نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)
دوره ۸، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰

Journal Of Energy Conversion
Volume: 8, Issue: 2, 2021

# تخمین ضریب انتقال حرارت در شرایط جابجایی مخلوط و شار حرارتی ثابت با استفاده از روش طراحی حرارتی معکوس

**حسین یوسفی[۱]، فرشاد کوثری[۲*]، قاسم اکبری[۳]**

۱- دانشجوی دکتری تخصصی دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران
۲*- استاد دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران
۳- استادیار دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی

دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۰۱، بازنگری: ۱۴۰۰/۰۴/۰۶، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۱۰

**چکیده**

هدف این مقاله بررسی تجربی انتقال حرارت جا به جایی مخلوط (آزاد- اجباری) در روی صفحه قائم تحت شار یکنواخت حرارتی با هر دو جریان موافق و جریان مخالف می‌باشد؛ شار حرارتی یکنواخت اعمال شده روی سطح صفحه با طراحی معکوس و با استفاده از شبیه‌سازی عددی و بهینه‌سازی توان‌های المنت‌های حرارتی پشت صفحه انجام پذیرفته است. با اندازه گیری درجه‌حرارت های حالت پایا و شارهای حرارتی یکنواخت حاصل از منابع حرارتی، ضرایب انتقال حرارت اندازه‌گیری می‌شوند. با انجام آزمایشات مربوطه و تعیین اعداد بدون بعد رایلی و رینولدز و گراشف نشان می‌دهند که نتایج در محدوده انتقال حرارت جا به جایی مخلوط می‌باشد. اعداد بدون بعد مهم ترسیم و مورد تجزیه تحلیل گرفته اند.

* **عهده‌دار مکاتبات:** farshad.kowsary@gmail.com

**کلمات کلیدی:** جابه‌جایی مخلوط، طراحی معکوس حرارت، آزمایش بهینه

## ۱- مقدمه

فرایند انتقال حرارت جابه‌جایی را که در آن همزمان جا به جایی آزاد و جا به جایی اجباری وجود داشته باشد جابه‌جایی مخلوط نامیده می‌شود. به عبارت دیگر انتقال انتقال حرارت جابه‌جایی هنگامی پدید می‌آید که اثر شناوری در جابه‌جایی اجباری نیز مهم باشد. عدد بدون بعد ریچاردسون که عبارت است از نسبت عدد بدون بعد گراشف به توان دوم عدد بدون بعد رینولدز در این رژیم در محدوده $10^{-1}$ الی $10^{1}$ست. در این تعریف Gr گراشف و عدد Re شاخصه‌های مسئله مورد نظر هستند. چنانچه عدد ریچاردسون بزرگتر از $10^{1}$ باشد جا به جایی آزاد غالب است و چنانچه عدد ریچاردسون کوچکتر از $10^{-1}$ باشد جا به جایی اجباری غالب می‌باشد.

توزیع دما بر روی سطح هر جسم را که در مجاورت هوا می‌باشد را می‌توان با معلوم بودن شار حرارتی در مرزهای آن جسم و حل معادلات مشتق جزیی مربوط به آن به دست آورد به این روش از انتقال حرارت جا به جایی را، انتقال حرارت جابه‌جایی مخلوط می‌گویند. در این تحقیق برای رسیدن به شار حرارتی ثابت حرارت انتقال یافته از منابع حرارتی از طریق صفحه قائم به طرف دیگرآن باید به طریق بهینه‌سازی طوری انجام پذیرد، که دما روی سطح صفحه به دمای پایدار برسد و شار حرارتی ثابت گردد. کاربردهای انتقال حرارت جا به جایی در زمینه‌های گوناگون صنایع مانند: ساخت شیشه‌های دوجداره، عایق کردن

**نحوه استناد به این مقاله**: حسین یوسفی، فرشاد کوثری، قاسم اکبری. تخمین ضریب انتقال حرارت در شرایط جابجایی مخلوط و شار حرارتی ثابت با استفاده از روش طراحی حرارتی معکوس. مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۰; ۸ (۲) :۳۴-۵۱



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.4.0 ]

ساختمان‌ها و خنک کاری کار برد دارند، در قطعات الکترونیکی انتقال انرژی الکتریکی در این مواد به عواملی مانند افزایش دما و ناخالصی آنان بستگی دارد، از این خاصیت در علم الکترونیک استفاده‌های زیادی می‌شود. انتقال حرارت در بویلرهای نیروگاه‌ها، مبدل‌های حرارتی، برج‌های خنک کننده، سیستم‌های گرمایشی و تبرید خانگی و صنعتی کلیه بروش انتقال حرارت جا به جایی انجام می‌شود. کارهای انجام شده در انتقال حرارت جا به جایی مخلوط فراوان است، از جمله با نانوسیالات و یا جت‌ها و بسیاری دیگر.

اگر جا به جایی طبیعی در مجاورت جابه‌جایی اجباری باعث هم‌افزایی نرخ انتقال حرارت شود این نوع جابه جایی مخلوط مناسب بوده و مطلوب است ولی اگر انتقال حرارت بصورت جا به جایی آزاد مخالفتی با انتقال حرارت بصورت جا به جایی اجباری ایجاد نماید در اینصورت جا به جایی مخلوط مفید نبوده و مورد نظر ما نخواهد بود.

هرگاه جریان جابه جایی آزاد و اجباری هم راستا و هم پوشانی نداشته باشند مانند لوله‌های آب داغ که بالا می‌روند و معمولاً از پایین پمپ می‌شوند اگر هم راستا باشد هم افزایی داشته باشد خوب است و اگر هم افزایشی داشته باشد بر عکس خوب نیست.

برای رفع ضعف باید تا جایی که می‌توانیم نرخ انتقال حرارت هر کدام اجباری یا آزاد بسته به اینکه در انتقال گرما بیشتر از سرما به محیط است آن انتقال گرما مد نظر می‌باشد. تفسیر اینکه جا به جایی کدام از این دو نوع آزاد یا اجباری نقش بازدارندگی در بهبود انتقال حرارت دارند باید آن نوع جا به جایی را کاهش یا حذف نمود و بلعکس آن باید افزایش داد.

در بحث و بررسی گسترده‌ای که روی مسئله انجام یافته در انتقال حرارت جا به جایی در خنک کننده‌ها توسط اینکروپرا[۱] ارائه شده است، که او نخستین بار خلاصه کاربردهای مختلف جا به جایی سرمایشی را معرفی می‌نماید. تعداد زیادی کارهای تجربی و تحلیلی روی انتقال حرارت جا به جایی از زمان الناباس[۲]. کسی که نخستین بار انتقال حرارت جا به جایی طبیعی را معرفی نمود اجرا گردید. در طراحی حرارت معکوس یک رویکرد آزمایش و خطا است و زمانبر نیز می‌باشد، محل و منطقه مورد نظرکه هدف طراحی را مفهوم و معکوس سیستم‌های مورد نیاز را برای دستیابی به هدف تعیین می‌کنند وی لیو و همکاران[۳]. در بررسی دیگر جریان جا به جایی مخلوط روی صفحه قائم درحضور یک منبع حرارتی با واکنش شیمیایی که توسط راجسواری ششادری و همکاران[۴]. انجام گرفت، که این بررسی شامل پارامترهای مختلفی مانند پارامتر مغناطیسی، عدد گراشف، پارامتر واکنش شیمیایی نرخ جرم روی سرعت، درجه حرارت و پروفیل‌های همگرایی می‌گردد. در یک بررسی دیگر جریان که در معرض شرایط مرزی سطوح جا به جایی و در صورت وجود عدد گراشف حرارتی موضعی و اصلاح شده که شامل اثرات ترکیبی از پارامتر منبع و پارامتر غلظت می‌باشند را گانگادهار[۵]. و گانگادهار و همکاران[۶]. انجام می‌دهند. در یک تحقیق تجربی نیز انتقال حرارت جا به جایی طبیعی نزدیک یک دیوار که دارای تغییر فاز مصالح می‌باشد دامین دیوید و همکارانانجام دادند. همچنین مطالعات عددی بیشتری را با استفاده از همبستگی برای تعیین ضریب انتقال حرارت جا به جایی توسط دیوید و همکاران [۷] انجام گرفت، با چهار نوع همبستگی در ادبیات مورد بررسی روبرو شدند. اوولا و مارتت[۸] و سوارس و همکاران [۹] در همبستگی داخلی از شبیه‌سازی ساختمان Energy Plus استفاده کردند. ایبانز و همکاران[۱۰] و کوزنیک و همکاران[۱۱] از همبستگی داخلی در ساختمان شبیه‌سازی شده از پلت فرم (سکو) Trnsys استفاده کردند. آدریان بژان [۱۲] نیز گامهایی در انتقال حرارت جابجایی انجام داد.دوگان و همکاران [۱۳] دریک بررسی تجربی انتقال حرارت جابجایی مخلوط را با عبور هوا از بالا و پایین یک کانال مستطیلی شکل با منابع گسسته‌ی نصب شده در آن انجام دادند و مقدار انتقال حرارت را اندازه‌گیری کردند. ماک مانوس و همکاران [۱۴] هم در یک آزمایش و بررسی تجربی انتقال حرارت جابجایی مخلوط بر روی پره‌هایی که به صورت طولی در یک کانال افقی مستطیلی شکل قرار داشت آزمایش اندازه‌گیری را انجام دادند. حرارت انتقالی روی پره‌های افقی و مایل با زاویه‌ی ۴۵ درجه اندازه‌گیری شد. و در بررسی اثر تولید حرارت داخلی روی انتقال حرارت مخلوط جابجایی و انتقال جرم روی یک صفحه‌ی گرم شده‌ی ایستاده با اثرات Soret و Dufour اجرا گردید که پایه واساس ادبیات [۱۷-۱۵] آن مربوط به مطالعات تولید حرارت داخلی می‌باشد. جانز و اسمیت [۱۸] اثرات ارتفاع و فاصله پره‌ها را بر روی انتقال گرما بررسی کردند. و نتیجه گرفتند که فاصله‌ی پره‌ها پارامتر اصلی هندسه‌ی در انتقال حرارت جابجایی مخلوط است و باید به عنوان مشخصه انتخاب شوند. در بررسی یک منبع حرارتی گسسته ما بین



