

شبیه سازی عددی و آزمایشگاهی پارامترهای موثر انتقال حرارت با استفاده از ساختار نوین مغشوش کننده ها در مبدل های حرارتی

در مطالعه حاضر به بررسی تاثیر قرار دادن مغشوش کننده های مختلف در داخل مبدل حرارتی لوله ای بر پارامترهای مهم حرارتی و بازده کلی پرداخته شده است. در این رابطه از روش هایی همچون نرم افزار طراحی آزمایشات و از مجموعه رویه سطح پاسخ (RSM) روش مرکب مرکزی (CCD) برای طراحی آزمایشات استفاده شد. همچنین به جهت تقویت تحلیل بیشتر از روش های عددی و مدل سازی شبکه عصبی نیز بهره گرفته شده است، در ادامه روش های شبیه سازی مذکور مقایسه گردیدند. نتایج این پژوهش در تمام موارد استفاده از مغشوش کننده های جدید افزایش ضریب انتقال حرارت و به تبع آن بهبود عدد ناسلت را نشان می دهد. به طوری که بر خلاف مغشوش کننده های گذشته این مغشوش کننده، علاوه بر چرخش جریان، خود آن هم دارای قابلیت چرخش است. در پایان میانگین درصد خطای مطلق در روش مدل سازی نرم افزار طراحی آزمایش ها و شبکه عصبی به ترتیب برابر ۱۰/۷۷ و ۰/۹۴ درصد می باشد، که این بیانگر دقت بالای روش شبکه عصبی به جهت تعیین پارامتر ضریب اصطکاک است.

بهنام رنجبر^۱

دکترا

احسان جعفریگی^۲

دکترا

مسعود رحیمی^۳

استاد

فائزه محمدی^۴

استادیار

واژه های راهنما: مغشوش کننده، CFD، شبکه عصبی، طراحی آزمایشات، مبدل حرارتی

۱- مقدمه

با توجه به اهمیت نقش انرژی در کشور، استفاده از سیستم هایی که با انرژی کمتر به راندمان بالاتری منتج می گردند بسیار حائز اهمیت می باشند. مهمترین بخشی که در صنعت با مصرف انرژی ارتباط مستقیم دارد، مبدل های حرارتی می باشد [۱ و ۲]. مبدل های حرارتی دستگاه هایی هستند که به کمک آنها می توان در اثر تماس غیر مستقیم دو سیال، سیالی را سرد یا گرم نمود و انتقال حرارت را بین دو یا چند سیال آسان نمود [۳ و ۴]. از طرفی مبدل های حرارتی در دستگاه های مختلف نظیر دیگ بخار، مولد بخار، کندانسور، اواپراتور،

^۱ دکترا، شرکت پالایش و پخش فرآورده های نفتی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران behnamranjbar@gmail.com

^۲ دکترا، گروه مهندسی شیمی و نفت، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه ایلام، ایران ehsanjafarbigi@yahoo.com

^۳ استاد، گروه مهندسی شیمی، دانشکده نفت و مهندسی شیمی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران m.rahimi@razi.ac.ir

^۴ نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی شیمی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

faezeh.mohammadi64@gmail.com

تبخیر کننده‌ها، برج خنک‌کن، پیش گرم‌کن، فن کوئل، رادیاتورها، کوره‌ها و ... کاربرد فراوان دارند [۷-۵]. افزایش نرخ انتقال حرارت به هنگام کاهش فشار از مهمترین مباحث مطرح در حوزه مبدل های حرارتی می باشد. لذا کلیه تکنیک هایی که در این مسیر حرکت می کند بسیار مفید شمرده شده و در حوزه تحقیقات کاربردی محسوب می گردد [۸]. اهمیت افزایش کارایی، موجب گسترش روش هایی به منظور افزایش شار حرارتی انتقالی در این نوع مبدل ها شده است. روش های افزایش انتقال حرارت در سه دسته کلی روش های فعال^۱، روش های انفعالی^۲ و روش های ترکیبی (ترکیب روش های فعال و انفعالی) طبقه بندی می شوند [۹]. در روش فعال به انرژی خارجی نیاز است. در چنین مواردی از میدان الکتریکی، صوتی و یا به نوعی از ارتعاش سطوح استفاده می شود. در روش های غیر فعال به استفاده مستقیم از انرژی خارجی نیاز نیست و از سطوح با آرایش خاص، مانند استفاده از پوشش زبر بر روی سطوح گسترش یافته، سطوح چرخش دهنده با سیال و غیره بکار گرفته می شوند. در روش های فعال به تاسیسات جانبی مثل پمپ و یا دستگاه های ایجاد ارتعاش نیاز دارد. در روش های غیر فعال، اعمال مستقیم انرژی اضافی از بیرون سیستم لازم نیست. در این روش ها انرژی احتمالی مورد نیاز به جهت افزایش انتقال حرارت از منابع توان موجود در خود سیستم و نه توان خارجی تامین می گردد [۱۰]. از مهمترین تکنیک های افزایش انتقال حرارت استفاده از ساختار مغشوش کننده ها می باشد و جدا از این موضوع که استفاده از این تجهیزات باعث افت فشار می گردد ولی در دهه های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۱۱-۱۴].

سارما و همکاران [۱۵] یک سری معادله برای پیش بینی مقادیر مربوط به ضریب اصطکاک و ضریب انتقال حرارت در لوله هایی که با نوار پیچیده تجهیز شده اند، ارائه نمودند. نتایج آنان نشان داد توافق خوبی بین داده های آزمایشگاهی و معادلات ارائه شده مشاهده می شود. علاوه بر این، ساراس و بالی [۱۶] یک لوله مجهز به تولید کننده های جریان چرخشی از نوع پروانه ای را در سه موقعیت مختلف لوله مورد بررسی قرار دادند، آنان در مطالعه خود توانستند میزان انتقال حرارت را بین ۱۸ تا ۱۶۳ درصد نسبت به لوله در حالت ساده را افزایش دهند.

ایامسا آراد و همکاران [۱۷] آزمایش قبل را مجدد تکرار نمودند اما این بار نسبت پیچش و زاویه پروانه های پره را به جای تغییر موقعیت پروانه ها، تغییر دادند. آنان در پژوهش خود نشان دادند که ضریب انتقال حرارت برای حالتی که $PR=5$ و زاویه پره ۶۰ درجه و تعداد پره ها برابر ۸ باشد، حدود ۲/۰۷ الی ۲/۱۸ برابر لوله ساده و بدون مغشوش کننده می باشد.

رحیمی و همکاران [۱۸] در مطالعه خود اثرات چهار نوع نوار تابیده، بر میزان انتقال حرارت و افت فشار، در مبدل پوسته -لوله را مورد بررسی قرار دادند. آنان، نوارهای طراحی شده خود را در نسبت های پیچش یکسان، اما با نوار کلاسیک پیچ خورده^۳، نوار سوراخ دار پیچ خورده^۴، نوار پیچ خورده کنگره دار^۵، نوار پیچ خورده لبه دار^۶ مورد آزمایش قرار دادند. نتایج آنان نشان داد نوار پیچیده لبه دار به عنوان بهترین گزینه در جهت افزایش

¹ Active

² Passive

³ Classic twisted tape

⁴ Perforated twisted tape

⁵ Notched twisted tape

⁶ Jagged twisted tape

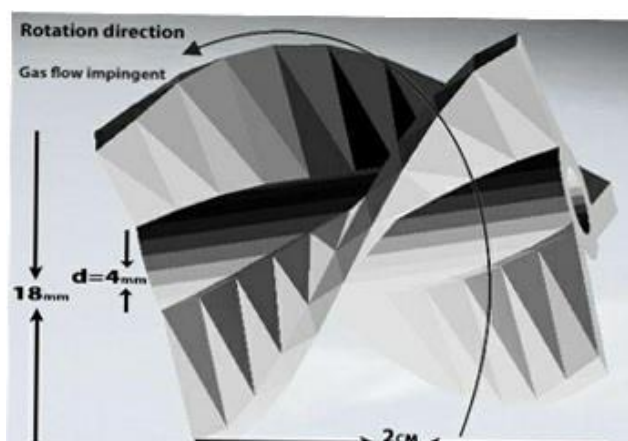
انتقال حرارت و افت فشار، در مبدل پوسته-لوله می باشد. از طرف دیگر، موروگسان و همکاران [۱۹] اثر استفاده از نوار دارای برش های مربع شکل در گوشه ها را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنان نشان داد با توجه به اینکه استفاده از نوار منجر به افزایش $1/14$ برابر ضریب عملکرد می شود، اما باعث افزایش افت فشار نسبت به نوار معمولی می شود. بهویبا و همکاران [۲۰] مطالعات آزمایشگاهی زیادی در خصوص استفاده از لوله های مجهز به مارپیچ دو گانه با زوایای مختلف انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که عدد ناسلت، ضریب اصطکاک با کاهش زاویه مارپیچ در شرایط مشابه افزایش می یابد. راج سینگ سوری و همکاران [۲۱] در پژوهش خود با بکارگیری نوارهای پیچیده با بال های مربعی شکل که شامل چندین سوراخ در جریان سیال و انتقال گرما در مبدل های حرارتی وجود داشت، مطالعه ای انجام دادند. نتایج نشان داد در شرایط عملیاتی مشابه در مبدل های دارای تیوب مغشوش کننده همراه با بال های مربعی و سوراخ متعدد، ضریب عملکرد حرارتی بالاتری در مقایسه با تیوب مغشوش کننده فاقد بال را دارا هستند.

ژانگ و همکاران [۲۲] مطالعه عددی دیگری را بر روی میزان انتقال حرارت در مبدل های حرارتی که لوله های آن با استفاده از پره های سه بعدی پوشیده شده بود و همچنین درانتهای پره ها نیز از مغشوش کننده مارپیچی استفاده شده بود، پژوهشی انجام دادند. مطالعه آنان نشان داد با افزایش عدد رینولدز، عدد ناسلت و همچنین افت فشار افزایش می یابد. در این پژوهش از ساختار جدیدی از مغشوش کننده ها با قابلیت تولید جریان چرخشی در داخل لوله استفاده شده است. بنابراین می توان انتظار داشت که بکارگیری این نوع مغشوش کننده باعث افزایش سرعت انتقال حرارت شود.

