



مطالعه عددی تاثیر بکارگیری مانع معمولی و متخلخل بر نرخ انتقال حرارت و تولید آب شیرین در آب شیرین کن خورشیدی

رضا شعبانی^۱، هادی کارگر شریف آباد^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مرکز تحقیقات انرژی و توسعه پایدار، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

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

* سمنان، صندوق پستی ۳۵۱۹۸۱۳۳۶۳، h.kargar@semnaniau.ac.ir

چکیده	اطلاعات مقاله
بحران کمبود آب شیرین و کمبود آن در اکثر نقاط جهان سبب گسترش انواع آب شیرین کن ها گردیده است. یکی از نمونه‌های پرکاربرد آن، آب شیرین کن خورشیدی می‌باشد. در این مقاله، به بررسی پارامتری تاثیر قرار دادن مانع معمولی و متخلخل در محفظه آب شیرین کن نوع حوضچه‌ای بر نرخ انتقال حرارت و نرخ آب تولیدی توسط آن پرداخته شده است. وجود مانع در موقعیت‌های مختلف و با تخلخل‌های گوناگون در محفظه آب شیرین کن مورد بررسی قرار گرفته شده است. به منظور مدل‌سازی محفظه آب شیرین کن مورد نظر، ابتدا هندسه سه‌بعدی آن شبکه‌بندی شده و سپس توسط نرم افزار فلوئنت شبیه‌سازی گردیده است. براساس نتایج بدست آمده، قرار گرفتن مانع در موقعیت بهینه در محفظه آب شیرین کن، باعث افزایش قابل توجه عدد ناسلت و در نتیجه نرخ انتقال جرم و تولید آب خواهد شد. همچنین، استفاده از مانع متخلخل، باعث کاهش نرخ انتقال حرارت و انتقال جرم نیز خواهد شد. در انتها نیز، تاثیر مانع بر گردابه‌های درون محفظه آب شیرین کن و تاثیر آنها بر تغییرات دما و نسبت جرمی در نواحی مختلف آن، مورد بررسی قرار گرفته است.	مقاله پژوهشی کامل دریافت: ۲۹ آبان ۱۳۹۸ پذیرش: ۳۰ بهمن ۱۳۹۸ ارائه در سایت: ۲۰ اسفند ۱۳۹۸
	کلیدواژگان آب شیرین کن مطالعه عددی مانع معمولی مانع متخلخل

Numerical analysis of the effects of a common and porous fin on the heat transfer rate and distilled water production in a solar desalination

Reza Shahhbani¹, Hadi Kargersharifabad^{2*},

1- Department of Mechanical Engineering, **Islamic Azad University**, Semnan, Iran.

2- Department of Mechanical Engineering, Semnan Branch, **Islamic Azad University**, Semnan, Iran

* P.O.B. 3519813363 Semnan, Iran, h.kargar@semnaniau.ac.ir

Article Information

Original Research Paper
Received 20 November 2019
Accepted 19 February 2020
Available Online 10 March 2020

Keywords

Desalination
Numerical Study
Common Fin
Porous Fin

ABSTRACT

Due to the fresh water shortage crisis in all around the world, many types of desalination systems have been developed. One of the most used type of them is solar desalination system. In this paper, a parametric study has been employed for investigation of the effects of mounting a normal and porous fin on the heat transfer and water production rates of solar still desalination. A fin with different porous intensity in different positions has been put in solar desalination. For modelling the mentioned desalination, the desalination geometry has been meshed and the 3D simulation has been performed using ANSYS Fluent software. As the result of simulation, putting fin in optimum position in a solar still desalination leads to considerable increment of Nusselt number which results in increase of mass transfer and fresh water production rates. In addition, employment of porous fin will cause decrease in heat transfer and mass transfer rates. Finally, the effects of adding fin on the vortexes in the desalinator and its impacts on temperature and mass fractions differences in various zones has been also examined.

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Reza Shahhbani, Hadi Kargersharifabad, Numerical analysis of the effects of a common and porous fin on the heat transfer rate and distilled water production in a solar desalination, *Journal of Mechanical Engineering and Vibration*, Vol. 10, No. 4, pp. 63-70, 2020 (In Persian)

۱- مقدمه

در حال حاضر دسترسی به آب شیرین، به ویژه در مناطق گرم و خشک به یک مساله بحرانی بدل شده است. این مشکل با افزایش جمعیت و گسترش مسائل زیست محیطی که خود عامل کاهش نزولات آسمانی و منابع آب شیرین می‌باشد، روز به روز جدی تر می‌گردد. از سوی دیگر با توجه اینکه عملیات شیرین سازی آب معمولاً یک فرایند انرژی بر می‌باشد، از این رو استفاده از روش‌های پایدار کمک قابل توجهی به کاهش آلودگی و در نتیجه افزایش بارش خواهد داشت.

