Archive of SID

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

اندازه‌گیری و آنالیز انتقال حرارت در کانال متخلخل با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت

هادی دهقان*
ایران، صوفیان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد صوفیان، رییس اداره پژوهش دانشگاه آزاد واحد صوفیان
جعفر غفوری
ایران، تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز
* hadi_dehgan2001@yahoo. com

چکیده:
در این مقاله، دو کانال متخلخل با ابعاد ۵×۵ سانتی‌متر که مشبه شده با ماده متخلخل فلزی می‌باشند، از نظر نرخ انتقال حرارت و آنالیز این نرخ، مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد. ماده متخلخل فلزی در این بررسی از ذراتی با قطرهای متوسط ۰/۷۲ و ۱/۵۹ میلی‌متر تشکیل یافته‌اند. توزیع دمایی و فاکتور انتقال حرارت (عدد نوسلت) برای شارهای حرارتی ۸۰۰۰ و ۱۶۰۰۰ وات بر مترمربع اندازه‌گیری می‌شوند. سیال خنک کننده با خصوصیاتی همچون سرعت در دامنه ۰/۱۶ تا ۳/۵ متر بر ثانیه و فشار در ۱ تا ۳ اتمسفر در این کانال‌ها بصورت اجباری جریان دارد. جریان سیال در این کانال با استفاده از معادله برینکمن، فورچهیمر،دارسی مدل‌سازی می‌گردد. شکل هندسی این مسئله با نرم افزار گمبیت ترسیم و سپس توسط نرم افزار فلوئنت شبیه سازی و حل می‌گردد.

کلید واژه‌ها: فلوئنت، متخلخل، انتقال حرارت، گمبیت، جابجایی اجباری

۱- مقدمه

با توجه به پیشرفت‌های چشمگیر دهه‌های اخیر در علوم مختلف، بخصوص علوم مربوط به شاخه الکترونیک برای مثال افزایش فوق‌العاده سرعت و ظرفیت کامپیوترهای مدرن امروزی، پس محافظت از این قطعات در مقابل شارهای حرارتی مضر بالا بسیار مشهود می‌باشد و نیاز به کنترل اینگونه شارهای حرارتی مضر کاملا احساس می‌گردد. ولی تبادل حرارتی معمولی بین قطعات با سیال در حد بسیار پایین بوده پس با این بررسی می‌خواهیم تا راهی بهتر و موثرتر در افزایش نرخ انتقال حرارت پیدا کنیم و در نتیجه عمر این قطعات را افزایش دهیم.

جریان حرارت تولید شده در داخل قطعه همان‌طوری که می‌دانیم با روش هدایت (کنداکسیون) انتقال می‌یابد و انتقال حرارت از سطح قطعه با روش جابجایی(کنوکسیون) صورت

www.SID.ir

Archive of SID

می‌گیرد. با افزایش سطح تماس قطعه با سیال، نرخ انتقال حرارت نیز افزایش می یابد. ماهالیقام [1] یک میکرو کانال را روی یک لایه سیلیکون در نظر گرفت که یک بار سیال آب را با شار حرارتی ۳۶۰۰ وات بر مترمربع و بار دیگر سیال هوا را با شار حرارتی ۱۰۰ وات بر متر مربع در این کانال در نظر گرفت و در هر دو حالت به این مهم که عدد نوسلت موضعی برای جریان کاملا توسعه یافته، به یک مقدار مینیمم ثابت می‌رسد، دست یافتند. و روش دیگر انتقال حرارت استفاده از مواد متخلخل می‌باشد. کئو و تیئن[2]، هانت و تیئن [3] فوم‌هایی را برای بهبود ظرفیت انتقال حرارت جابجایی سیال خنک کننده، بکار بردند و نتایج حاصل نشانگر یک افزایش دو تا چهار برابر در انتقال حرارت می‌بود. کلونی [4] ،کوه و استیون [5] نیز به بررسی مسئله جابجایی اجباری در کانال متخلخل با بکار بردن مدل جریان دارسی و شرط مرزی همچون شار حرارتی ثابت پرداخته و به این مهم که دمای دیواره و همچنین تفاوت دمایی بین دیواره و سیال خنک کننده می‌تواند شدیداً با استفاده از مواد متخلخل با ضریب هدایت حرارتی بالا کاهش پیدا کند. هانت[۶] جابجائی اجباری را در یک محیط متخلخل بصورت تجربی مورد مطالعه قرار داد و با بکار بردن مواد متخلخل با نفوذپذیری بالا، به افزایش انتقال حرارتی حدود چهار برابر حالتی که از این محیط استفاده نشده بود، دست یافت. کوزای[۷] به بررسی افزایش انتقال حرارت در داخل لوله‌ها با بکار بردن محیط متخلخل پرداخت. هوانگ و چاو [۸] انتقال حرارت را در محیط متخلخلی حاصل از مواد فلزی از قبیل مس و آلومینیم بصورت تجربی مورد بررسی قرار دادند. حدیم [۹] محیط متخلخل را بصورت نوارهای مجزا از یکدیگر در داخل کانال بکار برد و سپس به بررسی نرخ افزایشی انتقال حرارت در این نوع استفاده از محیط متخلخل پرداخت. وفائی[۱۰] ایشان نیز مانند آقای حدیم محیط متخلخل در شکل بلوک‌هائی در یک سطح کانال موجود در نظر گرفت و به ارزیابی این نوع از محیط متخلخل بر روی انتقال حرارت پرداخت.