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.4.0 ]

صفحات موازی افقی [۱۹] تحت شرایط انتقال حرارت جابجایی مخلوط که توسط کندی و زبیب ارائه گردید ترکیب چهار منبع متفاوت حرارتی به طور تجربی و عددی مورد مطالعه قرار گرفتند. و در بررسی دیگر انتقال حرارت جابجایی طبیعی؛ اجباری ومخلوط از مانبع حرارتی نصب شده در داخل کانال‌های عمودی توسط مک اینتایر ووب [۲۰] ؛ فوجی وهمکاران [۲۱] وتسای [۲۲] با آب وهوا را انجام دادند .وهمچنین در یک تحقیق تجربی انتقال حرارت مزدوج با منابع حرارتی جداگانه نصب شده بر روی یک بستر رسانا دریک کانال افقی هوا توسط هوانگ [۲۳] تحت شرایط جابجایی اجباری انجام گردید. اثرات هدایتدر بستر آن ؛تلاطم جریان آزاد وسرعت جریان آزاد مورد بررسی قرار گرفت.

ادبیات این مقاله تاکید دارد بر طراحی ، بهینه سازی، جا به جایی مخلوط و مطالعات بیشماری که موجود می‌باشند. از سال‌های گذشته و متوالی علم انتقال حرارت مملو از اشکال گوناگون ساده جریان، روابطی بین اختلاف دما و آهنگ انتقال گرما بود. این اطلاعات برای مدل کردن و انواع شبیه‌سازی در طراحی حیاتی هستند. اما مسئله مهم، فضا است(اندازه، حجم و وزن). هدف همیشه، ایجاد انتقال حرارت بیشتر در یک حجم مشخص است؛ از مبدل‌های حرارتی گرفته تا روش‌های افزایش انتقال حرارت و سرمایش مدارهای الکترونیکی که امروزه مطرح هستند. با توجه به کوچک‌سازی روزافزون وسایلی که ساخته میشوند باید در مقیاس موردکاربرد ساخته شوند، یعنی باید این وسایل ماکروسکوبی باشند؛ با صرفنظر از اینکه کوچکترین جزءشان چقدر باشد. این عمل نیاز به چالش بزرگتری از کنار هم چیدن و بسته‌بندی یعنی بهینه‌سازی و پیکربندی جریان برای وسیله ماکروسکوبی است.

ویژگی مقاله روش طراحی به عنوان علم و همچنین تولید پیکربندی بهینه بر اساس قانون ساختاری مرکز توجه است. همچنین در این مقاله گام‌هایی بسوی ساحتارهایی با چگالی انتقال حرارت بالا به عنوان مقدمه‌ای بر تئوری و طراحی ساختاری می‌باشد. از آنجایی که تخمین ضریب انتقال حرارت در شرایط جابجایی مخلوط و شار حرارتی ثابت با استفاده از روش طراحی معکوس بنا بر کارهای انجام گردیده تاکنون انجام نشده است، و برای بار اول انجام می‌پذیرد. نتایج نیز بر اساس انجام عملیات و آزمایشات انجام گرفته در تعیین ضریب انتقال حرارت تحت شار ثابت، انتقال حرارت جا به جایی مخلوط ، طراحی آزمایش بهینه و طراحی حرارتی معکوس اهداف مقاله برآورده می‌نماید. لذا این بررسی تجربی در نوع خود کاری بی بدیل و جدید می‌باشد.

## ۲- روش طراحی معکوس و بهینه‌سازی

در طراحی جابه‌جایی معکوس از رویکرد آزمون و خطا استفاده می‌شود که زمان بر است و ممکن است هدف طراحی را بر آورده نکند. مفهوم طراحی معکوس در این بررسی رسیدن به شار حرارتی ثابت و در نهایت اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی در روی صفحه ایستاده فلزی حاصل از گرمای انتقال یافته از پشت صفحه فلزی تولید شده از منابع حرارتی می‌باشد. از آنجایی که بدست آوردن شار ثابت بر روی صفحه فلزی ایستاده مستلزم انجام آزمایش‌های متعدد در پشت صفحه با تولید گرما توسط منابع گرمایی می‌باشد، لذا با بهینه‌سازی نتایج شارهای ثابت را بدست آورد و سپس ضرایب انتقال حرارت را تخمین می‌زنیم. انجام عملیات و محاسبات به شرح زیر می‌باشد.

### ۲-۱- حل مسأله مستقیم

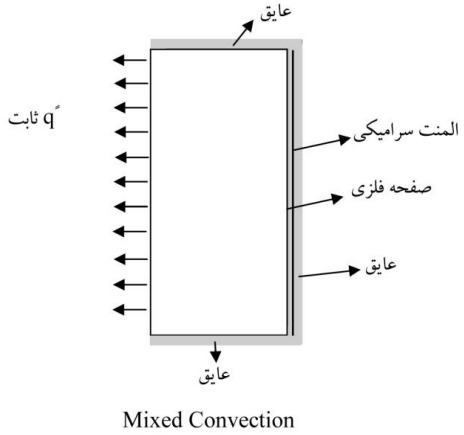
در این قسمت به حل مستقیم مسأله‌ای می‌پردازیم. برای حل میدان جریان با داشتن متغیرهای هندسی و شرایط مرزی و شکل مناسب معادلات پیوستگی، بقاء و انرژی برگرفته می‌شود و با بی بعدسازی شبکه‌بندی را با استفاده از انواع روش‌های دینامیک سیالات محاسبه و معادلات بقا حل می‌شود و اعتبارسنجی حل نمودن انجام و تهیه و بررسی استفاده‌های در نتیجه انجام می‌گیرد.

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.4.0 ]

### ۲-۲- هندسه مسأله جریان مستقیم

صفحه مورد مطالعه تحت انجام آزمایش‌های تجربی روی آن به ابعاد $1m \times 0.2m \times 0.05m$ ایستاده و از همه طرف عایق و یک طرف آن بدون عایق می‌باشد. حرارت در سمت راست که از شار المنت‌های سرامیکی تأمین می‌گردد به صفحه رسیده و باید طوری المنت سرامیکی نصب شود که شار حرارتی خروجی در حالت تأمین هوا از پایین و از بالا تقریباً مقدار ثابتی شود.




**شکل ۱-صفحه‌ی ایستاده با المنت و عایق**

### ۳- معادلات حاکم بر مسئله

با فرض اینکه جریان هوا از پایین به بالا و بالعکس است و دو بعدی و با صرف نظر نمودن از انتقال حرارت تابشی از صفحه مورد بحث عمودی معادلات پیوستگی، بقای ممشوم و بقای انرژی بصورت زیر می‌باشند.

