

بهبود انتقال گرمای جابه‌جایی برج‌های خنک‌کننده خشک با استفاده از نانوسیال آلی-فلزی نیکل

حمیدرضا زارع جوان^۱، بهروز بهنام^{۲*}، مریم پازوکی^۳

۱- دانشجوی دکتری مهندسی سامانه‌های انرژی دانشکده بین‌الملل کیش دانشگاه تهران

۲- دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳- دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران

چکیده

در این پژوهش، یک مطالعه عددی در مورد افزایش انتقال گرمای جابه‌جایی در مبدلی به طول L و قطر D ، که از دیواره‌های جانبی با شار سرمایشی ثابت q خنک و نانوسیال همگن آلی - فلزی نیکل با دبی ثابت و دما T_H وارد و با دما T_C خارج شده، انجام شد. نتیجه‌های به‌دست آمده از حل هم‌زمان معادله‌های حاکم برای نانوسیالات، اکسید مس، اکسید آلومینیم، اکسید تیتانیوم و آلی-فلزی نیکل نشان داد، با توجه به تفاوت مقادیر دمای خروجی مبدل، عدد ناسلت و ضریب انتقال گرمای جابه‌جایی متوسط برای نانوسیالات یادشده، با کسر حجمی، دما، سرعت سیال ورودی و شار سرمایشی ثابت؛ دمای خروجی مبدل برای نانوسیال آلی-فلزی نیکل بیش از سایر نانوسیالات کاهش می‌یابد. بررسی تأثیر شار سرمایشی با دما، سرعت و کسر حجمی ثابت نشان داد، با افزایش شار سرمایشی، دمای خروجی کاهش و مشخصه گرمایی مبدل بهینه ولی عدد ناسلت و ضریب انتقال گرمای جابه‌جایی متوسط به دلیل عدم تغییر ابعاد هندسی مبدل ثابت می‌مانند. همچنین، مطالعه تأثیر کسر حجمی با دما، سرعت و شار سرمایشی ثابت نشان داد، با افزایش کسر حجمی، دمای خروجی کاهش و مشخصه گرمایی مبدل بهینه اما عدد ناسلت و ضریب انتقال گرمای جابه‌جایی متوسط، کاهش می‌یابند و در نهایت بررسی تأثیر دمای نانوسیال ورودی مبدل با کسر حجمی، سرعت سیال ورودی و شار سرمایشی ثابت، نشان داد، با افزایش دمای ورودی، دمای خروجی افزایش یافته ولی عدد ناسلت و ضریب انتقال گرمای جابه‌جایی متوسط به دلیل عدم تغییر ابعاد هندسی مبدل و ثابت می‌مانند.

واژه‌های کلیدی: نانوسیال - انتقال حرارت جابه‌جایی - مطالعه عددی - برج خنک‌کننده

b.behnam@aut.ac.ir

۱-مقدمه

در باب ضرورت موضوع پژوهش لازم به ذکر است، سامانه برج خنک‌کننده یکی از مهم‌ترین ملزومات فرایند تبرید صنایع به‌ویژه نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاه است و به لحاظ فرایندی به‌عنوان مکمل سیکل‌های گرمایی، اهمیت بسیار دارد. برج خنک‌کننده خشک یکی از انواع سامانه‌های خنک‌کننده است که به‌کارگیری آن در صنایع متفاوت باعث کاهش قابل‌توجه در مصرف آب می‌شود. همچنین، عملکرد برج بر بازده سامانه تأثیر به‌سزایی دارد. از این‌رو، در صورت بهبود کارایی و مشخصه گرمایی برج افزون‌بر افزایش بازده سامانه، شاهد صرفه‌جویی در مصرف آب، کاهش اثرهای خوردگی و همچنین، کاهش آلودگی

منابع آبی و هوا و به‌صورت غیرمستقیم کاهش مصرف سوخت و در نهایت شاهد کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی هوا خواهیم بود. همان‌طور که گفته شد نانو ساختار آلی-فلزی نیکل به‌عنوان یکی از ترکیب‌های نوین نانوسیالی که موضوع اصلی این پژوهش است دارای ویژگی‌های منحصربه‌فرد و متمایزی نسبت به سایر ترکیب‌ها است [۹].

محمدعلی و همکارانش در سال ۲۰۱۳ انتقال گرمای جابه‌جایی آزاد نانوسیال آب-اکسید آلومینیم را در یک محفظه استوانه‌ای عمودی به‌صورت آزمایشگاهی بررسی کردند. سطح پایینی محفظه و سطح بالایی به‌وسیله یک فن با شار ثابت خنک می‌شد و دیواره‌های عمودی عایق بودند. آن‌ها اثر غلظت و

بررسی نحوه توزیع دما در فین متخلخل و همچنین، نحوه تغییر بازده فین و ضریب تأثیر فین متخلخل با تغییرات پارامتر افت فشار پرداختند و نتیجه‌های مهم مرتبط با پژوهش را به شرح زیر گزارش کردند [۶]

۱. روش نیمه‌بررسی DTM یک سری توانی با بی‌نهایت جمله بوده و از دقت زیاد و سرعت همگرایی بالا برخوردار است و با دقت بالایی بر نتیجه به‌دست آمده از روش عددی رانگ کوتا مرتبه ۴ و همچنین، روش نیمه‌بررسی HPM منطبق است.
۲. با تغییر مکانیسم انتقال گرما از حالت جابه‌جایی طبیعی به حالت جابه‌جایی اجباری ضریب عملکرد فین در حدود ۳۰ درصد افزایش یافت.

هان و همکارانش در سال ۲۰۱۷ مطالعه‌ای تجربی روی بهبود و افزایش مقدار انتقال گرما با استفاده از نانوسیالات در مبدل‌های گرمایی دو لوله‌ای انجام دادند. در آن پژوهش تجربی با هدف یافتن مقدار تأثیر نانوسیال آب-اکسید آلومینیم روی افزایش مقدار انتقال گرما داخل مبدل دو لوله‌ای با دمای ورودی متفاوت انجام شد. نانوذرات اکسید آلومینیم با کسر حجمی ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد، در دماهای ورودی متفاوت استفاده شدند و آزمایش برای مبدل گرمایی دو لوله‌ای پر شده از نانوسیال تحت رژیم متلاطم، با عدد های رینولدز ۲۰۰۰ الی ۶۰۰۰، خنک می‌شد، انجام شد. نتیجه‌های این پژوهش نشان دادند که انتقال گرما با افزایش دما و کسر حجمی نانوذرات، افزایش یافت و همچنین، نشان از افزایش ماکزیمم عدد ناسلت به مقدار ۲۴/۵ درصد در دمای ورودی ۵۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به آب را نشان داد [۷].

سیده بهاره موسوی و همکاران در سال ۲۰۱۸ مطالعه‌ای با عنوان بررسی عددی انتقال گرمای جابه‌جایی جریان نانوسیال روی استوانه گرما دیده و تأثیر نوع مدل انتخابی ویژگی‌های مؤثر انجام دادند و نتیجه‌های زیر را گزارش کردند. در این مقاله، ویژگی‌های انتقال گرمای جابه‌جایی از استوانه‌ای گرما دیده برای نانوسیال با سیال پایه آب به‌صورت عددی در جریان دوبعدی پایا برای سرعت ورودی یکنواخت در گستره کسر حجمی ۰/۰۱ الی ۰/۰۵ و برای عدد های رینولدز بین ۱۰ تا ۳۰ شبیه‌سازی شده و ویژگی‌های جریان و انتقال گرما برای نانوسیال متقاطع با رژیم پایا و برای عدد های رینولدز پایین مورد بررسی قرار گرفت. معادله‌های حاکم شامل: پیوستگی، مومنتم و انرژی گرمایی با روش حجم محدود استاندارد حل شدند. میدان جریان آب-آلومینا مطالعه شد و نتیجه‌ها نشان دادند که کسر حجمی نانوذرات، عدد رینولدز سیال پایه و ویژگی‌های مؤثر فیزیکی نانوسیال می‌توانند ویژگی‌های انتقال گرما را به‌صورت قابل‌مشاهده تحت تأثیر قرار دهند. افزودن نانوذرات به سیال پایه منجر به کاهش مقدار عدد ناسلت متوسط شد، درحالی‌که نرخ انتقال گرما افزایش یافت [۸].

راضی آستارایی و همکاران در سال ۲۰۱۹ به بررسی مروری اثر نانوسیالات رایج مورد استفاده برای کاهش مقدار هدر رفت آب و بهبود مشخصه‌های گرمایی در برج خنک‌کننده پرداختند.

کسر حجمی را بر عدد ناسلت میانگین بررسی کردند. نتیجه‌ها نشان داد که با افزایش غلظت تا هنگامی که $(5\% \leq)$ ضریب انتقال گرمای جابه‌جایی افزایش یافت و سپس $(5\% \geq)$ کاهش یافت [۱].

