# طراحی آب شیرین کن خورشیدی پلکانی با راندمان بالا

**عاطفه رجب زاده [*۱]، محمد مقیمان [۲]**

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد،گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد
Aty.rajabzade1395@gmail.com
۲- استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد
m.moghiman@um.ac.ir

**خلاصه**

تقطیر خورشیدی و روش‌های آن به عنوان یک تکنولوژی خورشیدی دارای قدمت طولانی می‌باشد، که در روش آب شیرین‌کن پلکانی به علت فاصله کم شیشه و پلکان، فضای خالی سریع‌تر اشباع شده و راندمان آن‌ها برای تولید آب شیرین نسبت به سایر روش‌ها بالاتر است. همچنین زاویه آن نسبت به نور خورشید قابل تنظیم است. هدف از انجام تحقیق کاربردی حاضر طراحی آب شیرین کن خورشیدی پلکانی با راندمان بالا مبتنی بر پارامترهای مربوطه بود. با توجه به مطالعات انجام شده و محاسبات منتج از طراحی، نتایج نشان داد که؛ ارتفاع پله بر روی ساختار آب شیرین کن تاثیر خواهد داشت. دمای آب و شیشه دمای ساعت ۱۴ در نظر گرفته می‌شود، زیرا در این ساعت از روز حالت اشباع بالا و خطا کمتر است. همچنین در حالت ۶ پله‌ای با ارتفاع ۳,۵ سانتی متری بیشترین میزان تولید آب شیرین نسبت به حالت ۸ پله‌ای با ارتفاع ۲ سانتی‌متر بدست آمد. همچنین کمترین میزان تولید در حالت ۵ پله‌ای با ارتفاع ۳,۵ سانتی‌متری بود.

**کلمات کلیدی:** آب شیرین کن، پلکانی، شبیه سازی، تولید آب شیرین،زاویه آب شیرین کن.

## ۱. مقدمه

مناطقی که با کمبود آب شیرین روبرو هستند را می توان به دو دسته تقسیم نمود .در دستهٔ اول منابع آب چه آب شیرین و چه آب شور به ندرت یافت شده و به عبارت دیگر با بحران کم آبی رو برو هستند. اما در دستهٔ دوم هرچند منابع آب شیرین بسیار کم است، ولی در مقابل منابع آب شور به اندازهٔ کافی برای شیرین سازی و تامین آب سالم وجود دارد. بیشتر مناطق ساحلی، خشک هستند ولی منابع آب شور زیادی در دسترس دارند، که تغییرات فصلی در کاهش یا افزایش آب‌ها در این مناطق تاثیر به سزایی دارد [۱]. تا سال ۲۰۲۵ حدود ۵۰ کشور به مجموعهٔ کشورهایی که در حال حاضر با بحران کم آبی مواجه هستند اضافه می‌شوند. در این میان کشورهای زیادی که دارای نواحی ساحلی طولانی هستند به چشم می‌خورد. کشورهایی مانند کویت، قطر، بحرین، عربستان و امارات کشورهایی هستند که در معرض این مشکل می-باشند. با توجه به نفت خیز بودن این کشورها و درآمد حاصل از فروش نفت حدود ۹۵ درصد آب شیرین مصرفی این

* **Corresponding author:** توضیحات مربوط به نویسنده اوّل
**Email:**

کشورها توسط تقطیر آب دریاها با استفاده از انرژی سوخت‌های فسیلی تامین می‌شود. اما با توجه به افزایش قیمت نفت و همچنین آلودگی حاصل از مصرف سوخت‌های فسیلی جهت تامین انرژی مورد نیازآب شیرین، بسیاری از این کشورها توجه زیادی به تقطیر خورشیدی به عنوان گزینه‌ای امید بخش و سازگار با محیط‌زیست کرده‌اند و همچنین با این روش میزان تولید آب تازه مورد نیاز خود را افزایش داده‌اند. این کشورها با استفاده از انرژی خورشیدی به دلیل ارزان بودن این تکنولوژی و ساده بودن آن مقداری از آب تمیز مورد نیاز خود را در مقیاس کم یا متوسط تولید می‌کنند. با این حال تقطیر خورشیدی حداکثر ۱۵ درصد راندمان سوخت‌های فسیلی را دارد، اما استفاده از آن می‌تواند تا حدودی کمبود آب را جبران کند [۲].