الف – معادله بقای جرم

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i}=0 \quad \text{یا} \quad \frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}=0 \qquad (۱)$$

ب – معادله بقای ممنتوم در جهت عمود

$$\rho\left(\frac{u\partial u}{\partial x}+\frac{v\partial u}{\partial y}\right)=-\rho g_i-\frac{\partial p}{\partial y}+\mu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial\times z}+\frac{\partial^2 v}{\partial yz}\right) \qquad (۲)$$

یا

$$\frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_i}=\rho gi-\frac{\partial\rho}{\partial\times\ y}+\frac{\partial}{x_i}(\tau_{ij}-\overline{\rho u_i' u_j'})$$

**ج – معادله انرژی**

$$\frac{\partial(\rho c_p \bar{u}\bar{T})}{\partial x_i}=\frac{\partial}{\partial x_i}(\lambda\frac{\partial T}{\partial x_i}-\rho c_p\overline{u'T})+\mu\Phi \qquad (۳)$$

یا در جهت عمود

$$\rho cp\left(u\frac{\partial T}{\partial x}+v\frac{\partial T}{\partial y}\right)=\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \qquad \tau_{ij}=\mu\left(\frac{\partial uj}{\partial xi}+\frac{\partial ui}{\partial xj}-\frac{2}{3}\delta ij\frac{\partial uk}{\partial xk}\right) \qquad (۴)$$

بطوری‌که $\tau_{ij}$ تانسور متقارن تنش است که توسط رابطه زیر تعریف می‌شود.

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.4.0 ]

که $\mu\phi$ عبارات اتلافات ویسکوز و $\lambda x$ هدایت حرارتی سیال می‌باشد. عبارت‌های $\overline{\rho u_i' u_j'}$ و $\overline{\rho cp u_i' T}$ به ترتیب بیانگر تنش‌های رینولدز و شارهای گرمایی مغشوش می‌باشد. این دو عبارت باید بطور مناسب در جریان مغشوش مدل شوند.

### ۳-۱- انتخاب روش حل

با توجه به نیاز گسترده مهندسین برای داشتن پارامترهای مهم جریان سیال که به آنها نیاز می‌باشد باید بتوان راهی برای حل جریان‌های آشفته که کاربرد عملی دارند یافت. در اعداد رینولدزهای بالا و هندسه‌های پیچیده نمی‌توان معادلات ناویر – استوکس وابسته به زمان را به‌طور کامل حل کرد. برای حل معادلات ناویر – استوکس به طوری که نوسانات جریان مغشوش به صورت مستقیم در معادلات وارد نشوند به‌طور کلی دو روش وجود دارد.

۱- روش میانگین رینولدز (میانگین‌گیری زمان)[1]

۲- روش شبیه‌سازی ادی‌های بزرگ با استفاده از فیلتریک[2]

در هر دو مورد روش بالا متغیرها و کیفیت‌های اضافی و جدیدی در معادلات حاکم ایجاد می‌شوند که لازم است آنها را با استفاده از روش‌ها و مدل‌های موجود به دست آوریم.

### ۳-۲- شرایط مرزی

شرایط مرزی ورودی سرعت و خروجی فشار دیواره صفحه فلزی و سی‌متری هوا:

**جدول ۱- شرایط مرزی اعمال شده در مرزهای شکل هندسی**

| هوای بالای صفحه | صفحه فلزی | فشار خروجی | هوای ورودی |
|---|---|---|---|
| air | wall | Pressure flow outlet | Mass Flow Inlet |
| symmetry | Plate | atm | 2.5 m/s |

**جدول-۲ هوای خشک در فشار اتمسفر و دمای ۲۹۸ok**

| ρ $kg/m^3$ | $C_p$ $J/kg.K^\circ$ | K w/m.k | μ kg/m.s |
|---|---|---|---|
| 1.1774 | 1.0057 | 0.02674 | 1.983 |

با استفاده از متغیرهای تعریف شده در بالا، صورت بی‌بعد معادلات حاکم عبارت است از:

الف- معادله بدون بعد پیوستگی:

$$\frac{\partial U}{\partial X}+\frac{\partial V}{\partial Y}=0 \qquad (۵)$$

ب- معادله بدون بعد ممنتوم ر راستای افقی

$$U\frac{\partial U}{\partial X}+V\frac{\partial U}{\partial Y}=-\frac{\partial p}{\partial X}+\frac{1}{\mathrm{Re}}\left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2}+\frac{\partial^2 U}{\partial Y^2}\right) \qquad (۶)$$

[1]- LANS
[2]- LES



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.4.0 ]

ج. معادله بدون بعد ممنتوم در راستای عمودی

$$\frac{\partial V}{\partial X}+V\frac{\partial V}{\partial Y}=-\frac{1}{F^2}+\frac{1}{\mathrm{Re}}\left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2}+\frac{\partial^2 V}{\partial Y^2}\right)+\frac{\partial p}{\partial y} \qquad (۷)$$

د- معادله انرژی برای جابجایی دو بعدی پایدار در یک سیال همگن با خواص ثابت:

$$U\frac{\partial \theta}{\partial X}+V\frac{\partial \theta}{\partial Y}=\frac{1}{\mathrm{Re}.\mathrm{Pr}}\left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2}+\frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2}\right) \qquad (۸)$$

شرایط مرزی برای حل معادلات بدون بعد که در جدول ۳ – ۱ نشان داده شد عبارتند از:

الف- در خروجی جریان هوا از روی صفحه

$$\theta = ۱ \qquad V = ۱ \qquad U = ۰ \qquad (۹)$$

ب- در مقطع ورودی

$$V = ۰ \qquad U = ۰ \qquad (۱۰)$$

ج- در مقطع جریان خروجی

$$\theta''=0 \qquad \frac{\partial \theta}{\partial v_1}=0 \qquad (۱۱)$$

### ۴-۱- تشکیل شبکه بندی

تشکیل شبکه‌بندی میدان جریان در شبیه سازی عددی موضوع مهمی است. بدین منظور میدان جریان را به چند بلوک مستطیلی تقسیم نموده و هر یک از این بلوک‌هایی را بصورت ساختارمند و سازمان یافته[1] شبکه‌بندی می‌نمایم. با توجه به تکرار مسئله از بهینه‌سازی و از آنجائی که متغیرهای طراحی که بیشتر آنها هندسی می‌باشند نیز تغییر می‌نمایند و نحوه بلوک‌بندی میدان کاملاً مشابه خواهند شد. و برنامه را پایه‌ای طراحی شده تنها تعداد سلول‌های را با تغییر پارامترهای هندسی تنظیم خواهند کرد.

در شبکه‌بندی جریان و در یک حالت خاص که در شکل ۲-نمایش داده شد.؛ در این حالت تعداد سلول روی صفحه هدف وجود دارد و در طول و عرض میدان جریان هم به ترتیب ۵۰ و۲۵ سلول و در کل ۱۲۵۰ سلول قرار دارد و بقیه حالتها نیز تعداد سلول‌ها از همین مرتبه است.

### ۴-۲- استقلال حل از شبکه

یکی از مواردی که در تمام پژوهش‌های عددی باید مورد بررسی قرار گیرد استقلال حل از شبکه است. بنابراین اندازه شبکه انتخابی به منظور حل عددی بر نتایج حل همواره مِوثر خواهد بود، لذا شبکه بهینه می‌بایست برای حل در نظر گرفته شود. بررسی استقلال حل از شبکه معمولاً با مطالعه چندین مقدار برای اندازه شبکه و نتایج حل عددی برای مقادیر مختلف اندازه شبکه، بررسی شده و از یک تعداد شبکه به بعد نباید تغییر چندانی را در نتایج ایجاد شده ببینیم. در پژوهش حاضر با در نظر گرفتن ۵ شبکه به بررسی استقلال از شبکه می‌پردازیم. همانطوری که ملاحظه می‌شود که اختلاف نتایج برای ضریب

[1]- structured



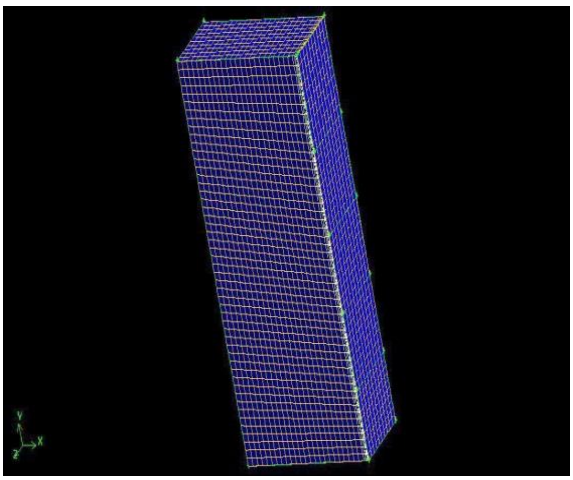
[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.4.0 ]

