



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde mikro kanallı absorber ve desorberin sayısal olarak modellenmesi

## *Numerical simulation of microchannel absorber and desorber in absorption refrigeration systems*

**Yazar(lar) (Author(s)):** Utku TÜRKMEN<sup>1</sup>, Ali İbrahim ATILGAN<sup>2</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0009-0009-4731-5425

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0002-7150-4797

**To cite to this article:** Türkmen U. ve Atılğan A. İ., “Absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde mikro kanallı absorber ve desorberin sayısal olarak modellenmesi”, *Journal of Polytechnic*, \*(\*) : \*, (\*).

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Türkmen U. ve Atılğan A. İ., “Absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde mikro kanallı absorber ve desorberin sayısal olarak modellenmesi”, *Politeknik Dergisi*, \*(\*) : \*, (\*).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.1341852

# Absorbsiyonlu Soğutma Sistemlerinde Mikro Kanallı Absorber ve Desorberin Sayısal Olarak Modellenmesi

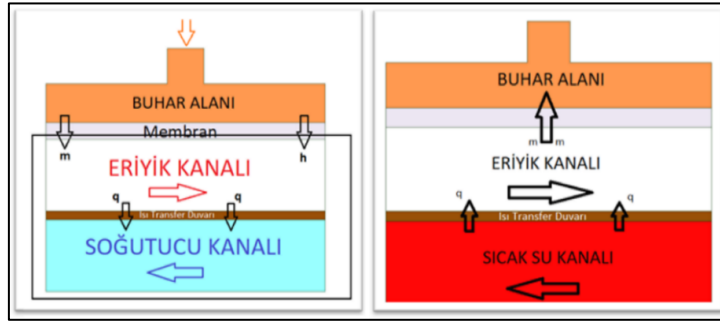
## Numerical Simulation of Microchannel Absorber and Desorber in Absorption Refrigeration Systems

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Absorbsiyonlu Soğutma / Absorption Refrigeration
- ❖ Mikro Kanallı Absorber ve Desorber / Microchannel Absorber and Desorber
- ❖ İyonik Sıvılar / Ionic Liquids

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışma kapsamında mikro kanallı ve membran tabanlı absorber ve desorberde farklı kanal yükseklikleri, farklı eriyik giriş hızları, farklı eriyik çeşitleri ve farklı kanal tiplerine göre optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. / In this study, analysis was performed in microchannel and membrane-based absorbers and desorbers according to different channel heights, different solution inlet velocities, different solutions types, and different channel types.



Şekil. Mikro kanallı absorber ve desorberin şematik gösterimi / Figure. Schematic representation of the micro-channel absorber and desorber

### Amaç (Aim)

Bu çalışmanın amacı mikro kanallı absorber ve desorberin optimum çalışma koşullarının belirlenmesidir. / The aim of the study is to define the optimum working conditions of the micro-channel absorber and desorber.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Optimizasyon çalışması FLUENT yazılımı kullanılarak yapılmıştır. / Optimization were performed using FLUENT software.

### Özgünlük (Originality)

Absorbsiyonlu soğutma alanında araştırmaların oldukça sınırlı olduğu kanal tipi ve eriyik çeşidi gibi parametrelerin mikrokannallı absorber ve desorberde performansa etkisi incelenmiştir. / The effects of parameters over the performance of microchannel absorbers and desorbers such as channel type and solution type, which are very limited in research in the field of absorption cooling, were investigated.

### Bulgular (Findings)

Absorbsiyon ve desorbsiyon oranlarında [EMIM][OAc]-Su ve LiCl-Su eriyikleri LiBr-Su eriyiğine göre daha üstün performans göstermiştir. / [EMIM][OAc]-water ve LiCl-water performed better performance on absorption and desorption compared to LiBr-water.

### Sonuç (Conclusion)

Absorbsiyon ve desorbsiyon oranlarında, farklı eriyik kullanımı ile LiBr-Su eriyiğine göre yaklaşık %35-40, farklı kanal tipi kullanımıyla düz kanal tipine göre yaklaşık 6-8 kat daha fazla performans tespit edilmiştir. / In the absorption and desorption rates, approximately 35-40% better performance was determined compared to the LiBr-Water couple with the use of different solutions, and approximately 6-8 times better performance than the straight channel type with the use of different channel types.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# Absorbsiyonlu Soğutma Sistemlerinde Mikro Kanallı Absorber ve Desorberin Sayısal Olarak Modellenmesi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

Utku TÜRKMEN<sup>1\*</sup>, Ali İbrahim ATILGAN<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye & ASELSAN A.Ş., Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Ankara, Türkiye

(Geliş/Received : 12.08.2023 ; Kabul/Accepted : 27.10.2023 ; Erken Görünüm/Early View :15.11.2023)

## ÖZ

Çalışma kapsamında mikro kanallı ve membran tabanlı absorber ve desorber farklı kanal yükseklikleri (0,5mm – 1mm – 1,5mm), farklı eriyik giriş hızları (0,003-0,072 m/s ve 0,0075-0,0125 m/s), farklı eriyik çeşitleri (LiBr-Su, LiBr/LiNO<sub>3</sub>/LiI/LiCl-Su, [EMIM][OAc]-Su, LiCl-Su) ve farklı kanal tiplerine (düz kanal, içerisinde bölgesel tümsekler içeren kanal, kanal boyunca kavisler içeren kanal) göre optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Sonuç olarak eriyik giriş hızları ve kanal yükseklerinde optimum koşullar belirlenmiş ve özellikle [EMIM][OAc]-Su eriyiğinin absorpsiyon oranı ve basınç düşüşü verilerine göre, LiCl-Su eriyiğinin ise desorpsiyon oranı verilerine göre avantajlı olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte kanal yapısındaki değişikliklerin absorpsiyon oranlarında anlamlı bir artış sağladığı, bununla birlikte basınç düşüşü konusunda negatif etkisi tüm sonuçlarda görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Absorbsiyonlu soğutma, mikro kanal, iyonik sıvı, absorber, desorber.

## Numerical Simulation of Microchannel Absorber and Desorber in Absorption Refrigeration Systems

### ABSTRACT

Within the scope of the study, with respect to different channel heights (0,5mm – 1mm – 1,5mm), different solution inlet velocities (0,003-0,072 m/s and 0,075-0,0125 m/s), different types of solutions (LiBr-Water, LiBr/LiNO<sub>3</sub>/LiI/LiCl-Water, [EMIM][OAc]-Water, LiCl-Water) and different channel types (Straight channel, channel with localized bumps, channel with curves) an optimization study was studied on micro-channel and membrane-based absorber and desorber, and the results were examined. As a result, optimum conditions were determined with respect to solution inlet velocities and channel heights and it was determined that [EMIM][OAc]-Water solution is advantageous according to the absorption rate and pressure drop data, and LiCl-Water solution is advantageous according to desorption rates. Moreover, the changes in the channel structure provided a significant increase in the absorption rates, and against this caused a negative effect on the pressure drop.

**Keywords:** Absorption cooling, micro channel, ionic liquid, absorber, desorber.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde enerji ihtiyacının sürekli olarak artması ve bununla birlikte enerji kaynaklarının her geçen gün azalması sonucu yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji tasarrufu kavramlarının önemi artmaktadır. Bu sebeple hem yenilenebilir enerji kaynaklarını hem de enerji dönüşüm sistemlerinde oluşan atık ısıyı kullanarak soğutma gerçekleştirebilen absorpsiyonlu soğutma sistemleri ön plana çıkmaktadır. Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin sahip olduğu büyük ve hantal yapıdaki absorber ve desorberler, söz konusu sistemlerin gelişime açık yönlerinden biri olarak göze çarpmaktadır. Bu doğrultuda, absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde kullanılan absorber ve desorber alt elemanlarında, mikro kanallı yapıların kullanımı son yıllarda yapılan araştırmalara konu olmaktadır. Bu çalışma kapsamında, mikro kanallı absorber ve desorberin sayısal olarak

modellenmesi yapılmış, farklı kanal yükseklikleri, farklı eriyik giriş hızları, farklı akışkan çiftleri/eriyikler ve farklı kanal tipleri parametrelerine göre bir optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir.

### 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (RELATED WORKS)

Yapılan literatür araştırmasında absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin alt elemanlarından olan absorber ve desorber üzerinde çalışmaların yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Asfand ve arkadaşları [1] ve Wu ve arkadaşları [2] membran tabanlı bir absorber için bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi gerçekleştirmiş ve yapılan analiz sonucunda bazı eriyikler için gerçekleşen absorpsiyon oranlarını incelemişlerdir. Çalışma kapsamında düz kanal yapıları için akışkan giriş hızı ve kanal yüksekliği parametrelerinin absorpsiyon

