



**BATARYA TİPİ KATI-SIVI EKSTRAKSİYON SİSTEMİNDE
SICAK SU İLE ÇAY ARTIKLARINDAN KAFEİN EKSTRAKSİYONU:
PROSES OPTİMİZASYONU VE MODELLENMESİ**

**(EXTRACTION OF CAFFEINE FROM TEA RESIDUE BY HOT WATER USING
BATTERY TYPE SOLID-LIQUID EXTRACTION SYSTEM:
PROCESS OPTIMIZATION AND MODELING)**

Aynur ŞENOL*

ÖZET/ABSTRACT

Bu çalışmada, ağırlıkça % 2 kafein içeren fabrikasyon çay artıklarından su ile ekstraksiyon yöntemi kullanılarak kafein üretimi amaçlanmıştır. Ekstraksiyon işlemi, seri olarak bağlı 3 (B3) ve 5 (B5) ekstraktörden oluşan iki ayrı batarya tipi deney düzeneğinde yapılmıştır. Operasyon sıcaklığı 95-97°C'dir. 0.25 L/sa ile 1.0 L/sa debi değerleri arasında seçilen değişik solvent debilerinde batarya boyunca ve çıkışında biriken ekstraktların analizi yapılarak sistemin ekstraksiyon etkinliği irdelenmiştir. Proses parametrelerine ait optimum değerler ise, kompozisyon ve ekstraksiyon derecesi verilerinin grafiksel analizi sonucu tayin edilmiştir. Lineer (doğrusal) sistem davranışı, proses modelleme aşamasında referans teşkil etmiştir.

In this study, solid-liquid extraction of caffeine from tea plant residue including 2 % (w/w) caffeine has been studied using hot water as a solvent. The extraction has been performed in the battery type extraction unit including both 3 (B3) and 5 (B5) extractors connected in series. The operating conditions are: temperature, $T = 95-97^{\circ}\text{C}$ and various water flow rates of 0.25 L/h to 1.0 L/h. The optimum process parameters were determined by using graphical analysis of composition and extraction degree values.

ANAHTAR KELİMELER/KEYWORDS

Katı-sıvı ekstraksiyon bataryası, Kafein, Optimum şartlar
Solid-liquid extraction battery, Caffeine, Optimum conditions

* İstanbul Üni. Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Avcılar, İSTANBUL.

1. GİRİŞ

Ülkemizde önemli bir üretim sektörü olan çay endüstrisinin yan ürünü olarak, ticari çayın eldesinden sonra büyük miktarda elek altı çay tozları ve dalları gibi çay artıkları açığa çıkmaktadır. Ağırlıkça % 2 - % 3 kafein içeren atık çayların değerlendirilmesinde, ekonomik açıdan kafein yanında tanin üretiminin de yapılabileceği; kafeini alınan artıkların ise yem veya gübre olarak kullanılabilmesi bir üretim işlemi uygulanabilir. Zira bu artıklar, normların altında üretilmiş kalitesiz taze çayla birlikte, genellikle imha edilmektedir (Chougley, 1982; Kaçar, 1991). Purin grubu N-metil alkaloidlerin en yaygın türü olan kafeinin (1,3,7-trimetil ksantin) ticari önemi ilaç, gıda, farmasötik ve kolalı meşrubat sektöründe kendini gösterir. Kafein, endüstriyel ölçüde çay ya da kahvenin katı-sıvı ekstraksiyonu ile yada kafeinsiz kahve üretiminde yan ürün olarak elde edilir. Günümüzde ticari açıdan en uygun uygulama ise çay artıklarının sıcak su ile ekstraksiyonuna dayanır. Ancak bu proseste ekstrakt (solvent) fazına kafein yanında tannik asid, teofilin, reçineli maddeler gibi suda çözünen çeşitli safsızlıklar da geçmektedir (Snell vd., 1969; Treybal, 1981).

Esas itibarıyla, çay artıklarından kafein üretimi üç kademede gerçekleşir. İlk aşamada çay artıkları (kireçli veya kireçsiz) sıcak su ile ekstraksiyona tabi tutulur. İkinci basamakta, teknik kafein üretimine yönelik sulu ekstrakt/kloroform sıvı-sıvı ekstraksiyon prosesi uygulanır ya da sulu fazdaki tanin ve diğer safsızlıklar kurşun oksit veya magnezya gibi anorganik reaktifler yardımıyla çöktürülür. Nihayet, teknik kafeine uygulanan adsorpsiyon ve kristalizasyon gibi renk giderme ve saflaştırma işlemlerinin neticesinde saf kafein elde edilir (Snell vd., 1969; King, 1980; Chougley, 1982).

Bu çalışmada, kafein üretimi için tasarlanmış pilot ölçekteki bir yarı kesikli ekstraksiyon bataryasının performansı değerlendirilerek optimum ekstraksiyon kademe sayısı ve kümülatif (integral) ekstraksiyon derecesi saptanmıştır.

2. TEORİK ESASLAR

Katı-sıvı ekstraksiyon yöntemi, genellikle katı madde içinde bulunan bir ya da birden fazla katı/sıvı komponentleri (solute ya da ekstre denir) solvent fazına transfer etmek amacıyla uygulanır. Prosesin etkinliği bakımından, katı (rafinat) ile solvent (ekstrakt) fazları arasındaki temas alanı ve temas süresi önemlidir. Esas itibarıyla, ekstraksiyon operasyonu 4 kademede yapılır: (i) Ekstrenin solvent fazına geçirilmesi; (ii) Bakıyenin ekstrakt fazından mekanik olarak ayrılması; (iii) Taşıyıcı inert madde yüzeylerinde tutulan (absorplanan) ekstraktın taze çözücü ile yıkanıp geri kazanılması; (iv) Çözünen maddenin ekstrakt fazından ayrılması ve rafine edilmiş çözücünün prosese devredilmesidir (Bird vd., 1960; King, 1980; Treybal, 1981).