منال هادی و همکارش در سال ۲۰۱۳ مطالعه‌ای عددی روی یک محفظه استوانه‌ای که از نانوسیال آب-اکسیدمس پر شده بود، انجام دادند و رژیم جریان را آرام در نظر گرفتند. در مرکز استوانه یادشده، یک چشمه گرمایی با شار ثابت، دیواره عمودی جانبی دما ثابت و قاعده پایین و بالا عایق فرض شد. با استفاده از معادله‌های حاکم پیوستگی، مومنتم، انرژی و تقریب بوزینسک. پارامترهای اثرگذار روی سامانه عدد رایلی، کسر حجمی و نسبت منطری بودند که بررسی نتیجه‌ها نشان داد، هنگامی که کسر حجمی از ۰/۰۱ به ۰/۲ افزایش یافت، عدد متوسط ناسلت ۴/۵ درصد برای رایلی ۱۰۰۰ افزایش یافت [۲].

مرادی و همکاران در سال ۲۰۱۴ مطالعه‌ای آزمایشگاهی در خصوص انتقال گرمای جابه‌جایی آزاد نانوسیال نیوتنی آب-اکسید آلومینیم و آب-اکسیدتیتانیوم درون یک محفظه استوانه‌ای انجام دادند. در این مطالعه دو نانوسیال درون یک محفظه استوانه‌ای ریخته شدند و تغییرات و رابطه عدد رایلی با کسر حجمی با تغییر برای وضعیت محفظه مطالعه شد. نتیجه‌ها نشان داد که افزودن نانوذرات به آب، تأثیر ناچیزی روی انتقال گرمای جابه‌جایی آزاد دارد و فقط افزایش اندکی در انتقال گرمای جابه‌جایی آزاد آب-اکسید آلومینیم مشاهده شد. نتیجه‌ها همچنین، نشان دادند که همیشه در عدد های رایلی پایین احتمال افزایش انتقال گرمای جابه‌جایی آزاد بیشتر از عدد های رایلی بالا است [۳].

منگ و همکاران [۴] در سال ۲۰۱۵ مطالعه‌ای عددی روی انتقال گرمای جابه‌جایی آزاد در یک محفظه استوانه‌ای افقی که با نانوسیال آب-اکسید آلومینیم پر شده بود، انجام دادند. آن‌ها نانوسیال آب-اکسید آلومینیم را با کسر حجمی‌های متفاوت و در استوانه‌های با ابعاد هندسی متفاوت مورد مطالعه قرار دادند. رژیم جریان آرام و عدد رایلی بین ۳۱۰ و ۴۱۰ در نظر گرفته شده بود. نتیجه‌ها نشان داد در عدد های رایلی مشابه با افزایش نانوذرات، عدد ناسلت متوسط کاهش یافت [۴].

مونیشن گاپتا و همکارانش در سال ۲۰۱۷ مطالعه‌ای با عنوان مروری بر ویژگی‌های ترموفیزیکی نانوسیالات و روش‌های انتقال گرما انجام دادند. در این پژوهش، آن‌ها مهم‌ترین نتیجه‌های مهم بهبود یافته در ویژگی‌های ترموفیزیکی نانوسیالات را جمع‌بندی کردند. از جمله پارامترهای مهم مورد مطالعه ویژگی‌های ذرات مانند اندازه، جنس، شکل نانوذرات و همچنین، نوع جنس سیال پایه، دما و گردابه و مقدار PH در نظر گرفته شد. در این پژوهش، روی مزایای کاربرد نانوسیالات در کلکتورهای خورشیدی و سامانه‌های خودکار خنک‌کننده مبدل‌های گرمایی تمرکز می‌یافت [۵].

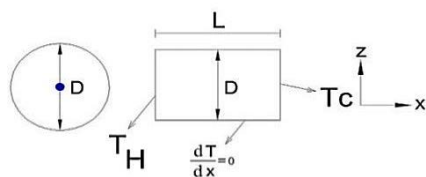
نورآذر و همکارش در سال ۲۰۱۷ به بررسی انتقال گرمای جابه‌جایی طبیعی و اجباری در فین متخلخل با مقطع مستطیلی به روش نیمه‌بررسی DTM پرداختند. در این پژوهش آن‌ها به

اندیس زیرنویس

ورودی گرم	H
خروجی سرد	C
نانوسیال	Nf
نانوذرات	S
دیوار جامد	W

۲- تئوری و هدف پژوهش

هندسه مبدا لوله‌ای برج خنک‌کننده خشک براساس شکل (۱) به صورت محفظه استوانه‌ای دارای قطر D و طول L که نانو سیال خنک شونده با دمای گرم T_H و دبی ثابت Q از یک سمت وارد و از سمت دیگر با دمای خنک T_C و همان دبی Q خارج و به سیکل تبرید باز می‌گردد در ضمن هوا با شار سرمایی q به صورت ثابت از اطراف به محفظه برخورد و از قسمت فوقانی خارج می‌شود. نانو سیال مورد استفاده نیوتنی و غیرقابل تراکم با ویژگی‌های ثابت و هوا به عنوان گاز ایده‌آل تراکم ناپذیر و جریان هوا جابه‌جایی آرام در درون و بیرون برج شبیه‌سازی خواهد شد.



شکل ۱. هندسه پژوهش حاضر

هدف اصلی این پژوهش، بهبود سامانه انتقال گرمای جابه‌جایی به روش عددی در برج خنک‌کننده خشک با استفاده از ویژگی‌های بهینه نانو سیالات نوین، شامل نانو ساختارهای آلی-فلزی نیکل به منظور افزایش کارایی و بازده برج خنک‌کننده از راه بهبود مشخصه‌های گرمایی، ضریب رسانش گرمایی و کشش سطحی آن نسبت به نانو سیالات متداول در بیشتر پژوهش‌های گذشته، است.

با مطالعه و بررسی موادی که به عنوان نانو سیال به کار می‌روند، متوجه خواهیم شد که نانو ساختار آلی - فلزی نیکل گزینه مناسبی برای این فرایند در دما و فشار معمولی است [۱۰]. زیرا این ترکیب دارای مزایایی همچون سینتیک سریع و دارای مساحت سطح بالا است. همچنین، ظرفیت بالایی گرمایی را از خود نشان می‌دهد. این شبکه از پیوند یون‌های فلزی با پیوندهای همدان آلی که شبکه‌ای متخلخل را پدید آورده، به وجود می‌آید. ساختار به دست آمده دارای اتم‌های سبکی است که تخلخل بالایی دارند و امکان کنترل اندازه تخلخل برای داشتن بهترین مقدار عملکرد وجود دارد.

معادله‌های استفاده شده در این پژوهش به شرح زیر است: اختلاف دمای سیال ورودی و سیال خروجی برج خنک‌کننده را مقدار خنک کردن می‌گویند که به صورت معادله (۱) تعریف می‌شود [۹].

$$T_{drop} = T_H - T_C \quad (1)$$

آن‌ها نتیجه‌های پژوهش‌های تجربی صورت گرفته بر مقدار تأثیر استفاده از نانو سیالاتی مانند روی اکسید- آب، گرافیت نانوپروس آب، آلومینا- آب، تیتانیوم اکسید- آب و مس اکسید- آب را با غلظت‌های متفاوت بر بهبود عملکرد برج‌های خنک‌کننده بررسی و مقایسه و مشاهده کردند که با استفاده از نانو سیالات مشخصه‌هایی از جمله مقدار خنک کردن، مشخصه برج خنک‌کن، ضریب انتقال گرما حجمی و بازده بهبود یافت و بهترین نمونه گزارش شده ایشان، استفاده از نانو سیال روی اکسید آب با غلظت‌های ۰.۰۲ و ۰.۰۵ درصد حجمی است که ویژگی مشخصه گرمایی را به مقدار ۲۱.۵ و ۲۲.۵ درصد در مقایسه با آب بهبود می‌دهد [۹].

اکثر پژوهش‌های کاربردی، حول این موضوع، آزمایشگاهی و با استفاده از نانو سیالات متداول است و در مجموع مطالعه‌های کمتری در مورد انتقال گرمای جابه‌جایی در یک مبدا لوله‌ای به صورت عددی با رویکرد ارایه راه کار به منظور افزایش مقدار انتقال گرما با هدف افزایش بازده با استفاده از نانو سیالات جدید که دارای ویژگی‌های ویژه و پیشرفته‌تر نسبت به نانو سیالات متداول هستند، انجام شده است. اثبات افزایش کارایی، از راه محاسبه عددی دمای خروجی خنک‌تر مبدا برج خنک‌کننده خشک در صورت استفاده از نانو سیال آلی- فلزی نیکل در مقایسه با نانو سیالات متداول از موارد جدید و نوآورانه این پژوهش به شمار می‌آید.

