نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹٤ – کرج

پتانسیل سنجی امکان استفاده از انرژی خورشیدی در آب شیرین کن به روش پراکنش

علی حسینی[۱]، احمد بناکار[۲*]

۱ و ۲ – به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه تربیت مدرس

ایمیل مکاتبه کننده: ah_banakar@modares.ac.ir

چکیده

اغلب مناطق ایران شامل نواحی خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و تولید آب شیرین بویژه در نواحی خشک ضروری است. در بین منابع انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی پتانسیل بالایی در ایران دارد و می‌توان از این پتانسیل در سیستم‌های تقطیر خورشیدی با استفاده از متمرکزکننده‌ها که قابلیت دستیابی به دماهای بالا را برای به جوش در آوردن آب شور فراهم می‌کند و منجر با افزایش تولید می‌شود، استفاده نمود. در این تحقیق امکان‌سنجی استفاده از انرژی خورشیدی در تولید آب شیرین به روش پراکنش مورد ارزیابی قرارگرفته است. آب‌شیرین‌کن خورشیدی با روش پراکنش دارای ظرفیت تولید آب متوسط می‌باشد و در مقایسه با فرآیندهای اسمز معکوس و سیستم‌های تقطیر خورشیدی رایج از ظرفیت تولیدی بالاتری برخوردار است. همچنین میزان انرژی الکتریکی مورد نیاز این فرآیند هم‌تراز با روش MSF است و در مقایسه با روش اسمز معکوس به میزان کمتری انرژی الکتریکی نیاز دارد. بنابراین استفاده از این روش برای تولید آب شیرین در مقیاس کوچک می‌تواند به صرفه باشد.

واژه‌های کلیدی: پراکنش، آب شیرین‌کن خورشیدی، سیستم‌های تقطیر خورشیدی، جمع کننده خورشیدی

مقدمه

امروزه مواجه شدن با بحران کم‌آبی یکی از مشکلات عمده جوامع بشری می‌باشد و استفاده از آب آشامیدنی برای مصارفی همچون کشاورزی و صنعت در آینده‌ای نه چندان دور، بشر را دچار بحران کم‌آبی می‌کند (عمیدپور و همکاران، ۱۳۸٤). همزمان با افزایش جمعیت، کاهش منابع آب شیرین، تغییرات فصلی، پایین رفتن سطح آب‌های زیرزمینی و افزایش خشکسالی استفاده از منابع آبی غیرمتداول نظیر پساب فاضلاب‌های تصفیه شده، آب‌های لب‌شور و آب دریا به طور فزآینده‌ای در سرتاسر جهان مورد توجه قرار گرفته است (صفایی و معصوم بیگی، ۱۳۹۱). لذا استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر مانند آب، باد و خورشید به دلیل سازگاری با محیط زیست از اهمیت زیادی برخوردار هستند و بهره گیری از انرژی خورشید در پروژه‌های نمک‌زدایی آب از امیدبخش ترین کاربردهای انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد (Rodriguez et al.,

(2002. تحقیقات زیادی در زمینه آب شیرین‌کن‌های خورشیدی انجام شده و تکنولوژی‌های مختلفی وجود دارد، اما مشکل عمده آنها مصرف زیاد انرژی، که خود منجر به افزایش هزینه نمک‌زدایی و در نتیجه اقتصادی نبودن آن می‌گردد (منتظری و بناکار، ۱۳۹۰).

آب شیرین‌کن‌های خورشیدی که بر پایهٔ تبخیر و تقطیر آب ساخته شده‌اند، در انواع مختلفی ارائه شده است. اما پایین بودن راندمان این دستگاه‌ها استفاده از آن‌ها در مقیاس بزرگ و تولید آب شیرین در حجم‌های بزرگ را با مشکل مواجه کرده است. یکی از روش‌هایی که به منظور افزایش راندمان آب شیرین‌کن‌های خورشیدی ارائه شده است، پیش‌گرمایش آب ورودی به این دستگاه‌ها می باشد. به این منظور و برای تامین انرژی مورد نیاز برای گرم کردن آب، می توان از انرژی خورشیدی استفاده نمود. در دو دهه اخیر روشی جدید برای نمک‌زدایی آب‌های شور ابداع شده است که مصرف انرژی آن نسبت به روش‌های مرسوم کمتر و بازده حرارتی بالاتری دارد. نمک‌زدایی به روش پراکنش (DDD) به نحوی شبیه روش‌های HDH وCGP در پخش ذره‌ای جرم آب به داخل هوای خشک، به منظور تولید بخار آب است (Klausner and Renwei, 2006).