با توجه به اهمیت موضوع آب، مطالعه و پیشرفت بسیاری در زمینه شیرین سازی آب انجام شده است که منجر به ساخت و توسعه دستگاه‌های آب شیرین کن در انواع مختلف گردیده است. به طور کلی اساس کار سیستم های آب شیرین کن بر پایه تقطیر-میعان، فیلتر کردن و انواع مختلف این روش‌ها عبارتند از تقطیر ناگهانی چندمرحله‌ای، آب شیرین کن تقطیری چند اثره، شیرین سازی به روش اسمز معکوس و مستقیم، روش الکترو دیالیز، رطوبت زنی-رطوبت زدایی و روش‌های شیرین سازی با استفاده از انرژی خورشیدی می‌باشد [۱]. سیستم‌های تقطیر چند اثره و تقطیر ناگهانی بر پایه تقطیر و میعان عمل می‌کنند [۲] و سیستم‌های فیلتراسیون معمولاً برای تولید حجم بالای آب شیرین و در مقیاس صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین در دستگاه‌های الکترو دیالیز با برقراری اختلاف پتانسیل و عبور آب شور از یک غشاء، سبب جذب یون‌ها به الکترودها و کاهش غلظت نمک موجود در آب می‌گردد [۳]. در آب شیرین کن های خورشیدی، استفاده از انرژی خورشید به طرق مختلفی امکان پذیر می‌باشد، به طوری که در بعضی موارد با استفاده از یک سیستم تولید برق خورشیدی، انرژی آب شیرین کن تامین می‌گردد [۴] و در سایر موارد از حرارت خورشید به طور مستقیم برای تبخیر و یا پیش گرمایش آب شور استفاده می‌گردد [۵] که سیستم مورد بررسی در این مقاله از نوع دوم و حوضچه‌ای آب ساکن می‌باشد و آب شور با دریافت حرارت از تابش خورشید تبخیر می‌گردد و با انجام عمل تقطیر، فرایند شیرین سازی تکمیل می‌گردد.

با توجه به مطالب گفته شده و با در نظر گرفتن این موضوع که اکثر مناطقی که با مشکل کمبود آب شیرین مواجه می‌باشند در مناطق گرم و خشک واقع شده‌اند، استفاده از انرژی خورشیدی به عنوان یک منبع پایا و در دسترس در این مناطق باعث گردیده که بکارگیری این منبع انرژی قدمت فراوانی داشته باشد

[۶]. در سالهای اخیر، استفاده از آب شیرین کن‌های نوع حوضچه‌ای آب ساکن مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. از ویژگی‌های برجسته این نوع آب شیرین کن، سادگی مکانیزم تولید آب و ارزان بودن آن نسبت به انواع دیگر آب شیرین کن‌ها می‌باشد.

اومری و همکاران در سال ۲۰۰۷ به بررسی عددی دو پارامتر عدد رایلی و هندسه سطوح شیبدار در راندمان آب شیرین کن خورشیدی نوع حوضچه‌ای پرداخته‌اند [۷]. در سال ۲۰۱۳ یانگ و همکاران با تمرکز بر افزایش جریان بخار درون آب شیرین کن به منظور افزایش راندمان، یک آب شیرین کن چند اثره خورشیدی جدید را طراحی نمودند همچنین اعتبار سنجی مدل انتقال حرارت و انتقال جرم پیشنهادی با نمونه آزمایشگاهی از تطابق خوبی برخوردار بود [۸]. کبیل و همکاران در سال ۲۰۰۹، به ارزیابی آزمایشگاهی یک دستگاه آب شیرین کن ساخته شده از مخزن مقعر پوشیده شده از پوشش با خاصیت موینگی پرداختند [۹]. در سال ۲۰۰۹ فرشچی تبریزی و ذوالفقاری شارک یک آب شیرین کن حوضچه‌ای آب ساکن با جاذب شنی یکپارچه با مخزن را به صورت آزمایشگاهی در آب و هوای زاهدان مطالعه نموده و اثر یکپارچه سازی را بر تولید روزانه بررسی نموده‌اند [۱۰]. در سال ۲۰۱۷، ال سبای و همکاران به بررسی متوسط تولید سالانه آب شیرین کن با بکارگیری فین مسی در مخزن آب ورودی، همچنین تحلیل اقتصادی یک آب شیرین کن خورشیدی با بهره گیری از فین های مسی در مقایسه با انواع متداول پرداخته‌اند و به اعداد ۰٫۲۸ و ۰٫۳۱ پوند به ازای هر لیتر آب تولیدی به ترتیب برای استفاده و عدم استفاده از فین در آب شیرین کن دست یافته‌اند [۱۱]. همچنین استریواستاوا و همکاران با بررسی آزمایشگاهی به صورت آزمایشگاهی عملکرد سیستم آب شیرین کن حوضچه‌ای آب ساکن با بهره گیری از فین متخلخل پارچه ای را ارزیابی نموده‌اند و به تولید ۷٫۵ کیلوگرم بر متر مربع مخزن دست یافتند [۱۲]. در سال ۲۰۱۵، النجار و همکاران با بررسی تئوری و آزمایشگاهی یک مدل بهبود یافته آب شیرین کن حوضچه‌ای آب ساکن با فین های خطی با نمونه های متداول بدون فین دریافتند که ضریب انتقال حرارت در مدل بهبود یافته، ۳٫۶ برابر نمونه های بدون فین می‌باشد [۱۳]. راجاسینیواسان و استریتهار به مقایسه استفاده از فین های مربع شکل و دایره ای شکل پرداخته و همچنین به بررسی اختلاف میزان تولید در نوع پوشش فین ها پرداخته‌اند که بر طبق این تحقیق، میزان تولید

