نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)
J. Energy Conversion
Volume: 13, Issue 1, 2026: 71-92
دوره ۱۳، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، ص:۷۱-۹۲

تأثیر تعداد مش و لایه‌ها بر حداکثر ظرفیت انتقال حرارت لوله‌های حرارتی مجهز به فتیله مش توری صفحه‌ای پر شده با آب، متانول یا آمونیاک

علی سیستانی‌نیا[۱]، سیدعبدالرضا گنجعلیخانی‌نسب[۲و*] و امین نامجو[۳]

۱- گروه مکانیک، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران
*۲- گروه مکانیک، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران، Ganj110@uk.ac.ir
۳- گروه مکانیک، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران

دریافت: ۱۴۰۵/۱/۵ ، بازنگری: ۱۴۰۵/۲/۲۰، پذیرش:۱۴۰۵/۲/۲۸

چکیده

لوله‌های حرارتی به‌عنوان ابزارهای مبادله‌گر حرارتی شناخته می‌شوند که قادرند گرما را از سیستم‌ها دفع کنند. این مقاله روشی مبتنی بر شبیه‌سازی مستقیم را برای بررسی انتقال حرارت در طول لوله‌های حرارتی ارائه می‌دهد. اعتبارسنجی نشان داد حداکثر انحراف مدل از نتایج مرجع ۰/۲۸ درصد است؛ بنابراین، مدل تحلیلی از دقت و قابلیت اطمینان بالایی برخوردار است .در این مقاله نظری، به بررسی انتقال حرارت در لوله‌های حرارتی مجهز به فتیله توری مش صفحه‌ای پرداخته شده است. مطالعه حاضر تأثیر تعداد مش و لایه‌های فتیله را بر عملکرد انتقال حرارت با استفاده از سه سیال عامل (آب، آمونیاک و متانول) در محدوده‌های دمایی مختلف بررسی کرده است. نتایج نشان می‌دهد که تعداد مش و لایه‌های فتیله تأثیر قابل توجهی بر عملکرد لوله‌های حرارتی دارد و انتخاب بهینه این پارامترها منجر به دست‌یابی به فضای بخار مناسب، کاهش تلفات جریان مایع و افزایش ظرفیت انتقال حرارت می‌شود. هم‌چنین، مقایسه عملکرد سیالات عامل نشان داد که ساختار فتیله نه‌تنها بر ظرفیت انتقال حرارت تأثیرگذار است، بلکه در مقایسه عملکرد لوله‌های حرارتی هنگام استفاده از سیالات عامل مختلف نیز نقش تعیین کننده‌ای ایفا می‌کند. این یافته‌ها برضرورت توجه هم‌زمان به پارامترهای ساختاری فتیله و دمای بهره‌برداری جهت انتخاب سیال عامل مناسب تأکید دارد.

کلمات کلیدی: لوله حرارتی، انتقال حرارت، فتیله توری مش صفحه‌ای، سیال عامل و شبیه‌سازی

***عهده دار مکاتبات**: Ganj110@uk.ac.ir

نحوه استناد به این مقاله علی سیستانی‌نیا، سیدعبدالرضا گنجعلیخانی‌نسب، امین نامجو. تأثیر تعداد مش و لایه‌ها بر حداکثر ظرفیت انتقال حرارت لوله‌های حرارتی مجهز به فتیله مش توری صفحه‌ای پر شده با آب، متانول یا آمونیاک. **مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۵؛ ۱۳ (۱): ۹۲-۷۱.**

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

[DOI: 10.82377/jeed.2026.2.567]

۱- مقدمه

روش‌های مختلفی برای استخراج گرما از وسایل، ابزار الکترونیکی یا ماشین آلات با استفاده از دستگاه‌های خنک‌کننده مختلف وجود دارد. لوله حرارتی یکی از موثرترین و سریع‌ترین راه‌های حذف گرما از هر وسیله‌ای در بسیاری از کاربردها است [۱و۲]. عملکرد هر لوله حرارتی به عوامل مختلفی مانند هندسه لوله حرارتی، جنس لوله حرارتی، سیال عامل و نسبت پر شدن آن، نوع ساختار فتیله و جهت یا شیب لوله حرارتی بستگی دارد. بررسی متون برای اکثر پیکربندی‌ها (مانند اجرای خشک، اجرا مرطوب با و بدون ساختار فتیله) نشان داد که در شیب ۶۰ درجه، لوله حرارتی عملکرد بهتری را نشان می‌دهد [۳]. جنس لوله حرارتی و فتیله و هم‌چنین نوع سیال عامل براساس سازگاری و کاربرد آن انتخاب می‌شوند [۴]. مصطفی علی ارسوز به تأثیر سه ماده پرکننده لوله‌های حرارتی (نفت، متانول، اتانول، آب مقطر) بر میزان کارایی این لوله‌ها با هدف صرفه‌جویی مصرف انرژی و اثرات اگزرژی در کالکتورهای خورشیدی در شرایط آب و هوایی شهر یوسک ترکیه پرداخته است. در این تحقیق تجربی محقق بهترین بازدهی را مربوط به متانول و کم‌ترین را برای نفت گزارش کرده است. در یک شرایط یکسان بیش‌ترین هزینه اقتصادی مربوط به آب مقطر بوده که این عامل آب مقطر را از فهرست گزینه مناسب جهت ساخت لوله‌های حرارتی حذف خواهد کرد [۵]. برای انتخاب سیال عامل، سیال‌های عامل با نقطه جوش پایین مانند استون ترجیح داده می‌شوند زیرا آن‌ها زودتر از آب در یک دما یا حرارت ورودی مشخص شروع به تبخیر می‌کنند [۶و۷]. با بررسی تأثیر نسبت پرشدن‌های متفاوت مشخص گردید که اتخاب بهینه این نسبت در اواپراتور به افزایش انتقال حرارت کمک می‌کند. استفاده از استون با نسبت پرشدن ۱۰۰٪ در اواپراتور نتایج عملکرد بهتری را از خود نشان داد [۸ و۹].

مش‌های صفحه‌ای سیمی فلزی به‌طور گسترده در تبرید، صنایع غذایی، جمع‌آوری انرژی خورشیدی، اتلاف گرما، احتراق و سایر کاربردها استفاده شده است [۱۱-۱۰]. لژیرسکی و همکاران [۱۲] مطالعه‌ای در مورد مدل‌سازی و اندازه‌گیری انتقال گرما و جرم در لوله‌های حرارتی با استفاده از نرم افزار فلوئنت انجام دادند. کمپرس و همکاران [۱۳]

اثرات تعداد لایه‌های توری و میزان پرشدگی سیال عامل را در لوله‌های حرارتی با فتیله مش توری صفحه‌ای بررسی کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که لوله‌های با مقدار سیال عامل بسیار کم‌تر، مقاومت حرارتی مؤثر کم‌تری از خود نشان دادند، اما حداکثر نرخ انتقال حرارت به‌طور قابل توجهی کاهش یافت. یک مطالعه تجربی بر روی لوله حرارتی تخت فوق نازک با هسته توری سیمی تک‌لایه از طریق یک مدل آزمایشی بصری انجام شده است. نتایج نشان می‌دهند که هنگامی که محیط کار جوشان در حفره محدود فوق نازک وارد ناحیه جوشش هسته‌ای می‌شود، مقاومت حرارتی در بخش تبخیر کاهش می‌یابد و مقاومت حرارتی در بخش میعان به‌طور جزئی افزایش می‌یابد. این یافته‌ها می‌توانند به درک بهتر عملکرد لوله‌های حرارتی تخت فوق نازک و بهینه‌سازی طراحی آن‌ها برای کاربردهای مختلف کمک کنند [۱۴].

وونگ و لین [۱۵] عملکرد تبخیرکننده لوله‌های حرارتی مجهز به فتیله توری سیمی، شارژشده با آب را تحت شرایط زاویه ترشوندگی سطحی مختلف اندازه‌گیری کردند. زاویه تماس سطحی (θ_0) به‌عنوان معیاری برای کمی‌سازی ترشوندگی سطح، با استفاده از قطره آب ساکن بر روی یک سطح مس صاف اندازه‌گیری شد. نتایج این مطالعه نشان داد که مقاومت تبخیرکننده (R_e) برای فتیله توری سیمی عمدتاً توسط مقاومت هدایتی مرتبط با بخش غوطه‌ور فتیله تعیین می‌شود. یک فتیله توری مسی متخلخل شده نوآورانه، که از طریق فرآیندهای بافندگی، رسوب‌دهی شیمیایی و زینترینگ ساخته شده، برای بهبود عملکرد لوله‌های حرارتی فوق نازک توسعه داده شد. نیروی مویینگی ساختارهای فتیله رسوب‌دهی شده به صورت تجربی و با مقایسه با فتیله‌های توری معمولی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که نیروی مویینگی ساختارهای فتیله جدید در مقایسه با فتیله‌های معمولی بیش‌تر است و هم‌چنین سرعت صعود و ارتفاع مویینگی با افزایش زمان رسوب‌دهی از ۵ تا ۲۰ دقیقه، افزایش می‌یابد [۱۶].

توسط سالمون و همکاران یک مدل عددی دوبعدی و گذرا توسعه داده شده است تا هسته بخار، دمای دیواره، فشار بخار، سرعت بخار و سرعت مایع را در لوله حرارتی با فتیله‌ی مش توری صفحه‌ای پیش بینی کند. معادلات جرم، مومنتوم و انرژی برای مناطق مایع و بخار به صورت عددی حل شده‌اند. تأثیر نانو سیال مس-آب بر عملکرد انتقال حرارت لوله حرارتی با استفاده از مدل توسعه‌یافته مطالعه شده و با عملکرد لوله حرارتی حاوی آب دی یونیزه مقایسه شده است. جالب توجه است که سرعت مایع و بخار در لوله

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

[DOI: 10.82377/jeed.2026.2.567]

حرارتی پر شده با نانو سیال مس-آب، در مقایسه با لوله حرارتی حاوی آب دی‌یونیزه، در شرایط عملیاتی یکسان، ۲۰ درصد بیش‌تر است [۱۷]. هو و همکاران [۱۸] با در نظر گرفتن تنها هدایت حرارتی لایه‌های توری سیمی اشباع شده از سیال، هدایت حرارتی مؤثر توری‌های سیمی را در وضعیت راکد مورد مطالعه قرار دادند. به‌منظور بهبود عملکرد حرارتی لوله‌های حرارتی، استفاده از ترکیب‌های مختلف لوله‌های حرارتی و نانوسیال به‌طور گسترده مشاهده شده است. هدف پوترا و همکاران از پژوهش انجام شده، تعیین غلظت‌ها و انواع نانوسیال است که می‌توانند عملکرد حرارتی لوله‌های حرارتی با فتیله مش توری صفحه‌ای را به بهترین شکل بهبود بخشند و هم‌چنین بررسی اثر پوشش‌های ایجادشده بر ساختار این فتیله پس از استفاده از نانو سیال به‌عنوان سیال عامل. لوله حرارتی با فتیله توری که بهترین عملکرد را داشت، لوله‌ای بود که از نانو سیال آب–Al_2O_3 با غلظت ۰٫۵٪ حجمی استفاده کرده بود. عملکرد حرارتی بالاتر، نانو سیال را به‌عنوان سیال عامل جذاب در لوله‌های حرارتی با فتیله مش توری صفحه‌ای معرفی می‌کند [۱۹].

اثر خواص سیال عامل نیز بر روی لوله‌های حرارتی مش توری صفحه‌ای بررسی شده است. توسط لاکشمی ردی و همکاران [۲۰] عملکرد حرارتی یک لوله حرارتی استوانه‌ای مجهز به فتیله مش توری با استفاده از نانوسیال آب–Al_2O_3 به‌صورت تجربی ارزیابی شد. در این پژوهش، به‌منظور تعیین اثر متقابل و میزان تأثیر پارامترهای عملیاتی شامل توان حرارتی ورودی، زاویه شیب لوله حرارتی و غلظت نانوذرات بر عملکرد حرارتی، از روش‌شناسی سطح پاسخ (RSM) بهره‌گرفته شد. این نتایج نشان می‌دهد که علاوه بر ساختار فتیله، خواص ترموفیزیکی سیال عامل و شرایط بهره‌برداری می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی بر عملکرد حرارتی این لوله‌ها تأثیر بگذارد.

