

## افزایش عملکرد نیروگاه خورشیدی تولید بخار مستقیم فرسnel به کمک نانو ذرات

علی شهرجردی<sup>۱</sup>، رامین مهدی پور<sup>۲\*</sup>، آرش میرعبدا... لواسانی<sup>۳</sup>

۱- مری، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج

۲- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تفرش، تفرش

۳- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز، تهران

\* تفرش، ۰۷۹۶۱۱-۳۹۵۱۸، ramime56@gmail.com

### چکیده

حذف سیال روغن موجود در نیروگاه های خورشیدی بدلیل مشکلات نگهداری و زیست محیطی موضوع مهمی است که در سال های اخیر مورد مطالعه و بهره برداری آزمایشی قرار گرفته است. این فناوری، به تکنولوژی تولید بخار مستقیم (DSG) شهرت یافته است. در جاذب این نیروگاه ها جوشش سیال مشکل ساز است که در این مقاله به کمک نانو سیال تلاش می شود که هم این مشکل کمتر گردد و هم عملکرد جاذب را بهبود بخشیم. در این مطالعه که بر پایه محاسبات عددی روابط حاکم بر انتقال حرارت و ترمودینامیک بنا نهاده شده است، پارامترهای مهم و موثر بر راندمان نیروگاه ها در دو حالت سیال خالص و نانو سیال بررسی شده است. با بهره گیری از معادلات و روابط مربوط به آن (سیال تکفاز یا دوفاز)، دما، کیفیت بخار و ضریب انتقال حرارت سیال در تمام طول لوله بررسی شده است و تاثیر مثبت نانو ذرات اضافه شده، مشاهده شد. با اضافه کردن ۰/۰۵٪ نانو ذرات مس، اکسید مس، نقره و اکسید تیتانیوم مشاهده شد که آب سریع تر به جوش آمده و ضریب انتقال حرارت آن حدود ۱۲/۵ درصد افزایش یافت.

کلیدواژگان: انرژی های نو، نیروگاه خورشیدی، تولید بخار مستقیم، نانو سیال، ضریب انتقال حرارت جابجایی

## Increasing the performance of DSG fresnel solar power plant by nano-particles

Ali Shahrjerdi<sup>1</sup>, Ramin Mehdipour<sup>2\*</sup>, Arash Mir Abdollah Lavasani<sup>3</sup>

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

2- Department of Mechanical Engineering, Tafresh University, Tafresh, Iran

3- Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University of Central Tehran Branch, Tehran, Iran

\* P.O.B. 79611-30518, Tafresh, Iran, ramime56@gmail.com

Received: 2 February 2016 Accepted: 10 July 2016

### Abstract

Removal of fluid in solar energy for maintenance and environmental problems is an important issue in recent years studied and tested operation. This technology is known as direct steam generation technology (DSG). The boiling liquid absorbing power plants is problematic in this article to help nanofluid trying to be that the problem is less absorbent and improve performance. In this study, based on numerical calculations of heat transfer and thermodynamics that govern the major parameters affecting the efficiency of the power plant is built in two pure fluid and nanofluid is investigated. Using equations related to it (single-phase or two-phase fluid), temperature, quality of steam and heat transfer coefficient of fluid throughout the pipes have been investigated and the positive impact of added nanoparticles was concluded. By adding 0.05% nanoparticles of copper, copper oxide, silver oxide, titanium was found to boil water faster and heat transfer coefficient of around 12.5 percent.

