

## کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در تعیین نقاط مناسب برای احداث سازه‌های جمع‌آوری آب باران

محسن نوروززاده<sup>۱</sup>، محمد جواد قانعی بافقی<sup>۲\*</sup>، مهدی تازه<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۱۱

### چکیده:

کمبود آب در کشور ایران، به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک، همواره مشکل‌ساز بوده است. در این تحقیق، به‌منظور مکان‌یابی سازه‌های استحصال آب در شهرستان راور، از ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که از معیارهای مورد استفاده در این تحقیق، به‌ترتیب بر اساس وزن به‌دست‌آمده از پرسش‌نامه‌های تکمیل‌شده توسط خبرگان، شامل معیارهای بارندگی، شیب، شوری، پوشش گیاهی، بافت، ژئومورفولوژی با وزن‌های ۰/۳۶۲، ۰/۲۹۸، ۰/۱۵۱، ۰/۸۲، ۰/۵۳، ۰/۵۱ است. پس از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر معیار، نقشه‌های نرمال‌شده، در وزن هر لایه ضرب و نقشه تجمیع‌شده، طبقه‌بندی شد. بر این اساس، منطقه مطالعاتی به چهار دسته کاملاً مناسب، مناسب، تناسب کم و بسیار نامناسب تقسیم‌بندی شد. مناطقی که بر اساس هریک از معیارها امکان اجرای پروژه مذکور را نداشتند، با استفاده از روش بولین به دو کلاس صفر و یک طبقه‌بندی و مناطق نامربوط از نقشه تناسب حذف شد. نتایج به‌دست‌آمده با واقعیت زمینی که همان پروژه‌های اجراشده در منطقه است، مقایسه و صحت کار ارزیابی شد. نتایج نشان داد که نقشه‌های به‌دست‌آمده با میزان صحت ۶۵/۸ درصد با واقعیت زمینی مطابقت دارد.

**واژه‌های کلیدی:** مکان‌یابی، جمع‌آوری آب، تصمیم‌گیری چندمعیاره، استحصال آب.

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی گروه مهندسی طبیعت دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اردکان

۲. استادیار گروه مهندسی طبیعت دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اردکان؛ نویسنده مسئول: mjghaneib@ardakan.ac.ir

۳. استادیار گروه مهندسی طبیعت دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اردکان؛

## مقدمه

کمبود بارش و به دنبال آن کمبود آب، یکی از مهم‌ترین مشکلات مناطق خشک و نیمه‌خشک است. در این میان احداث سازه‌های جمع‌آوری آب، اگر به‌نحو درستی اجرا شود، تأثیر مطلوبی در ته‌نشست رس و مواد آلی موجود در سیلاب روی اراضی سنگلاخی و دارای بافت سبک خواهد داشت که خود باعث بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و پوشش گیاهی می‌شود. از طرفی، کنترل سیلاب‌ها به وسیله این سازه‌ها فرصت نفوذ آب به داخل خاک و نگهداشت رطوبت را افزایش داده و باعث تقویت پوشش گیاهی خواهد شد (عبداللهی و همکاران، ۲۰۱۵).

توجه به محدودیت منابع آب‌های زیرزمینی و کاهش پوشش گیاهی و به تبع آن بیابان‌زایی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، ما را به سمت بهره‌برداری از آب‌های سطحی ترغیب می‌کند. آب سطحی که نتیجهٔ پاسخ‌های بارش-رواناب در یک حوضه است، منبع آب بالقوه‌ای است که اگر به‌طور صحیح مدیریت شود می‌تواند برای تأمین تقاضا، مفید واقع گردد. جمع‌آوری آب به‌منظور ذخیرهٔ رواناب آب سطحی برای کاربردهای بعدی به‌ویژه در طول دوره‌هایی که محدودیت دسترسی به آب داریم، گزینه‌ای مناسب است (نظریان و همکاران، ۲۰۱۵). استحصال آب باران (RWH) دربرگیرندهٔ تمام روش‌هایی است که برای تمرکز، جمع‌آوری و ذخیرهٔ رواناب حاصل از بارندگی به کار می‌روند. در این روش‌ها رواناب حاصل از باران می‌تواند از سقف منازل، سطح زمین و جویبارها جمع‌آوری شده و در سازه‌های فیزیکی و یا در پروفیل خاک ذخیره شود. آب جمع‌آوری‌شده قادر است ذخیرهٔ رطوبتی خاک را بهبود بخشد؛ همچنین به‌کمک آن می‌توان آب مورد نیاز مصارف کشاورزی و دامداری را در زمان‌های کم‌آبی تأمین کرد (راک استورم<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۰). مهار و بهره‌برداری بهینه از آب، کلید حل مسئلهٔ کم‌آبی محسوب می‌شود. بنابراین باید عرصه‌های مناسب برای اجرای پروژه‌هایی از قبیل پیتینگ، فاروئینگ و بانکت و... شناسایی

شوند. چون آب از یک طرف مهم‌ترین عامل محدودکنندهٔ توسعهٔ پایدار است و از طرف دیگر در صورت عدم مدیریت مناسب، به عامل مهم تخریب و ایجاد خسارت تبدیل می‌شود، همچنین به‌دلیل متعدد بودن معیارها و شاخص‌ها نظیر معیارهای ژئومورفولوژی، اقلیمی، خاک‌شناسی، پوشش گیاهی و...، انتخاب نوع عملیات کارآمد و مناسب‌ترین مناطق برای طراحی و اجرای آن‌ها، عملاً از نظر علمی با دقت مورد انتظار که بتواند نیازها را برطرف کند، با مشکل روبه‌رو می‌شود (میا و اسکومن<sup>۲</sup>، ۲۰۰۷). بنابراین یکی از مهم‌ترین و ضروری‌ترین مراحل به‌کارگیری سیستم‌های جمع‌آوری آب باران، مکان‌یابی و شناسایی محل‌های مناسب برای اجرای این پروژه‌هاست. استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی با ترکیب عواملی از قبیل هوش انسان، اطلاعات و فناوری، به مدیران در به‌کارگیری داده‌ها و مدل‌ها برای حل مسائل پیچیده کمک می‌کند و آن‌ها را در انتخاب بهترین تصمیم از بین چندین راهکار یاری می‌رساند. مرور کلی منابع نشان می‌دهد که جمع‌آوری و ذخیرهٔ آب باران در مناطق کم‌باران از بهترین تکنیک‌های مدیریت و بهره‌برداری از آب باران و استفادهٔ بهینه از آن است و نیاز به یک ارزیابی دقیق مکانی و ارزیابی هیدرولوژی آب‌های سطحی و زیرسطحی زمینی دارد. همچنین ارزیابی پتانسیل جمع‌آوری آب‌های سطحی در مناطق خشک، روش بسیار مناسب و بهینه‌ای برای تأمین آب مورد نیاز در مناطق خشک و نیمه‌خشک است (نظریان و همکاران، ۲۰۱۵).

طباطبایی و همکاران (۲۰۰۷) در ارزیابی روش‌های مختلف جمع‌آوری آب باران به این نتیجه رسیدند که با استفاده از این روش‌ها، می‌توان آب مورد نیاز مناطقی که زمین کافی به‌صورت مرتع در اختیار دارند، تأمین کرد و یا منابع آبی موجود آن منطقه را بهبود بخشید. همچنین در ذخیره، تجزیه و تحلیل و مدیریت اطلاعات مکانی و زمانی با استفاده از GIS به این نتیجه رسیدند که بین پتانسیل محل‌های جمع‌آوری رواناب و مناطقی که تمرکز رواناب و جایی که آب ذخیره‌شده است، ارتباط مناسب وجود دارد.

۱. Rain Water Harvesting

۲. Rockström

۳. Maia and Schumann

مالکایی و سکی<sup>۲</sup> (۲۰۱۰) با بررسی مدل‌های مکان‌یابی جمع‌آوری آب به این نتیجه رسید که طراحی و اجرای پروژه‌های جمع‌آوری آب باران، مسئله‌ای چندمعیاره و چندهدفه است که معیارهای بیوفیزیکی، اقتصادی اجتماعی و شرایط محیطی را در بر می‌گیرد. از نظر وی، سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش‌های ارزیابی چندمعیاره برای تعیین چارچوب مدل‌های مکان‌یابی مناطق مستعد جمع‌آوری آب لازم است.