شکل ۱، محل اولیه قرارگیری مانع در محفظه آب شیرین کن نوع حوضچه‌ای را نشان می‌دهد. در راستای محور X بر روی کف آب شیرین کن در هشت نقطه متفاوت به گونه ایی که در هر مرحله ۰،۱ متر در راستای طول پیشروی صورت گیرد، مانع قرار داده شده است.

۲-۲- معادله مومنوم

با در نظر گرفتن جریان آزاد و فرایند انتقال حرارت از مکانیزم جابه‌جایی، معادلات و مراحل شبیه سازی عددی به صورتی که در ادامه عنوان می‌گردد قابل ارائه می‌باشد. معادلات حاکم بر جریان سیال عبارت است از: معادلات بقای جرم، مومنوم و انرژی.

جریان به صورت دو بعدی و دائم فرض می‌گردد که در آن لایه مرزی آرام، خواص فیزیکی ثابت بوده و نیروی گرانش هم در خلاف جهت X می‌باشد. همچنین به جز یک مورد استثناء فرض کنید که سیال تراکم ناپذیر است. مورد استثناء مربوط می‌شود به اثرات تغییرات چگالی بر روی نیروی غوطه‌وری (معروف به تقریب بوزینسک) که عامل ایجاد حرکت در سیال است.

- معادله اندازه حرکت در جهت X و Y

$$\rho \left[\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right] = - \frac{\partial p}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] \quad (1)$$

$$\rho \left[\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right] = - \frac{\partial p}{\partial y} + \rho g_y + \mu \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right) \right] \quad (2)$$

با ساده سازی‌های مربوط به تقریب لایه مرزی، معادله اندازه حرکت در جهت X خواهیم داشت:

$$\rho \left[u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right] = - \frac{\partial p}{\partial x} - \rho g_x + \mu \left[\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] \quad (3)$$

اگر در جهت Y نیروی جسمی نباشد، در آن صورت از معادله اندازه حرکت در راستای Y نتیجه می‌شود:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \quad (4)$$

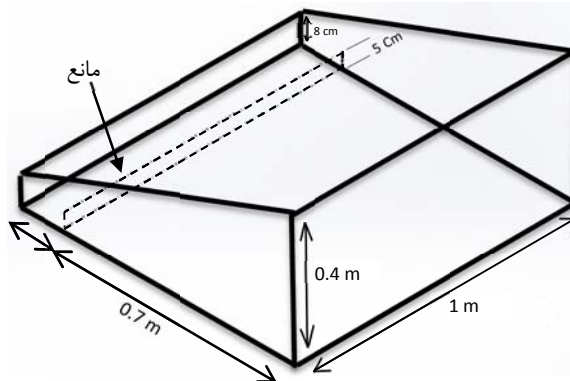
با بکارگیری فین‌های با سطح مقطع مربعی و دایروی یکسان بوده، اما استفاده از پوشش متخلخل (حصیری) بر روی فین‌ها، راندمان را ۹،۱ درصد افزایش خواهد داد [۱۴]. در سال ۲۰۱۲، اصفهانی و رهبر با ارائه یک معادله بر اساس تناسب چیلتون-کلبورن، تولید آب شیرین کن مخزنی را تخمین زده همچنین عدد ناسلت را با دقت بسیار خوبی در مقایسه با مدل‌های شناخته شده، پیش‌بینی نمایند [۱۵]. مونوز و همکاران به بررسی انواع آب شیرین کن حوضچه‌ای پرداختند و با حل معادلات دانکل در نرم افزار EES، به مقدار تولید کمتری نسبت به مدل با استفاده از این معادلات دست یافتند [۱۶].

بر اساس نتایج بدست آمده از تحقیقات انجام گرفته در زمینه آب شیرین کن‌های نوع حوضچه‌ای، عوامل بسیاری در میزان راندمان این نوع آب شیرین کن‌ها تاثیرگذار می‌باشد. در این مقاله به بررسی اثر مانع (دیوارک) در در محفظه آب شیرین کن نوع حوضچه‌ای آب ساکن در میزان تولید آب شیرین و راندمان این دستگاه پرداخته شده است. همچنین، اثر تخلخل مانع، بر پارامترهای خروجی آب شیرین کن، مورد بررسی قرار گرفته شده است. بدین منظور محفظه آب شیرین کن مورد نظر در مقیاس سه بعدی در نرم افزار فلوئنت مدل گردیده و سپس تحلیل پارامتری به منظور بررسی اثرات تغییر موقعیت مانع و تخلخل آن بر نرخ انتقال حرارت و تولید آب توسط آب شیرین کن انجام شده است.

