

# بررسی عددی عملکرد آب شیرین کن خورشیدی حاوی نانو ائروسول های مغناطیسی تحت اثر میدان سیم پیچ مغناطیسی

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران،  
 moa.bazargan@gmail.com

سجاد محمدی بازرگانی

دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران، s.yekani@uut.ac.ir

صابر یکانی مطلق\*

## چکیده

امروزه بحران آب در بیشتر نقاط جهان دیده می‌شود و به همین دلیل تولید آب تازه و قابل شرب یکی از مهم‌ترین عوامل مقابله با به خطر انداختن سلامتی انسان‌ها در چند دهه اخیر محسوب می‌شود. آب شیرین کن های خورشیدی یکی از ساده‌ترین و در دسترس‌ترین ابزار های موجود برای تولید آب شرب می‌باشند، ولی متأسفانه بدلیل بهره‌وری پایین نمی‌توان از آنها برای رفع نیاز روزانه آب شرب استفاده کرد. هدف از انجام این تحقیق افزایش بهره‌وری و بهبود عملکرد آب شیرین کن خورشیدی سنتی با استفاده از تزریق ذرات نانو ائروسول و ایجاد میدان مغناطیسی توسط سیم پیچ می‌باشد. برای شبیه سازی کار حاضر معادلات پیوستگی، مومنتوم، انرژی و غلظت به روش حجم محدود گسسته حل شده‌اند. بدین منظور کد عددی به زبان ++C شی‌گرا جهت حل جریان هوای مرطوب حاوی نانو ائروسول های مغناطیسی توسعه یافته است و تاثیر حضور نانو ائروسول مغناطیسی در میدان مغناطیسی بر الگوی جریان هوای مرطوب داخل آب شیرین کن و میزان تولید آب شیرین بررسی شده است. نتایج بدست آمده نشان دهنده افزایش میزان تولید آب شیرین تا ۲۳۸٪ می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** نانو ائروسول، نانوذرات، آب شیرین کن، انرژی خورشیدی، سیم پیچ مغناطیسی، نیروی مغناطیسی.

## Numerical study of the performance of solar still containing magnetic nano-aerosols under the effect of solenoid magnetic field

**S. Mohammadi Bazargani**

Department of Mechanical Engineering, Urmia University of Technology, Urmia, Iran

**S. Yekani Motlagh**

Department of Mechanical Engineering, Urmia University of Technology, Urmia, Iran

### Abstract

Today, the water crisis has been issued in most parts of the world and for this reason, the production of fresh and potable water is one of the most important and considerable factors to deal with endangering human health in the last few decades. Solar water stills are one of the simplest and most available tools for purifying and producing drinking water, but unfortunately, due to their low efficiency they cannot be used to produce the daily needs of water. The purpose of the research is to increase productivity and improve the performance of the traditional solar water stills by injecting nano aerosol particles and creating a magnetic field by a solenoid. To simulate the present work, the equations of continuity, momentum, energy and concentration have been solved by finite volume method and for this purpose, a numerical code in ++C language has been developed to solve the humid air flow containing magnetic nano-aerosols. The effect of the presence of magnetic nano-aerosol in the magnetic field on the humid air flow pattern inside the desalinated water and the amount of desalinated water production are investigated. The results show an increase in the amount of drinkable water production up to 238%.

**Keywords:** Nano-Aerosol, Nano Particles, Solar Stills, Solar Energy, Solenoid, Magnetic Force.

### ۱- مقدمه

آب - انرژی - مواد غذایی بزرگترین چالش های جامعه جهانی در دهه‌های پیش رو است. همه فعالیت‌های انسانی و استفاده‌های شخصی به آب شیرین وابسته است. طبق اعلام سازمان بهداشت جهانی ۲۹٪ از جمعیت جهان در سال ۲۰۲۰ به آب آشامیدنی سالم دسترسی نداشتند و با توجه به اینکه بیشتر منابع آب شیرین موجود در طبیعت برای مصارف کشاورزی و صنعتی استفاده می‌شود تا سال ۲۰۲۵، ۵۰ درصد از جمعیت جهان در شرایط تنش آبی خواهند بود [۱]. منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، انرژی باد، انرژی زمین گرمایی<sup>۱</sup>، انرژی زیست توده<sup>۲</sup> [۲] و انرژی اقیانوس [۳] اثرات مخرب

کمتری بر محیط زیست نسبت به انرژی حاصل از سوخت فسیلی به جا می‌گذارند. در این میان، انرژی خورشیدی با توجه به در دسترس بودن، تمیزی و سایر مزایا جذاب ترین انرژی تجدیدپذیر است. آب شیرین‌کن‌های خورشیدی متداول یکی از ساده‌ترین و اقتصادی‌ترین روش‌های نمک زدایی و تولید آب شیرین جهت مصارف آشامیدنی می‌باشند. متأسفانه آب شیرین کن های متداول علی‌رغم مزیت‌های فراوانی که دارند، معمولاً دارای عملکرد نسبتاً پایینی هستند. از همین رو تحقیقات تجربی و عددی بسیار زیاد و قابل توجهی در راستای افزایش عملکرد این سیستم‌ها صورت گرفته است. کابیل و همکاران (۲۰۱۷) [۴] به بررسی تحلیلی آب شیرین‌کن با چگالنده خارجی که در آن از نانو سیال استفاده شده پرداخته‌اند. در

<sup>۱</sup> Geothermal Energy

<sup>۲</sup> Biomass Energy

تحقیقات مذکور از نانو ذرات<sup>۱</sup> اکسید مس<sup>۲</sup> و اکسید آلومینیوم<sup>۳</sup> با کسر جرمی ۲ تا ۳ درصد استفاده شده و پارامتر اصلی مورد بررسی میزان تولید روزانه بوده است. نتایج نشان دهنده بازده روزانه ۸۴٪ و ۷۳٪ به ترتیب برای اکسید مس و اکسید آلومینیوم می‌باشد.

در مقاله عددی رشیدی و همکاران (۲۰۱۸) [۵] به بهینه سازی و افزایش بهره‌وری با استفاده از نانو سیال در آب شیرین کن آبشاری پرداخته شد. نتیجه این تحقیق نشان دهنده افزایش عملکرد دستگاه تولید آب تا ۲۲ درصد می‌باشد.

شبهه سازی جریان نانو سیال و میزان تولید آنروپی در دستگاه آب شیرین کن تک شیب در مقاله عددی دیگری از رشیدی و همکاران (۲۰۱۸) [۶] بررسی گردید. در کسر حجمی‌های ۰ تا ۵ درصد نانو ذرات عملکرد دستگاه تا ۲۵٪ افزایش می‌یابد و میزان عدد ناسلت میانگین تا ۱۸٪ افزایش پیدا می‌کند.

نارویی و همکاران (۲۰۱۸) [۷] به بررسی تجربی و عددی آب شیرین کن خورشیدی پله‌ای با گردآور خورشیدی گرمایی<sup>۴</sup> پرداخته‌اند. تحقیق مذکور بر میزان آب تولیدی، بازده انرژی و توان الکتریکی خروجی متمرکز می‌باشد. نتایج نشان داده‌اند که برای مقدار مشخصی از مساحت پی وی تی<sup>۵</sup> و دبی آب شور، حداکثر بهره‌وری انرژی وجود خواهد داشت.

گشایشی و همکاران (۱۳۹۸) [۸] آب شیرین کن خورشیدی پلکانی همراه با چگالنده خارجی و منبع ذخیره انرژی گرمایی را به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق مدت زمان شیرین سازی آب در طی روز با استفاده از ماده تغییر فاز دهنده افزایش می‌یابد و همچنین فن استفاده شده باعث افزایش آهنگ تولید آب بوسیله جلوگیری از بازگشت بخار آب به داخل آب شور می‌شود.

