J. Energy Conversion
Volume: 10, Issue: 4, 2024: 1-17

نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)

دوره ۱۰، شماره ۴، زمستان۱۴۰۲، ص: ۱۷-۱

مطالعه عددی میدان جریان و دما به واسطه جت برخوردی نوسانی بر روی سطح به همراه فرورفتگی

امین باقری[۱]، کاظم اسماعیل پور[۲]*، مرتضی حیدری[۳]

۱- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک، مرکز تحقیقات انرژی‌های تجدید پذیر، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران.
A.Bagheri@damavandiau.ac.ir
*۲- استادیار، مرکز تحقیقات انرژی‌های تجدید پذیر، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران.
Esmailpour@damavandiau.ac.ir
۳- استادیار، مرکز تحقیقات انرژی‌های تجدید پذیر، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران.
Mo.Heydari@iau.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۱۹، بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۲۵، پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۳۰

چکیده

جت برخوردی، جریان سیالی است که به منظور سرمایش و یا گرمایش بر روی یک سطح به صورت عمود و یا با زاویه خاص برخورد می‌کند.میزان فرآیندهای انتقال در جریان‌های برخوردی آشفته متاثر از شکل گیری ساختارهای منسجم، برهم کنش بین آن‌ها و انتقال انرژی است. با نوسانی کردن جریان ورودی در جت های برخوردی می‌توان شکل گیری ساختارهای منسجم را تحت تاثیر قرار داد و در نتیجه میزان برداشت حرارت را متاثر ساخت. در این مطالعه تاثیر نوسانی نمودن جت ورودی با استفاده از تابع های پله ای و سینوسی بر روی میدان جریان و دما یک صفحه برخوردی به همراه فرورفتگی توسط روش عددی بررسی شده است. متغیرهای کلیدی مساله شامل شکل تابع ورودی، فرکانس و دامنه جت نوسانی می‌باشند. نتایج این مطالعه با استفاده از پژوهش‌های پیشین اعتبارسنجی شده است و سپس نتایج به صورت تاثیر پارامترهای کلیدی بر روی توالی شکل گیری ساختارهای منسجم و میزان برداشت حرارت مورد بحث و تحلیل قرار گرفته اند. نتایج نشان می‌دهد که با نوسانی نمودن جریان ورودی می توان نواحی چرخشی و میدان ورتیسیتی را در جریان پایه تغییر داد و میزان برداشت حرارت به صورت میانگین گیری شده افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که الگوهای جریان و میزان عدد ناسلت به پارامترهای تابع ورودی مانند فرکانس و دامنه بسیار وابسته می باشد.

***عهده‌دار مکاتبات** : Esmailpour@damavandiau.ac.ir

کلمات کلیدی: جت برخوردی نوسانی، جریان آشفته، عدد ناسلت، فرکانس، فرورفتگی.

۱- مقدمه

سیستم‌های جت برخوردی به‌دلیل قابلیت‌های کارآمد انتقال حرارت، به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته‌اند و در کاربردهای مهندسی مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند. برهمکنش بین یک جت سیال با سرعت بالا و یک سطح جامد، الگوهای جریان پیچیده‌ای را ایجاد می‌کند که باعث افزایش انتقال حرارت همرفتی در ناحیه برخورد می‌شود.در طول سال‌ها، محققان روش‌های مختلفی را برای تقویت بیشتر انتقال حرارت در سیستم‌های جت برخوردی بررسی کرده‌اند که منجر به کشف سطوح فرورفته به‌عنوان یک تکنیک امیدوارکننده برای افزایش عملکرد انتقال حرارت شد.

نحوه استناد به این مقاله: امین باقری، کاظم اسماعیل پور، مرتضی حیدری. مطالعه عددی میدان جریان و دما به واسطه جت برخوردی نوسانی بر روی سطح به همراه فرورفتگی.
مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۲; ۱۰ (۴) : ۱-۱۷.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

سطوح فرورفته، که با فرورفتگی‌های سطحی یا حفره‌های کوچک مشخص می‌شوند، ویژگی‌های انتقال حرارت برتر را در مقایسه با سطوح صاف نشان داده اند.گودی‌ها، ساختارهای گردابی و جریان‌های ثانویه ایجاد می‌کنند و اختلاط حرارتی و ضرایب انتقال حرارت همرفتی را افزایش می‌دهند.یکی از پارامترهایی که تأثیر بسیار زیادی در نرخ فرآیندهای انتقال در این سیستم‌ها را دارد، نوسانی بودن جریان ورودی است. نوسانی کردن جریان ورودی به این معنی است که دبی جریان ورودی حول یک مقدار معین با زمان تغییر کند.مسلماً پارامترهای مورد مطالعه در جریان‌های برخوردی نوسانی بیشتر از یک مسئله پایاست زیرا علاوه بر پارامترهایی که در یک مسئله پایا مطرح می‌شوند پارامترهای دیگری از قبیل شکل تابع نوسانی ورودی، فرکانس، دامنه و اختلاف فاز نیز اضافه می‌شوند. اثربخشی سطوح فرورفته در مطالعات مختلف با استفاده از جت‌های برخورد ثابت مشاهده شده است.با این حال، پتانسیل ترکیب سطوح فرورفته با جت‌های نوسانی برای تقویت بیشتر انتقال حرارت به طور کامل کشف نشده است.

هدف اصلی این تحقیق بررسی جریان و ویژگی‌های حرارتی یک جت برخورد نوسانی بر روی سطح فرورفته است. با گنجاندن نوسان در سیستم جت برخورد، هدف ما بررسی اثرات پارامترهای کلیدی مختلف، از جمله فرکانس نوسان، دامنه، عدد رینولدز، و نسبت ابعاد کانال، بر روی الگوی جریان و افزایش انتقال حرارت است.

بسیاری از پژوهشگران اعتقاد دارند که جت برخوردی نوسانی باعث افزایش انتقال حرارت و بالطبع انتقال جرم می‌شود اما در بعضی از مطالعه‌ها کاهش انتقال حرارت نیز گزارش شده است. تقریبا اولین پژوهشی که در زمینه جت برخوردی نوسانی انجام شده است مربوط به آقای نوینس[1] و بال[2] [۱] می‌باشد. آن‌ها انتقال حرارت بین یک صفحه صاف و یک جت نوسانی را بررسی نمودند و نشان دادند که انتقال حرارت یک جت نوسانی اختلاف چندانی با یک جت پایا ندارد. تست‌ها برای عدد رینولدز $(1200 < Re < 120000)$، عدد استروهال $(10^{-2} < St < 10^{-4})$ و فاصله بین نازل تا صفحه با مقدار عددی ۸ تا ۳۲ انجام شده است. نوینس و بال هیچ مطلبی مربوط به شکل‌گیری ساختارهای جریانی ثانویه ارائه ندادند و آزمایش‌های آن‌ها محدود به عدد استروهال‌های پایین بود. به علت پیش‌بینی‌های آقای نوینس و بال برای سال‌های زیادی جت برخوردی نوسانی مورد توجه قرار نگرفت. ملادین[3] و زامبرونن[4] [۲] به صورت تئوری و به وسیله یک مدل لایه مرزی تأثیرات شکل نوسان ورودی، فرکانس و دامنه نوسان را بر روی انتقال حرارت جابه جایی میانگین و لحظه‌ای یک صفحه تخت بررسی کردند. آن‌ها گزارش دادند که یک عدد استروهال حدی وجود دارد که پایین‌تر از این عدد استروهال افزایش قابل‌توجهی در انتقال حرارت به وجود نمی‌آید. آن‌ها مقدار ۰/۲۶ را برای عدد استروهال حدی گزارش دادند.میدلبرگ[5] و هرویج[6] [۳] تأثیرات توابع نوسانی مختلف را بر روی عملکرد انتقال حرارتی یک جت برخوردی را به صورت تجربی مطالعه نمودند. بدین منظور آن‌ها سه سیگنال استاندارد (سینوسی، مثلثی و پله‌ای) و دو سیگنال خاص دیگر (سینوسی-پله‌ای و پله‌ای-سینوسی) را به کار گرفتند و تأثیر این توابع بر روی انتقال حرارت را توسط فاکتوری به نام ضریب افزایش بحث نمودند. برخلاف اکثر مطالعات قبلی در مورد جت‌های ناپایا، این مطالعه محدود به یک شکل خاصی از ناپایایی نشده است.در مقابل آن‌ها از یک سیستم کنترل نرخ جریان جرمی[7] که در دانشگاه ایرلنگن نورمبرگ[8] آلمان اختراع شده است، استفاده کردند. این سیستم قابلیت کنترل سریع تغییرات جریان جرم بر طبق یک سیگنال ورودی دلخواه را داراست. اگر سیگنال ورودی پریودیک باشد، شکل‌های مختلفی از ناپایایی و فرکانس‌ها را می‌توان ایجاد نمود. آن‌ها برای مقایسه عملکرد حالت‌های

[1] Nevins
[2] Ball
[3] Mladin
[4] Zumbrunnen
[5] Middelberg
[6] Herwig
[7] Mass Flow Rate Control System
[8] Erlangen-Nuremberg

