



GÖZENEKLİ BİR ORTAMDAKİ DÜŞEY BİR PLAKA ÜZERİNDEN OLAN AKIŞA KALDIRMA KUVVETİ VE BİRLEŞİK ISI TRANSFERİNİN ETKİSİ

Ahmet KAYA* ve Orhan AYDIN**

*Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü,
46100 Kahramanmaraş, ekaya38@gmail.com

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü,
61080 Trabzon, oyadin@ktu.edu.tr

(Geliş Tarihi: 03.05.2012 Kabul Tarihi: 19.10.2012)

Özet: Bu çalışmada, gözenekli bir ortamdaki düşey bir levha üzerinde olan akışa kaldırma kuvveti ve birleşik ısı transferinin (conjugate) etkisi araştırılmıştır. Levha sonlu bir kalınlığa sahip ve bir yüzeyi sonlu bir sıcaklıkta tutulmaktadır. Akış alanında hız ve sıcaklık dağılımını belirlemek için, Navier-Stokes ve enerji denklemleri benzerlik yöntemiyle sınır tabaka denklemlerine dönüştürülmüştür. Daha sonra bu denklemler Keller-box yöntemiyle nümerik olarak çözülmüştür. Birleşik (conjugate) ısı transferi ve kaldırma kuvveti parametrelerinin hız ve sıcaklık profilleri ile yerel sürtünme katsayısı ve yerel ısı transfer parametrelerine etkisi belirlenmiştir. Nümerik yöntemin doğruluğunu sınamada, bazı özel limit durumlar için elde edilen sonuçlar, literatürde verilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve mükemmel bir uyum elde edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: gözenekli ortam, birleşik ısı transferi, kaldırma kuvveti, Keller-Box yöntemi

EFFECTS OF BUOYANCY AND CONJUGATE HEAT TRANSFER FLOW OVER ON A VERTICAL PLATE EMBEDDED IN A POROUS MEDIA

Abstract: In this study, the effects of buoyancy and conjugate heat transfer flow over a vertical plate embedded in a porous medium have been investigated. The plate has a finite thickness and one side is held a finite temperature. In order to determine the velocity and temperature distributions in the flow area, the equations of Navier-Stokes and energy are transformed into the boundary layer equations using the similarity method. Then these equations solved numerically using the Keller box method. The effects of the conjugate heat transfer and the buoyancy parameters on the velocity and temperature profiles as well as on the local skin friction and local heat transfer are determined. Testing the accuracy of the numerical method, the results are compared with those available in the existing literature and an excellent agreement is obtained.

Keywords: porous media, conjugate heat transfer, buoyancy, Keller-Box

SEMBOLLER

c_p	akışkanın özgül ısısı [kJ/kgK]
f	boyutsuz akım fonksiyonu
F^*	Forchheimer parametresi
Gr	Grashof sayısı
k_e	gözenekli ortamın etkin ısıl iletkenlik katsayısı [W/mK]
K	gözenekli ortam geçirgenliği [m ²]
k_l	gözenekli ortam parametresi $\left[= \frac{vL}{Ku_\infty} \right]$
L	plaka uzunluğu [m]
Pr	Prandtl sayısı
Re	Reynolds sayısı
T	sıcaklık [K]
u, v	x ve y doğrultusundaki hız bileşenleri [m/s]
x, y	koordinat sistemi [m]

Greek Sembolleri

β termal genleşme katsayısı

η	benzerlik değişkeni $\left[= \frac{y}{x} Re_x^{1/2} \right]$
ξ	eksenel değişken parametresi $\left[= x/L \right]$
ρ	akışkan yoğunluğu [kg/m ³]
μ	dinamik viskozite [Pa.s]
ν	kinematik viskozite [m ² /s]
θ	boyutsuz sıcaklık profili

Alt indisler

s	katı
w	duvar
∞	serbest akış

GİRİŞ

Gözenekli ortamlarda ısı geçişi ve akışkan akışı, akciğerlerde kanın mikroskobik düzeyde akışından, daha büyük ölçeklerde jeotermal kaynaklarda tuzlu suyun dolaşımına kadar çok geniş mühendislik ve teknik

uygulanması sebebi ile son yıllarda çok fazla önem arz etmektedir. Gözenekli ortam, katı bir iskelet içerisinde birbirleri ile irtibatlı boşlukların bulunduğu bir malzeme olarak tanımlanmaktadır. Gözenekli ortama örnek olarak deniz kumu, kireçtaşı, odun, çavdar ekmeği, akciğer ve dokuları örnek verebiliriz. Petrolün yeraltından çıkarılması, jeotermal enerji, kimyasal ve nükleer atıkların depolanması, yalıtım malzemelerinde, doku içinde kanın akışı ve ısı geçişi problemleri gözenekli ortam modellemesinde kullanılmaktadır (Baytaş, 2006).

Kaviany (1995), Pop ve Ingham (2001), Ingham ve Pop (1998, 2002) ve Nield ve Bejan (1999) gözenekli ortam ve uygulama alanları hakkında oldukça kapsamlı çalışmalar yapmışlardır.