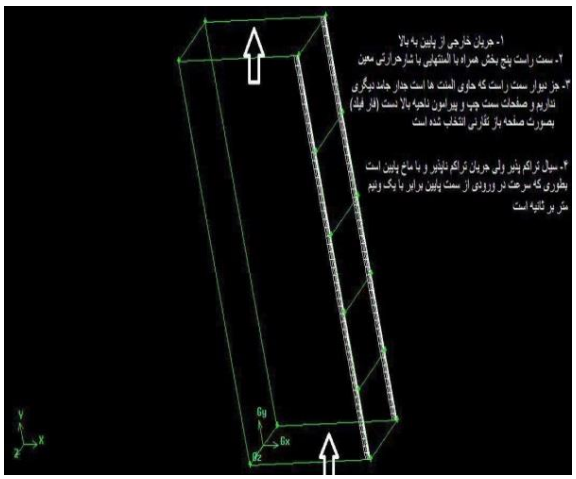
انتقال حرارت متوسط در شبکه‌های ۶۹۴۴۴ و ۹۲۵۶۰ سلول بسیار ناچیز می‌باشد. بنابراین برای ادامه محاسبات از شبکه با تعداد ۶۹۴۴۴ سلول بهره گرفته شده است.

**۳- بررسی استقلال نتایج از شبکه جدول**

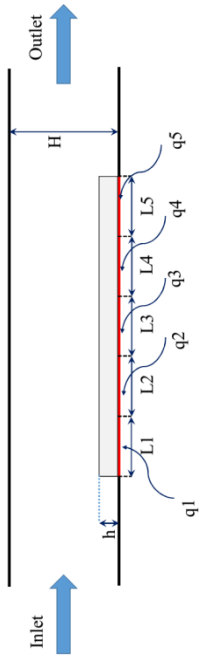
| ضریب انتقال حرارت متوسط | **درصد خطای** ضریب انتقال حرارت متوسط | **تعداد سلول** |
|---|---|---|
| 10.95 | - | 15240 |
| 11.3 | 3.19 | 25310 |
| 11.62 | 2.83 | 42860 |
| 11.82 | 1.72 | 69444 |
| 11.821 | 0.008 | 92560 |



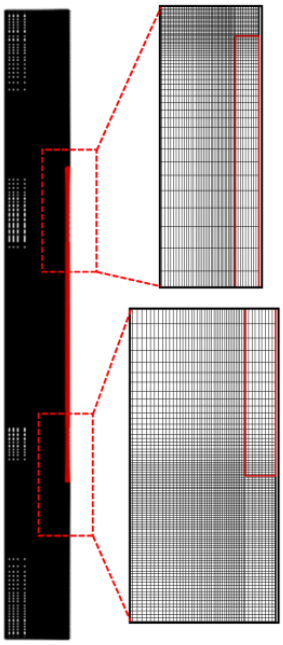
**شکل ۲- شبکه‌بندی شکل صفحه فلزی به ابعاد 1m×0.2m×0.005m**



**شکل ۳- جریان هوا روی صفحه ایستاده فلزی از پائین به بالا opposing**




**شکل ۴- شماتیک نحوه استقرار المنت‌ها روی صفحه فلزی ایستاده جریان با هوا از پایین به بالا**

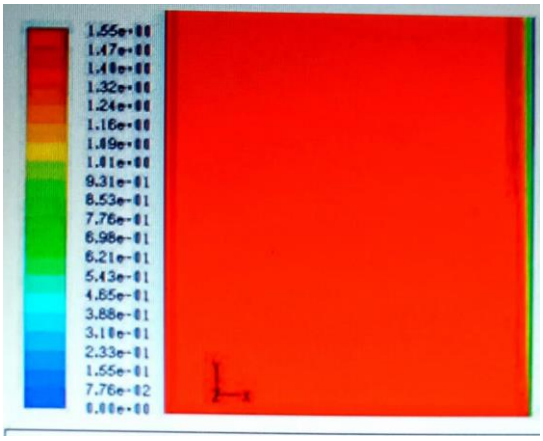


**شکل ۵- مش‌بندی ناحیه محاسباتی صفحه فلزی ایستاده**

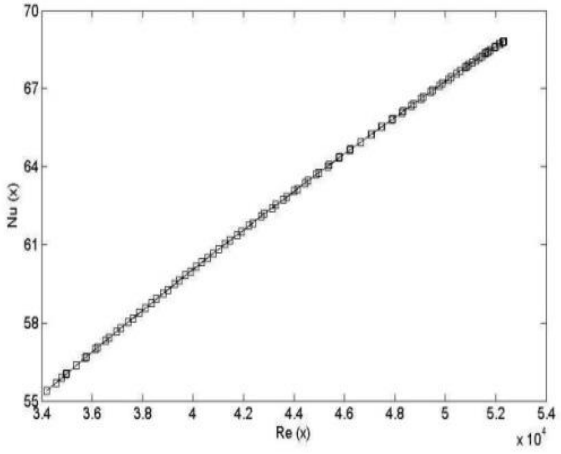
[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.4.0 ]

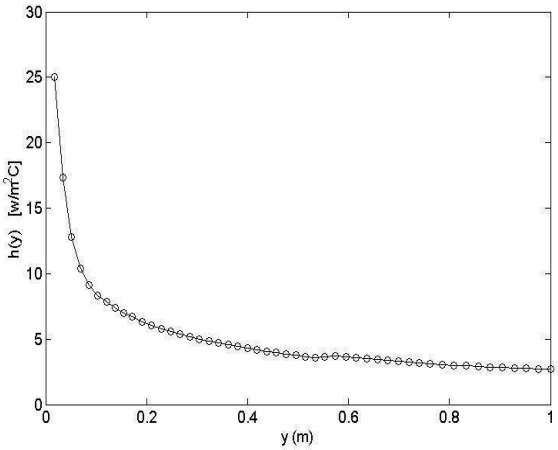
شکل ۶ تغییرات کانتور سرعت (m/s) و شکل ۷ نمودار تغییرات Nu به Re و شکل ۸ نمودار تغییرات $h(y)\ \left[w/m^2.c^o\right]$ به y(m) و شکل ۹ نمودار تغییرات Nu(x) به Re(x) و مقایسه numerical به experimental را نشان می‌دهد.



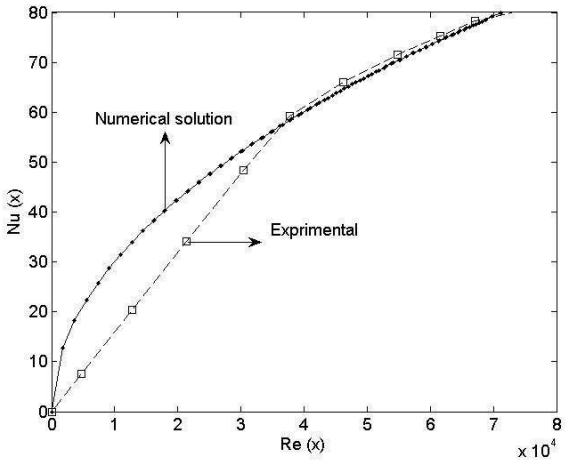

**شکل ۶- تغییرات کانتور سرعت (m/s) روی صفحه فلزی**




**شکل ۷- نمودار تغییرات Nu(x) به Re(x) Re=1.72×105 و Pr=0.71 و Nu=122.54**




**شکل ۸- نمودار تغییرات h(y) به y(m) با $Re=1.72\times10^5$ و Pr=0.71 و Nu=122.54**




**شکل ۹- نمودار تغییرات Nu (x) به Re (x) مقایسه‌ی Numerical solution به Exprimental با $Re=1.72\times10^5$ و Pr=0.71 و Nu=122.54**

### ۵- بیان مسئله

همانطور که در عنوان مقاله مشخص می‌باشد تخمین ضریب انتقال حرارت روی صفحه فلزی ایستاده است که توسط گرمای المنت‌های حرارتی عایق شده حاصل از عبور برق شهر بعد از عبور از دیمز dimmer و سطح فلزی به طرف دیگر صفحه فلزی می‌رسد. لوازم اندازه‌گیری که شامل مولتی متر(آمپر متر و ولت متر) کلامبی، دماسنج لیزری، سرعت سنج، شبکه متعادل کننده و دمنده اندازه‌گیری‌های لازم را انجام می‌دهیم. در این آزمایش که به طریق طراحی معکوس انجام می‌گیرد از پشت صفحه و انتخاب المنت‌های حرارتی با محاسبه و اندازه‌گیری دمای‌های حاصل از حرارت‌های انتقال یافته از صفحه فلزی ایستاده با سعی و خطا بطوری که به دمای پایدار یا Tsteady برسد و بعد شارهای تقریبا ثابت و یکنواخت را به دست می‌آوریم. پس از بدست آوردن q و( Ts-T∞) ضرایب انتقال حرارت h را برای دماهای مختلف در پنج نقطه یک بار در پائین در جهت assisting و همچنین در پنج نقطه در جهت مخالف opposing آوریم .بعد از آن می‌توانیم اعداد بدون بعد Re ، Gr ، Ri و Ra بدست آوریم. در نتیجه می‌توانیم نوع جریان را بدست آوردیم. با توجه به آنکه عدد ریچاردسون بدست آمده که

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.4.0 ]

Ri=0.81 گردید و از آنجایی که بین 0.1 و 1 می‌باشد انتقال حرارت جا به جایی مخلوط می‌باشد. از روی محاسبات بدست آمده منحنی‌های مربوطه را ترسیم می‌نماییم.

