

## مطالعه تجربی تأثیر استفاده از پارچه‌های جاذب بر عملکرد آب‌شیرین‌کن خورشیدی پلکانی

محمد خلیلی\* استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه اراک، اراک، ایران، m-khalili@araku.ac.ir  
معین طاهری دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران، m-taheri@araku.ac.ir  
مهدی غلامی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران، ma.gholami95@gmail.com

### چکیده

افزایش جمعیت و کمبود آب شیرین، انسان را به اندیشیدن درباره منابع جدید انرژی، خصوصاً منابع انرژی تجدیدپذیر سوق داده است. در این پژوهش از دستگاه آب‌شیرین‌کن پلکانی برای تولید آب آشامیدنی استفاده شده است. برای بهبود عملکرد دستگاه از پارچه‌های جاذب برای افزایش سطح انتقال گرما بین آب‌شور و محیط و در نتیجه افزایش تبخیر و تولید آب شیرین استفاده شده است. پنج متغیر دبی ورودی آب‌شور، جنس، تعداد لایه، رنگ و زاویه قرارگیری پارچه به صورت هم‌زمان مورد آزمایش قرار گرفته است. آزمایش‌ها در سه دبی ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌لیتر بر دقیقه و در زاویه‌های ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه با استفاده از پارچه‌هایی از سه جنس متفاوت در سه لایه مختلف انجام شده‌اند. همچنین سه رنگ سفید، قهوه‌ای و مشکی برای پارچه‌ها در نظر گرفته شده است. طراحی آزمایش در این تحقیق به روش سطح پاسخ انجام شده و ۲۷ آزمایش را مورد بررسی قرار داده است. نتایج تأثیر رنگ مشکی، جنس شماره یک با بیشترین میزان جذب آب، تعداد لایه‌های بیشتر، زاویه پارچه بزرگ‌تر و کاهش دبی در افزایش آب شیرین تولیدی را نشان دادند. **واژه‌های کلیدی:** بررسی تجربی، پارچه جاذب، آب‌شیرین‌کن خورشیدی پلکانی، نمک‌زدایی، طراحی آزمایش، پاسخ سطح.

## Experimental study of the effect of using absorbent fabrics on the performance of stepped solar still

M. Khalili  
M. Taheri  
M. Gholami

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Arak University, Arak, Iran  
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Arak University, Arak, Iran  
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Arak University, Arak, Iran

### Abstract

Population growth and freshwater scarcity have led people to think about renewable energy sources. In this research, a stepped solar still has been used to produce drinking water. In order to improve the device's performance, absorbent fabrics were utilised to increase the heat transfer area between the saline water and the environment, resulting in increased evaporation and fresh water production. Water inlet flow rate, fabric material, fabric thickness or number of layers, fabric colour, and fabric placement angle are all variables that have been used at the same time. Three different fabrics in three different layers were used in the experiments, with flow rates of 50, 100, and 150 ml/min and angles of 30, 60, and 90 degrees. There were also three colours for fabrics: white, brown, and black. The response level approach was used for the design of the experiments in this study, and 27 experiments were examined. The findings revealed that the black color, material # 1 with the highest water absorption, more layers, larger angles of fabrics, and lowering the flow rate all had an effect on increasing the amount of fresh water produced.

**Keyword:** Experimental study, absorbent fabric, stepped solar still, desalination, design of experiment, surface response.

### ۱- مقدمه

تراکم بخار مکانیکی<sup>۵</sup> و همچنین استفاده از آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی اشاره نمود. آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی به دلیل سادگی و اقتصادی بودن و عدم نیاز به برق یا انرژی سوختی توجه محققین بسیاری را به خود جلب نموده و آنها به‌منظور افزایش بازده دستگاه به بررسی عوامل تأثیرگذار بر روی عملکرد آن پرداخته‌اند. در ادامه به تعدادی از تحقیقات انجام شده بر روی این دستگاه‌ها اشاره شده است. آگاروال و تیواری [۱] عدد گراش اصلاح شده را برای انتقال گرمای جابه‌جایی توسط هوای مرطوب، با انتقال جرم به طور هم‌زمان از سیالی با وزن مولکولی پایین مانند بخار آب ارائه کرده‌اند. از این عدد در آب‌شیرین‌کن خورشیدی از نوع پلکانی آبخاری استفاده شده است. تیواری و همکاران [۲] طرح عملی تقطیرکننده‌های خورشیدی از نوع تک‌حوضچه‌ای یا پلکانی و همچنین نوع فتیله‌ای را مورد بررسی

روش‌های تقطیر، اسمز معکوس<sup>۱</sup>، الکترو دیالیز، تبادل یونی و نمک‌زدایی انجمادی، پنج فناوری عمده به‌منظور زدودن نمک و دیگر مواد جامد غیرقابل‌حل از آب هستند. از علل استفاده فراگیر روش تقطیر برای تصفیه آب می‌توان به کیفیت بالای آب تولیدی بدون در نظر گرفتن میزان نمک موجود، انرژی مصرفی کمتر نسبت به روش غشایی و وابستگی کمتر این روش به کیفیت آب اشاره نمود. از فرایندهای مورد استفاده در روش تقطیر می‌توان به تقطیر به کمک چند مرحله انبساط ناگهانی<sup>۲</sup>، تقطیر چندمرحله‌ای<sup>۳</sup>، تقطیر به کمک گردش بخار به‌وسیله ترمو کمپرسور<sup>۴</sup>، تقطیر یک یا چندمرحله‌ای به‌وسیله

<sup>1</sup> Reverse Osmosis

<sup>2</sup> Multi Stage Flashing

<sup>3</sup> Multiple Effect Distillation

<sup>4</sup> Multiple Effect Distillation with Thermal Vapour Compression

<sup>5</sup> Mechanical vapor compression

قرار داده‌اند. آنها همچنین به بررسی تأثیر فاصله بین پوشش و جاذب پرداخته و طبق نتایج تجربی نشان داده‌اند که با کاهش فاصله از ۱۳ سانتی‌متر به ۸ سانتی‌متر در همان شیب پوشش، افزایش حدود ۱۱ درصد در بازده آب شیرین رخ داده است.

حمدان و همکاران [۳] به بررسی عددی و تجربی آب‌شیرین‌کن با پوشش‌های معمولی، دوگانه و سه‌گانه پرداخته‌اند. آنها دریافتند که خروجی آب‌شیرین‌کن با پوشش سه‌گانه ۲۴ درصد از نوع معمولی و ۵/۸ درصد از نوع دوگانه بیشتر بوده است. همچنین خروجی آب‌شیرین‌کن با پوشش دوگانه ۲۰ درصد بیشتر از نوع معمولی مشاهده شده است.

الهنیای و همکاران [۴] یک مدل ریاضی برای پیش‌بینی عملکرد آب‌شیرین‌کن معمولی در شرایط آب‌وهوایی مختلف نوشته‌اند و متغیرهای مؤثر بر عملکرد دستگاه را تحلیل کرده‌اند. آنها همچنین به ارزیابی عملکرد یک آب‌شیرین‌کن دومرحله‌ای پرداخته‌اند.

مصطفی و همکاران [۵] با ایجاد یک چگالنده ثانویه در دستگاه که در سایه قرار می‌گرفت، جهت کاهش دمای سطح تقطیر، سعی در افزایش بازده دستگاه داشته‌اند. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از کاهش بازده دستگاه به دلیل عدم انتقال مناسب جریان بخار مرطوب بوده است.

راجوانشی [۶] یک مطالعه تحلیلی و تجربی را در مورد اثر افزودن رنگ‌ها به یک واحد تقطیر خورشیدی ارائه داده است. بر اساس این آزمایش‌ها، روشی برای محاسبه درصد افزایش تبخیر حاصل از یک رنگ خاص ایجاد شده است.

لاورنس و همکاران [۷] تأثیر متغیرهای وابسته به دما مانند ضرایب انتقال گرمای داخلی، عمق آب، جذب توده آب و آستر حوضچه را مورد مطالعه قرار داده‌اند. آنها همچنین آزمایشی برای تأیید نتایج نظری به‌دست‌آمده از نظریه خود را انجام داده‌اند.