ادهم<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی ۴۸ مطالعه در مقاله‌های علمی و گزارش‌های سازمان‌های مربوط به جمع‌آوری آب‌های سطحی، معیارهای مؤثر در پروژه‌های جمع‌آوری آب باران را دسته‌بندی کردند. طبق مطالعات ایشان بیشترین معیارهای کاربردی، شیب کاربری اراضی، نوع خاک، فاصله از آبراه‌ها و هزینه‌های اجرا بودند.

سینگ<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از GIS و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، سه معیار کلیدی شیب، ضریب رواناب و تراکم زهکشی را ارزیابی نمودند و در نهایت با اعمال وزن‌های نرمال در لایه‌های اطلاعاتی، چهار ناحیه را از لحاظ تناسب برای جمع‌آوری آب باران تعیین کردند.

هدف از پژوهش حاضر عبارت است از: ۱. تشخیص معیارهای اصلی برای تعیین عرصه‌های مناسب برای احداث سازه‌های جمع‌آوری آب باران بر اساس نظر کارشناسان خبره، ۲. تعیین عرصه‌های مناسب برای احداث سازه‌های جمع‌آوری آب به صورت درجا بر اساس معیارهای اصلی در منطقه مورد مطالعه. در این تحقیق، تأثیر یا عدم تأثیر سازه‌های هلالی آبگیر بر پوشش گیاهی ملاک موفقیت این پروژه‌ها قرار گرفته و مکان‌یابی با استفاده از سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، ارزیابی شده است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

جعفری و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی سامانه تصمیم‌یار مکانی در تعیین مناطق مناسب اجرای پروژه‌های پیتینگ و فاروئینگ در حوزه آبخیز میخوران نشان دادند این سامانه قابلیت مناسبی در این زمینه دارد. اکبرپور و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از روش AHP و جمع‌آوری نظریات کارشناسی، معیارهای شیب، کاربری اراضی، بافت خاک، بارندگی، شبکه آبراه‌های فاصله از مناطق مسکونی و مناطق زراعی را بررسی کردند. آن‌ها حوزه آبخیز بیرجند را از نظر تناسب مکانی برای اجرای سازه‌های جمع‌آوری آب، به چهار ناحیه ضعیف، متوسط، خوب و بسیار خوب تقسیم‌بندی کردند. سروری (۲۰۱۶) به منظور شناسایی مناطق مستعد جمع‌آوری آب باران در پارک ملی بمو، از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و سلسله‌مراتبی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده کرد. در این تحقیق، برای انتخاب معیارهای مناسب، ابتدا تمامی عوامل مؤثر در تولید رواناب بررسی و مطالعه و نقشه‌های مربوط به آن‌ها تهیه شد. از میان پارامتر بررسی شده، ضریب رواناب، شیب، بارندگی، فاصله از منابع آبی، پراکنش جانوران، نفوذپذیری (گروه‌های هیدرولوژیکی خاک)، بافت خاک به عنوان معیار یا شاخص برای بررسی پتانسیل تولید رواناب انتخاب شدند.

کومار<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۸) با بهره‌گیری از نرم‌افزار GIS و تصاویر ماهواره‌ای، مکان‌های مناسب برای جمع‌آوری آب باران را شناسایی کردند و لایه‌های متفاوتی از قبیل کاربری اراضی، پوشش زمین، ریخت‌شناسی زمین به کار بردند که با استفاده از سنجش از راه دور مهیا شده بود. این لایه‌ها با اطلاعات زمین‌شناسی و زهکشی با استفاده از تکنیک‌های GIS تلفیق شد. هر لایه بر اساس تأثیری که روی تغذیه آب زیرزمینی داشت، وزن‌دهی شد. برای هر کلاس یا یک واحد در نقشه بر اساس اهمیت آن در ذخیره‌سازی و انتقال آب‌های زیرزمینی، رتبه بین یک تا چهار در نظر گرفته شد. خروجی برنامه، دسته‌بندی‌های مختلف مکان‌های مناسب جمع‌آوری آب باران را برای انواع مختلف روش‌های جمع‌آوری نشان می‌داد.

۲. Malcaewski

۳. Adham

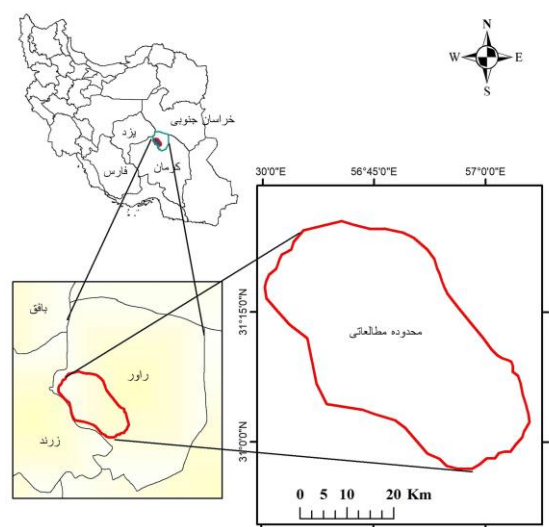
۴. Singh

۱. Kumar

است. در این گام از امتیازاتی که به وسیله پرسش نامه‌ها به دست آمد، میانگین هندسی گرفته شده و به صورت ماتریس‌های مربعی وارد نرم‌افزار سوپردسیژن<sup>۱</sup> شد. پس از ورود هر ماتریس، نرم‌افزار نموداری از وزن‌ها را به نمایش می‌گذارد و نرخ ناسازگاری برای هر ماتریس تشکیل شده را نشان می‌دهد که در حالت کلی باید کمتر از ۰/۱ باشد (اصغرپور، ۲۰۱۱). در غیر این صورت باید در قضاوت‌های صورت گرفته تجدیدنظر شود. البته تغییر قضاوت‌ها برای کاهش نرخ ناسازگاری به گونه‌ای باید صورت گیرد که در اصل قضاوت‌ها خلل ایجاد نشود. در نهایت، وزن‌های نسبی در هر سطح، توسط نرم‌افزار محاسبه شد و وزن نهایی برای هر گزینه از حاصل ضرب امتیازهای نسبی آن گزینه در سطوح بالاتر به دست آمد. پس از تلفیق لایه‌ها و تهیه نقشه تناسب، محل‌هایی که امکان اجرای پروژه‌های جمع‌آوری آب در آن‌ها وجود نداشت، به عنوان لایه محدودیت از نقشه حذف شد. در نهایت، نقشه حاصل از این مرحله با نقشه بولین که حداکثر محدودیت‌ها در آن اعمال شده است، مقایسه گردید.

برای ساخت نقشه شیب ابتدا شیت نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ که توسط سازمان نقشه‌برداری تهیه شده، در محیط نرم‌افزار ArcGIS بارگذاری گردید و در جدول خصوصیات<sup>۲</sup> مقدار ارتفاع مربوط به خطوط تراز وارد شد. با تبدیل نقشه‌های مذکور به لایه رستری نقشه مدل رقومی<sup>۳</sup> ارتفاع ساخته شد سپس با استفاده از ابزار 3D Analysis نقشه شیب تهیه و در نهایت نقشه شیب محدوده در پنج کلاس ۱-، ۳-، ۸-، ۱۵- و بیش از ۱۵ درصد کلاس‌بندی شد. گرادیان بارندگی منطقه با استفاده از داده‌های ۱۲ ایستگاه هواشناسی نزدیک به محدوده ترسیم شد. به این صورت که ابتدا میانگین بارندگی سالانه هر ایستگاه طی سال‌های ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۴ در نرم‌افزار Excel محاسبه شد و با توجه به ارتفاع ایستگاه مربوطه از سطح دریا معادله گرادیان بارندگی به دست آمد. با استفاده از ابزار Raster Calculator در نرم‌افزار

منطقه مورد مطالعه این تحقیق بخش غربی شهرستان راور است. این منطقه در عرض‌های ۳۴° ۲۵' ۳۱" تا ۳۱° ۵۶' ۵۹" شمالی و طول‌های ۱۰° ۳۰' ۵۶" تا ۵۷° ۵' ۵۷" شرقی قرار گرفته است. مساحت این منطقه حدود ۱۷۱۳۸۰ هکتار است و در حاشیه غربی کویر لوت و ۱۴۵ کیلومتری شهرستان کرمان قرار دارد. ارتفاع متوسط این حوزه از سطح دریا ۱۱۹۸ متر و طی دوره آماری ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۴ دارای متوسط بارندگی ۶۴/۲ میلی‌متر و آب‌وهوای گرم و خشک با مشخصه تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های تا حدی سرد است. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه را نشان می‌دهد.