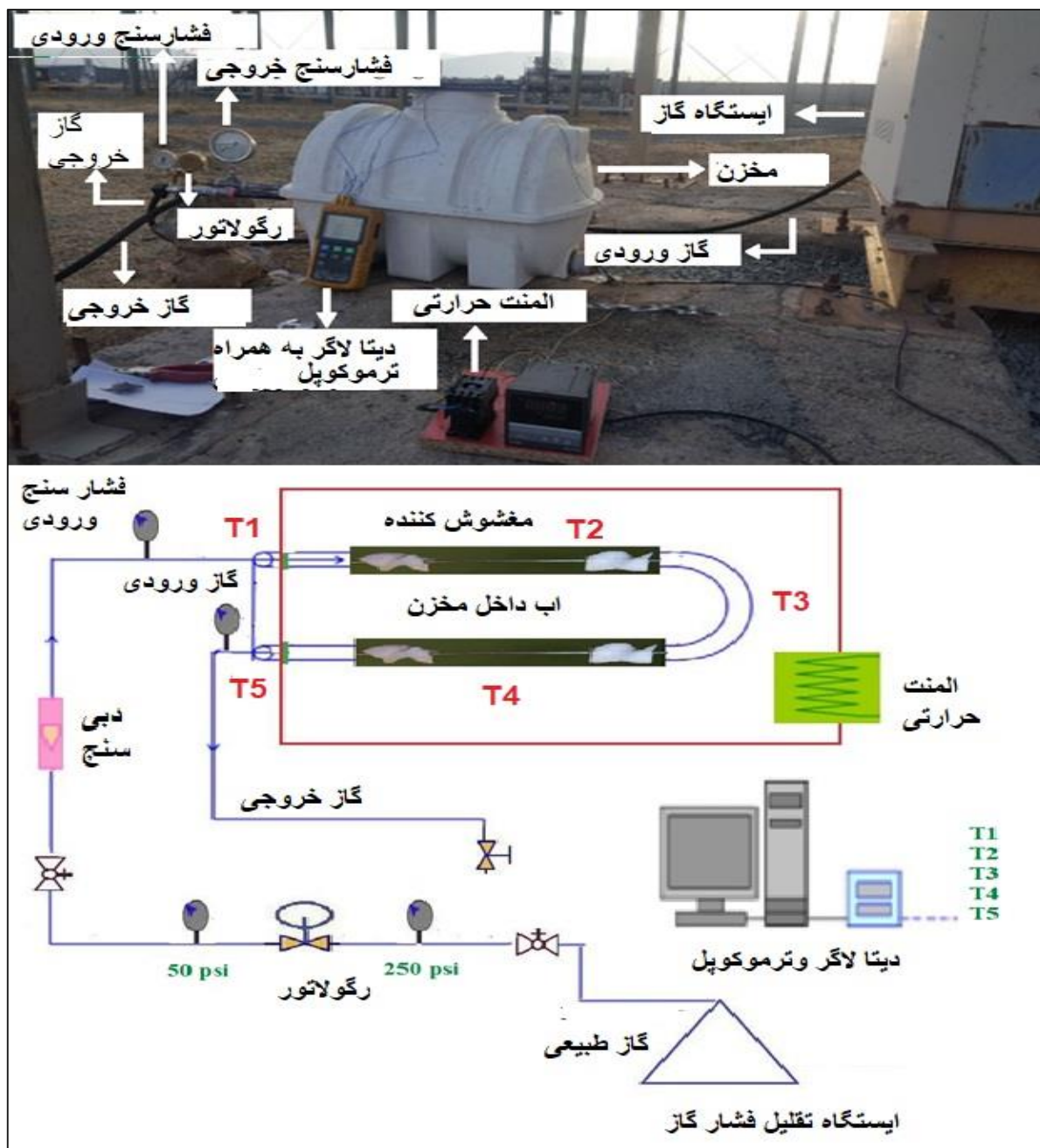
در مطالعات قبلی فقط به یک موضوع خاص در رابطه با مغشوش کننده ها پرداخته شده است؛ به طوری که در این پژوهش یک مطالعه جامعی با بکارگیری روش هایی مانند بهینه سازی با نرم افزار طراحی آزمایشات، مدل سازی شبکه عصبی و مطالعات فازی در راستای افزایش سرعت انتقال حرارت در مبدل های حرارتی با بکارگیری مغشوش کننده های جدید پرداخته شده است. همچنین از آرایش و چیدمان متفاوت مغشوش کننده متفاوت در سرعت های متنوع سیال و دماهای متفاوت آب مخزن در مقیاس آزمایشگاهی از نرم افزار دیزاین اکسپرت، گروه رویه سطح پاسخ (RSM)، روش مرکب مرکزی CCD استفاده شده است. پس از مشخص شدن شرایط بهینه مغشوش کننده منتخب، برای درک بهتر رفتار جریان سیال از دینامیک سیالات محاسباتی استفاده شده و نتایج آن با پژوهش های برتر مقایسه شد. در مطالعه حاضر برای رژیم جریان از RNG مدل اغتشاش K-E استفاده شد و در نهایت نتایج مربوط به پارامترهای انتقال حرارت اکتباس گردید. به جهت بررسی بیشتر روش های مدل سازی نتایج در سه حالت متفاوت تعداد قطعات مغشوش کننده در دمای 40 درجه سلسیوس مقایسه شده است. به طوری که در این رابطه نتایج خیلی خوبی ارائه شد. از طرفی میانگین درصد خطای مطلق (MAPE) برای ارزیابی داده ها برآورده شد؛ که این مقدار برای عدد ناسلت در روش مدل سازی نرم افزار طراحی آزمایش ها (CCD) و شبکه عصبی (ANN) به ترتیب مشخص شدند؛ به طوری که در این مطالعه از برجستگی های کار می توان به بهینه سازی با نرم افزار طراحی آزمایشات و مدل سازی شبکه عصبی و مطالعات فازی در راستای افزایش سرعت انتقال حرارت در مبدل های حرارتی با بکارگیری مغشوش کننده های جدید اشاره نمود؛ به طوری که با توجه به بررسی های انجام شده این کار تاکنون انجام نشده است.

۱-۲- مشخصات مغشوش کننده مورد مطالعه

مغشوش کننده استفاده شده در این پژوهش در شکل (۱) نشان داده شده است طول مغشوش کننده ۲ سانتیمتر و زاویه پره ها ۱۲۰ درجه می باشد. در این رابطه هندسه آن به گونه ای طراحی شده است که به دلیل برخورد گاز برای قرار دادن تیغه ماژول، می تواند به دور شفت خود بچرخد. و از طرفی ماژول می تواند آزادانه بچرخد و برای جلوگیری از حرکت محوری، دو درپوش در دو طرف آن قرار گرفته است. بنابراین سعی شده است که جریان گاز که هنوز سرد است را به سمت دیواره لوله که گرمتر است هدایت کند. در نتیجه یک مؤلفه جریان چرخشی عمود بر جهت جریان اصلی شکل گرفته است. در لوله هایی که از این مدخل ها استفاده می کنند، سیال با عبور از اطراف آن، باعث حرکت بخشی از جریان سیال عمود بر جهت جریان اولیه می شود. این جریان به نام جریان چرخشی شناخته می گردد. این امر باعث افزایش گرادیان دما در کل سطح مقطع شده و منجر به افزایش نرخ انتقال حرارت خواهد شد. به عبارت دیگر، جریان چرخشی ایجاد شده توسط نوار که منجر به افزایش انتقال حرارت جابجایی مرکز گرا می شود، نقش مهمی در انتقال حرارت جریان چرخشی ایفا می کند [۲۳]. بنابراین می توان انتظار داشت که بکارگیری این نوع مغشوش کننده باعث افزایش سرعت انتقال حرارت شود. جهت ساخت طرح مورد نظر از یک مخزن استوانه ای ۱۰۰ لیتری از محتویات آب مقطر و ضد یخ استفاده شده است، در داخل مخزن از المنت حرارتی با توان ۲۰۰۰ وات استفاده شده است که قابلیت افزایش دما را در کوتاه ترین زمان ممکن دارد، و از طرفی در نقطه دمایی مشخصی قابل تنظیم می باشد. به جهت اینکه فشار گاز ثابت ۵۰ psi به سیستم اعمال گردد در ورودی رگولاتور تعبیه شده است که فرآیند تقلیل فشار را انجام می دهد. در سیستم مورد نظر از لوله فولادی با قطر یک اینچ با ضخامت ۰/۱۷۲ اینچ و طول ۱ متر که تحمل فشار مورد نظر را دارد، استفاده گردیده است، همچنین به جهت اندازه گیری دقیق دماهای گاز در سیستم پایلوت بر روی لوله مذکور ۵ نقطه برای اندازه گیری دما تعبیه شده و این نقاط در طول آزمایش توسط ترمومتر اندازه گیری می گردند. برای اندازه گیری مقادیر فشار علاوه بر نصب گیج های فشار به جهت دقت اندازه گیری از تصحیح کننده مدل Actaris بهره گرفته شده است. با عنایت به این موضوع که در روند انجام آزمایشات از سرعت های متفاوت گاز طبیعی استفاده شده است. نیاز است این پارامتر اندازه گیری گردد، بدین منظور از دستگاه سرعت سنج Hot Wire بکارگیری شده است. در نهایت طرح شماتیک پایلوت مورد نظر مطابق شکل (۲) ارائه شده است.



شکل ۱- نمای کلی از هندسه مغشوش کننده مورد استفاده شده



شکل ۲- طرح کلی شماتیک دستگاه آزمایش

۲-۲- روش آزمایش

روش آزمایش بدین صورت است که اولاً، اندازه گیری در سرعت های مختلف ۵، ۱۰ و ۱۵ متر بر ثانیه و در دماهای مختلف ۴۰، ۴۵ و ۵۰ درجه سانتیگراد در یک مورد بدون مغشوش کننده صورت گرفته می شود سپس آزمایش ها برای شرایط مشابه بالا با ۶ آرایش از مغشوش کننده ها با تعداد های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ در امتداد هم تکرار می شوند با توجه به شکل شماره (۲) پنج عدد ترموکوپل در مقاطع مختلف لوله تعبیه شده است که اندازه گیری دما در سطح لوله را انجام میدهد. بعنوان نمونه دمای ورودی لوله و T_2 دمای خروجی لوله را نشان می دهد. همچنین فشار ورودی و فشار خروجی نیز توسط فشار سنج تعبیه شده در مقاطع به ترتیب ورودی و خروجی اندازه گیری می شود.

۲-۳- عدم قطعیت در مطالعه تجربی

آزمایش عدم قطعیت مطابق جدول ۱ لحاظ شده است. باید به این نکته توجه داشت که پارامترهای دانسیته و ضریب هدایت حرارتی (K) و ظرفیت ویژه حرارتی (cp) نادیده گرفته شده است. با توجه به عدم قطعیت های فوق، حداکثر عدم قطعیت کلی در محاسبه اعداد ناسلت (Nu) به ترتیب ۳/۷٪ و ۲/۹٪ محاسبه شده است. علاوه بر این، مقادیر مشابه برای ضریب اصطکاک (f) به ترتیب ۴/۱٪ و ۰/۳٪ محاسبه می شود.

۳- پردازش داده ها

به منظور استفاده بهینه از نتایج آزمایشگاهی داده های اندازه گیری شده بصورت روابط زیر قابل محاسبه می باشد: در مرحله نخست سرعت انتقال حرارت بصورت رابطه (۱) محاسبه می گردد.

$$Q = mC_p(T_0 - T_i) \quad (1)$$

در اینجا m معرف دبی جرمی سیال، T_0 دمای خروجی و T_i دمای ورودی به لوله است. از سوی دیگر میزان انتقال حرارتی که از سیال به محیط انتقال می یابد توسط رابطه (۲) محاسبه می گردد. [۲۴]

$$Q = hA(\bar{T}_W - T_b) \quad (2)$$

در اینجا T_W درجه حرارت موضعی دیواره است و در سطح بیرونی لوله اندازه گیری می گردد. و \bar{T}_W میانگین مقادیر دما در نقاط اندازه گیری می باشد و بصورت رابطه (۳) و (۴) اندازه گیری می شود.

$$\bar{T}_W = \sum T_W / 5 \quad (3)$$

$$T_b = (T_i + T_o) / 2 \quad (4)$$

در رابطه (۴) T_b معرف دمای توده ی سیال است.

