



## تعیین عوامل مؤثر در مکان‌یابی مناطق مستعد جمع‌آوری رواناب و استحصال آب باران حوضی آبریز سیاه‌خور کرمانشاه

فریبا دارابی<sup>۱</sup>، علیرضا ایلدرمی<sup>۱\*</sup>

۱- دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر

۲- دانشیار، دانشکده‌ی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۰۴/۳۱

وصول مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۲۹

### چکیده

استحصال آب باران روشی برای توسعه و بهره‌برداری از منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک با هدف افزایش کمیت و کیفیت منابع آب موجود است. هدف از این پژوهش تعیین عوامل مؤثر در مکان‌یابی مناطق مستعد جمع‌آوری رواناب و استحصال آب باران (RWH) در حوضه‌ی آبریز سیاه‌خور کرمانشاه با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA) و تحلیل شبکه‌ای ANP است. نتایج حاصل از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و پهنه‌بندی بارش حوضه نشان می‌دهد که در ۳۷/۸۱ درصد از مساحت کل حوضه، معیار هیدرولوژی نسبت به معیارهای فیزیکی و توپوگرافی به‌ترتیب ۶/۴ و ۸/۵ و معیار فیزیکی ۳/۲ برابر بر معیار توپوگرافی دارای ارجحیت است. نتایج حاصل از بررسی نقشه‌ی پتانسیل استحصال آب باران نشان می‌دهد که کلاس‌های ضعیف با ۲/۹۶، نسبتاً ضعیف ۳۵/۴۹، متوسط ۲۶/۰۶، نسبتاً خوب ۲۹/۲ و خوب با ۶/۲۹ درصد از سطح حوضه را شامل می‌شوند و کلاس‌های متوسط و نسبتاً خوب و خوب جمعاً با ۶۱/۵۵ درصد بیش‌ترین درصد سطح حوضه را به‌خود اختصاص داده‌اند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که شیب‌های میانی جهت احداث سیستم‌های استحصال آب باران مناسب می‌باشند. بطوری‌که مشاهدات میدانی و نتایج حاصله از بررسی منحنی ROC، نشان می‌دهد، اکثر ۱۱۵ تکه جمع‌آوری آب باران در محل‌هایی قرار دارند که از لحاظ توپوگرافی و هیدرولوژی مناسب و بیش از ۸۹ درصد مکان‌های جمع‌آوری آب باران در کلاس‌های متوسط و نسبتاً خوب و خوب واقع شده که این موضوع بیانگر ارزیابی بسیار خوب مدل بوده و نشان می‌دهد که تلفیق تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA) و تحلیل شبکه‌ای ANP و GIS می‌تواند برای برنامه‌ریزی جمع‌آوری آب باران در مقیاس حوضه و زیرحوضه ابزار مفیدی باشد.

کلمات کلیدی: منحنی ROC، ANP، GIS، سیاه‌خور کرمانشاه

## ۱- مقدمه

در حال حاضر رشد جمعیت و افزایش مصرف سرانه‌ی آب، لزوم تأمین آب را به مسئله‌ای مهم و حیاتی تبدیل کرده است (غفوری<sup>۱</sup>، ۲۰۰۸: ۲). از طرف دیگر توزیع نامناسب منابع آب و تمرکز جمعیت در مناطق خشک و نیمه‌خشک، بروز خشکسالی متوالی و سیلاب‌های مخرب باعث شده تا خسارت‌های قابل توجهی متوجه کشور شود. در حالی که بررسی‌ها نشان می‌دهد کشورهای دنیا برای کاهش اثرات چنین مشکلاتی از روش‌های نوین ذخیره‌ی منابع آب باران استفاده می‌کنند (فرح‌پور<sup>۲</sup>، ۲۰۰۲: ۱۸۶). در این رابطه یکی از شاخص‌ترین تکنیک‌های مدیریت بهره‌برداری از آب باران برای مقابله با کم‌آبی احداث شبکه‌ی استحصال آب می‌باشد. انتخاب مکان مناسب جهت استحصال آب باران بستگی به عواملی مانند، مقدار بارندگی و نحوه‌ی توزیع آن، توپوگرافی، نوع و عمق خاک و مسائل اقتصادی و اجتماعی هر منطقه دارد. امروزه تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره<sup>۳</sup> (MCDA) به عنوان یک ابزار مهم و شناخته شده در زمینه‌ی تصمیم‌گیری جهت انتخاب مکان مناسب استحصال آب باران و مدیریت منابع آب بسیار کاربرد پیدا است (رحمتی<sup>۴</sup>، ۲۰۱۳: ۹). در مکانیابی مناطق مناسب استحصال آب برای شرب استفاده از روش‌هایی چون AHP (کشاوری<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۳)، (آمار<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۵)، (شریف<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۵) به منظور تعیین شرایط مناسب و اولویت‌بندی مناطق و روش سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیر مبتنی بر GIS (اکبرپور<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۵)، جهت تعیین مناطق مستعد جمع‌آوری آب باران بسیار مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به کمبود منابع آب و رشد جمعیت می‌بایست برای تأمین آب شهرها می‌بایست از روش‌های نوین جمع‌آوری آب باران به ویژه RWH متناسب با منطقه، برنامه‌ریزی و استفاده نمود، تا کمبود آب را تا حدودی با روش‌های استحصال آب باران جبران کرد. کوبینا<sup>۹</sup> و همکاران (۲۰۱۹). امروزه برای مکان‌یابی مناطق مستعد جمع‌آوری آب باران از تکنیک‌های RWH، مدل رگرسیون چند متغیره و GIS به منظور تعیین وابستگی معنی‌داری بین متغیرهای وابسته و مستقل (دخانی<sup>۱۰</sup>، ۲۰۱۶)، و الگوسازی و مکان‌یابی استحصال آب باران، سبب کاهش هزینه‌های اقتصادی و زیست محیطی تأمین آب (گویزانی<sup>۱۱</sup>، ۲۰۱۶)، و به عنوان روشی بهینه و کارآمد و اقتصادی‌تر در جهت کاهش اثرات خشکسالی و کمبود آب و سیلاب بسیار مورد توجه قرار گرفته است. (پیلک و پورپوراتو<sup>۱۲</sup>، ۲۰۱۶)، (سینگ<sup>۱۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۷)، در بررسی و ارزیابی پتانسیل برداشت

1- Ghafouri  
 2- Farahpour  
 3- Multiple Criteria Decision Analysis  
 4- Rahmati  
 5- Keshavarz et al.  
 6- Ammar et al.  
 7- Sharif et al.

8- Akbarpour et al.  
 9- Cobinah et al.  
 10- Dokhani  
 11- Guizani  
 12- Pelak and Porporato  
 13- Singh et al.

آب باران و شناسایی مکان‌های مناسب برای RWH بیان داشتند که ضریب رواناب، شیب و تراکم زهکشی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در پتانسیل جمع‌آوری آب باران می‌باشد.

نوری<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۸)، در پژوهشی عوامل مؤثر در انتخاب روش‌های جمع‌آوری آب باران. نشان دادند که عوامل طبیعی مانند شرایط آب و هوایی، توپوگرافی، رواناب از عوامل مؤثر می‌باشند.