ال کوز و همکاران (۲۰۱۸) [۹] در زمینه افزایش انتقال گرما از طریق نانو ائروسول‌ها تحقیقاتی را انجام دادند. در این بررسی ال کوز و همکاران بر روی مطالعه عددی نحوه افزایش انتقال گرما در ورودی لوله‌ها با استفاده از ذرات اکسید آلومینیوم-هوا تحقیقاتی انجام دادند. بر طبق نتایج عددی مشخص می‌گردد که با افزایش عدد ناسلت، سرعت لغزش و جهش دما در مرزها افزایش خواهد یافت و میانگین عدد ناسلت کاهش می‌یابد و با افزایش عدد رینولدز، عدد ناسلت نیز افزایش می‌یابد. بر طبق نتایج این تحقیق، افزایش کسر حجمی نانو ذرات تا ۰/۰۳ تاثیر آنچنانی بر روی مشخصه‌های انتقال گرما ندارد، ولی با افزایش کسر حجمی نانو ذرات، عدد ناسلت میانگین افزایش قابل توجهی دارد.

هدایتی و همکاران (۲۰۲۰) [۱۰] به ارزیابی عملکرد آب شیرین کن خورشیدی دو محفظه‌ای<sup>۶</sup> متصل به سلول خورشیدی گرمکن دار<sup>۷</sup> و دارای مواد تغییر فاز دهنده<sup>۸</sup> پرداخته‌اند. گردآور<sup>۹</sup> میزان

تولید آب شیرین را بوسیله پیش گرم کردن آب تغذیه در زمان روز و در حضور آفتاب بهبود می‌بخشد و استفاده از مواد تغییر فاز دهنده امکان تولید آب شیرین در شب را فراهم می‌کند.

کاویتی و همکاران (۲۰۲۱) [۱۱] از آهنربا دائم در سایزهای مختلف برای افزایش میزان آب تولیدی استفاده کردند. نتایج نشان دهنده افزایش میزان تولید آب شیرین تا ۴۲/۲۵ درصد برای قویترین آهنربای مورد آزمایش گرفته است. دلیل این افزایش میزان تولید تاثیر میدان مغناطیسی بر کاهش کشش سطحی آب عنوان شده است.

گشایشی و همکاران (۱۴۰۰) [۱۲] به بررسی تجربی اثر استفاده از پارافن اکسید گرافن در آب شیرین کن‌های خورشیدی پلکانی در بهبود عملکرد دستگاه پرداختند. در این تحقیق بازده آب شیرین کن به طور متوسط ۰/۲۵٪ افزایش داشت.

خادانگا و همکاران (۲۰۲۲) [۱۳] بررسی تحلیلی بر روی ویژگی‌های انتقال گرما همرفتی نانو ائروسول SiO<sub>2</sub>-هوا در داخل یک لوله را انجام دادند. در مقاله مذکور توزیع دما بر حسب مقیاس زمانی در نانو ذرات SiO<sub>2</sub>، برهمکنش ذره به ذره از طریق رسانش و نانو ذرات به هوا توسط تابش مورد مطالعه قرار گرفته است.

بوچانوا و همکاران (۲۰۲۲) [۱۴] از سیال حاوی انواع مختلف نانو ذرات فلزی برای افزایش بهره‌وری آب شیرین کن‌های سنتی استفاده کردند. افزایش بهره‌وری به ترتیب برای نانو ذره‌های طلا، نقره و مس ۲/۲۸٪، ۱/۱۹٪ و ۲/۲۲٪ می‌باشد.

امیری (۱۴۰۱) [۱۵] در تحقیق آزمایشگاهی عملکرد آب شیرین کن خورشیدی شیب‌دار بهبود یافته را مورد بررسی قرار داده‌اند. با بهبود طراحی آب شیرین کن میزان آب تولیدی ۱/۲۷٪ افزایش داشته است.

ادیبی طوسی و همکاران (۱۴۰۲) [۱۶] به ارزیابی آزمایشگاهی آب شیرین کن خورشیدی پلکانی همراه با نانو مواد تغییر فازدهنده تحت میدان مغناطیسی پرداختند. اکسید آهن Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> نانو ذره غالب در نانو مواد تغییر فاز دهنده ترکیبی<sup>۱۱</sup> استفاده شده در این طرح می‌باشد. استفاده از این طرح منجر به افزایش ۹۸ درصدی میزان تولید آب شیرین نسبت به آب شیرین کن‌های ساده پلکانی می‌شود.

فروردین و یکانی (۲۰۲۴) [۱۷] اثرات ورود هوا به داخل آب شیرین کن در سرعت و زاویه‌های مختلف را مورد بررسی قرار دادند. بر طبق نتایج این تحقیق امکان افزایش میزان تولید آب شیرین تا ۲/۶۴٪ برای سرعت ورودی هوای ۹ متر بر ثانیه وجود دارد.

اکسیژن موجود در هوای محیط دارای خاصیت مغناطیسی می‌باشد و تحقیقات بسیاری در زمینه استفاده از این خاصیت صورت گرفته است.

در رابطه با تاثیر نیروی مغناطیسی بر روی اکسیژن موجود در هوای داخل آب شیرین کن، مهدی‌زاده و همکاران [۱۸] در سال ۲۰۲۱ شبهه سازی عددی انجام دادند. در این مطالعه از میدان مغناطیسی ناشی از لنز مغناطیسی برای اعمال نیروی کلون بر مولکول‌های اکسیژن موجود در هوای مرطوب داخل آب شیرین کن استفاده شده است. در مقاله مهدی‌زاده اثر قدرت لنز مغناطیسی و مختصات محل

<sup>1</sup> Nano-Particles

<sup>2</sup> CuO

<sup>3</sup> Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

<sup>4</sup> Photovoltaic Thermal Stepped Solar Still

<sup>5</sup> Photovoltaic Thermal (PVT)

<sup>6</sup> Basin-type double-slope solar still

<sup>7</sup> PVT collector

<sup>8</sup> Phase change materials

<sup>9</sup> Collector

<sup>10</sup> Nano phase change material

می‌باشد، به طوری که ارتفاع دیواره سمت راست، چپ و طول دیواره پایین به ترتیب  $0.1/0.48$  و  $0.1/0.98$  متر می‌باشند و دیواره‌های عمودی محفظه، عایق گرما و جرم می‌باشند. پوشش شیشه‌ای و دیواره پایین به ترتیب در دماهای  $T_g$  و  $T_w$  بوده و دارای غلظت های  $C_g$  و  $C_w$  هستند. مقادیر غلظت و دمای مذکور کاملا وابسته به زمان بوده و در طول روز تغییر می‌کنند. از همین رو برای بررسی آب شیرین کن در طول روز، مساله در ۵ زمان مشخص که در آن مقادیر  $T_g$  و  $T_w$  در جدول ۱ آورده شده‌اند، حل خواهد شد. همچنین غلظت روی دیواره‌های بالا و پایین با در نظر گرفتن رطوبت نسبی  $100\%$  در دما و فشار جزئی بخار آب در این دیواره‌ها محاسبه شده‌اند.

جدول ۱ پنج حالت بررسی شده به همراه شرایط اولیه را نشان می‌دهد. در مقاله پیش رو ضخامت فیلم مایع بسیار کم فرض شده است. به همین دلیل، دمای فیلم مایع با دمای دیواره پایین یکی فرض شده است.

جدول ۱- مشخصات موارد مد نظر مساله [۱۹]

	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
Time (hr)	12.5	14.53	16.47	17.49	19.42
$T_g$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	45.26	55.63	47.76	40.64	27.67
$T_w$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	53.10	64.20	56.33	48.48	32.96
$C_{v-g}$	0.0621	0.1064	0.0708	0.0483	0.0231
$C_{v-w}$	0.0935	0.1635	0.1103	0.0736	0.0314

### ۳- معادلات حاکم

برای حل معادلات حاکم بر مساله فرضیات ذیل در نظر گرفته شده‌اند:

- نانو ذرات کاملا کروی می‌باشند.
- ضخامت فیلم مایع بسیار کم می‌باشد.
- نانو ذرات بصورت کاملا همگن در هوای داخل آب شیرین کن پراکنده شده‌اند.
- خصوصیات فیزیکی نانو ائروسول در طی اجرای کد و انجام تحقیق ثابت می‌باشند.
- سیال قابل تراکم می‌باشد.
- تلفات لزجی ناشی از تغییرات دمایی در نظر گرفته نشده است.
- از اثرات تابشی ذره-هوا، ذره-ذره و ذره-دیوار صرف نظر شده است.