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : utku.turkmen2@gazi.edu.tr

oranlarına etkisi belirlenmiştir. Venegas ve arkadaşları [3], membran tabanlı mikro kanallı bir desorberde LiBr-su eriyiği için bir simülasyon çalışması gerçekleştirmiş ve çalışmada desorberin bir kanalı boyunca ısı ve kütle transferi katsayıları, eriyik konsantrasyonu ve sıcaklık parametrelerinin değişimi gösterilmiştir. Vega ve arkadaşları [4], LiBr-su çiftiyle çalışan bir absorpsiyonlu soğutma sistemi için su buharını ve eriyiği ayıran bir membran ile birleştirilmiş mikro kanallara sahip bir absorber tasarlamıştır. Isfahani ve Moghaddam [5], süperhidrofobik membranlı ve mikro kanallara sahip bir absorber için bir deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Venegas ve arkadaşları [6], membran tabanlı ve mikro kanallı LiBr-su eriyiğiyle çalışan bir desorberin parametrik analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma kapsamında desorberin en önemli tasarım parametrelerinin membranın duvar kalınlığı ve eriyik kanal yüksekliği olduğu tespit edilmiştir. Zhai ve Wu [7] tarafından gerçekleştirilen çalışmada farklı tipte absorber ve desorber tasarımları sistematik bir şekilde karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında; membran tabanlı ve mikro kanallı absorber/desorber, plakalı ısı değiştiricili ve dikey/yatay tipli tasarımlara göre en yüksek performans değerleriyle birlikte en yüksek basınç düşüş değerlerini ortaya koymuştur. Determan ve Garimella [8], amonyak-su çifti ile çalışan bir absorpsiyonlu soğutma sistemi için tasarlanmış mikro kanallı bir desorber üzerinde deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışma, absorpsiyonlu soğutma teknolojisinin küçük kapasiteli sistemler için de uygun bir alternatif oluşturabileceğini göstermiştir. Staedter ve Garimella [9], mikro kanallı eşanjör teknolojisi üzerine geliştirilmiş 7 kW soğutma kapasitesine sahip monolit yapıda bir absorpsiyonlu soğutma sistemi geliştirmiş, deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Sistemde eriyik olarak amonyak-su kullanılmış olup, sistemin COP değeri 0,44 olarak hesaplanmıştır. Moghaddam ve arkadaşları [10], su ısıtma, nem alma ve evaporatif soğutma yapabilen yarı açık bir absorpsiyonlu sistem tasarlamışlardır. Çalışma sonucunda 1,5 kW su ısıtma kapasitesine sahip 1,45 COP değerinde bir sistem tasarımı ortaya çıkarılmıştır. Özbaş [11], güneş enerjisi tahrikli bir absorpsiyonlu soğutma sistemini deneysel olarak incelemiştir. Çalışma sonucunda, difüzyon absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde 0,2254 ila 0,2362 arasında STK değerleri elde edilmiştir. Lee ve arkadaşları [12], soğutucu akışkan olarak hidrofloro-olefin kullanılan bir çift etkili absorpsiyonlu soğutma sisteminde absorban olarak iyonik sıvı kullanımını incelemiş olup, R1234ze(Z)/[OMIM][BF4] akışkan çifti kullanıldığı bir durumda 0,516 STK değeri ve 0,549 kW soğutma kapasitesi elde edilmiştir. Wang ve arkadaşları [13], absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde dimetil eter (DME) ve iyonik sıvıların kullanımı ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda, DME ve iyonik sıvı çiftlerinin enerji verimliliğini artırması ve çevreye daha az zararlı olması sebebiyle geleneksel akışkan çiftlerine iyi bir alternatif olabileceği değerlendirilmiştir. Ho ve arkadaşları [14], çift katmanlı

bir mini/mikro kanallı soğutucunun performansını araştırmak üzere deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma kapsamında üzerinde çalışılan mikro kanallı soğutucunun hidrolik çapı 0,12 cm ve iki kanal arasındaki kanatçıkların genişliği ise 0,04 cm olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda basınç kaybında yaklaşık %35,41 azalma elde edilirken, 0,077 ila 0,192 arasında üniformite indeksi değerlerine ulaşılmıştır. Yurddaş ve Başaran [15], tek fazlı soğutucu akışının gerçekleştiği bir mikro kanallı ısı değiştiricisi için sayısal ve deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma kapsamında soğutucu olarak R600 soğutucu akışkanı kullanılmıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışma sonucunda, bir ikinci seviye ile uygulanan uniform olmayan hava hızının, çalışılan modelin ısı kapasitesi tahmin performansını iyileştirdiği tespit edilmiştir. Çakır ve Aktürk [16], dalgali formda düzenlenen bir mikro kanal yapısında nanoakışkanlarının kullanımı üzerine sayısal bir çalışma gerçekleştirmiştir. Söz konusu nanoakışkanlarda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CuO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> ve SiO<sub>2</sub> nanopartikülleri kullanılmıştır. Nanoakışkan kullanımı sonucunda Reynolds sayısının ve hacimsel nanoparçacık oranının arttığı, bu sayesinde ısı transfer performansının iyileştiği gözlemlenmiştir.

### 3. ÇALIŞMANIN SAYISAL OLARAK MODELLENMESİ (NUMERICAL SIMULATION OF THE STUDY)

#### 3.1. Absorber ve Desorber için Temel Denklemlerin FLUENT Ortamına Aktarılması (Governing Equations for Absorber and Desorber in FLUENT)

Çalışmada gerçekleştirilen hesaplamalar için ANSYS/FLUENT ticari yazılımı kullanılmıştır. Hesaplamalarda aşağıda verilen kabullerle birlikte, literatürde bulunan çalışmalarda kullanılan sınır şartları ele alınmıştır. Yazılım tarafından gerçekleştirilen hesaplamaların daha iyi anlaşılması ve doğru sonuçlara ulaşabilmek için ANSYS tarafından yayınlanan dokümanlar incelenmiş, korunum denklemleri bu dokümanlardan elde edilen veriler doğrultusunda oluşturulmuştur [17-18]. Çalışma kapsamında;

- buhar kanalındaki buharın evaporatörden sabit basınçta geldiği ve kanal içerisinde basıncının değişmediği,
- eriyiğin kanal içerisinde laminar akış rejiminde aktığı,
- sistemin sürekli rejimde çalıştığı,
- eriyiğin absorberde soğutulması ve desorberde ısıtılması için kullanılan akışkanın kanal boyunca sabit sıcaklıkta aktığı ve
- eriyiklerin tam olarak karıştığı kabulleri yapılmıştır.

#### 3.2. Korunum Denklemleri ve Kaynak Terimleri (Conservation Equations and Source Terms)

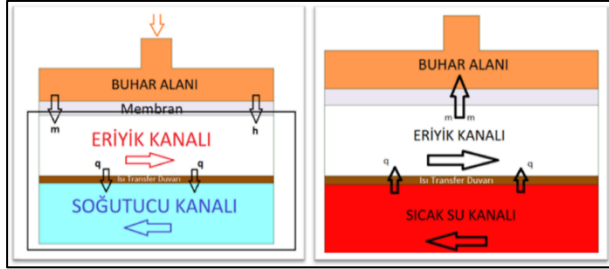
Kütle korunumu denklemi aşağıda verilmiş olup;

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \quad [17] \quad (1)$$

burada  $S_m$  ifadesi korunum denkleminde eklenen su buharına ait kütleyi ifade etmektedir. Bu ifade, membrandan geçerek eriyiğe karışan buhar için kullanılmıştır. Burada membrandan geçerek eriyiğe karışan buharın kütle akısı için Wu ve arkadaşları [2] tarafından gerçekleştirilen çalışma kapsamında aşağıdaki formüller kullanılmıştır.

$$J = k_m(P_v - P_s) \quad [2] \quad (2)$$

$$k_m = \frac{2\varepsilon}{3\lambda\delta_m} d_p \sqrt{\frac{2M_{H_2O}}{\pi RT_m}} \quad [2] \quad (3)$$



Şekil 1. Çalışmaya konu mikro kanallı absorber ve desorberin şematik görünümü (Schematic view of the micro-channel absorber and desorber examined in the study)

Denklem 2 ve 3'te;  $K_m$  membranın kütle transfer katsayısını,  $P_v$  ve  $P_s$  basınç ifadeleri ise buhar basıncını ve eriyiğin kısmi buhar basıncını,  $T_m$  buhar ve eriyiğin ortalama sıcaklığını ifade etmektedir. Diğer simgeler membranın özelliklerini ifade etmektedir. FLUENT üzerinden bu hesapların yapılabilmesi için gerekli ifadeler yazılarak programa tanımlanmıştır. Enerjinin korunumu denklemi aşağıda verilmiş olup;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v}(\rho E + p)) = \nabla \cdot (k_{eff} \nabla T - \sum_i h_i J_i + (\vec{\tau}_{eff} \vec{v})) + S_h \quad [17] \quad (4)$$

burada;  $k_{eff}$  efektif iletkenliği,  $J_i$  ise "i" türüne (çalışmada membrandan geçen buhar için kullanılmaktadır) ait difüzyon akısını ifade etmektedir.  $S_h$  ifadesi ise, hacimsel bir ısı kaynağı olup, eriyik tarafından buharın absorpsiyonu sonucunda ortaya çıkan ısı enerjisi miktarı için kaynak terim olarak denkleme eklenmiştir. Burada membrandan geçerek eriyiğe karışan buharın ısı denklemi için Asfand ve arkadaşları [1] ile Kaita [19] tarafından gerçekleştirilen çalışmalar kapsamında aşağıdaki formüller kullanılmış olup,

$$S_h = J(h_v - h_s + h_{dil}) \quad [1] \quad (5)$$

$$h_s = \Sigma A + T \Sigma B + T^2 \Sigma C \quad [19] \quad (6)$$

$$h_{sey} = \sum_{i=0}^3 [(a_i + b_i T + c_i T^2) w^i] \quad [19] \quad (7)$$

burada;  $h_v$  sabit buhar entalpisini,  $h_s$  eriyiğin entalpisini,  $h_{sey}$  ise eriyiğin seyreltme entalpisini ifade etmektedir. Eriyik içerisindeki absorban oranının belirlenmesi için karışım modeli yerine, tek fazlı akış modeliyle birlikte FLUENT'te de tanımlanan türlerin taşınım denkleminde eriyiğe transfer edilen buharı ifade eden Asfand ve arkadaşları [1] tarafından gerçekleştirilen çalışma kapsamında aşağıdaki kaynak terimi eklenmiştir.

$$\nabla \cdot (\rho \vec{v} Y_i) = -\nabla \cdot J_i + S_i \quad [1] \quad (8)$$

$$J_i = -\rho D_{eriyik} \nabla Y_i \quad [1] \quad (9)$$

Burada,  $J_i$  "i" akışkanı için difüzyon akısını,  $D_{eriyik}$  ise ilgili eriyik için kütle difüzyon katsayısını ifade etmektedir.

### 3.3. Eriyiklerin FLUENT Ortamında Tanımlanması (Identification of the Solutions in FLUENT)

FLUENT yazılımı içerisinde birçok malzeme tanımlanmış olmakla birlikte, çalışmada kullanılan LiBr-Su, LiBr/LiNO<sub>3</sub>/LiI/LiCl-Su, [EMIM][OAc]-Su ve LiCl-Su eriyikleri FLUENT veri tabanında tanımlanmamıştır. Bu sebeple, söz konusu eriyikler için yoğunluk, viskozite, özgül ısı kapasitesi, termal iletkenlik, difüzyon katsayısı, buhar kısmi basıncı değerleri literatürden alınan ve Çizelge 1-4'te verilen denklemler kullanılarak FLUENT ortamında tanımlanmıştır [19-28]. Bu doğrultuda, FLUENT ortamında kullanıcı tanımlı fonksiyonlar (UDF) ve ifadeler (expressions) yazılarak programa tanımlanmıştır.

### 3.4. Doğrulama için Kullanılan Fiziksel Parametreler ve Sınır Şartları (Physical Parameters and Boundary Conditions Used for Validation)

Çalışma kapsamında oluşturulan model için literatürde bulunan iki çalışma doğrulama için kullanılmıştır. Bu çalışmalarda kullanılan fiziksel özellikler ve sınır şartları Çizelge 5'te, membran özellikleri ise Çizelge 6'da verilmiştir.