فهرست علائم

علائم	نشانه
C_p (J/kgk)	ظرفیت گرمایی ویژه
g (m/s ²)	شتاب گرانش
L (m)	طول مبدا
D (m)	قطر مبدا
h (W/ m ² .k)	ضریب انتقال گرمای جابه‌جایی
k (W/mk)	ضریب هدایت گرمایی
Nu	عدد ناسلت
p (pa)	فشار
T (k)	دما
Q	دبی
Q	شار گرمایی
S	سطح ویژه
Re	عدد رینولدز
h_a	آنتالپی هوا

علائم یونانی

علائم	نشانه
β (k ⁻¹)	ضریب انبساط حجمی
μ (N.s/m)	ویسکوزیته دینامیکی
ρ (kg/m ³)	چگالی
ϕ	کسر حجمی
ε	بازده

نیکل در مقایسه با نانوسیالات رایج که در ادامه توضیح داده خواهد شد، به عنوان سیال خنک کننده در مبدل برج خنک کننده خشک است. بنابراین، در مرحله اول ویژگی های این نانوساختار معرفی و در مرحله های بعدی، مطالعه عددی مبدل لوله ای با هندسه و شرایط مرزی تعریف شده، ارایه می شود و برای انجام مطالعه عددی، براساس جدول ۱، هندسه مسأله با استفاده از نسخه نرم افزار Gambit 2.4.6 ترسیم و مش مناسب تولید و شرایط مرزی به صورت صحیح تعریف شد و سپس با استفاده از نسخه نرم افزار Fluent 6.3.26 مسأله حل و بررسی شد و در نهایت منحنی ها و کانتورهای دما، با استفاده از نسخه نرم افزار Tecplot 10 ترسیم، مقایسه و بهینه شد. در طول انجام مرحله های نام برده شده، با چالش های مسأله مانند انتخاب مش مناسب، الگوریتم مناسب حل مسأله و بعدهای واقعی مبدل و محدودیت های نرم افزاری و سخت افزاری مواجه شدیم که با تکرار حل و اعمال اصلاح های مناسب در نهایت حل بهینه مسأله حاصل شد.

جدول ۱. فلوچارت مراحل انجام پژوهش

مرحله اول: ترسیم هندسه و تولید مش مناسب و تعریف شرایط مرزی مسأله با استفاده از نرم افزار گمبیت
مرحله دوم: انتخاب الگوریتم مناسب حل مسأله با استفاده از نرم افزار فلوئنت و حل مسأله
مرحله سوم: بررسی و نمایش بهینه نتیجه های به دست آمده از نرم افزار فلوئنت با استفاده از نرم افزار تک پلات

چارچوب های آلی- فلزی نیکل مورد استفاده در این مطالعه دارای ویژگی های فیزیکی شیمیایی ایده آلی هستند که می توانند به عنوان نانوسیالات جدید مورد استفاده قرار گیرند. علت این تفاوت ها را به ماهیت ترکیب های استفاده شده که چارچوب های آلی- فلزی هستند، می توان نسبت داد. چارچوب های آلی- فلزی دارای ساختارهای پایدار با مساحت سطح ویژه زیاد و همچنین، پایداری گرمایی بالا هستند. افزون بر این، تخلخل پذیری این ترکیب ها باعث می شود سطح بیشتری از ماده در دسترس قرار گیرد و از این رو، پتانسیل کاربردی نمونه ها بیشتر شود. یکی دیگر از تفاوت های نمونه های نانوسیالاتی مورد استفاده در این مطالعه نسبت به مطالعه های پیشین، روش سنتز این نانوساختار است که از روش مقرون به صرفه و سازگار با محیط زیست و قابل کنترل اولتراسونیک، تولید می شوند که نه تنها باعث می شود نانوساختارها در مدت زمان کمتری تولید بلکه روی ویژگی های فرآورده های نهایی نیز تأثیر فراوانی می گذارد [۱۴ تا ۱۶]. با توجه به تئوری مسأله پارامترهای اثرگذار و پارامترهای اثرپذیر پژوهش به شرح جدول های ۲ و ۳ هستند.

جدول ۲. پارامترهای اثرگذار

شار سرمایشی ثابت هوا	q (W/m²)
کسر حجمی نانوسیال	Q
دمای نانوسیال ورودی	T _H

که در آن T_{drop} ، T_H و T_C به ترتیب اختلاف دمای سیال ورودی و سیال خروجی، دمای ورودی و خروجی نانوسیال هستند.

مشخصه برج خنک کن، که بسیار در آنالیز عملکرد گرمایی کاربردی است که در معادله ۲ نشان داده شده است [۹].

$$T_C = \int \frac{c_{p_w} dt}{(h_{as} - h_a)} \quad (2)$$

که در آن T_C ، c_{p_w} و h_a و h_{as} به ترتیب مشخصه برج خنک کن، ظرفیت گرمایی ویژه آب، آنتالپی اشباع هوا در دمای خروجی و آنتالپی هوا هستند.

بازده یک برج خنک کننده به صورت نسبت اختلاف دمای سیال ورودی و خروجی به بیشترین اختلاف دمای ممکن بیان می شود که می تواند ایجاد شود [۹].

$$\varepsilon = \frac{T_H - T_C}{T_{aH} - T_C} \quad (3)$$

که در آن ε ، T_H و T_C و T_{aH} به ترتیب بازده، دمای سیال ورودی، دمای سیال خروجی و دمای حباب مرطوب هوای ورودی هستند.

در این پژوهش از مدل مخلوط همگن برای بررسی عددی، استفاده می شود. همچنین، تمام ویژگی های فیزیکی نانوسیال به جز چگالی که از تقریب بوزینسک استفاده خواهد شد، ثابت فرض می شود. لازم به توضیح است که تمامی معادله های آینده برای فاز جدید نانوسیال نوشته می شود و منظور از هر پارامتر مانند T ، p ، T_{nf} ، p_{nf} و است [۲].

شرایط مرزی گرمایی بی بعد

با فرض منفی بودن مقدار q برای حل مسأله، به تفکیک شرایط مرزی گرمایی بی بعد نوشته می شود.

الف- شرط مرزی گرمایی بی بعد برای دیواره بالا

$$(T_{nf} = T_C) \text{ at } \left(z^* = 1, 0 \leq r^* \leq \frac{R}{H} \right) \quad (4)$$

ب- شرط مرزی گرمایی بی بعد برای دیواره پایین

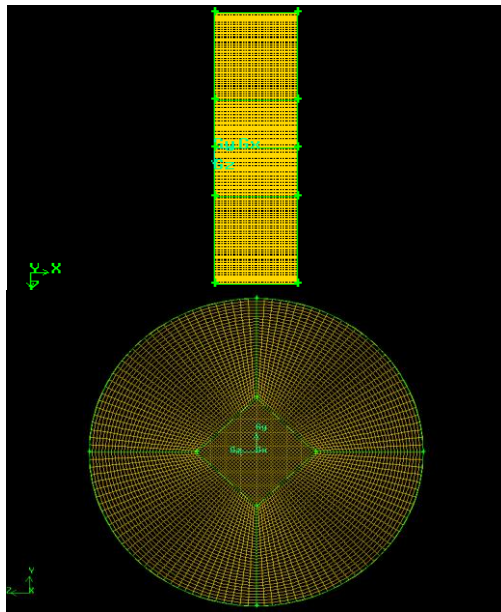
$$(T_{nf} = T_H) \text{ at } \left(z^* = 1, 0 \leq r^* \leq \frac{R}{H} \right) \quad (5)$$

ج- شرط مرزی گرمایی بی بعد برای دیواره جانبی

$$\left(\frac{\partial T_{nf}^*}{\partial r} = \frac{-q^* H}{T_0 K_{nf}^*} \right) \text{ at } \left(r^* = \frac{R}{H}, 0 \leq z^* \leq 1 \right) \quad (6)$$

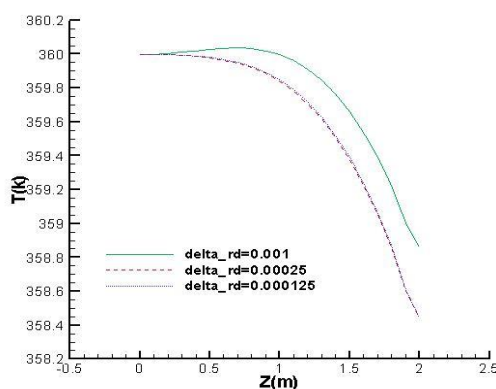
بررسی نتیجه ها

در ابتدای این قسمت لازم است، در مورد نحوه پرداختن به مسأله و مراحل انجام پژوهش، توضیح های مختصری برای آشنایی بیشتر خوانندگان ارایه شود. همان گونه که در قسمت تئوری و هدف این پژوهش عنوان شد، در این پژوهش هدف استفاده از ویژگی های بهینه فیزیکی و شیمیایی نانوساختار آلی- فلزی



شکل ۲. هندسه مش بندی مسأله

الف- تعیین اندازه طول مش در راستای Δ_{rd}
 نخست با فرض ثابت ماندن اندازه طول مش در راستای $\Delta_{pr} = 0.004m$ و همچنین، در راستای $\Delta_{L} = 0.1m$ ، تغییرات اندازه طول مش در راستای Δ_{rd} اعمال شده و اثرهای این تغییرات روی پروفیل های دما و سرعت برای محور مرکزی مبدل بررسی و نتیجه های به دست آمده، مورد بررسی قرار گرفت که در شکل های ۳ و ۴، نشان داده شده است. همان گونه که در شکل های نام برده شده، مشاهده می شود وقتی طول مش در راستای Δ_{rd} برابر مقدار $0.00025m$ باشد، کمترین مقدار تغییرات در پروفیل دمایی و سرعت نسبت به زمانی که طول مش در راستای Δ_{rd} برابر مقدار $0.000125m$ باشد، با خطایی کمتر از یک درصد به دست می آید که به تقریب برهم منطبق هستند. این موضوع به دلیل این که شبکه بسیار ریز شده است مورد انتظار بود.



