

Kafeinin Dolgulu Bir Kolonda Ekstraksiyonuna ait Kütle Transfer Parametrelerinin İncelenmesi

Mehmet BİLGİN, İ. Metin HASDEMİR, Ahmet AYDIN, Umur DRAMUR
*İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Kimya Mühendisliği Bölümü, 34850 Avcılar, İstanbul-TÜRKİYE*

Geliş Tarihi 20.12.1996

Özet

Bu çalışmada, kafeinin çay atıklarından üretiminde en önemli aşamayı teşkil eden sıvı ekstraksiyonu prosesi, 5.86 cm çapında, 132 cm yüksekliğinde ve 10x10 mm cam Raschig halkaları içeren borosilikat bir cam kolonda incelenerek, kütle transfer parametreleri hesaplanmıştır. Ekstraksiyon prosesinde çözücü olarak kloroform kullanıldığından, oda sıcaklığında su-kafein-kloroform üçlü sistemine ait denge dağılımı deneysel olarak tespit edilmiştir. Söz konusu kolonda, çeşitli çözücü/besleme akımı (S/R) debi değerlerinde ve fazların kolondaki yerleri değiştirilerek elde edilen verilerle kütle transfer katsayıları, transfer birimi sayıları, transfer birimi yükseklikleri, teorik kademe sayıları ve bir teorik kademeye eşdeğer yükseklikler hesaplanarak uygun S/R oranı tespit edilmiştir. Ayrıca teorik kademe sayıları Treybal, Planowski ve Alders tarafından önerilen bağıntıları kullanmak suretiyle bulunmuş ve karşılaştırılmıştır. S/R oranının 0.933 olduğu ve sürekli faz olarak kloroform kullanıldığı zaman optimal kütle transfer parametrelerine ulaşıldığı görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Kafein, Kütle Transferi, Sıvı Ekstraksiyonu, Dolgulu Kolon

Investigation of the Mass Transfer Parameters of Caffeine Extraction in a Packed Column

Abstract

In this study, the mass transfer parameters were investigated in the liquid extraction process, which is the main step of producing caffeine from tea residue, in a packed borosilicate glass column, 5.86 cm in diameter, 132 cm in height, filled by 10x10 mm glass Raschig rings. Because chloroform was used as a solvent in the extraction process, the equilibrium distribution of the water-caffeine-chloroform ternary system were determined at room temperature. By using various solvent/raffinate (S/R) volumetric feed ratios and employing phase reversal in the column, the mass transfer coefficients, the number of transfer units, the height of transfer units, the number of theoretical stages and the height equivalents to a theoretical stage were calculated and thus the most suitable S/R value was determined. The number of theoretical stages were found with the equations proposed by Treybal, Planowski and Alders, and the stages were compared with each other. The optimum mass transfer parameters were reached when the S/R ratio was 0.933 and chloroform was used as the continuous medium.

Key Words: Caffeine, Mass Transfer, Liquid Extraction, Packed Column

Giriş

Kafein, psikolojik ve fizyolojik etkileri itibariyle tıp alanında ve günlük hayatta kolalı içeceklerde oldukça yaygın kullanılan, pürin türevi bir alkaloid-

dir. Üretimi günümüzde genellikle sentetik yöntemlerle yapılmakta ise de, tarıma dayalı ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de, çay atıklarından üretimi, atıkların değerlendirilmesi açısından giderek

önem kazanmaktadır. Kafeinli bitkilerin içerdikleri kafein miktarları % 1.1-7.9 arasında değişmekte olup, bu oran çay atıklarında % 0.56-3.09 civarındadır (Tablo 1).

