



**Araştırma Makalesi / Research Article**  
**DESIGN OF EXTRACTION PROCESS WITH INTERACTIVE GRAPHICAL PROGRAMMING**

**Umut UYSAL\*, Mualla ÖNER**

*Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Davutpaşa-İSTANBUL*

**Geliş/Received: 01.02.2005 Kabul/Accepted: 23.02.2006**

---

**ABSTRACT**

In this work, Lqd\_Ext 1.0 program was developed by using Visual Basic .net platform to solve liquid – liquid extraction problems in separation processes. Triangular diagram graphical solution technique for liquid – liquid system has been used and numerically calculated results have been given for crosscurrent and countercurrent multistage extraction design. The problems have been given by using five different systems for crosscurrent and countercurrent methods. Lqd\_Ext 1.0 program can find stage requirements, the composition of the extract and raffinate phases after each stage, flow rates for all streams leaving from the equipment.

**Keywords:** Liquid-liquid extraction, graphical solution, multistage extraction, interactive computer programming.

**İTERAKTİF GRAFİKSEL PROGRAMLAMA İLE EKSTRAKSİYON PROSESİ TASARIMI**

**ÖZET**

Bu çalışmada, sıvı – sıvı ekstraksiyonda grafiksel çözüm yolu olan üçgen diyagram, tamamiyle numerik olarak bilgisayar ortamına taşınmış ve Lqd\_Ext adlı Visual Basic .net platformunda bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu çalışmada aseton – su – trikloreten, asetikasit – su – izopropileter, asetikasit – su – metil izobutil keton, aseton – su – kloroform ve dietilglükol – stiren – etilbenzen olmak üzere 5 farklı sistemin denge değerleri kullanılmıştır. Lqd\_Ext, sıvı – sıvı ekstraksiyon prosesinde yukarıda belirtilen 5 sistem için çapraz ve ters akışa göre teorik raf sayısını, kademelere giren ve çıkan akım bileşimlerini ve ağırlıklarını hesaplayabilen bir bilgisayar programıdır.

**Anahtar Sözcükler:** Sıvı-sıvı ekstraksiyonu, grafiksel çözüm, çok kademeli ekstraksiyon, interaktif bilgisayar programı.

---

**1. GİRİŞ**

Kimya mühendisliğinde grafiksel çözüm yöntemleri çok kademeli proseslerin tasarımında en çok kullanılan yöntemlerdir [1-6]. Sıvı – sıvı ekstraksiyon proseslerinde bu amaçla üçgen diyagram kullanılmaktadır [7-10]. Kademe sayısının ve kademeleri terk eden akımların ağırlık ve bileşen değerlerinin numerik yolla hesaplanması, özellikle sistemde 3 bileşenin bulunması yüzünden oldukça zordur.

---

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Autor: e-mail/e-ileti: uuysal@yildiz.edu.tr; Tel: (0212) 449 17 26

Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler bu tip numerik hesaplamaların bilgisayar ortamında kolaylıkla taşınabilmesine ve kullanıcının sonuçları kolay ve kısa sürede almasına imkan sağlamıştır. Özellikle bu amaçla yapılan bilgisayar programları, üniversitelerimizde lisans düzeyindeki öğrencileri bilgisayar kullanımına teşvik etmekte ve bu sayede konunun hızlı ve kolay anlaşılabilmesini de sağlamaktadır.

Kimya mühendisliğinde önemli bir ayırma prosesi olan sıvı – sıvı ekstraksiyonu, iki sıvıyı bir çözücü yardımıyla birbirinden ayırmak için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde ayırma yapmak için iki sıvı faz oluşturmak gerekmektedir. Özellikle distilasyon işleminin kullanılmadığı yerlerde sıvı – sıvı ekstraksiyonu önem kazanmaktadır [8-12].

Bu çalışma da sıvı – sıvı ekstraksiyon proseslerinde grafiksel çözüm yöntemi olarak kullanılan üçgen diyagram, numerik olarak bilgisayar ortamına taşınmış ve Visual Basic .net ile derlenerek Lqd\_Ext adlı bilgisayar programı geliştirilmiştir [13-14].

