

آنالیز عددی آب شیرین کن خورشیدی لوله‌ای به منظور بررسی تأثیر سردکننده‌ی موضعی بر روی تولید آن

احسان فتوحی بافقی^{۱*}، نادر رهبر^۲

۱- پژوهشگر، شرکت سنگ آهن مرکزی ایران-بافق، دفتر تحقیق و توسعه، بافق، ایران
۲- استادیار، مرکز تحقیقات انرژی و توسعه پایدار، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران
*Ehsansytif@gmail.com، ۸۹۷۱۸۴۸۷۷۱، بافق، ایران

چکیده

آب شیرین کن‌های خورشیدی به دلیل استفاده از انرژی ارزان، تمیز، تجدیدپذیر و بی خطر خورشید و همچنین نداشتن هیچگونه قطعه‌ی متحرک و سروصدا می‌توانند بهترین جایگزین برای آب شیرین کن‌های متداول باشند. در این تحقیق با در نظر گرفتن شرایط هوای مرطوب، داخل آب شیرین کن به شبیه‌سازی عددی انتقال جرم و حرارت جابجایی طبیعی آرام داخل آن پرداخته شده است. معادلات سرعت-فشار، بالانس انرژی و جرم به صورت دوبعدی بیان شده و از روش حجم محدود برای حل معادلات مذکور استفاده شده است. سردکننده‌ی موضعی در دو نقطه‌ی بالا و میان پوشش دایره‌ای و عدد رایلی در دو مقدار 5×10^4 و 1×10^5 به منظور بررسی تأثیر آن‌ها بر روی خطوط جریان، دما و تمرکز ثابت و همچنین نرخ متوسط تولید آب شیرین استفاده شده است. مقایسه‌ی نتایج حل عددی با نتایج تحلیل تجربی پیشین نشان داد که آن‌ها توافق خوبی با هم دارند. همچنین نتایج شبیه‌سازی عددی نشان دادند که افزایش عدد رایلی و استفاده از سردکننده‌ی موضعی سبب افزایش نرخ متوسط تولید شده و ماکزیمم تولید آب شیرین در عدد رایلی 1×10^5 و قرارگرفتن سردکننده‌ی موضعی در بالای پوشش دایره‌ای می‌باشد.

کلیدواژگان

شبیه‌سازی عددی، جابجایی طبیعی، روش حجم محدود، عدد رایلی، سردکننده‌ی موضعی

The Effect of Partially Cooling on the Productivity of a Tubular Solar Still – A Numerical Study

Ehsan Fotouhi Bafghi^{1*}, Nader Rahbar²

1- Researcher, Member of Office of Research and Development, Iran Central Iron Ore Company, Bafgh, Iran
2- Strategic Center for Energy and Sustainable Development, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran
*P.O.B. 8971848771, Bafgh, Iran, Ehsansytif@gmail.com

Abstract

Today, Solar stills have become a popular water purification facilities in desalination research areas. They use solar energy as a never ending, low cost and clean energy. They have no moving parts and without any noise. In this study, we investigate the effect of partially cooling on the productivity of a tubular solar still. For this purpose, 2-D finite volume method was used to solve velocity, momentum, energy and mass transfer equations for humid air inside the enclosure. Moreover, the effect of using glass-cover partially-cooling on the stream lines, isotherms, mass fraction and water productivity was investigated. The results showed that numerical simulation has a good agreement with experimental results. Furthermore, we concluded that increasing the Rayleigh number and using partially cooling lead to enhance water productivity. Moreover, the maximum productivity was achieved in $Ra=10^5$ when using partially cooling on top of the glass cover.

Keywords

CFD Simulation, Natural Convection, Finite Volume Method, Rayleigh Number, Partially Cooling

مناسب‌تر برای شیرین کردن آب باشد. در صورتی که منطقه‌ای از نظر داشتن انرژی خورشیدی غنی باشد استفاده از آب شیرین کن‌های خورشیدی می‌تواند بهترین گزینه‌ی انتخابی برای شیرین کردن آب‌های شور و نمکین باشد. از مزایای انرژی خورشیدی می‌توان به فراوانی، تمیز و رایگان بودن آن که امروزه نقش بسیار مهمی در سیستم‌های انرژی بازی می‌کند، اشاره نمود [۵،۴]. انتقال جرم و حرارت داخل آب شیرین کن‌های خورشیدی ناشی از جابجایی طبیعی داخل محفظه به علت نیروی شناوری ناشی از اختلاف دما و چگالی ایجاد شده در سیال می‌باشد [۶]. به منظور تحلیل و بررسی فرایندهای انتقال حرارت، انتقال جرم و جریان سیال از دو روش تحلیل تجربی (آزمایشگاهی) و مدل‌سازی عددی که خود به دو روش تحلیل

