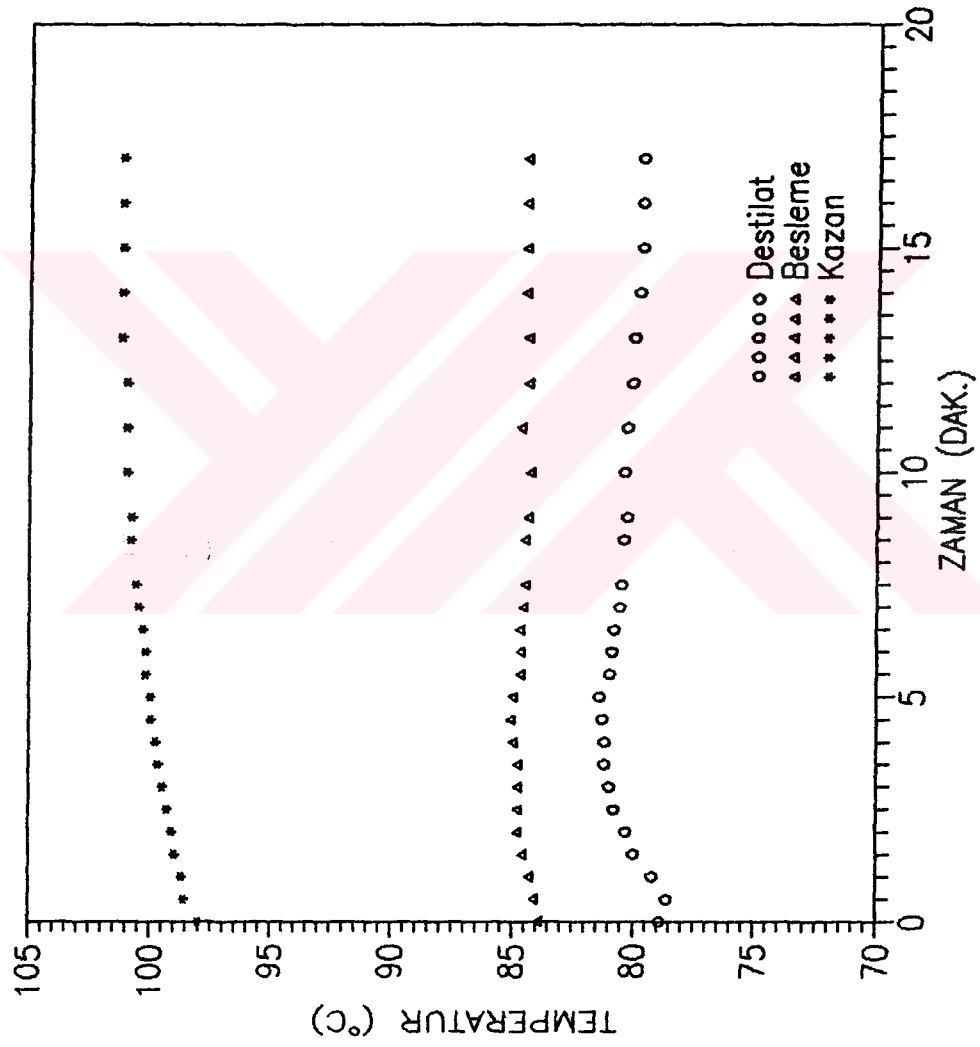
Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0.0	78.4	83.4	97.0
1.0	78.2	83.7	97.7
1.5	78.8	83.8	97.8
2.0	79.2	83.9	98.0
2.5	79.6	84.1	98.0
3.0	79.9	84.1	98.1
3.5	80.1	84.3	98.1
4.0	80.2	84.2	98.3
4.5	80.4	84.3	98.7
5.0	80.5	84.3	98.9
5.5	80.5	84.3	99.0
6.0	80.6	84.3	99.0
6.5	80.5	84.2	99.0
7.0	80.3	84.0	99.1
7.5	79.9	83.7	99.1
8.0	79.6	83.5	99.1
9.0	78.9	83.4	99.2
10.0	78.8	84.4	99.3
11.0	78.7	84.4	99.4
12.0	78.5	84.4	99.5
13.0	78.6	84.4	99.6
14.0	78.5	84.4	99.7
15.0	78.4	84.4	99.7



Şekil 4.28- Deneý No 28 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Temperaturleri

**Tablo 4.34-(Deney No.29) -Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri**

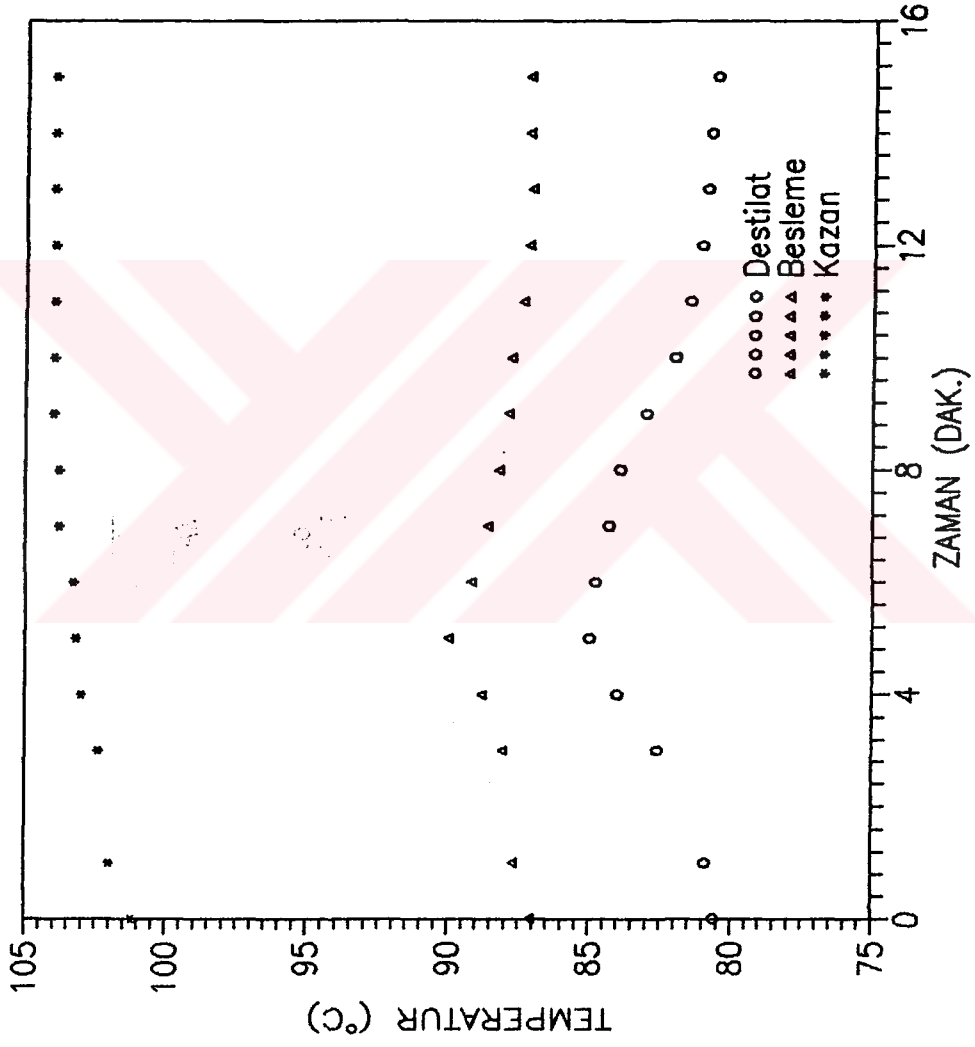
Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0.0	78.9	83.9	98.0
0.5	78.6	84.1	98.6
1.0	79.2	84.3	98.7
1.5	80.0	84.6	99.0
2.0	80.3	84.8	99.1
2.5	80.8	84.8	99.3
3.0	81.0	84.8	99.5
3.5	81.2	84.8	99.7
4.0	81.2	85.0	99.8
4.5	81.3	85.1	100.0
5.0	81.4	85.0	100.0
5.5	81.0	84.7	100.2
6.0	80.9	84.7	100.2
6.5	80.8	84.7	100.3
7.0	80.6	84.6	100.5
7.5	80.5	84.5	100.6
8.5	80.4	84.5	100.8
9.0	80.3	84.4	100.8
10.0	80.4	84.3	101.0
11.0	80.3	84.7	101.0
12.0	80.1	84.4	101.0
13.0	80.0	84.4	101.2
14.0	79.8	84.5	101.2
15.0	79.7	84.5	101.2
16.0	79.7	84.5	101.2
17.0	79.7	84.5	101.2



Şekil 4.29-- Deneý No 29 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Temperaturleri

**Tablo 4.35-(Deney No.30) -Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri**

Isıtıcı Göst.	Reflüks Oranı	: 1	
İlk Durum : 60	Besleme Konsantrasyonu	: 0.289	
Son Durum : 80	Puls Uygulama Süresi	: 3.5	
Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0.0	80.6	87.1	101.2
1.0	80.9	87.7	102.0
3.0	82.6	88.1	102.4
4.0	84.0	88.8	103.0
5.0	85.0	90.0	103.0
6.0	84.8	89.2	103.3
7.0	84.3	88.6	103.8
8.0	83.9	88.2	103.8
9.0	83.0	87.9	104.0
10.0	82.0	87.8	104.0
11.0	81.5	87.4	104.0
12.0	81.1	87.2	104.0
13.0	80.9	87.1	104.0
14.0	80.8	87.2	104.0
15.0	80.6	87.2	104.0



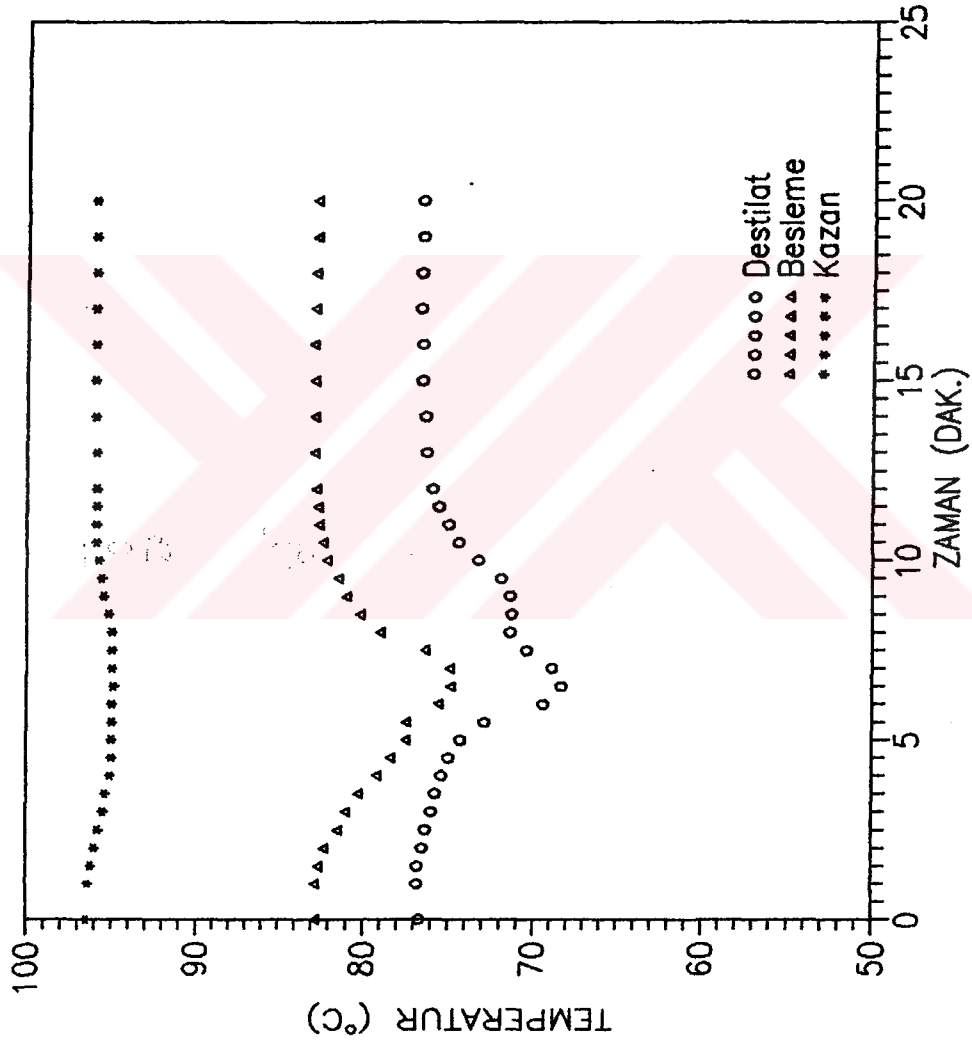
Şekil 4.30– Deneý No 30 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Temperaturleri

Tablo 4.36-(Deney NO.31)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri

Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0.0	76.7	82.8	96.5
1.0	76.8	82.8	96.4
1.5	76.8	82.6	96.2
2.0	76.5	82.3	96.0
2.5	76.3	81.5	95.8
3.0	76.0	81.0	95.5
3.5	75.8	80.3	95.4
4.0	75.4	79.2	95.1
4.5	75.0	78.4	95.0
5.0	74.3	77.5	95.0
5.5	72.9	77.5	95.0
6.0	69.4	75.6	95.0
6.5	68.3	74.9	94.9
7.0	68.9	75.0	95.0
7.5	70.4	76.3	95.0
8.5	71.3	80.2	92.2
9.0	71.4	81.0	95.5
9.5	71.9	81.5	95.6
10.0	73.3	82.2	95.8
10.5	74.4	82.4	95.9
11.0	75.0	82.6	95.9
11.5	75.6	82.7	95.9
12.0	76.0	82.8	95.9
13.0	76.3	82.9	95.9
14.0	76.4	82.9	96.0
15.0	76.6	82.9	96.0
16.0	76.6	83.0	96.0

17.0	76.7	82.9	96.0
18.0	76.7	82.9	96.0
19.0	76.6	82.8	96.0
20.0	76.6	82.8	96.0

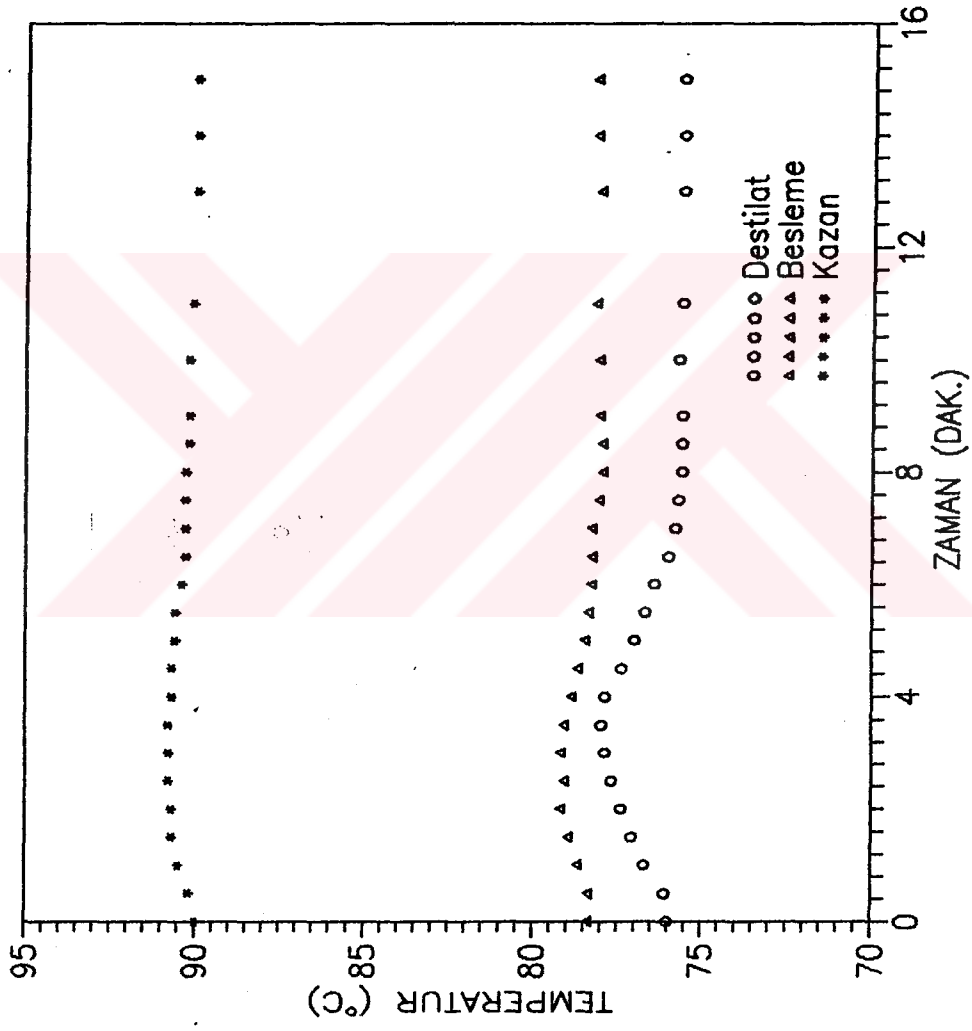




Şekil 4.31– Deneý No 31 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Temperaturleri

**Tablo 4.37-(Deney No.32) -Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamığı Deneysel Verileri**

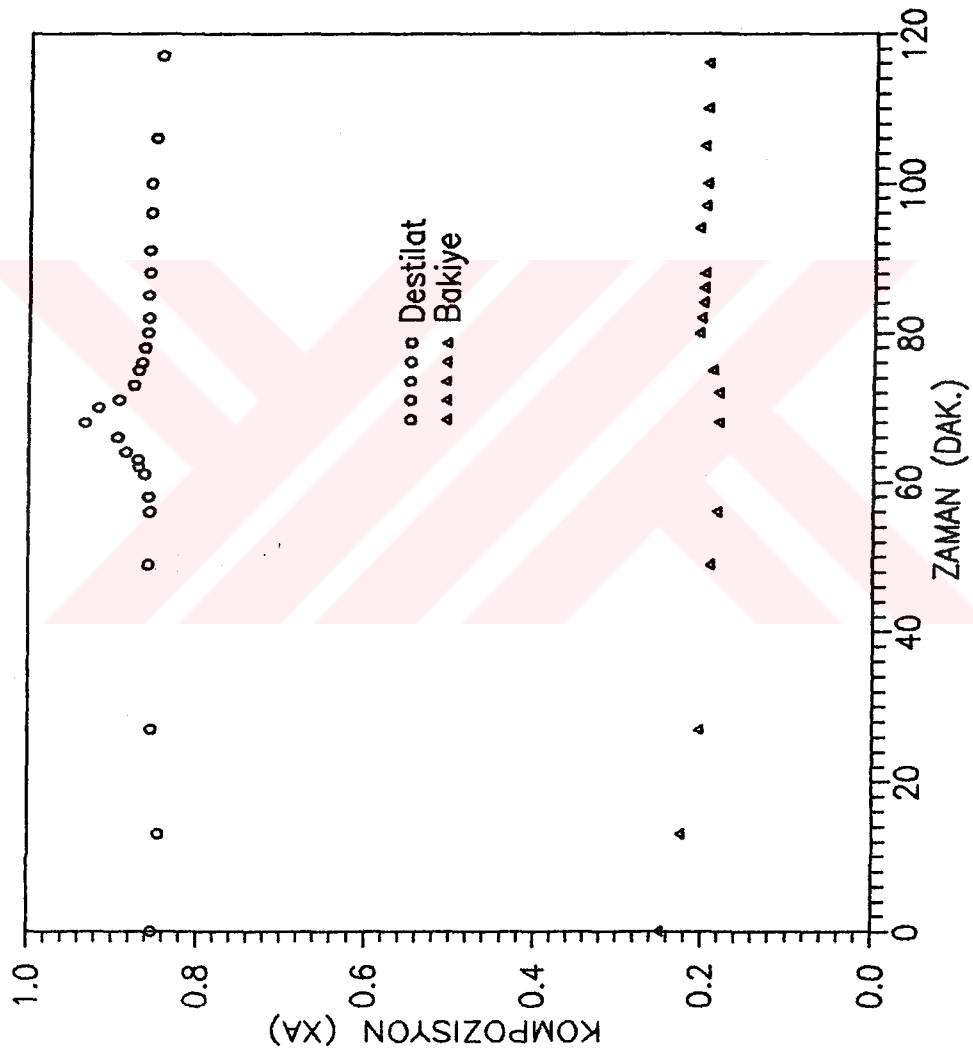
Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0.0	76.0	78.1	90.0
0.5	76.1	78.4	90.2
1.0	76.7	78.7	90.5
1.5	77.1	79.0	90.7
2.0	77.4	79.2	90.7
2.5	77.7	79.1	90.8
3.0	77.9	79.2	90.8
3.5	78.0	79.1	90.8
4.0	77.9	78.9	90.7
4.5	77.4	78.7	90.7
5.0	77.0	78.5	90.6
5.5	76.7	78.4	90.6
6.0	76.4	78.3	90.4
6.5	76.0	78.3	90.3
7.0	75.8	78.3	90.3
7.5	75.7	78.1	90.3
8.0	75.6	78.0	90.3
8.5	75.6	78.0	90.2
9.0	75.6	78.1	90.2
10.0	75.7	78.1	90.2
11.0	75.6	78.2	90.1
13.0	75.6	78.1	90.0
14.0	75.6	78.2	90.0
15.0	75.6	78.2	90.0



