

استخرهای خورشیدی، کاربرد های آن و روش مطالعات مکان یابی در ایران

محمدرضا جعفرزاده

گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

واژه های کلیدی: استخر خورشیدی، انرژی خورشیدی

چکیده :

در این مقاله در ابتدا نحوه عملکرد استخرهای خورشیدی بطور خلاصه توصیف میشود و مساحت تقریبی یک استخر با دانستن اختلاف درجه حرارت آن و درجه حرارت محیط، میزان تابش خورشیدی و نیز نرخ متوسط مصرف سالانه انرژی محاسبه میگردد. سپس به شرح کاربردهای استخرهای خورشیدی در زمینه های گرمایشی، نمک زدایی، تولید الکتریسیته و استفاده های چند منظوره پرداخته میشود. در قسمت بعد عواملی که در انتخاب محل مناسب برای یک استخر خورشیدی موثر است تشریح میگردد و روش کمی کردن پارامترها در سایت های مختلف با تعیین "ضریب مطلوبیت" هر سایت ارائه میشود. در انتها مشخصات سایت های مناسب جهت احداث استخر خورشیدی در ایران بررسی میشود و مزیت احداث استخر خورشیدی در کاهش شوری آب و خاک و ایجاد صنعت استخراج نمک مطالعه میشود.

۱- تعریف یک استخر خورشیدی با گرادیان

شوری

فناوری استخرهای خورشیدی یکی از تکنیکهای نسبتاً ساده استفاده از انرژی خورشیدی است. در این استخرها (شکل ۱)، آب در سه ناحیه با افزایش شوری ذخیره میشود.

حداکثر شوری در ناحیه بالایی استخر خورشیدی در حدود شوری آب دریا است. (۳/۳ در صد وزنی) ضخامت این ناحیه هر چه کمتر باشد عملکرد حرارتی استخر بهتر میشود. اما بهرحال پیدایش این ناحیه، بدلیل عواملی از قبیل اختلاط سطحی ناشی از وزش باد و یا انتقال نمک از لایه زیرین به سطح استخر خورشیدی، اجتناب ناپذیر است. ضخامت معمول لایه سطحی در حدود ۱۰ تا ۳۰cm است که در شرایط حفاظت نشده "به نیم متر و بیشتر هم میرسد در لایه سطحی، بدلیل یکنواختی دانسیته، حرکت همرفتی در

عمق صورت میپذیرد.

در ناحیه وسط چگالی آب، بطور شبه خطی، با عمق افزایش پیدا میکند تا به حداکثر مقدار خود برسد. بدلیل افزایش چگالی امکان حرکت همرفتی در این ناحیه وجود ندارد. عمق این لایه در حدود ۱ تا ۱/۵ متر میباشد.

در لایه زیرین، که سنگین ترین ناحیه استخر خورشیدی است، چگالی آب نمک نسبتا یکنواخت و در حد نزدیک به اشباع میباشد بنا بر این، در ناحیه اخیر، حرکت همرفتی صورت میپذیرد. ضخامت این ناحیه متغیر است و بسته به نیاز تا دو متر هم میتواند برسد.

نور خورشید با عبور از لایه های مختلف استخر خورشیدی به کف آن برخورد میکند و دما را بتدریج افزایش میدهد. آب گرم شده، در ناحیه زیرین، سبک میشود و بطرف بالا حرکت میکند. نظر بر آنکه امکان حرکت جابجایی در ناحیه گرادیانی، بدلیل کاهش چگالی، وجود ندارد. انتقال حرارت بطریق هدایت، که فرایند کندی است، صورت میپذیرد. بنابراین گرمای آب در ناحیه زیرین ذخیره میشود و در صورتیکه اتلاف حرارتی زیادی از بدنه استخر وجود نداشته باشد درجه حرارت ناحیه زیرین استخر بتدریج افزایش پیدا میکند. در استخرهای بزرگ مقیاس، "درجه حرارت کاری" استخر بین ۸۰ تا ۹۰°C میباشد. [1] اما در یک استخر خورشیدی ۱۰۵ متر مربعی در دانشگاه نیومکزیکو دمای آب لایه زیرین را تا ۱۰۶°C هم رسانیدند که منجر به جوشیده شدن آب نمک، تولید حباب، و بهم خوردن پایداری استخر گردید. در بعضی استخر های خورشیدی در اسرائیل افزایش درجه حرارت تا ۱۱۳°C هم گزارش شده است. [2]

در صورتیکه، I ، میزان تابش خورشیدی بر حسب وات بر متر مربع باشد مقدار تابشی که به لایه ذخیره

ساز میرسد، در محدوده عرض جغرافیایی ایران، تقریبا

برابر است با

$$IP = 0.34 * I \quad (1)$$

همچنین، اگر درجه حرارت متوسط لایه زیرین استخر، TP ، و درجه حرارت محیط، TA ، باشد. و تفاضل آن دو را، TD بنامیم خواهیم داشت.

$$TD = TP - TA \quad (2)$$

حال اگر، L ، میزان متوسط برداشت انرژی سالانه از استخر خورشیدی بر حسب وات باشد مقدار مساحت تقریبی استخر خورشیدی به متر مربع، با تخمین در حدود ۲۰ درصد، برابر است با [3]

$$A = \left(\frac{1.1TD + \sqrt{1.21TD^2 + L(IP - 0.83TD)}}{(IP - 0.83TD)} \right)^2 \quad (3)$$

۲- تاریخچه استخرهای خورشیدی

اولین مطالعات در زمینه استخرهای خورشیدی به سال ۱۹۵۸ در اسرائیل آغاز شدو تا سال ۱۹۶۷ ادامه یافت. [1] اما به دلیل هزینه گرانتر انرژی خورشیدی، در مقایسه با انرژی های ارزان فسیلی، تحقیقات در این زمینه متوقف ماند. از سال ۱۹۷۳ به بعد، بدنبال بحران انرژی، در بسیاری از کشورهای دنیا تحقیق در زمینه استخرهای خورشیدی شروع شد. در سالهای اخیر در کشورهای امریکا، اسرائیل، استرالیا، هندوستان و بعضی کشورهای حاشیه خلیج فارس مطالعات دامنه داری در مورد عملکرد استخرهای خورشیدی انجام شده است.