هشت ساختار توری مارپیچ بافته شده مختلف (SWM) توسط ژو و همکاران [۲۱] طراحی شدند تا تأثیر روش بافت SWM بر عملکرد انتقال حرارت در لوله‌های حرارتی بسیار نازک (UTHPs) بررسی شود. نتایج نشان داد که تعداد و توزیع سیم‌های مسی با قطرهای مختلف در هر رشته از HSWM، اندازه منافذ و حجم کل منافذ داخل فتیله را تعیین می‌کند. چیدمان متناوب سیم‌های مسی با قطرهای مختلف در HSWM به تشکیل منافذ چند اندازه‌ای بیش‌تر در فتیله کمک می‌کند و در نتیجه عملکرد هیدرولیکی جامع آن را بهبود می‌بخشد. استفاده از فتیله‌های HSWM عملکرد انتقال حرارت در UTHPs را به‌طور قابل توجهی بهبود می‌بخشد. فو و همکاران [۲۲] به‌صورت عددی اثر اندازه مش توری بر عملکرد حرارتی یک لوله حرارتی مجهز به فتیله مش توری را بررسی کردند. هفت پیکربندی مختلف مش با اندازه منافذ ۱۳ تا ۷۵ میکرومتر، تحت توان ورودی ۴۸۸، ۶۵۵، ۷۷۴ و ۹۹۰ وات مورد بررسی قرار گرفت. برای توصیف جریان دوفازی ناشی از نیروی موئینگی و فرآیندهای تغییر فاز در داخل لوله، یک مدل اصلاح‌شده به کار گرفته شد. مدل عددی ابتدا با استفاده از داده‌های تجربی منتشرشده در مطالعات پیشین اعتبارسنجی شد. مهم‌ترین یافته مقاله این است که اندازه مش توری تأثیر قابل‌توجهی بر توزیع دما، سرعت سیال، کسر حجمی فازها و نحوه گردش سیال عامل دارد. هم‌چنین، یک اندازه بهینه برای مش توری شناسایی شد که در آن کم‌ترین مقاومت حرارتی حاصل می‌شود. بنابراین، الزاماً ریزترین مش بهترین عملکرد حرارتی را ایجاد نمی‌کند.

در یک تحقیق تجربی، ما و همکارانش [۲۳] حد موئینگی یک لوله حرارتی فتیله توری سدیم را تحت شارهای حرارتی، نرخ‌های گرمایش و زوایای شیب مختلف بررسی کردند. آن‌ها مشاهده کردند که حد موئینگی زمانی رخ می‌دهد که نرخ تبخیر از میزان مایع ورودی به اواپراتور که از طریق موئینگی هدایت می‌شود، بیش‌تر شود. علاوه براین، در زوایای شیب مثبت، نوسانات حرارتی ناشی از پدیده خشک‌شدگی مشاهده شد. نتایج هم‌چنین نشان داد که پس از رسیدن لوله حرارتی به حد موئینگی، بازیابی عملکرد پایدار آن مستلزم کاهش قابل توجه توان حرارتی ورودی است. این یافته‌ها نقش مهم ویژگی‌های موئینگی فتیله و شرایط بهره‌برداری را در تعیین حداکثر قابلیت انتقال حرارت لوله‌های حرارتی فتیله توری برجسته می‌کند.

مطالعات پیشین نشان می‌دهد که با وجود پیشرفت‌های حاصل‌شده در توسعه لوله‌های حرارتی، هم‌چنان ظرفیت قابل‌توجهی برای بهبود عملکرد حرارتی لوله‌های گرمایی با فتیله مش‌صفحه‌ای وجود دارد. در میان انواع ساختارهای فتیله، فتیله مش‌صفحه‌ای به‌دلیل سهولت ساخت، هزینه کم‌تر، قابلیت تولید مناسب و عملکرد قابل قبول، به‌عنوان ساختار منتخب این پژوهش انتخاب شده است. مطالعات گذشته نشان داده‌اند که ابعاد مش و تعداد لایه‌های فتیله از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر فشار موئینگی، نفوذپذیری، مقاومت

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

[DOI: 10.82377/jeed.2026.2.567]

جریان سیال و مقاومت حرارتی فتیله هستند. نتایج این پژوهش‌ها حاکی از آن است که تأثیر ویژگی‌های هندسی فتیله بر عملکرد انتقال حرارت به‌طور کامل تبیین نشده و در برخی موارد نیز نتایج گزارش‌شده یکسان نیست. ازاین‌رو، بررسی هم‌زمان پارامترهای مؤثر بر عملکرد فتیله همچنان یکی از موضوعات مهم در طراحی و بهینه‌سازی لوله‌های حرارتی محسوب می‌شود. از سوی دیگر، عملکرد لوله‌های حرارتی تنها تابع ساختار فتیله نیست، بلکه دمای کاری نیز نقش تعیین‌کننده‌ای در خواص ترموفیزیکی سیال عامل، شدت انتقال حرارت، فشار بخار و مکانیزم گردش سیال ایفا می‌کند. در نتیجه، ارزیابی اثر پارامترهای ساختاری فتیله بدون در نظر گرفتن شرایط دمایی نمی‌تواند تصویری جامع از عملکرد واقعی لوله گرمایی ارائه دهد.

از این رو، در این پژوهش اثر همزمان ساختار فتیله و دمای عملیاتی بر ظرفیت انتقال حرارت مورد بررسی قرار می‌گیرد تا شرایط بهینه عملکرد در محدوده‌های مختلف دمایی مشخص شود. علاوه بر این، انتخاب سیال عامل یکی از مهم‌ترین مراحل طراحی لوله‌های حرارتی است و به محدوده دمای بهره‌برداری وابستگی مستقیم دارد. هرچند برای یک محدوده دمایی ممکن است چندین سیال عامل مناسب پیشنهاد شود، انتظار می‌رود تغییر ساختار فتیله موجب تغییر عملکرد نسبی این سیالات و در نتیجه تغییر در مناسب‌ترین گزینه برای شرایط کاری مشخص شود.

بر این اساس، پژوهش حاضر با بهره‌گیری از یک مدل تحلیلی یک‌بعدی لوله حرارتی و توسعه یک کد محاسباتی در محیط متلب، اثر اندازه مش، تعداد لایه‌های فتیله، دمای عملیاتی و نوع سیال عامل را بر حداکثر ظرفیت انتقال حرارت بررسی می‌کند. اگرچه در این پژوهش از یک مدل تحلیلی یک‌بعدی مبتنی بر روابط کلاسیک لوله حرارتی استفاده شده است، این روابط بر پایه مکانیزم‌های بنیادی انتقال حرارت و جریان سیال در لوله‌های حرارتی توسعه یافته‌اند و به‌طور گسترده در مطالعات پیشین برای تحلیل عملکرد آن‌ها به‌کار گرفته شده‌اند. از این‌رو، نتایج حاصل از این مدل عمدتاً برای تحلیل روند تأثیر پارامترهای هندسی فتیله، دمای کاری و نوع سیال عامل بر عملکرد لوله حرارتی قابل تعمیم هستند. با این‌حال، مقادیر کمی پیش‌بینی‌شده ممکن است در مدل‌های دوبعدی و سه‌بعدی، که توزیع‌های موضعی دما، جریان و هندسه واقعی را در نظر می‌گیرند، متفاوت باشند. بنابراین، تعمیم کمی نتایج به چنین مدل‌هایی نیازمند مطالعات تکمیلی و اعتبارسنجی بیش‌تر است. نتایج این تحلیل، علاوه بر تبیین نقش هر یک از پارامترهای مؤثر، مبنایی برای بهینه‌سازی ساختار فتیله و انتخاب مناسب‌ترین سیال عامل در شرایط مختلف بهره‌برداری فراهم خواهد کرد.

بنابراین، هدف مطالعه حاضر ارزیابی عملکرد سه سیال عامل مختلف در کنار پارامترهای ساختاری فتیله به‌صورت هم‌زمان با هدف ارایه بینش بیش‌تر تأثیر متقابل ساختار فتیله، دمای عملیاتی و نوع سیال عامل بر حداکثر ظرفیت انتقال حرارت لوله گرمایی است.

با توجه به مبانی نظری و نتایج مطالعات پیشین، فرضیه‌های پژوهش به شرح زیر تدوین می‌شوند:

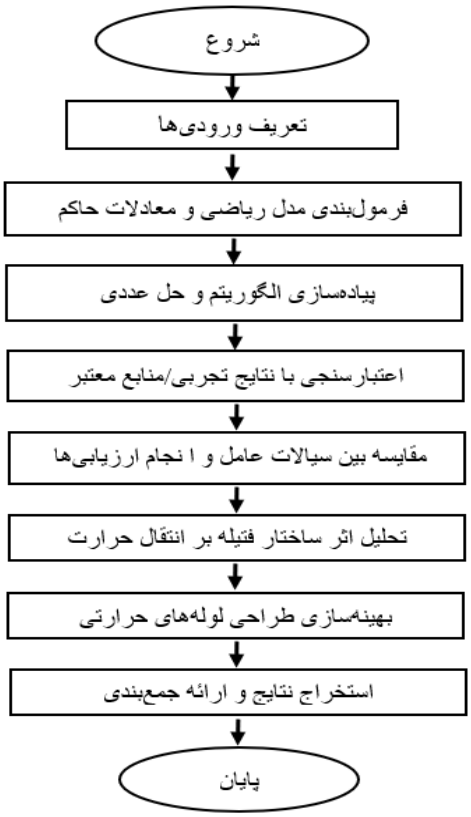
- اندازه مش فتیله بر حداکثر ظرفیت انتقال حرارت لوله گرمایی تأثیر معناداری دارد.
- تعداد لایه‌های فتیله بر حداکثر ظرفیت انتقال حرارت لوله گرمایی تأثیر معناداری دارد.
- دمای عملیاتی اثر پارامترهای ساختاری فتیله بر ظرفیت انتقال حرارت را تحت تأثیر قرار می‌دهد.
- نوع سیال عامل، در تعامل با ساختار فتیله، بر عملکرد حرارتی و ظرفیت انتقال حرارت لوله گرمایی مؤثر است.

۲- مدل‌سازی ریاضی و تحلیل عددی

برای ارائه یک نمای کلی از روش تحقیق، گردش کار کلی مطالعه حاضر در شکل (۱) نشان داده شده است. روندنما شکل (۱) جریان مراحل اصلی تحقیق، شامل تعریف پارامترهای ورودی، مدل‌سازی ریاضی، پیاده‌سازی عددی، اعتبارسنجی مدل، تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای سیالات عامل، ارزیابی تأثیر ساختار فتیله بر عملکرد انتقال حرارت و بهینه‌سازی حرارتی را خلاصه می‌کند. جزئیات هر مرحله در بخش‌های بعدی ارائه شده است

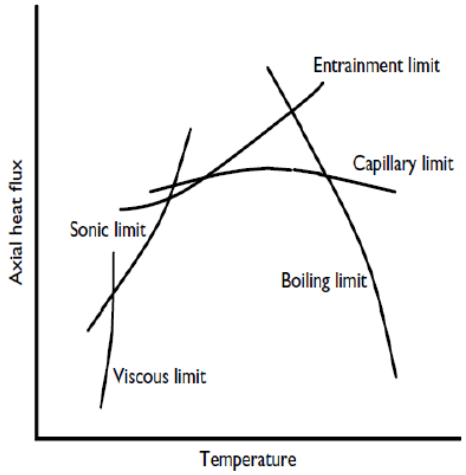
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.82377/jeed.2026.2.567]



شکل ۱- شماتیک گردش کار کلی مطالعه حاضر.

ظرفیت انتقال حرارت لوله‌های حرارتی مطابق شکل (۲) تحت تأثیر محدودیت‌های متعددی قرار می‌گیرد و در دماهای کاری متفاوت، محدوده‌های مختلف غالب می‌شوند. همانطور که از شکل مشخص است در دماهای کارکرد پایین، محدودیت ویسکوزیته و صوتی حاکم است، با افزایش دما محدودیت به‌دنبال کشیدن وارد صحنه می‌شود و با ادامه افزایش دما، محدودیت مویینگی و جوشش اهمیت پیدا می‌کنند.



شکل ۲- محدودیت‌های انتقال حرارت در لوله حرارتی [۲۴].