تیواری و تیواری [۸] اثر عمق آب را بر روی انتقال گرما و انتقال جرم در یک آب‌شیرین‌کن غیرفعال بررسی کرده‌اند و کمترین ارتفاع یا عمقی از آب حوضچه را که منجر به افزایش و کاهش در بهره‌وری به ترتیب در طی روز و شب می‌شود، یافته‌اند.

مراد و همکاران [۹] عملکرد آب‌شیرین‌کن خورشیدی شیب‌دار را با استفاده از جمع‌کننده خورشیدی تخت و پوشش شیشه‌ای خنک‌کننده بهبود داده‌اند. آنها دریافتند که جریان با ضخامت کم آب سرد شده روی پوشش شیشه‌ای، باعث کاهش دمای سطح پوشش و سپس افزایش تقطیر شده است.

کابیل و همکاران [۱۰] به بررسی عمق و پهنای سینی در عملکرد آب‌شیرین‌کن خورشیدی پلکانی اصلاح شده و شیب‌دار معمولی پرداخته‌اند. بررسی نتایج نشان داده است که بهره‌وری آب‌شیرین‌کن شیب‌دار به‌شدت وابسته به عمق و پهنای سینی بوده است. همچنین مشخص شده است که بهره‌وری آب‌شیرین‌کن پلکانی به‌دست‌آمده در عمق ۵ میلی‌متر و پهنای ۱۲۰ میلی‌متر، ۵۷/۳ درصد بیشتر از آب‌شیرین‌کن خورشیدی بوده است.

فرشچی تبریزی و همکاران [۱۱] تأثیر دبی جریان ورودی بر روی انتقال گرمای داخلی و انتقال جرم و نیز بهره‌وری روزانه را در آب‌شیرین‌کن خورشیدی پلکانی آبشاری مورد بررسی قرار داده‌اند. آنها دریافتند که با افزایش دبی جریان ورودی، میزان بهره‌وری روزانه و انتقال گرمای داخلی و انتقال جرم کاهش یافته است.

نعمت‌اللهی و همکاران [۱۲] تحلیل انرژی و انرژی را برای

سیستم نمک‌زدایی خورشیدی انجام داده‌اند. آنها نشان داده‌اند که بازده انرژی با افزایش دمای هوای ورودی و کاهش قطر برج کاهش یافته است. همچنین آنها نشان داده‌اند که افزایش طول برج رطوبت‌دهی، بازده انرژی را کاهش می‌دهد.

رشیدی و همکاران [۱۳] یک تحلیل انرژی برای بهبود عملکرد یک آب‌شیرین‌کن خورشیدی شیب‌دار انجام داده‌اند و برای بررسی عملکرد دستگاه از یک ورقه متخلخل مشبک در آن استفاده کرده‌اند. آنها همچنین، دو عدد آب‌شیرین‌کن خورشیدی شیب‌دار معمولی و اصلاح شده را با قراردادن یک لایه متخلخل مشبک با هم ساخته و آزمایش کرده‌اند. بر این اساس، آب‌شیرین‌کن اصلاح‌شده در حدود ۱۷/۳۵ درصد آب شیرین بیشتری در مقایسه با نوع معمولی در طول یک روز تولید کرده است.

وفایی و همکاران [۱۴] یک دستگاه آب‌شیرین‌کن خورشیدی با بازتابنده خارجی طراحی کرده‌اند. دستگاه در ۸ روز متوالی مورد آزمایش قرار گرفته است. جهت افزایش تولید آب شیرین از روش‌هایی چون: تعبیه تعدادی فین روی پله‌ها و در مسیر گذر آب به‌منظور ایجاد نقاط داغ، استفاده از بازتابنده‌های داخلی در پایه پله‌ها و استفاده از چگالنده خارجی برای افزایش میزان چگالنده بخار تولیدی، استفاده کرده‌اند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، آنها دریافتند که استفاده از همه روش‌ها به‌صورت هم‌زمان منجر به تولید بیشترین میزان آب شیرین می‌شود و در حالتی که در آب‌شیرین‌کن از یک چگالنده خارجی استفاده گردد، بیشترین بازده به دست می‌آید.

السامادونی و همکاران [۱۵] اثر شیب پوشش شیشه‌ای بر انتقال گرمای تابشی در آب‌شیرین‌کن خورشیدی را مورد بررسی قرار داده‌اند. با توجه به نتایج، بهره‌وری با افزایش در شیب پوشش شیشه‌ای افزایش یافته است.

گشایشی و همکاران [۱۶] به بررسی اثر زاویه شیب پوشش شیشه‌ای بر عملکرد دو حالت هندسه آب‌شیرین‌کن خورشیدی در حالت تخت و محدب و میزان تولید آب مقطر پرداختند. تحقیقات نشان داده که جمع‌کننده خورشیدی با صفحه جاذب محدب میزان تولید آب روزانه متوسط بالاتری در مقایسه با خروجی جمع‌کننده خورشیدی با صفحه جاذب تخت دارد.

گچکاران و جدا [۱۷] از یک مدل ریاضی برای شبیه سازی یک آب‌شیرین‌کن خورشیدی حوضچه‌ای منفعل خورشیدی همراه با مواد تغییرفازدهنده (PCM) در قسمت پایینی حوضچه استفاده کردند. نتایج بهینه‌سازی به کمک الگوریتم ژنتیک نشان می‌دهد که هر چه جرم آب‌شور در داخل آب‌شیرین‌کن کمتر باشد، مقدار آب شیرین تولیدی بیشتر خواهد بود.

گشایشی و همکاران [۱۸] یک مطالعه باهدف استفاده از اکسید گرافن (GO) با غلظت حجمی با درصد وزنی ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ در پارافین، به‌عنوان ماده تغییرفازدهنده (PCM)، برای بهبود بهره‌وری آب‌شیرین‌کن خورشیدی انجام دادند. نتایج نشان دادند که افزودن اکسید گرافن به پارافین، دمای ذوب را کاهش داده و همچنین آب‌شیرین‌کنی که در آن از پارافین و اکسید گرافن استفاده شده است دارای ۲۵٪ فاکتور خنک کاری در مقایسه با آب‌شیرین‌کن خورشیدی است که تنها با پارافین کار می‌کند.

همچنین گشایشی و ادیب طوسی [۱۹] آب‌شیرین‌کن خورشیدی را

می‌گردد. سطح فوقانی دستگاه توسط پوشش شفاف شیشه پوشانده می‌شود، تا از خروج اشعه خورشید و افت گرمایی ناشی از همرفت جلوگیری کند. عبور انرژی خورشید از شیشه و برخورد آن با آب داخل ظرف و سطح جاذب، سبب جذب اشعه خورشید و افزایش دمای آب و در نهایت تولید بخار آب در محفظه می‌گردد. به تدریج با افزایش رطوبت نسبی در فضای داخلی دستگاه، بخار آب در اثر دفع گرما به صورت قطراتی بر روی سطح داخلی شیشه تقطیر شده و آب شیرین حاصل به خاطر شیب‌دار بودن شیشه به طرف مخزن آب شیرین در قسمت پایین حرکت می‌کند [۲۳].

شکل ۱ تصویر دستگاه ساخته شده در این تحقیق را به همراه اجزا اصلی آن نمایش می‌دهد.



شکل ۱- تصویر دستگاه آب شیرین‌کن ساخته شده

مشخصات هندسی و دیگر متغیرهای این آب شیرین‌کن در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات هندسی دستگاه

نوع شیشه	ضریب شکست شیشه	عرض هر پله (cm)	طول هر پله (cm)	ارتفاع هر پله (cm)	تعداد پله
سکوریت با ضخامت ۱۰ میلی‌متر	۱/۶ - ۱/۵	۸	۱۰۰	۵	۱۱

بیشترین میزان آب تصفیه شده در طول یک سال در شبی برابر با عرض جغرافیایی منطقه حاصل می‌شود. از آنجاکه کلیه آزمایش‌ها در شهری با عرض جغرافیایی ۳۴-۳۵ درجه انجام گرفته است، زاویه قرارگیری آب شیرین‌کن نسبت به افق برابر با عرض جغرافیایی منطقه تنظیم شده است. در این پژوهش از وزش باد صرف نظر شده و آزمایش‌ها در شرایط جوی نسبتاً پایدار انجام گرفته است. همچنین

همراه با چگالنده خارجی و منبع ذخیره انرژی گرمایی استفاده کردند و نتایج نشان داد که استفاده همزمان از این دو روش باعث افزایش ۱۰۴ درصدی تولید آب شیرین شده است.

