



بررسی تأثیرات میدان مغناطیسی بر روی انتقال حرارت نانوسیال داخل کانال

هادی جوانی میره کوهی^۱، حامد برومندنژاد^۲، آزاده شهیدیان^۳

^۱ کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، hadi.javani@email.kntu.ac.ir

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، h.boroumandnezhad@email.kntu.ac.ir

^۳ استادیار، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، shahidian@kntu.ac.ir

چکیده

با توجه به کاربردهای مختلف انتقال حرارت و جریان سیال از جمله خنک‌کاری سیستم‌های الکترونیکی، پردازنده‌های رایانه‌ای، راکتورهای هسته-ای، رادیاتورهای اتومبیل، تهویه هوا و صنایع دارویی و پزشکی، محققان به دنبال بهبود انتقال حرارت، اختلاط نانوسیال و یا تجمع نانوذرات در چنین صنایعی هستند که روش‌های مختلفی برای اینگونه مسائل ارائه شده است. در این پژوهش، به بررسی تأثیرات میدان مغناطیسی بر روی انتقال حرارت و جریان نانوسیال در داخل کانال استوانه‌ای شکل پرداخته شده است. تأثیرات متغیرهای بسیاری از جمله فاصله‌ی قرارگیری میدان مغناطیسی، درصد حجمی نانوذرات و سرعت ورودی جریان، بر روی انتقال حرارت بررسی شده است. نانوسیال استفاده شده در این پژوهش اکسید آهن/آب مقطر^۱ می‌باشد. دیواره لوله بصورت شرط مرزی شار حرارتی یکنواخت در نظر گرفته شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که وجود میدان مغناطیسی، افزایش درصد حجمی نانوذرات و افزایش سرعت جریان ورودی نانوسیال، باعث افزایش انتقال حرارت می‌شود. همچنین تأثیرات میدان مغناطیسی در سرعت جریان پایین، بیشتر می‌باشد. استفاده از نانوسیال و میدان مغناطیسی سبب افزایش ۶/۴۲ درصدی انتقال حرارت می‌شود.

واژه‌های کلیدی

انتقال حرارت، نانوسیال، میدان مغناطیسی

مقدمه

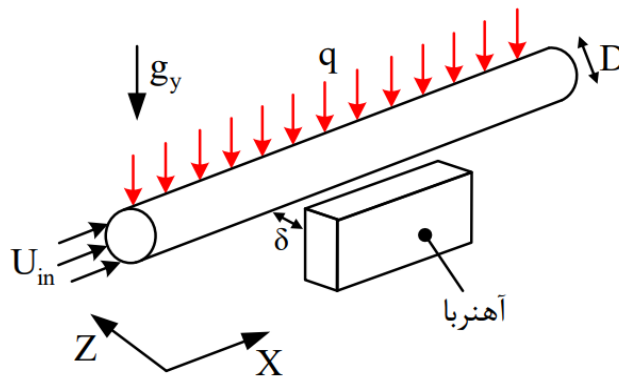
افزایش ضریب هدایت حرارتی مایعات بواسطه‌ی افزودن ذرات با سایز میلی متر و میکرومتر بیش از صد سال است که شناخته شده می‌باشد. اما استفاده از این ذرات به دلیل مشکلات عملی نظیر ته‌نشین شدن، سیری ذرات، ایجاد سایش شدید، افزایش افت فشار و عدم امکان استفاده از آنها در مجاری بسیار ریز، میسر نیست. پیشرفت‌های اخیر در فن آوری مواد و تولید ذرات با ابعاد نانومتری (نانومواد) که توان فائق آمدن بر این مشکلات را دارند فراهم آورده است. این ذرات نانومتری دارای ماهیت فلزی و غیرفلزی می‌باشند و همچنین دارای خواص منحصر به فرد مکانیکی، اپتیکی، الکتریکی، مغناطیسی و حرارتی می‌باشند.

با افزودن نانو ذرات به سیال پایه امکان بهبود بازدهی فرایند انتقال حرارت فراهم می‌گردد و همچنین چگالی، گرمای ویژه و ویسکوزیته نانوسیال تغییر می‌کنند، که این دلیل مهمی برای بهبود رفتار انتقال حرارتی نانوسیال می‌باشد. از مزایای بالقوه نانوسیال می‌توان به بهبود انتقال حرارت و پایداری، کاهش توان لازم برای پمپاژ سیال، کاهش گرفتگی و انسداد مجاری و کاهش اندازه سیستم‌های انتقال حرارت اشاره کرد. در بسیاری از صنایع چون قطعات صنعتی در معرض میدان مغناطیسی قرار دارند، مطالعات زیادی درباره‌ی تأثیرات میدان مغناطیسی و همچنین زاویه ورود میدان مغناطیسی بر روی میزان انتقال حرارت نانوسیال انجام شده است. مشخصه اصلی میدان مغناطیسی عدد هارتمن می‌باشد. شیخ نژاد و همکارانش [۱]، مطالعاتی تجربی درباره انتقال حرارت جریان آرام نانوسیال در داخل لوله‌ی مدور افقی با وجود محیط متخلخل در داخل لوله انجام داده‌اند. شرایط مرزی دیواره‌ی لوله بصورت شار حرارتی ثابت و جریان ورودی لوله بصورت توسعه یافته و لوله تحت تأثیر میدان مغناطیسی قرار دارد. نتایجی که در این پژوهش به دست آورده‌اند نشان دهنده‌ی این است که وجود محیط متخلخل باعث بهبودی ضریب انتقال

