نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و سوم، شماره دوم، ۱۳۹۵
http://jwsc.gau.ac.ir

مطالعه امکان‌سنجی استحصال آب از رطوبت هوا در جنوب استان سیستان و بلوچستان

*پیمان محمودی[۱]، چکاوک خواجه‌امیری خالدی[۲] و محمدرضا سالاری‌فنودی[۳]
[۱]استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، [۲]کارشناس‌ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، [۳]کارشناس‌ارشد هواشناسی کشاورزی، اداره هواشناسی دریایی چابهار
تاریخ دریافت: ۹۳/۴/۲۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۹

چکیده

سابقه و هدف: تامین آب مورد نیاز مردم در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از این روش‌ها که می‌تواند در تامین بخش اندکی از آب مورد نیاز ساکنین این نواحی به‌خصوص نواحی خشک کمک‌رسان باشد فناوری استحصال آب از رطوبت هوا است. استحصال آب از رطوبت هوا، به هر گونه فعالیتی گفته می‌شود که بخار آب موجود در جو را متراکم و آن را جمع‌آوری کند.

مواد و روش‌ها: به‌منظور امکان‌سنجی استحصال آب از رطوبت هوا به‌عنوان یک فناوری جدید جهت تامین بخشی از آب مورد نیاز ساکنان جنوب‌شرق ایران، ابتدا داده‌های فشار بخار آب، رطوبت نسبی و بارش ایستگاه چابهار برای یک دوره آماری ۲۰ ساله (۱۳۸۹-۱۳۷۰) از مرکز تحقیقات هواشناسی کاربردی استان سیستان و بلوچستان اخذ گردید. این سه پارامتر جهت محاسبات تئوری مقدار آب استحصالی از رطوبت هوا در منطقه جنوب‌شرق ایران مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج حاصل از محاسبات تئوری نشان می‌دهد که منطقه به‌علت میانگین رطوبت نسبی بالا مستعد اجرای هر گونه طرح استحصال آب از رطوبت هوا می‌باشد. اما جهت محاسبات عملی مقدار آب استحصالی از رطوبت هوا، یک جمع‌کننده پرده‌ای به ابعاد ۱*۱ مترمربع طراحی و به مرحله اجرا گذاشته شد. مقدار آب استحصالی از این جمع‌کننده به‌صورت روزانه و به‌مدت ۳۶۵ روز (از اول مهر ۱۳۹۰ تا پایان شهریور ۱۳۹۱) دیده‌بانی شد.

یافته‌ها: نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که سواحل جنوب‌شرقی ایران به‌علت میانگین رطوبت نسبی بالا، مستعد اجرای طرح‌های استحصالی برای برداشت آب می‌باشد. میانگین آب موجود دریک مترمکعب هوای منطقه مورد مطالعه در مرطوب‌ترین حالت ۲۹ گرم و در خشک‌ترین حالت ۸/۱ گرم برآورد گردیده است. اما با توجه به این‌که استحصال آب به شرایط مختلفی وابسته بوده و در بهترین شرایط نیز نمی‌توان همه رطوبت موجود در جو را جمع‌آوری نمود، طی آزمایش میدانی و بررسی آمارهای موجود مشخص گردید که می توان حدود ۲۰ درصد از آب موجود در هوا را در این منطقه استحصال نمود. بنابراین براساس این آستانه بیش‌ترین مقدار آب استحصالی مربوط به ماه خرداد با ۸/۶ لیتر بر مترمربع در روز و کم‌ترین مقدار آن ۱/۱ لیتر بر مترمربع در روز مربوط به ماه بهمن بوده است.

نتیجه‌گیری: نتیجه حاصل از این مطالعه نشان داد که جنوب‌شرق ایران با توجه به داشتن رطوبت نسبی بالای ۷۰ درصد در بیش‌تر ایام سال و وزش مداوم باد شرایط مناسبی جهت استحصال آب از رطوبت هوا دارد.

واژه‌های کلیدی: چابهار، استحصال آب، جمع‌کننده پرده‌ای، امکان‌سنجی، رطوبت مطلق

* مسئول مکاتبه: p_mahmoudi@gep.usb.ac.ir

مقدمه

حدود ۷۵ درصد از سطح کره زمین را آب تشکیل می‌دهد که فقط حدود ۳ درصد آن آب شیرین می‌باشد. از این مقدار نیز کم‌تر از ۱ درصد آن را آب‌های سطحی و زیرزمینی و ۲ درصد باقی‌مانده نیز به‌صورت یخچال‌های دائمی در قطب‌های شمال و جنوب یا درکوهستان‌های مرتفع محصور شده‌اند. این مسأله به روشنی کمبود منابع آب شیرین را در سطح جهان نشان می‌دهد (۵). علاوه بر این استفاده بی‌رویه از منابع آب، سوء مدیریت و بهره‌برداری‌هایی با بازده کم باعث شده است که موضوع کم‌آبی در بسیاری از مناطق جهان به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌عنوان یک معضل اساسی مطرح گردد (۱۶). سازمان غذایی و کشاورزی سازمان ملل متحد[1] (FAO) پیش‌بینی نموده است که تا سال ۲۰۲۵ میلادی نزدیک به دو میلیارد انسان در نواحی دارای کمبود آب و دو سوم جمعیت جهان در نواحی تحت فشار زندگی خواهند کرد (۱۶). بنابراین جهت مبارزه با پدیده کم‌آبی و کاهش اثرات منفی آن در نواحی اشاره شده، نیاز به استفاده از فناوری‌های ساده، جدید و کم‌هزینه بسیار احساس می‌شود. یکی از این روش‌ها که می‌تواند در تامین بخش اندکی از آب مورد نیاز ساکنین این نواحی به‌خصوص نواحی خشک کمک‌رسان باشد فناوری استحصال آب از رطوبت هوا است.

استحصال آب از رطوبت هوا، به هر گونه فعالیتی گفته می‌شود که بخار آب موجود در جو را متراکم و آن را جمع‌آوری کند (۷). این فناوری یک فناوری نسبتاً جدید با ریشه‌های باستانی است که در بسیاری از مناطق جهان همچون آمریکای شمالی، خاورمیانه، شمال آفریقا، چین و هند سابقه‌ای طولانی دارد (۱۱).