۲- روش تحلیل

۲-۱- هندسه

در این تحقیق، هدف اصلی، بررسی اثر قرار دادن مانع با فواصل ارتفاعات و تخلخل‌های مختلف در آب شیرین کن مورد نظر بر عدد ناسلت سیال در داخل آن می‌باشد.



شکل ۱ نحوه قرار گیری مانع درون آب شیرین کن

برای تشریح مفهوم مومنوم در محیط‌های متخلخل ابتدا به توصیف چند عبارت پرداخته می‌شود:

معادله دارسی که رابطه بین افت فشار و سرعت را بیان می‌کند:

$$u = -\frac{K}{\mu} \frac{\partial P}{\partial x} \quad (15)$$

در رابطه فوق مقدار μ و K به ترتیب گرادیان فشار در مسیر سیال، ویسکوزیته دینامیکی سیال و مقدار نفوذپذیری سیال می‌باشند.

برای بازنویسی معادله انرژی از قانون اول ترمودینامیک برای جسم متخلخل همگن و بالانس و تعادل دمایی در جسم متخلخل ایزوتروپیک داریم:

$$(\rho C_p) \left(\sigma \frac{\partial T}{\partial t} + \vartheta \nabla T \right) = k \nabla^2 T + q''' + \frac{\mu}{k} v^3 \quad (16)$$

در رابطه شماره (۱۶)، q''' حرارت انتقال یافته در واحد حجم و ترم آخر معادله، میزان پراکندگی ویسکوزیته در مدل دارسی است. در معادله (۱۶)، k ضریب رسانش گرمایی در جسم متخلخل است که ترکیبی از ضریب رسانش در سیال و جامد است:

$$k = \varphi k_f + (1 - \varphi) k_s \quad (17)$$

ضریب ظرفیت برای دو ماده متشکله یا به عبارت دیگر ظرفیت سیال و جامد به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\sigma = \left[\frac{\varphi(\rho C_p)_f + (1 - \varphi)(\rho C_p)_s}{(\rho C_p)_f} \right] \quad (18)$$

نرخ متوسط انتقال حرارت می‌تواند با محاسبه متوسط اعداد رایلی محاسبه شود که به شرح زیر بیان می‌شود:

$$Nu = - \int_0^{wl} \frac{\partial T^*}{\partial y^*} dx^* \quad (19)$$

همچنین از معادلات بیان شده به منظور محاسبه ضریب انتقال جرم متوسط می‌توان استفاده کرد:

$$h_{mass} = \frac{\dot{m}}{\rho(dw)|_{y^*=0}} \quad (20)$$

۳-۲- حل مسئله در نرم افزار فلوئنت

در این مقاله، حل معادلات با استفاده از نرم افزار فلوئنت و به روش حجم محدود صورت گرفته است. رژیم جریان مورد استفاده جهت حل مسئله، مدل $k-\epsilon$ نیز می‌باشد. همچنین، از مدل دوفازی mixture نیز برای شبیه‌سازی حالت دوفازی استفاده گردیده است. بدین ترتیب، ابتدا هندسه نشان داده شده در شکل شماره ۱، در نرم افزار ANSYS meshing شبکه بندی شده، سپس در نرم افزار انسیس فلوئنت، پس از وارد کردن تنظیمات حل مسئله، حل گردیده است.

برای ناحیه خارج لایه مرزی معادله مومنوم x به فرم زیر در می‌آید:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -\rho_{\infty} g \quad (5)$$

با جایگذاری این معادله در معادله مومنوم x خواهیم داشت:

$$\left[u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right] = \frac{g}{\rho} (\rho_{\infty} - \rho) + \nu \left[\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] \quad (6)$$

با جایگذاری ضریب انبساط حجمی در معادله مومنوم در راستای x خواهیم داشت:

$$\left[u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right] = g\beta(T - T_{\infty}) + \nu \left[\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] \quad (7)$$

اکنون روشن است که نیروی غوطه‌وری که عامل جریان است، چگونه به اختلاف دما مربوط می‌شود. چون اثرات نیروی غوطه‌وری به معادله اندازه حرکت محدود می‌شود، معادله بقای انرژی و جرم در مقایسه با جابه‌جایی اجباری بدون تغییر باقی می‌مانند.

در این مقاله معادلات بقاء با استفاده از روابط سرعت و فشار نوشته شده و همه شرایط بجز دانسیته، در پارامتر نیروی بدنه‌ای ثابت فرض شده است. مدل گاز ایده‌آل تراکم ناپذیر به منظور محاسبه تغییرات دانسیته در نظر گرفته شده است. در نرم افزار فلوئنت اگر قانون گاز ایده‌آل برای تعریف چگالی انتخاب شود، برنامه چگالی را به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\rho = \frac{P_{op}}{RT} \quad (8)$$

لازم بذکر است نیروی شناوری در معادله اندازه حرکت در راستای عمود به دو نیروی شناوری جرمی و حرارتی تفکیک شده است که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\rho = \rho_0 [1 - \beta_T(T - T_L) - \beta_S(C - C_L)] \quad (9)$$