حرارت و افزایش انتقال حرارت می‌شود و همچنین افزایش درصد حجمی نانوذرات و وجود میدان مغناطیسی سبب افزایش انتقال حرارت می‌شود. غفرانی و همکارانش [۲]، در مطالعه‌ای تجربی به بررسی تأثیرات میدان مغناطیسی بر روی انتقال حرارت نانوسیال داخل لوله مسی دایره‌ای شکل با شار حرارتی ثابت پرداخته‌اند. جریان سیال بصورت آرام و میدان مغناطیسی بصورت متناوب می‌باشد، نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان دهنده این است که اعمال میدان مغناطیسی متناوب و وجود نانوذرات سبب افزایش انتقال حرارت می‌شود و تأثیر میدان مغناطیسی در اعداد رینولدز پایین و درصد حجمی نانوذرات بالا، بیشتر می‌باشد. گوهرخواه و همکارانش [۳]، در یک مطالعه عددی به بررسی تأثیرات میدان مغناطیسی غیر یکنواخت متناوب بر روی انتقال حرارت نانو سیال اکسید آهن/آب در داخل کانال دو بعدی که تحت شار حرارتی یکنواخت در سطوح بالا و پایین کانال می‌باشد، پرداخته‌اند. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان دهنده این است که وجود میدان مغناطیسی باعث افزایش انتقال حرارت می‌شود. امین‌فر و همکارانش [۴]، در یک مطالعه عددی به بررسی تأثیرات میدان مغناطیسی غیر یکنواخت بر روی انتقال حرارت نانوسیال پرداخته‌اند. نانوسیال استفاده شده در این مقاله، اکسید آهن/آب می‌باشد که در داخل یک مجرای مستطیلی شکل عمودی جریان دارد و میدان مغناطیسی غیر یکنواخت به واسطه جریان الکتریکی در یک سیم عمودی، به جریان نانوسیال اعمال می‌شود. نتایج این تحقیق نشان دهنده این است که وجود میدان مغناطیسی غیر یکنواخت باعث ایجاد گردابه در جریان نانوسیال می‌شود که باعث افزایش انتقال حرارت شده و از رسوب نانوذرات جلوگیری می‌کند. اما تا به حال با فاصله قرارگیری آهنربا (میدان مغناطیسی) و ایجاد ۳ میدان مغناطیسی در یک کانال و بررسی همزمان با سرعت ورودی جریان انجام نشده، که در این پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرد.

معادلات حاکم

شکل ۱، شماتیک از شبیه سازی میدان مغناطیسی آورده شده است که لوله تحت تأثیر شار حرارتی یکنواخت بوده و آهنربا در فاصله ۱ سانتی-متری از بدنه لوله قرار دارد و شبیه سازی به صورت ۳ بعدی انجام شده است.



شکل ۱: شماتیک شبیه سازی جریان داخل کانال در حضور میدان مغناطیسی

این پروژه بر اساس فرضیات جریان آرام و تراکم ناپذیر انجام شده است، معادلات میدان مغناطیسی با توجه به فرضیات در نظر گرفته شده آورده شده‌اند.

معادله پیوستگی:

$$\frac{\partial \rho_{nf}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho_{nf} u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho_{nf} v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho_{nf} w) = 0 \quad (1)$$

معادله مومنوم:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_{nf} u) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho_{nf} uu) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho_{nf} uv) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho_{nf} uw) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu_{nf} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + M \left(\frac{\partial B}{\partial x} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_{nf} v) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho_{nf} vu) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho_{nf} vv) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho_{nf} vw) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \mu_{nf} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + M \left(\frac{\partial B}{\partial y} \right) + \rho_{nf} \beta_{nf} (T - T_{ref}) g_y \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_{nf} w) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho_{nf} wu) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho_{nf} wv) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho_{nf} ww) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \mu_{nf} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + M \left(\frac{\partial B}{\partial z} \right) \quad (4)$$

در معادلات مومنوم، سومین ترم سمت راست معادلات در جهت های مختلف، ترم های میدان مغناطیسی بوده و آخرین ترم سمت راست معادله در جهت Y، ترم گرانش می باشد.

