



مدیریت آب و آبیاری

(نشریه علمی)

دوره ۱۱ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۴۰۰

صفحه‌های ۱۳۰-۱۱۳

DOI: 10.22059/jwim.2021.313383.840

مقاله پژوهشی:

به کارگیری روش Fuzzy-AHP و سنجش از دور در مکان‌یابی استحصال آب از رطوبت هوا با استفاده از سیستم چگالشی

مسیح اله محمدی^۱، بهروز سبحانی^{۲*}

۱. دانشجوی دکتری، گروه جغرافیایی طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲. استاد، گروه جغرافیایی طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۲۵

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۹/۰۹

چکیده

استفاده از روش‌های مناسب برای مکان‌یابی و ارزیابی تناسب اراضی جهت بهینه‌سازی فعالیت‌های انسانی اهمیت ویژه‌ای دارد. در این پژوهش با هدف استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی در مکان‌یابی استحصال آب از رطوبت هوا با استفاده از روش سیستم چگالشی در استان هرمزگان به منظور ارزش‌گذاری معیارها و تعیین مکان‌های بهینه انجام پذیرفته است. بدین منظور، ابتدا معیارهای رطوبت هوا و دمای هوا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نوع خاک، دمای ۵۰ سانتی‌متری زیرزمین و سرعت باد با استفاده از داده‌های زمینی جمع‌آوری شد. سپس اهمیت آن‌ها با روش تحلیل سلسله مراتبی به دست آمد. در ادامه با استفاده از توابع فازی Linear لایه اطلاعاتی فازی شده و در آخر با استفاده از تابع فازی گاما لایه‌ها تلفیق شدند. تناسب نهایی استان هرمزگان برای استحصال آب با استفاده از سیستم چگالشی به پنج طبقه بسیار مناسب، مناسب، متوسط، نامناسب و بسیار نامناسب طبقه‌بندی شده و نقشه پهنه‌بندی آن تهیه شد. نتایج ارزیابی تناسب اراضی نشان می‌دهد که ۹/۷۴ درصد منطقه مورد مطالعه که معادل ۶۶۱۳/۶۱ کیلومتر مربع می‌باشد، در کلاس تناسب بسیار مناسب، حدود ۱۸/۵۷ درصد که معادل ۱۲۶۰۶/۸۵ کیلومتر مربع می‌باشد در کلاس با تناسب مناسب، حدود ۲۷/۳۹ درصد منطقه که معادل ۱۸۵۹۷/۹۵ کیلومتر مربع از منطقه را پوشش می‌دهد در کلاس متوسط، ۱۷۵۸۹/۵۵ کیلومتر مربع که حدود ۲۵/۹۰ درصد از منطقه در طبقه نامناسب و در نهایت ۱۸/۴۱ درصد که معادل ۱۲۴۹۸/۲۹ کیلومتر مربع است در کلاس بسیار نامناسب قرار می‌گیرند.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی تناسب، استان هرمزگان، تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی، داده‌های ماهواره‌ای، لوله‌های مدفون.

Application of Fuzzy-AHP and Remote Sensing in Localizing Water Extraction from Air Humidity using Condensing System

Masihullah Mohammadi¹, Behrouz Sobhani^{2*}

1. Ph.D. Candidate, Department of Natural Geography, Faculty of Social Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.

2. Professor, Department of Natural Geography, Faculty of Social Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.

Received: November, 29, 2020

Accepted: May, 15, 2021

Abstract

Utilization of appropriate methods for localizing and performing land suitability assessment to optimize human activities is very important issue. Using fuzzy multi-criteria decision-making methods, this study intends to evaluate the criteria and determine suitable locations for water extraction from air through condensing systems in Hormozgan province. To this end, first air humidity and temperature related data were collected using satellite photos and the soil type, soil temperature (at 50 cm depth) and wind velocity data were collected using ground datasets. At the next stage, they were prioritized in terms of significance through hierarchical analysis method. Then, fuzzy linear functions were applied to data layers which, later on, were combined using fuzzy gamma function. The suitability of Hormozgan province for water extraction using condensing system was ranked at five categories of very good, good, moderate, poor and very poor and its zonation map was prepared. The results of land suitability assessment indicate that 9.75% of the studied area (about 6613.61 km²) falls in very good class, 18.57% (equal to 12606.85 km²) in good class, 27.39% (18597.95 km²) in moderate class, 25.90% (17589.55 km²) in poor and finally 18.41% (equal to 12498.29 km²) in very poor class.

Keywords: Buried pipes, Fuzzy multi-criteria decision making, Hormozgan province, Satellite data, Suitability assessment.

مقدمه

اگرچه آب یکی از فراوان‌ترین منابع طبیعی است که در اختیار بشر قرار گرفته است، تنها ۳ درصد از آب‌های جهان خالص، شیرین و قابل استفاده است. علاوه بر این کم‌تر از یک درصد از همین مقدار آب خالص در دسترس بشر قرار دارد (Burkard, 2003). ایران به دلیل قرارگیری در کمربند خشک و نیمه‌خشک، منابع آبی کم و نزولات جوی کمی دارد. به‌خاطر همین بحران آب در کشور ایران تبدیل به مسأله‌ای مهم برای مردم و سیاست‌مداران کشور شده است و در چند سال اخیر یکی از موضوعاتی است که همیشه در رسانه‌ها مطرح شده است (Islam & Rahimi, 2019). در زمان حاضر، با توجه به افزایش سریع جمعیت و نیازهای این جمعیت به منابع آب شیرین، رشد کشاورزی، پدیده شهرنشینی و هم‌چنین مدیریت ناصحیح منابع آب، آب را به‌مثابه کالایی طبیعی و محدود باارزش فراوان تبدیل کرده است (Rostami & Naderi, 2016). براساس آماری که شبکه آمار و اطلاعات وزارت نیرو منتشر کرده است، در حدود ۹۲ درصد کل مصارف آب ایران مربوط به کشاورزی بوده است و تنها در حدود ۲ درصد از کل مصارف آب ایران به مصارف صنعتی و در حدود ۶ درصد آن به مصارف شربتی و بهداشتی تعلق داشته است (Janzadeh, 2018). براساس این آمار بیش‌تر چالش در بحران آب در ایران مربوط به بخش کشاورزی و راه‌کارهای کاهش مصرف در این بخش است. امروزه اندیشمندان از آخرین فناوری‌ها موجود علمی و عملی برای حل این مشکل کمک می‌گیرند.

یکی از روش‌های تأمین آب مورد نیاز جوامع بشری شیرین‌سازی آب دریاها است. در سراسر جهان برای نمک‌زدایی از آب و تولید آب شیرین از دو نوع فناوری اصلی استفاده می‌شود که می‌توان آن را به دو بخش

فناوری گرمایی و غشایی طبقه‌بندی کرد. الف) روش گرمایی: نمک‌زدایی بیش از ۶۰ درصد آب‌ها با این روش انجام می‌شود. در این روش به آب شور گرما داده می‌شود تا به نقطه جوش برسد، سپس بخار آب به آب خالص تبدیل می‌شود. معروف‌ترین روش‌های حرارتی عبارتند از ۱- تقطیر مؤثر چندمرحله‌ای، ۲- تقطیر ناگهانی چندمرحله‌ای، ۳- متراکم‌سازی بخار (Fallah Alamdari, 2009). ب) روش غشایی: در طبیعت، غشاها نقش مهمی در جداسازی یون‌های نمک از آب ایفا می‌کنند و در دو روش تجاری به نام الکترودیالیز و اسمز معکوس استفاده می‌شوند (Khaksari, 2004). روش‌های شیرین‌سازی که در بالا به آن‌ها اشاره شد جهت تأمین انرژی از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند. طبق برآوردهای انجام‌شده توسط Kalogirou (2005) برای تولید ۱۰۰۰ مترمکعب آب در هر روز به‌طور مداوم نیاز به تولید و استخراج ۱۰۰۰۰ تن نفت در سال است. روش‌های دیگری که پژوهش‌گران به دنبال استفاده از آن‌ها جهت تأمین آب سالم استحصال آب از رطوبت هوا و مه است. این روش‌ها دارای هزینه بسیار پایین، آلودگی صوتی و زیستی پایین و دارای سیکل به‌طور نسبی ساده است. اندیشمندان و پژوهش‌گران بسیاری در سراسر جهان سعی در ارائه راه‌حل‌های جهت استفاده از فناوری استحصال آب از رطوبت هوا بودند. استحصال آب از رطوبت هوا، به هرگونه فعالیتی گفته می‌شود که بخار آب موجود در جو را متراکم و آن را جمع‌آوری کند (Prada et al., 2001). در زمینه استحصال آب از رطوبت هوا، مطالعاتی در سطح جهان انجام‌شده است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. 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

کردند که این دستگاه با توان ۱۲۵ وات بر ساعت و دبی هوای ۱۹۰ فوت مکعب در دقیقه (CFM) در هر ساعت ۰/۶۱ لیتر آب از رطوبت هوا تولید می‌کند. Joshi *et al.* (2017) دستگاه استحصال آب از رطوبت هوا را ساخته و مورد آزمایش قرار دادند. در این دستگاه از ۱۰ ترموالکتریک برای خنک کاری هوا و چگالش آب استفاده شده بود. آن‌ها در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۰ درصد در مدت زمان ۱۰ ساعت به مقدار ۲۵ میلی‌لیتر آب دست یافتند. منبع تغذیه استفاده شده در این دستگاه ۶۰ وان توان خروجی داشت. در ایران نیز می‌توان به پژوهشی که Mousavi Baigi & Shabanzadeh (2008) در استان خراسان برای برآورد میزان آب قابل استحصال از مه و ابرهای قله‌ای طرح جمع‌آوری آب را در بلندی‌های خراسان رضوی به اجرا درآوردند، اشاره کرد. آن‌ها برای این کار از چهار دستگاه با ابعاد مختلف و اشکال مختلف استفاده کردند. Kamali *et al.* (2020) به بررسی امکان تولید آب از هوا مرطوب در مدل گلخانه‌ای مجهز به مبدل حرارتی پرداختند آن‌ها در این پژوهش از نه تیمار استفاده کردند و در نهایت به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین آب چگالش شده در طول ۱/۵ متر و سرعت هوایی ۱/۲ متر بر ثانیه است.