از جمله مزایای روش تقطیر خورشیدی مصرف انرژی پایین،کیفیت و راندمان بالا، استفاده آسان، قیمت پایین و پاک-بودن انرژی می‌باشد. باتوجه به موقعیت قرارگیری ایران برروی کمربند خورشیدی جهان، می‌توان آن را یکی از مستعدترین نقاط استفاده از انرژی خورشیدی دانست [۳]. یکی از روش‌های مطرح در تقطیر خورشیدی، استفاده از آب شیرین‌کن‌های پلکانی است. در آب‌شیرین‌کن‌های پلکانی به علت فاصله کم شیشه و پلکان، فضای خالی سریع‌تر اشباع شده و راندمان نسبت به دیگر آب شیرین کن ها بیشتر خواهد بود. از دیگر مزایای این نوع آب شیرین کن این است که زاویه آن نسبت به نور خورشید برای هر عرض جغرافیایی قابل تنظیم است. اساس کار آب شیرین کن پلکانی به این صورت است که ابتدا تشعشع خورشید جذب کف ظرف حاوی آب شور شده و آب شروع به گرم شدن می کند حرارت باعث تبخیر آب شده و بخار آب به سمت بالا حرکت می کند [٤]. بدین ترتیب جریان سیال داخل آب شیرین کن برقرار می شود و بخار آب بالا رفته به شیشه سرد برخورد می‌کند و تقطیر می‌شود. همچنین جهت بررسی نحوه عملکرد و پارامترهای موثر بر روی راندمان آب شیرین کن های خورشیدی پلکانی، از دو روش تحلیل تجربی و شبیه‌سازی عددی استفاده می‌شود که در تحقیق حاضر پس از بررسی و طراحی آب‌شیرین‌کن خورشیدی پلکانی به بررسی پارامترهای مرتبط با آن نیز پرداخته شد.

## ۲. اهداف تحقیق

۱- بررسی انواع آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی
۲- مطالعه و شناخت آب شیرین کن‌های خورشیدی پلکانی
۳- طراحی آب شیرین کن خورشیدی پلکانی با راندمان بالا

## ۳. روش‌شناسی تحقیق

تحقیق حاضر به لحاظ هدف کاربردی بوده و روش انجام آن به صورت توصیفی - آزمایشگاهی بود. همچنین روش گردآوری اطلاعات به صورت کتابخانه‌ای بود که با مراجعه به منابع سخت (کتب و مقالات چاپی) و نرم (کتب و مقالات دیجتالی دریافت شده از سایت‌های گوگل اسکولار، IEEE، ساینس دایرکت، ایران داک و ...) به جمع‌آوری اطلاعات پرداخته شد. در بخش آزمایشگاهی نیز پس از طراحی آب‌شیرین‌کن خورشیدی پلکانی به گردآوری اطلاعات حاصل از میزان تولید بر اسا پارامترهای مرتبط به جمع‌آوری اطلاعات پرداخته شد.

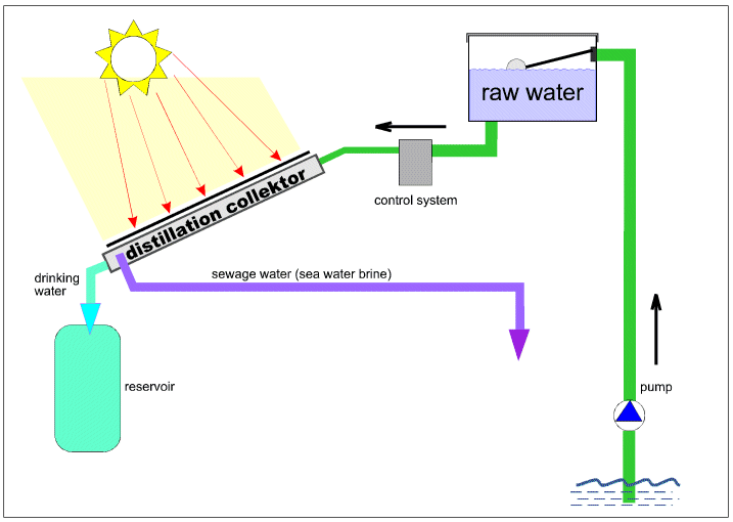
## ۴. تعاریف و مفاهیم

تقطیر خورشیدی به عنوان یک تکنولوژی خورشیدی دارای قدمت طولانی می‌باشد و استفاده از آن به ۲۰۰۰ سال پیش‌باز می‌گردد [۵]. موضوع تقطیر خورشیدی بسیار وسیع است و مقالات زیادی درباره اصول طراحی، مدل‌سازی

ریاضی، مشخصات اجرا و اقتصادی بودن دستگاه‌های تقطیر نوشته شده است و در مقدمه اشاره مختصری به آن شد و اکنون شایسته است مکانیزم آن مورد بحث قرار گیرد.