Birleşik ısı transferi ise, iletim ve taşınım ile ısı transferinin birlikte gerçekleştiği bir mekanizmadır. Isı değiştiricileri, nükleer reaktörler, boru yalıtım sistemleri gibi mühendislikte birçok uygulamada karşılıklıdır. Birleşik ısı transferi ile ilgili hem gözenekli hemde normal akış koşullarında çalışmalar yapılmıştır. Gözenekli olmayan normal akış şartlarında; Miyamoto vd. (1980) düşey konumdaki bir plakanın dış yüzeyine sabit sıcaklık ve sabit ısı akısı uygulamışlar ve doğal taşınım ile olan ısı transferini incelemişlerdir. Char vd. (1990) belirli bir hızda hareket eden bir plakada birleşik ısı transferinin akışa etkisini nümerik olarak çözmüşlerdir. Pop vd. (1996) ve Chang (2006) düşey plaka üzerinden birleşik ısı taşınımı olduğunda, hem kaldırma kuvveti hemde birleşik ısı transferi parametrelerinin etkisini araştırmışlardır. Mamun vd. (2008) akış alanında ısı üretimi ve düşey plakada birleşik ısı transferi olması durumunda plaka üzerinden olan doğal taşınımı nasıl etkilediğini incelemişlerdir. Bu çalışmalarda plaka içinde bir boyutlu iletim olduğu kabul edilmiştir.

Gözenekli ortamda ise; Pop ve Na (2000) gözenekli ortamda tutulan, içi oyuk düşey silindir üzerinden doğal taşınım ile ısı transferine birleşik ısı transferinin etkisini incelemişlerdir. Vaszi vd. (2001) gözenekli ortamdaki bir eğik plakada iki boyutlu iletim olduğunu kabul ederek, sınır tabaka denklemlerini doğal taşınım koşulları için çözmüşlerdir. Mendez vd. (2002) gözenekli ortamda bulunan ince bir çubuğun içinde ısı üretimi olması durumunda sınır tabaka denklemlerini çözmüşlerdir. Hossain (1995) gözenekli bir ortamda bulunan düşey silindir kanatçıkta birleşik ısı transferini incelemiştir.

Bu çalışmada, gözenekli bir ortamda tutulan ve belirli bir kalınlığa sahip düşey bir plaka göz önüne alınmıştır. Düşey plakanın bir yüzeyi sabit sıcaklıkta tutulmuştur. Plaka sonsuz uzunluktadır ve plaka içinde bir boyutlu ısı iletimi vardır. Bu plaka üzerinden olan akış ve ısı transferine birleşik ısı transferi (conjugate) ve kaldırma kuvveti parametrelerinin etkisi araştırılmıştır. Bu iki parametrenin değişmesiyle hem sınır tabaka içindeki hız

ve sıcaklık profilleri hemde yerel sürtünme ve yerel ısı transferi parametrelerinin nasıl değiştiği belirlenmiştir.

ANALİZ

Bu çalışmada, gözenekli bir ortamda, iki boyutlu, kararlı laminer akışın, L uzunluğunda ve sonlu bir kalınlığa sahip (b) ince düşey bir plaka üzerinden olduğu kabul edilmiştir ($L \gg b$). Burada seçilen koordinat sistemi ve akış alanı, Şekil 1'de gösterilmiştir. Plakanın sağ yüzeyinden belirli bir mesafede, serbest akış hızı ve sıcaklığı sırasıyla u_∞ ve T_∞ dur. Plakanın sol yüzeyi T_0 sıcaklığında sabit tutulmaktadır ve $T_0 > T_\infty$ dur.

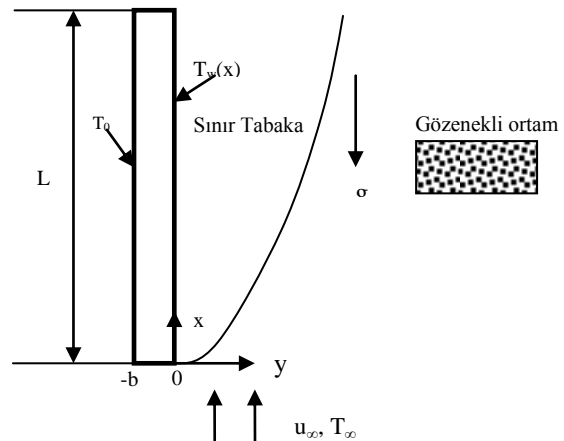
Gözenekli ortamın saydam ve akışkanla termal dengede olduğu kabul edilmiştir. Akışkan ve gözenekli ortamın viskozite, termal iletkenlik, özgül ısı ve geçirgenlik gibi özellikleri sabit alınmıştır. Gözenekli ortamın homojen ve izotropik olduğu kabul edilmiştir.

Bu araştırmadaki sürücü denklemler, genel sınır tabaka denklemlerinin, gözenekli ortam ve kaldırma kuvveti etkilerinin göz önüne alınarak modifiye edilmesi ile elde edilmiştir. Bu denklemler Boussinesq ve non-Darcy yaklaşımları altında aşağıdaki gibi verilmiştir (Chamkha vd. (2002) ve Chamkha (1997))

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{1}{\varepsilon^2} \left[u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right] = g \beta (T - T_\infty) + \frac{v}{\varepsilon} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \frac{v}{K} (u - u_\infty) - F (u^2 - u_\infty^2) \quad (2)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{k_e}{\rho c_p} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$



Şekil 11. Problemin şematik gösterimi

Yukarıda verilen bu denklemlere genişletilmiş Brinkman–Forchheimer–Darcy denklemleri denir (Lauriat ve Ghafir, 2000). Burada u ve v, x ve y

doğrultusundaki hız bileşenleridir. ν kinematik viskozite, g yerçekimi ivmesi; k_e gözenekli ortamın etkin termal iletkenliği; ρ akışkan yoğunluğu; β termal genişleme katsayısı; T termal sınır tabaka içindeki akışkan sıcaklığı; K gözenekli ortamın geçirgenliği; F ampirik sabittir. (2) numaralı denklemin sağ tarafındaki üçüncü terim Darcy akışı etkisiyle viskoz sürüklenme kuvvetini, dördüncü terim ise şekil sürüklenme kuvvetini gösterir.