**Keywords:** New energies, solar power plant, Direct steam generation, Nano fluid, Convective heat transfer coefficient



۱- مقدمه

استفاده از انرژی های تجدیدپذیر، زیست دوست و بدون آلاینده همچون انرژی خورشیدی، سالهاست که مورد توجه قرار گرفته است. یکی از موارد استفاده از انرژی خورشیدی تبدیل آن به الکتریسیته است که معمولا به دو شیوه انجام می پذیرد. روش اول تبدیل مستقیم نور خورشید به الکتریسیته از طریق سلولهای خورشیدی<sup>۱</sup> صورت میگیرد و روش دوم تبدیل انرژی گرمایی خورشید به الکتریسیته است که در نیروگاه های خورشیدی<sup>۲</sup> و با کمک جاذب های خورشیدی<sup>۳</sup> طی فرآیندی ترمودینامیکی انجام می گیرد. روند کار نیروگاه های خورشیدی به این صورت است که گرمای رسیده از خورشید توسط جاذب های خورشیدی متمرکز و جذب سیال می شود. سیال جاذب بنا به نوع تکنولوژی حاکم بر نیروگاه می تواند روغن و یا آب باشد. در نیروگاه های با تکنولوژی تولید بخار مستقیم<sup>۴</sup>، گرمای متمرکز شده جذب آب می گردد و باعث بالا رفتن دمای آن و تبخیر آب می شود. بخارات آب باعث گردش توربین بخار کوپل شده به ژنراتور و در نتیجه باعث تولید برق خواهد شد. یکی از مباحث مهم در تکنولوژی تولید بخار مستقیم، بررسی و تحلیل وضعیت و شرایط سیال آب درون لوله های جاذب است، چراکه کنترل وضعیت آن می تواند تاثیر بسزایی بر راندمان و تعمیر و نگهداری این نیروگاه ها داشته باشد. هرچه بهره برداری از منابع انرژی بدون آلاینده با راندمان بالاتری انجام پذیرد، صرفه اقتصادی آن بالاتر می رود و صنایع بیش از پیش به بهره برداری از آن رو خواهند آورد. فلذا یکی از مهمترین عوامل آلاینده ها برای محیط زیست که همان منابع سوختی صنایع هستند حذف خواهند شد.

طی چند دهه اخیر فعالیت هایی به منظور بالا بردن راندمان آینه های متمرکز کننده در جاذب ها انجام گرفته است. از اینگونه فعالیت ها می توان به حرکت این آینه ها در سه جهت مختلف با توجه به قرارگیری و موقعیت خورشید [۱]، استفاده از آینه های با جنس مختلف مثل SG4 و ANU و مقایسه عملکرد و تاثیر گذاری آنها بر راندمان [۲]، بررسی تاثیر زاویه آینه بر عملکرد آن [۳، ۲] اشاره کرد.

در مورد انواع نیروگاه ها بر اساس نوع سیال عاملشان نیز بررسی هایی انجام گرفته است. در مطالعه جان فابین فلدهوف و همکارانش [۴] به مقایسه تکنولوژی DSG و سیکل روغن در نیروگاه های با جاذب سهموی پرداخته اند و بهبود ۷/۴ درصدی DSG را نتیجه گیری شده است.

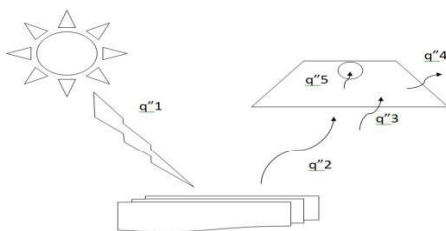
در جاذبهای فرسنتل خطی بررسی ها به سمت لایه نشانی ذرات روی دیواره لوله جاذب سوق پیدا کرد به طوری که تقدوری و همکاران [۵] در سال ۲۰۱۱ نانو ذرات کربال را روی دیواره داخلی لوله لایه نشانی کردند و نتایج مشاهدات آزمایشی خود را ارائه دادند. اندرو بلیکرز و همکاران [۶] در سال ۲۰۱۲ لایه نازکی از سیلیکون را در اطراف جاذب لایه گذاری کردند و افزایش ۲۰٪ راندمان را ثبت نمودند. در سال ۲۰۱۲، کوانگ جین کیم و همکارانش [۷] نانو ذرات آلومینا را بر جداره داخلی جاذب لایه نشانی کردند و نتیجه گرفتند که با افزایش ترشوندگی جداره لوله راندمان بالا خواهد رفت. طی سالهای اخیر که بحث تکنولوژی نانو بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته نیز افزودن مقدار خاصی از نانو ذرات به سیال آب در تکنولوژی DSG و مشاهده افزایش انتقال حرارت و افزایش راندمان موضوع مورد مطالعه بسیاری از پژوهشگران شده است. در سال ۲۰۱۲، احمد و همکارانش [۸] مطالعات