### ۴-۱ مکانیسم تقطیر خورشیدی

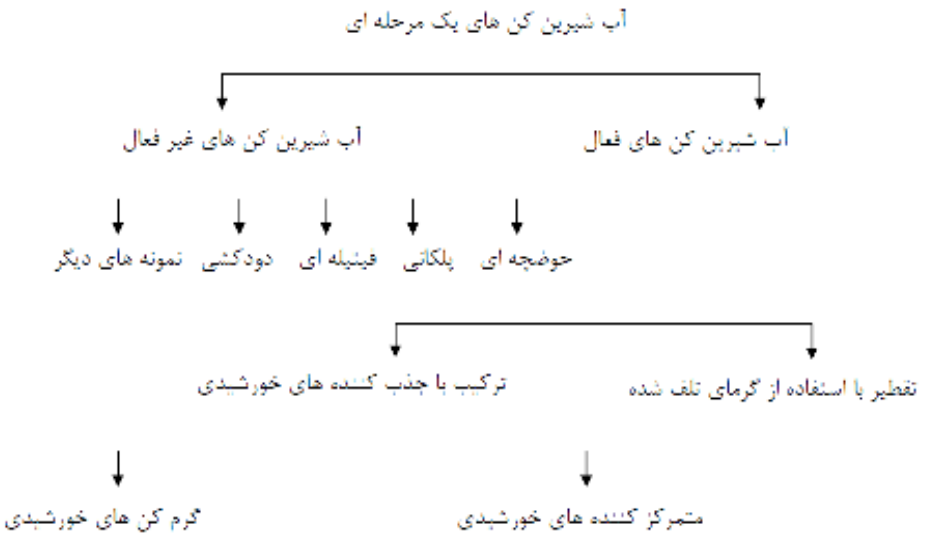
در سیستم‌های تقطیرخورشیدی آب شور را به ظرف کم‌عمقی که کاملا آب‌بندی شده و با هوای خارج ارتباطی ندارد، وارد می‌کنند. پوشش شفافی مانند شیشه و یا پلاستیک، سطح فوقانی ظروف مربوطه را می‌پوشاند. انرژی خورشید با طول موج‌های مختلف از شیشه گذشته و نور خورشید با آب داخل ظرف و سطح جاذب برخورد نموده و آب گرم می‌شود. پوشش شفاف مانع خروج اشعه های خورشید از محفظه شده و بعلاوه باعث می‌شود که افت گرمایی از طریق جابجایی به مقدار زیادی کاهش یابد. به این ترتیب انرژی گرمای خورشید در دستگاه آب شیرین‌کن محصور شده و موجب افزایش دمای آب و تولید بخار آب در محفظه می‌گردد [٦]. به تدریج که رطوبت نسبی در محفظه افزایش می‌یابد، بخار آب در اثر دفع گرما از شیشه، روی سطح داخلی شیشه تقطیر شده و آب شیرین حاصله به طرف محل جمع آوری در انتهای پوشش حرکت می‌کند و به این ترتیب با استفاده از انرژی خورشید و عمل تقطیر، آب شیرین تهیه می‌شود. آب نمک غلیظ شده نیز به طور مداوم یا متناوب از دستگاه خارج می‌شود. شکل (۱) نمونه کلی این گونه آب شیرین کن‌ها را نشان می‌دهد. مهمترین عامل مؤثر در آب شیرین‌کن‌های خورشیدی شدت نور خورشید می‌باشد زیرا میزان تولید آب شیرین با شدت تابش خورشید نسبت مستقیم دارد. بعلاوه عواملی چون دمای محیط، سرعت باد و دمای آب شور در مقدار بازدهی دستگاه مؤثر می‌باشند [٧].




