

پهنه‌بندی عرصه‌های مناسب برای استحصال رواناب با استفاده از AHP و GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سمبور چای استان اردبیل)

اباذر اسمعلی عوری^۱
محمد گلشن^۲
کمیل خورشیدی میانایی^۳

چکیده

جمع‌آوری آب باران، با اهداف و انگیزه‌های گوناگونی صورت می‌گیرد که هدف اصلی آن، بهینه‌سازی و مدیریت بهره‌برداری از آب باران بر اساس نیاز و مصرف می‌باشد. حوضه آبخیز سمبور چای با مساحت ۷۴۸۳۰ هکتار در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران در استان اردبیل واقع شده است. در این تحقیق به منظور تعیین مناطق مستعد برای استحصال رواناب از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS استفاده شد. بدین منظور نقشه مناطق مستعد استحصال آب با به کارگیری مفهوم سطح منبع متغیر بر اساس حجم آب قابل استحصال و از طریق مدل AHP تهیه شد. پس از وزن‌دهی به پارامترهای شدت بارش نیم ساعته با دوره بازگشت ۱۰ سال، شدت بارش یک ساعته با دوره بازگشت ۲ سال، بارش متوسط سالانه، NDVI، متوسط شیب، نفوذپذیری خاک، سنگ‌شناسی سطحی و دما و مشخص شدن تاثیر آن‌ها، عرصه‌های مناسب و نامناسب برای استحصال رواناب مشخص شد. نتایج نشان داد که زیرحوضه‌های واقع در قسمت شمالی منطقه با دارا بودن مساحت بالادست بیش‌تر و دبی پیک ۷ تا ۲۱ متر مکعب بر ثانیه، زمان تمرکز بالای ۱۲۰

۱- دانشیار رشته آبخیزداری، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده فناوری سوسورری و مبع صبیعی

۲- دانشجو دکتری رشته آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (نویسنده مسئول)

Email: golshan.mohammad@yahoo.com

۳- کارشناس ارشد رشته مرتعداری، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی

دقیقه، دمای متوسط بیش‌تر از ۱۳ درجه سانتی‌گراد، شاخص NDVI منفی و ارتفاع رواناب سالانه ۷ سانتی‌متر بیش‌ترین پتانسیل تولید رواناب را دارند.

واژگان کلیدی: رواناب، دوره بازگشت، اولویت‌بندی، تناسب اراضی، سمبورچای.

مقدمه

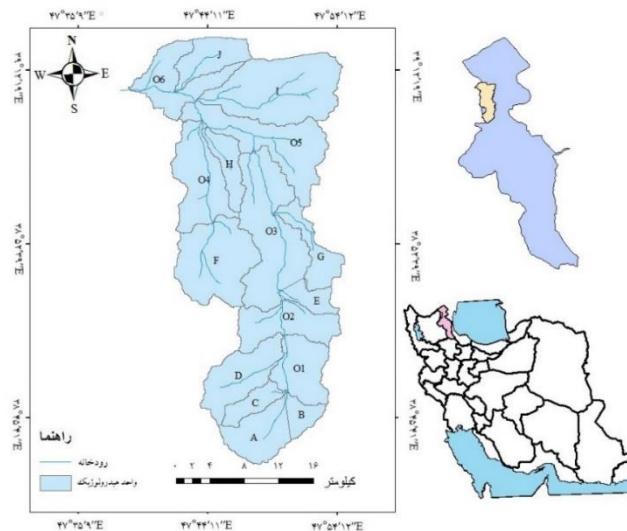
جمع‌آوری آب باران، با اهداف و انگیزه‌های گوناگونی صورت می‌گیرد که هدف اصلی آن، بهینه‌سازی و مدیریت بهره‌برداری از آب باران بر اساس نیاز و مصرف است. هر جامعه و هر کشوری که در این زمینه قدم‌های بزرگ‌تر و مؤثرتری بردارد، موفق‌تر خواهد بود (طهماسبی و رجیبی‌ثانی، ۱۳۸۵: ۳). ایران در منطقه‌ای واقع شده است که متوسط بارندگی سالانه آن کم‌تر از یک سوم میزان بارندگی سالیانه جهان است و میزان آن ۲۵۰ میلی‌متر گزارش شده است (کردوانی و رحمانی، ۱۳۹۱: ۲؛ رحیمی و موسوی، ۱۳۹۲: ۱۴۲). استحصال آب عبارتست از جمع‌آوری و ذخیره نمودن بارش در زمینی که در آن به‌منظور افزایش رواناب تغییراتی اعمال شده است (Myers، ۱۹۶۴: ۹؛ Courier، ۱۹۷۳: ۶). استحصال آب از بارندگی‌های خیلی کم و هم‌چنین ذخیره کردن آب جمع‌آوری شده در یک منبع، از مزایای روش جمع‌آوری رواناب به شمار می‌آید (پیترسون، ۱۳۶۶: ۲۲). برخی دیگر استفاده از این روش را یک فن‌آوری کوچک مقیاس اقتصادی و کاربردی می‌دانند که در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌طور معنی‌داری به حفظ طبیعت و اکولوژی کمک می‌کند (Andrew، ۲۰۰۰: ۱۸). رواناب وقتی که در مخازن ذخیره‌ای جمع می‌شود، به‌عنوان منبع آبی برای مناطق پایین‌دست یا مصارف محلی، صنعتی و کشاورزی در خارج از حوضه آبخیز قابلیت استفاده را دارد. به‌علاوه افت سطح ایستایی را تا حدودی جبران می‌کند. رواناب به دلیل اینکه موجب شروع فرسایش، انتقال رسوب و مواد حل‌شده در درون رودخانه یا سد می‌شود بیش‌ترین آلودگی وارد شده به مسیر آب را تولید می‌نماید (طهماسبی و رجیبی‌ثانی، ۱۳۸۵: ۷۸). در عصر حاضر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) قابلیت پردازش ساختارهایی برای جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، تحلیل و تبدیل داده‌های مکانی و زمانی را به‌منظور اهداف خاص دارا می‌باشد (Coskun