شکل (۱): منطقه مورد مطالعه

Figure (1): Study area

## روش کار

در این پژوهش، بر اساس نتایج حاصل از پرسش‌نامه‌های تکمیل شده از متخصصان و همچنین با مراجعه به پیشینه پژوهش در این زمینه برای انتخاب محل‌های مناسب جمع‌آوری آب، معیارهای شیب، بارندگی، پوشش گیاهی، شوری، بافت خاک و ژئومورفولوژی در نظر گرفته شد. لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر معیار تهیه و در محیط نرم‌افزار ArcGIS طبقه‌بندی شد. برای وزندهی به معیارها با استفاده از تکنیک AHP ماتریس‌های مقایسات زوجی تشکیل می‌شود که در آن با استفاده از نظریات کارشناسی، ارزش هر معیار نسبت به معیار دیگر مشخص می‌شود. این ماتریس‌ها مهم‌ترین ورودی مدل AHP برای امتیازدهی و اولویت‌بندی

۱. Super Decisions

۲. Attribut table

۳. DEM

کلاس شوری تقسیم گردید. نقشه ژئومورفولوژی منطقه با در نظر گرفتن خصوصیات زمین و با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و نرم‌افزار Googleearth تهیه شد و منطقه به پنج دسته اراضی مسکونی، واحد کوهستان، دشت سر پوشیده، دشت سر اپانداژ و دشت سر فرسایشی تقسیم شد و محدوده‌های مختلف تعیین مرز به لایه‌های رستری تبدیل گردید.

#### نقشه محدودیت

برای ایجاد سازه‌های جمع‌آوری آب مکان‌هایی وجود دارد که نمی‌توان از آنها برای اجرای تأسیسات پروژه از آنها استفاده کرد. در واقع این مکان‌ها لایه‌هایی با ارزش صفر از نظر جمع‌آوری آب می‌باشند. در این تحقیق، کاربری مسکونی و کشاورزی که در آنها حقوق مالکیت مطرح است و همچنین شیب‌های بیش از ۲۵ درصد به علت عمق کم خاک، سرعت زیاد آب و تحمیل هزینه‌های بالا در اجرای سازه هلالی آبیگر، به عنوان لایه‌های بدون تناسب شناخته شده و از نقشه نهایی تناسب حذف می‌شود. این لایه در نرم‌افزار ArcGIS به صورت لایه صفر و یک در نظر گرفته شد و با ابزار Raster Calculator در نقشه نهایی تناسب ضرب گردید. به این ترتیب مکان‌هایی که حاوی پیکسل‌های یک باشند، بدون تأثیر و مکان‌هایی که مقدار صفر دارند، از نقشه حذف خواهند شد.

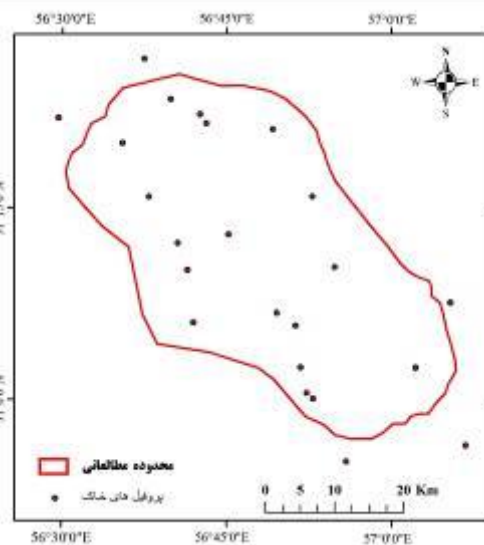
به منظور بررسی صحت نقشه نهایی تهیه شده هم از نقشه مناطق بولین استفاده شد و هم مکان کارهای اجرایی موفق و ناموفق در منطقه با نقشه نهایی تناسب مقایسه گردید. روش روی هم‌گذاری بولین (صفر و یک) ساده‌ترین روش ترکیب معیارهاست که وزن همه آنها مساوی در نظر گرفته شده و با یکدیگر جمع شده و یا در هم ضرب می‌گردند و معمولاً برای تفکیک مناطقی که دارای مجموعه‌ای از شرایط ویژگی‌های مورد نظر باشند، کاربرد دارد. روی هم‌گذاری بر پایه چهار منطق استوار است و نتایج نیز به صورت یک نقشه بولین ارائه می‌شود (مخدوم و همکاران ۱۳۸۷).

#### نتایج

شکل‌های (۳) تا (۸) لایه‌های اطلاعاتی تولید شده در محیط

ArcGIS این معادله در نقشه DEM اعمال شد و لایه محدوده‌های هم‌باران منطقه به دست آمد. نقشه مربوط به معیار پوشش گیاهی با استفاده از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور در محیط ArcGIS به لایه‌های رستری<sup>۱</sup> تبدیل شدند. به منظور بررسی خصوصیات خاک منطقه، تعداد ۲۳ نمونه خاک از پروفیل سطحی خاک برداشت شد (شکل ۲). بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری تعیین و سپس نقشه بافت خاک موجود در مطالعات منطقه با نتایج آنالیز خاک، کنترل و به لایه‌های رستری تبدیل شد.

در این تحقیق، شاخص EC به عنوان معیار شوری در نظر گرفته شد. بر این اساس برای تهیه نقشه شوری خاک، از اندازه‌گیری EC عصاره اشباع در نمونه‌های خاک استفاده شد و در نهایت لایه نقاط مذکور وارد نرم‌افزار ArcGIS شد و میان‌یابی نقاط به روش IDW انجام گرفت و منطقه به ۵ کلاس شوری تقسیم گردید.

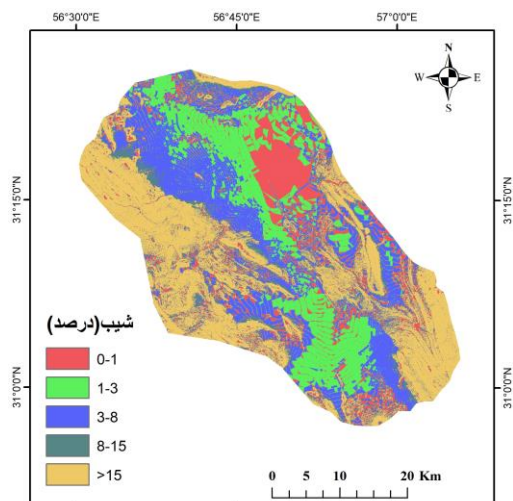


شکل (۲): موقعیت پروفیل‌های خاک

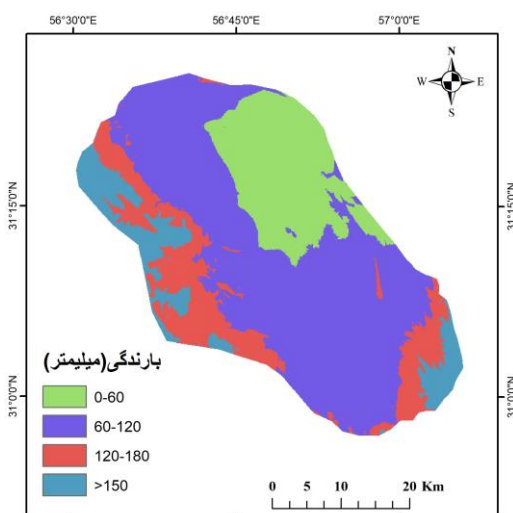
Figure (2): location of the soil profiles

در این تحقیق شاخص EC به عنوان معیار شوری در نظر گرفته شد. بر این اساس برای تهیه نقشه شوری خاک از اندازه‌گیری EC عصاره اشباع در نمونه‌های خاک استفاده شد و در نهایت لایه نقاط مذکور وارد نرم‌افزار ArcGIS شد و میان‌یابی نقاط به روش IDW انجام گرفت و منطقه به ۵

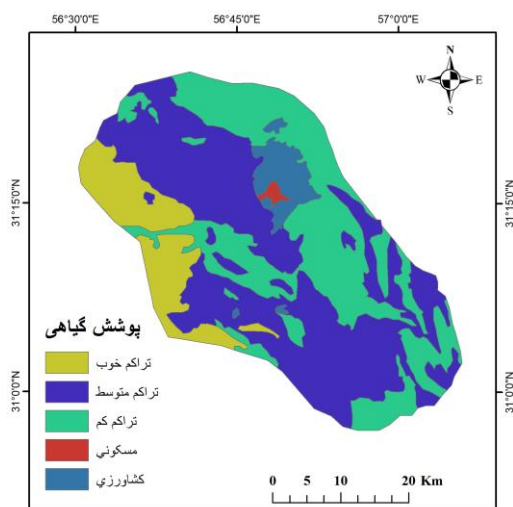
۱. Raster layer



شکل (۳): نقشه طبقه بندی شیب  
Figure (3): Map of slop classes



شکل (۴): نقشه طبقات بارندگی  
Figure (4): Map of rainfall classes



شکل (۵): نقشه طبقات پوشش گیاهی  
Figure (5): Map of vegetation classes

GIS را نشان می دهند.