[2]

در ایران مطالعات نظری اندکی، در سال ۱۹۸۰، در دانشگاه شیراز، انجام شد. [4] اما ادامه پیدا نکرد. در سال ۱۳۷۵، در دانشگاه فردوسی مشهد یک استخر خورشیدی کوچک، به مساحت ۴ m²، ساخته شد که رفتار آن، بمدت چهار سال، توسط نویسنده مورد

بررسی و مطالعه قرار گرفت. [5] در موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، نیز، رفتار یک استخر خورشیدی کوچک، به مساحت $1/8 \text{ m}^2$ ، به مدت کوتاهی، بررسی شد. [6]

۳-کاربردهای استخرهای خورشیدی

از استخرهای خورشیدی، همچون سایر منابع انرژی، در موارد متعددی میتوان استفاده کرد. ذیلا به بعضی از کار بردهای آنها مختصرا اشاره میشود. [2]

۳-۱- استفاده های گرمایشی

۳-۱-۱- گرمایش منازل مسکونی و مناطق صنعتی:

از استخرهای خورشیدی جهت گرم کردن منازل استفاده میشود. بعنوان یک قانون سرانگشتی میتوان گفت که برای استفاده گرمایشی یک منزل یک استخر خورشیدی به همان مساحت لازم میباشد. [7] راندمان حرارتی استخرهای خورشیدی بسته به اندازه و عمق آنها در حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد تخمین زده میشود [۱]. از استخر های خورشیدی میتوان به جهت گرم کردن آب استخرهای شنای معمولی نیز استفاده کرد. مثلا در میامزبرگ امریکا آب زیر زمینی با درجه حرارت 11°C را بکمک یک استخر خورشیدی به مساحت 2000 m^2 به 24°C رسانیدند در حالیکه تابش متوسط خورشید 160 W/m^2 بود. از استخرهای خورشیدی جهت رفع نیاز های گرمایشی کارخانجات صنایع غذایی و کارخانجات شیر، نیز، استفاده میشود. قدرت حفظ و ذخیره گرما از تابستان تا زمستان میتواند استخرهای خورشیدی را بعنوان یکی از گزینه های گرمایش زمستانی نیز مطرح کند. طرحهای گرمایشی

ناحیه ای در اینصورت قابل بررسی است. بطور کلی ساخت استخرهای کوچک برای استفاده گرمایشی یک خانواده اقتصادی نیست. زیرا که استخرهای کوچک دارای هزینه تمام شده بیشتری بر متر مربع تا استخرهای بزرگ هستند.

در بسیاری از موارد برای گرمایش صنعتی از استخر خورشیدی بمنظور گرم کردن اولیه و از سایر منابع انرژی برای مراحل نهایی گرمایش استفاده میشود.

۳-۱-۲- زراعت و کشاورزی

استفاده از حرارت پائین، در زمان های خاصی از دوره سالیانه کشاورزی، معمولا توانایی تولید غذا را بطور دائمی افزایش میدهد. مقدار انرژی گرمایی برای انواع مختلف فرآورده های کشاورزی مشخص است. انرژی خورشیدی برای این کار منبع خوبی است. و استخرهای خورشیدی جهت این نوع استفاده ها بسیار مناسب بنظر میرسند.

۳-۱-۳- خشک کردن محصولات زراعی

در مناطق معتدله، جو، گندم و سایر دانه ها، در پائیز، در شرایط رطوبتی بالا برداشت میشوند و سپس، برای ذخیره بلند مدت، تا میزان رطوبت پائینی، خشک میشوند. مثلا در امریکا رطوبت ذرت، در هنگام برداشت، ۳۰٪ است اما برای نگهداری باید به ۱۵٪ برسد تا از فاسد شدن آن جلوگیری شود. میزان انرژی لازم برای این کاهش در صد رطوبت ذرت، برابر 600 MJ/m^3 میباشد. اغلب اوقات در فرآیند خشک کردن، لازم است که هوای مورد استفاده به درجه حرارت 5°C بالا تر از درجه حرارت محیط برسد. با حرارت ناشی از سوختهای فسیلی به درجه حرارتهای بسیار بالاتر میتوان دست یافت، که بسرعت

میکنند امکان استفاده از استخرهای خورشیدی را بعنوان منبع انرژی، در مناطقی که آب های شور موجود است، فراهم میسازد. استخرهای خورشیدی، بدلیل ظرفیت ذخیره گرمایی دراز مدتشان، درجه حرارت ثابتی را در قسمت گرم کننده مهیا میسازد در سال ۱۹۸۷ در مجاورت یک استخر خورشیدی، به مساحت 3350 m^2 واقع در تگزاس (الپاسو)، یک دستگاه آب شیرین کن چند مرحله ای، به ظرفیت $16 \text{ m}^3/\text{day}$ ، نصب شد. [8]

۳-۳- تولید الکتریسته

از استخرهای خورشیدی میتوان انرژی الکتریکی با راندمان کلی حداکثر ۱ تا ۱/۵ در صد تولید کرد. [9] استخرهای خورشیدی، بدلیل ظرفیت ذخیره حرارتی زیاد خود، میتوانند بار پایه (Base load) را در کلیه ساعات شبانه روز فراهم سازند. از آنها، بسته به ظرفیتشان، حتی به اندازه ۶ تا ۷ برابر بار پایه، به مدت محدودی، بعنوان بار حداکثر نیز میتوان استفاده کرد.