جدول ۱- اطلاعات مربوط به آزمایش عدم قطعیت

منبع خطا	نام متغیر	خطای بایاس	واحد
دیمانسیون لوله	D,L	0.1	mm
دمای گاز	T	0.1	°C
فشار گاز	P	0.1	bar
سرعت گاز	u	0.1	m/s

برای محاسبه ضریب انتقال حرارت از رابطه (۵) استفاده می شود.

$$h = mc_p(T_0 - T_i) / A(\bar{T}_w - T_b) \quad (۵)$$

در نهایت پارامتر بدون بعد ناسلت متوسط را از رابطه (۶) محاسبه می نماییم.

$$Nu_m = (hD_h)/k \quad (۶)$$

علاوه بر این عدد رینولدز و ضریب اصطکاک متوسط به ترتیب توسط معادلات (۷) و (۸) مشخص می گردد.

$$Re = (\rho u D_h)/\mu \quad (۷)$$

$$f = (2D\Delta P)/(\rho Lu^2) \quad (۸)$$

برای امکان مشاهده بهتر مطالعات صورت گرفته در جریان مغشوش و تکنیک های استفاده از مغشوش کننده ها نیاز است که مؤلفه ای واحد را پیشنهاد داد که با استفاده از آن می توان عملکرد یک مغشوش کننده در مبدل حرارتی را تعیین نمود. پارامتر راندمان حرارتی- هیدرولیکی (پرفورمنس) بطور کلی به معنی در نظر گرفتن اثرات بهبود انتقال حرارت و افزایش افت فشار بصورت همزمان می باشد و مطابق رابطه (۹) تعریف می گردد [۲۵].

$$\text{Performance } (\eta) = \frac{NU}{NU0} \frac{1}{\left(\frac{f}{f_0}\right)^{\frac{1}{3}}} \quad (۹)$$

بنابراین با ثابت در نظر گرفتن عدد پرانتل، ضریب راندمان مبدل حرارتی به ازای توان پمپاژ ثابت توسط رابطه (۹) قابل محاسبه می باشد [۲۵]. در تعریف فوق پارامترهای $NU0$ و f_0 به ترتیب اعداد ناسلت و ضریب اصطکاک در حالت بدون استفاده از مغشوش کننده می باشد.

۴- مدل سازی با شبکه عصبی

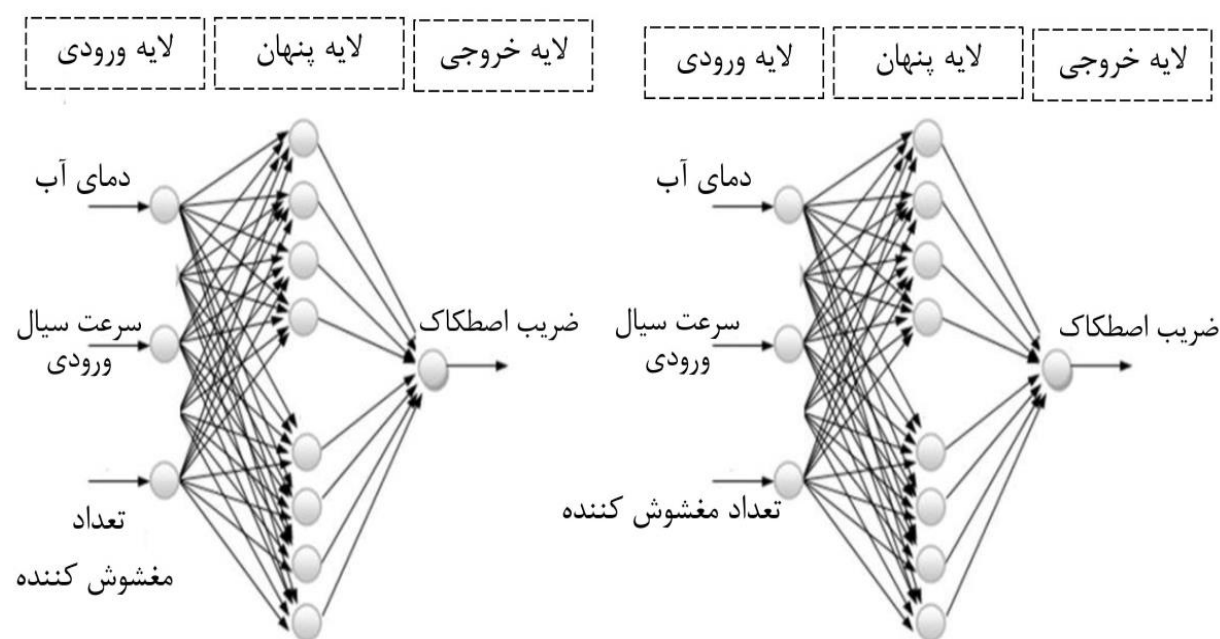
شبکه های عصبی مصنوعی همان طور که از نامشان مشخص است شبکه های محاسباتی هستند که تلاش می کنند شبکه سلول های عصبی (نورون) از سیستم عصبی زیستی (انسان یا حیوان) را به شیوه ای کلی شبیه سازی کنند. تعداد نرون ها در لایه های ورودی و خروجی به ترتیب با توجه به تعداد متغیرهای ورودی و خروجی تعیین می شوند، درحالی که در لایه ی پنهان تعداد متفاوتی نرون می توان بکار برد که تعداد آن نقش مهمی در دقت نتایج خواهد داشت [۲۶].

در شبکه عصبی مصنوعی اطلاعات از طریق اتصالات نرون ها در لایه های مجاور منتقل می‌شوند. خروجی نهایی شبکه با استفاده از رابطه (۱۰) بدست می‌آید:

$$Y = F_P \left\{ \sum_{j=1}^n W_{kj} \left[F_t \left(\sum_{i=1}^m W_{ji} X_i + b_j \right) \right] + b_k \right\} \quad (10)$$

که در آن Y به پاسخ نهایی شبکه، X ورودی شبکه، W وزن، b بایاس، n تعداد نرون‌های لایه پنهان، m تعداد ورودی‌ها و i، j و k به ترتیب مربوط به لایه‌های ورودی، پنهان و خروجی می‌شوند و F نیز تابع انتقال است. متغیرهای ورودی شامل تعداد قطعات مغشوش کننده، سرعت ورودی سیال و دمای آب می‌باشد و متغیرهای خروجی شامل عدد ناسلت و ضریب اصطکاک است که در شکل (۳) نشان داده شده است. برای اعمال شبکه عصبی در پژوهش حاضر، از جعبه افزار ANN در نرم افزار متلب استفاده شده است. در این مدل سازی از الگوریتم انتشار برگشتی و روش آموزش لوببرگ-مارکوات استفاده شده است. همچنین از روش سعی و خطا که در اکثر تحقیقات معمول است، بکارگیری شده است، به طوری که تعداد متفاوتی از نرون ها در لایه پنهانی بکار برده شد و در نهایت تعداد نرون بهینه برای هر شبکه تعیین شد. فرمول‌های تعیین خطای بکار رفته در اینجا به ترتیب عبارتند از: متوسط خطای نسبی، متوسط مربع خطا و کسر مطلق واریانس مطابق روابط (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) نشان داده شده است [۲۷].

$$MRE(\%) = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{|t_i - y_i|}{t_i} \right) \quad (11)$$



شکل ۳- مدل سازی شبکه‌های عصبی پروژک کنونی

$$MRE(\%) = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{|t_i - y_i|}{t_i} \right) \quad (11)$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - y_i)^2 \quad (12)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (t_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^N t_i^2} \quad (13)$$

۵- مدل سازی با نرم افزار طراحی آزمایشات

برای بهینه سازی و اعتبار سنجی نتایج این پژوهش، از نرم افزار Design Expert (Stat-Ease) با طراحی مرکب مرکزی (CCD) و روش سطح پاسخ (RSM) استفاده شد [۲۸].

۶- بررسی اعتبارسنجی

در ابتدا به منظور اطمینان از صحت نتایج بدست آمده از آزمایش، نتایج با روابط پیشنهادی در دیگر تحقیقات مقایسه شده است. برای مقایسه عدد ناسلت سیال پایه (آب) اندازه گیری شده از معادله معروف گلسینکی [۲۹] استفاده شده که در معادله (۱۴) نشان داده شده است.

$$NU = \frac{\left(\frac{f}{8}\right)(Re - 1000)pr}{1 + 12.7\left(\frac{f}{8}\right)^{1/2}(pr^{2/3} - 1)} \quad (14)$$

و برای اعتبارسنجی نتایج بدست آمده از افت فشار، نتایج آزمایش سیال پایه (آب) با رابطه پتخوف و ضریب اصطکاک مربوطه مقایسه شده است.

$$f = (0.79 \ln(Re) - 1.64)^{-2} \quad (15)$$

۷- نتایج

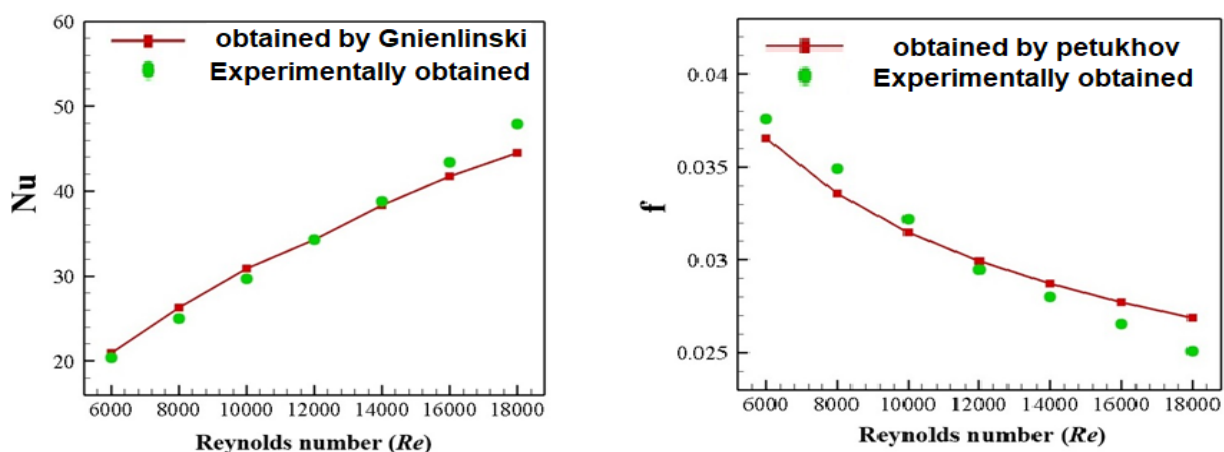
۷-۱- اعتبار سنجی نتایج آزمایشگاهی

قبل از انجام آزمایشات در لوله مجهز به مغشوش کننده، اعداد ناسلت و ضریب اصطکاک در لوله ساده محاسبه شده است. سپس نتایج بدست آمده برای عدد ناسلت با معادله معروف گلسینکی و برای ضریب اصطکاک با