بررسی پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهد، درزمینه پتانسیل‌سنجی استحصال آب از رطوبت هوا در جهان و ایران پژوهش‌های صورت گرفته است. ولی در زمینه مکان‌یابی استحصال آب با استفاده از سیستم چگالشی در ایران و جهان چندان موردتوجه قرار نگرفته است. در پژوهش حاضر با در نظرگرفتن مهم‌ترین معیارهای تأثیرگذار در مکان‌یابی استحصال آب از رطوبت هوا، با استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره و منطق فازی به تعیین مکان‌های مناسب جهت استفاده از سیستم چگالشی در تولید آب از رطوبت هوا در استان هرمزگان پرداخته شد.

آبیاری گیاهان استفاده کنند. Olivier (2002) در بیابان آتاکاما، استحصال آب از رطوبت هوا از طریق لوله‌های سنگی انجام می‌شد. این لوله‌ها به‌گونه‌ای طراحی شده بودند که هر زمان مه از روی آن‌ها عبور می‌کرد آب حاصل از قطرات مه در آن جمع و به سمت پایین به داخل یک مخزن مرکزی هدایت می‌شد (Olivier, 2004). 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 چانگونگ 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 پلی پروپیلن به سطح ۴۸ مترمربع بوده است نصب شده‌اند. این طرح روزانه به‌طور متوسط ۱۱ هزار لیتر آب تولید می‌کند (International Development Research Center, 2003). Max & Michael (2005) دستگاهی را ابداع کرده تا از طریق اختلاف دما مابین دو لایه از مواد با خواص ویژه با استفاده از انرژی الکتریکی، رطوبت هوا را متراکم کرده و آن را به قطرات آب روی لایه جسم سرد تبدیل کند. Tongue (2009) و Micheal (2013) نیز با استفاده از اپراتور و کندانسور و اعمال جریان فعال هوا به‌واسطه فن‌های دمنده و تجمع آن‌ها در یک دستگاه قابل حمل در صدد استخراج آب از هوا برآمده‌اند. Nandy *et al.* (2014) یک سیستم چگالشی رطوبت هوا بر مبنای کولر ترموالکتریک طراحی کردند که این سیستم شامل المینت‌های خنک‌کننده، واحد انتقال حرارت و واحد گردش هوا است که انرژی آن توسط پنل سلول خورشیدی تأمین می‌شود. این سیستم با رطوبت بالا تقریباً ۱ لیتر در ساعت تا زمانی که نور خورشید وجود داشته باشد، آب تولید می‌کند. Suryaningsih & Nurhilal (2016) بر پایه کولر ترموالکتریک دستگاهی را ابداع

مواد و روش‌ها

معرفی محدوده مورد مطالعه

استان هرمزگان با وسعت ۶۸۴۷۵/۸ کیلومتر مربع در جنوب ایران با مختصات جغرافیایی ۲۵ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. این استان از شمال و شمال‌شرقی با استان کرمان از جنوب با استان سیستان و بلوچستان و از غرب با استان‌های فارس و بوشهر همسایه است. بخش عمده‌ای از مساحت این استان را مناطق کوهستانی در بر گرفته‌اند. کوه‌های این منطقه ادامه رشته کوه‌های زاگرس هستند که به تدریج از شمال‌شرقی به جنوب‌شرقی امتداد می‌یابند. ادامه این رشته همراه با کاهش ارتفاع به تپه‌ماهورهای آهکی، گچی و شنی منتهی شده و به زمین‌های پست ساحلی خلیج فارس و دریای عمان متصل شده است. استان هرمزگان از مناطق گرم و خشک ایران است و اقلیم آن تحت تأثیر آب‌وهوای نیمه‌بیابانی و بیابانی قرار دارد. هوای نوار ساحلی در تابستان‌ها بسیار گرم و مرطوب است و گاهی نیز دمای آن از ۵۲ درجه سانتی‌گراد تجاوز می‌کند. دمای متوسط سالانه این منطقه در حدود

۲۷ درجه سانتی‌گراد است. چالش منابع آب شیرین در دهه گذشته در این استان به واسطه توسعه اقتصادی، کشاورزی و افزایش جمعیت امری اجتناب‌ناپذیر شده است. در این استان بیش از ۹۴٪ از آب شیرین سطحی و زیرزمینی موجود صرف بخش کشاورزی می‌شود لذا ارائه راه‌کارهای نوین جهت تأمین آب کشاورزی و شرب امری مهم است. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی استان را نشان داده است.

روش انجام پژوهش

برای انجام این پژوهش در مرحله نخست از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و دریافت دیدگاه‌های کارشناسان با تخصص‌هایی شامل منابع طبیعی، جغرافیایی طبیعی، محیط زیست و زمین‌شناسی نسبت به گردآوری اطلاعات مورد نیاز اقدام شد. پس از آن به منظور بررسی و ارزیابی تناسب اراضی جهت استحصال آب با استفاده از سیستم چگالشی از پنج فاکتور مرتبط با این امر، داده‌های سنجنده Terra MODIS (رطوبت هوا و دما)، داده‌های اقلیمی سازمان هواشناسی (دمای ۵۰ سانتی‌متری زیرزمین، سرعت باد) و داده‌های سازمان نقشه‌برداری که به صورت لایه Shp است (نوع خاک)، شناسایی شد.

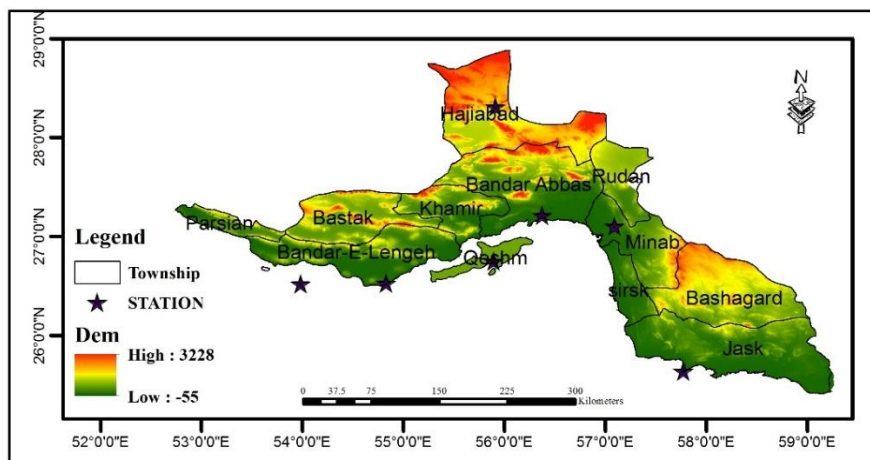


Figure 1. Geographical location of the study area

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۱۱ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۴۰۰

اطراف زمین تغذیه می‌شود و این عمل همانند آبیاری قطره‌ای است و مصرف آب را به حداقل ممکن می‌رساند و اتلاف حاصل از تبخیر را حذف می‌کند (Lindblom & Nordell, 2006).



Figure 2. Condensation water production system for agricultural use



Figure 3. Condensate water production system for food use

معادله حاکم بر مسأله

با تقسیم‌کردن لوله به بازده‌های دمایی کوچک و فرض شار حرارت سطح یکنواخت درون هر بازده می‌توان لایه مرزی حرارتی را در تمام لوله کاملاً توسعه‌یافته در نظر گرفت. موازنه حرارتی برای یک بازده را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

$$q' = q'_{cond} + q'_{conv} \quad (1)$$

که در رابطه q' ، شار حرارتی کل واحد لوله، q'_{cond} شار حرارتی ناشی از تقطیر در واحد طول لوله و q'_{conv} شار حرارتی ناشی از جابجایی درون لوله در واحد طول لوله می‌باشد (Mafi, 2014).

شبیه‌سازی سیستم تولید آب آشامیدنی

براساس مطالعات انجام‌شده برای سیستم‌های تولید آب چگالشی با توجه به شرایط آب‌وهوایی که در جدول (۱) آمده است به ازای هر متر لوله، تقریباً ۲ لیتر آب در شبانه روز تولید می‌گردد (Lindblom & Nordell, 2006).

سپس هر کدام از آن‌ها در ArcGIS 10.2 فازی شده و در طیف عددی صفر تا یک قرار گرفتند. در مرحله بعد برای تعیین اهمیت شاخص‌های موردنظر جهت ارزیابی تناسب زمین ابتدا اهمیت نسبی هر کدام از معیارها با استفاده اعمال نظر کارشناسان و توسط مدل تحلیل سلسله مراتبی مشخص شدند. در ادامه با تلفیق مدل AHP و فازی تمامی لایه‌های فازی شده در وزن‌های حاصل از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی ضرب و بدین ترتیب لایه‌های وزن‌دار فازی آماده شدند. سپس با استفاده از عملگر گامای ۰/۹ نقشه نهایی مکان‌یابی استحصال آب از رطوبت هوا به دست آمد.