در بررسی دیگری که توسط آنیا و همکاران [۲۰] با موضوع افزایش بهره‌وری آب شیرین‌کن خورشیدی نیمکره‌ای با استفاده از سینی‌های آهن - روی و مس انجام گرفت، مشخص گردید که افزودن سینی‌های فلز مشکلی رنگ منجر به افزایش قابل توجه در میزان تبخیر آب نمک حوضچه به دلیل بهبود ویژگی‌های انتقال گرما می‌شود که این بهره‌وری در سینی مسی مشکلی به میزان ۵۳/۱۲ درصد بیشتر از آهن و مس است.

برای افزایش تبخیر سطحی آب شور اسا و همکاران [۲۱] در سال ۲۰۲۱ با استفاده از تزریق حباب‌های هوا در سطح آب شور ساکن آشفستگی ایجاد کردند که این موضوع باعث افزایش آب شیرین تولیدی شد.

همچنین خانمحمدی و خانجانی [۲۲] نشان دادند که با استفاده از فناوری‌های نوینی نظیر سیستم فراصوتی و برداشت آب از مه توسط توری فلزی می‌توان میزان تولید آب شیرین در سیستم را تا ۱۸/۷۵ درصد نسبت به سیستم اصلی افزایش داد.

در این تحقیق به منظور افزایش انتقال گرمای کلی و تبخیر آب با افزایش سطح و ضریب انتقال گرمای درون آب شیرین‌کن خورشیدی پلکانی از پارچه در ساخت آب شیرین‌کن خورشیدی پلکانی آبخاری استفاده شده است. متغیرهای ورودی مورد تحقیق در این پژوهش جنس، رنگ، زاویه، ضخامت پارچه و دبی ورودی آب شور تعریف شده است. همچنین متغیرهای اندازه‌گیری، دمای فضای داخل دستگاه، دمای آب شور داخل دستگاه، دمای آب شیرین تولید شده، میزان آب شیرین تولید شده و دمای محیط هستند. در این پژوهش در ابتدا یک آب شیرین‌کن خورشیدی پلکانی مشابه با ابعاد و اندازه‌های کار دیگر محققان ساخته شده و با انجام آزمایش‌های تجربی مختلف بر آن، تأثیر استفاده از پارچه بر روی عملکرد و میزان تولید آب شیرین مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. در انتها نیز به منظور به دست آوردن معادلات رگرسیون مربوط به میزان تولید آب در ساعات مختلف بر حسب متغیرهای آزمایش، از کار آماری و نظری استفاده شده است. نوآوری این پژوهش استفاده از ماده جاذب پارچه بر روی پله‌ها در شرایط مختلف است.

## ۲- شرح دستگاه آب شیرین‌کن پلکانی

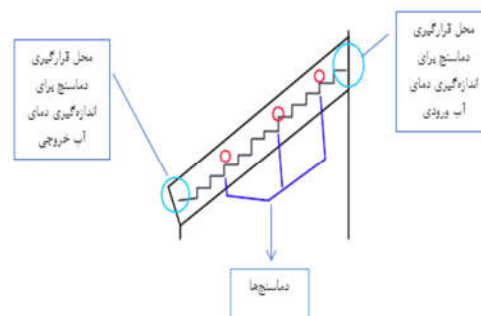
در این بخش به بررسی مکانیزم آب شیرین‌کن و معرفی متغیرهای ورودی پرداخته شده و همچنین روش طراحی آزمایش مورد تحلیل قرار گرفته است.

### ۲-۱- تحلیل مکانیزم و روند تولید آب شیرین توسط

#### آب شیرین‌کن پلکانی

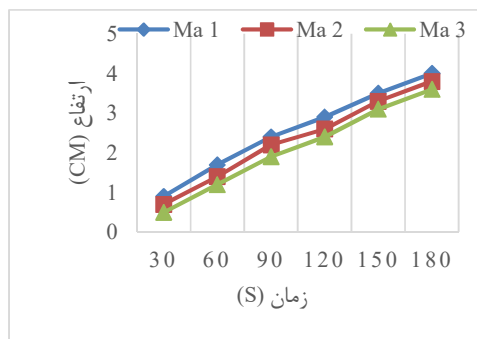
در یک آب شیرین‌کن خورشیدی پلکانی در ابتدا آب شور وارد پله اول می‌شود. پس از پوشیده شدن تمام سطح پله و افزایش سطح آب تا مقدار معین، آب وارد پله بعدی شده و به همین ترتیب مسیر مارپیچ خود را تا پله آخر طی می‌کند و توسط شیر خروجی از دستگاه خارج شده و سپس توسط پمپ دوباره به مخزن بالای دستگاه هدایت

به منظور ایجاد جریان با دبی ثابت از یک مخزن آب مرتفع جهت تغذیه آب شیرین کن استفاده گردیده است. میزان کل املاح موجود در آب شور مورد آزمایش در تمامی آزمایش‌ها ۱۲۵۰ ppm بوده است که به صورت مصنوعی قبل از انجام آزمایش‌ها و با استفاده از دستگاه شوری سنج تهیه شده است. همچنین از پنج دماسنج نوع k با دقت ۰/۵ درجه سلسیوس برای اندازه‌گیری دمای نقاط مختلف استفاده گردید که موقعیت آنها در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- محل قرارگیری دماسنج‌ها در آب شیرین کن ساخته شده

آب انجام شد. میزان ارتفاعی که آب در جهت بالای پارچه طی می‌کند مقدار جذب آب آن پارچه را مشخص می‌نماید. در شکل ۳ مقدار جذب آب هر پارچه در طول زمان در نمودار مشخص شده است. همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است پارچه شماره ۱ بیشترین میزان جذب آب را داشته است و بعد از آن پارچه شماره ۲ و در آخر هم پارچه شماره ۳ قرار گرفته است.



شکل ۳- نمودار جذب آب سه نوع پارچه

### ۲-۲-۳- رنگ پارچه

رنگ پارچه متغیر بعدی است که برای این منظور رنگ‌های سفید، قهوه‌ای و مشکی در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که تمامی پارچه‌های از هر سه جنس در ابتدا سفید رنگ بوده‌اند و برای مشخص نمودن تأثیر رنگ، رنگریزی شده‌اند. رنگ‌های مود استفاده نیز از نوع رنگ مایع و از یک نوع و با یک روش ساخت بوده‌اند.

### ۲-۲-۴- ضخامت یا تعداد لایه پارچه

در آزمایش‌های انجام گرفته به ترتیب از ۱، ۲ و ۳ لایه از هر پارچه استفاده شده است. هدف از افزایش تعداد لایه‌ها افزایش سطوح انتقال گرما به منظور افزایش تبخیر و در نتیجه افزایش تولید آب شیرین بوده است.

### ۲-۲-۵- زاویه قرارگیری پارچه

متغیر پنجم زاویه یا نحوه قرارگیری پارچه است. پارچه‌ها در سه زاویه ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه نسبت به خط افق در دستگاه جای‌گذاری شده‌اند، به این صورت که اگر پارچه بر روی پلکان قرار داده شده و با گیره‌هایی در قسمت آب‌بند هر پله مهار شود، در این حالت زاویه پارچه با افق تقریباً ۳۰ درجه خواهد بود. زاویه ۶۰ درجه در حالتی است که پارچه روی پلکان قرار گرفته و سپس با گیره در قسمت آب‌بند مهار شده و از میله‌هایی به طول ۱ متر و برابر طول پله‌ها استفاده شده باشد. اگر این میله‌ها در وسط قسمت عرضی هر پله (در وسط کف پله) قرار گیرند، زاویه پارچه با افق برابر ۶۰ درجه می‌شود و اگر میله‌ها در انتهای قسمت عرضی هر پله و در کنار دیواره پله قرار گیرند، زاویه پارچه با افق ۹۰ درجه می‌شود. در زاویه ۹۰ درجه پارچه شکلی دقیقاً شبیه پلکان به خود گرفته و کاملاً در داخل آب قرار می‌گیرد. شکل ۴ زوایای قرارگیری پارچه و نحوه مهار کردن آنها را بر روی پله‌ها نمایش می‌دهد.