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

مختلف یک فاکتور افزایش[1] به صورت نسبت عدد ناسلت برای حالت جت نوسانی به عدد ناسلت برای جت پایا تعریف نمودند.زمانی که فاکتور افزایش بزرگ‌تر از ۱ باشد، انتقال حرارت افزایش می‌یابد و در غیر این صورت با کاهش انتقال حرارت روبرو هستیم.در سال ۲۰۱۵ میلادی، اسماعیل پور و همکاران [۴] به تحلیل عددی میدان جریان و انتقال حرارت جت برخوردی نوسانی به سطح پرداختند.آن‌ها نشان دادند که نوسان جت برخوردی باعث کاهش انتقال حرارت در ناحیه برخورد جت و افزایش نرخ انتقال حرارت در ناحیه جت دیواره می‌شود.همچنین با افزایش فاصله از ناحیه برخورد، تاثیر نوسان جت بر انتقال حرارت کاهش می‌یابد.در سال ۲۰۱۵ میلادی، پاخاموف و همکاران [۵] به بررسی عددی ساختار و جریان انتقال حرارت از جت نوسانی آشفته پرداختند.آن‌ها در بررسی‌های خود از مدل آشفتگی تنش رینولدز استفاده کردند.اثر فرکانس نوسان، نسبت زمان به زمان کل چرخه، فاصله بین خروجی و صفحه برخورد و عدد رینولدز بر انتقال حرارت را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که انتقال حرارت در فاصله بالا از لبه لوله و سطح هدف افزایش می‌یابد.همچنین افزایش در عدد رینولدز باعث افزایش انتقال حرارت می‌شود و در جت برخوردی نوسانی نسبت به حالت پایا برای فرکانس‌های پایین، اثر کاهش پیدا می‌شود.در سال ۲۰۱۶ میلادی، کافیرو و همکاران [۶] به بررسی عددی ساختار جت برخوردی نوسانی با فاصله نازل کوتاه از صفحه برخورد پرداختند.آن‌ها به این نتیجه رسیدند که با کاهش فاصله نازل از صفحه برخورد، خنک کاری افزایش می‌یابد.همچنین جت نوسانی به علت تشکیل گردابه‌های بزرگتر نسبت به جت پایا باعث افزایش انتقال حرارت از سطح برخورد می‌شود.در سال ۲۰۱۷ میلادی، خاروا و همکاران [۷] به بررسی ترکیب گروهی چرخش تولید شده توسط جت برخوردی نوسانی بر روی سطح مقعر شدند.آن‌ها به مطالعه عددی از یک جت ضربان دار آشفته به سطح برخورد محدب با استفاده از روش شبیه سازی گردابه‌های بزرگ[2] پرداختند. درجه حرات جت بالاتر از هوای اطراف و دیوار برخورد است.عدد رینولدز، بر اساس عرض نازل خروج و سرعت متوسط زمانی و برابر ۵۶۰۰ است.جریان از یک فرکانس از ۶۰۰ هرتز با تحمیل پروفیل سرعت سینوسی در خروجی نازل مورد مطالعه قرار گرفت.نتایج در مورد عدد ناسلت به صورت متوسط زمانی بررسی شده است که جت نوسانی، عدد ناسلت بیشتری نسبت به جت پایا در مناطق زیادی دارد.در سال ۲۰۲۱، بائک و همکاران [۸] میلادی یک مقاله مقایسه ای بین روش شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ و میانگین‌گیری رینولدز[3] در شبیه سازی عددی خنک کاری لایه ای روی سوراخی با ویژگی‌های انبساط رو به جلو[4] انجام دادند.آن‌ها به این نتیجه رسیدند که در کانتورهای دمایی بدون بعد، با توجه به شدت اختلال بین جریان اصلی و تزریق شده مدل در ناحیه هسته، نتایج روش میانگین‌گیری رینولدز بالاتر از روش گردابه‌های بزرگ می‌باشد.در نهایت با بررسی سرعت‌ها دستاورد مهم دیگر این تحقیق، سرعت نوسانات در سوراخ‌های استوانه ای کم ترین حالت را نشان می‌دهد.در سال ۲۰۱۹، وینز و همکاران [۹] به بررسی تأثیر عمق گودی بر روی انتقال حرارت جت برخوردی روی سطوح دیمپل دار توسط تعدادی جت پرداختند.نتایج آن‌ها نشان می‌دهد سطح فرو رفته از سطح صاف انتقال حرارت بالاتری دارد و بهترین عملکرد انتقال حرارت در دیمپل‌های کم عمق تر می‌باشد.در سال ۲۰۲۳ ژانگ و همکاران [۱۰] به تجزیه و تحلیل تجربی و عددی افزایش انتقال حرارت و پارامترهای جریان داخل لوله‌های بیضی شکل متقاطع دیمپل دار پرداختند.برای اولین بار ویژگی‌های انتقال حرارت و پارامترهای جریان در ترکیب سطوح دیمپل دار با مدل k-ε و بهبود مدل مبتنی بر فن آوری‌های کامپوزیت به صورت عددی بررسی شده است.نتایج نشان می‌دهد که شاخص انتقال حرارت، ضریب اصطکاک و معیارهای ارزیابی عملکرد در این حالت نسبت به لوله بیضی تک دیمپل دار در شرایط عملیاتی به شدت افزایش می‌یابد.در سال ۲۰۲۳ مونیک و موهیک [۱۱] به تحلیل تجربی و عددی انتقال حرارت در کانال مبدل حرارتی همراه با فرورفتگی پرداختند. برخلاف شکل غالب صفحات حرارتی، مبدل حرارتی میکروپلیتی دارای مجموعه ای از دیمپل‌های نسبتا کوچک می‌باشد.در این تحقیق مشخص شد که رفتار مبدل‌های حرارتی با ویژگی‌های

[1] Enhancement factor

[2] Large Eddy Simulation

[3] Reynolds-Averaged Navier Stokes

[4] Forward Expansion

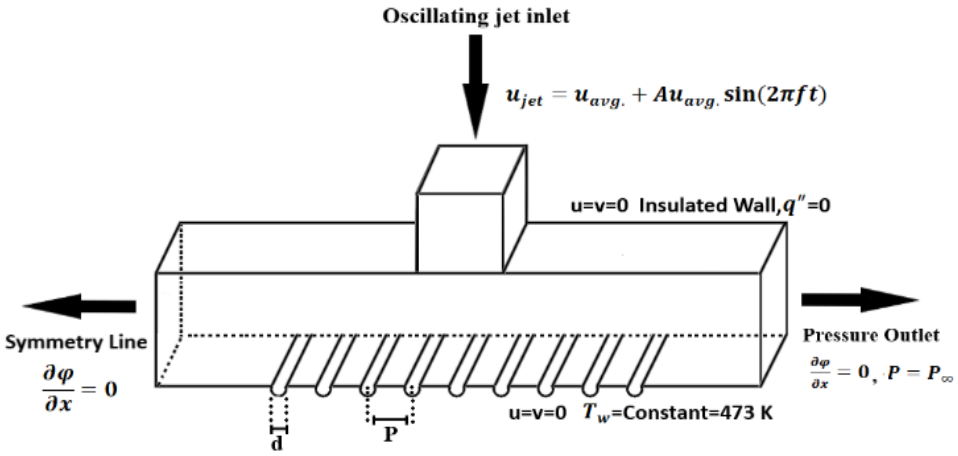
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

هندسی مشابهی را می‌توان پیش بینی کرد.از طریق شبیه سازی از یک مبدل حرارتی واقعی، میانگین انتقال حرارت با ضریب متناسب با Re0.64 برای رینولدزهای $1170 < Re < 4170$ محاسبه گردید.

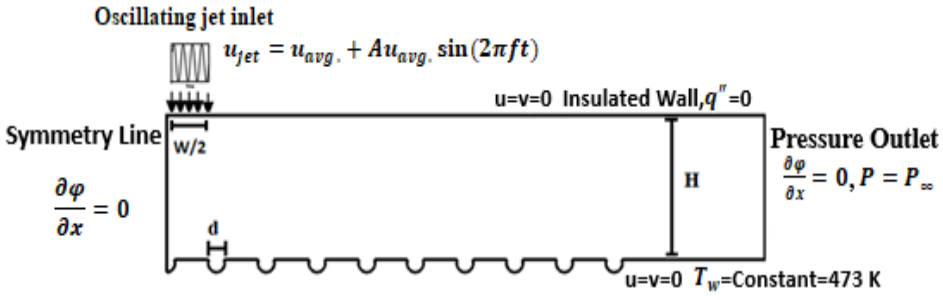
۲- هندسه و مدلسازی ریاضی

۲-۱- هندسه و نحوه شبکه بندی مدل

هندسه این مسئله شامل یک جت برخوردی مستطیلی محصور می‌باشد. شماتیک پیکربندی جت برخوردی در حالت برآمدگی در شکل (۱) نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل مشخص است یک جت نوسانی از فاصله مشخص به صفحه گرم دارای فرو رفتگی برخورد می‌کند قطر نازل D $(D = \frac{w}{2})$، ارتفاع کانال H و طول آن L در نظر گرفته شده است.در این مطالعه جت نوسانی به صورت توابع سینوسی و پله ای در نظر گرفته شده است. به منظور بررسی اثرات فرورفتگی بخشی از کانال که تحت اثر دمای بالاتری نسبت به دمای جت ورودی است به صورت فرورفتگی‌های منظم با قطر و فاصله مشخص شده در نظر گرفته شده است. نسبت طول کانال به عرض جت ورودی برابر با ۳۰ در نظر گرفته شده است تا از جریان برگشتی در حین حل جلوگیری به عمل آید.میزان ارتفاع کانال بستگی به نسبت منظر $(\frac{H}{D})$ انتخابی دارد. با توجه به تقارن در هندسه و شرایط مرزی مسئله، میدان جریان و حرارت با حل معادلات بقا در نیمی از دامنه حل به دست آمده است.