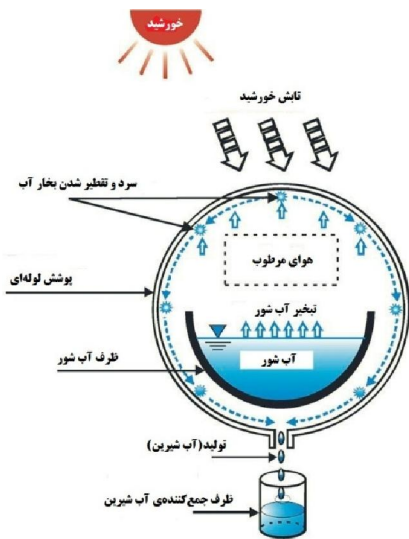
۱- مقدمه

هوا و آب آشامیدنی دو جزء بسیار مهم برای زندگی انسان‌ها می‌باشند. بسیاری از مناطق جهان از جمله مناطق ساحلی و خشک از کمبود آب آشامیدنی رنج می‌برند. از طرف دیگر، این مناطق منابع کافی برای تولید توان الکتریکی جهت شیرین کردن آب را ندارند. بنابراین برای اینگونه نواحی باید به دنبال تکنیک و تکنولوژی مناسب جهت شیرین کردن آب بود. روشهای گوناگون شیرین کردن آب بر دو پایه‌ی دما و غشاء مانند روشهای تقطیر، اسمز معکوس، روش الکترو دیالیز و ... می‌باشند. با توجه به شرایط کنونی جهان روشی مورد مقبول عموم است که دارای ویژگی‌هایی نظیر مصرف انرژی پایین، راندمان بالا، سهولت استفاده، ارزان و پاک بودن و ... باشد [۳-۱]. بنابراین با توجه به ویژگی‌های نام برده روش تقطیری می‌تواند روشی

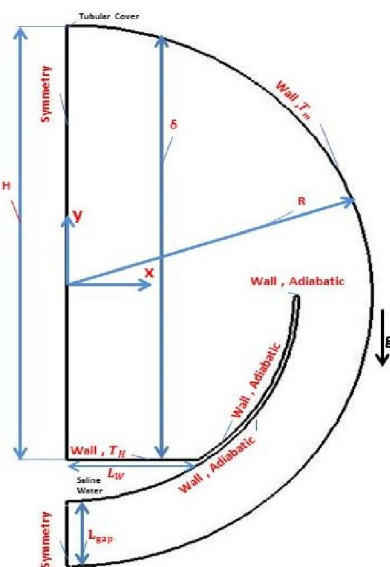
هندسه‌ی محفظه‌ی مورد نظر و شرایط مرزی مورد استفاده در شبیه‌سازی عددی در شکل ۱ و ۲ نشان داده شده است. این محفظه از یک نیم دایره داخل محفظه و یک پوشش لوله‌ای تشکیل شده است و دمای نیم دایره‌ی داخل محفظه بیشتر از دمای پوشش لوله‌ای می‌باشد.

۲-۲- روابط ریاضی

در این تحقیق معادلات بقا با استفاده از روابط سرعت-فشار نوشته شده و مدل گاز ایده‌آل تراکم ناپذیر به منظور محاسبه‌ی تغییرات دانسیته در نظر گرفته شده است. برای جریان جابجایی طبیعی پایدار، آرام و دوبعدی و همچنین سیال تراکم‌ناپذیر، معادلات پیوستگی، بقای اندازه حرکت، بقای انرژی و نفوذ جرم در مختصات دکارتی به صورت زیر نوشته می‌شوند.



شکل ۱ نمایی شماتیک از تولید آب شیرین توسط آب شیرین‌کن خورشیدی لوله‌ای [۱۱]



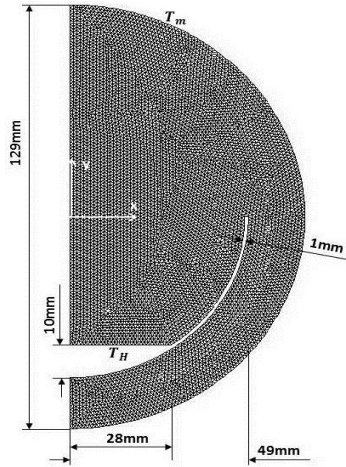
شکل ۲ نمایی شماتیک از هندسه‌ی محفظه‌ی بسته‌ی دایره‌ای در حالت بدون سردکننده‌ی موضعی و شرایط مرزی مورد استفاده در مدل‌سازی عددی