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

[DOI: 10.82377/jeed.2026.2.567]

نقاط گذرا بین شرایط محدود کننده بستگی به‌نوع سیال و ساختار فتیله مورد استفاده دارد [۲۵]. پس خواص ترموفیزیکی سیال عامل فاکتورهای اصلی عملکرد لوله حرارتی هستند. شعاع مویینگی مؤثر، تخلخل و خاصیت نفوذپذیری برای ساختار فتیله مهم هستند. اگر از لوله در یک موقعیت افقی بهره‌برداری گردد گرانش هیچ تاثیری در عملکرد ندارد. در این مطالعه، یک مدل تحلیلی یک‌بعدی برای لوله‌های حرارتی ارایه شده و یک کد کامپیوتری با استفاده از برنامه متلب تهیه گردیده است تا تأثیر پارامترهای مختلف بر ظرفیت انتقال حرارت لوله‌های حرارتی مورد بررسی قرار گیرد. این کد از یک روال اصلی که شامل زیر روال برای همه شرایط محدود کننده است، تشکیل شده است. هنگامی که روال اصلی به‌منظور محاسبه محدودیت‌های انتقال حرارت در برنامه فراخوان می‌شود، شروع به اجرا کردن زیر روال‌ها می‌کند. خصوصیات سیال مورد استفاده مانند خواص ترموفیزیکی، خصوصیات ساختار فتیله توسط روال فرعی محاسبه می‌شود. بنابراین تخلخل فتیله، نفوذپذیری و.... در داخل برنامه محاسبه می‌شود و ورودی برای به‌دست آوردن محدودیت‌های بهره‌برداری شکل می‌گیرد. به‌منظور انجام تمام این محاسبات برنامه به اطلاعاتی به‌عنوان ورودی نیاز دارد. تمام این محاسبات با استفاده از فرمول‌ها و روابط ارایه شده مربوط به محدودیت‌های لوله‌های حرارتی و خصوصیات ساختار فتیله انجام می‌شود. همبستگی‌های لازم در زیرروال و بین روال فرعی و اصلی اتفاق می‌افتد.

حداکثر میزان انتقال حرارت براساس محدودیت حاکم و تأثیرگذار بر ظرفیت انتقال حرارت لوله حرارتی به‌عنوان خروجی برنامه حاصل می شود. علاوه بر این، نتایج کلیه محدودیت‌ها شامل داده‌های مویینگی، جوشش، ویسکوزیته، صوتی و حد به‌دنبال کشیدن نگه‌داری می‌شود. در ادامه به محدودیت‌های لوله‌های حرارتی، خصوصیات ساختار فتیله و مدل‌های تحلیلی جهت محاسبه آن‌ها پرداخته می شود. معادلات و روابط مورد استفاده از پژوهش‌های زوهوری [۲۶] و کوتز [۲۷] اقتباس شده‌اند.

۲-۱ حد مویینگی

جریان بخار و آب داخل لوله حرارتی به‌ترتیب بوسیله اختلاف فشار ناشی از تبخیر و به‌وسیله فشار مکش مویرگی شکل می‌گیرد. جریان بخار و آب در طول فرایند خود مقداری فشار از دست می‌دهند. برای این‌که لوله حرارتی عملکرد درستی داشته باشد، فشار مکش مویینگی خالص بین ناحیه اواپراتور و کندانسور بایستی بزرگ‌تر از این فشار از دست رفته باشد. در غیر این‌صورت جریان ناکافی مایع به ناحیه اواپراتور باعث خشکی کامل در اواپراتور خواهد شد. با استفاده از فرضیات زیر حد مویینگی بوسیله فرمول زیر بدست می‌آید:

- الف) برای فاز بخار تأثیرات اینرسی مورد توجه قرار نمی‌گیرند.
- ب) تلفات انتقال فاز بخار نادیده گرفته شده‌اند.
- ج) جریان بخار یک بعدی و در جهت محوری فرض شده است.
- د) با فرض خیس شوندگی کامل[۲۸]، $\theta = 0°$.

$$Q_c = \frac{\frac{2\sigma}{r_{ce}} - \rho_l . g\left(d_v . \cos\psi + L_{eff} . \sin\psi\right)}{\left(\frac{C . f_v . Re_v . \mu_v}{2 . r_{hv}^2 . A_v . \rho_v . \lambda} + \frac{\mu_l}{K . A_w . \lambda . \rho_l}\right) . L_{eff}} \quad (۱)$$

با بررسی معادله فوق بدیهی است که خواص سیال عامل و ساختار فتیله عوامل اصلی مؤثر در حد مویینگی یک لوله حرارتی هستند. در انتخاب نوع سیال عامل و ساختار فتیله به‌منظور داشتن ظرفیت مطلوب انتقال حرارت برای حد مویرگی باید توجه شود. محدودیت مویینگی بر روی تمامی بخش‌های یک لوله حرارتی تاثیرگذار است.

۲-۲ محدودیت ویسکوزیته

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

[DOI: 10.82377/jeed.2026.2.567]

هنگامی که نیروهای ویسکوز بر جریان بخار غالب شوند، فشار بخار در انتهای چگالنده ممکن است به صفر کاهش یابد. در این شرایط، توانایی انتقال حرارت لوله حرارتی ممکن است محدود شود. این محدودیت که به‌عنوان حد فشار بخار نیز شناخته می‌شود، معمولاً در لوله‌های حرارتی که در دماهای پایین‌تر از محدوده عملیاتی معمول خود کار می‌کنند، رخ می‌دهد.

$$Q_v = \frac{A_w . r_v^2 . \lambda . \rho_v . P_v}{16 . \mu_v . L_{eff}} \quad (۲)$$

محدودیت ویسکوزیته برروی تمامی بخش‌های یک لوله حرارتی تأثیرگذار است. زیرا بستگی به اختلاف فشار بخار بین بخش‌های اواپراتور و کندانسور دارد.

۲-۳ محدودیت به‌دنبال کشیدن

هنگامی که سرعت بخار درون لوله حرارتی به‌اندازه کافی زیاد باشد، نیروی برشی موجود در فصل مشترک مایع-بخار ممکن است باعث جدا شدن مایع از سطح فتیله و انتقال آن به‌جریان بخار شود. این پدیده بازگشت مایع چگالیده شده به بخش تبخیر را کاهش داده و توانایی انتقال حرارت لوله حرارتی را محدود می‌کند.

$$Q_e = A_v . \lambda . \left(\frac{\sigma . \rho_v}{2 . r_{hv}}\right)^{1/2} \quad (۳)$$

وقتی معادله حد اینتریمنت مورد بررسی قرار گیرد، واضح است که با افزایش کشش سطحی سیال، محدودیت افزایش می‌یابد. محدودیت به‌دنبال کشیدن برروی تمامی بخش آدیاباتیک یک لوله حرارتی تأثیرگذار است، جایی‌که جریان مایع و بخار هم‌زمان اتفاق می‌افتد.

۲-۴ حد صوتی

حد صوتی وقتی اتفاق می‌افتد که سرعت جریان بخار به سرعت جریان صوت در خروجی اواپراتور نزدیک می‌شود. با افزایش سرعت بخار در خروجی اواپراتور، جریان به شرایط جریان خفه شده می‌رسد و جریان جرمی بخار با جریان جرمی بحرانی در شرایط جریان خفه محدود می‌شود. بنابراین ظرفیت انتقال حرارت محدود می‌شود و مقادیر حرارتی بالاتر نمی‌تواند منتقل شود. فرمول ریاضی حد سونیک یافت شده به شرح زیر می‌باشد:

$$Q_s = A_v . \rho_v . \lambda . \left(\frac{\gamma_v . R_g . T_v}{2(\gamma_v + 1)}\right)^{1/2} \quad (۴)$$

فرضیات به‌کار رفته برای اعتبار معادله فوق به شرح زیر می‌باشند:

- جریان یک بعدی فرض شده است.
- از تأثیرات اصطکاک صرف نظر می‌شود.
- فرض بر این است که اثرات اینرسی غالب است.
- جریان بخار به عنوان جریان گاز ایده‌آل فرض می‌شود.

با استفاده از مفروضات اشاره شده، معادله فوق از معادلات بقاء انرژی و مومنتم منتج شده است.

۲-۵ حد جوشش

این محدودیت در اثر تشکیل حباب در ساختار فتیله در بخش اواپراتور ایجاد می‌شود که تا حدی بازگشت مایع را مسدود کرده و می‌تواند منجر به خشک شدن فتیله در اواپراتور شود. اگر شار حرارتی شعاعی یا دمای دیواره لوله به‌طور غیرمجاز افزایش یابد، جوشش سیال عامل و تشکیل حباب درون فتیله به‌وجود می‌آید و به‌محدودیت جوشش منجر می‌شود. عبارت مربوط به‌حداکثر ظرفیت انتقال حرارت برای محدوده جوشش به‌شرح زیر است:

$$Q_b = \left(\frac{2 . \pi . L_e . K_{eff} . T_v}{\lambda . \rho_v . \ln(r_i / r_v)}\right)\left(\frac{2\sigma}{r_n} - \Delta P_{c,m}\right) \quad (۵)$$

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

[DOI: 10.82377/jeed.2026.2.567]

با بررسی معادله فوق می توان دریافت که بیش‌ترین وابستگی مربوط به خصوصیات سیال است. یکی از این پنج محدودیت بسته به خصوصیات سیال، دمای کارکرد و خصوصیات ساختار فتیله ظرفیت انتقال حرارت لوله حرارتی را تعیین می‌کند و حاکم می‌باشد. کم‌ترین مقدار در بین تمام محدودیت ها حداکثر ظرفیت انتقال حرارت لوله حرارتی است. خصوصیات ساختار فتیله مش توری صفحه‌ای که در داخل برنامه محاسبه می‌شود عبارتند از:

- تخلخل:

$$\epsilon = 1 - \frac{\pi . S . N . d_w}{4} \quad (۶)$$

- نفوذپذیری:

$$K = \frac{d_w^2 . \varepsilon^3}{122(1-\epsilon)^2} \quad (۷)$$

- قابلیت انتقال گرما:

برای محاسبه حد انتقال حرارت جوشش به هدایت حرارتی مؤثر (k_{eff}) مایع اشباع نیاز داریم.

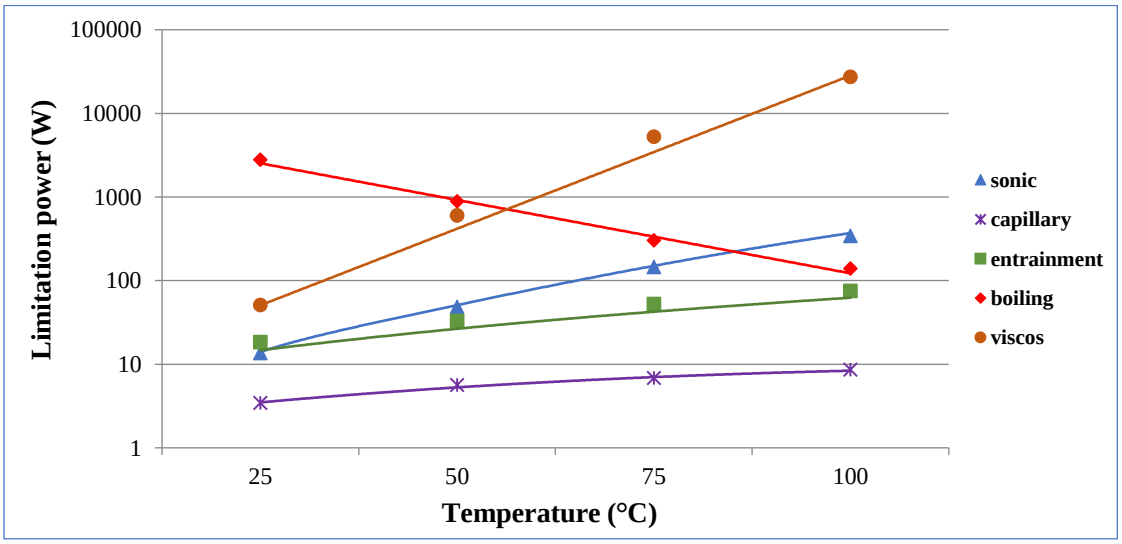
$$k_{eff} = k_l . \frac{[(k_l + k_w) - ((1-\varepsilon).(k_l - k_w))]}{[(k_l + k_w) + ((1-\varepsilon).(k_l - k_w))]} \quad (۸)$$

- شعاع مویینگی موثر:

$$r_{ce} = \frac{1}{2N} \quad (۹)$$

۳- اعتبار سنجی شبیه سازی لوله حرارتی

برای اعتبارسنجی مدل تحلیلی ارایه شده و کد متلب تهیه شده، از داده‌های سایر پژوهشگران استفاده و نتایج آن‌ها با محاسبات جدید سنجیده شد. کتاب پترسون (۱۹۹۴) جزئیات مفیدی در مورد لوله‌های حرارتی با توری سیمی ارائه می‌دهد که از آن‌ها برای محاسبه حداکثر ظرفیت انتقال حرارت استفاده شد [۲۹]. شکل (۳) پیش‌بینی های مدل را با داده های استخراج شده از مرجع [۲۹] برای یک لوله حرارتی آب-مس با ۳/۲ میلی‌متر، طول کلی ۲۵/۴ میلی‌متر، طول بخش تبخیرکننده ۱۱/۸۱ میلی‌متر، طول بخش کندانسور ۹/۳۹ میلی‌متر، ضخامت لوله ۰/۹ میلی‌متر، فتیله توری صفحه‌ای (۳۲۵ مش و ۱ لایه) و قرارگیری افقی مقایسه می‌کند.