در اسرائیل، در عین البقععه، در سواحل دریای مرده، یک استخر خورشیدی به مساحت 6250 m^2 به همراه یک نیروگاه 150 kW در سال ۱۹۷۹ احداث شد. چند سال بعد (۱۹۸۴)، پس از این تجربه موفقیت آمیز، در بیت الجعراوه (در سواحل دریای مرده) یک استخر خورشیدی به مساحت 21000 m^2 ساخته شد که قادر بود 5 MW(e) الکتریسته تولید کند. ساخت این استخر خورشیدی در هر مترمربع حدود ۱۸ دلار هزینه داشت. رقمی که بعد ها ادعا شد که با توجه به تجربیات موجود به نصف هم میتواند تقلیل داده شود. در نیروگاههای استخر خورشیدی فوق از توربین های سیکل رانکین، که در درجه حرارتهای پائین کار میکنند، استفاده میشد. این توربین ها توسط شرکت سولمات سیستم ساخته شده بود. [10]

دانه را خشک کند، اما پروتئین موجود در ذرات کاهش پیدا میکند. استخرهای خورشیدی برای این منظور ایده آل هستند. زیرا درجه حرارت آنها در اواخر تابستان به حداکثر خود میرسد و بنابراین در فصل درو میتوانند هنوز مقدار زیادی حرارت را در خود ذخیره داشته باشند. (تجربه نشان داده است که جهت خشک کردن مقادیر زیادی از دانه ها ۴ تا ۶ هفته کافی است.) برای بدست آوردن حداکثر درجه حرارت، در فصل زراعت، لازم است که عمق لایه ذخیره ساز افزایش پیدا کند. عمق دو متر ویا بیشتر، برای ناحیه زیرین، در این حالت ایده ال است. سریعترین و مستقیمترین راه برای انتقال حرارت در این گونه موارد استفاده از مبدل های حرارتی سیال به هوا می باشد.

۳-۱-۴- گرمایش گلخانه ها و سایر موارد

جهت افزایش دوره بهره وری گیاهان از گلخانه استفاده میشود. در اینصورت به گرمای خارجی در زمستان نیاز میباشد. استخرهای خورشیدی بدلیل ظرفیت ذخیره بلند مدت گرما میتوانند حرارت مورد نیاز را فراهم کنند در اینصورت عمق استخر باید به حد کافی زیاد باشد تا گرمای لازم در سرتاسر فصل سرما حاصل شود. برای انتقال گرما از مبدل های حرارتی مدفون در خاک گلخانه نیز میتوان استفاده کرد و یا آب گرم را قطره قطره در خاک وارد کرد. از استخرهای خورشیدی در گرمایش اصطبل ها، مناطق نگهداری حیوانات و مرغداری ها، نیز، بخوبی میتوان استفاده کرد.

۳-۲- نمک زدایی

توسعه دستگاههای آب شیرین کن و تقطیر چند مرحله ای، که در درجه حرارت های حدود 70°C کار

نسبت به شوری تحمل بیشتری دارند. زه آب مزرعه اخیر، نیز، میتواند در آبیاری گیاهان و یا درختان مقاوم به شوری بیشتر استفاده شود. در نهایت شورآب حاصله در یک استخر خورشیدی برای تولید گرما و الکتریسته استفاده میشود. [11]

۳-۴-۲- کاربرد استخر خورشیدی در پایین بردن سطح سفره آب شور زیر زمینی (پیرامید هیل - ویکتوریا، استرالیا)

در ایالت ویکتوریا در کشور استرالیا، سفید پوستان مهاجر، زمینهای جنگلی را به اراضی زراعی تبدیل کردند. از بین رفتن درختان جنگل باعث نفوذ زیاده از حد آبهای سطحی به زیر زمین و بالا آمدن بی رویه سفره آبهای زیر زمینی شور، که قبلا در عمق ۱۲ متری قرار داشت، به حدود نیم متری سطح زمین شد. در نتیجه درختانی که ریشه های عمیق داشتند بتدریج خشک شدند و روند بیابانی شدن آغاز گردید. جهت حل مشکل یک شرکت خصوصی با همکاری اداره محیط سبز استرالیا اقدام به حفر چاههایی در منطقه پیرامید هیل (Pyramid Hill) به منظور استخراج آب و پایین بردن سطح سفره آب زیر زمینی کرد. آب شور حاصله، در استخرهای تبخیری متوالی و در سالنهای گرم، تغلیظ شده، کلرور سدیم کریستاله جدا گردید در نهایت انواع نمک کریستاله و پودر شده با درجات خلوص مختلف تهیه شد. در مرحله بعد این پروژه از یک استخر خورشیدی ۳۰۰۰ متر مربعی، بعنوان اولین حوضچه تبخیری، استفاده شد. به اینصورت که با آب شور زیر زمینی سطح استخر شستشو شد. و آب شورتر متناوبا به حوضچه های تبخیری متوالی منتقل گردید. [12] ضمنا از انرژی ذخیره شده در استخر (با متوسط ۶۰ kW در سال) برای فراهم کردن انرژی

بهرحال، هر چند که در تبدیل انرژی حرارتی به الکتریکی، راندمان کلی کم است اما در عوض هزینه ساخت استخر خورشیدی بر متر مربع، نیز، بسیار کم میباشد. به همین جهت در نواحی دور افتاده، که هزینه خطوط انتقال نیرو مقدار قابل توجهی میباشد، استفاده از استخرهای خورشیدی میتواند در کنار سایر گزینه ها ارزیابی شود.

۳-۴-۳- کاربرد های چند منظوره استخرهای خورشیدی

نظر به ویژگی خاص استخرهای خورشیدی و کاربرد آن در صنایع آب نمک، اخیرا استفاده از استخر های خورشیدی بعنوان عضو مکمل در سیستم های زهکشی به منظور بازیابی و تصفیه نمک پیشنهاد شده است این طرحها بعضا به مرحله اجرایی هم رسیده است. در این حالت استخر خورشیدی تنها مولد و ذخیره کننده انرژی نیست بلکه از آن در فرآیند بازیابی نمک و حفاظت محیط زیست از شوری نیز استفاده میشود. همچنین از استخرهای خورشیدی در صنعت تولید و پرورش آرمیا نیز میتوان بهره برد. ذیلا به چند نمونه اشاره می شود.