در شکل (۹) نقشه محدودیت منطقه مورد مطالعه مشاهده می شود که در واقع مناطق بدون تناسب برای اجرای پروژه های پخش سیلاب است.

شش معیار انتخاب شده با استفاده از نظر ۲۲ نفر کارشناس خبره به صورت دو به دو مقایسه شدند. در مقایسات زوجی درجه بندی اولویت های نسبی مرتبط با معیارها از یک مقیاس پایه ای که مقادیر آن از ۱ تا ۹ است، استفاده می شود. جدول (۱) روش امتیازدهی را نشان داده است.

جدول (۱): اولویت نسبی در مقایسه زوجی

Table (1): Relative priority in pairwise comparison

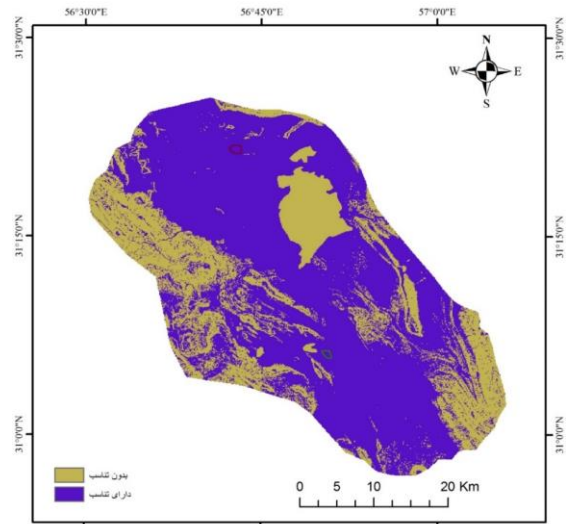
امتیاز	ارجحیت
۱	اهمیت برابر
۲	اهمیت برابر تا اهمیت متوسط
۳	اهمیت متوسط
۴	اهمیت متوسط تا اهمیت قوی
۵	اهمیت قوی
۶	اهمیت قوی تا اهمیت خیلی قوی
۷	اهمیت خیلی قوی
۸	از اهمیت خیلی قوی تا اهمیت فوق العاده قوی
۹	اهمیت فوق العاده قوی

جدول (۲) میانگین هندسی امتیازات کارشناسی را که از پرسش نامه ها به دست آمده، نشان می دهد. در ستون آخر، امتیاز به دست آمده از روش AHP قرار گرفته است که ارجحیت هر معیار را با توجه به هدف مطالعه، یعنی مکان یابی سازه های هلالی آبگیر نشان می دهد. عدد اولویت در روش AHP بین صفر تا یک است. هرچه این عدد به یک نزدیک تر باشد، اولویت معیار مربوط بالاتر خواهد بود. طبق جدول (۱) معیار بارندگی و سپس شیب بیشترین امتیاز را نشان می دهد.

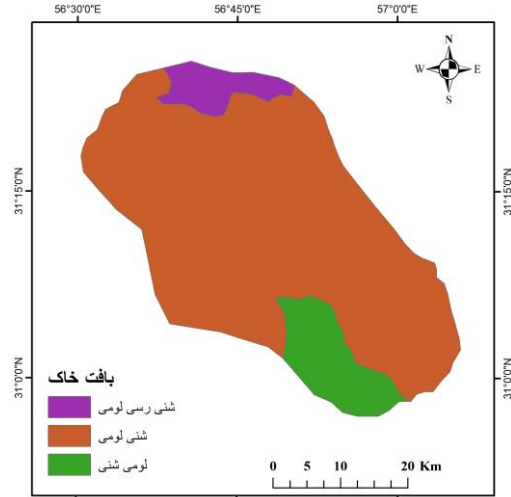
### مقایسات زیرمعیارها

#### شیب

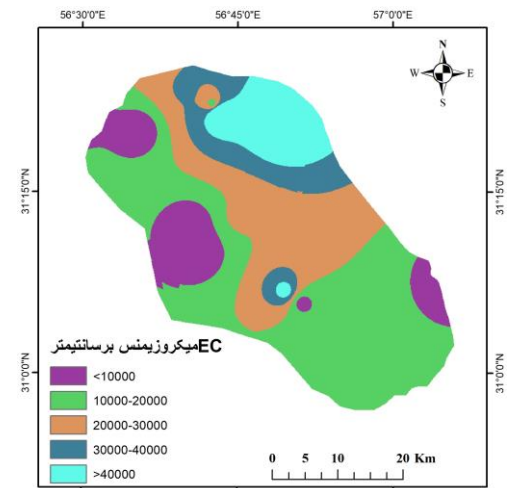
با توجه به نظریات کارشناسی و مقایسات زوجی که در جدول (۳) آمده، اولویت طبقه شیب ۳-۸ درصد نسبت به سایر زیرمعیارها بالاتر است. شیب های بیش از ۱۵ درصد تقریباً نشان دهنده واحد کوهستان هستند که با توجه به امتیازات کارشناسی، کمترین امتیاز را کسب کردند.



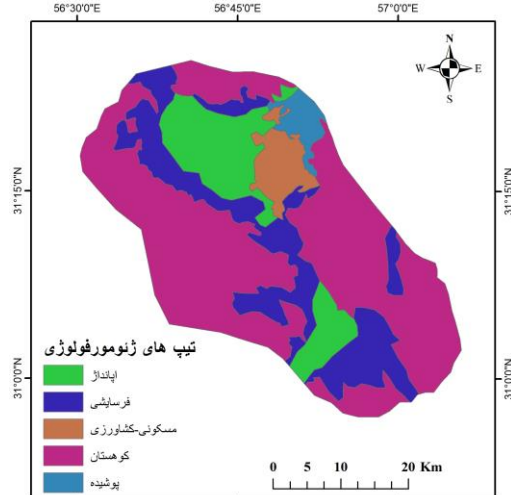
شکل (۹): نقشه محدودیت (مناطق بدون تناسب) منطقه مطالعاتی  
**Figure (9): Constraint Map (Unmatched Areas) of the Study Area**



شکل (۶): نقشه بافت خاک منطقه مطالعاتی  
**Figure (6): Soil texture map of the study area**



شکل (۷): نقشه شوری خاک منطقه مطالعاتی  
**Figure (7): soil salinity map of the study area**



شکل (۸): نقشه تپ های ژئومورفولوژی  
**Figure (8): Map of the geomorphological types**

**بارندگی**

برای استفاده از معیار بارندگی در محدوده مورد مطالعه، نقشه خطوط هم باران به صورت شکل (۳) تهیه شد و مقایسات زوجی بین این محدوده ها صورت گرفت. کم باران ترین محدوده ها در قسمت شمال شرقی حوزه است که ارتفاع کمتری از سطح دریا نیز دارد. جدول (۴) ماتریس مقایسات زوجی بین زیرمعیارهای بارندگی را نشان می دهد. با توجه به نظر کارشناسان، هرچه میزان بارندگی بیشتر باشد، تناسب آن مکان برای جمع آوری آب باران افزایش می یابد.