2.1. Ekstraksiyon Cihazları

Katı-sıvı aygıtları ekstrakte edilecek maddenin tabiatına, proses şartlarına ya da iki fazın hareket durumlarına göre sınıflandırılmaktadır. Bunlar, kesikli, yarı-kesikli ve sürekli çalışan cihazlar olmak üzere 3 sınıfa ayrılabilirler. Dönen ya da sabit olan kesikli cihazlarda katı faz uzun süre taze çözücü ile temas ettirilir (Soxhlet cihazı). Sürekli çalışan ekstraktörde ise, rafinat faz ile çözücü karşıt yönden hareket ederek katı maddenin verildiği yerden ekstrakt, solventin beslendiği kısımdan da taşıyıcı inert madde alınır (Hildebrandt cihazı) (Treybal, 1981).

Yarı-kesikli çalışan cihazlar bir batarya halinde birbirine seri olarak bağlı birkaç ekstraktörden meydana gelir. Ünite boyunca eşit oranda stasyonere katı faz içeren bataryanın

ilk elemanına taze (ekstresiz) çözücü beslenir, son ekstraktörden de derişik çözeltili alınır. Prosesin sürekliliği bakımından, ilk ekstraktördeki ekstre miktarı alt limit olarak belirlenen ekonomik bir düzeye geldikten sonra devreden çıkartılıp, taze madde ile doldurulur ve bataryanın sonuna bağlanır. Taze solvent ise 2 ekstraktöre verilir. Solventin akış hızına karşı olan dirençten dolayı, bir bataryada en çok 6 ekstraktör bulunur. Şeker sanayinde, difüzör denilen ekstraksiyon ünitesinde en çok 16 elemanlı bir batarya kullanılabilir (King, 1980; Treybal, 1981).

2.2. Ekstraksiyon Kinetięi ve Difüzyonun Etkisi

Katı-sıvı ekstraksiyon işleminde kütle transferi oldukça karmaşık bir mekanizmaya sahiptir. Ekstrenin katı fazdan solvent fazına taşınımı difüzyon kanunlarına göre 3 aşamada gelişir: katı partikül hücrelerindeki ekstrenin solvent tarafından çözülmesi, partikül içindeki çözeltilinin katı dış yüzeyine doğru difüzyon (iç difüzyon) ve nihayet katı partikül yüzeyinden ekstrenin türbülanslı veya laminer akıştaki solvent fazına transferi (dış difüzyon) söz konusudur.

Basit difüzyon olarak isimlendirilen maddenin moleküler taşınımı, Fick eşitliği ile ifade edilir (Bird vd., 1960).

$$J_A = -\frac{D_A}{L} \Delta c_A = -\frac{D_A}{L} (c_{A1} - c_{A2}) \quad (\text{iç difüzyon}) \quad (1)$$

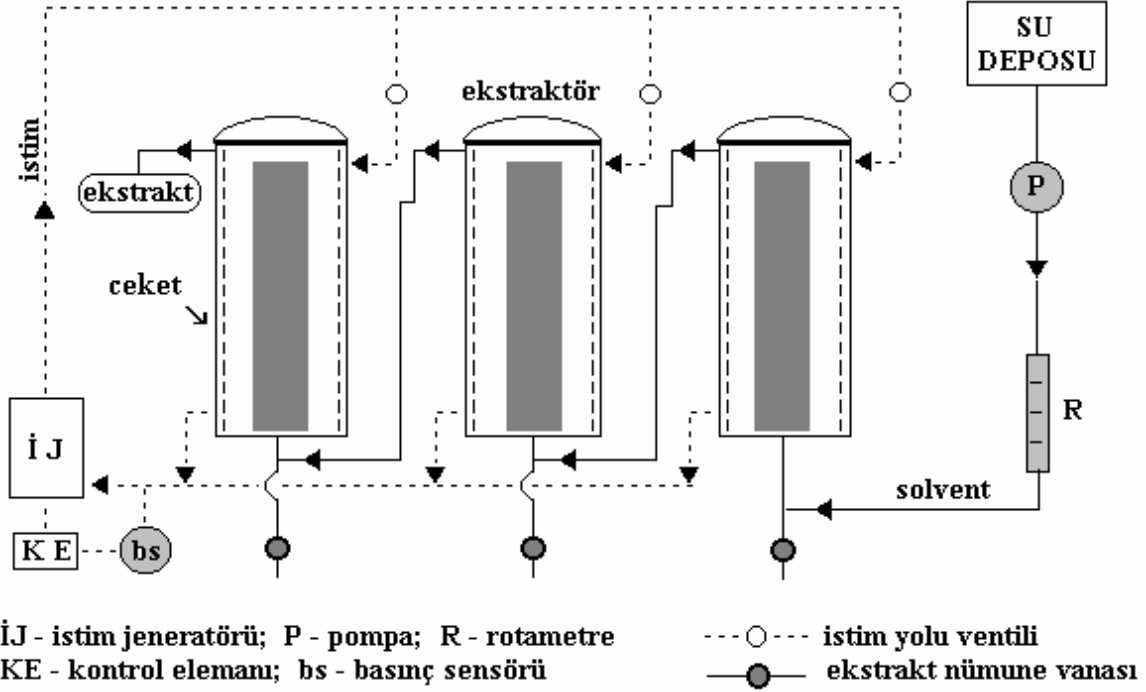
$$J_A = -\frac{D_A}{d} \Delta c_A = -\frac{D_A}{d} (c_{A2} - c_{A3}) \quad (\text{dış difüzyon}) \quad (2)$$