Dış akışla ilgili sınır koşulları;

$$\begin{aligned} y=0 \quad T=T_w(x) \quad u=0 \quad v=0 \\ y \rightarrow \infty \quad T \rightarrow T_\infty \quad u \rightarrow u_\infty \end{aligned} \quad (4)$$

burada w ve ∞ alt indisleri duvar ve serbest akış koşullarını ifade etmektedir. Ayrıca $T_w(x)$ plakanın yüzey sıcaklığıdır ve x 'e göre değişmektedir.

Bu çalışmanın amaçlarından biride plakanın yüzey sıcaklığını ($T_w(x)$) belirlemektir. Bu yüzden, plakadan çevre akışkana olan ısı transferini belirlemek için, bir başka denkleme daha ihtiyaç vardır. Plaka kalınlığı b , uzunluğu L ile karşılaştırıldığında çok küçük olduğundan, plakada aksel iletim terimi göz ardı edilebilir (Pozzi ve Lupo, 1988; Chang, 2006). Bu durumda plakada sıcaklık dağılımı için sürücü denklem;

$$\left. \frac{d^2 T}{dy^2} \right|_s = 0; \quad 0 \leq x \leq L; \quad -b < y \leq 0 \quad (5)$$

Plaka için sınır koşulları:

$$\text{Sol yüzeyde } y = -b, \quad T_s = T_0, \quad (6a)$$

Arayüzde ($y=0$)

$$T_s = T(x, 0): -k_s \left. \frac{dT}{dy} \right|_{y=0,s} = -k_f \left. \frac{\partial T(x, 0)}{\partial y} \right|_{y=0,f} \quad (6b)$$

Burada k_s ve k_f sırasıyla, plaka ve akışkanın termal iletkenlik katsayılarıdır.

(5) ve (6) numaralı denklemlerden faydalanarak arayüzdeki sıcaklık dağılımı T_w aşağıdaki gibi elde edilir (Chang, 2006):

$$T_w(x) = T(x, 0) = b \frac{k_f}{k_s} \frac{\partial T(x, 0)}{\partial y} + T_0 \quad (7)$$

Çözüm için, aşağıda verilen boyutsuz ifadeler tanımlanmıştır:

$$\begin{aligned} \xi(x) = \frac{x}{L}, \quad \psi(x, y) = (\nu u_\infty x)^{1/2} f(\xi, \eta), \\ \eta = y \left(\frac{u_\infty}{\nu x} \right)^{1/2}, \quad \theta = \frac{T - T_\infty}{T_0 - T_\infty} \end{aligned} \quad (8)$$

burada $\psi(x, y)$ serbest akım fonksiyonudur ve (1) numaralı denklemden $u = \partial \psi / \partial y$ ve $v = -\partial \psi / \partial x$ şeklinde tanımlanmıştır.

Bu boyutsuz tanımlamalar kullanıldığında, hız bileşenleri;

$$u = u_\infty f', \quad (9)$$

$$v = -\frac{(\nu u_\infty x)^{1/2}}{x} \left\{ \frac{1}{2} f + \xi \frac{\partial f}{\partial \xi} - \frac{\eta}{2} f' \right\} \quad (10)$$

Elde edilen hız bileşenleri, (2), (3) ve (4) denklemlerinde yerine yazılırsa;

$$\begin{aligned} \frac{1}{\varepsilon} f''' + \frac{1}{2\varepsilon^2} f f'' - k_1 \xi (f' - 1) - F^* \xi [(f')^2 - 1] \\ + Ri \xi \theta = \frac{\xi}{\varepsilon^2} \left(f' \frac{\partial f'}{\partial \xi} - f'' \frac{\partial f}{\partial \xi} \right) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\frac{1}{Pr} \theta'' + \frac{1}{2} f \theta' = \xi \left(f' \frac{\partial \theta}{\partial \xi} - \theta' \frac{\partial f}{\partial \xi} \right) \quad (12)$$

Sınır şartları ise;

$$\begin{aligned} f(\xi, 0) + 2\xi \frac{\partial f}{\partial \xi} = 0, \quad f'(\xi, 0) = 0, \\ \theta(\xi, 0) - 1 = p \xi^{-1/2} \theta'(\xi, 0), \\ f'(\xi, \infty) = 1, \quad \theta(\xi, \infty) = 0 \end{aligned} \quad (13)$$

burada $p = \frac{k_f}{k_s} \frac{b}{L} Re_L^{1/2}$ birleşik (conjugate) ısı transferi

parametresidir. $p = 0$ limit durum için, duvarın izotermal olduğu (13) numaralı denklemden de görülmektedir. Birleşik ısı transferi parametresinin p değeri, duvarın ısı iletim etkisinin ne derece olduğunu göstermektedir (Chang, 2006).