Tablo 1. Kafeinli Bitkilerin ve Çeşitli Fabrikalardan Alınan Atıkların İçerdikleri Kafein Miktarları (Kaçar 1991, Sezik ve arkadaşları 1975)

Bitki Adı	% Kafein
Kahve	1.1-2.0
Guarana	4.0
Cola Nut	1.5
Türk Çayı	2.7-5.0 (Kaptan, B.,1968)
Türk Çayı	2.8-3.9 (Yurdagel, Ü., 1978)
Türk Çayı	3.1-3.8 (Yılmaz, H., 1982)
Türk Çayı	3.4-4.1 (Öksüz, M., 1987)
Sri Lanka	2.8 (Smith ve Rees, 1963)
Assam	3.6 (Smith ve Rees, 1963)
Darjeeling	4.2 (Smith ve Rees, 1963)
Özçay	7.9 (Smith ve Rees, 1963)
Atığın Cinsi	
Çay Tozu	1.55-3.09
Lif Çay	1.22-2.93
Çöp Çay	0.81-1.80
Çırpma	0.59-1.63
Yeşil Yaprak	0.56-1.06

Kafeinin çay atıklarından üretimi esasen üç aşamadan ibarettir (Kirk-Othmer 1948). Bunlardan ilki, çay atıklarının sıcak su ile katı-sıvı ekstraksiyonuna (leaching) tabi tutulmasıdır. Buradan elde edilen sulu ekstrakt, ikinci aşamada kloroform gibi kafeini iyi çözebilen bir çözücü ile sıvı ekstraksiyonuna tabi tutulur. Son aşama ise, çözücünün geri kazanımı ve ham kafeinin saflaştırılmasından ibarettir. Bu prosesin ekonomik açıdan en önemli adımı, kafeinin sulu fazdan çözücü fazına alınması işlemidir.

Maddelerin bir ekstraksiyon kolonunda çözücü fazına alınmasına yönelik birçok araştırma yapılmıştır (Moorhead ve Himmelblau 1962, Seibert ve Fair 1988, Seibert ve arkadaşları 1990). Bu çalışmaların çoğunda seçicilik, dağılma katsayısı, çözücünün çözünmezliği, geri kazanılabilirlik, yoğunluk, yüzey gerilimi, kimyasal aktivite, viskozite, buhar basıncı ve donma noktası gibi faktörler gözönüne alınarak, uygun çözücü seçimi yapılmak suretiyle kolonda optimal kütle transfer parametrelerinin bulunması amaçlanmıştır. Yine bu çalışmalarda sıcaklık, fazların değişimi, dolgu maddesi seçimi, kolon boyutları, pulsun etkisi, çözücü ve besleme akımı debi değerlerinin oranları (S/R)

ve toplamları (S+R) gibi değişkenlerin kolon performansı üzerine etkileri incelenmiştir.

Bir ekstraksiyon kolonundaki kütle transfer parametrelerinin bulunmasına ilişkin hesaplamalar, rafinat veya ekstrakt faza dayandırılarak yapılabilir. Çözünen maddenin çözücü ve sulu faz arasındaki dağılma katsayısı büyükse, difüzyon direnci rafinat fazdadır ve hesaplamalar rafinat faz dayandırılarak yapılmalıdır. Sistemimize uygun olarak, seyreltik ve Henry yasasına uyan sistemler için Treybal (1981) tarafından önerilen eşitlikler şöyledir:

Toplam kütle transfer birimi sayısı (N_{tOR});

$$N_{tOR} = \frac{\ln \left[\left(\frac{X_{R1} - X_{E2}/m}{X_{R2} - X_{E2}/m} \right) \cdot \left(1 - \frac{1}{\epsilon} \right) + \frac{1}{\epsilon} \right]}{\left(1 - \frac{1}{\epsilon} \right)} \quad (1)$$

Kolon yüksekliği H ise, kütle transfer birimi yüksekliği (H_{tOR});

$$H = H_{tOR} \cdot N_{tOR} \quad (2)$$

Volumetrik kütle transfer katsayıları da ($F_{OR} \cdot a$);

$$H_{tOR} = \frac{R'}{F_{OR} \cdot a} \quad (3)$$

denkleminde bulunabilir. Burada a , dolgu maddesinin, kolon birim hacmi başına düşen arayüzeyi olup, genelde hesaplanamaz ve kütle transfer katsayıları $F_{OR} \cdot a$ şeklinde belirtilir. Kolondaki teorik kademe sayısının (n) bulunmasına ilişkin ise yaygınca kullanılan üç yöntem mevcuttur. Treybal'a (1963) göre;

$$n = \frac{N_{tOR} \cdot \left(1 - \frac{1}{\epsilon} \right)}{\ln \epsilon} \quad (4)$$

denkleminde teorik kademe sayısı hesaplanabilir. Planowski'ye (1960) göre ise, rafinat fazdaki konsantrasyon değişiminin ortalama itici gücü oranı, bir ekstraksiyon işlemindeki teorik kademe sayısını verir:

$$n = \frac{C_{kh} - C_{kn}}{\Delta C_m} \quad (5)$$

ΔC_m , ortalama itici güç olup, fazlar arasındaki yüksek değerler farkı ile düşük değerler farkının logaritmik ortalamasıdır.

