بررسی تصفیه‌پذیری پساب واحدهای نمک‌زدایی نفت خام به‌روش تقطیر خورشیدی

کریم قاسمی‌پناه
پژوهشگاه صنعت نفت،پژوهشکده محیط زیست وبیوتکنولوژی، گروه تصفیه و بازیافت آب

پژوهش نفت
سال بیست و چهارم
شماره ۷۸
صفحه، ۹۱-۸۴ ۱۳۹۳
تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۱/۲۰
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۱/۱۲/۸

چکیده

هدف از انجام این پژوهش، بررسی فرآیند نمک‌زدایی و استفاده مجدد از پساب‌های نمکی همراه نفت با استفاده از حوضچه‌های تقطیر خورشیدی تا حد استاندارد آب آبیاری و کشاورزی است. یکی از معضلات صنایع نفت و گاز، وجود پساب‌های نمکی با مقدار نمک‌های محلول بالا و باقی‌مانده مواد نفتی است. معمولاً روش‌های متداول تصفیه برای این نوع پساب‌ها قابل استفاده نیست و برای تصفیه آنها نیاز به استفاده از فناوری‌های نوین و صرف هزینه‌های زیاد است. از طرف دیگر، با توجه به وجود مساحت کافی برای احداث حوضچه‌های تقطیر خورشیدی و تابش مناسب خورشید و همچنین تعداد زیاد روزهای آفتابی در مناطق نفت‌خیز جنوب ایران، می‌توان از روش تقطیر خورشیدی استفاده نمود. در این پژوهش برای دست‌یابی به اهداف بالا سه حوضچه کاملا یکسان با پوشش متفاوت کف با مساحت حدود $1\ m^2$ ساخته و در محل پژوهشگاه صنعت نفت نصب و راه اندازی شد. این حوضچه‌ها با آب شهری و پساب همراه نفت، آب‌گیری شد و با انجام چندسری آزمایش، اثر پارامترهای پوشش متفاوت کف حوضچه و همچنین عمق بهینه پساب درون دستگاه مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه کیفیت آب تولید شده از سه حوضچه تقطیر خورشیدی از نظر چند پارامتر اندازه‌گیری شد و با استانداردهای فاضلاب تصفیه شده برای مصارف کشاورزی و آبیاری مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد با استفاده از این حوضچه‌ها به سمت جنوب جغرافیایی با شیب ۳۰ درجه برای سطح شیشه‌ای رو به خورشید و استفاده از پوشش‌های تیره کف حوضچه و عمق $2\ cm$ پساب داخل حوضچه‌ها می‌توان پساب همراه نفت را به استثنای مقدار مواد نفتی تا حد استانداردهای آبیاری و کشاورزی تصفیه نمود. مقدار آب تصفیه شده در یک شبانه‌روز در فصل بهار حدود ۳ تا $4\ lit$ به ازای $1\ m^2$ سطح حوضچه به‌دست آمد.

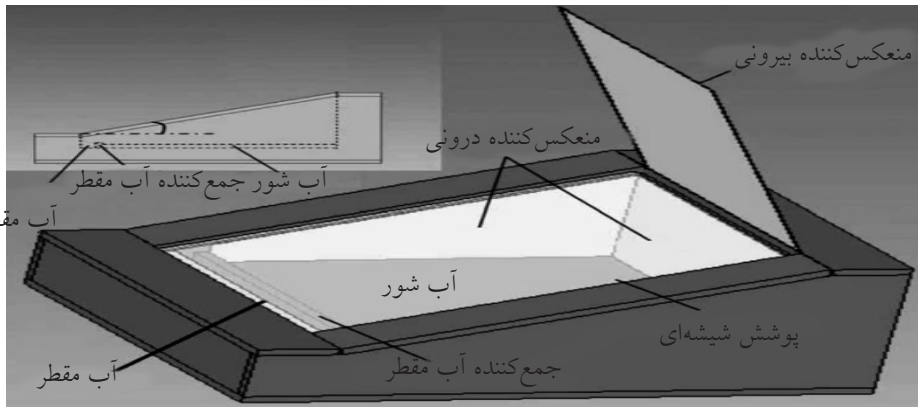
واژه‌های کلیدی: پساب همراه نفت، نمک‌زدایی، حوضچه تقطیر خورشیدی، کیفیت آب و استفاده مجدد

مقدمه

هدف از انجام این پژوهش بررسی امکان استفاده از انرژی خورشیدی برای تصفیه و استفاده مجدد از پساب‌های نمکی صنایع نفت و گاز مناطق نفت‌خیز جنوب ایران است. ایده شکل‌گیری این پژوهش از آنجا آغاز گردید که مشاهده شد با گذشت زمان، مقدار تولید آب‌های شور