نمک‌زدایی شامل هرگونه فرآیندی است که مواد معدنی محلول در آب‌های شور و یا لب‌شور را جدا کند. در روش‌های نمک‌زدایی صنعتی از تغییر فاز و یا غشاهای نیمه تروا برای جداسازی حلال از برخی مواد حل شده در آن استفاده می‌شود (گرجیان و همکاران، ۱۳۹۲). روش‌های نمک‌زدایی به شرح زیر طبقه‌بندی می‌شوند (Kalogirou, 2005):

الف) تغییر فاز یا فرآیندهای گرمایی

ب) غشایی یا فرآیندهای تک‌فازی

در روش‌های تغییر فاز یا فرآیندهای گرمایی، تقطیر آب دریا با استفاده از یک منبع انرژی گرمایی انجام می‌شود. انرژی گرمایی ممکن است از یک منبع سوخت فسیلی و یا یک منبع انرژی تجدیدپذیر به دست آید. در روش‌های غشایی از الکتریسیته برای راه انداختن پمپ‌های پرفشار و یونیزه کردن نمک‌های موجود در آب دریا استفاده می‌شود.

در سیستم اسمز معکوس آب دریا تحت فشار از میان یک سری غشاء عبور داده می‌شود که به طور فیزیکی از انتقال مولکول‌های نمک جلوگیری می‌کند. در این روش برای راه انداختن پمپ نیاز به جریان الکتریسیته است تا فشار روی محلول نمکی را به میزان مورد نیاز افزایش دهد (Rodriguez et al., 1999). روش الکترودیالیز نیز نیازمند الکتریسیته برای یونیزه کردن آب است که این کار توسط غشاهای مناسبی که در دو الکترود مخالف قرار گرفته‌اند، انجام می‌شود (Rodriguez et al., 2002). از مزایای فرآیند اسمز معکوس می‌توان به مواردی از قبیل اینکه در واحدهای کوچک اولویت دارد، به آب ورودی کمتری نیاز دارد، بو و مزه، شوری و یون‌های فلزی را از بین می‌برد و ظرفیت تولید بالا، اشاره نمود. نیاز به پیش تصفیه، نیاز به مواد شیمیایی و هزینه تعمیر و نگهداری بالا از معایب فرآیند اسمز معکوس می‌باشد (لاریمه و آتی، ۱۳۹۱).

فرآیندهای MSF و MEB شامل یک سری از مراحل پی در پی است که با کاهش دما و فشار همراه می‌باشند. فرآیند MSF بر اساس تولید بخار از آب دریا یا آب شور است که با یک کاهش فشار ناگهانی بر روی آب دریا که وارد یک اتاقک خلاء می‌شود، انجام می‌شود. در این فرآیند کاهش فشار مرحله به مرحله و به طور متوالی تکرار می‌شود (گرجیان و همکاران، ۱۳۹۲). معمولا تاسیسات نمک‌زدایی با این روش، در کنار تاسیسات نیروگاهی برق ایجاد می‌شوند تا از گرمای اضافی تولید شده در فرآیند تولید برق جهت تامین حرارت مورد نیاز نمک‌زدایی استفاده شود (فالحی و مظفری ۱۳۹۱). از مزایای این فرآیند این است که برای آب با کیفیت پایین مناسب می‌باشد و نیاز کمتری به پیش تصفیه دارد. از معایب این سیستم می‌توان به مقدار انرژی کل و خصوصا انرژی گرمایی بالا اشاره کرد و همچنین میزان مصرف آب به دلیل فرآیند سرد کردن بالاست. در این فرآیند هزینه سرمایه گذاری بالایی نیاز است و به مکان وسیعی نیاز دارد (Yang et al., 2001).