#### ۳-۱- محاسبه خواص نانو ائروسول

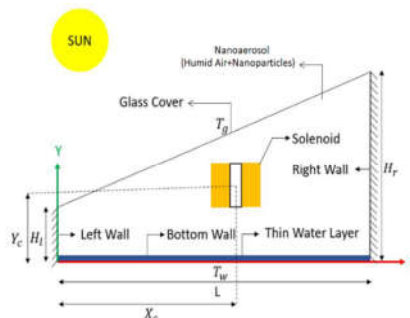
پژوهشگران در مطالعات مربوط به نانو سیالات فرمول‌هایی جهت محاسبه ویژگی‌های ترموفیزیکی<sup>۱</sup> توسعه داده‌اند. نانو ائروسول حاضر در مساله، ترکیبی از هوای خشک و بخار آب به عنوان سیال پایه<sup>۲</sup> و نانو ذرات می‌باشد. جهت محاسبه خواص نانو ائروسول ابتدا خواص هوای مرطوب (هوای خشک به همراه بخار آب حاصل از تبخیر آب شور) را بدست می‌آوریم. از طریق روابط ذیل چگالی، لزجت، گرمای ویژه و رسانایی گرمایی مساله بدست می‌آیند [۲۰].

قرارگیری لنز مغناطیسی بر روی میزان آب تولیدی و همین طور الگوی جریان مورد بررسی قرار گرفت. افزودن میدان مغناطیسی بواسطه اعمال نیروی کلون توسط لنز مغناطیسی بر مولکول‌های اکسیژن و تغییر الگوی جریان درون آب شیرین کن موجب افزایش عدد ناسلت و میزان آب شیرین تولیدی شده تا  $37/7\%$  درصد شده است. همانطور که از نتایج مقاله مهدی‌زاده مشخص می‌شود با اعمال میدان مغناطیسی بر آب شیرین کن خورشیدی مرسوم، مقدار تولید آب شیرین تا حدودی افزایش داشته است. ولی برای تولید این میزان آب شیرین نیازمند تولید میدان‌های مغناطیسی بسیار بزرگی می‌باشیم.

در تحقیق حاضر از نتایج مقاله مهدی‌زاده [۱۸] به عنوان ایده اولیه انجام این بررسی استفاده شده و با اضافه کردن نانو ذرات مغناطیسی به هوای داخل آب شیرین کن سنتی، اثرات نانو ائروسول‌های مغناطیسی بر عملکرد آب شیرین کن مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به اینکه خاصیت مغناطیس شونده‌گی هوای مرطوب کم است و برای افزایش بازده آب شیرین کن نیازمند تولید میدان‌های مغناطیسی بسیار قوی می‌باشیم که در عمل تولید این میدان‌ها نیازمند صرف هزینه بسیار زیادی است و استفاده از این روش هزینه های تولید آب شیرین را افزایش می‌دهد. بنا به این دلیل ایده اعمال میدان مغناطیسی بر نانو ائروسول حاوی نانو ذره مغناطیسی در آب شیرین کن برای اولین بار در تحقیق حاضر ارائه و استفاده شده است.

### ۲- هندسه مساله و شرایط مرزی

در مطالعه حاضر برای بررسی اثر نانو ائروسول  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -هوا در یک میدان مغناطیسی بر میزان تولید و بازده آب، از آب شیرین کن خورشیدی مرسوم استفاده شده است. در شکل ۱ طرحواره‌ای از آب شیرین کن در حضور لنز مغناطیسی به تصویر کشیده شده است. در ابتدا آب دریا وارد آب شیرین کن می‌شود و پس از شروع فرآیند تبخیر آب، بخار آب با هوای داخل ترکیب می‌شود. ترکیب حاصل از نانو ذره، هوا و بخار آب، نانو ائروسول مورد نیاز را تشکیل می‌دهد. در ادامه بدلیل فرآیندهای براونین، ترمو فورسیس و مگنتو فورسیس، نانو ائروسول در داخل محفظه به حرکت در می‌آید و با افزایش آهنگ انتقال گرما مقدار تبخیر آب افزایش می‌یابد که این افزایش آهنگ تبخیر منجر به تولید آب شیرین بیشتر می‌شود.



شکل ۱- طرحواره دو بعدی آب شیرین کن خورشیدی در حضور لنز مغناطیسی

برای امکان مقایسه نتایج با منابع معتبر، ابعاد هندسه مساله دقیقاً همان مقادیر استفاده شده در مقاله شواقفه و فرید (۱۹۹۵) [۱۹]

<sup>1</sup> Thermophysical

<sup>2</sup> Base fluid

### ۲-۳- نیروی مغناطیسی

یکی از پارامترهای اصلی در این مقاله میزان تاثیر پذیری سیالات موجود در درون آب شیرین کن از میدان مغناطیسی می‌باشد. برای سنجش و مقایسه این خاصیت از عدد  $\chi$  (قابلیت مغناطیس پذیری) استفاده می‌شود. مغناطیس شونده‌گی نانو سیال را می‌توان بصورت معادله (۱۴) برحسب شدت میدان مغناطیسی ( $M_M$ ) نوشت [۱۸]:

$$M_M = \chi H_M \quad (14)$$

در مطالعه حاضر برای محاسبه  $\chi$  از رابطه زیر استفاده شده است [۲۵]:

$$\chi = \frac{N_A g_L^2 \mu_B^2 s_i (s_i + 1) \mu_0}{3 k T_{mi}} \quad (15)$$

که در آن  $N_A = 0.022 \times 10^{23} [\frac{1}{mol}]$  و  $g_L = 2$  و  $\mu_B = 9.274 \times 10^{-24} [\frac{J}{T}]$  به ترتیب عدد آوگادرو،<sup>۳</sup> جی فاکتور لند<sup>۴</sup> و بوهر مگنتون<sup>۵</sup> می‌باشند.  $K = 1.38 \times 10^{-23} [\frac{J}{K}]$  ثابت بلتزنم<sup>۶</sup>،  $T$  دما و  $m_i$  جرم مولی جزء  $i$  می‌باشد. مومنوم زاویه ای کل الکترون اسپین با  $S_i$  تعریف شده است.

از همین رو مغناطیس پذیری مولکول‌های موجود در مساله حاضر یعنی اکسیژن، نیتروژن، آب و اکسید آهن (در فشار یک اتمسفر و دمای ۲۹۳ کلوین) در جدول ۳ گزارش شده اند.

جدول ۳- مغناطیس شونده‌گی مولکول‌های مساله [۲۶] و [۲۷]

مولکول	$\chi (m^3/kg)$
$O_2$	$+1.8028 \times 10^{-6}$
$N_2$	$-0.0063 \times 10^{-6}$
$H_2O$	$-0.0068 \times 10^{-6}$
$Air$	$+0.3736 \times 10^{-6}$
$Fe_3O_4$	$+0.5216 \times 10^{-3} \sim +0.5435 \times 10^{-3}$

همان طور که از جدول ۳ قابل تشخیص است از بین سیالات حاکم بر مساله فقط اکسیژن و نانو ذره  $Fe_3O_4$  خاصیت پارامغناطیسی<sup>۷</sup> دارند و مواد دیگر دیامغناطیس<sup>۸</sup> بوده و مقدار مطلق مغناطیس شونده‌گی شان نیز بسیار پایین و قابل صرف نظر است. مقدار مغناطیس شونده‌گی نانو ذره  $Fe_3O_4$  نیز به مراتب بیشتر از سایر مولکول‌های حاضر در مساله می‌باشد.