*مسؤول مکاتبات
آدرس الکترونیکی
ghasemipanahk@ripi.ir

همراه با نفت در واحدهای نمک‌زدایی از نفت خام رو به افزایش است (حدود ۵۰ m^3/hr). این پساب‌ها به‌دلیل خصوصیات کیفی و کمی خاص که شامل نمک‌های محلول بالا (۱۷۰-۵۰gr/lit)، وجود مواد نفتی، مواد آلی فرار و غیر فرار و سایر آلاینده‌های مخاطره‌آمیز برای محیط‌زیست و همچنین حجم زیاد می‌باشد، مشکل بزرگی در مجاورت واحدهای نفتی و محیط‌زیست اطراف آنها ایجاد کرده است. در حال حاضر این پساب‌ها معمولاً بدون تصفیه یا پس از تصفیه اولیه شامل حذف ذرات معلق و عمده مواد نفتی همراه ، مجدداً به چاه‌های در حال بهره‌برداری یا چاه‌های متروک با هدف ازیاد برداشت یا حفظ محیط‌زیست تزریق می‌شود. همچنین این پساب‌ها بعد از روغن‌گیری در واحدهای نمک‌زدایی از نفت خام، برای حفظ محیط‌زیست به حوضچه‌های تبخیری مجاور این واحدها ارسال می‌شود تا در طول زمان، توسط تبخیر خورشیدی از مقدار آن کاسته شده و حجم حوضچه برای ورود مجدد پساب‌های تولیدی خالی شود. این روش خطر نشت آلاینده‌ها به آب‌های زیرزمینی، انتشار در هوا، صدمه به انسان، پرندگان و سایر موجودات اطراف محل حوضچه را ایجاد می‌کند. با توجه به دمای بالای هوای مناطق جنوبی ایران، وجود زمین به مقدار کافی و میزان بالای شدت تابش در اکثر روزهای سال، استفاده از انرژی خورشیدی برای تصفیه این پساب‌ها با روش تقطیر خورشیدی مناسب به نظر می‌رسد. در فرآیند انجام این تحقیق با بررسی تحقیقات قبلی مشابه، ارزیابی وضعیت موجود و با فراهم نمودن تجهیزات و انجام آزمایش‌های لازم، امکان تصفیه عملی این پساب‌ها بررسی شد. تقطیر خورشیدی راه حل نسبتا ساده برای منابع آب شور است. تقطیر یکی از فرآیندهایی است که برای تصفیه آب به کار می‌رود و بدین منظور می‌توان از هر منبع گرمایی استفاده کرد. در روش تقطیر خورشیدی، با استفاده از انرژی خورشید، آب تبخیر شده و بخار آب خالص پس از میعان به عنوان آب خالص مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از روش تقطیر خورشیدی راه حلی برای تامین آب در مناطق دور افتاده می‌باشد که با کمبود آب آشامیدنی و منابع انرژی متداول مانند گرما و شبکه برق روبرو هستند. امکان ساخت در ظرفیت‌های کوچک، بی‌نیازی یا نیاز حداقل به سوخت و الکتریسیته و نبود آلودگی محیط زیست ناشی از مصرف سوخت از جمله مزایایی است که کاربرد این سامانه را در مناطقی که پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر قابل توجه و در عین حال انتقال الکتریسیته و سوخت به آن مناطق دشوار است، توجیه پذیر می‌نماید [۱]. اولین و ساده‌ترین دستگاه‌های تقطیر خورشیدی ساخته شده توسط بشر، دستگاه تقطیر خورشیدی یک حوضچه‌ای (یا همان حوضچه‌های تقطیر خورشیدی) است و ساخت اولین حوضچه تقطیر خورشیدی به سبک متداول امروزی به سال ۱۸۷۲ بر می‌گردد که توسط دانشمند سوئدی چارلز ویلسون طراحی گردید. ساختمان این دستگاه متشکل از حوضچه چوبی است که کف آن توسط رنگ‌دانه‌های گیاهی و سولفات مضاعف آلومینیوم و پتاس، سیاه شده است [۲]. در یک تقسیم‌بندی کلی و ظاهری می‌توان این نوع دستگاه‌ها را به دو دسته آب شیرین‌کن‌های خورشیدی حوضچه‌ای با سطح مایع‌کننده دارای شیب یک و دو طرفه تقسیم‌بندی کرد. در شکل ۱ نمایی از حوضچه تقطیر خورشیدی با پوشش یک طرفه نمایش داده شده است. بر اساس بررسی‌های انجام شده، حوضچه تقطیر خورشیدی با سطح مایع کننده دارای شیب یک طرفه بازده بالاتری دارد، زیرا تابش ورودی به آن‌ها بیشتر است [۳ و ٤]. مشکل اصلی این نوع آب شیرین‌کن مانند اکثر آب شیرین‌کن‌های خورشیدی، تولید نسبتاً کم آب نمک‌زدایی شده می‌باشد. برطرف کردن این مشکل عامل اصلی تلاش پژوهشگران در راستای انجام پژوهش‌هایی برای بهینه‌سازی عملکرد آن با به کارگیری سامانه‌های جدید و به روز بوده است. از دیگر اشکالات نمک‌زداهای معمولی که در مناطق دور از خط استوا، تأثیر خود را بیشتر نشان می‌دهد، جذب مقدار کم‌تر انرژی خورشیدی به دلیل تقریباً موازی بودن سطح مایع کننده آن با افق و تابش مایل اشعه‌های خورشیدی است [۵]. پژوهشگران پس از نمک‌زدایی آب دریا توسط سامانه تقطیر خورشیدی، تجزیه شیمیایی برای بررسی امکان استفاده از آب تولیدی این سامانه به عنوان آب نوشیدنی را انجام دادند و نتایج آن را با آب لوله‌کشی مقایسه کرده‌اند.