سیستم تولید آب چگالشی

یکی از روش‌های نوین جهت تولید آب شیرین، تقطیر رطوبت موجود در هوا است که می‌توان در مناطق گرم و مرطوب مورد مصرف داشته باشد. طرح کلی این سیستم به گونه‌ای است که هوای گرم و مرطوب از یک سمت به داخل لوله‌هایی که در زیر خاک مدفون شدند، هدایت می‌شوند (Bazaargan & Ahmadi Ali Bigloui, 2014). دمای هوای داخل لوله به دلیل تبادل حرارت با محیط اطراف (خاک) تا نقطه شبنم کاهش یافته و تقطیر آغاز می‌شود. آب شیرین در محفظه‌ای جمع شده و جهت مصارف مختلف (شرب یا کشاورزی) مورد استفاده قرار می‌گیرد در شکل‌های (۲) و (۳) طرح شماتیک آن نشان داده شده است.

برای تولید آب آشامیدنی از لوله‌های معمولی بدون سوراخ استفاده می‌شود که در انتهای این لوله‌ها مکانی برای جمع‌آوری آب متراکم شده وجود دارد (Lindblom & Nordell, 2006). اما برای آبیاری زمین‌های کشاورزی از لوله‌های سوراخ‌داری استفاده می‌شود که به طور مستقیم به وسیله سوراخ‌های مدفون در زیرزمین، آب تولیدشده به

شده است که قضاوت را آسان می‌کند و مقدار سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد (Qanavati & Delfani Gordazi, 2013). از آنجایی که در روش تحلیل سلسله مراتبی کلاسیک، قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان به صورت اعداد قطعی نمایش داده می‌شود و این موضوع که اعداد قطعی نمی‌توانند عدم قطعیت همراه با ادراک انسانی را به درستی در نظر بگیرند (Chang et al., 2008). بنابراین در این پژوهش از روش فازی استفاده شد. تئوری فازی در سال ۱۹۶۵ توسط لطفی زاده در مقاله‌ای با عنوان مجموعه‌های فازی در مجله اطلاعات و کنترل ارائه شد. تئوری فازی شامل تمام تئوری‌هایی است که از مفاهیم اساسی مجموعه‌های فازی یا توابع عضویت استفاده می‌کند و هدف از آن ایجاد روشی نوین در بیان عدم قطعیت‌ها و ابهامات روزمره است (Mousavi & Sadeghian, 2016). مجموعه فازی مجموعه است که درجات عضویت اعضای آن می‌تواند به طور پیوسته (۱ تا صفر) اختیار شود. این مجموعه به طور کلی توسط یک تابع عضویت که با $u A(x)$ نشان داده می‌شود مشخص می‌شود. تابعی که به هر عنصر از x ، یک عدد از بازه (۱ تا صفر) به عنوان درجه عضویت آن عنصر در مجموعه فازی A نسبت می‌دهد. نزدیکی مقدار $u A(x)$ به عدد یک نشانگر تعلق بیش‌تر x به مجموعه فازی A و بالعکس نزدیکی آن به صفر نشان‌دهنده تعلق کم‌تر x به A است. بیان عضویت در مجموعه فازی به صورت درجات توابع عضویت، حساسیت به خطای لایه‌ها و اشتباهات کارشناسی در تعیین حدها را کم کرده و اثرات تغییر پارامترها را نیز در نظر می‌گیرد و از افت و از بین رفتن اطلاعاتی که در روش بولین وجود دارد جلوگیری می‌کند (Yousefi et al., 2017). با استفاده از تابع عضویت، داده‌ها به ارزش‌های در بازه صفر و یک تبدیل شده به گونه‌ای که مقدار عددی این تابع، درجه امکان تعلق

Table 1. Humid incoming air conditions

Specification	Amounts
Inlet temperature to the pipe	40 degrees celsius
Relative humidity	70 percent
Inlet speed to the pipe	3.5 meters per second
Initial pressure	1 atmosphere
Diameter pipe	20 cm
Depth of soil to a pan	50 cm
Length of the pipe	50 meters

با توجه به یافته‌های Bazaargan & Ahmadi Ali Bigloui (2014) در سیستم آب چگالشی میانگین آب تولیدشده در روزهای اول زیاد است، ولی با گذشت زمان دمای خاک افزایش می‌یابد و بعد از ۹۰ روز به یک حالت پایدار در مقدار دبی آب تولیدشده می‌رسیم و براساس پژوهشی که Mafi (2014) در استان هرمزگان انجام دادند در اولین ساعت راه‌اندازی سیستم ۱۲/۱ کیلوگرم آب و در آخرین ساعت ۷/۴ کیلوگرم آب از کل لوله حاصل شده است و در یک دوره ۱۲ ساعته تقریباً ۸۵ کیلوگرم آب از هر لوله ۵۰ متری تولید می‌شود که به طور میانگین از هر متر لوله ۱/۷ کیلوگرم آبی به دست آمده است.

فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی (Fuzzy-AHP)

در پژوهش حاضر برای مکان‌یابی سیستم چگالشی برای تولید آب از رطوبت هوا از تلفیق دو مدل فازی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شده است. تحلیل فرایند سلسله مراتبی (AHP) یکی از معروف‌ترین ابزار تصمیم‌گیری چندمنظوره برای وضعیت‌های پیچیده‌ای که سنج‌های چندگانه و متضاد دارند (Saffari et al., 2015). این مدل امکان فرموله کردن مسأله را با در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را به صورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند این فرایند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت می‌دهد و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیر معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسأله دارد. این مدل بر مبنای مقایسه دو به دو بی‌بنای بنا نهاده

تابع نیز براساس یک نقطه میانی تعریف شده توسط کاربر تعریف می‌شود. عضویت نقطه میانی ۰/۵ می‌باشد. در این پژوهش از توابع خطی (Linear) استفاده شده است. شکل عمومی این مدل به صورت زیر است (Henrbakhsh et al., 2016).

$$\text{Max } Z = \sum_{j=1}^n c_j X_j \quad (2)$$

$$\text{s. t} \\ \sum_{i=1}^m a_{ij} x_j (\geq, =, \leq) b_i \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Z: نمایش‌گر تابع تصمیم فازی است که باید مقدار عضویت (λ) را حداکثر کند.

\tilde{b}_1 : مقادیر معلوم محدودیت‌ها است که موجودی منابع یا سقف تقاضا را به صورت غیرخطی یا فازی بیان می‌کنند. تابع عضویت عدد فازی \tilde{b}_1 به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_{b_i(x)} Z = \begin{cases} 1 & \text{if } x \leq b_i \\ \frac{b_i + p_i - x}{p_i} & \text{if } b_i \leq x \leq b_i + p_i \\ 0 & \text{if } x \geq b_i + p_i \end{cases} \quad (3)$$

به دلیل فازی بودن فضای جواب مسأله، تابع هدف نیز فازی است و بنابراین برای تعیین فضای مجموعه فازی مقادیر بهینه، باید حدود بالا و پایین و براساس مدل خطی کلاسیک زیر محاسبه شوند:

$$\text{Max } Z = \sum_{j=1}^n c_j X_j \quad (4)$$

$$\text{s. t} \\ \sum_{i=1}^m a_{ij} x_j (\geq, =, \leq) b_i \quad i = 1, 2, \dots, m \\ x_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n$$

$$\text{Max } Z = \sum_{j=1}^n c_j X_j \quad (5)$$

$$\text{s. t} \\ \sum_{i=1}^m a_{ij} x_j (\geq, =, \leq) b_i + p_i \quad i = 1, 2, \dots, m \\ x_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n$$

که در نهایت مجموعه فازی مقادیر بهینه به شکل زیر تعریف می‌شود:

داشتن یک مشاهده به مجموعه موردنظر را از عدم عضویت کامل تا عضویت کامل نشان می‌دهد. در ارزیابی چند معیاره، از عضویت مجموعه‌های فازی برای استاندارد کردن معیارها و مشخص کردن درجه عضویت آن‌ها استفاده می‌شود. منطق فازی با تمامی مزایای که دارد، خالی از ایراد نیست. مهم‌ترین مشکل و ضعف این منطق عبارت است از فقدان یک روش مشخص و قطعی برای تعیین تابع عضویت مناسب است (Eastman, 1997). انواع تابع عضویت برای فازی سازی لایه‌ها به قرار زیر است (Akhdar, 2012).

۱- Gaussian: تابع عضویت را براساس توزیع نرمال یا گوسی و براساس یک نقطه میانی تعریف می‌کند (عضویت فازی نقطه میانی ۱ است).

۲- Large: این تابع وقتی استفاده می‌شود که مقادیر بزرگ در نقشه، عضویت نزدیک به ۱ داشته باشند. این تابع نیز براساس یک نقطه میانی تعریف شده توسط کاربر تعریف می‌شود. عضویت نقطه میانی ۰/۵ می‌باشد.

۳- Linear: این تابع، عضویت فازی را براساس یک حداکثر با عضویت فازی ۱ و یک حداقل با عضویت فازی صفر تعریف می‌کند.

۴- MSLarge: این تابع عضویت فازی را براساس میانه و انحراف معیار تعریف می‌کند. مقادیر بزرگ‌تر عضویتی نزدیک به ۱ می‌گیرند.