معادله بقا انرژی:

$$C_{pnf} \left(\frac{\partial}{\partial t} (\rho_{nf} T) + u \frac{\partial}{\partial x} (\rho_{nf} T) + v \frac{\partial}{\partial y} (\rho_{nf} T) + w \frac{\partial}{\partial z} (\rho_{nf} T) \right) = k_{nf} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (5)$$

معادلات میدان مغناطیسی در جهت های مختلف [۵]:

$$B_x(x, y, z) = \frac{\mu_0 M_s}{4\pi} \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 (-1)^{k+m} \times \quad (6)$$

$$\ln \left[F(x, y, z, x_m, y_1, y_2, z_k) \right] \\ F(x, y, z, x_m, y_1, y_2, z_k) = \frac{(y-y_1) + \left[(x-x_m)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_k)^2 \right]^{1/2}}{(y-y_2) + \left[(x-x_m)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_k)^2 \right]^{1/2}} \quad (7)$$

$$B_y(x, y, z) = \frac{\mu_0 M_s}{4\pi} \sum_{k=1}^2 \sum_{m=1}^2 (-1)^{k+m} \times \quad (8)$$

$$\ln \left[H(x, y, z, x_1, x_2, y_m, z_k) \right] \\ H(x, y, z, x_1, x_2, y_m, z_k) = \frac{(x-x_1) + \left[(x-x_1)^2 + (y-y_m)^2 + (z-z_k)^2 \right]^{1/2}}{(x-x_2) + \left[(x-x_2)^2 + (y-y_m)^2 + (z-z_k)^2 \right]^{1/2}} \quad (9)$$

$$B_z(x, y, z) = \frac{\mu_0 M_s}{4\pi} \sum_{k=1}^2 \sum_{n=1}^2 \sum_{m=1}^2 (-1)^{k+n+m} \times \quad (10)$$

$$\tan^{-1} \left[\frac{(x-x_n)(y-y_m)}{(z-z_k)} g(x, y, z, x_n, y_m, z_k) \right]$$

$$g(x, y, z, x_n, y_m, z_k) = \frac{1}{\left[(x-x_n)^2 + (y-y_m)^2 + (z-z_k)^2 \right]^{1/2}} \quad (11)$$

معادلات آورده شده نشان دهنده قدرت میدان مغناطیسی در جهت های مختلف می باشد و قدرت میدان مغناطیسی کل از رابطه (۱۲) به دست می آید و در معادله مومنوم استفاده می شود.

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} \quad (12)$$

$$M = K' \frac{B}{\mu_0} (T_C - T) \quad (13)$$

در معادلات آورده شده، μ_0 نفوذ پذیری مغناطیسی خلاء بوده و مقدار آن برابر با $4\pi \times 10^{-7} [H/m]$ می باشد.

چگالی، ظرفیت حرارتی ویژه، ضریب انبساط حرارتی، رسانایی الکتریکی، ویسکوزیته دینامیکی و هدایت حرارتی نانوسیالات با خواص سیال و نانوذرات از معادلات زیر محاسبه می شوند [۶]:

$$\rho_{nf} = \rho_f (1-\phi) + \rho_s \phi \quad (14)$$

$$(C_p)_{nf} = (C_p)_f (1-\phi) + (C_p)_s \phi \quad (15)$$

$$(\rho C_p)_{nf} = (\rho C_p)_f (1-\phi) + (\rho C_p)_s \phi \quad (16)$$

$$(\rho \beta)_{nf} = (\rho \beta)_f (1-\phi) + (\rho \beta)_s \phi \quad (17)$$

$$\frac{\sigma_{nf}}{\sigma_f} = 1 + \frac{3 \left(\frac{\sigma_s}{\sigma_f} - 1 \right) \phi}{\left(\frac{\sigma_s}{\sigma_f} + 2 \right) - \left(\frac{\sigma_s}{\sigma_f} - 1 \right) \phi} \quad (18)$$

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_f}{(1-\phi)^{2.5}} \quad (19)$$

$$\frac{k_{nf}}{k_f} = \frac{-m(k_f - k_s)\phi + (k_s - k_f)\phi + mk_f + k_s + k_f}{mk_f + (k_f - k_s)\phi + k_f + k_s} \quad (20)$$

(m) ضریب شکل نانوذرات می باشد که مقدار آن برای یک شکل کروی برابر ۳ است.

شرایط مرزی استفاده شده در این پروژه به این صورت است که جریان نانوسیال به صورت سرعت ثابت وارد لوله شده و دیواره لوله دارای شرط مرزی شار حرارتی یکنواخت به میزان 2000 W/m^2 می باشد. در این پروژه از نرم افزار کامسول مولتی فیزیکس^۱ برای شبیه سازی استفاده شده

که روش حل این نرم افزار، روش اجزای محدود^۱ می باشد. روش المان محدود بر اساس روش گالرکین برای حل معادلات حاکم بر مسئله به همراه شرط مرزی، مورد استفاده قرار گرفته است. توابع باقی مانده وزنی برای تبدیل معادلات با مشتقات جزئی به معادلات انتگرالی استفاده شده و معادلات انتگرالی با استفاده از روش حل تکراری نیوتون-رافسون با خطای نسبی ۱۰-۶ حل شده اند.

