

بررسی عددی تاثیر ابعاد پله بر عملکرد یک آب شیرین کن خورشیدی پلکانی

فاطمه علی پناه^۱، نادر رهبر^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

۲- استادیار، مرکز تحقیقات انرژی و توسعه پایدار، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

* صندوق پستی: ۳۵۱۹۶۹۷۹۵۱، پست الکترونیکی: rahbar@semnaniau.ac.ir

چکیده

هدف از این تحقیق شبیه سازی جریان سیال در یک آب شیرین کن خورشیدی پلکانی با فرض حالت پایدار، جریان آرام و هوا به عنوان گاز ایده آل و تراکم ناپذیر است. شبیه سازی عددی فرایند با استفاده از نرم افزار فلوئنت انجام گرفته است. از الگوریتم سیمپل برای محاسبه ی ارتباط بین فشار و سرعت و نیز برای انفعال ترم های جابجایی و درون یابی فشار از طرح های بالادست استفاده شده است. پارامترهای موثر بر عملکرد و بهره وری دستگاه، عبارت از فاصله بهینه بین سطح شیشه و آب، ارتفاع پله ها، تعداد گردابه ها و ضریب انتقال حرارت جابجایی می باشند. مهمترین نتیجه بدست آمده در این پژوهش و بررسی های انجام گرفته بر روی تعداد و ارتفاع پله ها در یک آب شیرین کن با ابعاد مشخص، بیانگر آن است که در هر تعداد پله مشخص یک سیر صعودی و نزولی در تولید آب مشاهده شده و به عبارت دیگر در هر تعداد پله مشخص یک نقطه بهینه وجود دارد. همچنین آب شیرین کن در حالت خاص شش پله ای با ارتفاع سهونیم سانتی متری بیشترین میزان تولید آب شیرین را داشته است.

کلید واژگان

آب شیرین کن پلکانی، شبیه سازی عددی، ضریب انتقال حرارت جابجایی، تولید آب شیرین

Numerical Study on the Effect of dimension of Steps on the Performance of a Cascade Solar Still

F. Alipanah¹, N. Rahbar^{2*}

1- Department of mechanical engineering, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran

2- Strategic Center for Energy and Sustainable Development, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran

* P.O.B. 3519697951 Semnan, Iran, rahbar@semnaniau.ac.ir

Abstract

The purpose of this study is to simulate fluid flow in a weir-type cascade solar still, assuming steady-state and air being the ideal gas and incompressible. The commercial software FLUENT is used for numerical simulation of the process. SIMPLE algorithm is used to calculate the relationship between pressure and velocity. In addition, first order upwind method is applied for separation of displacement and interpolation of pressure. The effective parameters on unit productivity are the distance between glass surface and water, height of solar still, the number of vortexes and convective heat transfer coefficient. Results of investigations on a Solar Still with different height of steps, indicated that the productivity increases with increasing the height of stairs. Although, it should be noted that in each model with specific number of stairs there is an upward-downward trend; in other words, there is an optimum point in each model with specific number of stairs. Also, the still in the specific model of six-stairs with the height of 3.5 cm of stairs had maximum productivity.

Keywords

cascade solar still, numerical simulation, convective heat transfer coefficient, still productivity.

استفاده، ارزان و پاک بودن انرژی مورد استفاده برای شیرین کردن آب و... باشد. بنابراین با توجه به ویژگی های نامبرده، روش تقطیری می تواند روشی مناسب تر برای شیرین کردن آب باشد. در صورتی که منطقه ای از نظر داشتن انرژی خورشیدی غنی باشد، استفاده از آب شیرین کن های خورشیدی که خود بر پایه دمایی و به روش تقطیری کار می کنند، می تواند بهترین روش و گزینه انتخابی برای شیرین کردن آب های شور باشد. با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران در نیم کره شمالی و قرار گرفتن کشورمان بر روی کمربند خورشیدی جهان، می توان آن را یکی از بهترین مناطق برای استفاده از انرژی خورشیدی در جهان دانست و پتانسیل بالایی برای استفاده از این انرژی در این منطقه وجود دارد.

جهت بررسی نحوه عملکرد و پارامترهای موثر بر روی راندمان آب شیرین کن های خورشیدی، از دو روش تحلیل تجربی و شبیه سازی عددی

۱- مقدمه

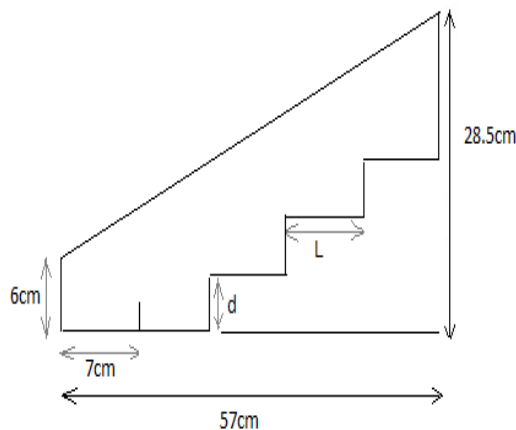
در دهه ی اخیر به ویژه در سال های پایانی قرن بیستم آب به عنوان موضوعی مهم در کانون مباحث و مذاکرات بین المللی قرار گرفته است و تقریباً هیچ نشست بین المللی را در مورد آینده اداره جهان نمی توان سراغ گرفت که در آن آب و مدیریت آن به صورت یکی از اصلی ترین عوامل و عناصر در دستور کار قرار نداشته باشد. پدیده های ناشی از نحوه بهره برداری و مدیریت منابع آب به بالاترین رده های تصمیم گیری در سطوح ملی، منطقه ای و بین المللی رسیده است. بنابراین با توجه به اینکه بخش وسیعی از آب های این کره ی خاکی آب شور می باشد، باید به دنبال تکنیک و تکنولوژی مناسب جهت شیرین کردن آب بود. روش های گوناگون شیرین کردن آب بر دو پایه ی دما و غشاء مانند روشهای تقطیر، اسمز معکوس، روش الکترو دیالیز و غیره می باشند. یک روش تقطیر مناسب بایستی دارای ویژگی هایی نظیر مصرف انرژی پایین، کیفیت و راندمان بالا، سهولت