با توجه به این که در مساله حاضر منبع تولید میدان مغناطیسی لنز مغناطیسی توصیف شده در شکل ۱ می‌باشد، میدان مغناطیسی مذکور با روابط زیر قابل توصیف‌اند. برای لنز مغناطیسی [۲۸]:

$$\rho_h = \frac{\bar{P}}{RT} \left( \frac{M_a M_v}{W_v M_a + W_a M_v} \right) \quad (1)$$

$$\mu_h = \frac{(\sqrt{18} \mu_v x_v + \sqrt{29} \mu_a x_a)}{(\sqrt{18} x_v + \sqrt{29} x_a)} \quad (2)$$

$$C_p = (1 - W_v) C_{p,a} + W_v C_{p,v} \quad (3)$$

$$k_h = \frac{x_v k_v}{x_v + x_a A} + \frac{x_a k_a}{x_a + x_a A} \quad (4)$$

ضریب  $A$  که در فرمول رسانایی گرمایی ظاهر می‌گردد، از طریق معادله ذیل محاسبه می‌شود [۲۰]:

$$A = \frac{[0.8876(1 + \sqrt{k_v/k_a})]^2}{3.6} \quad (5)$$

در معادلات فوق  $M$ ،  $W$  و  $x$  به ترتیب بیانگر کسر جرمی، وزن ملکولی و کسر مولی و زیرنویس‌های  $a$  و  $v$  نشان دهنده هوای خشک، بخار آب و هوای مرطوب می‌باشند. مقادیر مربوط به لزجت دینامیکی و رسانایی گرمایی برای هوای خشک و بخار آب از طریق بسط چند جمله‌ای ذیل که توسط لاید و کیهیبیان [۲۱] برای دماهای ۲۷۳ تا ۶۰۰ کلوین توسعه یافته‌اند، بدست می‌آید:

$$\mu = A_1 T + A_2 T^2 + A_3 T^3 + A_4 T^4 \quad (6)$$

$$k = A_1 T + A_2 T^2 + A_3 T^3 + A_4 T^4 \quad (7)$$

خواص فیزیکی نانو ائروسول‌ها نیز پس از اعمال مقادیر بدست آمده از معادلات فوق در فرمول‌های (۱) تا (۴) [۲۲] بدست می‌آید:

$$\rho_{na} = (1 - \varphi) \rho_h + \varphi \rho_p \quad (8)$$

$$(\rho C_p)_{na} = (1 - \varphi) (\rho C_p)_h + \varphi (\rho C_p)_p \quad (9)$$

$$(\rho \beta)_{na} = (1 - \varphi) (\rho \beta)_h + \varphi (\rho \beta)_p \quad (10)$$

لزجت دینامیکی ترکیب نهایی نانو ائروسول از معادله برینکمن<sup>۱</sup> [۲۳] بدست می‌آید.

$$\mu_{na} = \frac{\mu_h}{(1 - \varphi)^{2.5}} \quad (11)$$

و در نهایت رسانایی گرمایی از معادله همیلتن - کراسر<sup>۲</sup> [۲۴] بدست می‌آید.

$$k_h = \frac{[k_p + (n-1)k_h - (n-1) \times (k_h - k_p)\varphi]}{k_p + (n-1)k_h + (k_h - k_p)\varphi} \quad (12)$$

$$(13)$$

در رابطه (۱۳)،  $\Psi$  بیانگر ضریب شکل نانو ذره و نشان دهنده میزان کروی بودن ذره می‌باشد. در مساله حاضر با توجه به فرض کروی بودن نانو ذره مقدار  $\Psi$  برابر با ۳ می‌باشد. در معادلات فوق مقادیر مربوط به خواص فیزیکی نانو ذره  $Fe_3O_4$  در جدول ۲ نشان داده شده‌اند.

جدول ۲- خواص فیزیکی نانو ذره

	$k (\frac{W}{mK})$	$C_p (\frac{J}{kgK})$	$\beta \times 10^{-5} (\frac{1}{K})$	$\rho (\frac{kg}{m^3})$	$d (nm)$
$Fe_3O_4$	6	670	1.3	5200	5

<sup>3</sup> Avogadro Number

<sup>4</sup> Lande's g-factor

<sup>5</sup> Bohr magneton

<sup>6</sup> Boltzmann constant

<sup>7</sup> Paramagnetic

<sup>8</sup> Diamagnetic

<sup>1</sup> Brinkman

<sup>2</sup> Hamilton & Crosser

### ۳-۴- تنظیمات عددی

در این مطالعه، معادلات مشتق جزئی حاکم بر مسئله به همراه شرایط مرزی با استفاده از روش عددی حجم محدود گسسته سازی شده‌اند. برای کوپل سرعت و فشار از الگوریتم SIMPLE استفاده شده است. در این معادلات گسسته سازی جملات پخش به روش اختلاف مرکزی مرتبه دوم و ترم های جابجایی با روش بالادست با دقت مرتبه دوم انجام گرفته است. روش گوس-سایدل برای حل دستگاه معادلات جبری حاصل از گسسته سازی معادلات انتخاب شده است. کاهش مقادیر باقیمانده تمامی معادلات بر اساس معیار همگرایی دستگاه معادلات کمتر از  $10^{-6}$  در نظر گرفته شده است. پارامتر دیگر در نظر گرفته شده عدم تغییر پارامترهای سرعت و دما با افزایش تکرار می‌باشد.

### ۴- مطالعه شبکه

برای اطمینان از اینکه نتایج عددی بدست آمده مستقل از تعداد المان‌های شبکه است، چهار شبکه‌بندی ساختار یافته متفاوت مورد ارزیابی قرار گرفت. جدول ۴ تاثیر تعداد المان‌های شبکه بر میزان آب تولیدی و عدد ناسلت متوسط را در مورد شماره ۲ و سیم پیچ با تعداد دور ۱۰۰۰۰ و کسر حجمی ۰/۰۵ و با نانو ذره  $Fe_3O_4$ ، برای آب شیرین‌کن تحت میدان لنز مغناطیسی را نشان می‌دهد.

جدول ۴- نتایج استقلال از شبکه برای آب شیرین‌کن تحت میدان لنز مغناطیسی

Mesh Number	$\dot{m}$	$Nu$
40×40	0.6777	61.22
80×80	0.9820	108.52
100×100	1.008	117.18
140×140	0.9869	118.35

در شکل ۲ تغییرات دمای هوای مرطوب و تغییرات کسر حجمی مربوط روی خط میانی به ازای چهار شبکه متفاوت و برای سیم پیچ مغناطیسی رسم شده است. ملاحظه می‌شود که با افزایش تعداد المان شبکه از ۱۰۰ در ۱۰۰ به ۱۴۰ در ۱۴۰ تغییر محسوسی در نتایج بوجود نمی‌آید و روند تغییرات دما و کسر حجمی کمابیش ثابت می‌ماند و مستقل از شبکه رفتار می‌کنند. همین روند در جدول ۳ نیز قابل مشاهده است. جدول ۴ نشان دهنده تغییرات تولید آب شیرین و عدد بی‌بعد ناسلت میانگین با افزایش تعداد المان هر شبکه می‌باشد. ملاحظه می‌شود که با افزایش تعداد المان شبکه از ۱۰۰ در ۱۰۰ به ۱۴۰ در ۱۴۰ تغییر محسوسی در مقادیر  $\dot{m}$  و عدد ناسلت مشاهده نمی‌شود.

$$H_y(y) \approx \frac{\mu_{na}NI}{4} \left( \frac{(R_{sq} + c)^2}{(y^2 + (R_{sq} + c)^2)^{3/2}} + \frac{(R_{sq} - c)^2}{(y^2 + (R_{sq} - c)^2)^{3/2}} \right) \quad (16)$$

که در آن  $R_{sq}$  و  $e$ ، به شکل زیر تعریف می‌شوند:

$$R_{sq} = R_m \left( 1 + \left( \frac{a^2}{24R_m^2} \right) \right) \quad (17)$$

$$c^2 = \frac{b^2 - a^2}{12} \quad (18)$$

در کار حاضر از مولفه شعاعی میدان مغناطیسی درون لنز مغناطیسی صرف نظر شده است. همچنین با توجه به تراکم پایین شدت میدان مغناطیسی در بیرون لنز نسبت به هسته آن، فقط میدان ناحیه درونی وارد محاسبات شده است.