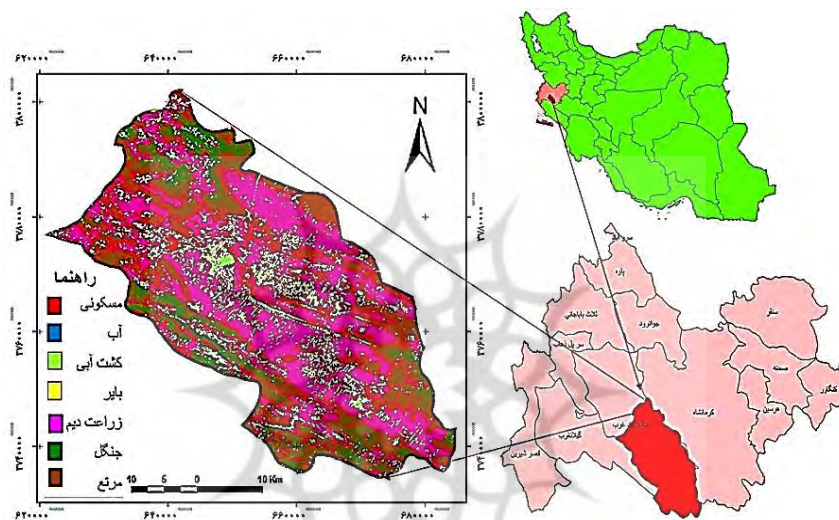
زوآ و همکاران (۲۰۱۸) از روش بکارگیری کنترل زمان واقعی برای پیش‌بینی بارش باران و بهبود عملکرد RWH در حوضه‌های شهری استفاده کردند. نتایج نشان داد عملکرد RWH کنترل شده زمانی دقت بالایی در کاهش اثرات سیلاب شهری دارد.

سپهری<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی تأثیر جمع‌آوری آب باران (RWH) با استفاده از مدل‌های SCS و HEC-HMS در شهر همدان به این نتیجه رسیدند که هر چقدر مقدار RWH از سطح شهر و پشت بام منازل مسکونی افزایش یابد، به همان اندازه نیز از شدت رواناب و سیلاب شهری کاسته می‌شوند. در سال‌های اخیر مکانیابی مناطق مناسب برای ایجاد سیستم‌های استحصال آب باران جهت جبران کمبود منابع آب و کاهش اثر خشکسالی در دنیا مورد توجه قرار گرفته است. هدف از این بررسی ارزیابی عوامل مؤثر در انتخاب مکان‌های مناسب برای ایجاد سیستم‌های استحصال آب باران در حوضه‌ی آبریز سیاه‌خور شهرستان اسلام آباد غرب در استان کرمانشاه با استفاده از تکنیک‌های RWH و روش تحلیل شبکه‌ای ANP در محیط GIS است. تا بتوان در جهت جبران کمبود منابع آب شرب، کشاورزی، صنعت و ذخیره و مدیریت منابع آب با توجه به بروز خشکسالی گام مؤثری برداشت.

## ۲- مواد و روش

حوضه‌ی آبریز سیاه‌خور کرمانشاه با وسعتی معادل ۹۸۴۹/۱ هکتار از زیرحوضه‌های رودخانه‌ی مرگ می‌باشد که در محدوده‌ی "۰۷' ۳۰' ۴۶° تا "۵۷' ۳۶' ۴۶° طول شرقی و "۵۹' ۰۷' ۳۴° تا "۴۸' ۱۶' ۳۴° عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). مهم‌ترین رودخانه‌ی آن چم برزه می‌باشد که پس از اتصال به رودخانه‌های مرگ-قره‌سو و سیمره، نهایتاً به رودخانه‌ی کرخه منتهی می‌شود. مرتفع‌ترین و پست‌ترین نقطه‌ی حوضه به ترتیب ۲۳۶۳/۱ متر نقطه، ۱۳۷۱/۱ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. حوضه‌ی مورد بررسی در زون ساختاری زاگرس چین‌خورده واقع و از لحاظ سیمای ژئومورفولوژی شامل سه واحد: کوهستان، تپه ماهور و دشت می‌باشد. متوسط بارندگی

سالیانه حوضه ۶۲۱/۸ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت آن ۱۱/۳ درجه سانتی‌گراد و بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن، دارای اقلیم نیمه مرطوب سرد می‌باشد.



شکل (۱): موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در سطح کشور و استان کرمانشاه  
Fig (1): The location of the study area in the country and Kermanshah province

این تحقیق در سه مرحله شامل، مرحله‌ی اول: تحلیل‌های مکانی و تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی، مرحله‌ی دوم: تعیین وزن عوامل مؤثر و ارزیابی آن‌ها و مرحله‌ی سوم: تهیه‌ی نقشه‌ی جمع‌آوری آب باران و برآورد دقت آن صورت پذیرفته است.

#### ۲-۱- مرحله‌ی اول: تحلیل‌های مکانی و تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی

برای تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ مربوط به ۱۹ ژوئن ۲۰۱۶ با تعیین مختصات نمونه‌های تعلیمی با GPS و نرم‌افزارهای Arc GIS 10، ENVI 5.1، و برای نقشه‌ی شیب از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) مربوط به ماهواره استر با اندازه پیکسلی ۳۰ متر و از نرم‌افزار ArcGIS 10.1 و به منظور انتخاب بهترین ترکیب باندهای از روش مقایسه و پس از طبقه‌بندی از ضریب کاپا و صحت کلی استفاده شده است.

به منظور تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری اراضی، ابتدا اقدام به اعمال تصحیحات مورد نیاز در مرحله‌ی پیش‌پردازش شد. به منظور حذف خطاهای اتمسفری برای تمامی تصاویر از روش نسبی (تفریق تیره‌ترین پیکسل) استفاده

و ارزش پیکسل‌های تیره در تصویر کاهش داده شد، تا فرآیند طبقه‌بندی از صحت بالایی برخوردار باشد. همچنین خطای رادیومتریک تصویر سال ۲۰۱۶ با استفاده از افزونه Gap fill اصلاح گردید. با وجود اینکه تصویر (سال ۲۰۱۶) زمین مرجع شده بود (UTM<sup>1</sup>/WGS<sup>84</sup>) با RMSe معادل ۰/۲۵ پیکسل به روش Image to map تصحیح هندسی شد. سپس به کمک نمونه‌های تعلیمی، بر روی تصاویر ماهواره‌ای نمونه‌برداری به صورت نظارت‌شده صورت گرفت. برای انتخاب نمونه‌های تعلیمی از رنگ‌های حقیقی و کاذب، بازدید میدانی، سوال از کارشناسان و از نقشه‌ی توپوگرافی منطقه و تصاویر گوگل ارث، استفاده گردید. سپس تعداد پیکسل‌های انتخاب شده به‌عنوان نمونه‌های تعلیمی بر روی تصاویر ماهواره‌ای در سال ۲۰۱۶ مورد بررسی و برحسب وسعت کاربری‌ها با پراکنش مناسب انتخاب شدند. به کمک نرم‌افزار ENVI عمل طبقه‌بندی تصویر با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده حداکثر احتمال انجام و از ماتریس خطا برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی تصویر<sup>ETM+</sup> ۲۰۱۶ استفاده گردید. نتایج نشان داد که ترکیب باندی، ۵، ۶ و PCA<sub>1</sub> با ضریب کاپای ۰/۸۹ و صحت کلی ۹۵/۸۸٪ بالاترین ضرایب را ارائه می‌دهد و به عنوان بهترین ترکیب باندی معرفی شدند. با توجه به اهمیت تراکم زهکشی در استحصال آب باران و به دلیل اینکه RWH رابطه‌ی غیرمستقیمی با تراکم زهکشی دارد (مدن<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۴). بدین منظور شبکه‌ی آبراهه‌های حوضه سیاه‌خور با استفاده از مطالعات میدانی و دید سه بعدی از DEM و در محیط GIS با استفاده از اکستنشن Arc Hydro، تکمیل و تراکم زهکشی برای هر کدام از زیرحوضه‌ها محاسبه و نقشه‌ی تراکم زهکشی تهیه گردید.