(11) ve (12) numaralı denklemlerde gözüken ilgili boyutsuz sayılar ise;

$$\begin{aligned} k_1 = \frac{\nu L}{Ku_\infty}, \quad F^* = FL, \quad Ri = \frac{Gr_L}{Re_L}, \quad Pr = \frac{\mu c_p}{k} = \frac{\nu}{\alpha}, \\ Gr_L = \frac{g \beta (T_w - T_\infty) K L}{\nu^2}, \quad Re_L = \frac{u_\infty L}{\nu}, \end{aligned} \quad (14)$$

Burada; k_1 gözenekli ortam parametresi; F^* atalet etkisinin önemini açıklayan Forchheimer parametresi, Ri doğal ve zorlanmış taşınımın ne ölçüde gerçekleştiğini belirten Richardson sayısıdır. $Ri \rightarrow 0$ olması tamamen zorlanmış ısı taşınımının hakim olduğunu, $Ri \rightarrow \infty$ olması ise tamamen doğal taşınımın etkin olduğu anlamına gelmektedir. Ri sayısı x 'in bir fonksiyonu olarak değişmemektedir. Gr_L ortalama Grashof sayısı; Re_L ortalama Reynolds sayısı ve Pr Prandtl sayısıdır.

NÜMERİK YÖNTEM

(11) ve (12) numaralı denklemler ilgili sınır koşulları altında (13 numaralı denklem) bir sonlu farklar yöntemi olan Keller box metodu ile nümerik olarak çözülmüştür. Nümerik yöntemle ilgili olarak, Cebeci ve Bradshaw (1977) ile Takhar ve Beg (1997), çalışmalarında ayrıntılı olarak bilgi vermişlerdir.

Bu yöntem, herhangi bir mertebeden denklem takımını yüksek doğrulukta çözme kabiliyetine, çok hızlı x veya ξ değişimlerine sahip, bir kapalı (implicit) sonlu fark sistemidir.

Elde edilen non-linear sonlu fark denklem takımı, daha sonra Newton-doğrusallaştırma yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Aynı metodolojinin kullanımı ve sonra sonlu fark biçiminde gösterilmesi ile ilgili Takhar ve Beg (1997)' in çalışmasında oldukça geniş bilgi yer almaktadır.

Çözümlemede ise, η yönünde 0.01 adımla uniform ağ, ξ yönünde ise 0.1 adımla uniform olmayan ağ yapısı kullanılmıştır. Sınır tabaka içindeki hızın serbest akış hızına ulaştığı değer ise η_{\max} olarak alınmıştır (bu çalışmada $\eta_{\max}=16$ olarak alınmıştır). Verilen bir ξ değeri için (bu çalışmada $\xi_{\max}=1$ alınmıştır), 0.1 adımla artarak, her $\Delta\xi$ değerinde η boyunca hız ve sıcaklık profilleri belirlenmiştir. Hız ve sıcaklık değerleri hesaplanırken, iki iterasyon arasındaki hız ve sıcaklık değerleri arasındaki fark 10^{-6} dan küçük olduğunda ($|\delta f_i| \leq 10^{-6}$) iterasyon işlemi durdurulmuştur.

Kullanılan metodun doğruluğunu sınamada, limit durumlar için elde edilen nümerik sonuçlar, Chang (2006) ve Lloyd ve Sparrow (1970)'un sonuçları ile karşılaştırılmış ve Tablo 1'de sunulmuştur. Tablo 1'den de görüldüğü gibi, sonuçlar birbirleri ile gayet uyumludur.

Tablo 1. Yerel ısı transfer parametresinin $-\theta'(\xi, 0)$ eksenel yönde değişim parametresi ξ 'ye göre değişimi ($Pr=10$, $Ri=7.93$ ve $p=0.0$.)

ξ	Chang (2006)	Lloyd ve Sparrow (1970)	Şimdiki Çalışma
0.00000	0.7280	0.7281	0.7278
0.00125	0.7291	0.7313	0.7318
0.00500	0.7373	0.7404	0.7403
0.01250	0.7566	0.7574	0.7574
0.05000	0.8351	0.8259	0.8289
0.12500	0.9412	0.9212	0.9397
0.25000	1.0603	1.0290	1.0601