شکل ۳. تغییرات دما برحسب z در محفظه ای با شرایط: $H = 2.1m$ ، $r = 0.01m$ برای محور مرکزی لوله در اثر تغییرات اندازه طول مش در راستای Δ_{rd}

لازم به ذکر است در پژوهش حاضر ویژگی های سیال پایه آب و اندازه نانوذرات ثابت فرض می شوند و این پژوهش روی کاهش دمای نانوسیال خروجی و افزایش مقدار انتقال گرمای جابه جایی نانوسیال به عنوان موضوع اصلی پژوهش تمرکز خواهد داشت و پارامترهای مؤثر بر انتقال گرمای جابه جایی مورد تأکید ویژه قرار می گیرد.

جدول ۳. پارامترهای تأثیرپذیر

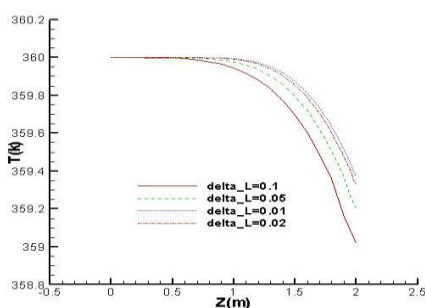
T_c	دمای خروجی مبدل برج
Nu	ضریب ناسلت متوسط
h	ضریب انتقال گرمای جابه جایی متوسط

۳- استقلال شبکه و اعتبار سنجی

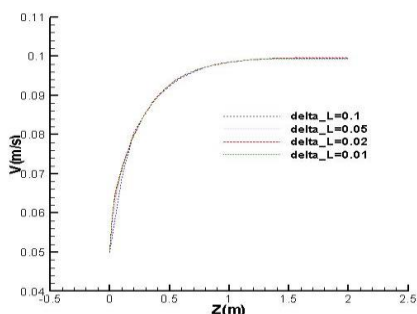
برای گسسته سازی معادله های حاکم بر جریان از روش حجم محدود استفاده شد. معادله های جبری به دست آمده توسط الگوریتم SIMPLE به طور همزمان و به صورت عددی حل و بهینه شد. در این مسیر از نرم افزار Fluent 6.3.26 به عنوان یک امکان برای حل معادله های مسأله استفاده شد. با توجه به ویژگی های مسأله به نظر می رسد که بهتر است برای حل و همگرایی، برای معادله فشار از مدل PRESTO و برای معادله های مومنتم از مدل QUICK و برای معادله انرژی از مدل SECOND ORDER UPWIND استفاده شود. برای افزایش دقت، تلاش شد معیار همگرایی برای تمام معادله های $1.0E-5$ منظور شود. هدف اصلی از بررسی استقلال شبکه نشان دادن این موضوع است که، نتیجه های به دست آمده، مستقل از شکل و سازمان و مش های به کار رفته در هندسه مسأله است. در این بخش هزینه زمانی و اقتصادی برای انجام تکرارها و شبیه سازی بسیار مهم است و در این راستا باید با توجه به هزینه های یاد شده، بهترین شبکه انتخاب شود. از آنجایی که استقلال شبکه به طور معمول از جهات نوع شبکه و اندازه آن مورد بررسی قرار می گیرد، در مسأله حاضر با توجه به تقارن شکل پس از بررسی اولیه و انتخاب مش مناسب، با فرض ثابت بودن نوع شبکه، به بررسی اندازه شبکه پرداخته شد. براساس شکل ۲ هندسه مسأله شبکه بندی شد. در ادامه اندازه طول گرہ ها در راستاهای مورد اشاره بررسی شد. برای این کار در یک راستا برای مثال Δ_{rd} اندازه را تغییر داده و در سایر راستاها ثابت فرض شد، با بررسی نتیجه های به دست آمده، توانسته شد راجع به دقت و اندازه طول مناسب گرہ ها در راستای مورد مطالعه و تکرار این روند تا زمانی که کمترین تغییرات در نتیجه ها نسبت به حالت قبل مشاهد شود، اظهار نظر کرد. در ادامه با تثبیت اندازه طول گرہ ها در راستای مورد مطالعه، دوباره همان روند در مورد راستای دیگر اجرایی شد تا در نهایت شبکه استقلال یافته به دست آمد. از بررسی نتیجه ها استقلال شبکه برای سیال آب برای محفظه ای استوانه ای به ابعاد و شرایط شامل، شار سرمایشی ثابت $q = -1000W/m^2$ ، شعاع $r = 0.01m$ ، ارتفاع $H = 2.1m$ ، دمای مرجع $T_{ref} = 288.16K$ مشاهده شد.

ج- تعیین اندازه طول مش در راستای ΔL

بار دیگر با فرض ثابت ماندن اندازه طول مش در راستای Δrd $= 0.00025m$ و همچنین، $\Delta pr = 0.002$ تغییرات اندازه طول مش در راستای ΔL اعمال شده و اثرهای این تغییرات روی پروفیل‌های دما و سرعت برای محور مرکزی مبدل بررسی شد و نتیجه‌های به‌دست آمده مورد بررسی قرار گرفت که در شکل‌های ۷ و ۸، نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل‌های نام برده شده، مشاهده می‌شود، وقتی طول مش در راستای ΔL برابر مقدار $0.02m$ باشد، کمترین مقدار تغییرات در پروفیل دمایی و سرعت نسبت به زمانی که طول مش در راستای ΔL برابر مقدار $0.01m$ باشد، با خطایی کمتر از یک درصد به‌دست می‌آید که به‌تقریب برهم منطبق هستند. این موضوع نیز به‌دلیل این‌که شبکه بسیار ریز شده است مورد انتظار بود.



شکل ۷. تغییرات دما برحسب z در محفظه‌ای با شرایط: $H = 2.1m$ ، $\alpha = 0.01m$ برای محور مرکزی لوله در اثر تغییرات اندازه طول مش در راستای ΔL



شکل ۸. تغییرات سرعت برحسب z در محفظه‌ای با شرایط: $H = 2.1m$ ، $\alpha = 0.01m$ برای محور مرکزی لوله در اثر تغییرات اندازه طول مش در راستای ΔL

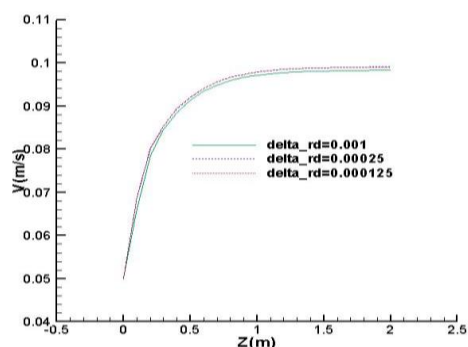
بنابراین اندازه مش مناسب به شرح زیر به‌دست آمد و در ادامه می‌توان با تغییر بعدها هندسی مبدل شامل شعاع و طول مبدل به بررسی مسأله‌های واقعی با اعمال شرایط مرزی و با استفاده از نرم‌افزار بررسی فلوئنت پرداخت.

$$\Delta pr = 0.002m$$

$$\Delta rd = 0.00025m$$

$$\Delta L = 0.02m$$

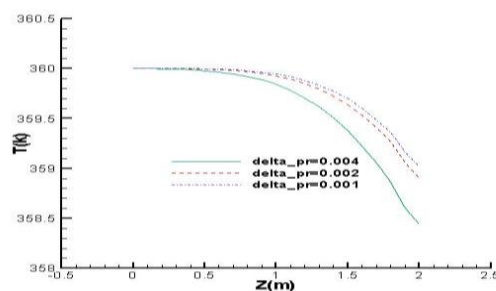
برای بررسی صحت نتیجه‌ها روش حل عددی به‌کار رفته در این پژوهش و به‌دلیل این‌که در گذشته مطالعه‌های تجربی روی



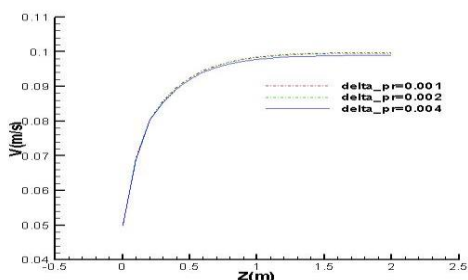
شکل ۹. تغییرات سرعت برحسب z در محفظه‌ای با شرایط: $H = 2.1m$ ، $\alpha = 0.01m$ برای محور مرکزی لوله در اثر تغییرات اندازه طول مش در راستای Δrd

ب- تعیین اندازه طول مش در راستای Δpr

این بار با فرض ثابت ماندن اندازه طول مش در راستای $\Delta rd = 0.00025m$ و همچنین، $\Delta L = 0.1m$ تغییرات اندازه طول مش در راستای Δpr اعمال شده و اثرهای این تغییرات روی پروفیل‌های دما و سرعت برای محور مرکزی مبدل بررسی و نتیجه‌های به‌دست آمده مورد بررسی قرار گرفت که در شکل‌های ۵ و ۶، نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل‌های نام برده شده، مشاهده می‌شود، وقتی طول مش در راستای Δpr برابر مقدار 0.002 باشد، کمترین مقدار تغییرات در پروفیل دمایی و سرعت نسبت به زمانی که طول مش در راستای Δpr برابر مقدار 0.001 باشد، با خطایی کمتر از یک درصد به‌دست می‌آید که به‌تقریب برهم منطبق هستند. این موضوع نیز به‌دلیل این‌که شبکه بسیار ریز شده است دور از انتظار نیست.