and Musaoglu, ۲۰۰۴: ۲۵). همچنین روش مقایسه دو به دو یا مدل AHP دارای قابلیت استفاده از نرم‌افزار مبتنی بر GIS می‌باشد که دارای دقت و سهولت بالایی می‌باشد (خورشیددوست و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۴۹). در پژوهشی Mbilinyi و همکاران (۲۰۰۷) با روش AHP مناطق مستعد برای جمع‌آوری آب باران را مکان‌یابی و مناطق مناسب برای استحصال رواناب در منطقه کلیمانجاروی تانزانیا را مشخص کردند. همچنین Mwenge و همکاران (۲۰۰۷) جمع‌آوری آب باران و آبیاری تکمیلی را به‌منظور افزایش بهره‌وری کشاورزی وابسته به باران در مناطق نیمه‌خشک زیمباوه را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که استحصال رواناب باعث افزایش تولید محصول از ۱/۷۵ کیلوگرم در مترمکعب به ۲/۳ کیلوگرم در مترمکعب می‌شود. Shrififi (۲۰۱۴) با استفاده از سیستم سنجش از دور (RS) و GIS مکان‌یابی عرصه‌های مناسب برای استحصال رواناب حاصل از آب باران را در مصر انجام داد و پهنه‌های مناسب برای استحصال رواناب را در این منطقه مشخص کرد. همچنین می‌توان به مطالعات Curriero و همکاران (۲۰۱۱) و Khaldi و همکاران (۲۰۱۱) در خارج از کشور اشاره کرد. همچنین در مطالعات داخل کشور طهماسبی و رجیبی‌ثانی (۱۳۸۵) در حوضه سد لتیان، روش جمع‌آوری آب باران در مناطق خشک و نیمه‌خشک را به‌منظور تهیه نیاز آبی گیاهان بررسی کردند و نتایج نشان داد که با این روش می‌توان در این مناطق به کشت گیاهان اقدام کرد. سلیمانی و همکاران (۱۳۹۳) از روش AHP و GIS برای مکان‌یابی عرصه‌های مناسب جهت ایجاد مزارع بادی استفاده کردند و با توجه به نقشه به‌دست آمده، پهنه‌های مناسب را تعیین کردند. همچنین در مطالعه‌ای فرجی (۱۳۸۴) این روش را در مکان‌یابی خدمات بازرگانی مورد استفاده قرار داد.

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز سمبورچای با مساحت ۷۴۸/۳ کیلومترمربع بین ۳۸° ۴۷ تا ۵۴° ۴۷ طول شرقی و ۴۲° ۳۸ تا ۴۸° ۳۹ عرض شمالی در شمال استان اردبیل واقع شده است (شکل ۱).

حداکثر ارتفاع حوضه آبخیز ۲۲۱۲ متر و حداقل ارتفاع آن ۳۰۶ متر می‌باشد. رواناب حاصل از این زیرحوضه پس از پیوستن به رودخانه ارس به دریای خزر وارد می‌شود.



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه و واحدهای هیدرولوژیک

مواد و روش‌ها

آگاهی از انواع کاربری‌های سطح زمین و فعالیت‌های انسانی در قسمت‌های مختلف و به بیان دیگر نحوه استفاده از اراضی جهت مدیریت و برنامه‌ریزی حوضه آبخیز حائز اهمیت می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و با کمک گرفتن از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، نقشه کاربری اراضی تهیه شد.

شکل حوضه آبخیز از پارامترهای مؤثر در استحصال رواناب می‌باشد (اسمعی و عبدالهی، ۱۳۹۱: ۴۴). روش گراویلیوس یکی از پرکاربردترین روش‌ها جهت تعیین شکل حوضه می‌باشد (نصرتی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۴):

$$C = \frac{0.28 \times P}{\sqrt{A}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن: C، ضریب گراویلیوس؛ P، محیط حوضه به کیلومتر؛ A، مساحت حوضه به کیلومتر مربع می‌باشد.

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در تحویل و پیدایش رواناب اثر داشته لذا در محاسبات مربوط به هرز آب باید مورد نظر قرار گیرد (Shrifi، ۲۰۱۴: ۳). برای منحنی تغییرات سرعت یا شدت نفوذ نسبت به زمان ابتدا با استفاده از عملیات میدانی و استفاده از استوانه مضاعف تغییرات سرعت نفوذ در طی زمان به دست آمد، سپس با استفاده از فرمول هورتون سرعت نفوذ محاسبه شد:

$$f = f_c + (f_o - f_c)e^{-kt} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که r آن: f، سرعت نفوذ در هر لحظه؛ f_o ، سرعت نفوذ در ابتدای زمان؛ f_c ، سرعت نفوذ نهایی، وقتی که نفوذ تقریباً ثابت شده باشد؛ k، عدد ثابتی که بسته به نوع خاک متغیر است؛ t، زمان از شروع نفوذ می‌باشد (Chow و همکاران، ۱۹۹۸: ۱۰۸).

نقشه شاخص پوشش گیاهی تهیه شده برای منطقه، از طریق رابطه زیر محاسبه شد که این کار از طریق GIS و با استفاده از الگوریتم NDVI و با استفاده از باندهای ۳ و ۴ لندست ETM^+ ، در محیط نرم‌افزار Arc GIS 9.3 انجام شده است.

$$NDVI = \frac{ETM^{+4} - ETM^{+3}}{ETM^{+4} + ETM^{+3}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن ETM^{+3} و ETM^{+4} به ترتیب مربوط به باندهای ۳ و ۴ تصاویر ماهواره می‌باشد.

زمین‌شناسی یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها برای تعیین مناطق مناسب جهت استحصال رواناب بوده و حتی در مرحله شناخت اولیه به واسطه آن محل مورد نظر انتخاب می‌شود. از

مهم‌ترین مشخصات مناطق استحصال رواناب وجود خصوصیات زمین‌شناسی مناسب برای ایجاد رواناب می‌باشد، نقشه زمین‌شناسی تهیه شده دارای ۲۵ نوع سنگ‌شناسی سطحی است. در منطقه مورد تحقیق، مقدار بارش سالانه تحت تأثیر ارتفاع از سطح دریا، فصول مختلف سال و توپوگرافی منطقه می‌باشد. در بررسی مقدار و وضعیت بارش منطقه، از ایستگاه‌های اطراف حوضه آبخیز استفاده شد (جدول ۱).

جدول (۱) میانگین بارندگی سالانه ایستگاه‌های باران‌سنجی (برحسب میلی‌متر)

جعفرآباد مرادلو	جعفرلو	قوشه	قره‌خان گرمی	به‌رزند	انگوت	مشگین	پارس‌آباد	اردبیل
۲۷۲/۸	۳۰۴/۹	۲۵۸/۸	۲۹۶/۶	۳۵۳/۳	۳۴۴	۳۱۹/۴	۳۵۳/۶	۲۶۵/۶
۲۷۷/۴								۲۷۸/۶

با بررسی آمار درجه حرارت ایستگاه‌های مشاهداتی، مشابه روش تهیه مدل رقومی بارش با استفاده از رابطه ارتفاع (H) و درجه حرارت (T) معادله گرادیان دمای متوسط سالانه تهیه شد و مدل رقومی درجه حرارت منطقه با قرار دادن مقدار H در معادله به‌دست آمد.