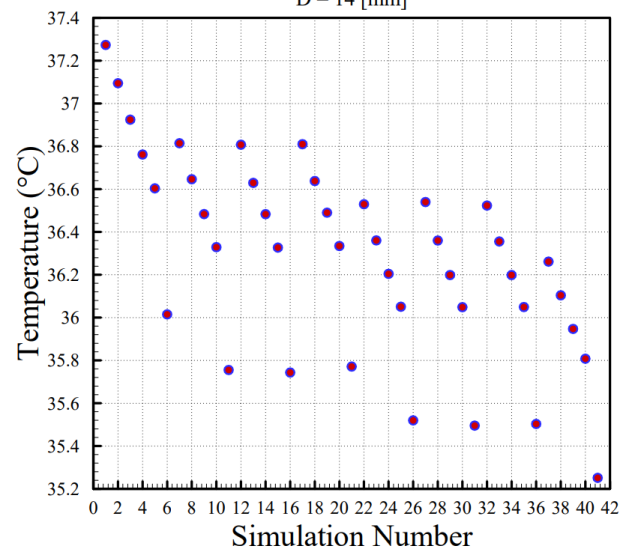
نتایج

جدول ۱: حالت های شبیه سازی برای میدان مغناطیسی

محل قرار گیری مغناطیس (cm) X_3, X_2, X_1	درصد حجمی نانوذرات (%)	حالت
بدون مغناطیس	۰	۱
بدون مغناطیس	به ترتیب با ۱-۰/۵ - ۴-۲-۱/۵	۲ تا ۶
$X_1 = 30\text{ cm}$	به ترتیب با ۱-۰/۵ - ۴-۲-۱/۵	۷ تا ۱۱
$X_1 = 60\text{ cm}$	به ترتیب با ۱-۰/۵ - ۴-۲-۱/۵	۱۲ تا ۱۶
$X_1 = 90\text{ cm}$	به ترتیب با ۱-۰/۵ - ۴-۲-۱/۵	۱۷ تا ۲۱
$X_1 = 30\text{ cm}$ $X_2 = 60\text{ cm}$	به ترتیب با ۱-۰/۵ - ۴-۲-۱/۵	۲۲ تا ۲۶
$X_1 = 30\text{ cm}$ $X_2 = 90\text{ cm}$	به ترتیب با ۱-۰/۵ - ۴-۲-۱/۵	۲۷ تا ۳۱
$X_1 = 60\text{ cm}$ $X_2 = 90\text{ cm}$	به ترتیب با ۱-۰/۵ - ۴-۲-۱/۵	۳۲ تا ۳۶
$X_1 = 30\text{ cm}$ $X_2 = 60\text{ cm}$ $X_3 = 90\text{ cm}$	به ترتیب با ۱-۰/۵ - ۴-۲-۱/۵	۳۷ تا ۴۱

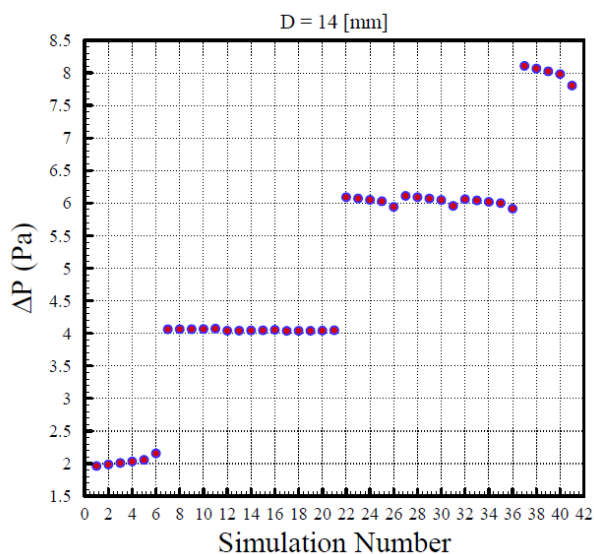
در جدول ۱، حالت های مختلف جریان در حضور میدان مغناطیسی که شبیه سازی شده اند، آورده شده است و پارامترهای مختلفی از جمله درصد حجمی نانوذرات، وجود یا عدم وجود میدان مغناطیسی و فاصله قرارگیری آهنرباها از ابتدای لوله که بر اساس واحد سانتی متر آورده شده است. سرعت جریان ورودی در این شبیه سازی ها برابر ۱ سانتی متر بر ثانیه و قدرت آهنرباهای استفاده شده برابر ۱.۲ تسلا می باشد.