1- Food and Agricultural Organization of the United Nations

ساکنان جزایر کاناری[2] حدود ۲۰۰۰ سال است که از قطرات چکیده شده از مه به‌عنوان یک منبع دسترسی به آب بهره می‌برند (۱، ۹، ۱۰، ۱۲). دِی لا کاساس به نقل از تیدمان (۲۰۰۴) اشاره می‌کند، که یک مبلغ مذهبی در دهه ۱۶۰۰ جمع‌آوری آب از قطرات مه را برای مصارف انسانی در هندوستان گزارش کرده است (۱۵).

در فلسطین باستان برای استحصال آب از رطوبت هوا دیواره‌های لانه زنبوری مدور کم ارتفاعی را در اطراف تاکستان‌ها می‌ساختند تا از این طریق بتوانند مه و شبنم را به‌صورت قطرات آب تبدیل و از آن‌ها برای آبیاری گیاهان استفاده کنند (۹، ۱۰). همچنین یونانیان باستان در قرن ششم میلادی توانستند از طریق استحصال آب از رطوبت هوا، نیاز آبی شهر تئودوسیا[3] را برطرف کنند (۸). در بیابان آتاکاما[4]، استحصال آب از رطوبت هوا از طریق لوله‌های سنگی انجام می‌شد؛ این لوله‌ها به گونه‌ای طراحی شده بودند که هر زمان مه از روی آن‌ها عبور می‌کرد آب حاصل از قطرات مه در آن جمع و به‌سمت پایین به داخل یک مخزن مرکزی هدایت می‌شد (۹، ۱۰).

مارلوث (۱۹۰۳) در خلال مطالعاتش بر روی مه و نحوه جمع‌آوری آن در رشته‌کوه‌های تیبل[5] در آفریقای جنوبی، جهت جمع‌آوری و اندازه‌گیری آب حاصل از مه از دسته‌های نی که بر بالای یک باران‌سنج تعبیه کرده بود استفاده می‌کرد (۱۳). هر چند که این منبع آب بر اساس یک دانش قدیمی بنا نهاده شده است، اما پژوهش‌های جدید در خصوص جمع‌آوری آب از رطوبت هوا بسیار پراکنده و تنها توانسته نظر تعداد کمی از پژوهشگران جدید را در طی این ۲۵ سال اخیر به خود جلب کند. اما با این وجود پروژه‌های

2- Canary Islands
3- Theodosia
4- Atacama Desert
5- Table Mountain

کوچک و بزرگی در قالب همکاری‌های بین‌المللی در گوشه و کنار جهان انجام شده است. بزرگ‌ترین پروژه‌ای که تاکنون در سطح جهان در زمینه استحصال آب از رطوبت هوا اجرا شده است پروژه‌ای است که در یک دامنه کوهستانی در بالای دهکده چانگونگو[1] در سواحل مرکزی شمال کشور شیلی بوده است. در این مکان ۵۰ جمع‌کننده بزرگ رطوبت هوا که هر یک شامل یک لایه مضاعف از شبکه الیاف پلی‌پروفیلن به سطح ۴۸ مترمربع بوده است نصب شده‌اند. این طرح روزانه به‌طور متوسط ۱۱ هزار لیتر آب تولید می‌کند (۴).

در کشور عمان نیز پروژه استحصال آب از رطوبت هوا در منطقه ظفار که ارتفاعی حدود ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ متر دارد به مرحله اجرا گذاشته شد. نتایج حاصل از این پروژه نشان داد که برای یک دوره سه‌ماهه مقدار آب به‌دست آمده حدود ۳۰ لیتر در روز بوده است (۱).

در سال ۱۹۹۰ نیز آژانس توسعه بین‌المللی کانادا با همکاری مرکز ملی هواشناسی- هیدرولوژی پرو یک پروژه ارزیابی امکان استحصال آب از رطوبت هوا در ارتفاعات سرو اورارا[2] پرو به مرحله اجرا گذاشتند. نتایج به‌دست آمده برای یک سال نشان داد که در این مکان به‌دلیل سرعت بالای باد و به واسطه باران ریزه اندکی که از سطح ابرهای ضخیم به سطح زمین می‌رسد آب تولیدی خوبی می‌توان به‌دست آورد (۱۴).

در ایران نیز موسوی‌بایگی و شعبان‌زاده (۲۰۰۸) به‌منظور امکان‌سنجی استحصال آب از مه و ابرهای قله‌ای در ارتفاعات استان خراسان رضوی، اقدام به طراحی و ساخت چهار نوع جمع‌کننده با ابعاد و اندازه‌های مختلف نمودند. نتایج حاصل از کار آن‌ها نشان داد که آب استحصالی از این جمع‌کننده‌ها به‌طور متوسط در روزهای خشک می‌تواند تا ۴۰ لیتر در روز برسد (۶).

همچنین غضنفری و همکاران (۲۰۱۰) با اعتقاد به این مهم که موفقیت پروژه‌های استحصال آب از مه منوط به تخمین مناسب حجم آب به‌دست آمده قبل از اجرای این نوع پروژه‌ها می‌باشد اقدام به پیش‌بینی مقدار آب استحصالی از مه نمودند. آن‌ها با استفاده از روابط دینامیکی حاکم بر فیزیک ابر، فرضیه فرکتالی بودن نحوه توزیع قطرک‌ها را مطرح و سپس برای تعیین بعد فرکتال از دو سوم داده‌های موجود و برای تعیین صحت برآورد بعد فرکتال از یک سوم داده‌های موجود که از سه نوع شبکه با تراکم‌های مختلف به‌دست آمده بود بهره بردند. نتایج این پژوهش نشان داد که در سطح ۹۵ درصد بعد فرکتال برای رابطه دینامیکی برابر با ۲/۵۴ است که یک نتیجه قابل‌قبولی به‌شمار می‌آید اما برای دستیابی به نتایج بهتر، این پژوهشگران پیشنهاد دادند که از داده‌های آزمایشگاهی قابل استحصال نیز استفاده شود (۲).

با توجه به این‌که کشور ایران در ناحیه کمربند خشک جهان واقع شده است و قسمت اعظم آن از کمبود آب کافی رنج می‌برد و نیز به‌منظور امکان‌سنجی این موضوع که آیا می‌توان برای قسمتی از نواحی خشک ساحلی ایران، خصوصاً نواحی روستایی که حتی گاهی برای آب شرب مورد نیاز با مشکل مواجه هستند راهی را جستجو کرد که حداقل آب مورد نیاز واحدهای کوچک کشاورزی و حتی مسکونی را با روشی آسان و ارزان تأمین نمود، این پژوهش به اجرا در آمد. بنابراین استفاده بهینه از منابع آب و نیز تلاش در جهت دستیابی به منابع آب جدید و روش‌های نوین استحصال آب از اهداف اصلی این پژوهش به حساب می‌آید.