مقدار بارندگی یک متغیر تصادفی بوده و می‌توان داده‌های موجود را بررسی و طبق قوانین توزیع آماری هنگامی که برازش مناسب وجود داشته باشد، حداکثر یا حداقل بارندگی را با دوره بازگشت مورد نظر تعیین نمود. فرم کلی معادلات مورد استفاده معمولاً به‌صورت زیر است (علیزاده، ۱۳۸۳: ۷۹۹):

$$PT = \bar{P} + K.S \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن: PT، حداکثر و یا حداقل بارندگی با دوره بازگشت معین؛ T، سال؛ \bar{P} ، میانگین بارندگی؛ K، ضریب فراوانی؛ S، انحراف معیار داده‌ها می‌باشد.

در منطقه تحقیق، با استفاده از برنامه SMADA توزیع گمبل نوع II برای محاسبه مقادیر حداکثر بارش ۲۴ ساعته در دوره بازگشت‌های ۲ و ۱۰ ساله تعیین شد. با بررسی‌های

انجام شده روی منحنی‌های شدت، مدت و فراوانی، فرمول‌های تجربی متعددی ارائه شده که در این تحقیق از فرمول قهرمان استفاده شد (قهرمان و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۳۸).

$$P_{10}^{60} = e^{0.8153 X_1^{1.1374} X_2^{-0.3072}} \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن: X_1 ، متوسط حداکثر بارش ۲۴ ساعته بر حسب میلی‌متر؛ X_2 ، متوسط بارش سالانه منطقه بر حسب میلی‌متر می‌باشد. بنابراین با داشتن مقدار P_{10}^{60} می‌توان مقدار P_T^t (مقدار بارش در زمان و دوره بازگشت‌های مختلف) و سپس شدت باران t دقیقه‌ای را با دوره بازگشت T سال محاسبه کرده و منحنی شدت، مدت و فراوانی را رسم کرد.

$$P_T^t = [0.4524 + 0.247 \ln(T - 0.6)](0.3710 + 0.6184t - 0.4484)P_{10}^{60} \quad \text{رابطه (۶)}$$

شدت بارندگی (I) نیز عبارتست از نسبت بارندگی (P) به زمان (T) یعنی:

$$I = \frac{P}{T} \quad \text{رابطه (۷)}$$

برای برآورد رواناب حاصل از شدت بارش‌های نیم ساعته ($P_{.5}$) و یک ساعته (P_1) با دوره بازگشت‌های ۲ و ۱۰ سال، ابتدا نقشه شدت بارش نیم ساعته و یک ساعته را با دوره بازگشت ۲ و ۱۰ سال و نقشه سرعت ثابت نفوذ خاک را تهیه کرده و در محیط نرم‌افزار Arc GIS اختلاف آن‌ها را به دست می‌آوریم. برای تعیین میزان رواناب حاصل از شدت بارش در هر واحد کاری نقشه رواناب حاصل از شدت بارش را با نقشه واحد کاری قطع داده تا میزان رواناب در هر واحد کاری تعیین شود.

مشکل اساسی در مورد برآورد آبدهی حوضه‌های آبخیز نبود ایستگاه آب‌سنجی در خروجی حوضه می‌باشد. بدین منظور از رابطه جاستین استفاده شد:

$$R = 0.2845^{0.155} \frac{P^2}{1.87 + 32} \quad \text{رابطه (۸)}$$

که در آن: R ، رواناب سالانه به سانتی‌متر؛ S شیب متوسط حوضه (درصد)؛ P ، بارندگی متوسط سالانه به سانتی‌متر؛ T ، دمای متوسط سالانه به سانتی‌گراد می‌باشد.

برای تعیین مقادیر متوسط بارش و متوسط دما در حوضه مورد نظر از نتایج مطالعات هواشناسی حوضه استفاده شد که بر اساس روابط زیر تعیین شدند.

$$T = -0.003H + 15.14, R^2 = 0.824 \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$P = 0.050H + 275.2, R^2 = 0.625 \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

برای برآورد رواناب فصلی، ابتدا با روش جاستین ارتفاع رواناب سالانه در هر زیرحوضه و سپس متوسط بارش فصلی محاسبه شد و سهم آن از بارش کل به درصد تعیین شد.

برای محاسبه زمان تمرکز از روش برانسی- ویلیامز (رابطه ۱۱) و برای محاسبه زمان تمرکز در زیرحوضه‌ها از روش کریچ (رابطه ۱۲) استفاده شد.

$$T_C = \frac{L}{1.4D} \sqrt[5]{\frac{M^2}{F}} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

$$TC = 0.0195L^{0.77}S^{-0.385} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

که در آن: TC، زمان تمرکز بر حسب دقیقه؛ L، طول آبراهه اصلی به متر؛ S، شیب متوسط آبراهه بر حسب متر بر متر می‌باشد.

ارزیابی مقدار دبی اوج رودخانه برای جمع‌آوری آب رواناب روش شناخته شده است (Curriero و همکاران، ۲۰۱۱: ۲؛ Khaldi و همکاران، ۲۰۱۱: ۴). در این تحقیق برای برآورد دبی اوج سیل از رابطه تجربی دیکن استفاده شد که در آن QP، دبی پیک سیلاب به مترمکعب بر ثانیه؛ C، ضریب حوضه؛ A، مساحت حوضه به کیلومتر مربع می‌باشد.

$$Q_p = CA^{0.7} \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

تحلیل وزنی پارامترها از کاربردی‌ترین مدل‌های تحلیل و ارزیابی برای تصمیم‌گیری می‌باشد. در این روش وزن و اهمیت نسبی هر یک از عوامل S1 تا Sm قبلاً تعیین شده و

با احتساب وزن مربوطه در شماره طبقه، پارامترهای نسبتاً موزون برای تلفیق جمع امتیازات حاصل می‌شود. W_1 تا W_m وزن عوامل m گانه برای هر یک از پلیگون‌ها است:

$$P = W_1S_1 + W_2S_2 + W_3S_3 + \dots + W_mS_m \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

روش مقایسه زوجی از طریق روش ساعتی (۱۹۸۰) توسعه داده شده و در آن عمدتاً از ارزش سلسله مراتبی تحلیلی AHP برای تشکیل آرایه مورد نیاز استفاده می‌شود (سلیمانی و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۳). در این پژوهش برای تعیین اراضی مناسب برای استحصال رواناب هشت پارامتر شدت بارش نیم ساعته با دوره بازگشت ۱۰ سال، شدت بارش یک ساعته با دوره بازگشت ۲ سال، بارش متوسط سالانه، شاخص NDVI، متوسط شیب، نفوذپذیری خاک، سنگ‌شناسی سطحی و دما مد نظر قرار گرفته است.