تئوری (نظری) و دینامیک سیالات محاسباتی^۱ دسته بندی می‌شود، استفاده می‌کنند. از مزایای روش دینامیک سیالات محاسباتی می‌توان به هزینه پایه‌گذاری پایین، افزایش سرعت در دستیابی به نتایج، توانایی شبیه‌سازی شرایط واقعی و ایده‌آل، حل مسایل وابسته به زمان درحالت‌های مختلف و توانایی مطالعه سیستم‌هایی که انجام آزمایشات روی آن‌ها مشکل و غیر ممکن است، اشاره نمود [۸،۷]. همچنین روش تحلیل عددی نسبت به روش تحلیل تجربی به منظور تغییر ساده‌ی پارامترهایی نظیر ابعاد هندسه، شرایط مرزی، ضخامت شیشه و مکان تحلیل به صرفه‌تر بوده و می‌تواند در تحقیق عملکرد سیستم‌های انرژی با تغییر جزء‌های مختلف بسیار به ما کمک کند [۹]. از جمله کارهایی که بر روی آب شیرین‌کن‌های خورشیدی لوله‌ای انجام شده است می‌توان به تحقیقاتی نظیر موارد ذیل اشاره داشت. آقای ایسلام و همکارانشان [۱۰] به بررسی انتقال جرم داخل آب شیرین‌کن پرداخته و نشان دادند که ثابت داخل مدل دانکل همیشه ثابت نبوده و به تغییرات دما وابسته و با افزایش دمای آب افزایش می‌یابد. همچنین آقای احسان و همکاران [۱۱] بر روی تبخیر، تقطیر و تولید آب شیرین‌کن خورشیدی مطالعه‌ی تجربی نموده و نشان دادند که هوای مرطوب داخل آن قطعا اشباع نبوده و دارای رطوبت نسبی زیر ۱۰۰٪ می‌باشد. آنان همچنین با تغییر جنس پوشش هزینه‌ی تولید آب و وزن دستگاه را کاهش و دوام آن را افزایش داده و برای اولین بار توجه به رابطه هوای مرطوب داخل آب شیرین‌کن برای ضرایب انتقال حرارت جابجایی و جرم مدلی پیشنهاد داده و نشان دادند که تفاوت بین نرخ تبخیر و تقطیر به شدت به دانسیته بخار در هوای مرطوب بستگی دارد. در کاری دیگر آقای ایسلام و همکاران [۱۲] با موازنه معادلات جرم و انرژی معادلاتی تئوری ارائه داده و با استفاده از نتایج تجربی، ضرایب انتقال حرارت جابجایی و جرم را برای آب شیرین‌کن بدست آوردند. آنان همچنین مدلی بر حسب اختلاف دما بین سطح گرم (سطح آب) و سطح سرد (سطح پوشش) را برای محاسبه‌ی ضرایب انتقال حرارت جابجایی و جرم ارائه نمودند. در کاری دیگر آقای ایسلام و فوکوهازا [۱۳] با توجه به شرایط هوای مرطوب داخل آب شیرین‌کن تحت شرایط دائم و پایدار مدلی پیشنهاد داده که این مدل می‌تواند دمای آب شور، دمای هوای مرطوب، دمای پوشش و شار تولیدی تحت حالت دائم و پایدار پیش بینی کند. در تحقیق دیگری آقای موریز و همکاران [۱۴] به آنالیز عددی و تجربی آب شیرین‌کن لوله‌ای پرداخته و نشان دادند که قسمت پایین آن نیاز به عایق نداشته و می‌توان آن را داخل زمین نصب نمود.

از بررسی مطالعات گذشته روشن است که بر روی اینگونه آب شیرین‌کن‌ها تحقیقات اندکی به صورت عددی و تجربی صورت گرفته اما تا به امروز هیچ گونه تحقیقی به منظور بررسی تأثیر سردکننده‌ی موضعی و عدد رایلی بر جابجایی طبیعی داخل این محفظه‌ها با در نظر گرفتن شرایط هوای مرطوب، صورت نگرفته است. بنابراین در این تحقیق به حل عددی جریان سیال درون یک آب شیرین‌کن خورشیدی لوله‌ای پرداخته و تأثیر سردکننده‌ی موضعی و عدد رایلی را بر روی جابجایی طبیعی و نرخ تولید آب شیرین مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۲- بیان مسئله

۲-۱- شرح فیزیک مسئله



شکل ۳ ابعاد و شبکه‌ی مورد استفاده در مدل سازی عددی

جدول ۱: شرایط هوای مرطوب وابسته به درجه حرارت [۱۶]