در تمام مطالعات ذکر شده در بالا محققین با استفاده از محیط متخلخل با ساختارهای هندسی متفاوت به بررسی این مواد بر روی افزایش انتقال حرارت پرداختند و تماهی بررسی‌های صورت گرفته به این نکته که با انتخاب مناسب پارامترهای حاکم در محیط‌های متخلخل می‌توان همزمان هم انتقال حرارت را بطور چشم‌گیری افزایش داد و هم از افت بیش از حد فشار سیال جلوگیری کرد، دست یافتند. از طرف دیگر برخی از محققین تحقیقات خود را به بررسی تاثیر خصوصیات سیال بر روی نرخ انتقال حرارت در محیط متخلخل متمرکز کرده‌اند. سوزن و وفائی [۱۱] با مطالعه عددی جریان یک گاز حقیقی در محیط متخلخل، اثرات اتلاف حرارتی و افت فشار در جریان مذکور مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که با انتخاب مناسب یک محیط متخلخل و یک سیال عامل با خصوصیات ترموفیزئیکی مناسب، می‌توان مقادیر مربوط به افت فشار و نرخ انتقال حرارت را تنظیم کرد تا به خواسته خود در جهت کاهش شارهای حرارتی بالا و مضر دست یافت. چن و حدیم [۱۲] در طرح خود از یک سیال غیر نیوتنی جهت افزایش انتقال حرارت در حضور محیط متخلخل اتفاده کردند و در این بررسی سیال غیرنیوتنی با قانون power-law توصیف شده است.

محیط متخلخل نقشی را که در انتقال حرارت بازی می‌کند بدین شکل قابل توجیه است که این محیط سطح تماس بین فاز سیالی و فاز جامدی را افزایش می‌دهد و به این طریق میزان انتقال حرارت را افزایش می‌دهد. نرخ کلی انتقال حرارت بشدت، بدون توجه به پایین بودن ضریب حرارتی در سطح تماس بین سیال و دیواره کانال، شدیدا افزایش می‌یابد. در این مسئله نیز دو کانال با ابعاد ۵×۵ سانتیمتر و با ماده متخلخل متشکل از ذرات برنزی با قطر متوسط ۰/۷۲ و ۱/۵۹ میلیمتر در نظر گرفته می‌شود. نتایج نشان داد که کانال متخلخل تشکیل یافته از مواد فلزی با ضریب هدایت حرارتی بالا نرخ انتقال حرارت را بهبود می‌دهد و ماکزیمم دمای دیواره را بشدت کاهش می‌دهد.

۲- معادلات حاکم:

محیط متخلخل در این بررسی از ذرات فلزی کروی و سینترید شده از جنس فلز برنز تشکیل یافته است. در سال‌های اخیر روی مواد متخلخل فلزی بطور وسیع جهت کاربرد در مبدل‌های حرارتی صنعتی مطالعات وسیعی صورت گرفته است. جریان سیال در این بررسی بصورت پایا، غیرقابل تراکم و

www.SID.ir

Archive of SID

دوبعدی و لامینار می‌باشد و محیط متخلخلی که کانال مفروض را اشباع کرده بصورت همگن و ایزوتروپیک در نظر گرفته شده است. از اثرات Channeling در نزدیکی دیواره‌های مدل مورد مطالعه صرف‌نظر می‌شود. ضریب تخلخل محیط مفروض و خصوصیات ترموفیزیکی سیال و قالب ماتریسی محیط متخلخل ثابت در نظر گرفته می‌شود. فاز جامد و سیال در داخل کانال در تعادل حرارتی قرار دارند که این حالت برای اعداد رینولدز و عدد دارسی پائین معتبر می‌باشد.