### 3.5. Modelin Doğrulama Çalışmaları (Model Validation)

Mikro kanallı absorber ve desorberde gerçekleştirilen hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizleri için bir ticari program kullanılmıştır. (ANSYS-FLUENT) Doğrulama çalışmaları kapsamında, ilk olarak absorber için Wu ve arkadaşları [2] tarafından gerçekleştirilen bir çalışma kullanılmıştır.

Karşılaştırma sonuçlarına ilişkin grafikler Şekil 2'de verilmiş olup, farklı giriş hızlarına yönelik olarak kanal çıkışında gerçekleşen eriyik konsantrasyonu ve eriyik sıcaklıkları karşılaştırılmış, bu doğrultuda eriyik konsantrasyon değerlerinde yaklaşık %0,55, eriyik sıcaklık değerlerinde ise yaklaşık %0,45 civarında fark oranlarıyla modelin doğruluğu gösterilmiştir. Doğrulama çalışmaları kapsamında, desorber için literatürde bulunan Venegas ve arkadaşları [3] tarafından LiBr-Su eriyiği için 0,111 m/s eriyik giriş hızın gerçekleştirilen bir çalışma kullanılmış ve yapılan karşılaştırma sonucunda elde edilen sonuçlar Şekil 3'te verilmiş olup bu doğrultuda eriyik konsantrasyon değerlerinde yaklaşık %0,75, eriyik sıcaklık değerlerinde ise yaklaşık %2 civarında fark oranlarıyla bu çalışma kapsamında oluşturulan sayısal modellemenin doğruluğu gösterilmiştir.





**Çizelge 1.** LiBr-Su termofiziksel özelliklerine ilişkin denklemler (Equations related to thermophysical properties of LiBr-Water)

|                     |                                                                                        |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Yoğunluk            | $\rho_x = 1145,36 + 470,84X_0 + 1374,79X_0^2 - (0,333393 + 0,571749X_0)(273 + T)$ [20] |
| Viskozite           | $B = A_1 + (A_2/TK) + A_3 \ln(TK)$ [20]<br>$\mu = EXP(B)/1000$ [20]                    |
| Özgül ısı           | $C_p = 0,0976X^2 - 37,512X + 3825,4$ [20]                                              |
| Termal iletkenlik   | $D_{12} = ((K_2 - K_1)/20)(T - 313)$ [20]<br>$D_{13} = ((K_3 - K_1)/20)(313 - T)$ [20] |
| Kısmi Buhar Basıncı | $\log P = A + B/T + C/T^2$ [19]                                                        |

**Çizelge 2.** LiBr/LiNO<sub>3</sub>/LiI/LiCl-Su termofiziksel özelliklerine ilişkin denklemler (Equations related to thermophysical properties of LiBr/LiNO<sub>3</sub>/LiI/LiCl -Water)

|                     |                                                                      |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Yoğunluk            | $\rho = \sum_{n=0}^3 [A_n + B_n T + C_n T^2] (100w_t)^n$ [21]        |
| Viskozite           | $\log(\eta) = \sum_{n=0}^3 [A_n + B_n T + C_n T^2] (100w_t)^n$ [21]  |
| Özgül ısı           | $C_p = \sum_{n=0}^3 [A_n + B_n T + C_n T^2] (100w_t)^n$ [22]         |
| Termal iletkenlik   | $\lambda = C_1 + C_2 T$ [23]                                         |
| Kısmi Buhar Basıncı | $\log P = \sum_{i=0}^4 [A_i + \{1000B_i/(T - 43,5)\}] (100X)^i$ [22] |

**Çizelge 3.** [EMIM][OAc]-Su termofiziksel özelliklerine ilişkin denklemler (Equations related to thermophysical properties of [EMIM][OAc]-Water)

|                     |                                                                                                                 |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Yoğunluk            | $\rho = x_1 \rho_1 + x_2 \rho_2$ & $\rho_2 = D_1 T + D_2$ [24]                                                  |
| Viskozite           | $\eta(T, w) = (z + A_1 w + B_1 T + B_2 T_2 + B_3 T_3) / (1 + A_2 w + A_3 w^2 + A_4 w^3 + B_4 T + B_5 T^2)$ [25] |
| Özgül ısı           | $C_p(T, w) = Z + A_1 w + B_1 T + A_2 w^2 + B_2 T^2 + CwT$ [25]                                                  |
| Termal iletkenlik   | $\lambda(T, w) = Z + A_1 w + B_1 T + A_2 w^2 + B_2 T^2 + CwT$ [25]                                              |
| Kısmi Buhar Basıncı | $F = \sum_{i=1}^n (\ln \gamma_{1,cal} - \ln \gamma_{1,exp})^2$ [26]                                             |

**Çizelge 4.** LiCl-Su termofiziksel özelliklerine ilişkin denklemler (Equations related to thermophysical properties of LiCl-Water)

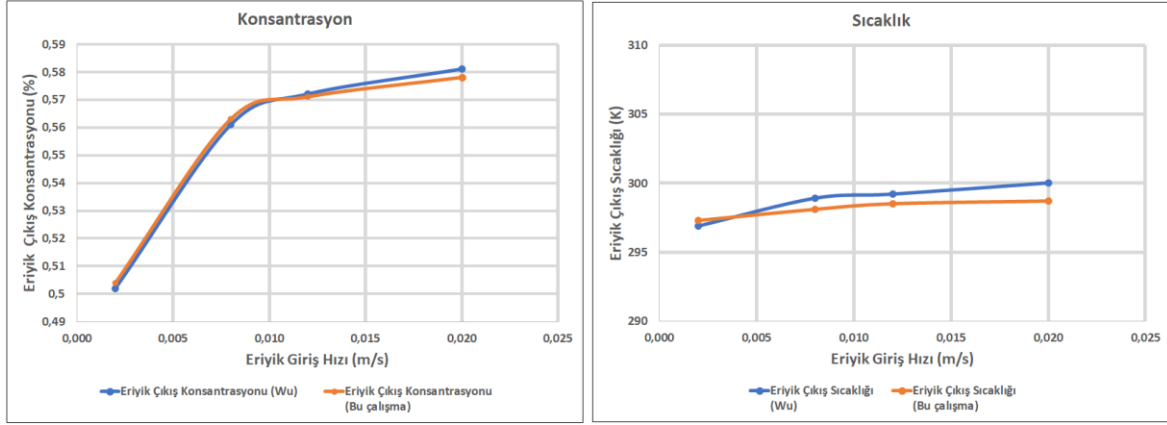
|                     |                                                                                                                 |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Yoğunluk            | $\rho_{sol}(\xi, T) = \rho_{H_2O}(T) \sum_{i=0}^3 \rho_i \left( \frac{\xi}{1-\xi} \right)^i$ [27]               |
| Viskozite           | $\eta_{sol} = \eta_{H_2O}(\theta) e^{\eta_1 \zeta^{3,6} + \eta_2 \zeta + \eta_3 \zeta^2 + \eta_4 \zeta^2}$ [27] |
| Özgül ısı           | $C_{p_{sol}}(T, \xi) = C_{p_{H_2O}}(T)(T) \times (1 - f_1(\xi) \times f_2(T))$ [27]                             |
| Termal iletkenlik   | $\alpha_R \equiv \frac{\lambda_{H_2O}(T) - \lambda_{sol}(T, \xi)}{\zeta_{eq}}$ [27]                             |
| Kısmi Buhar Basıncı | $\log P = A(m) + B(m)/T + C(m)/T^2$ [28]                                                                        |

**Çizelge 5.** Doğrulama için sınır şartları (Boundary conditions used in validation)

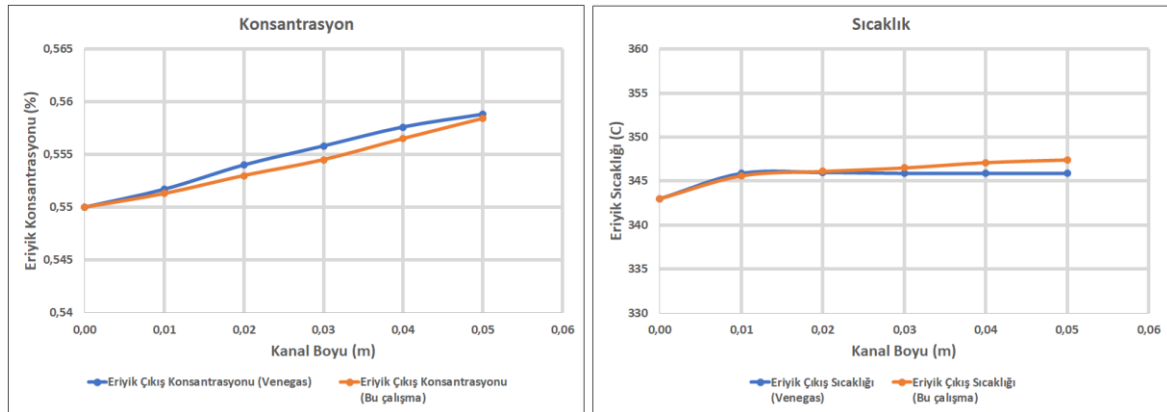
|                               | Absorber<br>(W. Wu) | Desorber<br>(M. Venegas) |
|-------------------------------|---------------------|--------------------------|
| Giriş Eriyik Sıcaklığı        | 35,15 °C            | 70 °C                    |
| Giriş Eriyik Konsantrasyonu   | %60                 | %55                      |
| Eriyik Giriş Hızı             | 0,02 – 0,002 m/s    | 0,111 m/s                |
| Soğutma/Isıtma Suyu Sıcaklığı | 25,15 °C            | 90 °C                    |
| Eriyik Kanal Kalınlığı        | 0,15 mm             | 0,15 mm                  |
| Eriyik Kanal Uzunluğu         | 50 mm               | 50 mm                    |

**Çizelge 6.** Doğrulamada kullanılan membran özellikleri (Membrane properties used in validation)

|                 |                  |
|-----------------|------------------|
| Kalınlık        | 60 $\mu\text{m}$ |
| Gözeneklilik    | %80              |
| Gözenek Çapı    | 1 $\mu\text{m}$  |
| Isıl İletkenlik | 0,22 W/mK        |



**Şekil 2.** Kanal çıkışı eriyik konsantrasyonlarının ve sıcaklıklarının karşılaştırılması – Bu çalışma ve “Wu” (Comparison of channel outlet solution concentrations and temperatures – This study and “Wu”)



**Şekil 3.** Kanal boyunca gerçekleşen eriyik konsantrasyonlarının ve sıcaklıklarının karşılaştırılması – Bu çalışma ve “Venegas” (Comparison of solution concentrations and temperatures along the channel – This study and “Venegas”)

#### 4. PARAMETRİK ÇALIŞMA (PARAMETRIC ANALYSIS)

##### 4.1. Absorber için LiBr-Su, LiBr/LiNO<sub>3</sub>/LiI/LiCl-Su, [EMIM][OAc]-Su ve LiCl-Su Eriyiklerin Karşılaştırılması (Comparison of LiBr-Water, LiBr/LiNO<sub>3</sub>/LiI/LiCl-Water, [EMIM][OAc]-Water and LiCl-Water Solutions for Absorber)

Membran tabanlı mikro kanallı absorberin optimum çalışma koşullarının belirlenmesi için kanal yüksekliği, akışkan giriş hızı ve farklı eriyik seçimi parametrelerine göre hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, hesaplamalarda kullanılan kanal boyutları, eriyik çeşidi, sınır şartları ve membran özellikleri Çizelge 7 ve Çizelge 8’de verilmiştir.