۵- MSSmall: این تابع عضویت فازی را براساس میانه و انحراف معیار تعریف می‌کند. مقادیر کوچک‌تر عضویتی نزدیک به ۱ می‌گیرند.

۶- Near: این تابع، تابع عضویت را براساس یک مقدار خاص توسط یک نقطه میانی تعریف شده توسط کاربر مشخص می‌کند (نقطه میانی عضویت یک می‌گیرد).

۷- Small: این تابع وقتی استفاده می‌شود که مقادیر کوچک در نقشه، عضویت نزدیک به ۱ داشته باشند. این

کلاس خیلی خوب قرار می‌گیرد و حساسیت کمی در مکان‌یابی دارد و در نتیجه عرصه‌های بیش‌تری نسبت به ضرب فازی عنوان مناسب به خود می‌گیرد.

$$\mu_{\text{combination}} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \quad (8)$$

که در آن $\mu_{\text{combination}}$ لایه حاصل از حداکثرسازی μ_i لایه وزن‌دار فازی $n, 1, 2, 3, \dots, n$ تعداد نقشه‌های ترکیب‌شونده را نشان می‌دهد (Qanavati & Delfani Gordazi, 2013).

عملگر فازی گاما

حالت کلی عملگرهای ضرب و جمع است و می‌توان با انتخاب صحیح مقدار گاما، پارامتر کاهش و افزایشی را هم زمان تلفیق نموده، به مقادیر در خروجی دست یافت که حاصل سازگاری قابل انعطاف میان گرایش‌های افزایشی و کاهش‌ی دو عملگر جمع و ضرب فازی می‌باشند.

$$\mu_{\text{combination}} = \quad (9)$$

$$\lambda \times (\text{fuzzy algebraic sum}) - \lambda (\text{fuzzy algebraic product})$$

مقدار λ بین صفر و یک است که مقدار آن از طریق قضاوت‌های کارشناسانه تعیین می‌گردد. گاما صفر معادل ضرب فازی و گامای یک معادل جمع فازی است (Lee, 2007). در این پژوهش مقادیر از تابع فازی گاما نظیر ۰/۹ استفاده شده است.

به‌طورکلی، اجرای مدل فازی شامل سه مرحله می‌باشد:

- ۱- فازی سازی لایه‌ها یا تعیین و اعمال توابع عضویت بر لایه‌ها،
- ۲- اعمال عملگرهای ضرب جبری و جمع جبری بر لایه‌ها،
- ۳- اعمال عملگرهای فازی جهت تعدیل حساسیت بالای عملگر ضرب جبری و دقت کم عملگر جمع جبری.

تعیین ضرایب اهمیت شاخص با استفاده از روش دلفی AHP و

با توجه به این‌که عوامل محیطی جهت تعیین مکان‌یابی

$$\mu_{\tilde{a}}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z_U \leq \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \frac{(\sum_{j=1}^n c_j x_j) - Z_L}{Z_U - Z_L} & \text{if } Z_L < \sum_{j=1}^n c_j x_j < Z_U \\ 0 & \text{if } \sum_{j=1}^n c_j x_j \leq Z_L \end{cases} \quad (6)$$

برای هم‌پوشانی لایه‌ها با استفاده از توابع فازی از عملگرهای مختلفی استفاده می‌شود. بسته به ویژگی‌ها و نتایج کار هر کدام از این عملگرها کارایی خاصی دارند. در این پژوهش از عملگرهای جمع جبری، ضرب جبری و گاما برای تلفیق نقشه‌ها استفاده شده است.

عملگر ضرب فازی

عملگر ضرب فازی درجه عضویت یک موقعیت در نقشه‌های مختلف را در هم ضرب می‌کند. این عملگر باعث کاهش عضویت نهایی می‌شود و نتیجه آن تعلق وزن بسیار کوچک به هر موقعیت است که در صورت زیادبودن نقشه‌های ورودی این اعداد به سمت صفر میل می‌کند، در نتیجه تعداد پیکسل کم‌تری در کلاس خیلی خوب قرار می‌گیرد. به همین دلیل این اپراتور حساسیت بالای در مکان‌یابی اعمال می‌کند.

$$\mu_{\text{combination}} = \prod_{i=1}^n \mu_i \quad (7)$$

که در آن $\mu_{\text{combination}}$ لایه حاصل از حداقل سازی μ_i لایه وزن‌دار فازی $n, 1, 2, 3, \dots, n$ تعداد نقشه‌های ترکیب‌شونده را نشان می‌دهد (Qanavati & Delfani Gordazi, 2013).

عملگر جمع فازی

در این اپراتور متمم ضرب مجموعه‌ها محاسبه می‌شود. به همین دلیل در نقشه خروجی برخلاف عملگر ضرب جبری فازی ارزش پیکسل به سمت یک میل می‌کند. به‌دلیل بزرگ بودن وزن‌های موقعیت‌های نهایی، اثر این عملگر افزایشی است. در نتیجه تعداد پیکسل بیش‌تری در

پرسشنامه تجدیدنظرشده برای اعضای قبلی ارسال شد تا مقایسه زوجی بین دوه‌دویی معیارها انجام شود و درنهایت وزن هریک از معیارها با استفاده از مدل سلسله‌مراتبی تعیین شد.

تحلیل سلسله مراتبی

به‌منظور وزن دهی به معیارها به روش AHP، ابتدا مسأله تصمیم‌گیری که همان یافتن مناطق مناسب برای استحصال آب از رطوبت هوا می‌باشد، به‌صورت درخت سلسله مراتبی که شامل عناصر تصمیم‌گیری است، تجزیه شد. در سطح اول هدف اصلی، در سطح دوم معیارهای اصلی تأثیرگذار استحصال آب از رطوبت هوا (رطوبت، دما، نوع خاک، دمای عمق خاک و سرعت باد) و در سطح سوم زیر معیارها دسته‌بندی شدند. در مرحله بعد با جمع‌آوری نظر کارشناسان وزن‌های هر معیار تعیین شد. در مرحله محاسبه وزن اهمیت شاخص‌ها ضرایب اهمیت شاخص‌ها و زیر شاخص‌ها، دو به دو باهم مقایسه می‌شوند. برای مقایسه و قضاوت از جدول ۹ کمیته ساعتی، مطابق جدول (۲) استفاده می‌شود که در آن با توجه به هدف بررسی، شدت برتری شاخص I نسبت به شاخص J تعیین می‌شود.

Table 2. Preferred values in decision-making

Preference	Numerical value
Extremely preferred	9
Very strongly preferred	7
Strongly preferred	5
Moderately preferred	3
Equally preferred	1
Extremely preferred	2, 4, 6, 8

در مرحله سوم وزن‌های معیار محاسبه می‌شود. در این پژوهش فرایند تحلیل سلسله مراتبی در محیط نرم‌افزار Expert Choice 11 اجرا شده است که برای محاسبه وزن‌ها از روش بردار ویژه بهره گرفته است.

استحصال آب از رطوبت هوا فراوان بوده و معیار مشترکی در انتخاب یک شاخص برای تعیین مکان مناسب وجود نداشت، در این پژوهش از روش‌های دلفی استفاده شد. روش دلفی فرایندی است که برای جمع‌آوری داده‌ها از متخصصان و کارشناسان و ایجاد اجماع میان قضاوت‌های آن‌ها به‌کار می‌رود. استفاده از روش دلفی به‌عنوان روش پژوهش زمانی مناسب است که دانش یکپارچه‌ای درباره یک موضوع یا مسأله‌ای وجود نداشته باشد (Asghari et al., 2017).

روش دلفی نیز مانند سایر روش‌های علمی، باید به برنامه‌ریزی جزئی و نیز اجزای مؤثر مطالعه، توجه ویژه‌ای شود. چهار مرحله اصلی در این روش عبارتند از (Catherine, 2003):

۱- تعیین مسأله، ۲- انتخاب گروه، ۳- تعیین اندازه گروه، ۴- اجرای دوره‌های دلفی.

در گام اول این پژوهش صاحب‌نظران در رابطه با موضوع پژوهش که شامل اعضای محترم هیأت علمی و دانشجویان تحصیلات تکمیلی (دانشجویان دکتری)، جغرافیایی طبیعی (اقلیم‌شناسی)، آبخیزداری و خاک‌شناسی، اهداف پژوهش را موردبررسی و ارزیابی قرار دادند. در گام دوم معیارهای استحصال آب از رطوبت هوا با استفاده از روش چگالشی با کمک ۲۰ نفر از اعضای هیأت علمی تعیین و پرسشنامه مرتبط با آن تنظیم شد. در گام سوم این پرسشنامه به ۱۲۰ نفر از اعضای هیأت علمی و دانشجویان دکتری دانشگاه‌های (تهران، تبریز، اردبیل، هرمزگان و سیستان و بلوچستان) ارسال شد. سپس پاسخ‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و تعدادی از معیارها که از نظر اساتید با هم هم‌پوشانی داشتند در یکدیگر ادغام شد و معیارها با بیش‌ترین امتیاز استخراج و برای اولویت‌بندی و مقایسه زوجی با یکدیگر مورد استفاده قرار گرفت. در گام آخر

محاسبه وزن از طریق روش بردار ویژه

در این روش W_i ها به گونه‌ای تعیین می‌شوند که روابط زیر صادق باشند:

$$\begin{aligned} A_{11}w_1 + a_{12}w_2 + \dots + a_{1n}w_n &= \lambda w_1 \\ A_{21}w_1 + a_{22}w_2 + \dots + a_{2n}w_n &= \lambda w_2 \end{aligned} \quad (10)$$