بر اساس تمام خصوصیات ذکر شده در فوق، معادلات حاکم در حل این مسئله بصورت زیر مفروض می‌باشد.

معادله پیوستگی:

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

معادله مومنتم :

$$\frac{\rho_f}{\varepsilon^2}\left(u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}\right)= -\frac{\partial p}{\partial y}-\frac{\mu_f}{k}v-\frac{c_f\times\rho_f}{\sqrt{k}}v\left(\sqrt{u^2+v^2}\right)+\frac{\mu_f}{\varepsilon}\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right) \quad (2)$$

$$\frac{\rho_f}{\varepsilon^2}\left(u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}\right)= -\frac{\partial p}{\partial x}-\frac{\mu_f}{k}u-\frac{c_f\times\rho_f}{\sqrt{k}}u\left(\sqrt{u^2+v^2}\right)+\frac{\mu_f}{\varepsilon}\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) \quad (3)$$

که در آن $\frac{\mu_f}{k}u$ یا $\frac{\mu_f}{k}$v ترم دارسی می باشند.

$\frac{c_f\times\rho_f}{\sqrt{k}}v\left(\sqrt{u^2+v^2}\right)$یا$\frac{c_f\times\rho_f}{\sqrt{k}}u\left(\sqrt{u^2+v^2}\right)$ ترم مربوط به معادله فورچهیمیر بوده که برای محاسبه اثرات اینرسی به ترم دارسی در حل این مسئله اضافه خواهد شد.

c_f ضریب اینرسی می باشد که بصورت زیر تعیین می‌گردد:

$$c_f=\frac{1.75}{\sqrt{150\times\varepsilon^{3.5}}} \quad (4)$$

$\frac{\mu_f}{\varepsilon}\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)$ و $\frac{\mu_f}{\varepsilon}\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)$ ترم‌های مربوط به معادله برینکمن بوده و جهت محاسبه اثرات مرزی در این مسئله به ترم‌های قبلی اضافه می‌گردد.

و k در معادلات حاکم فوق بعنوان پارامتر نفوذپذیری مواد متخلخل معرفی می‌گردد و بصورت زیر تعریف می‌گردد:

$$k=\frac{\varepsilon^3 Dp^2}{150(1-\varepsilon)^2} \quad (5)$$

با افزایش ضریب تخلخل به سمت واحد، معادله برینکمن ارزش خود را از دست خواهد داد.

$$u\times\frac{\partial T}{\partial x}+v\times\frac{\partial T}{\partial y}=\frac{1}{(\rho c)f}\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(k_{e,x}\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(k_{e,y}\frac{\partial T}{\partial y}\right)\right] \quad (6)$$

بعلت تعادل حرارتی موضعی بین فاز سیال و فاز جامد در محیط متخلخل

$$T_S=T_f=T \quad (7)$$

$$K_e=\varepsilon\times K_f+(1-\varepsilon)\times K_s \quad (8)$$

K_e ضریب هدایت حرارتی موثر می باشد.

$$\varepsilon=\frac{V_f}{V}=\frac{\text{حجم فضاهای تهی}}{\text{حجم فضاهای کل محیط}} \quad (9)$$

شرایط مرزی برای حل این مسئله بصورت زیر مفروض هستند:

الف : هیچگونه لغزشی بر روی دیواره های جامد کانال رخ نمی‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID

ب : جریان در مقطع ورودی با سرعت ثابت و افقی برقرار می‌باشد.

ج : دمای سیال در مقطع ورودی کانال بصورت یکنواخت می‌باشد.

عدد نوسلت موضعی نیز در این مسئله بصورت زیر توصیف می گردد:

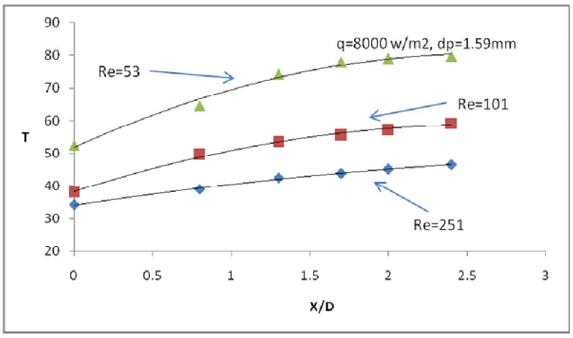
$$Nu = \frac{q'' \times D_h}{k_f (T_w - T_0)} \qquad (10)$$

۳- متد حل عددی مسئله:

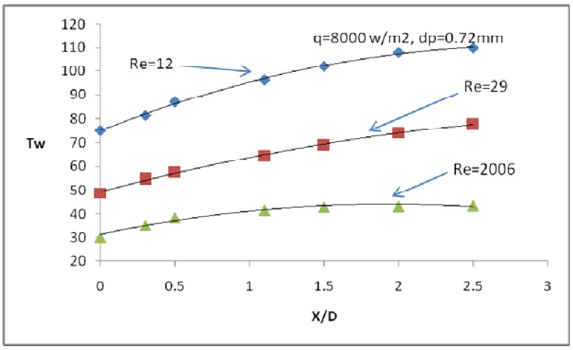
معادلات حاکم با کمک متد حجم کنترل حل می گردد. ابتدا با حل معادله مومنتم به مقادیر سرعت و افت فشار می رسیم و سپس براساس سرعت اصلاح شده معادله انرژی را حل کرده و به مقادیر توزیع دمایی و نرخ انتقال حرارت موردنظر دست می یابیم. کانال مذکور برای حل ، ابتدا شبکه بندی میگردد و سپس برای گسسته سازی از اسکیم آپویند مرتبه دوم استفاده می گردد و برای رسیدن به نتایج موردنظر از فرایند تکرار استفاده می شود ، که این فرایند تکرار به کمک الگوریتم سیمپل اجرا می گردد ، در این الگوریتم ارتباط بین فشار و سرعت در معادله مومنتم و دما در معادله انرژی مورد بررسی قرار می گیرد. تمام شرایط مرزی و روشهای حل مذکور توسط نرم افزار فلوئنت شبیه سازی و اجرا می گردند ولی در معادلات پایه ای که برای مواد متخلخل در فلوئنت وجود دارد ، ترمهای مربوط به برینکمن و فورچهیمر وجود ندارند پس توسط توابع تعریف شده کاربر یعنی udf ها این جملات به معادله پایه افزوده می گردد و سپس توسط نرم افزار فلوئنت udf های تعریف شده ترجمه شده و وارد معادله پایه می شوند. در حل مسئله با نرم افزار فلوئنت همگرایی نتایج حاصل از فرایند تکرار اهمیت زیادی داشته و به این منظور برای سرعت و فشار و دما از پارامتر underlaxation استفاده می گردد.

۴- نتایج

شکل‌های (۱)، (۲)، (۳) و (۴) توزیع دمایی دیواره کانال را در طول مسیر جریان را با تاثیرات عدد رینولدز جریان سیال برای محیط متخلخل با قطرات ذرات ۰/۷۲ و ۱/۵۹ میلیمتر نشان می‌دهد و همانطوری که مشهود می‌باشد، دمای دیواره با افزایش فاصله محوری،کاهش عدد رینولدز و افزایش شار حرارتی، افزایش می‌یابد. دمای خروجی جریان سیال از کانال با افزایش شار حرارتی افزایش و با افزایش عدد رینولدز، کاهش می‌یابد. همچنین مشاهده می‌شود که گرادیان دمای دیواره در ناحیه کاملا توسعه یافته به یک مقدار ثابت می‌رسد. پس در نهایت می‌توان گفت که جریان سیال با عدد رینولدز بالاتر و محیط متخلخل با ذرات ریزتر به یک توزیع دمایی یکنواخت‌تر دست یافت.



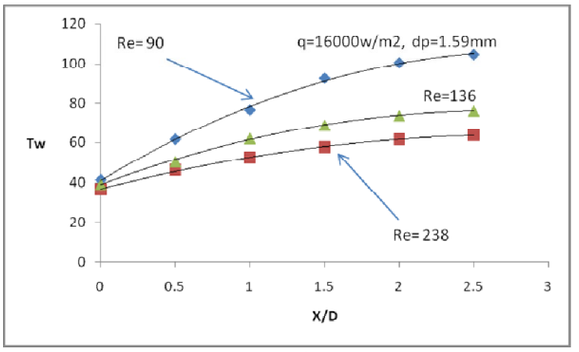
شکل(۱)