شرح رابطه	کمیت
$C_p = 999.2 + 0.1434 \times T_i + 1.101 \times 10^{-4} \times T_i^2 - 6.758 \times 10^{-8} \times T_i^3$	ظرفیت گرمایی ویژه:
$\rho = 353.44 / (T_i + 273.15)$	دانسیته:
$K = 0.0244 + 0.7673 \times 10^{-4} \times T_i$	ضریب هدایت حرارتی:
$\mu = 1.718 \times 10^{-5} + 4.62 \times 10^{-8} \times T_i$	لزجت دینامیکی:
$\beta_T = 1 / (T_i + 273)$	ضریب انبساط حرارتی:
$T_i = (T_H + T_m) / 2$	دمای متوسط:

۴- بررسی استقلال از شبکه‌ی نتایج حل عددی

به منظور بررسی استقلال از مش نتایج حل عددی ۵ نوع مدل با شبکه‌هایی به صورت غیریکنواخت، مثلثی و تعداد المان ۳۵۰۰، ۷۰۰۰، ۱۴۰۰۰ و ۲۸۰۰۰ ایجاد شده است. مقدار متوسط نرخ تولید آب شیرین توسط آب شیرین کن جهت بررسی حساسیت اندازه شبکه‌ها در دقت نتایج حل عددی استفاده شده است. شکل ۴ همگرایی نرخ متوسط تولید آب شیرین با تغییر اندازه‌ی شبکه‌ها را نشان می‌دهد. در نهایت شبکه با تعداد المان ۱۴۰۰۰ که درصد خطای نتایج آن با شبکه به تعداد المان ۲۸۰۰۰، ۱۰ درصد می‌باشد برای مطالعه انتخاب شد.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + g_y \quad (3)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

$$u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} = D_{AB} \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) \quad (5)$$

عدد رایلی حرارتی نیز به صورت زیر بیان می‌شود.

$$Ra_T = \frac{g \beta_T (T_H - T_m) \delta^3}{\alpha \nu} \quad (6)$$

همچنین در این تحقیق به منظور محاسبه‌ی نرخ تولید آب شیرین توسط آب شیرین کن با فرض اینکه نرخ تیخیر از روی سطح آب شور با نرخ تقطیر روی سطح پوشش برابر باشد، از رابطه‌ی زیر استفاده شده است [۱۵].

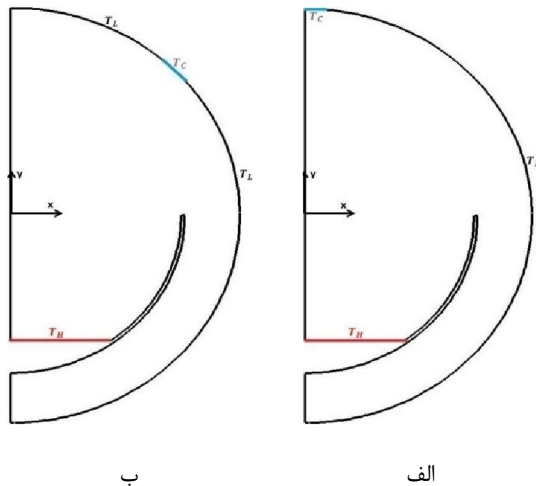
$$\dot{m}_{evap} = \dot{m}_{cond} = \rho D_{AB} \frac{dw}{dy} \Big|_{WaterSurface} \quad (7)$$

۳- حل عددی

۳-۱- روند حل عددی

معادلات حاکم بر جریان سیال عبارت از معادله بقای جرم، مومنتوم، انرژی و نفوذ جرم می‌باشند. حل معادلات ذکر شده با استفاده از نرم افزار فلونت ۶،۳،۲۶ و به روش حجم محدود بر روی مدلی با ابعاد داده شده در کار آقای ایسلام و فوکوها را [۱۲] که در شکل ۳ نشان داده شده صورت گرفته است. از الگوریتم سیمپل^۱ برای محاسبه‌ی ارتباط بین فشار و سرعت، همچنین به ترتیب برای انفصال ترم‌های جابه‌جایی و درون‌یابی فشار از طرح‌های اختلاف بالادست^۲ و استاندارد^۳ استفاده شده است. لازم به ذکر است با فرض متقارن بودن جریان داخل محفظه، مدل به صورت نیمه و شبکه‌ی مورد نظر برای مدل سازی عددی به صورت غیر سازمان یافته توسط نرم افزار گمبیت ۲،۴،۶ ایجاد شده که در شکل ۳ نشان داده شده است. تکرار حل معادلات مذکور زمانی متوقف می‌شود که باقیمانده‌ی جواب‌ها (اختلاف بین نتایج) تغییرات کمتر یا مساوی 10^{-6} را برای معادله انرژی و 10^{-3} را برای سایر معادلات گزارش دهد. مشخصات هوای مرطوب از جمله ظرفیت گرمایی ویژه، ویسکوزیته و قابلیت هدایت گرمایی، متغیر و بر اساس مقادیر داده شده در جدول ۱ مدل شده‌اند.