تعداد و ارتفاع پله بر روی ساختار جریان درون آبشیرین کن تاثیر خواهد گذاشت و به نظر می‌رسد مقداری بهینه برای تعداد پله وجود خواهد داشت و با بررسی مطالعات گذشته روشن است که تا به امروز پژوهش‌های انجام گرفته بر روی آبشیرین کن پلکانی با روش حل عددی به منظور بررسی تاثیر تعداد و ابعاد پله در آبشیرین کن خورشیدی صورت نگرفته است. از این رو در این تحقیق تلاش شده است تا با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی به حل عددی جریان سیال درون یک آبشیرین کن خورشیدی پلکانی پرداخته شود.

۲- بیان مسئله

۲-۱- شرح فیزیک مسئله

هندسه محفظه مورد نظر در شکل ۱ نشان داده شده است. مدل مطرح شده در این تحقیق یک آبشیرین کن پلکانی است که طول و ارتفاع کل آن به ترتیب ۵۷ و ۲۸٫۵ متر می‌باشند. آبشیرین کن مورد نظر از تعدادی پله به طول L و ارتفاع d و یک پوشش شیشه ای تشکیل شده که بطور کامل نسبت به محیط بیرون آب بندی شده است. دمای بالا و پایین به صورت ثابت T_w و T_g فرض می‌شوند. جهت بررسی تاثیر تعداد پله‌ها بر روی کارایی آبشیرین کن، ۲۴ حالت مختلف در نظر گرفته شده است. جدول ۱ مشخصات مربوط به این حالت‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱: شماتیک آبشیرین کن خورشیدی پله ای

جدول ۱: ابعاد دقیق آبشیرین کن مورد مطالعه

| ردیف | تعداد پله (n) | L (cm) | d (cm) | ردیف | تعداد پله (n) | L (cm) | d (cm) |
|------|---------------|--------|--------|------|---------------|--------|--------|
| ۱ | ۴ | ۱۲/۵ | ۲ | ۱۳ | ۶ | ۸/۳۳ | ۳/۵ |
| ۲ | ۴ | ۱۲/۵ | ۳ | ۱۴ | ۶ | ۸/۳۳ | ۴ |
| ۳ | ۴ | ۱۲/۵ | ۴ | ۱۵ | ۷ | ۷/۱۴ | ۲ |
| ۴ | ۴ | ۱۲/۵ | ۵ | ۱۶ | ۷ | ۷/۱۴ | ۲/۵ |
| ۵ | ۵ | ۱۰ | ۲ | ۱۷ | ۷ | ۷/۱۴ | ۳ |
| ۶ | ۵ | ۱۰ | ۳ | ۱۸ | ۷ | ۷/۱۴ | ۳/۵ |
| ۷ | ۵ | ۱۰ | ۳/۵ | ۱۹ | ۸ | ۶/۲۵ | ۲ |
| ۸ | ۵ | ۱۰ | ۴ | ۲۰ | ۸ | ۶/۲۵ | ۲/۵ |
| ۹ | ۵ | ۱۰ | ۴/۵ | ۲۱ | ۸ | ۶/۲۵ | ۳ |
| ۱۰ | ۶ | ۸/۳۳ | ۲ | ۲۲ | ۹ | ۵/۵۵ | ۲ |
| ۱۱ | ۶ | ۸/۳۳ | ۲/۵ | ۲۳ | ۱۰ | ۵ | ۲ |
| ۱۲ | ۶ | ۸/۳۳ | ۳ | ۲۴ | ۱۲ | ۴/۱۶ | ۲ |

که خود به دو روش تحلیل نظری و دینامیک سیالات محاسباتی^۱ دسته بندی می شوند، استفاده می‌گردد. مزیت بسیار مهمی که روش دینامیک سیالات محاسباتی را نسبت به روش های دیگر متمایز کرده و دارای اهمیت بسیاری در تحلیل عملکرد دستگاه‌ها می‌باشد، این است که در این روش به سادگی می توان نحوه حرکت جریان، وضعیت سرعت‌ها و فشار سیال را داخل دستگاه مشاهده نمود. همچنین می‌توان عوامل مخرب یا مفید در عملکرد دستگاه را شناسایی و برای رفع این مشکلات یا بهبود محاسن مدل تلاش نمود. از طرف دیگر روش تحلیل عددی نسبت به روش تحلیل تجربی به دلیل تغییر ساده‌ی پارامترهایی نظیر ابعاد هندسه، شرایط مرزی، ضخامت شیشه و مکان تحلیل به صرفه‌تر بوده و می‌تواند در تحقیق عملکرد سیستم های انرژی با تغییر جزءهای مختلف بسیار به ما کمک کند [۱].