$$\Delta C_m = \frac{\Delta C_h - \Delta C_n}{\ln \frac{\Delta C_h}{\Delta C_n}} \quad (6)$$

$$\Delta C_h = C_{dh} - C_{kh} \quad (7)$$

$$\Delta C_n = C_{kn} - C_{dn} \quad (8)$$

Modifiye Alders denklemi yardımıyla teorik kademe sayısı şu şekilde bulunur (Alders 1955):

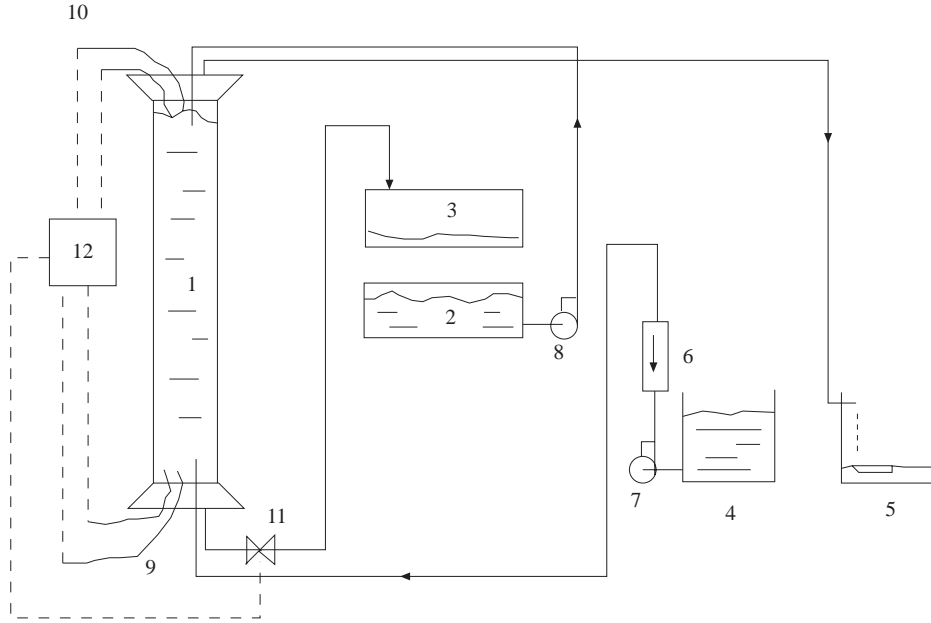
$$n = \frac{\ln \left(\frac{G-1+q}{q} \right)}{\ln G} - 1 \quad (9)$$

Yine kolon yüksekliği H olmak üzere, bir teorik kademeye eşdeğer yükseklik H.E.T.S;

$$H.E.T.S. = H/n \quad (10)$$

DeneySEL: Kütle transfer parametrelerinin hesaplandığı kolon, dolgu maddeli bir sıvı-sıvı ekstraksiyon kolonu ve bu kolonda sürekli ve dağılmış fazların kararlı akışını sağlayacak yardımcı elemanlardan ibarettir (Şekil 1). Fazların yerini sabit tutmaya yarayan yardımcı elemanlar şunlardır; Kolonun altında ve tepesinde birer elektrot çifti, bu elektrotların göndermiş olduğu sinyalleri algılayan bir kontrol edici ve kontrol edicinin kumanda ettiği bir selenoid valf. Selenoid valf, ağır fazın (ekstrakt fazı) çıkış yolu üzerindedir.