1- Chungungo
2- Cerro Orara

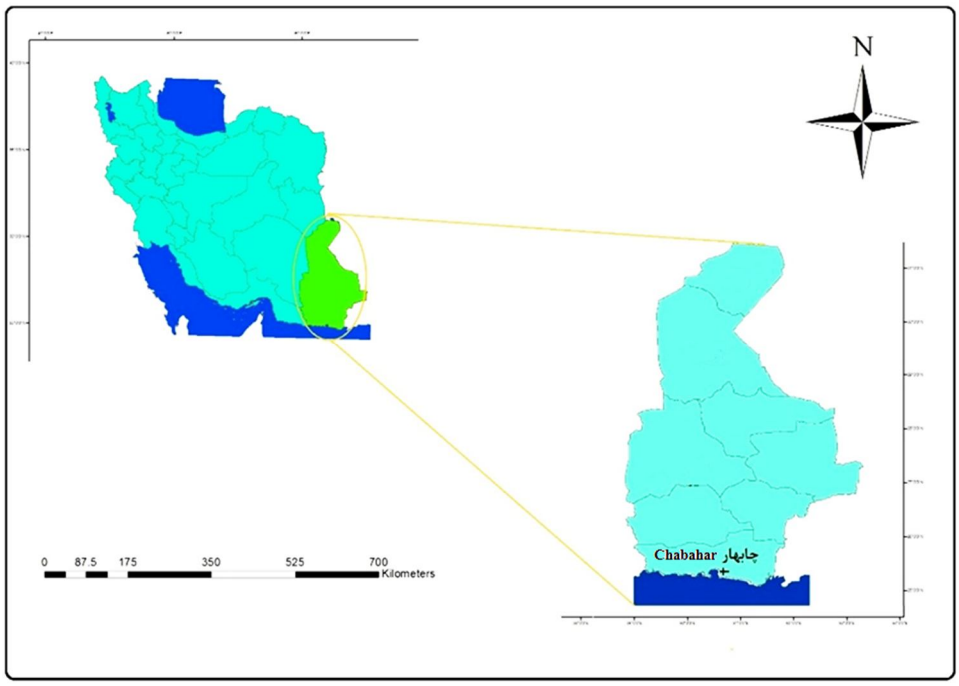
مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی امکان استحصال آب از رطوبت هوا در جنوب‌شرق ایران، داده‌های ساعتی و ماهانه فشار بخار جهت محاسبه رطوبت مطلق هوا و داده‌های ماهانه بارش و رطوبت نسبی ایستگاه چابهار جهت پتانسیل‌سنجی استحصال آب برای یک دوره آماری ۲۰ ساله (۱۳۸۹-۱۳۷۰) از مرکز تحقیقات هواشناسی کاربردی استان سیستان و بلوچستان اخذ گردید. مشخصات ایستگاه چابهار در جدول ۱ و موقعیت آن در شکل ۱ آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه چابهار.

Table 1. Geographical Characteristics of Chabahar Station.

نام ایستگاه Station Name	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	ارتفاع از سطح دریا Elevation
چابهار Chabahar	25° 17′	60° 37′	8



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه چابهار.

Figure 1. Geographical Situation of Chabahar Station.

بعد از گرفتن داده‌ها و تشکیل بانک اطلاعاتی آن، برای رسیدن به هدف اصلی این پژوهش یعنی محاسبه میزان استحصال آب از رطوبت هوا محاسبات مختلفی انجام شد که در ذیل به‌ترتیب به آن‌ها اشاره شده است:

محاسبه میزان آب موجود در هوا: به‌منظور بررسی پتانسیل آب موجود در هوای ایستگاه چابهار، بایستی از پارامتر رطوبت مطلق هوا با واحد گرم بر مترمکعب استفاده نمود. این پارامتر از طریق رابطه ۱ محاسبه می‌گردد (۲):

$$m = \frac{216.98}{T} \times e \qquad (۱)$$

که در آن، T دمای هوا بر حسب درجه کلوین و e فشار بخار بر حسب میلی‌بار می باشد. نتایج حاصل از این معادله میزان بخار آب موجود در یک مترمکعب از هوا را به ما نشان خواهد داد.

محاسبه حجم آب قابل استحصال: از آن‌جایی که داده‌های هواشناسی با دوره‌های ۳ ساعته قرائت و ثبت می‌گردند بنابراین باید واحد محاسبات حجم آب قابل استحصال در ۳ ساعت خاص و یک سرعت مشخص باد محاسبه گردد. محاسبه حداکثر حجم آب قابل استحصال با استفاده از رابطه زیر قابل دسترسی است:

(۲)

(شاخص رطوبت)×(سرعت باد)×(یک ساعت)×(شاخص زمان)×(شاخص استحصال) = حجم آب قابل استحصال

لازم به ذکر است که چون نمی‌توان همه مقادیر آب قابل استحصال محاسبه شده موجود در رطوبت هوا را جمع‌آوری نمود و مقدار آب به غیر از شرایط تداوم استحصال در ۳ ساعت داده‌های هواشناسی، به دستگاه مورد استفاده و عملکرد آن نیز بستگی دارد. به همین دلیل شاخص‌های استحصال ۱۰ درصد، ۲۰ درصد و ۵۰ درصد در نظر گرفته می‌شود.

طراحی یک جمع‌کننده آب از رطوبت هوا: مهم‌ترین بخش در یک طرح استحصال آب از رطوبت هوا، طراحی و ساخت یک سیستم جمع‌کننده آب می‌باشد. این طراحی بایستی به گونه‌ای صورت بگیرد که در عین سادگی امکان بهره‌برداری از آن برای بیش‌تر عموم مردم وجود داشته باشد. انواع مختلفی از این جمع‌کننده‌ها تاکنون طراحی شده است که می‌توان به جمع‌کننده‌های پرده‌ای، جمع‌کننده‌های مخروطی تک‌جداره، جمع‌کننده‌های مخروطی دو جداره و جمع‌کننده‌های مخروطی چندجداره اشاره نمود (۵).