در روش MED ابتدا بخشی از آب شور ورودی به سلول تبخیر شده و بقیه آب وارد مرحله دوم می‌شود که این مرحله فشار کمتری نسبت به مرحله قبلی دارد و به وسیله بخار ایجاد شده در مرحله اول، گرما داده می‌شود تا با این عمل دمای بخار کاهش یافته و به مایع تبدیل شود که این چرخه چندین مرحله تکرار می‌شود (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۱). از مزایای این روش می‌توان به کیفیت بالای آب نمک‌زدایی شده، مقاومت این فرآیند به شرایط سخت و قابلیت ترکیب با سایر فرآیندها را اشاره کرد. هزینه سرمایه‌گذاری بالا، عملکرد و طراحی پیچیده، مصرف بالای انرژی و حساسیت به خوردگی از معایب این فرآیند می‌باشد (Adibfar, 2012).

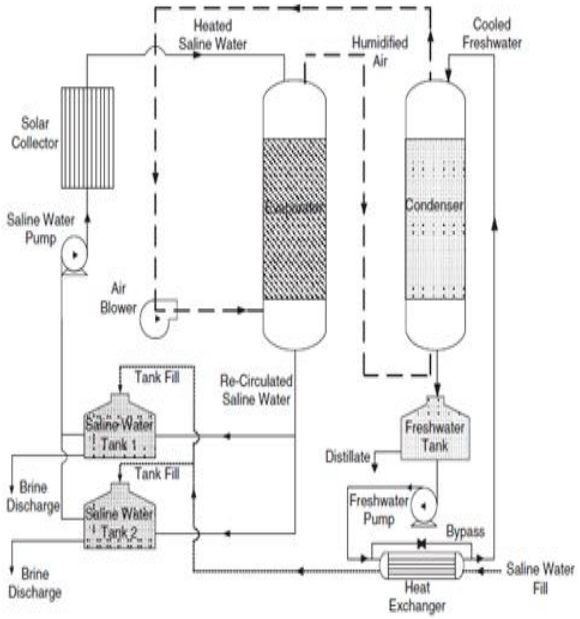
در روش تراکم بخار، بخار اولیه تولید شده از محلول نمکی به شکل حرارتی یا مکانیکی فشرده می‌شود تا میزان تولید بالاتر رود (گرجیان و همکاران، ۱۳۹۲). از محاسن این روش کیفیت بالای آب تولیدی و هزینه سرمایه‌گذاری معقول می‌باشد. راه‌اندازی مشکل و مقرون به صرفه نبودن مقیاس های بزرگ آن از لحاظ اقتصادی با حداکثر بازیافت کمتر از ۵ درصد انرژی گرمایی در این روش از معایب آن می‌باشد (WHO, 2009).

در روش انجمادی، جداسازی بر اساس تغییر فاز جامد– مایع رخ می‌دهد. زمانی که دمای آب شور به زیر نقطه انجماد که تابعی از شوری است می‌رسد، بلورهای یخ آب خالص بین محلول نمک شکل می‌گیرند. بلورهای یخ می‌توانند به طور مکانیکی از محلول غلیظ شده جداشده، شکسته شوند و با ذوب دوباره آب خالص به دست آید (Tleimat, 1980). روش رطوبت افزایی– رطوبت زدایی بر این واقعیت استوار است که هوا قابلیت حمل مقدار قابل توجهی بخار آب را دارد. مقدار بخاری که می‌تواند به وسیله هوا حمل شود با بالا رفتن دما افزایش می‌یابد. هنگامی که هوا در تماس با آب شور قرار می‌گیرد، تعدادی از مولکول‌های آب با استفاده از گرمای محسوس آب شور یا هوای گرم، بخار شده و جذب هوا می‌گردند. این بخار سپس می‌تواند با عبور هوای حامل آن از روی سطوح سرد، تقطیر شود. این روش برای ظرفیت‌های نسبتا کم مناسب است و به علت پایین بودن مصرف انرژی حرارتی، می‌توان کل انرژی حرارتی مورد نیاز واحد را به وسیله انرژی خورشیدی تامین نمود (عمیدپور و همکاران، ۱۳۸٤). در این تحقیق امکان سنجی استفاده از انرژی خورشیدی در تولید آب شیرین به روش پراکنش مورد ارزیابی قرارگرفته است.