$$D = 14 \text{ [mm]}$$



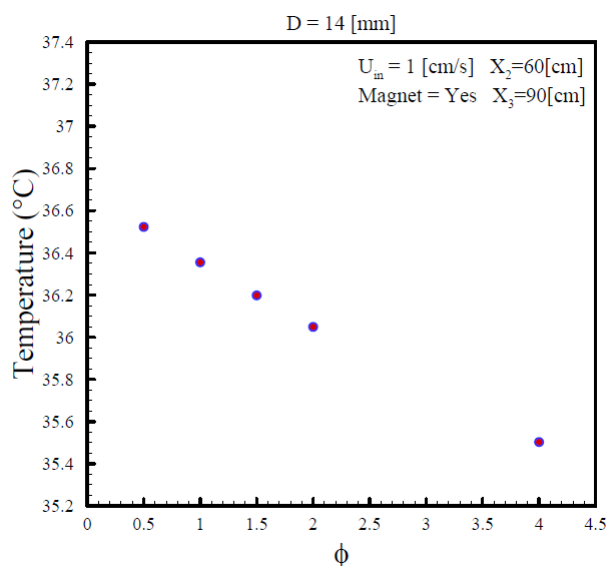
شکل ۲: میانگین دمای بدنه لوله برای شبیه سازی‌های مختلف برای لوله با قطر ۱۴ میلی‌متر

با توجه به شکل ۲ می‌شود نتیجه گرفت که با قرار دادن آهنربا در نزدیکی لوله، میدان مغناطیسی ایجاد شده بر روی جریان نانو سیال تأثیر گذاشته و سبب ایجاد گردابه در جریان می‌شود که انتقال حرارت را افزایش می‌دهد و با افزایش تعداد آهنرباها، نیروی اعمال شده به نانوسیال افزایش یافته و گردابه‌های بیشتری ایجاد شده که سبب کاهش میانگین دمای بدنه لوله می‌شود.

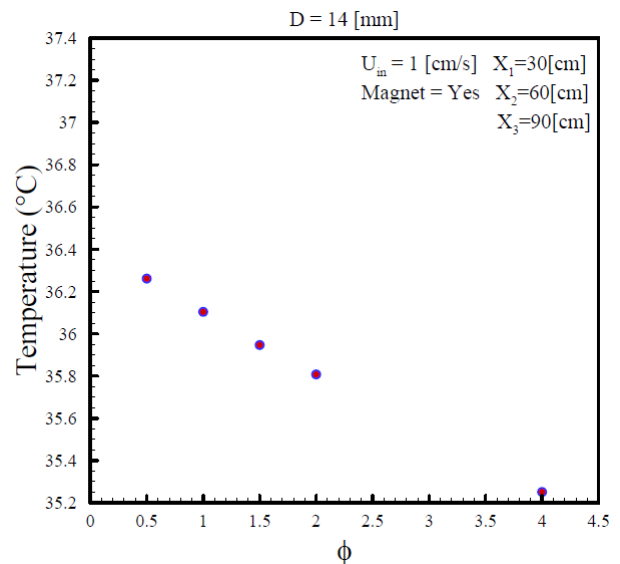


شکل ۳: افت فشار جریان نانوسیال برای شبیه سازی‌های مختلف برای لوله با قطر ۱۴ میلی‌متر

با توجه به شکل ۳ می‌شود نتیجه گرفت که با افزایش درصد حجمی نانوذرات، افت فشار ایجاد شده در طول لوله افزایش می‌یابد و با قرار دادن آهنربا در نزدیکی لوله، میدان مغناطیسی ایجاد شده و بر جریان نانوسیال تأثیر گذاشته و سبب ایجاد گردابه می‌شود و افت فشار را افزایش می‌دهد و با افزایش تعداد آهنربا افت فشار نیز افزایش می‌یابد. در تعداد آهنربای بیشتر، بدلیل غالب بودن میدان مغناطیسی بر جریان نانوسیال نسبت به درصد حجمی نانوذرات، مشاهده می‌شود که با افزایش درصد حجمی نانوذرات، میزان افت فشار کاهش می‌یابد. در شکل ۴ و ۴.۱، به مقایسه تأثیرات میدان مغناطیسی و فاصله قرارگیری آهنرباها بر روی انتقال حرارت نانوسیال داخل کانال با درصد حجمی مختلف پرداخته شده است. نتایج نشان دهنده این است که وجود میدان مغناطیسی، افزایش تعداد آهنرباها و افزایش درصد حجمی نانوذرات باعث افزایش میزان انتقال حرارت شده و سبب کاهش دمای بدنه لوله می‌شود.

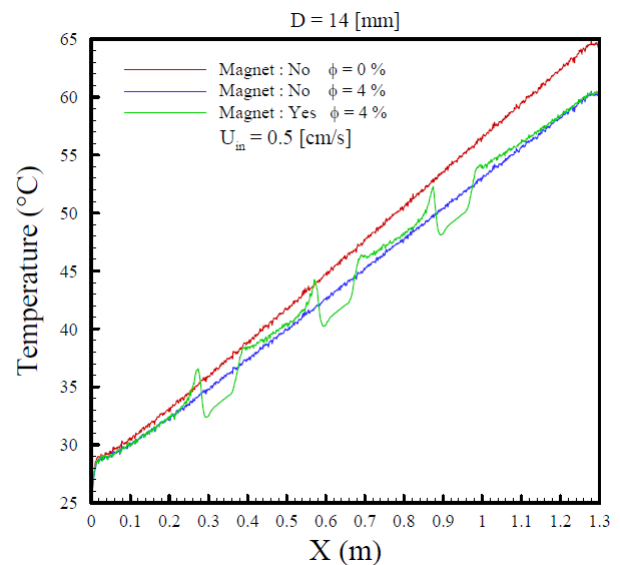


شکل ۴.۱: میانگین دمای بدنه لوله درصدهای حجمی مختلف با ۲ آهنربا برای لوله با قطر ۱۴ میلی‌متر