**۵-۱- آزمایش تشخیص طراحی حرارت معکوس روی صفحه ایستاده**

در این آزمایش صفحه فولادی ایستاده در دمای محیط از یک طرف متصل به منابع حرارتی و عایق شده گرم می‌گردد و در طرف دیگر با انتقال گرما از صفحه فولادی به شار ثابت می‌رسد. معادله انتقال حرارت حاکم بر صفحه مورد نظر شکل (۱-۲) به صورت

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}=\frac{1}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial t} \qquad (۱۲)$$

$$-k\left.\frac{\partial T}{\partial y}\right|_{y=0}=0 \; and \; T|_{t=0}=T_0 \quad \text{و} \quad -k\left.\frac{\partial T}{\partial y}\right|_{y=E}=q$$

در نظر گرفته می‌شود. در رابطه (۲-۲۳) $T_0$ دمای اولیه و E ضخامت صفحه که معادل با ۵mm است.

$$\frac{\partial^2 X}{\partial y^2}=\frac{1}{\alpha}\frac{\partial X}{\partial t} \qquad \left.\frac{\partial X}{\partial y}\right|_{y=0}=0 \qquad -k\left.\frac{\partial X}{\partial y}\right|_{y=E}=\begin{cases}1 & x_n < x < x_{n+1}\\ 0 & \text{otherwise}\end{cases}, \; X|_{t=0}=0 \qquad (۱۳)$$

**۵-۲- مدل ریاضی**

در شکل۳-۱ شماتیکی از هندسه، شرایط مرزی و موقعیت حسگر دما نشان داده شده است. با فرض خواص حرارتی ثابت، معادله‌ی انتقال حرارت حاکم بر مسئله عبارت است از:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}=\frac{1}{a}\frac{\partial T}{\partial t} \qquad (۱۴)$$

که در آن پارامتر a ضریب پخش حرارتی است. این معادله همراه با شرایط اولیه و مرزی زیر (رابطه‌ی ۱۳) است:

$$T(x_1 y_1 \circ)=T\circ \qquad \left.\frac{\partial T}{\partial z}\right|_{x=\circ}=\left.\frac{\partial T}{\partial z}\right|_{x=L1}=\circ \qquad \left.\frac{\partial T}{\partial y}\right|_{y=\circ}=-\frac{q(t)}{k} \qquad \left.\frac{\partial T}{\partial y}\right|_{y=L2} \qquad (۱۵)$$

چنان‌که در شکل مشاهده می‌شود "qشاراعمالی به سطح بالایی صفحه فولادی با ابعاد L1×L2 و k ضریب رسانش حرارتی است.

**۵-۳- طراحی معکوس حرارتی**

چیدمان توان حرارتی المنت‌های پشت صفحه فلزی طوری تعیین شده‌اند که توزیع شار حرارتی روی صفحه فعال (سطح مجاور جریان هوا ) با حداقل واریانس باشد.این مهم با کمیت یابی تابع هدف (واریانس) که به صورت :

$$E(q_{x1},...,q_{x5})=\sum_{i=1}^{10}(qi-q''D)^2 \qquad (۱۶)$$

تعریف می‌شود انجام می‌پذیرد. در رابطه فوق $q_{x5}$ .....$q_{x1}$ توان‌های الکتریکی گرمکن‌ها (متغیرهای طراحی) ،"$q_i$ شار حرارتی در نقاط کنترلی سطح فعال و "$q_D$ شار حرارتی هدف یا شار حرارتی طراحی می‌با است. کمینه یابی نا مقید با روش الگوریتم جستجوی الگو و با کوپل کردن کد بهینه یابی به کد حلگر جریان انجام پذیرفته است.



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.4.0 ]

این آزمایش از آن دسته از مسائل نظیر عدم ایجاد آشفتگی یا مشکلات ساختی و تجهیزاتی با توجه به محدودیت‌های است که به دلیل صنعتی مشکلات اندازه‌گیری دما روی سطح فلزی انجام می‌شود. هدف از این کار بدست آوردن ضریب انتقال حرارت می‌باشد.

## ۶-آزمایش تجربی

برای مدل‌سازی طراحی حرارتی معکوس در جسم این آزمایش طراحی می‌شود. جسم مورد آزمایش سطح فلزی ایستاده به ابعاد ۵×۲۰۰×۱۰۰۰ میلی‌متر که توسط ۵ المنت سرامیکی گرم می‌شود. دماهای بر روی صفحه‌ی فولادی که شار خروجی از آن ثابت است ثبت می‌شوند. صفحه‌ی فلزی از یک طرف که در معرض حرارت حاصل از المنت‌های سرامیکی است با پشم سنگ عایق می‌گردند و شار خروجی از طرف دیگر صفحه فلزی باید ثابت گردد.

### ۶-۱- دستگاه و تجهیزات و لوازم مورد آزمایش

در این پژوهش و بررسی برای اجباری نمودن آزمایش از exhaust fan برای تعیین مقدار سرعت از سرعت‌سنج، تأمین ولتاژهای مختلف از برق شهر از دیمر dimmer ، برای تأمین دما از المنت سرامیکی ،برای اندازه‌گیری جریان از آمپرمتر کلامبی، برای اجباری نمودن جریان هوا از فن و برای یکنواخت کردن جریان هوا از شبکه میله‌ای و همچنین برای اندازه‌گیری درجه حرارت از دماسنج لیزری با مشجصات زیر استفاده می‌گردد:

۱- آمپر متر کلامپی:

آمپر متر و ولت سنج مستقیم و متناوب کلامپی DIGITAL CLAMP METER مدل DT266 با نام تجاری Gilsun و با ۵۰۰w Insulation Tester Unit

۲- فن Exhaust Fan :

مدل khazar Fan و ET100-212 TYPE 2 برای اجباری نمودن هوا روی صفحه فلزی با ۲۴۰۰ .RPM

۳- آمپر متر غیر کلامپی:

Digital Multimert با نام تجاری Gilsun مدل DT 700D

۴- دما سنج لیزری مدل GM550:

با نام BENTECH که با نشانه‌گیری روی نقطه مورد نظر دما را نشان می‌دهد، و در زمان ۲۰ ثانیه بطور خودکار خاموش می‌شود.

۵- شبکه فلزی میله‌ای استیل :

با چشمه‌ها 2cm×2cm برای یکنواخت نمودن جریان هوای خروجی از فن بر روی سطح ایستاده فلزی.

۶- سرعت سنج 0-30m/s دیجیتالDigital Anemometer:

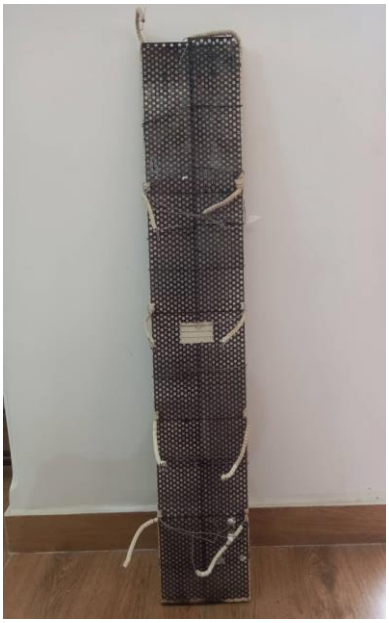
مدلGM816A با نام تجاری Benetech برای تعیین اندازه سرعت هوا روی صفحه فلزی ایستاده.

۷- الکترو دیمر Electro Dimmer :

با نام edison 220v 15 kw, و با کلید قطع و وصل تکفاز مینیاتوری اتوماتیک مدل MB Electronic و Bsm1-63 .

