



## Reactive Extraction of Lactic Acid Using Trioctylamine with Environmentally Friendly Solvents<sup>#</sup>

Mehmet Yetisen<sup>1,a</sup>, Cem Baltacıoğlu<sup>1,b,\*</sup>, Hasan Uslu<sup>1,c</sup>

<sup>1</sup>Food Engineering Department, Faculty of Engineering, Niğde Ömer Halisdemir University, Niğde, Türkiye

\*Corresponding author

### ARTICLE INFO

<sup>#</sup>This study was presented at the 6th International Anatolian Agriculture, Food, Environment and Biology Congress (Kütahya, TARGID 2022)

Research Article

Received : 20.10.2022

Accepted : 03.12.2022

Keywords:

Reactive extraction  
Physical extraction  
Trioctylamine  
Sunflower oil  
Rice bran oil

### ABSTRACT

In this study, the separation of lactic acid from aqueous solutions using trioctylamine (TOA) reactant and environmentally friendly solvents such as sunflower and rice bran oil was investigated, and it was aimed to contribute to the separation of lactic acid by reactive extraction. It is aimed to determine the most suitable reactant / solvent ratios with reactive extraction analyzes. As a result of the studies, the highest efficiency (72,91%) was achieved with the TOA reactant. An increase in yield occurred as a result of using both sunflower oil and rice bran oil (1:1) together. According to the results of the research, it was determined that the addition of TOA to the organic phase increases the extraction efficiency in the recovery of carboxylic acids from aqueous solutions. While the physical extraction yield was 11.85%, the yield increased up to 72,91% in reactive extraction. An increase in yield was observed about 7 times. As a result of the data obtained, it was understood that with the increase in the extractant concentration, the dispersion coefficient (from 0,13 to 2,69) increased, and the loading factor (from 1,79 to 0,69) values decreased. When the organic phase mixtures formed with the extractant and diluent combinations were examined, it was determined that the best results in terms of extraction efficiency were obtained when 3,62 M TOA for lactic acid was used.

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 10(sp1): 2662-2667, 2022

## Çevre Dostu Çözücüler ile Trioktil Amin Kullanılarak Laktik Asitin Reaktif Ekstraksiyonu

### MAKALE BİLGİSİ

### ÖZ

Araştırma Makalesi

Geliş : 20.10.2022

Kabul : 03.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Reaktif Ekstraksiyon  
Fiziksel Ekstraksiyon  
Trioktil amin  
Ayçiçek yağı  
Pirinç kepek yağı

Bu çalışmada, laktik asitin sulu çözeltilerinden trioktil amin (TOA) reaktanı ve ayçiçek ve pirinç kepek yağı gibi çevre dostu çözücüler kullanılarak ayrılması incelenmiş ve reaktif ekstraksiyon ile laktik asitin ayrılmasına katkı sağlayacağı amaçlanmıştır. Reaktif ekstraksiyon analizleri ile en uygun reaktant / çözücü oranlarını tespit etmek hedeflenmiştir. Çalışmalar sonucunda TOA reaktanı ile en yüksek verime (%72,91) ulaşılmıştır. Hem ayçiçek yağı hem de pirinç kepek yağının (1:1) birlikte kullanılması neticesinde verimde artış meydana gelmiştir. Araştırma sonuçlarına göre karboksilik asitlerin sulu çözeltilerden geri kazanımında organik faza TOA eklemesinin ekstraksiyon verimliliğini arttırdığı tespit edilmiştir. Fiziksel ekstraksiyonda verim %11,85 bulunurken, reaktif ekstraksiyonda verim %72,91'e kadar çıkmıştır. Yaklaşık 7 kat verimde artış gözlenmiştir. Elde edilen veriler neticesinde ekstraktan konsantrasyonunun artmasıyla birlikte dağılma katsayısı (0,13'dan 2,69'a) değerlerin de arttığı, yükleme faktörü (1,79'dan 0,69'a) değerlerinin azaldığı anlaşılmıştır. Ekstraktan ve seyreltici kombinasyonlarıyla oluşturulan organik faz karışımları incelendiğinde ekstraksiyon verimliliği açısından en iyi sonuçların laktik asit için 3,62 M TOA kullanıldığında elde edildiği tespit edilmiştir.