جهت برآورد رواناب ابتدا نقشه‌ی شماره‌ی منحنی<sup>۴</sup> یا CN، با استفاده از اطلاعات مربوط به نفوذپذیری و پوشش گیاهی تهیه و با تلفیق نقشه‌ی کاربری اراضی تهیه شده از تصویر ماهواره‌ای ۲۰۱۶ و روش NRCS-CN، رواناب حوضه محاسبه شد. سپس رواناب سطحی در محیط ArcGIS با تعیین شماره‌ی منحنی، محاسبه‌ی ارتفاع و حجم رواناب، بر اساس روش NRCS و با استفاده از ابزار تحلیل مکانی، برآورد شد. (هرناندز و رویز<sup>۵</sup>، ۲۰۱۳: ۸۸۱) رابطه‌ی (۱). با استفاده از نقشه‌ی شماره‌ی منحنی، نقشه‌ی حداکثر توان نگهداری (S)، برای شرایط رطوبتی مختلف (AMC I, II and III)، تهیه گردید. با استفاده از نقشه‌های تهیه شده در قالب AMC ۱، ۲ و ۳ برای هر بارش و با در نظر گرفتن مجموع بارندگی در ۵ روز قبل و استفاده از راهنمای استاندارد تعیین شده (آزیزور رحمان<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۴) و توزیع مکانی CN و حداکثر توان نگهداری (S)، پتانسیل تولید رواناب برای هر پلیگون (CN) با استفاده از رابطه‌ی ۲ تعیین شد.

1- Universal Transverse Mercator (UTM)  
 2- World Geodetic System (WGS)  
 3- Madan et al.

4- Curve Number  
 5- Hernández-Guzmán & Ruiz-Luna  
 6- Azizur Rahman et al.

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \quad P > 0.2S \quad (1)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2)$$

که در آن: Q: ارتفاع رواناب، P: ارتفاع بارندگی ۲۴ ساعته و S حداکثر توان نگهداری مربوط به عدم نفوذ در خاک و ذخیره‌ی سطحی است.

در این بررسی نقشه‌های رواناب سطحی روزانه برای ۱۲ سال دوره‌ی آماری (سال ۱۳۸۲-۱۳۹۵) با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS به نقشه‌های رواناب سطحی ماهانه تبدیل و در نهایت نقشه‌های رواناب سالانه تهیه و سپس نقشه‌های ضریب رواناب سالانه برای سال‌های خشک، نرمال و مرطوب محاسبه و نقشه‌ی میانگین سالانه ضریب رواناب تهیه و در نهایت به منظور تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی استحصال آب باران مورد استفاده گرفت.

#### ۲-۲- مرحله‌ی دوم: تعیین شبکه‌ی ارزیابی منطقه‌ی مورد مطالعه و تعیین وزن عوامل مؤثر

به منظور پهنه‌بندی منطقه با RWI<sup>۱</sup> معیارهای هیدرولوژی شامل: تراکم زهکشی و ضریب رواناب، عامل توپوگرافی شامل: شیب. عوامل فیزیکی شامل: کاربری اراضی، گروه‌های هیدرولوژیک خاک و بافت خاک انتخاب شدند. جهت شناسایی معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در زون‌بندی منطقه، از روش دلفی استفاده و بر اساس روش پیشنهادی ساعتی (ارائه‌دهنده‌ی روش ANP) امتیازدهی انجام و با ایجاد سوپرماتریس ویژه، وزن نهایی هر کدام از گزینه‌های مؤثر در این ارزیابی، در هر کدام از پرسشنامه‌های متخصصین محاسبه و در نهایت با گرفتن میانگین هندسی، وزن‌های نهایی حاصل شد.

در این بررسی سطح یک در این مدل، مکان‌یابی عرصه‌های مستعد جمع‌آوری آب باران منطقه، سطح دوم سه معیار هیدرولوژیکی، توپوگرافی و فیزیکی و سطح سوم شامل زیرمعیارهای مربوط به هر یک از معیارها اصلی می‌باشد. مقایسات زوجی در این مطالعه با استفاده از نظرات کارشناسان صورت گرفته و ۱۷ پرسشنامه تکمیل و دریافت شد. که شش مورد توسط اساتید دانشگاه، چهار مورد توسط دانشجویان دکترا، پنج مورد توسط کارشناسان ارشد منابع طبیعی در گرایش مربوطه و یک کارشناس اداره کل منابع طبیعی استان کرمانشاه و یک کارشناس ارشد GIS تکمیل شدند. در این مرحله هم‌زمان با انجام مقایسات زوجی، نرخ ناسازگاری وزن‌های داده شده توسط کارشناسان نیز تعیین و در نهایت با ارجاع دوباره برخی از پرسشنامه‌ها رفع ناسازگاری انجام شد رابطه‌ی (۳).

$$W = \text{Lim } w^{2k+1} \quad (3)$$

$\infty \rightarrow k$

$W$ : ماتریس حد (وزن نهایی)

$w$ : ماتریس استاندارد وزن داده شده

برای تهیه‌ی نقشه‌ی پتانسیل استحصال آب باران تمامی لایه‌های اطلاعاتی شامل شیب، کاربری اراضی، بافت خاک، گروه‌های هیدرولوژیک خاک، تراکم زهکشی و ضریب رواناب با وزن‌های نرمال شده در محیط نرم‌افزار Arc GIS با هم تلفیق شدند و وزن کلی هر پلی‌گون در لایه‌ی تلفیق شده با استفاده از تکنیک ترکیب خطی وزن‌دار محاسبه شد. با استفاده از تکنیک ترکیب خطی وزن‌دار<sup>۱</sup> (WLC) استانداردسازی معیارها در ساختاری پیوسته انجام گرفت. به طوری که اطلاعات مهم درباره‌ی درجه‌ی مطلوبیت عوامل حفظ و اختصاص وزن‌های متفاوت به فاکتورها امکان‌پذیر گردید. تکنیک ترکیب خطی وزن‌دار بر اساس رابطه‌ی ۴ انجام می‌گیرد:

$$S_{ij} = \sum W_k X_{ijk} \quad (4)$$

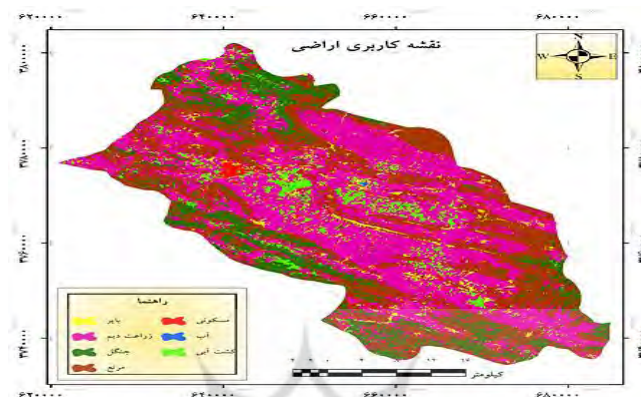
در این رابطه  $S_{ij}$  تناسب پیکسل واقع شده در ردیف  $i$  و ستون  $j$  در نقشه‌ی مورد نظر است.  $W_k$  وزن اختصاص داده شده به فاکتور  $k$  و  $X_{ijk}$  مقدار فاکتور  $k$  در پیکسل  $(i, j)$  است (آزیزور رحمان و همکاران، ۲۰۱۴: ۲۵).