فاکتورهای تأثیرگذار بر رواناب شامل متوسط شیب، مساحت، ضریب گراویلیوس، بارش متوسط سالانه، دمای متوسط سالانه، طول آبراهه اصلی، زمان تمرکز، شاخص NDVI، شدت بارش‌های یک ساعته و نیم ساعته با دوره بازگشت ۲ سال و ۱۰ سال، نفوذپذیری خاک، نفوذپذیری سنگ‌شناسی سطحی می‌باشد که برای تعیین اولویت و اهمیت داده‌های تأثیر گذار بر رواناب ابتدا از طریق نرم‌افزار SPSS16 میزان همبستگی پارامترها در سطح یک درصد و پنج درصد برآورد شد و سپس نوع رابطه رگرسیونی هر یک از پارامترها در نرم افزار Excel به دست آمد.

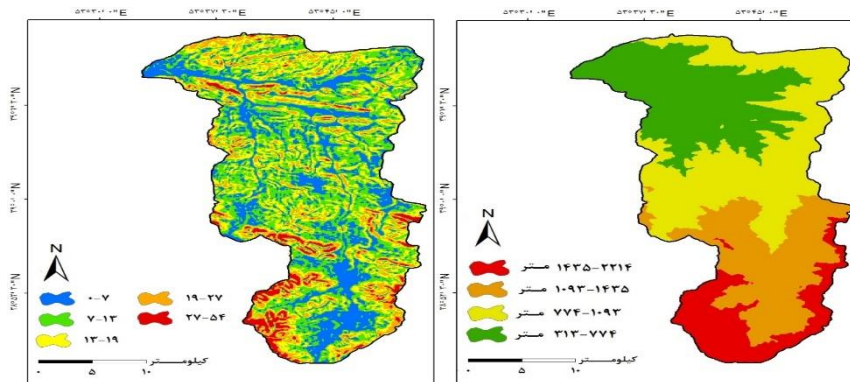
یافته‌ها و بحث

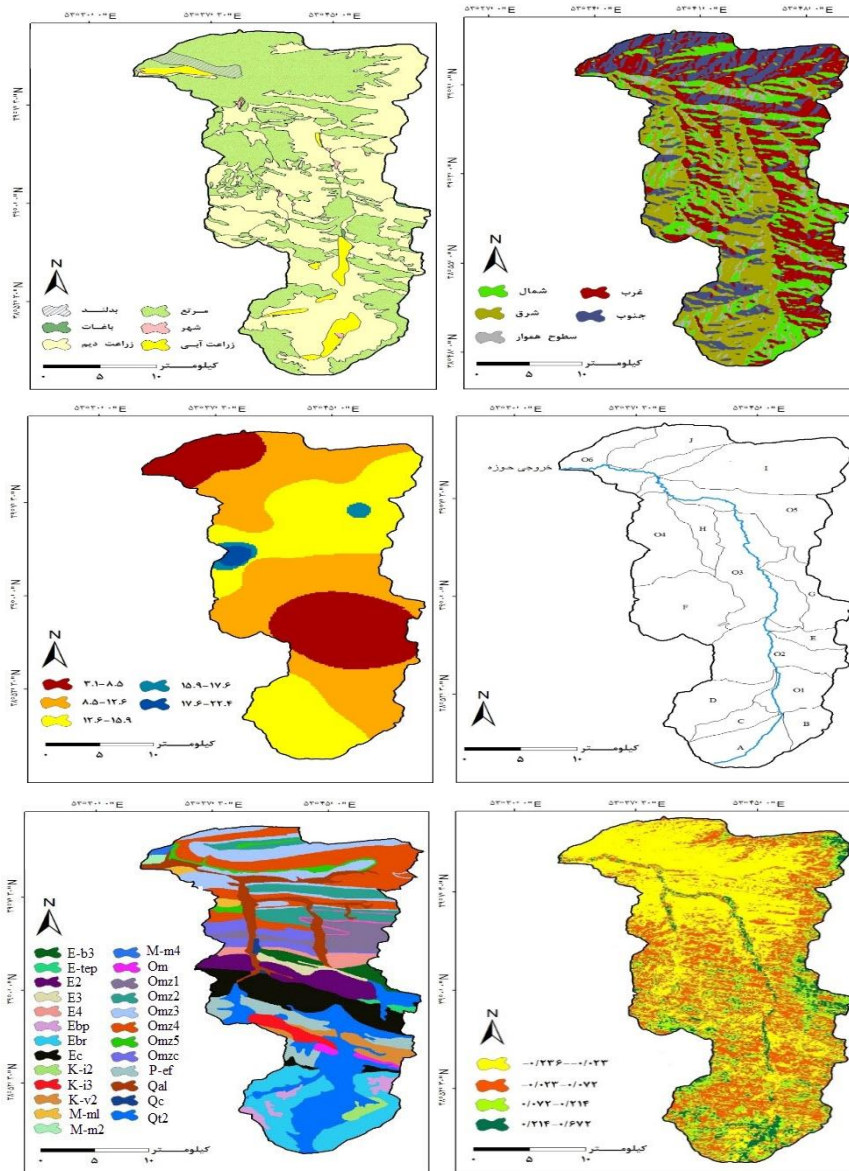
با توجه به وضعیت توپوگرافی و شبکه آبراهه‌های موجود در منطقه و نیز تأمین اهداف مورد مطالعه در بخش آبخیزداری و فقدان یک خروجی واحد، ۱۶ واحد هیدرولوژیک به دست آمد.

