

ABSORBSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN ABSORBERİN SİMÜLASYONU

Mustafa İLBAŞ

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kayseri,
TÜRKİYE.

Yüksel KAPLAN

Niğde Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,
Niğde, TÜRKİYE.

ÖZET

Bu çalışmada LiBr-su akışkan çiftiyle çalışan, absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde kullanılan, absorberlerin sıcaklık, hız ve konsantrasyon dağılımları sonlu farklar metodu uygulanarak incelendi. Absorber, film akışlı, dik borulu olarak düşünüldü. Akışın dik bir boru dışında olduğu ve boru cidar sıcaklığının boru boyunca, lineer olarak değiştiği kabul edildi. Eriyik sıvı yüzey boyunca soğutucu akışkan buharı absorbe eder. Bu absorbsiyon esnasında açığa çıkan ısı, dışarı atılır. Yukarıda tarif edilen tipte bir absorbsiyonda, olayı karakterize eden diferansiyel denklemler çıkarılırken bazı kabuller yapıldı. Bu kabuller ışığında simultane ısı ve kütle transfer olayları için, kararlı rejimde enerji ve difüzyon denklemleri yazıldı. Elde edilen simultane kısmi türevli diferansiyel denklemlerin, sonlu farklar metodu kullanılarak bilgisayar yardımıyla, akış kalınlığı ve boru boyunca sıcaklık ve konsantrasyon dağılımları elde edilir. Elde edilen sıcaklık ve konsantrasyon dağılımlarından faydalanılarak, ısı taşınım ve kütle taşınım katsayıları bulundu.

SIMULATION OF THE ABSORBER USED IN THE ABSORPTION REFRIGERATION SYSTEM

ABSTRACT

In this study, distributions of temperature, velocity and concentration of absorbers, have been investigated by the use of Finite Difference method. The absorbers work with LiBr-Water, and used in the absorption refrigeration systems. Absorber is considered as to the film flowing and in the vertical pipe. The flow is assumed around the vertical pipe and the temperature of the pipe wall is assumed varying linearly through the pipe. LiBr-water flows down around the vertical pipe with its gravitation.

1.GİRİŞ

Absorpsiyonlu soğutma makinalarının performansı, büyük oranda absorber ısı ve kütle transfer karakteristiklerinden etkilenir. Bu nedenle absorberin detaylıca incelenmesi gerekir. Gaz veya buharın, ince bir sıvı film tarafından absorpsiyonu işlemi, birçok araştırmacı tarafından farklı yaklaşımlar ve kabullerle incelenmiştir. Grossman [1,2], eğik ve düzlemde, laminer akış ve türbülanslı akışdurumunda absorpsiyon olayını analitik ve yarı nümerik olarak incelemiştir. Andberg ve Vliet [3], yaptıkları çalışmada absorpsiyon yüzdesi ve kütle akış oranına göre film uzunluğunu tespit etmişlerdir. Rie ve Kashiwagi [4], absorpsiyon olayını nümerik olarak çözmüşler ve simülasyonunu yapmışlar ve ayrıca sıvının yüzey gerilmesini azaltan madde kullanmışlardır. Yüksel [5], absorpsiyon olayını deneysel olarak incelemiş ve kızılötesi ışınlarla ölçmeler yaparak, kütle ve ısı taşınım katsayılarını hesaplamıştır. Eğrican ve Yiğit [6], yaptıkları teorik çalışmada absorpsiyon olayını nümerik olarak inceleyip, ısı ve kütle transfer katsayılarını karakterize eden Nusselt ve Sherwood sayılarını elde etmişlerdir.