<sup>a</sup> [mehmetyetisen@ohu.edu.tr](mailto:mehmetyetisen@ohu.edu.tr)

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8347-4081>

<sup>b</sup> [cembaltacioglu@ohu.edu.tr](mailto:cembaltacioglu@ohu.edu.tr)

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8308-5991>

<sup>c</sup> [hasanuslu@ohu.edu.tr](mailto:hasanuslu@ohu.edu.tr)

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0002-4985-7246>



## Giriş

Günümüzde endüstriyel gıda sektörünün hızlı bir şekilde gelişmesi ile birlikte ürünlerin optimum koşullarda ve minimum maliyet, enerji ve zamanla prosesleri yönetmeye yönelik çalışmalar giderek artış göstermektedir. Bu süreç içerisinde kimyasal ayırma işlemleri önemli bir role sahiptir. Bu çeşit endüstrilerin temel amacı var olan ayırma yöntemlerini yeni teknikler kullanarak geliştirmek veya kombine ederek uygulanabilir makul seviyelerde süreç yönetimini en iyi şekilde yapabilmektir (Wasewar, 2012).

Karboksilik asitler polar ve hidrojen bağı yapabilen, karboksil grubuna sahip (R-COOH) olan bileşiklerdir. Ayrıca karboksilik asitlerin karboksil grubu polar özelliklere sahip olduğundan asitlerin fiziksel özellikleri bu grup tarafından şekillendirilir (Volhardt ve Schore, 2010). Karboksilik asitler gıda ve kimya endüstrilerinde sıkça kullanılan, özellikle hayvan yemi, plastik, ilaç ve deterjan gibi ürünlerin üretilmesinde başrol oynayan organik bileşiklerdir. Ayrıca karboksilik asitler polimerlerin üretiminde girdi hammaddesi olarak da kullanılmaktadır (Djas ve Henczka, 2018; Hong ve ark., 2001).

Geleneksel olarak organik asitlerin üretimi fermantasyon yöntemi ile yapılmaktadır. Enerji maliyetlerindeki artış nedeniyle fermantasyona olan ilgi giderek artmaktadır. Fakat fermantasyon ürünlerinin geri kazanımları konusundaki çalışmalar sınırlı olmaktadır. Bu sebeple, geri kazanım yönündeki yenilikçi teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır (Kertes ve King, 1986).

Fermantasyon sıvısına hem kalsiyum karbonat hem de kalsiyum hidroksit eklenmesi sonucunda ortaya çıkan kalsiyum tuzunun sülfürik asitle muamele edilmesi geleneksel ürün geri kazanma yöntemi olarak bilinmektedir. Bu işlemler sonucunda hem kalsiyum sülfat atığının ortaya çıkması hem de büyük miktarda bulamacın işlenmesi yöntemin dezavantajıdır (Hong ve ark., 2001; Kertes ve King, 1986).

Bir diğer geleneksel yöntem olan sıvı-sıvı ekstraksiyonda ise sulu ve su ile karışmayan organik faz arasına çözünen aktarılır. Fazların birbirinden ayrılmasından sonra çözünen organik fazdan alınır. Ekstraksiyon da kullanılan çözücüler (eter gibi) düşük aktivite katsayısına sahip olan sulu fazdaki asitin çözücüye transferini zorlaştırdığından, karboksilik asitlerin geri kazanımı için uygun bir yöntem değildir (Hong ve ark., 2001). Genel olarak karboksilik asitlerin sulu çözeltilerinden geri kazanılmasında birçok yöntem sıklıkla kullanılmaktadır. İyon değişimi, sıvı-sıvı ekstraksiyon, ultrafiltrasyon, ters osmoz, kimyasal çökeltme, adsorpsiyon ve reaktif ekstraksiyon bu yöntemleri oluşturmaktadır (Kurzrock ve Weuster-Botz, 2010; Pazouki ve Panda 1998). Tüm bu ayırma yöntemleri arasında karboksilik asitlerin sulu çözeltilerinden geri kazanımı reaktif ekstraksiyon yöntemi ile başarılı bulunmuştur. Bu yöntemin diğer ayırma proseslerine alternatif olacağı düşünülmüştür (Kumar ve Babu, 2008).

Laktik asit hem kimyasal sentez hem de laktik asit fermantasyonu ile biyoteknolojik olarak üretilmektedir. Bilinen en yaygın kimyasal sentez laktonitrilin hidrolize edilmesidir. Fakat bu yöntemde kullanılan petrokimyasal hammaddelerin sınırlı olması ve doğaya verilen zararlar nedeniyle sınırlamalar ortaya çıkmaktadır (Wee ve ark.,

2006). Günümüzde laktik asitin çok büyük bir kısmı mikrobiyal fermantasyon yolu ile üretilmektedir. Endüstriyel olarak biyodönüşümlerin ilerlemesiyle mikroorganizma tarafından laktik asit üretimi tercih edilmeye başlanmıştır (Fazzino ve ark., 2021).