شکل۳- مقایسه نتایج حاصل از کد مطلب با نتایج ارایه شده توسط پترسون.

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

[DOI: 10.82377/jeed.2026.2.567]

چنان‌چه مشاهده می‌گردد اختلاف جزیی بین دستاوردهای کار انجام شده و مدل پیشگویی ارایه‌شده وجود دارد. مشاهدات حاکی از آن است که نتایج گرایش خوبی در هر پنج محدودیت به‌یکدیگر دارند، اگرچه محدودیت‌هایی وجود دارد که تفاوت‌هایی در کمیت آن‌ها وجود دارد. علاوه بر این، مقادیر محدودیت موبینگی نزدیک به‌هم می باشند. این مهم است زیرا محدودیت مویرگی به‌طور کلی معمولاً به‌عنوان حداکثر ظرفیت انتقال حرارت بیان می‌گردد، به جز در دماهای بالا که در شکل زیر نیز همین موضوع قابل مشاهده می‌باشد. لازم به‌ذکر است که محدودیت جوشش در دماهای بالا معمولا محدودیت غالب است که باز هم اختلاف دراین محدودیت نیز جزیی می‌باشد. حدس زده می‌شود که اختلاف جزیی در مواردی هم که وجود دارد ممکن است از خصوصیات وابسته به دمای مایعات در حال کار باشد. نتیجتاً از پنج محدودیت لوله حرارتی که اندازه‌ها توسط محقق داده شده و مورد مقایسه قرار گرفتند مطابقت خوبی بین داده‌ها وجود دارد که به‌طور کلی مدل ارایه شده قابل اعتماد نشان داده می‌شود.

۴- نتایج و بحث

ابعاد فیزیکی و دمای بهره‌برداری لوله حرارتی استوآنه‌های در نظر گرفته شده برای تحلیل عددی حاضر در جدول (۱) نشان داده شده است.

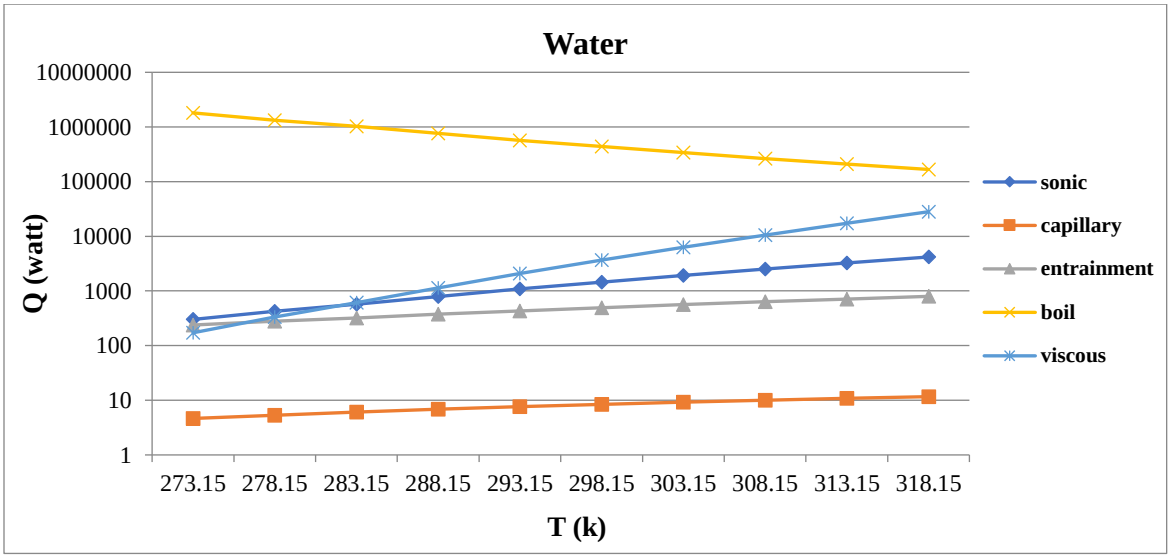
جدول ۱- مشخصات لوله حرارتی به‌کار برده شده و محدوده دمای بهره‌برداری

پارامتر	مقدار
قطر لوله	۰/۰۱۶ متر
طول لوله	۳/۶۲۶ متر
طول اواپراتور	۱/۷۸۸ متر
طول کندانسور	۱/۷۸۸ متر
طول آدیاباتیک	۰/۰۵ متر
ضخامت دیواره	۰/۰۰۰۸۹ متر
دمای بهره برداری	۰-۴۵ درجه سانتیگراد

سه سیال عامل آب، آمونیاک و متانول با توجه به رنج دمایی بهره‌برداری انتخاب شدند. جنس لوله حرارتی متناسب با سیالات عامل مس یا نیکل یا آلومینیوم یا فولاد زنگ نزن می‌باشد [۳۰]. با توجه به مطالعات و بررسی‌های انجام شده سه جنس مس، آلومینیوم و فولاد زنگ نزن کاربرد بسیار بیش‌تری داشته‌اند و در این تحقیق مورد استفاده قرار می‌گیرند. متأسفانه از فولاد زنگ‌نزن نمی‌توان به‌عنوان جنس پوسته لوله حرارتی با سیال عامل آب در مواردی که درآن عمر طولانی انتظار است به‌دلیل مشکلات تولید گاز استفاده کرد، اما برای بسیاری از مایعات دیگر کاملاً قابل قبول است. از طرف دیگر آلومینیوم به‌عنوان جنس لوله حرارتی در بازار کم‌تر رایج است اما به‌دلیل مزایای بارز وزن، درکاربردهای هوافضا بسیار مورد توجه قرار گرفته است. باتوجه به آن‌چه بیان شد در تجزیه و تحلیل این تحقیق از دو جنس مس و استیل از ماده‌های مختلف لوله حرارتی معرفی شده به‌صورت لوله‌های آب- مس، آمونیاک - استیل و متانول - استیل استفاده می‌شود. لوله‌های حرارتی مورد استفاده در آنالیزها به جز سیال عامل و جنس لوله دارای خصوصیات مشابه هستند. با استفاده از این دامنه دمایی و خصوصیات مشخص شده لوله حرارتی، تجزیه و تحلیل برای سه سیال عامل انجام می‌شود. فرض بر این است که طول مقاطع تبخیر کننده و کندانسور، سطوح کافی در بخش‌های تبخیر کننده و کندانسور برای انتقال حرارت فراهم می‌کند. نتایج اولین تجزیه و تحلیل برای آب را می‌توان در شکل (۴) مشاهده کرد.

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

[DOI: 10.82377/jeed.2026.2.567]

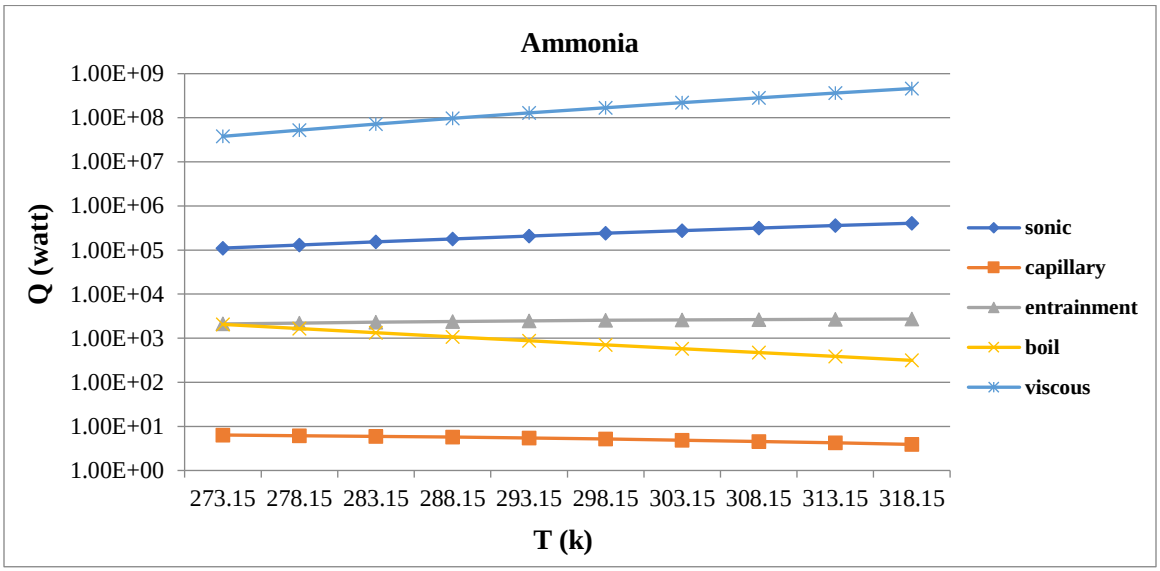


شکل ۴- نتیجه محاسبات با استفاده از ۱۰۰ مش بر اینچ وایر صفحه‌ای در ساختار فتیله سه لایه جهت آب.

لوله حرارتی مورد استفاده، آب-مس با مش‌های صفحه‌ای سیمی از جنس مس به‌عنوان ساختار فتیله می‌باشد. لوله حرارتی دارای سه قسمت شامل اواپراتور، آدیاباتیک و کندانسور است. طول آدیاباتیک ۰/۰۵ و دو قسمت دیگر ۱/۷۸۸ متر است. قطر لوله ۰/۰۱۶ متر با ضخامت دیوار ۰/۰۰۰۸۹ متر است. ساختار فتیله از سه لایه مش صفحه‌ای ۱۰۰ مش/اینچ تشکیل شده است. با این پیکربندی مشاهده می‌شود که مقدار انتقال حرارت برای حد مویینگی از مقادیر انتقال حرارت محدودیت‌های دیگر کم‌تر است و محدودیت مویینگی تعیین کننده ظرفیت انتقال حرارت لوله حرارتی می‌شود. با افزایش دما ظرفیت انتقال حرارت برای تمامی محدودیت‌ها به جز حد جوشش افزایش می‌یابد. نتایج، رفتار کلی محدودیت‌های لوله حرارتی را نشان می‌دهد. حد ویسکوز برای دماهای پایین مهم است. در دماهای پایین فشار بخار کم‌تر و کم‌تر می‌شود. این امر باعث می‌شود اختلاف فشار بخار بین اواپراتور و نواحی کندانسور لوله حرارتی کم‌تر شود. در نتیجه نیروهای ویسکوزیته در نواحی بخار بزرگتر از اختلاف فشار بخار می‌شوند و اختلاف فشار نمی‌تواند برای تولید جریان بخار از طریق لوله حرارتی کافی باشد. بنابراین انتظار می‌رود که حد ویسکوز در دماهای پایین موثر باشد. برای حد اینتریمنت، با افزایش دما ویسکوزیته مایع کاهش می‌یابد. در نتیجه نیروهای ویسکوزیته بین مایع و بخار در تبادل مایع - بخار کاهش می‌یابد و باعث افزایش حد اینتریمنت لوله حرارتی می‌شود. در صورت بررسی فرمول حد اینتریمنت گرچه گرمای نهان تبخیر و کشش سطحی آب با افزایش دما کاهش می‌یابد، افزایش دانسیته بخار منجر به افزایش ظرفیت انتقال حرارت برای محدودیت اینتریمنت می‌شود. حد صوتی به دما، دانسیته بخار و فشار بخار بستگی دارد. بنابراین با افزایش دما، چگالی بخار و فشار بخار افزایش می‌یابد. در نتیجه جریان از شرایط جریانی مسدود شده فاصله بیش‌تری می‌گیرد. همان‌طور که از نمودار مشخص است با افزایش دما ظرفیت انتقال حرارت حد جوشش کاهش می‌یابد. این انتظار نیز می‌رود زیرا با توجه به فروپاشی تئوری حباب، فشار بخار و کشش سطحی سیال عامل فاکتورهایی هستند که اختلاف فشار در سطح تبادل مایع - بخار را تشکیل می‌دهند و این اختلاف فشار و دما از عوامل اصلی تشکیل حباب هستند. با افزایش دما فشار بخار افزایش یافته و کشش سطحی کاهش می‌یابد و در نتیجه اختلاف فشار کاهش می‌یابد. بنابراین با افزایش دما کاهش در حد جوشش رخ می‌دهد. نتایج تجزیه و تحلیل آمونیاک در شکل (۵) نشان داده شده است. رفتارهای مربوط به محدودیت‌های آمونیاک تقریبا مشابه لوله حرارتی آب است. با افزایش دما تمام محدوده‌ها به جز حد مویینگی و جوشش روند افزایشی را نشان می‌دهد. مشابه آب برای آمونیاک حد حاکم حد مویینگی است، حتی برای دماهای پایین‌تر و این به دلیل فشارهای بالای بخار آمونیاک است. اگرچه مقادیر حد جوشش در دماهای بالاتر رو به کاهش است، اما حد مویینگی حاکم بر ظرفیت لوله است.