J_A niceliği, A bileşeninin molar akısıdır ($\text{mol/m}^2 \cdot \text{s}$); Δc_A itici güç olarak etki eden A'nın molar konsantrasyon farkıdır (mol/m^3); D_A , A'nın difüzyon katsayısı (m^2/s); L ve δ , sırası ile, partikül geometrik boyutu ve laminer film tabakası kalınlığıdır. Solvent fazının hareket etmesi halinde, hidrodinamik açıdan akış türü difüzyon hızları üzerinde etkilidir. Türbülanslı ya da laminer akıştaki bir akışkana kütle transferine karşı koyan tüm direncin arafaz bölgesine yakın bir akışkan laminer filmde oluştuğu kabul edilmiştir. Bird ve arkadaşları (Bird vd., 1960), hidrodinamik laminer film (δ) tabakasından çok difüzyon film alt tabakası ($\delta_d \approx 0.1\delta$) direncinin etkili olduğunu ileri sürmüştür. Önce durgun olarak kabul edilen bu filmin daha sonra laminer şartlarda hareket ettiği ve kütle transferinin moleküler difüzyon yoluyla gerçekleştiği görülmüştür. O halde, total ekstraksiyon süresini belirleyen başlıca faktörler dış difüzyon katsayısı ve film tabakasına ait konsantrasyon farkıdır. Batarya boyunca ekstraksiyon derecesi kümülatif olarak arttığından, kütle transfer hızlarının deneysel ölçümü mevcut deney düzeneği ile mümkün değildir. Bu nedenle, aygıt performansına ilişkin değerlendirmeler ekstraksiyon derecesi kriterleri ile sınırlı tutulmuştur.

2.3. Ekstraksiyon Etkinliği Kriterleri

(i) Bireysel ekstraksiyon derecesi: $E = m_E/m_0$, m_E - ekstraktör boşluk hacmi (V_b) (veya ekstraktördeki ekstrakt hacmi, $V_{En} = V_b = 500$ ml) başına ekstrakt fazına geçen mg kafein miktarı; m_0 - ekstraktöre beslenen 50 g çay artığında başlangıç kafein miktarıdır ($m_0 = 1000$ mg). 2. Total ekstraksiyon derecesi: $E^* = m_{E^*}/m_{0^*}$, hacimce birim solvent yıkama şarjına (ekstraksiyon kademesine) tekabül eden 500 ml batarya çıkışı ekstrakt birikiminin içerdiği

kafein miktarının (m_{E^*}), katı faz başlangıç kafein miktarına ($m_{0^*} = \sum m_{0,n}$) oranıdır. “n” batarya eleman sayısını, * simgesi ise bataryaya ait total niceliği temsil etmektedir.



Şekil 1. Üç elemanlı ekstraksiyon bataryası

(ii) Kümülatif (integral) ekstraksiyon derecesi: $E_{k^*} = \int_0^t E_{*,i} dt = \sum_i E_{*,i}$, t toplam ekstraksiyon süresi; “i” batarya çıkışında biriken 500 ml ekstrakt sayısıdır. 4. Bakiye yıkanma derecesi: $Y_R = m_R/m_0$, m_R - bakiyede kalan mg ekstre miktarıdır. 5. Hacimler oranı: $O_H = (\sum V_{E^*,i})/V_b$, batarya çıkışında biriken toplam ekstrakt hacminin ekstraktör boşluk (V_b) hacmine oranıdır. 6. Optimizasyon kriteri: $F = E_{k^*}/Y_{R1} = C_{E^*}/C_{R1}$, C_{E^*} batarya çıkışından alınan ekstrakt fazının kafein konsantrasyonu (mg/100 ml); C_{R1} 1.ekstraktördeki rafinat faz kafein kompozisyonu (mg/50 g çay); “1” 1.ekstraktöre ait niceliği göstermektedir. Değerlendirmeler, 500 ml ekstrakt bazında yapılmıştır.

3. DENEYSEL YÖNTEMLER

Bu çalışmada, çay artıklarından sıcak su kullanmak suretiyle katı-sıvı ekstraksiyon esaslarına dayalı kafein üretimi amaçlanmıştır. Deneylerde öngörülen operasyon sıcaklığı (95-97°C), ekstraktör başına çay artığı miktarı (50 g), kafein başlangıç konsantrasyonu (1000 mg/50 g çay artığı), ekstraktör boşluk hacmi veya sıvı holdup ($V_b = 0.5$ l) ve fazlar arası temas alanı sabit tutulmuştur. Ekstraksiyon işlemi 3 (B3) ve 5 (B5) ekstraktörden oluşan iki ayrı batarya düzeneğinde yapılmıştır. Ekstraksiyon sıcaklığı ise, sisteme bağlı bir istim jeneratörü ve basınç kontrol elemanları aracılığıyla istenilen değerde sabit tutulmuştur. Bu amaçla, jeneratör çıkışındaki istim sıcaklığı 103°C’ye ayarlanmıştır (Şekil 1).