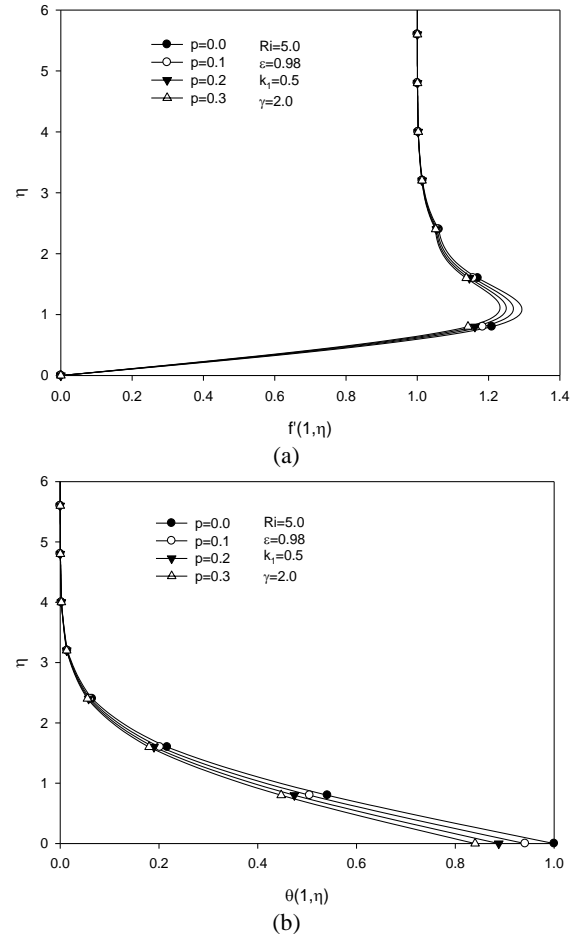
BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada gözenekli bir ortamda tutulan düşey plakadan olan akışa birleşik (conjugate) ısı transferi ve kaldırma kuvvetinin etkisi araştırılmıştır. Çalışmada birleşik ısı transferi parametresi $p=0.0, 0.1, 0.2$ ve 0.35 ; karışık ısı taşınımı (mixed convection) parametresi Ri

$=0.0, 1.0, 5.0$ ve 10.0 ; gözenekli ortam parametresi $k_f=0.1$; Forchheimer parametresi $F^*=1.0$, $Pr = 1.0$ ve $\varepsilon=0.98$ olarak alınmıştır. Bu aralıkta değişen değerler için nümerik hesaplar yapılmış ve sonuçlar elde edilmiştir.

Kaldırma kuvvetinin viskoz kuvvetlere oranı olan Gr sayısı ile, atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranı olan Re sayısının oranı olan Richardson sayısı, ısı ve akışkan akışı üzerine olan doğal yada zorlanmış akışın karşılaştırma ölçüsüdür. $Ri \rightarrow 0$ olması durumu, dış akışın zorlanmış koşullarda gerçekleştiği, $Ri \rightarrow \infty$ olması durumunda ise dış akışın doğal taşınım koşullarında gerçekleştiği anlamına gelmektedir. Kaldırma kuvvetleri zorlanmış taşınım etkilerine yardımcı olması (karışık taşınım) yüzey ısı transferini artırmaktadır (Aydın ve Kaya, 2007).

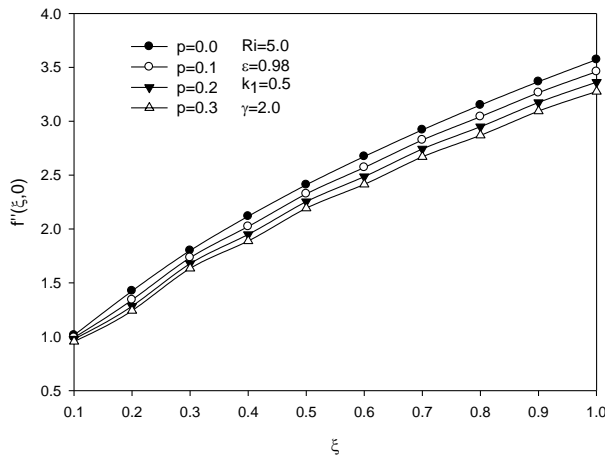
Şekil 2'de, birleşik ısı transfer parametresinin p sınır tabaka içindeki hız (a) ve sıcaklık (b) profiline etkisi $Ri=1.0$, $k_f=0.5$, $F^*=0.5$ ve $Pr = 1.0$ durumu için gösterilmiştir. Birleşik ısı transferi parametresinin (p) artması ile duvardaki hız ve sıcaklık gradyanları azalmıştır. Duvar iletkenliğinin (k_s) azalması veya akışkan iletkenliğinin (k_f) yükselmesi, p değeriyle beraber plakanın iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkını artırır. Plakanın dış yüzündeki sıcaklık sabit tutulduğundan katı-akışkan ara-yüzündeki sıcaklık azalır.



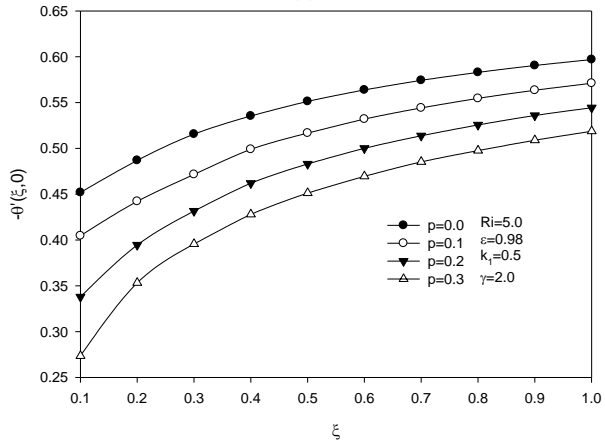
Şekil 2. Birleşik ısı transferi (conjugate) parametresinin (a) hız ve (b) sıcaklık profillerine etkisi

Yerel sürtünme katsayısı ve yerel ısı transferi parametrelerinin p ve ξ ile değişimleri Şekil 3'te gösterilmiştir. Birleşik ısı transferi parametresinin artması ile yerel sürtünme katsayısı ve yerel ısı transfer parametrelerinin değeri azalmaktadır. Ayrıca, duvar üzerinde akışkan sıcaklığının ξ ile artması, ξ değeri ile birlikte yerel sürtünme ve yerel ısı transfer parametrelerinin artmasına sebep olmuştur. Benzer değişimlere literatürde yapılan diğer çalışmalarda da rastlanmıştır (Chang, 2006; 2008).