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07 ]

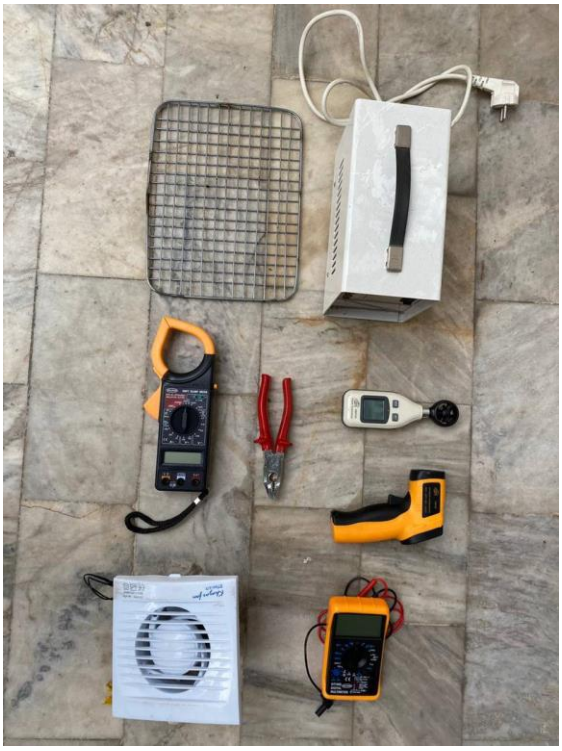
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.4.0 ]



شکل ۱۰- المنت سرامیکی چسبیده به صفحه مشبک فلزی



شکل ۱۱-المنت سرامیکی روی صفحه‌ی فلزی



شکل ۱۲- لوازم اندازه‌گیری



شکل ۱۳-صفحه ایستاده فلزی

### ۷-اندازه گیری

از آنجایی که تامین حرارت در پروژه با عنوان تخمین ضریب انتقال حرارت جابجایی مخلوط با شار ثابت و طراحی حرارتی معکوس بر روی یک صفحه فلزی عمودی می‌باشد، اهمیت موضوع تامین این حرارت بر روی صفحه فلزی و چگونگی تامین حرارت به طوری که شار خروجی تقریبا یکنواخت باشد، باید موارد مختلفی را مورد بررسی قرار دهیم؛ از جمله محاسبه سرعت



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.4.0 ]

هوا برای تعیین و بررسی عدد رینولدز که بیانگر نوع جریان به طریقی که نوع تامین حرارت لازم در تماس با صفحه فلزی و انتقال آن از صفحه، چگونگی تولید شار ثابت در طرف دیگر صفحه باید روش‌های مختلف بررسی گردد.

یکی از روش‌های تامین حرارت از طریق تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی گرمایی و حرارتی می‌باشد یعنی استفاده از سیستمی که از یک طرف ارتباط به سیستم الکتریکی با تغییر و تبدیل آن به انرژی گرمایی مورد نیاز و در طرف دیگر، با استفاده از وسایلی که بتواند این تبدیل را انجام دهد که در این پروژه المنت‌های حرارتی می‌باشد. این تغییر و تبدیل با استفاده از انواع المنت‌ها قابل تامین می‌باشد. حسب نوع لازم المنت مورد استفاده در این پروژه که باید از یک طرف صفحه فلزی با شرایط مساله و عنوان پروژه که باید شار ثابت در طرف دیگر صفحه عمودی به وجود آید. بدین منظور می‌توان از المنت‌های صفحه‌ای و یا ورقه‌ای استفاده نمود ولی چون انتقال حرارت به وجود آمده از نوع ورقه‌ای محدود و پایین می‌باشد نمی‌توان برای تولید حرارت بیشتر آنها را به هم بچسبانید چون که با بالا رفتن درجه حرارت می‌سوزد لذا در این تحقیق و بررسی و تخمین ضریب انتقال حرارت از المنت‌های نوع سرامیکی استفاده می‌نماییم.

توان المنت‌های حرارتی را با توجه به عرض آن که ۲۰ سانتی‌متر است برای هر یک از المنت‌ها بدست می‌آوریم. که عبارتند از:

اهم اندازه‌گیری شده با اهم متر 8.3 اهم را نشان داد و توان آن از فرمول $W=(V^2)/R$ عبارت می‌گردد

$5831W=(220^2)/8.3$ برای صفحه المنت به ابعاد $100cm\times20cm=2000cm^2$ است بدین ترتیب داریم:

$q_1=[(18.30\times20)/2000]\times5831=1067w$

و الی آخر

q1=1067 1w  q2=1103.3w  q3= 1118.38w  q4=1212.80w  q5=1324.8w

و از فرمول زیر مقادیر $q_1^{"}$ و $q_2^{"}$ بدست می‌آیند.

$$q^{"}=\sum_{i=1}^{5}(q_i^{"}Ai)\ /\ \sum_{i=1}^{5}(Ai) \qquad (۱۷)$$

با احتساب سرعت هوا 2.5 m/s و سطوح المنت‌های اول $342.8\ cm^2$ و دوم $379.8cm^2$ و سوم و الی آخر مقادیر ۱ "q" ۲ "q" بدست آمدند.

$q"_1=1113.21\ kw.m^{-2}$ to up  $q"_2=1108.32\ kw.m^{-2}$ to down

$$q^{"}=\sum_{i=1}^{5}(q_i^{"}Ai)\ /\ \sum_{i=1}^{5}(Ai)$$

**تعیین طول المنت‌ها:**

با اعمال درجات حرارت شارهای متفاوت در نقاط شده با شارهای مختلف بشرح جدول شماره ۴ بدست می‌آید.:

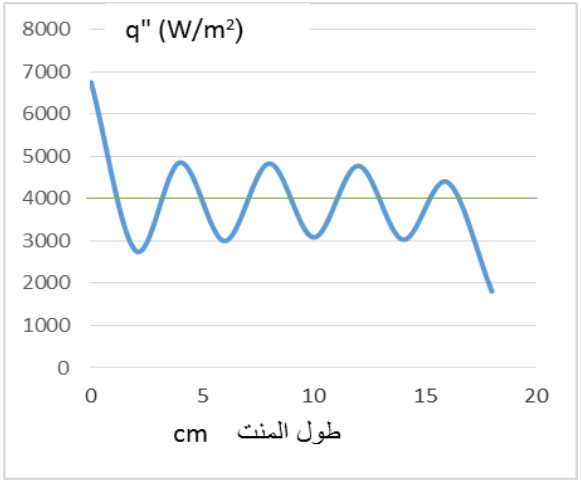
جدول شماره ۴ - توزیع شار در صفحه پشت نمونه

| T-point | y-point | q"-point | points |
|---|---|---|---|
| 612 | 0.05 | 6762 | 0 |
| 621 | 0.15 | 2772 | 1 |
| 833 | 0.25 | 4862 | 2 |
| 804 | 0.35 | 3000 | 3 |
| 992 | 0.45 | 4836 | 4 |
| 943 | 0.55 | 3085 | 5 |
| 1117 | 0.65 | 4783 | 6 |
| 1049 | 0.75 | 3032 | 7 |
| 1194 | 0.85 | 4396 | 8 |
| 1035 | 0.95 | 1810 | 9 |



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.4.0 ]




**شکل ۱۴- توزیع شار در المنتها**

خط افقی شار ۴۰۰۰ را ترسیم نموده و با منحنی شار تقاطع داده و فاصله آنها را از محور شار یک در میان بدست می‌آید و بدلیل اینکه قطعه پنجم را تا انتهای صفحه فلزی که ۱۰۰سانتی متر است ادامه داده و طول آن ۲۳/۸۸ می‌شود و در نتیجه طول المنت‌ها بشرح زیرمی گردند:

طول المنت‌ها:

L1=18.30cm L2=18.99cm L3=19.18cm L4=20.81cm L5= 22.72cm

ابتدا صفحه فلزی فوق را به المنت‌های حرارتی سرامیکی مسطح که برای ثابت ماندن از سیم مفتولی گالوانیزه در چند فاصله به دور سطح فلزی به المنت حرارتی که دارای خروجی فاز و نول می‌باشد متصل می‌نمائیم. با اتصال آن به یک دستگاه dimmer یا پتانسیومتر جریان تک فاز که ولتاژ آن قابل تنظیم می‌باشد وصل می‌گردد حرارت و شار تولید شده توسط المنت حرارتی که بدون اتصال به جریان برق با اندازه‌گیری اهم آن قبل از آزمایش $8/3\Omega$ می‌باشد: R: $8/3\Omega$