با جایگذاری رابطه (۹) در معادله مومنوم خواهیم داشت:

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + g\beta_T(T - T_L) + g\beta_S(C - C_L) \quad (10)$$

در نهایت فرم بی بعد معادلات، به صورت زیر بیان می‌شوند:

$$u^* \frac{\partial C^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial C^*}{\partial y^*} = \frac{1}{Pr Ra_T Le} \left(\frac{\partial^2 C^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 C^*}{\partial y^{*2}} \right) \quad (11)$$

که در آن:

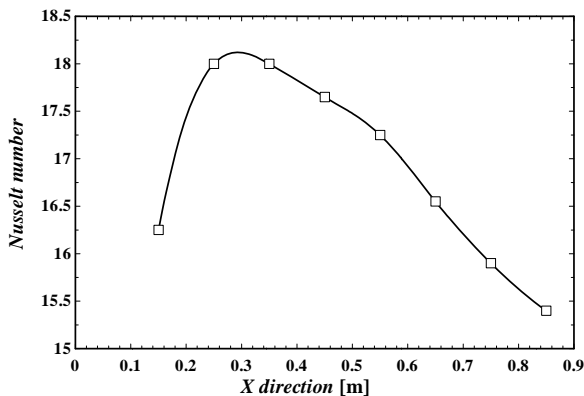
$$C^* = \frac{C - C_L}{C_H - C_L} \quad (12)$$

شرایط مرزی داخل و اطراف محفظه به صورت زیر بیان می‌شوند:

$$u^* = v^* = 0, C^* = 1 \quad (13)$$

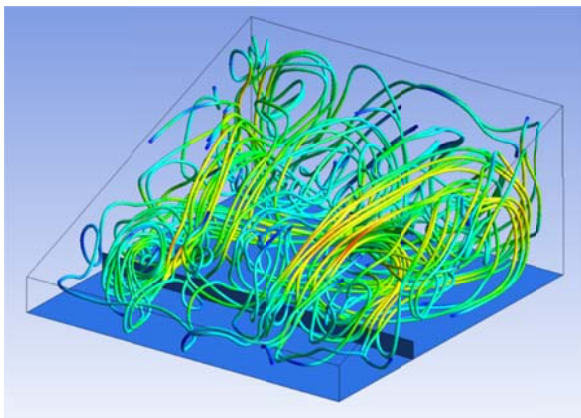
$$u^* = v^* = 0, C^* = 0 \quad (14)$$

۳-۲- انتقال حرارت در محیط متخلخل



شکل ۴ تغییرات عدد ناسلت برحسب تغییر محل قرارگیری مانع درون محفظه

تاثیر تغییر موقعیت مانع در جهت X درون محفظه آب شیرین-کن بر عدد ناسلت سیال، توسط شکل ۴ نمایان گردیده است. همانطور که در این شکل مشخص است، در فاصله بین ۰,۲ الی ۰,۳ متر بیشترین مقدار عدد ناسلت مشاهده می شود.

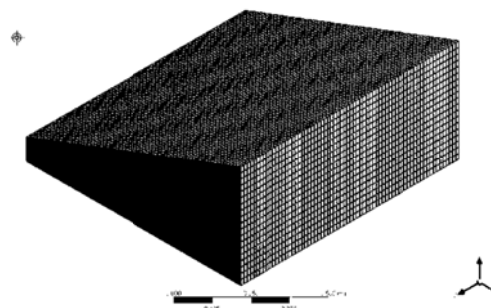


شکل ۵ خطوط جریان داخل محفظه و محل قرارگیری مانع در حالت بهینه در داخل محفظه

شکل ۵ نشان دهنده خطوط جریان درون آب شیرین کن با وجود مانع در موقعیت بهینه می باشد. همانگونه که مشخص است، وجود مانع باعث فشردن خطوط جریان و به طبع آن افزایش انتقال حرارت در آن ناحیه می گردد. این بدان معنی

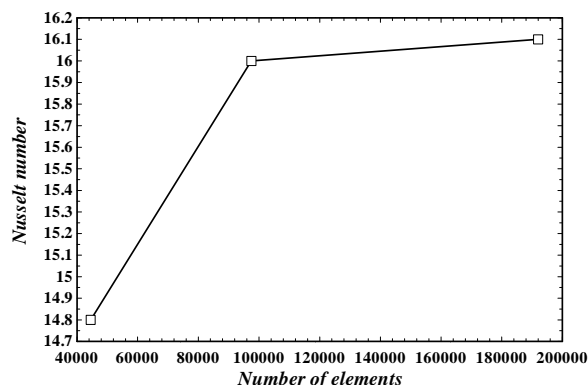
۳- بررسی استقلال از شبکه بندی هندسه

با توجه به اینکه تعداد المان های موجود در شبکه بندی هندسه، می تواند تاثیر زیادی در جواب های خروجی از نرم افزار داشته باشد، بررسی استقلال از شبکه بندی هندسه نیز انجام گرفته است.