شکل ۵. تغییرات دما برحسب z در محفظه‌ای با شرایط: $H = 2.1m$ ، $\alpha = 0.01m$ برای محور مرکزی لوله در اثر تغییرات اندازه طول مش در راستای Δpr



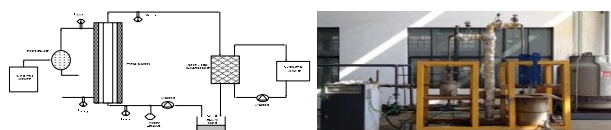
شکل ۶. تغییرات سرعت برحسب z در محفظه‌ای با شرایط: $H = 2.1m$ ، $\alpha = 0.01m$ برای محور مرکزی لوله در اثر تغییرات اندازه طول مش در راستای Δpr

از نرم افزار فلوئنت به شرح جدول ۷ محاسبه و همچنین، کانتور دمای خروجی مبدل در شکل ۱۰، گزارش شده است. همان گونه که مشاهده می شود، براساس انتظار به دلیل این که چارچوب آلی- فلزی نیکل، دارای ساختاری پایدار با سطح ویژه زیاد و همچنین، پایداری گرمایی بالا است و افزون بر این، تخلخل پذیری این ترکیب ها باعث می شود سطح بیشتری از ماده در دسترس قرار گیرد. بنابراین، ویژگی های گرمایی آن نسبت به سایر نانوسیالات یاد شده بهینه می شود. در نتیجه دمای خروجی مبدل کاهش می یابد.

جدول ۵. مقدار دمای خروجی مبدل ناشی از تغییر جنس نانوسیال

نوع سیال مبدل	دمای خروجی مبدل (درجه کلونین)
اکسید آلومینیم- آب	۳۳۰
اکسید مس- آب	۳۳۰
اکسید تیتانیوم- آب	۳۳۰
نانوسیال آلی فلزی نیکل- آب	۳۲۸

هندسه سه بعدی مسأله حاضر با شرایط مرزی مشابه انجام شده است، برای اعتبار سنجی، نتیجه های به دست آمده با نتیجه های پژوهش هان و همکاران مرجع [۷] مقایسه شد. در این مقایسه محفظه ای استوانه ای که شعاع آن $r = 0.1m$ ارتفاع استوانه مورد مطالعه نیز $H = 2.1m$ بوده و دمای آب ورودی $T_H = 40^\circ C$ فرض شد و در ضمن ضخامت دیواره ها نیز ناچیز منظور شد. شکل ۹ هندسه پژوهش مرجع [۷] را نشان می دهد. باید توجه داشت که این مقایسه برای سیال آب مقطر به عنوان سیال خنک کننده مبدل در عدد های رینولدز متفاوت جدول ۴ انجام شده است.



شکل ۹. هندسه پژوهش مرجع [۷]

جدول ۴. مقایسه عدد ناسلت متوسط پژوهش حاضر با پژوهش مرجع ۷ با

مشخصات $T_H = 40^\circ C$ دمای ورودی ثابت، $H = 2.1m$ ، $r = 0.1m$

Re	20000	30000	40000	50000
Nu[8]	120	164	202	238
Nu کار حاضر	117	151	186	216
درصد خطای نسبی	2.5	7.9	7.8	9.2

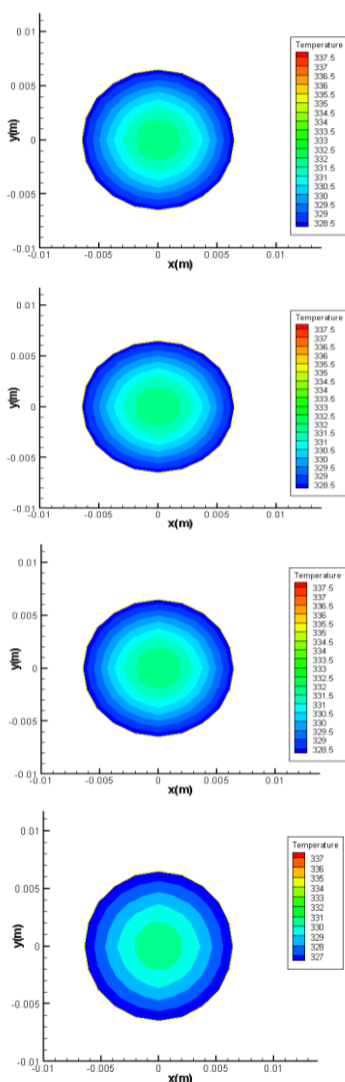
با توجه به داده های جدول ۴ مشاهده می شود، نتیجه های به دست آمده از پژوهش حاضر با نتیجه های مطالعه آزمایشگاهی مرجع [۷] در بدترین وضعیت خطایی، حدود ۹٫۲ درصد را نشان می دهد که با توجه به این که پژوهش مرجع [۷] کاری آزمایشگاهی است و در اساس خطای تجهیزات اندازه گیری و انسانی و تقریبات معادله های تجربی در آن وجود داشته است، درصد خطای قابل قبولی است و نتیجه های پژوهش حاضر به ویژه با فرضیه های اولیه مسأله که قرار است ما جریانی آرام و در نتیجه عدد های رینولدز پایین را مطالعه عددی کنیم، قابل دفاع خواهد بود.

۳-۱. مقایسه اثر جنس نانوسیال

در این بخش به مطالعه و مقایسه تفاوت مقدارهای پارامترهای اثر پذیر شامل دمای خروجی مبدل، ناسلت متوسط و ضریب انتقال گرمای جابه جایی متوسط برای سیالات اکسید مس- آب، اکسید آلومینیم- آب، اکسید تیتانیوم- آب و در نهایت نانوسیال آلی- فلزی نیکل با سیال پایه آب، پرداخته شد. لازم به ذکر است برای تمامی نانوسیالات یاد شده، کسر حجمی ۲ درصد، دمای سیال ورودی ۳۳۸ درجه کلونین، سرعت سیال ورودی ۰٫۵ متر بر ثانیه و شار سرمایشی ثابت هوا ۵۰۰ وات بر مترمربع فرض شد.

۳-۱-۱. مقدار دمای خروجی مبدل

مقدار دمای خروجی مبدل برای نانوسیالات اکسید مس، اکسید آلومینیم، اکسید تیتانیوم و همچنین، نانوسیال آلی- فلزی نیکل با استفاده



شکل ۱۰. کانتور دمای خروجی مبدل ناشی از تغییر جنس نانوسیال

جدول ۸. مقدار دمای خروجی مبدل با تغییر شار سرمایشی هوا

شار سرمایشی ثابت هوا (وات بر مترمربع)	دمای خروجی مبدل (درجه کلوین)
$q = -250$	334
$q = -500$	330
$q = -1000$	322
$q = -2000$	305

۳-۲. مقدار عدد ناسلت متوسط

مقدار عدد ناسلت متوسط برای نانوسیالات اکسیدمس، اکسیدآلومینیم، اکسیدتیتانیم و همچنین، نانوسیال آلی- فلزی نیکل با استفاده از نرم افزار فلونت به شرح جدول ۶ محاسبه و گزارش شده است. همان گونه که مشاهده می شود، عدد متوسط ناسلت برای صفحه $Z = 2 \text{ m}$ افزایش می یابد.

جدول ۶. مقدار عدد ناسلت متوسط ناشی از تغییر جنس نانوسیال

نوع سیال مبدل	عدد ناسلت متوسط
اکسیدآلومینیم - آب	6.55
اکسیدمس - آب	۶,۵۶
اکسیدتیتانیم - آب	۶,۴۸
نانوسیال آلی فلزی نیکل - آب	۶,۶۳

۳-۳. مقدار ضریب انتقال گرمای جابه جایی متوسط

مقدار ضریب انتقال گرمای جابه جایی متوسط برای نانوسیالات اکسیدمس، اکسیدآلومینیم، اکسیدتیتانیم و همچنین، نانوسیال آلی- فلزی نیکل با استفاده از نرم افزار فلونت به شرح جدول ۷ محاسبه و گزارش شده است. همان گونه که مشاهده می شود، ضریب انتقال گرمای جابه جایی متوسط برای صفحه $Z = 2 \text{ m}$ در تقریب ثابت می ماند.