## 2. PROGRAMIN TANITIMI

### 2.1. Lqd\_Ext Programı

Sıvı-sıvı ekstraksiyon prosesinde, beş farklı sistem, ters ve çapraz akışlar için hazırlanmış olan Lqd\_Ext, visual basic .net platformunda yapılmış bir bilgisayar programıdır. Program “Hesapla” adında windows işletim sistemi formundan oluşturulmuştur. Hesapla formu; kullanıcının, ekstraksiyon sistemi için besleme ve çözücü akımla ilgili değerleri girebildiği, sistemi ve akış şeklini seçebildiği, bunların sonunda hesaplanan değerleri ekranda okuyabildiği bir formdur.

### 2.2. Programda Kullanılan Sistemler ve Denge Değerleri

Çalışmada aseton – su – trikloretan, asetikasit – su – izopropileter, asetikasit – su – metil izobutil keton, aseton – su – kloroform ve dietilglükol – stiren – etilbenzen olmak üzere 5 farklı sistemin denge değerleri kullanılmıştır. Denge değerleri sayesinde ekstrakt, rafinat ve denge eğrilerinin denklemleri oluşturulmuştur. Sistemler için kullanılan denklemler yardımıyla grafiksel olarak yapılan çözüm tamamiyle matematiksel olarak bilgisayar ortamına taşınmıştır. “Curve Expert” adlı programla hesaplanan bu denklemlerin regresyon katsayısı en düşük 0.99 olarak bulunmuştur. Rafinat denklemleri oluşturulurken istenen regresyon katsayısı elde edilemediğinden, aseton – su – trikloretan, asetikasit – su – izopropileter ve aseton – su – kloroform sistemlerinde rafinat değerleri için iki ayrı denklem türetilmiştir.

### 2.3. Programda Kullanılan Alt Prosedürler

Lqd\_Ext programında seçilen akış şekline göre iki ayrı alt prosedür grubu çalışmaktadır. Bunlar sıvı-sıvı ekstraksiyon sisteminin çapraz ve ters akışlarını bilgisayar ortamında çözebilmek için hazırlanmış prosedürlerdir.

Akış şekli için, Lqd\_Ext programında bulunan çoklu seçim kutusundan, ters akış veya çoklu akış seçildiğinde, Hesapla butonunun tıklanmasıyla Şekil 2.1 ve 2.2’de algoritmaları görülen ilgili alt prosedürler yardımıyla çözüm yapılmaktadır.

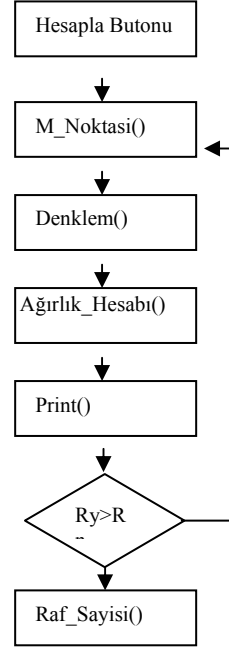
## 3. SONUÇLAR

### 3.1. Ters ve Çapraz Akış Ekstraksiyonunda Kademe Sayısının Bulunması

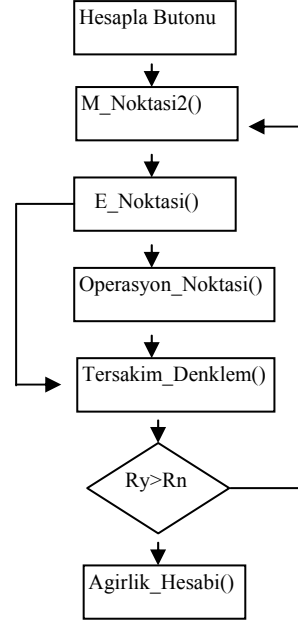
Sıvı – sıvı ekstraksiyon proseslerinde çapraz ve ters akış için kademe sayısını bulmak üzere tasarlanan Lqd\_Ext programının çıktıları iki örnekle Şekil 3.1 ve 3.2’de verilmiştir [8]. Birinci örnekte saf trikloretan çözücüsü ile % 10’luk aseton çözültisi haline getirilmek istenen % 50

## Design of Extraction Process with Interactive ...

aseton içeren 100 kg/sa'lık aseton – su çözeltisinin Lqd\_Ext programıyla çözümü Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Burada çapraz akışla çalışan çok kademeli bir ekstraksiyon sistemi kullanılmıştır. Her kademede kullanılan çözücü miktarı 25 kg/sa'tir. Program gerekli teorik kademe sayısını 3,56 olarak bulmuştur.