**شکل ۱– مکانیسم تقطیر خورشیدی**

### ۴-۲ معرفی انواع آب شیرین‌کن‌های خورشیدی

آب شیرین‌کن‌های خورشیدی دارای انواع گوناگونی می‌باشند که می‌توان به انواع یک مرحله‌ای و چندمرحله‌ای اشاره نمود. عنوان یک مرحله‌ای به این معنا می‌باشد که آب شیرین در یک مرحله تهیه و تولید شده است. همانگونه که در شکل زیر نشان داده شده، آب شیرین‌کن‌های یک مرحله‌ای به دو گونهٔ فعال و غیرفعال دسته بندی شده‌اند [٨] .




**شکل ۲ – آب‌شیرین‌کن‌های یک مرحله‌ای و چند مرحله‌ای**

### ۴-۳ آب شیرینکن‌های غیرفعال

آب شیرین‌کن‌های غیرفعال به دو گونه حوضچه‌ای و شیب‌دار گروه‌بندی می‌گردند. یک آب شیرین کن فعال در واقع همان آب شیرین کن غیرفعال است که با تجهیزات بیرونی مثل صفحه جاذب و یا پمپ سیرکولاسیون ترکیب شده است.

۱- آب شیرین کن خورشیدی حوضچه‌ای تک‌مرحله‌ای
۲- آب شیرین‌کن خورشیدی چندمرحله‌ای
۳- آب شیرین‌کن خورشیدی با بازتابنده
۴- آب شیرین‌کن خورشیدی فتیله‌ای
۵- آب شیرینکن خورشیدی اضطراری
۶- آب شیرین‌کن خورشیدی پلکانی
۷- آب شیرینکن خورشیدی دودکشی
۸- آب شیرین‌کن خورشیدی لوله‌ای هممرکز
۹- آب شیرین‌کن‌های خورشیدی فعال
۱۰- آب شیرین‌کن همراه با یک گردآورنده خورشیدی [۹].

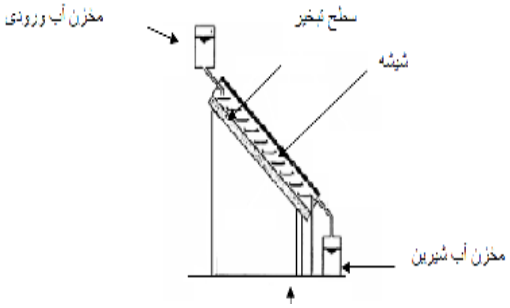
با توجه به حیطهٔ طراحی صورت گرفته در ادامه به بررسی آب شیرین‌کن خورشیدی پلکانی پرداخته شده است.

### ۴-۴ آب شیرین‌کن خورشیدی پلکانی

آب شیرین‌کن های چندحوضچه‌ای و پله‌ای نمونه خوبی از آب شیرین‌کن‌های مایل هستند، در این دستگاه‌ها میزان تولید آب شیرین در طول روز و زمانی که اشعه خورشید به زمین می‌رسد بیشتر است ولی تولید شبانه آنها تقریباً صفر است. درآب شیرین‌کن‌های پلکانی به علت فاصله کم شیشه و پلکان، فضای خالی سریع‌تر اشباع می‌شود و لذا راندمان آنها برای تولید آب شیرین نسبت به سایر آب شیرین‌کن‌ها بالاتر است [۱۱]. از دیگر مزایای این نوع آب شیرین 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. این دستگاه قابلیت تولید آب شیرین و آب گرم را به طور همزمان دارا

می‌باشد. در شکل‌های زیر دو نمونه از این نوع آب شیرین‌کن‌ها به نمایش در آمده‌اند. با این حال پیچیدگی ساختمان این نمونه از آب شیرین‌کن‌ها باعث پیچیدگی مدل‌سازی و گرانی ساخت آن‌ها می‌شود [۱۲].

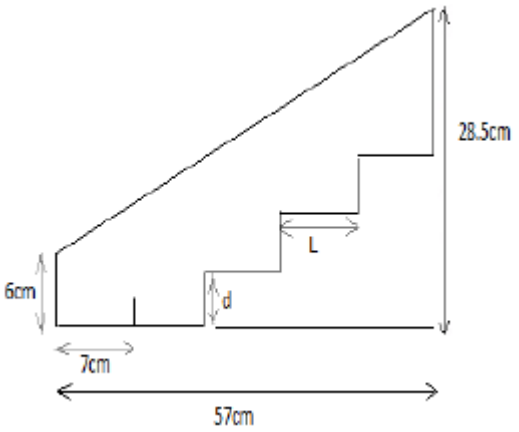
**شکل ۳- آب‌شیرین‌کن خورشیدی پلکانی**




**شکل ۴- ساختار آب‌شیرین‌کن خورشیدی پلکانی**

## ۵- طراحی آب‌شیرین‌کن خورشیدی

شکل زیر نمایی شماتیک از آب شیرین کن پلکانی را نمایش می‌دهد. آب شیرین کن نسبت به محیط بیرون آب-بندی شده است.