جدول ۷. مقدار ضریب انتقال گرمای جابه جایی متوسط ناشی از تغییر جنس نانوسیال

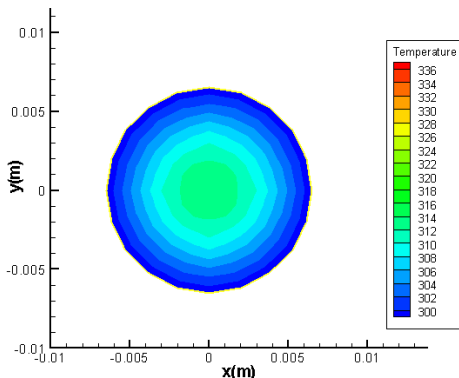
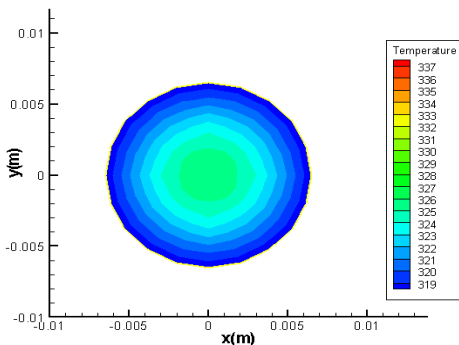
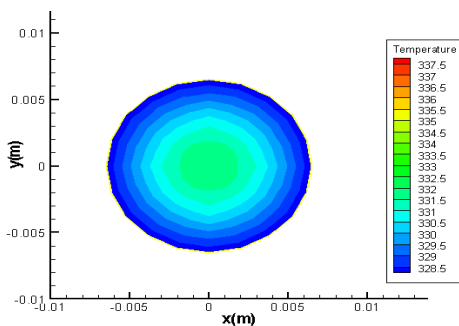
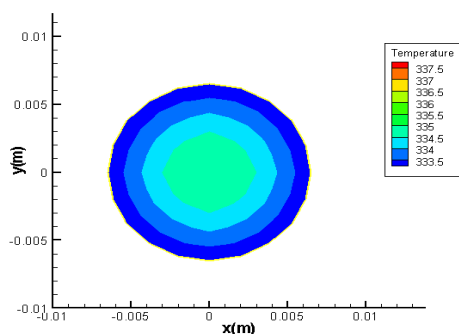
نوع سیال مبدل	ضریب انتقال گرمای جابه جایی متوسط
اکسیدآلومینیم- آب	۴,۱۹
اکسیدمس- آب	۴,۲۰
اکسیدتیتانیم- آب	۴,۱۸
نانوسیال آلی فلزی نیکل- آب	۴,۲۰

۳-۲. اثر شار سرمایشی ثابت هوا

تأثیر مقدار شار سرمایشی بر مقدارهای پارامترهای اثرپذیر شامل، دمای خروجی مبدل، ناسلت متوسط و ضریب انتقال گرمای جابه جایی متوسط برای نانوسیال آلی- فلزی نیکل نانوسیال آلی- فلزی نیکل و آب پرداخته می شود. لازم به ذکر است، کسر حجمی ۲ درصد، دمای سیال ورودی ۳۳۸ درجه کلوین، سرعت سیال ورودی ۰/۰۵ متر بر ثانیه فرض می شود.

۳-۲-۱. مقدار دمای خروجی مبدل

مقدار دمای خروجی مبدل با شار سرمایشی متفاوت برای نانوسیال آلی- فلزی نیکل به شرح جدول ۸ محاسبه و همچنین، کانتور دمای خروجی مبدل در شکل ۱۱، گزارش شده است. همان گونه که مشاهده می شود، براساس انتظار با افزایش مقدار شار سرمایشی دمای خروجی کاهش می یابد. در نتیجه دمای خروجی و مشخصه گرمایی مبدل بهینه می شود.



شکل ۱۱. کانتور دمای خروجی مبدل با تغییر شار سرمایشی هوا

جدول ۱۱. مقدار دمای خروجی مبدل با تغییر کسر حجمی نانوسیال

کسر حجمی نانوسیال	دمای خروجی مبدل (درجه کلونین)
۰	۳۳۰
۰,۰۲	۳۲۸
۰,۰۴	۳۲۷
۰,۰۸	۳۲۵

۲-۲-۳. مقدار ناسلت متوسط

مقدار عدد ناسلت متوسط با شار سرمایشی متفاوت برای نانوسیال آلی- فلزی نیکل به شرح جدول ۹ محاسبه و گزارش شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، عدد متوسط ناسلت به دلیل عدم تغییر بعدهای هندسی مبدل و کسر حجمی نانوسیال ثابت می‌ماند.

جدول ۹. مقدار عدد ناسلت متوسط با تغییر شار سرمایشی هوا

شار سرمایشی ثابت هوا (وات بر مترمربع)	عدد ناسلت متوسط
$q = -250$	۶,۶۲
$q = -500$	۶,۶۲
$q = -1000$	۶,۶۲
$q = -2000$	۶,۶۲

۳-۲-۳. مقدار ضریب انتقال گرمای جابه‌جایی متوسط

مقدار ضریب انتقال گرمای جابه‌جایی متوسط با شار سرمایشی متفاوت برای نانوسیال آلی- فلزی نیکل به شرح جدول ۱۰ محاسبه و گزارش شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، ضریب انتقال گرمای جابه‌جایی متوسط به دلیل عدم تغییر ابعاد هندسی مبدل و کسر حجمی نانوسیال ثابت می‌ماند.

جدول ۱۰. مقدار ضریب انتقال گرمای جابه‌جایی متوسط با تغییر شار سرمایشی هوا

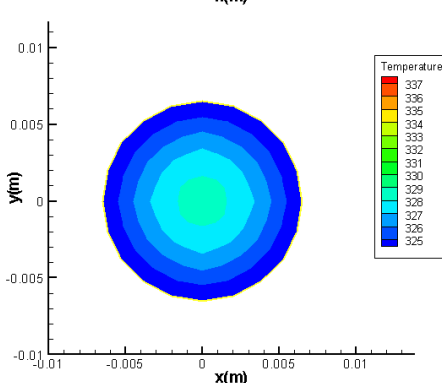
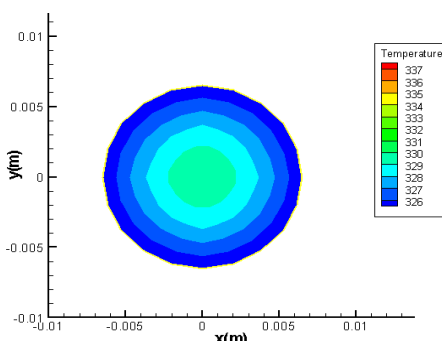
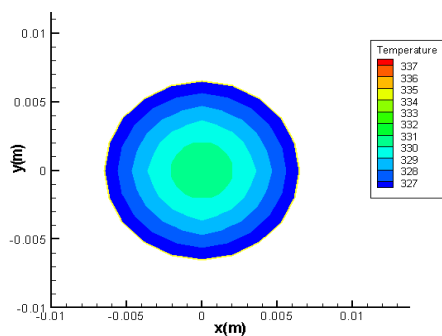
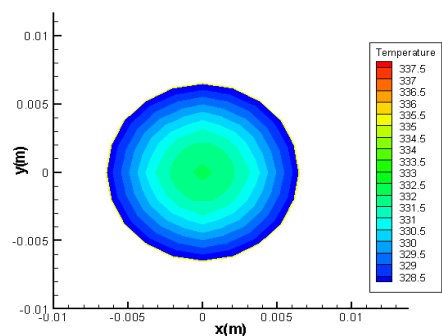
شار سرمایشی ثابت هوا (وات بر مترمربع)	ضریب انتقال گرمای جابه‌جایی متوسط
$q = -250$	۴,۱۷
$q = -500$	۴,۱۷
$q = -1000$	۴,۱۷
$q = -2000$	۴,۱۷

۳-۳. اثر کسر حجمی نانوسیال

تأثیر مقدار کسر حجمی بر مقدارهای پارامترهای اثرپذیر شامل، دمای خروجی مبدل، ناسلت متوسط و ضریب انتقال گرمای جابه‌جایی متوسط برای نانوسیال آلی- فلزی نیکل نانوسیال آلی- فلزی نیکل و آب پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است، دمای سیال ورودی ۳۳۸ درجه کلونین، سرعت سیال ورودی ۰,۰۵ متر بر ثانیه و شار سرمایشی ثابت هوا ۵۰۰ وات بر مترمربع فرض می‌شود.

۱-۳-۳. مقدار دمای خروجی مبدل

مقدار دمای خروجی مبدل با کسر حجمی متفاوت برای نانوسیال آلی- فلزی نیکل به شرح جدول ۱۱ محاسبه و همچنین، کانتور دمای خروجی مبدل در شکل ۱۲، گزارش شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، براساس انتظار با افزایش مقدار کسر حجمی دمای خروجی کاهش می‌یابد. در نتیجه دمای خروجی و مشخصه گرمایی مبدل بهینه می‌شود.