که در آن a_{ij} ترجیح عنصر i ام بر j ام است و w_i نیز وزن عنصر i ام و λ یک عدد ثابت می‌باشد. در این روش وزن عنصر i ام (یعنی w_i) طبق تعریف بالا برابر است با:

$$w_i = \frac{1}{\lambda} \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

دستگاه معادلات فوق را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$A \times W = \lambda \cdot W \quad (12)$$

که A همان ماتریس مقایسه زوجی، (یعنی $A=[a_{ij}]$) و W بردار وزن و λ یک اسکالر (عدد) است. طبق تعریف چنانچه این رابطه بین یک ماتریس (A) و بردار (W) و یک عدد (λ) برقرار باشد گفته می‌شود که W بردار ویژه و λ مقدار ویژه برای ماتریس A می‌باشد. با محاسبه هر یک از ماتریس‌های مقایسه زوجی معیارها، وزن‌های هر یک از معیارها به دست آمدند. در مرحله نهایی با استفاده از رابطه (۱۳) امتیاز نهایی هر یک از گزینه‌ها تعیین و برای این کار از اصل ترکیب سلسله مراتبی ساعتی استفاده می‌شود، که منجر به ایجاد یک بردار اولویت با در نظر گرفتن همه قضاوت‌ها در تمام سطوح سلسله مراتبی می‌شود.

$$j = \sum_{k=1}^n \sum_{k=1}^n w_k w_k (g_{ij}) \quad (13)$$

W_K ضریب اهمیت K ، W_j ضریب اهمیت معیار i و g_{ij} امتیاز گزینه j در ارتباط با زیر معیار j (Malek, 1993).
در نهایت بعد از فازی‌سازی و ضرب وزن‌ها (جدول ۳) در لایه‌های فازی شده با استفاده از عملگرهای Sum، Product و Gamma نقشه نهایی تهیه شد. در نهایت با اعمال ضرایب و با تلفیق پنج نقشه (رطوبت، دما، نوع خاک، دمای عمق خاک و سرعت باد) نقشه نهایی پهنه‌بندی استحصال آب از رطوبت هوا با استفاده از سیستم چگالشی تهیه شد و با نظر کارشناسان به پنج طبقه کاملاً مناسب، مناسب، متوسط، مناسب و کاملاً نامناسب تقسیم‌بندی شد.

نتایج و بحث

داده‌های سنجنده MODIS

دما و رطوبت هوا

در این مطالعه جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی رطوبت نسبی از چند محصول سنجنده MODIS به‌قرار زیر استفاده شده است.

- ۱- برای شناسایی پیکسل‌های فاقد ابر با احتمال بالاتر از ۹۵ درصد از محصول سطح دو MODIS با عنوان MOD35 با قدرت مکانی ۱ کیلومتر.
- ۲- جهت استخراج دمای هوا از محصول (MOD07) در محدوده مادون قرمز با تفکیک مکانی ۵ کیلومتر.
- ۳- برای استخراج آب قابل بارش TPW از محصول (MOD05) در محدوده امواج مادون قرمز نزدیک با قدرت مکانی ۱ کیلومتر.

Table 3. Weight matrix of parameters using AHP method

Criteria	Humidity	Air temperature	Basement temperature 50 cm	Wind speed	Soil
Humidity	1	2	3	4	5
Air temperature	1.2	1	2	3	4
Basement temperature 50 cm	1.3	1.2	1	2	3
Wind speed	1.4	1.3	1.2	1	2
Soil	1.5	1.4	1.3	1.2	1
Significance factor	0.425	0.250	0.160	0.101	0.064
Compatibility index	0.02				

افزوده می‌شود، به طوری که در خنک‌ترین روزهای سال دما بالای ۲۰ درجه است.

بر اساس نقشه (۵) که مقدار آب قابل بارش استان هرمزگان را در طول سال نشان می‌دهد بیش‌ترین مقدار آب قابل بارش در ماه جولای در سواحل مرکزی و جنوب‌شرق استان (بندرعباس، میناب، سیریک و جاسک) با ۵۷ میلی‌متر در مترمربع و کم‌ترین مقدار آب قابل بارش در نواحی کوهستانی شهرستان حاجی‌آباد در ماه‌های ژانویه و فوریه با ۶ میلی‌متر در مترمربع قرار دارد. این نوع پراکندگی در آب قابل بارش TPW در پهنه استان را می‌توان در نحوه پراکندگی ناهمواری‌ها و ورود سیستم‌های مختلف اتمسفری در فصول مختلف به استان توجیه کرد. عواملی که به شدت بر نحوه پراکندگی آب قابل بارش (TPW) در پهنه استان تأثیر دارد: ۱- دوری و نزدیکی به توده‌های بزرگ آبی خلیج فارس و دریای عمان، همان‌گونه که شکل (۵) (نقشه پهنه‌بندی آب قابل بارش) نشان می‌دهد به‌ازای هر ۱۰۰ کیلومتر فاصله از دریا مقدار معینی (به‌طور متوسط در ماه‌های مختلف حدود ۸ میلی‌متر) کاهش می‌یابد، ۲- عامل دیگری که به شدت بر میزان آب قابل بارش تأثیر می‌گذارد عامل توپوگرافی است. با پایش نقشه‌های پهنه‌بندی آب قابل بارش TPW در ماه‌های مختلف در استان می‌توان مشاهده کرد رشته‌کوه‌های بلندی که در پهنه استان وجود دارد مانع نفوذ رطوبت خلیج فارس و دریای عمان به قسمت‌های شمالی استان می‌شود این عامل را می‌توان به‌طور واضح در قسمت مرکز و جنوب‌شرق استان که توپوگرافی کم‌تری دارند مشاهده کرد که رطوبت تا مسافت زیادی در خشکی‌های این مناطق نفوذ کرده است، ۳- توده‌های مختلف هوا؛ اقلیم استان هرمزگان تحت تأثیر توده‌های مختلف هوا قرار دارد که در فصول گوناگون این استان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در فصل زمستان که فصل خنک

بازده زمانی انتخابی در این پژوهش روزانه با بازده ۱۰ ساله از ۱ ژانویه ۲۰۰۹ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۱۸ بود. در مجموع از هر کدام یک از محصولات حدود ۳۶۵۰ تصویر از سایت ناسا (<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov>) دانلود شد که با انجام تست ابر حدود ۲۱۹۰ تصویر بدون ابر برای پردازش برای محصولات (MOD05 و MOD07) شناسایی شد.

دمای اتمسفر معیار مهمی از شرایط آب‌وهوایی است (Sobhani *et al.*, 2018). این پارامتر یکی از مهم‌ترین عوامل کنترل مقدار بخار آب در جو می‌باشد (Kaviani & Alijani, 2009).

با توجه به نقشه تهیه‌شده شکل (۴) دمای استان هرمزگان می‌توان به دو قسمت شرقی و غربی تقسیم کرد: ۱- قسمت شمالی استان که شمال شهرستان حاجی‌آباد و قسمتی از شهرستان‌های رودان و بندرعباس می‌شوند این بخش عمده آن را رشته‌کوه‌های زاگرس در برگرفته است از شمال‌شرق به جنوب‌شرقی استان امتداد دارد. میانگین دمای ثبت‌شده توسط سنجنده MODIS در این منطقه هوا بین ۱۸ درجه در نقاط کوهستانی شمال استان تا ۲۵ درجه نقاط پست ساحلی استان متغیر است، ۲- قسمت‌های غربی استان که تپه‌های ماهور آهکی، گچی و شنی و زمین‌های پست ساحلی خلیج فارس و دریای عمان آن را پوشانده است که دمای این مناطق در بین ۲۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد است. نکته قابل تأمل این‌که در برخی از نقاط ساحلی استان، سنجنده MODIS دمای بالای ۵۰ درجه سانتی‌گراد را نیز، ثبت کرده است.

به‌طورکلی، از نظر دمایی استان هرمزگان را می‌توان این‌گونه پهنه‌بندی کرد. دمای هوای استان از ۱۰ درجه سانتی‌گراد بالای صفر پایین‌تر نمی‌رود و هرچقدر به طرف جنوب و به‌ویژه جنوب شرق (شهرستان‌های میناب، جاسک، سیریک و بشاگرد) نزدیک شویم دمای هوا