مواد و روش‌ها

روش پراکنش با گرمایش خورشیدی

در این روش آب شور ابتدا از میان متمرکزکننده خورشیدی عبور داده می‌شود تا دمای آب افزایش یابد (حدود ۵۰ درجه سلسیوس). سپس آب گرم شده در متمرکزکننده از بالای برج انتشار به صورت ذرات ریزی به درون برج پاشیده می‌شود. در همین زمان از پایین برج هوای گرم با رطوبت پایین توسط پمپ به داخل برج داده می شود، با برخورد هوای گرم با رطوبت پایین و آب تغذیه شده به داخل برج قسمتی از آب تغذیه شده بخار می‌شود و توسط پمپی در بالای برج این هوای مرطوب و اشباع بیرون کشیده می‌شود و وارد کندانسور می‌شود. در کندانسور هوای مرطوب تقطیر شده و آب شیرین حاصل می‌شود. همچنین قسمتی از آب تغذیه شده در برج که بخار نمی‌شود، در قسمت پایین برج جمع‌آوری شده و دوباره وارد چرخه قرار می‌گردد. شماتیک فرآیند در شکل ۱ نشان داده شده است (Alnaimat and Klausner, 2012).



شکل۱: شماتیک فرآیند نمک‌زدایی به روش پراکنش (Alnaimat et al., 2013)

متمرکزکننده خورشیدی

برای گرمایش آب ورودی روش‌های مختلفی مانند استفاده از حرارت نیروگاه‌ها یا هیترهای برقی، پیشنهاد شده است. در این تحقیق امکان استفاده از یک متمرکزکننده خورشیدی برای گرمایش آب مورد بررسی قرار می‌گیرد. اجزاء اصلی سیستم شامل متمرکزکننده خورشیدی، برج انتشار (اواپراتور) و کندانسور می‌باشد. در متمرکزکننده خورشیدی، انرژی تبادل شده از منبع با فاصله زیاد به صورت تابشی به سیال منتقل می شود. میزان تابش جذب شده توسط متمرکزکننده با استفاده از رابطه (۱) بدست می‌آید (منتظری و بناکار، ۱۳۹۱):

$$S = I_b \rho_m \gamma_r (\tau_r \alpha_r)_e K(\theta) \quad (۱)$$

در این رابطه I_b *تابش مستقیم* (W)، ρ_m ضریب بازتاب آیینه‌ای متمرکز کننده، γ_r ضریب دریافت، τ_r ضریب عبور پوشش شیشه‌ای، α_r ضریب جذب دریافت کننده می‌باشد. در این رابطه $K(\theta)$ ضریب تصحیح زاویه برخورد که از رابطه (۲) محاسبه می‌شود (منتظری و بناکار، ۱۳۹۱):

$$K(\theta) = 1 - \frac{f}{l}\ (1 + \frac{a^2}{48 f^2}) \tan\theta \quad (۲)$$

که در آن L طول متمرکز کننده بر حسب متر می‌باشد.

ضریب انتقال حرارت کلی بر اساس قطر خارجی لوله دریافت کننده از محیط به سیال برابر است با (منتظری و بناکار، ۱۳۹۱):

$$U_t = (\frac{1}{U_L} + \frac{D_{ro}}{h_{fi} D_{ri}} + \frac{D_{ro} \ln(\frac{D_{ro}}{D_{ri}})}{2k})^{-1} \quad (۳)$$

در رابطه (۳) D_{ro} و D_{ri} به ترتیب قطرهای خارجی و داخلی لوله دریافت کننده هستند، h_{fi} ضریب انتقال حرارت داخلی لوله دریافت کننده، k ضریب هدایت حرارتی لوله دریافت کننده است.