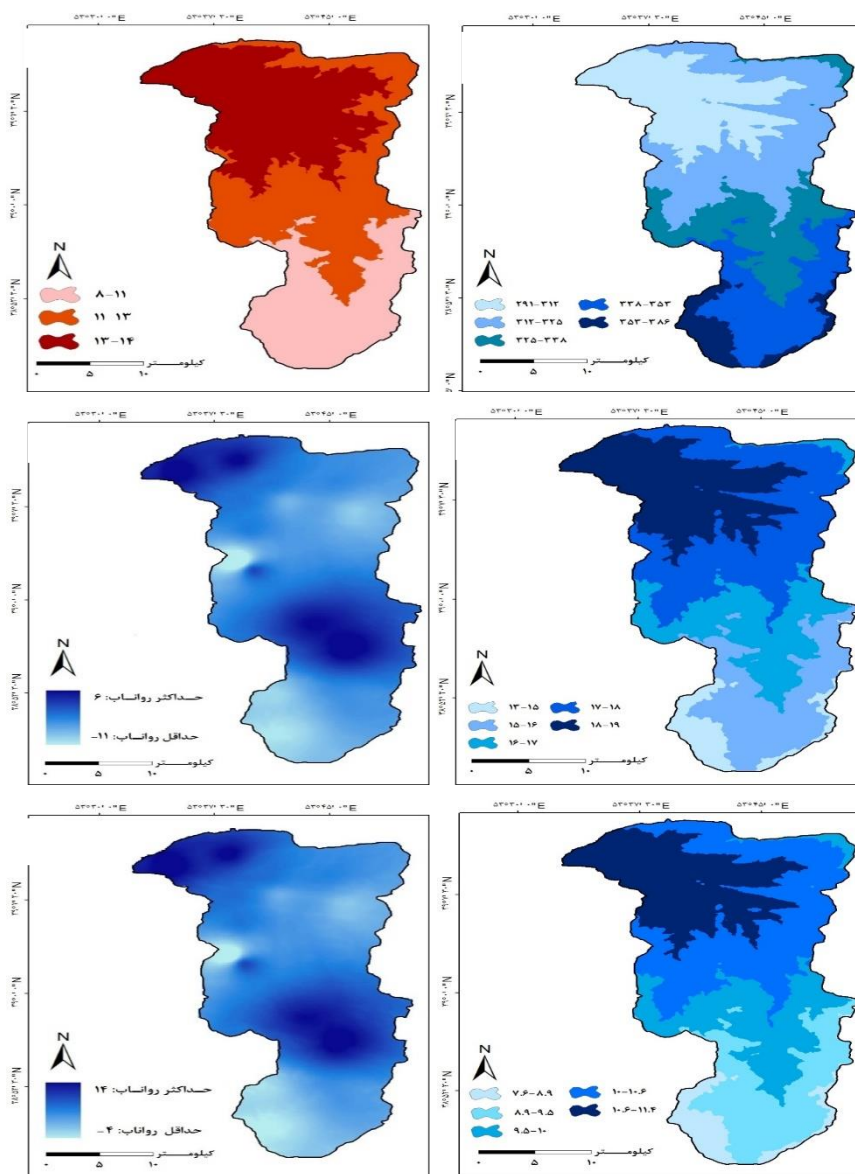
فاکتورها و معیارهای گوناگونی برای مکان‌یابی عرصه‌های مناسب برای استحصال رواناب وجود دارد (شکل ۲). در این پژوهش از قابلیت تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر GIS برای ارزیابی تناسب اراضی جهت مکان‌یابی عرصه‌های مناسب برای استحصال رواناب استفاده شد.

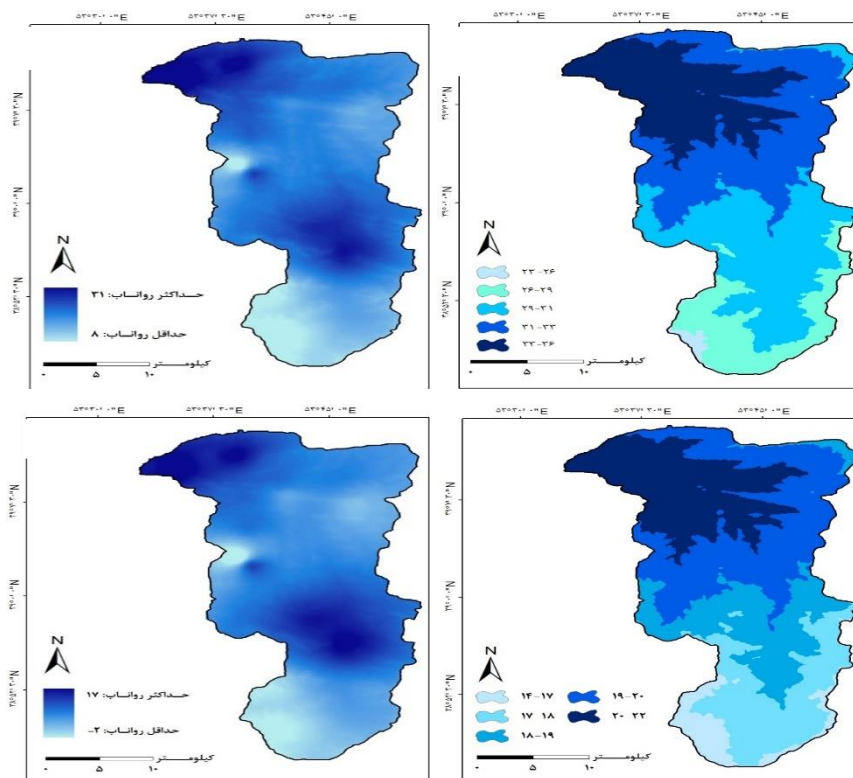
جدول (۲) مقادیر پارامترهای محاسبه شده در واحدهای هیدرولوژیک