2. Simple Algorithm
3. Upwind
4. Standard (Pressure Staggering Option)

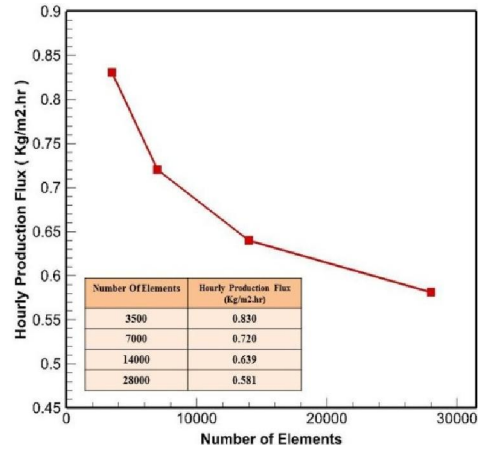


شکل ۶ آب شیرین کن خورشیدی لوله‌ای با سردکننده‌ی موضعی، (الف): در بالای پوشش و (ب): در وسط پوشش دایره‌ای

شکل ۷ تأثیر سردکننده بر روی خطوط جریان را نشان می‌دهد. در حالت (الف) و (ج) گردش سیال در نیمه سمت راست، موافق حرکت عقربه‌های ساعت و با فرض متقارن بودن جریان سیال در دو نیمه، چرخش سیال در نیمه سمت چپ، خلاف حرکت عقربه‌های ساعت می‌باشد. همچنین در حالت (ب) گردش سیال در نیمه سمت راست، خلاف حرکت عقربه‌های ساعت می‌باشد. در حالت (ج) علاوه بر گردش سیال میان سطح گرم و سرد، چرخشی در وسط محفظه، کنار دیوار پوشش دایره‌ای بوجود آمده که با افزایش عدد رایلی این گردابه‌ی مخرب در حال از بین رفتن می‌باشد. نتایج نشان می‌دهند که در حالت (الف) و (ج) با افزایش عدد رایلی، تابع جریان در نزدیکی سطح گرم آب شور افزایش اما در وسط گردابه‌ی بوجود آمده، همواره ثابت می‌ماند و گردابه‌ی نزدیک به سطح گرم قوی‌تر از گردابه‌ی وسط می‌باشد. همچنین در حالت (ب) با افزایش عدد رایلی، تابع جریان در نزدیکی سطح گرم آب شور همواره ثابت اما در وسط گردابه‌ی تشکیل شده، داخل محفظه‌ی آب شیرین کن افزایش می‌یابد و گردابه‌ی بوجود آمده در وسط قوی‌تر از گردابه‌ی نزدیک سطح گرم آب شور می‌باشد.

شکل ۸ تأثیر سردکننده بر روی خطوط دما ثابت را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش عدد رایلی انتقال حرارت جابجایی نسبت به انتقال حرارت هدایت نقش پررنگ‌تری را در انتقال حرارت از سطح آب شور به سطح سرد پوشش دایره‌ای بازی می‌کند.

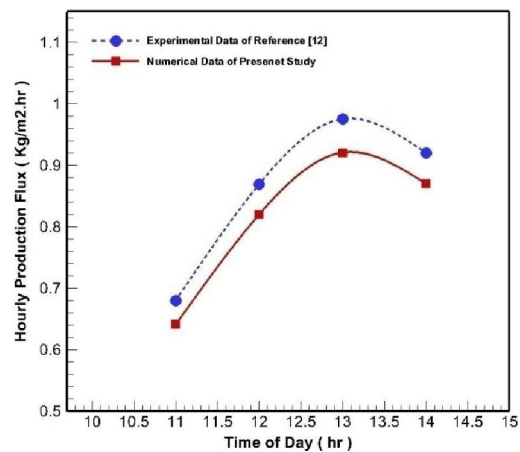
شکل ۹ تأثیر سردکننده بر روی خطوط تمرکز ثابت را نشان می‌دهد. تأثیر سردکننده‌ی موضعی بر روی خطوط تمرکز ثابت نیز همانند تأثیر بر روی خطوط دما ثابت می‌باشد. بنابراین با افزایش عدد رایلی انتقال جرم جابجایی نسبت به انتقال جرم هدایت (پخش) نقش پررنگ‌تری را در انتقال جرم از سطح آب شور به سطح سرد پوشش دایره‌ای بازی می‌کند.



شکل ۴ بررسی استقلال از شبکه نتایج حل عددی برای $T_H = 63.2^\circ$ و $T_m = 58.5^\circ$

۴- اعتبارسنجی نتایج حل عددی

بدین منظور نتایج حل عددی با نتایج تحقیق تجربی آقای ایسلام و فوکوها را [۱۲] مقایسه شده است. مقایسه نتایج در شکل ۵ برای ساعات مختلف روز نشان داده شده است. مقایسه بین نتایج حل عددی تحقیق حاضر و نتایج تحلیل تجربی آقای ایسلام و فوکوها را نشان داد که حداکثر خطا بین آن‌ها ۵٫۷ درصد بوده و توافق بسیار خوبی بین آن‌ها وجود دارد.