Her biri istim ceketi ile donatılmış, eşit hacimli ve seri bağlı olan 3 (B3) veya 5 (B5) elemandan oluşan ekstraksiyon bataryasında durağan katı faz (çay artığı) sıcak su ile yıkanarak, kafein bakımından ayırma etkinliği ve ekonomik ekstraksiyon (solvent yıkama) sayısı test edilmiştir. 0.25, 0.5, 0.75 ve 1 L/sa solvent geçiş hızlarında ünite boyunca ve cihaz çıkışında biriken 500 ml ekstraktların kompozisyon analizi yapılarak optimum operasyon

süresi ve ekstraksiyon derecesi incelenmiştir. B3 düzeneği çerçevesinde kademe sayısı belirlenmiştir. Proses parametrelerine ait optimum değerler, kompozisyon ve ekstraksiyon derecesi verilerinin grafiksel analizi sonucu tayin edilmiştir. Ünitadaki istim ve solventin hareket yönleri ile diğer yardımcı elemanlar Şekil 1’de gösterilmiştir. B5 düzeneğinde toplam 5 ekstraktör vardır.

Kafein konsantrasyonu iyodometrik titrasyon yöntemiyle tayin edilmiştir. Kafein asidik ortamda I_2 ile çözünmeyen kafein periyodid teşkil eder, geri kalan (reaksiyona girmemiş) I_2 fazlası ise $Na_2S_2O_3$ ile titre edilir. Yöntemin hassasiyet oranı % 2 - % 3’tür.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Üç (B3) ve beş (B5) elemandan ibaret iki ayrı batarya düzeneğinde ekstraktör başına 50 g çay artığı, ekstraktör boşluk hacmi (V_b) (veya tek bir elemanın barındırabileceği ekstrakt hacmi, V_E) $V_b = V_E = 500$ ml ve hacimce birim solvent yükleme sarfiyatı niteliğindeki ekstraksiyon kademesini temsilen 500 ml batarya çıkışı ekstrakt miktarını (V_{E^*}) sabit tutmak suretiyle, ekstraksiyon kademe sayısı ve su akış hızı (ekstraksiyon süresi) parametrelerinin optimum değerleri araştırılmıştır.

4.1. Optimum Kademe Sayısı Tayini

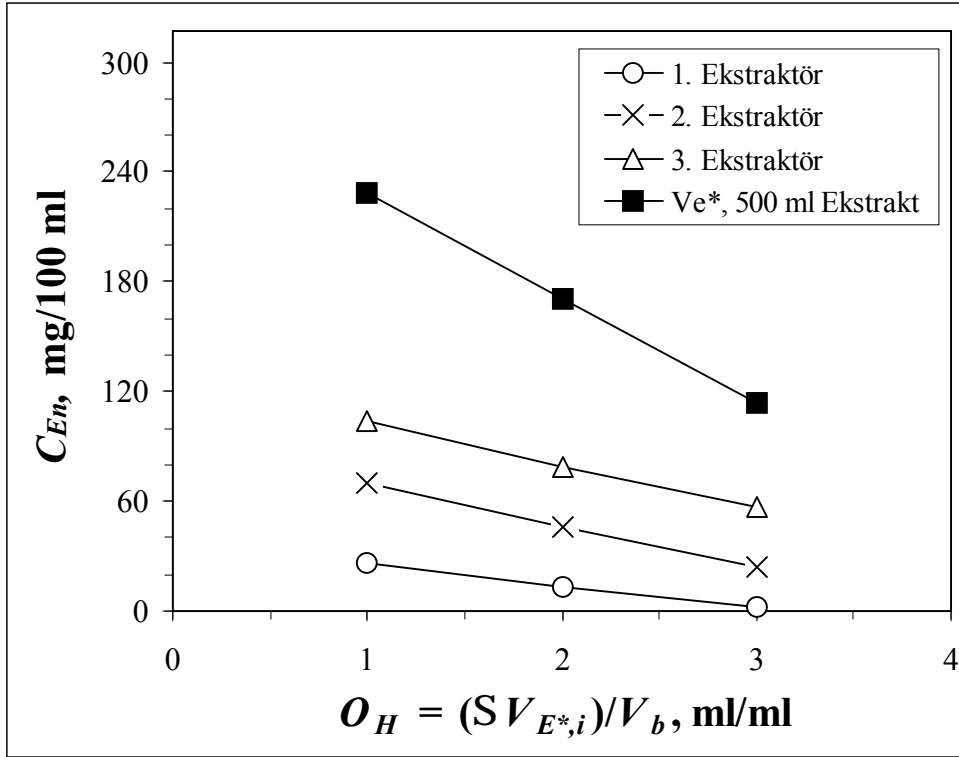
B3 tertibi kapsamına giren deney düzeneğinde $Q = 500$ mL/sa su besleme debisi kullanılmıştır. Bataryadan üç defa 500 ml ekstrakt alındığında, ekstraktöre ve batarya çıkışına ait 0.5 l hacimli ekstrakt fazlarının kompozisyon değişimi Şekil 2’de gösterilmiştir. İlk 500 ml ekstrakt ($O_H = 1$) alındığında, 1. ekstraktördeki çözeltinin kafein konsantrasyonu yüksektir ($C_{E1} = 26.4$ mg/100 ml). Prosesin, hacimler oranı $O_H = 3$ değerine kadar sürdürülmesi halinde ekstrakt ve bakiye için ekonomik sayılan $C_{E1} = 2.1$ mg kafein/100 ml ve $Y_{R1} = 0.12$ alt limit değerlerine ulaşılmış olur. Keza, ilave bir 500 ml solvent yüklenmesine karşın E_{k^*} değeri az etkilenmektedir (Şekil 3).