در این پژوهش ما از یک جمع‌کننده پرده‌ای استفاده نموده‌ایم. قسمت اصلی یک جمع‌کننده پرده‌ای چهارچوب یا قاب فلزی آن است. چهارچوب انتخاب شده برای این کار یک چهارچوب یا قاب فلزی ۱*۱ متر است. دلیل این انتخاب در این امر نهفته است که با این ابعاد می‌توانیم به راحتی آب استحصالی در واحد سطح را محاسبه کنیم. البته این ابعاد می‌تواند کوچک‌تر یا بزرگ‌تر نیز باشد. ارتفاع قاب از سطح زمین حدود ۹۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد، ضلع پایینی قاب در داخل یک لوله پی‌وی‌سی که در امتداد طول آن شکافی به اندازه مناسب ایجاد شده، قرار داده شده است. دو انتهای این لوله کاملاً عایق‌بندی شده است. این لوله به‌نحوی تعبیه شده که دارای شیب ملایم یک درصد می‌باشد و به انتهای پایینی آن، شیلنگی وصل شده که آب را به مخزن منتقل می‌کند. قطره‌های شکل گرفته روی شبکه نخ‌ها با یکدیگر تشکیل قطرات بزرگ‌تر را می‌دهند و در اثر جاذبه زمین به‌سمت جمع‌کننده‌ای که در زیر قاب قرار دارد، حرکت می‌کنند و سپس به یک گالن جمع‌کننده هدایت می‌شوند. کل قسمت‌های جمع‌کننده بر روی تیرک‌هایی محکم شده است (شکل ۲).

پس از انتخاب چهارچوب مورد نظر و طراحی آن، مرحله بعد بررسی و مقایسه نمونه‌های مختلف توری و تعیین پارامترهایی هم‌چون جنس، اندازه منافذ و زاویه قرارگیری جمع‌کننده بود که در نهایت تصمیم بر آن شد تا از توری پلی‌اتیلن و منافذ با ابعاد ۲×۲ میلی‌متر و زاویه رو به جنوب (جهت باد غالب منطقه) استفاده گردد.

کار نصب جمع‌کننده‌ها در شهریورماه سال ۱۳۹۰ انجام و از اول مهرماه یعنی ابتدای سال زراعی برداشت داده آغاز گردید. این برداشت به‌مدت یک سال تا انتهای شهریورماه ۱۳۹۱ ادامه داشت که در

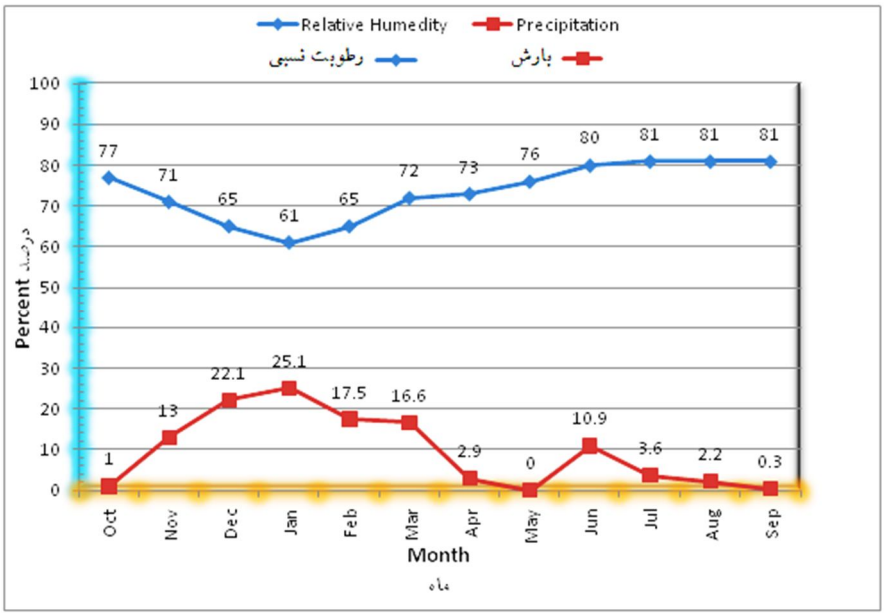
پاره‌ای موارد و بر اثر حوادثی به ترمیم و حتی تمیز نمودن توری‌ها (به‌علت غبارگرفتگی) اقدام شد. لازم به اشاره است که محل کارگذاری این جمع‌کننده در منطقه آزاد چابهار و در حدود ۵۰۰۰ متر از دریا فاصله داشته و ارتفاع تقریبی آن از سطح دریا ۱۰۰ متر بوده است.

شکل ۲- تصاویری از جمع‌کننده پرده‌ای طراحی شده.

Figure 2. Pictures from Designed Screen Collector.

نتایج و بحث

نتایج پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد که داشتن رطوبت نسبی بالای ۷۰ درصد در طول ایام سال، مناسب‌ترین آستانه برای تشخیص مستعد بودن یک منطقه برای اجرای پروژه‌های استحصال آب از رطوبت هوا می‌باشد. شکل ۳ نمودار میانگین بلندمدت ماهانه رطوبت نسبی و بارش ایستگاه چابهار را نشان می‌دهد. در این نمودار مشاهده می‌شود که میانگین رطوبت نسبی در طول دوازده ماه سال به استثنای سه ماه سرد سال (آذر، دی و بهمن) بالای ۷۰ درصد می‌باشد. بنابراین این منطقه با توجه به وزش باد مداوم و دامنه تغییرات نسبتاً کم دمای هوای آن مستعد برای استحصال آب از رطوبت هوا می‌باشد.



شکل ۳- نمودار میانگین بلندمدت رطوبت نسبی و بارش ماهیانه شهرستان چابهار (دوره آماری ۲۰ ساله).

Figure 3. Diagram of Long-Term Monthly Average of Relative Humidity and Precipitation in Chabahar Station (Statistical Period of 20 years).