Ayrıca sistemde besleme ve saf çözücü tankları ile rafinat ve ekstrakt fazların toplandığı tanklar, besleme çözeltisinin basılması için bir santrifüj pompa, yine bu hat üzerinde bir rotametre ve çözücünün basılması için bir membranlı dozaj pompası mevcuttur. Söz konusu ekstraksiyon kolonunun çalışma prensibi ve geometrik verileri sırasıyla Şekil 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 1. DeneySEL Düzenegi

1. Dolgu Maddeli Ekstraksiyon Kolonu
2. Çözücü Besleme Tankı (Ağır Faz)
3. Ekstrakt Faz Toplama Tankı
4. Besleme Çözeltisi Tankı
5. Rafinat Faz Toplama Tankı
6. Rotametre

7. Besleme Akımı Pompası
8. Çözücü Besleme Pompası
9. Alt Elektrot Çifti
10. Üst Elektrot Çifti
11. Selenoid Valf
12. Kontrol Ünitesi

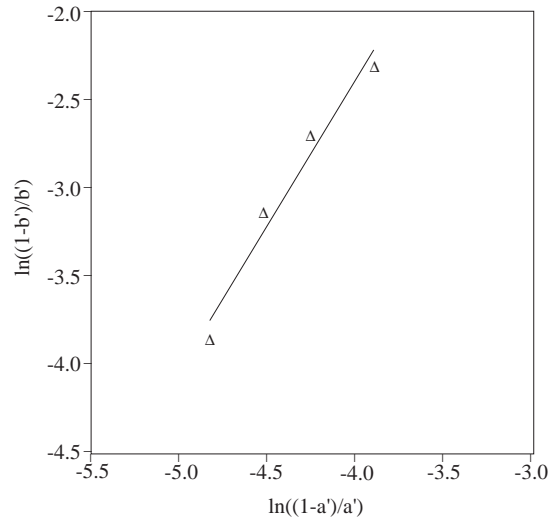
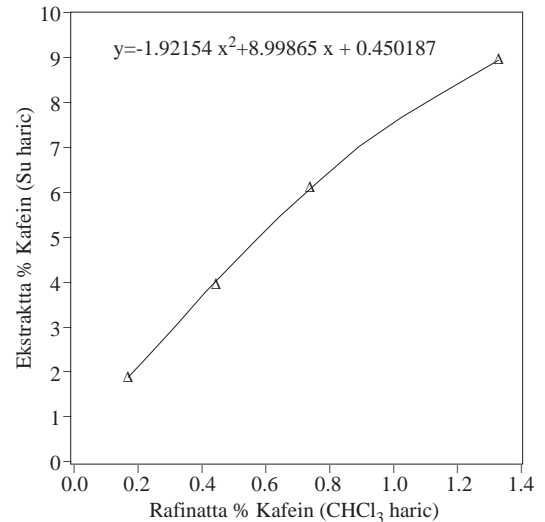
Tablo 2. Ekstraksiyon Kolonunun Geometrik Verileri

Büyükük	Sembol	Değer	Birim
Kolon dış çapı	D_K	5.88	cm
Kolon iç çapı	$D_{KİÇ}$	5.39	cm
Etkin kolon yüksekliği	H	132	cm
Toplam kolon yüksekliği	H_T	160	cm
Kolon kesit alanı	A_K	27.73	cm ²
Etkin kolon hacmi	V_K	1850	cm ³
Kolon malzemesi	QVF Cam		
Kullanılan dolgu maddesinin;	Şekli	: Raschig halkası	
	Malzemesi	: Cam	
	Dış çapı	: 1.0 cm	
	İç çapı	: 0.8 cm	
	Yüksekliği	: 1.0 cm	

Çözücü olarak, daha önce yapılan çalışmalarda (Emery ve Wright 1921, Önder 1996), kafeinin sulu ortamdan ekstraksiyonu için önerilen çözücülerden biri olan kloroform kullanılmıştır. Kolonda yapılan denemelerden elde edilen verilerin değerlendirilmesi amacıyla, öncelikle su-kafein-kloroform üçlü sisteminin oda sıcaklığında uygun oranları karıştırılarak dengedeki rafinat ve ekstrakt fazlarda kafein miktarları tayin edilmiştir (Tablo 3). Othmer ve Tobias tarafından önerilen (Perry 1984) korelasyon uygulanarak bağlantı doğrularının güvenilirliği test edilmiştir (Şekil 2). (1) numaralı denklemin kullanılabilmesi amacıyla sözkonusu üçlü sistemin denge dağılım eğrisi çizilmiştir (Şekil 3).