شکل (۱) شماتیک هندسه به کار رفته در حالت سه بعدی



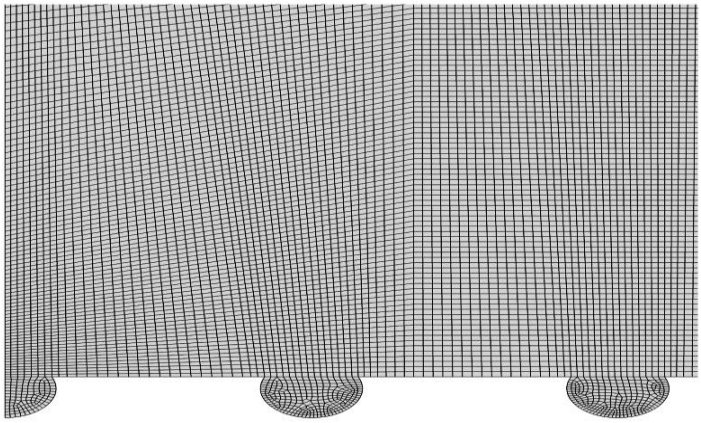
شکل (۲) شماتیک هندسه به کار رفته در مسئله در حالت فرورفتگی[1]

[1] Concave

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

با توجه به اینکه طول ابعاد در راستای محور z بسیار بیشتر از بعد در راستای x و y است، می‌توان از اثرات تغییر پارامترها در راستای z صرف نظر نمود و مدل سازی را به صورت دوبعدی انجام داد.در شکل (۲) شماتیک دامنه محاسباتی و شرایط مرزی برای هندسه فرورفتگی نشان داده شده است. دیواره برخوردی در دمای ثابت قرار دارد و بر روی دیواره بالایی شرط عایق در نظر گرفته است. جریان ورودی به صورت سرعت وابسته به زمان و تابع سینوسی و پله ای در نظر گرفته شده است.طول کانال به گونه ای در نظر گرفته شده که از اثرات جریان‌های برگشتی پرهیز شود و در خروجی شرط فشار ثابت برقرار شود. همچنی برای جلوگیری از ایجاد جریان برگشتی و در نتیجه پایداری روش حل طول کانال به اندازه کافی بلند در نظر گرفته شده است.

در شکل (۳) نحوه شبکه‌بندی ارائه شده است. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، چگالی نقاط در حوالی محور ورودی جت و کنار دیواره برخوردی به علت گرادیان‌های زیاد سرعت و دما بیشتر از بقیه نواحی انتخاب شده است.شکل زیر نحوه شبکه‌بندی برای نسبت منظر ۴ را نشان می‌دهد.در کنار فرورفتگی از شبکه لایه مرزی استفاده شده است و کلیه هندسه با استفاده از روش سازمان یافته شبکه بندی شده است.



شکل(۳) شبکه بندی مدل در حالت فرورفتگی

۲-۲- معادلات حاکم

برای نوسانی کردن جت ورودی از یک پروفیل سینوسی که به صورت معادله (۱) نوشته می‌شود استفاده شده است:

$$u_{jet} = u_{avg.} + A u_{avg.} \sin(2\pi f t) \quad (۱)$$

دامنه و فرکانس نوسان به ترتیب با A و f نشان داده می‌شوند و t زمان را نمایش می‌دهد.جهت بدست آوردن دما و فشار در هر نقطه از جریان با در نظر گرفتن فرضیات تراکم ناپذیری معادلات بقای‌جرم، اندازه حرکت و انرژی می‌بایست حل شوند.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (۲)$$

$$\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial t} + u_j \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \frac{1}{\rho}\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\mu \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} - \rho \overline{u_i' u_j'}\right] \quad (۳)$$

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u_j \frac{\partial T}{\partial x_j}\right) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x_j} - \rho C_p \overline{u_j' T'}\right) + H \quad (۴)$$

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

در معادله (۴)، λ بیان کننده هدایت حرارتی[1] است.به منظور استخراج شاخص‌های جریانی و حرارتی جت‌های برخوردی نوسانی، معادلات بقای وابسته به زمانِ جرم، مومنتوم و انرژی حل شده‌اند.جریان به صورت دو بعدی، ناپایا، غیر هم دما، غیر قابل تراکم، آشفته و در مختصات کارتزین مدل‌سازی شده است.از تأثیرات انتقال حرارت جابجایی طبیعی[2]، انتقال حرارت تشعشعی[3] و گرمای اصطکاکی[4] در معادله انرژی صرف نظر شده است.در این مطالعه برای محاسبه عدد ناسلت[5] لحظه‌ای از رابطه (۵) استفاده شده است:

$$Nu(t) = \frac{q''}{T_w(t) - T_j} \times \frac{D}{K} \qquad (۵)$$

با توجه به معادله (۵) عدد ناسلت میانگین به صورت (۶) به دست می‌آید:

$$\overline{\mathrm{Nu}} = \frac{1}{T}\int_{t_0}^{t_0+T} Nu(t)dt \qquad (۶)$$

معیار همگرایی برای تمام پارامترها به صورت زیر تعریف شده است:

$$\left|\frac{\emptyset_{n+1} - \emptyset_n}{\emptyset_n}\right| \leq 10^{-6} \qquad (۷)$$

به عنوان سیال عامل سیستم هوا به صورت تراکم‌ناپذیر و نیوتنی در نظر گرفته شده است و خواص ترموفیزیکی آن به صورت توابعی از دما در محدوده ۴۰۰ > T > ۳۰۰ درجه کلوین به صورت جدول (۱) ارائه شده است.جریان جت ورودی به صورت دما ثابت (۲۹۳ K) و با پروفیل سینوسی متغیر با زمان در نظر گرفته شده است دیواره پایین تحت یک دما ثابت بوده (۴۷۳ K) و شرط عدم لغزش بر روی آن تحمیل شده است.دیواره‌های محدودکننده از لحاظ حرارتی عایق در نظر گرفته شده‌اند و همچنین شرط عدم لغزش برای آن در نظر گرفته شده‌اند.در خروجی از کانال نیز شرط مرزی فشار خروجی[6] در نظر گرفته شده است یعنی فشار در این ناحیه برابر با یک فشار ثابت و گرادیان بقیه پارامترها عمود بر صفحه خروجی صفر در نظر گرفته شده است.به علت تقارن در شرایط مرزی و هندسه مسئله محور ورودی جت به عنوان شرط تقارن در نظر گرفته شده است.

جدول (۱) خواص ترموفیزیکی هوای غیر قابل تراکم

خواص	تابع
چگالی $(Kg.m^{-3})$	0.92102
ویسکوزیته $(Kg.m^{-1}.s^{-1})$	$\mu = 1.4507 \times 10^{-6} + 6.6289 \times 10^{-8}T - 3.1933 \times 10^{-11}T$
گرمای ویژه $(\mathrm{J.kg^{-1}.K^{-1}})$	$C_p = 1032.3 - 0.2104T + 4.1274 \times 10^{-4}.T^2$
هدایت حرارتی $(\mathrm{W.m^{-1}.k^{-1}})$	$K = -2.8257 \times 10^{-4} + 9.9136 \times 10^{-5}T - 35751 \times 10^{-8}.T^2$

در پژوهش جاری از روش حجم محدود برای گسسته‌سازی معادلات حاکم (OpenFoam) استفاده شده است. برای حل توأم معادلات کوپل‌شده فشار و سرعت از روش PISO کمک گرفته شده است.گسسته‌سازی متغیرها نسبت به زمان بر اساس طرح ضمنی مرتبه دوم صورت گرفته است.در میان مدل‌های آشفتگی مطالعه شده، مدل $K-\varepsilon$ RNG بهتر از مدل‌های دیگر جواب می‌دهد زیرا مدل RNG در معادله ε خود دارای یک ترم اضافی است که دقت پیش‌بینی را برای جریان‌هایی با نرخ

[1] Thermal conductivity
[2] Natural Convection
[3] Thermal Radiation
[4] Viscous Dissipayion
[5] Nusselt number
[6] Pressure outlet

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

کرنش زیاد ارتقا می‌دهد.به علاوه در این مدل تأثیرات چرخش مربوط به جریان‌های آشفته لحاظ شده است که دقت مدل‌سازی جریان‌های شامل مناطق چرخشی را افزایش داده است. به منظور اطمینان از پایداری حل ضرائب زیرتخفیف ۰,۲۵ و ۰,۶۵ برای معادلات مومنتوم و فشار در نظر گرفته شده است.