Laktik asit gıda, ilaç, kozmetik ve kimya endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmasından ötürü laktik asit üretimine olan ilgi artmaktadır (Wee ve ark., 2006). Laktik asitin artan üretimiyle beraber hem fermantasyon ortamından hem de atık sularından ve yan ürünlerden verimli bir biçimde ayrılması ve saflaştırılması kayda değer bulunmuştur.

Reaktif ekstraksiyon, reaktant ve seyreltici birliktedir kullanılması sonucunda reaktant ve ekstrakte edilen ürün arasında oluşan reaksiyon ile meydana gelir. Ortaya çıkan kompleks bileşenler organik fazda çözünerek ayırma işlemi meydana gelir (Hong ve Hong, 2000). Reaktif ekstraksiyonu fiziksel ekstraksiyondan ayıran temel özellik, reaktif ekstraksiyon yönteminde bir reaktantın ortamda bulunması ve bu reaktantın karboksilli asitlerle kompleks oluşturarak ayırma işlemini gerçekleştirmesine dayanmaktadır. Bu yöntem diğer yöntemlere kıyasla basit, verimli ve temiz bir işlem olma özelliği bakımından ön plana çıkmaktadır.

Bu çalışmada bir karboksilik asit olan laktik asitin sulu çözeltilerden reaktif ekstraksiyon ile geri kazanılmasının incelenmesi amaçlanmıştır. Çevre dostu olarak ayçiçek ve pirinç kepek yağı çözücüler ve reaktant olarak trioktil amin (TOA) kullanımlarıyla çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın temel amacı ayçiçek ve pirinç kepek yağının 1:1 oranda kullanarak reaktant ile reaksiyonu sonucunda dağılım katsayısı, yükleme faktörü ve ekstraksiyon verimine olan etkisi incelenmiştir.

## Materyal ve Metot

Yüksek saflıkta kimyasallar, laktik asit, amin (trioktil amin), ve çevre dostu bitkisel çözücüler (ayçiçek yağı, pirinç kepek yağı) ticari bir firmadan satın alınmıştır.

Denemelerde kullanılan laktik asitin fermantasyon sonucu oluşabilecek en yüksek miktarının hacimce %8'lik sulu çözeltisi hazır hale getirilerek karıştırıcı yardımıyla homojen olması sağlanmıştır. Öncelikle 50 ml hacimli erlenin içerisine 10 ml laktik asitin sulu çözeltisi ilave edildi. Böylece sulu faz hazırlanmıştır. Organik fazı oluşturmak üzere fiziksel ekstraksiyonda ekstraktan kullanılmadan 10 mL çözücü (ayçiçek yağı ve pirinç kepek yağı 1:1 oranda) ilave edilmiştir. Daha sonra ekstraktan (trioktil amin) ve çözücü miktarları toplamda 20 mL olacak şekilde farklı konsantrasyonlarda erlenin içerisine ekleme yapılmıştır. Bu şekilde reaktif ekstraksiyonun organik fazı oluşturulmuştur. Bu ekstraksiyonda sulu faz ve organik fazın birbirine oranları eşit tutulmuştur. Bu sayede ekstraktan (trioktil amin) konsantrasyonu organik fazda belirli miktarlarda artırılmıştır. Ekstraktan olarak kullanılan aminin çevre dostu bitkisel çözücülerle (ÇDBÇ) (ayçiçek yağı ve pirinç kepek yağı 1:1 oranda) 10 farklı konsantrasyonda çözeltileri hazır hale getirilmiştir. Hazırlanan karışımlar çalkalayıcı (Wisecube WIS 30, Almanya) içerisinde 6 saat süre ile karıştırılması sağlanmıştır.