در آبشیرین کن‌های پلکانی به علت فاصله کم شیشه و پلکان، فضای خالی سریع تر اشباع می‌شود و لذا راندمان آن‌ها برای تولید آب شیرین نسبت به سایر آبشیرین کن‌ها بالاتر است. از دیگر مزایای این نوع آبشیرین کن آن است که زاویه آن نسبت به نور خورشید قابل تنظیم است و می‌توان آن را در هر عرض جغرافیایی طوری تنظیم کرد که نسبت به نور خورشید بیشترین دریافت را داشته باشد. از جمله تحقیقاتی که بر روی آبشیرین کن های خورشیدی انجام شده است می توان به تحقیقاتی نظیر موارد زیر اشاره داشت. ولمورگان و همکاران [۲] به بررسی آبشیرین کن پلکانی پرداخته و برای عملکرد بهتر از ۵۰ سینی با ارتفاع مختلف استفاده کردند. آنان برای بالا بردن بهره‌وری، اسفنج، تیغه و سنگریزه در حوضچه بکار برده و به راندمان بسیار بالاتری نسبت به حالت اولیه رسیدند. تبریزی و همکاران [۳،۴] مدلی از آبشیرین کن پلکانی مجتمع شده با سیستم ذخیره‌سازی انرژی گرمایی مانند پارافین در زیر صفحه جاذب را بررسی کرده تا در زمانی که نور خورشید وجود ندارد، دمای دستگاه برای تولید آب مقطر به اندازه کافی بالا باشد. همچنین تبریزی و همکارانش [۵،۶] نرخ جریان آب بر عملکرد و بهره‌وری آبشیرین کن پلکانی در یک روز خاص مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که افزایش نرخ جریان باعث کاهش بهره‌وری روزانه می‌شود. رادھووان [۷] کارایی یک آبشیرین کن پلکانی را که با یک منبع ذخیره انرژی حرارتی ترکیب شده بود، مورد مطالعه قرار داده است.

از جمله مطالعاتی که به روش حل عددی انجام گرفته می‌توان به تحقیق آقای چوئیخ و همکاران [۸] اشاره نمود. آنان به بررسی آنالیز عددی برای جریان جابجایی منتج شده از اثرات ترکیبی بویانسی پخش جرم و حرارت در محفظه شیبدار پرداختند. احمد و همکاران [۹] یک مدل ریاضی را برای یک آبشیرین کن خورشیدی با تقطیر چندمرحله‌ای جهت افزایش و بهبود بهره‌وری آبشیرین کن خورشیدی ساده، پیشنهاد دادند. آنان همچنین از نرم‌افزار فلونتت برای شبیه‌سازی فرآیندهای انتقال حرارت و از نرم‌افزار نسترن برای تجزیه و تحلیل جریان سیال درون آبشیرین کن استفاده کردند. شوخو و همکاران [۱۰] به بررسی و آنالیز عددی یک آبشیرین کن تحت پره‌دار و به کمک نرم‌افزار فلونتت پرداختند، همچنین توزیع انتقال حرارت میانگین و محلی، توزیع سرعت و دما از دیگر بررسی آن‌ها بوده است. نتایج برای محاسبه ضریب کالبرن و ضریب اصطکاک نشان می‌دهد با افزایش عدد رینولدز این مقادیر افزایش می‌یابد. رهبر و ابوالفضلی [۱۱] به حل عددی یک آبشیرین کن ساده تک‌شیبه پرداختند. آنان در این تحقیق یک مدل برای بدست آوردن تقریبی میزان تولید آبشیرین کن ارائه داده‌اند.

۲-۲- روابط حاکم

انتقال جرم و حرارت در آبشیرین کن های خورشیدی، ناشی از جابجایی طبیعی داخل محفظه به علت نیروی شناوری ناشی از اختلاف دما و غلظت بخار ایجاد شده در سیال می باشد.

در این پژوهش معادلات بقاء با استفاده از روابط فشار و سرعت نوشته شده و هوای مرطوب بصورت گاز ایده آل تراکم ناپذیر فرض شده است. برای جریان طبیعی ناپایدار، آرام و دو بعدی، معادلات بقای جرم، ممنتوم، بقای انرژی و نفوذ جرم در مختصات دکارتی به صورت زیر نوشته می شوند [۱۱]:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (۱)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (۲)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{\rho}{\rho_0} g_y \quad (۳)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (۴)$$

$$u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} = D_{AB} \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) \quad (۵)$$

در این مدل سازی شرایط هوا به صورت کاملا اشباع فرض گردیده است. به منظور محاسبه ی نرخ تولید آب شیرین با فرض مساوی بودن نرخ تبخیر از روی سطح آب با نرخ تقطیر آب روی پوشش سرد از معادله ی (۶) و نیز برای محاسبه عدد ناسلت از معادله (۷) استفاده شده است [۱۲].

$$m'' = -\rho D_{AB} \frac{\partial C}{\partial y} \quad (۶)$$

$$Nu = \frac{h_e l}{k} \quad (۷)$$

۳- حل عددی

روند حل

در این تحقیق حل معادلات ذکر شده با شبیه سازی عددی و با استفاده از نرم افزار فلونت ورژن ۱۴ بر روی یک آبشیرین کن پلکانی با ابعاد داده شده در شکل ۱ صورت می گیرد. از الگوریتم سیمپل برای محاسبه ی ارتباط بین فشار و سرعت و نیز برای انفصال ترم های جابجایی و درونیایی فشار از طرح های بالادست^۱ و PRESTO استفاده شده است.