Şekil 4, sınır tabaka içindeki boyutsuz hız ve sıcaklık dağılımlarının farklı Ri sayıları için hem izotermal ($p=0$) duvar hemde izotermal olmayan ($p>0$) duvar için gösterilmiştir. Karışık ısı taşınım parametresi Ri sayısının artması ile kaldırma kuvvetleri daha etkin hale gelmekte ve sınır tabaka içinde hız ve sıcaklık profillerini artırmaktadır.



(a)



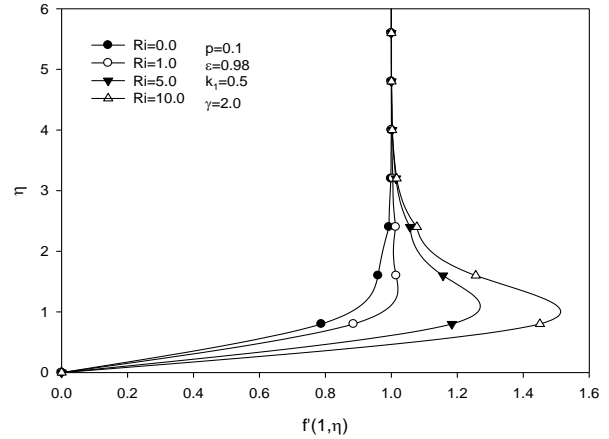
(b)

Şekil 3. Birleşik ısı transferi (conjugate) parametresinin (a) yerel sürtünme ve (b) yerel ısı transferine etkisi

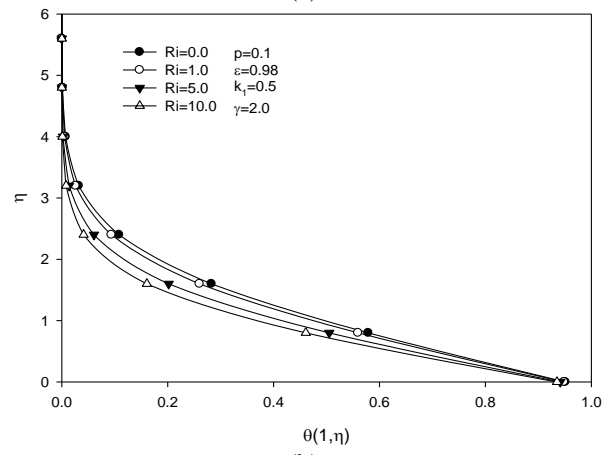
Şekil 5'te plaka boyunca yerel sürtünme ve yerel ısı transferi parametrelerinin değişimleri hem izotermal ($p=0$) hemde izotermal olmayan ($p>0$) duvar durumu için verilmiştir.

$Ri=0$ durumunun diğer Ri değerleri ile karşılaştırılmasından da görüldüğü gibi, Ri değerlerinin artması kaldırma kuvveti etkilerini artırmakta, bu ise

taşınım soğutma etkisi oluşturmakta ve böylece duvar sıcaklığı azalmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 4. Birleşik taşınım parametresinin (a) hız ve (b) sıcaklık profillerine etkisi

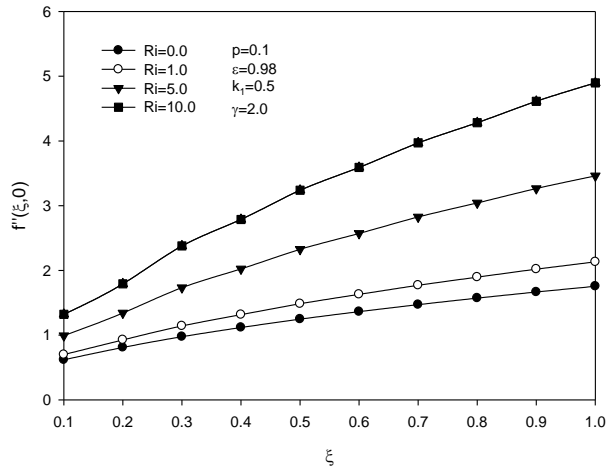
Şekil 5a'da, yerel sürtünme katsayısının karışık ısı taşınım parametresi Ri ile değişimi verilmiştir. Yerel sürtünme katsayısı, Ri ile artmaktadır. Bunun sebebi, karışık ısı taşınımında kaldırma kuvveti etkisinin artması, yerel sürtünme katsayısının artmasına sebep olan akışkan akışının hızlanmasıdır.

Şekil 5b'de ise kaldırma kuvveti etkilerinin yerel ısı transferi üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Ri değerinin artması hem izotermal ($p=0$) hemde izotermal olmayan ($p>0$) duvar için yerel ısı transfer parametresini artırmıştır. Kaldırma kuvvetlerinin artması akışkan hızını artırmakta ve böylece yerel ısı transfer parametresinin değerini yükseltmektedir (Chang, 2008).