انرژی دریافتی مفید در هر واحد طول جمع کننده q'_u، بر حسب دمای محلی دریافت کننده T_r و تابش خورشیدی جذب شده در واحد سطح متمرکز کننده S بیان می‌شود و برابر است با (منتظری و بناکار، ۱۳۹۱):

$$q'_u = \frac{A_a S}{L} - \frac{A_r U_l}{L}(T_r - T_a) \quad (٤)$$

که A_a سطح بدون سایه دهانه متمرکز کننده و A_r سطح دریافت کننده (برای دریافت کننده استوانه‌ای $A_r = \pi D_o L$) می‌باشد.

بر حسب انرژی منتقل شده به سیال در دمای محلی سیال T_f، q'_u برابر می‌شود با (منتظری و بناکار، ۱۳۹۱):

$$q'_u = \frac{(A_r/L)(T_r - T_f)}{\frac{D_{ro}}{h_{fi} D_{ri}} + \frac{D_{ro} \ln(D_{ro}/D_{ri})}{2k}} \quad (۵)$$

با حذف T_r از رابطه‌های (۳) و (٤) داریم (منتظری و بناکار، ۱۳۹۱):

$$q'_u = F' \frac{A_a}{L} \left[S - \frac{A_r}{A_a} U_L (T_f - T_a) \right] \quad (٦)$$

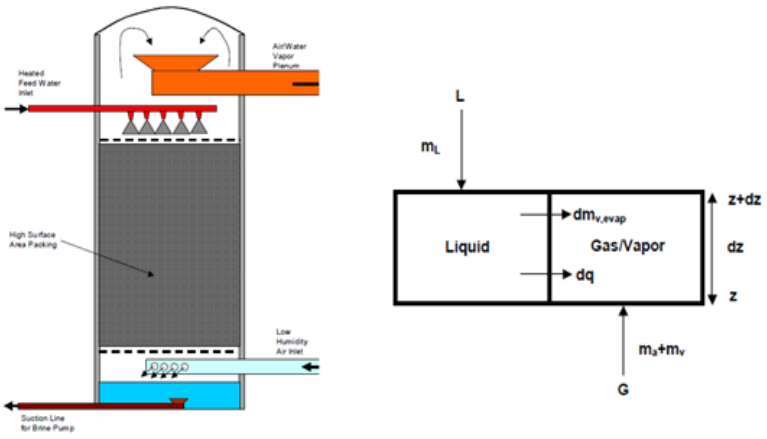
در رابطه (٦) F' فاکتور بازدهی متمرکزکننده می‌باشد که از رابطه (۷) بدست می‌آید (منتظری و بناکار، ۱۳۹۱):

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{\frac{1}{U_L} + \frac{D_{ro}}{h_{fi} D_{ri}} + \frac{D_{ro} \ln(\frac{D_{ro}}{D_{ri}})}{2k}} \quad (۷)$$

F' نسبت انرژی مفید دریافتی واقعی (انرژی جذب شده در سیال) به دریافت مفید (انرژی جذب شده در لوله دریافت کننده) در دمای محلی سیال می‌باشد. انرژی دریافتی در واحد طول جریان که از رابطه (٦) محاسبه می‌شود، در نهایت به سیال منتقل می‌شود. در نتیجه دمای سیال ورودی به گردآورنده از T_{fi} به T_{fo} در خروجی افزایش و سیال در این دما وارد برج انتشار می‌شود.

مدل‌سازی برج انتشار

بعد از اینکه آب شور در متمرکزکننده گرم شد، آب شور از قسمت بالای برج انتشار پاشیده می‌شود و همزمان از پایین برج هوا با رطوبت پایین دمیده می‌شود. اصل انتقال حرارت و جرم در میزان آب تبخیر شده و ایجاد هوای مرطوب حاکم است. در شرایط طراحی نرخ رطوبت جریان هوای خروجی بایستی در بالاترین مقدار ممکن خود باشد. حالت ایده‌آل خروجی برج انتشار، حالت هوای اشباع است. برای مدل‌سازی برج انتشار (اواپراتور) از معادلات بقای جرم و انرژی استفاده می‌کنیم. حجم کنترل برای فرآیند مطابق شکل ۲ است (Klausner and Renwei, 2006).