Çalışma kapsamında, mikro kanallı absorberde çalışan LiBr-Su, LiBr/LiNO<sub>3</sub>/LiI/LiCl-Su, [EMIM][OAc]-Su ve

LiCl-Su eriyiklerinin yukarıda verilen giriş şartlarında, eriyik çıkış sıcaklığı, eriyik çıkış konsantrasyon değerleri, kanal boyu basınç farkı ve toplam absorpsiyon oranlarına göre karşılaştırılması yapılmıştır.

Şekil 4’te verilen 0,5 mm kanal yüksekliğinde elde edilen veriler incelendiğinde, eriyik çıkış konsantrasyon değerleri giriş konsantrasyon değerlerine bağlı olarak LiBr-Su ile LiBr/LiNO<sub>3</sub>/LiI/LiCl-Su ve [EMIM][OAc]-Su ile LiCl-Su eriyikleri için oldukça yakın olarak gerçekleşmiştir. Eriyik çıkış sıcaklıklarında ise en yüksek çıkış sıcaklığı değeri LiBr/LiNO<sub>3</sub>/LiI/LiCl-Su eriyiğinde gerçekleşirken, en düşük çıkış sıcaklığı değeri [EMIM][OAc]-Su eriyiğinde gerçekleşmiş olup, söz konusu eriyikler arasında yaklaşık 3°C’lik bir fark meydana gelmiştir. Kanalda oluşan basınç farkı değerleri incelendiğinde ise, [EMIM][OAc]-Su eriyiğinin diğer eriyiklere göre avantajlı olduğu tespit edilmiştir. Her ne



kadar düşük eriyik giriş hızlarında kanal boyunca basınç farkı yakın olarak gerçekleşmiş olsa da eriyik giriş hızı arttıkça aradaki fark artış göstermiştir. Düşük hızlarda yaklaşık 2 kat olarak gerçekleşen aradaki basınç farkı oranları, hız arttıkça 3-6 kata kadar ulaşmıştır. Burada LiCl-Su eriyiği [EMIM][OAc]-Su eriyiğinden sonra en düşük basınç farkı değerini ortaya koymuştur.

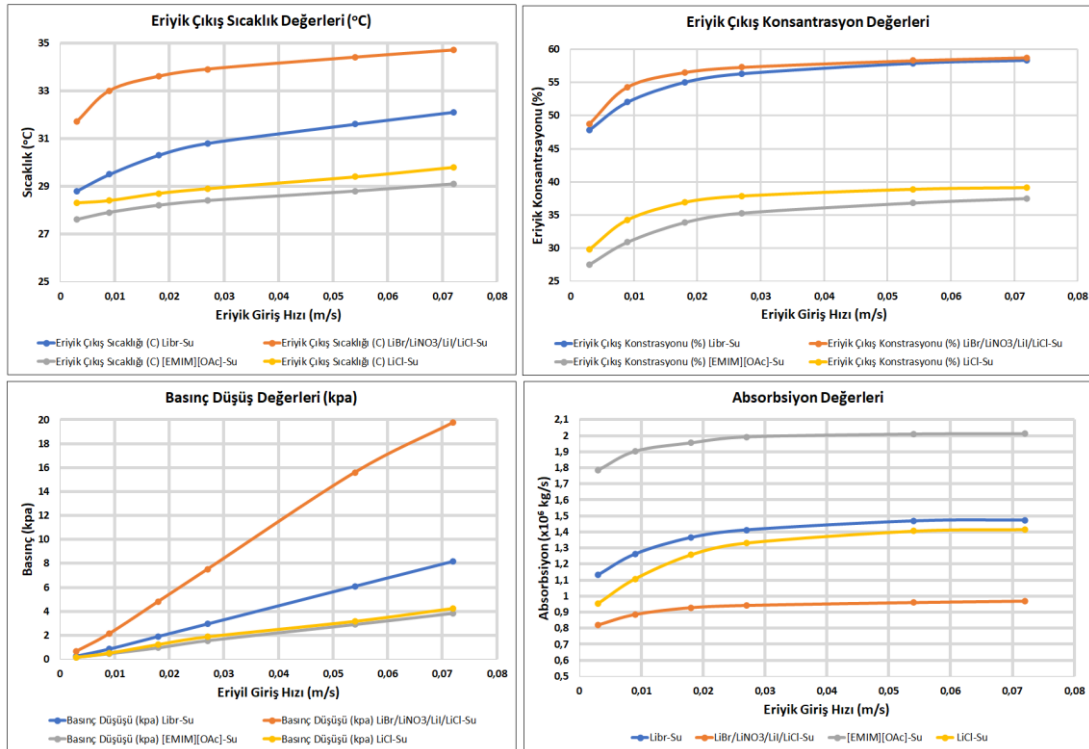
Absorbsiyon oranlarında ise [EMIM][OAc]-Su eriyiği diğer eriyiklere göre oldukça yüksek performans göstermiştir. [EMIM][OAc]-Su eriyiğinde kendisine en yakın absorbsiyon oranı değerine sahip LiBr-Su eriyiğinden yaklaşık %35 civarı daha yüksek absorbsiyon değerleri elde edilmiştir.

**Çizelge 7.** Absorber için Parametrik Çalışmada Kullanılan Membran Özellikleri (Membrane properties used in parametric study)

|                 |                    |
|-----------------|--------------------|
| Kalınlık        | 60 $\mu\text{m}$   |
| Gözeneklilik    | %75                |
| Gözenek Çapı    | 0,45 $\mu\text{m}$ |
| Isıl İletkenlik | 0,22 W/mK          |

**Çizelge 8.** Absorber için Parametrik Çalışmada Kullanılan Sınır Şartları (Boundary conditions used in parametric study)

|                              |                                                                              |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Giriş Eriyik Sıcaklığı       | 40 °C                                                                        |
| Giriş Eriyik Konsantrasyonu  | %40-60                                                                       |
| Eriyik Giriş Hızı            | 0,003 – 0,072 m/s                                                            |
| Soğutma Suyu Giriş Sıcaklığı | 27 °C                                                                        |
| Eriyik Kanal Yüksekliği      | 0,5 – 1,5 mm                                                                 |
| Eriyik Kanal Uzunluğu        | 500 mm                                                                       |
| Eriyik Seçimi                | LiBr-Su<br>LiBr/LiNO <sub>3</sub> /LiI/LiCl-Su,<br>[EMIM][OAc]-Su<br>LiCl-Su |

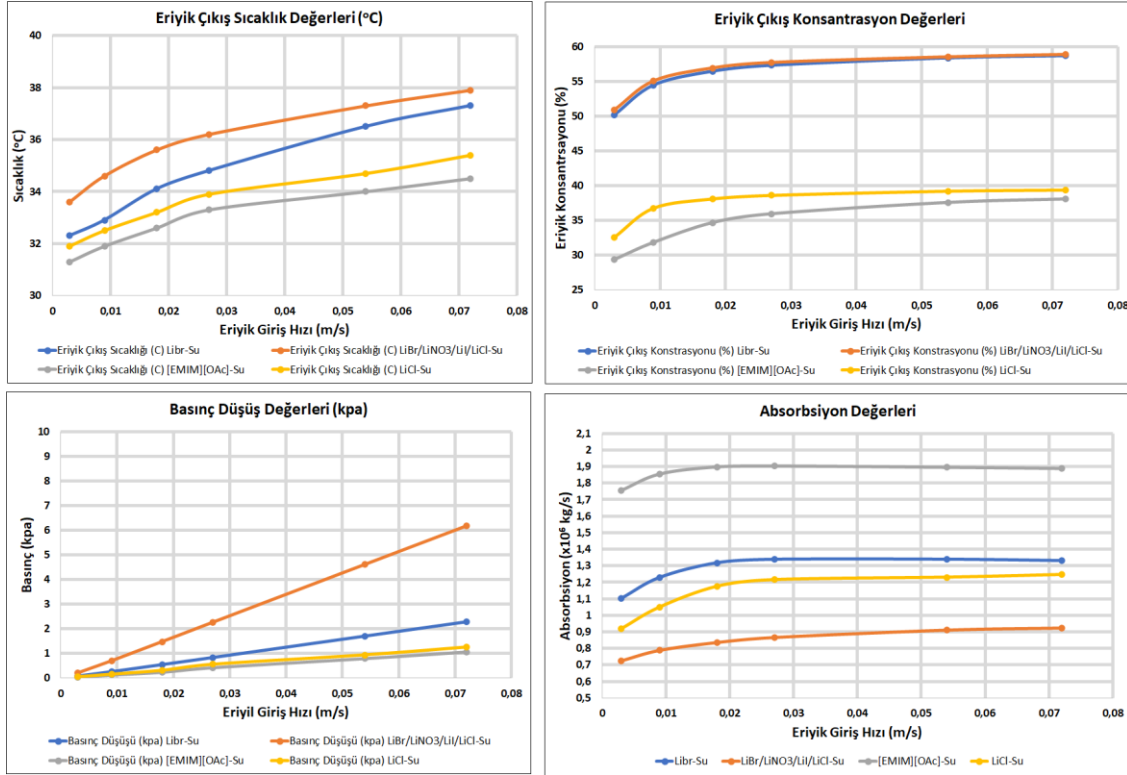


**Şekil 4.** Farklı eriyiklerin kanal boyu basınç farklarının, absorbsiyon değerlerinin, eriyik çıkış sıcaklıklarının ve konsantrasyon değerlerinin 0,5 mm kanal yüksekliğinde farklı eriyik giriş hızlarına göre karşılaştırılması (Comparison of pressure drop, absorption values, solution exit temperatures and concentration values of different solutions according to different solution inlet velocities at 0,5 mm channel height)



Şekil 5'te verilen 1 mm kanal yüksekliğinde elde edilen veriler incelendiğinde, eriyik çıkış konsantrasyon değerlerinin 0,5 mm kanal yüksekliği ile oldukça yakın olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir. Eriyik çıkış sıcaklıklarında ise en yüksek çıkış sıcaklığı değeri LiBr/LiNO<sub>3</sub>/LiI/LiCl-Su eriyiğinde gerçekleşirken, en düşük çıkış sıcaklığı değeri [EMIM][OAc]-Su eriyiğinde gerçekleşmiştir. Ancak eriyiklerin çıkış sıcaklıkları arasındaki farklar 0,5 mm kanal yüksekliğine göre daha az gerçekleşmiştir. Kanalda oluşan basınç farkı değerleri

incelendiğinde ise, 0,5 mm kanal yüksekliğine benzer şekilde [EMIM][OAc]-Su eriyiğinin diğer eriyiklere göre avantajlı olduğu tespit edilmiştir. Ancak burada basınç farkı değerlerinde eriyikler arasındaki farkın azaldığı görülmektedir. Absorbsiyon oranlarında ise [EMIM][OAc]-Su en yüksek performansı göstermiş olup, [EMIM][OAc]-Su eriyiğinde kendisine en yakın absorpsiyon oranı değerine sahip LiBr-Su eriyiğinden yaklaşık %42 civarı daha yüksek absorpsiyon değerleri elde edilmiştir.