زیرحوضه	A	B	C	D	O ₁	E	O ₂	F
مساحت (KM ²)	۴۲/۳۵	۱۶/۹۹	۱۶/۱۱	۴۱/۹۳	۳۰/۵۲	۱۲/۴۴	۶۶/۱۶	۷۴/۶۸
متوسط ارتفاع	۱۵۳۲	۱۴۷۰	۱۵۰۶	۱۵۵۱	۱۳۶۵	۱۳۰۳	۱۲۵۸	۱۰۵۱
شیب	۱۲/۳۸	۱۳/۰۵	۱۲/۳۴	۱۸/۳۵	۱۳/۷۸	۱۲/۹۹	۱۲/۶۲	۱۲/۳۳
درجه حرارت	۱۰/۶	۱۳/۰۵	۱۲/۳۴	۱۸/۳۵	۱۳/۷۸	۱۲/۹۹	۱۲/۶۲	۱۲/۳۳
دبی پیک سیلاب	۱۱/۶۲	۵/۸۵	۵/۶۲	۱۱/۵۳	۹/۰۸	۴/۶۳	۱۶/۲۳	۱۷/۷۸
ضریب گراویلیوس	۱/۱۶	۱/۲۵	۱/۵	۱/۴۹	۱/۲۱	۱/۴۵	۱/۵۸	۱/۲۵
سرعت ثابت نفوذ	۱۴/۱۵	۱۱/۱۸	۱۴/۱۲	۱۴	۱۰/۶۴	۶/۰۵	۶/۷۹	۱۰
بارش سالانه	۳۵۱/۸	۳۴۸/۷	۳۵۰/۵	۳۵۲/۷	۳۴۳/۹	۳۴۰/۳	۳۳۸/۱	۳۲۷/۷
زیرحوضه	G	O ₃	H	O ₄	O ₅	I	O ₆	J
مساحت (KM ²)	۳۱/۵۸	۸۵/۷۶	۲۱/۶۷	۵۸/۵۶	۷۰/۲۵	۹۵/۸۸	۴۶/۳۸	۳۶/۶۹
متوسط ارتفاع	۱۱۴۶	۹۲۶	۷۱۳	۷۵۵	۷۵۰	۷۹۳	۵۵۶	۷۰۱
شیب	۱۲/۲	۱۰/۹	۱۰/۱۱	۱۱/۴۳	۱۱/۷۲	۱۱/۸۱	۱۲/۰۲	۱۳/۶۹
دبی پیک سیلاب	۹/۳۵	۱۹/۷۲	۷/۰۳	۱۴/۸۱	۱۶/۹۸	۲۱/۴۴	۱۲/۴۴	۱۰/۴۳
درجه حرارت	۱۲/۲	۱۰/۹	۱۰/۱۱	۱۱/۴۳	۱۱/۷۲	۱۱/۸۱	۱۲/۰۲	۱۳/۶۹
ضریب گراویلیوس	۱/۸۱	۱/۶۹	۱/۵۹	۱/۴۸	۱/۷۹	۱/۲۵	۲/۴۳	۱/۴۱
سرعت ثابت نفوذ	۹/۳۸	۱۰/۳	۱۲/۸۳	۱۳/۸۹	۱۴/۰۲	۱۲/۶	۷/۹	۷/۸۹
بارش سالانه	۳۳۲/۵	۳۲۱/۴	۳۱۰/۸	۳۱۲/۹	۳۱۲/۷	۳۱۴/۸	۳۰۳	۳۱۰/۲









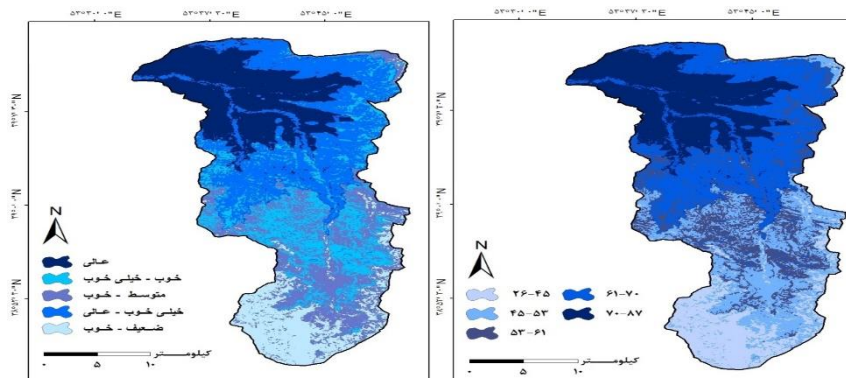
شکل (۲) الف- نقشه شیب (درصد)، ب- طبقات ارتفاعی (متر)، پ- جهت، ت- کاربری اراضی، ث- سرعت نفوذ طبقه‌بندی شده (سانتی‌متر در ساعت)، ج- واحدهای هیدرولوژیک، چ- شاخص NDVI، ح- سنگ‌شناسی سطحی، خ- طبقه‌بندی بارش (میلی‌متر)، د- طبقه‌بندی دما (سانتی‌گراد)، ذ- بارش نیم ساعته با Tr_2 ، ر- رواناب (سانتی‌متر) بارش نیم ساعته با Tr_2 ، ز- بارش یک ساعته با Tr_2 ، س- رواناب بارش یک ساعته با Tr_2 ، ش- بارش نیم ساعته با Tr_{10} ، ص- رواناب بارش نیم ساعته با Tr_{10} ، ض- بارش یک ساعته با Tr_{10} ، ط- رواناب بارش یک ساعته با Tr_{10}

نقشه مناطق مستعد استحصال آب با به‌کارگیری مفهوم سطح منبع متغیر بر اساس حجم آب قابل استحصال و از طریق تحلیل سلسله مراتبی (AHP) تهیه شد. با وزن‌دهی به پارامترها و مشخص شدن تأثیر آنها، عرصه‌های مناسب و نامناسب برای اهداف تحقیق مشخص شد. شکل (۳) الف) نقشه پتانسیل عرصه‌ها را براساس امتیاز صفر تا ۱۰۰ نشان

می‌دهد که در آن امتیاز صفر نشان‌دهنده پتانسیل ضعیف و امتیاز ۱۰۰ بیانگر پتانسیل عالی منطقه برای تولید رواناب است. وزن پارامترهای مورد بررسی نشان داد که پارامتر بارندگی با شدت نیم ساعته و با دوره بازگشت ۱۰ ساله نسبت به بارندگی با شدت نیم ساعته و با دوره بازگشت ۲ سال، بارندگی متوسط سالیانه و سایر پارامترهای مورد بررسی در پتانسیل تولید رواناب از وزن بیش‌تری برخوردار می‌باشد. با بالا رفتن دوره بازگشت بارندگی، شدت بارندگی افزایش می‌یابد (Chow و همکاران، ۱۹۸۸: ۱۸۴) که منجر به کاهش مقدار نفوذ می‌شود و پوشش گیاهی منطقه ضعیف‌تر می‌شود در نتیجه پتانسیل تولید رواناب افزایش می‌یابد. بالا بودن وزن بارندگی در نتایج محمودی (۱۳۹۱) در حوضه آبخیز درخت سنجد قابل مشاهده است. با توجه به شکل ۳ (ب) سطح وسیعی از منطقه مورد مطالعه از پتانسیل تولید رواناب بالایی برخوردار می‌باشد به طوری که ۲۸/۱۹٪ از پتانسیل عالی برای استحصال رواناب برخوردار می‌باشند و فقط ۱۲/۳۳٪ از قابلیت ضعیفی برخوردار می‌باشد (جدول ۳). مقدار رواناب در واحدهای هیدرولوژیک در فصل‌های سال در جدول ۴ نشان داده شده است. بیش‌ترین حجم رواناب تولیدی برابر با ۲۱۹۰۸۶۱۹ مترمکعب در فصل بهار و کم‌ترین حجم رواناب تولیدی برابر با ۱۵۱۹۶۱۰۵ متر مکعب در فصل تابستان مشاهده شد. حجم رواناب تولیدی در فصل‌های زمستان و پاییز تفاوت کمی با یکدیگر دارند. بیش‌ترین حجم رواناب سالانه در زیرحوضه I برابر با ۷۱۷۱۸۲۴ متر مکعب و کم‌ترین حجم رواناب تولیدی نیز در زیرحوضه E برابر با ۱۶۳۰۵۰ مترمکعب می‌باشد (جدول ۴).