در مدت زمانی طولانی به وجود آمده‌اند. شیب عمومی معمولاً به ۵ تا ۲۵ درصد و گاهی ۲۵ تا ۴۰ درصد می‌رسد. در مجموع، وسعت این تیپ در حدود ۱۹۵۶۹/۴۳ کیلومترمربع است که ۲۷/۲ درصد از اراضی استان را تشکیل می‌دهد. ۳- فلات‌ها و تراس‌های فوقانی: این تیپ شامل سطوح قدیمی است که به دلیل فرسایش در طول زمان پستی و بلندی در آن‌ها به وجود آمده و شیب به طور نسبی ملایمی دارند در تیپ فلات‌ها و تراس‌های فوقانی فرسایشی آبی کم تا متوسط و گاهی زیاد است. در مجموع حدود ۷۶۵۷/۰۶ کیلومترمربع (۱۰/۶۵ درصد) از اراضی استان را در بر گرفته است. ۴- این تیپ شامل دشت‌هایی است که در پای کوهستان‌ها و معمولاً پس از تیپ واریزه-ها قرارداد که به وسیله مسیل‌های موقتی و فصلی رسوب‌گذاری شده‌اند و دارای شیب ملایم و پستی و بلندی کم می‌باشند در این تیپ شیب عمومی ۱ تا ۵ درصد و به ندرت از ۱ درصد کم‌تر است. وسعت این تیپ در حدود ۲۲۶۹/۸۹ کیلومترمربع است که ۳/۱ درصد از اراضی استان را در بر می‌گیرد. ۵- تیپ اراضی پست: این تیپ شامل اراضی پست و سطح به طور نسبی مقعری است که محل تجمع زه‌آب و به صورت برکه‌های آبگیری است که آب اراضی اطراف را در خود جذب می‌کند و از ته‌نشست مواد رسوبی بسیار ریزآب‌های پیرامونی به وجود آمده است. خاک این اراضی خیلی عمیق و با بافت ریز و شوری به طور نسبی زیاد همراه است. وسعت آن در حدود ۶۳۹۷/۲۹ کیلومترمربع است که ۸/۹ درصد از اراضی استان را شامل می‌شود. ۶- واریزه‌های سنگریزه دار: این تیپ شامل واریزه‌های سنگریزه دار با پستی و بلندی کم و شیب ملایم است که بر اثر حرکت مواد تشکیل‌دهنده از قسمت‌های مرتفع به پایین، بر اثر جریان آب به وجود آمده است. این اراضی به طور کلی دارای سنگریزه و تعداد زیادی آبراهه کم‌عمق در میان آن‌ها است. خاک این تیپ

استان است توده هواهای غربی به علت کاهش قدرت پرفشار جنب‌حاره‌ای آزرور وارد منطقه می‌شود که به علت گذر از روی اقیانوس اطلس و دریای مدیترانه با خود رطوبت را به منطقه به ارمغان می‌آورد.

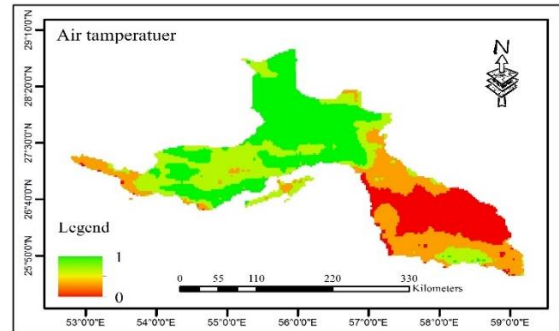


Figure 4. Phased map of air temperature standard

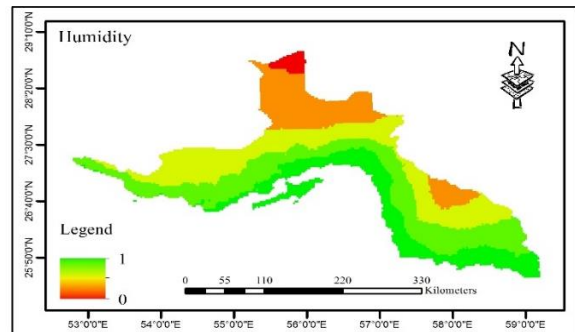


Figure 5. Phase map of air humidity criteria

داده‌های زمینی

نوع خاک

بر اساس نقشه تیپ خاک (شکل ۶) در استان هرمزگان تعداد ۸ تیپ اصلی و ۱۲ واحد اراضی متفرقه می‌توان شناسایی کرد که در این پژوهش تنها به تیپ‌های اصلی پرداخته خواهد شد. ۱- کوه‌ها: شامل بیرون‌زدگی‌های سنگی و سطوح تخریبی تشکیل شده است. وسعت این تیپ حدود ۲۴۶۱۹/۵۶ کیلومترمربع است که حدود ۳۴/۲ درصد اراضی را شامل می‌شود. ۲- تپه: مانند کوه‌ها بر اثر حرکات تکتونیکی و تغییر شکل ظاهری و ایجاد چین‌خوردگی‌ها یا تغییر شکل ارتفاعات بر اثر فرسایش و

مکان یکی از مهم‌ترین عواملی است که نه تنها تبادل ماده و انرژی را در خاک تحت تأثیر قرار می‌دهد بلکه می‌توان گفت که میزان و جهت کلیه فرایندهای فیزیکی خاک به صورت مستقیم یا غیرمستقیم وابسته به دما است (Janbaz Ghobadi et al., 2017). دمای خاک در عمق‌های مختلف، دارای رفتار زمانی و مکانی متفاوتی می‌باشد. براساس مطالعات صورت گرفته، جریان حرارتی درون خاک متأثر از متغیرهای مختلفی نظیر دمای هوا، تابش خورشیدی، سرعت باد، فصل و ویژگی‌های فیزیکی خاک است (Sabzi Parvar et al., 2010). در نتیجه میزان دمای اعماق مختلف خاک از جایی به جای دیگر تغییر می‌کند. به طور کلی، دمای خاک شامل یک نوسان روزانه و یک نوسان سالانه می‌باشد. دمای خاک در طی فصول گرم از سطح به عمق کاهش می‌یابد و در طی فصول سرد از سطح به سمت عمق افزایش پیدا می‌کند. با این حال، عمقی از خاک را که در آن تغییرات دمایی وجود نداشته و یا دامنه این تغییرات بسیار ناچیز باشد عمق آمیزش می‌نامند (Parsafar & Marofi, 2011). در این پژوهش برای پهنه‌بندی دمای عمق ۵۰ سانتی‌متری زمین از داده‌های شش ایستگاه سینوپتیک که داده‌های عمق زمین در آنها ثبت می‌شود و دارای بازده زمانی بالای ۲۰ سال بود، استفاده شد. براساس نتایج به دست آمده از نقشه (شکل ۷) که دمای ۵۰ سانتی‌متری زیر خاک را نشان می‌دهد و با توجه به نقشه دمای هوا (شکل ۴) استان هرمزگان را می‌توان به دو بخش شرقی و غربی که مرز آن را تنگه هرمز مشخص می‌کند، تقسیم کرد. بخش غربی استان به علت دمای هوای زیاد و انتقال آن به سطح زیرین خاک دمای و وجود دریاچه و خاک‌های مرطوب که انرژی را در خود ذخیره می‌کنند میانگین سالانه این منطقه بالای ۳۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد، ولی شرق استان به علت تیپ خاک و نبود رطوبت در خاک در شب انرژی خود را از

نیمه‌عمیق تا عمیق سنگریزه-دار با بافت سبک تا متوسط است. وسعت این تیپ مجموعاً در حدود ۳۸۵۰/۳۸ کیلومترمربع وسعت و ۵/۳ درصد از اراضی استان را در بر گرفته است. ۷- آبرفت‌های بادبزی شکل سنگریزه‌دار: این تیپ شامل اراضی به طور نسبی مسطح و سنگریزه‌داری است که هنگام ورود رودخانه‌های پرشیب و سنگریزه‌دار به دشت‌های مسطح، در ابتدای دشت رسوب‌گذاری شده‌اند. اراضی این تیپ به طور کلی پر از سنگریزه‌های قلوهای شکل است. خاک این اراضی معمولاً کم‌عمق تا نیمه‌عمیق و سنگریزه‌دار و عموماً مطابق و شیب عمومی آن، حداکثر به ۵ درصد می‌رسد. این تیپ در حدود ۵۲۴/۱۹ کیلومترمربع و ۰/۷ درصد از اراضی استان شامل می‌شود. ۸- مجموعه واحدها (تیپ مخلوط): تیپ اراضی مخلوط به اراضی اطلاق می‌شود که تیپ اصلی آن‌ها مشخص باشد، ولی به علت مقیاس نقشه تیپ‌های اصلی قابل تفکیک از هم نباشد. وسعت این اراضی در حدود ۳۸۵۵/۷۱ کیلومترمربع است که ۵/۴ درصد از اراضی استان را در بر می‌گیرد. با توجه به نقشه (۴) که نقشه وزن‌دهی فازی تیپ خاک است بیش‌تر استان از نظر عمق و نوع خاک برای استقرار سیستم چگالشی جهت استحصال آب از شرایط خوبی برخوردار است.