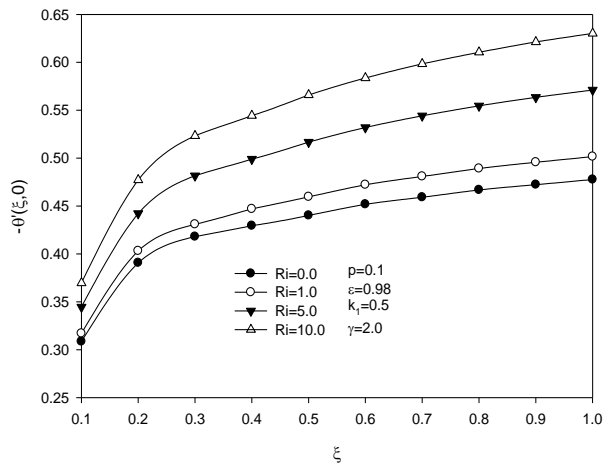
Sınır tabaka boyunca hız ve sıcaklık profilleri ile yerel sürtünme ve ısı transferi parametrelerinin değişimleri Şekil 6 ve 7'de verilmiştir. Levha boyunca farklı istasyonlar için hız (Şekil 6a) ve sıcaklık (Şekil 6b) profilleri gösterilmiştir. Artan x ile birlikte (yada ξ), levha duvarında ($y=0$) hız ve sıcaklık gradyanları artmıştır. Duvardaki hız ve sıcaklık gradyanlarının artması, yerel sürtünme (Şekil 7a) ve yerel ısı transferini de (Şekil 7b) artırmıştır.

SONUÇLAR

Bu çalışmadan Navier Stokes denklemleri ve enerji denklemi benzerlik yöntemi ile sınır tabaka denklemlerine dönüştürülmüş ve elde edilen denklemler Keller-Box yöntemi ile çözülmüştür. Birbirine bağımlı olarak çözülen (11) ve (12) numaralı denklemler, ilgili sınır koşullarında ((13) numaralı denklem) çözülmüş, elde edilen sonuçlar şekillerle verilmiştir. Birleşik ısı transferi (conjugate) p , birleşik taşınım Ri ve eksenel değişim ζ parametrelerinin sınır tabaka içindeki hız ve sıcaklık dağılımları ile yerel sürtünme ve ısı transferi parametrelerine etkisi incelenmiştir. Buna göre; birleşik ısı transferi parametresi p 'nin artması, yerel sürtünme ve yerel ısı transferi parametrelerini azalttığı görülmüştür. Karışık taşınım Ri ve eksenel değişim ζ parametrelerinin artması ise yerel sürtünme ve yerel ısı transfer parametrelerini artırdığı tespit edilmiştir.

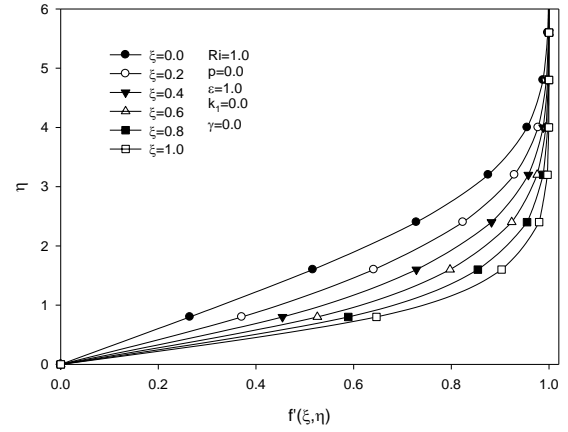


(a)

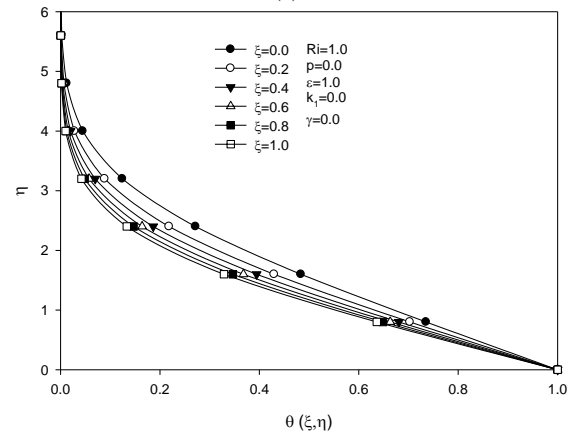


(b)

Şekil 5. Birleşik taşınım parametresinin (a) yerel sürtünme ve (b) yerel ısı transferine etkisi

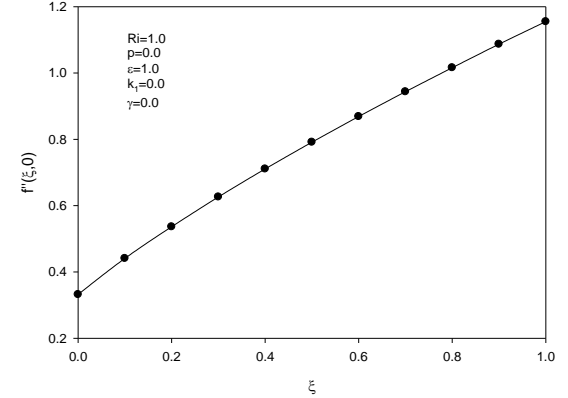


(a)