Tablo 3. Heterojen Bölgede Hazırlanan Karışımlar ile Dengedeki Rafinat ve Ekstrakt Fazların Bileşimleri

Karışım No.	Kafein (ağ.%)	Su (ağ.%)	Kloroform (ağ.%)
Hazırlanan Heterojen Fazların Bileşimleri:			
1	1.034	51.574	47.392
2	2.302	48.211	49.487
3	3.475	49.485	47.040
4	5.651	46.380	47.969
Dengedeki Rafinat Fazların Bileşimleri:			
1	0.173	99.206	0.651
2	0.444	98.935	0.622
3	0.751	98.621	0.628
4	1.307	98.058	0.635
Dengedeki Ekstrakt Fazların Bileşimleri:			
1	1.973	0.101	97.926
2	4.042	0.102	95.857
3	6.180	0.102	93.718
4	8.946	0.104	90.949

**Şekil 2.** Othmer-Tobias Korelasyonu**Şekil 3.** Su+Kafein+Kloroform Üçlü Sistemine Ait Denge Dağılımı

Kolondaki denemelerde, öncelikle katı-sıvı ekstraksiyonundan elde edilen sulu çay ekstraktı örnek alınarak, kafeinin % 1'lik sulu çözeltisi hazırlanmıştır. Besleme tankına yüklendikten sonra numune alınarak, yoğunluğu ve konsantrasyonu tayin edilmiştir. Sürekli faz, kloroform fazı olmak üzere değişik çözücü/besleme akımı (S/R) oranlarında çalışılmıştır. Operasyon esnasında, ekstrakt ve rafinat faz çıkış akımlarından belirli zaman aralıklarıyla örnekler alınarak kafein tayini yapılmıştır. Bu işleme, sistem dengeye gelinceye kadar devam edilmiştir. Rafinat ve ekstrakt çıkış akımlarındaki kafein miktarları sabit olduğunda operasyona son verilmiştir. Rafinat ve ekstrakt faz yoğunlukları tekrar tayin edilmiştir.

Uygun çözücü/besleme akımı oranı tespit edildikten sonra, bu oran muhafaza edilerek fazların yerleri değiştirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Her çözücü/besleme akımı debi değeri için üç ayrı metodla teorik kademe sayısı hesaplanarak karşılaştırılmıştır.

tırılmıştır. Ayrıca S/R oranlarına ait kütle transfer birimi sayıları, transfer birimi yükseklikleri, H.E.T.S değerleri ve kütle transfer katsayıları bulunmuş ve karşılaştırılmıştır.

Denemeler $17 \pm 3^\circ\text{C}$ 'de yapılmıştır. Kafein tayini bütün denemelerde rafinat fazda iyodometrik titrasyon yöntemi ile ekstrakt fazda da gravimetrik olarak, yaklaşık % 95-97 hassasiyetle gerçekleştirilmiştir. Yoğunluk tayinleri ise piknometre yardımıyla yapılmıştır.

Sonuçlar ve Tartışma

Tablo 4'de kolondaki çalışma şartları kısaca özetlenmiştir. Burada S/R oranı, saf çözücünün debisinin, besleme çözeltisinin debisine oranı olup, rafinat fazın giriş ve çıkış konsantrasyonları "ağırlıkça yüzde kafein" şeklinde verilmiştir. Tablo 5'de ise, yapılan hesaplamalar neticesinde bulunan kütle transfer parametreleri verilmiştir.

Tablo 4. Kolondaki Çalışma Şartları ve Elde Edilen Sonuçlar

Deney No	Sürekli Faz	Dağılmış Faz	Çözücü Debisi (ml/dak)	Besleme Çözeltisi Debisi (ml/dak)	S/R Oranı	Rafinat Giriş Konst. (ağ.%)	Rafinat Çıkış Konst. (ağ.%)	Geçen Kafein %'si
1	CHCl ₃	H ₂ O	60.0	100	0.600	0.9984	0.1008	89.90
2	CHCl ₃	H ₂ O	93.3	100	0.933	1.0093	0.0193	98.09
3	CHCl ₃	H ₂ O	162.5	100	1.625	0.9984	0.0149	98.51
4	H ₂ O	CHCl ₃	93.3	100	0.933	1.0232	0.0589	94.24