و

$$W = \frac{V^2}{R} = VI \qquad (۱۸)$$

و در این مرحله ولتاژ را با پتانسیومتر تغییر می‌دهیم و اهم قابل اندازه‌گیری می‌شود. دوباره با استفاده از اهم متر، اهم جدید را به دست آورده و شار قابل اندازه‌گیری می‌گردد. برای جلوگیری از تلفات حرارتی ضخامت دور صفحه فلزی را با عایق می‌پوشانیم و در هر مرحله از اندازه‌گیری شار تولید شده را اندازه می‌گیریم تا جایی که شار انتقال یافته در طرف دیگر صفحه با درجه حرارت پایدار $Ts$ به مقدار تقریباً ثابتی برسد. در هر یک از مراحل درجه حرارت پایدار صفحه را نیز اندازه می‌گیریم. با توجه به موضوع انتقال حرارت جا به جایی و تغییرات h را با استفاده از فرمول ضریب انتقال حرارت بشرح زیر بدست می‌آید:

جریان هوا بطرف بالا

$$hx_1 = \frac{1202/98}{377^{oc} - 25^{oc}} = 3.42 \qquad hx_2 = \frac{1194}{393-25} = 3.24 \qquad hx_3 = \frac{1119}{402-25} = 2.96$$

$$hx_4 = \frac{1100}{412-25} = 2.82 \qquad hx_5 = \frac{1067}{435-25} = 2.6 \qquad (3.42+3.24+2.96+2.82+2.6)/5=3.008$$

و اگر جریان هوا از طرف پایین به طرف بالا باشد:

$$hx_1 = \frac{1152}{377-25} = 3.27 \qquad hx_2 = \frac{1100}{393-25} = 2.99 \qquad hx_3 = \frac{1098.1}{402-25} = 2.91$$

$$hx_4 = \frac{1076}{412-25} = 2.87 \qquad hx_5 = \frac{1056.76}{435-25} = 2.54 \qquad (3.27+2.99+2.91+2.87+2.54)/5=2.92$$



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.4.0 ]

می‌شوند و همچنین مقادیر بی‌بعد Re و Gr و Ri به ترتیب عدد رینولدز و عدد گراشف و عدد ریچاردسون که بدست می‌آیند عبارتند از:

$$\mathrm{Re}=\frac{\rho VL}{\mu}=\frac{1.225\times 2.5\times 1}{1.78\times 10^{-5}}=1.72\times 10^{5}\langle 5\times 10^{5} \qquad (۱۹)$$

لذا جریان آرام می‌باشد.

$$\mathrm{Ri}=\frac{\mathrm{Gr}}{(\mathrm{Re})^{2}}=\frac{2.43\times 10^{10}}{(1.72\times 10^{+5})^{2}}=0.81\langle 1 \qquad (۲۰)$$

نشان‌دهنده جریان اجباری است.

که در فرمول‌های فوق: چگالی هوا = 1.255 $T_{\infty}=273+25\cong 298$ لذا از جدول برای صفحه فلزی Pr=0.71

براساس نتایج به دست آمده عدد ریچاردسون Ri برابر است:

$$Ri=\frac{Gr}{(\mathrm{Re})^{2}}=0.81 \qquad (۲۱)$$

نشاندهنده جابجایی مخلوط است. می‌دانیم چنانچه $Ri>10^{1}$ جابجایی آرام و چنانچه $Ri<10^{-1}$ نشاندهنده جابجایی اجباری است ولی در این آزمایش 0.81 نشاندهنده جابجایی مخلوط می‌باشد.

۲- نتایج تجربی Re(x) و Nu(x) و h(x) به Numerical solution X/L نمودارهای الف و ب شکل‌های (5-4) و (6-4) در واقع مقادیر تجربی بدست آمده کمتر از مقادیر عددی است.

۳- عایق استفاده شده روی منبع عایق پشم سنگ است که تحمل دمای بالا تا 700 درجه سانتی‌گراد را دارد تا زمانی ادامه می‌دهیم که به دمای پایدار Ts برسیم که البته زمان زیادی را می‌برد تا بالای 400 درجه سانتی‌گراد به Ts برسیم و در مرکز هر یک از قطعات مربوط به المنت‌های سرامیکی اندازه‌گیری شد.

۴- در این اندازه‌گیری تجربی

$$Nu=332\times \mathrm{Re}^{0/5}\ pr^{1/3}=0.332\times(1.72\times 10^{5})^{0/5}\times(0.71^{1/3})=0.332\times(414.22)\times(0.892)=122.54 \qquad (۲۲)$$

که در نمودار Nu(x) به Re(x) مقادیر تجربی مورد استفاده قرار گرفت.

## ۸- نتیجه‌گیری

در این قسمت به بحث روی مطالعات و بررسی‌های انجام یافته در فصل‌های قبل اختصاص می‌یابد.

در شرایط بررسی رساله که تحقیق در تخمین ضریب انتقال حرارت جابجایی مخلوط و شار حرارتی ثابت با استفاده از روش طراحی حرارتی معکوس می‌باشد. در اندازه‌گیری ابتدا دما را بر روی صفحه ایستاده فلزی‌ای که در طرف دیگر ابعاد منابع حرارتی المنت‌های متشکل از پنج قطعه که با محاسبات لازم تقسیم گردیدند و هر کدام دارای دو سیم خروجی می‌باشند به برق وصل می‌گردند. در این روش اندازه‌گیری ابتدا دماهای حاصل از هر یک از قطعات المنت‌ها را با توجه به اتصال برق خروجی از دیمر که یک سر آن به برق شهر وصل و خروجی آنها به المنت‌ها ارتباط یافته و گرمای تولید شده به صفحه فلزی انتقال یافته و به طرف دیگر صفحه می‌رسد. روی صفحه فلزی با دماسنج لیزری مقابل آکس هر یک از قطعات المنت‌ها درجه حرارت اندازه‌گیری می‌شوند. این کار به دفعات در دو جهت بالا و به پایین هم‌جهت با هوای اجباری راassisting و در جهت مخالف هوای اجباری را opposing مانند شکل که از فن خارج می‌شود و با عبور از شبکه فلزی استیل مربعی شکل به ابعاد 25mm×25mm که باعث جریان یکنواخت می‌گردد اندازه‌گیری می‌شود. با افزایش دما این کار تا آنجا ادامه می‌یابد تا دمای صفحه خروجی از هر پنج قطعه المنت که درجه حرارت تقریباً ثابتی یعنی به Temperature steady - Ts برسند. بدیهی



[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.4.0 ]

است تعداد عدد Ts اندازه‌گیری شده در هر جهت پایین به بالا بلعکس۵ عدد خواهد بود . حال با استفاده از فرمول تعیین ضریب انتقال اندازه گرفته و بر روی اختلاف دما می‌باشد را بدست می‌آوریم. در هر طرف پنج ضریب اتصال حرارت و در دو جهت ده ضریب انتقال حرارت داریم. بدین‌ترتیب می‌توانیم نمودارهای لازم را بدست آوریم. که عبارتند از نمودار تغییرات ضریب اتصال حرارت h(y) به y(m) و Nu(x) به Re(x) و نمودار تغییرات Nu(x), Numerial, experimental به Re(x) می‌باشند. در ادامه با بدست آمدن اعداد بدون بعد Re و Gr و Ri و Pr درمی‌یابیم که مقادیر آنها در محدوده مورد قبول می-باشند. خصوصاً مقدار عدد Ri نشان‌دهنده جریان جابجایی مخلوط است.

در این بررسی بیشتر پارامترهای تأثیرگذار بر انتقال حرارت مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت و مشاهده می‌شود که:

۱- با افزایش عدد نیولدز عدد ناسلت نیز افزایش می‌یابد.

۲- افزایش فاصله روی صفحه فلزی موجب کاهش ضریب انتقال حرارت می‌گردد.

۳- در مقایسه Nu(x) به Re(x) در انجام آزمایش تجربی و محاسباتی با افزایش فاصله مقادیر آنها در محدود آزمایش تقریباً همپوشانی دارند.

۴- در نتایج آزمایشگاهی و تحلیل عددی مشاهده می‌گردد که با افزایش سرعت جریان باعث اغتشاشی حاصل می‌گردد و جریان یکنواخت نخواهیم داشت.