انجام شده در این خصوص را بررسی کردند. مطالعات به صورت آزمایشگاهی و یا نیمه آزمایشی نیمه محاسباتی بودند. در این مطالعه نیز تاثیر نانو ذرات پر کاربرد در صنعت انتقال حرارت روی رفتار سیال عبوری از لوله جاذب مورد بررسی قرار گرفته است و به منظور کاهش هزینه های آزمایش در این مطالعه تمامی پارامترها به طور عددی و با کدنویسی محاسبه شد. آقای جای دی پای [۹] در رساله آزمایشی - محاسباتی دکترای خود، به تفصیل در مورد رفتار سیال درون لوله جاذب نیروگاه های خورشیدی پرداخته است.

در تحقیق کنونی ابتدا رفتار سیال در لوله جاذب به طور عددی تحلیل شده و ضریب انتقال حرارت جابجایی سیال و عدد ناسلت آن تعیین گردیده و سپس در فاز بعد تاثیرات نانو ذرات افزوده شده به سیال بر رفتار سیال ارزیابی خواهد شد، در واقع رفتار نانو سیال درون لوله جاذب مورد تحلیل و بررسی قرار خواهد گرفت. در انتها مشاهده مشاهده شد نانو سیال در ۱۱۱ سانتیمتری ابتدای لوله جاذب وارد حالت دوفاز شد در حالی که سیال آب خالص در ۱۱۷ سانتیمتری شروع به بخار شدن کرد، ورود سریعتر به ناحیه دوفاز کیفیت بخار خروجی را افزایش میدهد به طوری که کیفیت بخار نانوسیال اکسید مس در انتهای لوله جاذب بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد. در مورد ضریب انتقال حرارت جابجایی نیز مشاهدات حاکی از افزایش ۱۲/۵٪ نانوسیالات نسبت به سیال آب خالص است و در این بین نانوسیال مس بیشترین تاثیرگذاری بر ضریب انتقال حرارت را دارا بود.

۲- معرفی مسئله

در شکل ۱ دیاگرام نیروگاه فرسنتل و نحوه تولید برق آورده شده است. در این نیروگاه بالانس انرژی جاذب و لولهی حرارتی مطابق شکل زیر می باشند.



شکل ۱ تفکیک شار حرارتی از زمان تابش تا ورود به داخل لوله جاذب

که در آن  $q^1$  شار حرارتی رسیده از خورشید،  $q^2$  شار حرارتی بازتاب شده از آینه های متمرکز کننده،  $q^3$  شار حرارتی ورودی به درون کاور،  $q^4$  شار حرارتی اتلافی از دیواره کاور و  $q^5$  شار حرارتی باقی مانده و ورودی به لوله جاذب می باشند.

در نیروگاه های فرسنتل خطی از سری های موازی آینه های تخت که انرژی تابشی خورشید را بر جاذب لوله ای ثابت متمرکز می کنند تشکیل شده است. این نوع جاذب ها قدرت تمرکز شدت تابش خورشید تا حدود ۳۰ برابر را دارند.

<sup>1</sup> Solar cells  
<sup>2</sup> Solar power plants  
<sup>3</sup> Absorber  
<sup>4</sup> Direct Steam Generation



محاسبات و بررسی ها باید به حالت دوفاز، که در واقع همان جریان جوششی سیال است توجه بیشتری گردد. طی مطالعات انجام شده، روابط حاکم بر هر کدام از حالات، از مقالات و مطالعات استخراج شده و با طراحی الگوریتم حل مناسب، کدهای مربوطه در نرم افزار برنامه نویسی متلب نوشته شده و ضرب انتقال حرارت جابجایی<sup>۴</sup> سیال و عدد بی بعد ناسلت آن در تک تک نقاط طول لوله جاذب نیروگاه محاسبه شده است.