شکل ۱- ساختار یک حوضچه تقطیر خورشیدی

آنها نتیجه گرفتند که آب مقطر حاصل را می‌توان با آب چاه برای رسیدن به آب قابل نوشیدن، مخلوط کرد و کیفیت این آب قابل مقایسه با آب کارخانه تقطیر صنعتی است. نتایج نشان داد که ناخالصی‌هایی مثل نیترات، کلرید، آهن و جامدات محلول در آب با روش تقطیر خورشیدی حذف می‌شوند [٦]. لازم به ذکر است که در اکثر تحقیقات انجام شده از آب‌های لبشور چاه یا آب دریا استفاده شده است و با جستجو در منابع موجود، موردی مبنی بر استفاده از سامانه‌های تقطیر خورشیدی برای نمک‌زدایی از پساب‌های شور همراه نفت[1] مشاهده نشد. یکی از پارامترهای مؤثر بر بازده آب شیرین‌کن‌های خورشیدی حوضچه‌ای، عمق بهینه آب شور می‌باشد. تحقیقاتی در زمینه اثر عمق آب درون حوضچه، انجام شده است [۷-۹] اما با توجه به نوع متفاوت آب خوراک در این پژوهش، نیاز به بررسی مجدد این پارامتر می‌باشد. در این مقاله اثر دو پارامتر رنگ تیره کف دستگاه و همچنین عمق آب شور که دو پارامتر عملکردی بسیار موثر می‌باشند، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

روش کار

دستگاه‌های تقطیر خورشیدی یک حوضچه‌ای، به‌عنوان مرسوم‌ترین دستگاه مورد استفاده و همچنین سامانه پایه برای انجام مطالعات امکان‌سنجی و بررسی پارامترهای جغرافیایی و فرآیندی تلقی می‌شود. بر اساس این مطلب که از مطالعات انجام شده به‌دست آمد، در این پروژه از حوضچه‌های تقطیر خورشیدی با جنس بدنه آلومینیوم و سطح مایع کننده شیشه‌ای، به عنوان دستگاه مبنای پژوهش و آزمایش‌ها استفاده گردید. با توجه به اینکه براساس مطالعات انجام شده برای نقاط مختلف دنیا و برای گستره طول جغرافیایی ایران، زاویه شیب مناسب، حدود ۳۰ درجه است [۱۰]، لذا در این تحقیق سه حوضچه به عرض ۷۵ cm، طول ۱۲۵ cm و زاویه شیب شیشه ۳۰ درجه با سه پوشش متفاوت کف حوضچه، استفاده شد. لازم به ذکر است که باید قسمت‌های فلزی دستگاه (دیواره جلوی دستگاه، دیواره سمت چپ و راست، دیواره پشت و کف دستگاه) توسط عایق با ضخامت ۲ cm پوشانده شود. همچنین بهتر است کف دستگاه به منظور جذب بیشتر انرژی خورشیدی تابیده شده به آن، سیاه رنگ شود. نمای سه بعدی دستگاه حوضچه تقطیر خورشیدی با شیب یک طرفه و زاویه شیب شیشه ۳۰ درجه، به‌عنوان نمونه در شکل ۱ آمده است. تفاوت حوضچه‌ها در پوشش کف حوضچه بود. کف حوضچه شماره یک ورق آلومینیوم ساده و بدون پوشش، حوضچه شماره دو دارای پوشش پلیمری سیاه رنگ و حوضچه شماره سه دارای پوشش کف آندی‌شده[2] سیاه رنگ بود. از مخزن ذخیره آب یا پساب به حجم ۵۰۰ lit برای نگهداری آب یا پساب مورد مطالعه استفاده شد. از سه مخزن کوچک درجه‌بندی شده به حجم ٤٠ lit برای تزریق آب یا پساب نمکی به داخل حوضچه‌ها استفاده شد.