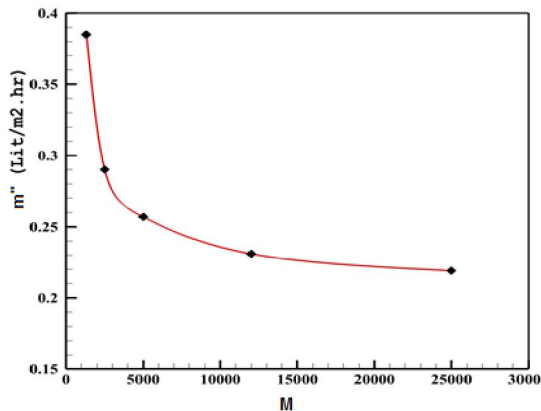
مشخصات هوای مرطوب از جمله ظرفیت گرمایی، ویسکوزیته و قابلیت هدایت گرمایی بر اساس مقادیر داده شده در جدول ۲ مدل شده اند.

جدول ۲: شرایط هوای مرطوب وابسته به درجه حرارت [۱۱]

| متغیر | معادله حاکم |
|--------------|---|
| ظرفیت حرارتی | $C_p = 999.2 + 0.1434 \times T_1 + 1.101 \times 10^{-4} \times T_1^2 - 6.758 \times 10^{-8} \times T_1^3$ |
| دانسیته | $\rho = 353.44 / (T_1 + 273.15)$ |
| رسانایی | $K = 0.0244 + 0.7673 \times 10^{-4} \times T_1$ |
| لزجت | $\mu = 1.718 \times 10^{-5} + 4.62 \times 10^{-8} \times T_1$ |
| دمای متوسط | $T_1 = (T_g + T_w) / 2$ |

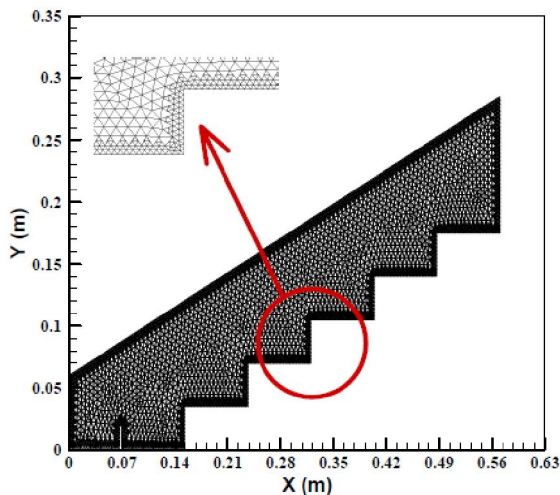
1. First Order Upwind

به منظور بررسی استقلال جوابها از شبکه و از بین بردن خطای ناشی از درشتی شبکه، حل عددی برای چند شبکه با تعداد سلول های مختلف ۱۳۰۰، ۲۵۰۰، ۵۰۰۰، ۱۲۰۰۰، ۲۵۰۰۰ انجام شده است. شکل ۲ بررسی استقلال جوابها از شبکه را برای آبشیرین کن پلکانی نشان می دهد. با توجه به شکل، شبکه ای با تعداد المان ۱۲۰۰۰ که درصد خطای نتایج آن با شبکه ای به تعداد المان ۲۵۰۰۰ کمتر از ۱۰ درصد می باشد و به منظور انجام پروسه حل انتخاب شده است. همچنین جهت بالا بردن دقت جوابها، شبکه مورد نظر در نزدیکی دیواره ها ریز شده است. شکل ۳ شبکه مورد استفاده در این تحقیق را نشان می دهد.



شکل ۲: بررسی استقلال از شبکه برای آبشیرین کن خورشیدی پلکانی

(M = تعداد المان)

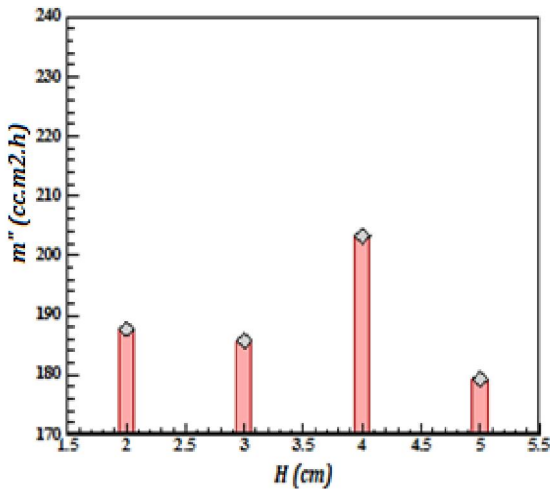


شکل ۳: شبکه مورد استفاده در مدل سازی عددی

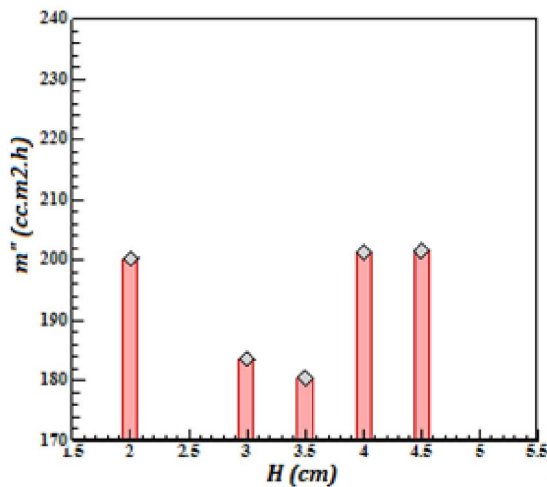
۱- تحلیل نتایج

اعتبار سنجی نتایج حل عددی به منظور اعتبارسنجی روند حل، یک آبشیرین کن ساده (شکل ۴) شبیه سازی و نتایج حاصل از این شبیه سازی با نتایج آبشیرین کن ساده ابوالفضلی و رهبر [۱۳]، مقایسه شده است (جدول ۳). مقایسه نتایج نشان می دهد که حداکثر خطا ۸٫۴ درصد بوده و تطابق خوبی بین آن ها وجود دارد.