#### محاسبه عدد ناسلت

در جریان داخل لوله در این جاذب ها با انتقال حرارت اجباری مواجه هستیم. رفتار انتقال حرارت اجباری با عدد بدون بعد ناسلت تخمین زده می شود.

#### انتقال حرارت جریان تک فاز در لوله

برای جریان لایه ای با رینولدز کمتر از ۳۰۰۰ در حالی که شار حرارتی بدنه لوله ثابت است و جریان کاملا توسعه یافته است عدد ناسلت ثابت و برابر ۴/۳۶ اندازه گیری شده است[۹].

$$Nu_D = 4.36 \quad (1)$$

برای جریان توربولانت و عدد رینولدز بزرگتر از ۱۰۰۰۰ عدد ناسلت از رابطه دیتوس - بولتر [۱۰] پیروی می کند:

$$Nu_D = 0.023 Re_D^{1/4} Pr^{1/3} \quad (2)$$

به طوری که برای سرمایش  $n=0.4$  و برای گرمایش  $n=0.3$  خواهد بود.

برای جریان گذرا از لایه ای به آشفته ( $1000 < Re < 10000$ ) از رابطه نیلیسنکی [۱۰] بهره برده می شود:

$$Nu_D = \frac{(f/8)(Re_D - 1000)Pr}{1 + 12.7(f/8)^{0.5}(Pr^{2/3} - 1)} \quad (3)$$

#### انتقال حرارت جریان دو فاز در لوله

اگر سیال عبوری از جاذب در حالت دوفاز باشد (جریان جوششی باشد)، روند کار به شکل زیر خواهد بود. برای محاسبه ضرب انتقال حرارت جابجایی در جریان دوفاز از رابطه کاندلیکار [۱۱] استفاده می کنیم. رابطه کاندلیکار ضرب انتقال حرارت جابجایی اجباری در حالت دوفاز یا جریان جوششی را به طور نسبی به ما می دهد:

$$\frac{h_{TP}}{h_L} = \max\left(\frac{h_{TP}}{h_L}\Big|_{nbd}, \frac{h_{TP}}{h_L}\Big|_{cbd}\right) \quad (4)$$

به طوری که اگر جوشش هسته ای غالب باشد [۱۱]:

$$\frac{h_{TP}}{h_L}_{nbd} = (1-x)^{0.8} [0.6683Co^{-0.2}f_o + 1058Bo^{0.7}F] \quad (5)$$

و اگر جوشش و انتقال حرارت جابجایی غالب باشد [۱۱]:

$$\frac{h_{TP}}{h_L}\Big|_{cbd} = (1-x)^{0.8} [1.136Co^{-0.2}f_o + 667.2Bo^{0.7}F] \quad (6)$$

<sup>2</sup> Saturated

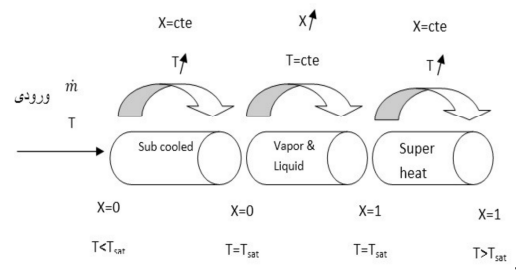
<sup>3</sup> Super-heated

<sup>4</sup> Heat transfer coefficient



شکل ۲ نیروگاه خورشیدی با تکنولوژی LFR

در ادامه برنامه ای طراحی و نوشته شد که اثرات نانو ذرات را بر برخی خصوصیات سیال محاسبه کرد و خروجی های آن برنامه به عنوان ورودی به برنامه اصلی داده شد و رفتار نانو ذرات در تمام طول لوله مورد بررسی قرار گرفت. در این جاذبها میزان انتقال حرارت به سیال عامل و حتی میزان تغییر فاز بسیار مهم می باشد. مطابق شکل ۳ طول لوله جاذب را می توان به سه قسمت تقسیم بندی کرد، حالت اول دمای سیال افزایش می یابد تا به دمای اشباع برسد، در حالت دوم دمای سیال در دمای اشباع ثابت باقی می ماند و کیفیت بخار آن افزایش می یابد تا به عدد یک یا حالت صد در صد بخار برسد و در حالت سوم مجددا دمای سیال رو به افزایش می رود که در این سه حالت به ترتیب سیال در حالات مادون سرد، اشباع و فوق گرم خواهد بود



