

## مروری بر اثر نانوذرات بر راندمان استخرهای خورشیدی با گرادیان شوری

سینا خاکنهاد<sup>۱</sup>، حسین بیکی<sup>۲\*</sup>، احسان سوختانلو<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دوره کارشناسی مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه فناوری های نوین قوچان

۲. استادیار، مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مهندسی فناوری های نوین قوچان

۳. دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: تیر ۱۳۹۶ پذیرش مقاله: مهر ۱۳۹۶	استخرهای خورشیدی یکی از ابزار جمع‌آوری و ذخیره انرژی خورشیدی در جهان می‌باشند. استخر خورشیدی با گرادیان شوری، نوعی از استخرهای خورشیدی است که از چند لایه محلول آب - نمک با چگالیهای مختلف تشکیل شده است. وجود لایه‌های مختلف آب نمک در استخر باعث جلوگیری از انتقال حرارت و ذخیره‌سازی انرژی تابشی خورشید در لایه آب نمک شده و می‌توان با استفاده از یک سیکل بسته، حرارت موجود در این لایه را به بیرون منتقل نمود. در تحقیق پیش‌رو اثرات استفاده از نانو ذرات گرافیت، نیکل و روی با درصد حجمی متفاوت در استخر خورشیدی مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به تحقیقات تئوری و تجربی فراوانی که بر روی عملکرد و پایداری استخرهای خورشیدی، نانوذرات می‌توانند راندمان استخر را افزایش دهند.

### ۱. مقدمه:

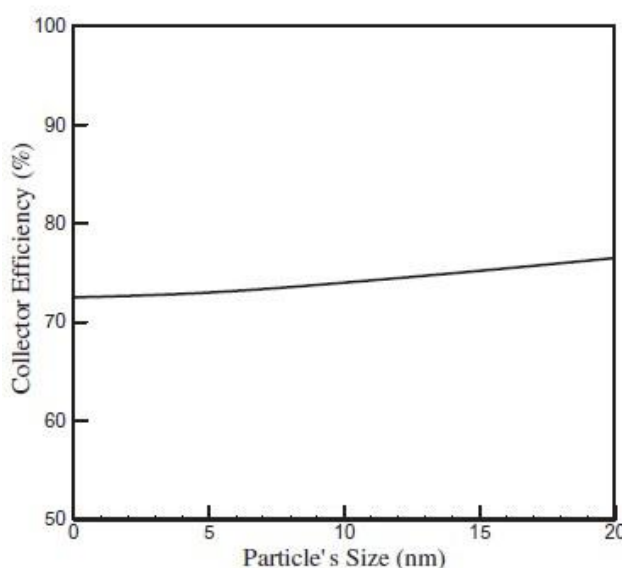
مطالعه بر روی استخرهای خورشیدی بعلت دارا بودن مزایای مهمی مانند طراحی و ساخت آسان و ارزان، امکان بهره‌برداری در تمام طول سال، ذخیره انرژی در خود استخر و ترکیب آن با دستگاههای دیگر، همیشه مورد توجه محققان بوده است. استخرهای خورشیدی گرادیان شوری از سه لایه محلول آب نمک با چگالیهای مختلف تشکیل شده‌اند. در استخرهای گرادیان شوری در لایه پایین محلول آب - نمک با بیشترین درصد غلظت و شوری (در حد اشباع حدود ۳۰ درصد) و در لایه بالایی نمک با کمترین درصد (کمتر از ۵ درصد) قرار دارد. در لایه میانی یک گرادیان شوری از درصد شوری بالا در لایه پایینی تا درصد شوری کم در لایه بالایی بوجود می‌آید که غلظت در این لایه بطور خطی و پیوسته از مرز مشترک با لایه بالایی تا مرز مشترک با لایه پایینی افزایش می‌یابد. عملکرد اینگونه استخرها به میزان جذب انرژی خورشیدی، میزان اتلاف حرارت هدایتی از کف و سطوح جانبی، میزان تبخیر سطحی، مقدار انتقال حرارت جابجایی از سطح استخر به محیط و میزان تشعشع حرارت به آسمان بستگی دارد. بنابراین اگر میزان دریافت تشعشع خورشیدی را افزایش و اتلاف حرارت از استخر را کاهش دهیم، باعث افزایش راندمان استخر خواهیم شد. وجود لایه های مختلف آب نمک در استخر باعث جلوگیری از انتقال حرارت و ذخیره سازی انرژی تابشی خورشید در لایه آب نمک شده و می‌توان با استفاده از یک سیکل بسته، حرارت موجود در این

\* نویسنده مسئول: hbeiki@qiet.ac.ir

لایه را به بیرون منتقل نمود. در این پژوهش به منظور افزایش راندمان استخرهای خورشیدی به بررسی پارامترهای تخریبی بر روی عملکرد و پایداری استخرهای خورشیدی با گرادبان شوری پرداخته می‌شود.