### ۲-۳- مرحله‌ی سوم: برآورد دقت نقشه‌ی جمع‌آوری آب باران

به منظور ارزیابی و اعتبار سنجی دقیق نقشه جمع‌آوری آب باران، ۱۱۵ ناحیه مناسب، جمع‌آوری آب باران که در حال حاضر به صورت محلی توسط ساکنین عرصه در حال بهره‌برداری می‌باشد، طبق نظر کارشناسان و مشاهدات میدانی انتخاب و برای ارزیابی صحت مدل شبیه‌سازی شده، از منحنی ROC استفاده شد. منحنی ROC یک نمایش گرافیکی از تعادل بین نرخ مثبت و منفی خطا برای هر یک از مقادیر ممکن است. اگر مقدار شاخص منحنی ROC، که در حقیقت مساحت تحت منحنی (AUC) (ROC) برابر با ۱ باشد، نشان‌دهنده‌ی تناسب کامل مدل است و اگر این مقدار برابر با ۰/۵ باشد، نشان‌دهنده‌ی ناکافی بودن مدل جهت شبیه‌سازی است. همبستگی کمی و کیفی منطقه تحت منحنی ROC و ارزیابی برآورد آن شامل ۱-۰/۹: خیلی عالی (تکمیل). ۰/۸-۰/۹: بسیار خوب ۰/۷-۰/۸: خوب ۰/۶-۰/۷: متوسط، و ۰/۵-۰/۶: کم می‌باشد.

### ۳- بحث و نتایج

بررسی نقشه‌ی کاربری اراضی نشان می‌دهد که بیشترین مساحت منطقه به ترتیب مربوط به زراعت آبی، مرتع و جنگل می‌باشد که بیش از ۹۰/۴۷ درصد از منطقه را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۱) (شکل ۲).



شکل (۲): نقشه‌ی کاربری اراضی سال ۲۰۱۳

Fig (2): Land use map for 2013

جدول (۱): مساحت انواع کاربری‌ها و ارزیابی نتایج طبقه‌بندی

Table (1): Area of different types of uses and evaluation of classification results

نوع کاربری	مساحت هکتار	درصد مساحت	دقت کاربر	دقت تولیدکننده	خطای گماشته شده	خطای حذف شده
زراعت آبی	۸۹۳۰۸/۴۲	۴۳/۵۴	۹۰/۳۳	۸۹/۳۰	۹/۶۷	۱۰/۸۰
زراعت دیم	۱۱۳۸۸/۲۶	۵/۵۵	۹۸/۹۷	۹۶/۶۳	۱/۰۳	۳/۳۷
جنگل	۳۰۵۱۵/۴۳	۱۴/۸۷	۸۳/۵۴	۹۰/۱۰	۱۸/۴۶	۹/۹۰
مرتع	۶۵۷۷۰/۸۲	۳۲/۰۶	۹۴/۷۴	۹۷/۳۰	۵/۲۶	۲/۷۰
اراضی بایر	۶۲۳۸/۱۰	۳/۰۴	۱۰۰	۹۱/۳۳	۰	۹/۷۷
مسکونی	۱۸۶۳/۷۲	۰/۹۱	۹۸/۸۱	۱۰۰	۱/۱۹	۰
آب	۷۷/۴۹	۰/۰۲	۱۰۰	۱۰۰	۰	۰

بررسی نقشه‌ی شیب منطقه نشان می‌دهد که طبقه ۰-۳ (کمترین سطح) و طبقه ۳۰-۱۵ (بیشترین سطح) به ترتیب با ۵/۹۳ و ۲۵/۸۷ درصد از سطح حوضه را پوشش می‌دهند (جدول ۲).

جدول (۲): مساحت و درصد طبقات شیب در حوضه‌ی سیاه‌خور

Table (2): Area and percentage of sloping classes in Siakhkor basin

طبقه	مساحت (هکتار)	درصد
۰-۳	۲۴/۱۲۱۷۱	۵/۹۳
۵-۳	۵۴/۴۶۷۱۸	۹/۳۷
۱۰-۵	۵۹/۳۲۴۷۱	۲۲/۷۵
۱۵-۱۰	۶۴/۱۹۲۳۲	۱۵/۸۲
۳۰-۱۵	۵۲/۵۳۱۰۶	۲۵/۸۷
> ۳۰	۱۹/۴۱۶۱۴	۲۰/۲۷



بررسی شبکه‌ی زهکشی منطقه نشان می‌دهد که حوضه‌ی سیاه‌خور دارای ۶ رتبه رود و مجموع طول شبکه‌ی زهکشی آن ۱۲۵۲/۷۱ کیلومتر می‌باشد. آبراهه‌ی رتبه‌ی اول با ۶۵۵/۶۸ کیلومتر بیش‌ترین طول و آبراهه‌های رتبه‌ی ششم با ۲۸/۶۷ کیلومتر کم‌ترین طول را دارند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که کلاس‌های تراکم زهکشی ضعیف و بسیار ضعیف به ترتیب با ۳۹/۲۸ و ۳۷/۶۷ درصد و کلاس‌های خوب و نسبتاً خوب به ترتیب با ۱۰/۴۲ درصد و ۱۲/۶۳ درصد کم‌ترین مساحت را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۳).

جدول (۳): مساحت و درصد کلاس‌های تراکم زهکشی

**Table (3): Area and percentage of drainage density classes**

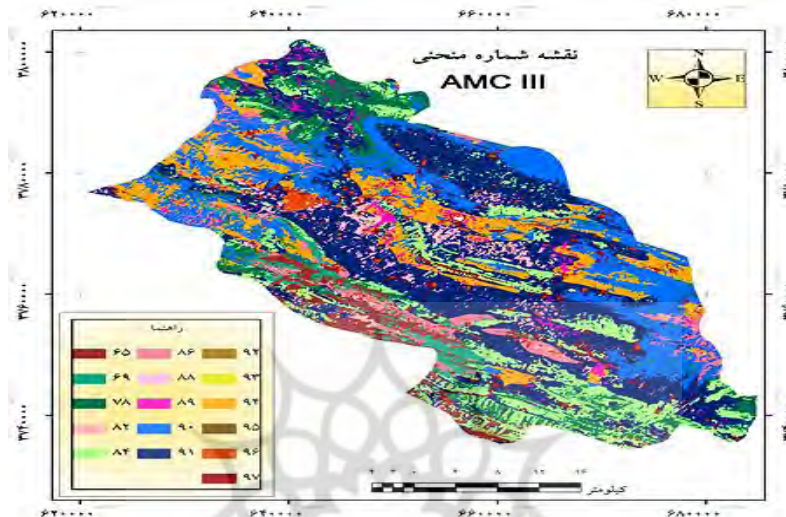
تراکم زهکشی Km.km <sup>2</sup>	مساحت (H)	درصد
< ۰/۲۵	۷۵۴۵۱/۵۵	۳۷/۶۷
۰/۲۵ - ۰/۷۵	۷۸۶۷۹/۵۵	۳۹/۲۸
۰/۷۵ - ۱/۲۵	۲۵۲۹۰/۶۳	۱۲/۶۳
> ۱/۲۵	۲۰۸۸۲/۶۲	۱۰/۴۲