Sekil 4.32- Deneý No 32 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Temperaturleri

**Tablo 4.38-(Deney No.33) -Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamığı Deneysel Verileri**

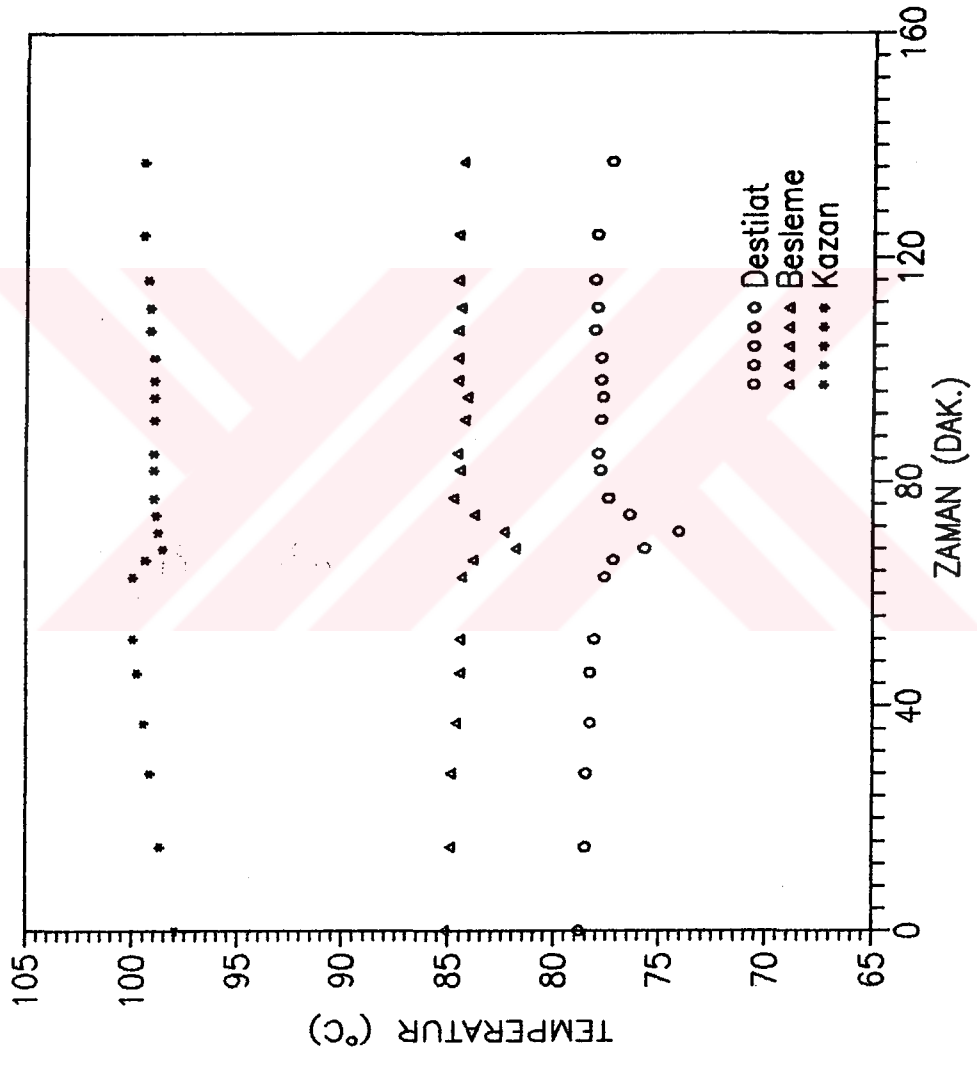
Zaman	x_D	Zaman	x_B
0	0.853	0	0.249
13	0.847	13	0.226
27	0.855	27	0.204
49	0.858	49	0.191
56	0.857	56	0.183
58	0.859	68	0.182
61	0.863	72	0.182
62	0.871	75	0.190
63	0.885	80	0.206
64	0.896	82	0.205
66	0.933	84	0.202
68	0.918	86	0.201
70	0.894	88	0.200
71	0.876	94	0.207
73	0.871	97	0.200
75	0.867	105	0.199
76	0.863	110	0.202
78	0.861	116	0.199
80	0.860		
82	0.861		
88	0.859		
91	0.859		
96	0.857		



Şekil 4.33- Deneý No.33 Destilasyon Kalonu Geçici Durum Konsantrasyonları

**Tablo 4.39-(Deney No.34)-Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri**

Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0	78.8	85.2	98.0
15	78.5	84.9	98.7
28	78.5	84.9	99.2
37	78.3	84.7	99.5
46	78.3	84.5	99.8
52	78.1	84.5	100.0
63	77.6	84.4	100.0
66	77.2	83.9	99.4
68	75.7	81.9	98.6
71	74.1	82.4	98.8
74	76.4	83.8	98.9
77	77.4	84.8	99.0
82	77.8	84.4	99.0
85	77.9	84.6	99.0
91	77.8	84.3	99.0
95	77.7	84.2	99.0
98	77.8	84.6	99.0
102	77.8	84.6	99.0
107	78.1	84.6	99.2
111	78.0	84.5	99.2
116	78.1	84.6	99.3
124	78.0	84.6	99.5
137	77.3	84.4	99.5



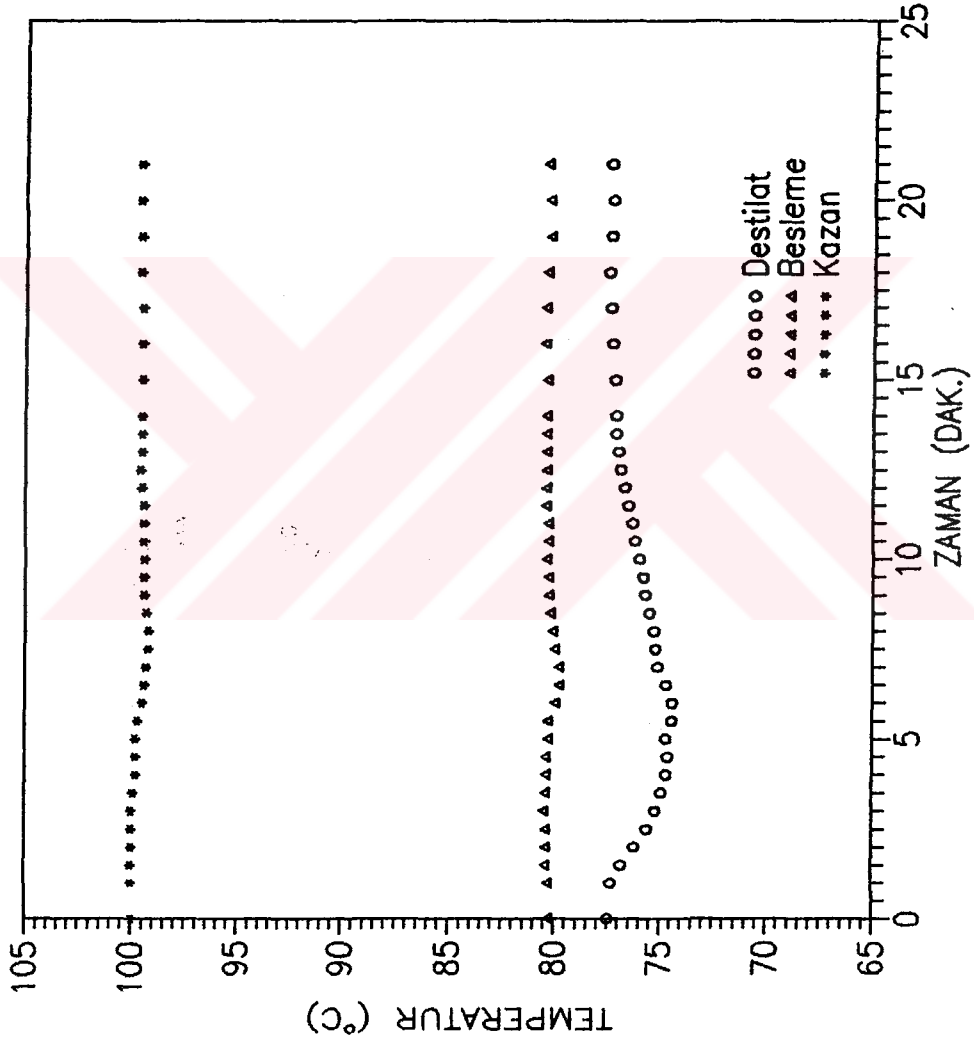
Şekil 4.34-- Deneysel No 34 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Temperaturleri

**Tablo 4.40-(Deney No.35) -Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri**

Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0.0	77.5	80.3	100.0
1.0	77.3	80.3	100.0
1.5	76.8	80.4	100.0
2.0	76.2	80.4	100.0
2.5	75.6	80.4	100.0
3.0	75.2	80.5	100.0
3.5	74.9	80.4	99.9
4.0	74.7	80.4	99.8
4.5	74.6	80.4	99.8
5.0	74.7	80.3	99.8
5.5	74.4	80.3	99.7
6.0	74.4	80.0	99.5
6.5	74.7	79.8	99.4
7.0	75.1	79.8	99.3
7.5	75.2	80.0	99.2
8.0	75.3	80.1	99.2
8.5	75.5	80.2	99.3
9.0	75.7	80.3	99.4
9.5	75.8	80.3	99.4
10.0	76.0	80.4	99.4
10.5	76.2	80.3	99.4
11.0	76.3	80.3	99.4
11.5	76.5	80.4	99.4
12.0	76.7	80.4	99.5
12.5	76.9	80.4	99.5
13.0	77.0	80.4	99.6
13.5	77.1	80.4	99.5

14.0	77.1	80.4	99.5
15.0	77.2	80.4	99.5
16.0	77.3	80.5	99.5
17.0	77.4	80.5	99.5
18.0	77.5	80.4	99.5
19.0	77.4	80.3	99.6
20.0	77.3	80.3	99.6
21.0	77.4	80.4	99.6





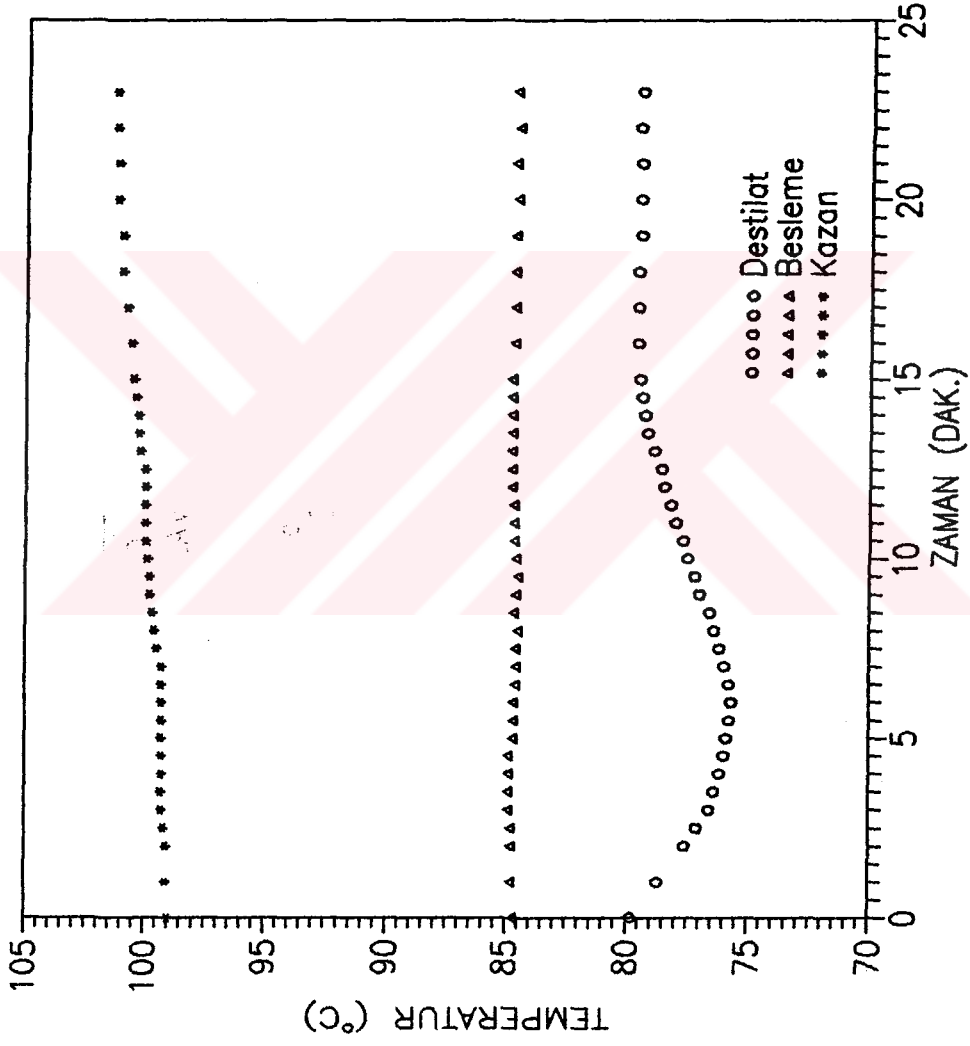
Şekil 4.35- Deneysel No 35 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Temperaturleri

**Tablo 4.41- (Deney No.36) - Destilasyon Kolonu Geçici Durum
Dinamiği Deneysel Verileri**

Zaman	TRFLX	TBESL	TKAZN
0.0	79.8	84.7	99.0
1.0	78.7	84.8	99.1
2.0	77.6	84.8	99.1
2.5	77.1	84.8	99.2
3.0	76.6	84.9	99.3
3.5	76.4	84.9	99.3
4.0	76.2	84.9	99.3
4.5	76.0	84.9	99.3
5.0	75.9	84.7	99.3
5.5	75.8	84.7	99.3
6.0	75.7	84.7	99.3
6.5	75.8	84.6	99.3
7.0	76.0	84.6	99.3
7.5	76.2	84.6	99.5
8.0	76.4	84.5	99.6
8.5	76.6	84.7	99.7
9.0	77.0	84.6	99.8
9.5	77.2	84.5	99.8
10.0	77.5	84.6	99.5
10.5	77.7	84.7	100.0
11.0	78.0	84.7	100.0
11.5	78.2	84.7	100.0
12.0	78.5	84.8	100.0
12.5	78.6	84.8	100.0
13.0	78.9	84.8	100.0
13.5	79.2	84.8	100.3
14.0	79.3	84.8	100.3

14.5	79.4	84.8	100.4
15.0	79.5	84.8	100.5
16.0	79.6	84.7	100.6
17.0	79.6	84.7	100.8
18.0	79.6	84.7	101.0
19.0	79.5	84.7	101.0
20.0	79.5	84.6	101.2
21.0	79.5	84.7	101.2
22.0	79.6	84.6	101.3
23.0	79.5	84.7	101.3





Şekil 4.36- Deneý No 36 Destilasyon Kolonu Geçici Durum Temperaturleri

BÖLÜM V

DENEY VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bölüm IV'de tablolar ve grafikler halinde gösterilen 36 adet deney verisinin değerlendirilmesi bu bölümde yapılmıştır.

5.1 Basamak Girdi Deneylerinin Değerlendirilmesi

Basamak şeklindeki girdiler için tepe platosu çıktı değişimlerine "Harriott Metodu" ve "Smith Metodu" uygulanarak proses zaman sabitleri hesaplanmıştır. Ayrıca Smith metodundan prosesin sönüm oranı ξ , değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan ξ , değerlerinden tepe platosunun cevabının aşırı sönümlü olduğu sonucuna varılmıştır.

Sundaresan [24] ve Krisnaswamy'nin geliştirdikleri metoda prosese ait ölü zamanlar hesaplanmıştır.

Birinci kararlı hal ve ikinci kararlı hal durumlarından yararlanarak proses kazançları hesaplanmıştır. Bütün bu hesaplardan sonra tepe platosunun Laplace sahasındaki transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$G(s) = \frac{K e^{-\theta s}}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)} \quad (5-1)$$

Ayrıca Harriott ve Smith metodlarından bulunan zaman sabitleri (1-21) denkleminde yerine konularak elde edilen model denklemlerle normalize edilmiş deneysel veriler karşılaştırılmış ve standart sapmaları hesaplanmıştır. Bu standart sapma değerlerinden Harriott metodunun Smith metodundan daha uygun sonuçlar verdiği bulunmuştur. Harriott metodu ikinci mertebeden aşırı sönümlü proseslerde daha iyi sonuçlar verdiği için geliştirilen transfer fonksiyonlarda bu zaman sabitleri kullanılmıştır.

Basamak girdilerine karşılık kazanç kompozisyon değişimleri birinci mertebeden davranış gösterdiğinden için zaman sabitleri birinci mertebeden proseslerdeki gibi hesaplanmıştır.

Kazanç ve ölü zamanlar tepe platosunda hesaplandığı

gibidir. Basamak girdilerine karşılık kazan için geliştirilen transfer fonksiyonu;

$$G(s) = \frac{K e^{-\theta s}}{\tau s + 1} \quad (5-2)$$

olarak bulunur.

Hesaplanan zaman sabitleri (1-8) denkleminde yararlanarak normalize kompozisyon değişimleriyle karşılaştırılmış ve standart sapmaları hesaplanmıştır.

Reflüks oranı basamak girdileri için destilat temperatur değişimlerinde ikinci mertebeden davranış sergilemiştir. Bu değişimler içinde Harriott ve Smith metodları uygulanmıştır. Ayrıca bu deneylerden bazılarında uygulanan basamak girdi, ikinci kararlı hale ulaştıktan sonra tekrar ilk durumuna getirilmiştir. Her iki durum içinde ayrı ayrı hesaplar yapılmıştır. Bu gibi durumlarda kolon asimetrik davranış göstermiştir. Kararlı hale ulaşma zamanları, zaman sabitleri, kazançları ve ölü zamanlar birbirinden farklı olarak bulunmuştur. Bu ikinci durum tablolarında o deney numarasının yanına A harfi ilave etmekle belirtilmiştir.

5.2. Puls Girdi Deneylerinin Değerlendirilmesi

Puls girdilerinin sapma değişimleri ile proses çıktılarının sapma değişimleri ek bölümdeki program 1'e data olarak girilmiştir. Bu program çeşitli frekans değerlerine karşılık Log modülü faz açısı ve prosesin kompleks düzlemdeki kök yerlerini vermektedir. Program 1' in çıktılarından yararlanarak procese ait Bode çizimleri yapılmıştır. Bode çizimleri tepe ve besleme platoları sıcaklık değişimleri için yapılabilmektedir.

Ayrıca program 1 prosesin kararlı hal kazancını da hesaplayabilmektedir. Tepe ve besleme platosu için çizilen Bode çizimlerinin birinci mertebeden artı zaman gecikmeli prosesler gibi davrandığı tespit edilmiştir.

Bode çizimlerinden Log modülü (db) ile frekans (ω) ilişkisinden proses zaman sabiti τ , hesaplanmıştır. Faz açısı frekans ilişkisinden ise proses ölü zamanı hesaplanmıştır. Bütün bu hesaplardan sonra Laplace sahasındaki transfer fonksiyonları;

$$G(s) = \frac{K e^{-\theta s}}{\tau s + 1} \quad (5-3)$$

şeklinde geliştirilmiştir.

Ayrıca Bode çizimlerdeki eğrilerin mertebeleri tespit edilmiştir. Bu eğriler genelde $A + BX + CX^2 + DX^3$ şeklinde, 3. mertebeden polinomlarla tanımlanmıştır.

Faz açısı ve frekans arasındaki polinom uyarlamaları tablolarda deney numarasının yanına A harfi eklenerek belirtilmiştir.

5.3. Hesaplama Örnekleri

Yaptığımız deneylerden elde edilen eğrileri matematik model olarak tanımlamamız gerekir. Kimyasal proseslerde genelde sistemler ikinci mertebeden ve aşırı sönümlü olarak tanımlanır.

Çalışmamızda basamak girdi değişimleri için "Harriott Metodu" ve "Smith Metodu" kullanılmıştır.

Bir sistemin davranışının analiz edilmesinde Harriott değişik τ_1/τ_2 oranları için $t/(\tau_1 + \tau_2)$ ile $Y(t)$ arasındaki ilişkiyi tespit etmiş ve aşırı sönümlü sistemlerin cevabının aşağıdaki gibi yazılabileceğini göstermiştir.

$$1 - Y(t) = \frac{\tau_1}{\tau_1 - \tau_2} e^{-t/\tau_1} - \frac{\tau_2}{\tau_1 - \tau_2} e^{-t/\tau_2} \quad (5-4)$$

Burada t dakika olarak zamanı, τ_1 ve τ_2 ise sistem zaman sabitlerini göstermektedir. $Y(t)$ ise sistemin çıktı konsantrasyonudur. Harriott, $Y(t) = 0.73$ değerinde bütün eğriler için $t/(\tau_1 + \tau_2) = 1.3$ bağıntısının geçerli olduğunu bulmuştur. (Şekil 2.1).