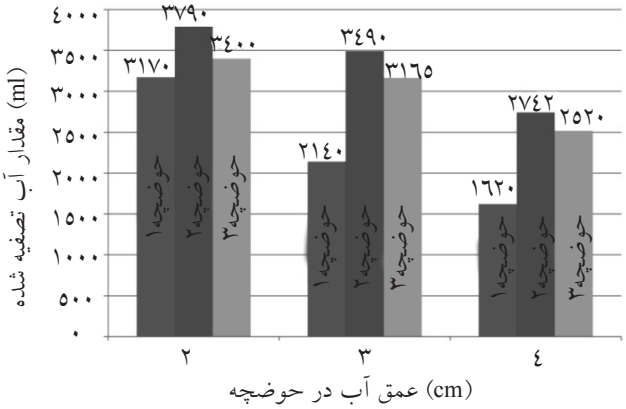
1. Produced Water
2. Anodized

با توجه به ابعاد حوضچه‌ها و محاسبات انجام شده برای تامین عمق ۲، ۳ و ٤ cm از پساب، مقادیر ۱۸/۷، ۲۸/۱ و ۳۷/۵ lit به ترتیب در حوضچه‌های موجود ریخته شد. در ابتدا برای تعیین عمق بهینه از آب چاه پژوهشگاه که کیفیت مشابه آب آشامیدنی تهران دارد، استفاده شد. در مرحله بعد پس از مشخص شدن عمق بهینه آب‌گیری حوضچه‌ها، از پساب همراه نفت منطقه آغاجاری که به لاگون‌های تبخیری مجاور واحد نمک‌زدایی از نفت خام فرستاده می‌شد، برای ارزیابی تصفیه با انرژی خورشیدی استفاده گردید. برنامه آب‌گیری حوضچه‌ها در ساعات اولیه روز قبل از رسیدن پرتوهای خورشید به حوضچه‌ها انجام می‌شد و معمولا به مدت سه روز، تولید آب ادامه می‌یافت. پس از اتمام کار نیز نسبت به تخلیه و شستشوی حوضچه‌ها اقدام می‌شد. در طول مدت تصفیه آب توسط حوضچه‌ها (در طول روز) و در فواصل زمانی یک ساعته، حجم و کیفیت آب تولیدی اندازه‌گیری و ثبت می‌شد. از غروب خورشید تا طلوع آفتاب (روز بعد) نیز کل حجم آب تولیدی شبانه، یک‌باره و قبل از ساعت ۸:۳۰ صبح اندازه‌گیری می‌شد. مجموع آب تولید شده ٢٤ ساعته روز دوم مبنای مقایسه‌ها قرار گرفت. همچنین در ارایه نتایج کیفی آب تولیدی، مقادیر اعلام شده مربوط به اندازه‌گیری‌های مجموع آب‌های تولیدی در هر دوره سه روزه آزمایش است. بررسی‌های کیفی محدود به پارامترهای Oil & Grease، COD[1]، pH، NH_4^+ و TDS[2] یا مقدار کل جامدات محلول بود. از روش‌های موجود در Standard Methods و ASTM برای آب و فاضلاب برای اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر استفاده شد.

نتایج و بحث

تعیین عمق بهینه و نوع پوشش کف حوضچه

مدت هرسری آب‌گیری و تصفیه سه روز طول می‌کشید و برای حفظ شرایط یکسان برای هر سه حوضچه مقدار کل آب تولیدی ٢٤ ساعت دوم مبنای مقایسه کارایی حوضچه‌ها قرار گرفت. هر عمق آب‌گیری سه بار تکرار شد و نتایج به‌صورت مقایسه حداکثر آب تولیدی هر عمق با یکدیگر مقایسه گردید. در شکل ۲ مقدار بیشینه آب تولیدی عمق‌های مختلف با هم مقایسه شده است. همان‌گونه که در شکل به‌وضوح مشخص است، در عمق آب‌گیری ۲ cm مقدار آب تصفیه شده در حوضچه‌های هم شماره در مقایسه با عمق ۳ cm و ٤ cm بیشتر است که این نتیجه مشابه نتایج سایر محققین می‌باشد [۱۱و۱۲]. همچنین برای سه عمق انتخابی در این آزمایش‌ها همواره آب تصفیه شده حوضچه شماره ۲ بیشتر بوده است. از این شکل، دو نتیجه می‌توان گرفت اول اینکه عمق ۲ cm، عمق مناسب آب و یا پساب درون حوضچه برای تولید بیشتر آب است. این پدیده به‌دلیل این است که با کاهش عمق و مقدار پساب موجود در حوضچه‌ها، مقدار ظرفیت گرمایی آن کاهش می‌یابد. بنابراین در مقدار ثابت انرژی خورشیدی جذب شده، دمای پساب افزایش بیشتری می‌یابد. از طرفی افزایش دمای پساب موجب افزایش ضرایب انتقال جرم و حرارت از سطح پساب به سطح مایع کننده می‌شود [۱۳].