جدول (۲): ماتریس مقایسات زوجی بین معیارهای اصلی  
**Table (2): the pairwise comparison matrix between the main criteria**

وزن	ژئومورفولوژی	پوشش گیاهی	شیب	شوری خاک	بافت خاک	بارندگی
۰/۳۶	۴/۸۰	۳/۸۰	۲/۱۰	۳/۶۰	۳/۹۰	۱/۰۰
۰/۰۵	۰/۸۳	۰/۵۹	۰/۲۱	۰/۲۷	۱/۰۰	۰/۳۶
۰/۱۵	۳/۶۵	۳/۱۰	۰/۲۴	۱/۰۰	۳/۷۰	۰/۲۸
۰/۳۰	۵/۲۰	۳/۴۰	۱/۰۰	۴/۱۰	۴/۸۰	۰/۴۸
۰/۰۸	۲/۳۰	۱/۰۰	۰/۲۹	۰/۳۲	۱/۷۰	۰/۳۶
۰/۰۵	۱/۰۰	۰/۴۳	۰/۱۹	۰/۲۷	۱/۲۰	۰/۲۱

## شوری

نتایج میان‌یابی بین نمونه‌های برداشت‌شده از خاک منطقه نشان می‌دهد اکثر مناطق خروجی حوزه واقع در شمال شرقی منطقه، از شوری بسیار زیادی برخوردارند. با توجه به تقسیم‌بندی انجام‌شده، طبقات شوری مورد مقایسه قرار گرفت و برتری هریک از دسته‌ها نسبت به دیگری در جدول (۷) نشان داده شده است.

جدول (۷): مقایسات زوجی معیار شوری خاک

Table (7): Pairwise comparisons of soil salinity criteria

وزن	۱۰۰۰۰۰ بیش از ۴۰	۴۰-۲۰ بیش از ۳۰	۲۰-۱۰ بیش از ۲۰	۱۰-۵ بیش از ۱۰	۵-۲ بیش از ۵	۱۰۰۰۰ کمتر از ۱
کمتر از ۱۰۰۰۰	۰/۴۳۸	۶/۷	۴/۹	۴/۲	۱/۲	۱/۰
۱۰۰۰۰-۲۰۰۰۰	۰/۲۹۶	۵/۱	۴/۱	۳/۷	۱/۰	۰/۵
۲۰۰۰۰-۳۰۰۰۰	۰/۱۴۳	۵/۴	۲/۷	۱/۰	۰/۳	۰/۲
۳۰۰۰۰-۴۰۰۰۰	۰/۰۸۰	۳/۳	۱/۰	۰/۴	۰/۲	۰/۲
بیش از ۴۰۰۰۰	۰/۰۴۰	۱/۰	۰/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۱

## ژئومورفولوژی

در این معیار، سه دشت سر پوشیده، اپانداز و فرسایشی را کارشناسان ارزیابی کردند و اراضی مسکونی و کشاورزی به دلیل عدم امکان اجرای پروژه از این نقشه حذف شدند و در لایه اطلاعاتی مربوط نیز امتیاز صفر به این اراضی داده شد. بیشترین امتیاز در این معیار به دشت سر اپانداز تعلق گرفت (جدول ۸).

جدول (۸): مقایسات زوجی معیار ژئومورفولوژی

Table (8): Pairwise comparisons of geomorphology criteria

وزن	پوشیده	فرسایشی	اپانداز
اپانداز	۰/۷۰۴	۴/۷	۵/۲
فرسایشی	۰/۱۰۷	۰/۵	۱/۰
پوشیده	۰/۱۸۸	۱/۰	۲/۲

برای اعمال وزن‌های به‌دست‌آمده از نظریات کارشناسی، وزن هر زیرمعیار در نرم‌افزار سوپردسیژن نرمال‌سازی شد. پس از نرمال‌سازی وزن‌های مربوط به هر معیار مقدراری بین صفر تا یک می‌گیرند و مجموع کل امتیازات برابر با یک خواهد بود. با توجه به جدول امتیازات بیشترین وزن مربوط به زیرمعیار بیش از ۱۸۰ میلی‌متر در لایه بارندگی و کمترین وزن مربوط به دشت سر فرسایشی در لایه ژئومورفولوژی است.

جدول (۳): ماتریس مقایسات زوجی معیار شیب

Table (3): The pairwise comparison matrix of slope criteria

وزن	>۱۵	۸-۱۵	۳-۸	۱-۳	۰-۱
۰-۱	۰/۱۲۲	۲/۴	۲/۳	۰/۳	۱/۰
۱-۳	۰/۲۶۲	۵/۲	۴/۵	۰/۳	۱/۰
۳-۸	۰/۴۷۲	۵/۳	۳/۷	۱/۰	۳/۶
۸-۱۵	۰/۰۹۲	۳/۶	۱/۰	۰/۳	۰/۲
>۱۵	۰/۰۴۹	۱/۰	۰/۳	۰/۲	۰/۲

جدول (۴): ماتریس مقایسات زوجی معیار بارندگی

Table (4): The pairwise comparison matrix of rainfall criteria

وزن	>۱۸۰	-۱۲۰	-۶۰	۰	بارندگی (میلی‌متر)
۶۰-۰	۰/۰۴۲	۰/۱	۰/۱	۰/۳	۱/۰
۱۲۰-۶۰	۰/۱۰۴	۰/۲	۰/۲	۱/۰	۳/۹
۱۸۰-۱۲۰	۰/۳۱۷	۰/۳	۱/۰	۵/۲	۷/۱
>۱۸۰	۰/۵۳۵	۱/۰	۲/۹	۴/۷	۸

## پوشش گیاهی

محدوده‌هایی از مرتع و جنگل که تراکم پوشش گیاهی تقریباً یکسان دارند با هم ادغام، و به‌عنوان زیرمعیار پوشش گیاهی در سه دسته ارزیابی شد. نتایج مقایسات زوجی و امتیازات کارشناسی در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول (۵): مقایسات زوجی معیار پوشش گیاهی (تراکم)

Table (5): Pairwise comparisons of vegetation criteria (density)

وزن	کم	متوسط	خوب	تراکم
خوب	۰/۱۱۱	۰/۳	۰/۳	۱/۰
متوسط	۰/۲۹۶	۰/۴	۱/۰	۳/۶
کم	۰/۵۹۱	۱/۰	۲/۷	۳/۹

## بافت خاک

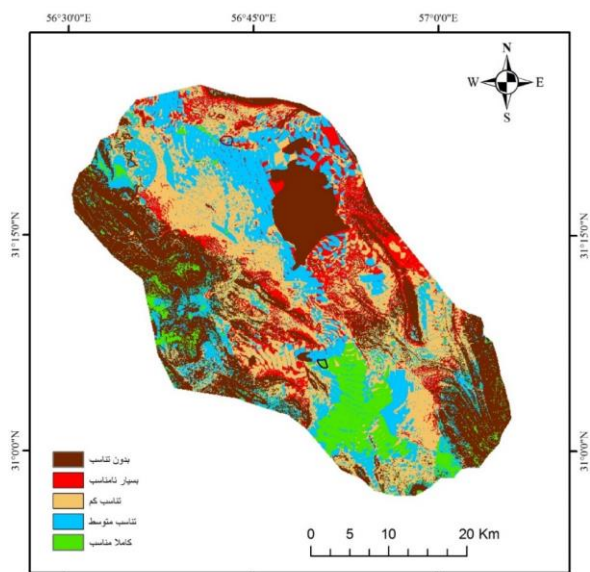
با توجه به آنالیزهای بافت خاک، سه بافت شنی لومی، لومی شنی و شنی لومی رسی در منطقه مشاهده شد که عمده بافت خاک منطقه را بافت شنی لومی تشکیل می‌دهد. شکل (۶) نقشه پهنه‌بندی خاک منطقه و جدول (۶) نتایج مقایسات زوجی و امتیازات کارشناسی را درباره معیار بافت خاک نشان می‌دهد.

جدول (۶): مقایسات زوجی معیار بافت خاک

Table (6): Pairwise comparisons of soil texture criteria

وزن	لومی-شنی	لومی-شنی	لومی-شنی	لومی-شنی
لومی رسی	۰/۲۵۹	۰/۳	۲/۷	۱/۰
لومی-لومی	۰/۱۲۶	۰/۳	۱/۰	۰/۴
لومی-شنی	۰/۶۱۳	۱/۰	۳/۷	۳/۱





شکل (۱۰): نقشه تناسب نهایی (نقشه مدل سازی شده تحقیق)  
 Figure (10): Final suitability map (Modeled research map of research)

همان گونه که در شکل (۱۰) مشخص است، بیشترین اراضی کاملاً متناسب و دارای تناسب متوسط عمدتاً در مناطقی قرار دارند که داری شیب ۱ تا ۸ درصد و تراکم پوشش گیاهی آن متوسط تا ضعیف است. همچنین از نظر شوری در مناطقی با شوری کم تا متوسط و از نظر ژئومورفولوژی در دشت‌سر اپانداژ و از نظر بافت خاک در طبقات بافت لومی شنی و شنی لومی قرار می‌گیرد که بافت متوسط است.