جدول (۳) مساحت و نوع طبقه‌بندی

طبقات	مساحت (KM ²)	درصد
ضعیف تا متوسط	۹۰/۳۴	۱۲/۳۳
متوسط تا خوب	۱۵۰/۹۷	۲۰/۶۱
خوب تا خیلی خوب	۱۱۵/۰۱	۱۵/۷
خیلی خوب تا عالی	۲۰۶/۴۷	۲۸/۱۹
عالی	۱۶۹/۴۳	۲۳/۱۷



شکل (۳) نقشه امتیازبندی استحصال رواناب، (ب) اراضی مناسب برای استحصال رواناب

جدول (۴) حجم رواناب فصلی زیرحوضه‌ها بر حسب مترمکعب

زیرحوضه	A	B	C	D	O1	E	O۲	F
بهار	۱۵۸۸۱۲۵	۶۲۶۹۳۱	۵۹۴۴۵۹	۶۴۶۰۱۱	۱۰۹۲۶۱۶	۴۲۷۹۳۶	۲۲۲۹۵۹۲	۲۳۰۷۶۱۲
تابستان	۵۵۹۰۲۰	۲۰۳۸۸۰	۲۰۹۴۳۰	۲۲۰۷۰۷	۳۸۴۵۵۲	۱۵۱۷۶۸	۷۸۰۶۸۸	۸۰۶۵۴۴
پاییز	۱۰۹۶۸۶۵	۴۳۳۲۴۵	۴۱۰۸۰۵	۴۴۶۲۴۷	۷۵۶۸۹۶	۲۹۸۵۶۰	۱۵۴۱۵۲۸	۱۵۹۰۶۸۴
زمستان	۱۰۴۶۰۴۵	۴۱۲۸۵۷	۳۹۱۴۷۳	۴۲۵۳۰۴	۷۲۰۲۷۲	۲۸۴۷۸۶	۱۴۶۸۷۵۲	۱۵۲۳۴۷۲
زیرحوضه	G	O۳	H	O۴	O۵	I	O۶	J
بهار	۱۰۱۳۷۱۸	۲۵۲۱۳۴۴	۵۶۵۵۸۷	۱۵۸۱۱۲۰	۱۹۱۷۸۲۵	۲۶۵۵۸۷۶	۱۱۴۰۹۴۸	۹۹۷۹۶۸
تابستان	۳۵۶۸۵۴	۸۸۳۳۲۸	۱۹۷۱۹۷	۵۵۶۳۲۰	۶۷۴۴۰۰	۹۳۰۰۳۶	۳۹۸۸۶۸	۳۴۸۵۵۵
پاییز	۶۹۷۹۱۸	۱۸۰۰۹۶۰	۳۹۰۰۶۰	۱۰۹۵۰۷۲	۱۳۲۷۷۲۵	۱۸۳۱۳۰۸	۷۸۸۴۶۰	۶۸۹۷۷۲
زمستان	۶۶۶۳۳۸	۱۶۶۳۷۴۴	۳۷۲۷۲۴	۱۰۴۲۳۶۸	۱۲۶۴۵۰۰	۱۷۵۴۶۰۴	۷۵۵۹۹۴	۶۵۶۷۵۱

پتانسیل ایجاد رواناب در واحدهای هیدرولوژیک نشان داد رتیب زیر حوضه‌های I, O۲, O۳, OF و O۵ بیش‌ترین پتانسیل و زیرحوضه‌های A, C, D و B کم‌ترین پتانسیل برای تولید رواناب را دارند. زیرحوضه‌هایی که پتانسیل بالایی دارند در قسمت شمالی به خصوص شمال شرق حوضه قرار گرفته‌اند که دارای دبی پیک ۷ تا ۲۱ مترمکعب بر ثانیه، زمان تمرکز بالای ۱۲۰ دقیقه، طول آبراهه اصلی زیرحوضه‌ها ۱۱ تا ۲۱ کیلومتر، دمای متوسط بیش‌تر از ۱۳ درجه سانتی‌گراد، شاخص NDVI منفی و حداکثر شدت بارش نیم‌ساعته با دوره

بازگشت ۱۰ سال و یک ساعته با دوره بازگشت ۲ سال به ترتیب ۲۱ و ۱۰ میلی‌متر بر ساعت و ارتفاع رواناب سالانه تولید شده تقریباً ۷ سانتی‌متر می‌باشد همچنین زیرحوضه‌هایی که پتانسیل ضعیفی برای تولید رواناب دارند در قسمت جنوبی حوضه آبخیز قرار گرفته‌اند و دارای دبی پیک ۵ تا ۱۱ متر بر ثانیه، زمان تمرکز بالای ۳۸ تا ۹۰ دقیقه، طول آبراهه اصلی زیرحوضه‌ها ۵ تا ۱۲ کیلومتر، دمای متوسط بیش‌تر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد، شاخص NDVI مثبت و حداکثر شدت بارش نیم ساعته با دوره بازگشت ۱۰ سال و شدت بارش یک ساعته با دوره بازگشت ۲ سال به ترتیب ۱۶ و ۳ میلی‌متر بر ساعت و ارتفاع رواناب سالانه تولید شده تقریباً ۱۰ سانتی‌متر می‌باشد.

نتیجه‌گیری

فاکتورها و معیارهای مختلفی برای پهنه‌بندی مناطق مناسب جهت استحصال رواناب مؤثر می‌باشند. اغلب این معیارها دارای اهمیت و وزن برابر نمی‌باشند، بنابراین در استحصال رواناب هر منطقه، معیارهای مورد استفاده دارای اهمیت‌های متفاوتی می‌باشند. استحصال رواناب در حوضه آبخیز سمبورچای با داشتن اقلیم نیمه‌خشک دارای اهمیت بالایی می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که بخش بیش‌تری از منطقه دارای قابلیت مناسب جهت استحصال رواناب می‌باشند و ۲۳ درصد از مساحت حوضه دارای پتانسیل عالی می‌باشند. نتیجه مهمی که از این تحقیق به‌دست آمد این است که مناطقی که بیش‌ترین پتانسیل را برای تولید رواناب دارا می‌باشند همواره بیش‌ترین مقدار رواناب را تولید نمی‌کنند. در نقاط خروجی حوضه آبخیز اختلاف ارتفاع به شدت کاهش می‌یابد و شیب زمین کم می‌شود و دمای هوا به تدریج افزایش یافته در نتیجه مقدار رواناب کاهش می‌یابد و برعکس در بالادست حوضه آبخیز سمبورچای میزان شیب و بارندگی به شدت افزایش یافته و دمای هوا کاهش می‌یابد در نتیجه افزایش تولید رواناب را خواهیم داشت. از آنجایی که در اکثر مناطق خشک و نیمه‌خشک و همچنین در منطقه مورد مطالعه پراکنش مکانی و زمانی باران نامنظم است و همچنین وجود دمای بالا در بیش‌تر نقاط باعث تبخیر سریع بارندگی می‌شود، مشخص کردن مکان‌های مناسب جهت نفوذ آب به‌منظور جلوگیری از هدر رفت

آب باران ضرورت پیدا می‌کند. خروجی پژوهش برای اجرا کردن استراتژی جمع‌آوری رواناب در هر زیرحوضه به‌صورت جداگانه تعریف شد که این امکان را برای برنامه‌ریزان مهیا می‌سازد تا مناطق بالقوه‌ای که قابلیت تولید مقادیر بالایی از رواناب را دارند، شناسایی نمایند.