Kesirsel cevap eğrisinden proses çıktı cevabının % 73'ne tekabül eden t_{73} zamanını ölçmekle proses zaman sabitleri toplamı hesaplanabilir.

$$\tau_1 + \tau_2 = \frac{t_{73}}{1.3} \quad (5-5)$$

Kesirsel cevapla, $t/(\tau_1 + \tau_2)$ arasında çizilen bütün eğriler $t/(\tau_1 + \tau_2) = 0.5$ değerini alan standart bir noktada

kesişmektedir.

$$t_{st} = 0.5(\tau_1 + \tau_2) \quad (5-6)$$

Bu standart zamana tekabül eden çıktı kompozisyon değeri kesirsel cevap eğrisinden bulunur. Bu kesirsel cevap şekil 2.2'de işaretlenir ve $\tau_1/(\tau_1 + \tau_2)$ değeri apsisten bulunur. Zaman sabitleri toplamı (5-5)' den bilindiği için τ_1 , daha sonra τ_2 bulunur.

Harriott ve Smith metodları normalize kompozisyonlar gerektirmektedir.

Normalize cevap aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir:

$$Y_n = \frac{Y - \bar{Y}}{Y_{sa} - \bar{Y}} \quad (5-7)$$

Burada;

Y_n : Normalize kompozisyon

Y : Herhangi bir t zamanındaki kompozisyon

\bar{Y} : Birinci kararlı hal kompozisyonu

Y_{sa} : Basamak girdiden sonra ulaşılan son kararlı hal kompozisyonu

Yaptığımız deneylerde basamak girdi için tepe platosunun ikinci mertebeden davranış sergilediği görülmüştür. Kazanın ise birinci mertebeden davranış sergilediği görülmüştür.

5.3.1. Harriott Metodunun 1 Numaralı Deneyin Destilat Kompozisyon Değişimlerine Uygulanması

Şekil 5.12'den cevabın % 73'ne tekabül eden zaman $t_{73} = 4.874$ dak. bulunmuştur. (5-5) ifadesinden

$$\tau_1 + \tau_2 = \frac{t_{73}}{1.3} = \frac{4.874}{1.3} = 3.750$$

bulunur. (5-6) ifadesinden;

$t_{st} = 0.5(\tau_1 + \tau_2) = 0.5(3.750) = 1.875$ dak. bulunur.
 $t_{st} = 1.875$ dak. için şekil 5.12' den kesirsel cevap $Y = 0.371$

bulunur. Bu değer Şekil 2.2'de yerine konularak $\tau_1 / (\tau_1 + \tau_2) = 0.951$ bulunur, $\tau_1 + \tau_2 = 3.750$ olduğundan, $\tau_1 = 3.565$ ve $\tau_2 = 0.185$ olarak bulunur.

5.3.2. Smith Metodunun 1 Numaralı Deneyin Destilat Kompozisyon Değişimlerine Uygulanması

Harriott metodu gibi bu metod da ikinci mertebeden sistemlere uygulanır. Bu yöntemin bir avantajı da sönümlü ve sönümsüz sistemlerin her ikisine de uygulanabilmesidir. Sisteme ait ξ , sönüm oranını da tespit eder, fakat Harriott metodu kadar hassas değildir.

Şekil 5.12'den çıktı cevabının % 20 ve % 60' sine tekabül eden zamanlar sırasıyla $t_{20} = 0.939$ dakika ve $t_{60} = 3.520$ dakika olarak bulunur.

$$t_{20} / t_{60} = 0.267 \text{ olarak bulunur.}$$

Bu değer Şekil 2.3' de apsisten işaretlenir ve t_{60} / τ ilişkisinden $t_{60} / \tau = 5.4$ bulunur.

$$\tau = 3.520 / 5.4 = 0.652 \text{ olarak bulunur.}$$

$t_{20} / t_{60} = 0.267$ değerine karşılık olan ξ değeri Şekil 2.3'den $\xi = 3.196$ olarak bulunur. $\xi > 1$ olduğu için çıktı cevabı aşırı sönümlü olmaktadır.

Zaman sabitleri şöyle bulunur:

$$\tau_1 = \tau \xi + \sqrt{\xi^2 - 1} = 0.652 \times 3.196 + \sqrt{(3.196)^2 - 1} = 4.063$$

$$\tau_2 = \tau \xi - \sqrt{\xi^2 - 1} = 0.652 \times 3.196 - \sqrt{(3.196)^2 - 1} = 1.105$$

Şeklinde bulunur.

5.3.3. 1 Numaralı Deneyde Kazan Kompozisyon Değişiminin İncelenmesi

Şekil 5.13'de 1 numaralı deneyin kazan kompozisyonlarının nomalize

değişimi birinci mertebeden davranış göstermektedir. Normalize cevabın % 63.2' sine tekabül eden zamanın t , prosesin zaman sabitine eşit olduğunu birinci bölümde belirtmiştik.

Şekil 5.13'de cevabın 0.632' ne tekabül eden zaman $t = 14.979$ dakika olarak bulunur. Buradan kazan için proses zaman sabiti $\tau = 14.979$ olarak bulunur.

5.3.4. 1 Numaralı Deneyde Tepe Platosu ve Kazan Kompozisyon

Değişimleri İçin Proses Kazançlarının Hesaplanması

Genel olarak proses kazancını veren denklem aşağıdaki gibidir:

$$K = \frac{\Delta X}{\Delta Q} \quad (5-8)$$

Burada;

ΔX : Proses çıktısının ikinci kararlı hal değerinin birinci kararlı hal değerinden farkıdır.

ΔQ : Girdinin ikinci kararlı hal değerinin birinci kararlı hal değerinden farkıdır.

Bu deneyde girdi değişkeni olarak besleme konsantrasyonu basamak değişimi alınmıştır. Birinci kararlı halde $x_F = 0.396$, ikinci kararlı halde ise $x_F = 0.731$ değerine yükseltilmiştir.

$\Delta Q = 0.731 - 0.396 = 0.335$ bulunur.

Çıktı değişkeni olarak, destilat kompozisyon değişimleri alınmıştır. Birinci kararlı halde $x_D = 0.984$, ikinci kararlı halde ise $x_D = 0.967$ değerlerini aldığı bulunmuştur.

Çıktı kompozisyon farkı $\Delta X = 0.967 - 0.894 = 0.073$ bulunur.

Tepe platosunun kararlı hal kazancı;

$$K = \frac{\Delta X}{\Delta Q} = \frac{0.073}{0.335} = 0.218 \text{ olarak bulunmuştur.}$$

Kazan için proses kazancı, benzer olarak birinci kararlı halde $x_B = 0.271$ ikinci kararlı halde $x_B = 0.351$ değerlerini aldığı ölçülmüştür. Çıktı kompozisyon farkı $\Delta X = 0.351 - 0.271 = 0.080$ bulunmuştur. Kazanın kararlı hal kazancı;

$$K = \frac{\Delta X}{\Delta Q} = \frac{0.08}{0.335} = 0.236 \text{ olarak bulunmuştur.}$$

5.3.4. 1 Numaralı Deneyde Tepe Platosu ve Kazan Kompozisyon Değişimleri İçin Ölü Zaman Hesabı

Sundaresan [24] ve Krisnaswamy' nin geliştirdikleri yöntemle göre normalize cevabın % 35.3 ve % 85.3' ne tekabül eden zamanları ölçmekle ölü zamanı daha önce verdiğimiz (2-20) denkleminde hesaplayabiliriz:

$$\theta = 1.3t_1 - 0.29t_2$$

1 numaralı deneyin tepe platosu için ölü zamanı hesaplayalım; şekil (5.12)' den cevabın % 35.3'ne tekabül eden zaman $t_1 = 7.771$ dakika ve cevabın % 85.3'ne karşılık gelen $t_2 = 13.009$ dakika olarak bulunmuştur. Ölü zaman θ , aşağıdaki gibi bulunmuştur:

$$\theta = 1.3t_1 - 0.29t_2 = 1.3 \times 7.771 - 0.29 \times 13.009 = 6.330 \text{ dakika.}$$

Bu sonuçtan tepe platosu için 6.63 dakikalık cevap gecikmesinin olduğunu söyleyebiliriz.

Aynı deneyin kazanı için ise cevabın % 35.3'ne tekabül eden zaman $t_1 = 22.891$ dakika ve cevabın % 85.3'ne tekabül eden zaman $t_2 = 41.601$ dakika olarak bulunmuştur. Ölü zaman θ , aşağıdaki gibi bulunmuştur:

$$\theta = 1.3t_1 - 0.29t_2 = 1.3 \times 22.891 - 0.29 \times 41.601 = 17.693 \text{ dakika}$$

Benzer şekilde kazan için 17.693 dakikalık cevap gecikmesinin olduğunu söyleyebiliriz.

Bu hesaplardan faydalanılarak tepe platosu ve kazan için geliştirilen transfer fonksiyonları sırasıyla şöyledir:

$$G(s) = \frac{0.218e^{-6.330s}}{(3.565s + 1)(0.185s + 1)} \quad (5-9)$$

$$G(s) = \frac{0.236e^{-17.693s}}{14.979s + 1} \quad (5-10)$$

5.4. Puls Girdilerine Karşılık Tepe ve Besleme Platoları Temperattür Değişimleri İçin Bode Çizimlerinin Yapılması

Proses girdi ve çıktı sapma değişkenlerinden faydalanarak Program 1'den elde edilen Log modülü (db), frekans (ω), ilişkisi ve faz açısı frekans ilişkisi grafikleri 33 numaralı deney için şekil 5.14'de gösterilmiştir.

Frekans ile Log modülü arasındaki grafikten procese ait zaman sabitinin türetilebildiğini 2.bölümde görmüştük.

Destilasyon kolonu tepe ve besleme platolarının birinci mertebeden artı zaman gecikmeli prosesler gibi davrandığı bulunmuştur. Bunun nedeni bütün deneylerde yüksek frekans asimtot eğimleri -20 db/decade olarak bulunmuştur. Eğer yüksek frekans eğimleri -40 db/decade olsaydı ikinci mertebeden artı zaman gecikmeli prosesler gibi davrandığını söyleyebilirdik.

Şekil 5.14'de 33 numaralı deneyin tepe platosu için Bode Çizimleri gösterilmiştir. Yüksek frekans asimptotu ile düşük frekans asimptotlarının kesişim noktasından köşe frekansı (corner frequency) $\omega_b = 0.200$ rad./dak. olarak bulunmuştur.

$\tau = 1/\omega_b$ ilişkisinden proses zaman sabiti, $\tau = 1/0.200$ 'den $\tau = 5.000$ olarak bulunmuştur.

Prosesle ait ölü zaman ise (2-34) denkleminde veya Program 5'den faydalanılarak hesaplanabilir. 33. numaralı deneyin tepe platosu için ölü zaman $\theta = 3.860$ dakika olarak bulunmuştur.

Diğer taraftan Program 1'den kararlı hal kazancı $K = -0.010$ olarak bulunmuştur. Bütün bu hesaplardan sonra prosesin transfer fonksiyonu;

$$G(s) = \frac{-0.010 e^{-3.860s}}{5.000s + 1} \quad (5-11)$$

Tablo 5.1 Basamak Girdilerine Karşılık Destilat Kompozisyon Değişimleri İçin Zaman Sabitlerinin Hesabı (Harriott Metodu)

Deney No	τ_1	τ_2
1	3.565	0.185
2	2.063	0.949
3	3.031	2.066
4	2.921	1.840
5	2.612	0.494
6	2.439	0.898
7	3.138	0.216
8	3.430	0.744
9	7.061	3.663
10	3.732	0.102
11	3.474	0.274
12	-----	-----
13	-----	-----
14	4.128	2.939
15	1.168	0.960
16	5.317	2.277
17	5.600	0.586
18	3.828	0.062
19	3.809	0.110
20	17.746	6.735
21	3.671	0.241
22	2.486	0.180
23	2.720	0.878
24	-----	-----
25	-----	-----

Tablo 5.2 Basamak Girdilerine Karşılık Destilat Kompozisyon Değişimleri İçin Zaman Sabitlerinin Hesabı (Smith Metodu)

Deney No	ξ	τ_1	τ_2
1	3.196	4.063	0.105
2	1.032	1.782	1.079
3	1.843	5.975	0.520
4	1.137	3.565	1.265
5	2.050	3.400	0.230
6	1.208	2.801	0.621
7	3.855	2.448	0.043
8	1.916	4.404	0.350
9	1.098	7.412	3.078
10	3.097	4.031	0.111
11	2.810	4.267	0.144
12	-----	-----	-----
13	-----	-----	-----
14	1.176	5.637	1.751
15	1.212	1.772	0.493
16	1.132	5.560	2.013
17	2.398	6.830	0.326
18	1.601	5.467	0.673
19	-----	-----	-----
20	1.400	22.277	3.933
21	2.941	4.304	0.132
22	-----	-----	-----
23	1.628	3.589	0.423
24	1.347	28.382	5.606
25	-----	-----	-----

Tablo 5.3 Basamak Girdilerine Karşılık Bakiye Kompozisyon Değişimleri İçin Zaman Sabitlerinin Hesabı

Deney No	τ	Deney No	τ
1	14.979	14	38.384
2	18.224	15	-----
3	28.877	16	-----
4	41.550	17	-----
5	32.605	18	-----
6	28.120	19	-----
7	-----	20	-----
8	32.570	21	8.691
9	24.758	22	-----
10	15.672	23	-----
11	42.157	24	34.734
12	32.912	25	14.137
13	20.809		

Tablo 5.4 Basamak Girdilerine Karşılık Destilat ve Bakiye Kompozisyon Değişimleri İçin Hesaplanan Ölü Zamanlar

Deney No	θ (Destilat)	θ (Bakiye)
1	6.330	17.693
2	8.269	-----
3	6.700	11.378
4	6.444	9.716
5	2.994	10.728
6	0.978	5.850
7	7.427	-----
8	4.971	5.893
9	3.382	5.939
10	4.960	10.504
11	7.819	15.373
12	-----	12.382
13	-----	5.445
14	2.410	12.059
15	4.014	-----
16	2.171	-----
17	0.924	-----
18	0.997	-----
19	0.223	-----
20	7.654	-----
21	0.324	-----
22	0.364	-----
23	1.059	-----
24	-----	11.494
25	-----	2.426

Tablo 5.5 Basamak Girdilerine Karşılık Destilat ve Bakiye Kompozisyon Değişimleri İçin Proses Kazançları

Deney No	K (Destilat)	K (Bakiye)
1	0.218	0.236
2	0.333	-0.327
3	0.422	0.915
4	0.378	0.938
5	0.387	0.869
6	0.465	0.763
7	0.267	-0.128
8	0.302	0.907
9	0.330	0.830
10	0.308	0.483
11	0.252	0.519
12	-----	0.720
13	-----	0.519
14	0.203	0.087
15	0.090	-8.61×10^{-3}
16	0.216	-0.015
17	0.298	-----
18	0.236	-8.074×10^{-2}
19	-----	-----
20	0.036	0.016
21	0.218	-0.161
22	0.166	-----
23	0.042	-0.055
24	0.010	0.187
25	-----	-0.081

Tablo 5.6 Basamak Girdilerine Karşılık Destilat ve Bakiye Kompozisyon Değişimleri İçin Transfer Fonksiyonları

D. No	G(s) (destilat)	G(s) (bakiye)
1	$\frac{0.218 \exp(-6.330s)}{(3.565s + 1)(0.185s + 1)}$	$\frac{0.236 \exp(-17.693s)}{14.979s + 1}$
2	$\frac{0.333 \exp(-8.269s)}{(2.063s + 1)(0.949s + 1)}$	$\frac{-0.327}{18.224s + 1}$
3	$\frac{0.422 \exp(-6.700s)}{(3.031s + 1)(2.066s + 1)}$	$\frac{0.915 \exp(-11.378s)}{28.877s + 1}$
4	$\frac{0.378 \exp(-6.444s)}{(2.921s + 1)(1.840s + 1)}$	$\frac{0.938 \exp(-9.716s)}{41.550s + 1}$
5	$\frac{0.387 \exp(-2.994s)}{(2.612s + 1)(0.494s + 1)}$	$\frac{0.869 \exp(-10.728s)}{32.605s + 1}$
6	$\frac{0.465 \exp(-.978s)}{(2.439s + 1)(0.898s + 1)}$	$\frac{0.763 \exp(-5.85s)}{28.120s + 1}$
7	$\frac{0.267 \exp(-7.427s)}{(3.138s + 1)(0.216s + 1)}$	
8	$\frac{0.302 \exp(-4.971s)}{(3.430s + 1)(0.744s + 1)}$	$\frac{0.907 \exp(-5.893)}{32.57s + 1}$
9	$\frac{0.330 \exp(-3.382s)}{(7.061s + 1)(3.663s + 1)}$	$\frac{0.830 \exp(-5.939s)}{24.758s + 1}$
10	$\frac{0.308 \exp(-4.960s)}{(3.732s + 1)(0.102s + 1)}$	$\frac{0.483 \exp(-10.504s)}{15.672s + 1}$
11	$\frac{0.252 \exp(-7.819s)}{(3.474s + 1)(0.274s + 1)}$	$\frac{0.519 \exp(-15.373s)}{42.157s + 1}$
12		$\frac{0.720 \exp(-12.382s)}{32.912s + 1}$
13		$\frac{0.519 \exp(-5.445s)}{20.809s + 1}$
14	$\frac{0.203 \exp(-2.410s)}{(4.128s + 1)(2.939s + 1)}$	$\frac{0.087 \exp(-12.059s)}{38.384s + 1}$
15	$\frac{0.090 \exp(-4.014s)}{(1.168s + 1)(0.960s + 1)}$	

16	$\frac{0.216\exp(-2.171s)}{(5.317s + 1)(2.277s + 1)}$	
17	$\frac{0.298\exp(-0.924s)}{(5.600s + 1)(0.586s + 1)}$	
18	$\frac{0.236\exp(-0.997s)}{(3.828s + 1)(0.662s + 1)}$	
19	$\frac{\exp(-0.223s)}{(3.809s + 1)(0.110s + 1)}$	
20	$\frac{0.036\exp(-7.654s)}{(17.746s + 1)(6.735s + 1)}$	
21	$\frac{0.218\exp(-0.324s)}{(3.671s + 1)(0.241s + 1)}$	$\frac{-0.161}{8.691s + 1}$
22	$\frac{0.166\exp(-0.364s)}{(2.486s + 1)(0.180s + 1)}$	
23	$\frac{0.042\exp(-1.059s)}{(2.720s + 1)(0.878s + 1)}$	
24		$\frac{0.187\exp(-11.494s)}{34.734s + 1}$
25		$\frac{-0.081\exp(-2.426s)}{14.137s + 1}$

Tablo 5.7 Basamak Girdilerine Karşılık Destilat Temperatur Değişimleri İçin Zaman Sabitlerinin Hesabı (Harriott Metodu)

Deney No	τ_1	τ_2
14	8.642	2.732
14A	4.117	0.345
15	3.536	0.653
15A	9.571	3.601
16	5.358	0.855
18	5.323	2.906
18A	11.517	2.647
19	2.429	0.093
20	6.573	0.822
21	5.058	0.986

Tablo 5.8 Basamak Girdilerine Karşılık Destilat Temperatur Değişimleri İçin Zaman Sabitlerinin Hesabı (Smith Metodu)

Deney No	ξ	τ_1	τ_2
14	1.522	10.344	1.451
14A	1.877	4.221	0.352
15	2.335	4.453	0.225
15A	-----	-----	-----
16	2.113	6.737	0.427
18	1.340	7.718	1.549
18A	-----	-----	-----
19	-----	-----	-----
20	2.516	8.872	0.381
21	2.022	6.512	0.456

**Tablo 5.9 Basamak Girdilerine Karşılık Destilat
Temperatürleri Değişimleri İçin Hesaplanan Ölü Zamanlar**

Deney No	θ	Deney No	θ
14	3.261	18	2.921
14A	-----	18A	6.213
15	0.957	19	0.259
15A	5.961	20	1.327
16	-----	21	1.663

**Tablo 5.10 Basamak Girdilerine Karşılık Destilat
Temperatürleri Değişimleri İçin Proses Kazançları**

Deney No	K	Deney No	K
14	-4.834	17	-7.500
14A	-4.566	18	-6.004
15	-2.679	19	-----
15A	-3.301	20	-0.984
16	-6.215	21	-5.645

**Tablo 5.11 Basamak Girdilerine Karşılık Destilat
Temperatür Değişimleri İçin Transfer Fonksiyonları**

Deney No	G(s) (Destilat)
14	$\frac{-4.834 \exp(-3.261s)}{(8.642s + 1)(2.732s + 1)}$
14A	$\frac{-4.566}{(4.117s + 1)(0.345s + 1)}$
15	$\frac{-2.679 \exp(-0.957s)}{(3.536s + 1)(.653s + 1)}$
15A	$\frac{-3.301 \exp(-5.961s)}{(9.571s + 1)(3.601s + 1)}$
16	$\frac{-6.215}{(5.358s + 1)(0.855s + 1)}$
17	
18	$\frac{-6.004 \exp(-2.921s)}{(5.323s + 1)(2.906s + 1)}$
18A	$\frac{-7.453 \exp(-1.327s)}{(11.517s + 1)(2.647s + 1)}$
19	
20	$\frac{-0.984 \exp(-1.327s)}{(6.573s + 1)(0.822s + 1)}$
21	$\frac{-3.629 \exp(-1.663s)}{(5.058s + 1)(0.986s + 1)}$

Tablo 5.12 Basamak Girdilerine Karşılık Destilat Kompozisyonu Değişimleri İçin Hata Hesabı (standard sapma)