در نهایت نیروی مغناطیسی وارده بر نانو اثرول در داخل آب شیرین‌کن از رابطه (۱۹) بدست می‌آید. جمله مذکور نیروی کلوبین نامیده می‌شود و رابطه مستقیم با شدت میدان مغناطیسی و همچنین گرادیان میدان مغناطیسی دارد.

$$F_{Kevlin} = \mu_0 M_M \nabla H \quad (19)$$

### ۳-۳- معادلات اساسی حاکم

در آب شیرین‌کن خورشیدی، با هندسه توصیف شده در شکل ۱، جریان دو بعدی، پایا و لایه‌ای فرض شده و همچنین دمای دیواره‌های بالا و پایین در مقادیر ثابت  $T_w$  و  $T_g$  بوده و دیواره‌های جانبی عایق فرض شده‌اند. سیال هوای مرطوب تراکم ناپذیر و گاز ایده‌آل با خصوصیات فیزیکی متغیر با دما در نظر گرفته شده و تلفات لزجت ناچیز فرض شده است.

با فرضیات بالا، معادلات حاکم که شامل معادلات پیوستگی، مومنوم، انرژی و معادله غلظت می‌باشد، به شکل زیر خواهند بود [۲۹]:

$$\nabla \cdot \vec{v} = 0 \quad (19)$$

$$\rho(\vec{v} \cdot \nabla \vec{v}) = -\nabla P + \nabla \cdot (\mu_{na} \nabla \vec{v}) + \rho \beta_t (T - T_g) g + \rho \beta_c (C_v - C_{vg}) g + F_{Kevlin} \quad (20)$$

$$\rho C_p \vec{v} \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k \nabla T) \quad (21)$$

$$\vec{v} \cdot \nabla C_v = \nabla \cdot (D_{AB} \nabla C_v) \quad (22)$$

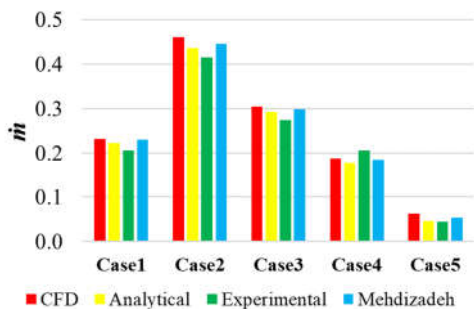
که در روابط فوق  $V$  نمایاگر سرعت،  $P$  فشار،  $\beta_t$  و  $\beta_c$  ضرایب انبساطی حجمی گرمایی و غلظتی و  $D_{AB}$  نشان‌دهنده ضریب نفوذ جرم می‌باشد.

در این مقاله از روابط ذیل برای محاسبه عدد ناسلت و میزان آب شیرین تولیدی استفاده شده است.

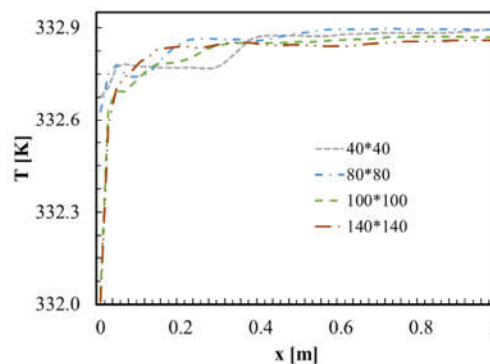
$$Nu = \frac{-1}{(T_w - T_g)} \int_0^L \frac{\partial T}{\partial y} dx \quad (23)$$

$$\dot{m} = \frac{-3600 \times D_{AB} \times \rho}{L} \int_0^L \frac{\partial C}{\partial y} dx \quad (24)$$

برای محاسبه جملات انتگرال نمایان شده در معادلات فوق از روش انتگرال گیری عددی با استفاده از قاعده ذوزنقه استفاده شده است.



شکل ۳- میزان تولید آب شیرین و مطالعه تحلیلی دانکل [۳۰]، تحقیق تجربی شواقفه و فرید [۱۹] و مقاله مهدی زاده [۱۸]



شکل ۲- پروفیل دما بر روی خط میانی هندسه برای شبکه بندی های مختلف

## ۲-۵- عملکرد سیستم در غیاب میدان مغناطیسی و در

### حضور نانو ائروسول

در این بخش میزان آهنگ تیخیر آب از سطح سیال در غیاب میدان مغناطیسی و در حضور نانو ائروسول را مورد بررسی قرار می دهیم. استفاده از نانو سیال ها در بهبود عملکرد آب شیرین کن قبلا طی تحقیقات زیادی به اثبات رسیده است [۳۱]. ولی تا کنون از نانو ائروسول ها در هیچ یک از تحقیقات مربوط به آب شیرین کن استفاده نشده است. برای متوجه شدن میزان اثر گذاری نانو ائروسول بر آهنگ تولید آب شیرین کن، کد برای کسر حجمی های متفاوت از نانو ائروسول  $Fe_3O_4$  اجرا گردید و نتایج حاصل با نتایج منتج در بخش قبلی مقاله مقایسه گردید.

جداول ۵ و ۶ و نمودارهای ۴ و ۵ نشان دهنده مقایسه آهنگ آب شیرین تولیدی و میانگین عدد ناسلت در حالت های حضور و عدم حضور نانو ائروسول و بدون اعمال میدان مغناطیسی هستند.

جدول ۵- آهنگ تولید آب شیرین بر حسب کسر حجمی های مختلف

$\dot{m}$	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
$\varphi=0.00$	0.23	0.46	0.30	0.19	0.06
$\varphi=0.02$	0.21	0.41	0.34	0.16	0.07
$\varphi=0.05$	0.20	0.40	0.34	0.15	0.07
$\varphi=0.08$	0.21	0.39	0.34	0.15	0.07

جدول ۶- عدد ناسلت میانگین بر حسب کسر حجمی های مختلف

$Nu$	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
$\varphi=0.00$	27	29	28	26	16
$\varphi=0.02$	50	55	65	45	39
$\varphi=0.05$	62	71	82	57	48
$\varphi=0.08$	74	81	90	62	53

با توجه به مطالب ذکر شده شبکه بندی مورد استفاده در این مطالعه  $100 \times 100$  انتخاب شده است.

## ۵- نتایج

هدف کلی این مقاله که در این بخش به نتایج حاصله پرداخته خواهد شد، بررسی و شناخت اثرات نانو ائروسول ها در بهبود عملکرد آب شیرین کن خورشیدی مرسوم خواهد بود. طرح پیشنهادی سعی در شناخت اثرات مغناطیس شونده نانو ائروسول ها دارد. در مقاله حاضر اثرات میدان مغناطیسی که توسط آهن ربای سلونوئید<sup>۱</sup> ایجاد شده است، در درصد حجمی های مختلف نانو ائروسول  $Fe_3O_4$  بر افزایش میزان تولید آب شیرین مورد بررسی قرار گرفت که نتایج بدست آمده در این بخش ارائه می گردد.

### ۵-۱- اعتبار سنجی

برای اطمینان از صحت نتایج عددی، مقایسه ای با نتایج تجربی شواقفه و فرید [۱۹]، کار تحلیلی دانکل [۳۰] و مقاله عددی مهدی زاده [۱۸] انجام گرفت. برای انجام مقایسه، نتایج حاصل در حالت بدون اعمال اثرات نیروی مغناطیسی و نانو ائروسول، با نتایج مقاله های فوق الذکر انجام پذیرفت.