۳-۴-۱- کاربرد استخرهای خورشیدی در مدیریت جامع زهکشی در مزرعه (دره سن خواکین - کالیفرنیا، امریکا)

مدیریت جامع زهکشی در مزرعه، (IDFM) یا (Integrated on-Farm Drainage Management)، عبارت از سیستم مدیریتی استوار بر این قانون است که زه آب نسبتا شور حاصل از آبیاری یک مزرعه میتواند مجددا، در مزرعه مجاور، گیاهانی را آبیاری کند که

شوری مناسب آنها در حد ۳۵ تا ۱۱۰ گرم در لیتر میباشد. از این روش تصفیه در استخر خورشیدی کوچکی در دانشگاه RMIT در ملبورن استرالیا [15] و نیز در استخر بزرگتر واقع در پیرامید هیل استفاده شده است و نتایج امیدوار کننده ای بدست آمده است. لازم به یادآوری است که از آرتمیا، بعنوان غذای ماهی آکواریوم و میگو استفاده میشود. صنعت رشد و پرورش آرتمیا بسیار سود آور است و در داروسازی نیز کاربرد دارد. بنابراین با رشد و پرورش آرتمیا در استخرهای خورشیدی هم به تصفیه طبیعی آب استخر کمک میشود و هم با ایجاد یک صنعت جانبی در کنار استخر خورشیدی تولید کار و سودآوری میگردد.

۴- عوامل مؤثر در انتخاب محل استخر خورشیدی

در انتخاب محل مناسبی برای احداث استخر خورشیدی عوامل متعددی را باید در نظر گرفت. این عوامل را بترتیب زیر میتوان طبقه بندی کرد. [3]

۴-۱- نوع نمک و دسترسی به منابع تامین آن

سیال تشکیل دهنده استخر خورشیدی آب نمک است نمک های مورد استفاده، در استخرهای خورشیدی، معمولاً کلرور سدیم، کلرور منیزیم، سولفات سدیم و یا مخلوطی از آنها میباشد. بجهت اطمینان، از پایداری استخر، معمولاً غلظت لایه ذخیره ساز استخر بسیار نزدیک به حد اشباع انتخاب میشود. پس بطور تخمینی در هر مترمربع استخر خورشیدی در حدود ۵۰۰ kg نمک مصرف میشود. قیمت نمک نیز در حدود ۲۵ تا ۵۰ درصد هزینه کل استخر خورشیدی میباشد. بنا براین نوع نمک و فاصله منبع آن تا محل استخر و قیمت تمام شده آن اهمیت زیادی در اقتصادی بودن پروژه دارد.

گرمایشی در فرآیند تولید نمک، نیز، استفاده شد. نویسنده مقاله شخصا در مرحله پر کردن استخر خورشیدی شرکت داشته است. طراحان پروژه تصمیم دارند، که در مرحله بعدی، از استخر خورشیدی الکتریسیته تولید کنند. سرمایه گذاران همچنین امیدوار هستند، که پس از کسب موفقیت در این پروژه، به ساخت استخرهای خورشیدی بزرگتر در مناطق مشابه اقدام کنند.

۳-۴- کاربرد استخر خورشیدی در صنعت

پرورش آرتمیا

تمیزی و شفافیت آب استخر خورشیدی از مسائلی است که اندیشه طراحان استخر را همیشه از ابتدا بخود مشغول می کند. گونه هایی از گیاهان آبی شوری دوست نظیر بعضی جلبک ها (با نام علمی *Dunaliella*) در محیط شور استخرهای خورشیدی میتوانند رشد کنند و به زندگی ادامه دهند. رشد جلبک ها باعث جذب نور خورشید و کدورت آب استخر میشود. در عمل روشهای شیمیایی، از قبیل استفاده از اسیدها و کلر زنی برای کنترل رشد جلبکها معمول است. [13] اما تکنیک های طبیعی نیز بتدریج، بدلیل زیست محیطی، محبوبیت پیدا میکنند. گونه هایی از میگوهای آب شور - Brine-shrimps (با نام علمی *Artemia salina*) در حوضچه های تبخیری زندگی میکنند. [14] این موجودات میتوانند در نیمه بالایی استخرهای خورشیدی رشد و فعالیت داشته باشند و از جلبک های موجود رشد و تغذیه کنند مدفوع آرتمیا در کف استخر ته نشین میشود و کاهش جمعیت جلبک باعث شفافیت آب استخر خورشیدی میگردد. درجه حرارت ایده آل برای زندگی آرتمیا در حدود ۱۹ تا ۲۵°C و

۴-۲- منابع تامین آب

دوری از زمین های کشاورزی و احتمال آلوده کردن خاک ناشی از نشت احتمالی آب نمک، نزدیکی به جاده های دسترسی و یا خدمات همگانی و هزینه حمل مصالح برای احداث استخر از موارد دیگری است که در انتخاب موقعیت دقیق استخر خورشیدی باید مورد نظر باشد. وجود زمین کافی جهت ایجاد حوضچه تبخیر آب نمک ناشی از شستشوی سطحی و بر گرداندن آب نمک تغلیظ شده به کف استخر نیز باید در طراحی ملاحظه شود.