Bu çalışmada dik bir boru etrafında ince bir sıvı filmi şeklinde akan LiBr-Su eriyiği yüzeyi ile temas halindeki su buharının absorpsiyonu nümerik olarak incelenmiştir. Hız parabolik olarak alınmıştır. Akışa dik ve akış uzunluğu boyunca sıcaklık ve konsantrasyon değişimleri göz önüne alınmıştır. Film kalınlığı yapılan teorik ve deneysel çalışmalardan uygun şekilde seçilmiş, film uzunluğu ise absorpsiyon oranına ve kütle akış oranına bağlı olarak hesaplanmıştır. Absorber dizaynı için gerekli olan ısı ve kütle taşınım katsayıları, elde edilen sıcaklık ve konsantrasyon değişimlerine bağlı olarak hesaplanmıştır.

2. MODEL VE DENKLEMLER

Bu çalışmada akış modeli olarak Şekil-1'de görülen model seçilmiştir. En genel halde hız, sıcaklık ve konsantrasyon dağılımları bu şekil üzerinde görülmektedir. Boru etrafında bulunan sıvı haldeki eriyik ve soğutucu buharı kendi ağırlığı ile aşağı doğru akmaktadır. Soğutucu su buharı P_v sabit basıncında ve durgun haldedir. $z=0$ noktasında eriyik T_0 sıcaklığında ve C_0 konsantrasyonundadır. Girişteki P_{v0} ile P_v arasındaki fark kütle transferi için gerekli potansiyeli oluşturur [6]. Soğutucu akışkan buharının absorpsiyonu esnasında açığa çıkan ısı boru cidarlarından dışarı

atılır. Bu çalışmada ince bir sıvı filmi şeklinde akan LiBr-Su eriyiğinin hız profili;

$$V_z = \left(\frac{\rho \cdot g}{4 \cdot \pi} \right) r^2 + K_1 \cdot \ln \cdot r + K_2 \quad (1)$$

şeklinde tanımlanır [8]. Burada K_1 ve K_2 sabitleri sınır şart ve bağıntılarından bulunur ve (1) eşitliğinde yerine yazılırsa,

$$V_z = A1 \left(\frac{r^2}{R^2} - 1 \right) + A2 \cdot \ln \frac{r}{R}$$

eşitliği elde edilir. Burada A1 ve A2 sabitleri

$$A2 = \frac{\rho \cdot g \cdot R^2}{4 \cdot \pi} \quad (3a)$$

$$A2 = V_{\max} - (\rho \cdot g \cdot \delta / 4 \cdot \mu) (2 \cdot R + \delta) / \ln((R + \delta) / R) \quad (3b)$$

değerlerindedir. Anberg ve Vliet [3], yaptıkları çalışmada kütle akış miktarına bağlı olarak film uzunluğunu

$$Za = a m^{1.33} \quad (4)$$

şeklinde tanımlamışlardır. Burada m filmde geçen kütle akışı (kg/s), a ise absorpsiyon yüzdesine bağlı olarak değişen sabit bir katsayı olup,

$$a = -132 \ln[(100 - Ap)/86] \quad (5)$$

şeklinde tanımlanır. Burada Ap: absorpsiyon yüzdesidir. Yukarıda tarif edilen tipte bir absorpsiyonda, olayı karakterize eden diferansiyel denklemler çıkarılırken aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

- Eriyik Newtoniyen bir akışkandır, fiziksel özellikleri sabittir, sıcaklık ve konsantrasyondan bağımsızdır.
- Yüzeyde, sıvı ve buhar arasında buhar dengesi mevcuttur.
- Buhar fazında ısı transferi yoktur.
-

- Film içindeki sıcaklık ve konsantrasyon farkı sebebiyle doğal taşınım yoktur.
- Difüzyon ısıl etkileri ihmal edilebilir.
- Birim zamanda absorbe edilen buhar miktarı, eriyik sıvı debisi ile karşılaştırıldığında, çok azdır. Bu yüzden akış film kalınlığı sabit kabul edilebilir.