### ۲-۲-۲- متغیرهای ورودی مورد بررسی

در این بخش متغیرهای ورودی که شامل دبی ورودی آب شور، جنس پارچه، رنگ پارچه، ضخامت و زاویه قرارگیری پارچه می‌شوند، مورد بررسی قرار گرفته است.

### ۲-۲-۱- دبی ورودی آب شور

در این پژوهش برای اندازه‌گیری دبی ورودی آب شور از روتامتر استفاده شده است. طبق طراحی آزمایش انجام گرفته، سه مقدار مربوط به دبی ورودی آب شور برابر با ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌لیتر بر دقیقه است. این اعداد باتوجه به تحقیقات قبلی در این زمینه انتخاب شده‌اند. دبی ورودی آب شور در این بازه منجر به بیشترین مقدار آب شیرین خروجی می‌گردد.

### ۲-۲-۲- جنس پارچه

جنس پارچه متغیر بعدی در آزمایش‌ها است. انتظار می‌رود که هرچه میزان جذب آب پارچه بیشتر باشد، آب تا ارتفاع بالاتری در خلاف جهت نیروی گرانش در داخل پارچه‌های روی هر پله به سمت بالا حرکت کرده و در نتیجه سطح جاذب و به عبارتی سطح انتقال گرما و تبخیر بیشتر شده و به تبع آن خروجی آب شیرین نیز بیشتر گردد. در این تحقیق از سه نوع پارچه مختلف با جذب رطوبت مناسب شامل دو نوع پارچه تنظیف (پارچه تنظیف تک‌لایه و دولایه) و یک نوع پارچه متقال استفاده شده است که به ترتیب با شماره‌های ۱ تا ۳ نام‌گذاری شده‌اند.

به منظور مقایسه نسبی مقدار جذب آب پارچه‌ها آزمایشی ابتکاری طراحی گردید. به این صورت که از هر پارچه مقدار مشخصی در ابعاد ۱۰ در ۲ سانتی‌متر برش داده شده و به اندازه ۱ سانتی‌متر در داخل لیوان آب قرار گرفت. به محض اینکه پارچه به این مقدار در آب فرورفت، زمان سنج فعال گردیده و تا ۳ دقیقه اندازه‌گیری مقدار جذب

طراحی آزمایش، روشی آماری است که به منظور بهبود کیفیت و افزایش بازدهی در فرایندهای مختلف، به بررسی تأثیر ورودی‌ها بر خروجی‌ها پرداخته و در صورت نیاز مدل ریاضی مربوط به آن را استخراج می‌کند. به منظور کاهش تعداد آزمایش‌ها، بهینه‌سازی فرایند و دستیابی به بیشترین اطلاعات در خصوص متغیرها، با صرف هزینه و زمان حداقلی از طراحی آزمایش استفاده می‌شود. طراحی آزمایش به روش‌های مختلفی انجام می‌پذیرد که یکی از آنها روش سطح پاسخ است که در این تحقیق با استفاده نرم‌افزار Minitab انجام شده است. در این روش برای متغیرهای مختلف نیاز به حداقل ۳ سطح مختلف است. در این تحقیق از ۲۴۳ آزمایش ممکن به وسیله طراحی آزمایش تنها ۲۷ آزمایش تعیین شده است. در این آزمایش‌ها دما و میزان آب شیرین تولیدی از ساعت ۱۰ صبح تا ۱۶ بعدازظهر و همین‌طور در مجموع نیز میزان آب شیرین تولیدی در طی هر روز گزارش شده است. جدول ۲ نشان‌دهنده مشخصات هر آزمایش به همراه سطوح مختلف در نظر گرفته شده برای تمامی متغیرهای آزمایش است.



الف- زاویه ۹۰ درجه، ب- زاویه ۶۰ درجه و ج- زاویه ۳۰ درجه  
شکل ۴- زوایای قرارگیری پارچه

### ۳-۲- طراحی آزمایش

در پژوهش‌های گذشته بررسی‌های عددی و آزمایشگاهی در خصوص عملکرد آب‌شیرین‌کن به منظور دستیابی به میزان تولید آب شیرین بر واحد سطح دستگاه انجام گرفته است. در تمامی بررسی‌ها میزان تولید آب شیرین بر واحد سطح دستگاه، همواره به عنوان اساسی‌ترین مشخصه و هدف نهایی مورد توجه بوده است. در این ارزیابی نیز برای تعیین میزان آب مقطر تولیدی که نشانگر عملکرد دستگاه است، آزمایش‌های لازم صورت گرفته است.

جدول ۲- متغیرهای طراحی آزمایش

شماره آزمایش	جنس پارچه = $X_1$	زاویه پارچه = $X_2$ (درجه)	رنگ پارچه = $X_3$	تعداد لایه پارچه = $X_4$	دبی = $X_5$ (ml/min)
۱	تنظیف تک‌لایه = ۱	۳۰	سفید = ۱	۱	۱۵۰
۲	تنظیف تک‌لایه = ۱	۹۰	سفید = ۱	۱	۵۰
۳	تنظیف تک‌لایه = ۱	۳۰	سفید = ۱	۳	۵۰
۴	تنظیف تک‌لایه = ۱	۹۰	سفید = ۱	۳	۱۵۰
۵	متقال = ۳	۳۰	سفید = ۱	۱	۵۰
۶	متقال = ۳	۹۰	سفید = ۱	۱	۱۵۰
۷	متقال = ۳	۳۰	سفید = ۱	۳	۱۵۰
۸	متقال = ۳	۹۰	سفید = ۱	۳	۵۰
۹	تنظیف دولایه = ۲	۶۰	سفید = ۱	۲	۱۰۰
۱۰	تنظیف تک‌لایه = ۱	۳۰	قهوه‌ای = ۲	۱	۵۰
۱۱	تنظیف تک‌لایه = ۱	۹۰	قهوه‌ای = ۲	۱	۱۵۰
۱۲	تنظیف تک‌لایه = ۱	۳۰	قهوه‌ای = ۲	۳	۱۵۰
۱۳	تنظیف تک‌لایه = ۱	۹۰	قهوه‌ای = ۲	۳	۵۰
۱۴	متقال = ۳	۳۰	قهوه‌ای = ۲	۱	۱۵۰
۱۵	متقال = ۳	۹۰	قهوه‌ای = ۲	۱	۵۰
۱۶	متقال = ۳	۳۰	قهوه‌ای = ۲	۳	۵۰
۱۷	متقال = ۳	۹۰	قهوه‌ای = ۲	۳	۱۵۰
۱۸	تنظیف دولایه = ۲	۶۰	قهوه‌ای = ۲	۲	۱۰۰
۱۹	تنظیف دولایه = ۲	۳۰	مشکی = ۳	۲	۱۰۰
۲۰	تنظیف دولایه = ۲	۹۰	مشکی = ۳	۲	۱۰۰
۲۱	تنظیف دولایه = ۲	۶۰	مشکی = ۳	۱	۱۰۰
۲۲	تنظیف دولایه = ۲	۶۰	مشکی = ۳	۲	۵۰
۲۳	تنظیف دولایه = ۲	۶۰	مشکی = ۳	۲	۱۰۰
۲۴	تنظیف دولایه = ۲	۶۰	مشکی = ۳	۲	۱۵۰
۲۵	تنظیف تک‌لایه = ۱	۶۰	مشکی = ۳	۲	۱۰۰
۲۶	تنظیف دولایه = ۲	۶۰	مشکی = ۳	۳	۱۰۰
۲۷	متقال = ۳	۶۰	مشکی = ۳	۲	۱۰۰

### ۳- نتایج

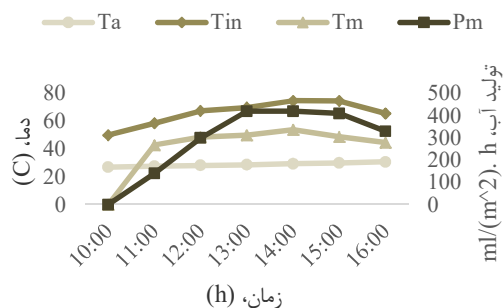
در این بخش، به تشریح نتایج حاصل از آزمایش‌های تجربی و همچنین معادلات رگرسیون حاصل از کارهای آماری، پرداخته خواهد شد.