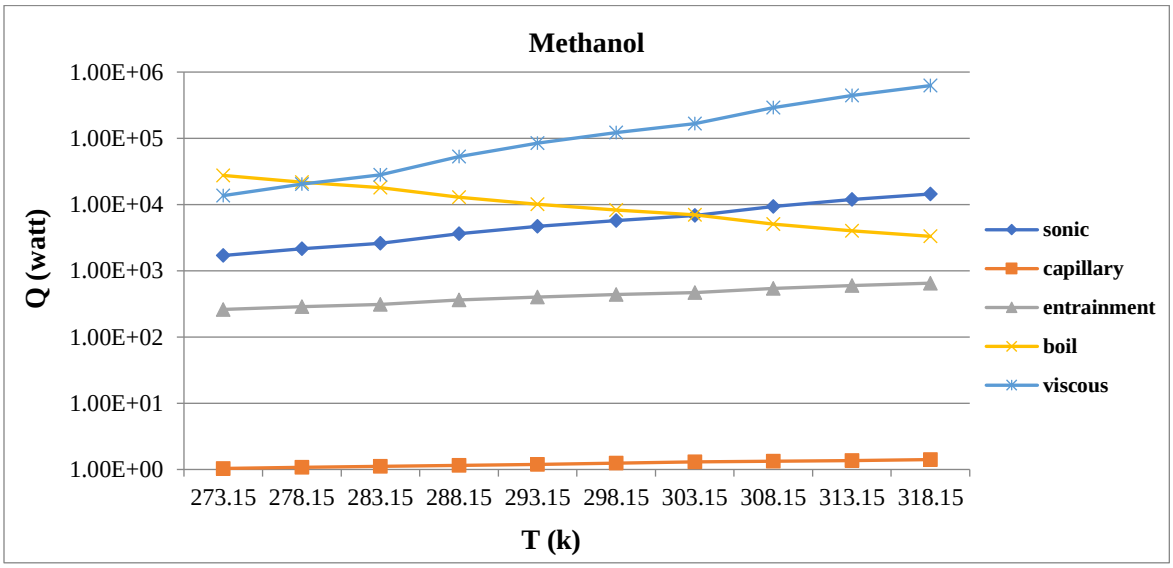
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.82377/jeed.2026.2.567]



شکل ۵- نتیجه محاسبات با استفاده از۱۰۰ مش بر اینچ وایر صفحه‌ای در ساختار فتیله سه لایه جهت آمونیاک.

تجزیه و تحلیل نهایی برای متانول انجام می‌شود. نتایج تجزیه و تحلیل متانول در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل ۶- نتیجه محاسبات با استفاده از۱۰۰ مش بر اینچ وایر صفحه‌ای در ساختار فتیله سه لایه جهت متانول.

همان‌طور که در شکل (۶) دیده می شود، رفتار متانول مانند مایعات دیگر است. با افزایش دما، حد ویسکوزیته، صوتی، مویینگی و اینتریمنت افزایش می‌یابد. افزایش دما باعث کاهش حد جوشش می‌شود.

حد مویینگی محدودیت غالب برای رنج دمایی مورد محاسبه می‌باشد. در ادامه عملکرد سه لوله حرارتی دربازه مینیمم و ماکزیمم دمای بهره‌برداری با سیال عامل‌های مختلف مقایسه شده و در جدول (۲) جدول بندی شده است.

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

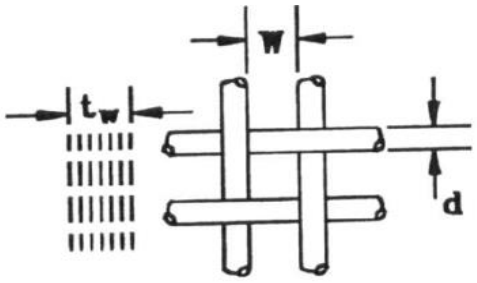
[DOI: 10.82377/jeed.2026.2.567]

جدول۲- مقایسه عملکرد سه سیال عامل

خصوصیات فتیله	سه لایه با تعداد ۱۰۰ مش بر اینچ			
سیال عامل	آب	آمونیاک	متانول	محدودیت غالب
ماکزیمم ظرفیت انتقال حرارت(W)	۱۱/۶۳۹۴	۶/۳۷۴۷	۱/۴۰۹۲	مویینگی
دما(k) و فشار بخار اشباع(kpa)	۳۱۸/۱۵ & ۹/۵۹	۲۷۳/۱۵ & ۴۲۹/۴۴	۳۱۸/۱۵ & ۴۷/۵	
مینیمم ظرفیت انتقال حرارت(W)	۴/۶۵۰۸	۳/۹۰۱	۱/۰۳۵۲	مویینگی
دما(k) و فشار بخار اشباع(kpa)	۲۷۳/۱۵ & ۰/۶۱۱	۳۱۸/۱۵ & ۱۷۸۱/۸۷	۲۷۳/۱۵ & ۷	
ماکزیمم ظرفیت انتقال حرارت(W) در دمای ۲۸۲/۴ کلوین	۵/۹۷۹۱	۵/۹۸۲۴	۱/۱۰۸۴	مویینگی

اگر عملکرد سه سیال عامل مختلف نشان داده شده در جدول فوق بررسی شود مشاهده می‌شود که آب عملکرد بهتری را برای دامنه دمایی ۲۸۲/۴ تا ۳۱۸/۱۵ درجه کلوین یعنی دماهای بالاتر دارد. هر چند در دماهای پایین‌تر آمونیاک عملکرد بهتری را نشان می‌دهد. لوله متانول در مقایسه با دو لوله دیگر عملکرد پایین‌تری دارد. یکی از پارامترهای مهمی که تأثیر شایانی بر عملکرد لوله حرارتی دارد تعداد مش‌های استفاده شده در ساختار فتیله است. ساختار فتیله اختلاف فشار مویینگی را ایجاد می‌کند که نیروی محرکه جریان مایع- بخار بین بخش‌های اواپراتور و کندانسور است. تعداد لایه‌ها پارامتر دیگری است که بر عملکرد یک لوله حرارتی تأثیر می‌گذارد. برای دیدن اثر تعداد لایه تجزیه و تحلیل‌ها انجام و نتایج ارائه می‌شود.

بنابراین درادامه برای هر سه سیال عامل ابتدا اثر تعداد مش و سپس تعداد لایه‌ها برروی ظرفیت لوله حرارتی بررسی می‌شود. ترکیبات مختلف پارامترها می‌تواند بر راندمان لوله حرارتی تأثیرگذار باشد. اما به‌منظور دیدن تأثیرات فردی این فاکتورها، دیگر پارامترهای انتخاب شده ثابت نگه داشته می‌شوند. ساختار فتیله مش صفحه‌ای سیمی در شکل (۷) نشان داده شده است.



شکل ۷- ساختار فتیله مش صفحه‌ای سیمی

با کاهش تعداد مش ها, فاصله سیم‌ها (w) و قطر سیم (d) فزایش می‌یابد. در نتیجه با افزایش فاصله تلفات اصطکاکی در فاز مایع و فشار پمپاژ مویینگی کاهش می‌یابد. باتوجه به مطالب فوق و دانش موجود در فتیله‌های مش پیچیده شده، d_{sw} و N مقادیر گسسته‌ای هستند که به یکدیگر مربوط می‌شوند. اطلاعات جدول (۳) توسط یک تولید کننده لوله حرارتی ارائه شده است:

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

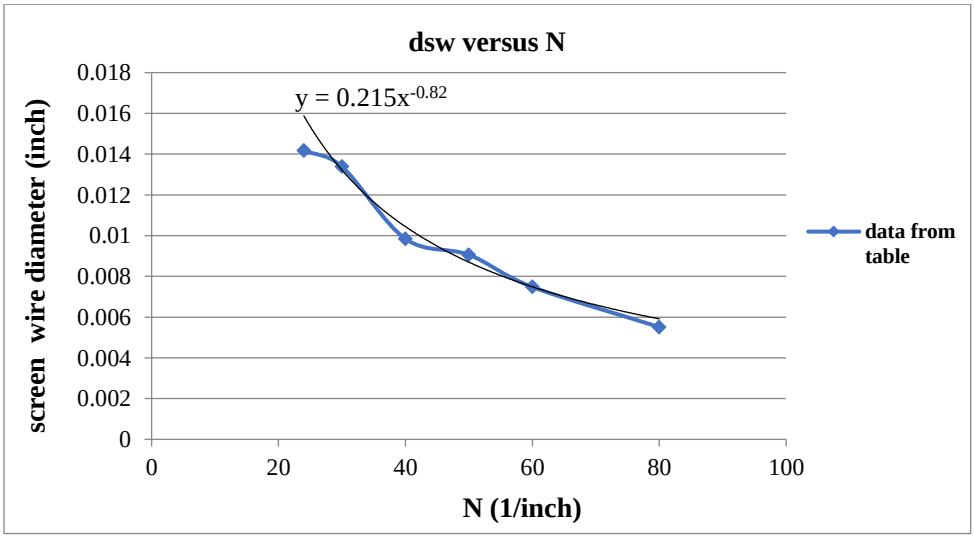
[DOI: 10.82377/jeed.2026.2.567]

جدول ۳- مقادیر گسسته برای تعداد مش در اینچ و قطر سیم مش برای فتیله مش پیچیده شده

N (1/inch)	d_{sw} (m)
۲۴	۰/۰۰۰۳۶
۳۰	۰/۰۰۰۳۴
۴۰	۰/۰۰۰۲۵
۵۰	۰/۰۰۰۲۳
۶۰	۰/۰۰۰۱۹
۸۰	۰/۰۰۰۱۴

برای سادگی کار و کاهش تعداد متغیرها، استفاده از متغیرهای به هم پیوسته N و d_{sw} گزینه مناسب است، سپس ارتباطی بین متغیرهای N و d_{sw} با استفاده از داده های جدول (۳) با فیت کردن منحنی[1] مطابق شکل (۸) ایجاد شد.

$$d_{sw} = 0.215N^{-0.82} \quad (۱۰)$$



شکل ۸- قطر سیم توری در مقابل تعداد مش بر متر برای فتیله مش پیچیده شده.

با آن‌چه انجام شد هدف این بود تا تعداد پارامترهای اصلی را در میان موارد ذکر شده تأثیرگذار کاهش دهیم. در مطالعه پارامتریک تأثیر پارامترهای زیر را بر حداکثر میزان انتقال حرارت در لوله‌های حرارتی آب - مس، آمونیاک - استیل و متانول- استیل مشاهده کردیم. برای انجام کار از کد متلب نوشته شده استفاده شد. شکل (۹) تا شکل (۱۴) این رفتارها را نشان می‌دهد.