Bu kabuller ışığı altında simultane ısı ve kütle transfer olayları için, enerji ve difüzyon denklemleri,

$$V_z = \frac{\partial T}{\partial z} \alpha \left(\frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (6)$$

$$V_z = \frac{\partial C}{\partial z} D_f \left(\frac{1}{r} \frac{\partial C}{\partial r} + \frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) \quad (7)$$

Bu denklemlerdeki α ; ısıl yayılma katsayısı, D_f ; kütle difüzyon katsayısıdır. Bu genel denklemlerin çözülebilmesi için Şekil-1 göz önüne alınarak sınır şart ve bağıntıları yazılırsa;

$$z = 0 \text{ de } T = 0 \text{ ve } C = C_0 \quad (8a)$$

$$r = R \text{ de } T = T_{cid} \text{ ve } \partial C / \partial r = 0 \quad (8b)$$

$$r = R_1 \text{ de } T = T_s \text{ ve } C = C_s \quad (8c)$$

Burada T_s ve C_s ; yüzey sıcaklığı ve konsantrasyonudur. T_s ve C_s birbirine bağlı ve z koordinatının bir fonksiyonudur. Sıvı eriyik ile gazın temasta olduğu ortak yüzey için sınır bağıntıları yazılabilir. Bu bağıntılarda sıcaklık ve konsantrasyon değişimi sadece r eksenine göre yazıldı. Bunlar sırasıyla denge şartı, kütle difüzyonu ve ısı iletim eşitlikleridir ve sırasıyla şöyle ifade edilirler [2];

$$F(T_s, C_s) = P_v = \text{sabit} \quad (9)$$

$$D_f \left(\frac{\partial C}{\partial r} \right) = n_s \quad (10)$$

$$k\left(\frac{\partial C}{\partial r}\right) = n_s \cdot \bar{a} \cdot (T_s, C_s) \quad (11)$$

Burada \bar{a} ; absorpsiyon ısısı (J/kg), n_s ; yüzeydeki molekül sel akıdır. (10) ve (11) eşitliklerinden

$$k\left(\frac{\partial T}{\partial r}\right) = D_f\left(\frac{\partial C}{\partial r}\right) \cdot \bar{a} \cdot (T_s, C_s) \quad (12)$$

eşitliği elde edilir. Absorbentin (yutulan akışkan) sahip olduğu bazı özelliklerden dolayı ilave bağıntılar yazılabilir. Aşağıdaki özelliklere sahip absorbentlere lineer absorbent adı verilir ve şu şekilde açıklanır [4].

Sabit basınçta sıcaklık ve konsantrasyon arasındaki bağıntı lineerdir.

$$C = AT + B \quad (13)$$

Absorpsiyon ısısı sabittir, yani sıcaklık ve konsantrasyondan bağımsızdır.

$$\bar{a}(T_s, C_s) = \bar{a} = \text{sabit} \quad (14)$$

LiBr-Su akışkan çiftiyle çalışan absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde yutulan madde soğutucu buharı yani sudur. Yukarıda yazdığımız ilave bağıntıları göz önüne alırsak; su lineer absorbent olarak kabul edilebilir. Ve böylece yüzey için sınır bağıntılar yazılabilir.

$$k\left(\frac{\partial T}{\partial r}\right) = \bar{a} \cdot D_f\left(\frac{\partial C}{\partial r}\right) \quad (15a)$$

$$C_s = AT_s + B \quad (15b)$$

(6) ve (7) eşitliklerinin sonlu farklar metoduyla çözülebilmesi için elde edilen sınır şart ve bağıntılarının merkezi sonlu farklar cinsinden yazılması gerekir. Sınır şart ve bağıntılarını sonlu farklar cinsinden

$$z = 0 \quad \text{da} \quad T = T_0 \quad \text{ve} \quad C = C_0 \quad (16a)$$

$$r = R \quad \text{de} \quad T = T_{ij+n} \quad \text{ve} \quad C_{ij} = C_{ij+n} \quad (16b)$$

$$r = R1 \quad \text{de} \quad T = Ts \quad \text{ve} \quad C = Cs \quad (16c)$$

ve

$$k(Ts - Ts-1) = \hat{a}D(Cs - Cs-1) \quad (16d)$$

$$Cs = Ats + B \quad (16e)$$

3. DİFERANSİYEL DENKLEMLERİN SONLU FARKLARLA ÇÖZÜMÜ

(6) ve (7) denklemlerinin diferansiyel kısımları merkezi sonlu farklar cinsinden yazılır ve eşitliklerde yerine konulursa aşağıdaki eşitlikler elde edilir.