بررسی‌ها نشان می‌دهد که در حالت AMC I کم‌ترین و بیش‌ترین شماره‌ی منحنی در حوضه به ترتیب ۲۶ و ۸۷ بوده و شماره منحنی ۶۴ بیش‌ترین مساحت را به خود اختصاص داده و شماره منحنی متوسط وزنی حوضه ۵۷/۸۶ می‌باشد. همچنین در حالت AMCII کم‌ترین و بیش‌ترین شماره منحنی در حوضه به ترتیب ۴۵ و ۹۴ و شماره‌ی منحنی ۸۱ بیش‌ترین مساحت را دارد و شماره‌ی منحنی متوسط وزنی حوضه برابر ۷۵/۵۱ می‌باشد. اما در حالت AMCIII شماره منحنی از ۶۵ تا ۹۷ متغیر و CN متوسط حوضه ۸۷/۲۸ و شماره‌ی منحنی ۹۱ با ۶۳۲۱۳/۱۰ هکتار معادل ۳۰/۷۸ درصد از مساحت کل حوضه را شامل می‌شود و بیش‌ترین سطح رابه خود اختصاص داده است (جدول ۴) (شکل ۳).

جدول (۴): مساحت مربوط به هر شماره‌ی منحنی و درصد آن در حوضه در حالت AMCIII

**Table (4): The area of each curved number and its percentage in the basin in AMCIII mode**

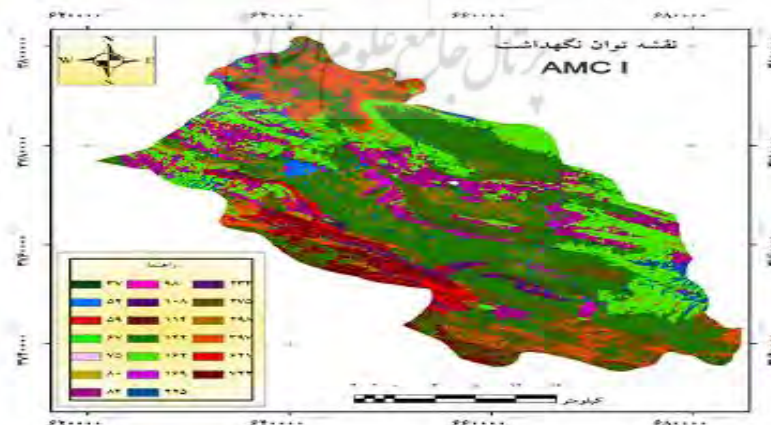
شماره منحنی	مساحت (هکتار)	مساحت (%)	شماره منحنی	مساحت (هکتار)	مساحت (%)
۶۵	۸۵/۸۲۵۴	۰/۲/۴	۹۰	۵۴/۳۶۳۷۹	۷۲/۱۷
۶۹	۸۶/۴۲۳۱	۰/۶/۲	۹۱	۱۰/۶۳۲۱۳	۷۸/۳۰
۷۸	۰۴/۱۸۳۰۹	۹۲/۸	۹۲	۴۲/۹۵	۰/۵/۰
۸۲	۴۷/۷۳۰۰	۵۶/۳	۹۳	۹۶/۱۵۵	۰/۸/۰
۸۴	۵۱/۲۵۰۹۸	۲۲/۱۲	۹۴	۴۲/۲۱۴۳۹	۴۴/۱۰
۸۶	۵۸/۸۶۲۲	۲۰/۴	۹۵	۵۲/۱۸	۰/۱/۰
۸۸	۷۸/۲۴۹	۱۲/۰	۹۶	۵۵/۱۹۸۷	۹۷/۰
۸۹	۶۷/۳۹۷۰	۹۳/۱	۹۷	۹۶/۶۰۲۱	۹۳/۲



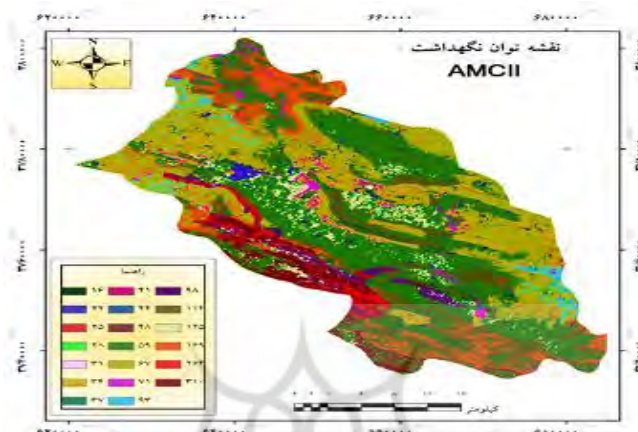
شکل (۳): نقشه ی شماره ی منحنی حوضه ی سیاه خور در شرایط AMCIII  
Fig (3): Map of the Siahkhor basin Curve in Conditions AMCIII

۳-۱- حداکثر توان نگهداری (S)

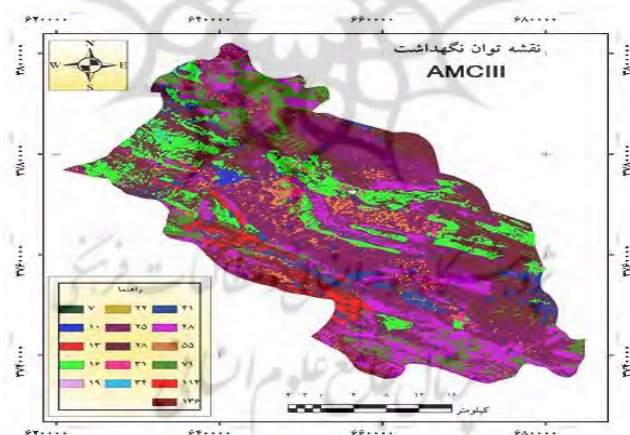
بررسی نقشه های حداکثر توان نگهداری (S) برای حالات AMCI، AMCII و AMCIII نشان می دهد که در حالات AMCI، توان نگهداری حوضه از ۳۷ تا ۷۲۲ و در AMCII از ۱۶ تا ۳۱۰ و در AMCIII از ۷ تا ۱۳۶ میلی متر متغیر می باشد (اشکال ۴، ۵، ۶).