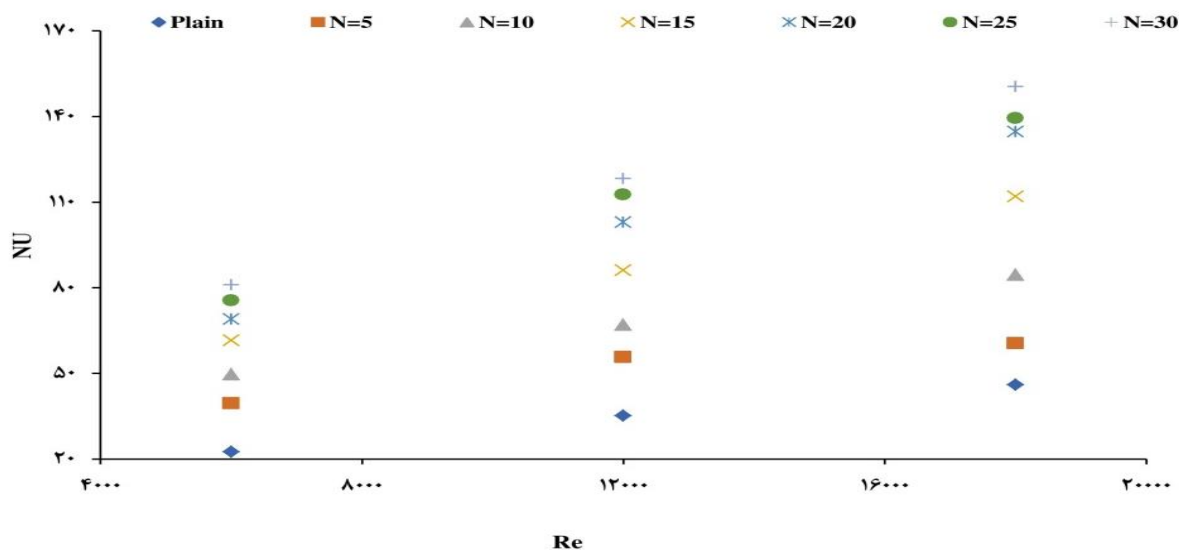
معادله پتخوف مقایسه شده است. به طوری که در این رابطه، نتایج در شکل (۴) نشان داده شده است. بصورت کلی نتایج محاسبه شده با نتایج روابط مطرح شده همخوانی نسبتاً مناسبی داشته است. نتایج محاسبه شده برای عدد ناسلت بطور میانگین ۹/۷ درصد با رابطه گل‌سینکی اختلاف دارد [۲۹]. همچنین نتایج محاسبه شده برای ضریب اصطکاک بطور میانگین ۷/۶ درصد با رابطه ضریب اصطکاک پتخوف اختلاف دارد [۳۰].

۷-۲- نتایج آزمایشگاهی اندازه گیری پارامترهای انتقال حرارت

تغییرات عدد ناسلت با تغییر عدد رینولدز در شکل (۵) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش عدد رینولدز عدد ناسلت افزایش می‌یابد. از طرفی با افزایش تعداد قطعات مغشوش کننده شاهد افزایش عدد ناسلت خواهیم بود. دلیل این امر را می‌توان به علت افزایش بی‌نظمی در جریان و نیز ایجاد جریان چرخشی و افزایش گردابه‌ها دانست. این دو عامل باعث افزایش مکانیسم انتقال حرارت ناشی از گردابه، علاوه بر مکانیسم نفوذ مولکولی می‌شود.



شکل ۴- مقایسه نتایج حاصل از آزمایش برای ضریب اصطکاک و عدد ناسلت با معادلات پتخوف و گل‌سینکی

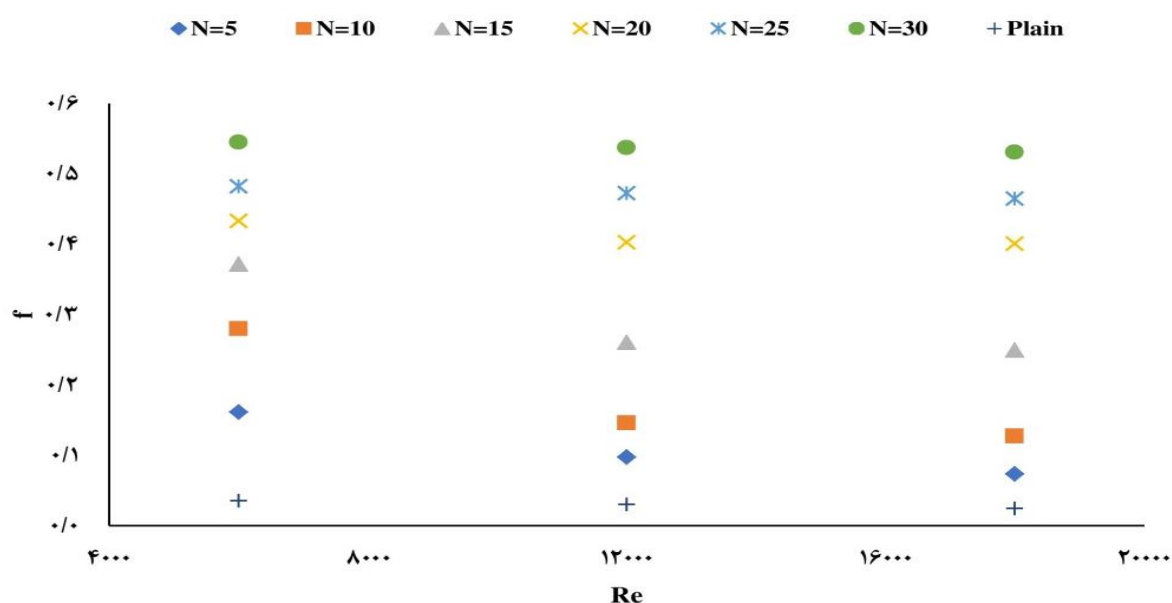


شکل ۵- تغییرات عدد ناسلت برحسب رینولدز در تعداد قطعات مختلف مغشوش کننده

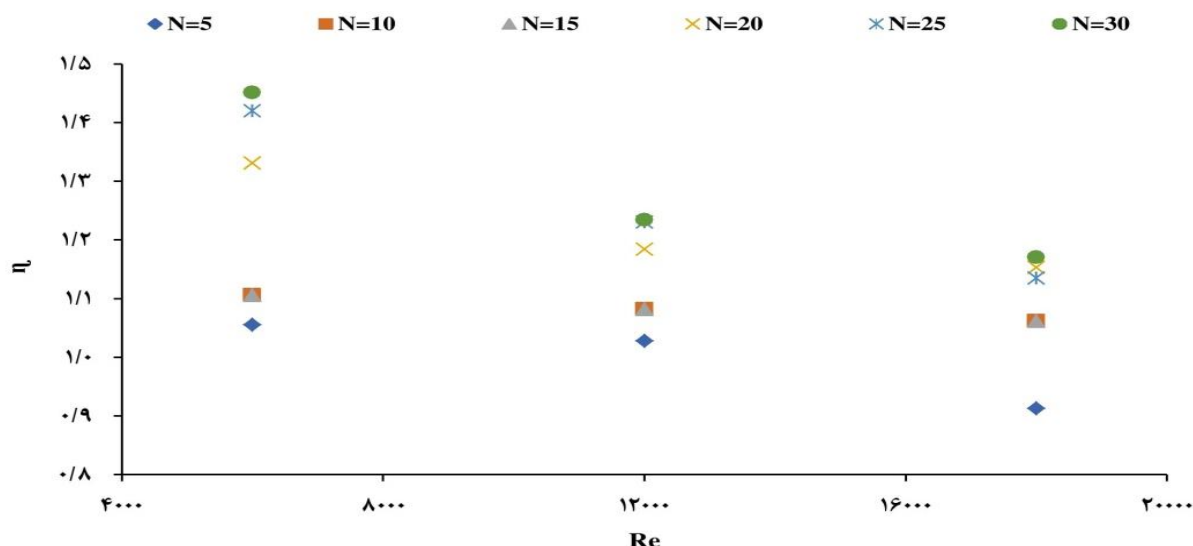
تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب عدد رینولدز در شکل (۶) نشان داده شده است. از شکل اخیر می توان متوجه این نکته شد که در حالتی که مغشوش کننده استفاده نشده است با افزایش عدد رینولدز ضریب اصطکاک کاهش می یابد. برای درک عمیق تر از پارامتر ضریب اصطکاک می بایست به مکانیسم افت فشار اشاره نمود. در لوله بدون مغشوش کننده افت فشار در جریان آشفته تابعی از عدد رینولدز و زبری نسبی می باشد. هر چقدر سرعت و به تبع آن عدد رینولدز افزایش یابد، طبق تعریف عدد رینولدز نیروهای اینرسی نسبت به نیروهای لزجی بیشتر شده و در نهایت ضریب اصطکاک کاهش می یابد. از طرفی ایجاد مانع باعث افزایش افت فشار می گردد که این حالت به دلیل بر هم زدن میدان جریان و ایجاد بی نظمی در مسیر جریان می باشد [۳۱]. بنابراین می توان نتیجه گرفت که بکارگیری مغشوش کننده باعث افزایش افت فشار و ضریب اصطکاک می گردد و از طرفی هر چقدر عدد رینولدز افزایش یابد ضریب اصطکاک کاهش می یابد. با توجه به شکل (۶) می توان متوجه این موضوع شد که با افزایش بکارگیری تعداد قطعات مغشوش کننده ضریب اصطکاک افزایش خواهد یافت.

تغییرات عملکرد راندمان هیدرولیکی-حرارتی بر حسب عدد رینولدز در شکل (۷) نشان داده شده است. همانطور که از شکل (۷) مشاهده می شود با افزایش سرعت و به تبع آن عدد رینولدز راندمان هیدرولیکی-حرارتی کاهش می یابد. علت این موضوع را می توان به کاهش توان و عملکرد مغشوش کننده در اعداد رینولدز بالا نسبت به اعداد رینولدز پایین نسبت داد. هرچه قدر اعداد رینولدز بالاتر باشد ضخامت لایه مرزی کمتر و به تبع آن ضریب عملکرد حرارتی کاهش می یابد. به بیانی دیگر، استفاده از مغشوش کننده در جریان با سرعت و رینولدز کمتر متعاقباً دارای آشفتگی کمتر، و منجر به آشفتگی بیشتر در مقایسه با جریان با رینولدز بیشتر می گردد [۳۲].

البته این موضوع نباید به بی اثر بودن مغشوش کننده قلمداد گردد چون ضریب عملکرد حتی در رینولدز بالا نیز بیشتر از یک می باشد.