شکل ۲- مقایسه حداکثر آب تولیدی در سه حوضچه با عمق آب ۲، ۳ و ٤ cm

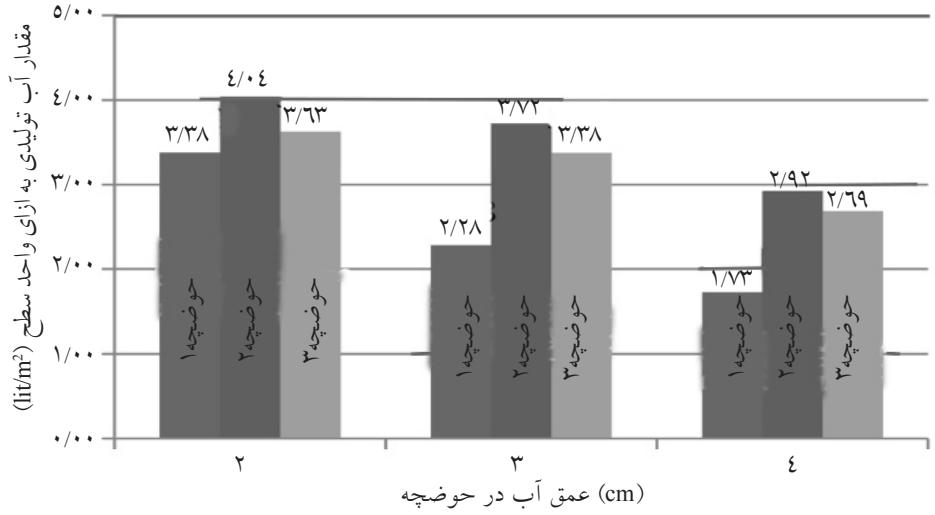
1. Chemical Oxygen Demand
2. Total Dissolved Solids

در پژوهش حاضر نیز این پدیده سبب افزایش تولید محصول حوضچه‌های حاوی مقدار کمتر پساب شده است. دومین نتیجه اینکه مقدار تولید آب حوضچه شماره ۲ با پوشش پلیمری کف حوضچه، نسبت به دو حوضچه دیگر بیشتر است. این امر به دلیل تیره بودن و خاصیت جذب و نگهداری گرما توسط پوشش پلیمری کف حوضچه شماره ۲ و انتقال تدریجی آن به آب درون حوضچه می‌باشد. همچنین با بررسی این شکل مشخص می‌شود که حوضچه شماره ۱ که بدون پوشش سیاه است، کمترین تولید محصول را دارد و اختلاف تولید این حوضچه با حوضچه شماره ۲ که پوشش پلیمری دارد، بیشتر از حوضچه شماره ۳ با پوشش آندی، می‌باشد. این اختلاف به دلیل کمتر بودن ضریب جذب تابش خورشیدی ورق آلومینیومی کف حوضچه نسبت به حوضچه‌های دیگر می‌باشد. همچنین بر اساس اطلاعات موجود، پساب درون حوضچه خود مقدار زیادی از تابش را جذب می‌کند و باقی‌مانده که به کف می‌رسد، توسط کف حوضچه جذب می‌شود. معمولا هر cm ۱ عمق آب ۲۷٪ از تابش خورشیدی را جذب می‌نماید، اما مقدار تابش رسیده به کف تیره رنگ می‌تواند به تدریج آب را گرم کرده و باعث تولید بیشتر آب نمک‌زدایی شده، گردد [۱٤ و ۱۵]. در این مرحله می‌توان ادعا نمود که عمق cm ۲ برای پساب درون حوضچه و پوشش پلیمری سیاه رنگ کف حوضچه شماره ۲، شرایط بهینه تصفیه و تولید آب در حوضچه‌های تقطیر خورشیدی می‌باشد.