## ۲. تاثیر نانو ذرات بر راندمان استخرهای خورشیدی:

نانو سیالات (توزیع ذرات با ابعاد نانو در سیالات معمولی) نسل جدیدی از سیالات با پتانسیل بسیار زیاد در کاربردهای صنعتی هستند. اندازه ذرات مورد استفاده در نانو سیالات از ۱ نانومتر تا ۱۰۰ نانومتر می‌باشد. این ذرات از جنس ذرات فلزی همچون مس، نقره و... ویا اکسید فلزی همچون آلومینیوم اکسید، اکسید مس و... هستند. سیالات متداولی که در زمینه انتقال حرارت استفاده می‌شوند ضریب هدایت حرارتی پایینی دارند. ذرات نانو به دلیل بالا بودن ضریب هدایتی، با توزیع در سیال پایه باعث افزایش ضریب هدایت حرارتی سیال؛ که یکی از پارامترهای اساسی انتقال حرارت محسوب می‌شود، می‌گردند. اولین تاثیر مثبت در مشخصه‌های گرمایی سیالات با اضافه نمودن نانوذرات جامد به سیال پایه توسط چویی در سال ۱۹۹۵ ارائه شد [۱] بعد از چویی، پژوهشگران زیادی به استفاده از نانو ذرات در افزایش راندمان سیستمهای خورشیدی پرداختند که بیشتر این تحقیقات در زمینه افزایش راندمان کلکتورهای خورشیدی می‌باشند [۲]. از کارهای جدید مورد مطالعه در مورد اثر نانو ذرات بر روی راندمان استخرهای خورشیدی می‌توان به تحقیق کارونامورتی و همکارانش اشاره نمود [۳]. در این تحقیق که به صورت آزمایشگاهی و عددی انجام گرفته است، به بررسی اثرات نانوذرات اکسید مس بر روی افزایش میزان ضریب انتقال حرارت هدایتی لایه ذخیره‌ساز انرژی استخر خورشیدی پرداختند. آنان در لایه پایینی استخر به علت چگالی ذخیره سازی بالاتر در حجم پایین تر از محلول پارافین استفاده کردند. آنان به دلیل ضریب انتقال حرارت هدایتی پایین محلول پارافین، با استفاده از نانو اکسید مس این مشکل را بهبود دادند. نتایج تحقیق فوق نشان می‌دهد که با افزودن ۱ درصد از ذرات نانو اکسید مس به آب، علاوه بر سرعت ذخیره‌سازی بهتر، می‌توان تا ۵/۸ درصد ضریب انتقال حرارت هدایتی را افزایش داد. شکل (۱)، تاثیر سایز و اندازه ی نانو ذرات را بر بهره وری کمی در کسر حجمی برابر ۰/۸٪ مورد بررسی قرار می‌دهد. نتایج حاصل نشان دهنده ی آن است که با افزایش اندازه ی نانو ذره ی مورد نظر میزان راندمان جذب افزایش پیدا می‌کند [۴].



شکل (۱): تاثیر اندازه نانوذرات بر راندمان جذب [۴]

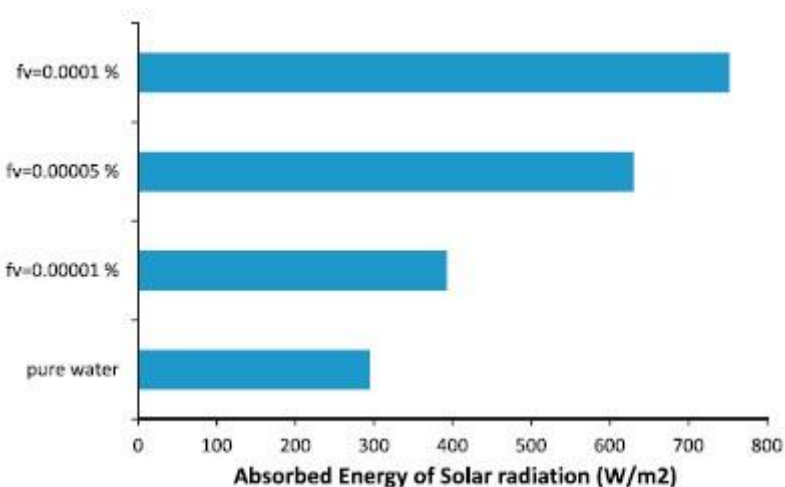
ذرات گرافیت از نانو مواد بسیار پر کاربرد و مفید در افزایش جذب انرژی خورشیدی می باشد. لادجوردی و همکارانش [۵] در تحقیق خود به بررسی عددی اثر نانو ذرات گرافیت با قطر و درصد حجمی متفاوت، بر روی میزان جذب انرژی خورشیدی بر روی یک کلکتور خورشیدی صفحه تخت پرداختند. نتایج آنان نشان می دهد که با نانو سیال حاوی ذرات گرافیت می توان میزان جذب تابش خورشیدی یک کلکتور خورشیدی صفحه تخت را از ۲۷ درصد به ۵۰ درصد رساند. شکل (۲)، جذب انرژی تابشی برای نانو سیال گرافیت و آب خالص در عمق برابر ۱ میلی متری را نشان می دهد. همانطور که از شکل پیدا است هرچه کسر حجمی نانوذرات بیشتر باشد، میزان جذب برای نانو سیال گرافیت بیشتر می شود و بدین ترتیب راندمان استخر خورشیدی افزایش پیدا می کند.