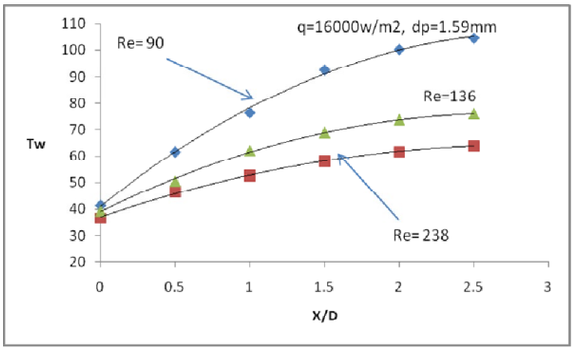
شکل(۲)

www.SID.ir

Archive of SID

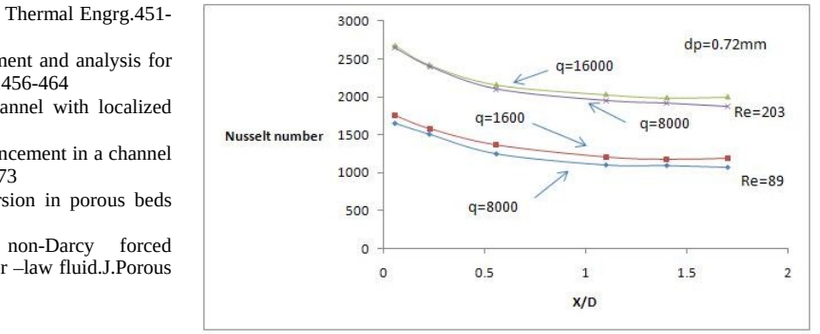


شکل(۳)

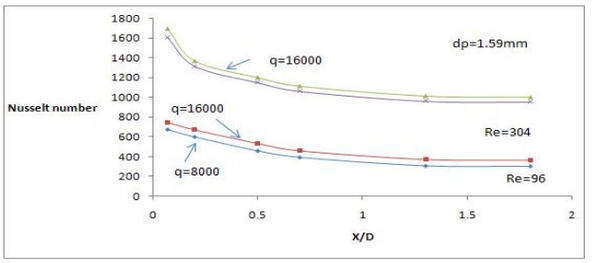


شکل(۴)

شکلهای (۵) و (۶) تغییرات عدد نوسلت را برای محیط متخلخل با ذرات به قطر ۰/۷۲ و ۱/۵۹ میلیمتر نشان می‌دهد. برای جریان کاملا توسعه یافته، عدد نوسلت به یک مقدار مینیمم می‌رسد. در یک عدد رینولدز ثابت، عدد نوسلت موضعی با افزایش فاصله محوری، کاهش می‌یابد. برای یک مقدار معین داده شده برای عدد رینولدز و شار حرارتی، عدد نوسلت برای ذرات با قطر کوچکتر به مقادیری بالاتری نسبت به ذرات با قطر کوچک‌تر می‌رسد.



شکل(۵)



شکل(۶)

۵- نتیجه‌گیری

بررسی صورت گرفته در این مقاله، بر روی اندازه‌گیری توزیع دمایی در دیواره کانال و عدد موضعی نوسلت تمرکز یافته است و نتایج حاصل نشان دهنده این موضوع است که کانال متخلخل با ضریب هدایت حرارتی بالا، نرخ انتقال حرارت را افزایش و ماکزیمم دمای دیواره را نیز کاهش می‌دهد.

۶- منابع

[1] mahalingam, m., and berg ,1984,"thermal management in semiconductor device packaging. Hybrid micro electron, vol.7,pp.1-9

[2]kuo,s. and Tien,c.L.,1981,"Heat transfer augmentation in a foam material filled duct with discrete heat transfer" , los angeles,. Pp87-91

[3]hunt,m.l, and Tien,c.L, 1988, "Effects of thermal dispersion on forced convection in fibrous media" and mass transfer, vol.31 , pp301-309

[4]koh,j.c, and colony,R.,1974, "analysis of cooling effectiveneness for porous material in a coolant passage"., vol96.pp45-52

[5] koh,j.c., and stevens,r.l., 1975, "enhancement of cooling effectiveness for porous material,vol97.pp324-330

[6] M.L.Hunt, C,L,Tien ,Effect of thermal dispersion on forced convection in fibrous media, Internat ,J. Heat Mass Transfer 31,301-309

[7] T.M.Kuzay , J.T.Collins,A.M.Khounsary, Enhanced heat transfer with metal-wood-filled tubes,Pros.ASME/JSME Thermal Engrg.451-459

[8]G.J.Hwang,C.H.Chao,Heat transfer measurement and analysis for sintered porous channels,ASME.J.Heat Transfer,456-464

[9]A.Hadim,Forced convection in a porous channel with localized heat sources,ASME.J,Heat Transfer,465-472

[10]K.Vafai,Analysis of forced convection enhancement in a channel using porous block,AIAA J.Heat Transfer,563-573

[11]M.Sozen,K.Vafai ,Longitudinal heat dispersion in porous beds ,AIAAJ.Heat Transfer.153-157

[12]Chen,H.A.Hadim,Numerical study of non-Darcy forced convection in a packed bed saturated with power –law fluid.J.Porous Media,14

www.SID.ir