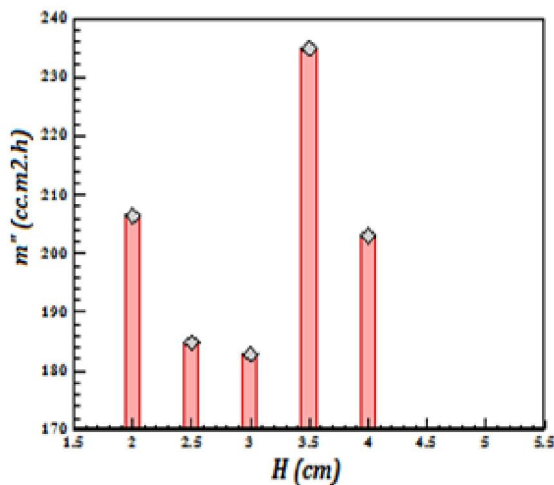
در این پژوهش به شبیه سازی عددی یک آبشیرین کن خورشیدی پلکانی پرداخته شده است. از آنجاکه هدف از انجام پژوهش هایی از این دست،



شکل ۵: بررسی تاثیر ارتفاع پله بر روی میزان تولید در حالت ۴ پله‌ای

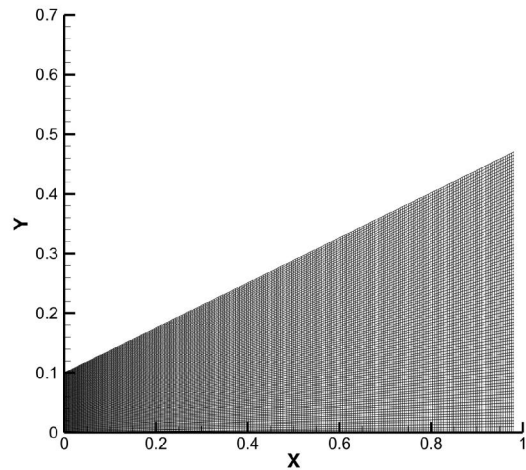


شکل ۶: بررسی تاثیر ارتفاع پله بر روی میزان تولید در حالت ۵ پله‌ای



شکل ۷: بررسی تاثیر ارتفاع پله بر روی میزان تولید در حالت ۶ پله‌ای

بهینه‌سازی در جهت افزایش میزان تولید می‌باشد، در این پژوهش تاثیر پارامتر تعداد پله به همراه تغییرات ارتفاع پله روی میزان تولید دستگاه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در ادامه ساختار جریان آبشیرین کن در حالت‌های مختلف بررسی شده است.

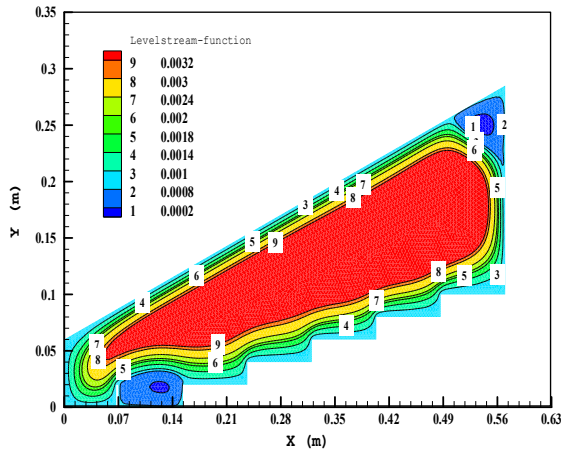


شکل ۴: شبکه مورد استفاده در مدل سازی عددی آبشیرین کن ساده

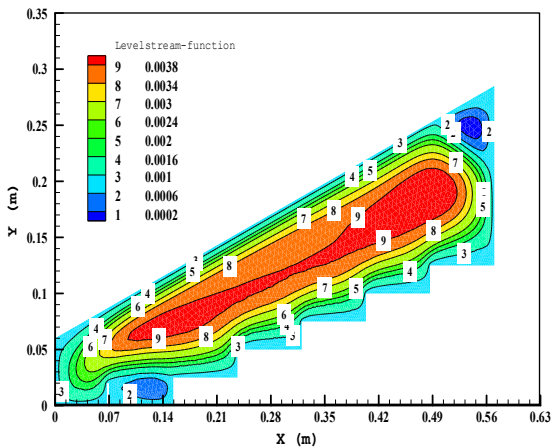
جدول ۳: مقایسه نتایج بین تحقیق حاضر با مقاله [۱۳]

| ردیف | Tw | Tg | Nu کار محقق | Nu کار حاضر | خطا |
|------|----|----|-------------|-------------|-----|
| ۱ | ۴۰ | ۳۰ | ۱۵/۲۹ | ۱۶/۳۰ | ۶.۶ |
| ۲ | ۵۰ | ۴۰ | ۱۵/۴۶ | ۱۵/۹۳ | ۳ |
| ۳ | ۶۰ | ۵۰ | ۱۵/۶۸ | ۱۷ | ۸.۴ |
| ۴ | ۷۰ | ۶۰ | ۱۵/۵۳ | ۱۵/۷۶ | ۱.۵ |