منابع آب کافی برای ایجاد استخر خورشیدی، جبران تبخیر سطحی و شستشوی سطح استخر لازم است. هر چند که تهیه آب با کیفیت بالا (مثلا با مواد جامد محلول یا (TDS) کم) ضرورتی ندارد و آب لب شور هم میتواند قابل قبول باشد. اما در فاز طراحی، دسترسی به منبع آب، و چگونگی پمپاژ آن، و قیمت تمام شده، باید بدقت مورد بررسی قرار بگیرد. همچنین استفاده دراز مدت، از منبع آبی، نیز، باید مد نظر باشد. در مناطق با تبخیر زیاد، مسئله آب و در دسترس بودن آن، میتواند در انجام یک پروژه موفق مشکلات جدی بوجود آورد.

۴-۵- شرایط آب و هوایی

اطلاعات مشروح در خصوص شرایط آب و هوایی منطقه مفید است و در جهت تکمیل طراحی لازم میباشد. این اطلاعات عبارتند از:

- مقادیر درجه حرارت متوسط ماهانه، حداکثر و حداقل آن
- شدت تبخیر سالانه
- شدت بارندگی شامل بر مقادیر حداکثر و حداقل
- سرعت متوسط باد و احتمال وجود طوفانهای شن یا غبار آلود

۴-۳- میزان و شدت تابش خورشید

تابش خورشید، در عملکرد کلیه منابعی که مولد انرژی خورشیدی هستند، از جمله استخر خورشیدی، نقش عمده ای دارد. هر چه شدت تابش زیادتر باشد راندمان استخر بیشتر میشود. بطور کلی احداث استخرهای خورشیدی در عرضهای جغرافیایی خارج از $\pm 40^\circ$ توصیه نمیشود. [1] بنابراین در انتخاب محل مناسب برای استخر خورشیدی باید مقدار انرژی تابشی وارده بر مترمربع، در طول سال و همچنین تعداد ساعات آفتابی و ابری و تداوم آنها مورد نظر باشد.

۴-۶- اطلاعات خاکشناسی و زمین شناسی

- مشروح این اطلاعات عبارتند از:
- نوع خاک، میزان نفوذ پذیری آن، وجود رس مناسب جهت پوشش بدنه استخر و خاک با چسبندگی کافی برای احداث دیواره ها
 - در صد رطوبت موجود در خاک
 - تخمین ضریب هدایت حرارتی خاک
 - عمق سفره آب زیر زمینی از بستر استخر
 - شاخص خمیری مناسب مصالح ریزدانه برای جلوگیری از ترک بر اثر برخورد با اشعه خورشید
 - درزه ها و شکاف های موجود در زمین

۴-۴- زمین جهت احداث استخر

زمینی که برای استخر خورشیدی انتخاب میشود باید نسبتا صاف و هموار و شیب کف آن صفر و یا بسیار کم باشد. تا هزینه عملیات تسطیح به حداقل خود برسد. سایت مورد استفاده باید حتی الامکان وسیع و به رایگان در اختیار قرار بگیرد. اصولا در محاسبات اقتصادی قیمت زمین ملاک نیست. [1]

۴-۷- اثرات زیست محیطی

نظر بر آنکه در فرآیند تولید انرژی در استخرهای خورشیدی عمل احتراقی صورت نمیگیرد بنابراین آلودگی های متداول سوختهای فسیلی، نیز، تولید نمیشود. همچنین استخرهای خورشیدی عموماً سیستم های بسته ای هستند که ضایعات خطرناک در هنگام کار آنها تولید نمیشود اما بهر حال معمولاً مسائل زیست محیطی متعددی در طراحی استخر های خورشیدی وجود دارد که در فاز مطالعاتی باید به آنها توجه شود. آب نمک میتواند منابع آب آشامیدنی را آلوده سازد و یا اینکه زمین های کشاورزی را برای کشت نامناسب سازد. سرریزی غیر منتظره نمک و یا نشت آن از قسمتی از پوشش بدنه و کف مشکل آفرین است و کنترل نشت آب نمک برای حوادث غیر مترقبه باید مورد توجه باشد. همچنین طرح حفاظت محیط از نمک در انتهای دوره بهره برداری از استخر خورشیدی نیز باید بررسی شود. استفاده از بعضی مواد شیمیایی برای کنترل کدورت و تصفیه آب استخر ممکن است برای محیط زیست مضر باشد بنابراین حفاظت محیط زیست از آلودگی ناشی از این مواد نیز ضروری است.

۴-۸- استفاده مناسب از انرژی خورشیدی

استفاده "محلی" از انرژی خورشیدی علی الخصوص بصورت حرارتی بدلائل زیادی مهم است. استخر خورشیدی بطور کلی یک منبع انرژی "وابسته به سایت" است که حرارت آنرا نمیتوان بجای دیگری منتقل نمود. بنابراین باید همیشه برای مصرف انرژی در محل توجیه کافی وجود داشته باشد. عبارت دیگر مصرف کننده های محلی موجود باشند. روش های استفاده عملی از انرژی حرارتی استخر خورشیدی در فصل قبل مشروحا توضیح داده شده است.

۴-۹- روش ارزیابی سایتهای استخرهای خورشیدی

با توجه به آنچه که مشروحا در خصوص پارامترهای موثر در انتخاب سایت مناسب استخرهای خورشیدی گفته شد جهت مقایسه سایت های مختلف، ضریبی بنام "اندیس مطلوبیت"، مطابق زیر تعریف میشود:

$$F_i = \sum_j W_j P_{ij} \quad (4)$$

که در آنجا:

F_i : اندیس مطلوبیت سایت i

W_j : ضریب وزنی برای هر ضابطه j در مقایسه با ضوابط دیگر

P_{ij} : میزان برتری (نکویی) سایت i در رابطه با ضابطه j بر اساس مقیاس ۱ تا ۵ که عدد ۵ بهترین مقدار است.