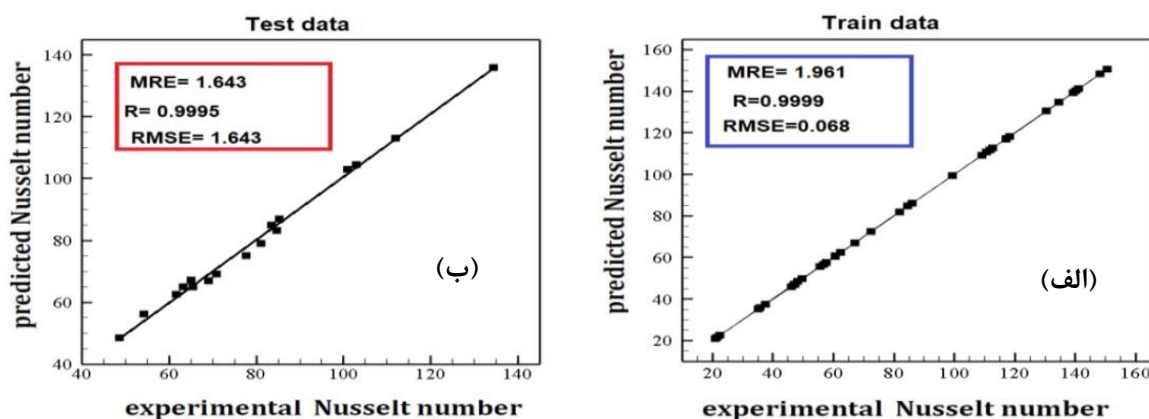
شکل ۶- تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب عدد رینولدز در تعداد قطعات مختلف مغشوش کننده



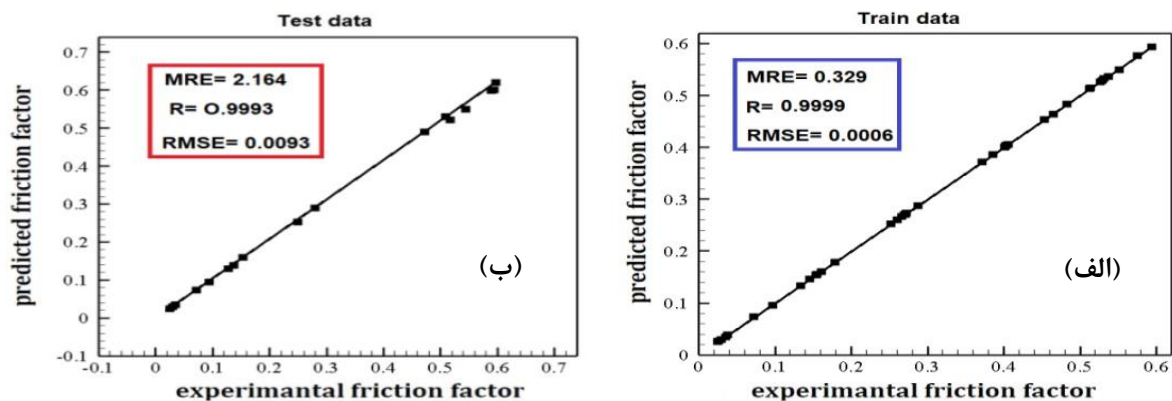
شکل ۷- تغییرات راندمان هیدرولیکی-حرارتی برحسب عدد رینولدز در تعداد قطعات مختلف مغشوش کننده

۷-۳- نتایج مدل سازی شبکه های عصبی

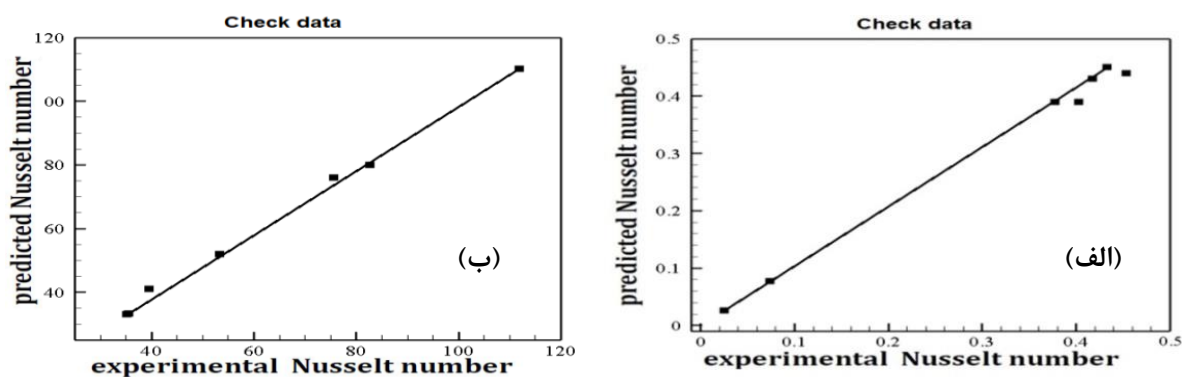
یکی از پارامترهایی که در شبکه های عصبی نیاز به حساسیت سنجی دارد تعداد نورون در لایه پنهان می باشد. بدین منظور تعداد نورون های لایه پنهان با استفاده از روش حدس و خطا مورد بررسی قرار گرفت. و شبکه به ترتیب با تعداد ۱۶ نورون در لایه پنهان به جهت مدل سازی عدد ناسلت و تعداد ۲۰ نورون برای ارزیابی ضریب اصطکاک بهترین عملکرد را دارا بود. شکل (۸) و (۹) تطابق مقادیر پیش بینی شده توسط شبکه ها را با داده های آزمایشی برای مجموعه داده های آموزشی و ارزیابی شبکه نشان می دهند. نقاط این داده ها به نحو مطلوبی به خط ۴۵ درجه نزدیک هستند. این خط معرف پیش بینی کامل می باشد یعنی هر چه نقاط به آن نزدیکتر باشند پیش بینی از دقت بالاتری برخوردار می باشد. همانطور که مشاهده می شود شبکه علاوه بر داده های آموزشی، دقت بالایی در تخمین داده های ارزیابی (یک سوم داده ها) دارد. بالا بودن دقت شبکه های عصبی آموزش داده شده و ارزیابی شده اعتبار مدل را تایید می کند. همچنین با توجه به اینکه ضریب R که ضریب رگرسیون یا همبستگی هست در مدل های اخیر به عدد یک بسیار نزدیک است و صحت مدل را تأیید می نماید.



شکل ۸- (الف) و (ب) مقادیر داده های آموزشی برحسب مقادیر آزمایشگاهی به جهت تخمین عدد ناسلت



شکل ۹- الف) و ب) مقادیر داده های آموزشی برحسب مقادیر آزمایشگاهی به جهت تخمین ضریب اصطکاک



شکل ۱۰- مقادیر داده ها به جهت اعتبار سنجی مدل

همانطور که پیشتر عنوان گردید شبکه عصبی علاوه بر تخصیص تعدادی از داده ها جهت آموزش و ارزیابی، تعداد کمی از داده ها را جهت اعتبار سنجی و چک نمودن شبکه اختصاص می دهد که در شکل (۱۰) نشان داده شده است.

۷-۴- محاسبه مدل سازی با نرم افزار طراحی آزمایشات

در این بخش برای بهینه سازی و اعتبار سنجی نتایج پژوهش، با استفاده از نرم افزار Design Expert با طراحی مرکب مرکزی (CCD) و روش سطح پاسخ (RSM) پرداخته شده است. به طوری که در این رابطه نتایج سطح متغیرها در جدول (۲) و همچنین تعداد پاسخ های مورد نیاز آزمایش در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۲- فاکتورها و واحد آنها و مقادیر مینیمم و ماکزیمم آنها

محدوده ها و سطوح تغییرات			نماد	متغیرها
-۱	۰	+۱		
۴۰	۴۵	۵۰	A	دمای آب مخزن (درجه سانتیگراد)
۵	۱۰	۱۵	B	سرعت گاز ورودی (m/s)
۰	۱۵	۳۰	C	تعداد مغشوش کننده ها (N)، تعداد سطوح=۷

جدول ۳- تعداد پاسخ های مورد نیاز آزمایش

مدل	تابع انتقال	انحراف از معیار	Mean	حداکثر	حداقل	تحلیل	واحد	نام متغیر	پاسخ
درجه دوم	ندارد	۰/۰۰۰۰	۲۹۱/۰۰	۲۹۱	۲۹۱	چند جمله ای	°K	T1	R1
درجه دوم	دارد	۳/۸۹	۳۰۱/۰۵	۳۰۶/۹	۲۹۵/۱	چند جمله ای	°K	T2	R2
درجه دوم	دارد	۳/۸۲	۳۰۲/۷۵	۳۰۹/۹	۲۹۴/۸	چند جمله ای	°K	T3	R3
درجه دوم	دارد	۳/۲۱	۲۹۹/۵۳	۳۰۵/۱	۲۹۴/۲	چند جمله ای	°K	T4	R4
درجه دوم	دارد	۲/۳۷	۲۹۷/۰۵	۳۰۱/۹	۲۹۲/۴	چند جمله ای	°K	T5	R5
درجه دوم	دارد	۸۰۹/۰۸	۶۶۷/۷۶	۳۵۰۰	۱۰/۵	چند جمله ای	pa	P2-P1	R6
درجه دوم	دارد	۴/۶۹	۱۱/۹۸	۲۱/۸	۴/۹	چند جمله ای	m/s	U avrage	R7
درجه دوم	دارد	۵۷۸۵/۳۷	۱۴۸۹۹/۹۴	۲۷۲۹۷	۶۱۶۸/۵۸	چند جمله ای		Re	R8
درجه دوم	دارد	۵۲/۷۲	۱۲۱/۷۶	۲۳۰/۶۹۲	۳۱/۹۹۸۲	چند جمله ای	w/m ² .°K	h	R9
درجه دوم	دارد	۳۴/۴۴	۷۹/۳۸	۱۵۰/۵۲۴	۲۰/۹۹۱۸	چند جمله ای		NU	R10
درجه دوم	دارد	۰/۱۹۲۱	۰/۲۹۳۷	۰/۵۹۷۹۱۷	۰/۰۲۴۶۶۷۸	چند جمله ای		f	R11
درجه دوم	دارد	۰/۱۲۴۰	۱/۱۵	۱/۴۵۱	۰/۹۰۳	چند جمله ای		performance	R12

۷-۴-۱- عدد ناسلت

آزمون ANOVA برای مدل درجه دوم، (پاسخ ۱۰: NU) در اطلاعات پشتیبانی شده ذکر شده در جدول (۴) نشان داده شده است. در تحلیل جدول میانگین داده ها میزان تاثیر هر یک از پارامترها و یا ترکیب پارامترهای آزمایش بصورت پارامتری به نام p-value تعیین می گردد. هر چقدر میزان p-value کمتر باشد معرف این موضوع است که تاثیر این پارامتر بر تابع هدف بیشتر می باشد. از طرفی مقدار برای این مدل F-Value مقدار ۱۶۲۴/۸۹ می باشد که نشانگر معنا بودن مدل می باشد. در جدول مذکور جملاتی که مقدار p-value آنها کوچکتر از ۰/۰۵ است معنا دار می باشند (دمای تانک، سرعت ورودی سیال، تعداد مغشوش کننده، برهمکنش سرعت ورودی سیال و تعداد مغشوش کننده و توان دوم تعداد مغشوش کننده). جملاتی که مقدار آن بزرگتر از ۰/۱ است در مدل فاقد معنا می باشند. همچنین مشخص است که برای تحلیل عدد ناسلت معادله درجه دوم مناسب ترین مدل می باشد زیرا مقدار p-value برای آن کمتر از ۰/۰۵ می باشد. به عبارت دیگر هر چه مقدار پارامتر lack-of-fit بزرگتر باشد تغییرات داده ها حول مدل فیت شده کمتر است و مدل قابل اطمینان تر است. برای تعیین سطح اعتبار و صحت مدل، مقدار ضرایب همبستگی (R^2 و R^2_{adj}) دارای اهمیت می باشد. هر چقدر این دو عدد

به سمت یک تمایل داشته باشند، داده‌ها تطابق بیشتری با مدل مربوطه دارند. جدول (۵) نتایج ضریب همبستگی برای عدد ناسلت را نشان می‌دهد. از دیگر پارامترهای جدول، Precision Adeq است که نسبت سیگنال به نویز است، و مقدار بزرگتر از ۴ برای آن مناسب است. با توجه به اعداد بدست آمده و نکات فوق، مدل بدست آمده دارای سطح اعتبار بالایی است.