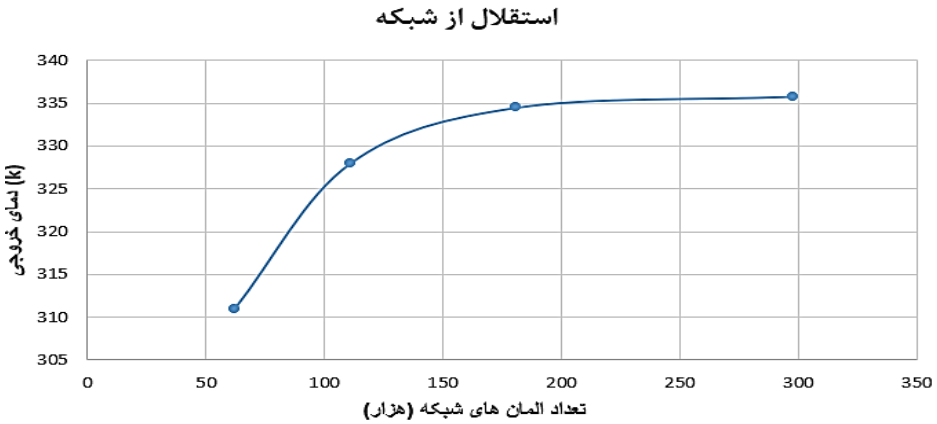
۲-۳- استقلال از شبکه

برای اطمینان از اینکه جواب‌های به دست آمده از حل عددی، دقیق و قابل اتکا است، باید فرآیند استقلال از شبکه طی شود. برای این کار شبکه در ۴ مرحله ریز شده و نتایج دمای خروجی سیال در هر مرحله اندازه گیری می‌شود.در این حالت از تابع نوسانی سینوسی با فرکانس ۴۰ هرتز و دامنه ۵۰ درصد استفاده شده است. میانگین دمای خروجی از کانال به عنوان نماینده حل انتخاب شده است و تغییرات آن در تعداد سلول‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول (۲) مراحل فرایند استقلال از شبکه

ردیف	تعداد المان شبکه	دمای خروجی (K)	درصد خطا(%)
۱	۶۲۰۰۰	۳۱۱/۳	-
۲	۱۱۰۰۰	۳۲۸/۷	۵/۵
۳	۱۸۱۰۰۰	۳۳۴/۵	۱/۷
۴	۲۹۸۰۰۰	۳۳۵/۸	۰/۳

در جدول(۱) مشاهده می‌شود درصد خطای دمای خروجی سیال در مرحله ۳ و ۴ به کمتر از ۱ درصد می‌رسد.بنابراین شبکه با ۱۸۱ هزار المان به عنوان شبکه مستقل از حل انتخاب می‌شود.شکل زیر نیز روند تغییرات دما را در ۴ شبکه ایجاد شده نشان می‌دهد.

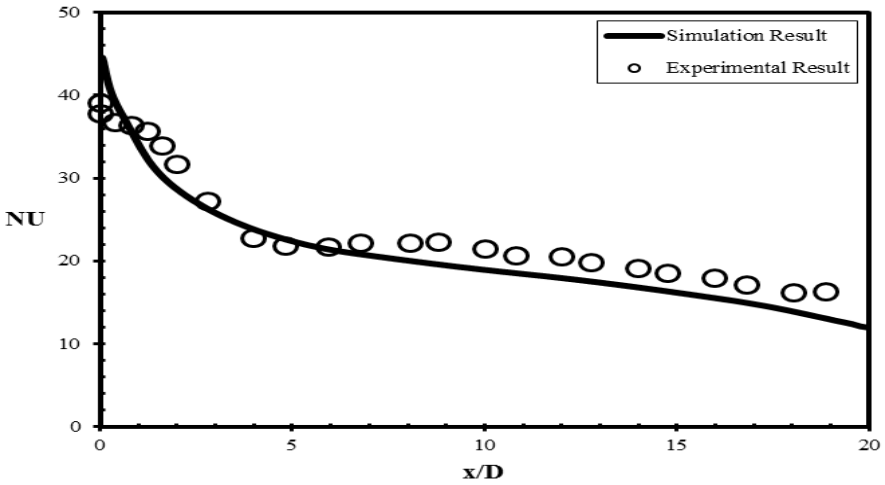


شکل(۴) نمودار استقلال از شبکه

۲-۴- اعتبارسنجی نتایج

قبل از ارائه نتایج و بحث بر روی آن‌ها ابتدا باید از صحت شبیه‌سازی اطمینان حاصل نمود.بدین منظور نمودار توزیع عدد ناسلت بر حسب $\frac{x}{D}$ پژوهش حاضر با مطالعه تجربی آقای زامبرونن و ملادین [۲] در شکل (۵) نشان داده شده است.با توجه به شکل (۵) مطابقت قابل قبولی بین نتایج تجربی و عددی وجود دارد.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]



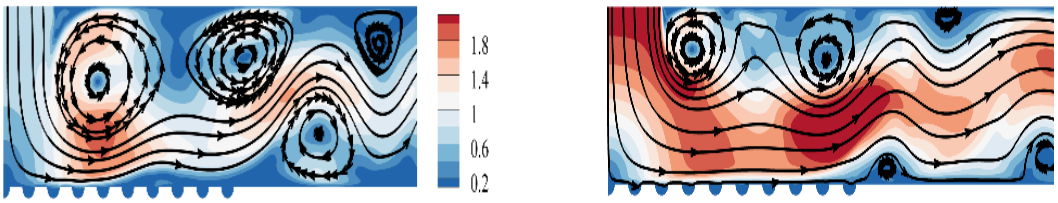
شکل (۵) مقایسه نتایج عددی با نتایج آقای زامبرونن و ملادین $\frac{H}{D}=5$, Re=5500, f=41,A=17%

۳- نتایج و بحث

در این بخش به ارائه نتایج حاصل از این پژوهش و بحث پیرامون آن‌ها پرداخته شده است.در بخش ابتدایی نتایج مربوط به میدان جریان و انتقال حرارت جت برخوردی نوسانی با پروفیل سرعت ورودی سینوسی و پله ای آورده و تأثیر پارامترهای مختلف بر آن‌ها تحلیل شده است.در ادامه نیز نتایج مربوط به اثر هر یک از پارامترهای فرکانس و دامنه های نوسان مختلف بر روی انتقال حرارت در حالت موانع فرورفتگی بحث و بررسی شده است.فاصله دیمپل ها (p) از هم برابر ۰/۷۵ سانتی متر و عمق دیمپل‌ها ۲/۵ میلی متر و رینولدز پیش فرض برابر ۱۵۰۰ می‌باشد و کلیه آنالیزها شبیه سازی ها با این پارامترها انجام شده است.

۳-۱- بررسی تاثیر فرکانس بر ساختار جریان و انتقال حرارت

به منظور بررسی اثر فرکانس تابع نوسانی سه فرکانس۲۰،۶۰و۱۰۰ برای حالت سینوسی و پله با شرایط پایه $\frac{H}{D}=2$, A=50% و Re=1500 شبیه سازی شدند.کانتورهای سرعت و جریان در دو بازه زمانی $\frac{T}{2}$ و$\frac{3T}{4}$ رسم شده است.

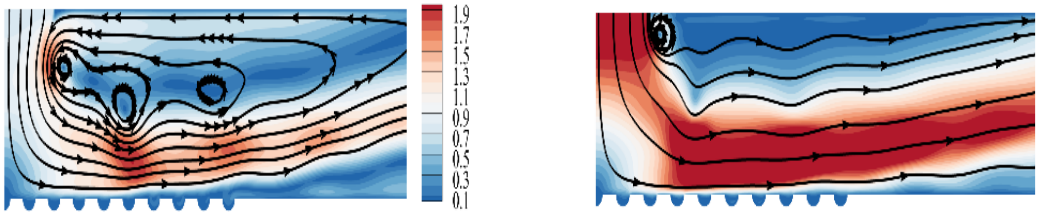


(ب) (الف)

شکل (۶) کانتور سرعت و جریان برای جت نوسانی سینوسی در فرکانس ۲۰ هرتز ، الف) T/2، ب) 3T/4

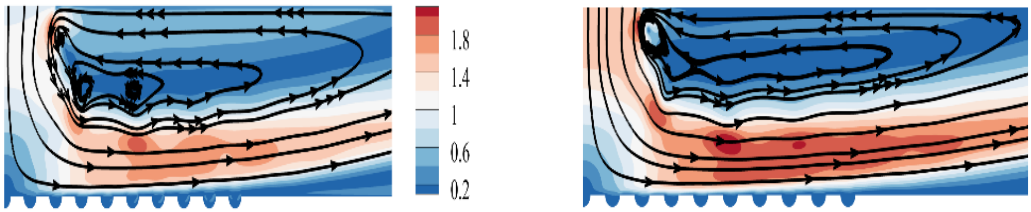
با توجه به شکل (۶) مشخص است که نواحی با ورتیسیتی بالا و چرخشی به صورت پریودیک در بالادست جریان و از ناحیه لایه برشی جت ورودی شکل می‌گیرند و به سمت پایین دست حرکت می‌کنند.در حقیقت با نوسانی نمودن میدان جریان دارای یک ماهیت ضربانی و دینامیک می‌شود که می‌تواند مقدار انتقال حرارت را تحت تاثیر قرار دهد. وجود این نواحی چرخشی که در یک دوره یا پریود نوسانی توسعه می‌یابد، در کنار چرخشی بودن جریان در نواحی فرورفتگی و شکل گیر جریان‌های ثانویه باعث افزایش نرخ اختلاط در لایه مرزی شده و در نتیجه انتقال حرارت بهبود می‌یابد.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]



(ب) (الف)