**شکل ۵- آب شیرین کن پلکانی طراحی شده**

| 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 |

**جدول ۱- اطلاعات آب شیرین کن پلکانی طراحی شده**

### ۵-۱ روابط حاکم

انتقال جرم و حرارت در آب شیرین کن خورشیدی ناشی از جابجایی طبیعی داخل محفظه به علت نیروی شناوری ناشی از اختلاف دما و غلظت بخار ایجاد شده در سیال می‌باشد. در این پژوهش معادلات بقا با استفاده از روابط فشار و سرعت نوشته شده و هوای مرطوب به صورت گاز ایده ال تراکم ناپذیر فرض شده است. برای جریان طبیعی ناپایدار، آرام و دو بعدی، معادلات بقای جرم،مومنتوم،بقای انرژی و نفوذ جرم در مختصات دکارتی به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}=0$$

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

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

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

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

$$m''=-\rho\, D_{AB}\frac{\partial_C}{\partial_Y}$$

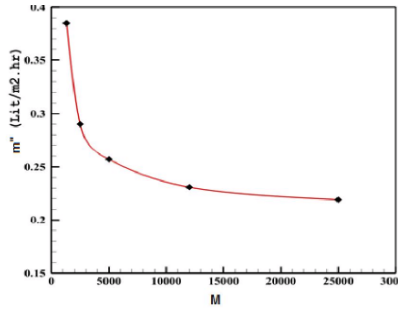
$$Nu=\frac{h_c l}{k}$$

### ۵-۲ حل عددی

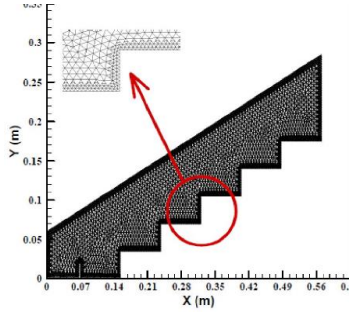
روند حل

در این تحقیق حل معادلات ذکر شده با شبیه سازی عددی و با استفاده از نرم افزار فلوئنت ورژن ۱۴ بر روی آب شیرین کن پلکانی با ابعاد ذکر شده صورت می گیرد. از الگوریتم سیمپل برای محاسبهٔ ارتباط بین فشار و سرعت و نیز برای انفصال ترم های جابجایی و درون یابی فشار از طرح بالادست استفاده شده است.

به منظور بررسی استقلال جواب‌ها از شبکه و از بین بردن خطاهای ناشی از درشتی شبکه، حل عددی برای چند شبکه با تعداد سلول های مختلف ۱۳۰۰،۲۵۰۰،۵۰۰۰،۱۲۰۰۰،۲۵۰۰۰ انجام شده است. نمودار (۱) استقلال جواب‌ها از شبکه را برای آب شیرین کن پلکانی نشان می دهد. با توجه به شکل شبکه ای با تعداد المان ۱۲۰۰۰ کمتر از ۱۰ درصد می باشد و به عنوان پروسه حل انتخاب شده است.