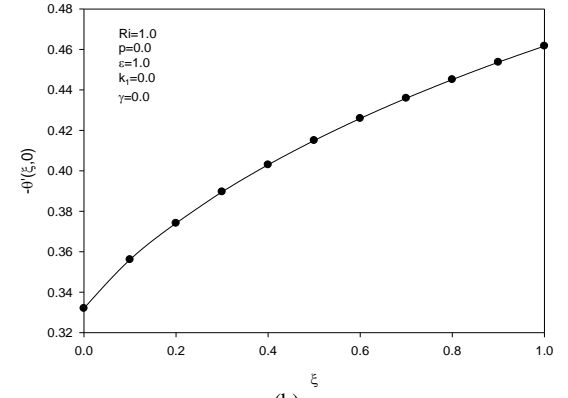


(b)

Şekil 6. Eksenel değişim parametresinin (a) hız ve (b) sıcaklık profillerine etkisi



(a)



(b)

Şekil 7. Eksenel değişim parametresinin (a) yerel sürtünme ve (b) yerel ısı transferine etkisi

KAYNAKLAR

- Aydın, O., Kaya, A., 2007, Mixed convection of a viscous dissipating fluid about a vertical flat plate, *Appl. Math. Model.* 31, 843–853.
- Baytaş, A.C., 2006, Gözenekli ortamlarda taşınım olayı, *İTÜ Dergisi, Fen Bilimleri*, 4(1), 3-13.
- Cebeci, T., Bradshaw, P., 1977, *Momentum Transfer in Boundary layers*, Hemisphere, Washington D.C., USA.
- Chamkha, A.J., 1997, Hydromagnetic natural convection from an isothermal inclined surface adjacent to a thermally stratified porous medium, *Int. J. Eng. Sci.* 35, 975-986.
- Chamkha, A.J., Issa, C., Khanafar, K., 2002, Natural convection from an inclined plate embedded in a variable porosity porous medium due to solar radiation, *Int. J. Therm. Sci.* 41, 73–81.
- Chang, C.L., 2006, Numerical simulation of micropolar fluid flow along a flat plate with wall conduction and buoyancy effects, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 39, 1132–1140.
- Chang, C.L., 2008, Numerical simulation for natural convection of micropolar fluids flow along slender hollow circular cylinder with wall conduction effect, *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul.* 13, 624–636.
- Char, M.I., Chen, C.K., Cleaver, J.W., 1990, Conjugate forced convection heat transfer from a continuous, moving flat sheet, *Int. J. Heat Fluid Fl.* 11, 257–261.
- Hossain, M.A., Nakayama, A., Pop, I., 1995, Conjugate free-convection of non-Newtonian fluids about a vertical cylindrical fin in porous-media, *Heat Mass Transfer.* 30, 149-153.
- Ingham, D.B., Pop, I., 1998, *Transport Phenomena in Porous Media I*, Pergamon, New York.
- Ingham, D.B., Pop, I., 2002, *Transport Phenomena in Porous Media II*, Pergamon, New York.
- Kaviany, M., 1995, *Principles of Heat Transfer in Porous Media*, Springer, New York.
- Lauriat, G., Ghafir, R., 2000, *Forced convective heat transfer in porous media*, In K. Vafai, H.Hadim, *Handbook of Porous Media*, Marcel Dekker, New York, 201–204.
- Mamun, A.A., Chowdhury, Z.R., Azim, M.A., Maleque, M.A., 2008, Conjugate heat transfer for a vertical flat plate with heat generation effect, *Nonlinear Analysis: Model. Cont.* 13(2), 213–223.
- Lloyd, J.R., Sparrow, M., 1970, Combined force and free convection flow on vertical surfaces, *Int. J. Heat Mass Tran.* 13, 434–438.
- Mendez, F., Trevino, C., Pop, I., Linan, A., 2002, Conjugate free convection along a thin vertical plate with internal nonuniform heat generation in a porous medium, *Heat Mass Transfer.* 38, 631-638.
- Miyamoto, M., Sumikawa, J., Akiyohi, T., Nakamura, T., 1980, Effects of axial heat conduction in a vertical flat plate on free convection heat transfer, *Int. J. Heat Mass Transf.* 23, 1545-1553.
- Nield, D.A., Bejan, A., 1999, *Convection in Porous Media*, Springer, New York.
- Pop, I., Ingham, B., Yuan, Y., 1996, Mixed Convective Conjugate Heat Transfer from a Vertical Flat Plate, *ZAMM Z. Angew. Math. Me.* 76 (5), 281 -289.
- Pop, I., Ingham, D.B., 2001, *Convective Heat Transfer*, Pergamon, Amsterdam.
- Pop, I., Na, Y., 2000, Conjugate free convection over a vertical slender hollow cylinder embedded in a porous medium, *Heat Mass Transfer* 36, 375-379.
- Pozzi, A., Lupo, M., 1988, The coupling of conduction with laminar natural convection along a flat plate, *Int. J. Heat Mass Tran.* 31, 1807–1814.
- Takhar, H.S., Beg, O.A., 1997, Effects of transverse magnetic field, Prandtl number and Reynolds number on non-darcy mixed convective flow of an incompressible viscous fluid past a porous vertical flat plate in a saturated porous medium, *Int. J. Energy Res.* 21, 87–100.
- Vaszi, A. Z., Ingham, D.B., Lesnic, D., Munslow, D., Pop, I., 2001, Conjugate free convection from a slightly inclined plate embedded in a porous medium, *ZAMM Z. Angew. Math. Me.* 81 (7), 465–479.