### صحت‌سنجی با استفاده از نقشه بولین

وزندهی به واحدها در هر لایه اطلاعاتی در این مدل، بر اساس منطقه صفر و یک است؛ یعنی در نقشه‌های پایه، واحدهای اطلاعاتی از نقطه نظر مناسب یا نامناسب بودن به صورت صفر و یک مشخص می‌شوند و حد واسطی از لحاظ مناسب بودن وجود ندارد. جدول (۱۰) دامنه‌های مناسب و نامناسب را که در تهیه نقشه بولین به کار رفته، نشان داده است. شکل (۱۱) نقشه تلفیق نقشه بولین با نقشه نهایی تناسب و جدول (۱۲) درصد هم‌پوشانی نقشه تناسب نهایی با نقشه بولین را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، هرچه میزان هم‌پوشانی محدوده‌های کاملاً مناسب با نقشه بولین بیشتر باشد، صحت مکان‌یابی انجام‌شده بیشتر خواهد بود.

جدول (۹): امتیازهای کارشناسی و امتیاز نرمال زیرمعیارها

Table (9): Expert scores and normal scores for sub criteria

معیار	امتیاز کارشناسی	زیرمعیار	امتیاز کارشناسی	امتیاز نرمال
شیب	۰/۲۹۸	۱-۰	۰/۱۲۲	۰/۰۳۶
		۳-۱	۰/۲۶۲	۰/۰۷۸
		۸-۳	۰/۴۷۲	۰/۱۴۱
		۱۵-۸	۰/۰۹۲	۰/۰۲۷
		>۱۵	۰/۰۴۹	۰/۰۱۴
بارندگی	۰/۳۶۲	۶۰-۰	۰/۱۲۲	۰/۰۱۵
		۱۲۰-۶۰	۰/۴۷۲	۰/۰۳۸
		۱۸۰-۱۲۰	۰/۲۶۲	۰/۱۱۴
پوشش گیاهی	۰/۰۸۲	خوب	۰/۱۱۱	۰/۰۰۹
		متوسط	۰/۲۹۶	۰/۰۲۴
		کم	۰/۵۹۱	۰/۰۴۸
بافت خاک	۰/۰۵۳	شنی رسی لومی	۰/۲۵۹	۰/۰۱۴
		شنی-لومی	۰/۱۲۶	۰/۰۰۶
		لومی-شنی	۰/۶۱۳	۰/۰۳۲
شوری خاک	۰/۱۵۱	۱۰۰۰۰-۰	۰/۴۳۸	۰/۰۶۶
		۲۰۰۰۰-۱۰۰۰۰	۰/۲۹۶	۰/۰۴۵
		۳۰۰۰۰-۲۰۰۰۰	۰/۱۴۳	۰/۰۲۱
ژئومورفولوژی	۰/۰۵۱	اپانداژ	۰/۷۰۴	۰/۰۳۶
		فرسایشی	۰/۱۰۷	۰/۰۰۵
		پوشیده	۰/۱۸۸	۰/۰۱۳

### نقشه نهایی تناسب

با توجه به روشی که توضیح داده شد، نقشه نهایی تناسب به صورت شکل (۱۰) حاصل شد. این نقشه شامل پیکسل‌های ۹۰ در ۹۰ متری است که عدد آن پیکسل نشان‌دهنده میزان تناسب آن مکان است. این نقشه در چهار طبقه کاملاً مناسب، مناسب، کمی مناسب و بسیار نامناسب تقسیم شد. مساحت هر یک از این دسته‌ها در جدول (۱۰) آمده است. محدوده‌هایی که بدون تناسب در نقشه مشخص شده‌اند، حاصل تلفیق نقشه محدودیت در نقشه نهایی تناسب هستند.

جدول (۱۰): مساحت محدوده‌های تناسب

Table (10): the area of suitability boundaries

درصد مساحت	مساحت (هکتار)	
۳۱	۵۳۱۵۴	بدون تناسب
۱۰/۷	۱۸۲۸۸	بسیار نامناسب
۲۷/۷	۴۷۴۷۴	نامناسب کم
۲۲/۳	۳۸۱۴۴	تناسب متوسط
۸/۳	۱۴۳۲۴	کاملاً مناسب

درحالی که سازه‌های ناموفق هیچ هم‌پوشانی با محدوده کاملاً مناسب ندارند. جدول (۱۳) درصد محدوده‌های مدل‌سازی شده را در دو منطقه موفق و ناموفق پروژه‌های هلالی آبیگر نشان می‌دهد.

جدول (۱۳): درصد مساحت محدوده‌های تناسب در محدوده

پروژه‌های اجرا شده

Table (13): The Percentage area of suitability boundaries in the area of implemented projects

محدوده	درصد مساحت در پروژه‌های موفق	درصد مساحت در پروژه‌های ناموفق
بسیار نامناسب	۰	۱۵
کمی مناسب	۱۰/۳	۲۹/۵
تناسب متوسط	۲۲/۲	۵۵/۵
کاملاً مناسب	۶۷/۵	۰

### بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق سعی شد با روش تحلیل سلسله‌مراتبی، مناطق مناسب برای اجرای پروژه‌های استحصال آب، پهنه‌بندی گردد. ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری در سیستم اطلاعات جغرافیایی مدلی انعطاف‌پذیر را درباره مکان‌یابی ارائه می‌دهد که می‌توان معیارهای مختلف کمی و کیفی را در کنار هم بررسی کرد. اما باید به این نکته توجه کرد که معیارهای انتخاب‌شده در هر یک از مناطق مطالعاتی، از لحاظ در دسترس بودن یا مقرون‌به‌صرفه بودن متفاوت است. بنابراین نمی‌توان یک مدل کلی برای همه مناطق ارائه داد؛ از این رو تلفیق سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمنظوره در GIS باید با در نظر گرفتن معیارهای قابل دسترس باشد.

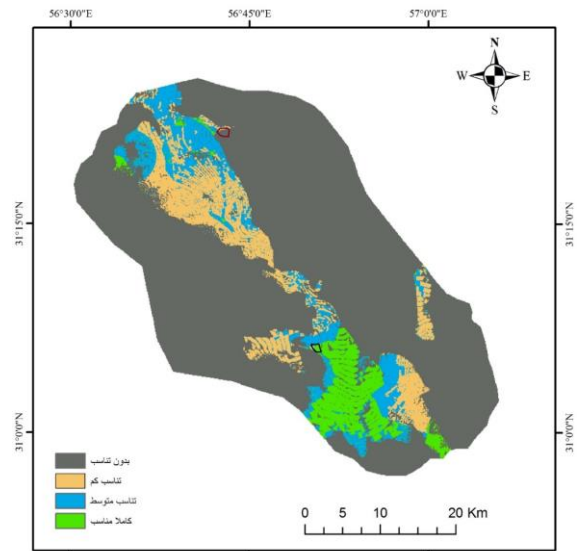
نتایج نشان داد که از بین معیارهای مورد استفاده، بیشترین امتیاز به بارندگی تعلق گرفت؛ درحالی‌که در مطالعه‌ای که یوسفی و همکاران (۲۰۱۵) انجام دادند، این معیار کمترین ارزش را داشته است. دلیل این تفاوت می‌تواند ناشی از تجربه کارشناسان درباره سازه‌های ناموفق در منطقه باشد. با وجود این، نتایج علی‌خصوصی (۲۰۱۰) و الدامت<sup>۱</sup> (۲۰۱۰) درباره معیار بارندگی با تحقیق حاضر تطابق دارد.