### ۳. اثر اتلاف حرارتی بر راندمان استخر خورشیدی:

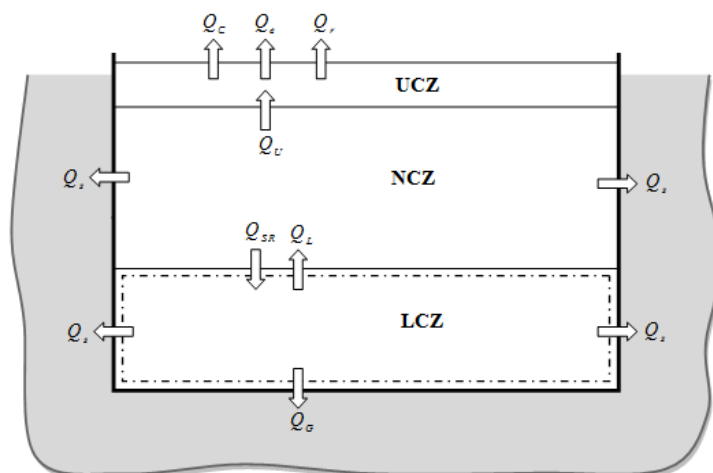
با توجه به اینکه بیشترین اتلاف گرما در استخرهای خورشیدی ناشی از تبخیر می باشد، در نتیجه با کاهش تبخیر می توان راندمان استخرهای خورشیدی را افزایش داد. اصلانی و مقیمان [۷] در تحقیق خود به بررسی آزمایشگاهی استفاده از نانو ذرات رس،  $TiO_2$  و  $Ni/Fe$  بر روی کاهش میزان تبخیر پرداختند. آنان همچنین اثر میزان غلظت نانو ذره و سرعت هوای ورودی بر روی نرخ تبخیر از سطح آب را مورد بررسی قرار دارند. نتایج تحقیق آنان نشان می دهد که بسته به نوع نانو ذره می توان نرخ تبخیر را افزایش یا کاهش داد. از میان نانو ذرات استفاده شده رس باعث افزایش و  $TiO_2$  و  $Ni/Fe$  باعث کاهش میزان تبخیر آب یونیزه شده می شود.

### ۴. انتقال حرارت از لایه ی بالایی:

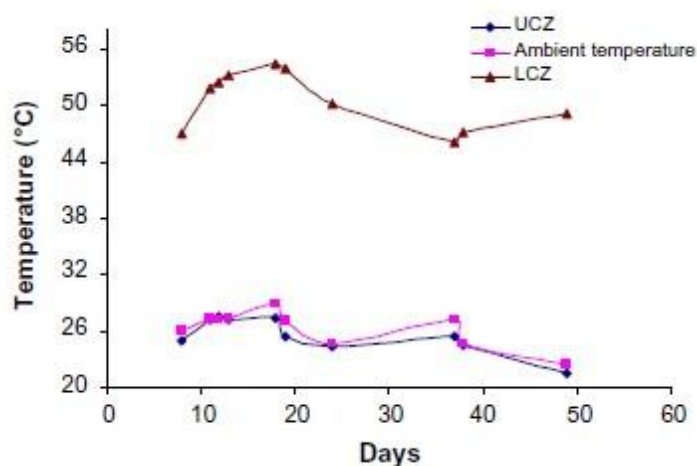
اتلاف حرارت از لایه بالایی استخر خورشیدی یک پارامتر مهم در تعیین راندمان استخر خورشیدی می باشد. اتلاف حرارت در لایه بالایی توسط انتقال حرارت جابجایی، هدایت از دیواره ها، تابش به آسمان و فرآیند تبخیر انجام می شود. به علت وجود تلفات در لایه بالایی، دمای سطح استخر از دمای محیط کمتر می باشد. علی [۸] در تحقیق خود نشان داد که دمای سطح استخر حداقل ۵ درصد از دمای اتمسفر کمتر می باشد. در نتیجه می توان در مواردی دمای سطح بالایی استخر را معادل دمای محیط فرض کرد.