### ۳-۱- نتایج حاصل از آزمایش‌های تجربی

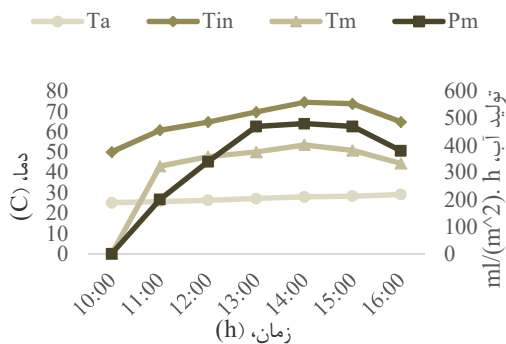
نمودارهای مورد تحلیل در این بخش با متغیر در نظر گرفتن یک متغیر و ثابت بودن دیگر متغیرها ترسیم شده است و نتایج این فرضیات در نمودارهای حاصل نمایش داده شده است. جدول ۳ مقادیر بیشینه آب شیرین تولیدی و مجموع آب، در طی هر آزمایش را نمایش می‌دهد.

جدول ۳- مقادیر آب تولیدی در طی آزمایش‌ها

شماره آزمایش	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
بیشینه حجم آب شیرین تولیدی (ml)	۳۷۰	۶۸۰	۵۴۰	۵۱۰	۵۱۰	۴۱۰	۲۸۰	۶۶۰	۴۲۰
بیشینه حجم آب شیرین روزانه (ml)	۱۷۹۰	۳۳۲۰	۳۶۴۰	۲۵۰۰	۲۶۰۰	۲۰۲۰	۱۳۵۰	۳۲۱۰	۲۰۲۰
شماره آزمایش	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
بیشینه حجم آب شیرین تولیدی (ml)	۵۴۰	۵۳۰	۲۹۰	۷۹۰	۲۸۰	۶۷۰	۴۴۰	۵۱۰	۴۴۰
بیشینه حجم آب شیرین روزانه (ml)	۲۶۳۰	۲۵۹۰	۱۴۰۰	۳۸۵۰	۱۳۴۰	۳۳۴۰	۲۱۳۰	۲۵۰۰	۲۱۳۰
شماره آزمایش	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷
بیشینه حجم آب شیرین تولیدی (ml)	۳۱۰	۶۵۰	۴۸۰	۶۳۰	۴۸۰	۴۷۰	۵۰۰	۴۸۰	۴۳۰
بیشینه حجم آب شیرین روزانه (ml)	۱۵۰۰	۳۱۸۰	۲۳۳۰	۳۰۶۰	۲۳۴۰	۲۳۰۰	۲۴۵۰	۲۳۶۰	۲۰۸۰



ب- نمودار میزان آب شیرین تولیدی و دماهای آب شیرین تولیدی، داخل دستگاه و محیط در آزمایش ۱۸ و با رنگ قهوه‌ای



ج- نمودار میزان آب شیرین تولیدی و دماهای آب شیرین تولیدی، داخل دستگاه و محیط در آزمایش ۲۳ و با رنگ مشکی

شکل ۵- نمودارهای حاصل از تغییر متغیر رنگ

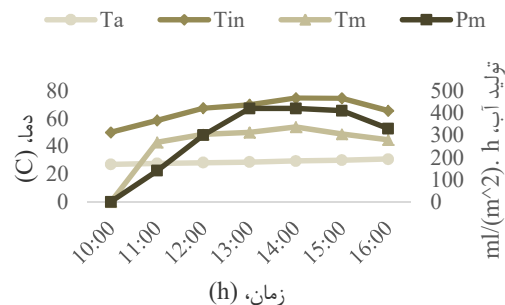
$P_m$  میزان آب شیرین تولیدی خروجی،  $T_m$  دمای آب شیرین تولیدی خروجی،  $T_{in}$  دمای فضای داخل آب شیرین کن و  $T_a$  دمای محیط

### ۳-۱-۲- اثر متغیر جنس پارچه

بررسی‌های صورت گرفته بر روی آب شیرین کن ساخته شده در این

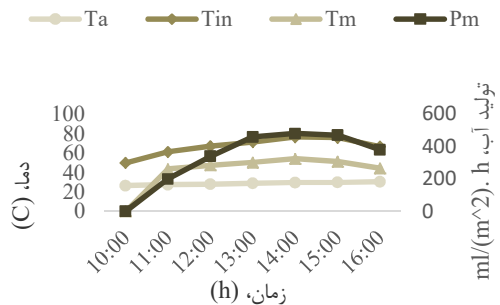
### ۳-۱-۱- اثر متغیر رنگ

نمودارهای مربوط به آزمایش‌های شماره ۹، ۱۸ و ۲۳ در شکل ۵ نمایش داده شده‌اند. در این نمودارها متغیر رنگ تغییر کرده و متغیرهای دبی، ضخامت، زاویه و جنس ثابت هستند. با تحلیل مقادیر حاصل با توجه به جدول ۳ بیشترین مقدار آب تولیدی و مجموع آب تولیدی با در نظر گرفتن رنگ مشکی بوده و کمترین مقدار مربوط به رنگ سفید است. علت این روند را می‌توان به جذب نور بیشتر رنگ مشکی نسبت به رنگ سفید و در نتیجه گرم‌تر شدن بیشتر پارچه با رنگ مشکی دانست. در نتیجه میزان تبخیر نیز در پارچه با رنگ مشکی نسبت به پارچه سفید رنگ بیشتر بوده است.

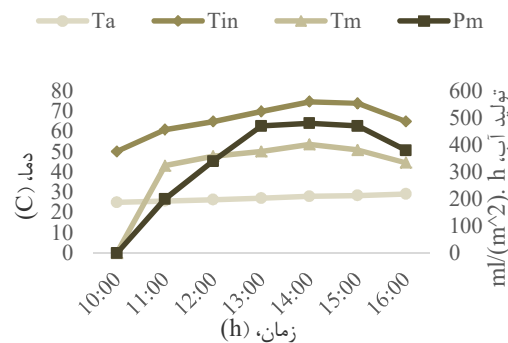


الف- نمودار میزان آب شیرین تولیدی و دماهای آب شیرین تولیدی، داخل دستگاه و محیط در آزمایش ۹ و با رنگ سفید

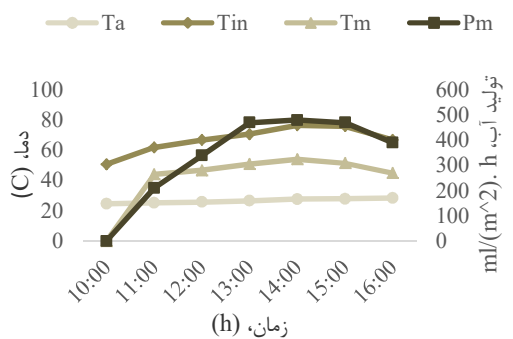
۳. با در نظر گرفتن آزمایش‌های شماره ۲۱، ۲۳ و ۲۶ که تنها تفاوت آنها در تعداد لایه‌های پارچه است، بیشترین میزان تولید آب شیرین برای ۳ لایه و کمترین مقدار برای ۱ لایه از پارچه است. البته با توجه به اختلاف کم میان نتایج، می‌توان گفت که عملاً بیشترین میزان تبخیر آب از روی خارجی‌ترین لایه پارچه صورت می‌پذیرد و لایه‌های زیرین نقش چندانی در افزایش سطح انتقال گرما و تبخیر آب ندارند.