Şekil 2.1. Lqd\_Ext Programındaki Çapraz Akış Algoritması



Şekil 2.2. Lqd\_Ext Programındaki Ters Akış Algoritması

İkinci örnekte saf trikloreten çözücüsü ile % 10'luk aseton çözeltisi haline getirilmek istenen % 50 aseton içeren 100 kg/sa'lık aseton – su çözeltisinin Lqd\_Ext programıyla çözümü Şekil 3.2'de gösterilmektedir. Burada ters akışla çalışan çok kademeli bir ekstraksiyon sistemi kullanılmıştır. Çözücü akımı 30kg/sa'tir. Bulunan denge kademe sayısı ters akışta 4,95'tir [8]. Bu sistem için çapraz akımda gerekli olan toplam çözücü miktarı  $25 \cdot 4 = 100$  kg/sa olmasına rağmen, ters akışta bu miktar 30 kg/sa'tir. Bu da bize ters akışın bu problem için daha optimum bir çözüm verdiğini göstermektedir.

The screenshot shows the 'Calculate' window of the Lqd\_Ext program. The input parameters are as follows:

Besleme (F) (kg/s)	100	X <sub>af</sub> (%)	50	X <sub>cf</sub> (%)	0	Su - Aseton - TKE
Çözücü (S) (kg/s)	25	X <sub>as</sub> (%)	0	X <sub>cs</sub> (%)	100	Çapraz Akis
R <sub>n</sub>	10					

The 'Hesapla' button is highlighted. The results are displayed in a text area:

```

1. Kademe
Mx: 20,0000 My: 40,0000
R1 deki cozucu degeri: 0,0145 R1 deki cozunen degeri: 0,3510
E1 deki cozucu degeri: 0,4814 E1 deki cozunen degeri: 0,4743
R: 75,340 kg/h
E: 49,660 kg/h

2. Kademe
Mx: 26,0055 My: 26,3565
R2 deki cozucu degeri: 0,0087 R2 deki cozunen degeri: 0,2228
E2 deki cozucu degeri: 0,6623 E2 deki cozunen degeri: 0,3286
R: 61,752 kg/h
E: 38,588 kg/h

3. Kademe
Mx: 29,4388 My: 15,8602
R3 deki cozucu degeri: 0,0066 R3 deki cozunen degeri: 0,1320
E3 deki cozucu degeri: 0,7939 E3 deki cozunen degeri: 0,2044
R: 55,040 kg/h
E: 31,713 kg/h

4. Kademe
Mx: 31,6863 My: 9,0765
R4 deki cozucu degeri: 0,0054 R4 deki cozunen degeri: 0,0753
E4 deki cozucu degeri: 0,8770 E4 deki cozunen degeri: 0,1181
R: 51,442 kg/h
E: 28,598 kg/h

Teorik Raf Sayisi= 3,56

```

Şekil 3.1. Lqd\_Ext programı ile çapraz akışlı bir sistem için çözüm

### 3.2. Ekstraksiyona Çözücü Akışının Etkisi

#### 3.2.1. Çapraz Akış İçin Çözücü Debisi Etkisi

Çapraz akış için çözücü debisi etkisi asetik asit-su-izopropil eter sistemi için incelenmiştir. 350 kg/sa'lık % 50'lik asetik asit içeren asetik asit – su çözeltisi çapraz akışla çalışan çok kademeli bir ekstraksiyon sisteminde saf izopropileter ile % 10'luk çözelti haline getirilmektedir. Kullanılan çözücü miktarına göre değişen teorik raf sayıları Çizelge 3.1'de verilmiştir. Şekil 3.3'den de görüldüğü gibi çözücü akımı arttıkça teorik raf sayısı azalmaktadır. Bu azalmanın eğilimi belli bir çözücü miktarından sonra fazla değişmemektedir.

*Design of Extraction Process with Interactive ...*

**Calculate**  
Dosya

Besleme (F) (kg/s)  Xaf (%)  Xcf (%)  Su - Aseton - TKE

Çözücü (S) (kg/s)  Xas (%)  Xcs (%)  Ters Akis

Rn

**Hesapla**

1. Kademe  
E1 deki cozucu degeri: 0,3641 E1 deki cozunen degeri: 0,5534  
R1 deki cozucu degeri: 0,0318 R1 deki cozunen degeri: 0,4380

2. Kademe  
E2 deki cozucu degeri: 0,4676 E2 deki cozunen degeri: 0,4842  
R2 deki cozucu degeri: 0,0166 R2 deki cozunen degeri: 0,3611