شکل ۳ تقسیم بندی لوله جاذب به سه ناحیه جریان

وجود نانو سیال باعث می شود که میزان تولید، تعداد حبابها و زمان جدا شدن حبابها تحت تاثیر قرار گیرد. فلذا با بهره گیری از روابط تجربی [۱۵] و مقدار و نوع نانو ذره اضافه شده به سیال، تاثیرات نانو ذرات بر ویسکوزیته، ضرایب انتقال حرارت و دیگر پارامترها کد نویسی شد.

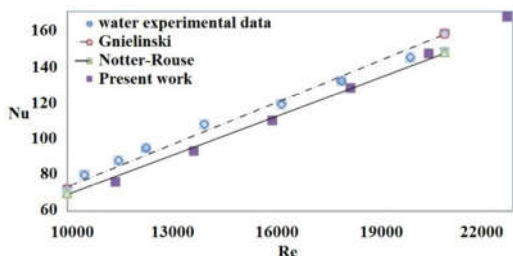
بر اساس این تقسیم بندی برنامه ای طراحی و نوشته شده است که برای سه حالت سیال مایع مادون سرد، اشباع و فوق گرم، از سه مرحله محاسباتی، تشکیل گردیده است. ابتدا دما و کیفیت بخار محاسبه می شود. سپس با توجه به دما و کیفیت بخار، پارامترهای دیگر نظیر ضرب انتقال حرارت جابجایی و عدد ناسلت بر اساس الگوریتم زیر محاسبه می گردد.

#### ۳- معادلات حاکم

جریان سیال آب درون لوله جاذب با توجه به میزان گرمای جذب شده، به سه حالت مایع مادون سرد، اشباع<sup>۲</sup> و فوق گرم<sup>۳</sup> تبدیل می شود. لذا در

<sup>1</sup> Sub cooled





شکل ۴ تغییرات عدد ناسلت بر حسب رینولدز

#### ۵- بررسی اثر نانو سیال بر عملکرد نیروگاه

در این بخش به بررسی اثر نانو سیال بر عملکرد نیروگاه پرداخته می شود. دمای سیال آب خالص (W) و نانو سیالات مس (Cu)، اکسید مس (CuO)، نقره (Silver) و اکسید تیتانیوم (TiO<sub>2</sub>) با مقدار ۰/۰۵ درصد حجمی در جدول ۱ مشخص شده است. همانطور که مشاهده می شود، نانو سیالات زودتر از آب خالص به دمای اشباع رسیده و وارد حالت دوفاز می شود. این موضوع بیانگر افزایش انتقال حرارت از لوله به سیال است.

جدول ۱ دمای سیال آب و نانو سیالات مختلف

با غلظت ۰/۰۵ درصد در طول لوله

L(m)	T(W)	T(Cu)	T(CuO)	T(Silver)	T(TiO <sub>2</sub> )
0	99	99	99	99	99
0.5	99.4	99.484 5	99.484 7	99.4846	99.48
1	99.8	99.9	99.92	99.91	99.88
1.11	99.9	100	100	100	100
1.17	100	100	100	100	100

مقایسه ضریب انتقال حرارت جابجایی سیال آب خالص با ضریب انتقال حرارت نانو سیالات مس، اکسید مس، نقره و اکسید تیتانیوم با غلظت ۰/۰۵ درصد، در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان می دهد که ضریب انتقال حرارت در نانو سیالات حدود ۱۲/۵ درصد نسبت به آب خالص افزایش یافته است و در این بین نانو سیال مس بیشترین افزایش را نشان می دهد.