برای مقایسه عملکرد حوضچه‌های تقطیر خورشیدی از پارامتر میزان روزانه تولید آب به ازای واحد سطح (lit/m^2) استفاده می‌شود. این مقایسه در شکل ۳ بر اساس میزان روزانه تولید آب به ازای مترمربع حوضچه‌ها بیان شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، برای عمق cm ۲ آب در حوضچه‌ها میزان تولید آب تصفیه شده برابر ۳/۳۸ تا ٤/۰٤ lit/m^2 در هر روز است. این مقدار برای عمق‌های ۳ و cm ٤ آب در حوضچه‌ها از ۱/۷۳ تا ۳/۷۲ lit/m^2 در هر روز متغیر است.

ارزیابی کیفی استفاده مجدد

معمولاً پساب‌های همراه نفت خام ایران، حاوی مقادیر بالای نمک‌های محلول (۱۷۰-۵۰ gr/lit)، مواد نفتی، روغنی و مقدار کمی مواد معلق هستند. از طرف دیگر استاندارد فاضلاب‌های خروجی تصفیه‌خانه‌ها برای کاربردهای کشاورزی و آبیاری عمدتاً با تأکید بر میزان یون‌های محلول، COD مواد معلق، مواد نفتی و pH است [۱٦]. در این پژوهش با توجه به خصوصیات پساب مورد استفاده و کاربرد احتمالی آب تصفیه شده در مصارف آبیاری و کشاورزی و همچنین مقدار املاح بسیار کم آب تصفیه شده به روش تقطیر، بررسی کیفی پارامترهای Oil & Grease، COD، pH، NH_4^+ و TDS انجام شد. طبق نتایج ارائه شده در جدول۱ مقدار نمک‌های محلول، کم و در حدود ۱۸۰-۱۰۰ mg/lit است که برای مصارف آبیاری مناسب می‌باشد.



شکل ۳- مقایسه آب تولیدی به ازای واحد سطح در سه حوضچه با عمق آب ۲، ۳ و cm ٤

جدول ۱- مقایسه پارامترهای منتخب در پساب اولیه و پساب تصفیه‌شده با استانداردهای آبیاری و کشاورزی

عامل اندازه‌گیری شده	مقدار در پساب همراه نفت	مقدار متوسط در پساب تصفیه‌شده			مقدار استاندارد ابیاری و کشاورزی
		حوضچه ۱	حوضچه ۲	حوضچه ۳	
TDS (mg/l)	۱۷۱۶۸۰	۱۷۳	۱۱۳	۱۳۳	–
pH	٦/۳	۷/۹	۷/۸	۸	٦ – ۸/۵
Oil & Grease (mg/l)	۳٤	۱٦	٦۲/۲	۲۹	۱۰
NH_4^+(mg/l)	۱۷۲	۱۵/٤	۱۵/٦	۱٦	–
COD (mg/l)	۲۰۰	۳۹	۷۳	۵۱	۲۰۰