پس از معیار بارندگی، معیارهای شیب و شوری خاک

جدول (۱۱): دامنه‌های مناسب و نامناسب برای نقشه بولین

Table (11): Proper and inappropriate domains for Boolean map

معیار	دامنه مناسب	دامنه نامناسب
بارندگی	$mm > 100$	$mm < 100$
شوری خاک	تا $ds/cm < 20000$	$ds/cm > 20000$
شیب	۱-۸ درصد	۰-۱٪ و $> 8\%$
پوشش گیاهی	تراکم کم و متوسط	تراکم زیاد
ژئومورفولوژی	دشت سر‌اپانداژ	سایر واحدها



شکل (۱۱): نقشه تلفیق‌شده تناسب نهایی و بولین

Figure (11): Combined map of final suitability and Boolean

جدول (۱۲): درصد هم‌پوشانی محدوده‌های تناسب با نقشه بولین

Table (12): The percentage overlap of suitability boundaries with Boolean map

محدوده	درصد مساحت در نقشه تناسب نهایی	درصد مساحت در محدوده مناسب نقشه بولین شده	درصد هم‌پوشانی
بدون تناسب	۳۱	۰	۰
بسیار نامناسب	۱۰/۷	۰	۰
تناسب کم	۲۷/۷	۱۰/۵	۳۷
تناسب متوسط	۲۲/۳	۸/۶	۳۸/۴
کاملاً مناسب	۸/۳	۵/۵	۶۵/۸

برای مقایسه پروژه‌های اجرا شده در منطقه با مدل‌سازی انجام‌شده این تحقیق، محدوده‌های موفق و ناموفق از لحاظ استقرار پوشش گیاهی و زادآوری طبیعی گیاهان مشخص شد. نتایج نشان داد که ۶۷/۵ درصد از محدوده سازه‌های موفق هلالی آبیگر در دسته کاملاً مناسب قرار گرفته است،

۱. Al-Adamat

ژئومورفولوژی نیز در این تحقیق بر اساس نوع دشت‌سرها امتیازدهی شد. امتیاز بیشتر دشت‌سر اپانداژ در بین زیرمعیارهای ژئومورفولوژی می‌تواند به دلیل وضعیت دانه‌بندی و شیب مناسب در این دشت‌سر باشد.

نکته شایان ذکر این است که روی هم انداختن اطلاعات در محیط GIS بدون تحلیل و انجام عملیات ارزیابی چندمعیاره نمی‌تواند برنامه‌ریزی و تصمیم‌درستی را ارائه دهد؛ چون اطلاعات گوناگون از جنس متفاوت با واحدهای گوناگون وجود دارد. همچنین وقتی عوامل و معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری دخالت می‌کنند، باید اولویت و وزن آن‌ها نسبت به یکدیگر معین شود؛ یعنی اولویت همه در وزن‌دهی عوامل یکسان نیست. نتایج مدل‌سازی در این تحقیق با نتایج علی‌خصوصی (۲۰۱۰)، یوسفی و همکاران (۲۰۱۵)، گوهری (۲۰۱۵)، کتسلا<sup>۲</sup> (۲۰۰۹) و سینگ و همکاران (۲۰۱۷) همخوانی دارد.

در این تحقیق، فقط نظریات کارشناسان خبره درباره معیارها اعمال شده و بررسی اثر هر یک از عوامل محیطی بر تناسب مکان‌یابی، نیاز به تحقیقات بیشتری در روابط بین این عوامل دارد. در این باره، صادقی (۲۰۱۱) با استفاده از روابط تجربی و عوامل هیدرولوژی و ژئومورفولوژی، پتانسیل تولید رواناب را به منظور مکان‌یابی محل‌های مناسب جمع‌آوری آب بررسی کرد و به این نتیجه رسید که استفاده از سیستم‌های تصمیم‌گیری کارایی بیشتری در تعیین مناطق مناسب دارند.

به ترتیب بیشترین امتیاز را داشتند. شیب سطحی زمین از مهم‌ترین عوامل در عرصه‌های منابع طبیعی است. همان‌گونه که از نتایج نشان داده است، شیب‌های ۳ تا ۸ درصد بیشترین امتیاز را در این معیار به دست آورده‌اند. نتایج این تحقیق با نتایج بالکوک<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۳) و اکبرپور و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد.

اهمیت معیار شوری خاک و بالا بودن امتیاز این معیار می‌تواند به دلیل تأثیر آن در استقرار پوشش گیاهی باشد. همان‌گونه که تحقیقات مختاری و همکاران (۱۳۸۲) درباره گیاه تاغ نشان داد که افزایش شوری به‌ویژه در خاک‌های سطحی، از استقرار نهال گیاه در مراحل اولیه جلوگیری می‌کند و سبب کاهش شادابی گیاه می‌شود. بنابراین با توجه به نتایج حاصل‌شده، هرچه میزان شوری خاک کمتر باشد تناسب آن مکان برای جمع‌آوری آب و استقرار پوشش گیاهی بهتر خواهد بود.

معیارهای پوشش گیاهی، بافت خاک و ژئومورفولوژی به ترتیب در رده‌های بعدی امتیازدهی قرار گرفتند. در معیار پوشش گیاهی، پوشش متوسط امتیاز بیشتری نسبت به سایر زیرمعیارها داشت. می‌توان چنین برداشت کرد مکان‌هایی که پوشش گیاهی کمتری دارند، نیاز به توجه بیشتری از لحاظ تأمین رطوبت و افزایش پوشش دارند. این موضوع با نتایج زرین‌آبادی و واعظی (۲۰۱۶) مطابقت دارد.

بافت خاک در بحث نفوذپذیری خاک و نگهداری رطوبت حائز اهمیت است. بنابراین بافت‌های متوسط تا نیمه‌سنگین تناسب بهتری برای جمع‌آوری آب دارند. عمده خاک منطقه دارای بافت سبک (شنی لومی) است. همان‌گونه که نتایج نشان داد، بافت شن‌رسی لومی امتیاز بیشتری را در بین زیرمعیارها کسب کرده است و عمدتاً در قسمت‌های شمالی منطقه وجود دارد؛ نتایج اکبرپور و همکاران (۲۰۱۵) این نتیجه را تأیید می‌کند. با وجود اینکه بافت خاک و شیب در این قسمت‌ها تناسب خوبی دارد، امتیاز بسیار پایین معیارهای بارندگی و شوری خاک، این قسمت را در محدوده بسیار نامناسب در نقشه نهایی تناسب قرار داده است. معیار

1. Abdollahi, V., Zolfaghari, F., Jabbari, M., Dehghan, M., Rafie, M., 2015. Investigating the Effect of Crescent Construction on Some Parameters of Vegetation and Soil in Saravan Rangelands (Sistan and Baluchestan Province). *Iranian Range and Desert Research*. 22(4), 675-667.
2. Adham, A., Riksen, M., Ouessar, M. and Ritsema, C. 2016. Identification of suitable sites for rainwater harvesting structures in arid and semi-arid regions: A review. *International Soil and Water Conservation Research*, 4(2), 108-120.
3. Akbarpur, A., Khashei Sivaki, A., Forughifar, H., 2015. Determination of suitable sites for rainwater harvesting for use in agricultural using the AHP model (Case study: Birjand Basin). *Watershed management*, 6, 65-74.
4. Al-Adamat, R., Diabat, A. and Shatnawi, G. 2010. Combining GIS with multicriteria decision making for siting water harvesting ponds in Northern Jordan. *Journal of Arid Environments*, 74(11), 1471-1477.
5. Ali Khassi, A., 2010. Locating susceptible areas for collecting rainwater in Tehran province using GIS. M.Sc. thesis, Tarbiat Modarres University
6. Asgharpur, M., 2011. Multi-criteria decisions. Tehran University Press. Tehran, Iran.
7. Bulcock, L. and Jewitt, G. 2013. "Key physical characteristics used to assess water harvesting suitability". *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 66, 89-100.
8. Gowhari, M., 2015. Location artificial feeding of aquifer using multivariate decision making techniques in GIS. M.Sc. thesis, Isfahan Industrial University
9. Jaafari, M., Azarnivand, H., Sarvari, M., Mahdavi, S., KH., 2014. Location of Peating and Farwin Project with the help of the Decision-Making System (Case Study: Kermanshah Province).. *Iranian Range and Desert Research*, 21
10. Ketsela, G.M. 2009. Identification of potential rainwater harvesting areas in the central rift valley of Ethiopia using GIS-based approach. Master of Science Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
11. Kumar, M.G., Agarwal, A. and Bali, R. 2008. Delineation of potential sites for water harvesting structures using remote sensing and GIS. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 36(4), 323-334.
12. Maia, R. and Schumann, A.H. 2007. DSS application to the development of water management strategies in Ribeiras do Algarve River Basin. *Water resources management*, 21(5), 897-907.
13. Makhdoum, M. F., Darvishsefat, A., Jaafarzadeh, M., Makhdoum, A., 2008. Environmental evaluation and planning by geographic information system. University of Tehran press.
14. Malczewski, J., 2010. Multiple criteria decision analysis and geographic information systems, *Trends in multiple criteria decision analysis*. Springer, pp. 369-395.
15. Mokhtari, K., Khajaddin, S., Khademi, H., 2003. The relationship between the growth of the *Haloxylon persicum* and the soil characteristics in the Abu Zaidabad area of Kashan. *Proceedings of the first National Conference on Haloxylon and Potassium in Iran*, First Edition, Forestry and Plant Organization, pp. 153.
16. Nazarian, S., Najafinejad, A., Naderi, N., 2015. Spatial Assessment of Surface Water Capture Capacity in Aghamam Watershed Golestan Province. *Water and Soil (Science and Technology of Agriculture)* 29, 1-11.
17. Rockström, J., Karlberg, L., Wani, S.P., Barron, J., Hatibu, N., Oweis, T., Bruggeman, A., Farahani, J. and Qiang, Z. 2010. Managing water in rainfed agriculture: The need for a paradigm shift. *Agricultural Water Management*. 97 (4), 543-550
18. Sadeghi, Sh., Akbarpur, A., Forughifar, H., Shahidi, A., 2011. Determination of areas susceptible to rainwater harvesting based on runoff production capacity in the basin and using the GIS-based DSS Decision Support System (Case Study: Birjand Plain). *Eleventh General Irrigation Seminar and Reduction of Evapotranspiration*.
19. Sarvari, V., 2016. Locating areas susceptible to rainwater harvesting for wildlife using GIS (Case Study of Bemo National Park). M.Sc. Thesis, University of Gilan.
20. Singh, L.K., Jha, M.K. and Chowdary, V. 2017. Multi-criteria analysis and GIS modeling for identifying prospective water harvesting and artificial recharge sites for sustainable water supply. *Journal of Cleaner Production*, 142, 1436-1456.
21. Tabatabaeei Yazdi, J., Davoudi, K., Raouf, Y., 2007. Economic Analysis of Rainfall