شکل (۲): انرژی جذب شده از تابش خورشیدی در عمق ۱ میلی متری برای نانوسیال های گرافیت مختلف [۶]



شکل (۳): نمای شماتیک از انتقال گرما در استخر خورشیدی



شکل (۴): تغییرات متوسط روزانه ی دولا یه LCZ و UCZ [۹]

شکل (۴) نشان دهنده ی اختلاف دمای  $27^{\circ}\text{C}$  بین دو لایه همرفتی  $LCZ^1$  و  $UCZ^2$  می باشد. با توجه به نمودار دما، لایه ی UCZ بسیار به دمای محیط نزدیک است و تقریباً می توان آن ها را برابر در نظر گرفت. در این دوره ی آزمایش دمای لایه LCZ با کاهش دمای محیط افزایش یافته است [۹]. مقادیر ورودی و خروجی حرارت از میان لایه بالایی یک استخر خورشیدی را می توان توسط رابطه ریاضی (۱) نمایش داد. انرژی حرارتی ورودی به لایه سطحی استخر خورشیدی توسط انتقال حرارت تشعشعی از خورشید و انتقال حرارت هدایتی از لایه پایینی انجام می پذیرد.

$$Q_{uu} = Q_{sru} + Q_{ub} - Q_{uw} - Q_{uc} - Q_{ur} - Q_{ue} \quad (1)$$

که در معادله بالا  $Q_{uu}$  گرمای ذخیره شده در لایه بالایی،  $Q_{sru}$  گرمای جذب شده از خورشید،  $Q_{uw}$  اتلاف حرارت از دیواره های جانبی،  $Q_{ub}$  حرارت وارد شده از سطح پایینی،  $Q_{uc}$  اتلاف حرارت ناشی از جابجایی،  $Q_{ur}$  اتلاف حرارت توسط تابش به آسمان و  $Q_{ue}$  اتلاف حرارت ناشی از تبخیر می باشد.

1. Lower convective zone
2. Upper convective zone

## ۵. اتلاف حرارت توسط جابجایی:

میزان انتقال حرارت جابجایی از سطح بالایی به اتمسفر، بستگی به سرعت باد و اختلاف دما میان سطح آب و اتمسفر دارد. این روابط را می‌توان توسط معادله زیر نمایش داد:

$$Q_{uc} = h_c A_u (T_u - T_a) \quad (2)$$

که  $h_c$  ضریب انتقال حرارت جابجایی،  $A_u$  مساحت سطح لایه بالایی،  $T_u$  دمای لایه بالایی و  $T_a$  دمای محیط می‌باشد. به روش‌های مختلفی می‌توان مقدار ضریب انتقال حرارت جابه جایی را اندازه گیری کرد، که می‌توان به رابطه معروف اتکینسون اشاره نمود [۱۰]:

$$h_c = 0.255 f(v_z) \quad (3)$$

پارامتر  $f(v_z)$  تابعی از سرعت باد در ارتفاع  $z$  از سطح زمین می‌باشد. اتکینسون برای اندازه‌گیری سرعت باد در ارتفاع ۲ متری معادله زیر را پیشنهاد کرد:

$$f(v_z) = 3.75 v_z \quad (4)$$

از روابط پرکاربرد دیگری که برای محاسبه ضریب انتقال حرارت جابجایی استفاده می‌شود، می‌توان به رابطه زیر که توسط مک آدام ارائه شد اشاره کرد [۱۱]:

$$h_c = 5.7 + 3.8 v \quad (5)$$

علاوه بر روابط ارائه شده می‌توان به تحقیقات لیور [۱۲] (۱۹۹۰)، پایلیوس [۱۳] (۲۰۰۸) و برایسون [۱۴] مراجعه نمود.

## ۶. اتلاف حرارت تابشی:

یک استخر خورشیدی نیز مانند رفتار یک جسم سیاه حرارت را به آسمان تابش می‌کند. این انتقال حرارت از سطح بالایی استخر به آسمان تابعی از درجه حرارت‌های محیط و سطح آب و مساحت سطح آب می‌باشد. اتلاف حرارت تابشی از سطح را می‌توان توسط معادله زیر نشان داد:

$$Q_{ur} = \sigma E_s A_u [(T_u)^4 - (T_k)^4] \quad (6)$$

که در آن  $\sigma$  ثابت استفان-بولتزمان،  $E_s$  ضریب صدور سطح بالایی آب،  $A_u$  مساحت سطح و  $T_u$  و  $T_k$  به ترتیب درجه حرارت لایه بالایی و دمای آسمان می‌باشد. همچنین مقدار دمای آسمان را می‌توان توسط روابط زیادی بدست آورد. از آن جمله می‌توان به رابطه اسوینبک [۱۵] اشاره کرد:

$$T_k = 0.0552 (T_a)^{1.5} \quad (7)$$

## ۷. اتلاف حرارت ناشی از تبخیر:

بزرگترین مقدار اتلاف حرارت از استخر خورشیدی ناشی از اتلاف حرارت ناشی از تبخیر سطحی می‌باشد. توضیح تحلیلی این فرآیند بسیار مشکل می‌باشد ولی چند رابطه آزمایشگاهی برای پیش بینی این پدیده ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به رابطه سودها [۱۶] و علی [۱۷] اشاره نمود:

$$Q_{ue} = h_e [C_1 (T_u - T_a) - C_2 (1 - \gamma_h)] \quad (8)$$

که در این رابطه  $C_1$  و  $C_2$  به ترتیب دارای مقدار ثابت ۲/۹۳۳ و ۳۹/۱۱۵۰۵ و پارامتر  $\gamma_h$  رطوبت نسبی می‌باشد.