QSB+ ve QM algoritmaları aracılığıyla, deneysel batarya çıkışı ekstrakt verilerine Monte Carlo (MC) simülasyonu uygulanmıştır (Press vd., 1989; Chang vd., 1991, Halaç, 1998). Monte Carlo simülasyonu ile türetilen E_{k^*} eğrisinin grafiksel analizi sonucu, $O_H \geq 4$ bölgesi için operasyon zamanının uzunluğu (veya O_H ’nin büyüklüğü), $O_H \leq 2$ için de verimin yetersizliği yüzünden uygun operasyon koşulları değildir (Şekil 3). İki bölgeye ait doğruların kesiştiği optimum $O_H \approx 3$ tür. Netice olarak, 500 ml derişik ekstrakt üretilmesi amaçlanmış ise 3 elemanlı bataryaya 2 ekstraktör daha eklemek zorunluluğu vardır. Nitekim, B5 tertibi ile yapılan ön testlerde $C_{E1} = 1$ mg/100 ml ve $Y_{R1} = 0.10$ ekonomik değerleri bulunmuştur.

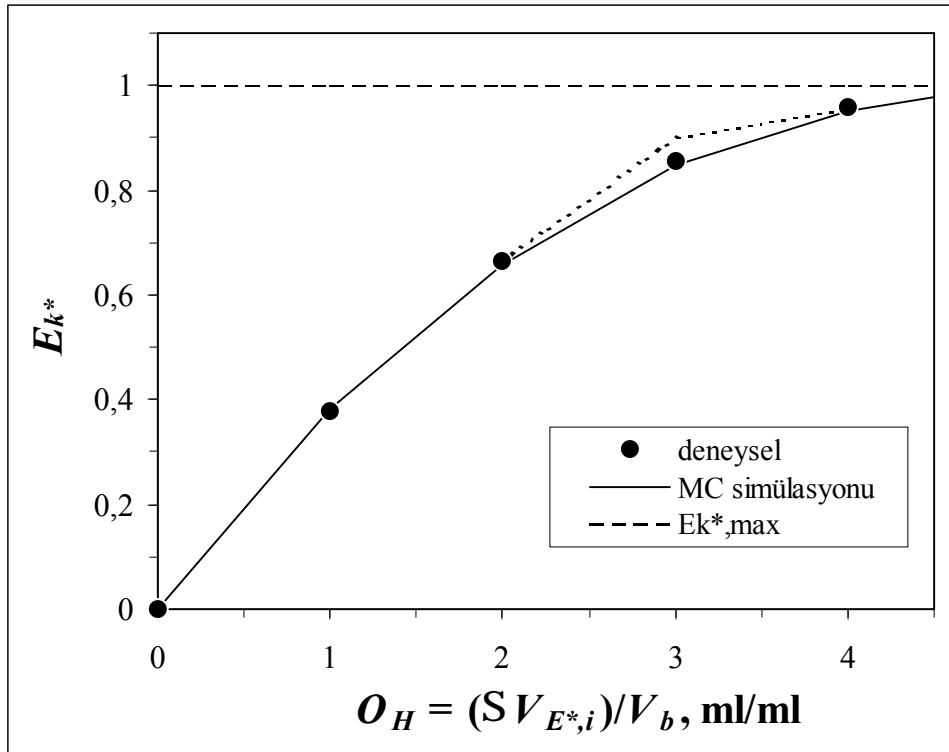
4.2. Su Debisinin Ekstraksiyon Performansına Etkisi

B5 batarya düzeneğinde optimum ekstraksiyon süresini tayin etmek amacıyla, 0.25, 0.5, 0.75 ve 1 L/sa su akış hızları denenmiştir. Ekstraksiyon zamanı (t) debi ile ters orantılıdır ($t = (5V_b + V_{E^*})/Q + t_d$) ve genelde ekstraktör boşluk hacmine (V_b), ekstrakt hacmine (V_{E^*}) ve sistemde akış yolu direncinin yarattığı gecikme zamanına (t_d) tabidir. Denemelerde, $V_{E^*} = 500$ ml ve $t_d = 0$ olarak alınmıştır.