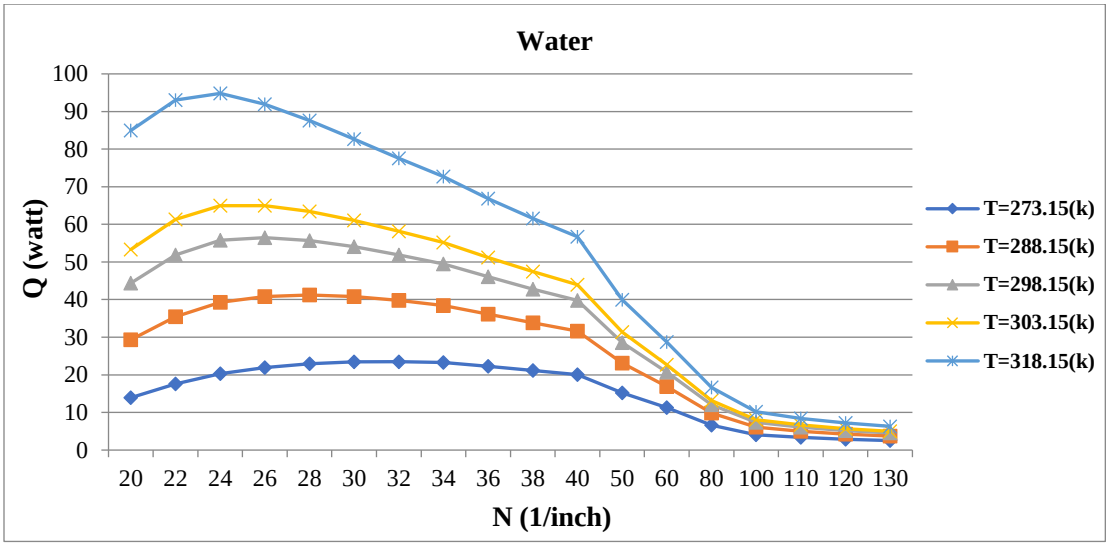
۴-۱ تجزیه و تحلیل اثر تعداد مش

در تحلیل اولیه از یک صفحه ۱۰۰ مش بر اینچ تشکیل شده از سه لایه استفاده شد، برای دیدن تأثیر تعداد مش بر میزان انتقال حرارت ثابت نگه داشتن سایر پارامترها ضروری می‌باشد. با ارتباط N به d_{sw} جهت بررسی اثر تعداد مش، اولین نتایج برای آب در رنج دمایی بهره‌برداری در شکل (۹) نشان داده شده است.

[1] curve-fitting

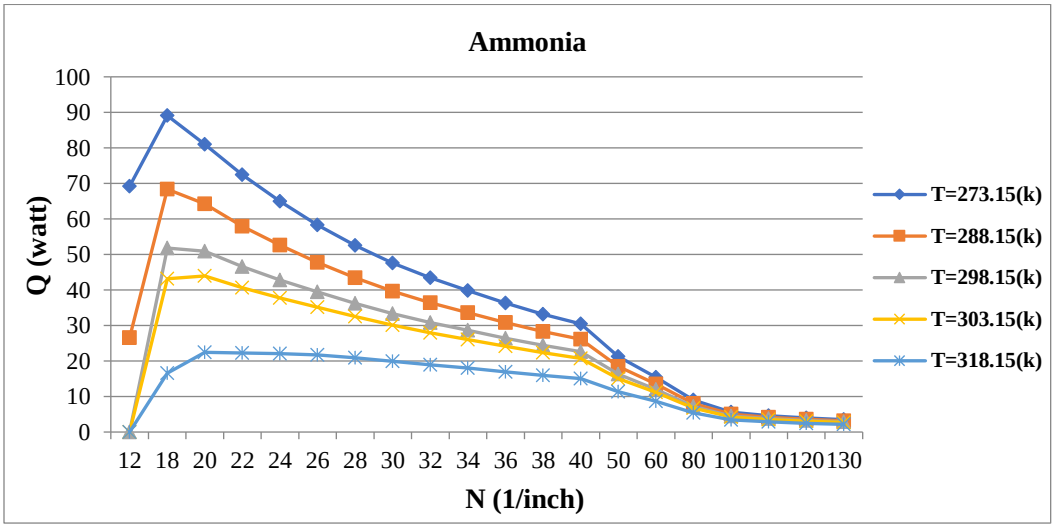
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.82377/jeed.2026.2.567]



شکل ۹- حداکثر میزان انتقال حرارت در یک لوله حرارتی در مقابل تعداد مش در هر اینچ (N).

اگر شکل فوق مورد بررسی قرار گیرد، مشاهده می‌شود که مقادیر انتقال حرارت در لوله حرارتی آب- مس با کاهش تعداد مش نسبت به ساختار صفحه‌ای مسی ۱۰۰ مش بر اینچ اولیه، افزایش ولی در ادامه مجدداً روند کاهشی می‌گیرد. با افزایش تعداد مش نتیجه نشان دهنده کاهش مقدار انتقال می باشد. مناسب ترین تعداد مش N=۲۴ جهت آب می‌باشد و محدویت غالب حد موییینگی است. به‌طور مشابه مطالعه پارامتری جهت آمونیاک به شرح ذیل ارائه شده است. با بررسی شکل (۱۰) مشخص است که مقادیر حداکثر انتقال حرارت در لوله آمونیاک- استیل با افزایش تعداد مش نسبت به ساختار صفحه‌ای استیل ۱۰۰ مش بر اینچ اولیه، کاهش می‌یابد. اما با کاهش تعداد مش مشاهده می‌گردد مقدار انتقال حرارت افزایش ولی درادامه مجددا روند کاهشی می‌گیرد تعداد مش مناسب در این بررسی N=۱۹ جهت آمونیاک می‌باشد و محدویت غالب حد موییینگی است.

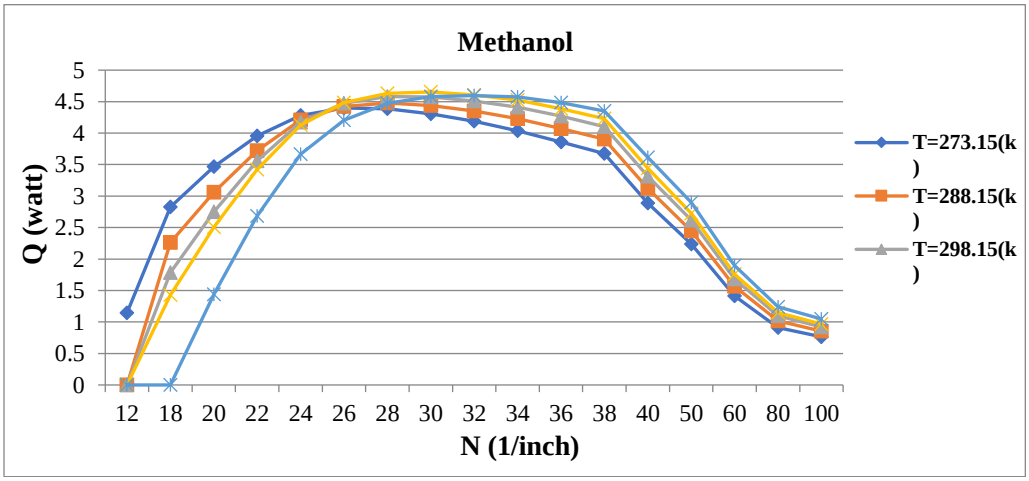


شکل ۱۰- حداکثر میزان انتقال حرارت در یک لوله حرارتی در مقابل تعداد مش در هر اینچ (N).

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

[DOI: 10.82377/jeed.2026.2.567]

به‌صورت مشابه در شکل (۱۱) نیز مقادیر حداکثر انتقال حرارت با افزایش تعداد مش نسبت به ساختار اولیه کاهش، اما با کاهش تعداد مش مشاهده می‌گردد مقدار انتقال حرارت افزایش می‌یابد ولی در ادامه مجدداً روند کاهشی می‌گیرد. جهت متانول N=۳۲ بهترین حالت می‌باشد و محدویت غالب حد موبینگی است.



شکل ۱۱- حداکثر میزان انتقال حرارت در یک لوله حرارتی در مقابل تعداد مش در هر اینچ (N).

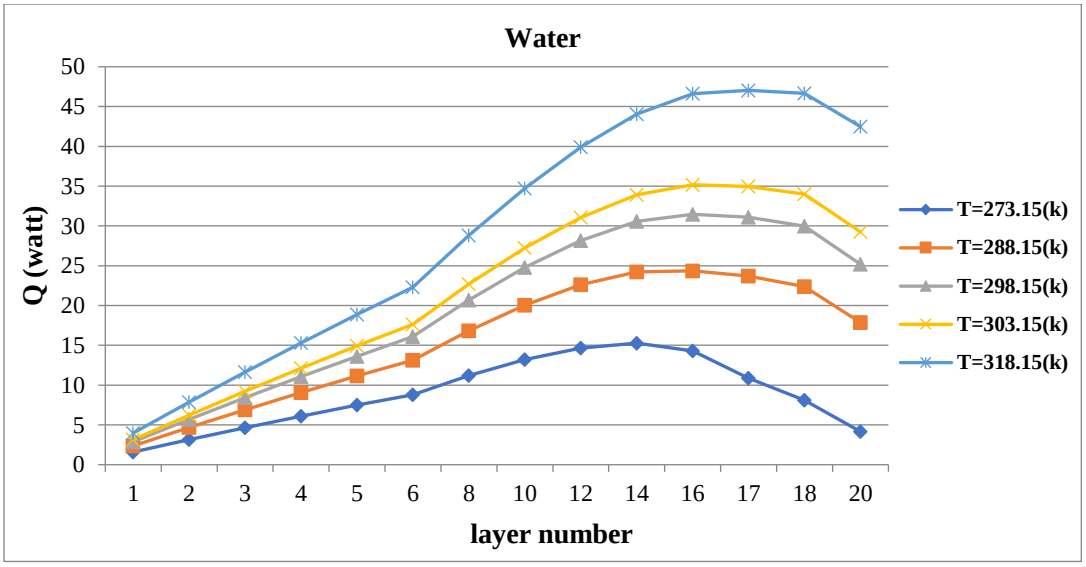
۴-۲ تجزیه و تحلیل اثر تعداد لایه ها

در پیکربندی اولیه از یک لوله حرارتی که ساختار فتیله ای متشکل از سه لایه دارد استفاده شد. تغییر تعداد لایه‌ها به‌مقادیر بیش‌تر یاکم‌تر که به‌ترتیب منجر به‌افزایش و یا کاهش ضخامت فتیله می‌شود انجام شد. تغییر در ضخامت فتیله ممکن است تأثیرات متفاوتی برظرفیت انتقال حرارت یک لوله حرارتی داشته باشد. تجزیه و تحلیل انجام شد تا ببینیم اگر تعداد لایه‌های مش‌های ساختار فتیله کاهش یا افزایش یابد چه اتفاقی رخ خواهد داد. برای این منظور با ثابت نگه داشتن تمام پارامترهای دیگر، تعداد لایه‌ها در بازه عدد یک تا هشت که متناسب با ابعاد و اندازه های لوله حرارتی انتخابی است تغییر یافت و با استفاده از کد متلب نوشته‌شده محاسبات ابتدا برای سیال عامل آب، سپس آمونیاک و متانول انجام و نتیجه ها تحلیل گردید.

از شکل (۱۲) که مربوط به لوله حرارتی آب-مس می‌باشد، مشخص است که وقتی ساختار فتیله از سه لایه به دو و یک لایه کاهش می یابد میزان انتقال حرارت کاهش می‌یابد. کاهش تعداد لایه‌ها به‌معنای کاهش ضخامت فتیله و افزایش فضای بخار است. درصورت افزایش فضای بخار، بخار بیش‌تری می‌تواند از اواپراتور به‌کندانسور جریان یابد با این‌حال، این افزایش جریان باعث افزایش تلفات جریان مایع درون ساختار فتیله می‌شود و می‌تواند باعث کاهش ظرفیت انتقال حرارت کل لوله حرارتی شود. این باعث کاهش مقادیر حد موبینگی می‌شود. از طرف دیگر با افزایش تعداد لایه‌ها حداکثر میزان انتقال حرارت افزایش می‌یابد که نشان دهنده بهینه‌شدن تعداد لایه‌ها درطراحی صورت گرفته است و در ادامه مجددا کاهش انتقال حرارت اتفاق می‌افتد. بیش‌ترین میزان انتقال حرارت مربوط به ۱۶ لایه است. در تمامی این مراحل حد غالب محدودیت موبینگی است بجز در دمای ۲۷۳/۱۵ درجه که با افزایش تعداد لایه‌ها از ۱۵ حد غالب حد ویسکوزیته می‌باشد.