**Şekil 5.** Farklı eriyiklerin kanal boyu basınç farklarının, absorpsiyon değerlerinin, eriyik çıkış sıcaklıklarının ve konsantrasyon değerlerinin 1 mm kanal yüksekliğinde farklı eriyik giriş hızlarına göre karşılaştırılması (Comparison of pressure drop, absorption values, solution exit temperatures and concentration values of different solutions according to different solution inlet velocities at 1 mm channel height)

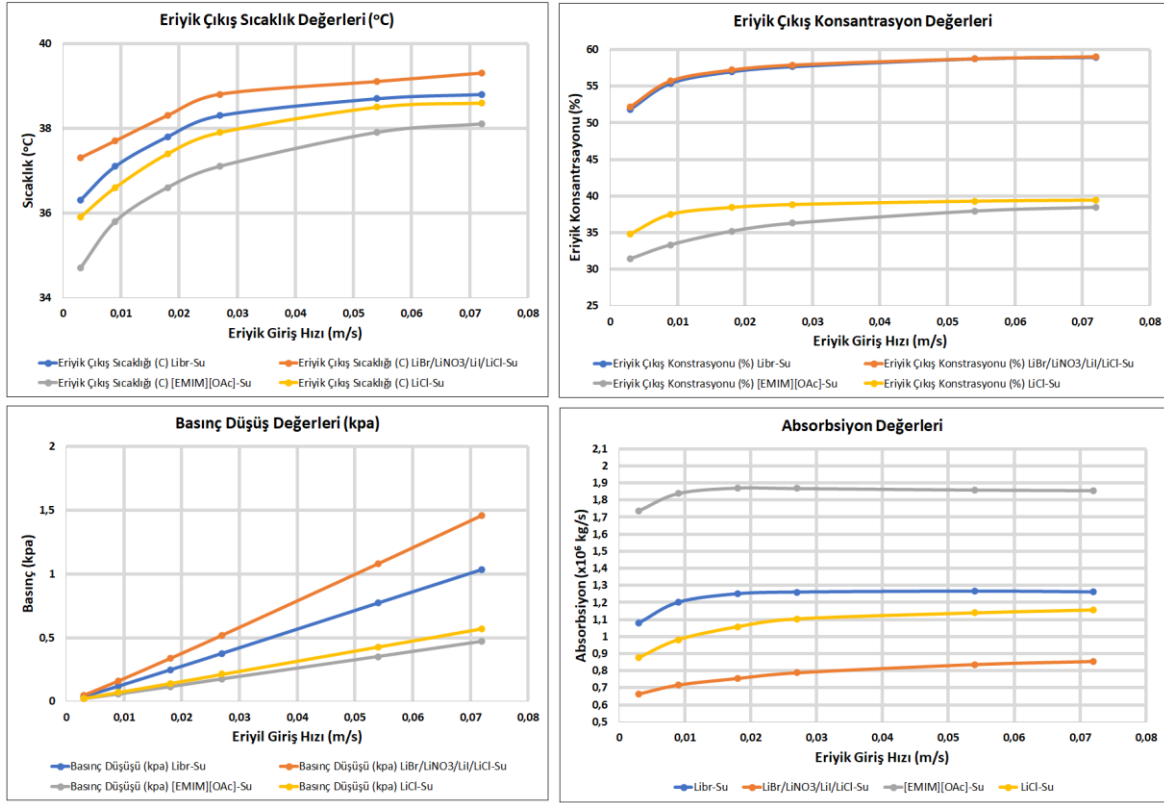
Şekil 6.'da ise her iki kollektörün kesit resmi verilmiştir. Şekil 6'da verilen 1,5 mm kanal yüksekliğinde elde edilen veriler incelendiğinde, eriyik çıkış konsantrasyon değerleri ve çıkış sıcaklık değerlerinin önceki kanal yüksekliklerine göre birbirlerine oldukça yaklaştığı görülmektedir. Önceki kanal yüksekliklerine benzer şekilde en yüksek eriyik çıkış sıcaklık değeri LiBr/LiNO<sub>3</sub>/LiI/LiCl-Su eriyiğinde gerçekleşirken, en düşük çıkış sıcaklığı değeri [EMIM][OAc]-Su eriyiğinde gerçekleşmiştir. Ancak eriyiklerin çıkış sıcaklıkları arasındaki farklar 0,5 mm ve 1 mm kanal yüksekliklerine göre daha az gerçekleşmiştir. 1,5 mm kanal yüksekliğinde basınç farkı değerlerinde ise farkın daha fazla azaldığı ve en yüksek basınç farkına sebep olan LiBr/LiNO<sub>3</sub>/LiI/LiCl-Su eriyiği ile en düşük basınç farkına sebep olan [EMIM][OAc]-Su eriyiği arasındaki farkın 1,5-2,5 kat arasında değiştiği görülmektedir. Absorpsiyon oranlarında ise [EMIM][OAc]-Su en yüksek performansı göstermiş olup, [EMIM][OAc]-Su

eriyiğinde kendisine en yakın absorpsiyon oranı değerine sahip LiBr-Su eriyiğinden yaklaşık %47 civarı daha yüksek absorpsiyon değerleri elde edilmiştir.

#### 4.2. Desorber için LiBr-Su, LiBr/LiNO<sub>3</sub>/LiI/LiCl-Su, [EMIM][OAc]-Su ve LiCl-Su Eriyiklerin Karşılaştırılması (Comparison of LiBr-Water, LiBr/LiNO<sub>3</sub>/LiI/LiCl-Water, [EMIM][OAc]-Water and LiCl-Water Solutions for Desorber)

Çalışmanın ilk bölümünde absorber için gerçekleştirilen hesaplamalara benzer şekilde membran tabanlı mikro kanallı desorberin optimum çalışma koşullarının belirlenmesi için kanal yüksekliği, akışkan giriş hızı ve farklı akışkan parametrelerine göre hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, hesaplamalarda kullanılan kanal boyutları, eriyik çeşidi, sınır şartları ve membran özellikleri Çizelge 9 ve Çizelge 10'da verilmiştir.





**Şekil 6.** Farklı eriyiklerin kanal boyu basınç farklarının, absorpsiyon değerlerinin, eriyik çıkış sıcaklıklarının ve konsantrasyon değerlerinin 1,5 mm kanal yüksekliğinde farklı eriyik giriş hızlarına göre karşılaştırılması (Comparison of pressure drop, absorption values, solution exit temperatures and concentration values of different solutions according to different solution inlet velocities at 1,5 mm channel height)

**Çizelge 9.** Parametrik Çalışmada Kullanılan Sınır Şartları (Boundary conditions used in parametric study)

|                             |                                                                              |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Giriş Eriyik Sıcaklığı      | 75 - 90 °C                                                                   |
| Giriş Eriyik Konsantrasyonu | %31-59                                                                       |
| Eriyik Giriş Hızı           | 0,0075 – 0,0125 m/s                                                          |
| Sıcak Su Giriş Sıcaklığı    | 90 - 110 °C                                                                  |
| Eriyik Kanal Yüksekliği     | 0,5 – 1,5 mm                                                                 |
| Eriyik Kanal Uzunluğu       | 500 mm                                                                       |
| Eriyik Seçimi               | LiBr-Su<br>LiBr/LiNO <sub>3</sub> /LiI/LiCl-Su,<br>[EMIM][OAc]-Su<br>LiCl-Su |

**Çizelge 10.** Parametrik Çalışmada Kullanılan Membran Özellikleri (Membrane properties used in parametric study)

|                 |           |
|-----------------|-----------|
| Kalınlık        | 60 µm     |
| Gözeneklilik    | %75       |
| Gözenek Çapı    | 0,45 µm   |
| Isıl İletkenlik | 0,22 W/mK |

Çalışma kapsamında önceki bölümlerde elde edilen veriler doğrultusunda mikro kanallı desorberde LiBr-Su, LiBr/LiNO<sub>3</sub>/LiI/LiCl-Su, [EMIM][OAc]-Su ve LiCl-Su eriyiklerinin kanal boyu basınç farkı ve toplam desorbsiyon değerlerine göre karşılaştırılması