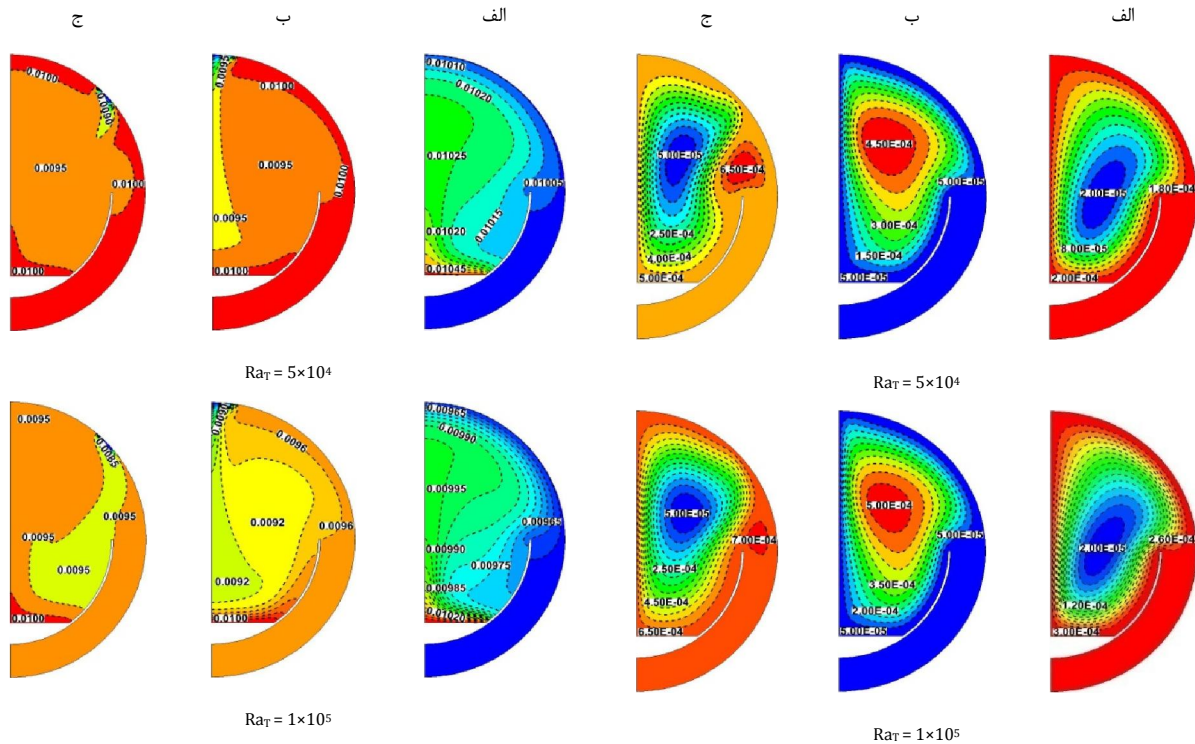


شکل ۵ مقایسه نرخ تولید آب شیرین توسط حل عددی حاضر با نتایج تجربی کار آقای ایسلام و فوکوها را [۱۲] در ساعات مختلف روز

۵- نتایج

در این تحقیق به منظور بررسی جابجایی طبیعی آرام داخل آب شیرین-کن، از هوای مرطوب به عنوان عامل انتقال جرم و حرارت استفاده شده، عددهای رایلی در اختلاف دماهای متفاوت محاسبه و سردکننده در زوایای مختلف روی پوشش قرار داده شده است.

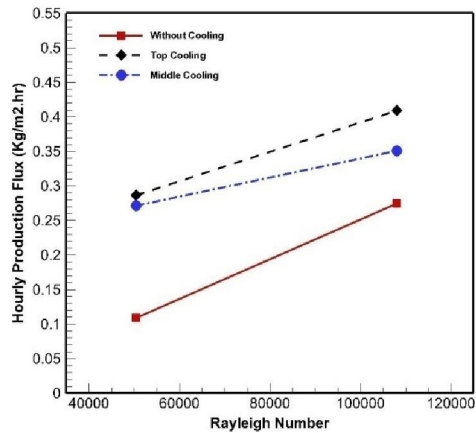
شکل‌های ۲ و ۶ آب شیرین کن خورشیدی بدون سردکننده و با سردکننده، در زوایای مختلف را نشان می‌دهند. در شکل ۲ دما در سراسر سطح پوشش آب شیرین کن ثابت اما در شکل ۶ دمای سطح پوشش به دو قسمت تقسیم شده که شکل ۶-الف، سردکننده در بالاترین قسمت پوشش و شکل ۶-ب، سردکننده در قسمت میانی پوشش آب شیرین کن را نشان می‌دهد.