## ۸. اتلاف حرارت از دیواره‌های جانبی و کف استخر:

اتلاف حرارت از سطوح جانبی و کف استخر بستگی به ابعاد و مشخصه‌های مواد سازنده استخر خورشیدی و اختلاف دما بین استخر و دیواره خارجی دارد. تحقیق تابور نشان می‌دهد که راندمان استخر خورشیدی این بوگک در صورت در نظر نگرفتن تلفات، ۱۸ درصد می‌باشد در حالیکه راندمان واقعی آن ۱۱ درصد است که حاکی از اهمیت بالای تلفات کف استخر می‌باشد [۱۸]. رابطه‌های استفاده شده برای بیان اتلاف حرارت از استخر خورشیدی به زمین می‌تواند بصورت ۱، ۲ و ۳ بعدی و بصورت حالت پایدار یا ناپایدار بررسی شود. برای حالت انتقال حرارت یک بعدی و ناپایدار از استخر به زمین می‌توان رابطه زیر را استفاده نمود:

$$\rho_g C_g \frac{\partial T(x, t)}{\partial t} = K_g \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2} \quad (9)$$

که در رابطه بالا  $\rho_g$  چگالی زمین،  $C_g$  ضریب حرارت ویژه زمین،  $K_g$  ضریب هدایت حرارتی زمین و  $T(x, t)$  توزیع دما برای زمان  $t$  و عمق  $x$  از استخر می‌باشد.

## ۹. انتقال حرارت از لایه میانی:

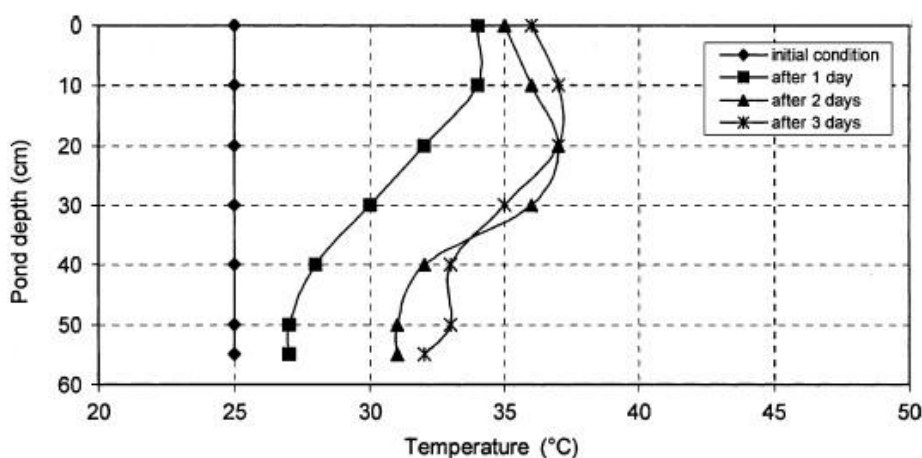
انتقال حرارت در لایه میانی را می‌توان بصورت معادله یک بعدی و ناپایدار نشان داد [۱۹، ۲۰]:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial Z} \left( k \frac{\partial T}{\partial Z} \right) + E(Z, t) \quad (10)$$

که در این رابطه،  $E(Z, t)$  میزان جذب انرژی خورشیدی در لایه میانی بوده و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$E(Z, t) = \frac{-d}{dz} \left[ \frac{A_e + A_{sh} \xi}{A} I_R(Z, t) \right] \quad (11)$$

که  $A$  مساحت کلی یک استخر خورشیدی  $(m^2)$ ،  $A_e$ ، مساحت موثر تابش خورشید  $(m^2)$ ،  $A_{sh}$  مساحت سایه شده،  $\xi$  درصدی از پخشی بودن کل تابش خورشیدی و  $I_R(Z, t)$  میزان تابش مستقیم در عمق  $Z$  از استخر در هر زمان  $t$   $(W/m^2)$  می‌باشد [۲۱]. شکل (۵) کار حسین و همکاران را نشان می‌دهد که دمای یک استخر خورشیدی را با شبیه سازی تابش خورشیدی در عمق‌های مختلف مورد بررسی قرار دادند [۲۲].