شکل (۴): نقشه ی حداکثر توان نگهداری حوضه ی سیاه خور در شرایط AMCI  
Fig (4): Map of the maximum capacity of the Siahkhor basin in the conditions AMCI



شکل (۵): نقشه‌ی حداکثر توان نگهداشت حوضه‌ی سیاه‌خور در شرایط AMCII  
Fig (5): Map of the maximum capacity of the Siahkhor basin in the conditions AMCII



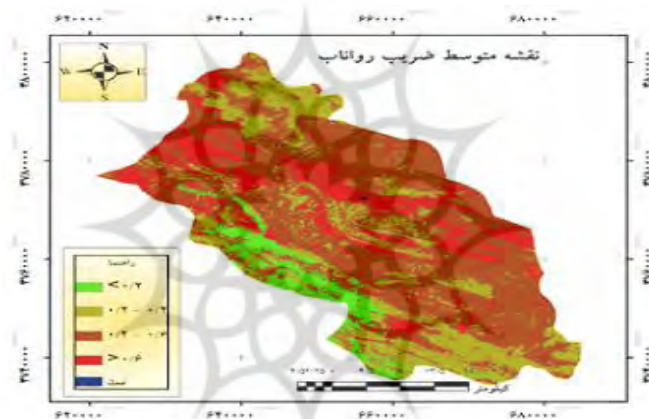
شکل (۶): نقشه‌ی حداکثر توان نگهداشت حوضه‌ی سیاه‌خور در شرایط AMCIII  
Fig (6): Map of the maximum capacity of the Siahkhor basin in the conditions AMCIII

### ۳-۲- بررسی میزان بارش رواناب حوضه

بررسی پهنه‌بندی بارش حوضه‌ی سیاه‌خور با استفاده از داده‌های بارش سه ایستگاه اسلام‌آباد غرب، سراب شیان و سراب هرسام در طول دوره‌ی آماری ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۵ نشان می‌دهد که بیش‌ترین میزان بارش و رواناب در سال ۱۳۸۵ (به ترتیب ۵۷۹/۵ و ۳۸۰ میلی‌متر) و کم‌ترین میزان بارش و رواناب در سال ۱۳۸۷ (به ترتیب ۲۳۳ و ۸۹/۳۸ میلی‌متر) رخ داده است. بنابراین به طور متوسط ۵۵ درصد بارش در حوضه‌ی سیاه‌خور به رواناب تبدیل شده است (جدول ۵). لذا بر اساس توزیع مکانی، مقادیر ضریب رواناب حوضه، به ۴ کلاس زیاد (بیش‌تر از ۰/۶) نسبتاً زیاد (۰/۴ - ۰/۶)، متوسط (۰/۲ - ۰/۴) و کم (کم‌تر از ۰/۲) تقسیم‌بندی شد (شکل ۷ و جدول ۵).

جدول (۵): مساحت و درصد مساحت طبقات ضریب رواناب  
Table (5): Area and area percentage of runoff coefficient classes

ضریب رواناب	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
کم	۹۶/۱۲۵۰۳	۰۹/۶
متوسط	۵۸/۵۰۶۶۶	۶۹/۲۴
نسبتاً زیاد	۰۳/۱۱۲۳۳۹	۷۴/۵۴
زیاد	۷۶/۲۹۶۹۶	۴۷/۱۴



شکل (۷): نقشه‌ی متوسط ضریب رواناب در حوضه‌ی سیاه‌خور  
Fig (7): Average map of runoff coefficient in Siahkhor basin

### ۳-۳- مقایسه‌ی معیارها و زیرمعیارها در ارزیابی توان استحصال آب

بررسی جدول (۶) و نتایج بدست آمده از مقایسات زوجی بین معیارهای اصلی نشان می‌دهد که معیار هیدرولوژی نسبت به معیارهای فیزیکی و توپوگرافی به ترتیب  $۶/۴$  و  $۸/۵$  و معیار فیزیکی  $۳/۲$  برابر بر معیار توپوگرافی، کاربری اراضی نسبت به گروه‌های هیدرولوژی خاک و بافت خاک به ترتیب  $۲/۴$  و  $۳/۷$  برابر، گروه‌های هیدرولوژیک خاک  $۳$  برابر نسبت به بافت خاک و ضریب رواناب  $۶/۵$  برابر نسبت به تراکم زهکشی در استحصال آب باران ارجحیت دارند.

جدول (۶): مقایسه‌ی زوجی بین معیارهای اصلی در رابطه با RWH  
Table (6): Pair comparison between the main criteria in relation to RWH

*	هیدرولوژی	فیزیکی	توپوگرافی	ضریب ناسازگاری
هیدرولوژی	۱	$۶/۴$	$۸/۵$	
فیزیکی	*	۱	$۳/۲$	$۰/۰۸$
توپوگرافی	*	*	۱	

نتایج حاصل از مقایسه‌ی زوجی بین معیارهای اصلی نسبت به معیار هیدرولوژی نشان داد که معیار هیدرولوژی به ترتیب  $5/7$  و  $7/3$  نسبت معیارهای فیزیکی و توپوگرافی و معیار فیزیکی  $3/2$  برابر معیار توپوگرافی ارجحیت دارد (جدول ۷).

جدول (۷): ماتریس وابستگی داخلی بین معیارهای اصلی با توجه به معیار هیدرولوژی

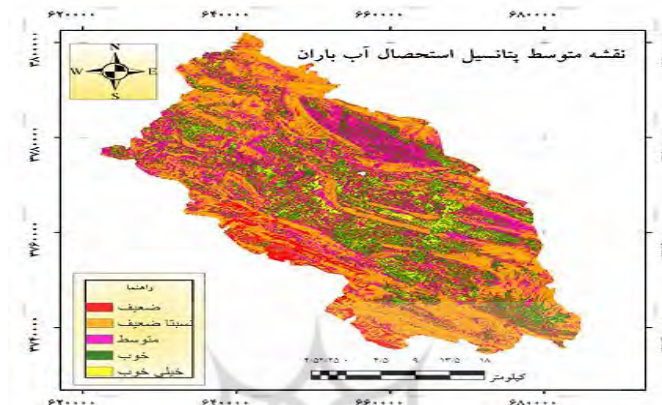
Table (7): Internal dependency matrix between the main criteria according to the hydrology criterion

* هیدرولوژی	فیزیکی	توپوگرافی	ضریب ناسازگاری
هیدرولوژی	$5/7$	$7/3$	
فیزیکی	*	$3/2$	$0/09$
توپوگرافی	*	*	$1$

در مقایسه‌ی معیارهای اصلی نسبت به معیار فیزیکی بر اساس نظر اکثر کارشناسان معیار هیدرولوژی تأثیری بر هیچ کدام از معیارهای فیزیکی نداشت و از مقایسات زوجی حذف گردید. اما معیار فیزیکی نسبت به معیار توپوگرافی  $2/3$  برابر ارجحیت داشت. نتایج نشان داد که زیرمعیار کاربری اراضی  $2/2$  برابر زیرمعیار گروه‌های هیدرولوژیک خاک بر روی ضریب رواناب مؤثر است و زیرمعیار بافت خاک تأثیری بر ضریب رواناب نداشته است. نتایج مقایسات زوجی زیرمعیارهای فیزیکی مؤثر بر تراکم زهکشی نشان داد که کاربری اراضی به ترتیب  $1/2$  و  $3/6$  برابر تأثیرگذارتر از گروه‌های هیدرولوژیک خاک و بافت خاک است و گروه‌های هیدرولوژیک خاک  $5/4$  برابر نسبت به بافت خاک دارای ارجحیت می‌باشد. وابستگی داخلی بین معیارهای فیزیکی مؤثر بر زیرمعیار گروه‌های هیدرولوژیک خاک نشان می‌دهد که زیرمعیار کاربری اراضی  $1/1$  برابر بافت خاک بر روی گروه‌های هیدرولوژیک خاک مؤثر می‌باشند. بررسی وزن نهایی زیرمعیارها نشان می‌دهد که شیب با  $0/32$  و ضریب رواناب با  $0/24$  بیش‌ترین و تراکم زهکشی و گروه‌های هیدرولوژیک خاک به ترتیب با  $0/03$  و  $0/07$  کم‌ترین وزن‌ها را دارند.