3. Kademe  
E3 deki cozucu degeri: 0,5841 E3 deki cozunen degeri: 0,3951  
R3 deki cozucu degeri: 0,0104 R3 deki cozunen degeri: 0,2776

4. Kademe  
E4 deki cozucu degeri: 0,7116 E4 deki cozunen degeri: 0,2838  
R4 deki cozucu degeri: 0,0078 R4 deki cozunen degeri: 0,1886

5. Kademe  
E5 deki cozucu degeri: 0,8469 E5 deki cozunen degeri: 0,1500  
R5 deki cozucu degeri: 0,0058 R5 deki cozunen degeri: 0,0958

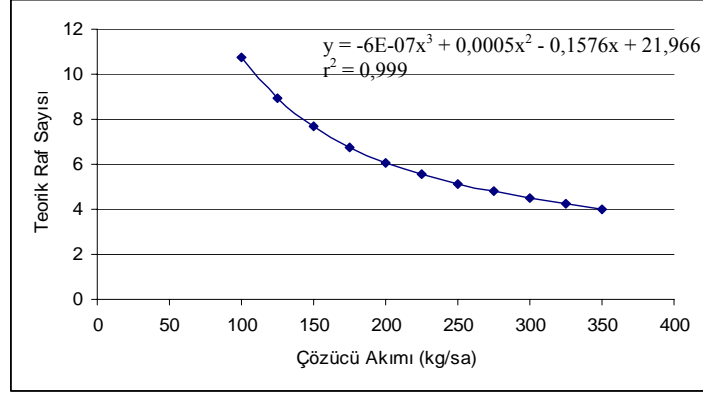
1. Kademe  
Ekstrakt:82,056 kg/s  
Rafinat :88,573 kg/s  
2. Kademe  
Ekstrakt:70,629 kg/s  
Rafinat :73,361 kg/s  
3. Kademe  
Ekstrakt:55,417 kg/s  
Rafinat :80,312 kg/s  
4. Kademe  
Ekstrakt:62,368 kg/s  
Rafinat :49,310 kg/s  
5. Kademe  
Ekstrakt:31,365 kg/s  
Rafinat :47,944 kg/s

Teorik Raf Sayisi= 4,95

Şekil 3.2. Lqd\_Ext programı ile ters akışlı bir sistem için çözüm

Çizelge 3.1. Çapraz akışta çözücüye göre gerekli olan teorik raf sayısı değişimi

Kademelerde Kullanılan Çözücü Miktarı (kg/sa)	Gerekli Olan Teorik Raf Sayısı	Kullanılan Toplam çözücü miktarı(kademe*çözücü(kg/sa))
100	10,77	1100
125	8,91	1125
150	7,68	1200
175	6,78	1225
200	6,09	1400
225	5,58	1350
250	5,14	1500
275	4,8	1375
300	4,53	1500
325	4,27	1625
350	4,03	1750



Şekil 3.3. Çapraz akışta çözücüye göre gerekli olan teorik raf sayısı değişim grafiği

### 3.2.2. Ters Akış İçin Çözücü Debisi Etkisi

100 kg/sa'lık % 50'lik aseton içeren aseton – su çözeltisi ters akışla çalışan çok kademeli bir ekstraksiyon sisteminde saf trikloreten ile % 10 luk çözelti haline getirilmektedir. Kullanılan çözücü miktarına göre değişen teorik raf sayıları Çizelge 3.2'de verilmiştir. Şekil 3.4'den de görüldüğü gibi çözücü debisinin artışı çok dar bir aralıkta etkisini göstermekte, bu noktadan sonra değişim sabit kalmaktadır. Bu da bize ters akış durumunda optimum çözüm noktasını vermektedir. Bu problem için 25 kg/sa optimum çözücü debisi olarak alınabilir.