$$T_{ij+1} = \frac{V_z \cdot \Delta z + 2 \cdot \alpha}{V_z \cdot \Delta z - 2 \cdot \alpha} T_{ij-1} + \frac{\Delta z^2 \cdot \left(1 + \frac{\Delta r}{2 \cdot r}\right)}{\Delta r^2 \left(\frac{V_z \cdot \Delta z}{2 \cdot \alpha} - 1\right)} T_{i+1j}$$

$$+ \frac{\alpha \cdot \Delta z^2 (2r - \Delta r)}{r \cdot \Delta r^2 (V_z \cdot \Delta z - 2\alpha)} T_{i-1j} - \frac{2 \left(1 + \frac{\Delta z^2}{\Delta r^2}\right)}{\frac{V_z \Delta z}{2\alpha} - 1} T_{ij} \quad (17)$$

$$C_{ij+1} = \frac{V_z \cdot \Delta z + 2 \cdot D_f}{V_z \cdot \Delta z - 2 \cdot D_f} C_{ij-1} + \frac{\Delta z^2 \cdot r \left(1 + \frac{\Delta r}{2 \cdot r}\right)}{\Delta r^2 \left(\frac{V_z \cdot \Delta z}{2 \cdot D_f} - 1\right)} C_{i+1j}$$

$$+ \frac{D_f \cdot \Delta z^2 (2r - \Delta r)}{r \cdot \Delta r^2 (V_z \cdot \Delta z - 2D_f)} C_{i-1j} - \frac{2 \left(1 + \frac{\Delta z^2}{\Delta r^2}\right)}{\frac{V_z \Delta z}{2D_f} - 1} C_{ij} \quad (18)$$

Yukarıdaki denklemler bilgisayar yardımıyla çözümlenerek akışın her noktasındaki sıcaklık ve konsantrasyon dağılımları bulunur. Elde edilen sıcaklık ve konsantrasyon dağılımlarından sırasıyla ısı ve kütle taşınım katsayıları bulunur ve bunlar ısı ve kütle transferini karakterize eden Nu ve Sh sayılarında yerine yazılırsa;

$$Nu = \frac{h \cdot \delta}{k} = \delta \cdot \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=R/T_m} \quad (19)$$

$$Sh = \frac{h_m \cdot \delta}{D_f} = \delta \cdot \left. \frac{\partial C}{\partial r} \right|_{r=R_1/C_s - C_m} \quad (20)$$

eşitlikleri elde edilir. Bulunan Nu ve Sh sayıları absorber dizaynında kullanılabilir.

4. SONUÇLAR

Absorpsiyonlu soğutma makinalarının performansı, büyük oranda absorber ısı ve kütle karakteristiklerinden etkilenir. Dolayısıyla (6) ve (7) eşitliklerinden elde edilen sıcaklık ve konsantrasyon dağılımları yardımıyla, ısı ve kütle transferi karakterize eden (19) ve (20) eşitliklerinden Nusselt ve Sherwood sayılarının akış uzunluğu boyunca olan değişimleri elde edilmiştir.