**فهرست علائم**

| | |
|---|---|
| Cp specific heat (j $kg^{-1}$ $k^{-1}$) | ظرفیت گرمایی |
| Gravity | شتاب ثقل |
| Grashovf number ($= \frac{g\beta\Delta TL^4}{v^2}$) | عدد گراشف |
| Thermal conductivity ($wm^{-1}k^{-1}$) | ضریب هدایت حرارتی |
| Nc(curve Nusse lt (Number) | عدد ناسلت |
| Ns surface Nusse lt (Number) | عدد ناسلت سطحی |
| Nu local Nusse lt (Number) | عدد ناسلت محلی |
| P pressure (MPa) | فشار (مگاپاسکال) |
| Pr Prantle number ($\frac{a_m}{v_m}$) | عدد پرانتل |
| uniform heat flux($wm^{--}2$)q" | شارحرارتی یکنواخت |
| $R_e$ Reynolds number ($= \frac{\rho VL}{\mu}$) | عدد رینولدز |
| Ri Richardson number $\frac{Gr}{Re^2}$ | عدد ریچاردسون |
| T Temperature ($^\circ C$) | درجه حرارت |
| V velocity($m/s^2$ ) | سرعت |
| ρ density (kg $m^{-2}$ ) | دانسیته |
| q" | شار |
| Plate | صفحه |
| Wall | دیوار |
| Sensor | سنسور |
| Heat transfer | Q |
| ("K)T temperature | درجه حرارت |
| Greek Letters | حروف یونانی |

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.4.0 ]

| | |
|---|---|
| توزیع حرارت | Thermal Diffusivth ($=\frac{\mu_m}{\rho_m}\alpha$) |
| ضریب انبساط حجمی | B = velometric expension coefficient ($k^{-1}$) |
| جرء حجمی | Nanometric Volume Fraction |
| ویسکوزیته دینامیکی | μ Dynamic Viscosity ($Nsm^{-2}$) |
| وسسکوزیته سینماتیکی | υ= Kinematic viscosity ($m^2s^{-1}$) |

**فرایند بی بعد سازی**

الف- نسبت موقعیت مکانی در راستای محور افقی به طول $X=\frac{x}{L_x}$

ب- نسبت موقعیت مکانی در راستای محور عمودی به طول $L=\frac{y}{L_y}$

ج- نسبت سرعت در راستای محور افقی به سرعت خروج هوا از روی صفحه عمودی $U=\frac{\mu}{\nu_e}$

د- نسبت سرعت در راستای محور عمودی به سرعت خروج هوا از روی صفحه افقی $V=\frac{v}{\nu_e}$

هـ پارامتر فشار بی‌بعد $P'=\frac{\rho-p_\circ}{\rho\upsilon_e^2}$

و- پارامتر دمای بی‌بعد $t=\frac{T-T_\infty}{T_e-T_a}$

**مراجع**

1. F.P. incropera convection heat transfer in electronic equipment cooling J. Heat Transfer 110 (1998) 1097-1111.

2. W. Elenabass. Heat dissipation of parallel plates by free convection, physica 9 (1942) 1-28.

3. Wei Liu , Tengfei Zhang, Ruxue , Zhiqiang (John)Zhai , Ji hong Wang , Yun Wei , and Qing Yan Chen State-of-thr-art methods for inverse design of an enclose envoirement Build Environ. 2015 Sep; 91:91-100. Published online Mar 17. dol: 10.1016/j. buildenv. 2015.02.041

4. Rajeswari Sheshadri, Shankar Rao Munjam. Mixed convection flow due to a vertical plate in the presence of heat source and chemical reaction,Ain Shams Engineering Journal. volume 7, issue 2, june 2016, pages 671-682.

5. K. Ggrangadhar N. bhaskar Reddy, P-K.Kameswaran Similarity solution of Hydro- Magnetic Heat and Mass Transfer over a Vertical Plate with a Convective Surface Boundary Condition and Chemical Reactio, Int j Nonlinear Sci 13(2012), pp-298-307.

6. K. Gangadhar soret and dufour hydromagnetic heat and mass transfer over a vertical plate with a chemical reaction.July 2015 Ain Shams Engineering Journal App Fluid Mechan, 6(2013), pp.95-105

7. Damien David, Frederic, Kuznic, Jean-Jacques Roux. Eperimental investigation of natural convection near a wall containg phase change material. International Journal of thermal Science,Elsevier,2016, 104, pp.281-291. 10.1016/j. ijthermalsci. 2016.01.011. hal-01848111

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.4.0 ]

8. Gianpiero Evola and Luigi Marletta Marletta. The effictiveewa ness of PCM Wallboard for the Energy Refurbisment of Lightweight Buildings. Energy Procedia, 62:13-12,2014

9. N. Soares, A. R. Gaspar, P. Santos, and JJ. Costa. Molty - dimenntioal optimization of PCM-drywalls in lightweight steel - framed residential buildings in different climates. Energy and building, 70:411-421 February 2014

10. Manuel Ibanez, Ana Lzaro, Belen Zalba, and Luiza F. Cabeza, An approach to the simulation of PCMs in building applications using TRNSYS Applied thermal Engineering, 25(11-12):1785-1807, August 2005.

11. F. Kuznik, J.Virgone, and J.J. Roux. Energetic efficiency of room wall containing pcm wallboard: a full scale experiment Energy And Building, 40:148- 156, 2008

12. A. Bejan ,Convection Heat Transfer; Doorham North Carolina,John Wiley & Sons, April 2004.

13. A. Dogan , M.Sivioglu , Investigation of Mixed convection heat transfer from a rectangular Cross- Section Channel with discrete heat source at the top and the bottom, Ph. D thesis, University, Ankara, Turkey 2003.

14. Kt Starner, H.N. Mc Manus, An experimental investigation of free convection heat transfer rectangular fin-array, International Journal Heat Transfer and Mass.. ASME . ser .C 85 (1963) 273-2780.

15. Makinde O.D .& Aziz A. "Mixed convection from a convectively heated vertical plate to a fluid with internal heat generation". J .Heat Transfer Vol. 133(12), 122501 (pages) (2011).

16. Ferfows M., Bangalee M. z. Z, CR. EPEAU J.C. & SEDDEEK M. A, "The problem or MHD from a

Prous boundar with internal heat generation", progress in computatational Flui Dynamics, ol.11(1), 565(2011).

17. Anghel, M. Takhar H S. & POP I "Dufour and Soret on free convection boundary layer over a vertical surface embedded in a porous medium" J. Heat and Mass Transfer Vol.43, 1265-1274 (2000)

18 .Charles D. Jones, Lester F. Smith, Optimum arrangement of rectangular fin on horizontal surfaces for free convection heat transfer, J. Heat Trans. Trans. ASM ser. 6-10. C 92 (1970).

19. K.J. Kennedy, A. Zebib, International Journal of Heat and Mass Transfer 26 91983) 471.

20. A.B. McEntire, B.W. Webb, International Journal of Heat and Mass Transfer 29 (19860 1051

21. M. Fuji, S. Gima, T. Tomimura, X. Zhang. Internatioal Journal of Heat and Fluid Flow 17 (1996) 483.

22. J.J. Hwang,International Journal of Heat Transfer 120 (1998) 510.

23. Y.L. Tsay,International Jornal of Heat and Mass Transfer 35 (1999) 391.

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.4.0 ]

چکیده انگلیسی:

# Estimation of Heat Transfer Coefficient under the Mixed Convection and the Constant Heat Flux Conditions Using the Inverse Thermal Design

**Hossein Yousefi, Farshad Kowsary*, Ghasem Akbari**

Department of Mechanical Engineering. Qazvin Branch, Azad Islamic University, Qazvin, Iran

Received: March 2021, Accepted: July 2021

## Abstract

The purpose of this paper is to experimentally investigate the heat transfer of a mixture (free-forced) on a vertical plate under a uniform heat flux with both assisting currents and opposing currents. Heat flux applied to the plate (inversed test design) using number simulation and optimization of thermal element capacities behind the plate has been done. By determining the temperature degree reached to stable temperature degrees and uniform heat fluxes from the plate, heat transfer coefficients we measure by calculation. By performing the relevant experiments and determining dimensionless numbers, Rayleigh, Reynolds and the Grashof show that the results are within the allowable range and the heat transfer flow is mixed convection. Important parameters in flow properties are displayed and analyzed.

**Key words:** Mixed convection, Inverse design, Optimal test design.

*corresponding author: **farshad.kowsary@gmail.com**

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.2.4.0 ]

**Cite this article as:** Hossein Yousefi, Farshad Kowsary, Ghasem Akbari, Estimation of Heat Transfer Coefficient under the Mixed Convection and the Constant Heat Flux Conditions Using the Inverse Thermal Design. Journal of Energy Conversion, 2021, 8(2), 34-51.