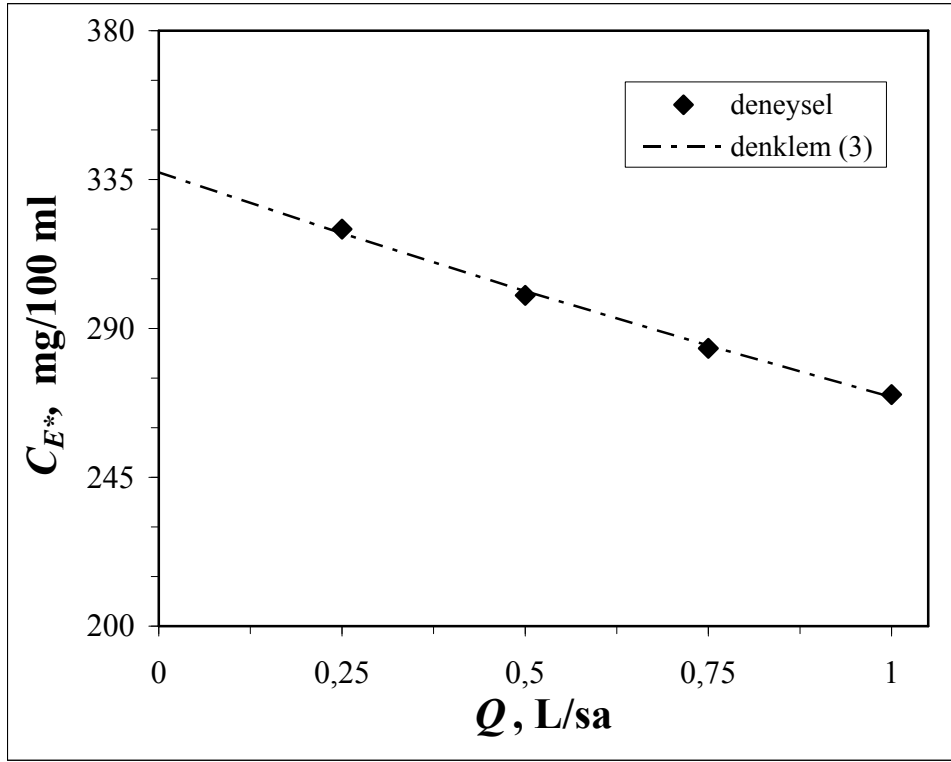
Operasyonun etkinliği bakımından, maksimum verim için 1.ekstraktördeki bakiyenin (C_{R1}) kafein konsantrasyonunun ekonomik alt limit değerine ulaştığında, ekstrakt fazı (C_{E^*}) kompozisyonunun da maksimum değerinde seyretmesi arzu edilir. Pratikte, ekstraksiyon işlemini maksimum verimle sürdürmek olanaksızdır.



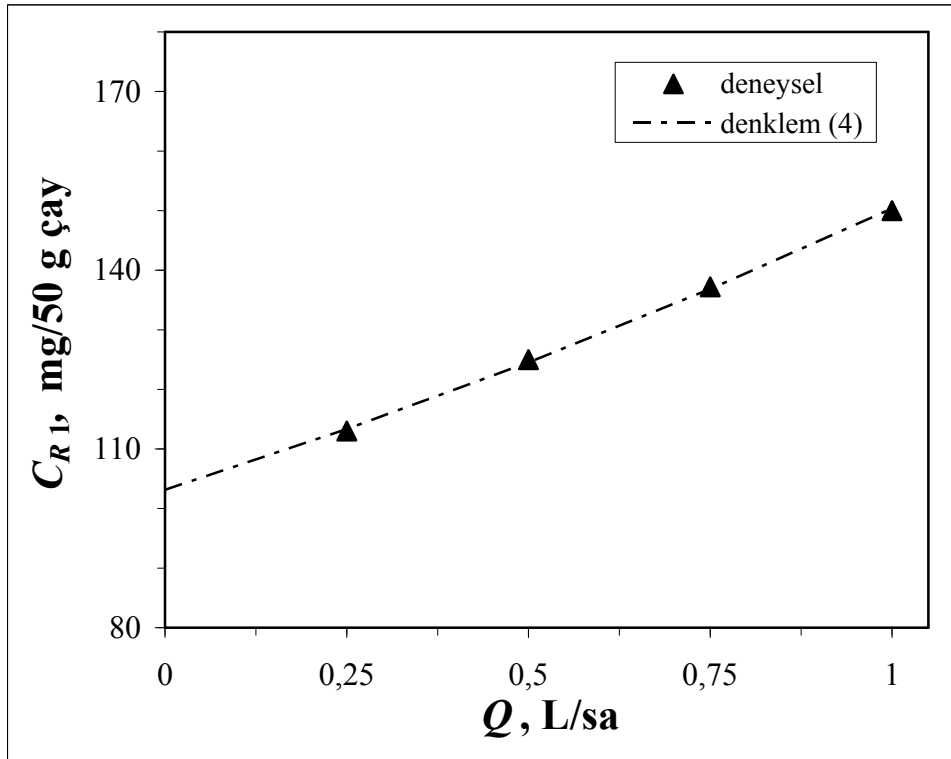
Şekil 2. Ekstrakt fazı (C_{Ek}) kompozisyonunun hacimler oranı (O_H) ile değişimi ($Q = 0.5 \text{ L/sa}$; $V_{E^*} = V_b = 500 \text{ ml}$; B3)



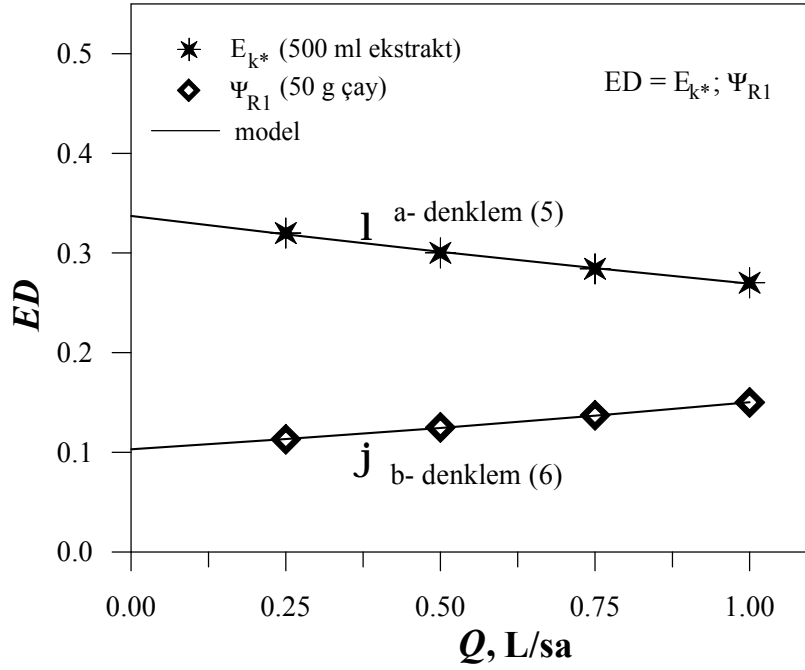
Şekil 3. Kümülatif E_{k^*} 'nın grafiksel analizi; Monte Carlo (MC) simülasyonu ile optimum O_H değerinin belirlenmesi ($O_H(\text{opt}) \approx 3$; $Q = 0.5 \text{ L/sa}$; $V_b = 500 \text{ ml}$; B3)