منابع

- اسمعیلی، اباذر و خدایار عبداللهی (۱۳۹۱)، «*بخیزداری و حفاظت خاک*»، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی.
- اولیایی، علیرضا؛ فاتحی، ایمان؛ غلامی، جواد و مهران همدم‌جو (۱۳۹۱)، «*مکان‌یابی مناطق مناسب برای استحصال آب باران*»، اولین کنفرانس ملی راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار، ۲۰ اسفند، اداره کل پدافند غیر عامل (وزارت کشور)، تهران.
- پیترسون اریک، نیسن (۱۳۶۶) «*جمع‌آوری آب باران در مناطق روستایی*»، مترجم: حبیب‌الله بیات، سازمان برنامه و بودجه، مرکز مدارک اقتصادی- اجتماعی و انتشارات، شماره راهنما TD 418.N56719. کتابخانه مرکزی (مهندسی عمران).
- خورشیددوست، علی‌محمد؛ سبحانی، بهروز؛ آزر، کامل و جمال امینی (۱۳۹۴)، «*ارزیابی توان محیطی استان آذربایجان غربی برای کشت کلزا بر اساس روش AHP و مدل TOPSIS*»، *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی تبریز*، سال ۱۹، شماره ۵۲، صص ۱۶۱-۱۴۱.
- رحیمی، داریوش و سیدحجت موسوی (۱۳۹۲)، «*پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل AHP و تکنیک GIS*»، *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی تبریز*، سال ۱۷، شماره ۴۴، صص ۱۵۹-۱۳۹.
- سلیمانی، حسین؛ فرج زاده اصل، منوچهر و جلال کریمی (۱۳۹۳) «*ارزیابی تناسب اراضی جهت استقرار مزارع باد با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و GIS*»، *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، سال ۲۵، شماره ۳، صص ۲۱-۴۲.
- طهماسبی، رمضان و رضا رجیبی‌ثانی (۱۳۸۵)، «*جمع‌آوری آب در عرصه‌های طبیعی، راه‌حلی برای رفع کم‌آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک*»، *مجله جغرافیا و توسعه*، شماره ۷، صص ۴۲-۲۳.
- فرجی سبکبار، حسنعلی (۱۳۸۴)، «*مکان‌یابی واحدهای خدمات بازرگانی با استفاده از روش سلسله مراتبی*»، *مجله پژوهش‌های جغرافیایی مؤسسه جغرافیا*، جلد ۳۷، شماره ۵۱، صص ۱۳۸-۱۲۵.

- قهرمان، بیژن؛ شامکوئیان، حمیرا و کامران داوری (۱۳۹۱)، «استخراج معادلات مقدار - مدت - فراوانی بارش با استفاده از تئوری گشتاورهای خطی»، *مجله آبیاری و زهکشی ایران*، شماره ۱، جلد ۴، صص ۱۳۲-۱۴۲.
- کردوانی، پرویز و بختیار رحمانی (۱۳۹۱)، «استفاده بهینه از منابع آبی در ناحیه اورمانات (ذخیره آب)»، *مجله جغرافیای سرزمین*، سال نهم، شماره ۳۵، صص ۱-۱۶.
- محمودی، نریمان (۱۳۹۱)، «مکان‌یابی مناطق مناسب برای ذخیره آب باران، مطالعه موردی حوضه آبخیز درخت سنجد»، اولین همایش ملی سامانه سطوح آبگیر باران، ۲۲ تا ۲۳ آذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی.
- Andrew, L.K.F. (2000), "A Simulation Model of Flood Runoff Utilization wan", Available at: <http://www.rainwaterharvesting.org/>.
- Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W. (1988), "*Applied hydrology*", Editions McGraw-Hill, New York.
- Coskun, M., Musaoglu, N. (2004), "Investigation of rainfall-runoff modelling of the Van Lake catchment by using remote sensing and GIS integration", In Twentieth International Society for ISPRS, In Turkey.
- Courrier, W.F. (1973), "Water Harvesting by Trick tanks, Rain Traps and Guzzlers", Water relatons symposium, Twin Falls, Idaho. PP. 169-181.
- Curriero, F.C., Patz, J.A., Rose, J.B., Subhash, L. (2011), "The association between extreme precipitation and waterborne disease outbreaks in the US", *Public Health*, Vol. 91, No, 8. PP. 1194-1199.
- IFAD. (2004), "Inputs and Infrastructure Improving Water Resources", Available at: <http://www.ifad.org/>
- Khaldi, S., Ratajczak, M., Gargala, G., Fournier, M., Berthe, T., Favennec, L., Dupont, J.P. (2011), "Intensive exploitation of a karst aquifer leads to Cryptosporidium water supply contamination", *Water Reserch*, Vol. 45, No. 9, PP. 2906-2914.

- Mbilinyi, B.P., Tumbo, S.D., Mahoo, H.F., Mkiramwinyi, H.O. (2007), "GIS-based Decision Support System for Identifying Potential Sites for Rainwater Harvesting", *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. 32, No. 15-18, PP. 1074-1081.
- Mwenge, K.J., Rockström, J., Taigbenu, A.E., Dimes, J. (2007), "Rainwater Harvesting to Enhance Water Productivity of Rainfed Agriculture in the Semi-arid Zimbabwe", *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol, 32, No. 15- 18, 1068- 1073.
- Myers, L.E. (1964), "*Harvesting Precipitation*", International Assessment, Hydrology, Berkeley, Calif, Publition, 65: 343- 351.
- Sharif, Mahmode. (2014), "Investigation of rainfall-runoff modeling for Egypt by using remote sensing and GIS integration", *Catena*, Vol, 120. PP. 111-121.