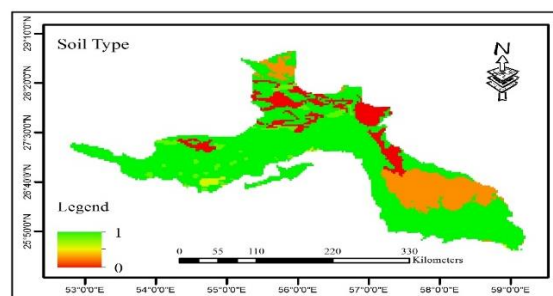


Figure 6. Phase map of soil type criterion

دمای عمق خاک

دمای خاک و چگونگی تغییرات آن نسبت به زمان و

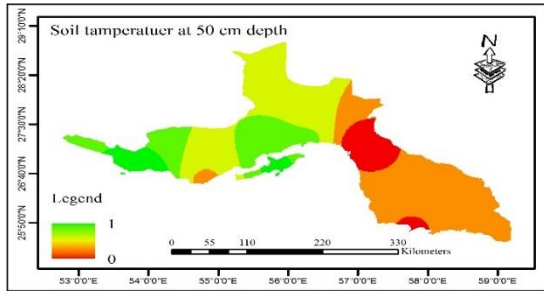


Figure 7. Phase map of the standard 50 cm basement temperature

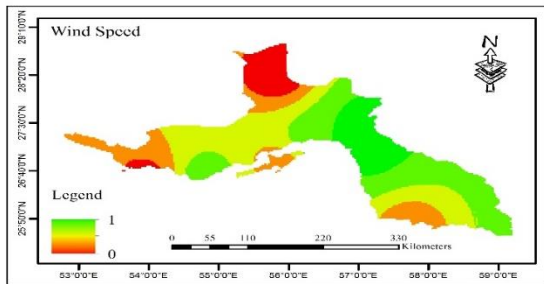


Figure 8. Phase wind speed measurement map

تهیه نقشه مکان‌یابی استحصال آب از رطوبت هوا با استفاده از سیستم چگالشی

با توجه اعمال وزن‌های به‌دست‌آمده معیارها توسط روش Fuzzy-AHP نقشه‌های نهایی مکان‌های مستعد برای استحصال آب از رطوبت هوا با استفاده از سیستم چگالشی در محیط نرم‌افزار GIS به‌دست آمد. برای اولویت‌بندی مناطق مناسب استحصال آب از رطوبت هوا، نقشه به‌دست‌آمده را به پنج کلاس کاملاً مناسب، مناسب، متوسط، مناسب و کاملاً نامناسب (شکل ۹) و همچنین مساحت طبقه‌های تناسب زمین را به کیلومتر و به درصد محاسبه شد (جدول ۴). همان‌طور که نقشه بر مبنای خروجی Fuzzy-AHP نشان می‌دهد، مناطق بسیار مناسب برای اجرای استحصال آب از رطوبت هوا در استان، جزیره هرمزگان و سواحل کناری خلیج فارس می‌باشد. با فاصله‌گرفتن از سواحل خلیج فارس به علت کاهش رطوبت از میزان اهمیت مناطق کاسته می‌شود تا جایی که در منطقه حاجی‌آباد به علت کوهستانی‌بودن (نبود عمق

دست داده و عمق ۵۰ سانتی‌متری زمین دمای نزدیک به ۲۶ درجه دارد که برای نصب لوله‌های مدفون بیش‌ترین امتیاز را دریافت می‌کند.

سرعت باد

استان هرمزگان به‌علت شرایط اقلیمی و موقعیت جغرافیایی در نواحی خشک و نیمه‌خشک کشور قرار دارد و میانگین بارش سالانه این استان بسیار اندک است. خشکی زیاد خاک و درصد پوشش گیاهی اندک در منطقه باعث شده امکان استقرار موانع زنده طبیعی کم‌تر وجود داشته و وزش باد در منطقه یکی از پدیده‌های رایج باشد. بادهای محلی با نام‌های (باد شرعی یا شرقی، باد لوارد و باد بحری) که از بیابان‌های گرم و خشک عربستان نشأت گرفته و بعد از عبور از روی خلیج فارس و تنگه هرمز با جذب رطوبت از آب‌های گرم خلیج فارس و دریای عمان به سواحل استان رسیده و رطوبت جذب شده را تا مسافت طولانی وارد سواحل استان می‌کند و باعث ایجاد حالت شرجی در استان می‌شود. در پژوهش حاضر برای به‌دست‌آوردن متوسط سرعت باد از آمار سه ساعته سازمان هواشناسی کشور و طبق رابطه (۱۴) استفاده شد. پس از به‌دست‌آوردن متوسط سرعت باد از طریق درون‌یابی، داده‌های نه ایستگاه سینوپتیک استان (بندرعباس، ابوموسی، بندرلنگه، قشم، کیش، سیری، جاسک، میناب و حاجی‌آباد)، لایه پتانسیل باد تهیه شد.

$$\bar{V} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n f_i v_i \quad (14)$$

که در این رابطه، \bar{V} متوسط سرعت باد، n تعداد روزها، f_i فراوانی سرعت باد و v_i مرکز طبقه می‌باشد. همان‌گونه که نقشه وزن‌دهی شده فازی سرعت باد (شکل ۸) در استان هرمزگان نشان می‌دهد بیش‌تر نقاط استان به‌جز منطقه حاجی‌آباد و منطقه پارسیان شرایط استان از نظر فاکتور سرعت باد برای استحصال آب از رطوبت هوا در شرایط مساعدی قرار دارد.

اراضی دارد. نتایج وزن‌دهی به معیارها بیانگر آن است که معیار رطوبت هوا از بیش‌ترین اهمیت (۰/۴۲۵) برخوردار است. کم‌ترین وزن نیز به تیپ خاک (۰/۰۶۰) اختصاص یافته است.

نتایج ارزیابی تناسب اراضی نشان می‌دهد که ۹/۷۴ درصد منطقه مورد مطالعه که معادل ۶۶۱۳/۶۱ کیلومترمربع می‌باشد، در کلاس تناسب بسیار مناسب، حدود ۱۸/۵۷ درصد که معادل ۱۲۶۰۶/۸۵ کیلومترمربع می‌باشد در کلاس با تناسب مناسب، حدود ۲۷/۳۹ درصد منطقه که معادل ۱۸۵۹۷/۹۵ کیلومترمربع از منطقه را پوشش می‌دهد در کلاس متوسط، ۱۷۵۸۹/۵۵ کیلومترمربع که حدود ۲۵/۹۰ درصد از منطقه در طبقه نامناسب و در نهایت ۱۸/۴۱ درصد که معادل ۱۲۴۹۸/۲۹ کیلومترمربع است در کلاس بسیار نامناسب قرار می‌گیرند.

با توجه به نقشه نهایی مکان‌یابی استحصال آب هوا با استفاده از سیستم چگالشی (شکل ۹)، مناسب‌ترین مکان جهت استحصال آب از رطوبت هوا جزیره هرمز و سواحل تنگه هرمز و خلیج فارس است. در این پهنه به‌علت رطوبت بسیار زیاد، عمق و تیپ مناسب خاک و دما مناسب‌تر نسبت به سایر مناطق استان امکان استقرار لوله‌های مدفون جهت استحصال آب از رطوبت هوا شرایط مساعدتری را دارد. با حرکت به سمت شمال استان به‌علت کوهستانی‌شدن و کاهش رطوبت اراضی در وضعیت متوسط قرار می‌گیرند. در قسمت شرقی استان که سواحل دریای عمان قرار دارد به‌علت گرمای زیاد و تیپ خاک نامناسب شرایط استحصال آب از رطوبت هوا براساس سیستم چگالشی مناسب نبوده و بیش‌تر منطقه کلاس‌های نامناسب تا بسیار مناسب را دریافت کرده‌اند. استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی- فازی (Fuzzy-AHP) برای ارزش‌گذاری در این پژوهش نشان داد که برآوردها دقیق‌تر است. هم‌چنین شاخص ناسازگاری

خاک) و کاهش رطوبت این مناطق نامناسب تشخیص داده شده‌اند. در شرق استان تنها منطقه جاسک شرایط مساعد را برای استحصال آب از رطوبت هوا دارد و بقیه قسمت‌ها به‌علت بالابودن دمای هوا و دمای عمق ۵۰ سانتی‌متری و نبود تیپ خاک مساعد از شرایط خوبی برای استحصال آبی از رطوبت هوا براساس سیستم چگالشی برخوردار نیستند.

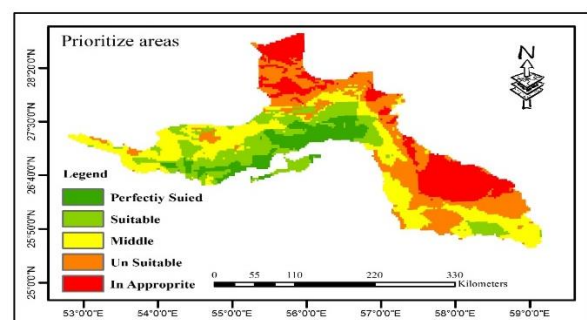


Figure 9. Final map of AHP Phase model of land suitability for water extraction from air humidity using condensing system

Table 4. Values of ground fitness classes of AHP fuzzy model for water extraction from air humidity using condensing system

Land suitability classification	Ground fit for water extraction from air humidity using condensation system method	
	Area in percent	Land suitability classification
Humidity	9.74	6613.61
Air temperature	18.57	12606.85
Basement temperature 50 cm	27.39	18597.95
Wind speed	25.90	17589.55
Soil	18.40	12498.29
Total area	100	67906.25

نتیجه‌گیری

در این پژوهش از میان طیف وسیع سیستم‌ها به‌منظور مکان‌یابی استحصال آب با استفاده از سیستم چگالشی به‌علت کارایی مناسب، از سیستم تصمیم‌گیری چند معیاره Fuzzy-AHP استفاده شد. این تکنیک از پرستفاده‌ترین روش‌ها در حل مسأله سیستم‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که کاربرد زیادی در مکان‌یابی و آنالیزهای تناسب