**نمودار ۱- حل عددی و استقلال جواب‌ها**



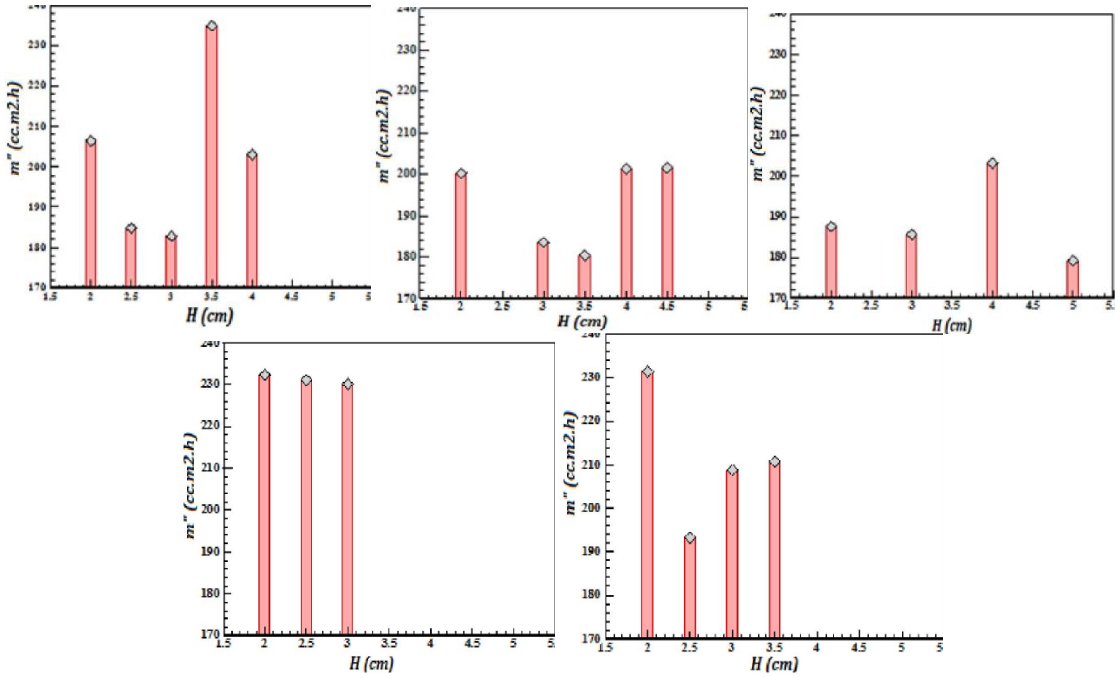

**نمودار ۲- حل عددی و استقلال جواب‌ها**

هم چنین جهت بالا بردن دقت جواب‌ها شبکه مورد نظر در نزدیکی دیواره‌ها ریز شده است.

### ۶- تحلیل نتایج

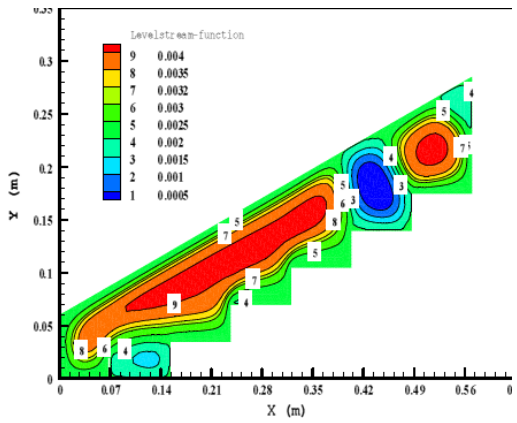
ارتفاع پله بر روی ساختار آب شیرین کن تاثیر خواهد داشت و به نظر می رسد مقدار بهینه‌ای برای ارتفاع پله ها وجود خواهد داشت. دمای آب و شیشه دمای ساعت ۱۴ در نظر گرفته می‌شود، زیرا در این ساعت از روز حالت اشباع بالا و خطا کمتر است. همان طور که در شکل ها مشخص است در حالت ۶ پله ای با ارتفاع ۳،۵ سانتی متری بیشترین میزان تولید

آب شیرین را خواهیم داشت که علت این امر منظم بودن گردابه‌ها و قرارگیری مناسب‌تر آن‌ها نسبت به حالت ۸ پله‌ای با ارتفاع ۲ سانتی متر است. با توجه به اینکه افزایش ارتفاع پله با تعداد پله بیشتر باعث کاهش بیش از حد ارتفاع نهایی شده و این امر مانع گردش جریان در پله آخر می‌شود. هم چنین کمترین میزان تولید در حالت ۵ پله‌ای با ارتفاع ۳,۵ سانتی متری خواهد بود.




**نمودار ۳- نسبت میزان تولید بر حسب عدد پله و ارتفاع**

در حالت ۶ پله ای با ارتفاع ۳,۵ بیشترین میزان تولید را خواهیم داشت و این امر اینگونه قابل توجیه است که هرچه تعداد گردابه ها اضافه شود زمان رسیدن بخار از سطح آب به شیشه کاهش می یابد و باعث افزایش تولید و راندمان می‌شود. میزان ماکزیمم تولید برابر ۲۳۱ میلی لیتر بر متر مربع در ساعت است.شایان ذکر است که آب شیرین کن با ۷ پله با ارتفاع ۲ و ۸ پله با ارتفاع ۲،۲,۵،۳ و۱۰ پله با ارتفاع ۲ نیز میزان تولید افزایش قابل ملاحظه ای را نشان می دهد. نمودار (۴) خطوط جریان در حالت ۶ پله ای با ارتفاع ۳,۵ سانتی متر را نشان می‌دهد.