در جدول (۱) مقادیر ضریب وزنی W_j برای ضوابط مختلف پیشنهاد شده است. این مقادیر براساس تجربیات موجود در کشورهای امریکا [16]، [17] و چین [18]، با اعمال تغییراتی، در نظر گرفته شده است. براساس فرمول (۴) بسادگی میتوان در تخمین های اولیه سایت های مختلف را طبقه بندی و با هم مقایسه کرد. بدیهی است به جهت انتخاب نهایی از بین گزینه های مطلوب موجود، باید با استفاده از اطلاعات دقیقتر، تجزیه و تحلیل های لازم صورت پذیرند.

۵- مشخصات بعضی سایت های مناسب

جهت احداث استخرهای خورشیدی در ایران

همانطوری که در فصل قبل ملاحظه شد. منابع آب، نمک و زمین رایگان، همراه با تابش خورشید زیاد و مصرف کننده بالقوه مناسب انرژی خورشیدی، از مهمترین عواملی هستند که احداث استخر خورشیدی

نفوذ آب زیر زمینی و حل سنگهای کربناتی میدانند که میتواند به فرآیندهای دائمی اکسیداسیون و حل کربنات در زیر سطح منجر شود. آنها برداشت مواد آواری از بستر دریاچه های کویری توسط باد را نیز، منجر به گسترش این دریاچه ها میدانند. [21]

۵-۲- دریاچه های شور و دریاچه های نمک

(Saline lakes – Salt pans)

حقیقت آن است که آب دریاچه های کویری غالبا لب شور تا شور است. اما در میان آنها دریاچه های شور تا بسیار شور، با غلظت مثلا ۵۰ تا ۳۵۰ گرم در لیتر، نیز دیده میشوند. این دریاچه ها، اگر خشک شوند، به نمکزاری (Salt pan) تبدیل میشوند که از آن املاح زیادی نظیر بوراکس، لیتیوم، اورانیوم، انواع سولفاتها و کلورها، علی الخصوص نمک طعام، و غیره استخراج میشود. دریاچه های شور غیر دائمی زیادی در سرتاسر ایران پراکنده هستند. اما از معروفترین دریاچه های شور دائمی دریاچه ارومیه با سطح در حدود 5000 km^2 میباشد که دارای غلظت بیشتر از ۳۰۰ گرم در لیتر است. [22] این دریاچه بلحاظ زیست محیطی تأثیرات بسیار مفیدی در زندگی گیاهان و جانوران مجاور خویش بازی میکنند. احداث استخر خورشیدی در مجاورت دریاچه های نمک در فرآیند تغلیظ آب نمک موثر است. مضافا بر آنکه در استخراج املاح نیز تامین انرژی میکند.

۵-۳- رودشورهای دائمی یا فصلی و کال شورها

بعضی از رودخانه های دائمی ویا فصلی با عبور از زمینهای حاوی املاح فراوان شور میشوند. آب این رودخانه ها غالبا در دریاچه های کویری به هرز میرود. بنا براین، در صورتیکه در ساخت استخرخورشیدی از

را در یک محل توجیه پذیر می کنند. تابش متوسط روزانه انرژی خورشیدی در ایران که در عرض جغرافیایی 25° تا 40° گسترده است، بغیر از حاشیه دریای خزر که اکثرا ابری است، از ۲۲۰ تا ۱۷۵ وات بر متر مربع در تغییر است. [19] بنا بر این در محدوده مناسب قرار دارد. مدرنیزاسیون کشاورزی در روستاهای پراکنده و احداث مجتمع های مسکونی و صنعتی در حواشی کویرها و بیابان ها، استفاده از انرژیهای تجدید پذیر را در آینده ای نه چندان دور الزامی خواهد ساخت. در این میان استخرهای خورشیدی به دلیل ارتباط خاصی که مابین صنعت آب نمک و انرژی بر قرار ساخته است از ویژگیهای خاصی برخوردار است. در اینجا مختصرا به توضیح مشخصات عمومی سایت هایی پرداخته میشود که برای احداث استخر خورشیدی در ایران مناسب بنظر میرسند.

۵-۱- دریاچه های صحرایی و کویری

(Playas – Playa lakes)

به مناطقی اطلاق میشود که یک حوضه یا دره توپوگرافی و یا یک حوزه آبریز داخلی را در بر گرفته باشد. دریاچه های کویری در بیشتر موارد تنها به مدت چند ماه از سال دارای آب راکد است. در اینصورت، به هنگام خشکی، بستر آنها تبدیل به شوره زاری میشود که دارای شیب کمی است این دریاچه ها در مناطقی قرار دارند که معمولا مقدار تبخیراز بارندگی بیشتر میباشد. [20] بستر بسیاری از دریاچه های کویری از خاک رس سخت پوشیده شده است بنا براین نفوذ ناپذیر است. این دریاچه ها بعلت فرآیند های هیدرولوژیکی و ژئومورفیکی ممکن است گسترش پیدا کنند. دانشمندان این گسترش را بدلیل

احداث استخر خورشیدی، در مکان های مناسب این دق ها و پمپاژ آبهای شور به سطح زمین، نه تنها انرژی لازمه را برای کشت و صنعت محلی فراهم میسازد، بلکه، با پائین بردن سطح سفره آب شور، از توسعه منابع شور کننده آب شیرین، نیز، جلوگیری میشود. بعبارت دیگر استخر های خورشیدی در اینجا دو کار تولید انرژی و جلوگیری از شوری آب و خاک را با هم انجام میدهند که هر دو دارای اهمیت و ویژگی خاص است. [24]

۵-۵- شورآبهای حوالی معادن نمک

مشابه آنچه گفته شد از آبهای شور حوالی معادن نمک نیز میتوان در ساخت استخرهای خورشیدی استفاده کرد. متقابلاً از انرژی ذخیره شده در استخر نیز در صنعت استخراج نمک استفاده میشود.