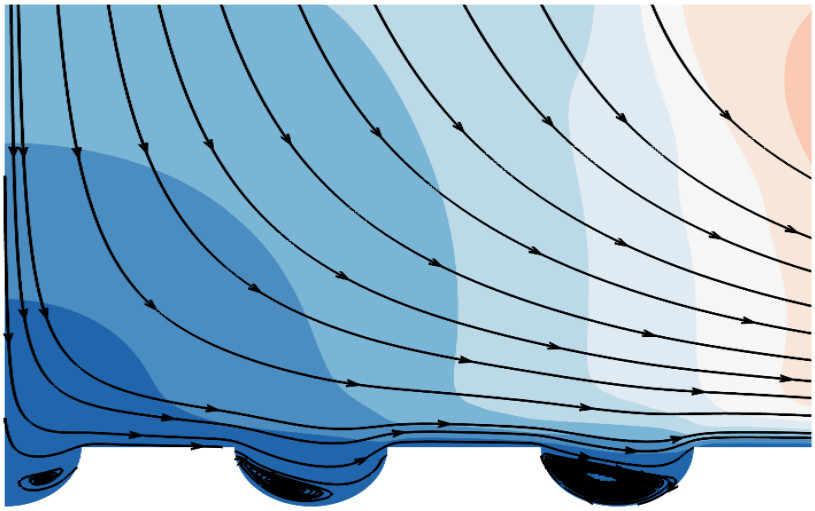
شکل (۷) کانتور سرعت و جریان برای جت نوسانی سینوسی در فرکانس ۶۰ هرتز، الف) T/2، ب) 3T/4



(ب) (الف)

شکل (۸) کانتور سرعت و جریان برای جت نوسانی سینوسی در فرکانس ۱۰۰ هرتز، الف)T/2، ب) 3T/4

با توجه به کانتورهای جریان و سرعت رسم شده در حالت سینوسی و پله،از آنجایی که در داخل گودی دیمپل‌ها نیز خطوط جریان وجود دارد و باعث تشکیل ورتکس می‌شود.یک نمونه کانتور در شکل (۹) رسم شده است و خطوط جریان داخل فرورفتگی‌ها را نشان می‌دهد.

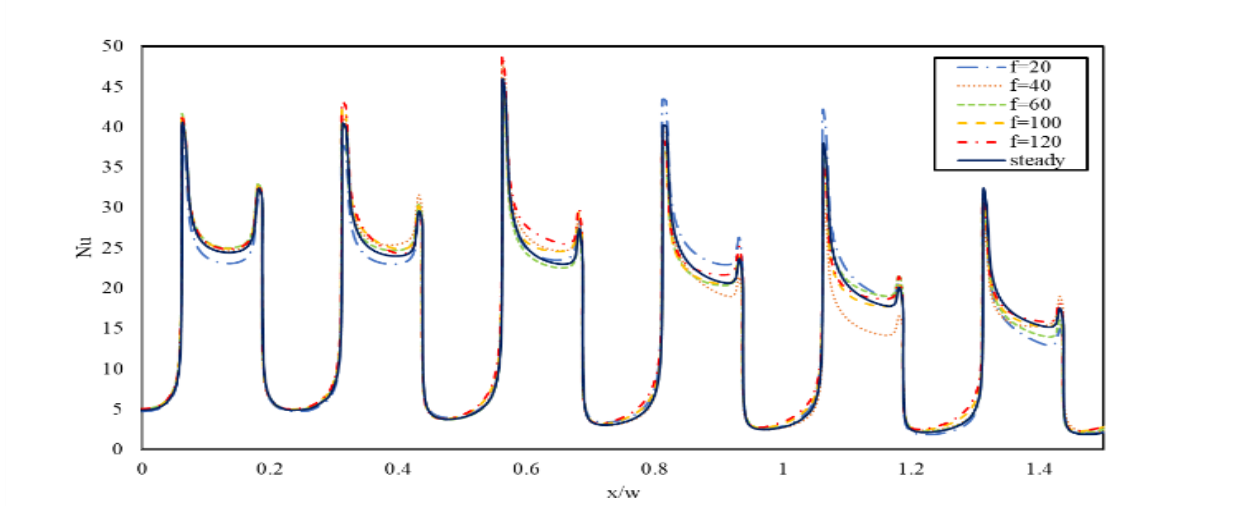


شکل (۹) خطوط جریان در فرورفتگی و شکل گیری جریان‌های ثانویه

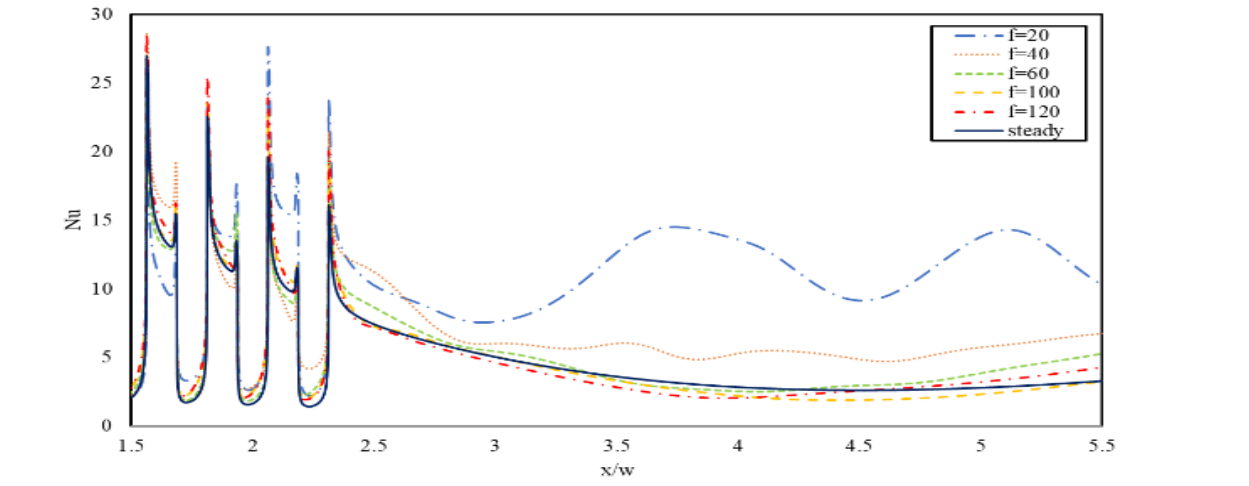
میدان سرعت بسیار زیاد تحت تاثیر فرکانس ورودی است.با افزایش فرکانس تغییرات مومنتوم با سرعت بیشتری به جریان تزریق می‌شود و هر چه فرکانس افزایش یابد، جریان به سمت یک جریان پایا میل می کند.عدد ناسلت یک پارامتر بدون بعد است که عملکرد انتقال حرارت همرفتی را در یک سیستم به همراه جریان نشان می‌دهد.این عدد نسبت انتقال حرارت همرفتی به انتقال حرارت هدایتی را نشان می‌دهد و یک پارامتر مهم در درک ویژگی‌های انتقال حرارت بر روی یک سطح است.در مطالعه حاضر، توزیع ناسلت در برابر طول کانال بدون بعد برای جت‌های برخوردی ثابت و نوسانی در فرکانس‌های

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

مختلف در شکل (۱۰) ترسیم شده است.وجود گودی روی سطح باعث ایجاد تغییراتی در توزیع ناسلت می‌شود و انتظار می‌رود که این تغییرات تحت تأثیر نوسانی بودن جت برخوردی قرار گیرند.در مورد یک جت برخورد دائم یا پایا بر روی یک سطح فرورفته، توزیع ناسلت افزایش‌های موضعی را در اطراف گودی‌ها نشان می‌دهد.وجود گودی‌ها باعث ایجاد گرداب‌ها و الگوهای جریان ثانویه می‌شود که اختلاط حرارتی را در نزدیکی سطح افزایش می‌دهد. در نتیجه، انتقال حرارت همرفتی در اطراف فرورفتگی‌ها تشدید می‌شود که منجر به اعداد ناسلت بالاتر در آن مناطق در مقایسه با مناطق مسطح می‌شود.هنگامی که از یک جت نوسانی به جای جت ثابت استفاده می‌شود، توزیع ناسلت نوسانات اضافی را در عدد ناسلت در طول کانال نشان می‌دهد.نوسانات تغییرات دوره ای را در میدان جریان ایجاد می‌کند و باعث تغییرات الگوهای جریان و اختلاط حرارتی را در اطراف فرورفتگی‌ها می‌شود.عدد ناسلت پیک‌ها و فرورفتگی‌های دوره ای را تجربه می‌کند زیرا فرکانس نوسان دینامیک جریان را کنترل می‌کند.



(الف)



(ب)

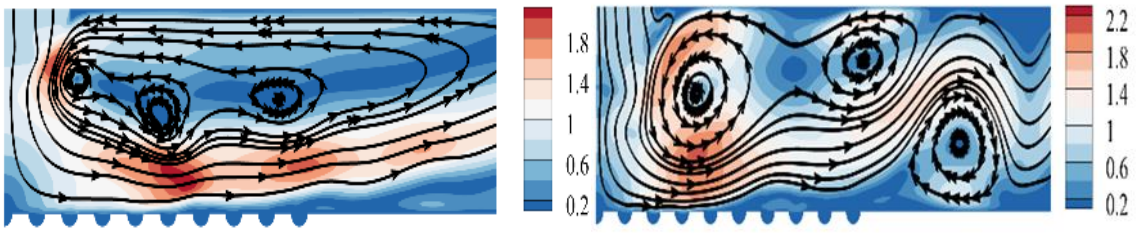
شکل (۱۰) نمودار ناسلت میانگین بر حسب طول بی بعد در فرکانس‌های مختلف و حالت جت نوسانی سینوسی، Re=1500, H/D=2, A=50.