Çizelge 3.2. Ters akışta çözücüye göre gerekli olan teorik raf sayısı değişimi

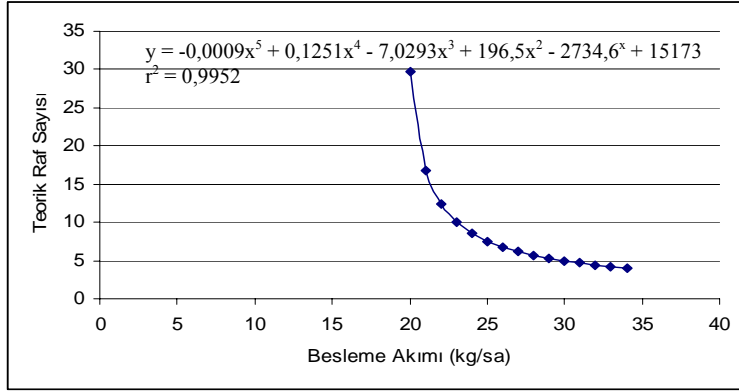
Kademelerde Kullanılan Çözücü Miktarı (kg/sa)	Gerekli Olan Teorik Raf Sayısı
20	29,71
21	16,80
22	12,34
23	10,02
24	8,51
25	7,48
26	6,72
27	6,14
28	5,66
29	5,28
30	4,95
31	4,68
32	4,44
33	4,24
34	4,05

### 3.3. Ekstraksiyona Besleme Akımının Etkisi

#### 3.3.1. Çapraz Akış Ekstraksiyonunda Besleme Akımının Etkisi

% 50'lik asetik asit içeren asetik asit – su çözeltisi çapraz akışla çalışan çok kademeli bir ekstraksiyon sisteminde 200 kg/sa'lık saf izopropileter ile % 10'luk çözelti haline getirilmektedir. Kullanılan besleme miktarına göre değişen teorik raf sayıları Çizelge 3.3'te ve Şekil 3.5'de

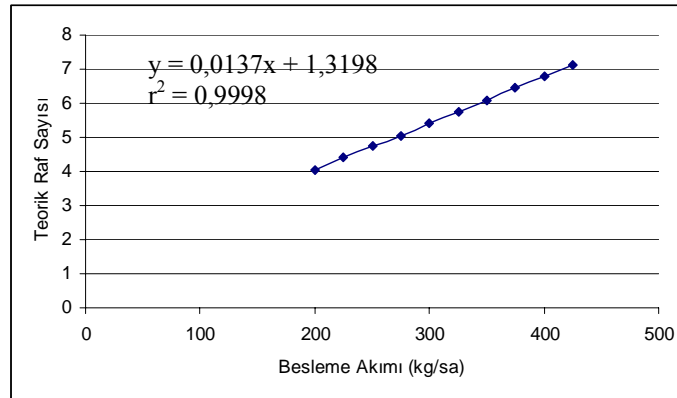
verilmiştir. Besleme akımı arttıkça beklendiği gibi gerekli teorik raf sayısı artmaktadır. Elde edilen sonuçun tam bir lineerlik gösterdiği Şekil 3.5’de verilen doğru denkleminde anlaşılmaktadır. Bu denklem kullanıcılara yaklaşık olarak teorik denge kademesinin bulunmasında yardımcı olmaktadır.



Şekil 3.4. Ters akışta çözücüye göre gerekli olan teorik raf sayısı değişimi grafiği

Çizelge 3.3. Çapraz akışta beslemeye göre gerekli olan teorik raf sayısı değişimi

Kademelerde Kullanılan Besleme Miktarı (kg/sa)	Gerekli Olan Teorik Raf Sayısı	Kullanılan Toplam çözücü miktarı (kademe*besleme(kg/sa))
200	4,03	1000
225	4,41	1000
250	4,74	1000
275	5,06	1200
300	5,43	1200
325	5,77	1200
350	6,09	1400
375	6,46	1400
400	6,78	1400
425	7,11	1600



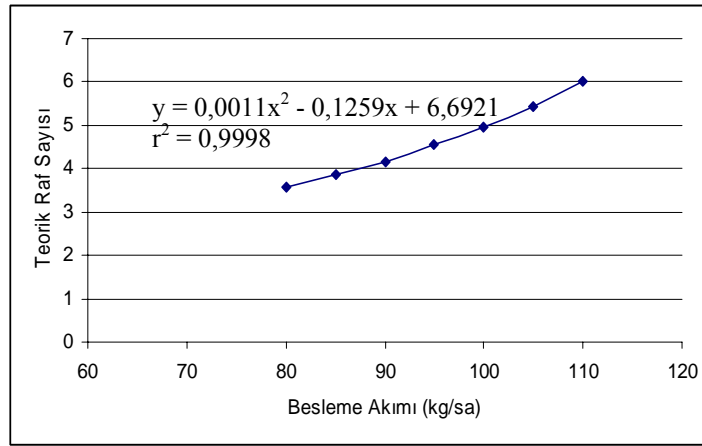
Şekil 3.5. Çapraz akış için beslemeye göre gerekli olan teorik raf sayısı değişimi grafiği