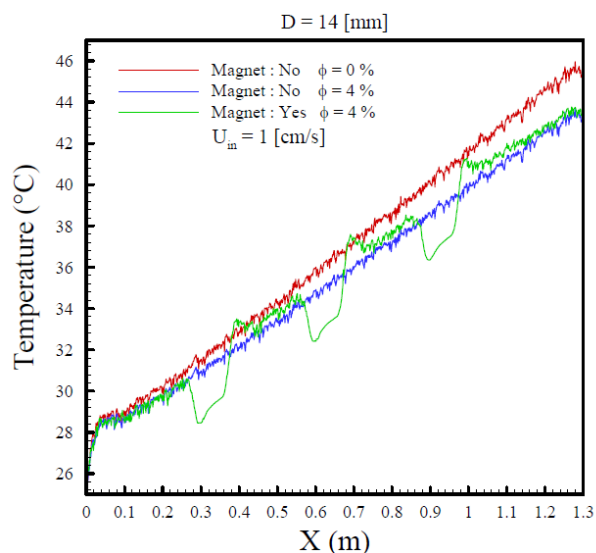


شکل ۴: میانگین دمای بدنه لوله درصدهای حجمی مختلف با ۳ آهنربا برای لوله با قطر ۱۴ میلی‌متر

در شکل ۵.۱ و ۵.۲، به مقایسه دمای بدنه لوله در نزدیکی آهنربا در درصدهای حجمی مختلف نانوذرات و وجود میدان مغناطیسی در دو سرعت ورودی ۰/۵ سانتی‌متر بر ثانیه و ۱ سانتی‌متر بر ثانیه پرداخته شده است. نتایج این نمودارها نشان دهنده این است که افزایش درصد حجمی نانوذرات سبب افزایش انتقال حرارت شده و دمای بدنه را کاهش می‌دهد و وجود میدان مغناطیسی نیز سبب ایجاد گردابه در نزدیکی آهنربا شده و باعث افزایش انتقال حرارت می‌شود و دمای بدنه لوله را در آن محدوده کاهش می‌دهد. با مقایسه شکل‌های ۵.۱ و ۵.۲ می‌شود نتیجه گرفت که با کاهش سرعت جریان ورودی، تأثیرات میدان مغناطیسی بر روی انتقال حرارت نانوسیال افزایش می‌یابد و با افزایش سرعت جریان ورودی، میزان انتقال حرارت افزایش می‌یابد.