Tablo 5. Kütle Transfer Parametreleri

Deney No	N_{tOR}	H_{tOR} (cm)	$F_{OR} \cdot a$ (g/cm ³ ·s)	H.E.T.S. (cm)	$n_{Treybal}$	n_{Alders}	$n_{Planowski}$
1	2.560	51.56	$1.411 \cdot 10^{-3}$	100.46	1.195	1.189	1.755
2	4.306	30.65	$2.373 \cdot 10^{-3}$	76.76	1.720	1.453	1.932
3	4.412	29.92	$2.431 \cdot 10^{-3}$	89.09	1.482	1.253	1.845
4	3.080	42.85	$1.698 \cdot 10^{-3}$	106.87	1.235	1.180	1.337

İlk üç deneme incelendiğinde S/R besleme oranları arttıkça kütle transfer birimleri (N_{tOR}), kütle transfer katsayısı ($F_{OR} \cdot a$) ve rafinat fazdan ekstrakt faza geçen madde miktarlarının arttığı görülmektedir. 2 ve 3 numaralı çalışmalarda bu artışın 1'e göre çok az olduğu açıktır. Dolayısıyla 2 ve 3 numaralı denemeler, S/R oranları açısından incelendiğinde, 2 numaralı çalışma ekonomik bakımdan en uygun S/R oranını göstermektedir.

Kütle transfer birimi sayılarına bağlı olarak, transfer birimi yüksekliği (H_{tOR}) değerleri için de aynı yorumların yapılması mümkündür.

Aynı şekilde ilk üç deneme incelendiğinde teorik kademe sayısı değerlerinin 2 numaralı denemede en yüksek değere ulaştığı görülmektedir. Ayrıca Treybal, Alders ve Planowski tarafından teorik kademe sayılarının bulunmasına ilişkin önerilen eşitlikler birbiriyle uyumludur. Ancak gözönünde bulundurduğu değişkenlerin sayısının fazla olması dolayısıyla, Treybal'ın önerdiği eşitliğin gerçeğe daha yakın olacağı söylenebilir. Teorik kademe sayısına bağlı olarak H.E.T.S. değerinin de arzu edildiği gibi 2 numaralı çalışmada en küçük değeri gösterdiği tespit edilmiştir.

Bu durumda; S/R oranları aynı, fakat sürekli ve dağılmış fazların yerlerinin değiştirildiği 2 ve 4 numaralı denemeler karşılaştırıldığında, 4 numaralı çalışmada rafinat fazdan ekstrakt faza geçen kafein miktarının ve kütle transfer birimleri ile teorik kademe sayısı değerlerinin 2 numaralı çalışmaya göre azaldığı belirlenmiştir. Zira 4 numaralı çalışmada, kafeinin sulu çözeltisi, sürekli faz durumundadır ve kloroform bu sürekli faz içinde dağılmıştır. kafeinin sulu fazdan organik faza transferi gözönüne alındığında, birim hacimde kütle transfer olduğu yüzey alanı, 2 numaralı çalışmaya göre daha az olmaktadır. Dolayısıyla S/R oranı 0.933 olan ve çözücünün sürekli faz olduğu çalışmanın optimal durum olduğu görülmektedir.

Semboller

A	: Ekstraksiyondan önceki toplam çözünen madde miktarı, $[g]$.
$(A_R)_n$: n kademeli ekstraksiyondan sonra rafinata kalan çözünen madde miktarı, $[g]$.
a	: Dolgu maddesinin kolon birim hacmi başına düşen arayüzeyi, $[cm^2/cm^3]$.
a'	: Suyun rafinat fazdaki ağırlıkça fraksiyonu.
b'	: Çözücünün ekstrakt fazdaki ağırlıkça fraksiyonu.
C_{dh}	: Dağılmış fazdaki yüksek konsantrasyon $[ağırlıkça yüzde]$.
C_{dn}	: Dağılmış fazdaki düşük konsantrasyon $[ağırlıkça yüzde]$.
C_{kh}	: Sürekli fazdaki yüksek konsantrasyon $[ağırlıkça yüzde]$.
C_{kn}	: Sürekli fazdaki düşük konsantrasyon $[ağırlıkça yüzde]$.
E'	: Ekstrakt fazın kütleli akış hızı, $[g/s \cdot cm^2]$.