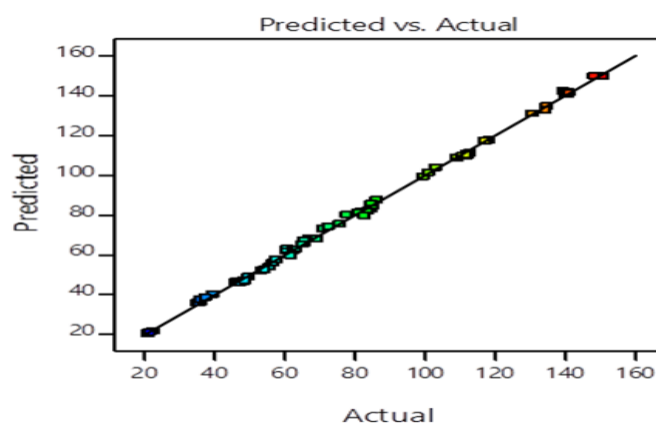
شکل (۱۱) نشان دهنده میزان تطابق مقادیر بدست آمده از آزمایشات در مقابل نتایج پیش‌بینی شده توسط مدل می‌باشد. از آنجایی که داده‌ها تقریباً حول خط $y=x$ پراکنده شده‌اند، می‌توان گفت که مدل ارائه شده از دقت بالایی برخوردار می‌باشد و این نمودار بر درستی مقادیر ضرایب همبستگی صحت می‌گذارد. در شکل (۱۲) نحوه تغییرات عدد ناسلت تحت تاثیر دو متغیر دما و سرعت ورودی سیال بصورت نمودار دو بعدی نشان داده شده است. همچنین مطابق با شکل (۱۳) الف در نمودار برهم‌کنشی برای AB مشاهده نمی‌شود که در جدول آنوا هم مقدار p برای این برهم‌کنش معنادار نبود و دو خط همدیگر را قطع نکرده‌اند، بنابراین این دو پارامتر با هم برهم‌کنش ندارند. همچنین مقدار p-value برای AC هم معنی‌دار نبود. اگر تغییرات عدد ناسلت را فقط بر حسب دمای سیال داخل مخزن بررسی نماییم نمودار دو فاکتوری شکل (۱۳) بهترین گزینه برای بررسی می‌باشد. نتایج نشان دهنده این موضوع است که در تمامی دماهای مورد نظر، هر چقدر تعداد قطعات مغشوش کننده افزایش یابد، عدد ناسلت نیز افزایش پیدا می‌کند. اگر تغییرات عدد ناسلت را فقط بر حسب سرعت سیال داخل تانک بررسی نماییم نمودار دو فاکتوری شکل (۱۳) ب، به بهترین شکل نتایج را نشان می‌دهد. شکل (۱۳) ب نمایانگر این موضوع است که هر چقدر تعداد مغشوش کننده‌ها افزایش یابد و سرعت سیال ورودی بیشتر باشد، عدد ناسلت نیز افزایش پیدا می‌کند.

جدول ۴- نتایج تست ANOVA برای عدد ناسلت بر حسب متغیرها

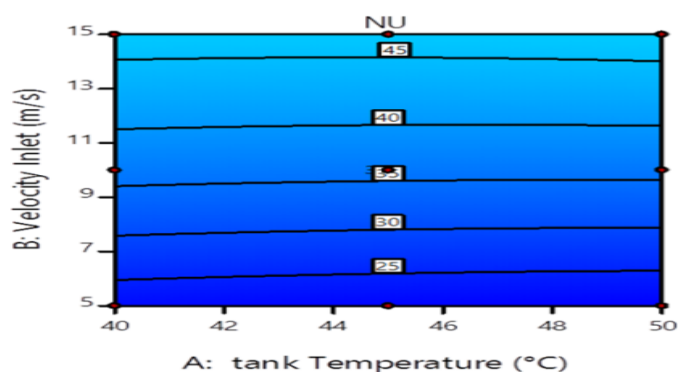
منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F-value	p-value
مدل	۸۷۶۴۷/۶۳	۲۳	۳۸۱۰/۷۷	۱۶۲۴/۸۹	<۰/۰۰۰۱
A: دمای مخزن	۴۳/۵۳	۱	۴۳/۵۳	۱۸/۵۶	<۰/۰۰۰۱
B: سرعت ورودی	۲۴۷۲۹/۴۵	۱	۲۴۷۲۹/۴۵	۱۰۵۴۴/۵۱	<۰/۰۰۰۱
C: تعداد مغشوش کننده	۵۹۰۴۹/۵۶	۶	۹۸۴۱/۵۹	۴۱۹۶/۴۰	<۰/۰۰۰۱
AB	۴/۰۹	۱	۴/۰۹	۱/۷۴	۰/۱۹۲۷
AC	۱۷/۰۴	۱	۲/۸۴	۱/۲۱	۰/۳۱۶۱
BC	۳۷۳۷/۳۲	۶	۶۲۲/۸۹	۲۶۵/۶۰	<۰/۰۰۰۱
A ²	۰/۷۷۲۵	۱	۰/۷۷۲۵	۰/۳۲۹۴	۰/۵۶۸۵
B ²	۹۱/۵۵	۱	۹۱/۵۵	۳۹/۰۴	<۰/۰۰۰۱
باقیمانده	۱۱۹/۶۱	۵۱	۲/۳۵		
کمبود انطباق	۱۱۹/۶۱	۳۹	۳/۰۷		
خطای خالص	۰/۰۰۰۰	۱۲	۰/۰۰۰۰		
همبستگی کل	۸۷۷۶۷/۲۴	۷۴			

جدول ۵- نتایج ضرایب همبستگی برای مدل مربوط به عدد ناسلت.

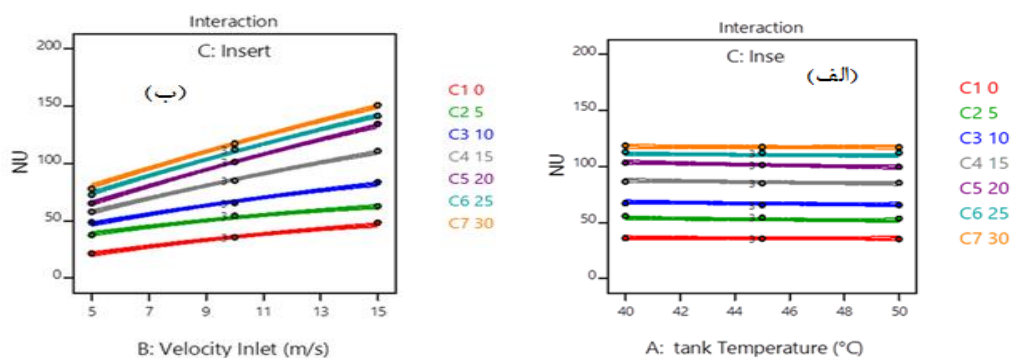
Std. Dev.	۱/۵۳	R ²	۰/۹۹۸۶
Mean	۷۹/۳۸	Adjusted R ²	۰/۹۹۸۰
C.V. %	۱/۹۳	Predicted R ²	۰/۹۹۶۵
		Adeq Precision	۱۴۹/۲۴۲۳



شکل ۱۱- مقایسه داده‌های واقعی برای عدد ناسلت با مقادیر پیش بینی شده



شکل ۱۲- تاثیر تغییر همزمان دو متغیر دمای مخزن و سرعت ورودی بر عدد ناسلت



شکل ۱۳- الف) تاثیر تغییرات دمای مخزن بر روی عدد ناسلت در سطوح مختلف مغشوش کننده و ب) تاثیر تغییرات سرعت ورودی سیال بر روی عدد ناسلت در سطوح مختلف مغشوش کننده

۷-۴-۲- مدل بدست آمده برای ضریب اصطکاک

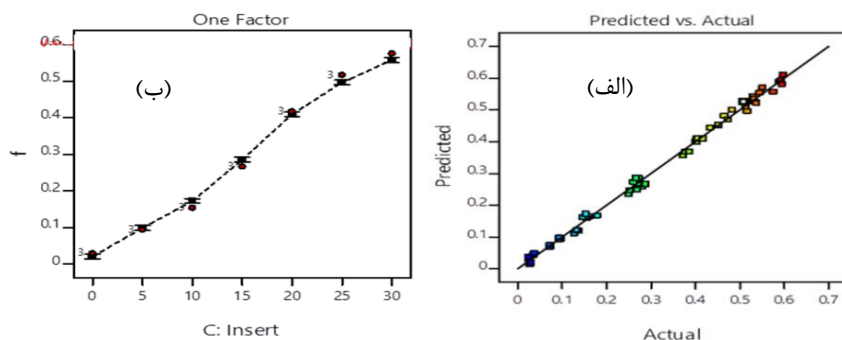
در این بخش به بررسی بهتر مطالعه صورت گرفته در جریان آشفته و تکنیک‌های استفاده از مغشوش کننده ها در رابطه با عملکرد یک مغشوش کننده در مبدل حرارتی پرداخته شده است. که در این رابطه در جدول (۶) نتایج تجزیه و تحلیل ANOVA برای ضریب اصطکاک به عنوان پاسخ ارائه شده است.

مقدار p-value کمتر از ۰/۰۵ نشانه‌ی تاثیر گذار بودن مدل و پارامترهای مورد بررسی می‌باشد، که در این مورد، A, B, C, AC, BC, B^2 از موارد تاثیر گذار در مدل می‌باشند.

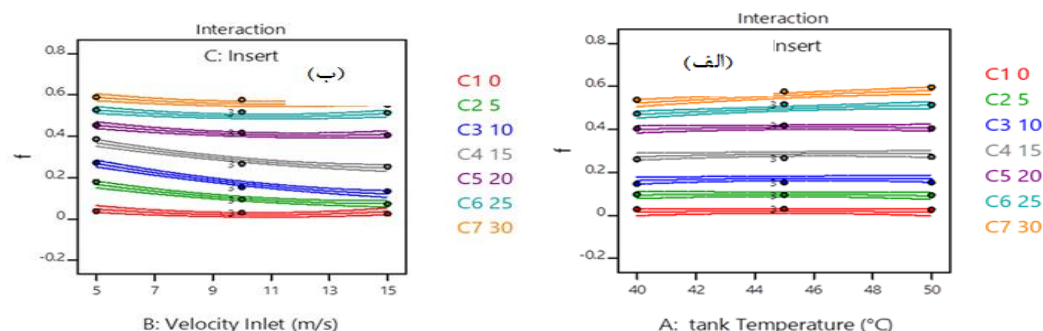
نمودار مربوط به اثرات متغیرها برای تاثیر تعداد مغشوش کننده ها بر ضریب اصطکاک، در شکل (۱۴) الف و ب نشان داده شده است. همان طور که شکل (۱۴) ب بطور واضح نشان می‌دهد، با افزایش تعداد مغشوش کننده ها ضریب اصطکاک افزایش یافته است. از طرفی هم شکل (۱۵) الف نمودار برهم‌کنش دو فاکتوری دمای مخزن و تعداد مغشوش کننده ها را نشان می‌دهد. همانطور که در جدول آنوای مربوطه مشاهده شد این تداخل مهم است و بیان می‌کند که با افزایش دمای مخزن تغییر محسوسی در مقدار ضریب اصطکاک پدید نمی‌آید، ولی با افزایش تعداد مغشوش کننده ضریب اصطکاک هم افزایش می‌یابد. همچنین شکل (۱۵) ب نمودار برهم‌کنش دو فاکتوری سرعت ورودی سیال و تعداد مغشوش کننده را نشان می‌دهد، همانطور که در جدول (۵) مشاهده شد این تداخل مهم و معنادار است و نشان می‌دهد با افزایش سرعت ورودی سیال مقدار ضریب اصطکاک کمتر شده ولی با افزایش تعداد قطعات مقدار ضریب اصطکاک به طور محسوسی افزایش پیدا می‌کند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در سرعت پایین ورودی سیال و تعداد قطعات بیشتر ضریب اصطکاک بیشتری حاصل می‌شود.