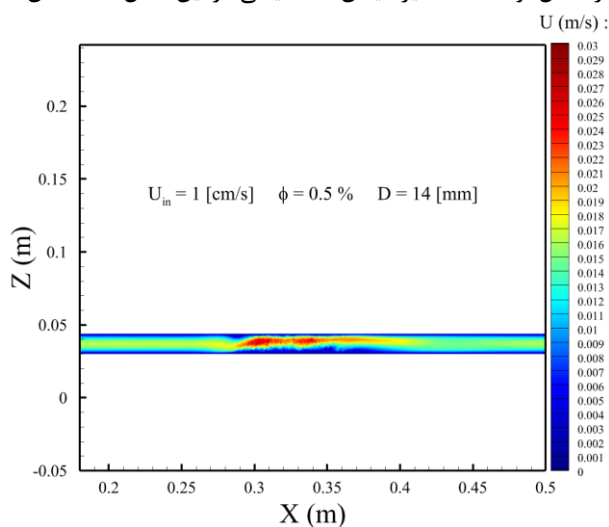


شکل ۵.۱: دمای بدنه لوله با سرعت ورودی ۰/۵ سانتی‌متر بر ثانیه

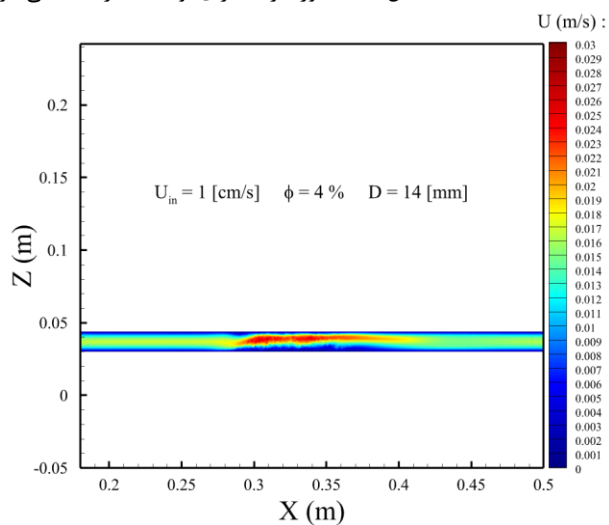


شکل ۵: دمای بدنه لوله با سرعت ورودی ۱ سانتی متر بر ثانیه

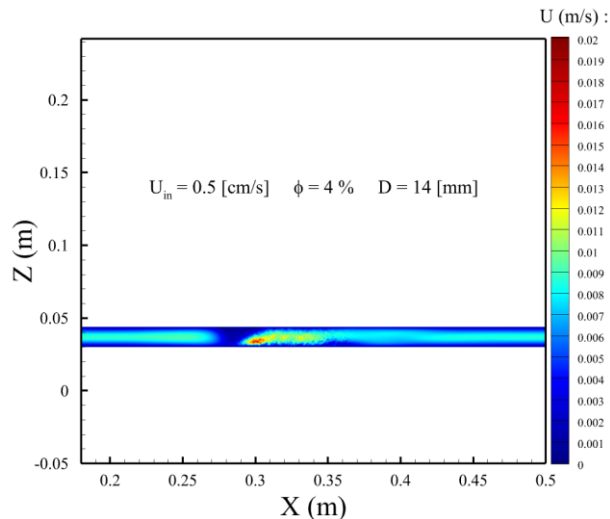
در شکل‌های ۶.آ، ۶.ب و ۶.پ، کانتور سرعت برای شبیه‌سازی‌های مختلف و برای لوله به قطر ۱۴ میلی‌متر آورده شده است. در این شکل که به بررسی کانتور سرعت، در سرعت‌های ورودی مختلف جریان نانو سیال و درصد حجمی مختلف نانوذرات پرداخته شده است. گردابه‌های ایجاد شده در داخل لوله تحت تأثیر میدان مغناطیسی در این شکل‌ها مشخص است و بر روی انتقال حرارت نیز تأثیر می‌گذارد.



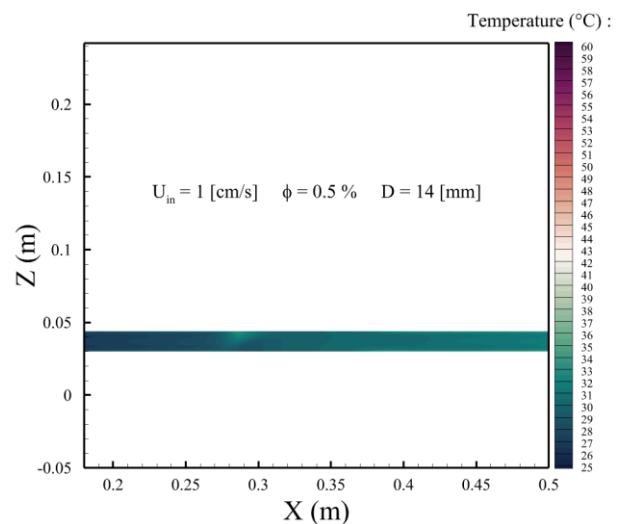
شکل ۶.آ: کانتور سرعت برای لوله به قطر ۱۴ میلی‌متر و با سرعت ۱ سانتی‌متر بر ثانیه و درصد حجمی ۰/۵ درصد



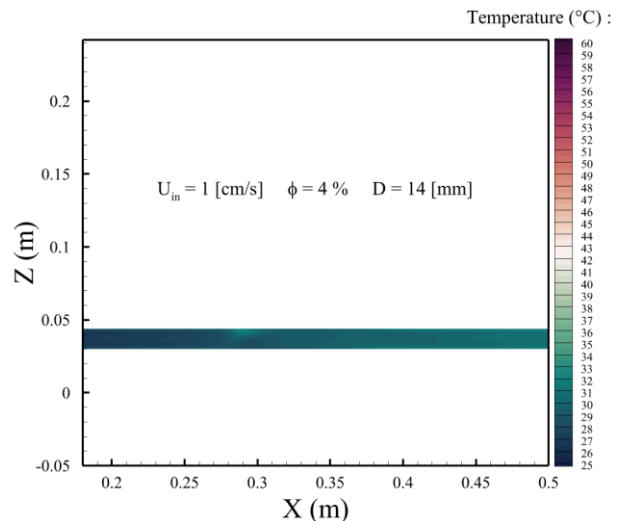
شکل ۶.ب: کانتور سرعت برای لوله به قطر ۱۴ میلی‌متر و با سرعت ۱ سانتی‌متر بر ثانیه و درصد حجمی ۴ درصد