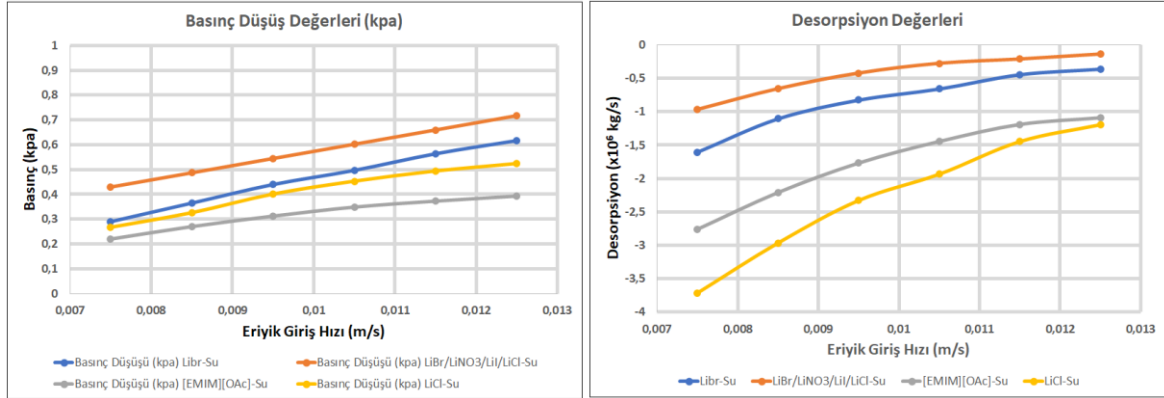
yapılmıştır. Desorber için yapılan hesaplamalarda eriyik giriş hızı için 0,0075 m/s ile 0,0125 m/s arasındaki değerler seçilmiştir. Desorber hesaplamalarında absorberdeki çıkış konsantrasyon değerleri kullanılmıştır. Örnek olarak 0,5 mm kanal yüksekliğinde

LiBr-Su eriyiği için 0,003 m/s eriyik giriş hızı ile gerçekleştirilen hesaplama sonucunda eriyik çıkış konsantrasyon değeri %52,7 olarak belirlenmiş olup, bu hıza karşılık olarak desorberde, 0,5 mm kanal yüksekliğinde LiBr-Su eriyiği için 0,0075 m/s eriyik giriş hızında eriyik giriş konsantrasyon değeri %52,7 olarak seçilmiştir. Söz konusu giriş değerlerini tamamı bu yöntemle belirlenmiştir. Böylelikle absorber çıkışından desorbere giren eriyik için gerçekleşen sonuçların incelenmesi hedeflenmiştir.

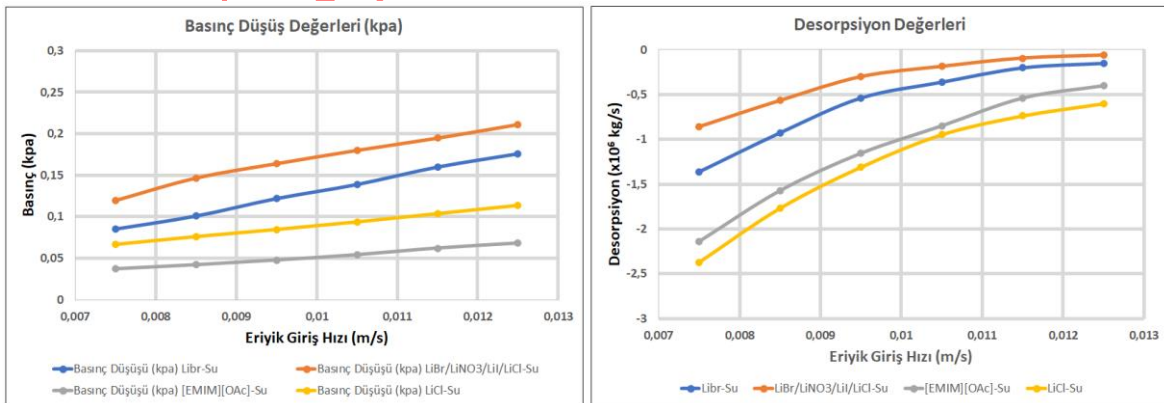
Şekil 7’de verilen kanalda oluşan basınç farkı değerleri incelendiğinde, [EMIM][OAc]-Su eriyiğinin diğer eriyiklere göre daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir. LiBr-Su, [EMIM][OAc]-Su ve LiCl-Su eriyikleri için düşük eriyik giriş hızlarında kanal boyunca basınç farkı yakın olarak gerçekleşmiş olsa da eriyik giriş hızı arttıkça söz konusu fark artış göstermiştir. [EMIM][OAc]-Su eriyiği ile en yüksek basınç farkına sahip LiBr/LiNO<sub>3</sub>/LiI/LiCl-Su eriyiği karşılaştırıldığında yaklaşık %90’lık bir fark bulunduğu gözlemlenmiştir.

Desorbsiyon oranlarında ise, en yüksek desorbsiyon oranına sahip olan LiCl-Su eriyiği ile en düşük desorbsiyon oranına sahip LiBr/LiNO<sub>3</sub>/LiI/LiCl-Su eriyiği karşılaştırıldığında yaklaşık 3 katlık bir fark olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 8 ve 9’da verilen basınç farkı değerleri incelendiğinde ise, 1 mm ve 1,5 mm kanal yükseklerinde 0,5 mm kanal yüksekliğinde gerçekleşen değerlere benzer şekilde eriyik giriş hızı arttıkça basınç farkı değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Basınç farkı değerlerinde kanal yüksekliğindeki artış oranına yakın bir oranda azalış gözlemlenmiştir. Desorbsiyon değerlerinde ise kanal yüksekliği arttıkça desorbsiyon oranlarında azalış tespit edilmiştir. En yüksek desorbsiyon performansına sahip LiCl-Su eriyiğinde, en yüksek akışkan giriş hızında (0,0125 m/s) 0,5 mm kanal yüksekliğinde 1 mm kanal yüksekliğine göre %98 oranında daha fazla desorbsiyon gerçekleşmişken, 1 mm kanal yüksekliğinde ise 1,5 mm kanal yüksekliğine göre %114 oranında daha fazla desorbsiyon gerçekleşmiştir.

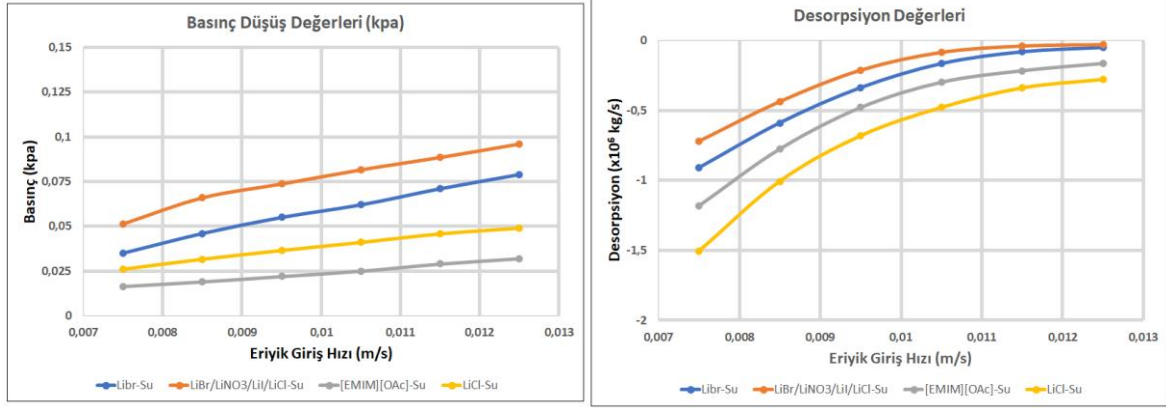


Şekil 7. Farklı eriyiklerin kanal boyu basınç farklarının ve desorbsiyon değerlerinin 0,5 mm kanal yüksekliğinde farklı eriyik giriş hızlarına göre karşılaştırılması (Comparison of pressure drop and desorption values of different solutions according to different solution inlet velocities at 0,5 mm channel height)



Şekil 8. Farklı eriyiklerin kanal boyu basınç farklarının ve desorbsiyon değerlerinin 1 mm kanal yüksekliğinde farklı eriyik giriş hızlarına göre karşılaştırılması (Comparison of pressure drop and desorption values of different solutions according to different solution inlet velocities at 1 mm channel height)





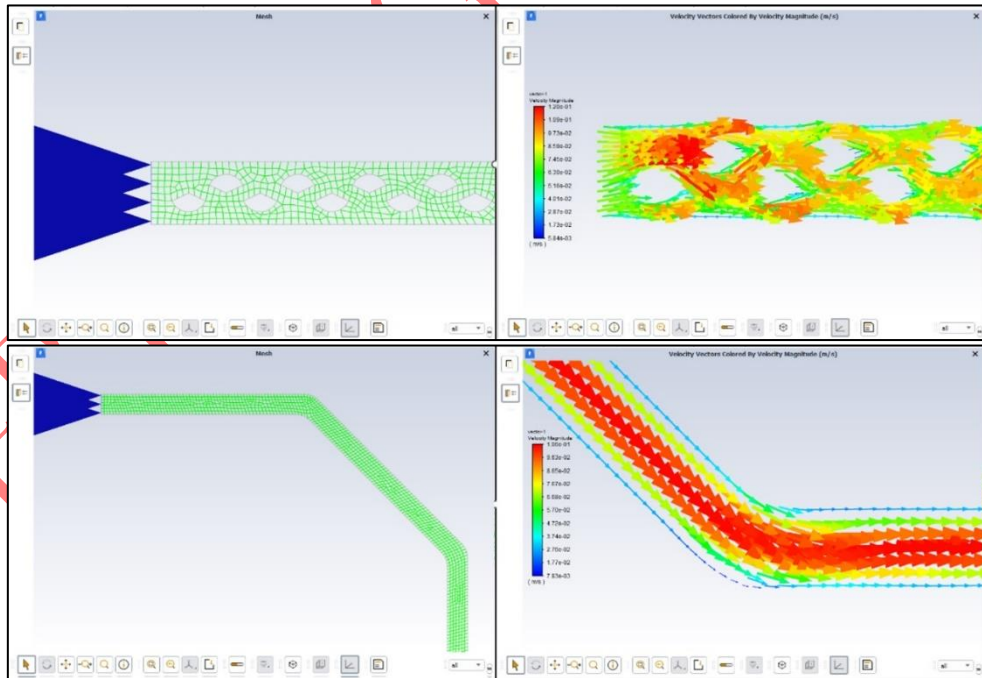
Şekil 9. Farklı eriyiklerin kanal boyu basınç farklarının ve desorbsiyon değerlerinin 1,5 mm kanal yüksekliğinde farklı eriyik giriş hızlarına göre karşılaştırılması (Comparison of pressure drop and desorption values of different solutions according to different solution inlet velocities at 1,5 mm channel height)

#### 4.3. Farklı Kanal Tipine Sahip Mikro Kanallar için Gerçekleştirilen Parametrik Çalışma (Parametric Study for Micro Channels with Different Channel Types)