**نمودار ۴- خطوط جریان در حالت ۶ پله ای با ارتفاع ۳,۵ سانتی متر**

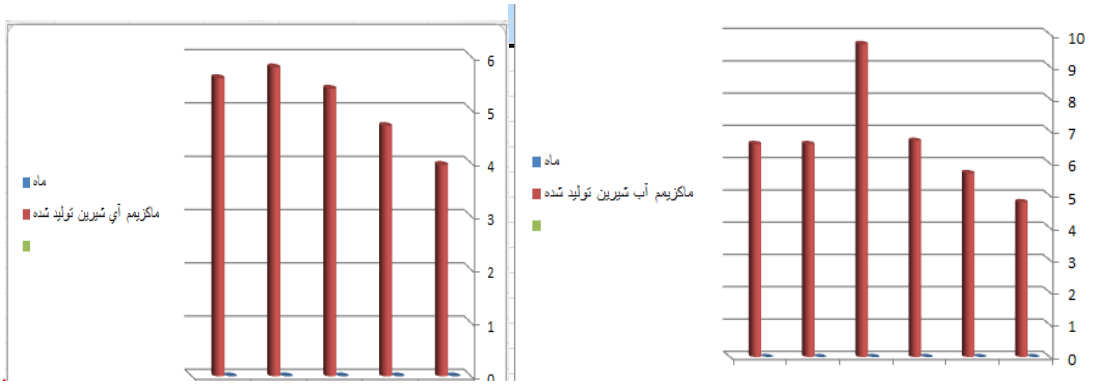
## ۷- نتایج تجربی

همچنین تعیین زاویه بهینه آب شیرین کن خورشیدی برای یک نقطه خاص به عرض شمالی ۲۷,۱۸ به صورت تجربی انجام شده است.زاویه بهینه به این معنی است که اگر زاویه از آن کمتر باشد آب در سطح شیشه حرکت می کند و باعث اختلاط آب شور و شیرین می شود.

**جدول ۲- زاویهٔ بهینهٔ آب‌شیرین‌کن خورشیدی پلکانی**

| ماه / عرض جغرافیایی | زاویه بهینه | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | فروردین | اردیبهشت | خرداد | تیر | مرداد | شهریور | مهر | آبان | آذر | دی | بهمن | اسفند | نیمه اول سال ۱-۱۸۶ | نیمه دوم سال ۱۸۷-۳۶۵ | تمام طول سال |
| L= ۲۷/۱۸ | ۱۷/۲ | -۰/۵ | -۹/۹ | -۹/۲ | ۱/۷ | ۱۹/۹ | ۳۸/۱ | ۵۱ | ۵۷/۲ | ۵۶/۶ | ۴۹/۳ | ۳۵/۶ | ۲/۷ | ۴۸/۲ | ۲۵/۷ |

میزان تولید آب شیرین توسط آب شیرین کن پلکانی در شش ماه متوالی از دی تا پایان خرداد ماه به صورت تجربی در هوای صاف و نیز ابری اندازه گیری شده است.




**نمودار ۵- میزان آب شیرین تولید شده در هر ماه**

طبق این تحقیق بیشترین میزان تولید مربوط به فروردین ماه و درهوای صاف بوده است [۱۳].