شکل ۷ تأثیر سردکننده بر روی خطوط جریان در اعداد رایلی مختلف برای حالت (الف): بدون سرد کننده، (ب): سردکننده در بالای پوشش و (ج): سردکننده در وسط پوشش

شکل ۹ تأثیر سردکننده بر روی خطوط تمرکز ثابت در اعداد رایلی مختلف برای حالت (الف): بدون سرد کننده، (ب): سردکننده در بالای پوشش و (ج): سردکننده در وسط پوشش

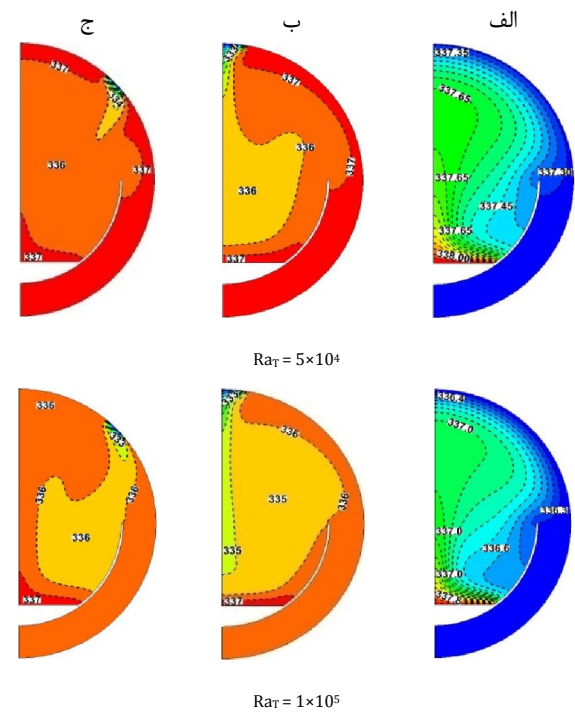
شکل ۱۰ نرخ متوسط تولید آب شیرین را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهند با افزایش عدد رایلی و استفاده از سردکننده‌ی موضعی بر روی پوشش، نرخ متوسط تولید افزایش می‌یابد. همچنین ماکزیمم نرخ متوسط تولید در عدد رایلی و سردکننده‌ی موضعی به ترتیب 1×10^5 و بالای پوشش دایره‌ای آب شیرین‌کن می‌باشد.



شکل ۱۰ تأثیر سردکننده‌ی موضعی بر روی نرخ متوسط تولید آب شیرین در اعداد رایلی حرارتی مختلف

۶- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

این تحقیق، تحلیل عددی جریان سیال و انتقال حرارت و جرم داخل محفظه‌ی آب شیرین‌کن خورشیدی لوله‌ای را شرح می‌دهد. برای عددهای رایلی حرارتی متفاوت و همچنین زوایای مختلف قرارگرفتن سرد کننده‌ی



شکل ۸ تأثیر سردکننده بر روی خطوط دما ثابت در اعداد رایلی حرارتی مختلف برای حالت (الف): بدون سرد کننده، (ب): سردکننده در بالای پوشش و (ج): سردکننده در وسط پوشش

خاصیت حرارتی T

موضعی بر روی پوشش، نتایج محاسبه شده‌اند. برخی از نتایج قابل توجه و مهم‌تر به شرح زیر می‌باشند:

شبیه‌سازی عددی با دقت خوبی می‌تواند خروجی آب شیرین‌کن را پیش‌بینی نماید.

نرخ متوسط تولید آب شیرین با افزایش عدد رایلی و استفاده از سردکننده‌ی موضعی بر روی سطح پوشش دایره‌ای، افزایش می‌یابد.

ماکزیمم نرخ متوسط تولید در عدد رایلی 1×10^5 و سردکننده‌ی موضعی در بالای سطح پوشش دایره‌ای می‌باشد.