این مورد طبیعتاً به دلیل استفاده از فرآیند تقطیر جهت تصفیه آب و در نتیجه جداسازی بسیار مناسب مواد جامد غیر فرار است. درخصوص مواد نفتی دیده می‌شود که مقدار آن در آب تولید شده حوضچه شماره ۲ حتی بیشتر از پساب اصلی و همچنین بیشتر از استاندارد مصارف آب آبیاری و کشاورزی است. در توجیه مقدارمواد نفتی حوضچه شماره ۲ می‌توان گفت مقدار عمده مواد نفتی اندازه‌گیری شده از نوع مواد فرار است که به‌دلیل بالاتر بودن دمای پساب درون حوضچه و انتقال بیشتر مواد فرار به محصول تقطیر شده، می‌باشد. به عبارت دیگر مقدار فراریت نسبی که تابعی از دماست، در حوضچه شماره ۲ به دلیل دمای بیشتر، بالاتر است و این عامل سبب می‌گردد میزان مواد نفتی در محصول این حوضچه افزایش یابد. بر اساس همین استدلال، در آب تولیدی حوضچه شماره ۱ که بدون پوشش سیاه جاذب تابش خورشیدی، کمترین مقدار جذب انرژی و افزایش دما را دارد، کمترین میزان مواد نفتی وجود دارد. از طرفی همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌گردد، برای حوضچه شماره ۲ مقدار مواد نفتی موجود در آب تصفیه شده افزایش یافته، در حالی که مقدار COD آن کاهش یافته است. علت این امر این است که COD بیان‌گر اکسیژن مورد نیاز اکسیداسیون شیمیایی مواد آلی است و به‌طور غیر مستقیم نشان‌دهنده میزان کلیه مواد آلی حاوی عنصر کربن موجود در آب می‌باشد. در حالی که مواد نفتی عمدتا شامل هیدروکربن‌ها است. بنابراین طی این فرآیند، مقدار مواد نفتی که شامل مواد فرار می‌باشند در آب تولیدی افزایش می‌یابد، در حالی که مقدار COD که اکثرا حاوی مواد غیر فرار و برخی از مواد نفتی است که در آزمایش COD به علت عدم اکسیداسیون کامل شیمیایی نشان داده نمی‌شود، کاهش می‌یابد. در مرجع [۱۷] نیز به وابستگی شدید توانایی دستگاه تقطیر خورشیدی در حذف مواد فرار به میزان فراریت این مواد و ضریب قانون هنری اشاره شده است. همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، پس از تصفیه، مقدار pH آب تولیدی بیشتر از pH پساب خوراک ورودی به حوضچه‌ها است. افزایش pH پساب تصفیه شده نسبت به pH پساب اولیه را می‌توان به رابطه تعادلی یون آمونیوم و گاز آمونیاک و وابستگی این نسبت به دما و pH آب، ارتباط داد. با افزایش دما میزان تبدیل یون آمونیوم به آمونیاک بیشتر شده و با انجام عمل تبخیر مقدار کمی گاز آمونیاک وارد آب تولیدی می‌شود که می‌تواند باعث افزایش pH گردد [۱۸]. هرچند این افزایش pH در محدوده استاندارد آب مورد مصرف آبیاری و کشاورزی است. مقایسه نتایج کیفی آب تولیدی در سه حوضچه تقطیر خورشیدی با استانداردهای پساب برای مصارف کشاورزی و آبیاری (برای پارامترهای اندازه‌گیری شده در این پژوهش)، بیان‌گر مناسب بودن آب تولیدی برای مصارف کشاورزی و آبیاری (به استثنای مقدار مواد نفتی) است. گفتن این نکته ضروری است که در تمام موارد میزان مواد نفتی و روغنی موجود در آب تولیدی (که عمدتاً از نوع موادآلی فرار می‌باشند)، بیش از استاندارد است که لازم است برای رفع این مشکل، تصفیه تکمیلی انجام گیرد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق استفاده از آب شیرین کن‌های خورشیدی حوضچه‌ای به منظور تصفیه پساب‌های نمکی همراه نفت مطالعه گردید و تأثیر استفاده از پوشش‌های مختلف سطح جاذب کف، عمق پساب و همچنین آنالیز آب تصفیه شده مورد بررسی قرار گرفت.

به منظور مطالعه عمق بهینه و نوع پوشش کف حوضچه‌ها، سه حوضچه کاملا مشابه با تفاوت در نوع پوشش کف (بدون سطح جاذب سیاه، دارای سطح جاذب پلیمری و دارای سطح جاذب آنود شده) آماده شد و فرآیند تصفیه در این حوضچه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج به‌دست آمده مشخص شد برای عمق ۲ cm پساب، تولید آب در حوضچه‌های دارای سطح جاذب پلیمری، سطح آند شده و بدون پوشش سیاه به‌ترتیب ٤/٠٤ ، ٣/٦٣ و ٣/٣٨ lit/m^2 می‌باشد. در بررسی عمق پساب نیز سه عمق ۲ cm، ۳ و ٤ انتخاب گردید و مشخص شد در هر سه حوضچه، عمق ۲ cm آب شور بیشترین تولید آب تصفیه شده را داشت که این نتیجه مشابه نتایج سایر محققان بود. در آنالیز نتایج آب تولید شده از سه دستگاه نیز تفاوت محسوسی در کیفیت آب تولیدی به استثنای مقدار مواد نفتی مشاهده نگردید. این تفاوت به‌دلیل انجام تبخیر بیشتر، به‌خصوص در حوضچه شماره ۲ و ۳ و انتقال مواد فرار از پساب به آب تولیدی است. مقایسه نتایج با استانداردهای آب مورد استفاده در کشاورزی و آبیاری نشان‌دهنده مناسب بودن آب تولید شده برای مصارف کشاورزی و آبیاری(به استثنای مقدار مواد نفتی) می‌باشد. برای کاهش مواد نفتی، فرآیند تصفیه تکمیلی مانند هوادهی یا استفاده از کربن فعال پیشنهاد می‌شود. در نهایت با توجه به بررسی‌های صورت گرفته استفاده از حوضچه‌های تقطیر خورشیدی به منظور تصفیه پساب‌های نفتی به دلیل رایگان بودن انرژی مصرفی، عدم آلودگی محیط زیست و تأمین آب مورد نیاز کشاورزی در مناطق نفت خیز پس از تصفیه تکمیلی به‌منظور کاهش مواد نفتی، پیشنهاد می‌گردد. هرچند مقدار زیاد پساب تولیدی در واحدهای نمک‌زدایی و سطح بسیار زیاد مورد نیاز برای انجام تبخیر در این حوضچه‌ها، ممکن است کاربرد این روش را مورد تردید قرار دهد که این امر لزوم انجام تحقیقات بیشتر برای افزایش میزان آب تولیدی را نشان می‌دهد. از طرف دیگر وجود زمین‌های وسیع در اطراف واحدهای نمک‌زدایی، تعداد بالای روزهای آفتابی و میزان تابش خورشید در این‌گونه مناطق به جذابیت این روش برای تصفیه پساب‌های واحدهای نمک‌زدایی نفت خام می‌افزاید.