Deney No	Harriott Metodu $\times 10^{-2}$	Smith Metodu $\times 10^{-2}$
1	2.170	3.011
2	2.465	2.378
3	6.022	10.645
4	3.836	13.411
5	4.809	8.647
6	6.100	7.121
7	6.196	8.830
8	5.633	8.179
9	7.051	6.855
10	3.225	3.350
11	2.658	5.838
12	-----	-----
13	-----	-----
14	9.400	9.649
15	2.620	5.047
16	7.224	7.412
17	3.256	4.528
18	10.958	2.368
19	2.190	-----
20	4.914	51.060
21	4.421	4.982
22	28.768	-----
23	4.469	7.238
24	-----	-----
25	-----	-----

Tablo 5.13 Basamak Girdilerine Karşılık Bakiye Kompozisyonu Değişimleri İçin Hata Hesabı (standard sapma)

Deney No	S. Sapma $\times 10^{-2}$	Deney No	S. Sapma $\times 10^{-2}$
1	4.949	10	7.240
2	4.984	11	5.915
3	9.664	12	4.713
4	12.945	13	9.952
5	9.642	14	8.762
6	12.057	21	7.231
7	-----	24	11.091
8	5.896	25	6.662
9	7.382		

Tablo 5.14 Basamak Girdilerine Karşılık Destilat Temperatur Değişimleri İçin Hata Hesabı (standard sapma)

Deney No	Harriott Metodu $\times 10^{-2}$	Smith Metodu $\times 10^{-2}$
14	8.807	10.228
14A	5.305	5.113
15	5.921	7.776
15A	23.403	-----
16	5.627	6.615
18	5.320	8.328
18A	25.524	-----
19	7.340	-----
20	7.063	11.706
21	13.240	17.280

Tablo 5.15 Puls Girdilerine Karşılık Destilat Temperatur Değişimleri İçin Zaman Sabitlerinin ve Ölü Zamanların Hesabı

Deney No	τ	θ
26	8.929	1.041
27	1.779	0.968
28	8.000	-----
29	5.405	0.949
30	3.984	1.167
31	-----	-----
32	1.191	0.644
33	5.000	3.860
34	3.125	2.224
35	4.348	0.630
36	5.000	0.659

Tablo 5.16 Puls Girdilerine Karşılık Besleme Temperatur Değişimleri İçin Zaman Sabitlerinin ve Ölü Zamanların Hesabı

Deney No	τ	θ
26	3.333	0.509
27	-----	-----
28	3.448	-----
29	1.980	0.135
30	3.704	0.788
31	-----	-----
32	2.451	-----
33	-----	-----
34	5.618	0.996
35	-----	-----
36	-----	-----

Tablo 5.17 Puls Girdilerine Karşılık Destilat ve Besleme Temperatur Değişimleri İçin Proses Kazanlarının Hesabı

Deney No	K (Destilat)	K (Bakiye)
26	0.476	0.098
27	0.188	-----
28	0.322	0.101
29	0.518	0.143
30	0.401	0.192
32	0.168	0.998
33	-0.010	-----
34	0.401	-0.336
35	-0.516	-----
36	-1.172	-----

**Tablo 5.18 Puls Girdilerine Karşılık Destilat ve Besleme
Temperatür Değişimleri İçin Transfer Fonksiyonları**

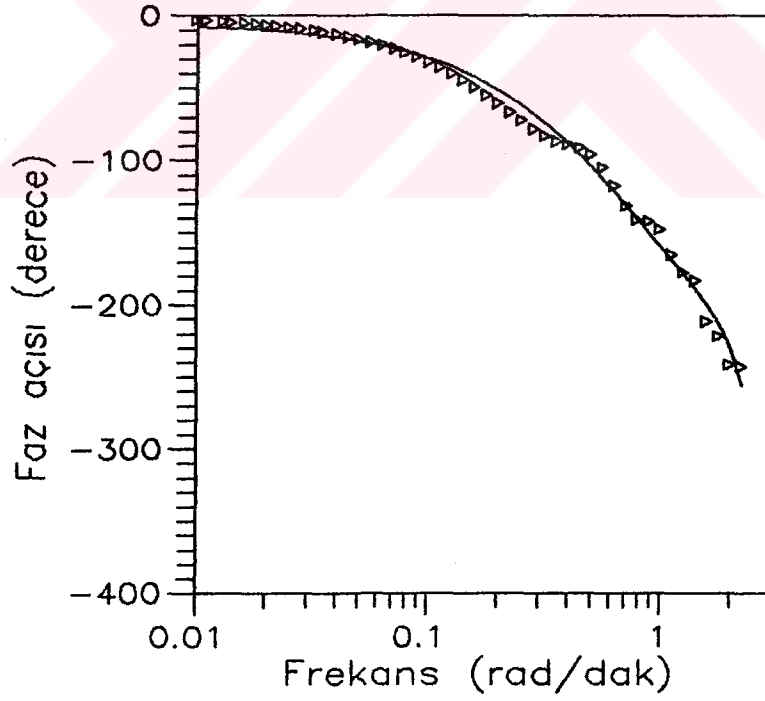
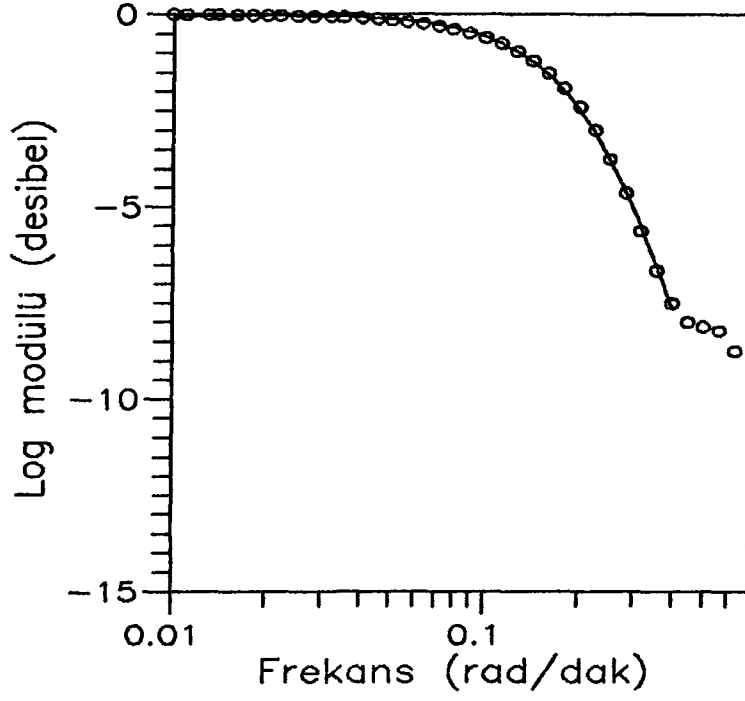
Deney No	G(s) (destilat)	G(s) (besleme)
26	$\frac{0.476 \exp(-1.041s)}{8.929s + 1}$	$\frac{0.098 \exp(-0.509s)}{3.333s + 1}$
27	$\frac{0.188 \exp(-0.968s)}{1.779s + 1}$	
28	$\frac{0.322 \exp(-0.949s)}{5.405s + 1}$	$\frac{0.101 \exp(-0.315s)}{1.980s + 1}$
29	$\frac{0.518}{8.000s + 1}$	$\frac{0.143}{3.448s + 1}$
30	$\frac{0.401 \exp(-1.167s)}{3.984s + 1}$	$\frac{0.192 \exp(-0.788s)}{3.704s + 1}$
31		
32	$\frac{0.168 \exp(-0.644s)}{1.191s + 1}$	$\frac{0.998}{2.451s + 1}$
33	$\frac{-0.010 \exp(-3.860s)}{5.000s + 1}$	
34	$\frac{0.401 \exp(-2.224s)}{8.000s + 1}$	$\frac{-0.336 \exp(-0.996s)}{5.618s + 1}$
35	$\frac{-0.516 \exp(-0.630s)}{4.348s + 1}$	
36	$\frac{-1.172 \exp(-0.659s)}{5.000s + 1}$	

Tablo 5.19 Tepe Platosu Bode Çizimleri İçin Öngörülen Polinomlar

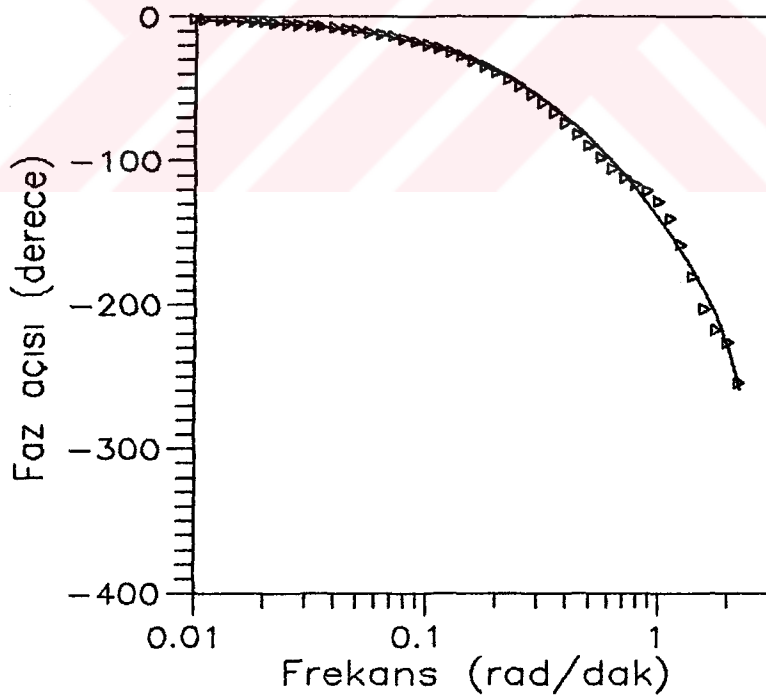
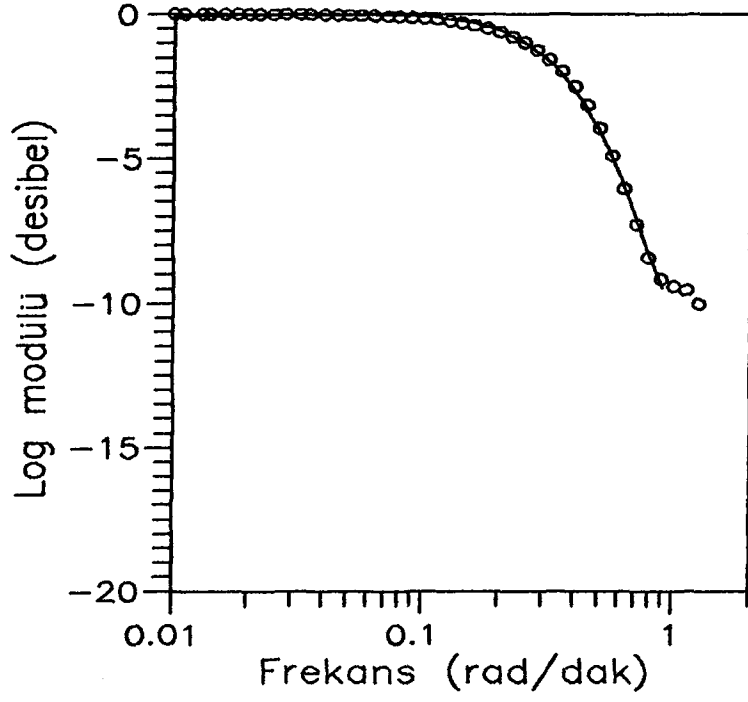
Den. No	A	B	C	D
26	0.489	-17.740	3.963	-0.436
26A	-2.562	-297.966	212.936	-65.821
27	0.107	-3.025	6.895	-13.509
27A	2.230	-203.791	138.842	-72.826
28	0.147	-3.593	-23.504	19.292
28A	2.307	-294.501	392.989	-261.595
29	-0.296	14.049	-168.718	140.126
29A	-0.532	-246.522	-289.420	938.845
30	-0.076	2.205	-34.741	11.430
30A	-0.101	-263.820	-15.980	97.770
31	-0.041	1.435	-19.247	14.018
31A	0.215	-294.995	6.665	21.546
32	-0.144	2.266	-7.074	-0.094
32A	0.413	-110.420	24.105	-15.213
33	1.08×10^{-6}	0.233	-60.664	53.519
33A	0.530	-502.795	231.265	-220.939
34	-0.177	5.170	-39.861	21.473
34A	-0.143	-296.027	-27.764	48.015
35	-0.213	7.369	-67.514	51.314
35A	-0.322	-215.131	-101.523	315.491
36	-0.288	10.208	-93.508	69.845
36A	-0.248	-230.643	-102.603	365.689

Tablo 5.20 Beleme Platosu Bode Çizimleri İçin
Öngörülen Polinomlar

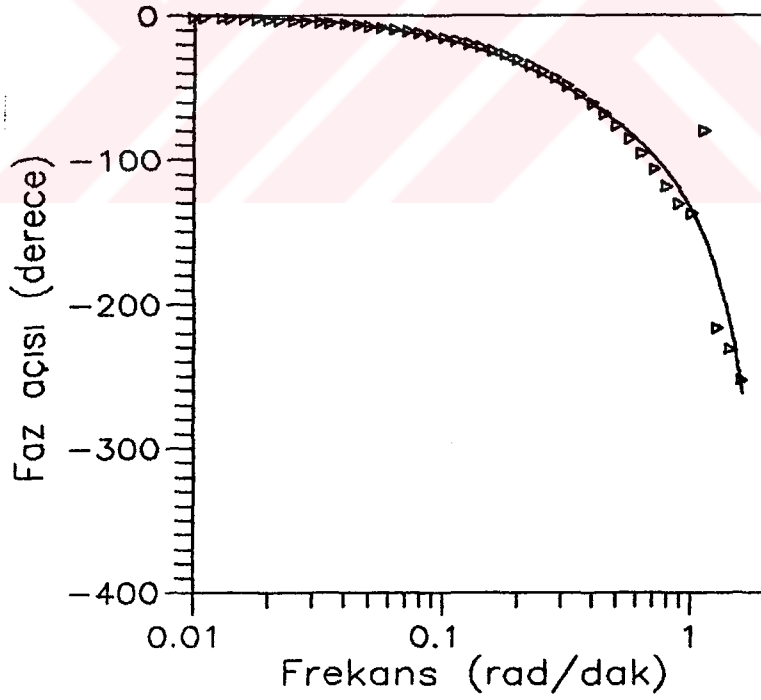
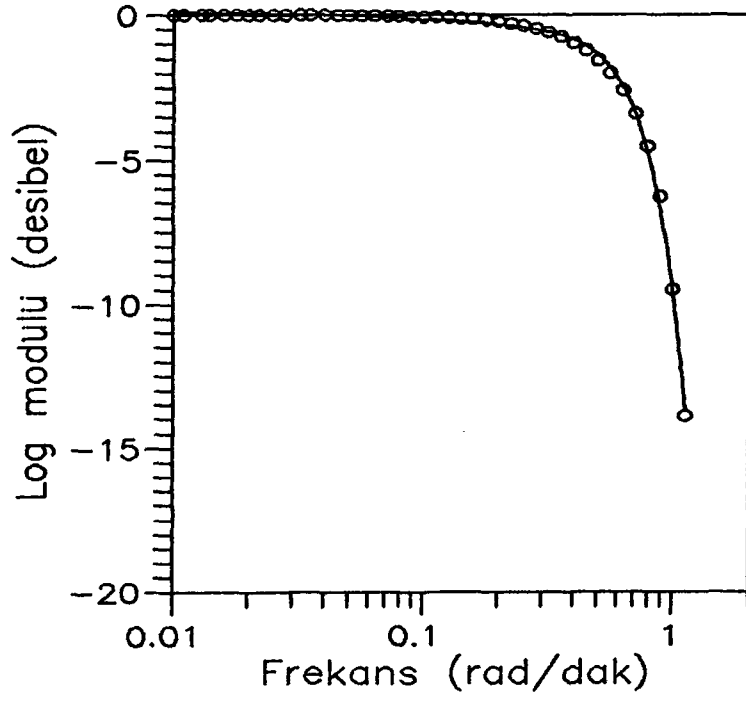
Den. No	A	B	C	D
26	-0.048	2.035	-28.077	16.236
26A	-0.150	-207.294	88.353	-21.126
27	-----	-----	-----	-----
27A	-----	-----	-----	-----
28	0.218	-6.318	20.744	-28.936
28A	0.733	-144.122	25.526	-16.611
29	-0.062	1.660	-20.955	-5.257
29A	-0.276	-132.048	-74.159	153.135
30	-0.123	3.927	-40.034	20.947
30A	2.385	-288.85	210.324	-111.425
31	-0.021	0.672	-8.318	5.788
31A	1.111	-246.110	42.541	-50.352
32	-0.152	3.839	-19.493	7.980
32A	-0.091	-84.036	-14.042	31.498
33	-----	-----	-----	-----
33A	-----	-----	-----	-----
34	0.282	-7.951	-12.300	8.461
34A	0.071	-303.754	178.502	-64.635
35	-----	-----	-----	-----
35A	-----	-----	-----	-----
36	-----	-----	-----	-----
36A	-----	-----	-----	-----



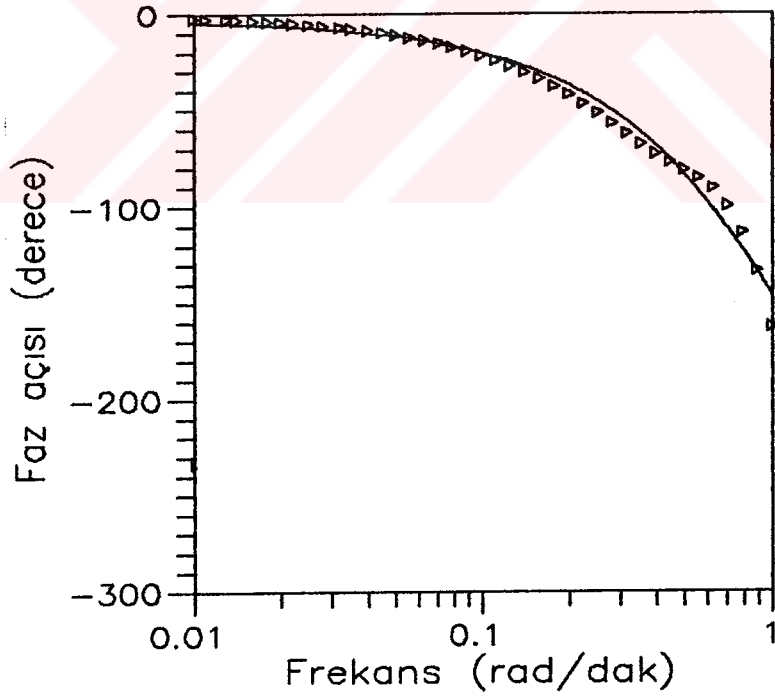
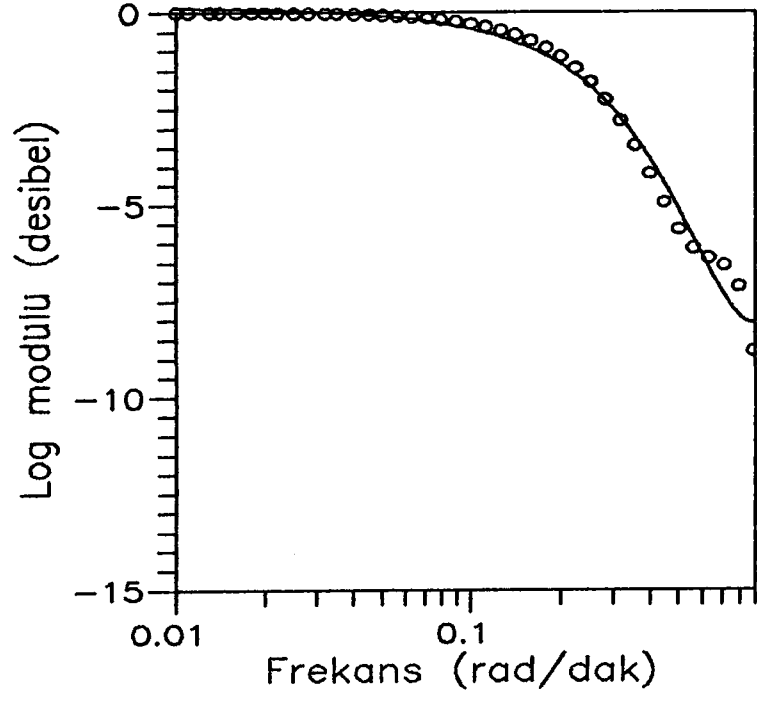
Şekil 5.1 – Deney No 26
Bode Çizimleri