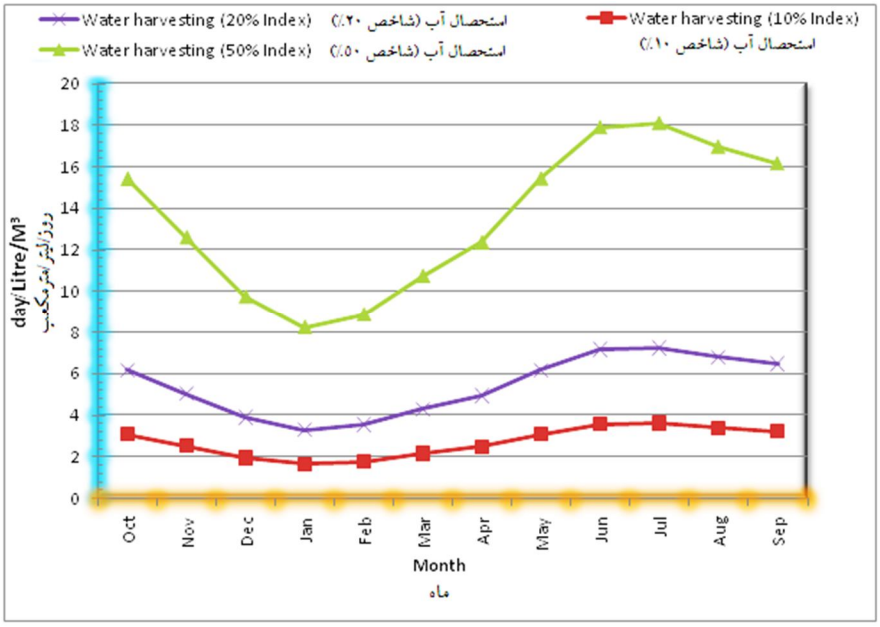
اما با توجه به این‌که در بررسی مقدار آب موجود در جو، پارامتر رطوبت مطلق تنها ملاک مقایسه و بررسی می‌باشد بنابراین پارامتر رطوبت مطلق با استفاده از رابطه ۱ برای تمام سال‌های مورد مطالعه برای ایستگاه چابهار محاسبه شد. نتایج مربوط به مقادیر حداکثر، حداقل و میانگین سالانه رطوبت مطلق در جدول ۲ آورده شده است. بر اساس این جدول مشاهده می‌شود که مقدار متوسط آب موجود در یک مترمکعب هوای چابهار در خشک‌ترین حالت ۸/۱ گرم بر مترمکعب و در مرطوب‌ترین حالت ۲۹ گرم بر مترمکعب برآورد گردیده است. سال ۱۳۷۴ نیز با ۱۹ گرم بر مترمکعب به‌عنوان متوسط ۲۰ ساله دوره آماری تعیین و مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۲- مقادیر حداکثر، حداقل و متوسط سالانه رطوبت مطلق ایستگاه چابهار.

Table 2. Annual Maximum, minimum and average of absolute humidity in Chabahar station.

	سال وقوع Occurance year	رطوبت مطلق (gr/m^3) Absolute Humidity (gr/m^3)
بیش‌ترین مقدار Maximum Amount	1391	29
کم‌ترین مقدار Minimum Amount	1386	8.1
متوسط سالانه Annual Average	1374	19

اما از آن‌جایی‌که نمی‌توان همه مقدار آب موجود در جو را استحصال نمود بنابراین با استفاده از فرمول ۲ و برای شاخص‌های ۱۰ درصد، ۲۰ درصد و ۵۰ درصد مقدار آب قابل استحصال محاسبه شد که نتایج آن در قالب میانگین‌های ماهانه در شکل ۴ آورده شده است.



شکل ٤- نمودار مقایسه میانگین برداشت ماهانه در روش میدانی با شاخص‌های مختلف تئوری (لیتر/ مترمربع/ روز).

Figuer 4. Comparison diagram of monthly harvest in the field method with different theoretical indices (Litre/m^3/day).

بعد از انجام محاسبات تئوری بر اساس شاخص‌های ۱۰٪، ۲۰٪ و ۵۰٪ و به‌منظور بررسی عملی امکان‌سنجی استحصال آب از رطوبت هوا در جنوب‌شرق ایران، یک جمع‌کننده پرده‌ای به ابعاد ۱×۱ متر طراحی و به مرحله اجرا گذاشته شد. مقدار آب استحصالی از این جمع‌کننده به‌صورت روزانه و به‌مدت ۳۶۵ روز دیده‌بانی شد. نتایج حاصل از این دیده‌بانی برای تمامی ۳۶۵ روز در جدول ۳ آورده شده است. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود که بیش‌ترین مقدار آب استحصال شده از رطوبت هوا مربوط به خرداد با ۸/۶ لیتر بر مترمربع در روز (۱۶ خرداد) و کم‌ترین مقدار آن مربوط به بهمن با ۱/۱ لیتر بر مترمربع در روز (۱۸ و ۲۵ بهمن) بوده است.

اما برای این‌که چشم‌اندازی از تغییرات زمانی آب استحصالی در طول یک سال وجود داشته باشد، برای هر ماه به‌طور جداگانه میانگین روزانه آب استحصالی محاسبه و نتایج آن در قالب نمودار ۵ نشان داده شده است. بر اساس این نمودار ملاحظه می‌گردد که بیش‌ترین آب استحصالی از رطوبت هوا مربوط به ماه خرداد و کم‌ترین مقدار آن مربوط به ماه بهمن بوده است. مقایسه این شکل با شکل ۳ رابطه بین رطوبت نسبی و آب استحصالی را به خوبی نشان می‌دهد. در فصل سرد سال که میزان رطوبت نسبی در این منطقه در کم‌ترین مقدار خود می‌باشد، آب استحصالی از رطوبت نیز در کم‌ترین مقدار خود قرار گرفته است. اما برعکس در فصل گرم سال که رطوبت نسبی بسیار بالا است، مقادیر آب استحصالی از رطوبت نیز بیش‌تر است.

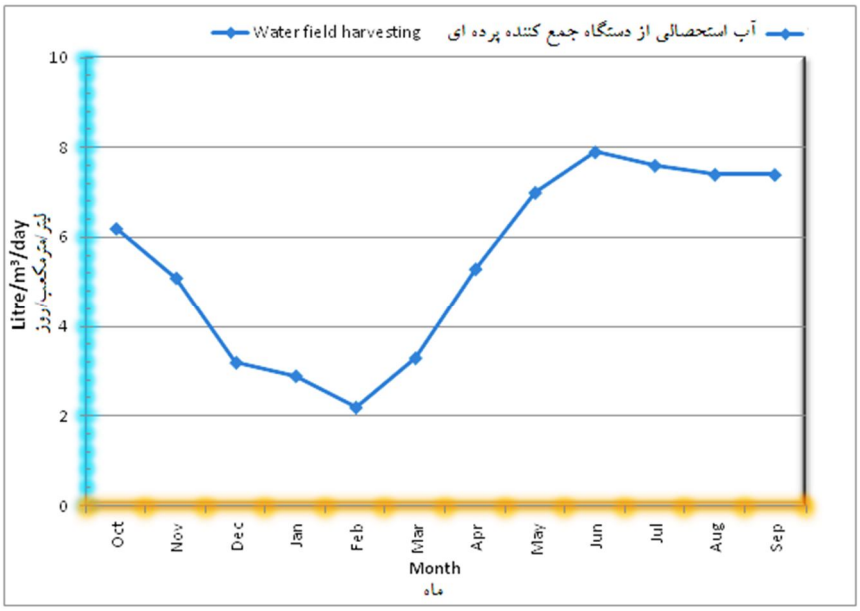
جدول ۳- مقدار آب استحصال‌شده از یک جمع‌کننده پرده‌ای بر حسب لیتر بر مترمربع در روز در جنوب‌شرق ایران.