### 3.3.2. Ters Akış Ekstraksiyonunda Besleme Akımının Etkisi

Aynı problem için besleme çözeltisinin etkisi ters akış durumu için incelenmiştir. % 50'lik aseton içeren aseton – su çözeltisi ters akışla çalışan çok kademeli bir ekstraksiyon sisteminde 30 kg/sa'lık saf trikloreten ile % 10'luk çözelti haline getirilmektedir. Kullanılan besleme miktarına göre değişen teorik raf sayıları Çizelge 3.4'te verilmiştir. Şekil 3.6'da bu değişim grafiksel olarak görülmektedir. Ters akış durumunda besleme çözeltisinin artışıyla birlikte teorik raf sayısında gözlenen değişim çapraz akıştaki gibi lineer değildir. Curve expert kullanılarak elde edilen denklem Şekil 3.6'da verilmiştir. İkinci dereceden elde edilen denklemin korelasyon katsayısı  $r^2=0.9998$  olarak bulunmuştur.

**Çizelge 3.4.** Ters akışta beslemeye göre gerekli olan teorik raf sayısı değişimi

Kademelerde Kullanılan Besleme Miktarı (kg/sa)	Gerekli Olan Teorik Raf Sayısı
80	3,56
85	3,85
90	4,17
95	4,54
100	4,95
105	5,43
110	6,00



**Şekil 3.6.** Ters akışta beslemeye göre gerekli olan teorik raf sayısı değişimi grafiği

## 4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER

Yapılan örneklerde Lqd\_Ext programının kullanım açısından kolaylığı ve parametrik çalışmaların kısa sürede yapılması ekstraksiyon prosesleri için büyük bir avantaj oluşturmaktadır.

Bilindiği gibi ayırma proseslerinde grafiksel çözüm ve tasarım yöntemleri uzun süreden beri kullanılmaktadır. Bu klasik yöntemlerde öğrenci zamanının büyük çoğunluğunu çizim ve hesaplama kısmında kaybetmekte bu da öğrenciye tasarım sonuçlarının değerlendirilmesi için yeterli zaman bırakmamaktadır. Aynı zamanda grafik çizimler ve interpolasyon yaparken yapılan hatalar birikerek daha büyük hatalara yol açmaktadır. Geliştirilmiş olan Lqd\_Ext programında parametrik değişkenlerle yapılan hesaplarda kolaylıkla çözüme gidilebilmekte ve öğrenci bu değişikliklerin raf sayısı üzerine etkisini kolaylıkla görebilmektedir.



### *Design of Extraction Process with Interactive ...*

Ters ve çapraz akış olmak üzere iki örnekte incelenen çözücü akımının etkisinde, çözücü akımın artmasıyla beklenen raf sayısında olan azalmanın ters akışta daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Her iki akışta da belli değerlerden sonra çözücü artışı – raf sayısı ilişkisinde değişimin azaldığı görülmektedir. Bu da çözücü akımının gereğinden fazla kullanımının yarar sağlamayacağını açığa çıkarmıştır. Oluřturulan eğrilerden denklemler türetilmiştir. Bu denklemler yardımıyla optimum raf sayısı hesaplanabilir.

Diėer iki örnekte besleme akımının artışına paralel olarak teorik raf sayısının da doğru orantılı bir Őekilde arttığı görülmektedir.

#### **KAYNAKLAR**

- [1] Treybal E.R., “Liquid Extraction”, McGraw-Hill, New York, 1951, 1-35, 125-185.
- [2] Treybal E.R., “Mass-Transfer Operations”, McGraw-Hill, New York, 1983, 477-541.
- [3] [http://www.liquid-extraction.com/process\\_conceptualization.htm](http://www.liquid-extraction.com/process_conceptualization.htm)
- [4] ner M., Baris S., ner G., “Applications of Interactive Graphical Methods for Separation Process Calculations”, AIChE, Los Angeles, A.B.D, Kasım 17-19, 1997.
- [5] ner M., ner G., “Improvements in the Teaching of Separation Process Design Through Interactive Computer Graphics”, ASEE The Innovative Use of Computers in Chemical Engineering Education, Seattle, A.B.D, Haziran 28-Temmuz 1,1998.
- [6] ner G., ner M., “Grafiksel Programlama Teknikleri ile Izotermal Dolgulu Kule Tasarımı”, 1. Ulusal Kimya Mhendisliėi Kongresi, Ankara, 13-16 Eyll, 1994, 350-357.