Hız profilinin kalınlığına göre değişimi Şekil-2'de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi boru cidarından film yüzeyine doğru, hız profili parabolik olarak artmaktadır. Bunun sebebi cidarda izafi hızın sıfır olmasıdır. Film kalınlığı ve film akış uzunluğu boyunca, konsantrasyonun değişimi Şekil-3'de görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi cidarda kütle geçişi olmadığından dolayı konsantrasyon sabit kalmakta, cidardan film yüzeyine doğru yaklaştıkça cidar üzerinden kütle geçişi olmadığından ve akış boyunca yüzeyden eğriye devamlı bir kütle akışı olduğundan dolayı da konsantrasyon artmaktadır.

Film kalınlığı ve film akış uzunluğu boyunca, sıcaklık dağılımı Şekil-4'de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi sıcaklık, akışa dik kesitte, boru cidarı üzerinde küçük bir oranda azalmakta ve yüzeye doğru parabolik

olarak artmaktadır. Bunun sebebi yüzeydeki yoğuşma sebebiyle eriyiğe iletilen ısının, cidarda soğutma suyuna atılan ısıdan küçük olmasıdır.

Isı ve kütle transferini karakterize eden Nu v Sh sayılarının akış uzunluğu ile değişimi Şekil-5’de görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi Nu sayısı sıcaklık gradyanına ve Sh sayısı da konsantrasyon gradyanına bağlı olarak akış uzunluğu boyunca azalmaktadır. Nu sayısı 0.85 değerine, Sh sayısı da 9.8 değerine asimtotik olarak yaklaşmaktadır.

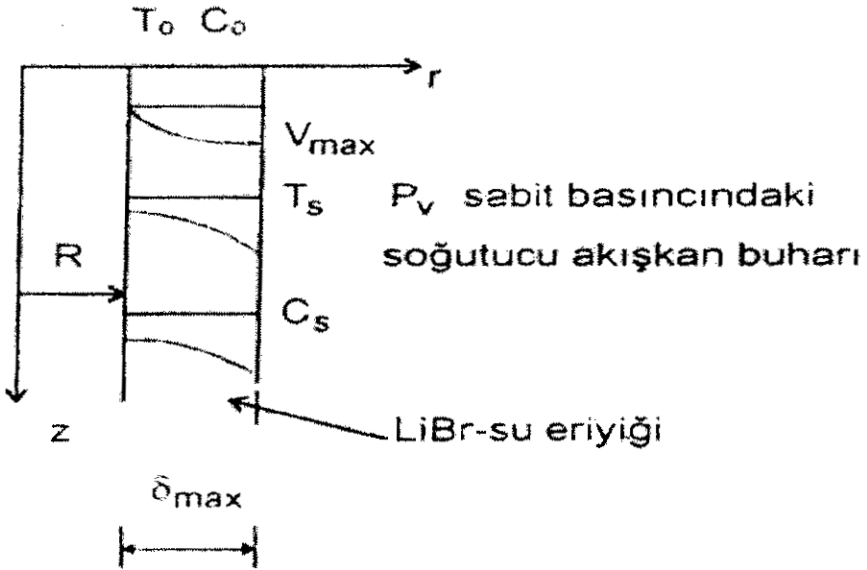
5. KULLANILAN SEMBOLLER

C	: Konsantrasyon, mol/m ³	P	: Basınç, Pa
C _{1,C}	: Katsayılar	S	: Sherwood sayısı, h _m δ/D _f
2		h	
C _p	: Sıvının özgül ısısı, J/kg°C	T	: Sıcaklık, °C
D _f	: Difüzyon katsayısı, m ² /s	V	: Hız, m/s
g	: Yerçekim ivmesi, kg/m/s ²	α	: Isıl yayılma katsayısı, m ² /s
h	: Isı transfer katsayısı, m/s	ρ	: Sıvının yoğunluğu, kg/m ³
h _m	: Kütle transfer katsayısı, m/s	δ	: Film kalınlığı, m
Le	: Lewis sayısı, α/D _f	μ	: Viskozite, kg/ms
Nu	: Nusselt sayısı, h δ/k		