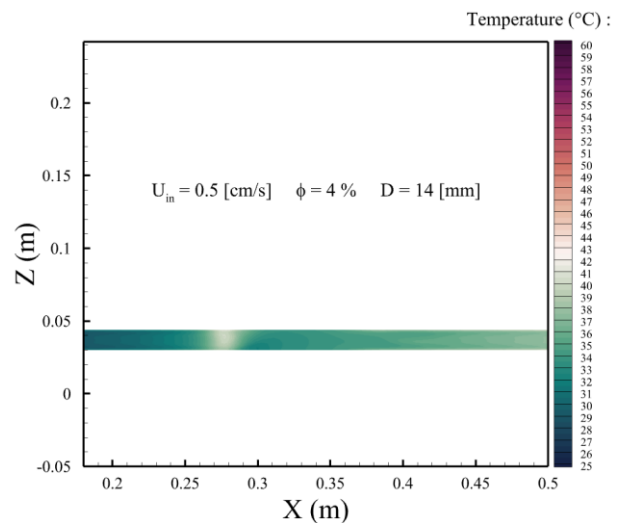
شکل ۶: کانتور سرعت برای لوله به قطر ۱۴ میلی‌متر و با سرعت ۰/۵ سانتی‌متر بر ثانیه و درصد حجمی ۴ درصد با مقایسه کانتورهای سرعت در شکل ۶، می‌شود نتیجه گرفت که با افزایش درصد حجمی نانوذرات و کاهش سرعت جریان ورودی، تأثیرات میدان مغناطیسی بر روی جریان نانوسیال افزایش می‌یابد و سبب ایجاد گردابه‌های قوی‌تری می‌شود که بر روی کانتورهای دمایی تأثیر می‌گذارد. در شکل‌های ۷.۱، ۷.۲ و ۷.۳، کانتور دما برای شبیه‌سازی‌های مختلف و برای لوله به قطر ۱۴ میلی‌متر آورده شده است. در این شکل‌ها به مقایسه کانتور دما در سرعت‌های مختلف جریان ورودی نانوسیال و درصد‌های حجمی مختلف نانوذرات پرداخته شده است.



شکل ۷.۱: کانتور دما برای لوله به قطر ۱۴ میلی‌متر و با سرعت ۱ سانتی‌متر بر ثانیه و درصد حجمی ۰/۵ درصد



شکل ۷.ب: کانتور دما برای لوله به قطر ۱۴ میلی‌متر و با سرعت ۱ سانتی‌متر برثانیه و درصد حجمی ۴ درصد



شکل ۷.پ: کانتور دما برای لوله به قطر ۱۴ میلی‌متر و با سرعت ۰/۵ سانتی‌متر برثانیه و درصد حجمی ۴ درصد

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در این پروژه به بررسی تأثیرات میدان مغناطیسی بر روی انتقال حرارت در داخل کانال استوانه‌ای شکل پرداخته شده است. تأثیر متغیرهای بسیاری از جمله فاصله‌ی فرارگیری میدان مغناطیسی، درصد حجمی نانوذرات و سرعت ورودی جریان بر روی انتقال حرارت بررسی شده است. نانوسیال استفاده شده در این پروژه اکسید آهن/آب مقطر می‌باشد. نتایج بدست آمده از این پروژه نشان دهنده این است که افزایش درصد حجمی نانوذرات و افزایش سرعت جریان ورودی سبب افزایش انتقال حرارت شده و دمای بدنه لوله را کاهش می‌دهد. همچنین وجود میدان مغناطیسی و افزایش تعداد آهنرباها بر جریان نانوسیال تأثیر گذاشته و سبب افزایش انتقال حرارت می‌شود و این تأثیر در سرعت جریان پایین، بیشتر می‌شود. استفاده از نانو سیال و میدان مغناطیسی سبب افزایش ۶/۶۲ درصدی انتقال حرارت می‌شود.

مراجع و منابع

- [1] Sheikhejad, Yahya, Reza Hosseini, and Majid Saffar Avval. "Experimental study on heat transfer enhancement of laminar ferrofluid flow in horizontal tube partially filled porous media under fixed parallel magnet bars." *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 424 (2017): 16-25.
- [2] Ghofrani A, Dibaei MH, Sima AH, Shafii MB. Experimental investigation on laminar forced convection heat transfer of ferrofluids under an alternating magnetic field. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2013 Sep 1;49:193-200.
- [3] Goharkhah M, Ashjaee M. Effect of an alternating nonuniform magnetic field on ferrofluid flow and heat transfer in a channel. *Journal of magnetism and magnetic materials*. 2014 Aug 1;362:80-9.
- [4] Aminfar H, Mohammadpourfard M, Zonouzi SA. Numerical study of the ferrofluid flow and heat transfer through a rectangular duct in the presence of a non uniform transverse magnetic field. *Journal of Magnetism and Magnetic materials*. 2013 Feb 1;327:31-42.
- [5] Furlani, Edward P. *Permanent Magnet and Electromechanical Devices*. New York: Academic Press, 2001 Sep 12.
- [6] Mobadersani F, Rezavand Hesari A. Investigation of FHD effects on heat transfer in a differentially heated cavity partially filled with porous medium utilizing Buongiorno's model. *The European Physical Journal Plus*. 2021 Jul;136(7):1-25 .