Çizelge 1. Laktik asitin TOA ve çözücü sistemiyle ekstraksiyon sonuçları

Table 1. Extraction results of lactic acid with TOA and solvent system

Çözücü	C <sub>amin, (org)</sub> (mol.L <sup>-1</sup> )	C <sub>LA(aq)</sub> (mol.L <sup>-1</sup> )	C <sub>LA(org)</sub> (mol.L <sup>-1</sup> )	K <sub>D</sub>	Ort.K <sub>D</sub>	Z	% E	Ort. %E	K <sub>D1</sub> /K <sub>D0</sub>
Ayçiçek Yağı ve Pirinç Kepek Yağı (1:1)	0,00	3,02	0,41	0,13			11,85		1,00
	0,37	2,76	0,67	0,24		1,79	19,53		1,81
	0,73	2,34	1,08	0,46		1,48	31,62		3,44
	1,19	1,72	1,71	1,00		1,44	49,88		7,40
	1,61	1,38	2,05	1,48	1,47	1,27	59,67	51,86	11,00
	1,99	1,25	2,18	1,75		1,10	63,57		12,98
	2,41	1,10	2,33	2,12		0,97	67,90		15,73
	2,75	1,03	2,40	2,33		0,87	69,94		17,30
	3,07	0,97	2,46	2,54		0,80	71,72		18,86
	3,62	0,93	2,50	2,69		0,69	72,91		20,01

Çizelge 2. Laktik asit-çözücü sistemine ait sıvı-sıvı ekstraksiyon verileri

Table 2. Liquid-liquid extraction data of the lactic acid-solvent system

Çözücü	C <sub>A, (aq)</sub> (mol.L <sup>-1</sup> )	C <sub>A, (org)</sub> (mol.L <sup>-1</sup> )	K <sub>D</sub>	% E
Ayçiçek Yağı ve Pirinç Kepek Yağı (1:1)	3,02	0,41	0,13	11,85

Literatürü incelediğimiz zaman, maddelerin dengeye ulaşması için iki fazın karıştırılması ve birbirinden ayrılması üzerine birçok farklı yöntemler kullanıldığına dair çalışmalar mevcuttur. Daha önce yapılan çalışmalar birden fazla saat çalkalama süresini tavsiye etmişlerdir. Yapmış olduğumuz araştırmada denge derişimini elde etmek için gerekli süre ön denemeler sonucunda tespit edilmiştir.

Ön denemeler neticesinde fazların birbirinden ayrılması için gerekli zaman tespit edilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda olduğu gibi ayrılan sulu fazdaki konsantrasyon miktarı 0,1 N NaOH ve fenolftalein indikatörlüğünde titre edilerek belirlenmiştir. Titrasyon hesaplamalarında meydana gelebilecek olası hatayı en düşük seviyede tutmak için deneyler 3 paralelli yapılarak ortalamaları hesaplanmıştır. Kütle denkligi ile organik fazdaki asit miktarı hesaplanmıştır. Denge hesaplamaları sayesinde asitin ekstraksiyon verimi, yükleme faktörü ve dağılma katsayısı belirlenmiştir.

Hesaplanan Dağılma katsayısı (K<sub>D</sub>), Yükleme faktörü (Z) ve Ekstraksiyon verimliliği (E) aşağıdaki formüllere göre belirlenmiştir.

$$K_D = \frac{C_{LA(org)}}{C_{LA(su)}}$$

$$Z = \frac{C_{LA(org)}}{C_{Amin}}$$

$$E = \left(1 - \frac{C_{LA(su)}}{C_{LA(su)}^0}\right) \times 100$$

C<sub>LA(org)</sub> : Ekstraksiyondan sonraki organik fazdaki laktik asit konsantrasyonu (mol/L)

C<sub>LA(su)</sub> : Ekstraksiyondan sonraki su fazındaki laktik asit konsantrasyonu (mol/L)

C<sub>Amin</sub> : Organik fazdaki amin konsantrasyonu (mol/L)

C<sup>0</sup><sub>LA(su)</sub> : Su fazındaki başlangıç laktik asit konsantrasyonu (mol/L)