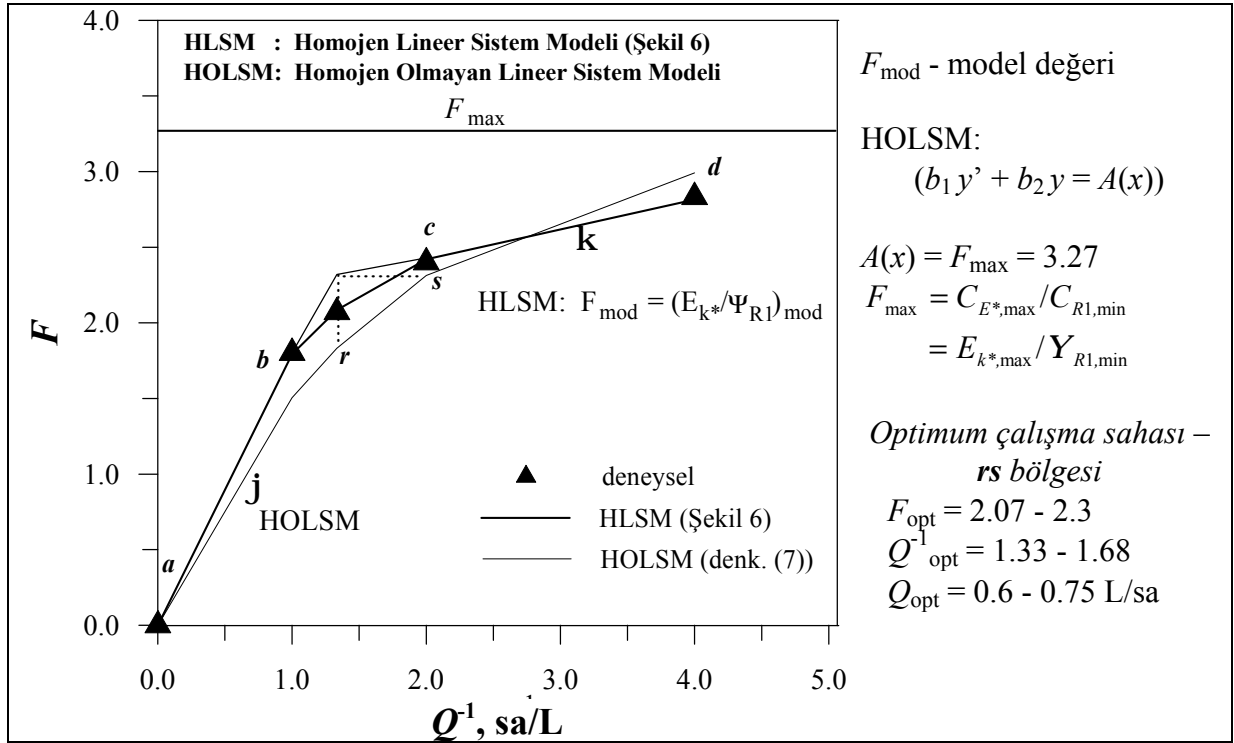
Şekil 4. Ekstrakt fazı (C_{E^*}) kompozisyonunun su debisi (Q) ile değişimi ($V_{E^*} = 0.5$ l; B5)



Şekil 5. Rafinat faz (C_{R1}) kompozisyonunun su debisi (Q) ile değişimi ($V_{E^*} = 0.5$ l; B5)



Şekil 6. Ekstraksiyon derecesinin (ED) su debisi ile değişimi (B5); $ED \equiv E_{k^*}, Y_{R1}$; $a - E_{k^*}$ eğrisi, $b - Y_{R1}$ eğrisi



Şekil 7. Optimum çalışma şartlarının grafiksel analizi (B5)

Bu süreçte, prosesin ne kadar zaman diliminde tamamlandığı da önem kazanır. Şekil 4'te C_{E^*} - debi ilişkisi, Şekil 5'te ise Soxhlet cihazı ile belirlenen 1. ekstraktördeki rafinat faz (C_{R1}) konsantrasyonunun debiye karşı değişimi gösterilmiştir.

Homojen lineer sistem modeli (HLSM), $a_1 y' + a_2 y = 0$, esas alınarak C_{E^*} - Q ilişkisi için denklem (3) (Şekil 4); C_{R1} - Q ilişkisi için de Eşitlik 4 türetilmiştir (Şekil 5) (Blum, 1972).