Table 3. The amount of water harvested from a screen collector in liters per square meter per day in South East Iran.

سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰

Crop season 2011-2012

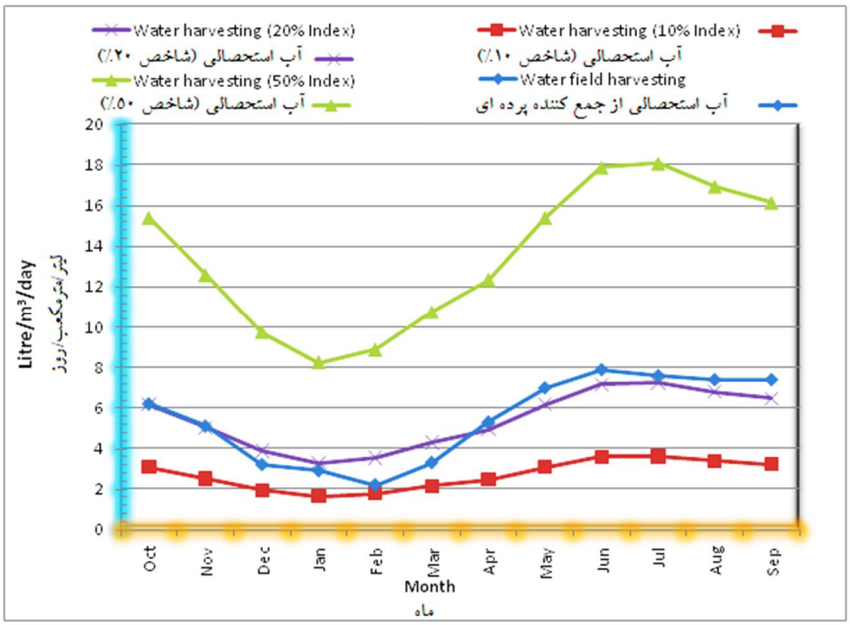
Aug	Jul	Jun	May	Apr	Mar	Feb	Jan	Dec	Nov	Oct	Sep	Day
7.1	7.5	7	8.2	6.5	2.8	4.1	3.7	1.6	4.3	4.9	5.9	1
7.1	7.7	7.9	8.4	7.4	4	2.7	2	2.3	4.2	4.7	6.4	2
7.1	7.8	7.3	8.3	6.7	5.1	2.3	2.3	2.5	4.0	5.1	6.3	3
7.5	7.8	7.6	7.1	7	5.4	2.7	2.2	3.3	4.1	4.9	6.7	4
7.5	7.6	7.7	7.2	6.8	6	2.6	1.6	3.9	4.2	5.2	5.9	5
7.8	7.5	7.4	7.5	6.7	5.8	3.2	1.7	3.8	3.9	5.3	6.9	6
7.2	7.1	7.3	7.7	6.5	4.1	3.4	2.6	3.5	3.7	5.7	6.6	7
7.3	7.4	7.8	7.6	7	5.2	4.3	2.4	2.8	3.2	4.9	5.9	8
7.4	7.4	7.7	7	6.4	5.2	3.5	3.3	2.6	3.3	4.7	6	9
7.3	7.5	7.8	7.6	6.2	6	4.1	2.4	2.6	3.4	4.6	6.8	10
7.4	7.1	7.7	7.1	6.3	5	4.2	3.5	2.5	4.0	4.7	6.3	11
7.3	7	7.9	8.2	6.8	5.8	4	2.4	2.8	3.9	4.9	5.8	12
7.5	7.5	7.7	8.2	6.8	6	2.2	2.6	3.4	3.3	5.1	5.7	13
7.4	7.5	7.6	8.4	4.7	5.3	1.3	2.7	2.9	2.7	4.8	6.8	14
7.3	7.5	7.6	8.5	5.7	5.2	1.2	1.6	2.6	2.2	4.9	6.8	15
7.5	6.8	7.3	8.6	6.4	5.1	1.6	1.4	1.7	2.8	5	5	16
7.5	6.8	7.3	7.1	7.5	4.1	2.5	1.3	2.6	2.8	4.8	5.8	17
7.5	7	7.8	7.9	7.4	5.2	3.1	1.1	3.6	2.1	5.3	5.9	18
7.3	7.5	7.8	7.7	7.3	5.3	3.9	1.7	3.7	2.0	5.1	6.5	19
7.7	7.5	7.9	7.7	7.4	5.6	4	2.2	4	3.4	4.5	6.8	20
7.3	7.5	7.9	8.3	7.5	5.8	3.5	2.6	4.1	3.9	4.4	6.8	21
7.3	7	7.9	7.7	6.8	5.7	3.4	3	4	2.6	4.8	6.8	22
7.2	7.5	7.6	8.4	6.4	5	3.5	1.7	3.9	2.7	4.4	6.4	23
7.7	7.4	7.6	8.2	7.8	4.3	4.1	1.2	4.2	2.5	5.1	6.5	24
7.7	7.1	7.6	8.1	7.5	5.9	4.2	1.1	2.8	2.8	5.4	6.2	25
8.2	7.4	7.6	8.1	7.9	6	4.6	1.5	1.7	3.7	5.5	6	26
7.2	7.5	7.7	8.2	7.8	7.2	4.7	2.1	2.5	3.9	5.7	6	27
7.6	7.9	7.9	7.8	7.6	7.2	4.9	2.5	1.7	3.5	5.5	5.8	28
7.2	8.1	8	7.6	7.4	6	2.7	2.3	1.8	2.8	6.1	6.2	29
7	7.6	7.4	8.3	7.6	5.2	4.1	3.6	2.8	1.4	5.5	5.9	30
6.8	7.4	7.6	8.1	8	5.2							31



شکل ۵- نمودار میانگین ماهانه آب استحصالی از دستگاه جمع‌کننده پرده‌ای (لیتر/ مترمربع/ روز).