جدول ۶- تجزیه و تحلیل ANOVA برای ضریب اصطکاک

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F-value	p-value
مدل	۲/۷۲	۲۳	۰/۱۱۸۲	۵۲۲/۶۷	<۰/۰۰۰۱
A: دمای مخزن	۰/۰۰۳۴	۱	۰/۰۰۳۴	۱۵/۰۰	<۰/۰۰۰۳
B: سرعت ورودی	۰/۰۴۳۵	۱	۰/۰۴۳۵	۱۹۲/۵۷	<۰/۰۰۰۱
C: تعداد مغشوش کننده	۲/۶۱	۶	۰/۴۳۵۴	۱۹۲۵/۶۲	<۰/۰۰۰۱
AB	۰/۰۰۰۰۰۳۹	۱	۰/۰۰۰۰۰۳۹	۰/۰۱۷۴	۰/۱۹۵۶
AC	۰/۰۰۴۹	۶	۰/۰۰۰۸	۳/۶۵	۰/۰۰۴۳
BC	۰/۰۲۷۷	۶	۰/۰۰۴۶	۲۰/۳۹	<۰/۰۰۰۱
A ²	۰/۰۰۰۶	۱	۰/۰۰۰۶	۲/۵۵	۰/۱۱۶۴
B ²	۰/۰۰۸۶	۱	۰/۰۰۸۶	۳۸/۱۰	<۰/۰۰۰۱
باقیمانده	۰/۰۱۱۵	۵۱	۰/۰۰۰۲		
کمبود انطباق	۰/۰۱۱۵	۳۹	۰/۰۰۰۳		
خطای خالص	۰/۰۰۰۰	۱۲	۰/۰۰۰۰		
همبستگی کل	۲/۷۳	۷۴			



شکل ۱۴- الف) مقایسه داده های واقعی برای ضریب اصطکاک با مقادیر پیش بینی شده ب) تاثیر افزایش تعداد مغشوش کننده ها بر ضریب اصطکاک



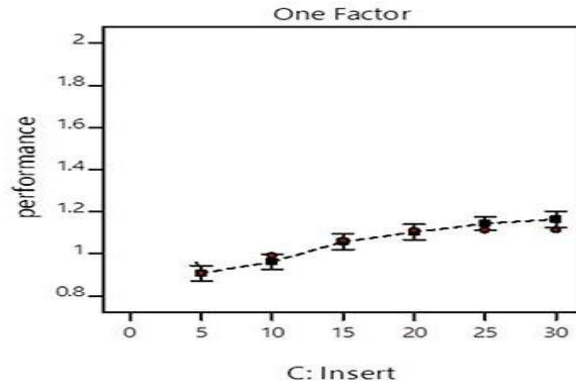
شکل ۱۵- الف) تاثیر افزایش دمای مخزن بر ضریب اصطکاک در سطوح مختلف از مغشوش کننده و ب) تاثیر افزایش سرعت سیال بر ضریب اصطکاک در سطوح مختلف از مغشوش کننده

۷-۴-۳- مدل بدست آمده برای راندمان حرارتی

در این بخش در جدول ۷ نتایج تست ANOVA برای مدل بدست آمده راندمان حرارتی گزارش شده است. نمودار تک فاکتوری مربوط به اثرات فاکتورهای تعداد مغشوش کننده، دمای مخزن و سرعت ورودی سیال بر روی راندمان حرارتی در شکل (۱۶) نشان داده شده است. با توجه به شکل (۱۶) که مربوط به تأثیر تعداد مغشوش کننده ها بر روی راندمان حرارتی مبدل است، مشاهده می شود که با افزایش تعداد مغشوش کننده ها بازده حرارتی نیز افزایش می یابد. کاهش اولیه کارایی مبدل با قرار دادن مغشوش کننده، مربوط به اثر افت فشار و افزایش ضریب اصطکاک است که بر روی راندمان حرارتی تاثیر معکوس می گذارد.

جدول ۷- نتایج تست ANOVA برای مدل بدست آمده راندمان حرارتی

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F-value	p-value
مدل	۰/۸۷۶۵	۷	۰/۱۲۵۲	۷۶/۵۳	<۰/۰۰۰۱
A: دمای مخزن	۰/۰۱۶۵	۱	۰/۰۱۶۵	۱۰/۰۹	۰/۰۰۲۴
B: سرعت ورودی	۰/۳۰۷۸	۱	۰/۳۰۷۸	۱۸۸/۱۳	<۰/۰۰۰۱
C: تعداد مغشوش کننده	۰/۵۵۲۲	۵	۰/۱۱۰۴	۶۷/۴۹	<۰/۰۰۰۱
باقیمانده	۰/۰۹۱۶	۵۶	۰/۰۰۱۶		
کمبود انطباق	۰/۰۹۱۶	۴۶	۰/۰۰۲۰		
خطای خالص	۰/۰۰۰۰	۱۰	۰/۰۰۰۰		
همبستگی کل	۰/۹۶۸۲	۶۳			

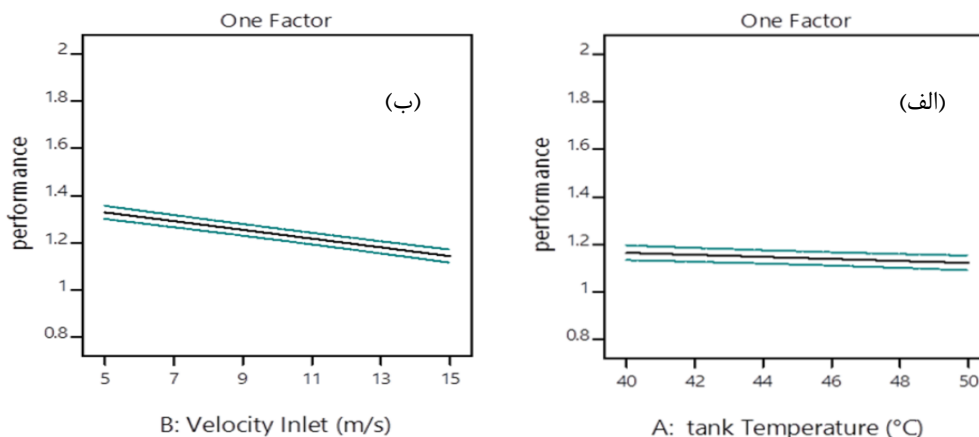


شکل ۱۶- نمودار تک فاکتوری تاثیر تعداد قطعات مغشوش کننده بر راندمان حرارتی

در شکل (۱۷) الف که نمودار تک فاکتوری مربوط به تاثیر دمای مخزن بر روی مقدار بازده حرارتی مشاهده می‌شود که با افزایش دمای مخزن به میزان خیلی کم کاهش در بازده حرارتی وجود دارد و در دمای ۴۰ درجه بالاترین بازده حرارتی بدست می‌آید. این اثر مربوط به تأثیر دما در افزایش آنتروپی حرارتی و افزایش برگشت ناپذیری سیستم است، از همین رو افزایش دما راندمان را تا حدودی کاهش داده است. در شکل (۱۷) ب نمودار تک فاکتوری مربوط به سرعت سیال ورودی در بازده حرارتی مشاهده می‌شود که با افزایش سرعت سیال ورودی از ۵ تا ۱۵ متر بر ثانیه، بازده حرارتی کاهش می‌یابد. این اثر نیز مربوط به تاثیر معکوس افزایش سرعت در آنتروپی اصطکاکی است. افزایش سرعت سیال بازگشت ناپذیری اصطکاکی مبدل را افزایش می‌دهد، از این رو راندمان کاهش می‌یابد.

۷-۵- مقایسه روش های مدل سازی

در این پژوهش مقایسه روش های مدل سازی بدین صورت است که به جهت بررسی نتایج مدل سازی، در دمای ۴۰ درجه سلسیوس در سه حالت تعداد مغشوش کننده متفاوت استفاده شده است و نتایج مطابق جدول (۸) بدست آمده است. همچنین اگر نتایج مذکور را برای ارزیابی پارامتر ضریب اصطکاک لحاظ نماییم. جدول (۹) بدست خواهد آمد.



شکل ۱۷- الف) نمودار تک فاکتوری تاثیر دمای مخزن بر راندمان حرارتی مبدل و ب) نمودار تک فاکتوری تاثیر سرعت سیال بر راندمان حرارتی مبدل

جدول ۸- مقایسه نتایج مدل سازی برای تخمین عدد ناسلت

N=۳۰			N=۱۰			N=۰			Re
ANN	CCD	EXP	ANN	CCD	EXP	ANN	CCD	EXP	
۷۹	۸۴/۵۵	۸۱/۰۱	۴۹/۶۵	۵۲/۵۳	۴۹/۶۱	۲۲/۴۵	۲۳/۵	۲۲/۵	۶۰۰۰
۱۱۸/۳	۱۲۲/۱۵	۱۱۸/۲	۶۶/۹	۷۰/۹۳	۶۶/۹۹	۳۳	۳۷/۲	۳۵/۱۹	۱۲۰۰۰
۱۵۰/۵	۱۵۵/۲۵	۱۵۰/۵۲	۸۴/۷۱	۸۸/۸۳	۸۴/۶۱	۴۵/۹۵	۴۶/۴	۴۶/۰۷	۱۸۰۰۰

جدول ۹- مقایسه نتایج مدل سازی برای تخمین ضریب اصطکاک

N=۳۰			N=۱۰			N=۰			Re
ANN	CCD	EXP	ANN	CCD	EXP	ANN	CCD	EXP	
۰/۵۴۹	۰/۵۵۵	۰/۵۴۴	۰/۲۸	۰/۲۲۷	۰/۲۸	۰/۰۳۵	۰/۰۲۹	۰/۰۳۵	۶۰۰۰
۰/۵۳۷	۰/۵۲۵	۰/۵۳۶	۰/۱۵	۰/۱۵۸	۰/۱۴۵	۰/۰۲۹	۰/۰۲۷	۰/۰۲۹	۱۲۰۰۰
۰/۵۳۲	۰/۵۳۹	۰/۵۳	۰/۱۳	۰/۱۳۴	۰/۱۲۷	۰/۰۲۵	۰/۰۱۹	۰/۰۲۴	۱۸۰۰۰

۸- نتیجه گیری

در پژوهش فوق مقایسه روش های مدل سازی به جهت بررسی نتایج مدل سازی، در سه حالت تعداد مغشوش کننده متفاوت استفاده شد. در این راستا میانگین درصد خطای مطلق برای ارزیابی داده ها برآورد شده است، که این مقدار برای عدد ناسلت در روش مدل سازی نرم افزار طراحی آزمایش ها و شبکه عصبی به ترتیب برابر ۴/۰۷ و ۱/۲۱ درصد می باشد، که نشانگر دقت بالای شبکه عصبی می باشد. از طرفی دیگر میانگین درصد خطای مطلق در روش مدل سازی نرم افزار طراحی آزمایش ها و شبکه عصبی به ترتیب برابر ۱۰/۷۷ و ۰/۹۴ درصد می باشد، که این بیانگر دقت بالای روش شبکه عصبی به جهت تعیین پارامتر ضریب اصطکاک است. همچنین با توجه به این موضوع که میزان R در شبکه های عصبی برای تخمین عدد ناسلت $R=۰/۹۹۹۹$ می باشد و این عدد برای روش طراحی آزمایش ها برابر $R=۰/۹۹۶$ برآورد شده است. بنابراین می توان برای داده های دیگر آزمایش دقت بالاتر شبکه عصبی را تعمیم داد و این موضوع برای پارامتر ضریب اصطکاک نیز صدق می نماید.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله مراتب تشکر و سپاس خود را از مسئولان شرکت پخش فرآورده های نفتی منطقه کرمانشاه به دلیل حمایت در انجام این تحقیق اعلام می دارند.