الف- نمودار میزان آب شیرین تولیدی و دماهای آب شیرین تولیدی، داخل دستگاه و محیط در آزمایش ۲۱ و یک لایه پارچه



ب- نمودار میزان آب شیرین تولیدی و دماهای آب شیرین تولیدی، داخل دستگاه و محیط در آزمایش ۲۳ و دو لایه پارچه



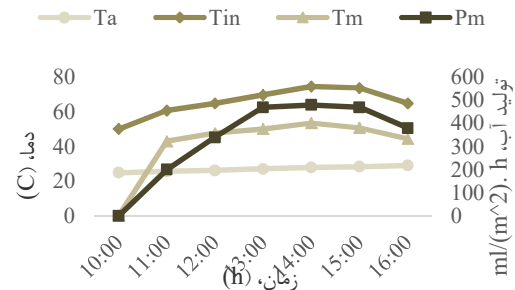
ج- نمودار میزان آب شیرین تولیدی و دماهای آب شیرین تولیدی، داخل دستگاه و محیط ۲۶ و سه لایه پارچه

شکل ۷- نمودارهای حاصل از تغییر متغیر تعداد لایه

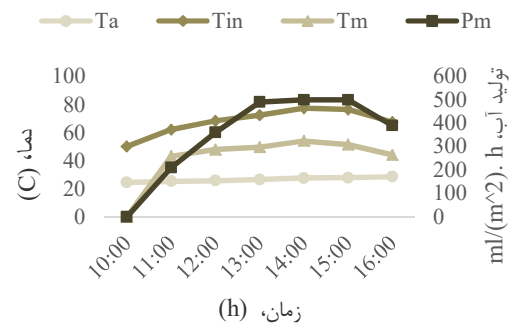
### ۳-۱-۴- اثر متغیر دبی آب شور ورودی

نتایج آزمایش‌های مرتبط با تغییر متغیر دبی آب شور ورودی در شکل ۸ ترسیم شده است. همان‌طور که در شکل ۸ و نتایج جدول ۳ مشاهده می‌شود، افزایش دبی به دلیل افزایش ضخامت آب شور روی

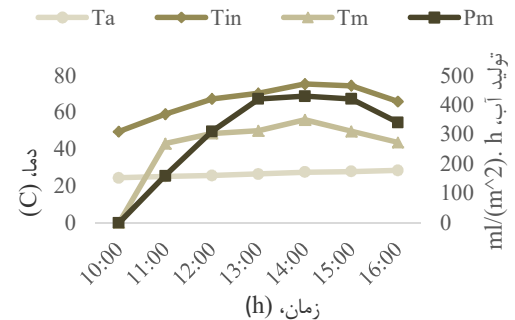
پژوهش و با فرض تغییرات متغیر جنس پارچه به صورت نمودارهای شکل ۶ ترسیم شده است. با توجه به نتایج حاصل از جدول ۳، میزان آب تولیدی در پارچه شماره ۱ یک (با بهترین میزان جذب آب) از پارچه شماره دو (با جذب آب متوسط) و همچنین از پارچه شماره سه (با کمترین میزان جذب آب) بهتر بوده است.



الف- نمودار میزان آب شیرین تولیدی و دماهای آب شیرین تولیدی، داخل دستگاه و محیط در آزمایش ۲۳ و جنس پارچه ۲



ب- نمودار میزان آب شیرین تولیدی و دماهای آب شیرین تولیدی، داخل دستگاه و محیط در آزمایش ۲۵ و جنس پارچه ۱

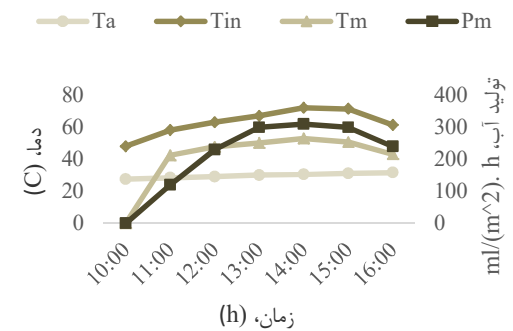


ج- نمودار میزان آب شیرین تولیدی و دماهای آب شیرین تولیدی، داخل دستگاه و محیط در آزمایش ۲۷ و جنس پارچه ۳  
شکل ۶- نمودارهای حاصل از تغییر متغیر جنس

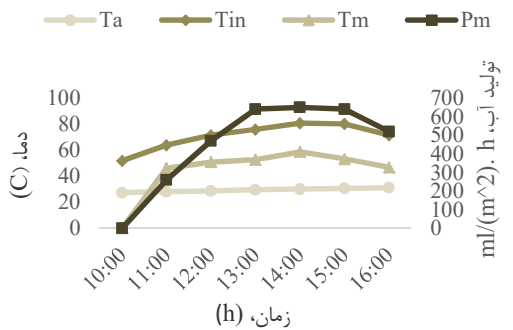
### ۳-۱-۳- اثر متغیر تعداد لایه

همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود و با توجه به نتایج جدول

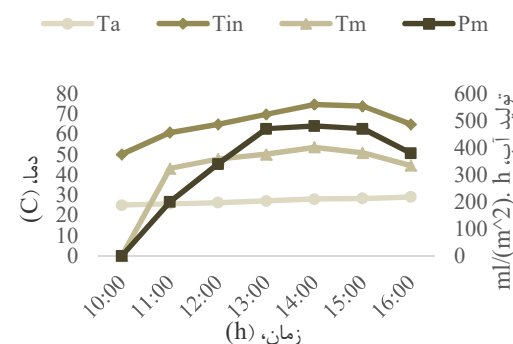
خورشید بوده و بنابراین بیشترین سطح انتقال گرما و تبخیر بر روی پارچه ایجاد شده و نتیجتاً بیشترین میزان تولید آب شیرین وجود داشته است. درحالی‌که در زاویه ۳۰ درجه به دلیل اینکه پارچه به صورت کاملاً صاف و کشیده شده بین لبه‌های دو پله متوالی قرار گرفته است، پس کمترین سطح انتقال گرما ممکن را ایجاد کرده و میزان تبخیر و به تبع آن تولید آب شیرین کمترین حالت بوده است. با استدلال مشابه می‌توان انتظار داشت که در زاویه ۶۰ درجه تولید آب شیرین بین دو حالت قبلی بوده باشد.



الف- نمودار میزان آب شیرین تولیدی و دماهای آب شیرین تولیدی، داخل دستگاه و محیط در آزمایش ۱۹ و زاویه ۳۰ درجه



ب- نمودار میزان آب شیرین تولیدی و دماهای آب شیرین تولیدی، داخل دستگاه و محیط در آزمایش ۲۰ و زاویه ۲۰ درجه



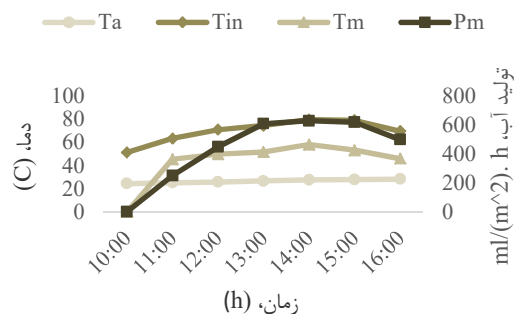
ج- نمودار میزان آب شیرین تولیدی و دماهای آب شیرین تولیدی، داخل دستگاه و محیط در آزمایش ۲۳ و زاویه ۶۰ درجه

شکل ۹- نمودارهای حاصل از تغییر متغیر زاویه

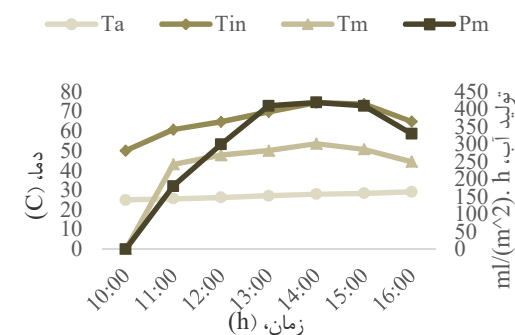
### ۲-۳- معادلات رگرسیون استخراج شده

تحلیل رگرسیون روشی آماری برای تخمین روابط بین متغیرهای

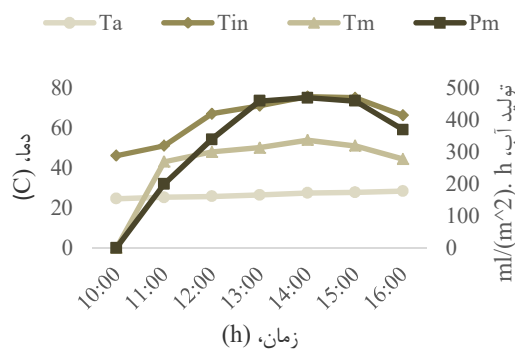
پله‌ها و کاهش تبخیر آن، باعث کاهش تولید آب شیرین و دماها شده است.