## ۸. نتیجه‌گیری

هدف از انجام تحقیق حاضر مروری بر پارامترهای افزایش راندمان آب شیرین کن خورشیدی پلکانی و طراحی آب شیرین کن خورشیدی پلکانی با راندمان بالا بود. با توجه به مطالعات انجام شده و طراحی صورت گرفته نتایج تحقیق نشان داد که؛ ارتفاع پله بر روی ساختار آب شیرین کن تاثیر خواهد داشت و به نظر می‌رسد مقدار بهینه‌ای برای ارتفاع پله ها وجود خواهد داشت. دمای آب و شیشه دمای ساعت ۱۴ در نظر گرفته می‌شود، زیرا در این ساعت از روز حالت اشباع بالا و خطا کمتر است. همچنین در آب‌شیرین‌کن خورشیدی پلکانی، در حالت ۶ پله‌ای با ارتفاع ۳,۵ سانتی متری بیشترین میزان تولید آب شیرین بدست آمد که علت این امر منظم بودن گردابه‌ها و قرارگیری مناسب‌تر آن ها نسبت به حالت ۸ پله‌ای با ارتفاع ۲ سانتی‌متر است. با توجه به اینکه افزایش ارتفاع پله با تعداد پله بیشتر باعث کاهش بیش از حد ارتفاع نهایی شده و این امر مانع گردش جریان در پله آخر می‌شود. همچنین کمترین میزان تولید در حالت ۵ پله‌ای با ارتفاع ۳,۵ سانتی‌متری خواهد بود. در انتها برای تحقیق آتی پیشنهاد می‌گردد، به مقایسهٔ راندمان آب‌شیرین‌کن خورشیدی پلکانی با سایر انواع آب‌شیرین‌کن‌ها مبتنی بر بهترین نسبت حجم تولید، هزینه تولید و مدت زمان تولید پرداخته شود.

## ۸. مراجع

[۱] علی پناه فاطمه، رهبر نادر، (۱۳۹۴). بررسی عددی تاثیر ابعاد پله بر عملکرد یک آب شیرین کن خورشیدی پلکانی، مجلهٔ مهندسی مکانیک و ارتعاشات، دورهٔ ۶، شمارهٔ ۱.

[۲] کسایی فرشید، رفیعی رضا، غیاثوند محمدمهدی، محمدی عباس، (۱۳۹۴). طرح آب شیرین کن خورشیدی پلکانی با سیستم متمرکز کننده ی سهموی خطی، پنجمین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، تهران.

[3] Ahmed M.I., Hrairi M., A. Ismail F., "On the characteristics of multistage evacuated solar distillation," Renewable Energy, vol. 34, pp. 1471-1478, 2

[4] Velmurugan V., Naveen Kumar K., Noorul Haq T., Srithar K., "Performance analysis in stepped solar still for effluent desalination," Energy, vol. 34, pp. 1179-1186, 2

[5] Z.M. Omara, M.H. Hamed, A.E. Kabeel, Performance of finned and corrugated absorbers solar stills under Egyptian conditions, Desalination, 277(1) (2011) 281-2۸۷.

[۶] وفائی محمد، برزگرنژاد محمد، اربابی علی، شکیب احسان، غفوریان محمدمصطفی، (۱۳۹۶). مطالعه تجربی و تحلیل اقتصادی آبشیرین کن خورشیدی پلکانی با شرایط مختلف، دانشگاه بزرگمهر، قائنات.

[7] A.E. Kabeel, S.A. El-Agouz, R. Sathyamurthy, T. Arunkumar, Augmenting the productivity of solar still using jute cloth knitted with sand heat energy storage, Desalination, 443 (2018) 122-129.

[۸] ابراهیمی مقدم امیر، ابراهیمی مقدم امین، (۱۳۹۳). بهینه سازی و افزایش راندمان آب شیرین کن خورشیدی پلکانی، اولین کنفرانس سراسری توسعه محوری مهندسی عمران، معماری، برق و مکانیک ایران، گرگان، شرکت مهندسی عمران بنای تدبیر با همکاری دانشگاه گلستان، دانشگاه گلستان.

[۹] تیموری مروستی محمدباقر، کلانتر ولی، میرجلیلی علی، (۱۳۹۳). مروری بر انواع سیستم های خورشیدی و دنبال کننده های خورشیدی، همایش ملی انرژی باد و خورشید، دورهٔ دوم.

[10] Morad M., El-Maghawry H., Wasfy K., (۲۰۱۷). A developed solar-powered desalination system for enhancing fresh water productivity, Solar Energy, Vol. 146, pp. ۲۰–۲۹.

[۱۱] حسینی شرف الدین، فرهادی موسی، صدیقی کورش، (۱۳۹۶). مطالعهٔ ازمایشگاهی سیستم آب شیرین کن خورشیدی، مجله مهندسی مکانیک مدرس، دورهٔ ۱۷، شمارهٔ ۶.

[12] A. E. Kabeel, S. A. El-Agouz, (2011). Review of researches and developments on solar stills, Desalination, Vol. 276, No. 3, pp. 1– ۱۲.

[۱۳] عاطفه رجب زاده، مقیمیان محمد، (۱۳۹۷). پارامترهای افزایش راندمان آب شیرین کن خورشیدی پلکانی وپیشنهادهای توسعه طرح، سمینار کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.