### ۳-۴- تهیه‌ی نقشه‌ی پتانسیل استحصال آب باران

با توجه به نقشه‌ی نهایی پتانسیل استحصال آب باران شکل (۸) و جدول (۸) حوضه‌ی سیاه‌خور به ۵ کلاس ضعیف ( $2/84-3/84$ )، نسبتاً ضعیف ( $3/84-4/84$ )، متوسط ( $4/84-5/84$ )، نسبتاً خوب ( $5/84-6/84$ ) و خوب ( $6/84-7/84$ ) تقسیم‌بندی شد. نتایج بررسی جدول (۸) نشان می‌دهد که کلاس‌های نسبتاً ضعیف و نسبتاً خوب به ترتیب با  $35/49$  و  $29/20$  درصد دارای بیش‌ترین و کلاس ضعیف با  $2/96$  درصد کم‌ترین سطح را به خود اختصاص داده است.



شکل (۸): نقشه‌ی پتانسیل استحصال آب باران در حوضه‌ی سیاه‌خور  
**Fig (8):** Map of rainwater harvesting potential in Siahkhor basin basin

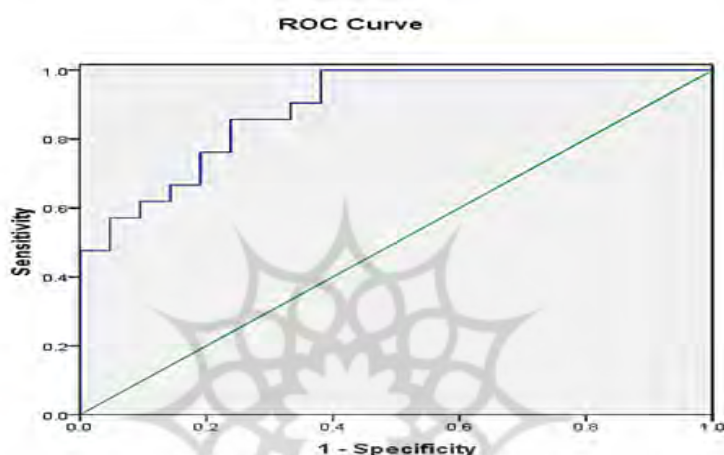
جدول (۸): مساحت کلاس‌های پتانسیل استحصال آب باران  
**Table (8):** Area of potential rainwater harvesting classes

کلاس	مساحت	درصد
ضعیف	۵۹۱۸/۰۴	۲/۹۶
نسبتاً ضعیف	۷۱۰۰۸/۳۲	۳۵/۴۹
متوسط	۵۲۱۴۷/۸۳	۲۶/۰۶
نسبتاً خوب	۸۸۵۸۴۳۵/۱	۲۹/۲۰
خوب	۱۲۵۸۱۳۰	۶/۳۹

### ۳-۵- اعتبارسنجی نقشه‌ی جمع‌آوری آب باران

بر اساس نتایج حاصله از منحنی ROC، سطح زیر ارزش منحنی منطقه مورد مطالعه ۸۹٪ است که نشان‌دهنده‌ی ارزیابی بسیار خوب مدل ANP می‌باشد (شکل ۹). بررسی‌ها نشان می‌دهد که ۱۱۵ نقطه‌ی جمع‌آوری آب باران در منطقه بصورت تکه‌های کوچک بوده و یکپارچه نمی‌باشند، در حالی که درصد مساحت مناطق متوسط، نسبتاً خوب و خوب برآورد پتانسیل جمع‌آوری آب باران در سطح حوضه به صورت یکپارچه تعیین و پهنه‌بندی شده است. در این ۱۱۵ نقاط جمع‌آوری آب باران، برخی از عوامل دارای تناسب در تعیین مکان یابی می‌باشند، که عمده‌ترین آن شیب و رواناب می‌باشد. در حالی که در ۶ درصد مساحت برآورده شده که عمدتاً در شیب‌های پایین دست و میانی واقع می‌باشند تمام پارامترهای فیزیکی، هیدرولوژیکی و توپوگرافی دارای تناسب و مؤثر و دخیل در مکان‌یابی مناطق مستعد مورد توجه قرار گرفته است. در حالی که ۱۱۵ تکه جمع‌آوری آب باران اکثراً براساس تجربیات مردم محلی و ساکنین از جمله عشایر و به صورت فصلی و به صورت موقت استفاده می‌شوند. در حالی که در ۶ درصد مساحت برآورد شده جهت استحصال آب باران، به شکل دائمی است و هدف از این

بررسی معمولاً در چنین حوضه‌های کوهستانی احداث حوضچه‌های بزرگ تأمین آب به شکل پایدار می‌باشد که شامل مناطق متوسط، نسبتاً خوب و خوب می‌باشند.



شکل (۹): منحنی ROC جهت ارزیابی مدل ANP  
Fig (9): ROC curve for ANP model evaluation

#### ۴- نتیجه‌گیری

در حال حاضر کمبود منابع آب و تغییرات اقلیم ضرورت بررسی جایگزین‌های مناسب برای حفاظت از منابع آب را افزایش داده است. در این رابطه جمع‌آوری آب باران (RWH) محتمل‌ترین جایگزین برای مقابله با خشکسالی و کاهش اثرات سیلاب و چالش موجود در مدیریت منابع آب و تصمیم‌گیری صحیح در دنیا می‌باشد. با این وجود، ارزیابی پتانسیل و انتخاب مکان‌های مناسب استحصال و جمع‌آوری آب باران (RWH) برای مدیران منابع آب به خصوص در مقیاس‌های بزرگ چالش‌برانگیز است. در حال حاضر تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA) به عنوان یک ابزار مهم در تصمیم‌گیری‌های مدیریت منابع طبیعی و به‌طور ویژه منابع آب می‌تواند چالش‌های پیش رو را تا حدودی کاهش دهد. هدف از این پژوهش ارائه روشی برای پتانسیل‌یابی جمع‌آوری آب باران (RWH) با استفاده از سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDA) در حوضه‌ی آبریز سیاه‌خور در قالب تعیین عوامل مؤثر در مکان‌یابی مناطق مستعد جمع‌آوری آب باران می‌باشد. نتایج حاصل از این روش نشان داد که ۵۴/۷۴ درصد از حوضه دارای ضریب رواناب نسبتاً زیاد و کافی برای RWH و معادل ۲۹/۲۰ و ۶/۲۹ درصد از سطح حوضه به ویژه در شیب‌های پایین دست و میانی به ترتیب برای جمع‌آوری آب باران دارای کلاس نسبتاً خوب و خوب می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بخش قابل توجهی از حوضه‌ی سیاه‌خور قابلیت استحصال آب باران را دارد که با نتایج سپهری و همکاران (۲۰۱۸)،