E : % ekstraksiyon verimi

## Bulgular ve Tartışma

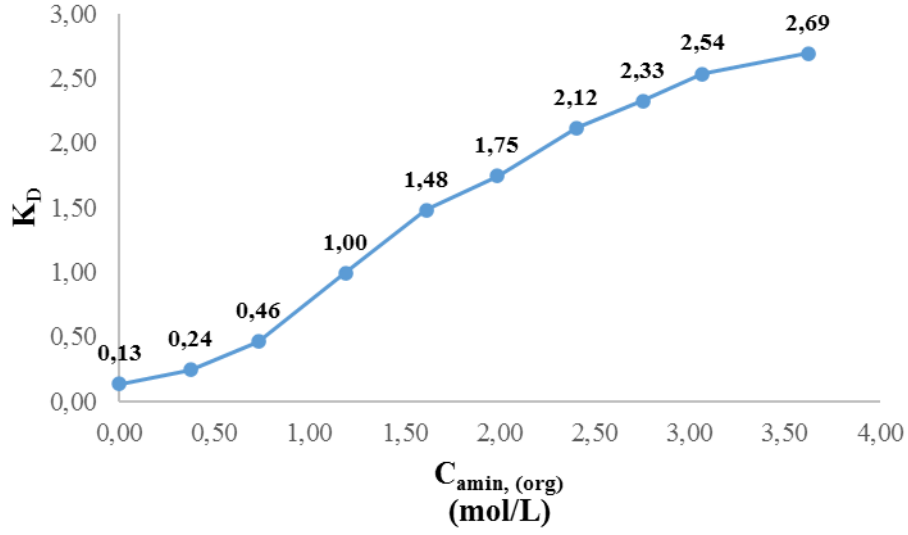
### Reaktif Ekstraksiyon Bulguları

Analiz sonuçlarına göre reaktant olarak kullanılan TOA konsantrasyonundaki değişim neticesinde meydana gelen dağılma katsayısı, yükleme faktörü, ekstraksiyon verimi ve K<sub>D1</sub>/K<sub>D0</sub> değerlerini ifade eden grafikler Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmiştir.

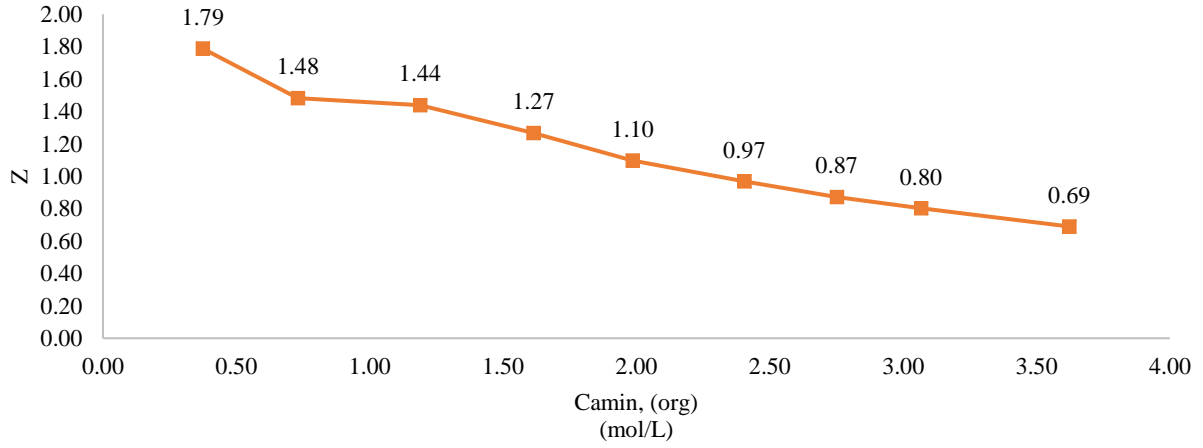
Genellikle dağılma katsayısı ekstraksiyon işlemlerinin yorumlanmasında kullanılan bir ifadedir. Bir maddenin birbirine karışmayan iki faz arasında dağılıma uğraması sonucunda her iki fazda bulunan konsantrasyonlarının birbirine oranlanmasıyla elde edilir. Yapılan birçok çalışmaya göre yüksek kaynama noktasına sahip, orta molekül ağırlıkta ve suya karışmayan polar çözücüler yüksek dağılma katsayısı ve seçicilik göstermiştir (Wasewar ve Yoo, 2012).

Deneysel sonuçlara göre, fazlar arasında dağılıma uğrayan madde laktik asittir ve başlangıç dağılma katsayısı 0,13 iken amin konsantrasyonun artması ile birlikte 2,69'a kadar artış meydana geldiği görülmektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda inert çözücülerin asitin çözücü fazına çok düşük bir dağılım verdiği bildirilmiştir (İnci ve Uslu, 2005; Tamada ve King, 1990; Uslu ve ark., 2009; Thakre ve ark., 2016; Keshav ve ark., 2012; Tamada ve ark., 1990).