۵-۶- سایت های مناسب حواشی سواحل و

جزیره های جنوب

شدت بالای تابش خورشیدی، نمک و آب شور فراوان و ارزان، میزان تبخیر پایین و فراوانی زمین، جزایر و سواحل جنوب ایران را برای ساخت استخرهای خورشیدی جذاب کرده است. در این جا کلیه سودمندیهایی که قبلاً برای استخر خورشیدی نظیر تامین انرژی، نمکزدایی و تهیه آب شیرین، کاهش شوری آب زیر زمینی و غیره ذکر شد بصورت یکجا فراهم است. مدتی پیش در قطر واقع در امارات متحده عربی یک سایت انرژی خورشیدی و از جمله یک استخر خورشیدی به مساحت 2×1600 m راه اندازی شد. [25] شرکت آتلاتیس سوئدی نیز یک دستگاه اتو فلاش، برای شیرین کردن آب در کنار استخر خورشیدی مذکور، بظرفیت $20 \text{ m}^3/\text{day}$ احداث کرد.

آن استفاده شود، از شور شدن بیشتر خاکهای پایینی دست، و نیز، آلودگی منابع آبهای زیر زمینی جلوگیری خواهد شد. رودخانه کال شور گناباد در استان خراسان یک نمونه رودخانه دائمی آب شور است که آورد سالانه ای معادل $12/5$ میلیون متر مکعب دارد. غلظت آب این رودخانه در طی سال بسته به آورد آن متغیر است اما در تابستان به 290 گرم در لیتر میرسد که در حد اشباع است. [23]

۵-۴- نمکزار ها و یا دق های حاوی آبهای

شور زیر زمینی

به هدر رفتن آب و یا سیلابهای رودخانه ها و کالشورها درشوره زارهای کویری باعث بالا آمدن سطح سفره آب زیر زمینی میشود. بالا آمدن سطح سفره، تبخیر آبهای زیر زمینی را تشدید کرده، به شوری بیشتر آب و خاک می انجامد. برداشت زیاد بر ظرفیت از چاههای آب شیرین حاشیه کویرها (با هدایت الکتریکی 1500 تا 2000 میکروموس بر سانتی متر)، سطح سفره آنها را پایین میبرد و در نتیجه آب شور کویر، که در تراز بالاتری قرار دارد به طرف آبهای شیرین هجوم میاورد و باعث شور شدن (هدایت الکتریکی 15000 میکروموس بر سانتی متر) و غیر قابل استفاده شدن آب چاهها میشود. در استان خراسان سالانه چاههای زیادی بدلیل شوری زیاد غیر قابل استفاده میشوند و صاحبان آنها تقاضای تغییر محل چاه را میدهند. بعبارت دیگر جلوگیری از شور شدن چاهها به معنی تولید آب جدید است. قیمت یک چاه عمیق در حال حاضر (1382) در برخی نقاط استان خراسان در حدود یک میلیارد تومان است. وبا خارج شدن آن مدار بهره برداری خسارت عمده ای به روستاییان و استفاده کنندگان محلی وارد می شود که تبعات احتمالی فراوانی نظیر مهاجرت و حاشیه نشینی در شهرها را به دنبال دارد.

۶- نتیجه گیری

هدف اساسی این مقاله معرفی یکی از فنآوریهای نسبتا ساده استفاده از انرژی های تجدید پذیر یعنی استخرهای خورشیدی و بررسی کاربردهای فعلی آن در دنیا بود. همچنین پیشنهاداتی جهت بومی کردن این تکنولوژی در ایران ارائه گردید بطور خلاصه میتوان نتیجه گیری کرد:

۱. اهمیت احداث استخرهای خورشیدی در دنیا با توجه به کاربردهای وسیعی که دارند روز به روز بیشتر میشود. اما، بنا به دلایلی که شرح آن گذشت، هم در مرحله تحقیقات و هم در مرحله اجرا هنوز مدتی لازم است تا این تکنولوژی جایگاه واقعی خود را پیدا کند.
۲. ساخت استخرهای خورشیدی با توجه به زیاد بودن تابش خورشیدی، در دسترس بودن سایتهای مناسب و رایگان، و در اختیار بودن منابع آب شور در ایران، کاملا امکان پذیر است.
۳. استخرهای خورشیدی در حقیقت آمیزه ای از صنایع آب و نمک هستند. بنابراین کاربرد ارزنده آنها در ایران نه تنها بدلیل تولید انرژی های نوین بلکه بلحاظ کاهش شوری از منابع آبی و خاکی و ایجاد صنایع وابسته باید مورد توجه و ارزیابی قرار بگیرد.
۴. کویرها و حواشی آنها در مرکز و جنوب ایران و نیز حواشی سواحل جنوبی بدلیل وجود املاح و کانیهای مختلف بتدریج مورد توجه بیشتری قرار خواهند گرفت. ایجاد کشت و صنعت غیر متمرکز بناچار الزامی است و نیاز به منابع تامین انرژی محلی دارد. استخرهای خورشیدی گزینه هایی در خور و شایسته مطالعه در این رابطه هستند.