شکل (۵): پروفیل دما در عمق‌های مختلف [۲۲]

جدول (۱): پژوهش های انجام گرفته بروی استخر های خورشیدی

نام محقق	مدت آزمایش	مساحت (m <sup>2</sup> )	عمق و شوری	تجهیزات	موارد آزمایش	نتایج
Jubran et-al ۱۹۹۶ اردن (عمان)	۱ ماه تا ۱ سال	۲ × ۲/۵	۵ cm ۳۵ cm ۵۰ cm ۲۰ درصد	پشم سنگ - ۱۰ cm ورق گالوانیزه - ۳ mm پلکسی گلاس - ۶ mm ترمو کوپل (T) - ۱۰ عدد	اثر شرایط محیطی: باد- باران- دما اثر استفاده از حلقه- های پلاستیکی	باران - تاثیر ناچیز سایز حلقه‌ها- موثر دمای محیط- موثر
Kurt et-al ۲۰۰۶ ترکیه [۲۴]	۱۰ روز	۰/۵ × ۰/۶	۱۰ cm ۲۵ cm ۲۵ cm -۱۲-۱۰-۸ ۱۶ درصد	ورق گالوانیزه- ۱/۵ mm پشم سنگ - ۲ cm پلی استایرن - ۳ cm ۲ لامپ ۱۰۰۰ وات ترمو کوپل (K) - ۸ عدد	اثر درصد شوری آب لایه پایین در پایداری استخر خورشیدی (عددی و آزمایشگاهی)	شوری لایه پایینی باید حداقل ۱۲ درصد باشد تا استخر پایدار باشد
Sakhrieh Salaymeh ۲۰۱۳ اردن [۲۵]	۲۰ روز	۱/۷ × ۲/۱	۱۰ cm ۴۰ cm ۲۰ cm ۲۰ درصد	ورق گالوانیزه پشم شیشه- ۵ cm ترمو کوپل (T) - ۱۶ عدد	بررسی عددی و آزمایشگاهی اثرات دمای محیط بر روی دمای لایه پایینی	وجود رابطه بین دمای لایه میانی و دمای محیط
Tsilingiris Mullett ۱۹۸۹ انگلستان [۲۶]	یک هفته	۰/۴ قطر ۰/۵ عمق	۳۵ cm ۱۹ درصد	لامپ ۱۰۰۰ وات THORN CSI ورق پلی اتیلن ترمو کوپل (K) - ۱۶ عدد	بررسی پایداری استخر خورشیدی و تاثیر میزان شوری نمک بر آن	هرچه غلظت نمک بیشتر باش استخر پایدارتر است
Ould Dah et-al ۲۰۱۰ تونس [۲۷]	۱۸ روز ۴۸ روز ۶۸ روز ۱۶۰ روز	۰/۸ قطر ۰/۹ عمق	۱۰ cm ۴۰ cm ۴۰ cm ۱۴ درصد	ورق پلی اتیلن پلی یورتان - ۱۵ cm دیفیوزر - قطر ۸۰ cm ترمو کوپل (K) - ۲۷ عدد	تاثیر برداشت گرما در دما و پایداری استخر	برداشت گرما از لایه میانی از لایه پایینی راندمان بهتری دارد ولی پایداری کمتر
Bozkurt Karakilcik ۲۰۱۲ ترکیه	روزانه	۱/۶ قطر ۲ عمق	۲۰ cm ۸۰ cm ۸۰ cm ۱۸ درصد	ورق پلی اتیلن سنسور دما- ۱۰ عدد	تاثیر کوپل کردن ۱ تا ۴ کلکتور به استخر خورشیدی	اگر ورودی استخر را از کلکتورها بگیریم راندمان آن افزایش می یابد
Karakilcik et-al ۲۰۰۶ ترکیه	حداکثر ۳ ماه	۲ × ۲ ۱/۵ عمق	۱۰ cm ۶۰ cm ۸۰ cm ۱۲۰۰	ورق استیل - ۵mm پشم شیشه - ۵cm سنسور دما- ۱۶ عدد	میزان جذب و عبور انرژی خورشیدی و محاسبه راندمان در هر سه لایه	میزان راندمان LCZ - ۲۸/۱ % NCZ - ۱۳/۸ % UCZ - ۴/۵ %
Velmurgan Srithar ۲۰۰۷ هند	۴ و ۷ روز کل ۶ ماه	قطر بالا ۰/۹ پایین ۰/۳	۸ cm ۱۲ cm ۱۰ cm	Fly wood ۵cm تا ۴۰ خاک اره	کوپل استخر و آب شیرین کن - تاثیرات تئوری و تجربی غلظت مختلف نمک	میزان غلظت بهینه نمک در استخر ۸۰ گرم در یک کیلوگرم آب
Zhang Nielsen ۱۹۹۳ امریکا	نامشخص	قطر - ۰/۷۵۵ ارتفاع - ۱/۲۱	دو لایه ۷۰ cm ۴۰ cm	تانکر پلاستیکی با پوشش استیل و ۹ cm فوم	تاثیر میزان شوری و دما در راندمان و حرکت لایه بالایی	افزایش شوری لایه بالایی = حرکت مرز لایه بالایی به پایین
Suarez et al ۲۰۱۰ امریکا	۳ تا ۱۵ روز	مساحت - ۱/۹ عمق - ۱ ٪۲۴	۵ cm ۴۰ cm ۶۰ cm	لامپ HID ۱۱۰ وات بر متر مربع اختلاف شوری هر ۵ لایه میانی ٪۲/۲	تاثیر برداشت گرما از مرز مشترک لایه بالایی و پایینی	برداشت گرما از مرز= ناپایداری در لایه میانی و کاهش شدید دما در پایین
Ruskowitz et al	از ۱ تا نهایت ۵۰	مساحت=۱/۹ عمق=۱	۵ cm ۴۰ cm	ورق گالوانیزه ۶ لامپ سدیم فشار بالا	جلوگیری از تبخیر سطحی با استفاده از	کاهش ۴۷ درصدی نرخ تبخیر و افزایش