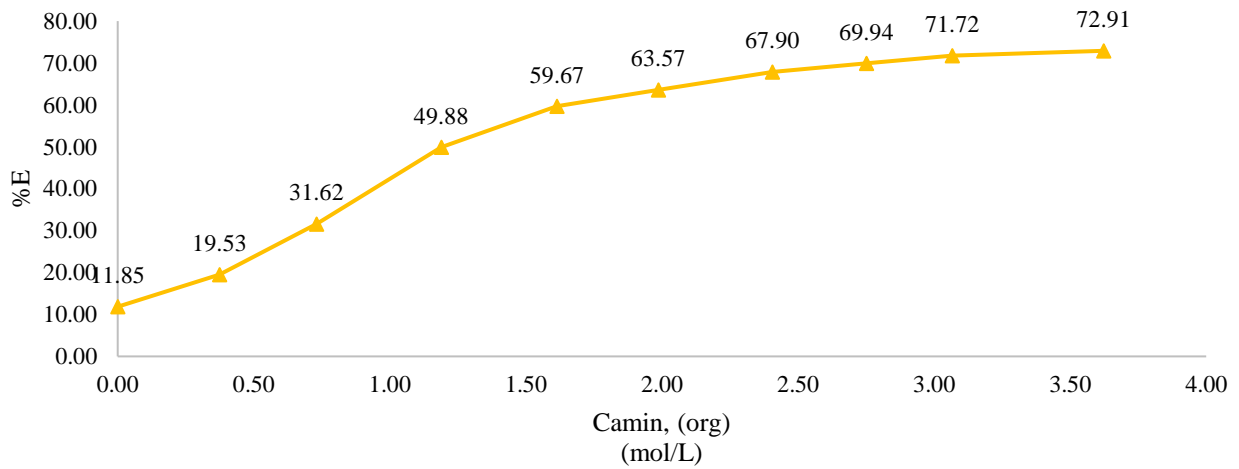
Sonuçlar incelendiğinde amin miktarındaki artışa bağlı olarak yükleme değerinin azaldığı görülmektedir. Deneysel verilere bakılacak olursa, amin miktarındaki artışla özütlenen laktik asit miktarının da artmış olduğu tespit edilmiştir. Fakat devam eden artışla yükleme faktöründeki azalışı birim amin tarafından özütlenen laktik asitin azaldığı anlamına gelmektedir. Yükleme faktör değerinin birden büyük olması ekstraksiyon işleminde aşırı yükleme olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Sonuçlara göre 5 farklı amin konsantrasyonunda yükleme faktörünün 1'den büyük diğer 4 farklı amin konsantrasyonunda ise yükleme faktörünün 1'den küçük olduğu anlaşılmaktadır.



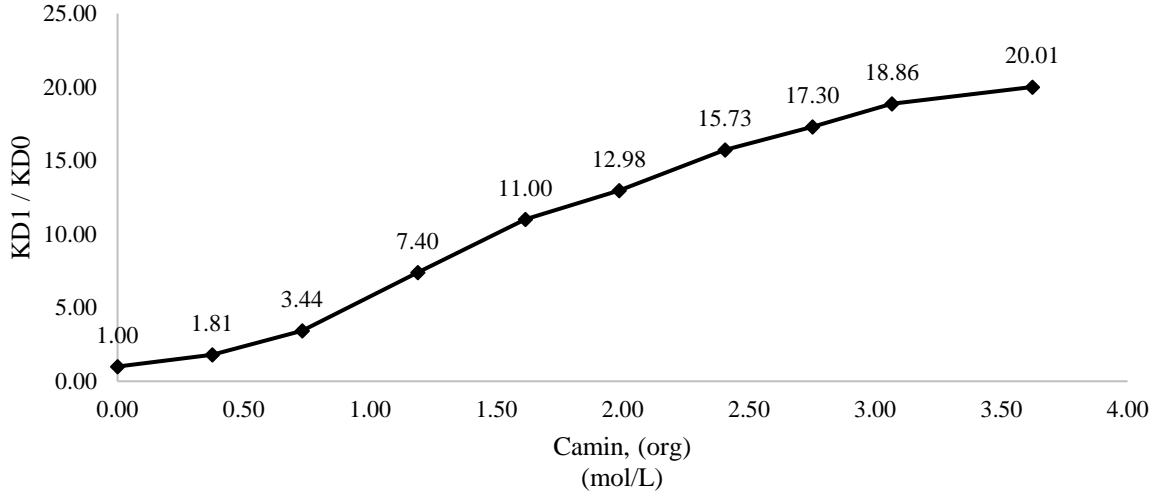
Şekil 1. TOA konsantrasyonuna bağlı olarak laktik asitin dağılım katsayısındaki değişim  
Figure 1. Change in the coefficient of dispersion of lactic acid depending on the concentration of TOA



Şekil 2. TOA konsantrasyonuna bağlı olarak laktik asitin yükleme faktöründeki değişim  
Figure 2. Change in the loading factor of lactic acid depending on the concentration of TOA