۷- فهرست علائم

۸- مراجع

- [1] Abu-Arabi, M., Zurigat, Y. and Al-Hinaib, H., 2002. "Modeling and Performance Analysis of a Solar Desalination unit with Double-Glass Cover Cooling". *Desalination*, vol. 143, pp. 173-182.
- [2] Ahsan, A., and Fukuhara, T., 2010. "Mass and Heat Transfer Model of Tubular Solar Still". *Solar Energy*, vol. 84, pp. 1147-1156.
- [3] Balan, R., Chandrasekaran, J., Shanmugan, S., Janarthanan, B., Kumar, S., 2011. "Review on Passive Solar Distillation" *Desalination and Water Treatment*, vol. 28, p. 217-238.
- [4] Florides, G. A., Tassou, S.A., Kalogirou, S.A., Wrobel, L.C., 2002. "Review of Solar and Low Energy Cooling Technologies for Buildings". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 6, pp. 557-572.
- [5] Zhai, X. Q., Wang, R.Z., Dai, Y.J., Wu, J.Y., Xu, Y.X., and Ma, Q., 2007. "Solar Integrated Energy System for a Green Building". *Energy Building*, vol. 39, pp. 985-993.
- [6] Raithby, G. D., and Hollands, K. G. T., 1985. *Handbook of Heat Transfer Fundamentals*. 2nd ed.: Mc Graw Hill, New York, USA.
- [7] Patankar, S. V., 1980. *Numerical Heat transfer and Fluid flow, Series in Computational Methods in Mechanics and Thermal Sciences*. Mc Graw Hill, New York, USA.
- [8] Versteeg, H. K., and Malalasekera, W., 2007. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method*. Prentice Hall, New Jersey, USA.
- [9] Rahman, M. M., Öztop, H.F., Ahsan, A., Kalam, M.A., and Varol, Y., 2012. "Double-Diffusive Natural Convection in a Triangular Solar Collector". *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 39, pp. 264-269.
- [10] Islam, K. M. S., Fukuhara, T., and Asano, F., 2004 "Mass Transfer in Tubular Solar Still". *Proc. of 59th Annual Conference, JSCE, Nagoya, Japan* pp. 236-237.
- [11] Ahsan, A., Islam, K.M.S., Fukuhara, T., and Ghazali, A. H., 2010. "Experimental Study on Evaporation, Condensation and Production of a New Tubular Solar Still". *Desalination*, vol. 260, pp. 172-179.
- [12] Islam, K., and Fukuhara, T., 2007. "Production Analysis of a Tubular Solar Still". *Doboku Gakkai Ronbunshuu B*, vol. 63, pp. 108-119.
- [13] Islam, K. M. S., and Fukuhara, T., 2005. "Heat and Mass Transfer in Tubular Solar Still Under Steady Condition". *Annual Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 49, pp. 727-732.
- [14] Murase, K., Tobata, H., Ishikawa, M., and Toyama, S., 2006. "Experimental and Numerical Analysis of a Tube-Type Networked Solar Still for Desert Technology". *Desalination*, vol. 190, pp. 137-146.
- [15] Cengel, Y. A., 2006. *Heat and Mass Transfer: a Practical Approach*. 3rd ed.: Mc Graw Hill, New York, USA.
- [16] Dwivedia, V. K., and Tiwari, G. N., 2009. "Comparision of Internal Heat Transfer Coefficients in Passave Solar Stills by Different Thermal Models: An Experimental Validation". *Desalination*, vol. 246, pp. 314-318.

C	تمرکز جزءها، کیلومول بر مترمکعب
C_p	ظرفیت گرمایی ویژه، کیلوژول بر کیلوگرم-درجه کلون
D	ضریب نفوذ، مترمربع بر ثانیه
δ	شتاب جاذبه، متربرمجذورثانیه
H	حداکثر فاصله بین سطح آب شور و سطح پوشش، متر
K	ضریب هدایت حرارتی، وات بر متر درجه کلون
L_{gap}	فاصله‌ی بین کف ظرف آب شور و پوشش، متر
L_w	سطح آب، متر
\dot{m}	نرخ تولید آب شیرین، کیلوگرم بر مترمربع در ثانیه
P	فشار، کیلوپاسکال
R	شعاع محفظه‌ی دایره‌ای، متر
Ra	عدد رایلی، -
T	درجه حرارت، کلون
u	سرعت سیال در راستای x ، متر بر ثانیه
v	سرعت سیال در راستای y ، متر بر ثانیه
w	کسر جرمی، -
x	محور افقی مختصات، متر
y	محور عمودی مختصات، متر

علائم یونانی

ρ	چگالی، کیلوگرم بر متر مکعب
β	ضریب انبساط
ν	ویسکوزیته سینماتیکی، متر مربع بر ثانیه
α	ضریب نفوذ حرارتی، متر مربع بر ثانیه
μ	ویسکوزیته دینامیکی (مطلق)، کیلوگرم بر متر در ثانیه
δ	فاصله‌ی متوسط بین سطح آب شور و سطح پوشش، متر

زیرنویس‌ها

A	جزء هوا داخل مخلوط
B	جزء بخار آب داخل مخلوط
C	سطح دارای سردکننده
$cond$	تقطیر
$evap$	تبخیر
H	سطح گرم
L	سطح بدون سردکننده
m	میانگین سطح سرد
S	خاصیت ترکیبی