جدول ۲ ضریب انتقال حرارت جابجایی سیال آب و نانو سیالات خاص در طول لوله

L(m)	h(w)	h(Cu)	h(CuO)	h(Silver)	h(TiO <sub>2</sub> )
0	1.723	1.988	1.97	1.97	1.95
0.5	1.723	1.988	1.97	1.97	1.95
1	1.723	1.988	1.97	1.97	1.95
1.11	1.723	0.704	0.69	0.69	0.69
1.17	0.61	0.9	0.89	0.9	0.87
5	1.97	2.273	2.25	2.25	2.23
10	3.531	4.073	4.04	4.04	4.01
50	11.83	13.65	13.54	13.55	13.45
100	19.38	22.37	22.19	22.21	22.04
200	31.03	35.80	35.52	35.54	35.28
310	40.03	46.20	45.83	45.86	45.52

عدد بدون بعد جابجایی و جوشش در روابط بالا به ترتیب عبارتند از [۱۱]

$$Co = \left(\frac{1-x}{x}\right)^{0.8} \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_f}} \quad (7)$$

$$Bo = \frac{q_w}{Gh_{fg}} \quad (8)$$

مقدار F به سیال وابسته بوده و در حالتی که سیال مورد استفاده آب باشد F=1 در نظر گرفته می شود [۹]

ضریب f<sub>0</sub> به لایه ای شدن یا نشدن جریان و جهت گیری لوله بستگی دارد. که در اینجا برای لوله های افقی این مقدار برابر خواهد بود با [۹]

$$f_0 = \begin{cases} 1 & \text{for } Fr_{L,O} \geq 0.04; \\ (25Fr_{L,O})^{0.3} & \text{for } Fr_{L,O} < 0.04 \end{cases} \quad (9)$$

عدد فرود برای جریان مایع از رابطه زیر بدست می آید [۹]

$$Fr_{L,O} = \frac{G^2}{\rho_f^2 g D} \quad (10)$$

h<sub>L</sub> ضریب انتقال حرارت مایع، در رابطه کاندلیکار، از فرمول مطرح شده در حالت گذار (رابطه نیلینسکی) بدست می آید که در آن مشخصات سیال در دمای اشباع مورد استفاده قرار می گیرد و عدد رینولدز هم از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$Re_L = \frac{GD}{\mu_f} \quad (11)$$

شار حرارتی ورودی از خورشید پس از تمرکز توسط آینه های متمرکز کننده، و پس از اتلاف حرارتی ناشی از ضریب بازتاب آینه ها و عوامل محیطی، به لوله جاذب رسیده و صرف گرم کردن آب درون آن می شود. محاسبات انجام شده در قالب کدنویسی در نرم افزار متلب بوده و نتایج آن به شرح ذیل ارائه می گردد. لازم به توضیح است که خواص ترمودینامیکی جایگذاری شده در روابط فوق الذکر، پس از محاسبه با روابط تجربی مربوط نانو سیالات در روابط بالا جایگذاری شد.

#### ۴- اعتبار سنجی

به منظور دستیابی به ضریب انتقال حرارت جابجایی و عدد نسلت که ای اساسی در انتقال حرارت سیال می باشند، طول لوله را به پارامتره قسمت تقسیم بندی کرده و پارامترهای مذکور را در نقاط طول لوله محاسبه می کنیم. بدیهی است هرچه این تقسیم بندی ها ریزتر باشد اطلاعات محاسبه شده نیز دقیق تر خواهد بود. پس از تقسیم لوله جاذب به ۱۰۰۰۰ المان مساوی، تغییرات عدد ناسلت بر حسب عدد رینولدز در تمام طول لوله جاذب مطابق نمودار شکل ۴ بدست آمد.