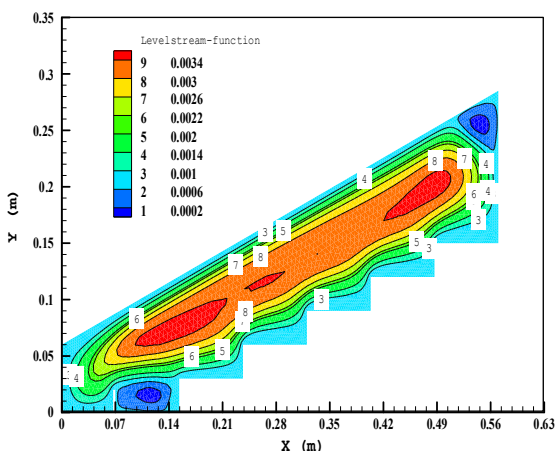
ارتفاع پله نیز بر روی ساختار جریان درون آبشیرین کن تاثیر خواهد گذاشت و به نظر می‌رسد مقداری بهینه‌ای برای ارتفاع پله وجود خواهد داشت. شکل ۵ الی ۹ تاثیر ارتفاع پله بر میزان تولید آبشیرین کن‌های ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ پله‌ای را نشان می‌دهد. دمای آب و شیشه، دمای ساعت ۱۴ در آزمایش در نظر گرفته شده است. این دما به این دلیل انتخاب شده است که در این ساعت از روز حالت اشباع بالا و خطا کمتر می‌باشد. همانطور که ملاحظه می‌شود در حالت شش پله‌ای با ارتفاع ۳/۵ سانتی‌متر بیشترین و در حالت پنج پله‌ای با ارتفاع ۳/۵ سانتی‌متر کمترین میزان تولید را داشته است که علت این امر علاوه بر منظم‌تر بودن گردابه‌ها، قرارگیری مناسب‌تر آن‌ها در مقایسه با حالت هشت پله‌ای با ارتفاع پله دو سانتی‌متر می‌باشد. با توجه به اینکه افزایش ارتفاع پله‌ها در آبشیرین کن‌هایی با تعداد پله بیشتر باعث کم شدن بیش از حد ارتفاع نهایی شده و این امر مانع گردش جریان در پله آخر می‌شود. به همین دلیل در تعداد پله‌های بالاتر تغییر ارتفاع کمتر شده است.



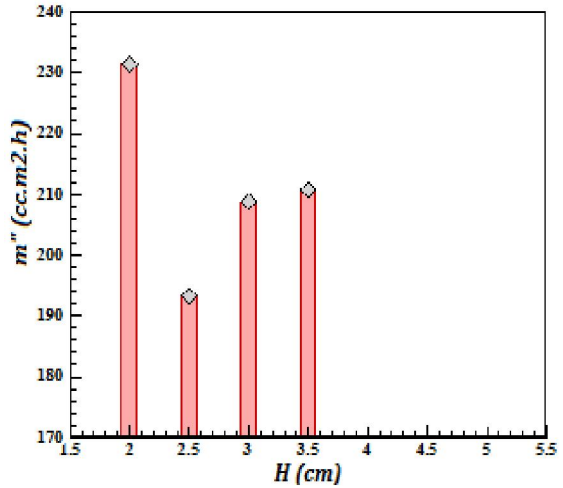
شکل ۱۰: خطوط جریان در آبشیرین کن خورشیدی شش پلکانی با ارتفاع ۱ سانتی-متر



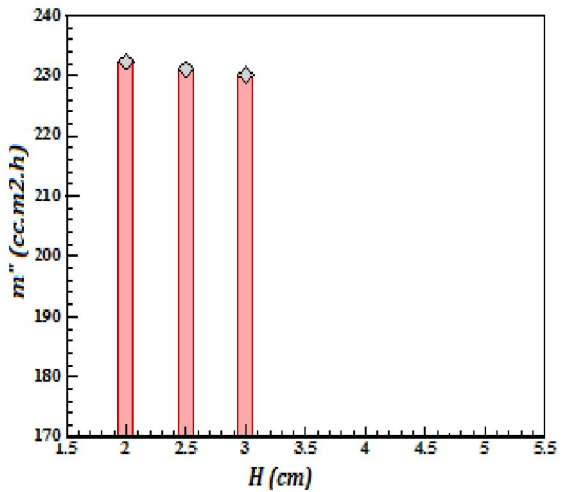
شکل ۱۱: خطوط جریان در آبشیرین کن خورشیدی شش پلکانی با ارتفاع ۱/۵