در شکل ۳ میزان آب تولیدی در موردهای مختلف بدست آمده و نتایج عددی حاضر با مقادیر تجربی و تحلیلی مقایسه شده اند. همانگونه که ملاحظه می شود نتایج بدست آمده تطابق خوبی با نتایج حاصل از تحقیقات تجربی، تحلیلی و عددی انجام یافته قبلی دارد و میزان آب شیرین بدست آمده در حالت بدون اعمال میدان مغناطیسی و عدم حضور نانو ائروسول، تقریبا مشابه تحقیقات قبلی است.

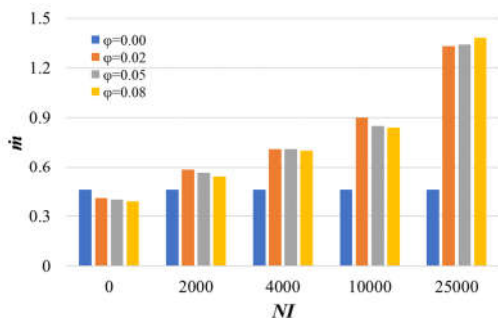
<sup>۱</sup> solenoid

جدول ۸- میزان تولید آب شیرین در مورد ۲

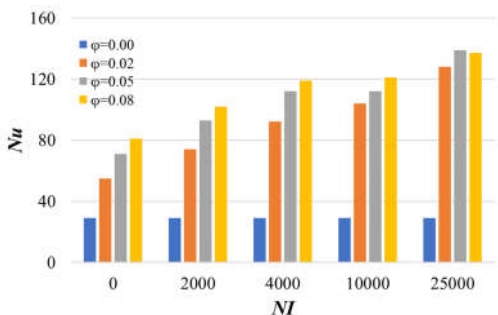
$ni$					
NI	0	2,000	4,000	10,000	25,000
$\phi=0.00$	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46
$\phi=0.02$	0.41	0.58	0.71	0.90	1.33
$\phi=0.05$	0.40	0.56	0.71	0.85	1.34
$\phi=0.08$	0.39	0.54	0.7	0.84	1.38

جدول ۹- مقادیر عدد ناسلت میانگین در مورد ۲

$Nu$					
NI	0	2,000	4,000	10,000	25,000
$\phi=0.00$	29	29	29	29	29
$\phi=0.02$	55	74	92	104	128
$\phi=0.05$	71	93	112	112	139
$\phi=0.08$	81	102	119	121	137



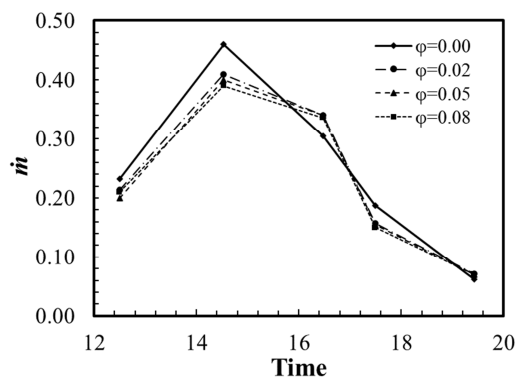
شکل ۶- تغییرات تولید آب شیرین بر حسب کسر حجمی‌های مختلف در مورد ۲



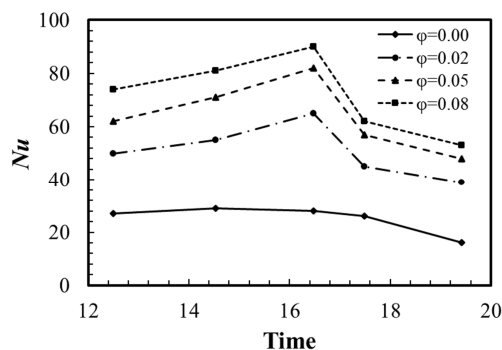
شکل ۷- تغییرات عدد ناسلت میانگین بر حسب کسر حجمی‌های مختلف در مورد ۲

جدول ۱۰- میزان تولید آب شیرین در مورد ۵

$ni$					
NI	0	2,000	4,000	10,000	25,000
$\phi=0.00$	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46
$\phi=0.02$	0.41	0.58	0.71	0.90	1.33
$\phi=0.05$	0.40	0.56	0.71	0.85	1.34
$\phi=0.08$	0.39	0.54	0.7	0.84	1.38



شکل ۴- تغییرات تولید آب شیرین برای کسر حجمی‌های مختلف



شکل ۵- تغییرات عدد ناسلت میانگین برای کسر حجمی‌های مختلف

همانطور که از جدول‌ها و نمودارهای فوق استنتاج می‌شود، زمانی که ذرات نانو در قالب نانو ائروسول به سیستم اضافه می‌گردند تغییرات زیادی در میزان تولید آب شیرین مشاهده نمی‌گردد. بیشترین کاهش مقدار آب شیرین تولیدی در مورد دوم ۷ درصد و بیشترین مقدار افزایش تولید ۴ درصد در مورد ۳ می‌باشد.

ولی تغییرات مقدار میانگین عدد ناسلت با افزایش کسر حجمی نانو ذره به طور پیوسته افزایش می‌یابد که این عامل نشان دهنده میزان بالاتر انتقال گرما همرفتی نسبت به انتقال گرما رسانشی می‌باشد که با افزایش غلظت نانو ذره این مقدار بیشتر نیز می‌گردد.

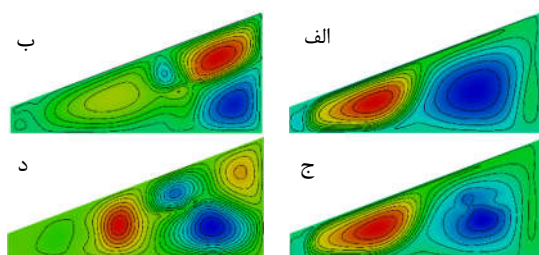
### ۳-۵- عملکرد سیستم با اعمال میدان مغناطیسی و در حضور نانو ائروسول

در مرحله بعدی این پژوهش با اعمال میان مغناطیسی بر روی سیستم سعی می‌کنیم تاثیر حضور این دو پدیده را بر نحوه انتقال گرما و افزایش راندمان دستگاه آب شیرین کن را بررسی می‌نماییم. همانطور که در بخش‌های پیشین این تحقیق به آن اشاره شد، در این مساله از ۵ حالت مختلف برای بررسی رفتار نانو ائروسول تحت میدان مغناطیسی غیر یکنواخت استفاده شده است. جدول‌های ۸ تا ۱۱ و شکل‌های ۶ تا ۹ میزان تولید آب در میدان‌های مغناطیسی با شدت‌های متفاوت برای موارد ۲ و ۵ را نشان می‌دهند.

جدول ۱۱- میانگین عدد ناسلت در مورد ۵

<i>Nu</i>					
NI	0	2,000	4,000	10,000	25,000
$\varphi=0.00$	29	29	29	29	29
$\varphi=0.02$	55	74	92	104	128
$\varphi=0.05$	71	93	112	112	139
$\varphi=0.08$	81	102	119	121	137

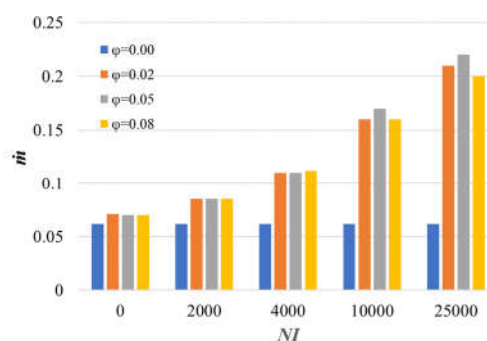
تعداد دور سیم پیچ به ۱۰۰۰۰۰ دور، میزان افزایش تولید آب معادل استفاده از سیم پیچ با تعداد دور ۲۰۰۰ و در حضور نانو اتروسول می‌باشد. به عبارت دیگر بدون استفاده از نانو اتروسول برای رسیدن به افزایش تولید ۵۵ درصدی می‌بایست تعداد دور سیم پیچ را حداقل ۵۰ برابر نسبت به حالت استفاده از نانو اتروسول افزایش دهیم. در ادامه جهت بررسی دقیق‌تر نتایج حاصل، کنتورهای دما، کسر حجمی و تابع جریان برای کسر حجمی‌های متفاوت و برای مورد ۲ نشان داده شده‌اند.