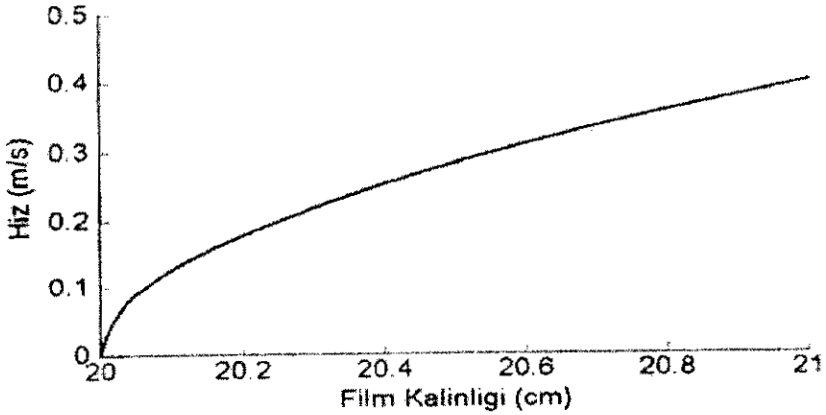
6. KAYNAKLAR

1. Grosman, G., “Simultaneous heat and mass transfer in film absorption under Laminar flow”, Int. J. Heat Mass Transfer, 26, 357-371, 1981.
2. Grosman, G. and Heath, M.T., “Simultaneous heat and mass transfer in absorption of gases in turbulent liquid films” Int. J. Heat Mass Transfer, 27, 2365-2376, 1984.
3. Andberg, J.W. and Vliet, G.C., “Design guidelines for water-lithium bromide absorbers” Ashrae Transactions, 89, 220-232, 1983.
4. Rie, D. and Kashiwagi, T., “Computer simulation of vapor-absorption enhancement into H₂O/ LiBr absorbent by marongoni convection’ JSME Int. J., 34, 355-361, 1991.

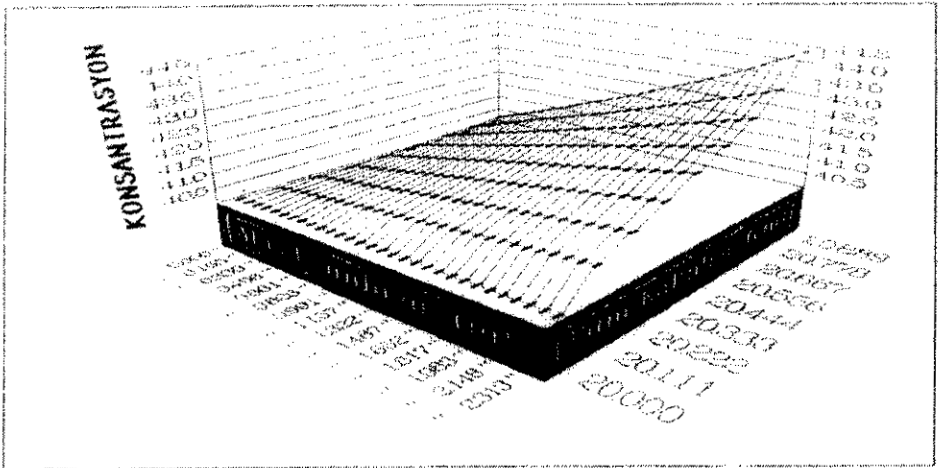
5. Yüksel M.L, 'Gaz absorpsiyonunda birbirine bağımlı ısı ve kütle transferi" 5. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 1985.
6. Eğrican, N. ve Yiğit A., "İnce sıvı filmlı absorberlerin ısı ve kütle transferi katsayılarının nümerik hesabı" Isı ilimi ve Tekniği Dergisi Ankara, 1987.
7. Swallow, F.E. and Smith, I.E., "Vapour absorption into liquid films on rotating discs", Int. J. Refrig, 291-294, 1989.
8. Batchelor G.K., "Akışkanlar Mekaniği", Cambridge Univ. Press, 1967.
9. Constantinides, A., "Applied Numerical Methods with Personal Computers", McGraw-Hill Com., Newyork, 1988.