$$C_{E^*} = C_{E^*,\max} \exp(-0.225Q) \quad (C_{E^*,\max} = 337.14) \quad (3)$$

$$C_{R1} = C_{R1,\min} \exp(0.377Q) \quad (C_{R1,\min} = 103.13) \quad (4)$$

Operasyon sistemini temsilen, homojen lineer sistem güdümlü model davranışından hareketle, söz konusu Eşitlik 3 ve Eşitlik 4'ün $Q \rightarrow 0$ (veya $t \rightarrow \infty$) sınır şartları için ordinat değerleri ($C_{E^*,\max} = 337.14$ mg/100 ml) ve ($C_{R1,\min} = 103.13$ mg/50 g çay) olarak bulunmuştur. Benzer model denklemleri E_{k^*} ve Y_{R1} nicelikleri için de geçerlidir (Şekil 6). Şekil 6'da a - eğrisi integral ekstraksiyon derecesini (E_{k^*}), b - eğrisi ise 1. elemandaki rafinatın yıkanma oranını (Y_{R1}) temsil etmektedir. Ekstraksiyon derecesi ED ($ED \equiv E_{k^*}$; Y_{R1}) için türetilen homojen lineer sistem modeli (HLSM) denklemleri

$$E_{k^*} = E_{k^*,\max} \exp(-0.225Q) \quad (a - \text{eğrisi}) \quad (5)$$

$$Y_{R1} = Y_{R1,\min} \exp(0.377Q) \quad (b - \text{eğrisi}) \quad (6)$$

$$\text{Sınır şartları: } Q \rightarrow 0 \quad E_{k^*,\max} = 0.337; \quad Y_{R1,\min} = 0.103$$

İdeal koşullarda E_{k^*} (C_{E^*}) $\rightarrow \max$, Y_{R1} (C_{R1}) $\rightarrow \min$ ve t ekstraksiyon süresinin kısa olması istenir. Adı geçen proses değişkenlerinin birbiriyle kıyaslaması yapıldığında, ekonomik açıdan en uygun şartları seçmek mümkündür. Bu nedenle, optimizasyon kriteri olarak $F = E_{k^*}/Y_{R1} = C_{E^*}/C_{R1}$ faktörünün zamana karşı değişiminin grafiksel ve analitik analizi yapılmalıdır (Şekil 7). HLSM esaslı teorik F_{mod} değerleri ($F_{\text{mod}} = (E_{k^*}/Y_{R1})_{\text{mod}}$), Şekil 6 ve Eşitlik 5 ve Eşitlik 6 yardımıyla hesaplanan $(E_{k^*})_{\text{mod}}$ ve $(Y_{R1})_{\text{mod}}$ model değerlerinden türetilmiştir. Şekil 7'den, $Q^{-1} \rightarrow \infty$ ($t \rightarrow \infty$) durumunda F kriteri F_{max} limit değerine yaklaşmaktadır. HLSM teorik F eğrisinin ab ve cd bölgelerindeki fonksiyonel hız değişimi (eğimi) sabittir. Ancak, bc hattında eğrinin tanjantı oldukça değişkenlik sergilemektedir. Gerek ab bölgesi verimin (veya E_{k^*} 'nin) yetersizliğinden, gerekse cd hattı ekstraksiyon süresinin uzunluğundan dolayı, her iki sabit eğimli bölgeyi sınırlayan koşullarda operasyonu sürdürmek uygun değildir. Sonuç olarak, optimum işletme şartlarını belirleyen proses değişkenleri rs hattına isabet etmektedir ($F_{\text{opt}} = 2.07-2.3$; $Q^{-1}_{\text{opt}} = 1.33-1.68$; $Q_{\text{opt}} = 0.6-0.75$ L/sa). Sistemin dinamik davranışı ise, homojen olmayan lineer sistem modeli (HOLSMS) çerçevesinde değerlendirilmiştir (Blum, 1972). Model deneysel F verilerini ortalama % 7 hassasiyetle temsil etmektedir (Eşitlik 7).

$$F = F_{\max} (1 - \exp(-0.616/Q)) \quad (7)$$

Burada, $F_{\max} = E_{k^*,\max} / Y_{R1,\min} = C_{E^*,\max} / C_{R1,\min} = 3.27$ dir.

5. SONUÇLAR

Seri olarak bağlı 3 (B3) ve 5 (B5) ekstraktörden oluşan iki ayrı batarya tipi deney düzeneğinde, sırasıyla, optimum kademe sayısı ve su debisinin kümülatif ekstraksiyon derecesine etkisi incelenmiştir. Lineer (doğrusal) sistem davranışı, proses modelleme aşamasında referans teşkil etmiştir. B5 düzeneği çerçevesinde F kriteri aracılığıyla optimum çalışma şartlarının grafiksel analizi yapılmıştır.

KAYNAKLAR

- Bird R., Stewart W., Lightfoot E. (1960): “Transport Phenomena”, New York, Wiley & Sons.
- Blum E.K. (1972): “Numerical Analysis and Computation Theory and Practice”, California, Addison-Wesley.
- Chang Y.L., Sullivan R.S. (1991): “Quantitative Systems for Business Plus Version 2”, New Jersey, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs.
- Chougley J.B. (1982): “Factors Influencing the Caffeine Content of Black Tea”, Food Chemistry, 9, 4, 269-276.
- Halaç O. (1998): “İşletmelerde Simülasyon Teknikleri”, İstanbul, 3. baskı, Alfa.
- Kaçar B. (1991): “Çay Analizleri”, Ankara, Ankara Üniversitesi Basımevi.
- King C.J. (1980): “Separation Processes”, New York, McGraw-Hill.
- Press W.H., Flannery B.P., Vetterling W.T. (1989): “Numerical Recipes”, New York, Cambridge University Press.
- Snell F.D., Ettore L.S. (1969): “Encyclopedia of Industrial Chemical Analysis”, New York, Wiley & Sons, 8, 55.
- Treybal R.E. (1981): “Mass Transfer Operations”, New York, 2nd edition, McGraw-Hill.