شکل ۲: دیاگرام و حجم کنترل برج انتشار *(*Klausner *and* Renwei, *2006)*

میزان تولید آب شیرین با استفاده از رابطه (۸) بدست می‌آید *(*Klausner *and* Renwei, *2006)*:

$$m_f = GA(\omega_{out} - \omega_{in}) \quad (۸)$$

در معادله فوق m_f میزان تولید آب شیرین، ω_{out} رطوبت نسبی خروجی از کندانسور، ω_{in} رطوبت نسبی ورودی به کندانسور و G شار جرم مخلوط هوا/ بخار $(kg / (m^2 - s))$ می‌باشد.

میزان مصرف انرژی در طرف مایع، طرف هوا / بخار و مصرف انرژی کل به ترتیب از روابط (۹)، (۱۰) و (۱۱) بدست می-آیند:

$$\mathrm{Pw}_L = \mathrm{m}_L\, gH = \frac{LA}{\rho_L}\Delta P_L \qquad (۹)$$

$$\mathrm{Pw}_G = V_G \Delta P_G = \frac{m_G}{\rho_G}\Delta P_g = \frac{GA}{\rho_G}\Delta P_G \qquad (۱۰)$$

$$Pw = \mathrm{Pw}_L + \mathrm{Pw}_G \qquad (۱۱)$$

در معادلات بالا H ارتفاع برج انتشار، P_w مصرف انرژی الکتریکی، V_G نرخ جریان حجمی هوا / بخار، ΔP_L افت فشار برای سمت آب، ΔP_G افت فشار برای سمت گاز و ρ_G چگالی بخار می‌باشد.

مزایای فرآیند پراکنش

۱- در این سیستم می‌توان از انرژی خورشیدی، حرارت تلف شده در نیروگاه‌های تولید برق و همچنین انرژی زمین گرمایی بهره برد.

۲- با توجه به این که در این روش می‌توان از حرارت‌های تلف شده و یا انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده کرد، هزینه آب شیرین‌تولید شده آن پایین‌تر است.

۳- در این سیستم از کندانسور تماس مستقیم برای تولید آب شیرین استفاده می‌شود که نسبت به کندانسورهای لوله‌ای مرسوم که در فرآیند HD استفاده می‌شود بازده قابل توجهی دارد *(Klausner and Renwei, 2006)*.

٤- اواپراتور و کندانسور تماس مستقیم می‌تواند جریان‌های خیلی بزرگ را تصفیه نماید.

ترکیب تکنولوژی‌های متداول آب‌شیرین‌کن حرارتی (MED، MSF، رطوبت افزا- رطوبت زدا) با کلکتورهای خورشیدی و یا آب شیرین‌کن‌های که با انرژی الکتریکی کار می‌کنند (اسمز معکوس، VC و الکترودیالیز) با پنل‌های فتوولتائیک از دیگر آب شیرین‌کن های خورشیدی هستند. ظرفیت واحدهای آب شیرین‌کن خورشیدی مطابق جدول ۱ دسته بندی می‌شوند (غلامعلی و همکاران، ۱۳۹۱).

ترکیب تکنولوژی‌های متداول آب‌شیرین‌کن حرارتی (MED، MSF، رطوبت افزا- رطوبت زدا) با کلکتورهای خورشیدی و یا آب شیرین‌کن‌های که با انرژی الکتریکی کار می‌کنند (اسمز معکوس، VC و الکترودیالیز) با پنل‌های فتوولتائیک از دیگر آب شیرین‌کن های خورشیدی هستند. ظرفیت واحدهای آب شیرین‌کن خورشیدی مطابق جدول ۱ دسته بندی می‌شوند (غلامعلی و همکاران، ۱۳۹۱).

جدول ۱: تقسیم‌بندی آب شیرین‌کن‌های خورشیدی بر اساس ظرفیت

نوع آب ورودی	ظرفیت		
	کم 0-50 m^3/day	متوسط 50-250 m^3/day	زیاد بیشتر از 250 m^3/day
آب شور	Solar still RO	MED	MED MSF
آب دریا	Solar still RO	MED	MED MSF

همچنین میزان مصرف انرژی الکتریکی و مصرف انرژی حرارتی در جدول ۲ برای چند روش رایج بیان شده است (غلامعلی و همکاران، ۱۳۹۱).