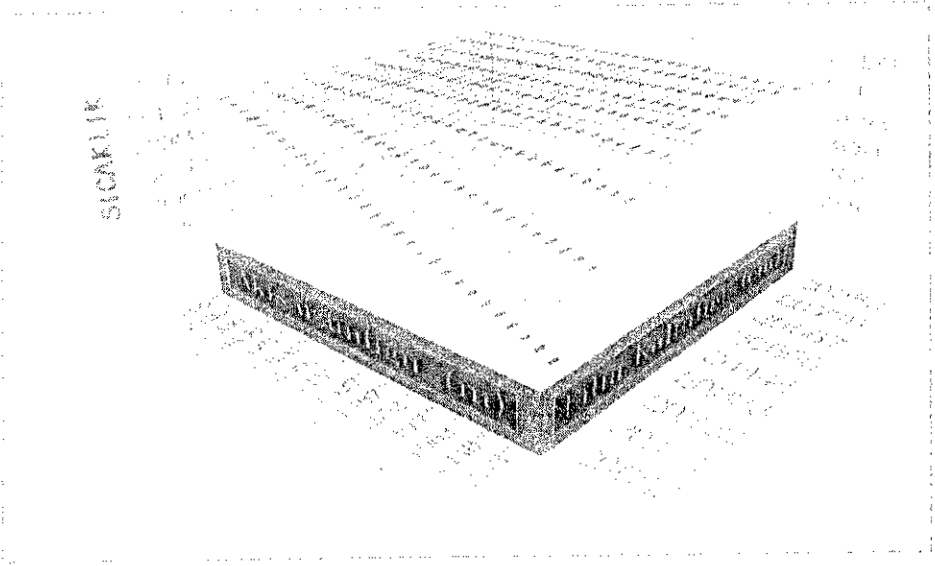
Şekil 1: Dik bir boru etrafından soğutucu buharı ile temas halinde kendi ağırlığı ile akan LiBr-su eriyik içindeki hız, sıcaklık ve konsantrasyon profilleri



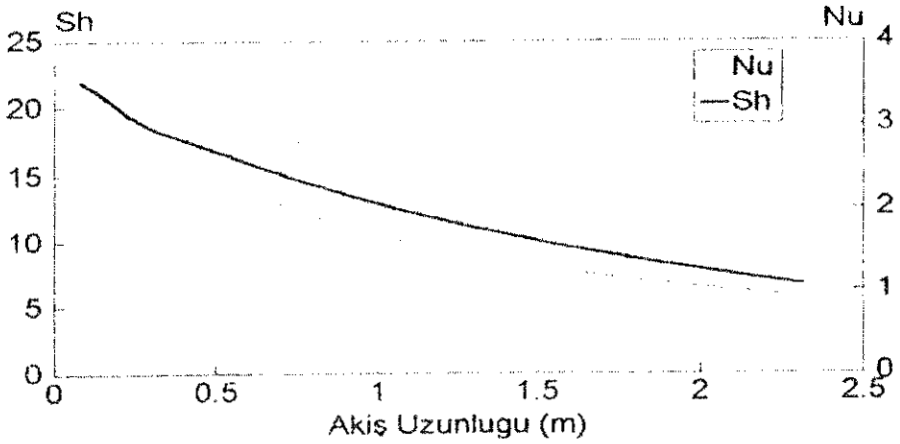
Şekil 2: Film kalınlığı içerisindeki hız dağılımı



Şekil 3: Film kalınlığı ve akış uzunluğu boyunca konsantrasyon dağılımı



Şekil 4: Film kalınlığı ve akış uzunluğu boyunca sıcaklık dağılımı



Şekil 5: Akış uzunluğu boyunca Nu ve Sh sayılarının değişimi