- Extraction Methods for Agricultural Use (Case Study: North Khorasan Natural Resources Research Station). Sixth Iranian Agriculture Economics Conference
22. Yusofi, M., Nurmohammadi, S., Meamarian, H., 2015. Assessing the potential of water harvesting in arid and semi arid areas of the waters using a multi-criteria hierarchical decision making method (case study: Sarab watershed, Khoshab , Khorasan Razavi province). *Systems of rainwater inclination*. 3(3), 59-72.
23. Zarrin Abadi, A., Vaezi, A., R., 2016. Runoff and soil loss in poorly covered rangelands affected by land use change and plowing direction. *Iran Water and Soil Research*, 47 (1). 87-98.

## Application of multi-criteria decision-making methods in identifying suitable points for rainwater harvesting

Mohsen Nowruzzadeh<sup>۱</sup>, Mohammad-Javad Ghanei-Bafghi<sup>\*۲</sup>, Mahdi Tazeh<sup>۳</sup>

Received: 02/03/2018

Accepted: 27/10/2018

### Extended abstract

**Introduction:** Deficit of rainfall and consequently, water scarcity is one of the most important problems in arid and semi-arid areas. Water collecting structures have a positive effect on light textured lands due to deposition of clay and organic matter, as well as controlling the floods will enhance the vegetation (Abdollahi et al., 2015). Water Collection in order to store surface water runoff, especially during periods where water availability is limited, is an appropriate option in dry areas (Nazarian and Najafinejad, 2015). Due to the numerous criteria and indicators (such as geomorphology, climate, soil, vegetation etc.) in choosing the type of efficient operation and the most suitable areas for their design and implementation, it is practically difficult to select the correct operation with the expected accuracy (Mia and Skumann 2007); Therefore, one of the most important and essential steps in the application of rainwater collection systems is to identify suitable sites for the implementation of these projects.

A general overview of resources shows that collecting and storing rain water in arid areas is one of the best techniques for managing and using rainwater and it is a suitable method to provide the required water in arid and semi-arid areas. Rain water collection requires a spatial assessment and hydrological studies of surface and ground water (Nazarian et al. 2015). The main purpose of this research is to determine the most important criteria for locating suitable areas for rainwater harvesting as well as mapping these locations.

**Materials and methods:** In this research, based on the results of completed questionnaires from experts, as well as by referring to the research background in this field, to select appropriate areas for collecting water, slope criteria, rainfall, vegetation, salinity, soil texture and Geomorphology were considered as main criterias. Layers were classified in the ArcGIS software. For weighting the criteria, using the AHP technique, matrixes of paired comparisons were created and using the expert opinion, the value of each criterion was determined and the results were entered into the Super Decision software. Land suitability map was made by combining layers. and the map was compared with the Boolean map. In order to verify the accuracy of the results, Land suitability map was compared with a map of successful and unsuccessful executives' work in the.

**Results:** The final suitability map was obtained as follows. The map is divided into four classes, perfectly

۱. MSc Student of Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University

۲. Assistant Professor of Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, mjghaneib@Ardakan.ac.ir

۳. Assistant Professor of Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University

suitable, appropriate, slightly suitable and very inappropriate. the area of each of these categories listed in Table 1.

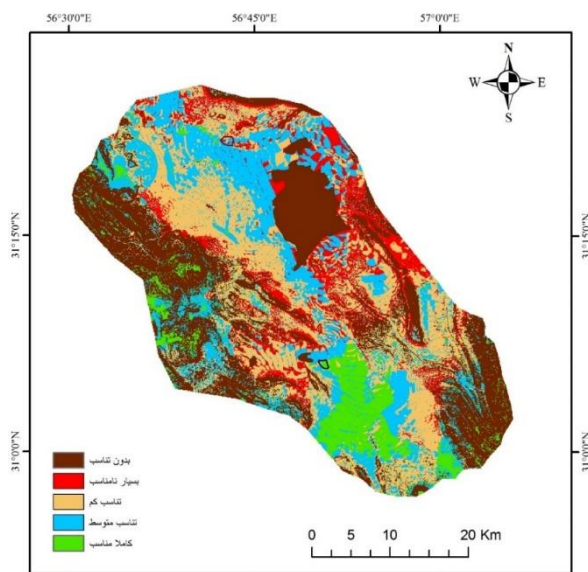


Figure (1): Final suitability map

Table (1): Area of each category of suitability

	Area (ha)	Present area
inappropriate	53154	31
very inappropriate	18288	10.7
slightly suitable	47474	27.7
appropriate	38144	22.3
perfectly suitable	14324	8.3

Comparison of implemented projects in the region with modeling shows that 67.5% of the successful structures are in perfectly suitable range, while unsuccessful structures do not have any overlaps with a perfectly suitable range.

**Discussion and conclusion:** In this research, using AHP, areas were zoned for the implementation of rainwater harvesting projects. The results showed that among the used criteria, the highest score was attributed to rainfall. While this criterion had the lowest value in the study conducted by Yousefi et al. (2015). The reason for this difference can be due to experts' experience of unsuccessful structures in the region. Nevertheless, the results of Ali Kasi (2010) and Al-Adamat (2010) regarding the rainfall criterion are consistent with the present research. After rainfall, the criteria for gradient and salinity were the highest scores respectively. The results showed that slopes of 3 to 8 percent achieved the highest score. The results of this study are consistent with the results of Bulcock et al. (2013) and Akbarpour et al. (2015).

Vegetation, soil texture and geomorphology criteria were ranked in subsequent grades, respectively. Places with less vegetation require more attention in terms of providing moisture and increasing coverage. This is in line with the results of Zarrin Abadi and Vaezi (2016). Medium to semi-heavy soil texture has a better suitability for rain water collection. Results showed that, sandy clay loam texture had had the highest score among the sub-criteria. This texture appears mainly in the northern parts of the region, and the results of Akbarpour et al. (2015) confirmed this result.

Between geomorphology criteria Epanage pediments had the highest score due to suitable slope and grading. The important point is that overlapping information in the GIS without analyzing and performing multi-criteria evaluation operations cannot provide the right planning and decision. Also, when different factors interfere in decision making, their priorities and weights should be determined. Results of modeling in this research is consistent with the results of Ali Khasi (2010), Yousefi et al. (2015), Gohari (2015), Ketsela (2009) and Singh et al. (2017).

**Keywords:** Locating, Collecting water, Multi-criteria decision making, Water harvesting.