جدول ۲: میزان مصرف الکتریکی وحرارتی سه روش رایج

مشخصات	MSF	MED	RO
انرژی الکتریکی مصرفی kwh/m^3	3.5-5	1.5-2.5	4-8 (آب دریا) 2-3 (آب شور)
انرژی حرارتی مصرفی kwh/m^3	–	55-120	30-120

کلاسنر و همکاران (۲۰۱۲) در یک بررسی تحلیلی که بر اساس شبیه‌سازی عددی است بیان می‌کند که فرآیند پراکنش پتانسیل تولید 100 lit/day آب شیرین با میانگین مصرف انرژی الکتریکی مخصوص 3.6 kwh/m3 با استفاده از ۸ صفحه جمع‌کننده خورشیدی ۲ مترمربعی را دارد. بر اساس تحقیقات انجام شده، یک کارخانه DDD با ظرفیت روزانه حدود ۵۰۰ گالن آب شیرین تولید می کند، با بهره گیری از گرمای تلف شده حاصل از یک نیروگاه ۱۰۰ مگاواتی ، می تواند ۱/۵ میلیون گالن آب شیرین در روز تولید کند؛ به طوری که هزینه ۱۰۰۰ گالن آن حدود ۲ دلار و ۵۰ سنت است. در حالی که این مقدار در روش تقطیر حدود ۱۰ دلار و در روش اسمز معکوس ۳ دلار می باشد (Klausner *and* Renwei, *2006*).

نتایج و بحث

فرآیند پراکنش به دلیل کارکرد در دمای پایین دارای بازده حرارتی بالایی است و همچنین انرژی مورد نیاز این فرآیند می‌تواند با بهره گیری از انرژی خورشیدی، زمین گرمایی و یا انرژی حرارتی اتلافی در نیروگاه‌های برق تامین شود. با توجه به جدول ۱ می‌توان نتیجه گرفت که آب‌شیرین‌کن خورشیدی با روش پراکنش دارای ظرفیت تولید آب متوسط می‌باشد و در

مقایسه با فرآیندهای اسمز معکوس و سیستم‌های تقطیر خورشیدی رایج از ظرفیت تولیدی بالاتری برخوردار است. همچنین با توجه به جدول ۲ می‌توان گفت میزان انرژی الکتریکی مورد نیاز این فرآیند هم‌تراز با روش MSF است و در مقایسه با روش اسمز معکوس به میزان کمتری انرژی الکتریکی نیاز دارد. به این ترتیب می‌توان چنین برداشت کرد که استفاده از این روش برای تولید آب شیرین در مقیاس کوچک می‌تواند به صرفه باشد.

منابع و مآخذ

۱. اسماعیلی، ا. باغبان اصغری نژاد، ه. و ضرغامی، م. ۱۳۹۱. مقایسه روش‌های نمک‌زدایی آب‌های شور به روش تصمیم-گیری چندمعیاره. چکیده مقالات اولین کارگاه بین‌المللی و همایش تخصصی نمک‌زدایی آب‌های شور، لب شور و تصفیه پساب، ایران.

۲. صفایی، م. و معصوم بیگی، ح. ۱۳۹۱. روش‌های تصفیه و نمک زدایی آب‌های شور. فصل نامه علمی–آموزشی دفتر توسعه آموزش دانشکده بهداشت،

۳. عمیدپور، م. ضامن، م. و سوفاری، م. ۱۳۸٤.بهینه‌سازی مصرف انرژی در آب شیرین‌کن خورشیدی. ششمین همایش ملی انرژی در ایران.

٤. غلامعلی، ا. امینی، م. و حقگو، ح. ۱۳۹۱. طراحی آب شیرین‌کن خورشیدی از نوع سیکل رطوبت‌زن– رطوبت‌زدا بوسیله متمرکزکننده سهموی. کنفرانس سالانه انرژی پاک.

۵. فالحی م. د. و مظفری، ا. ۱۳۹۱. مدلسازی تقطیر غشایی با لایه هوا برای تولید آب شیرین از آب‌های شور. چکیده مقالات اولین کارگاه بین‌المللی و همایش تخصصی نمک‌زدایی آب‌های شور، لب شور و تصفیه پساب.