Figure 5. Diagram of monthly harvest water from screen collector device (Liter/ m^3/ day).

در نهایت جهت مقایسه آب استحصالی از جمع‌کننده پرده‌ای با محاسبات تئوری، دو شکل ۴ و ۵ با یکدیگر ادغام گردیدند (شکل ۶). مقایسه میزان آب استحصالی از دستگاه جمع‌کننده با مقادیر به‌دست آمده از شاخص‌های تئوری مشاهده می‌شود که تفاوت چندانی بین داده‌های تئوریک ۲۰ درصد استحصال و عملی مشاهده نمی‌گردد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که می‌توان تنها ۲۰ درصد از رطوبت موجود در جو را در جنوب‌شرق ایران استحصال نمود.



شکل ٦- نمودار ادغامی استحصال آب از جمع‌کننده پرده‌ای و شاخص محاسبه شده تئوری (لیتر/ مترمربع/ روز).

Figure 6. Integrated diagram of harvest water from screen collector and the calculated theoretical indices (Liter/ m^3/ day).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که سواحل جنوب‌شرقی ایران به‌علت میانگین رطوبت نسبی بالا، مستعد اجرای طرح‌های استحصالی برای برداشت آب می‌باشد. میانگین آب موجود در یک مترمکعب هوای منطقه مورد مطالعه در مرطوب‌ترین حالت ۲۹ گرم و در خشک‌ترین حالت ۸/۱ گرم برآورد گردیده است. ولی با توجه به این‌که استحصال آب به شرایط مختلفی وابسته بوده و در بهترین شرایط نیز نمی‌توان همه رطوبت موجود در جو را جمع‌آوری نمود، طی آزمایش میدانی و بررسی آمارهای موجود مشخص گردید که حدود ۲۰ درصد آب موجود در هوا را در این منطقه استحصال نمود. بنابراین براساس این آستانه بیش‌ترین مقدار آب استحصالی مربوط به ماه خرداد با ۸/۶ لیتر بر مترمربع در روز و کم‌ترین مقدار آن ۱/۱ لیتر بر مترمربع در روز مربوط به ماه بهمن بوده است. تغییرات این مقادیر در طول سال به‌شدت وابسته به تغییرات دما و رطوبت نسبی منطقه می‌باشد. نتایج حاصل از این پژوهش در مقایسه با نتایج کار موسوی‌بایگی و غضنفری (۲۰۰۸) با در نظر گرفتن تفاوت در ارتفاع و اقلیم منطقه جغرافیایی نشان می‌دهد که در جنوب‌شرقی ایران شرایط مساعدتر و میزان آب استحصالی در واحد لیتر بر مترمربع در روز بیش‌تر می‌باشد.

از آن‌جایی‌که استحصال آب از رطوبت هوا یک روش غیرمرسوم تهیه آب به‌شمار می‌رود یک برنامه آموزشی ترویجی در شروع هر طرح بایستی صورت گیرد. در این برنامه مزایا و معایب روش جدید و چگونگی نیل به استفاده از منبع آبی جدید باید برای مصرف‌کنندگان به روشنی توضیح داده شود. همانند هر پروژه دیگر، مشارکت افراد محلی در چگونگی تهیه آب مزایای متعددی دارد. مشارکت در تاسیس، تعمیر، نگهداری و اداره سیستم از جمله این مزایا به‌شمار می‌رود. نکته مهم دیگر این است که همانند منابع انرژی غیرمرسوم دیگر چون استفاده از انرژی خورشیدی و انرژی حاصله از باد نیازمند زمان برای پذیرش هستند، بایستی از بروز هر گونه شک و بدبینی در هنگام استفاده از منابع و امکانات محلی جهت اجرای برنامه نصب سیستم جمع‌کننده آب از رطوبت هوا جلوگیری نمود. یک مطالعه اقتصادی برای اطمینان از هزینه تمام شده آب حاصله از رطوبت هوا نسبت به سایر موارد چون آب حمل شده توسط تانکر آب یا خطوط لوله در این زمینه مفید خواهد بود. براساس مطالعات انجام شده هزینه‌های دستگاه پیشنهادی (شبکه توری) جهت نصب در پشت بام منازل در مقایسه با وسایل سیستم‌های آب‌رسانی دیگر بسیار پایین بوده ضمن آن‌که دستگاه‌های مذکور هیچ‌گونه انرژی مصرف ننموده و اثر سویی بر محیط زیست ندارد. از نظر بهداشتی نیز آب استحصال شده تمیز و سالم بوده و خطرات احتمالی که روش‌های دیگر انتقال آب به منطقه را تهدید می‌کند، در این روش وجود ندارد.

مقدار آب تولیدی بستگی به سطح جمع‌کننده و کارآمد بودن جمع‌کننده در شکار قطرات آب موجود در هوا و سرعت باد دارد. استحصال آب از مه نمی‌تواند جواب کامل را به ذخایر آبی جهان بدهد ولی مثالی است از چگونگی بهره‌برداری ما از آن‌چه که طبیعت به ما داده است و این‌که چگونه کشورهای در حال توسعه می‌توانند مهارت‌های خود را از تکنولوژی اندک شروع و نیل به پروژه‌های آبی پایدار و مناسب را افزایش دهند. استحصال آب از هوا می‌تواند سایر منابع آبی را تکمیل کند. به‌عنوان یک فنآوری غیرمرسوم، امید است که سازمان‌های مسئول امکان انجام این فنآوری نوین را در نقاط مه‌خیز ایران آزمون کرده و امکان کاربرد این روش جدید را به‌عنوان یک فنآوری نوین در عرصه منابع آبی مورد

بررسی قرار دهند. بدیهی است که این روش می‌تواند گامی در راستای تأمین آب مورد نیاز در مصارف مختلف چون شرب، عمومی، کشاورزی، جنگلداری، دامپروری و صنعت باشد.