شکل ۲ شبکه بندی هندسه ی مورد نظر در ANSYS meshing

به منظور بررسی استقلال از شبکه بندی، تعداد المان ها نیز بتدرج زیاد گردیده و با زیاد شدن آنها، تاثیر آن بر عدد ناسلت بدست آمده در خروجی نرم افزار، مورد بررسی قرار گرفته است. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، با افزایش تعداد المان ها بیش از حدود ۹۰۰۰۰، تغییرات عدد ناسلت به ناچیز شده است.



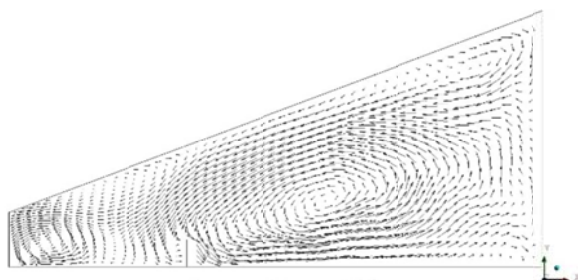
شکل ۳ تغییرات عدد ناسلت برحسب تغییرات تعداد المان های موجود در شبکه بندی

۴- تحلیل و بررسی نتایج

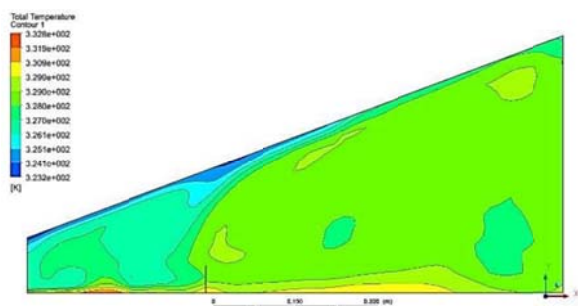
در این بخش، نتایج تحلیل پارامتری مسئله با تغییر موقعیت مانع در هندسه مورد نظر و حل آن توسط نرم افزار فلوئنت، ارائه گردیده است.

۱۵ ۱۶,۲۸ ۳,۴۱ ۱۶,۱۷ ۲,۲۶ ۱۷,۲۴ ۱,۳۷

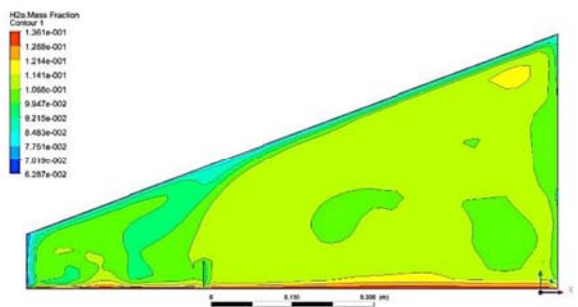
یکی دیگر از پارامترهای بررسی شده در این مقاله، بررسی تاثیر تخلخل مانع بر میزان تولید آب و عدد ناسلت می باشد. جدول ۱ نشان دهنده تغییرات عدد ناسلت و به طبع آن تغییرات تولید آب در تخلخل های متفاوت و ارتفاع های مختلف می باشد. لازم به ذکر است که بیشینه ناسلت برابر ۱۸/۷ برای مانع در ارتفاع ۵ سانتی متری که میزان تخلخل آن برابر ۰,۹ است و بیشینه مقدار تولید آب برابر ۳/۶۵ برای مانع ۵ سانتی متری با تخلخل صفر می باشد. همچنین کمینه این دو مقدار به ترتیب برابر ۱۶ (تخلخل صفر) برای مانع ۵ سانتی متری و ۱/۳۷ (تخلخل ۰,۹) برای مانع ۱۵ سانتی متری می باشد.



شکل ۷ بردار سرعت با وجود مانع ۵ سانتی متری



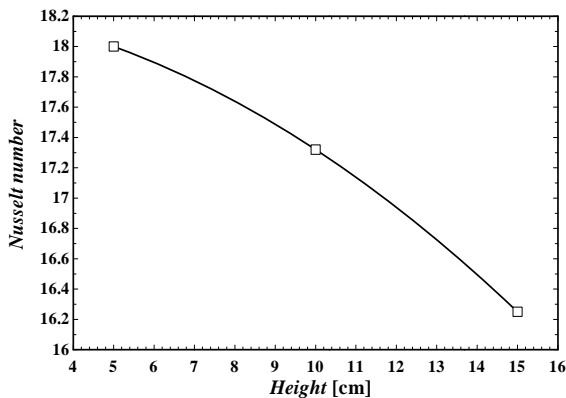
شکل ۸ کانتور دمای سکون با وجود مانع ۵ سانتی متری



شکل ۹ کانتور نسبت جرمی با وجود مانع ۵ سانتی متری

است که ذرات آب از کف سریعتر تبخیر شده و در سطح شیشه فوقانی سریعتر عمل میعان اتفاق خواهد افتاد.

از آنجا که با توجه به شکل ۴ در فاصله بین ۰,۲ الی ۰,۳ متر بیشترین مقدار بی بعد ناسلت مشاهده می شود، به منظور بررسی تاثیر ارتفاع، مانع قرار گرفته در فاصله ۰,۳ انتخاب شده و در مرحله اول ارتفاع مانع دو برابر و در مرحله بعد سه برابر خواهد شد.