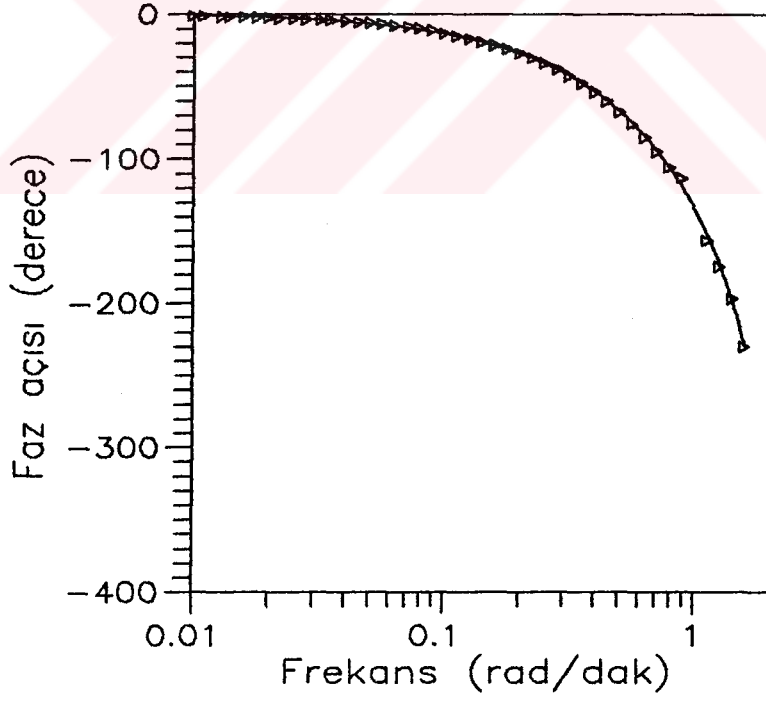
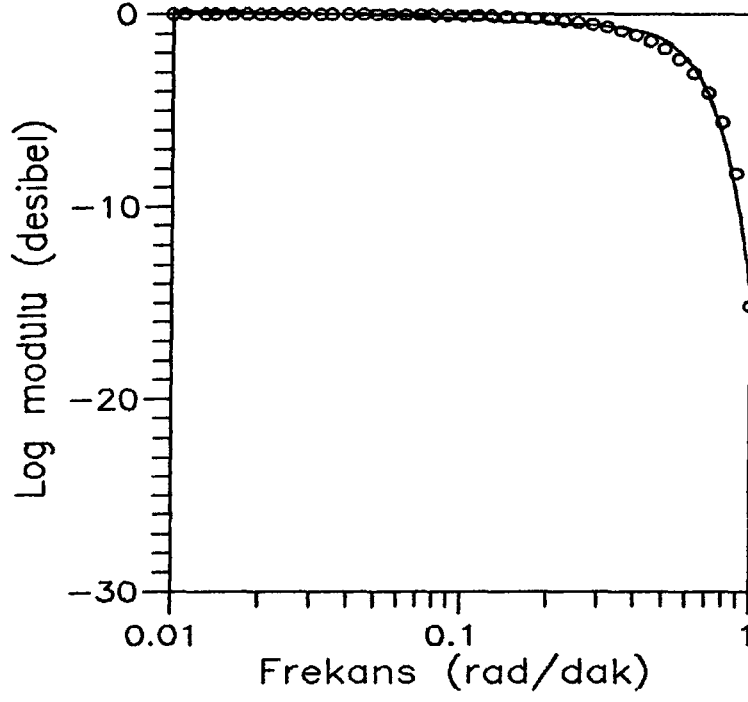
Şekil 5.1A – Deney No 26
Bode Çizimleri



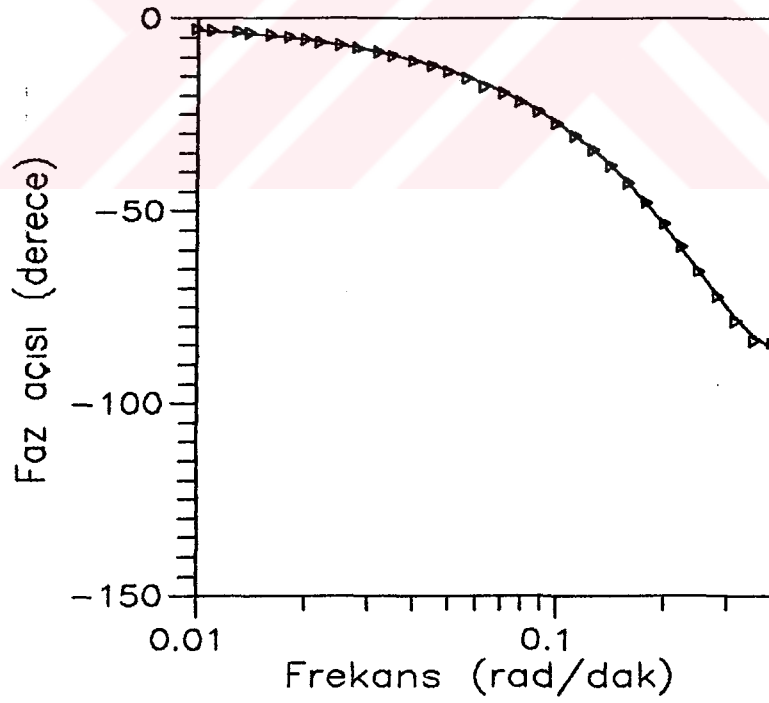
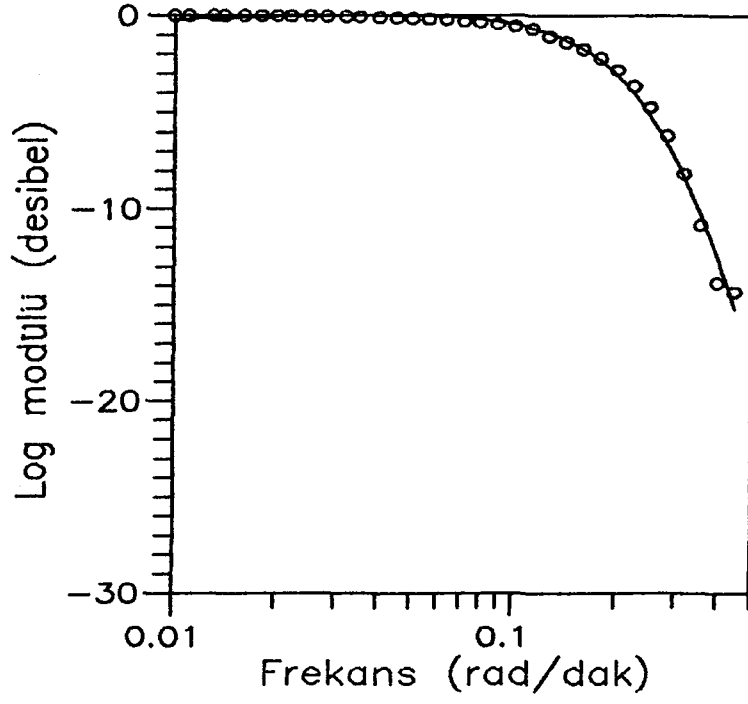
Şekil 5.2 – Deney No 27
Bode Çizimleri



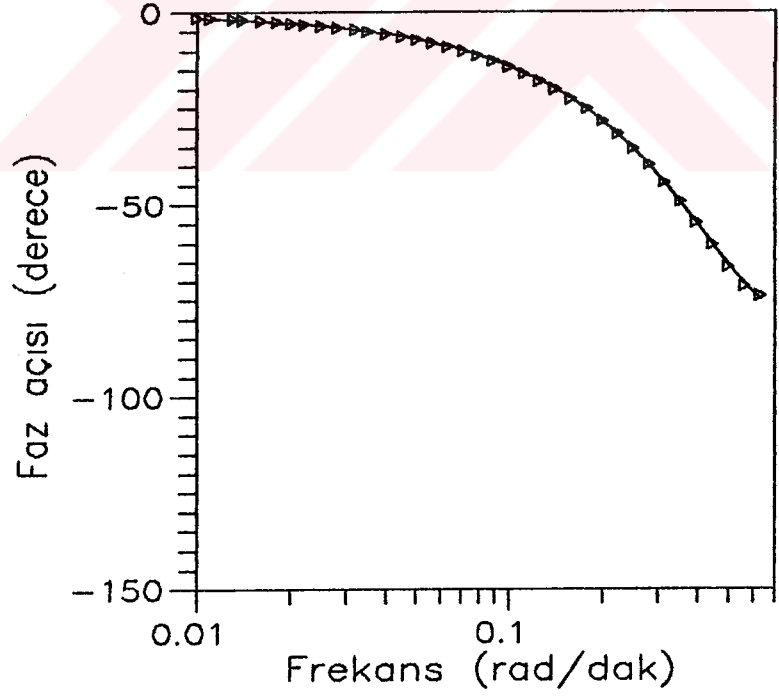
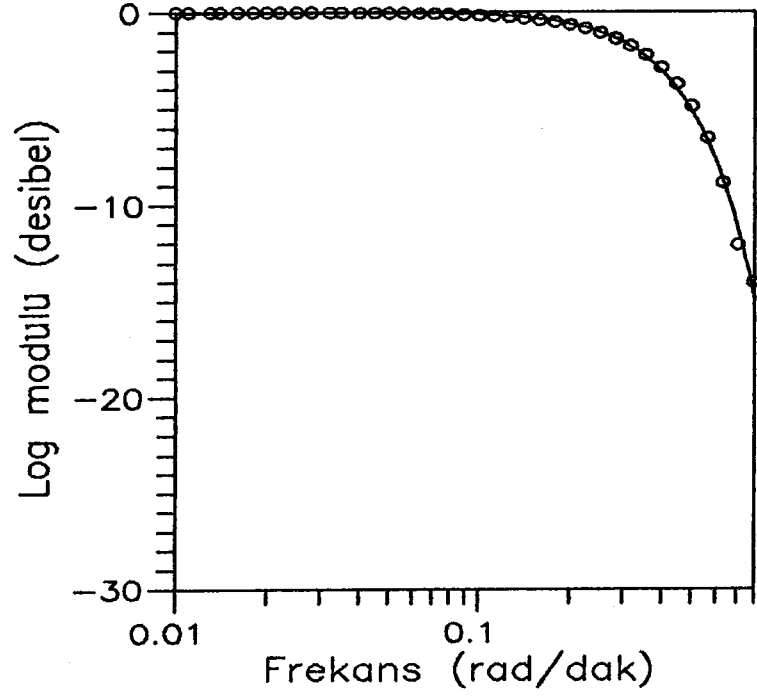
Şekil 5.3 – Deney No 28
Bode Çizimleri



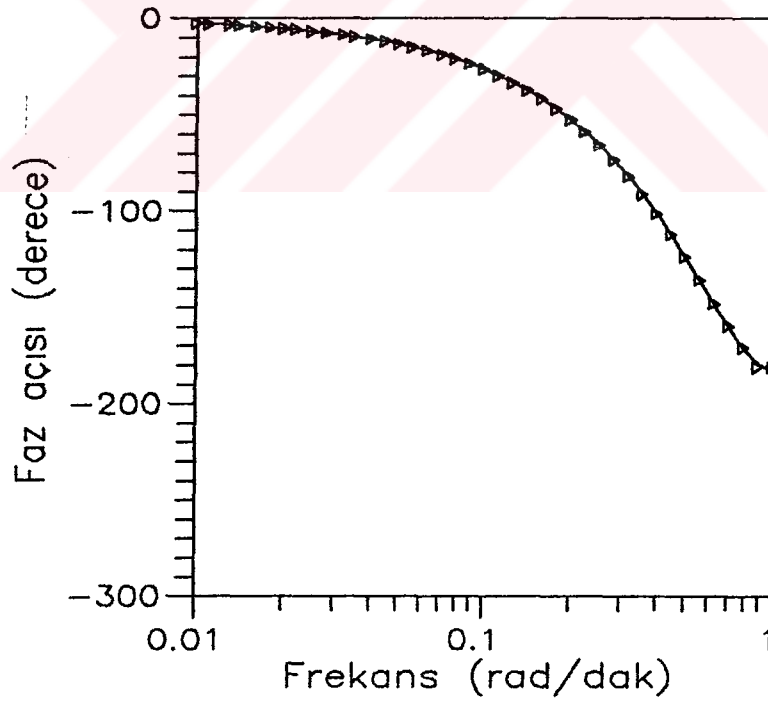
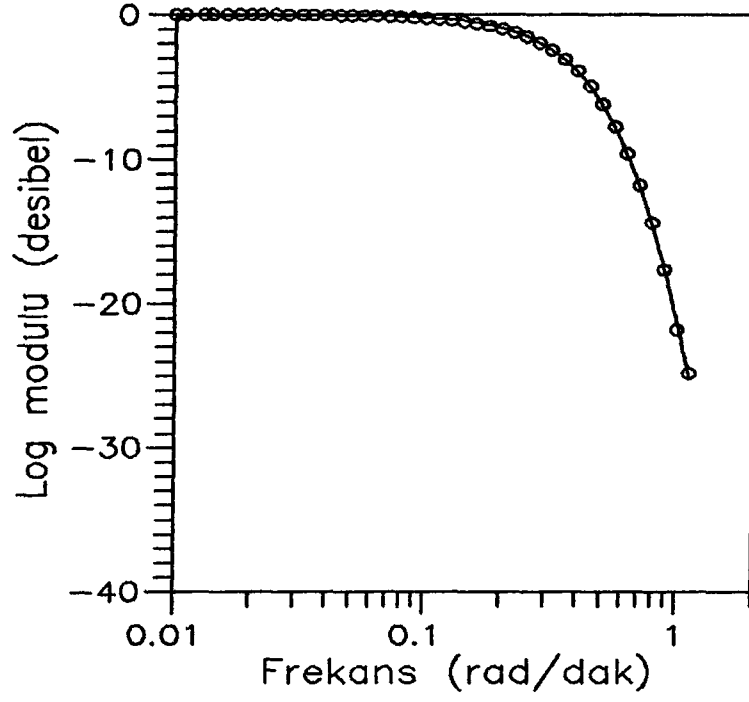
Şekil 5.3A – Deney No 28
Bode Çizimleri



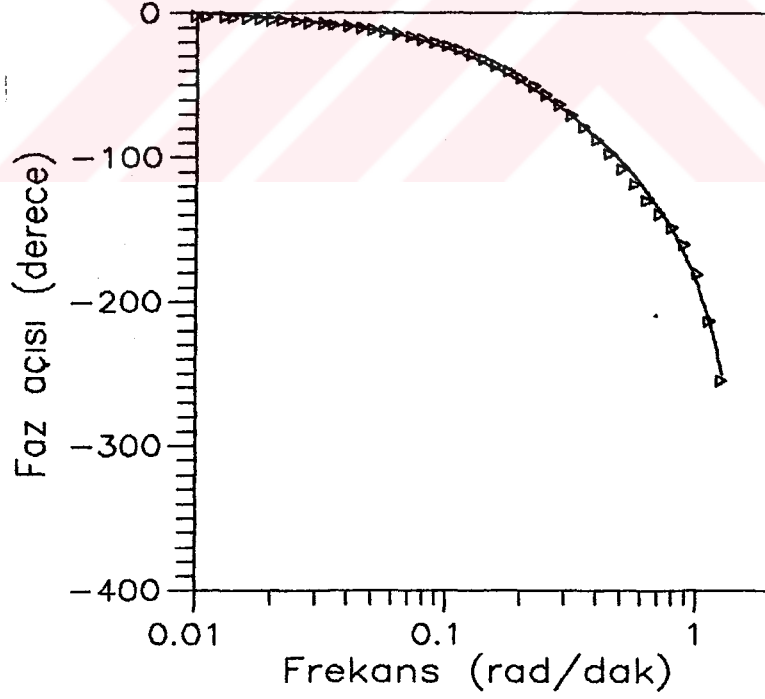
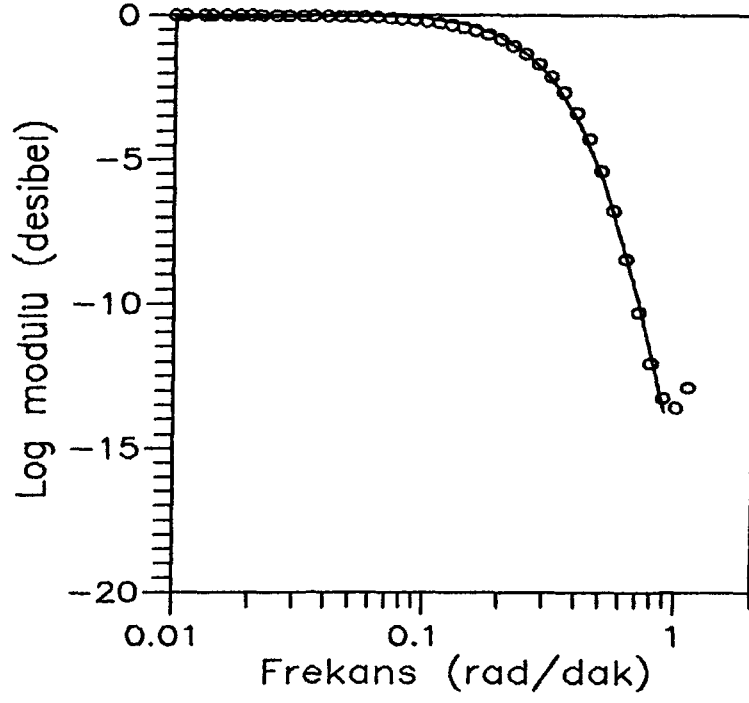
Şekil 5.4 – Deney No 29
Bode Çizimleri



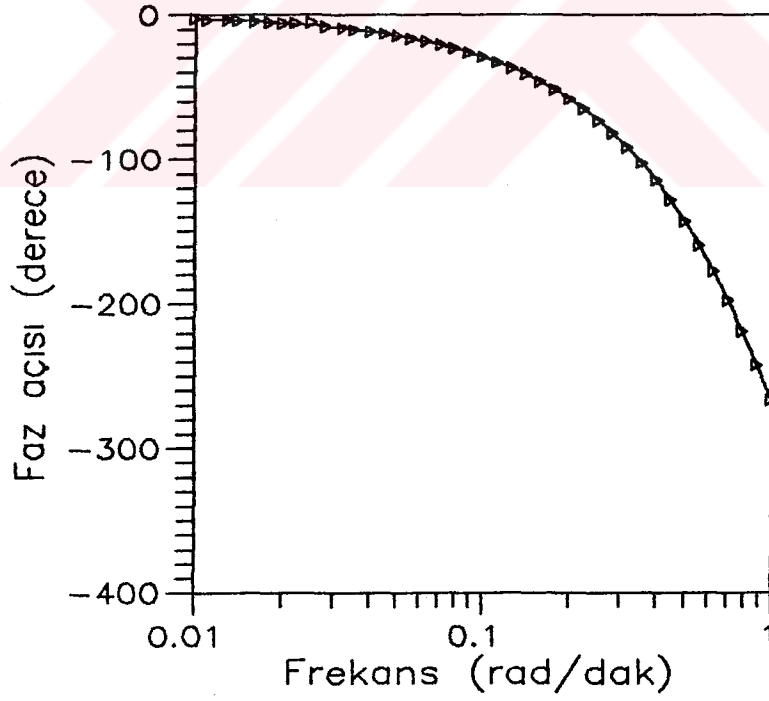
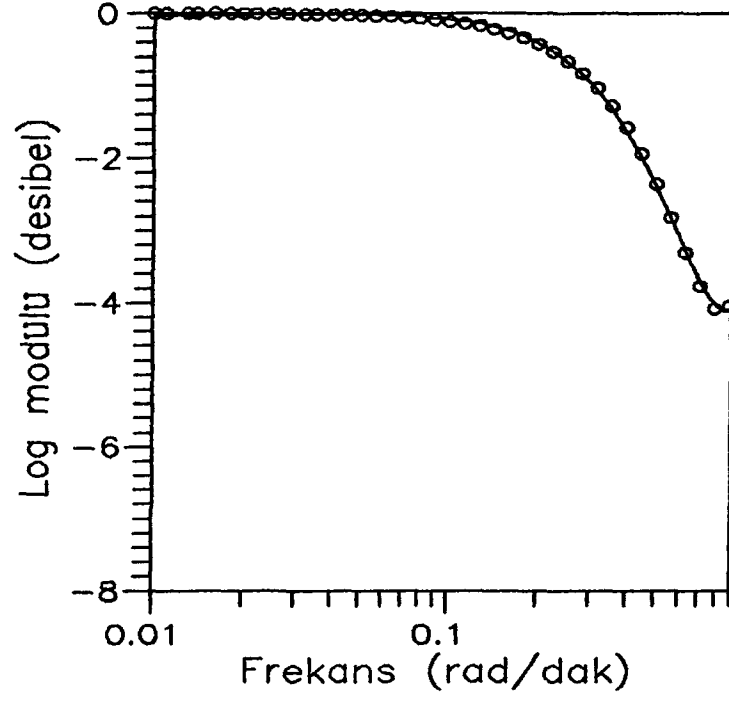
Şekil 5.4A – Deney No 29
Bode Çizimleri