الف) ناحیه سکون، ب) ناحیه جت دیواره

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

با توجه به شکل (۱۰) مشخص است که تغییرات فرکانس به طورکلی میزان انتقال حرارت را در حالت دمش جت افزایش می-دهد.در ناحیه سکون افزایش فرکانس باعث افزایش انتقال حرارت می‌شود اما در ناحیه جت دیواره کاهش فرکانس انتقال حرارت را بهبود می‌دهد. با میانگین گیری از عدد ناسلت در طول زمان مشخص شده است که به طور کلی میزان برداشت حرارت در جت‌های نوسانی از جت‌های پایا بیشتر می باشد.تغییرات سریع در توزیع ناسلت در اطراف گودی‌ها نتیجه مستقیم برهمکنش بین جریان نوسانی و سطح فرورفته است.در طول دوره نوسان، جریان بین سرعت‌های بالاتر و پایین‌تر تغییر و باعث نوساناتی در انتقال حرارت همرفتی می‌شود.این نوسانات ناشی از هندسه گودی به دلیل گردابه‌ها و اختلاط تقویت می-شوند.تأثیر فرکانس‌های جت ورودی بر توزیع ناسلت قابل توجه است.با افزایش فرکانس نوسان، تغییرات در توزیع عدد ناسلت آشکارتر می شود. در فرکانس‌های خاصی، تغییرات دوره‌ای در عدد ناسلت ممکن است افزایش یافته و منجر به بهبود قابل‌توجهی در انتقال حرارت در مقایسه با شرایط جریان پایا شود.با این حال در فرکانس‌های بسیار بالا، جریان ممکن است زمان کافی برای ایجاد گردابه‌های منسجم نداشته باشد و افزایش انتقال حرارت ممکن است محدود باشد.

در شکل (۱۱) کانتور سرعت به همراه خطوط جریان تابع پله‌ای برای یک لحظه و دو فرکانس ۲۰ و ۶۰ نشان داده شده است.با مقایسه بین کانتور در حالت سینوسی و پله ای مشخص می‌شود که الگوی جریان در جت‌های نوسانی تابعی از شکل تابع ورودی است و با توجه به اینکه در تابع پله ای سرعت ورودی به دو نیم پریود دهش و مکش تقسیم می‌شود، تغییرات به صورت ناگهانی و ضربانی رخ می‌دهد. ترکیب یک تابع پله ای با فرورفتگی‌های سطح باعث افزایش نرخ اختلاط و گرادیان‌های سرعت در ناحیه لایه مرزی می گردد که در نتیجه انتقال حرارت بهبود می‌یابد.کانتور سرعت و خطوط جریان برای هر دو توابع جت ورودی پله‌ای و سینوسی، بینش‌هایی را در مورد شکل گیری الگوهای جریان نوسانی بر روی سطح فرورفته ارائه می-دهد.در نمودار کانتور سرعت برای تابع پله، افزایش ناگهانی سرعت را در ورودی مشاهده می‌شود و به دنبال آن یک توزیع سرعت یکنواخت در سراسر کانال مشاهده می‌کنیم. هنگامی که جریان به سطح فرورفته برخورد می‌کند، گرداب‌های موضعی در اطراف گودی‌ها شکل می‌گیرد که منجر به افزایش اختلاط و انتقال حرارت همرفتی می‌شود. تابع پله تغییرات شدیدی را در سرعت جریان ایجاد می‌کند که منجر به یک الگوی جریان نسبتاً ساده و کاملاً مشخص با مناطق چرخش قوی در اطراف گودی‌ها می‌شود. در مقابل، نمودار کانتور سرعت برای تابع سینوسی نوسانات پریودیک در طول کانال را نشان می‌دهد.نوسان سینوسی باعث می‌شود که جریان بین سرعت‌های بالا و پایین متناوب شود که منجر به تغییرات پریودیک در میدان جریان می شود.در نتیجه، تشکیل گردابه‌ها و نواحی چرخشی در اطراف گودی ها در طول زمان پویاتر می‌شود.

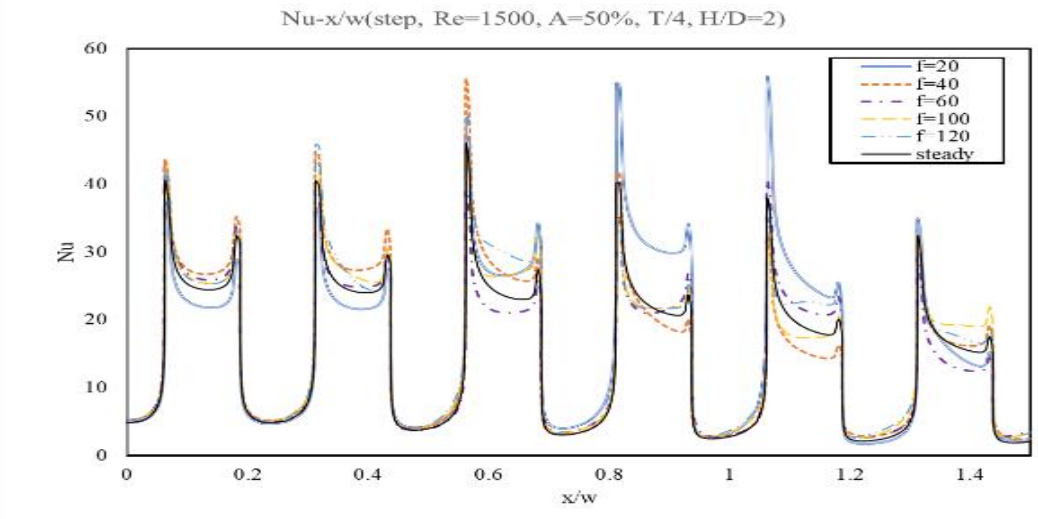


(ب) (الف)

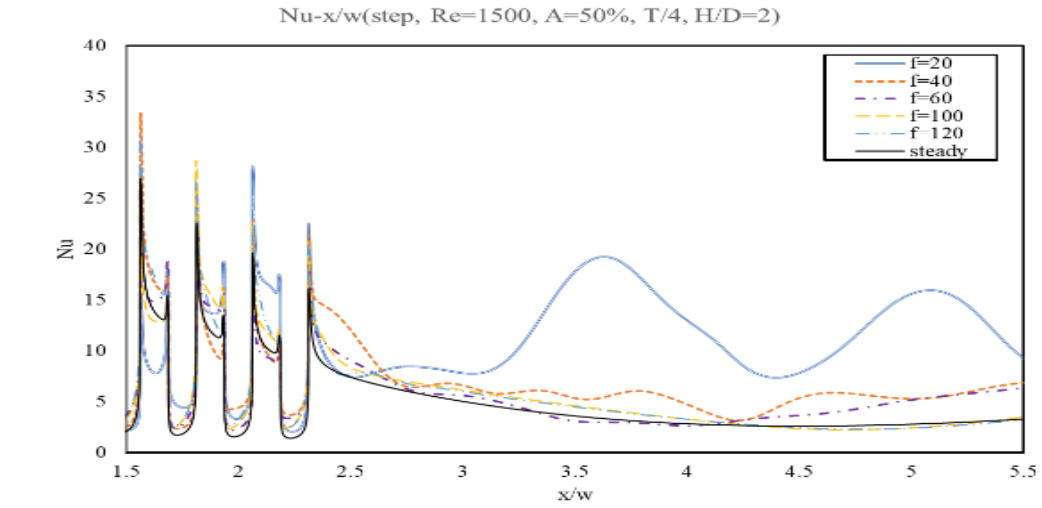
شکل (۱۱) کانتور سرعت و خطوط جریان برای جت نوسانی پله در لحظه 3T/4، الف) فرکانس ۲۰، ب) فرکانس ۶۰

به منظور بررسی تاثیر نوع تابع نوسانی بر روی میزان برداشت انتقال حرارت، نمودار توزیع عدد ناسلت برای تابع پله ای و در فرکانس‌های مختلف در ناحیه سکون و جت دیواره در شکل (۱۲) نشان داده شده است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]



(الف)



(ب)

شکل (۱۲) نمودار ناسلت بر حسب طول بی بعد در فرکانس‌های مختلف و در حالت جت نوسانی پله‌ای، Re=1500, H/D=2, A=50

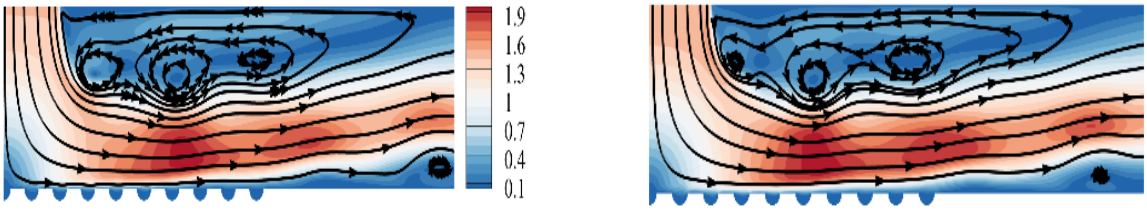
الف) ناحیه سکون، ب) ناحیه جت دیواره

میزان بیشنه عدد ناسلت در تابع پله ای بیشتر از تابع سینوسی است و به صورت میانگین نیز تابع پله ای برداشت حرارت بیشتری را نسبت به تابع سینوسی به همراه دارد.در تابع پله ای مشابه با تابع سینوسی کاهش فرکانس در ناحیه دیواره جت باعث بهبود انتقال حرارت می‌شود در حالتی که در ناحیه سکون رفتار متفاوت می‌باشد.