Şekil 3. TOA konsantrasyonuna bağlı olarak laktik asitin ekstraksiyon verimindeki değişim  
Figure 3. Change in extraction yield of lactic acid depending on the concentration of TOA



Şekil 4. TOA konsantrasyonuna bağlı olarak laktik asitin başlangıç dağılım katsayısındaki değişim  
Figure 4. Change in the initial dispersion coefficient of lactic acid depending on the concentration of TOA

Şekil 3'te görüldüğü üzere TOA miktarının organik fazda artması ile birlikte reaktif ekstraksiyon verimi artmaktadır. Çalışma sonucunda 0,37 mol/L-3,62 mol/L aralığında TOA kullanarak gerçekleştirilen ekstraksiyonların verimlilikleri %19,53-%72,91 aralığında değişmiştir. En yüksek ekstraksiyon verimi 3,62 mol/L TOA ile %72,91 elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiği zaman, karboksilik asitlerin geri kazanımında reaktif ekstraksiyonda reaktan olarak kullanılan aminlerin oldukça iyi bir ekstraktan olabileceği düşüncesini doğrulamaktadır. Çözücü seçimi reaktif ekstraksiyonda önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Deneysel çalışmalarda kullanılan ÇDBÇ ayçiçek ve pirinç kepek yağlarının aynı oranda çözücü olarak kullanılması sonucunda ortaya çıkan verilerin literatüre kazandırılması hedeflenmiştir. TOA reaktanı ile hazırlanan deneylerde en yüksek dağılım katsayısı 2,69, en düşük yükleme faktörü 0,69 ve en yüksek ekstraksiyon verimi %72,91 sonuçları elde edilmiştir.

Laktik asitin başlangıç dağılım katsayısındaki değişimi incelendiğinde, TOA miktarındaki artışa bağlı olarak maksimum 20,01 kat artış meydana geldiği görülmektedir. Bu da organik faza transfer olan laktik asitin sulu fazdaki laktik asite oranının reaktan miktarının artması ile doğru orantıda artış meydana getirdiği anlaşılmaktadır.

#### Fiziksel Ekstraksiyon Bulguları

Bu çalışmada laktik asitin sulu çözeltilerinden ÇDBÇ yardımı ile ekstraksiyonu araştırılmıştır. Bu çalışmada iki farklı yöntem olan sıvı-sıvı ve reaktif ekstraksiyon metodları kullanılmıştır. Reaktif ekstraksiyon metodunda amin içeren kompleksleştirme ajanı kullanılmıştır. Buna ek olarak, iki yöntemde de farklı çözümler kullanılarak, çözücülerin aynı oranda birlikte kullanılmalarının ayırma verimliliği üzerine etkisi incelenmiştir.

Sıvı-sıvı ekstraksiyon sonuçlarına göre ayırma verimliliğinin %11,85 ve dağılım katsayısının 0,13 olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek ayırma verimliliğinin yüksek molekül ağırlığındaki aside ait olduğu kanısına varılmaktadır. Ayırma verimliliğinin %50'nin altında olduğu ve yapılan ekstraksiyonun istenilen oranda sonuçlar ortaya koymadığı görülmektedir.

Analiz sonuçlarına göre fiziksel ekstraksiyon, reaktif ekstraksiyon ile kıyaslandığı zaman, organik faza TOA eklenmesi neticesinde dağılım katsayısında ve verimde büyük artış meydana getirmiştir. Bu da karboksilik asitlerin sulu çözeltilerden geri kazanılmasında reaktif ekstraksiyonun etkili bir ayırma metodu olduğu sonucunu doğurmuştur.

Daha önce yapılan bir çalışmada, laktik asitin sulu çözeltilerinden geri kazanılmasında TOA ve Aliquat336 reaktanları ve ayçiçek yağı ve butan-2-ol çözümleri kullanarak optimizasyon çalışmaları neticesinde ayçiçek yağı kullanıldığında dağılım katsayısı %24,8, ekstraksiyon verimliliği ise %95,6 olarak bulunmuştur (Kumar ve Thakur, 2019). Sonuçların yapılan bu çalışmadan farklı olmasının sebebi bu çalışmada optimizasyon yapılmamış olmasından kaynaklanmaktadır.