الف- نمودار میزان آب شیرین تولیدی و دماهای آب شیرین تولیدی، داخل دستگاه و محیط در آزمایش ۲۲ و دبی ۵۰



ب- نمودار میزان آب شیرین تولیدی و دماهای آب شیرین تولیدی، داخل دستگاه و محیط در آزمایش ۲۳ و دبی ۱۰۰



ج- نمودار میزان آب شیرین تولیدی و دماهای آب شیرین تولیدی، داخل دستگاه و محیط در آزمایش ۲۴ و دبی ۱۵۰

شکل ۸- نمودارهای حاصل از تغییر متغیر دبی آب شور ورودی

### ۳-۱-۵- اثر متغیر زاویه

آخرین متغیر مورد بررسی، زاویه قرارگیری پارچه در آب است. با بررسی مقادیر آب تولیدی در جدول ۳ مشخص می‌شود که میزان آب تولیدی در زاویه ۹۰ درجه بیشتر از ۶۰ درجه و مقادیر در زاویه ۶۰ درجه بیشتر از ۳۰ درجه هستند. باتوجه به شکل ۴ و توضیحات ارائه شده در بخش ۲-۵ در مورد نحوه قرارگیری پارچه‌ها در زوایای مختلف بر روی سطوح پله‌ها، می‌توان گفت که در زاویه ۹۰ درجه چون پارچه شکلی همانند پلکان به خود گرفته و مماس بر کف و دیواره پله‌ها است، به همین خاطر سطح بیشتری از پارچه در معرض نور



پارچه، ضخامت پارچه و زاویه پارچه اشاره نمود. در این پژوهش با بهره‌گیری از روش پاسخ سطح به طراحی آزمایش‌ها پرداخته شده است. نتایج بدین صورت است که:

- ✓ افزایش دبی به دلیل افزایش ضخامت آب‌شور روی پله‌ها و کاهش تبخیر آن، باعث کاهش تولید آب شیرین و دماها شده است.
- ✓ به‌صورت کلی مقدار تولید آب شیرین مربوط به رنگ مشکی از قهوه‌ای و قهوه‌ای از رنگ سفید در زاویه ۹۰ درجه بهتر بوده است، زیرا در این زاویه پارچه کاملاً داخل آب قرار دارد. در نتیجه هرچه میزان جذب تابش خورشیدی توسط پارچه بیشتر باشد، دماها بیشتر افزایش یافته که این مورد در پارچه‌های تیره‌تر وجود دارد.

بیشترین میزان جذب مربوط به پارچه شماره ۱ و کمترین مقدار به پارچه ۳ بوده است.

نتایج در زاویه ۹۰ درجه از ۶۰ درجه و ۶۰ درجه از ۳۰ درجه بهتر تشخیص داده شده است. زیرا در زاویه ۳۰ درجه، پارچه روی آب سایه انداخته و سبب کاهش تبخیر آب و در نتیجه کاهش آب شیرین تولیدی می‌گردد.

در ادامه به‌منظور پژوهش در کارهای آتی پیشنهادهایی برای افزایش تولید آب شیرین ارائه شده است:

می‌توان از مواد جاذب دیگر مانند اسفنج استفاده کرده و نتایج آن را با این پژوهش مقایسه کرد.

در نظر گرفتن شرایط هندسی دستگاه مثل ارتفاع آب‌بندها، فاصله شیشه تا سطح پله‌ها و تعداد پله‌ها به‌صورت هم‌زمان با استفاده از پارچه درون دستگاه می‌توان به بررسی نتایج پرداخت.

## ۵- سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت معاونت پژوهشی دانشگاه اراک و در قالب طرح پژوهشی به شماره قرارداد ۹۸/۱۶۷۲ مورخ ۱۳۹۸/۳/۲۷ صورت پذیرفته است.

## ۶- نمادها

میزان آب شیرین تولیدی خروجی (°C)	$P_m$
دمای محیط (°C)	$T_a$
دمای فضای داخل آب‌شیرین‌کن (°C)	$T_{in}$
دمای آب شیرین تولیدی خروجی (°C)	$T_m$
میزان آب شیرین تولید در ساعت ۱۱ (ml)	$P_{11}$
میزان آب شیرین تولید در ساعت ۱۲ (ml)	$P_{12}$
میزان آب شیرین تولید در ساعت ۱۳ (ml)	$P_{13}$
میزان آب شیرین تولید در ساعت ۱۴ (ml)	$P_{14}$
میزان آب شیرین تولید در ساعت ۱۵ (ml)	$P_{15}$
میزان آب شیرین تولید در ساعت ۱۶ (ml)	$P_{16}$
جنس پارچه	$X_1$
زاویه قرارگیری پارچه (درجه)	$X_2$
رنگ پارچه	$X_3$
تعداد لایه پارچه	$X_4$
دبی ورودی آب‌شور (ml/min)	$X_5$

وابسته و مستقل است. همچنین تحلیل رگرسیون در یافتن چگونگی تغییر مقدار متغیر وابسته با تغییر هرکدام از متغیرهای مستقل و با ثابت بودن دیگر متغیرهای مستقل بکار برده می‌شود. در این مقاله به‌منظور به‌دست‌آوردن رابطه میان میزان تولید آب در ساعات مختلف بر حسب متغیرهای آزمایش، از روش رگرسیون استفاده شده است روابط ۱ تا ۶ معادله‌های رگرسیون مربوط به تولید آب در ساعات ۱۱ تا ۱۶ بوده که در آنها متغیرهای  $X_1$  تا  $X_5$  مطابق با جدول ۲ به ترتیب جنس پارچه، زاویه قرارگیری پارچه، رنگ پارچه، تعداد لایه پارچه و دبی ورودی آب‌شور تعریف شده‌اند.

$$P_{11} = 216.8 - 2.75X_1 - 57.3X_2 + 1.2X_3 - 461.2X_4 + 317.0X_5 + 0.01243(X_1)^2 + 7.02(X_2)^2 - 1.31(X_3)^2 + 293.9(X_4)^2 - 131.9(X_5)^2 + 0.4549X_1 \times X_2 + 0.0451X_1 \times X_3 - 0.252X_1 \times X_4 + 1.285X_1 \times X_5 - 2.81X_2 \times X_3 + 4.95X_2 \times X_4 + 2.71X_2 \times X_5 + 1.30X_3 \times X_4 - 4.37X_3 \times X_5 + 4.7X_4 \times X_5 \quad (1)$$

$$P_{12} = 366.5 - 1.77X_1 - 57.9X_2 - 6.0X_3 - 540.4X_4 + 323.6X_5 + 0.01243(X_1)^2 + 7.02(X_2)^2 - 1.31(X_3)^2 + 293.9(X_4)^2 - 131.9(X_5)^2 + 0.4549X_1 \times X_2 + 0.0451X_1 \times X_3 - 0.252X_1 \times X_4 + 1.285X_1 \times X_5 - 2.81X_2 \times X_3 + 4.95X_2 \times X_4 + 2.71X_2 \times X_5 + 1.30X_3 \times X_4 - 4.37X_3 \times X_5 + 4.7X_4 \times X_5 \quad (2)$$

$$P_{13} = 483.5 - 0.86X_1 - 54.6X_2 - 15.5X_3 - 607.1X_4 + 328.1X_5 + 0.01243(X_1)^2 + 7.02(X_2)^2 - 1.31(X_3)^2 + 293.9(X_4)^2 - 131.9(X_5)^2 + 0.4549X_1 \times X_2 + 0.0451X_1 \times X_3 - 0.252X_1 \times X_4 + 1.285X_1 \times X_5 - 2.81X_2 \times X_3 + 4.95X_2 \times X_4 + 2.71X_2 \times X_5 + 1.30X_3 \times X_4 - 4.37X_3 \times X_5 + 4.7X_4 \times X_5 \quad (3)$$