فرآیند استحصال آب از رطوبت هوا به‌طور یقین یک منبع جایگزین برای تهیه آب شرب نبوده ولی می‌تواند مکمل بسیار مناسبی برای جبران کمبودها باشد. طرح استحصال را می‌توان در مکان‌های مشابه در استان نظیر مناطق ساحلی استان‌های بوشهر، هرمزگان، خوزستان، مناطق ساحلی شمال و مناطق کوهستانی شمال و شمال‌غرب کشور که درجه حرارت پایین و رطوبت بالایی دارند و دارای مه شدید هستند، اجرا نمود. امروزه در کشورهای توسعه‌یافته که در آن‌ها حتی کمبود آب شرب وجود ندارد، برای آبیاری جنگل‌ها، مراتع و کشاورزی این روش مورد استفاده قرار می‌گیرد.

منابع

1.Abdul-Wahab, S.A., and Lea, V. 2008. Reviewing Fog Water Collection Worldwide and in Oman. Inter. J. Environ. Stud. 65: 3. 485-498.

2.Alizadeh, A. 2010. Principle of Applied Hydrology. Emam Reza University Press, 650p. (In Persian)

3.Ghazanfari, M.S., Alizadeh, A., Naseri, M., and Mousavi Baygi, M. 2010. Dynamical Assessment of Fog Harvesting Based on Fractal Theory. J. Water Soil. 3: 527-533. (In Persian)

4.International Development Research Center. 2003. A Lesson about the Value of Multidisciplinary Research. IDRC Annual Report 2002-2003, 39.

5.Mousavi-Baygi, M. 2008. The Implementation of Fog Water Collection Systems in Northeast of Iran. Inter. J. Pure Appl. Phys. 4: 1. 13-21.

6.Mousavi-Baygi, M., and Shabanzadeh, S. 2008. Design and construction of an apparatus for fog and cap cloud collection (A new method of water harvesting). Agricultural Sciences and Technology (Special Issue in Water and Soil), 1: 2-11. (In Persian)

7.Nascimento Prada, S., and Oliveira da Silva, M. 2001. Fog Precipitation on the Island of Madeira (Portugal). Environmental Geology, 41: 384-389.

8.Nikolayev, V.S., Beysens, D., Gioda, A.M., Katiushin, E., and Morel, J.P. 1996. Water Recovery from Dew. J. Hydrol. 182: 19-35.

9.Olivier, J. 2002. Fog-Water Harvesting Along the West Coast of South Africa: A Feasibility Study. Water SA, 28: 4. 349-360.

10.Olivier, J. 2004. Fog Harvesting: An Alternative Source of Water Supply on the West Coast of South Africa. Geo J. 61: 203-214.

11.Sekar, I., and Randhir, T.O. 2007. Spatial assessment of conjunctive water harvesting potential in watershed systems. J. Hydrol. 334: 39-52.

12.Schemenauer, R.S., and Cereceda, P. 1994c. The Role of Wind in Rainwater Catchment and Fog Collection. Water International, 19: 70-76.

13.Schemenauer, R.S., and Cereceda, P. 1994a. A Proposed Standard Fog Collector for Use in High-Elevation Regions. J. Appl. Meteorol. 33: 11. 1313-1322.

14.Schemenauer, R.S., and Cereceda, P. 1998. Meteorological conditions at a coastal fog collection site in Peru. Atmosfera, 6: 175-188.

15.Tiedemann, K. 2004. Freshwater Supply and Self-Irrigation of Plants in Water-Limited Environments by Fog Precipitation. 2nd International Water Association (IWA) Leading-Edge Conference on Sustainability (pp. 7-14). Sydney: International Water Association, Pp: 7-14.

16.UN-Water Thematic Initiatives. 2006. Coping with Water Scarcity: A strategic issue and priority for system-wide action. Retrieved August 11, 2009, from Water for Life 2005-2015: http://www.un.org/waterforlifedecade/index.html.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(2), 2016
http://jwsc.gau.ac.ir

Examining the feasibility of water harvesting from air humidity in the Southern province of Sistan and Baluchestan

***P. Mahmoudi[1], Ch. Khajeh Amiri Khaledi[2] and M.R. Salari Fanodi[3]**
[1]Assistant Prof., Dept. of Physical Geography, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan,
[2]M.Sc. of Agricultural Meteorology, Chabahar Maritime University,
[3]M.Sc. of Agricultural Meteorology, Marine Meteorological Office of Chabahar
Received: 07/18/2014; Accepted: 10/31/2015

Abstract
Background and Objectives: Providing water for people in arid and semi-arid areas of the world is of great significance. Among the methods that can help provide a small part of the water required by residents of these areas, arid ones in particular, is the technology of water extraction from air humidity. This technology refers to any type of process whereby atmospheric water vapor is condensed and collected.
Materials and Methods: Providing safe drinking water and sanitation to the million people in arid and semiarid regions of the world is a challenging issue. In order to examine the feasibility of water harvesting from air humidity (as a new technology) to provide water for the residents of South-East of Iran, at first the data of Chabahar station about vapor pressure, relative humidity and precipitation was received for a period of 20 years (1991-2010) from the centre of applied meteorological researches of Sistan and Baluchestan. These three parameters were used for the theoretical calculation of the amount of water harvesting from air humidity in the South East of Iran. The results of the theoretical calculation show that this region due to high relative humidity is susceptible of any water harvesting plan from air humidity. But for the practical calculations of the amount of water harvesting from air humidity, a screen collector with dimensions of 1×1 m was designed and implemented. The amount of water harvesting from this collector was daily monitored for a period of 365 days (from 23 September 2011 to 22 September 2012).
Results: The results of this study indicated that due to relatively high average humidity, the southeastern coasts of Iran are suitable for conducting extraction projects in order to harvest water. The average amount of water available in one cubic meter of air in the studied area was 29 grams in the most humid time and 1.8 grams in the driest time. However, given that water extraction depends on different conditions and even at best, all the humidity cannot be collected, field experiments and data analysis were done to determine that approximately 20% of the water available in the air can be extracted in this area. Based on this threshold, therefore, the most amount of extracted water, that is, 8.6 l/m^3 a day belongs to Khordad and the least, namely, 1.1 l/m^3 a day belongs to Bahman.
Conclusions: The results of this research suggested that taking into account the height and the ongoing wind in southeastern part of Iran, conditions are suitable for water extraction from air humidity.

Keywords: Chabahar, Water harvesting, Screen collector, Feasibility, Absoulute humidity

* Corresponding Author; Email: p_mahmoudi@gep.usb.ac.ir