Çalışmanın bu bölümünde iki farklı kanal tipine sahip mikro kanallı absorber ve desorberde LiBr-Su akışkanının farklı kanal yükseklikleri ve eriyik giriş hızlarına göre, kanal boyu basınç farkı ve toplam absorpsiyon değerlerine göre karşılaştırılması yapılmıştır. Bu kapsamda literatürde bulunan Sun ve arkadaşları [29] ve Khoshvaght-Aliabadi ve arkadaşları [30] tarafından geliştirilen kanal yapılarına benzer şekilde oluşturulan iki farklı kanal yapısında

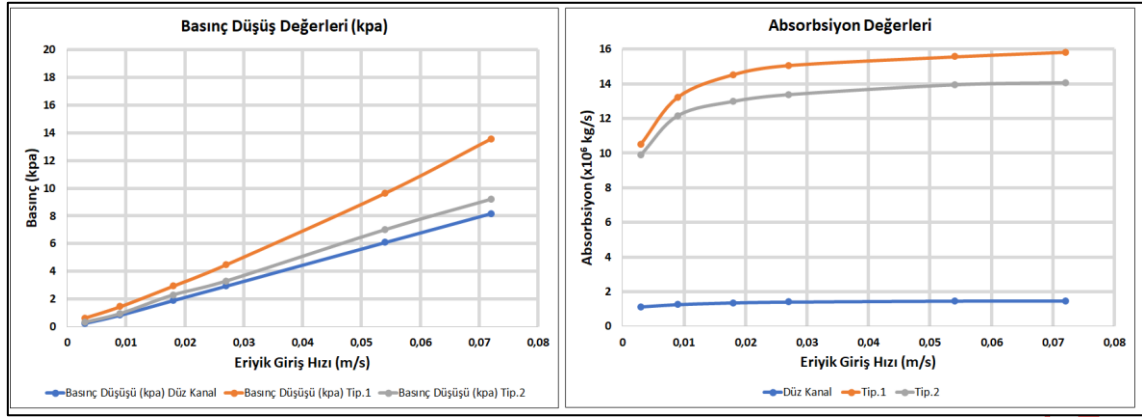
hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Birinci tip kanal yapısı olarak, kanal içerisinde sektörel tümsekler içeren mikro kanal yapısı (Tip-1), ikinci tip kanal yapısı olarak kanal boyunca kavisler içeren mikro kanal yapısı (Tip-2) üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiş ve farklı kanal yüksekliklerine göre hesaplamalar yapılmıştır.

Farklı kanal yükseklikleri ve eriyik giriş hızlarına göre yapılan hesaplamalar sonucunda kanal boyu basınç farkı ve toplam absorpsiyon değerleri elde edilmiş ve düz kanal tipi, birinci ve ikinci kanal tipleri için karşılaştırılmalar yapılmıştır.

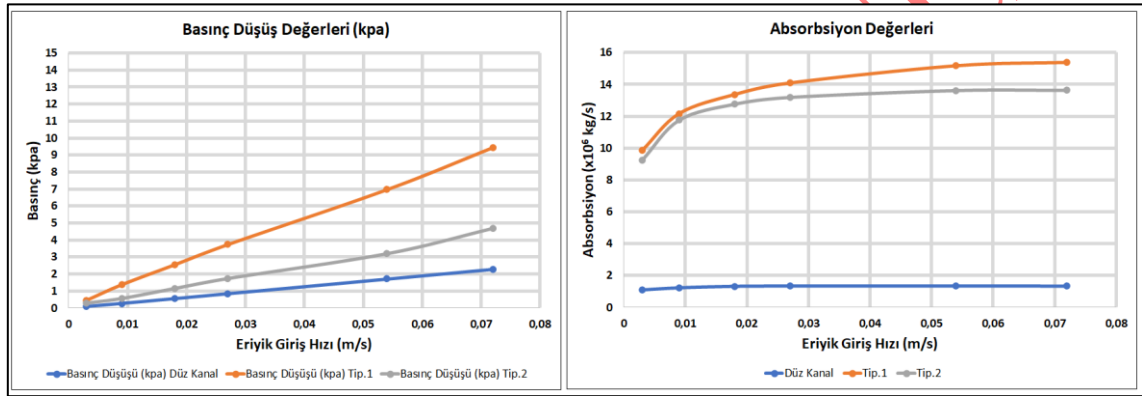


Şekil 10. Tip-1 (üstteki) ve Tip-2 kanal yapıları için ağ yapısı ve hız vektörleri (Mesh structure and velocity vectors for Type-1 (top) and Type-2 channel structures)

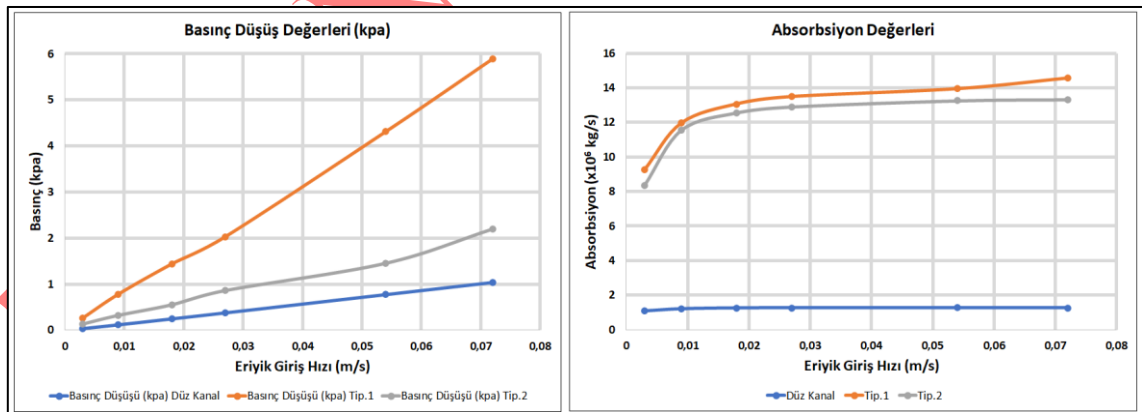




Şekil 11. Farklı kanal tiplerinin kanal boyu basınç farklarının ve absorpsiyon değerlerinin 0,5 mm kanal yüksekliğinde farklı eriyik giriş hızlarına göre karşılaştırılması (Comparison of pressure drop and absorption values of different channel types according to different solution inlet velocities at 0,5 mm channel height)



Şekil 12. Farklı kanal tiplerinin kanal boyu basınç farklarının ve absorpsiyon değerlerinin 1 mm kanal yüksekliğinde farklı eriyik giriş hızlarına göre karşılaştırılması (Comparison of pressure drop and absorption values of different channel types according to different solution inlet velocities at 1 mm channel height)



Şekil 13. Farklı kanal tiplerinin kanal boyu basınç farklarının ve absorpsiyon değerlerinin 1,5 mm kanal yüksekliğinde farklı eriyik giriş hızlarına göre karşılaştırılması (Comparison of pressure drop and absorption values of different channel types according to different solution inlet velocities at 1,5 mm channel height)

Şekil 11’de verilen kanalda oluşan basınç farkı değerleri incelendiğinde, düz kanal yapısının diğer kanal tiplerine göre avantajlı olduğu tespit edilmiştir. Her ne kadar düşük eriyik giriş hızlarında kanal boyunca basınç farkı yakın olarak gerçekleşmiş olsa da eriyik giriş hızı arttıkça düz kanal yapısında diğer kanal yapılarına göre yaklaşık

1,2-1,8 kat arasında değişen daha düşük basınç farkı değerleri ortaya çıkmıştır. Burada en yüksek basınç farkı değeri birinci tip kanal yapısında ortaya çıkmıştır. Absorpsiyon oranlarında ise birinci tip kanal yapısı oldukça yüksek performans göstermiştir. Burada birinci tip kanal yapısında düz kanal yapısına göre yaklaşık

ortalama 10 kat daha yüksek absorpsiyon değerleri elde edilmiştir. İkinci tip kanal yapısında ise düz kanal yapısına göre yaklaşık ortalama 8 kat daha yüksek absorpsiyon değerleri elde edilmiştir.

Şekil 12’de verilen kanalda oluşan basınç farkı değerleri incelendiğinde, 0,5 mm kanal yüksekliğine benzer şekilde düz kanal yapısının diğer kanal tiplerine göre avantajlı olduğu tespit edilmiştir. Eriyik giriş hızı arttıkça düz kanal yapısında diğer kanal yapılarına göre yaklaşık 2-4 kat arasında değişen daha düşük basınç farkı değerleri ortaya çıkmıştır. Burada en yüksek basınç farkı değeri birinci tip kanal yapısında ortaya çıkmıştır. Absorpsiyon oranlarında ise birinci tip ve ikinci tip kanal yapısında oldukça yakın değerler elde edilmiş olup, söz konusu birinci ve ikinci tip kanal yapısında düz kanal yapısına göre yaklaşık ortalama 9-9,5 kat daha fazla absorpsiyon değerleri elde edilmiştir.

Şekil 13’te verilen basınç farkı değerleri incelendiğinde ise, düz kanal yapısının diğer kanal tiplerine göre avantajlı olduğu tespit edilmiş olup, eriyik giriş hızı arttıkça düz kanal yapısında diğer kanal yapılarına göre yaklaşık 3-6 kat arasında değişen daha düşük basınç farkı değerleri ortaya çıkmıştır. Burada en yüksek basınç farkı değeri birinci tip kanal yapısında ortaya çıkmıştır. Absorpsiyon oranlarında ise birinci tip ve ikinci tip kanal yapısında oldukça yakın değerler elde edilmiş olup, söz konusu birinci ve ikinci tip kanal yapısında düz kanal yapısına göre yaklaşık 8-8,5 kat daha fazla absorpsiyon değerleri elde edilmiştir.