$$P_{14} = 501.9 - 0.82X_1 - 55.7X_2 - 15.5X_3 - 616.8X_4 + 328.1X_5 + 0.01243(X_1)^2 + 7.02(X_2)^2 - 1.31(X_3)^2 + 293.9(X_4)^2 - 131.9(X_5)^2 + 0.4549X_1 \times X_2 + 0.0451X_1 \times X_3 - 0.252X_1 \times X_4 + 1.285X_1 \times X_5 - 2.81X_2 \times X_3 + 4.95X_2 \times X_4 + 2.71X_2 \times X_5 + 1.30X_3 \times X_4 - 4.37X_3 \times X_5 + 4.7X_4 \times X_5 \quad (4)$$

$$P_{15} = 495.6 - 0.84X_1 - 55.1X_2 - 16.6X_3 - 612.6X_4 + 327.0X_5 + 0.01243(X_1)^2 + 7.02(X_2)^2 - 1.31(X_3)^2 + 293.9(X_4)^2 - 131.9(X_5)^2 + 0.4549X_1 \times X_2 + 0.0451X_1 \times X_3 - 0.252X_1 \times X_4 + 1.285X_1 \times X_5 - 2.81X_2 \times X_3 + 4.95X_2 \times X_4 + 2.71X_2 \times X_5 + 1.30X_3 \times X_4 - 4.37X_3 \times X_5 + 4.7X_4 \times X_5 \quad (5)$$

$$P_{16} = 379.3 - 1.84X_1 - 46.8X_2 - 19.4X_3 - 534.9X_4 + 347.0X_5 + 0.01243(X_1)^2 + 7.02(X_2)^2 - 1.31(X_3)^2 + 293.9(X_4)^2 - 131.9(X_5)^2 + 0.4549X_1 \times X_2 + 0.0451X_1 \times X_3 - 0.252X_1 \times X_4 + 1.285X_1 \times X_5 - 2.81X_2 \times X_3 + 4.95X_2 \times X_4 + 2.71X_2 \times X_5 + 1.30X_3 \times X_4 - 4.37X_3 \times X_5 + 4.7X_4 \times X_5 \quad (5)$$

## ۴- نتیجه‌گیری

از عوامل تأثیرگذار بر میزان آب تولیدی در یک آب‌شیرین‌کن پلکانی می‌توان به متغیرهای دبی ورودی آب‌شور، جنس پارچه، رنگ

## ۷- مراجع

- productivity using iron, zinc and copper trays. *Solar Energy*, Vol. 216, pp. 295-302, 2021.
- [21] Essa F.A., Abdullah A.S., Omara Z.M., Kabeel A.E. and Gamiel, Y., Experimental study on the performance of trays solar still with cracks and reflectors. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 188, p. 116652, 2021.
- [۲۲] خانمحمدی ش. و خانجانی س.، مطالعه تجربی اثر تولید بخار سرد فراصوتی بر بهبود عملکرد آب شیرین کن استخری خورشیدی با استفاده از فناوری برداشت از مه. *مجله مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز*، د. ۵۲، ش. ۱، ص ۲۵۷-۲۶۶، ۱۴۰۱.
- [23] Qiblawey H.M and Banat F., Solar thermal desalination technologies, *Desalination*, Vol. 220, Issue 1-3, pp. 633-644, 2008.
- [1] Aggarwal S. and Tiwari G.N., Convective mass transfer in a double-condensing chamber and a conventional solar still. *Desalination*, Vol. 115, Issue 2, pp. 181-188, 1998.
- [2] Tiwari G.N., Thomas J.M. and Khan E., Optimisation of glass cover inclination for maximum yield in a solar still. *Heat Recovery Systems and CHP*, Vol. 14, Issue 4, pp. 447-455, 1994.
- [3] Hamdan M.A., Musa A.M. and Jubran B.A., Performance of solar still under Jordanian climate. *Energy conversion and management*, Vol. 40, Issue 5, pp. 495-503, 1999.
- [4] Al-Hinai H., Al-Nassri M.S. and Jubran B.A., Parametric investigation of a double-effect solar still in comparison with a single-effect solar still. *Desalination*, Vol. 150, Issue 1, pp. 75-83, 2002.
- [5] Moustafa S.M., Brusewitz G.H. and Farmer D.M., Direct use of solar energy for water desalination. *Solar Energy*, Vol. 22, Issue 2, pp. 141-148, 1979.
- [6] Rajvanshi A.K., Effect of various dyes on solar distillation. *Solar energy*, Vol. 27, Issue 1, pp. 51-65, 1981.
- [7] Lawrence S.A., Gupta S.P. and Tiwari G.N., Experimental validation of thermal analysis of solar still with dye. *International journal of solar energy*, Vol. 6, Issue. 5, pp. 291-305, 1988.
- [8] Tiwari A.K. and Tiwari G.N., Effect of water depths on heat and mass transfer in a passive solar still: in summer climatic condition. *Desalination*, Vol. 195, Issue 1-3, pp. 78-94, 2006.
- [9] Morad M.M., El-Maghawry H.A. and Wasfy K.I., Improving the double slope solar still performance by using flat-plate solar collector and cooling glass cover. *Desalination*. Vol. 373, pp. 1-9, 2015
- [10] Kabeel A.E., Khalil A., Omara Z.M. and Younes M.M., Theoretical and experimental parametric study of modified stepped solar still. *Desalination*, Vol. 289, pp. 12-20, 2012.
- [11] Farshchi Tabrizi F., Dashtban M., Moghaddam H. and Razzaghi K., Effect of water flow rate on internal heat and mass transfer and daily productivity of a weir-type cascade solar still. *Desalination*, Vol. 260, Issue 1-3, pp. 239-247, 2010.
- [12] Nematollahi F., Rahimi A. and Gheinani T.T., Experimental and theoretical energy and exergy analysis for a solar desalination system. *Desalination*, Vol. 317, pp. 23-31, 2013.
- [13] Rashidi S., Rahbar N., Valipour M.S. and Esfahani J.A., Enhancement of solar still by reticular porous media: experimental investigation with exergy and economic analysis. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 130, pp. 1341-1348, 2018.
- [14] Vafaie M., Barzgarmezhad M., Arbabi A., Shakib E. and Ghafurian M.M., Experimental study and economic evaluation of a cascade solar water desalination unit in various conditions. *Amirkabir Journal of Mechanical Engineering*, Vol. 52, Issue 6, pp. 1513-1530, 2018.
- [15] El-Samadony Y.A.F., El-Maghlany W.M. and Kabeel A.E., Influence of glass cover inclination angle on radiation heat transfer rate within stepped solar still. *Desalination*, Vol. 384, pp. 68-77, 2016.
- [۱۶] گشایشی ح.، ادیبی طوسی س.، رستمی م. و جعفری ا.، بررسی آزمایشگاهی اثر شیب پوشش شیشه‌ای با سطوح تخت و محدب صفحه جاذب در بازدهی آب شیرین کن خورشیدی. *مجله مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز*، د. ۵۱، ش. ۱، ص ۱۹۹-۲۰۷، ۱۴۰۰.
- [۱۷] گجکاران آ. و جدا ف.، طراحی و بهینه‌سازی یکپارچه آب شیرین کن خورشیدی با ذخیره‌سازی انرژی گرمایی به کمک مواد تغییر فاز دهنده. *مجله مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز*، د. ۴۹، ش. ۱، ص ۲۳۵-۲۴۴، ۱۳۹۸.
- [۱۸] گشایشی ح.، ادیبی طوسی س.، رستمی م. و جعفری ا.، تحقیق آزمایشگاهی جهت بهبود بازدهی آب شیرین کن خورشیدی پلکانی با استفاده از پارافین / اکسید گرافن. *مجله مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز*، د. ۵۱، ش. ۲، ص ۲۶۹-۲۷۳، ۱۴۰۰.
- [۱۹] گشایشی ح. و ادیبی طوسی س.، بررسی آزمایشگاهی آب شیرین کن خورشیدی پلکانی همراه با چگالنده خارجی و منبع ذخیره انرژی گرمایی. *مجله مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز*، د. ۵۰، ش. ۳، ص ۱۹۵-۲۰۳، ۱۳۹۹.
- [20] Attia M.E.H., Kabeel A.E., Abdelgaied M., Essa F.A. and Omara, Z.M., Enhancement of hemispherical solar still