٦. گرجیان، ش. توکلی هشجین، ت. و قبادیان، ب. ۱۳۹۲. ساخت و ارزیابی دستگاه نمک‌زدایی سهموی خورشیدی با کانون نقطه‌ای. رساله دکترا، دانشگاه تربیت مدرس.

۷. لاریمه، ن. و آیتی، ب. ۱۳۹۱. بررسی و انتخاب بهترین روش شوری‌زدایی بر پایه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در استان بوشهر. چکیده مقالات اولین کارگاه بین‌المللی و همایش تخصصی نمک‌زدایی آب‌های شور، لب شور و تصفیه پساب.

۸. منتظری، م. و بناکار، ا. ۱۳۹۰. استفاده از تلفات حرارتی نیروگاه به عنوان منبع اصلی انرژی در فرایند جدید نمک زدایی آب دریا به روش پراکنش. همایش ملی بهره‌برداری از آب دریا، مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

۹. منتظری، م. و بناکار، ا. ۱۳۹۱. طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه آب شیرن‌کن خورشیدی فتوولتائیک خودکار. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

10. Adibfar A. 2012. Technical Economic Comparison of MED, MSF & RO, and select the Optimized Desalination Technologies. the abstracts of International Workshop and Conference on Desalination of Brackish Seawater and Wastewater Treatment. Tehran- Iran, pp. 82.
11. Alnaimat, F. & Klausner, F. 2012. Solar diffusion driven desalination for decentralized water production. Desalination, Vol. 289, pp. 35-44.
12. Alnaimat, F. Klausner, F. & Renwei, M. 2013. Transient dynamic response of solar diffusion driven desalination. Applied Thermal Engineering, Vol. 51, No. 1-2, pp. 520-528.
13. Kalogirou, S. 2005. Seawater desalination using renewable energy sources. Progress in Energy and Combustion Science, 31 (3), pp. 242–281.
14. Klausner, F. & Renwei, M. 2006. Innovative Fresh Water Production Process for Fossil Fuel Plants. Annual Report.
15. Rodriguez, L. G. Marrero, A. I. P. & Camacho, C.G. 1999. Application of Direct Steam Generation into a Solar Parabolic Trough Collector to Multi Effect Distillation. Desalination, Vol. 125, No. 1-3, pp. 139-145.
16. Rodriguez, L. G. Marrero, A. I. P. & Camacho, C. G. 2002. Comparison of solar technologies for applications in seawater desalination. Desalination: Vol. 142, No. 2, pp. 135-142.
17. Tleimat, M. W. 1980. Freezing methods. Principles of Desalination. Part B, 2nd edition (ed. KSSpiegler and A D Laird), pp. 360-400. New York: Academia Press.
18. WHO (World Health Organization). 2009. Desalination for Safe Water Supply (Guidlince for the Health and Environmental Aspects Applicable to Desalination. Translated by: Mahvi A, MazloomiS, pp. 30,108.
19. Yang, K. L. Ying, T. Y. Yiacoumi, S. Tsouris, C. & Vittoratos, E. S. 2001. Electro sorption of ions from aqueous solutions by carbon aerogel: An electrical double-layer model. Langmuir, Vol. 17, No. 6, pp.1961-1969.

Feasibility of Using Solar Energy in Diffusion Driven Desalination

Abstract

Most of Iran's lands are arid and semi-arid and Distilled water production is necessary for this areas. Among renewable energy resources, solar energy has a high potential in Iran. Using solar concentrators which could provide high temperatures and so increasing water evaporation in solar distillation systems, leading to increased production. In this study, feasibility of using solar energy in distilled water production by diffusion driven desalination method has been studied. This method has a medium water production capacity and in comparison with reverse osmosis (RO) and common solar still systems, it has a higher production capacity. Also, consumed energy rate in this method is equivalent to multi-stage flash evaporation (MSF) method and is less than that in RO. Therefore, it would be cost-effective to use this method to distilled water production.

Keywords: Diffusion Driven Desalination, Solar Desalination, Solar Distillation System, Solar concentrator.