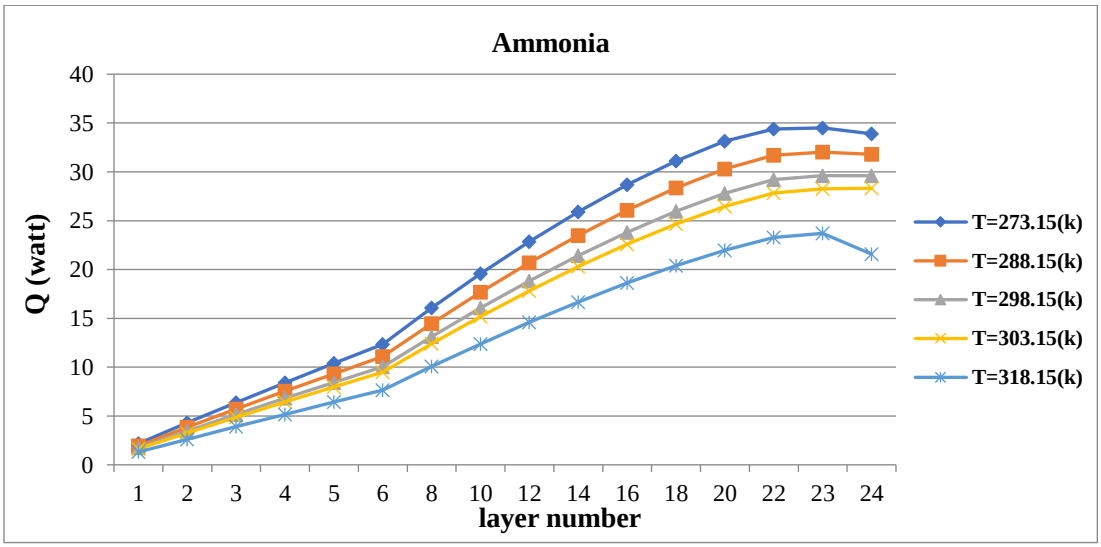
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.82377/jeed.2026.2.567]



شکل ۱۲- حداکثر میزان انتقال حرارت در یک لوله حرارتی در مقابل تعداد لایه‌ها.

به‌صورت مشابه با بررسی لوله حرارتی آمونیاک-استیل در شکل (۱۳) مشاهده می شود وقتی که تعداد لایه ساختار فتیله از سه لایه به دو و یک لایه کاهش یابد میزان انتقال حرارت کاهش می‌یابد. از طرف دیگر با افزایش تعداد لایه‌ها حداکثر میزان انتقال حرارت شروع به‌افزایش می‌کند. مقدار بهینه آن تعداد ۲۳ لایه است و همان‌طور که انتظار می‌رود، افزایش تعداد لایه‌ها باعث افزایش حد مویینگی می‌شود. استثنا در دمای ۳۱۸/۱۵ درجه و از تعداد لایه‌های ۲۲ به بالاست که حد جوشش محدوده غالب می‌باشد.

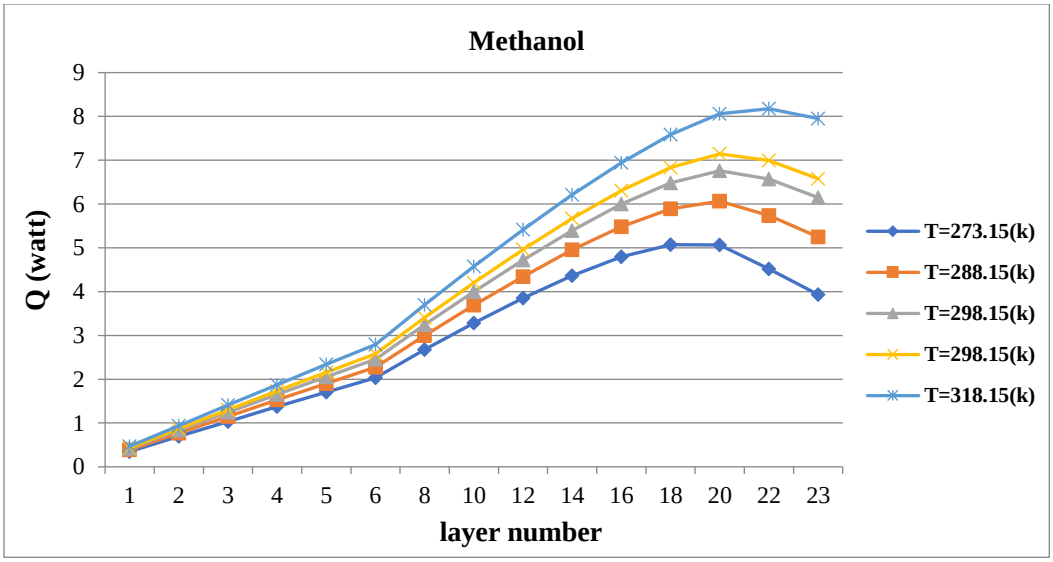


شکل ۱۳- حداکثر میزان انتقال حرارت در یک لوله حرارتی در مقابل تعداد لایه‌ها.

مطابق شکل (۱۴) مشاهده می‌شود که برای سیال عامل متانول نتیجه مشابه آمونیاک می باشد. مقدار بهینه انتقال حرارت در تعداد ۲۲ لایه است. حد غالب حد مویینگی است. تأثیر دو پارامتر تعداد مش و تعداد لایه در تجزیه و تحلیل بررسی شده است. افزایش یا کاهش این پارامترها از نظر محدودیت تأثیرات متفاوتی بر ظرفیت انتقال حرارت لوله حرارتی دارند.

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

[DOI: 10.82377/jeed.2026.2.567]



شکل ۱۴- حداکثر میزان انتقال حرارت در یک لوله حرارتی در مقابل تعداد لایه‌ها.

در تجزیه و تحلیل انجام شده جهت هر سه سیال عامل دیده می‌شود که حد مویینگی تعیین کننده حداکثر ظرفیت انتقال حرارت می‌باشد. استثناء جهت آب در دماهای پایین و زمانی‌که تعداد لایه‌ها بیش‌تر از ۱۵ می‌شود و هم‌چنین آمونیاک در دماهای بالا وقتی تعداد لایه ها از ۲۲ لایه افزایش می‌یابد، به‌ترتیب حد ویسکوزیته و حد جوشش غالب می‌شوند. با توجه به‌آن‌چه انجام شد تاثیر تعداد مش و تعداد لایه‌ها برعملکرد لوله‌ها مشخص می‌گردد و در نتیجه می‌توان با انتخاب بهینه آن‌ها به‌میزان حداکثر انتقال حرارت برای سه سیال آب، آمونیاک و متانول دست یافت. بر اساس کم‌ترین و بیش‌ترین دمای بهره‌برداری و هم‌چنین دمای ۳۰۳/۸ درجه کلوین نسبت به تعیین میزان بهینه تعداد لایه و تعداد مش لوله حرارتی برای هر سیال عامل اقدام شد. میزان حداکثر انتقال حرارت و محدودیت غالب متناظر با این تعداد لایه و مش در دماهای انتخاب شده به‌شرح جدول (۴) می‌باشد:

جدول ۴- حداکثر عملکرد سیالات عامل

سیال عامل	دمای بهره‌برداری انتخابی (K)	فشار بخار اشباع (KPa)	تعداد لایه	تعداد مش بر اینچ	ماکزیمم انتقال حرارت (W)	محدودیت غالب
آب	۳۱۸/۱۵	۹/۵۹۳	۳	۲۴	۹۴/۸۱۴۷	مویینگی
	۳۰۳/۸	۴/۴۲۵۶۶	۳	۲۴	۶۶/۱۶۱۴	مویینگی
	۲۷۳/۱۵	۰/۶۱۱۳	۳	۳۲	۲۳/۴۹۳۸	مویینگی
آمونیاک	۳۱۸/۱۵	۱۷۸۱/۸۷	۴	۲۲	۴۲/۱۸۴۵	جوشش
	۳۰۳/۸	۱۱۸۹/۵۳۹	۴	۲۰	۶۶/۱۹۳۵	جوشش
	۲۷۳/۱۵	۴۲۹/۴۴	۵	۲۲	۱۱۳/۲۱۹۸	مویینگی
متانول	۳۱۸/۱۵	۴۷/۵	۷	۳۴	۱۵/۳۲۷۶	مویینگی
	۳۰۳/۸	۲۵	۷	۳۴	۱۲/۶۷	مویینگی
	۲۷۳/۱۵	۴	۶	۳۶	۸/۱۳۵۳	مویینگی

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.82377/jeed.2026.2.567]

از اطلاعات جدول فوق و مقایسه آن با جدول (۲) به وضوح مشخص می‌گردد که ساختار فتیله و خصوصیات سیال عامل بر میزان انتقال حرارت بسیار تأثیرگذار است. نکته قابل توجه متفاوت بودن بهینه تعداد لایه و مش در دماهای متفاوت است که نشان دهنده اهمیت تعیین دمای بهره‌برداری در زمان طراحی لوله حرارتی می‌باشد. بر اساس اطلاعات جدول (۲) میزان انتقال حرارت دو سیال عامل آب و آمونیاک در دمای ۲۸۲/۴ کلوین یکسان بود ولی دراین‌جا در دمای ۳۰۳/۸ درجه که نشان از نقش ساختار فتیله در زمانی که مقایسه عملکرد یک لوله حرارتی پرشده با دو یا چند سیال عامل متفاوت مطرح می باشد، دارد.

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

تأثیر ضخامت فتیله و تعداد مش، همراه با بررسی عملکرد سه سیال عامل منتخب، بر ظرفیت انتقال حرارت در لوله‌های حرارتی فتیله‌ای نوع توری مش صفحه‌ای، از طریق تحلیل نظری و شبیه‌سازی عددی با استفاده از نرم افزار متلب مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به قابلیت استفاده از هر سه سیال عامل (آب، آمونیاک و متانول) در محدوده دمایی ۲۷۳/۱۵ تا ۳۱۸/۱۵ کلوین، هم‌زمان با بررسی تاثیر پارامترهای ساختاری فتیله مقایسه عملکردی این سیالات نیز انجام می‌شود. در هر سه سیال عامل، تغییر تعداد لایه‌های فتیله تأثیر مستقیمی بر میزان انتقال حرارت دارد. کاهش تعداد لایه‌ها منجر به کاهش ضخامت فتیله و افزایش فضای بخار می‌شود. افزایش فضای بخار امکان جریان بیش‌تر بخار از اواپراتور به کندانسور را فراهم می‌کند، اما این افزایش جریان بخار باعث افزایش تلفات جریان مایع درون ساختار فتیله شده و می‌تواند ظرفیت انتقال حرارت کل لوله حرارتی را کاهش دهد. از سوی دیگر، با افزایش تعداد لایه‌ها، حداکثر میزان انتقال حرارت افزایش می‌یابد و تاثیر مثبت بر عملکرد لوله حرارتی دارد. با این حال، پس از رسیدن به یک نقطه بهینه، افزایش بیش‌تر تعداد لایه‌ها باعث کاهش مجدد انتقال حرارت می‌شود که نشان‌دهنده وجود یک مقدار بهینه برای تعداد لایه‌ها می‌باشد افزایش یا کاهش تعداد مش نیز به‌صورت مشابه باعث تغییر مقادیر انتقال حرارت می‌شود. یک مقدار بهینه در منحنی‌ها وجود دارد که نشان دهنده بیش‌ترین مقدار انتقال حرارت است. در این مطالعه، تأثیر پارامترهای ساختاری شامل تعداد مش و لایه‌های فتیله بر حداکثر ظرفیت انتقال حرارت لوله‌های حرارتی در دماهای عملیاتی مختلف، با استفاده از سه سیال عامل متفاوت مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج به شرح زیر می باشد:

- تعیین حداکثر ظرفیت انتقال حرارت به‌طور مستقیم تحت تأثیر بهینه‌سازی تعداد لایه‌ها و مش فتیله است.
- تعداد بهینه لایه‌ها و مش فتیله به دمای عملیاتی وابسته است، که این موضوع اهمیت تعیین دقیق دمای بهره‌برداری را در فرآیند طراحی لوله‌های حرارتی برجسته می‌سازد.
- برخلاف بررسی‌های اولیه که نشان می‌داد آب در محدوده وسیع‌تری از دماها عملکرد بهتری نسبت به آمونیاک دارد، نتایج نهایی این مطالعه پس از بررسی تأثیر ساختار فتیله حاکی از آن است که آمونیاک در محدوده دمایی گسترده‌تری عملکرد بهینه از خود نشان می‌دهد، در حالی‌که آب تنها در دماهای بالا عملکرد مطلوب دارد. این تفاوت در عملکرد سیالات عامل، نقش ساختار فتیله را در تعیین کارایی لوله‌های حرارتی به‌وضوح آشکار می‌سازد.
- متانول در مقایسه با دو سیال دیگر، عملکرد ضعیف‌تری را در تمامی دماها ارائه می‌دهد. محدودیت مویینگی به‌عنوان عامل تعیین‌کننده ظرفیت انتقال حرارت لوله‌حرارتی برای هر سه سیال عامل عمل می‌کند.