- Golbabaei, F., Arabalibeik, H., Shamsipour, A.A., & Allahverdy, A. (2017) Determination and weighting the effective criteria in selecting a heat stress index using the Delphi technique and fuzzy analytic hierarchy process (FAHP). *Journal of Health and Safety at Work*, 7(1), 23-34. (In Persian).
- Bazaargan, M. & Ahmadi Ali Bigloui, M. (2014). Produce fresh water using groundwater humidification and solar energy. *Renewable Energy Quarterly*, 1 (1), 4-15. (In Persian).
 - Burkard, R. (2003). Fog water collection system. *Atmospheric Environment*, 37(2), 2979-2990.
 - Catherine, P. (2003). The Delphi Technique: myths and realities. *Journal of Advanced Nursing*, 41(4), 376-382.
 - Chang, N., Parvathinathan, G., & Breeden, J. (2008). Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fastgrowing urban region. *Journal of Environmental Management*, 87(1), 139-153.
 - Eastman, I.R. (1997) *IDRISI for Windows, Version 2 tutorial exercises*. Worcester, MA: Graduate school of Geography, Clark university.
 - Fallah Alamdar, A. (2009). *Examining the types of conventional desalination plants and designing a sample of solar desalination plants*, Master Thesis, Khajeh Nasir Tusi University of Technology. Iran. (In Persian).
 - Henrbakhsh, A., Pajuhesh, M., Zangi Abadi, M & Heydari, M. (2016). Land use optimization using a combination of fuzzy linear programming methods and multi-purpose land allocation (Case study: Chelgard watershed). *Journal Echo Hydrology*, 3 (3), 363-377. (In Persian).
 - International Development Research Center. (2003). *A Lesson about the Value of Multidisciplinary Research*. website: <https://www.idrc.ca>
 - Islam, R., & Rahimi, V. (2019). Policymaking and Water Crisis in Iran. *The Macro and Strategic Policies*, 7(3), 410-434. (In Persian)
 - Janbaz Ghobadi, G.h., Yaghoubi, M., & Gholizadeh, B. (2017). Investigating the relationship between the temperature of the meteorological shelter and the temperature of different soil depths in air humidity conditions using a neural network (Case study: Sari city). *Earth Knowledge Research*, 8(30), 80-94. (In Persian)
 - Janzadeh, A.H. (2018). Extraction of water from air moisture using underground temperature (case study: Examine the performance of the system in Bandar Abbas). *Water and Soil Conservation*, 25 (2), 297-305. (In Persian).

به دست آمده از روش AHP/FUZZY می تواند در تعمیم دقیق تر وزن های اعمال شده بر هر معیار تحت تأثیر ارزیابی تصمیم گیرندگان از مزیت این روش باشد که در این پژوهش ۰/۰۲ به دست آمد. در پژوهش هایی که Qanavati & Delfani Gordazi (2013) در مکان یابی توسعه شهری، Sobhani & Khalilvand (2016) برای مکان یابی دفع زباله، Kamangar et al. (2016) برای مکان یابی نیروگاه خورشیدی انجام دادند به فواید مثبت استفاده از مدل های فازی و چندمعیاری در ارتباط به ارزش گذاری معیارها و تصمیم گیری ها اشاره شده است.

۱- از آنجایی که عناصر اقلیمی در مقیاس میکرو اثرات قابل توجهی بر استحصال آب از رطوبت هوا دارد، پیشنهاد می شود جهت شناسایی دقیق مناطق مستعد استان پژوهش های به صورت منطقه ای و شهرستانی انجام گیرد.

۲- در مناطقی که به عنوان مناطق بسیار مناسب و مناسب شناسایی شده است، دستگاه های جهت اندازه گیری کارایی استحصال آب از رطوبت هوا نصب و نتایج جهت بهره گیری به مسئولان استان ارائه شود.

۳- اثر تغییر یا نوسان اقلیمی و گرمایش جهانی روی عملکرد دستگاه های استحصال آب در مطالعات آتی بررسی شود.

دسترسی به داده ها

E-mail: masih.1687@gmail.com.
<https://ladsweb.nascom.nasa.gov>.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

منابع

- Akhdar, A. (2012) *Fuzzy Logic Functions in ARC GAS10T*. Tehran. University of Tehran Booklet. (In Persian).
- Asghari, M., Nassiri, P., Monazzam, MR.,

14. Joshi, V.P., Joshi, V.S., Kothari, H.A., Mahajan, M.D., Chaudhari, M.B., & Sant, K.D. (2017). Experimental Investigations on a Portable Fresh Water Generator Using a Thermoelectric Cooler. *Energy Procedia*. 109, 161-166.
15. Kalogirou, A. (2005). Seawater desalination using renewable energy sources. *Progress in Energy and Combustion Science*, 31(3), 242-281.
16. Kamali, P., Hashemi shahedani, S, M., Javadi, S., Aliniaiefard, S., & Ebrahimian, H. (2020). Investigating the Possibility of Water Production from humid Air in the Greenhouse Model Equipped with Heat Exchanger, *Journal of Water and Irrigation Management*, 10 (2), 221-231. (In Persian).
17. Kamangar, M., Nohegar, A., Sahragard, N., Aria Nejai, H., & Badaghi, M. (2016). Location of thermal solar power plants to provide sustainable energy using fuzzy logic. *Iranian Journal of Energy*, 19 (1), 137-152. (In Persian).
18. Kaviani, M. R., & Alijani, B. (2009). *Basics of Meteorology*. Tehran. Samat Publications. (In Persian).
19. Khaksari, M. (2004) *Reverse osmosis theory, a practical guide to use in water treatment industries, Wess Bayern*. Publications of National Petrochemical Company. (In Persian).
20. Lee, S. (2007). Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibility mapping. *Environmental Geology*, 52 (4), 847-855.
21. Lindblom, J., & Nordell, B. (2006). water production by underground condensation of humid air, *Desalination*. 189(1), 248-260.
22. Mafi, M. (2014) Evaluation of fresh water extraction from air humidity using cooling system of buried pipes. *22nd Annual International Conference on Mechanical Engineering of Iran, Faculty of Mechanical Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz*. Iran. (In Persian).
23. Malek, A. (1993). *Identifying and measuring atmospheric structures in agriculture*. Shiraz. Shiraz University Press. (In Persian).
24. Max, D., & Michael, D. (2005). *Apparatus and method for harvesting atmospheric moisture*, Patent Citations: US 6945063 B2, Application number: US 10/603,600, Publication date, Sep 20.
25. Micheal, M. (2013). *Combination dehydrator, dry return air and condensed water generator/dispenser*, Patent Citations: US 8607583 B2, Application number: US 13/252,132, Publication date: Oct 3, 2011.
26. Mousavi Baigi, M., & Shabanzadeh, S. (2008). Design and construction of a device for extracting water from fog and peak clouds, *Journal of Agricultural Sciences and Industries*, 22 (1), 3-11. (In Persian).
27. Mousavi, S.G., & Sadeghian, R. (2016). A Study of Fuzzy Logic and Its Application in Complex Issues. *Monthly Research Journal*, 2(15), 77-89. (In Persian).
28. Nandy, A., Saha, S., Ganguly, S., & Chattopadhyay, S. (2014). A Project on atmospheric water generator with the concept of Peltier effect. *International Journal of Advanced Computer Research*, 4(2), 481- 489.
29. NASA Website. (2019). Available at: <https://ladsweb.nascom.nasa.gov>.
30. Olivier, J. (2002). Fog-Water Harvesting Along the West Coast of South Africa: A Feasibility Study. *Water SA*, 28(4), 349-360.
31. Olivier, J. (2004). Fog Harvesting: An Alternative Source of Water Supply on the West Coast of. South Africa. *GeoJournal*, 61(2), 203-214.
32. Parsafar, N., & Marofi, S. (2011). Estimation of Soil Temperature from Air Temperature Using Regression Models, Artificial Neural Network and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (Case Study: Kermanshah Region). *Water and Soil Science*, 3 (21), 139-152. (In Persian).
33. Prada, S., Oliveir, A., & Silva, M. (2001). Fog Precipitation on the Island of Madeira (Portugal). *Environmental Geology*, 41(34), 384-389.
34. Qanavati, E., & Delfani Gordazi, F. (2013). Optimal Location of Urban Development with Emphasis on Natural Parameters Using the Integrated AHP/ FUZZY Model (Case Study: Boroujerd County). *Journal of Applied Geomorphology Iran*, 1 (1), 45-60. (In Persian)
35. Rostami, F., & Naderi, M. (2016). Water short agecrisesandrupture in national security. *International Relations Research*, 1 (15), 161-191. (In Persian).
36. Sabzi Parvar, A., Tabari, H., & Aini, A. (2010). Estimation of daily average soil temperature in some climatic samples of Iran using meteorological data. *Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources*, 52 (2), 125-130. (In Persian).
37. Saffari, A., John Ahmadi, M., & Raeti Shavazi, M. (2015). Application of AHP / FUZZY integrated model in locating suitable areas of Salab distribution for artificial feeding (Case study: Bushkn plain-Bushehr province). *Hydrometeorology*, 2 (3), 81-97. (In Persian).

38. Sobhani, B., & Khalilvand, M. (2016). Application of fuzzy logic (fuzzy) and Analytical Hierarchy Process (AHP) in locating landfill for household waste in Marvdasht city with an emphasis on Hydro climatic parameters. *Geography and Urban Regional Planning*, 7(23), 1-20. (In Persian).
39. Sobhani, B., Michael, K., & Mohammadi, M. (2018). *Coping with Global Warming Farin Climate*. Ardabil. Mohaghegh Ardabil University Press. (In Persian).
40. Suryaningsih, S. & Nurhilal, O. (2016). Optimal design of an atmspheric water generator (AWG) based on thermo-electric cooler (TEC) for drought in rural area. *2nd Padjadjaran International Physics Symposium, Faculty of Mathematics and Natural Science, Padjadjaran University*. Indonesia.
41. Tongue, S. (2009). *Water-from-air using liquid desiccant and vehicle exhaust, Patent Citations*. US 7601208 B2, Application number, US 11/267,978, Publication date.
42. Yousefi, H., Javadzadeh, Z., & Noorullahi, Y. (2017). Location of industrial waste disposal sites using Fuzzy-AHP model in Salafchegan Special Economic Zone. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 6(4), 107-121. (In Persian).