تشکر و قدردانی

نویسنده این مقاله مراتب امتنان خود را از مدیریت پژوهش و فناوری شرکت ملی نفت ایران برای حمایت از تحقیقات منتهی به این نتایج اعلام می‌دارد.

منابع

[1]. Tiwari G. N., Singh H. N., and Tripathi R. , "*Present status of solar distillation*", Solar Energy, Vol. 75, pp. 367–373, 2003.

[2]. Al-Abbasi M. A., Al-Karaghouli, A. A. and Minasian A. N., "*Photo chemically assisted solar desalination of saline water*", Desalination, Vol. 86, pp. 317-324, 1992.

[3]. Madhlopa A. and Johnstone C., *"Model for computation of solar fraction in a single-slope solar still*", Solar Energy, Vol. 83, pp. 873-884, 2009.

[4]. Murugavela K., Chockalingama K. S., and Sritharb K., "*Progresses in improving the effectiveness of the single basin passive solar still*", Desalination, Vol. 220 ,pp. 677-682, 2008.

[5]. Kalidasa Murugavel K., Chockalingam Kn. K. S. K., Srithar, K. "*Progresses in improving the effectiveness of the single basin passive solar still*", Desalination, Vol. 220, pp. 677-686, 2008.

[6]. Haddad O., Al-Nimer M., and Maqableh A., "*Enhanced solar still performance using a radiative cooling system*", Renewable Energy, Vol. 21,pp. 459–469 , 2000.

[7]. Aboul-Enein S., El-Sebaii A. A. and El-Bialy E., "*Investigation of a single-basin solar still with deep basins*", Renewable Energy, Vol. 14, pp. 299-305 ,1998.

[8]. Tiwari, A. K. and Tiwari, G.N., "*Thermal modeling based on solar fraction and experimental study of the annual and seasonal performance of a single slope passive solar still: The effect of water depths*", Desalination, Vol. 207, pp. 184-204, 2007.

[9]. Tripathi R. and Tiwari G. N., "*Thermal modeling of passive and active solar stills for different depths of water by using the concept of solar fraction*", Solar Energy, Vol. 80, pp. 956-967, 2006.

[10]. Singh H. N. and Tiwari G.N., "*Monthly performance of passive and active solar still for different Indian climatic conditions*", Desalination, Vol.168, pp. 145-150, 2004.

[11]. Dev R. and Tiwari G. N., "*Characteristic equation of a passive solar still*", Desalination, Vol. 245, pp. 246–265,2009.

[12]. Tiwari G. N. and Tiwari A. K., *Solar Distillation Practice for Water Desalination Systems*, Anamaya Publishers, New Dehli, 2008.

[13]. Feilizadeh M., Jafarpur K., Karimi Estahbanati M. R. and Javanmardi J., *The effect of water depth on productivity of basin solar still: modeling & experimental study, 16th Annual (International) Conference on Mechanical Engineering (ISME)*, Kerman, Iran, 2008.

[14]. Defant A., *Physical Oceanography I*, Pergamon Press, Oxford, 1961.

[15]. Bornstein L., *Astronomic and Geophysik*, Springer-Verlag, Berlin ,1952.

[۱۶]. دفتر حقوقی و امور مجلس سازمان حفاظت محیط زیست ایران ، مجموعه قوانین و مقررات حفاظت محیط زیست ایران، جلد اول و دوم، ۱۳۷۹.

[17]. Hanson A., Zachritz W., Stevens , K. Mimbela L., Polka R. and Cisneros L., "*Distillate water quality of a single-basin solar still: laboratory and field studies*", Solar Energy, Vol. 76, pp. 635–645, 2004.

[18]. Peavy H. S., Rowe D. R. and Tchobanoglous G., *Environmental Engineering*, McGraw-Hill, New York, 1985.