Sonuç olarak, karboksilik asitlerin sulu çözeltilerden geri kazanılması açısından reaktif ekstraksiyon metodunun ayırma kabiliyetinin, sıvı-sıvı ekstraksiyona kıyasla çok fazla olduğu, amin miktarının artmasıyla ayırma verimliliğinin arttığı ve ÇDBÇ olarak kullanılan ayçiçek ve pirinç kepek yağlarının aynı oranda çözücü olarak kullanılması karboksilik asitlerin reaktif ekstraksiyon ile ayrılmasında başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

#### Teşekkür

Bu çalışma Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Koordinatörlüğü tarafından TGT 2021/10-BAGEP numaralı proje ile desteklenmiştir.

#### References

- Djas M, Henczka M. 2018. Reactive extraction of carboxylic acids using organic solvents and supercritical fluids: A review. Separation and Purification Technology, 201, 106-119. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.02.010>
- Fazzino F, Mauriello F, Paone E, Sidari R, Calabrò PS. 2021. Integral valorization of orange peel waste through optimized ensiling: Lactic acid and bioethanol production. Chemosphere, 271, 129602. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129602>

- Hong YK, Hong WH. 2000. Reactive extraction of succinic acid with tripropylamine (TPA) in various diluents, *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 22, 282-284. DOI: <https://doi.org/10.1007/s004490050733>
- Hong YK, Hong WH, Han DH. 2001. Application of reactive extraction to recovery of carboxylic acids, *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 6 (6), 386-394. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02932319>
- İnci İ, Uslu H. 2005. Investigation of diluent effect on extraction of citric acid by trioctyl methyl ammonium chloride + organic solutions, *Journal of Chemical & Engineering Data*, 50, 1103-1107. DOI: <https://doi.org/10.1021/je0500680>
- Kertes AS, King CJ. 1986. Extraction chemistry of fermentation product carboxylic acids, *Biotechnology and Bioengineering*, 28, 269-282. DOI: <https://doi.org/10.1002/bit.260280217>
- Keshav A, Norge P, Wasewar KL. 2012. Reactive extraction of citric acid using tri-n-octylamine in nontoxic natural diluents: Part 1 - Equilibrium studies from aqueous solutions, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 167, 197-213. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12010-012-9682-z>
- Kumar S, Babu BV. 2008. Separation of carboxylic acids from waste water via reactive extraction, In international proceedings of convention on water resources development and management (ICWRDM), 23-26 October, BITS Pilani, India, 1-9.
- Kumar A, Thakur A. 2019. Parametric optimization of green synergistic reactive extraction of lactic acid using trioctylamine, Aliquat336, and butan-2-ol in sunflower oil by response surface methodology. *Chemical Engineering Communications*, 206(8), 1072-1086. DOI: <https://doi.org/10.1080/00986445.2018.1544898>
- Kurzrock T, Weuster-Botz D. 2010. Recovery of succinic acid from fermentation broth. *Biotechnology Letters*, 32(3), 331-339. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10529-009-0163-6>
- Tamada JA, King CJ. 1990. Extraction of carboxylic acids with amine extractants. 2. Chemical interactions and interpretation of data, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 29, 1327-1333.
- Tamada JA, Kertes AS, King CJ. 1990. Extraction of carboxylic acids with amine extractants. 1. Equilibria and law of mass action modeling, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 29, 1319-1326.
- Thakre N, Prajapati AK, Mahapatra SP, Kumar A, Khapre A, Pal D. 2016. Modeling and optimization of reactive extraction of citric acid, *Journal of Chemical & Engineering Data*, 61, 2614-2623. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jced.6b00274>
- Uslu H, Bayat C, Gökmen S, Yorulmaz Y. 2009. Reactive extraction and LSER model consideration of lactic acid with tripropylamine + organic solvent systems from aqueous solution at room temperature, *Desalination*, 249, 694-698. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.11.020>
- Vollhardt P, Score IN. 2010. *Organic Chemistry-Structure and Function*, Sixth Edition.
- Pazouki M, Panda T. 1998. Recovery of citric acid, *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 19, 435-439. DOI: <https://doi.org/10.1007/PL00009029>
- Wasewar KL. 2012. Reactive extraction: an intensifying approach for carboxylic acid separation. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 3(4), 249. DOI: 10.7763/IJCEA.2012.V3.195
- Wasewar KL, Yoo CK. 2012. Intensifying the recovery of carboxylic acids by reactive extraction. In *International Conference on Chemistry and Chemical Engineering (Vol. 38)*. IACSIT Press Singapore, pp. 21-26.
- Wee YJ, Kim JN, Ryu HW. 2006. Biotechnological production of lactic acid and its recent applications. *Food Technology and Biotechnology*, 44(2), 163-172.