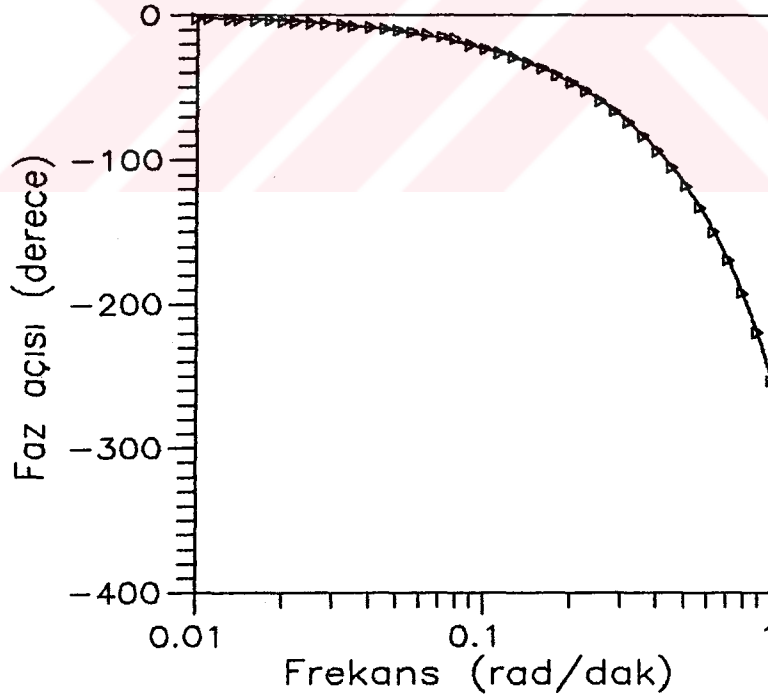
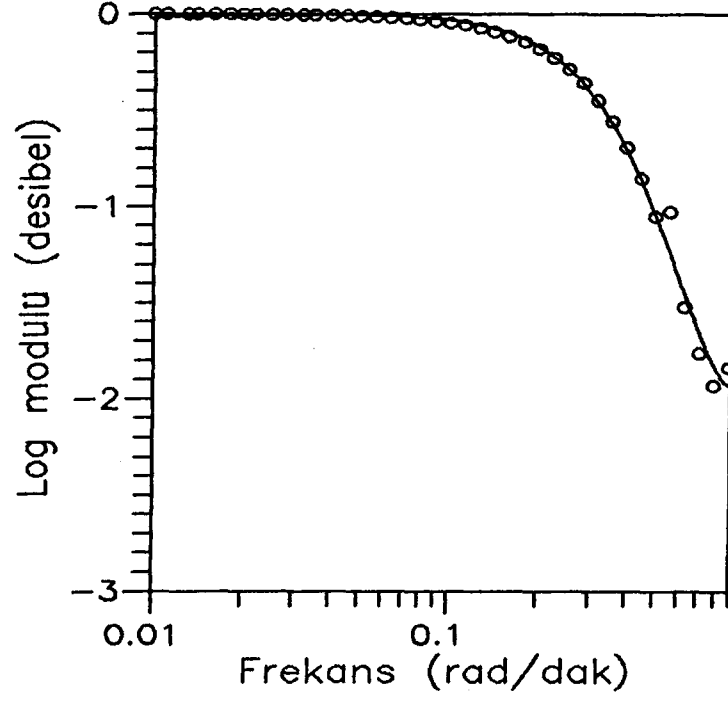
Şekil 5.5 – Deney No 30
Bode Çizimleri



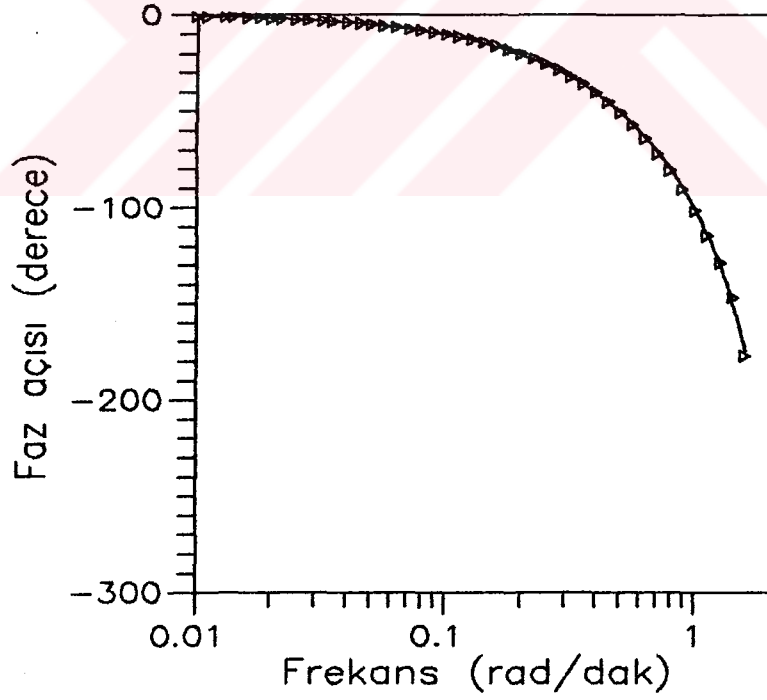
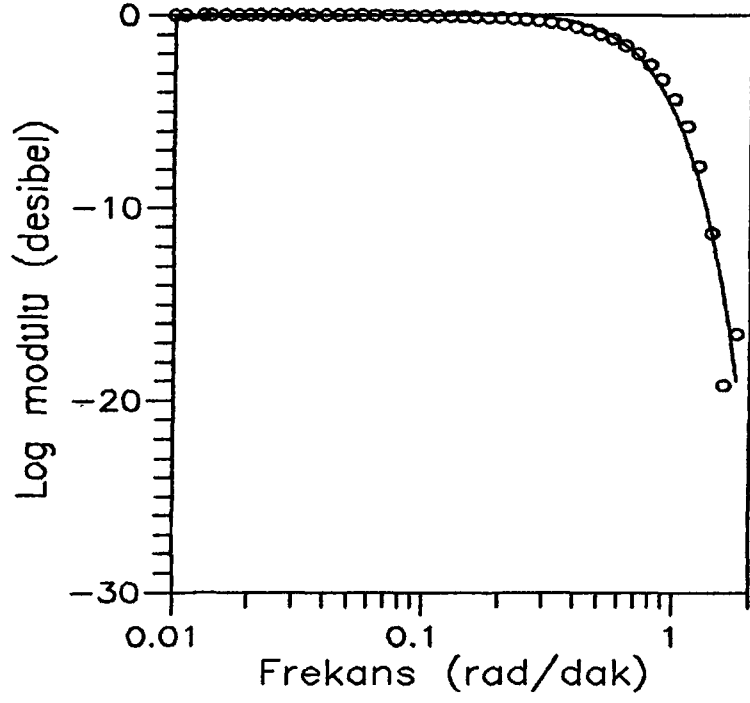
Şekil 5.5A— Deney No 30
Bode Çizimleri



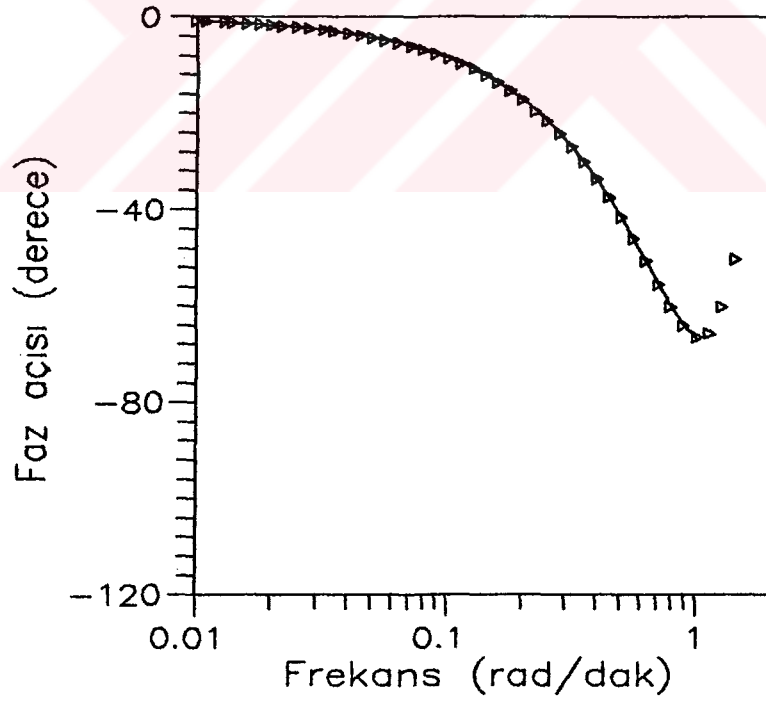
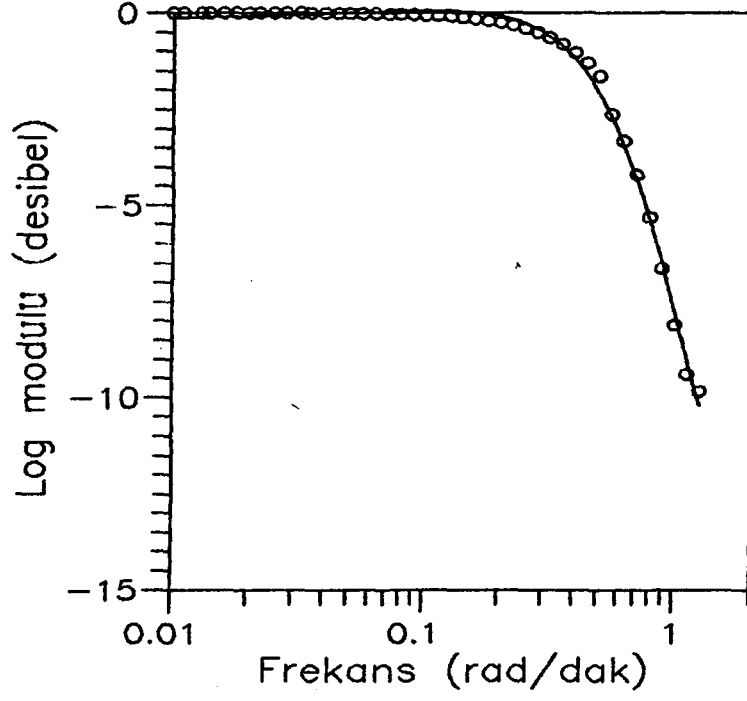
Şekil 5.6 – Deney No 31
Bode Çizimleri



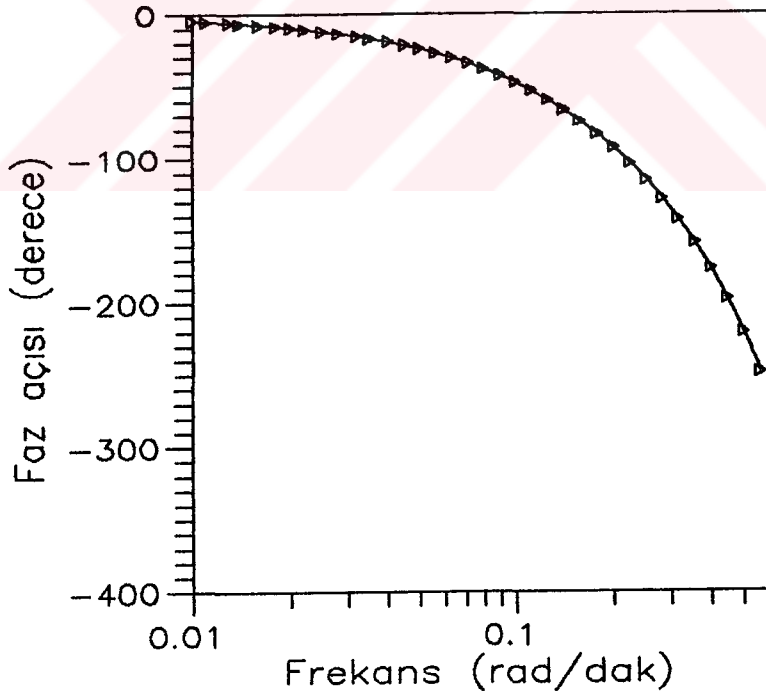
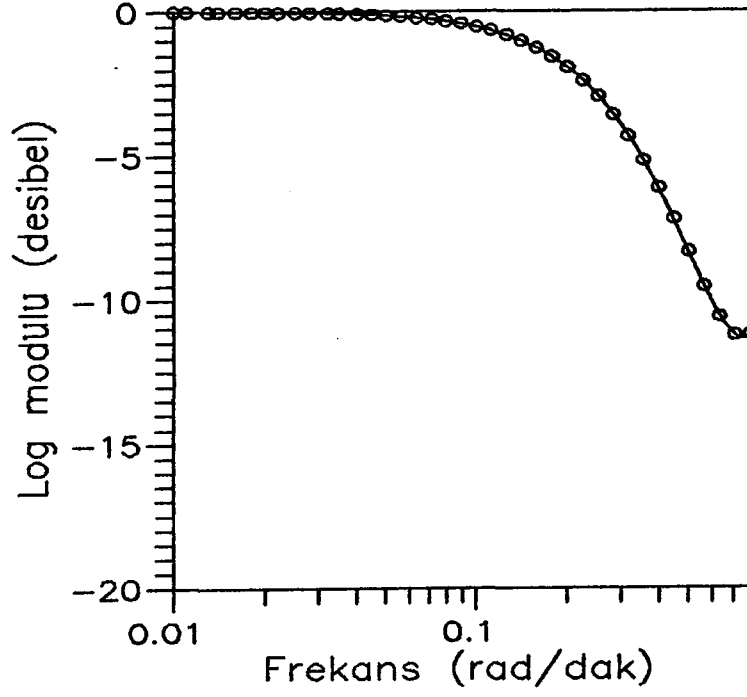
Şekil 5.6A— Deney No 31
Bode Çizimleri



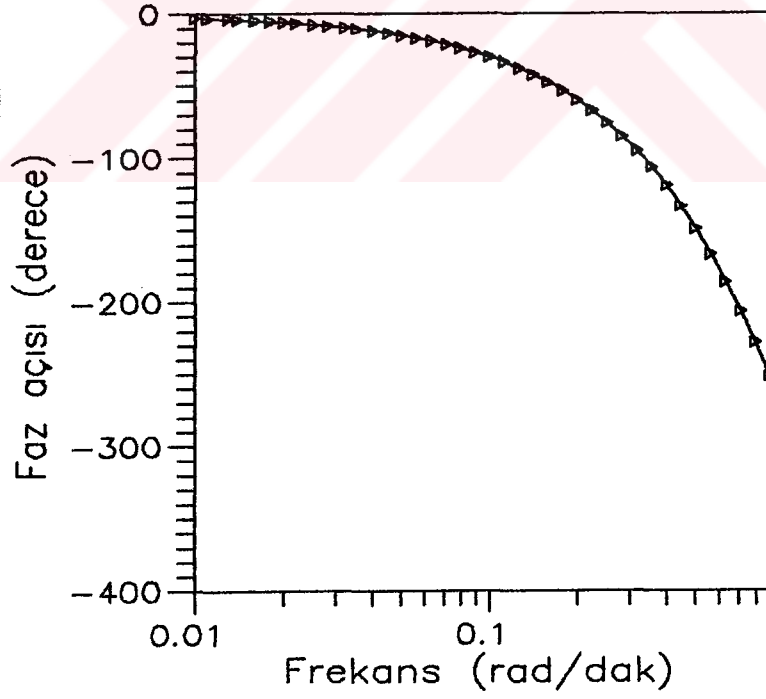
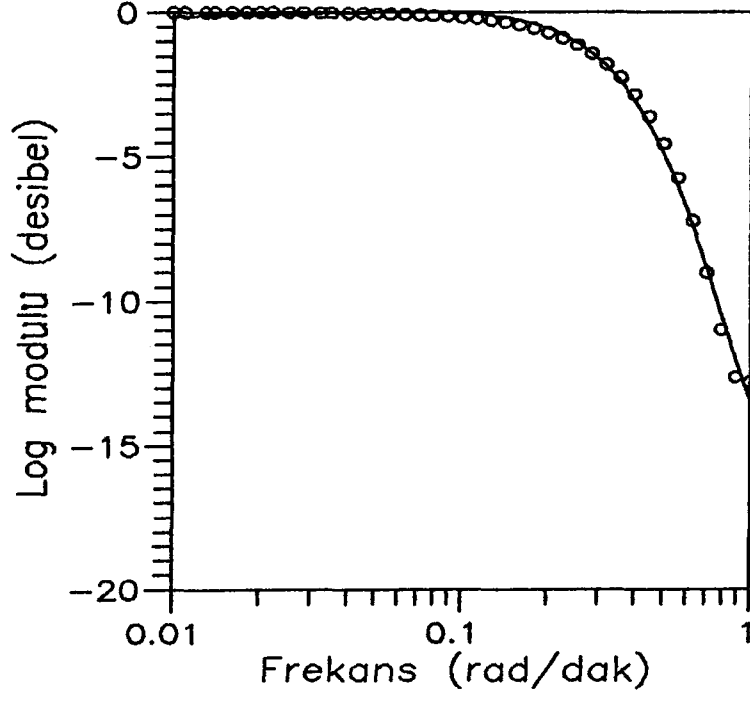
Şekil 5.7 – Deney No 32
Bode Çizimleri



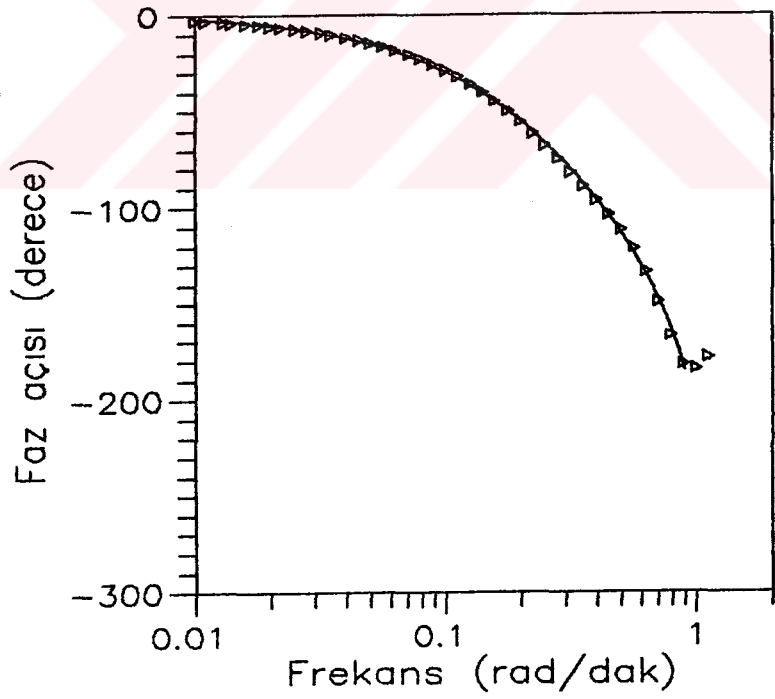
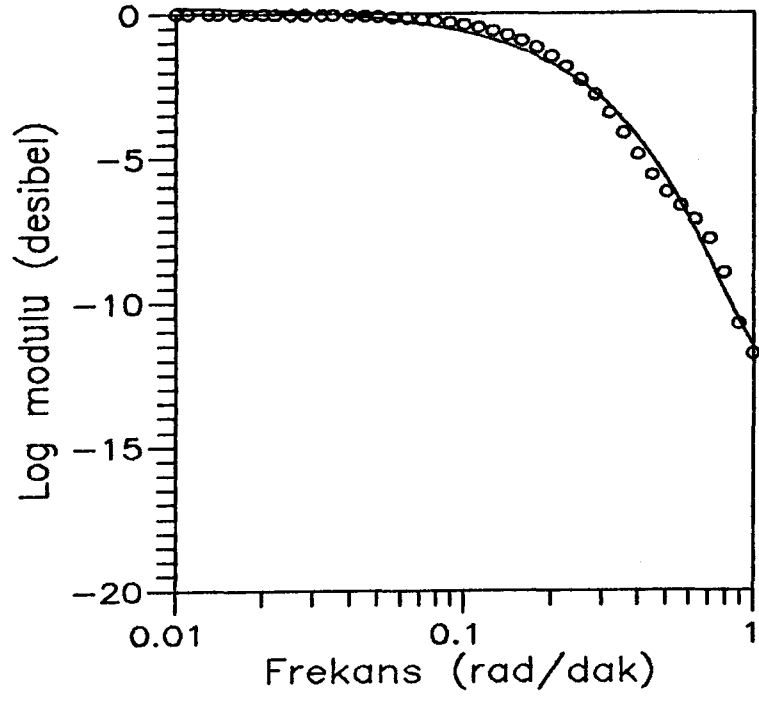
Şekil 5.7A Deney No 32
Bode Çizimleri