شکل ۱۰- کنتور تابع جریان مورد ۲

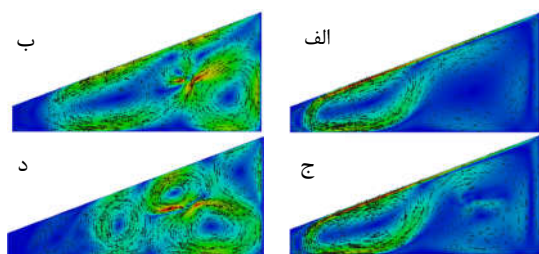
الف)  $NI=4000, \varphi=0$  ب)  $NI=4000, \varphi=0.05$

ج)  $NI=25000, \varphi=0$  د)  $NI=25000, \varphi=0.05$



شکل ۸- تغییرات تولید آب شیرین بر حسب کسر حجمی‌های

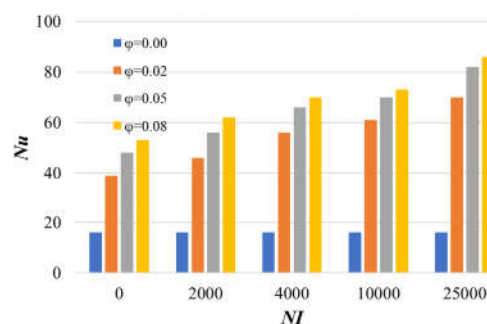
مختلف در مورد ۵



شکل ۱۱- بردارهای سرعت مورد ۲

الف)  $NI=4000, \varphi=0$  ب)  $NI=4000, \varphi=0.05$

ج)  $NI=25000, \varphi=0$  د)  $NI=25000, \varphi=0.05$



شکل ۹- تغییرات عدد ناسلت میانگین بر حسب کسر حجمی‌های

مختلف در مورد ۵

همانطور که از شکل‌های ۱۰ و ۱۱ مشخص می‌گردد با اضافه کردن نانو ذره مغناطیسی به هوای مرطوب سیستمی که تحت تاثیر میدان مغناطیسی می‌باشد، تعداد گردابه‌های سیستم افزایش می‌یابد که منجر به گردش بهتر هوای داخل آب شیرین‌کن می‌شود و در نتیجه میزان تبخیر فیلم آب زیادتر شده و در نهایت آب شیرین بیشتری تولید می‌گردد.

همانطور که نتایج نهایی نشان می‌دهد تاثیر اصلی حضور نانو ذرات بر پارامترهای مولکولی مانند لزجت و رسانایی گرمایی می‌باشد. ولی زمانی که میدان مغناطیسی اعمال می‌شود و به طبع آن نیروی کلونین بر سیال حاوی نانو ذرات مغناطیسی اعمال می‌شود، الگوی جریان ناشی از این نیروی خارجی تغییر می‌یابد و مکانیزم انتقال<sup>۱</sup> باعث افزایش میزان آب تولیدی و ناسلت میانگین می‌گردد.

نمودارهای میله‌ای فوق نشان دهنده تاثیر فوق العاده زیاد نانو ذره‌های مغناطیسی در یک میدان مغناطیسی غیر یکنواخت بر افزایش میزان تولید آب شیرین نسبت به دستگاه‌های آب شیرین‌کن مرسوم می‌باشد. همانگونه که در بخش قبل ذکر گردید در حالت بدون اعمال میدان مغناطیسی نانو ذره نقش چندانی موثری در افزایش عملکرد آب شیرین‌کن ندارد. ولی با افزایش تدریجی قدرت میدان مغناطیسی میزان تولید آب شیرین نیز در حال افزایش می‌باشد. برای مثال با افزایش تعداد دورهای سیم پیچ تا ۴۰۰۰ دور، میزان عملکرد سیستم زیادتر می‌شود و میزان آب تولیدی در مورد ۲ تا ۵۵ درصد و در تعداد دور سیم پیچ ۲۵۰۰۰ دور این افزایش تقریباً ۱۹۰ درصد بیشتر از حالت بدون میدان مغناطیسی می‌باشد. این میزان افزایش در مورد ۵ در تعداد دور ۴۰۰۰، ۷۷ درصد و در تعداد دور ۲۵۰۰۰ در حدود ۲۳۸ درصد می‌باشد. این در حالی است که بر طبق مقاله مهدی‌زاده [۱۸] در مورد ۲ و در حالت عدم حضور نانو اتروسول مغناطیسی، با افزایش

<sup>1</sup> Advection



نشان دهنده بهبود قابل توجه عملکرد آب شیرین کن های خورشیدی با استفاده از نانو اثروسل های مغناطیسی تحت اثر میدان مغناطیسی تولید شده توسط سیم پیچ مغناطیسی می باشد. عمده نتایج حاصل به شرح ذیل می باشد:

- وجود میدان مغناطیسی و یا استفاده از نانو اثروسل به تنهایی نمی توانند اثر قابل ملاحظه ای در افزایش تولید آب شیرین بگذارند و برای تولید آب شیرین بیشتر نیازمند میدان هایی با نیروی مغناطیسی بسیار قوی می باشیم که هزینه بسیار بالایی دارند و در عمل امکان ایجاد چنین میدان هایی دست نیافتی است.
- استفاده از نانو اثروسل حتی در مقادیر بسیار کم (با درصد حجمی کمتر از ۰/۰۸ درصد) و تحت اثر میدان مغناطیسی به مراتب ضعیف تر نسبت میدان استفاده شده در تحقیق مهدی زاده [۱۸] باعث افزایش قابل توجه میزان تولید آب شیرین می شود. برای مثال همانطور که در مورد ۵ مشاهده گردید امکان افزایش میزان تولید آب شیرین تا ۲۴۰ درصد بیشتر از حالت معمول می باشد.
- مقدار میانگین عدد ناسلت نیز با افزایش میدان مغناطیسی و حضور نانو اثروسل افزایش می یابد که این عامل نشان دهنده نقش بیشتر انتقال گرمای رسانشی در این مساله است.

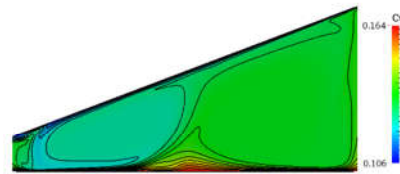
#### ۷- نمادها

T	دما (°C)
L	طول (m)
P	فشار (MPa)
$C_p$	گرمای مخصوص در فشار ثابت (J/(kg. K))
$C_v$	کسر جرمی بخار
$D_{AB}$	ضریب انتشار بخار ( $m^2/s$ )
H	شدت میدان مغناطیسی
Nu	عدد ناسلت متوسط
$\chi$	قابلیت مغناطیس شونده
$\mu$	لزجت (Pa.s)
$\phi$	کسر حجمی
N	تعداد دور سیم پیچ مغناطیسی
I	شدت جریان الکتریکی

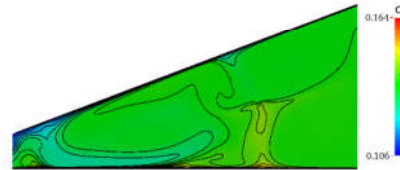
#### ۸- مراجع

- [1] World Health Organization (WHO) 2020 Report.
- [2] Sayed ET, Eisa T, Mohamed HO, Abdelkareem MA, Allagui A, Alawadhi H, Chae KJ. Direct urea fuel cells: Challenges and opportunities. Journal of Power Sources. 2019 Mar 31;417:159-75.
- [3] Auad G, Blythe J, Coffman K, Fath BD. A dynamic management framework for socio-ecological system stewardship: A case study for the United States Bureau of