۲۰۱۴	روز	۲۴٪	۶۰ cm	دیسک و حباب شناور	۲۶ درصدی در دمای
امریکا [۲۸]				و ورقه پلاستیکی	لایه پایین
Al-Nimr et al	۱ تا ۱۴	مساحت=۱	لایه بالا ۱ و mm۱۰	تاثیر استفاده از نانو	افزایش میزان دما در
۲۰۱۴	ساعت		لایه پایین	نقره در میزان دمای	لایه پایین (۲۶٪)
اردن			۰/۲۵	ذخیره شده در استخر	افزایش پس از ۱۴ ساعت)

با توجه به روابط حاکم بر مسئله و همچنین استفاده از روشهای متعدد گسسته سازی معادلات عنوان شده که توسط محققان زیادی مانند جعفرزاده (۲۰۰۴) [۲۳] ارائه شده است می توان دمای هر سه لایه و در نهایت راندمان استخر خورشیدی را محاسبه نمود. در جدول زیر مواردی از پژوهشهای آزمایشگاهی در زمینه استخرهای خورشیدی به همراه مدت زمان آزمایش و مشخصات استخرهای مورد مطالعه ذکر شده است. این پژوهش ها بصورت آزمایشگاهی انجام گرفته است.

#### ۱۰. نتیجه گیری:

نانوذرات گرافیت، نیکل و روی از جمله نانوذراتی هستند که با توجه به جنس خود باعث افزایش میزان جذب انرژی خورشیدی می شود. در نتیجه اگر در لایه پایینی استخرهای خورشیدی با گرادیان شوری نانوذرات گرافیت، نیکل و روی اضافه شود میزان جذب و ذخیره سازی انرژی خورشیدی در لایه پایینی و در نتیجه راندمان حرارتی استخر افزایش می یابد. نتایج آزمایشگاهی مختلف بیانگر این است که با استفاده از نانوذرات گرافیت می توان میزان جذب یک کلکتور خورشیدی را نزدیک ۲۲٪ افزایش داد. همچنین افزایش غلظت نانوذرات در استخرهای خورشیدی باعث افزایش راندمان جذب از یک طرف و تولید انرژی از طرف دیگر می شود.

#### ۱۱. مراجع:

- [1] Choi, S. U. S., Nanofluid technology: current status and future research, (1998).
- [2] Mahian, O., Kianifar, A., Kalogirou, A., Pop, L., Wongwises, S., "A review of the applications of nan fluids in solar energy", International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 57(2), pp. 582-594, (2013).
- [3] Karunamurthy, K., Murugumohankumar, K., Suresh, S., "Use of CuO nano-material for the improvement of thermal conductivity and performance of low temperature energy storage system of solar pond", Digest Journal of Nanomaterials Biostructures, Vol. 7(4), pp. 1833-1841, (2012).
- [4] Al-Nimr, M. d. A., Al-Dafaie, A. M. A., "Using nanofluids in enhancing the performance of a novel two-layer solar pond", Energy, Vol. 68, pp. 318-326, (2014).
- [5] Karunamurthy, K., Murugumohankumar, K., Suresh, S., "Use of CuO nano-material for the improvement of thermal conductivity and performance of low temperature energy storage system of solar pond", Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures, Vol. 7(4), pp. 1833-1841, (2012).
- [6] Ladjvardi, S. M., Asnaghi, A., Izadkhast, P. S., Kashani, A. H., "Applicability of graphite nanofluids in direct solar energy absorption", journal of Solar Energy, Vol. 94, pp. 327-334, (2013).
- [7] Moghiman, M., Aslani, B., "Influence of nanoparticles on reducing and enhancing evaporation mass transfer and its efficiency", International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 61, pp. 114-118, (2013).
- [8] Ali, H. M., "Investigation of solar pond surface zone temperature assumptions", International Journal of Energy Research, Vol. 10, pp. 385-391, (1984).
- [9] Ould Dah, M. M., Ouni, M., Guizani, A., Belghith, A., "The influence of the heat extraction mode on the performance and stability of a mini solar pond", Journal of Applied Energy, Vol. 87(10), pp. 3005-3010, (2010).
- [10] Atkinson, J. F., Harleman, D. R. F., "A wind- mixed layer for solar ponds", Journal of Solar Energy, Vol. 31(3), pp. 243-259, (1983).