شکل ۶ بررسی تاثیر ارتفاع مانع بر میزان ناسلت

شکل ۶ نشان دهنده تاثیر ارتفاع مانع بر عدد ناسلت سیال می باشد. با توجه به شکل مشخص است که افزایش ارتفاع در حالت سوم نسبت به حالت اول باعث کاهش ۹ درصدی عدد ناسلت می گردد. دلیل این امر می تواند ناشی از نزدیک شدن بیش اندازه مانع به جداره شیشه ای و کاهش تبادل و انتقال حرارت در سطح کلی آب شیرین کن باشد. همچنین استفاده از مانع باعث افزایش عدد ناسلت و در نتیجه افزایش میزان تولید آب می گردد که دلیل آن می تواند تغییر در شکل و نوع گردابه ها باشد. نکته دیگر که در این بین وجود دارد این است که تغییر ارتفاع مانع، تاثیر زیادی در میزان عدد ناسلت دارد به نحوی که همیشه یک ارتفاع بهینه برای بیشینه کردن ناسلت و به طبع آن تولید آب وجود خواهد داشت.

جدول ۱ مقایسه عدد ناسلت بدست آمده در تحقیقات مشابه با این تحقیق

ارتفاع (cm)	تخلخل=۰		تخلخل=۰,۵		تخلخل=۰,۹	
	WG	Nu	WG	Nu	WG	Nu
۰	۳,۴	۱۶	۳,۴	۱۶	۳,۴	۱۶
۵	۳,۲۱	۱۸,۷۰	۳,۲۲	۱۸,۲۸	۳,۶۵	۱۷,۹۹
۱۰	۱,۴۴	۱۷,۶۳	۲,۸۴	۱۷,۲۲	۳,۵۸	۱۷,۳۳

در این مقاله، تاثیر قراردادن مانع معمولی و متخلخل در محفظه آب شیرین کن نوع حوضچه‌ای آب ساکن در میزان نرخ انتقال حرارت و تولید آب توسط آن، مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا، مدل سه بعدی حل مسئله با استفاده از روابط مومنتوم و انتقال حرارت ارائه گردیده و سپس مسئله با استفاده از نرم افزار فلونت در حالت سه بعدی حل گردیده است. نتایج بدست آمده را می‌توان بصورت زیر بیان نمود:

- تحلیل عددی به روش دینامیک سیالات محاسباتی می‌تواند میزان انتقال حرارت درون آب شیرین کن را با دقت خوبی پیش‌بینی کند.
- قرار دادن مانع در موقعیت بهینه، باعث افزایش انتقال حرارت جرم و حرارت از سطح آب شور به سطح سرد پوشش می‌شود.
- در ناحیه مرکزی گردابه‌ها، تغییر در مقدار دما و غلظت ناچیز است.
- اثرات غلظت و بخارات، تغییرات شدیدی را در خصوصیات سیال نزدیک سطح آب و پوشش شیشه‌ای ایجاد می‌کند.
- تخلخل به‌طور کلی باعث کاهش عدد ناسلت و تولید آب می‌گردد همچنین افزایش تخلخل این پدیده را تشدید می‌کند
- وجود تخلخل باعث می‌شود در ارتفاع کمتری از تیغه، بیشینه تولید آب حاصل گردد.

۶- فهرست علائم

P	فشار ($\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-2}$)
Pr	عدد پراتل
Re	عدد رینولدز
u_j	سرعت (ms^{-1})
Nu	عدد ناسلت
WG	نرخ انتقال جرم به ازای واحد سطح ($\text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$)
T	دما (K)

علائم یونانی

ρ	چگالی (kgm^{-3})
μ	لزجت دینامیکی ($\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$)

به منظور بررسی حالت های فیزیکی درون آب شیرین کن در حالت های مختلف، کانتورهای بردار سرعت، دما و نسبت جرمی به ترتیب در اشکال ۷ تا ۹ نشان داده شده‌اند. همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، سه گردابه داخل محفظه بوجود آمده است. سلول چرخشی^۱ سمت چپ بزرگتر بوده و جهت چرخش آن پادساعتگرد می‌باشد. یعنی جهت چرخش آن از سمت دیواره گرم به سمت دیواره سرد است که باعث تبادل حرارت و جابجایی طبیعی در محفظه می‌شود. بنابراین، این سلول چرخشی مهم‌ترین نقش را در انتقال حرارت و انتقال جرم و در نهایت تولید آب شیرین دارا است. در ناحیه مرکزی این سلول چرخشی، تغییرات دما و غلظت بسیار ناچیز بوده و حتی هم-دمایی مشاهده شده است که باعث کاهش نرخ انتقال حرارت می‌گردد. بزرگ بودن این گردابه، زمان تبادل حرارت بیش از حد نیاز را بین سطوح گرم و سرد بوجود می‌آورد. از طرفی در گردابه های کوچکتر، زمان تبادل حرارت بین سطوح گرم و سرد کمتر از حد مطلوب است و در نتیجه کاهش انتقال حرارت و جرم را در پی خواهد داشت.