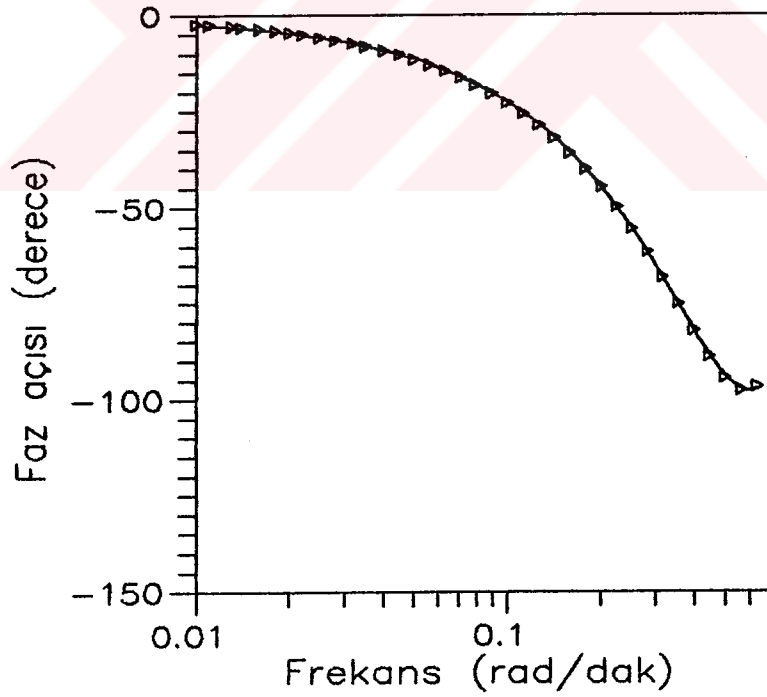
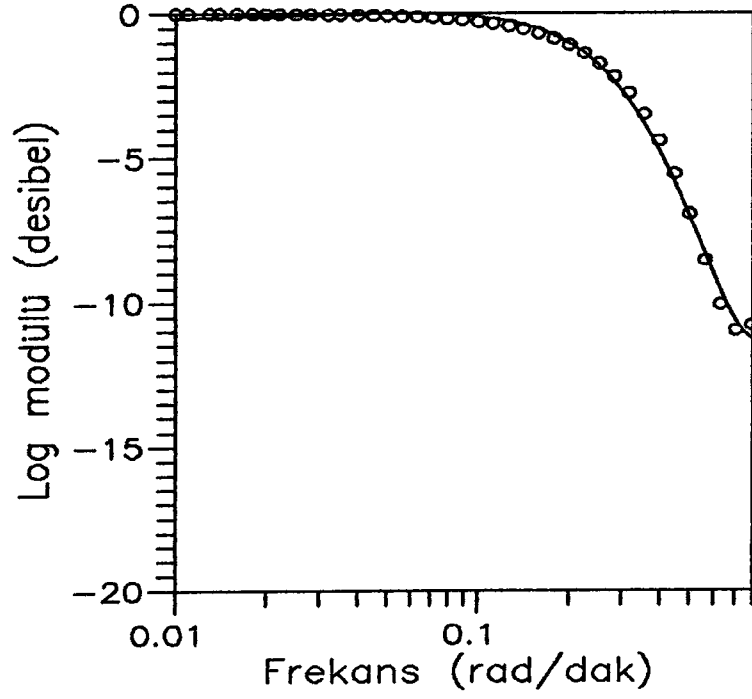
Şekil 5.8 – Deney No 33
Bode Çizimleri



Şekil 5.9 – Deney No 34
Bode Çizimleri

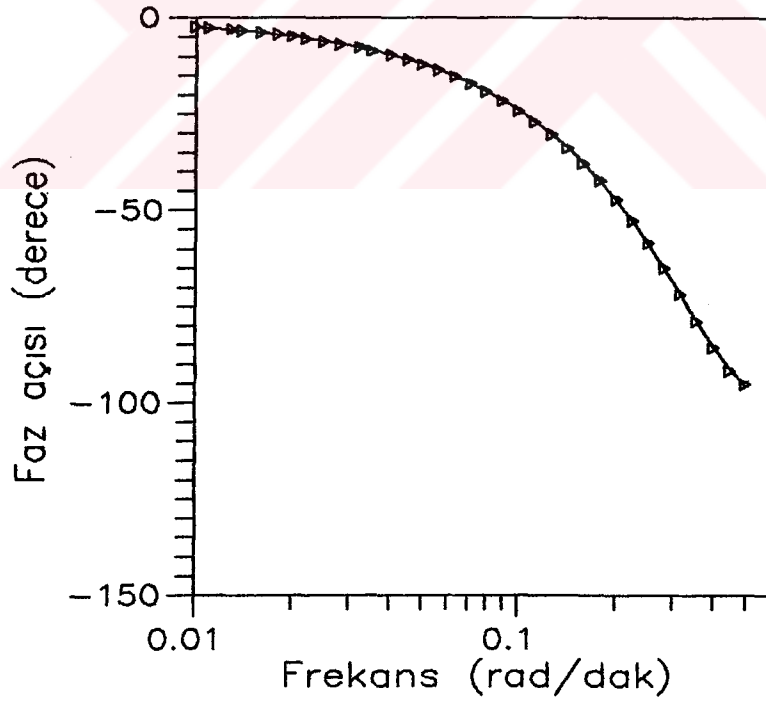
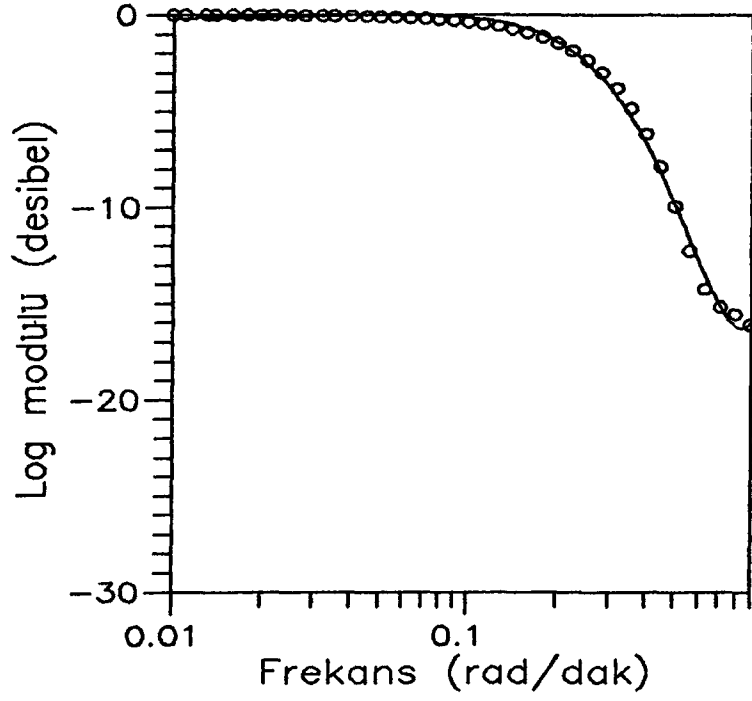


Şekil 5.9A Deney No 34
Bode Çizimleri

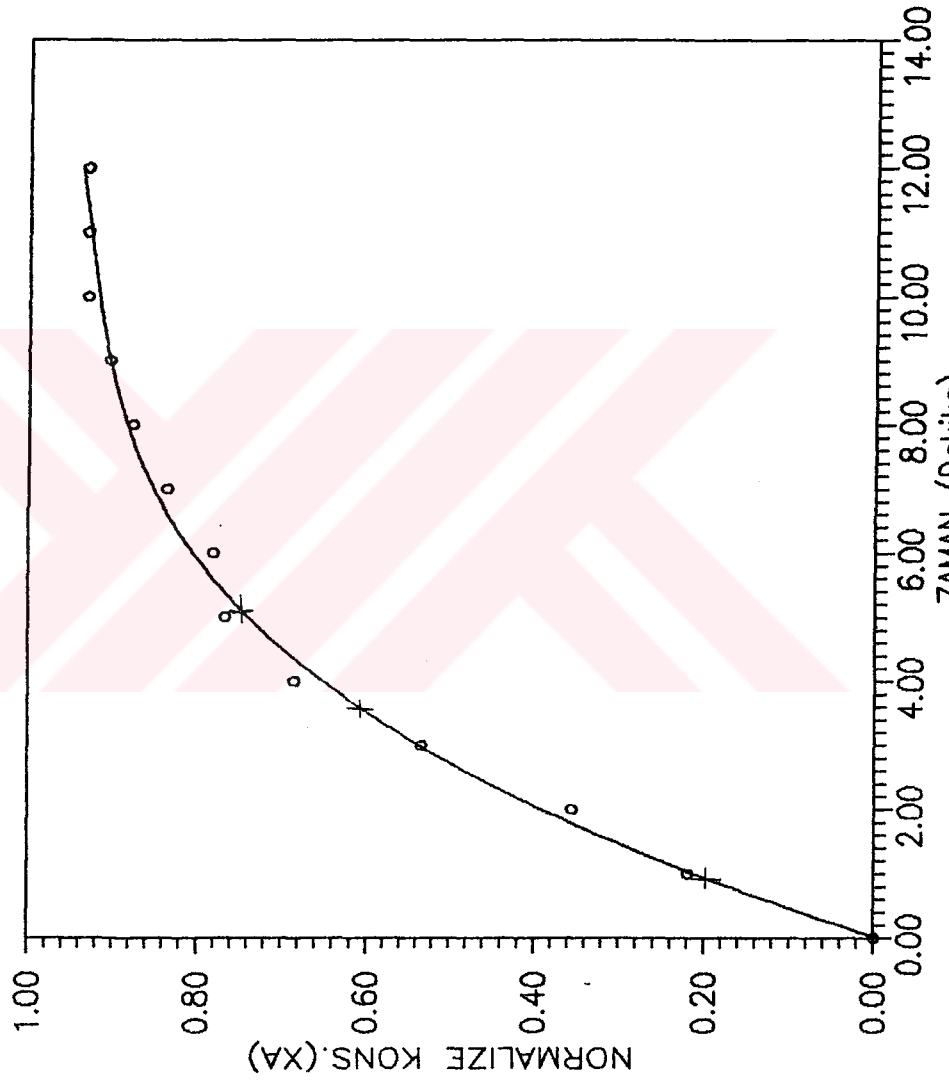


Şekil 5.10 – Deney No 35
Bode Çizimleri

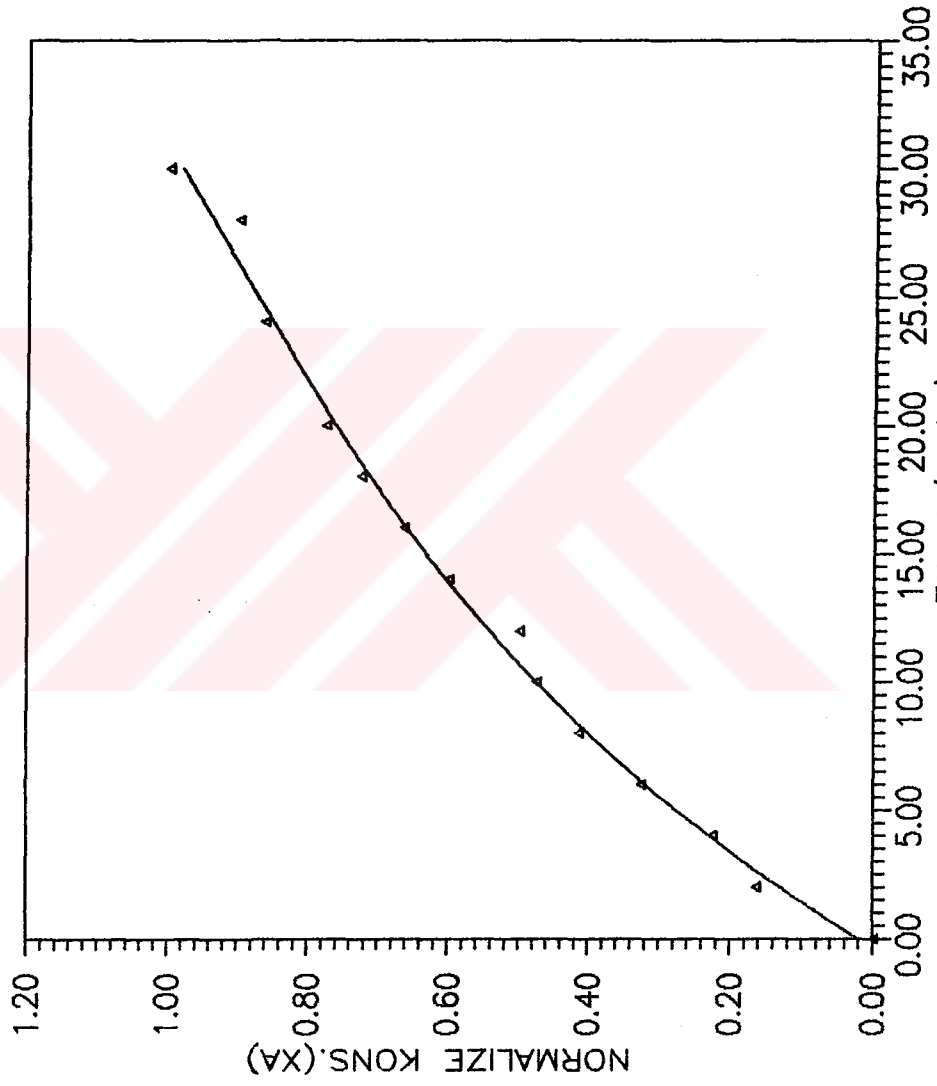
**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**



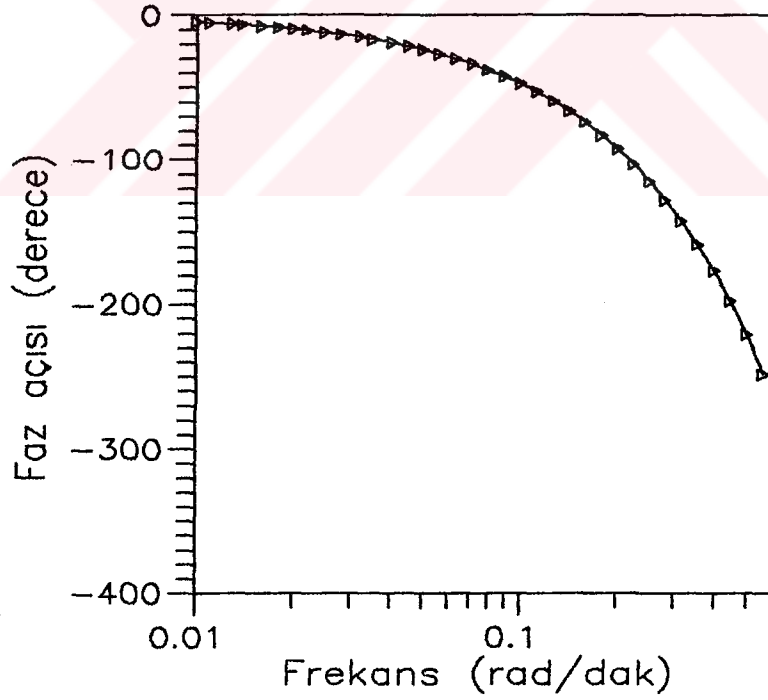
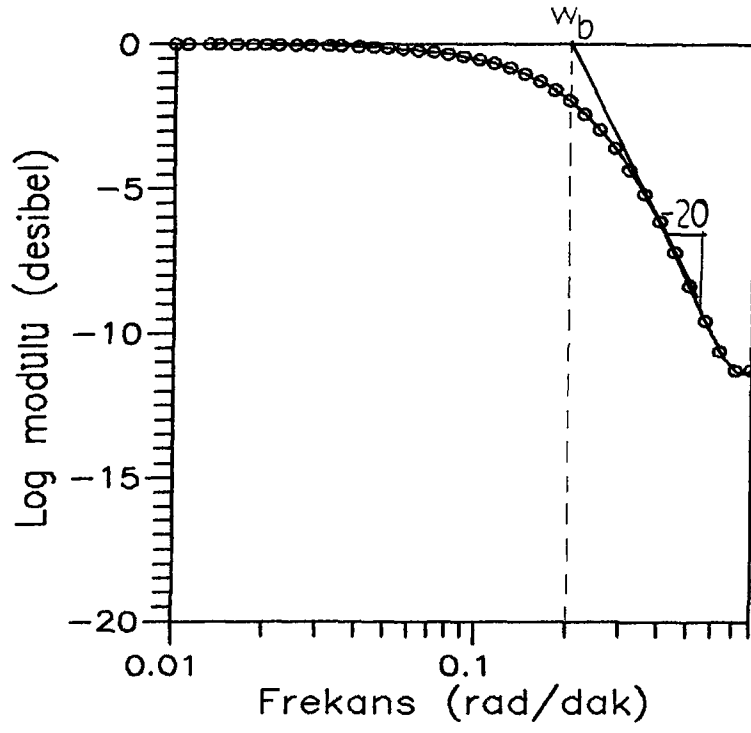
Şekil 5.11 – Deney No 36
Bode Çizimleri



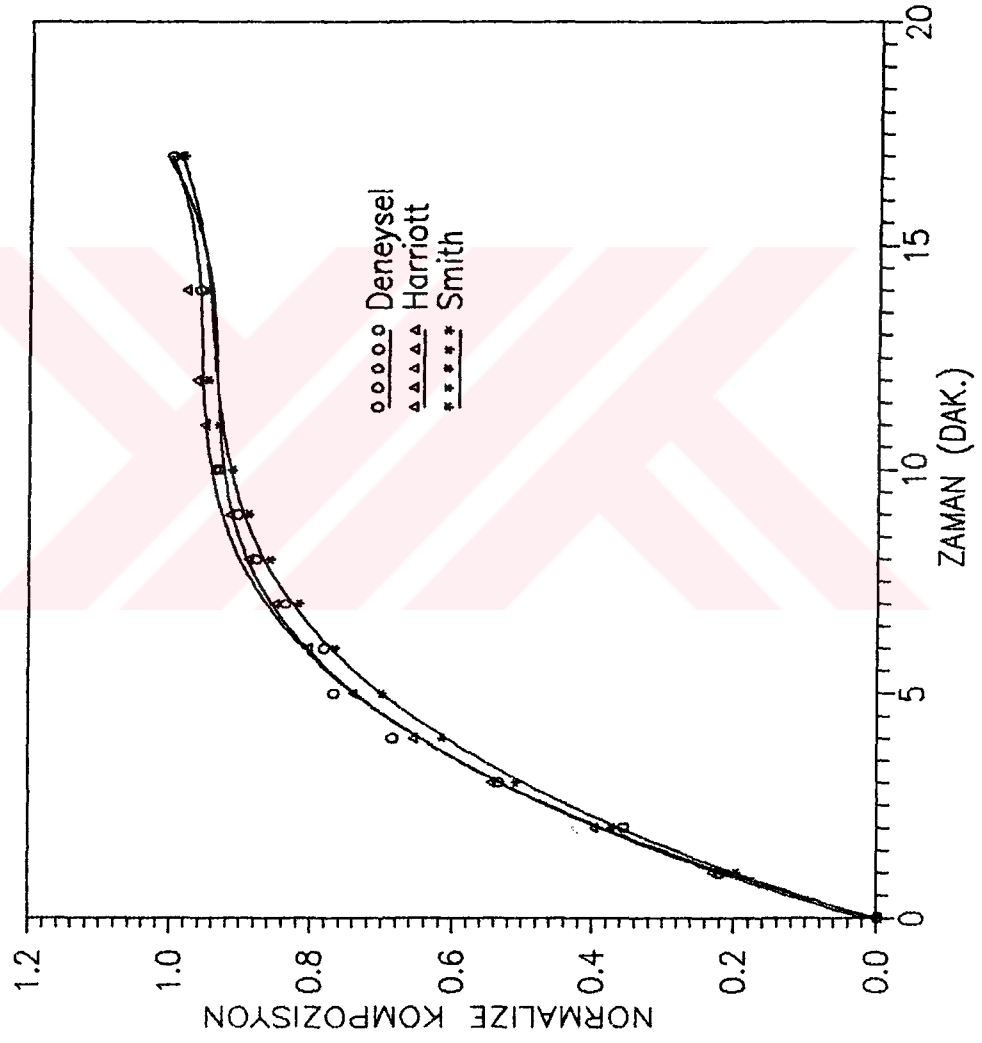
Şekil 5.12 – Deneý No.1 Destilatın Normalize Kompozisyon Cevabı



Şekil 5.13 – Deneý No.1 Bakiýerin Normalize Kompozisyon Cevabı



Şekil 5.14– Deney No 33
Bode Çizimleri



Sekil 5.15- Deneý No.1 Tepe Platosu Basamak Cevabının Öngörülen Modellerle Karşılaştırılması

BÖLÜM VI

SONUÇ

Bu araştırmanın amacı kimya mühendisliği temel işlemlerinin en önemlilerinden olan destilasyon işleminin kontrolü problemlerinin kuramsal ve deneysel açılardan çözümüne katkıda bulunmasıdır. Endüstriyel destilasyon kolonlarının kontrolünde zamansız ve arzu edilmeyen girdi değişkenlerinin değişimleri sonucunda ortaya çıkan kontrol problemlerinin sağlıklı bir biçimde çözülebilmesine katkısı olacak geçici durum dinamik modeli amprik yöntemlerle geliştirilmiştir. Bu geliştirilen modellerle deneysel değerler karşılaştırılmış ve standart sapmaları hesaplanmıştır.

6.1. Yapılan Deneysel ve Kuramsal Çalışmalardan Çıkarılan Sonuçlar

1. Basamak girdilerinde tepe platosu ikinci mertebeden, kazan ise birinci mertebeden davranış göstermiştir.

2. Kazan holdup'ı büyük olduğundan kazanın cevabı tepe platosuna nazaran daha yavaştır. Kazan için hesaplanan ölü zaman tepe platosun için hesaplanan ölü zamandan daha büyüktür.

3. Tepe platosuna Harriott ve Smith metodları uygulanmıştır. Her iki metoda göre zaman sabitleri hesaplanmıştır.

4. Smith metodundan, tepe platosu için $\xi > 1$, değerini aldığı tespit edilmiştir. Buradan cevabın aşırı sönümlü olduğu sonucuna varılmıştır.

5. İlk ve son kararlı hal değerlerinden yararlanarak prosese ait kazançlar hesaplanmıştır.