سینگ و همکاران (۲۰۱۷)، کوبیناح و همکاران (۲۰۱۹)، یافته‌های نادری و همکاران (۲۰۱۸)، حجازی و همکاران (۲۰۱۸)، مطابقت دارد. نتایج نشان می‌دهد که معیار هیدرولوژی نسبت به معیارهای فیزیکی و توپوگرافی و معیار فیزیکی بر معیار توپوگرافی دارای ارجحیت است. بررسی نقشه پتانسیل استحصال آب باران نشان می‌دهد که کلاس‌های نسبتاً ضعیف و نسبتاً خوب دارای بیشترین و کلاس ضعیف کم‌ترین سطح را به خود اختصاص داده‌اند. که با نتایج زو و همکاران (۲۰۱۸)، سپهری و همکاران (۲۰۱۸)، دخانی و همکاران (۲۰۱۶) و کابیناح و همکاران (۲۰۱۹) از لحاظ دقت و روش کار مطابقت دارد. مشاهدات میدانی و نتایج حاصله از منحنی ROC، نشان می‌دهد که با توجه به مساحت مناطق متوسط، نسبتاً خوب و خوب و بر اساس مشاهدات میدانی و کوهستانی بودن حوضه و سایر عوامل مانند اقتصادی و اجتماعی، اکثر این ۱۱۵ تکه جمع‌آوری آب باران در محل‌هایی احداث شده‌اند که از لحاظ توپوگرافی و هیدرولوژی دارای تناسب بوده و تمامی آن‌ها در سه ناحیه متوسط، نسبتاً خوب و خوب قرار گرفته‌اند. بنابراین نتایج حاصله از این بررسی نشان می‌دهد که تقریباً تکه‌های احداثی و برآوردی در مدل یکدیگر را تایید می‌کنند. نتایج نشان داد تلفیق تکنیک تصمیم‌گیری و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند ابزاری مفید برای برنامه‌ریزی جمع‌آوری آب باران در مقیاس حوضه و زیر حوضه باشد. پیشنهاد می‌شود نقشه مکان‌یابی پتانسیل استحصال آب باران، با نقشه‌ی تقاضای مصرف و برداشت آب، تلفیق و متناسب‌سازی شود. تا با رعایت صرفه اقتصادی حتی در مناطق با پتانسیل متوسط و نسبتاً خوب سیستم استحصال آب باران اجرا شود. به علاوه با به کارگیری سایر روش‌های تصمیم‌گیری در حوضه‌ی آبریز سیاه‌خور و مقایسه نتایج حاصل با مطالعه‌ی حاضر، کارآمدترین روش مکان‌یابی انتخاب شود.



## ۵-منابع

- Akbarpour, A., Sadeghi, S., Foroughi Far, H., & Shahidi, A. (2015). Comparison of GIS-Based Decision Support System (DSS) Locating Predictable Rainfall Areas, *Geography and Development*, 39, 147 - 168.
- Ammar, M. R., Mohamed, O., & Coen, R. (2015). *A Methodology to Assess and Evaluate Rainwater Harvesting Techniques in (Semi-) Arid Regions*.
- Azizur, R.M., Rusteberg, B., Uddin M. S., Lutz, A., & Sauter, M. (2014). An integrated study of spatial multicriteria analysis and mathematical modelling for managed aquifer recharge site suitability mapping and site ranking at Northern Gaza coastal aquifer. *Journal of Environmental Management*, 124, 25-39.
- Cobbinah, P.B., Okyere, D.K., Gaisie, E. (2019). Population growth and water supply: the future of Ghanaian cities. In: *Megacities and Rapid Urbanization: Breakthroughs in Research and Practice*. IGI Global, pp, 96-117.
- Dokhani, S. (2016). Using multivariate regression model & GIS to Siteselection of Rain Water Harvesting (RWH), *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 5(3), 238-242.
- Farahpour, M. (2002). *A planning support system for rangeland allocation in Iran*. PHD thesis, Wageningen University, ITC Netherlands, 186p.
- Ghafouri, S. (2008). *Development and Management of Water Resources in Iran to Cope with Droughts*, Third Iranian Water Resources Management Conference, Faculty of Civil Engineering, Tabriz University. 10p.
- Guizani, M. (2016). Storm Water Harvesting in Saudi Arabia: a Multipurpose Water Management Alternative. *Journal of Water Resour Manage*. 11269-016-1255-4.
- Hejazi, A., & Marzbani, M. (2015). Estimation of Maximum Runoff Height and Discharge Using Curve Number Method Case Study: Sarab Darehshahr Watershed. *Journal of Hydrogeomorphology*, 2(5), 63-81.
- Hernández-Guzmán. R., & Ruiz-Luna, A. (2013). SARA – An enhanced curve number-based tool for estimating direct runoff, *Journal of Hydro informatics*, 15, 881 - 887.
- Keshavarz, A., Khashei seok, A., Najafi, M.H. (2013). Locate the appropriate extraction of drinking water using fuzzy hierarchical analysis (case study of the aquifer Birjand), *Journal of Water and Wastewater*, 25(5), 33-64.
- Madan K. Jha., Chowdary, V.M., Kulkarni, Y., & Mal, B.C. (2014). *Rainwater harvesting planning using geospatial techniques and multicriteria decision analysis*, Resources, Conservation and Recycling, 83, 96-111.
- Naderi, M., Ildoromi, A., Nouri, H., Aghabeigi Amin, S., & Zeinivand, H. (2018). The Impact of Land Use and Climate Change on Watershed Runoff Model SWAT (Case Study: Watershed Garin). *Journal of Hydrogeomorphology*, 4(14), 23-42.

- Nouri, Z., & Zareh Chahouki, M. A. (1979). Optimal Use of Rainwater an Appropriate Solution to Combat Dehydration in Arid and Semi-Arid Areas, *Abou Sustainable Development Journal*, Fifth Year, 1, 112- 115.
- Pilak, N., & Porporato, A. (2016). Sizing a rainwater harvesting cistern by minimizing costs. *Journal of Hydrology*, 541, 1340–1347.
- Rahmati, A. (2013). *Survey of Quantitative Status and Location of Groundwater Potential Areas (Case Study: Qorveh-Dehgolan Plain)*, MSc Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, 96 p.
- Sepehri, M., Malekinezhad, H., Ilderomi, A.R., Talebi, A., & Hosseini, S.Z. (2018). Studying the effect of rain water harvesting from roof surfaces on runoff and household consumption reduction Sustainable, *cities and society*, 43, 317-324.
- Shereif, H., Mahmoud, X. (2015). Monitoring prospective sites for rainwater harvesting and stormwater management in the United Kingdom using a GIS-based decision support system, *Environ Earth Sci*, DOI 10.1007/s12665-015-4026-2, *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 73(12), 8621-8638.
- Singh, L.K., Jha, M.K., & 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.
- Xu, w. (2018). Improving the multi- objective performance of Rain Water Harvesting system using real-time control technology. *Water*, 10, 147- 157.