## 5. SONUÇ (CONCLUSION)

Çalışmada, mikro kanal içeren membran tabanlı absorber ve desorberde farklı kanal yükseklikleri, farklı eriyik giriş hızları, farklı eriyikler ve farklı kanal tiplerine göre parametrik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin gelişime açık alt elemanları olan absorber ve desorberde bir optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, membran tabanlı mikro kanallı absorber ve desorber 0,5 mm kanal yüksekliğinin diğer kanal yüksekliklerine göre absorpsiyon ve desorpsiyon oranları açısından daha yüksek performans sergilediği ortaya konmuştur. Absorber için yapılan çalışmada hem absorpsiyon oranlarında hem de basınç düşüşü değerlerinde en verimli eriyiğin [EMIM][OAc]-Su eriyiği olduğu tespit edilmiştir. Eriyik giriş hızında ise belli bir hızdan sonra absorpsiyon oranlarındaki artış hızının azaldığı bu doğrultuda en verimli eriyik giriş hızının 0,027 m/s olduğu ortaya konmuştur. Desorber için yapılan çalışmada ise, desorpsiyon oranları açısından en verimli eriyiğin LiCl-Su eriyiği olduğu, bununla birlikte en düşük basınç düşüşü gerçekleşen eriyiğin ise [EMIM][OAc]-Su eriyiği olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın son bölümünde, absorber için kanal içerisinde sektörel tümsekler içeren mikro kanal yapısı, kanal boyunca kavisler içeren mikro kanal yapısı ve düz kanal yapısı karşılaştırılmış, farklı tipteki kanallarda absorpsiyon oranlarında ciddi artışlar elde edilmiştir. Bu

doğrultuda birinci ve ikinci tip kanal yapılarında düz kanal yapısına göre yaklaşık 7-10 kat arasında absorpsiyon oranları elde edilmiştir. Ancak bununla birlikte basınç düşüşü değerleri incelendiğinde ise düz kanal yapısına göre dezavantajlı oldukları tespit edilmiştir. Bu kapsamda, farklı eriyikler, kanal yükseklikleri, kanal uzunlukları gibi parametrelerde çalışmaya devam edilmesi, optimum değerleri sağlayan koşullarda 3 boyutlu analizlerin ve deneysel bir çalışmanın gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir.

## SİMGELER VE KISALTMALAR (NOMENCLATURE)

|                   |                                                    |
|-------------------|----------------------------------------------------|
| $D_{eriyik}$      | : Kütle difüzyon katsayısı ( $m^2/s$ )             |
| [EMIM][OAc]       | : 1-etil-3-metilimidazolyum asetat                 |
| $h_s$             | : Eriyik entalpisi (J/kg)                          |
| $h_v$             | : Buhar entalpisi (J/kg)                           |
| $h_{sey}$         | : Eriyiğin seyreltme entalpisi (J/kg)              |
| $J_i$             | : Difüzyon akısı ( $kg/m^2s$ )                     |
| $k_{eff}$         | : Efektif ısı iletkenlik (W/mK)                    |
| $k_m$             | : Membran kütle transfer katsayısı ( $kg/m^2sPa$ ) |
| LiBr              | : Lityum bromür                                    |
| LiNO <sub>3</sub> | : Lityum nitrat                                    |
| LiI               | : Lityum iyodür                                    |
| LiCl              | : Lityum Klorür                                    |
| $P_s$             | : Eriyik kısmi buhar basıncı (Pa)                  |
| $P_v$             | : Buhar basıncı (Pa)                               |
| $S_m$             | : Su buharı kaynak terimi ( $kg/m^3s$ )            |
| $T_m$             | : Ortalama sıcaklık (K)                            |

## ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

## YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Utku TÜRKMEN:** Sayısal analizi gerçekleştirmiş ve sonuçları analiz etmiştir. Makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir. / Performed the numerical analysis and analyzed the results. Wrote the manuscript

**Ali İbrahim ATILGAN:** Çalışma kapsamını belirlemiş ve sonuçları analiz etmiştir. Makalenin yazım sürecine katkı sağlamıştır. / Determined the scope of the study and analyzed the results. Contributed to the writing process of the article.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur. / There is no conflict of interest in this study.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Asfand, F., Stiriba, Y. and Bourouis, M. "CFD simulation to investigate heat and mass transfer processes in a membrane-based absorber for water-LiBr absorption cooling systems." *Energy*, 91: 517-530, (2015).
- [2] Sui, Z., Wu, W., You, T., Zheng, Z. and Leung, M. "Performance investigation and enhancement of membrane-contactor microchannel absorber towards compact absorption cooling." *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 169: 120978, (2021).
- [3] Venegas, M., Vega, M., Garcia-Hernando, N. and Ruiz-Rivas, U. "Simplified model of a membrane-based rectangular micro-desorber for absorption chillers." *International Journal of Refrigeration*, 71: 108-123, (2016).
- [4] Vega, M., Garcia-Hernando, N. and Venegas, M. "Experimental performance of membrane water absorption in LiBr solution with and without cooling." *Applied Thermal Engineering*, 180: 115786, (2020).
- [5] Ishafani, N. R. and Moghaddam, S. "Absorption characteristics of lithium bromide (LiBr) solution constrained by superhydrophobic nanofibrous structures." *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 63: 82-90, (2013).
- [6] Venegas, M., Garcia-Hernando, N. and Vega, M. "A parametric analysis on the effect of design and operating variables in a membrane-based desorber." *International Journal of Refrigeration*, 99: 47-58, (2019).
- [7] Zhai, C. and Wu, W. "Heat and mass transfer performance comparison of various absorbers/desorbers towards compact and efficient absorption heat pumps." *International Journal of Refrigeration*, 127: 203-220, (2021).
- [8] Determan, D. M. and Garimella, S. "Ammonia water desorption heat and mass transfer in microchannel devices." *International Journal of Refrigeration*, 34: 1197-1208, (2011).
- [9] Staedter, M. A. and Garimella, S. "Development of a micro-scale heat exchanger based, residential capacity ammonia-water absorption chiller." *International Journal of Refrigeration*, 89: 93-103, (2018).
- [10] Moghaddam, S., Chugh, D., Ishafani, R. N., Gluesenkamp, K. and Abdelaziz, O. "A hybrid absorption cycle for water heating, dehumidification, and evaporative cooling." *ASME 2015 International Technical Conference and Exhibition on Packaging and Integration of Electronic and Photonic Microsystems*, San Francisco, 1-9, (2015).
- [11] Özbaş, E. "Experimental Study Of Diffusion Absorption Refrigeration Systems Using Solar Energy." *Politeknik Dergisi*, 21(2): 291-297, (2018).
- [12] Lee, Y., Lee, G., Cho, J., Choi, B., Han, N. G. and Kim, D. K. "Evaluation of ionic liquids as absorbents for absorption refrigeration systems using hydrofluoro-olefin refrigerant." *Case Studies in Thermal Engineering*, 45: 102920, (2023).
- [13] Wang, S., Hou, K., Zhang, Z., Huang, S., Liu, X. and He, M. "Vapor-liquid equilibrium for dimethyl ether and three imidazolium ionic liquids as working pairs in absorption-refrigeration cycle." *Journal of Molecular Liquids*, 380: 121742, (2023).
- [14] Ho, C. J., Peng, J. K., Yang, T. F., Rashidi, S. and Yan, W. M. "Assessment of cooling performance of mini/micro-channel stacked double layer heat sink." *Alexandria Engineering Journal*, 80: 465-474, (2023).
- [15] Başaran, A. and Yurddaş, A. "Tek fazlı R600a soğutkan akışı için mikrokanaal eşanjörün matematiksel modellemesi." *Politeknik Dergisi*, 24(3): 797-810, (2021).
- [16] Çakır, M. T. and Aktürk, D. "Numerical Investigation of Heat Transfer Performance in Laminar Flow of Nanofluids in the Wavy Micro-Channel." *Politeknik Dergisi*, 25(4): 1769-1775, (2022).
- [17] ANSYS Fluent Theory Guide, (2013).
- [18] ANSYS Fluent UDF Manual, (2013).
- [19] Kaita, Y. "Thermodynamic properties of lithium bromide-water solutions at high temperatures." *International Journal of Refrigeration*, 24: 374-390, (2001).
- [20] Florides, G.A., Kalogirou, S.A., Tassou, S.A. and Wrobel, L.C. "Design and construction of a LiBr-water absorption machine." *Energy Conversion and Management*, 44: 2483-2508, (2002).
- [21] Koo, K.K. and Lee, H.R., "Densities, Viscosities, and Surface Tensions of the Water + Lithium Bromide + Lithium Nitrate + Lithium Iodide + Lithium Chloride." *System. J. Chem. Eng. Data*, 44: 1175-1177, (1999).
- [22] Koo, K.K., Lee, H., Jeong, S., Oh, Y., Park, D. and Baek, Y. "Solubilities, Vapor Pressures, and Heat Capacities of the Water + Lithium Bromide + Lithium Nitrate + Lithium Iodide + Lithium Chloride System." *International Journal of Thermophysics*, 20(2): 589-600, (1998).
- [23] Pineda, M.C.S., "Incremento De Purificación De Agua En Un Transformador Térmico Por Absorción Utilizando (LiBr+LiI+LiNO<sub>3</sub>+LiCl+H<sub>2</sub>O)." *Yüksek Lisans Tezi*, Universidad Autónoma Del Estado De Morelos, (2019).
- [24] Ji, Q., Yin, Y., Wang, Y., Cao, B., Chen, W., Xu, G. and Li, X. "Comparative analysis of compression-absorption cascade heat pump using." *Energy Conversion and Management*, 269: 116084, (2022).
- [25] Zhang, F., Li, X., Y., Chen, G., Wang, T., Jin, X., T., Cheng, C., X., Li, G., P., Zhang, L., G., Zhang, B. and Zheng, F. "Thermophysical properties and water sorption characteristics of 1-ethyl-3-methylimidazolium acetate ionic liquid and water binary systems various ionic liquid-based working pairs." *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 127: 105558, (2021).
- [26] Römiş, C., Merkel, N. C., Valbonesi, A., Schaber, K., Sauer, S. and Schubert, T. J. S. "Thermodynamic Properties of Binary Mixtures of Water and Room-Temperature Ionic Liquids: Vapor Pressures, Heat Capacities, Densities, and Viscosities of Water + 1-Ethyl-3-methylimidazolium Acetate and Water + Diethylmethylammonium Methane Sulfonat." *Journal of Chemical Engineering Data*, 57: 2258-2264, (2012).
- [27] Conde, M. R., "Properties of aqueous solutions of lithium and calcium chlorides: formulations for use in air conditioning equipment design." *International Journal of Thermal Sciences*, 43: 367-382, (2004).
- [28] Chaudhari, S.K. and Patil, K. R., "Thermodynamic Properties of Aqueous Solutions of Lithium Chloride."

***Physics and Chemistry of Liquids: An International Journal***, 40(3): 317-325, (2001).

- [29] Sun, L., Li, J., Xu, H., Ma, Jie. and Peng, H. "Numerical study on heat transfer and flow characteristics of novel microchannel heat sinks." ***International Journal of Thermal Sciences***, 176:107535, (2022).
- [30] Khoshvaght-Aliabadi, M., Hosseinirad, E., Farsi, M. and Hormozi, F. "Heat transfer and flow characteristics of novel patterns of chevron minichannel heat sink: An insight into thermal management of microelectronic devices." ***International Communications in Heat and Mass Transfer***, 122, 105044, (2021).

ERKEN GÖRÜNÜM