شکل ۱۲: خطوط جریان در آبشیرین کن خورشیدی شش پلکانی با ارتفاع ۱ سانتی-متر



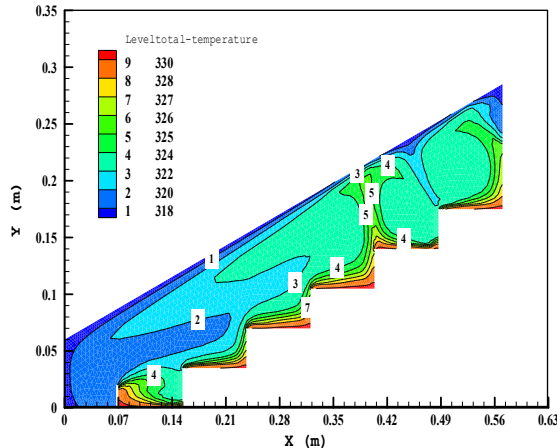
شکل ۸: بررسی تاثیر ارتفاع پله بر روی میزان تولید در حالت ۷ پله‌ای



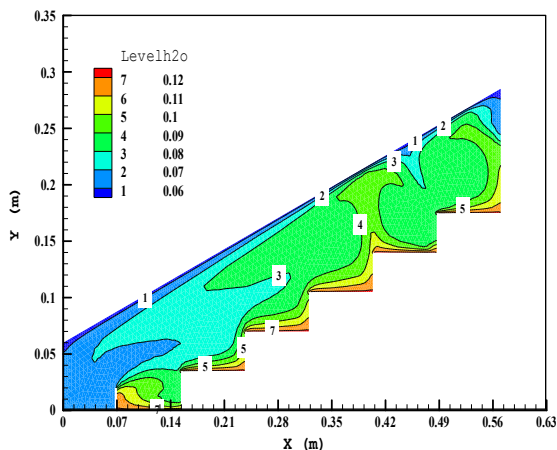
شکل ۹: بررسی تاثیر ارتفاع پله بر روی میزان تولید در حالت ۸ پله‌ای

شکل‌های ۱۰ الی ۱۴ خطوط جریان را در حالت‌های مختلف نشان می‌دهد. همانطور که قبلاً اشاره شد در حالت شش پله‌ای با ارتفاع ۳/۵ سانتی‌متر میزان تولید، بیشترین مقدار خود را داشته است. این امر با توجه به شکل ۱۳ و خطوط جریان، تعداد و نظم گردابه‌ها قابل توجه می‌باشد. هر چه تعداد گردابه‌ها اضافه شود، زمان رسیدن بخار از سطح آب به شیشه کمتر شده و در نتیجه انتظار می‌رود میزان تقطیر و خروجی دستگاه افزایش یابد. همانطور که در شکل ۱۳ مشخص است در حالتی که ارتفاع آن ۳/۵ سانتی‌متر است، تعداد و نظم گردابه‌ها از سایر موارد بیشتر می‌باشد. شایان ذکر است در آبشیرین‌کن‌های با هفت پله با ارتفاع ۲ سانتی‌متر، هشت پله با ارتفاعات ۲، ۲/۵ و ۳ سانتی‌متر و ده پله با ارتفاع ۲ سانتی‌متر نیز میزان تولید افزایش قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد و بطور میانگین برابر ۲۳۱ میلی‌لیتر بر مترمربع در ساعت می‌باشد.

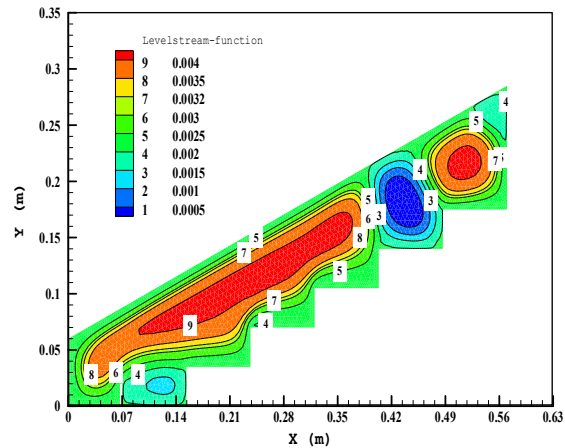
- با تغییر ارتفاع و آنالیز ارتفاع های مختلف نتایج نشان می‌دهد که تعداد پله شش و ارتفاع سهونیم سانتی‌متری بیشترین میزان تولید را خواهد داشت.
- افزایش تعداد پله و نیز افزایش ارتفاع آنها باعث افزایش انتقال



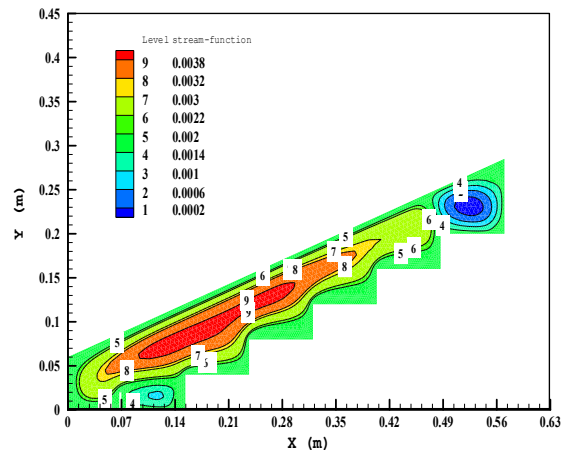
شکل ۱۵: تغییرات دمای سلون برحسب کلون در آبشیرین کن خورشیدی شش



شکل ۱۶: تغییرات غلظت در آبشیرین کن خورشیدی شش پلدانی با ارتفاع ۱/۵ سانتی‌متر



شکل ۱۷: خطوط جریان در آبشیرین کن خورشیدی شش پلکانی با ارتفاع ۳/۵



شکل ۱۸: خطوط جریان در آبشیرین کن خورشیدی شش پلدانی با ارتفاع ۱ سانی-متر

شکل‌های ۱۴ و ۱۵ تغییرات دما و غلظت در آبشیرین کن در حالت خاص شش پله‌ای در حالت خاص با ارتفاع ۳/۵ سانتی‌متر را نشان می‌دهند. همانطور که مشاهده می‌شود در مرکز گردابه‌ها تغییر در مقدار دما و غلظت هوای مرطوب ناچیز بوده اما در اثر پدیده تقطیر و تبخیر، تغییرات سریعی در دما و غلظت بخار آب در نزدیکی سطح آب و پوشش شیشه‌ای ملاحظه می‌شود.