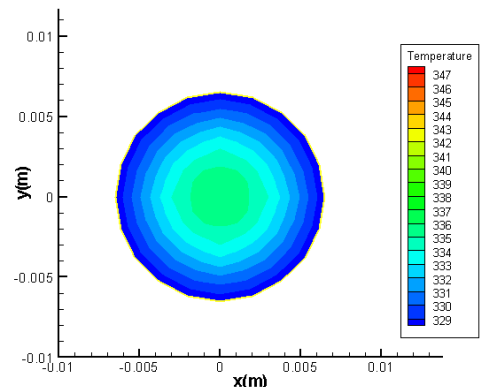
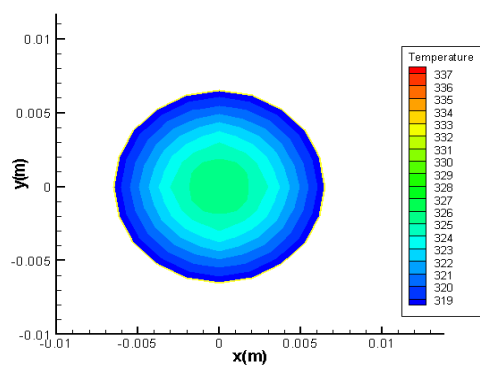
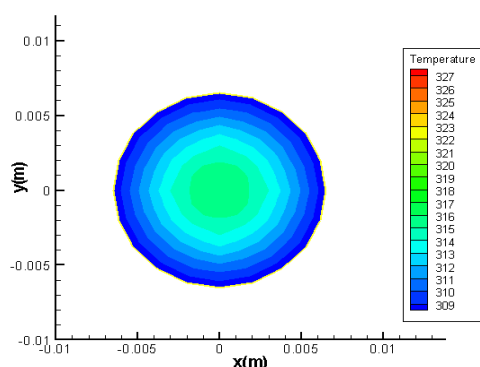
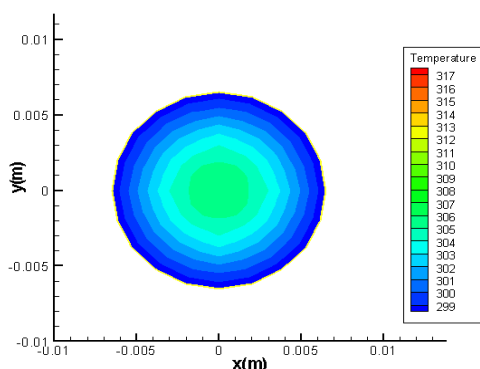
شکل ۱۲. کانتور دمای خروجی مبدل با تغییر کسر حجمی نانوسیال

۲-۳-۳. مقدار ناسلت متوسط

مقدار ناسلت متوسط با کسر حجمی متفاوت برای نانوسیال آلی- فلزی نیکل به شرح جدول ۱۲ محاسبه و گزارش شده است. همان گونه که مشاهده می شود، براساس انتظار با افزایش مقدار کسر حجمی، مقدار ناسلت متوسط کاهش می یابد.

جدول ۱۲. مقدار ناسلت متوسط با تغییر کسر حجمی نانوسیال

کسر حجمی نانوسیال	ناسلت متوسط
۰	۶,۹۲
۰,۰۲	۶,۴۸
۰,۰۴	۶,۱۰
۰,۰۸	۵,۴۱



۳-۳-۵. مقدار ضریب انتقال گرمای جابه جایی متوسط

مقدار ضریب انتقال گرمای جابه جایی متوسط با کسر حجمی متفاوت برای نانوسیال آلی- فلزی نیکل به شرح جدول ۱۳ محاسبه و گزارش شده است. همان گونه که مشاهده می شود، براساس انتظار با افزایش مقدار کسر حجمی، ضریب انتقال گرمای جابه جایی متوسط کاهش می یابد.

جدول ۱۳. مقدار ضریب انتقال گرمای جابه جایی متوسط با تغییر کسر حجمی نانوسیال

کسر حجمی نانوسیال	ضریب انتقال گرمای جابه جایی متوسط
۰	۴,۱۵۹
۰,۰۲	۴,۱۵۷
۰,۰۴	۴,۱۴۹
۰,۰۸	۴,۱۱۲

۴-۳. اثر دمای نانوسیال ورودی

تأثیر دمای نانوسیال ورودی بر مقدارهای پارامترهای اثرپذیر شامل، دمای خروجی مبدل، ناسلت متوسط و ضریب انتقال گرمای جابه جایی متوسط برای نانوسیال آلی- فلزی نیکل نانوسیال آلی- فلزی نیکل و آب پرداخته می شود. لازم به ذکر است، کسر حجمی ۰,۰۵ و سرعت سیال ورودی ۰,۰۵ متر بر ثانیه و شار سرمایشی ثابت هوا ۵۰۰ وات بر مترمربع فرض می شود.

۱-۴-۳. مقدار دمای خروجی مبدل

مقدار دمای خروجی مبدل با دمای ورودی متفاوت برای نانوسیال آلی- فلزی نیکل به شرح جدول ۱۴ محاسبه و شکل ۱۳ کانتور دمای خروجی مبدل تغییر دمای نانوسیال ورودی مبدل گزارش شده است. همان گونه که مشاهده می شود، براساس انتظار با افزایش مقدار دمای ورودی، دمای خروجی افزایش می یابد.

جدول ۱۴. مقدار دمای خروجی مبدل ناشی از تغییر دمای نانوسیال ورودی

دمای خروجی مبدل (درجه کلوین)	دمای نانوسیال ورودی مبدل (درجه کلوین)
302	T= 318
312	T= 328
322	T= 338
332	T= 348

شکل ۱۳. کانتور دمای خروجی مبدل ناشی از تغییر دمای نانوسیال ورودی

۲-۴-۳. مقدار ناسلت متوسط

مقدار عدد ناسلت متوسط با دمای ورودی متفاوت برای نانوسیال آلی- فلزی نیکل به شرح جدول ۱۵ محاسبه و گزارش شده است. همان گونه که مشاهده می شود، عدد متوسط

ناسلت به دلیل عدم تغییر ابعاد هندسی مبدل و کسر حجمی نانوسیال ثابت می ماند.

جدول ۱۵. مقدار عدد ناسلت متوسط ناشی از تغییر دمای نانوسیال ورودی

دمای نانوسیال ورودی (درجه کلونین)	عدد ناسلت متوسط
T= 318	۶,۶۲
T= 328	۶,۶۲
T= 338	۶,۶۲
T= 348	۶,۶۲

۳-۴-۵. مقدار ضریب انتقال گرمای جابه جایی متوسط

مقدار ضریب انتقال گرمای جابه جایی متوسط با دمای ورودی متفاوت برای نانوسیال آلی- فلزی نیکل به شرح جدول ۱۶ محاسبه و گزارش شده است. همان گونه که مشاهده می شود، ضریب انتقال گرمای جابه جایی متوسط به دلیل عدم تغییر ابعاد هندسی مبدل و کسر حجمی نانوسیال ثابت می ماند.

جدول ۱۶. مقدار ضریب انتقال گرمای جابه جایی متوسط ناشی از تغییر دمای نانوسیال ورودی

دمای نانوسیال ورودی (درجه کلونین)	ضریب انتقال گرمای جابه جایی متوسط
T= 318	۴,۱۷
T= 328	۴,۱۷
T= 338	۴,۱۷
T= 348	۴,۱۷

۶- نتیجه گیری و پیشنهادها

بررسی ویژگی های ترمودینامیکی نانوسیالات نشان می دهد، دلیل اصلی افزایش انتقال گرما توسط نانوسیالات این است که افزودن نانوذرات با ضریب هدایت گرمایی بالا (k) منجر به افزایش ضریب هدایت گرمایی سیال می شود و همچنین، حرکت براوانی نانوذرات، آشفتگی و اغتشاش را در سیال افزایش می دهد که این موضوع باعث می شود فرایند انتقال انرژی بهبود یابد. یکی از عامل هایی که باعث افزایش انتقال جرم در نانوسیالات می شود، به وجود آمدن گردابه و جابه جایی های ناشی از حرکت براوانی نانوذرات در غلظت های بالا، با به هم چسبیدن نانوذرات و سنگین شدن آن ها کاهش می یابد. بنابراین، با توجه به پتانسیل های موجود در نانوسیالات در زمینه انتقال گرما و جرم، می توان با به کارگیری آن ها در صنعت، به بازدهی بالاتر و مصرف انرژی کمتر در تجهیزات و به ویژه برج های خنک کننده دست یافت. نانوسیالات می توانند عملکرد برج های خنک کننده را بهبود ببخشند که سبب بهبود مشخصه های گرمایی و کاهش مقدار هدر رفت آب شود. با پراکنده کردن نانوذرات در یک سیال پایه، نانوسیال سنتز شده، ضریب رسانش گرمایی و کشش سطحی آن نسبت به سیال پایه افزایش می یابد. بنابراین، استفاده از نانوسیالات سبب بهبود مقدار خنک کردن، بازده، مشخصه برج خنک کن و ضریب انتقال گرما برج خنک کن می شود. در ضمن کشش سطحی بر

مقدار هدر رفت آب تأثیرگذار است. افزودن نانوذره سبب افزایش کشش سطحی شده و مقاومت در برابر تبخیر شدن را افزایش می دهد.