با توجه به مقایسه عدد ناسلت محاسبه شده و اعداد ناسلت ارائه شده در مطالعات پیشین که در شکل ۴ نمایان است و نیز مقایسه برخی پارامترهای دیگر در نمودارهای مشابه، همخوانی خوبی مشاهده شد و سپس محاسبات و استخراج نتایج از برنامه آغاز گردید.



### ۷- فهرست علائم

Bo	عدد بدون بعد جوشش
Co	عدد پرناتل
D	سرعت ( $ms^{-1}$ )
f	دما (K)
F	ضریب وابسته به سیال
$f_o$	ضریب وابسته به جهت گیری لوله
$Fr_{LO}$	عدد بدون بعد فرود برای حالت فقط مایع
G	دبی سیال عبوری به سطح مقطع لوله
g	شتاب گرانش زمین
$h_{fg}$	آنتالپی حالت اشباع
$h_L$	ضریب انتقال حرارت جابجایی حالت مایع
$h_{TP}$	ضریب انتقال حرارت جابجایی حالت دو فاز
$Nu_D$	عدد بدون بعد ناسلت
Pr	عدد بدون بعد پرناتل
$q_w$	گرمای ورودی به لوله
$Re_D$	عدد بدون بعد رینولدز
T	دمای سیال عبوری از لوله
$T_{sat}$	دمای اشباع سیال
x	کیفیت بخار
$m'$	دبی سیال عبوری از لوله

کیفیت بخار آب خالص و نانو سیالات مورد بررسی در طول لوله در جدول ۳ مشخص است که مقدار بخار خروجی پس از اضافه کردن نانو ذرات افزایش یافته است که در این بین نانو سیال اکسید مس بیشترین تاثیر مثبت را از خود بروز داده است.

### جدول ۳ کیفیت بخار سیال آب و نانو سیالات مختلف

با غلظت ۰/۰۵ درصد در طول لوله

L(m)	X(W)	X(Cu)	X(CuO)	X(Silver)	X(TiO2)
0	0	0	0	0	0
0.5	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
1.11	0	0.000076	0.000077	0.000076	0.000075
1.17	0.000076	0.0095	0.0096	0.00955	0.0093
5	0.0095	0.022	0.023	0.023	0.0215
10	0.022	0.121	0.123	0.123	0.12
50	0.121	0.245	0.245	0.246	0.234
100	0.245	0.493	0.493	0.493	0.491
200	0.493	0.765	0.765	0.765	0.763
310	0.765	0.767	0.768	0.767	0.765

### ۶- نتیجه گیری

با اضافه کردن ۰/۰۵٪ نانو ذرات مس، اکسید مس، نقره و اکسید تیتانیوم [۱۵] مشاهده شد آب سریع تر به جوش آمده و ضریب انتقال حرارت آن حدود ۱۲/۵ درصد افزایش یافت. نانوسیالات سریع تر وارد بخش دوفاز شدند و به تبع آن در انتهای لوله بخارات خروجی بیشتری مشاهده شدند که تغذیه کننده توربین بخار خواهند بود. همچنین از آنجایی که به دنبال افزایش ضریب انتقال حرارت، راندمان جاذب و در پی آن راندمان نیروگاه افزایش می یابد فلذا تاثیر چشمگیر نانو سیالات مشاهده شد.

در مقایسه ای که بین نیروگاههای بخار با سوخت فسیلی بنزین و نیروگاه خورشیدی به عمل آمد کاهش تولید دی اکسید کربن مورد بررسی قرار گرفت. ارزش حرارتی بنزین ۴۸ MJ/kg و راندمان حرارتی نیروگاه ها معمولا ۳۰٪ است. با توجه به معادله شیمیایی احتراق و حسابی سر انگشتی میزان تولید دی اکسید کربن در هر ساعت ۳ kg برای تولید فقط ۷۱ kW الکتریسیته بود. در حالی که یک نیروگاه خورشیدی به مساحت تقریبی ۴۴۳۰۰۰ m<sup>2</sup> این میزان برق را بدون تولید کربن دی اکسید تولید خواهد کرد.