$F_{OR.a}$: Toplam kütle transfer katsayısı, $[g/s \cdot cm^3]$.
G	: Dağılma Sayısı, $G = k \cdot \frac{S}{R}$
H	: Etkin kolon yüksekliği, $[cm]$.
H_{tOR}	: Toplam kütle transfer birimi yüksekliği (rafinat faza dayandırılarak), $[cm]$.
HETS	: Bir teorik kademeye eşdeğer yükseklik, $[cm]$.
k	: Dağılma Katsayısı.
m	: Denge eğrisinin eğimi.
n	: Teorik kademe sayısı.
N_{tOR}	: Toplam kütle transfer birimleri sayısı (rafinat faza dayandırılarak).
q	: Ekstraksiyon sonrası rafinat fazda kalan çözünen madde miktarının, ekstraksiyondan önceki toplam çözünen madde miktarına oranı, $q = \frac{(A_R)_n}{A}$.
R	: Kolona beslenen çözelti debisi, $[ml/dak]$.
R'	: Rafinat fazın kütleli akış hızı, $[g/s \cdot cm^2]$.
S	: Kolona beslenen çözücü debisi, $[ml/dak]$.
X_{E1}	: Ekstrakt fazın çıkıştaki çözünen madde konsantrasyonu, $[ağırlıkça fraksiyon]$.
X_{E2}	: Ekstrakt fazın girişteki çözünen madde konsantrasyonu, $[ağırlıkça fraksiyon]$.
X_{R1}	: Rafinat fazın girişteki çözünen madde konsantrasyonu, $[ağırlıkça fraksiyon]$.
X_{R2}	: Rafinat fazın çıkıştaki çözünen madde konsantrasyonu, $[ağırlıkça fraksiyon]$.
ΔC_h	: Fazlar arasındaki yüksek konsantrasyonlar farkı, $[ağırlıkça \%]$.
ΔC_n	: Fazlar arasındaki düşük konsantrasyonlar farkı, $[ağırlıkça \%]$.
ε	: Ekstraksiyon faktörü, $\varepsilon = m \cdot \frac{E'}{R'}$.

Kaynaklar

Alders, L. "Liquid-Liquid Extraction" Elsevier Pub. Co., Amsterdam, 1955.

Emery, W. O. and Wright, C. D. "Distribution of Certain Drugs Between Immiscible Solvents", Contribution From The Synthetic Products Laboratory, Bureau of Chemistry, U. S. Department of Agriculture, 1921.

Kaçar, B. "Çay Analizleri" Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara, 1991.

Kırk-Othmer "Encyclopedia of Chemical Technology", Vol. 2, 738-745, The Interscience Encyclopedia, Inc., New York, 1948.

Moorhead, D. H. and Himmelblau, D. M., "Optimization of Operating Conditions In a Packed Liquid-Liquid Extraction Column", Industrial Engineering Chemistry, Fundamentals, 1(1), 68-72, 1962.

Önder, M., "Kafeinin Su ve Bazı Organik Çözücüler Arasındaki Dağılma Katsayılarının Sıcaklığı Bağlı Olarak Değişimi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1996.

Perry, R. H., Green, D. "Perry's Chemical Engineers Handbook" Sixth Edition, McGraw-Hill, America, 1984.

Planowski, A., Butalov, M. Khim. Mahinostr., 2(10), 9-10, 1960.

Seibert, A. F. and Fair, J., "Hydrodynamics and Mass Transfer In Spray and Packed Liquid-Liquid Extraction Columns", Industrial Engineering Chemistry, Research, 27, 470-481, 1988.

Seibert, A. F., Reeves, B. E. and Fair, J. R., "Performance of a Large-Scale Packed Liquid-Liquid Extractor", Industrial Engineering Chemistry, Research, 29, 1901-1907, 1990.

Sezik, E., Çalış, İ., Yeşilada, E. "Tübitak Temel Bilimler Araştırma Grubu", Proje No: TBAG-146, Ankara, 1975.

Treybal, R. E. "Liquid Extraction", McGraw-Hill Book Company, Inc., United States of America, 1963.

Treybal, R. E. "Mass Transfer Operations", Second Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, 1981.