مراجع

[1] Miansari, M., Valipour, M.A., Arasteh, H., and Toghraie, D., "Energy and Exergy Analysis and Optimization of Helically Grooved Shell and Tube Heat Exchangers by using Taguchi Experimental Design", Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol. 139(5), pp. 3151-3164, (2020).

- [2] Maghrabie, H.M., Attalla, M., Fawaz, H.E., and Khalil, M., "Impingement/Effusion Cooling of Electronic Components with Cross-flow", Applied Thermal Engineering, Vol. 151, pp.199-213, (2019).
- [3] Gu, R., Ding, J., Wang, Y., Yuan, Q., Wang, W., and Lu, J., "Heat Transfer and Storage Performance of Steam Methane Reforming in Tubular Reactor with Focused Solar Simulator", Applied Energy, Vol. 233, pp. 789-801, (2019).
- [4] Hosseini, S.M., Safaei, M.R., Estelle, P., and Jafarnia, S.H., "Heat Transfer of Water-based Carbon Nanotube Nanofluids in the Shell and Tube Cooling Heat Exchangers of the Gasoline Product of the Residue Fluid Catalytic Cracking Unit", Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol. 140, pp. 351-362, (2020).
- [5] Cao, S.J., and Deng, H.Y., "Investigation of Temperature Regulation Effects on Indoor Thermal Comfort, Air Quality, and Energy Savings Toward Green Residential Buildings", Science and Technology for the Built Environment, Vol. 25(3), pp. 309-321, (2019).
- [6] Omidi, M., Darzi, A.A.R., and Farhadi, M., "Turbulent Heat Transfer and Fluid Flow of Alumina Nanofluid Inside Three-lobed Twisted Tube", Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol. 137(4), pp. 1451-1462, (2019).
- [7] Omidi, M., Farhadi, M., and Jafari, M., "A Comprehensive Review on Double Pipe Heat Exchangers", Applied Thermal Engineering, Vol. 110, pp. 1075-1090, (2017).
- [8] Shah, R.K., and Sekulic, D.P., "*Fundamentals of Heat Exchanger Design*", First Edition, John Wiley and Sons, New York, pp. 379-380, (2003).
- [9] Mohapatram, V.C., and Sahu, D., "Experimental Studies on Heat Transfer Augmentation using Twisted Aluminium Taper Clips and Twisted Tapes", B.A. Thesis, Rourkela University, Graduate School of National Institute of Technology, India, (2007).
- [10] Bergles, A.E., "*Techniques to Augment Heat Transfer*", Third Edition, Handbook of Heat Transfer Application, McGraw-Hill, New York, pp. 258- 289, (1985).
- [11] Ranjbar, B., Rahimi, M., and Mohammadi, F., "Exergy Analysis and Economical Study on using Twisted Tape Inserts in CGS Gas Heaters", International Journal of Thermophysics, Vol. 42, pp. 1-19, (2021).
- [12] Orjajei, A.R., and Shahidian, A., "Heat Transfer Enhancement in a Curved Tube by using Twisted Tape Insert and Turbulent Nanofluid Flow", Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol. 137, pp. 1059-1068, (2019).
- [13] Tafarroj, M.M., Zarabian-Ghaeini, G., Esfahani, J.A., and Kim, K.C., "Multi-purpose Prediction of the Various Edge Cut Twisted Tape Insert Characteristics: Multilayer Perceptron Network Modeling", Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol. 145, pp. 2005-2020, (2021).
- [14] Kumar, A., Singh, S., Chamoli, S., and Kumar, M., "Experimental Investigation on Thermo-hydraulic Performance of Heat Exchanger Tube with Solid and Perforated Circular

Disk Along with Twisted Tape Insert", *Heat Transfer Engineering*, Vol. 40(8), pp. 616-626, (2019).

[15] Sarma, P.K., Kishore, P.S., Rao, V.D., and Subrahmanyam, T., "A Combined Approach to Predict Friction Coefficients and Convective Heat Transfer Characteristics in a Tube with Twisted Tape Inserts for a Wide Range of Re and Pr", *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 44, pp. 393-398, (2005).

[16] Sarac, B.A., and Bali, T., "An Experimental Study on Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics of Decaying Swirl Flow through a Circular Pipe with a Vortex Generator", *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 32, pp. 158-165, (2007).

[17] Eiamsa-Ard, S., Rattanawong, S., and Promvonge, P., "Turbulent Convection in Round Tube Equipped with Propeller Type Swirl Generators", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 36, pp. 357-364, (2009).

[18] Rahimi, M., Shabaniyan, S.R., and Alsairafi, A.A., "Experimental and CFD Studies on Heat Transfer and Friction Factor Characteristics of a Tube Equipped with Modified Twisted Tape Inserts", *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, Vol. 48, pp. 762-770, (2009).

[19] Murugesan, P., Mayilsamy, K., and Suresh, S., "Turbulent Heat Transfer and Pressure Drop in Tube Titted with Square-cut Twisted Tape", *Chinese Journal of Chemical Engineering*, Vol. 18, pp. 609-617, (2010).

[20] Bhuiya, M.M.K., Chowdhury, M.S.U., Saha, M., and Islam, M.T., "Heat Transfer and Friction Factor Characteristics in Turbulent Flow through a Tube Fitted with Perforated Twisted Tape Inserts", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 46, pp. 49-57, (2013).

[21] Ranjith, and Shaji, K., "Numerical Analysis on a Double Pipe Heat Exchanger with Twisted Tape Induced Swirl Flow on Both Sides", *Procedia Technology*, Vol. 24, pp. 436-443, (2016).

[22] Li, L., Yang, M., and Zhang, Y., "Numerical Study of Periodically Fully-developed Convection in Channels with Periodically Grooved Parts", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 51, pp. 3057-3065, (2008).

[23] Jacobi, A.M., and Shah, R.K., "Heat Transfer Surface Enhancement through the Use of Longitudinal Vortices: A Review of Recent Progress", *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 11, pp. 295-309, (1995).

[24] Shabaniyan, S., Rahimi, M., Shahhosseini, M., and Alsairafi, A., "CFD and Experimental Studies on Heat Transfer Enhancement in an Air Cooler Equipped with Different Tube Inserts", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 38, pp. 383-390, (2011).

[25] Eiamsa-Ard, S., and Promvonge, P., "Performance Assessment in a Heat Exchanger Tube with Alternate Clockwise and Counter-clockwise Twisted-tape Inserts", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 53, pp. 1364-1372, (2010).

- [26] Panyafong, A., Neamsorn, N., and Chaichana, C., "Heat Load Estimation using Artificial Neural Network", Energy Reports, Vol. 6, pp. 742-747, (2020).
- [27] Saviozzi, M., Massucco, S., and Silvestro, F., "Implementation of Advanced Functionalities for Distribution Management Systems: Load Forecasting and Modeling through Artificial Neural Networks Ensembles", Electric Power Systems Research, Vol. 167, pp. 230-239, (2019).
- [28] Myers, R.H., Montgomery, D.C., and Anderson-Cook, C.M., "Response Surface Methodology: Process and Product Optimization using Designed Experiments", Fourth Edition John Wiley and Sons, New York, pp. 7- 9, (2016).
- [29] Gunes, S., "The Investigation of Heat Transfer in Various Ribs Inserted Pipe", Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ph.D. Thesis, Turkey, (2009).
- [30] Ozceyhan, V., "Experimental Investigation of Flow and Heat Transfer in a Rib Inserted Pipe", Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ph.D. Thesis, Turkey, (2002).
- [31] Anderson-Jr, J.D., "Solutions Manual to Accompany Introduction to Flight", Seventh Edition, McGraw-Hill, New York, pp. 7, (2005).
- [32] Dong, Y., Huixiong, L., and Tingkuan, C., "Pressure Drop, Heat Transfer and Performance of Single-phase Turbulent Flow in Spirally Corrugated Tubes", Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 24, pp. 131-138, (2001).

فهرست نمادهای انگلیسی

سطح حرارتی	A
ظرفیت حرارتی $\text{Kj Kg}^{-1} \text{k}^{-1}$	C_p
قطر هیرولیکی لوله m	D_h
ضریب اصطکاک	F
ضریب متوسط انتقال حرارت $\text{W m}^{-2} \text{k}^{-1}$	h
ضریب هدایت حرارتی سیال $\text{W m}^{-1} \text{k}^{-1}$	K
طول لوله m	L
شدت جریان گرمی Kg s^{-1}	\dot{m}
میانگین درصد خطای مطلق	$MAPE$
متوسط درصد خطای نسبی	MRE
متوسط مربع خطا	MSE
عدد ناسلت	Nu_m
فشار bar	P

عدد پرانتل	Pr
فشار محیط bar	P_o
عدد رینولدز	Re
دما °C یا °k	T
دمای توده بالک °k	T_b
دمای خروجی لوله °k	T_o
دمای سطح لوله °k	T_s
دمای آب گرمکن °C	T_w
سرعت متوسط $m s^{-1}$	u
شدت انتقال حرارت	Q
واریانس	R

نمادهای یونانی

گرانروی پویا $Kg m s^{-1}$	μ
چگالی $kg m^{-3}$	ρ

Abstract

The present study investigates the effect of different insert inside the tubular heat exchanger on important thermal parameters and overall efficiency. In this regard, methods such as Design of Experiments (DOE) software and response surface methodology (RSM) Central composite design (CCD) were used to design experiments. Numerical methods and neural network modeling were also used to further strengthen the analysis and then the mentioned simulation methods were compared. In all cases, the results of this study indicate an increase in heat transfer coefficient and, consequently, an improvement in the Nusselt number due to the use of novel inserts. So that unlike the previous inserts of these inserts, in addition to rotating the current, it also has the ability to rotate. Finally, the average percentage of absolute error (MAPE) in the experimental design software modeling method and neural network is 10.77 and 0.94%, respectively, which indicates the high accuracy of the neural network method to determine the friction coefficient parameter.