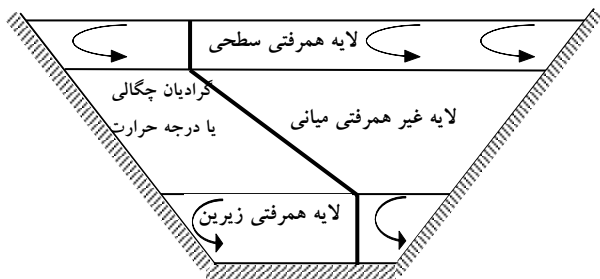
۷. مراجع

7. References

1. Tabor H., Solar ponds, Solar Energy, 27(3), 1981, 181-194.
2. Hull J. R., Nielsen C. E., Golding P., Salinity-Gradient Solar Ponds, CRC Press, Boca Raton, FL, 1989.
3. Swift A., Salinity-Gradient Solar Ponds; Practical Manual Pt. I: Solar Pond Design and Construction; El Paso Solar Pond, 1995.
4. Akbarzadeh A., Ahmadi G., Computer Simulation of the Performance of a Solar Pond in the Southern Part of Iran, Solar Energy, 24, 1980, 143-151.
۵. جعفرزاده محمدرضا، طراحی، ساخت و تحلیل عملکرد یک استخر خورشیدی تحقیقاتی کوچک، گزارش نهایی طرح پژوهشی، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مهر ماه ۱۳۷۹.
۶. بیدختی علی اکبر و محمد نژاد علیرضا، پایداری و بازه گرمایی یک استخر خورشیدی کوچک، استقلال، دانشگاه صنعتی اصفهان، (۱)، ۱۶، ۱۳۷۶.
7. Rabl A., Nielsen C. E., Solar Ponds for Space Heating, Solar Energy, 17, 1975, 1-12.
8. Lu H., Walton J. C., Swift A. H. P., Desalination Coupled with Salinity-Gradient Solar Ponds, Desalination, 136, 2001, 13-23.
9. Trieb F., Langniss O., Klais H., Solar Electricity Generation- A Comparative View of Technologies, Costs and Environmental Impact, Solar Energy, 59, No 1-3, 1997, 89-99.
10. Tabor H. Z. and Doron B., The Beith Ha'arava 5MW(e) Solar Pond Power Plant (SPPP), Progress Report, Solar Energy, 45(4), 1990, 247-253.
11. Salt Utilization Technical Committee, The San Joaquin Drainage Implementation Program and The University of California Salinity/Drainage Program, Task 8, Salt Utilization, Final Report, 1999.
12. Burston I. and Akbarzadeh A., Integration of Solar Pond into Salt Affected Areas, Int. Symp. on Energy, Economics and Environment,

- <http://lakes.chebucto.org/saline1.html>
۲۳. پروژه بند خاکی کال شور شهرستان گناباد، معاونت طرحهای استانی، شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان، ۱۳۸۱.
۲۴. مذاکرات شخصی با مهندسین مشاور کاوش پی، مشهد، ۱۳۸۲.
25. Hassab I. A., Tag I. A., Kamal W. a., Problems Encountered in Operating Salt Gradient Solar Ponds in the Arabian Gulf Region, *Solar Energy*, 43(3), 1989, 169-181.
- Melbourne, Australia, 1995, pp. 1-10.
13. Hull J. R., Maintenance of Brine Transparency in Salinity Gradient Solar Pond, ASME, Solar Energy Div. San Diego, CA, 1989, 401-406.
14. Tackaert W. and Soregeloos P., The Use of Brine Shrimp, *Artemia* in Biological Management of Solar Saltworks, Seventh Symposium on Salt, Elsevier Science, Vol. I, 1993, pp. 617-622.
15. Jaefarzadeh and Akbarzadeh A., Towards the Design of Low Maintenance Salinity Gradient Solar Ponds, *Solar Energy*, 73(5), 2002, 375-384.
16. Sandoval J. A., Goodell P.C., Swift A., Methodology for the Quantitative Exploration for Sites for Salinity Gradient Solar Ponds, In: Davidson J. H. and Chavez (eds.), Proc. Of ASME Conf., Solar Engineering Div, 1996, pp. 241-247.
17. Sirianni J. M. and Goodell P. C., A Progress Report On the Utilization of Playa Lakes on the Southern High Plains and West Texas as Potential Natural Solar Ponds (PNSP), Proc. of Int. Conf. Progress in Solar Ponds, 1993, pp. 14-18.
18. Li S., wang S., Ge H., A Preliminary Exploration for Division into Districts of Solar Pond Construction in China, Proc. of Int. Conf. Progress in Solar Ponds, 1993, pp. 27-33.
۱۹. صمیمی جلال، انرژی خورشیدی برای ایران، مجله فیزیک، شماره ۳، سال ۱۳۶۴، ۷۹-۱۰۵.
20. Motts W.S., Hydrlogic Types of Playas and Closed Valleys and Some Relations of Hydrology to Playa Geology, In: Geology Mineralogy and Hydrology of U. S. Playas, Neal J. T.,(ed.), Air Force Cambridge Research Lab., Report 65-226, Environmental Research Paper no. 96, 1965, 31-72.
21. Ostercamp W. R., Playa- lake Basins on the Southern High Plains of Texas and New Mexico: Pt. I, Hydrologic, Geomorphic and Geologic Evidence for Their Development: Geological Society of America Bulletin, V. 99, 1987, 215-230.
22. Saline Lakes of the World,

جدول ۱- ضوابط سایت مناسب احداث استخر خورشیدی



شکل ۱- طرح شماتیک یک استخر خورشیدی با ساختار لایه بندی

ضریب وزنی W_j	ضابطه سایت
۵	۱) دسترسی به نمک یا آب نمک
۵	۲) دسترسی به منابع آب
۳/۵	۳) متوسط روزانه شدت تابش خورشید
۲/۵	۴) مشخصات زمین: الف) زمین ارزان یا رایگان
۲/۵	ب) دسترسی به جاده- امکانات و خدمات
-۱	ج) نزدیکی به زمین های کشاورزی
۱	۵) شرایط آب و هوایی الف) مقادیر متوسط درجه حرارت
۱	ب) مقدار تبخیر
۱	ج) مقدار بارندگی
-۱/۵	د) سرعت متوسط باد
-۱/۵	ه) طوفان های غبار آلود
-۲	۶) اطلاعات خاکشناسی الف) میزان نفوذ پذیری خاک
۱	ب) اندیس پلاستیسیته خاک
-۲	ج) ضریب هدایت حرارتی خاک
۲	۷) اطلاعات زمین شناسی الف) فاصله سفره آب زیر زمینی از کف استخر
-۱	۸) مسائل ساخت و ساز الف) حجم عملیات تسطیح و گودبرداری
-۱	ب) حجم عملیات ساخت دیواره
۵	۹) استفاده مناسب از انرژی خورشیدی