در بخش اول این مطالعه عددی به تفاوت مقدارهای پارامترهای اثرپذیر شامل دمای خروجی مبدل، ناسلت متوسط و ضریب انتقال گرمای جابه جایی متوسط برای سیالات، آب، اکسیدمس- آب، اکسیدآلومینیم- آب، اکسیدتیتانیوم- آب و در نهایت نانوسیال آلی- فلزی نیکل و آب پرداخته شد. لازم به ذکر است برای تمامی نانوسیالات یاد شده، کسر حجمی ۲ درصد، دمای سیال ورودی ۳۳۸ درجه کلونین، سرعت سیال ورودی ۰/۰۵ متر بر ثانیه و شار سرمایشی ثابت هوا ۵۰۰ وات بر مترمربع فرض شد که مشاهده شد، براساس انتظار به دلیل این که چارچوب آلی- فلزی نیکل، دارای ساختاری پایدار با سطح ویژه زیاد و همچنین، پایداری گرمایی بالا است و افزون بر این، تخلخل پذیری این ترکیب باعث می شود، سطح بیشتری از ماده در دسترس قرار گیرد و از این رو، ویژگی های گرمایی آن نسبت به سایر نانوسیالات نام برده شده، افزایش یافته و بهینه شود و در نتیجه دمای خروجی به مقدار دو درجه سانتی گراد کاهش یافت که حدود ۲۵ درصد بهبود مشخصه گرمایی برج را در پی داشت. مقدار عدد ناسلت متوسط برای نانوسیالات اکسیدمس، اکسیدآلومینیم، اکسیدتیتانیوم و همچنین، نانوسیال آلی- فلزی نیکل محاسبه و گزارش شد. مشاهده شد، عدد متوسط ناسلت برای صفحه $Z = 2\text{ m}$ افزایش یافته ولی ضریب انتقال گرمای جابه جایی متوسط برای صفحه $Z = 2\text{ m}$ به تقریب ثابت ماند.

در بخش دوم مطالعه عددی به تأثیر مقدار شار سرمایشی بر مقدارهای پارامترهای اثرپذیر شامل، دمای خروجی مبدل، ناسلت متوسط و ضریب انتقال گرمای جابه جایی متوسط برای نانوسیال آلی- فلزی نیکل و آب پرداخته شد. لازم به ذکر است، کسر حجمی ۲ درصد، دمای سیال ورودی ۳۳۸ درجه کلونین، سرعت سیال ورودی ۰/۰۵ متر بر ثانیه فرض شد. براساس انتظار با افزایش مقدار شار سرمایشی دمای خروجی کاهش یافته و در نتیجه دمای خروجی و مشخصه گرمایی مبدل بهینه شد. ولی عدد متوسط ناسلت و ضریب انتقال گرمای جابه جایی متوسط به دلیل عدم تغییر ابعاد هندسی مبدل و کسر حجمی نانوسیال ثابت ماندند.

در بخش سوم مطالعه عددی تأثیر مقدار کسر حجمی بر مقدارهای پارامترهای اثرپذیر شامل، دمای خروجی مبدل، ناسلت متوسط و ضریب انتقال گرمای جابه جایی متوسط برای نانوسیال آلی- فلزی نیکل نانوسیال آلی- فلزی نیکل و آب پرداخته شد. لازم به ذکر است، دمای سیال ورودی ۳۳۸ درجه کلونین، سرعت سیال ورودی ۰/۰۵ متر بر ثانیه و شار سرمایشی ثابت هوا ۵۰۰ وات بر مترمربع فرض شد. براساس انتظار با افزایش مقدار کسر حجمی دمای خروجی کاهش یافته و در نتیجه دمای خروجی و مشخصه گرمایی مبدل بهینه شد. با افزایش مقدار کسر حجمی، مقدار ناسلت متوسط ضریب انتقال گرمای جابه جایی متوسط، کاهش یافتند.

heat exchanger, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, college of Energy and Power Engineering, Nanjing, 210016, China, *Proceedings of the 9th International Conference on Applied Energy, ICAE 2017, 21-24 August 2017, Cardiff, uk, Science Direct Energy procedia* 142, 2547-2553, (2017).

[8]. S.b. mousavi, M.M. heyhat, Numerical investigation of convective heat transfer of nanofluid flow over a heated circular cylinder and the effect of thermophysical models,

Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Second International Conference on Air-Conditioning, Heating and Cooling Installations, 16, 123-126, (2016).

[9]. F. razi, S.a. mousavi, A review of the effect of nanofluids to reduce water loss and improve thermal properties in cooling towers, Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Sciences and Technologies, University of thehran, Tehran, *Iranian Journal of Ecohydrology*, 5, 1007-1015, (2018).

[10]. G. Sargazi, D. Afzali, N. Daldosso, H. Kazemian, N. Chauhan, Z. Sadeghian, T. Tajerian, A. Ghafarinazari, M. Mozafari, A systematic study on the use of ultrasound energy for the synthesis of nickel-metal organic framework compounds, *Ultrasonics sonochemistry*, 27, 395-402, (2015).

[11]. Rao R.V., Patel V.K. Optimization of mechanical draft counter flow wet-cooling tower using artificial bee colony algorithm. *Energy Conversion and Management*. 52(7), 2611-22, (2011).

[12]. Atarzadeh M.A., Rasouli S, Mehmandoust B. Numerical Analysis the Equations of Heat and Mass Transfer in Cooling Towers. *Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Khomeini Shahr Branch, Khomeini Shahr, Iran*. (2015).

[13]. Alavi SR, Rahmati M. Experimental investigation on thermal performance of natural draft wet cooling towers employing an innovative wind-creator setup. *Energy conversion and management*. 15; 504-14, (2016).

[14]. Xie X, Zhang Y, He C, Xu T, Zhang B, Chen Q. Bench-Scale Experimental Study on the Heat Transfer Intensification of a Closed Wet Cooling Tower Using Aluminum Oxide Nanofluids. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 12;56(20):6022-34, (2017).

در بخش چهارم مطالعه عددی تأثیر دمای نانوسیال ورودی مبدل بر مقدارهای پارامترهای اثرپذیر شامل، دمای خروجی مبدل، ناسلت متوسط و ضریب انتقال گرمای جابه‌جایی متوسط برای نانوسیال آلی- فلزی نیکل نانوسیال آلی- فلزی نیکل و آب پرداخته شد. لازم به ذکر است، کسر حجمی ۲ درصد، سرعت سیال ورودی ۰/۰۵ متر بر ثانیه و شار سرمایشی ثابت هوا ۵۰۰ وات بر مترمربع فرض شد و براساس انتظار با افزایش مقدار دمای ورودی، دمای خروجی افزایش یافت ولی عدد متوسط ناسلت و ضریب انتقال گرمای جابه‌جایی متوسط به‌دلیل عدم تغییر ابعاد هندسی مبدل و کسر حجمی نانوسیال ماندند.

مراجع

[1]. Mohamad Ali, O.Zeitoun, Salem Almotairi, Natural Convection Heat Transfer Inside Vertical Circular Enclosure filled with Water-based Aluminum Oxide Nanofluid, *Int. J. Thermal Sci.* 63, 115-124, (2013).

[2]. Manal Hadi, Hayder Ibrahim, Natural Convection of Nanofluid in Cylindrical Enclosure Filled with Porous Media, 20, 20-29, (2013) .

[3]. Moradia, H., Bazooyarm B, Influence of the geometry of cylindrical enclosure on natural convection heat transfer of Newtonian nanofluids, 21, 12-19, (2015).

[4]. Meng, X, Li, Y, Numerical study of natural convection in a horizontal cylinder filled with water-based alumina nanofluid, *Nanoscale Research Letters* 31, 111-118, (2015).

[5]. M Gupta, V Singha, R Kumara, Z. Saidb A review on thermophysical properties of nanofluids and heat transfer applications, Department of Mechanical Engineering, Guru Jambheshwar University of Science & Technology, Hisar, 31, 45-52, (2012).

b Sustainable and Renewable Energy Engineering (SREE), College of Engineering, University of Sharjah, United Arab Emirate, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 74 , 638-670, (2017).

[6]. S. Nourazar, M. Mohammadpour, Free and forced convectional heat transfer analysis of rectangular porous fin with Differential transformation method, *Modares Mechanical Engineering*, 17, 393-400, (2017).

[7]. D. Han, W.F. He, F.Z.A. sif, Experimental study of heat transfer enhancement using nanofluid in double tube



[15]. Goodarzi, M., Kiasat, M., Influence of nanoparticle immersed in water on Thermal performance of wet cooling tower. *1th tajhizatconf., Tehran, Iran. [Persian]. (2013).*

[16]. Imani-Mofrad P, Saeed ZH, Shanbedi M. Experimental investigation of filled bed effect on the thermal performance of a wet cooling tower by using ZnO/water nanofluid. *Energy Conversion and Management. 1;127:199-207, (2016).*