6. Sundaresan ve Krisnaswamy'nin yöntemine göre proses ölü zamanları hesaplanmıştır.

7. Harriott ve Smith metodundan bulunan zaman sabitleri ikinci mertebeden aşırı sönümlü proses model denkleminde yerine konulmuş ve bu model denklem sonuçları normalize edilen deneysel değerlerle karşılaştırılıp standart sapmaları hesaplanmıştır.

8. Son olarak da basamak girdiye karşılık prosesin Laplace sahasındaki transfer fonksiyonu geliştirilmiştir.

9. Kazan birinci mertebeden prosesler gibi davrandığından, zaman

sabiti birinci mertebeden proseslerdeki gibi hesaplanmıştır. Proses kazancı ve ölü zaman hesapları ise tepe platosunun hesabındaki gibi yapılmıştır.

10. Kazanın kompozisyon değişimi için bulunan zaman sabiti birinci mertebeden model denklemine konulup normalize edilmiş deneysel değerlerle karşılaştırılmış ve standart sapmaları hesaplanmıştır.

11. Son olarak da prosesin Laplace sahasındaki transfer fonksiyonu geliştirilmiştir.

12. Puls girdilerine karşılık tepe ve besleme platosunun temperatur değişimleri incelenmiştir. Bu sıcaklıkların sapma değişimleri dijital bir programa veri olarak girilmiştir.

13. Dijital programdan (Program 1) çıktı olarak prosesin kararlı hal kazancı, Log modülü ve faz kayması değerleri alınmıştır.

14. Ayrıca, eğer istenirse Program 1'den çıktı olarak prosesin kompleks düzlemdeki kök yerleri de alınabilir.

15. Log modülü (db) ile frekans ve faz kayması ile frekans arasındaki ilişkiden besleme ve tepe platoları için Bode çizimleri yapılmıştır.

16. Log modülü ile frekans arasındaki grafikten prosesin zaman sabiti τ hesaplanmıştır. Faz kayması ile frekans arasındaki grafikten ölü zaman hesaplanmıştır.

17. Log modülü ile frekans arasındaki grafiklerin eğimlerinin yaklaşık -20 db/decade olduğu tespit edilmiştir. Bundan dolayı puls girdileri için tepe ve besleme platosunun birinci mertebeden artı zaman gecikmeli prosesler gibi davrandığı sonucuna varılmıştır.

18. Log modülü ile frekans ve faz kayması ile frekans grafiklerinden geçen eğrilerin mertebeleri tayin edilmiştir.

19. Son olarak da, tepe ve besleme platoları için Laplace sahasında transfer fonksiyonları geliştirilmiştir.

6.2. İleride Yapılabilecek Araştırmalara İlişkin Öneriler

Deneylerden elde edilen sonuçlar edinilen tecrübenin ışığında ileride yapılabilecek araştırmalara ilişkin öneriler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Bu araştırmada, basamak girdilere destilasyon kolonunun geçici durum davranışında kolonun tepe platosundan ve kazanından örnekler alınmıştır. Ara platolardan da örnekler alınıp inceleme yapılabilir.

2. Basamak ve kare puls girdi dışında, birim puls (impuls), meğil ve rastgele girdi şeklinde girdiler destilasyon kolonuna uygulanabilir.

3. İlk ve son kararlı hal verileri deneysel olarak tespit edildiğinden prosesin kararlı hale ulaşma suresi hesapsal olarak tayin edilebilir.

4. Bode çizimlerine ilave olarak prosese Nyquist izimleri yapılabilir.

5. Destilasyon kolonunu tanımlayan diferensiyel denklemlerden yararlanarak sayısal bir model geliştirilebilir. Halen böyle bir model üzerinde çalışmalar yapmaktayız.

6. Bütün bu yapılanlar açık devre (open-loop) proses içindir. Destilasyon kolonunda herhangi bir kontrol edici etkisi yoktur. Açık devre çalışmalarından elde edilen veriler, destilasyon kolonunun kontrolünde kullanılabilir.

7. Geliştirilen sayısal modelin davranışı bilgisayarda teorik olarak incelenebilir. Bu incelemeden destilasyon kolonu kontrolü hakkında çok daha detaylı bilgiler edinilebilir.

```

C PROGRAM 1
C Bu program Bode çizimleri için gerekli datayı üretir
C
DIMENSION QIN(200),TIN(200),XOUT(200),TOUT(200)
COMPLEX GNUM,GDENOM,G1,G2,G3,G4,G5,G
C
200 READ (5,1) NIN,NOUT,WO,WMAX,WNUM
1 FORMAT (2I5,7F10.5)
IF(NIN.EQ.0) STOP
DO 5 I=1,NIN,4
IP3=I+3
5 READ (5,6) (QIN(K),TIN(K),K=I,IP3)
WRITE (6,11)
11 FORMAT(1H1,' TIN QIN')
DO 12 I=1,NIN
12 WRITE (6,9) TIN(I),QIN(I)
6 FORMAT (8F10.5)
DO 10 I=1,NOUT,4
IP3=I+3
10 READ (5,6) (XOUT(K),TOUT(K),K=I,IP3)
WRITE (6,7)
7 FORMAT(1H0,' TOUT XOUT')
DO 8 I=1,NOUT
8 WRITE (6,9) TOUT(I),XOUT(I)
9 FORMAT(1X,10F10.5)
DW=10.**(1./WNUM)
W=0
100 IF(W.GT.WMAX) GO TO 200
IF(NIN.GT.1) GO TO 30
C
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
25 GDENOM=CMPLX(QIN(1)*TIN(1),0.)
GO TO 50
C
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
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

```

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.
WRITE (6,75) W,G,DB,DEG
75  FORMAT(1X,F10.3,(2F10.5),2F10.2)
W=W*DW
GO TO 100
90  GAIN=REAL(G)
WRITE(6,91) GAIN
91  FORMAT(1H1,'STEADYSTATE GAIN =',F10.3)
WRITE (6,92)
92  FORMAT(1X,'FREQUENCY REAL IMAGINARY LOG MODULUS ANGLE')
WRITE(6,93)
93  FORMAT(1X,'(RADIANS/TIME)')
W=WO
GO TO 100
END

```

```

.0 CLS
20 ' PROGRAM 2
30 ' McCabe-Thiele yöntemine göre raf raf teorik plato sayısı hesabı.
40 ' Bu programda q değeri 1' den farklı değerler alabilmektedir ve
50 ' bu program Takviye sütunu işletme doğrusu denklemini, Sürüklenme
60 ' sütunu işletme doğrusu denklemlerini de hesaplar.
70 PRINT "Buhar komp.", "Sıvı komp.", "Plato sayısı"
80 READ XF,XD,XB,R,D,W,F,YT,AL,Q
90 LN =R*D:VN =LN+D
.00 Y=YT:I=0
.10 X=Y/(AL-Y*(AL-1))
.20 YY=LN/VN*X+D/VN*XD
.30 I=I+1
.40 IF X< XF THEN 170
.50 PRINT YY,X,I
.60 Y=YY:GOTO 110
.70 PRINT "TAKVIYE STUNU ISLETME DOGRUSU"
.80 PRINT "YT=";LN/VN;"X+";D/VN*XD
.90 XI=((LN/D+1)*XF-(Q-1)*XD)/(LN/D+Q)
200 YI=(LN/D*XF+Q*XD)/(LN/D+Q):K=I+1
210 PRINT YY,X,K
220 E=(YI-XB)/(XI-XB):B=XB-E*XB
230 YY=E*X+B
240 XY=YY/(AL-YY*(AL-1)):K=K+1
250 PRINT YY,X,K
260 IF XY<XB THEN 280
270 X=XY:GOTO 230
280 DATA .689,.96,.423,1,7.367,10.467,17.834,.96,2.481,1
290 PRINT "SURUKLEME STUNU ISLETME DOGRUSU"
300 PRINT "YS=";E;"X";B

```

Buhar komp.	Sıvı komp.	Plato sayısı
.9331551	.9063101	1
.9045484	.8490967	2
.8762577	.7925153	3
.8502719	.7405438	4
.8279738	.6959475	5
TAKVIYE STUNU ISLETME DOGRUSU		
YT= .5 X+ .48		
.8099302	.6598605	7
.7805168	.6598605	8
.6736279	.589045	9
.4699783	.4541238	10
SURUKLEME STUNU ISLETME DOGRUSU		
YS= 1.509398 X-.2154755		

ok

```

10 ' Program 3
20 ' Bu program kesirsel cevap eğrileri için öngörülen polinomlardan
    yararlanarak ikinci mertebeden sistemlerin zaman sabitlerini bulur.
30 A=.0251667
40 B=.230884
50 C=-.0178345
60 D=4.48646E-04
70 E=0
80 F=0
90 H=.73
100 DEF FNY(X)=A+B*X+C*X^2+D*X^3-H
110 DEF FNT(X)=B+2*C*X+3*D*X^2
120 REM G,BASLANGIC DEGERI,I,SAYAC
130 INPUT G
140 X=G-FNY(G)/FNT(G)
150 IF ABS(X-G)<.0001 THEN 180
160 G=X
170 I=I+1:GOTO 140
180 PRINT 'X=';X,"I=";I
190 TOPT=X/1.3
200 T=.5*TOPT
210 YY=A+B*T+C*T^2+D*T^3
220 PRINT "YY=";YY,"TOPT=";TOPT,"T=";T
230 DEF FNG(X)=.379-.475178*X+.491071*X^2-YY
240 DEF FNS(X)=-.475178+2*.491071*X
250 INPUT K
260 X=K-FNG(K)/FNS(K)
270 IF ABS(X-K)<.001 THEN 310
280 K=X
290 IF N>=500 THEN 310
300 N=N+1:GOTO 260
310 PRINT "X=";X,"N=";N
320 T1=TOPT*X
330 T2=TOPT-T1
340 PRINT "ZAMAN SABITLERI"
350 PRINT "T1=";T1,"T2=";T2
360 STOP

```

```

00 ' Program 4
00 ' Bu program normalize cevap eğrilerinden faydalanarak ikinci mertebede
sistemlerin köklerini ve sönüm oranlarını bulur.
00 A=-.187269
00 B=.209084
00 C=-.0122155
00 D=2.34539E-04
00 E=0
00 H=.6 :K=1 :GOTO 100
00 H=.2 :K=K+1
00 DEF FNY(X)=A+B*X+C*X^2+D*X^3-H
00 DEF FNT(X)=B+2*C*X+3*D*X^2
00 REM G BASLANGIC DEGERI
00 INPUT G
00 X=G-FNY(G)/FNT(G)
00 PRINT
00 IF ABS(X-G)<.0001 THEN 190
00 G=X
00 I=I+1:GOTO 140
00 PRINT "X=";X,"I=";I
00 IF K=1 THEN TA=X
00 IF K>=2 THEN 230
00 GOTO 90
00 IF K=2 THEN TY=X
00 PRINT "TA=";TA,"TY=";TY
00 TOR=TY/TA :PRINT "TOR=";TOR
00 PRINT "TO YU GIR"
00 INPUT P
00 KI=33.2548-TOR*217.3+493.488*TOR^2-379.663*TOR^3
00 IF KI<1 THEN 330
00 T1=P*KI+P*SQR(KI^2-1)
00 T2=P*KI-P*SQR(KI^2-1)
00 PRINT "T1=";T1,"T2=";T2,"KI=";KI
00 PRINT "T,ZAMAN SAB.";P,"KISI DEG.";KI
00 STOP

```

```

10 'Program 5
20 ' Bu program puls girdisi için üretilen faz açılarından
    proses ölü zamanını hesaplar.
30 DIM W(100),A(100),R(100),OZ(100)
40 INPUT "N";N
50 INPUT "T1'i gir";T1
60 FOR I= 1 TO N
70 READ W(I)
80 NEXT I
90 PRINT
100 FOR I= 1 TO N
110 READ B(I)
120 A(I)=B(I)*(3.141593/180)
130 NEXT I
140 PRINT
150 FOR I=1 TO N
160 R(I)=A(I)+ATN(W(I)*T1)
170 DEG(I)=R(I)*180/3.141593
180 OZ(I)=-R(I)/W(I):PRINT USING"###.###  ";OZ(I),R(I),DEG(I)
190 TOZ=TOZ+OZ(I)
200 NEXT I
210 OLUZ=TOZ/N
220 PRINT "OLU ZAMAN ";OLUZ
230 DATA .01,.02,.05,.1,.2,.5,1.
240 REM PULS TESTI ACI DEGERLERI
250 DATA -6.9,-13.6,-32.3,-56.5,-86.4,-136.0,-198.9
260 STOP

```


ÖZET

Bu çalışmanın amacı delikli platolu bir destilasyon kolonunun dinamik davranışının incelenmesidir.

Bu çalışmada etilasetat - toluen ikili karışımının sürekli destilasyonu sırasında , kolona basamak girdi değişkeni olarak ; besleme türünü konsantrasyonu, besleme türünü debisi ve reflüks oranı değişimleri uygulanmıştır.

Puls girdi değişkeni olarak da kolona ısı girişi ve reflüks değişimleri uygulanmıştır.

Bu girdi değişimlerine destilasyon kolonunun verdiği cevap deneysel olarak incelenmiştir.

Deneyler 3.5 cm. çaplı, 3 m. yükseklikte 53 platodan oluşan delikli platolu bir destilasyon kolonunda yapılmıştır.

Toplam olarak 36 adet deney yapılmıştır, bunlardan ilk 25 deneyde basamak şeklindeki girdiler incelenmiştir. Geri kalan 11 deneyde ise kare puls (rectangular pulse) girdileri incelenmiştir.

Basamak girdi değişimlerinin incelenmesinde Harriott Metodu ve Smith Metodu kullanılmıştır. Bu metodların öngördüğü modellerle normalize edilmiş deneysel değerler karşılaştırılmış ve standart sapmalar hesaplanmıştır.

Tepe platosu ikinci mertebeden , kazan ise birinci mertebeden davranış gösterdiğinden, tepe platosu için ikinci mertebeden ve kazan için birinci mertebeden proseslerde olduğu gibi hesap yapılmıştır.

Ayrıca tepe platosu ve kazan için proses kazançları ve ölü zamanlar hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlerden prosese ait transfer fonksiyonları türetilmiştir.

Puls girdi ve çıktılarının sapma değişimlerinden faydalanarak dijital bir bilgisayar programı (program 1) vasıtasıyla prosese ait Bode Çizimleri elde edilmiştir. Bode Çizimleri'nden proses zaman sabitleri bulunmuş ve Prosese ait ölü zamanlar ve proses kazançları hesaplanmıştır.

Hesaplanan bu değerlerden prosese ait transfer fonksiyonları türetilmiştir.

SUMMARY

The aim of this study is to examine the dynamic behavior of a perforated plate distillation column.

In this study, during the continuous distillation of the binary mixture of ethyl acetate-toluene, feed concentration, feed flow rate and reflux ratio have been applied to the column as step variables. Also, heat input and reflux variations have been applied to the column as pulse input variables.

The responses of the distillation column to these input variables have been examined. The experiments have been performed in a perforated plate distillation column of 3.5 cm diameter and 3 m height and 53 plates.

In the first 25 experiments, out of 36 experiments performed, step input have been studied. Rectangular pulse inputs have been studied in the remaining 11 experiments.

Harriott Method and Smith Method have been used to study of the step input variations.

The normalized experimental data have been compared to the models predicted by these methods.

The standard variations obtained from these comparisons have been calculated.

The calculations have been made as in the first order process for the reboiler and as in the second order process for the top plate, since the reboiler behaves as a first-order process and the top plate as a second-order process.

Furthermore, the dead times and process gains have been calculated for the top plate and reboiler.

The process transfer functions have been derived from these calculated data.

Bode diagrams of the process have been obtained from pulse inputs and outputs variations by the computer program (program 1). The process time constants, gains and dead times have been calculated by Bode diagrams. The process transfer functions have been derived from these calculated data.

ÖZGEÇMİŞ

Ben Ş. İsmail KIRBAŞLAR, 12 Nisan 1964 'de Balıkesir'in Susurluk ilçesinde dünyaya geldim. İlk ve Orta Öğrenimimi Susurluk'da tamamladım.

1982 yılında, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nde üniversite öğrenimime başladım. 1986 yılı haziran ayında kimya mühendisi olarak mezun oldum.

1986 ekim ayında İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Yüksek Lisans Öğrenimime başladım ve 1988 yılı eylül ayında kimya yüksek mühendisi olarak mezun oldum. Askerlik görevimi kısa dönem er olarak yaptım.

1989 yılı ekim ayında İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde doktora öğrenimime başladım.

1987 yılı Mayıs ayında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Temel İşlemler ve Termodinamik Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak göreve başladım ve halen bu görevime devam etmekteyim.

Evliyim ve 3 yaşında bir kızım var.

KAYNAK LISTESİ

1. P. Harriott, "Process Control", McGraw-Hill, New York, (1964).
2. A. Rose ve R.C. Johnson, *Chem. Eng. Progr.*, **49**, 15, (1953).
3. A. Rose , R.C. Johnson ve T.J. Williams, *Ind. Eng. Chem.*, **48**, 1173 (1956).
4. H.H. Rosenbrock, *Brit. Chem. Eng.*, **3**, 491, (1958).
5. W.R. Marshall, ve R.L. Pigford, "The Application of Differential Equations to Chemical Engineering Problems ", University of Delaware, Newark, Delaware (1947).
6. P. Harriott ve E.F. Wahl, *Ind. Eng. Chem. Proc. Des. Develop.*, **9**, 396, (1970).
7. E.R. Grilland ve C.E. Reed, *Ind. Eng. Chem.* **34**, 551, (1942).
8. W.L. Luyben , " Process Modelling, Simulation, and Control for Chemical Engineers ", McGraw-Hill, New York, (1973).
9. D.E. Seborg, T.F. Edgar ve D.A. Mellichamp, " Process Dynamics and Control", Wiley, New York (1989).
10. B.Kısakürek, " Damıtma Kolonu Geçici Durum Dinamiği ", Doçentlik Tezi O.D.T.U. (1977).
11. S.İ. Kırbaslar, " Destilasyon Kolonu Geçici Durum Dinamiği" , Y.Lisans Tezi İ.U. Fen Bil. Enst. (1988).
12. W.L. Luyben, *Chem. Eng. Sci.* **24**, 997, (1969).
13. J.P. Shunta ve W. L. Luyben, *AIChE Jour.*, **17**, 92, (1971).
14. E.R. Gilliland ve C.M. Mohr, *Chem. Eng. Prog.*, **58**, 59, (1962)
15. A. Bernallou, D.E. Seborg ve D.A. Mellichamp, *AIChE Jour.* **32**, 1067, (1986).
16. R.M. Wood ve W.D. Armstrong, *Chem. Eng. Sci.* **12**, 272 (1960).
17. V.J. Pohjola ve H.V. Norden, *Chem. Eng. Sci.* **24**, 1687 (1969).
18. C. Georgakis *Chem. Eng. Sci.* **41**, 1471, (1986).
19. J.W. Ponton ve R. McKinnel, *IEE Proceedings*, **137**, 189, (1990).
20. R.S.H. Mah, S. Michaelson ve R.W.H. Sargent, *Chem. Eng. Sci.*, **17**, 619, (1962).
21. W.L. Wilkinson ve W.D. Armstrong, *Chem. Eng. Sci.*, **7**, 1, (1957).

22. A. Rose, ve T.J. Williams, *Ind. and Eng. Chem.*, 47, 2284, (1955).
23. Y.P. Gupta, J.K. Donnelly ve H. Andre, *Can. Chem. Eng. Jour.*, 52, 529, (1974).
24. K.R. Sundaresan, ve P.R. Krishnaswamy, *Can. Chem. Eng. Jour.* 56, 257, (1977).
25. H.W. Anderson, M. Kümmel ve S.B. Jorgensen, *Chem. Eng. Sci.*, 44, 2571, (1989).
26. S. Skogestad ve M. Morari, *Ind. Eng. Chem. Res.* 27, 1848 (1988)
27. W.L. Luyben ve J.A Gerster, *I&EC Proc. Des. and Dev.*, 3, 374, (1964).
28. N.J. Tetlow, D.M. Groves, ve C.D. Holland, *AIChE Jour.*, 13, 476, (1967).
29. G.P. Distefano, F.P. May, ve C.E. Huckaba, *AIChE Jour.*, 13, 125, (1967).
30. F.P. Stainthorp ve H.M. Searson, *Trans. Instn. Chem.Eng.* 51, 42, (1973).
31. F.P. Stainthorp, *Brit. Chem. Eng.*, 15, 794, (1970).
32. A. Acrivos *Chem. Eng. Sci.*, 12, 279, (1960).
33. T.J. Williams, ve R.T. Harnett, *Chem. Eng. Prog.*, 53, 220, (1957).
34. N.H. Ceaglske, *AIChE Jour.*, 7, 653, (1961).
35. W.L. Luyben, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 26, 2490, (1987).
36. P.S. Buckley, R.K. Cox, ve D.L. Rollins, *Chem. Eng. Prog.*, 71, 83, (1975).
37. A. Stathaki, D.A. Mellichamp ve D.E. Seborg. *Can. Chem. Eng. Jour.* 63, 510, (1985).
38. F. De Lorenzo, G. Guardabassi, A. Locatelli ve S. Rinaldi. *Chem. Eng. Sci.*, 27, 1211, (1972).
39. W.L. Luyben, V.S. Werneuil. ve J.A. Gerster, *AIChE Jour.*, 10, 357, (1964).