۳-۲- بررسی تاثیر دامنه بر ساختار جریان و انتقال حرارت

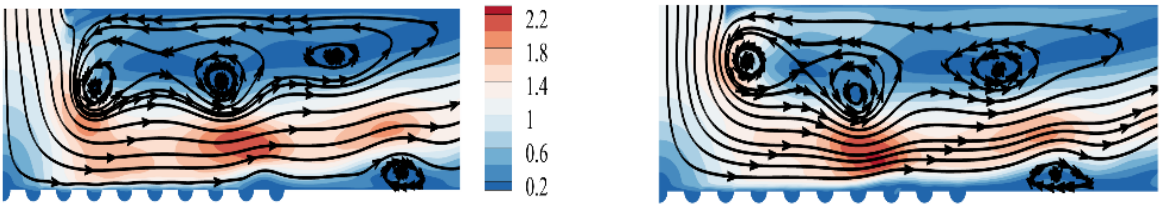
به منظور بررسی تاثیر دامنه نوسان بر روی برداشت انتقال حرارت و الگوی جریان، شبیه سازی برای ۳ حالت دامنه ۲۰،۵ و ۵۰ انجام شده اند.کانتورهای سرعت و جریان در دو بازه زمانی $\frac{T}{2}$ و$\frac{3T}{4}$ برای دو دامنه ۵ و ۵۰ رسم شده است.با افزایش دامنه نوسان اندازه نواحی چرخشی و یا به بیان دیگر اندازه ساختارهای منسجم افزایش می‌یابد.دامنه نوسان به صورت مستقیم بر روی قدرت لایه برشی جت ورودی تاثیر می‌گذارد و می‌تواند ورتکس‌های بزرگتری تولید نماید.بنابراین پیش بینی می‌شود با افزایش دامنه نوسان، انتقال حرارت بیشتری از سطح دیمپل دار برداشت شود.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]



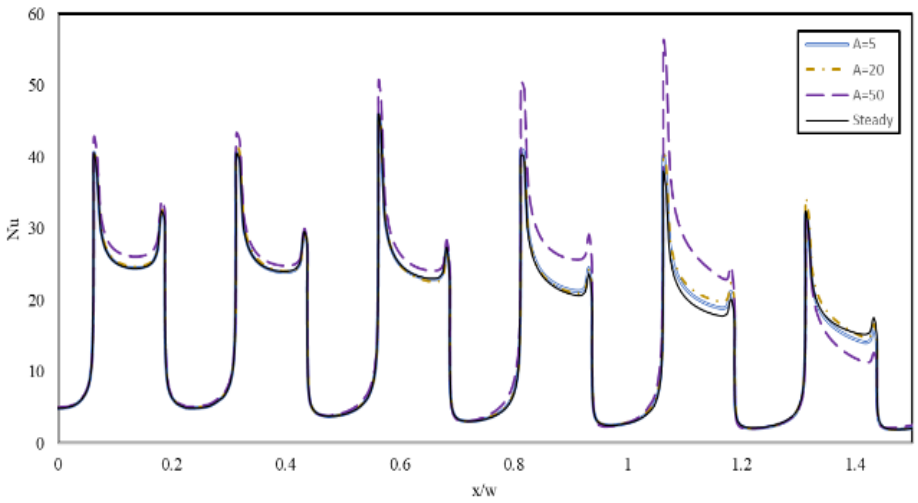
(ب) (الف)

شکل (۱۳) کانتور سرعت و جریان برای جت نوسانی سینوسی در دامنه ۵ درصد الف) T/2، ب) 3T/4

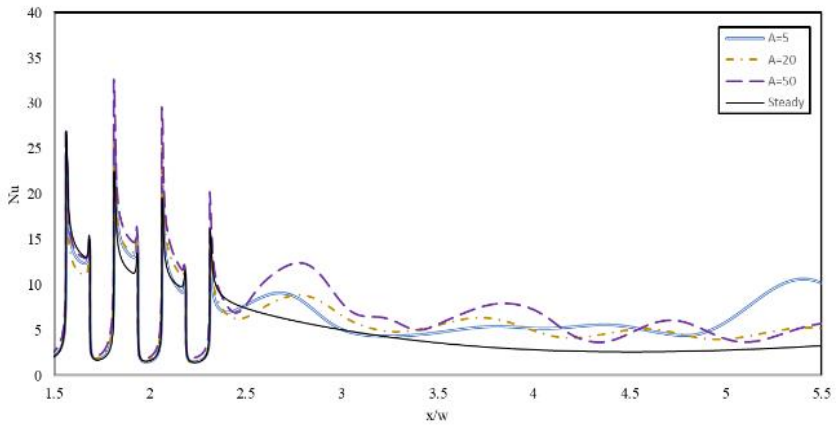


(ب) (الف)

شکل (۱۴) کانتور سرعت و جریان برای جت نوسانی سینوسی در دامنه ۵۰ درصد، الف) T/2، ب) 3T/4



(الف)

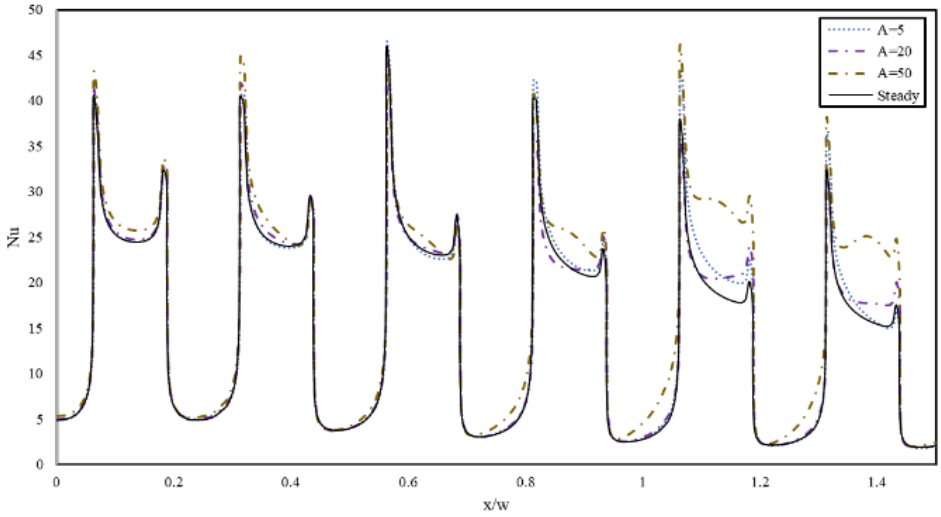


(ب)

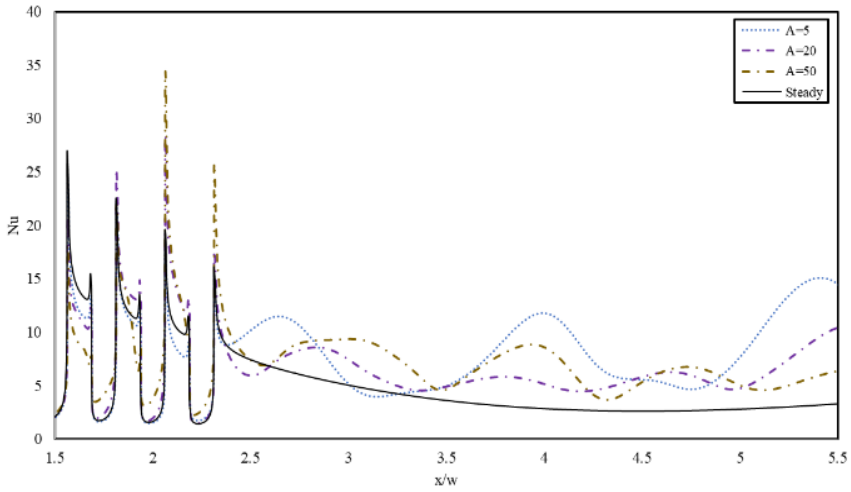
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

شکل (۱۵) نمودار ناسلت بر حسب طول بی بعد در دامنه‌های مختلف در حالت جت نوسانی سینوسی، الف) ناحیه سکون، ب) ناحیه جت دیواره

با توجه به کانتورهای خطوط جریان و نمودار ناسلت بر حسب طول بی بعد در دامنه‌های مختلف مشخص است که در جت نوسانی سینوسی با افزایش دامنه، گردابه‌های جریان شکل و شدت می‌گیرد و میزان انتقال حرارت بالاتری را تولید می-کند.همچنین در نمودار ناسلت با افزایش دامنه، عدد ناسلت افزایش می یابد.در نتیجه برای دامنه ۵۰ درصد بیش ترین میزان انتقال حرارت را رخ می‌دهد.در نیمه دوم صفحه که دارای دیمپل‌های فرورفتگی نمی‌باشد، دامنه ۵۰ درصد بیش ترین عدد ناسلت را نمایش می‌دهد.نکته جالب مقایسه نیمه دوم صفحه در نمودارهای فرکانس و دامنه می‌باشد که در نمودار ناسلت برای فرکانس‌های مختلف در نیمه دوم صفحه بدون فرورفتگی،کم ترین مقدار فرکانس، میانگین ناسلت بالاتری را نمایش می-دهد.بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در ناحیه جت دیواره با کاهش فرکانس و افزایش دامنه نوسان میزان انتقال حرارت بهبود می‌یابد. بیشترین میزان افزایش انتقال حرارت جت نوسانی نسبت به جت پایا در ناحیه سکون برای دامنه ۵۰ حدود ۲۸ درصد و در ناحیه جت دیواره حدود ۷۵ درصد می‌باشد.