- [11] McAdams, W. H., "Heat transmission", 3<sup>rd</sup> edition, Tokyo, Japan: McGraw-Hill Kogakusha, pp. 249, (1985).
- [12] Lior, N., "Thermal theory and modelling of solar collectors", In: Winter, solar collectors, energy storage, and materials, Cambridge: MIT Press, (1990).
- [13] Palyvos, J. A., "A survey of wind convection coefficient correlations for building envelope energy systems modelling", Applied Thermal Engineering, Vol. 28, pp. 801-808, (2008).
- [14] Bryson, K. L., "Experimental study of the stability of volatiles on Mars", PhD Thesis, University of Arkansas, (2008).
- [15] Swinbank, W. C., "Long wave radiation from clear skies", Q.J.R. Meteorological Society, Vol. 89(381), pp. 339-348, (1963).
- [16] Sodha, M. S., Kaushik, N. D., Rao, S. K., "Thermal analysis of three zone solar pond", Int. J. Energy Res., Vol. 5, pp. 321-340, (1981).
- [17] Ali, H. M., "Potential of solar ponds in hot climates", Solar & Wind Technology, Vol. 6, pp. 137-141, (1989).
- [18] Tabor, H., "solar ponds Non-convecting in: Solar Energy Conversion - an introductory course", Toronto: Pergamon Press, pp.167-183, (1978).
- [19] Sukhatme, S. P., Solar Energy, Tata Mc Graw-Hill Pub Co, New Delhi, (1984).
- [20] Tabor, H., Weinberger, Z., "non-convecting solar ponds. in: kreider, J.F., kreith, F. (Eds.)", solar energy handbook. Mc Graw Hill, New York. Chapter 10, (1981).
- [21] Wang, Y. F., Akbarzadeh, A., "A parametric study on solar ponds", Solar Energy, Vol. 30(6), pp. 555-562, (1983).
- [22] Kurt, H., Ozkaymak, M., Binark, A. K., "Experimental and numerical analysis of sodium-carbonate salt gradient solar-pond performance under simulated solar-radiation", journal of Applied Energy, Vol. 83, PP. 324-342, (2006).
- [23] Jafarzadeh, M. R., "Thermal behavior of small salinity-gradient solar pond with wall shading effect", Solar Energy, Vol. 77, pp. 281-290, (2004).
- [24] Kurt, H., Halici, F., Binark, A. K., "Solar pond conception-experimental and theoretical studies", Energy conversion and management, Vol. 41(9), pp. 939-951, (2000).
- [25] Sakhrieh, A., Al-Salaymeh, A., "Exprimental and numerical investigation of salt gradient solar pond under Jordanian climate condition", Energy Conversion and Management, Vol. 65, pp. 725-728, (2013).
- [26] Tsilingiris, P. T., Mullett, L. B., "The process of loss of internal stability in salt gradient solar ponds", International Journal of Energy Research, Vol. 13, pp. 527-536, (1989).
- [27] Dehghan, A. A., Movahedi, A., Mazidi, M., "Experimental investigation of energy and exergy performance of square and circular solar ponds", Solar Energy, Vol. 97, pp. 273-284, (2013).
- [28] Ruskowitz, J. A., Suarez, F., Tyler, S. W., Chidress, A. E., "Evaporation suppression and solar energy collection in a salt-gradient solar pond", Solar Energy, Vol. 99, pp. 36-46, (2014).

## Investigation of nanoparticles effect on salinity-gradient solar pond

S. Khaknahad, H. Beiki and E. Sukhtanlu

---

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received: jul. 2017

Accepted: oct. 2017

#### Keywords:

Solar pond,  
Efficiency,  
Nanoparticles,  
Salinity.

### ABSTRACT

Solar ponds, one of the tools in the world which are collected and stored solar energy. Salinity-gradient solar pond is a kind of solar technologies which was composed with multi layers of water-salt with different densities. Different salt-water layers decreased heat transfer rate from solar pond and increased solar energy storage. Using a closed cycle, the energy in the end layer to be able transferred out. In this study, effects of graphite, Nickel and Zinc nanoparticles with different volume concentrations in solar pond were investigated. Consider to numerical and experimental researches, performance of solar pond was improved with using nanoparticles.

---