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

[DOI: 10.82377/jeed.2026.2.567]

فهرست علامت‌ها

علائم انگلیسی		علائم یونانی	
مساحت سطح مقطع، m^2	A	چگالی، kg/m^3	ρ
ضریب همبستگی	C	زاویه شیب، رادیال	ψ
قطر، m	d	کشش سطحی سیال، N/m	σ
قطر وایر فتیله، m	d_w	ویسکوزیته، Ns/m^2	μ
ضریب همبستگی اصطکاک	f_v	گرمای نهان بخار، J/kg	λ
جاذبه، m/s^2	g	زاویه تر شوندگی، درجه	θ
نفوذ پذیری فتیله، m^2	K	تخلخل فتیله	ϵ
ضریب هدایت گرمایی، W/m K	k	نرخ گرمای ویژه	γ_v
طول لوله حرارتی، m	L	**اندیس‌ها**	
تعداد مش فتیله، 1/in یا 1/m	N	موثر	eff
فشار، Pa	P	بخار	v
نرخ انتقال حرارت، W	Q	مایع	l
شعاع، m	r	داخلی	i
ثابت گازها، J/kg K	R_g	هیدرولیک فتیله	hw
عدد رینولدز	Re	هیدرولیک فضای بخار	hv
فاکتور چین ساختار فتیله	S	مویینگی موثر فتیله	ce
ضخامت دیواره لوله حرارتی، m	t	مکان تشکیل هسته بحرانی	n
دما، K	T	اواپراتور	e
عرض شیار، m	W	فتیله	w
حداکثر اختلاف فشار داخلی	$\Delta P_{c,m}$		

۶- مراجع

[1] A. Faghri, Heat pipes: Review, opportunities and challenges, Frontiers in Heat Pipe, 5(2014), 1-48. http://dx.doi.org/10.5098/fhp.5.1.

[2] H. Jouhara, A. Chauhan, T. Nannou, S. Almahmoud, B., Delpech and L.C. Wrobel. Heat pipe-based systems - Advances and applications, Energy, 128(2017), 729-754. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.028.

[3] J. Raghuram, K.V.N.K. Phani kumar, G.V. Khiran, K. Snehith and S.B. Prakash, Thermal performance of a selected heat pipe at different tilt angles, Proc. IOP Conf. Series: Materials Sci. and Engg., 225(2017) https://doi.org/10.1088/1757-899X/225/1/012043.

[4] S.S. Harikrishnan and V. Kotebavi., Performance study of solar heat pipe with different working fluids and fill ratios, Proc. IOP Conf. Series: Materials Sci. & Engg. 149(2016) (1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/149/1/012224.

[5] M. A. Ersoz, "Effects of different working fluid use on the energy and exergy performance for evacuated tube solar collector with thermosyphon heat pipe, Renewable Energy 96(2016), pp. 244-256, DOI: 10.1016/j.renene.2016.04.058.

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

[DOI: 10.82377/jeed.2026.2.567]

[6] S.E. Vannan, P.M. Shravan and A.S. Kumar, Experimental investigation of conventional heat pipe using different working fluids, Int. J. Engg. Trends and Tech. 38(2016) 7, 352-354. https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V38P264.
[7] A.K. Mozumder, A.F. Akon, M.S.H. Chowdhury and S.C. Banik, Performance of heat pipe for different working fluid and fill ratio, J. Mech. Engg. 41(2010) 2, 96-102. 10.3329/jme. v41i2.7473.
[8] T. Tharayil, L.G. Asirvatham, V. Ravindran, S. Wongwises, Effect of filling ratio on the performance of a novel miniature loop heat pipe having different diameter transport lines, Applied Thermal Engg. 106(2016), 588-600. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.05.125.
[9] J.H. Boo and H.G. Kim, Experimental study on the performance characteristics of a cylindrical heat pipe having a screen wick subject to multiple heat sources, Applied Thermal Engg. 126(2017), 1209-1215. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.02.097.
[10] U. Bin-Nun, D. Mantitakos, Low cost and high-performance screen laminate regenerator matrix, Cryogenics 44 (2004) 439–444. doi: 10.1016/j.cryogenics.2004.03.015
[11] A. Bejan, S.L. Kim, A.I.M. Morega, S.W. Lee, Cooling of stacks of plates shielded by porous screens, Int. J. Heat Fluid Flow 16 (1995) 16–24. https://doi.org/10.1016/0142-727X(94)00011-Z.
[12] J. Legierski, B. Wiecek, G.D. Mey, Measurements and simulations of transient characteristics of heat pipes, Microelectr. Reliab. 46 (2006) 109–115. 10.1016/j.microrel.2005.06.003.
[13] R. Kempers, D. Ewing, C.Y. Ching, Effect of number of mesh layers and fluid loading on the performance of screen mesh wicked heat pipes, Applied Thermal Engineering 26 (2006) 589–595. doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2005.07.004.
[14] Shuaifei Zu, Xiaonan Liao, Zhe Huang, Deqiang Li, Qifei Jian, Visualization study on boiling heat transfer of ultra-thin flat heat pipe with single layer wire mesh wick, International Journal of Heat and Mass Transfer 173 (2021) 121239. doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121239.
[15] S.-C. Wong, Y.-C. Lin, Effect of copper surface wettability on the evaporation performance of heat pipes, Int. J. Heat Mass Transfer 54 (2011) https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2011.04.033
[16] Yong Tang, Heng Tang, Jie Li, Shiwei Zhang, Baoshan Zhuang, Yalong Sun, Experimental investigation of capillary force in a novel sintered copper mesh wick for ultra-thin heat pipes, Applied Thermal Engineering, 115 (2017) 1020–1030. doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.12.056.
[17] A. Brusly Solomon, K. Ramachandran, L. Godson Asirvatham, B.C. Pillai , Numerical analysis of a screen mesh wick heat pipe with Cu/water nanofluid,International Journal of Heat and Mass Transfer 75 (2014) 523–533. https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.04.007.
[[18] C.T. Hsu, K.W. Wong, P. Cheng, Effective stagnant thermal conductivity of wire screen, Journal of Thermophysics and Heat Transfer 10 (1996) 542–545. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2006.03.031.
[19] Nandy Putra, Wayan Nata Septiadi, Haolia Rahman, Ridho Irwansyah, Thermal performance of screen mesh wick heat pipes with nanofluids, Experimental Thermal and Fluid Science 40 (2012) 10–17. https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2012.01.007.
[20] P. Lakshmi Reddy, et al, Predicting the thermal performance of screen mesh wick heat pipe with alumina nanofluids using response surface methodology. International Journal on Interactive Design and Manufacturing, 18 (2024) 3167–3182. DOI: 10.1007/s12008-023-01473-8.
[21] Wenjie Zhoua, Yong Lia, Zhaoshu Chena, Liqiang Denga, Bo Lib, Experimental study on the heat transfer performance of ultra-thin flattened heat pipe with hybrid spiral woven mesh wick structure, Applied Thermal Engineering 170 (2020) 115009. doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115009.
[22] Y. Fu, D. Chen, Y. Cui, S. Mao, & Z. Deng, Numerical investigation of the screen mesh effects on the heat transfer performance of wick structured heat pipe. Annals of Nuclear Energy, 223 (2025) 111655. DOI: 10.1016/j.anucene.2025.111655.

[23 Y. Ma, et al. ,Experimental study on sodium Screen-Wick heat pipe capillary limit. Applied Thermal Engineering, (2023) 227, 120397. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2023.120397.

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

[DOI: 10.82377/jeed.2026.2.567]

[24] Kew, P. A.; Reay, D. A. Heat pipes: theory, design and applications. 5.ed. Oxford, UK: Elsevier's, (2006). eBook ISBN: 9780080464770.
[25] Faghri, A. Heat Pipe Science and Technology. Taylor and Francis, Washington. (1995).
[26] B. Zohuri, Heat pipe design and technology: a practical approach, Galaxy Advanced Engineering, Hillsborough, CA, USA (2011).
[27] M. Kutz, Mechanical engineers' handbook, John wiley & Sons, 4nd edition, Vol 4 Energy and Power, (1998).
[28] X.C. Tong, Advanced materials for thermal management of electronic packaging, Springer Series in Advanced Microelectronics (2011), ISBN: 978-1-4419-7758-8.
Tong, X.C. Advanced Materials for Thermal Management of Electronic Packaging. (2011). 10.1007/978-1-4419-7759-5.
[29] G.P. Peterson, An introduction to heat pipes: modeling, testing and applications, John Wiley and Sons Inc., 1994. ISBN: 978-0-471-30512-5.
[30] J.P. Holman, Heat transfer, 5th Ed, McGraw-Hill Inc. (1981).

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

[DOI: 10.82377/jeed.2026.2.567]

The Effect of Mesh Number and Wick Layers on the Maximum Heat Transfer Capacity of Screen Mesh Wick Heat Pipes Charged with Water, Methanol or Ammonia

Ali Sistaninia[1], Seyyed Abdolreza Gandjalikhan Nassab[2,*] , Amin Namjoo[3]

[1] Department of Mechanical Engineering, Ke.C., Islamic Azad University, Kerman, Iran
[2] Department of Mechanical Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
[3] Department of Mechanical Engineering, Ke. C., Islamic Azad University, Kerman, Iran

Received: Spring 2026 Accepted: Spring 2026

Abstract

Heat pipes are recognized as the most widely used heat exchange devices, capable of dissipating heat from various systems at the fastest possible rate. This paper presents a method based on direct simulation to examine heat transfer along heat pipes. The proposed analytical model was validated against the reference data, with a maximum deviation of only 28%, thereby demonstrating its satisfactory predictive accuracy and reliability. In this theoretical study, heat transfer is investigated in heat pipes equipped with mesh-screen wick. The present study examines the impact of the number of meshes and wick layers on heat transfer performance using three working fluids (water, ammonia and methanol) over various temperature ranges. The results indicate that the number of meshes and wick layers significantly affect the performance of heat pipes, and optimizing these parameters leads to achieving suitable vapor space, reducing liquid flow losses, and enhancing heat transfer capacity. Additionally, the comparison of working fluids showed that the wick structure not only affects heat transfer capacity but also plays a crucial role in comparing the performance of heat pipes when using different working fluids. These findings emphasize the simultaneous consideration of wick structural parameters and operating temperature to select the appropriate working fluid.

Keywords: Heat pipe, heat transfer, mesh-screen wick, working fluid, simulation

*Corresponding authors: Ganj110@uk.ac.ir

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

[DOI: 10.82377/jeed.2026.2.567]

Cite this article as: Ali Sistaninia, Seyyed Abdolreza Gandjalikhan Nassab, Amin Namjoo. The Effect of Mesh Number and Wick Layers on the Maximum Heat Transfer Capacity of Screen Mesh Wick Heat Pipes Charged with Water, Methanol or Ammonia. **Journal of Energy Conversion, 2026, 13(1), 71-92**.