(الف)



(ب)

شکل (۱۶) نمودار ناسلت میانگین بر حسب طول بی بعد دامنه‌های مختلف در حالت جت نوسانی پله، الف) ناحیه سکون، ب)ناحیه جت دیواره

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

۴- نتیجه گیری

در این مطالعه به صورت عددی تاثیر نوسانی کردن جریان ورودی بر روی الگوهای جریان و برداشت انتقال حرارت از یک سطح به همراه فرورفتگی در هندسه جت برخوردی بررسی شده است.هدف اولیه درک تأثیر شکل سیگنال بر تشکیل الگوهای جریان پریودیک و توزیع عدد ناسلت و مقایسه نتایج برای هر دو تابع بوده است. تجزیه و تحلیل کانتور سرعت و نمودارها الگوهای جریان متمایز را برای توابع پله و سینوسی نشان داد.تابع پله، الگوهای جریان پایدار و کاملاً تعریف شده با نواحی چرخش قوی در اطراف گودی‌ها را نشان می‌دهد.در مقابل، تابع سینوسی الگوهای جریان پویا و در حال تغییر را معرفی می‌کند که نوسانات پریودیک در سرعت را در طول کانال نشان می‌دهد.بررسی توزیع ناسلت در فرکانس‌های مختلف، به نتایج ارزشمندی را در مورد چگونگی افزایش انتقال حرارت ارائه کرده است. برای تابع پله ای، توزیع ناسلت رفتار نسبتاً پایداری را در فرکانس‌های مختلف نشان می‌دهد که منجر به افزایش انتقال حرارت شده است. از سوی دیگر، تابع سینوسی نوسانات پریودیک در عدد ناسلت را در فرکانس‌های مختلف نشان می‌دهد که در فرکانس‌های مختلف باعث افزایش قابل‌توجه انتقال حرارت به دلیل افزایش اختلاط جریان و هماهنگ‌سازی با گردابه‌های ناشی از فرورفتگی شده است.مقایسه بین دو تابع نشان داد که انتخاب شکل سیگنال به طور قابل توجهی بر الگوهای جریان و عملکرد انتقال حرارت در سیستم‌های جت برخورد نوسانی تأثیر می‌گذارد. نتایج ارائه شده در این مطالعه مفاهیم قابل توجهی برای طراحی و بهینه سازی سیستم‌های مدیریت حرارتی در کاربردهای مختلف مهندسی دارد.با تنظیم فرکانس، دامنه نوسان و شکل تابع نوسان، مهندسان می‌توانند عملکرد انتقال حرارت را برای برآورده کردن الزامات خاص در خنک کننده الکترونیک، خنک کننده پره توربین گاز و مبدل‌های حرارتی و غیره بهینه کنند.

۵- فهرست علائم و اختصارات

علائم انگلیسی

دامنه (%)	A
گرمای ویژه$(J.kg^{-1}.K^{-1})$	C_p
عرض نازل(m)	D
فرکانس(Hz)	f
ارتفاع جت نوسانی(m)	H
ضریب هدایت حرارتی$(W.m^{-1}.k^{-1})$	K
عدد ناسلت	Nu
عدد ناسلت میانگین	Nup
فشار(Pa)	P
عدد رینولدز	Re
عدد استروهال	St
زمان(s)	t
دما(K)	T
سرعت$(m.s^{-1})$	U
سرعت متوسط زمان$(m.s^{-1})$	$\overline{u_i}$
تنش رینولدز$(m^2.s^{-2})$	$\overline{u_i' u_j'}$

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

شار حرارتی متلاطم $(m.s^{-1}.k^{-1})$	$\overline{u_j'T'}$

علائم یونانی

نرخ زمانی اتلاف انرژی جنبشی آشفته	ε
پارامتر فرضی دلخواه	φ
ضریب افزایش	λ
ویسکوزیته $(Kg.m^{-1}.s^{-1})$	μ
چگالی $(Kg.m^{-3})$	ρ

۶- مراجع

[1] Nevins R.G, Ball H.D.Heat transfer between a flat plate and a pulsating impinging jet,In Proceedings of national heat transfer conference,Boulder,CO, pp.510-516.(1961).

[2] Mladin E.C, Zumbrunnen D.A.Dependence of heat transfer to a pulsating stagnation flow on pulse characteristics,Journal of Thermophys Heat Transfer,vol.9, pp.181–192.(1996).

[3] Middelberg G,Herwig H.Convective heat transfer under unsteady impinging jets the effect of the shape of the unsteadiness,Heat Mass Transfer, vol.45, pp.1519–1532.(2009).

[4] Esmailpour K.,Hosseinalipour M.,Bozorgmehr,B. and Mujumdar A.A Numerical Study of Heat Transfer in a Turbulent Pulsating Impinging Jet,the Canadian Journal of Chemical Engineering,Vol.93, pp. 959-969.(2015).

[5] Pakhomov M.A. ,Trekhov V.A. RANS Modeling of flow structure and turbulent heat in pulsed gas droplet mist jet impingement, Internatinal Journal of Thermal Sciences, Vol 100, Feb 2016, pp. 284-297.(2016).

[6] Cafiero G. , Gerco C. S. ,AStarita T., Discetti S.Flow field features of fractal impinging jets at short nozzle to plate Distances,Experimental Thermal And Fluid Science,Vol 78, Novamber, pp 334-344. (2016).

[7] Kharoua N. , Khezzar L. , Nemouchi Z. , Alshehhi M. ,(2017).“LES Study of the Combined Effects of Groups of Vortices Generated by a Pulsating Turbulent Plane Jet Impinging on a Semi-Cylinder”, Applied Thermal Enginnering.

[8] Baek S.I. , Ryu, J. , Ahn, J. Large Eddy Simulation of Film Cooling with Forward Expansion Hole:Comparative Study with LES and RANS Simulations,Energies,14,2063,https://doi.org/10.3390/ en14082063.(2021).

[9] Vinze R. ,Khade A. , Kuntikana P. , Ravitej M. , Suresh B. ,Kesavan,S.V. P. Effect of dimple pitch and depth on jet impingement heat transfer over dimpledsurface impinged by multiple jets.International Journal of Thermal Sciences Volume 145, November 2019, 105974.(2019).

[10] Zhang P.,Chao X.,Yu.R.,Liang C.Experimental and Numerical Study of Heat Transfer and Turbulent Flow in a Rotating channel with V Rib-Dimple Hybrid Structur,International Journal of Thermal Sciences,Volume 187, May 2023, 108162.(2023).

[11] Mocnic U. ,Mohic S.Experimental and numerical analysis of heat transfer in a dimple pattern heat exchanger channel,Applied Thermal Engineering Journal 230,120865.(2023).

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

چکیده انگلیسی:

Numerical study of flow and temperature field due oscillating impinging jet on the dimpled surface

Amin Bagheri[1], Kazem Esmailpour[2*], Morteza Heydari[3]

[1] PhD Candidate, Renewable Energy Research Center, Damavand Branch, Islamic Azad University, Damavand, Iran. A.Bagheri@damavandiau.ac.ir

[*2] Assistant Professor, Renewable Energy Research Center, Damavand Branch, Islamic Azad University, Damavand, Iran. Esmailpour@damavandiau.ac.ir

[3] Assistant Professor, Renewable Energy Research Center, Damavand Branch, Islamic Azad University, Damavand, Iran. Mo.Heydari@iau.ac.ir

Received: August 2023 Accepted: November 2023

Abstract

Impingement jet is a fluid flow that hits a surface perpendicularly or at a specific angle for the purpose of cooling or heating. The rate of transfer processes in turbulent impingement flows is affected by the formation of coherent structures, the interaction between them and transfer of It's energy.By oscillating the incoming flow in the impinging jets, the formation of coherent structures can be affected, and as a result, the amount of heat removal is affected. In this study, the effect of pulsed impinging jet using step and sinusoidal functions The flow and temperature field of a dimpled surface has been investigated by numerical method. The key parameters in this study include the shape of the input function, the frequency and the amplitude of the oscillating jet. The results of this study have been validated using previous researches and then The effect of key parameters on the formation of coherent structures and the amount of heat extraction have been discussed and analyzed. The results show that bypulsating the inlet flow, it is possible to change the recirculation zones and the vorticity field in the flow and overally The heat increases on the dimpled surface. Such results show that the flow patterns and Nusselt number are highly dependent on the parameters of the input function such as frequency and amplitude.

Keywords: Oscillating impinging jet, turbulent flow, Nusselt number, Frequency, depression

*corresponding author: P.O.B. 39715 -194, Tehran, Iran, esmailpour@damavandiau.ac.ir

Cite this article as Amin Bagheri, Kazem Esmailpour, Morteza Heydari. Numerical study of flow and temperature field due oscillating impinging jet on the dimpled surface. Journal of Energy Conversion, 2024, 10(4), 1-17.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]