یکی از روش‌های مناسب برای افزایش نرخ انتقال حرارت، قرار دادن مانع در آب شیرین کن است تا به کمک آن گردابه بزرگ شکافته شده و تعداد گردابه های بیشتری در درون آب شیرین کن ایجاد شود. با این روش می‌توان انتقال جرم و حرارت را افزایش داد. استفاده از مانع موجب افزایش قدرت سلول‌های چرخشی خواهد شد. در تمامی شکل‌ها مشاهده می‌شود که در ناحیه مرکزی گردابه‌ها، تغییر در مقدار دما و غلظت هوای مرطوب ناچیز است. اما در اثر پدیده تقطیر و تبخیر تغییرات بسیار سریعی در دما و غلظت بخار آب در نزدیکی سطح آب و پوشش شیشه‌ای مشاهده می‌شود. علاوه بر آن نتایج نشان می‌دهد وجود تیغه علاوه بر شکستن گردابه بزرگ به دو گردابه که کاهش سرعت گردابه‌ها را باعث می‌شود، عوامل دیگری از جمله تغییرات دما که ناشی از نفوذ و جابجایی در هر مرحله می‌باشد، دلیل دیگری بر افزایش عدد ناسلت است. با افزایش دما بین دو گردابه، میزان نفوذ دما نسبت به جابجایی تأثیر بیشتری خواهد داشت، از اینرو شار حرارتی افزایش یافته و در نتیجه میزان انتقال حرارت و عدد ناسلت افزایش می‌یابد.

۵- نتیجه گیری

¹ . Recirculating Zone

Desalination, vol. 319, pp. 73–78, 2013.

τ عمر متوسط موضعی هوا (s)

- [13] M. El-Naggar, A. A. El-Sebaili, M. R. I. Ramadan, and S. Aboul-Enein, "Experimental and theoretical performance of finned-single effect solar still," *Desalin. Water Treat.*, vol. 57, no. 37, pp. 17151–17166, 2016.
- [14] T. Rajaseenivasan and K. Srithar, "Performance investigation on solar still with circular and square fins in basin with CO2 mitigation and economic analysis," *Desalination*, vol. 380, pp. 66–74, 2016.
- [15] N. Rahbar and J. A. Esfahani, "Productivity estimation of a single-slope solar still: Theoretical and numerical analysis," *Energy*, vol. 49, no. 1, pp. 289–297, 2013.
- [16] F. Muñoz, E. Barrera, A. Ruiz, E. M. Martínez, and N. Chargoy, "Long-term experimental theoretical study on several single-basin solar stills," *Desalination*, vol. 476, no. November 2018, p. 114241, 2020.

۷- مراجع

- [1] M. Shatat, M. Worall, and S. Riffat, "Opportunities for solar water desalination worldwide: Review," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 9, pp. 67–80, 2013.
- [2] M. Alhaj, A. Hassan, M. Darwish, and S. G. Al-Ghamdi, "A techno-economic review of solar-driven multi-effect distillation," *Desalin. Water Treat.*, vol. 90, pp. 86–98, 2017.
- [3] M. T. Ali, H. E. S. Fath, and P. R. Armstrong, "A comprehensive techno-economical review of indirect solar desalination," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 8, pp. 4187–4199, 2011.
- [4] A. Mahmoud, H. Fath, and M. Ahmed, "Enhancing the performance of a solar driven hybrid solar still/humidification-dehumidification desalination system integrated with solar concentrator and photovoltaic panels," *Desalination*, vol. 430, no. November 2017, pp. 165–179, 2018.
- [5] C. M. and A. Yadav, "Water desalination system using solar heat: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 67, pp. 1308–1330, 2017.
- [6] S. Gorjian and B. Ghobadian, "Solar desalination: A sustainable solution to water crisis in Iran," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 48, pp. 571–584, 2015.
- [7] A. Omri, "Numerical investigation on optimization of a solar distiller dimensions," *Desalination*, vol. 206, no. 1–3, pp. 373–379, 2007.
- [8] J. Xiong, G. Xie, and H. Zheng, "Experimental and numerical study on a new multi-effect solar still with enhanced condensation surface," *Energy Convers. Manag.*, vol. 73, pp. 176–185, 2013.
- [9] A. E. Kabeel, "Performance of solar still with a concave wick evaporation surface," *Energy*, vol. 34, no. 10, pp. 1504–1509, 2009.
- [10] F. F. Tabrizi and A. Z. Sharak, "Experimental study of an integrated basin solar still with a sandy heat reservoir," *Desalination*, vol. 253, no. 1–3, pp. 195–199, 2010.
- [11] A. A. El-Sebaili, M. R. I. Ramadan, S. Aboul-Enein, and M. El-Naggar, "Effect of fin configuration parameters on single basin solar still performance," *Desalination*, vol. 365, pp. 15–24, 2015.
- [12] P. K. Srivastava and S. K. Agrawal, "Winter and summer performance of single sloped basin type solar still integrated with extended porous fins,"