۲- نتیجه گیری

در این مقاله با در نظر گرفتن شرایط هوای مرطوب، حالت پایدار و آرام، انتقال جرم و جابجایی طبیعی داخل یک آبشیرین کن پلکانی در حالت دو بعدی شبیه‌سازی عددی شده است. همچنین تاثیر تعداد پله و ابعاد آن بر روی راندمان آبشیرین کن مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج حاصل به شرح زیر می‌باشند:

- شبیه‌سازی عددی به روش دینامیک سیالات محاسباتی می‌تواند با دقت مناسب میزان خروجی دستگاه را پیش بینی کند.
- افزایش تعداد پله با ارتفاع ثابت تا تعداد پله‌های هفت و هشت باعث افزایش میزان تولید خواهد شد.

۳- فهرست علائم

| | |
|----------|--|
| C | تمرکز جزءها ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) |
| D_{AB} | ضریب پخش دوتایی ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) |
| g | شتاب جاذبه ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$) |
| h | ضریب انتقال حرارت جابجایی بین سطح آب و شیشه ($\text{w}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{k}^{-1}$) |
| H | ارتفاع پله (cm) |
| k | ضریب هدایت حرارتی ($\text{w}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{k}^{-1}$) |
| l | ارتفاع متوسط (m) |
| m'' | مقدار آب شیرین ($\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) |
| Nu | عدد ناسلت |
| p | فشار ($\text{kgm}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$) |

| | |
|---------------------|---|
| q | نرخ انتقال گرما (w) |
| T | دما (K) |
| u | مولفه ی سرعت سیال در راستای افق (ms^{-1}) |
| v | مولفه ی سرعت سیال در راستای عمود (ms^{-1}) |
| علائم یونانی | |
| ρ | چگالی (kgm^{-3}) |
| μ | لزجت دینامیکی ($\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$) |
| α | ضریب نفوذ حرارت (m^2s^{-1}) |
| ν | گرانروی سینماتیکی (m^2s^{-1}) |
| زیرنویس‌ها | |
| g | پوشش شیشه‌ای |
| i | خاصیت متوسط |
| w | آب شور |

۴- مراجع

- [1] M. Rahman, H.F. Öztop, A. Ahsan, M. Kalam, and Y. Varol, "Double-diffusive natural convection in a triangular solar collector," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 39, pp. 264-269, 2012.
- [2] V. Velmurugan, K. Naveen Kumar, T. Noorul Haq, and K. Srithar, "Performance analysis in stepped solar still for effluent desalination," *Energy*, vol. 34, pp. 1179-1186, 2009.
- [3] M. Dashtban and F.F. Tabrizi, "Thermal analysis of a weir-type cascade solar still integrated with PCM storage," *Desalination*, vol. 279, pp. 415-422, 2011.
- [4] F.F. Tabrizi, M. Dashtban, and H. Moghaddam, "Experimental investigation of a weir-type cascade solar still with built-in latent heat thermal energy storage system," *Desalination*, vol. 260, pp. 248-253, 2010.
- [5] F. Farshchi Tabrizi, M. Dashtban, H. Moghaddam, and K. Razzaghi, "Effect of water flow rate on internal heat and mass transfer and daily productivity of a weir-type cascade solar still," *Desalination*, vol. 260, pp. 239-247, 2010.
- [6] F.B. Ziabari, A.Z. Sharak, H. Moghadam, and F.F. Tabrizi, "Theoretical and experimental study of cascade solar stills," *Solar Energy*, vol. 90, pp. 205-211, 2013.
- [7] A.M. Radhwan, Transient performance of stepped solar still with built-in latent heat thermal energy storage, *Desalination* 171 (2004) 61-76.
- [8] R.Chouikh, L.Ben Snoussi, A.Guizani, Numerical study of the heat and mass transfer in inclined glazing cavity: Application to a solar distillation cell, *Renewable Energy* 32 (2007) 1511-1524
- [9] M.I. Ahmed, M. Hrairi, and A. F. Ismail, "On the characteristics of multistage evacuated solar distillation," *Renewable Energy*, vol. 34, pp. 1471-1478, 2009.
- [10] S. Xu, X. Ling, and H. Peng, "Simulation of Heating Cell in a New Integrated Solar Plate-fin Desalination Unit by Fluent," 2011.
- [11] N. Rahbar and J. Esfahani, "Productivity estimation of a single-slope solar still: Theoretical and numerical analysis," *Energy*, vol. 49, pp. 289-297, 2013.
- [12] Cengel YA. Heat and mass transfer: a practical approach. 3rd ed. New York: Mc Graw Hill; 2006.
- [13] N. Rahbar, J. A.Esfahani, Estimation of convective heat transfer coefficient in a single-slope solar still: a numerical study, *Desalination and Water Treatment* 2012,50(1-3):387-96