(الف)



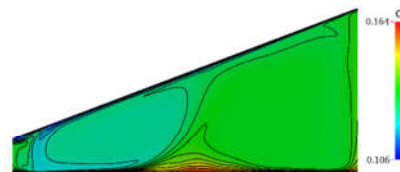
(ب)



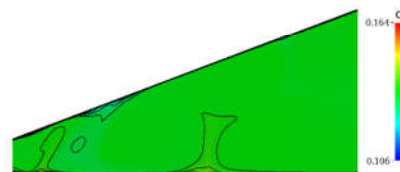
شکل ۱۲- کنتورهای  $C_v$  مورد ۲

(الف)  $NI=4000, \phi=0$  (ب)  $NI=4000, \phi=0.05$

(الف)



(ب)



شکل ۱۳- کنتورهای  $C_v$  مورد ۲

(الف)  $NI=25000, \phi=0$  (ب)  $NI=25000, \phi=0.05$

#### ۶- نتیجه گیری

در مقاله حاضر یک روش جدید جهت استفاده در آب شیرین کن های مرسوم توسعه داده شد و برای اولین بار نقش نانو اثروسل های مغناطیسی در افزایش انتقال گرما و بهبود عملکرد آب شیرین کن بررسی گردید. با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی نقش پارامترهای مختلف همانند نیروی مغناطیسی، نانو ذرات مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدای مقاله صحت سنجی و اعتبار سنجی بر اساس داده های اخذ شده از تحقیقات قبلی انجام شد که نتایج حاصل،

- numerical study. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021 Jun;28:31778-91.
- [19] Shawaqfeh AT, Farid MM. New development in the theory of heat and mass transfer in solar stills. *Solar Energy*. 1995 Dec 1;55(6):527-35.
- [20] Sun H, Lauriat G, Nicolas X. Natural convection and wall condensation or evaporation in humid air-filled cavities subjected to wall temperature variations. *International Journal of Thermal Sciences*. 2011 May 1;50(5):663-79.
- [21] Lide DR, Kehiaian HV. CRC handbook of thermophysical and thermochemical data. CRC press; 2020 Sep 23.
- [22] Motlagh SY, Soltanipour H. Natural convection of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-water nanofluid in an inclined cavity using Buongiorno's two-phase model. *International Journal of Thermal Sciences*. 2017 Jan 1;111:310-20.
- [23] Brinkman HC. The viscosity of concentrated suspensions and solutions. *The Journal of chemical physics*. 1952 Apr;20(4):571.
- [24] Hamilton RL, Crosser OK. Thermal conductivity of heterogeneous two-component systems. *Industrial & Engineering chemistry fundamentals*. 1962 Aug;1(3):187-91.
- [25] Jocher A, Pitsch H, Gomez T, Bonnet J, Legros G. Combustion instability mitigation by magnetic fields. *Physical Review E*. 2017 Jun 22;95(6):063113.
- [26] Nakagawa J, Hirota N, Kitazawa K, Shoda M. Magnetic field enhancement of water vaporization. *Journal of applied physics*. 1999 Sep 1;86(5):2923-5.
- [27] Setyaningsih N, Yanasin S, Supardi ZA, Taufiq A. Phase and magnetic properties of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub> natural materials-based using polyethylene glycol media. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2019 Apr 1 (Vol. 515, No. 1, p. 012017)*. IOP Publishing.
- [28] Gehrke T. Design of permanent magnetic solenoids for REGAE (Master's thesis). University of Hamburg, Germany. 2013.
- [29] Panchal H, Sadasivuni KK, Israr M, Thakar N. Various techniques to enhance distillate output of tubular solar still: a review. *Groundwater for sustainable development*. 2019 Oct 1;9:100268.
- [30] Dunkle RV. Solar water distillation: the roof type still and a multiple effect diffusion still. In *Proc. International Heat Transfer Conference, University of Colorado, USA, 1961 1961 (Vol. 5, p. 895)*.
- [31] Iqbal A, Mahmoud MS, Sayed ET, Elsaid K, Abdelkareem MA, Alawadhi H, Olabi AG. Evaluation of the nanofluid-assisted desalination through solar stills in the last decade. *Journal of Environmental Management*. 2021 Jan 1;277:111415.
- Ocean Energy Management. *Journal of Environmental Management*. 2018 Nov 1;225:32-45.
- [4] Kabeel AE, Omara ZM, Essa FA. Numerical investigation of modified solar still using nanofluids and external condenser. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2017 Jun 1;75:77-86.
- [5] Rashidi S, Bovand M, Rahbar N, Esfahani JA. Steps optimization and productivity enhancement in a nanofluid cascade solar still. *Renewable Energy*. 2018 Apr 1;118:536-45.
- [6] Rashidi S, Akar S, Bovand M, Ellahi R. Volume of fluid model to simulate the nanofluid flow and entropy generation in a single slope solar still. *Renewable Energy*. 2018 Jan 1;115:400-10.
- [7] Naroei M, Sarhaddi F, Sobhnamayan F. Efficiency of a photovoltaic thermal stepped solar still: Experimental and numerical analysis. *Desalination*. 2018 Sep 1;441:87-95.
- [۸] گشایشی ح ر. 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.
- [9] Al-Kouz W, Al-Waked R, Sari ME, Owhaib W, Atieh A. Numerical study of heat transfer enhancement in the entrance region for low-pressure gaseous laminar pipe flows using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-air nanofluid. *Advances in Mechanical Engineering*. 2018 Jul;10(7):1687814018784410.
- [10] Hedayati-Mehdiabadi E, Sarhaddi F, Sobhnamayan F. Exergy performance evaluation of a basin-type double-slope solar still equipped with phase-change material and PV/T collector. *Renewable Energy*. 2020 Jan 1;145:2409-25.
- [11] Kaviti AK, Ram AS, Thakur AK. Influence of fully submerged permanent magnets in the evaluation of heat transfer and performance analysis of single slope glass solar still. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*. 2022 Feb;236(1):109-23.
- [۱۲] گشایشی ح ر.، ادیبی طوسی س.، رستمی، جعفری م.، تحقیق آزمایشگاهی جهت بهبود بازدهی آب شیرین کن خورشیدی پلکانی با استفاده از پارافین/اکسید گرافن. *مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز*. ۲۰۲۱ Jul 23;51(2):269-73.
- [13] Khadanga V, Mukherjee S, Mishra PC, Chakrabarty S. Heat Transfer Performance of Novel SiO<sub>2</sub> Nanoaerosol: The Numerical Investigation. *Microgravity Science and Technology*. 2022 Jun 9;34(3):50.
- [14] Bouçanova MD, Vital CV, Rativa D, Gómez-Malagón LA. Single slope solar distiller performance using metallic nanofluids. *Solar Energy*. 2022 Oct 1;245:1-0.
- [۱۵] امیری ح.، طراحی، ساخت و بررسی آزمایشگاهی عملکرد یک آب شیرین کن خورشیدی شیب دار بهبود یافته. *مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز*. ۲۰۲۲ Oct 23;52(3):237-46.
- [۱۶] ادیبی طوسی س. گشایشی ح ر. زحمتکش ا. نجاتی و.، ارزیابی آزمایشگاهی آب شیرین کن خورشیدی پلکانی همراه با نانو مواد تغییر فاز دهنده هیبریدی تحت میدان مغناطیسی. *نشریه مکانیک دانشگاه تبریز*. د. ۵۳، ش. ۱، ص. ۱۳-۲۲، ۱۴۰۲.
- [17] Farvardin A, Motlagh SY. Investigating the effects of air inlet jet on the performance of solar still: A comprehensive numerical study. *Desalination*. 2024 Jan 1;569:117048.
- [18] Mehdizadeh Youshanlouei M, Yekani Motlagh S, Soltanipour H. The effect of magnetic field on the performance improvement of a conventional solar still: a