افزایش راندمان نیروگاه خورشیدی با افزودن نانو ذرات که افزایش بخار خروجی از لوله جاذب بیانگر آن است به معنی افزایش تولید برق پاک از منبع انرژی بدون آلاینده و تجدید پذیر خورشید است. محققان ایده های متفاوتی را به منظور افزایش راندمان و بهبود عملکرد نیروگاه خورشیدی مطرح کرده اند. در این مطالعه هم راه کاری جدید با بهره گیری از فناوری نوبای نانو مطرح گردید. استفاده از انرژی های پاک، تاثیر بسزایی در حفظ و ابقای محیط زیست برای نسل های آینده خواهد بود.

### ۸- مراجع

- [1] L.SyamSundar, M.T.Naik, K.V.Sharma, M.K. Singh, T.Ch. Siva Reddy. *Experimental investigation of forced convection heat transfer and friction factor in a tube with Fe3O4magnetic nanofluid*. Experimental Thermal and Fluid Science 37, 65–71, 2012.
- [2] G. Burgess, K. Lovegrove, S. Mackie, J. Zapata, J.D. Pye. *Direct steam generation using the SG4 500m<sup>2</sup> Paraboloidal dish concentrator*. 2011.
- [3] J. He, Z. Qiu, L.Qiming, Y. Zhang. *Optical Design of Linear Fresnel Reflector Solar Concentrators*. Energy Procedia 14, 1960–1966, 2012.
- [4] J.F. Feldhoff, K. Schmitz, M. Eck, L.L. Schnatbaum, D. Laing, F. Ortiz-Vives, J. Schulte-Fischedick. *Comparative system analysis of direct steam generation and synthetic oil parabolic trough power plants with integrated thermal storage*. Solar Energy 86, 520–530, 2012.
- [5] G. Toghdiri, S.M. Rozati, N. Memarian, M. Arvand, M.H. Bina. *Nano structure black cobalt coating for solar absorber*. World Renewable Energy Congress 2011.
- [6] A. Blakers, V. Everrett, M. Jelena, E. Thomsen. *Thin Single Crystalline Elongate Silicon Solar Cells*. Energy Procedia 15, 58 – 66, 2012.
- [7] Zh.J. Bong, J.K. Kwang, Y. Hyungkee. *Enhanced heat transfer performance of alumina sponge-like nano-porous structures through surface wettability control in nucleate pool boiling*. International Journal of Heat and Mass Transfer 55, 7487–7498, 2012.
- [8] O. Ahmed, M.S. Hamed. *Experimental investigation of the effect of particle deposition on pool boiling of nanofluids*. International Journal of Heat and Mass Transfer 55, 3423=3436, 2012.



- [9] J.D.Pye. *System Modelling of the Compact Linear Fresnel Reflector*. A thesis presented for the degree of Doctor of Philosophy. Department of Mechanical and Manufacturing engineering Faculty of Engineering University of New South Wales. 21st May 2008.
- [10] P.F. Incropera ,D.P. DeWitt. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Wiley, USA, 4 edition, 1996.
- [11] H. Blasius, *Grenzschichten in Flüssigkeiten mit kleiner Reibung (German)*, Z. Math. physics 56, 1–37, 1908.
- [12] H John, Lienhard. *A Heat Transfer Textbook*. Phlogiston Press, Cambridge, Massachusetts, 3 edition, 2006.
- [13] L. SyamSundar, M.T. Naik, K.V. Sharma, M.K. Singh, T.Ch. Siva Reddy. *Experimental investigation of forced convection heat transfer and friction factor in a tube with Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> magnetic nanofluid*. Experimental Thermal and Fluid Science 37, 65–71, 2012.
- [14] R.H. Notter, M.W. Rouse, *A solution to the Graetz problem – III. Fully developed region heat transfer rates*, Chemical Engineering Science 27, 2073–2093, 1972.
- [15] A. Mahdy, *Unsteady mixed convection boundary layer flow and heat transfer of nanofluids due to stretching sheet*. Nuclear Engineering and Design 249, 248– 255, 2012.

