تعیین پتانسیل استحصال آب باران بر اساس عوامل ژئومورفولوژیکی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (حوضه آبخیز کلات، خراسان رضوی)

مسعود عشقی زاده[۱]

۱ - استادیار مجتمع آموزش عالی گناباد

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۵

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۷

چکیده

در این تحقیق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به عنوان یک روش ساده و در دسترس با تلفیق در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای تعیین پتانسیل استحصال آب باران در مقیاس حوضه آبخیز و بر اساس عوامل ژئومورفولوژیکی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور ابتدا عوامل کاربری و پوشش زمین، توپوگرافی، زمین‌شناسی، بافت خاک، نفوذپذیری خاک و پوشش گیاهی به عنوان عوامل ژئومورفولوژیکی تعیین‌کننده پتانسیل حوضه آبخیز کلات واقع در جنوب خراسان رضوی برای استحصال آب باران در نظر گرفته شدند و بر اساس آن‌ها لایه‌های اطلاعاتی مورد نظر تهیه شد. سپس وزن معیارها و طبقات آن‌ها با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی محاسبه و پس از اعمال آن‌ها روی لایه‌های موجود، نقشه پتانسیل استحصال آب باران تهیه شد. بر اساس نتایج به دست آمده از بین عوامل ژئومورفولوژیکی در نظر گرفته شده در استحصال آب باران، عامل گروه‌های هیدرولوژیک خاک با وزن ۰/۴۴۴ بیش‌ترین اهمیت نسبی را داشت. با توجه به این که گروه‌های هیدرولوژیک خاک بر اساس بافت خاک و نفوذپذیری آن تعیین می‌گردد، می‌توان این دو عامل را موثرترین عوامل برای استحصال آب باران از نظر ژئومورفولوژیکی در نظر گرفت. در این مطالعه مشخص شد ۵۶/۲ درصد از مساحت حوضه دارای پتانسیل متوسط و ۱۶/۵ درصد پتانسیل بالا و خیلی بالا برای استحصال آب باران است. نتایج حاصل نشان داد روش مطالعاتی می‌تواند به عنوان یک روش ارزیابی کیفی و سریع استحصال آب باران در مقیاس حوضه آبخیز به کار گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: استحصال آب باران، پتانسیل کیفی، تصمیم‌گیری چند معیاره، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

مقدمه

هر گاه شدت بارندگی بیش‌تر از شدت نفوذ آب در خاک باشد، بخشی از بارندگی در سطح خاک جمع شده و در امتداد شیب جریان می‌یابد که به این بخش از بارندگی رواناب گفته می‌شود (Rosewell, 1993). عواملی که بر میزان رواناب یک منطقه موثرند بخشی ناشی از خصوصیات فیزیکی حوضه از جمله ویژگی‌های فیزیوگرافی، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، خاک، بارش و برخی نیز ناشی از تغییر کاربری در نتیجه فعالیت‌های انسان می‌باشند (رمضانی، ۱۳۸۱). بنابراین تولید رواناب در نقاط مختلف یک حوضه آبخیز متفاوت است (واعظی و همکاران، ۱۳۸۷). در نواحی کوهستانی مناطق خشک و نیمه خشک معمولاً به دلیل پوشش گیاهی کم، عمق کم خاک و سنگلاخی بودن بخش عمده‌ای از ارتفاعات، بخش عظیمی از بارش‌ها بلافاصله تبدیل به رواناب می‌شود (عشقی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹). با شناسایی و تعیین این محل‌ها می‌توان از طریق استقرار سیستم‌های جمع‌آوری باران و رواناب اقدام به توسعه انواع کشت‌های سازگار با منطقه نمود. اما این کار نیازمند شناسایی مناطق دارای پتانسیل برای این منظور است (خیرخواه و همکاران، ۱۳۹۴؛ سلطانی، ۱۳۹۶؛ Durbude et al., 2000). علاوه بر این شناخت تغییرات مکانی رواناب در مدیریت صحیح حوضه آبخیز اهمیت بسیاری دارد (صادقی و همکاران، ۱۳۹۸؛Yang et al., 2005).

[1] نویسنده مسئول: مسعود عشقی زاده m.eshghizadeh@gonabad.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.3.5.7]

در راستای مطالعات صورت گرفته در این زمینه، Winnaar و همکاران (2007) با استفاده از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی، محل‌های مناسب جمع‌آوری رواناب در آفریقای‌جنوبی را شناسایی نمودند. آنان برای این منظور تغییرات مکانی خاک، کاربری اراضی، بارش و شیب را در نظر گرفته و با خروجی که شامل نقشه محل‌های مناسب برای جمع‌آوری رواناب بود، نشان دادند که سیستم اطلاعات جغرافیایی قادر به مکان‌یابی مناطق تولید رواناب درون یک حوضه آبخیز بوده و می‌تواند نقش مهمی را در این ارتباط ایفا نماید. همچنین Sharma و Singh (2012) محل‌های جمع‌آوری رواناب را با به کارگیری رابطه بین پوشش زمین و گروه‌های هیدرولوژیک خاک در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی[1](GIS) تعیین نمودند. آن‌ها نشان دادند کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی در این روش، دقت تعیین محل‌های دارای پتانسیل را افزایش می‌دهد و امکان کاربرد اطلاعات مکانی در تلفیق و نمایش خصوصیات آن را در نقشه‌ها ممکن می‌سازد. Mahmoud و همکاران (2014) به منظور شناسایی نقاط مناسب برای جمع‌آوری آب باران از سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری با به کارگیری سنجش از دور، داده‌های میدانی و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده نمودند. آن‌ها برای این منظور اطلاعات بارش مازاد، شیب، ضریب رواناب، پوشش سطح زمین، کاربری اراضی و بافت خاک را بر اساس فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[2] (AHP) در یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد این روش قادر به ارائه نقشه تناسب مناطق برای احداث سیستم‌های جمع‌آوری آب باران است. Gogate و Rawal (2015) مناطق مناسب تغذیه مصنوعی منابع آب زیرزمینی در مناطق شهری را برای رواناب‌های حاصل از وقایع رگباری مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور پنج لایه اطلاعاتی شیب، سطح آب زیرزمینی، ژئومورفولوژی، کاربری اراضی و شرایط نفوذپذیری در محیط GIS با هم تلفیق و نقشه نهایی مناطق مناسب تغذیه مصنوعی برای شهر پیون[3] هند تهیه شد. Al-shabeeb (2016) از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در محیط GIS برای تعیین محل‌های دارای پتانسیل برای احداث سیستم‌های جمع‌آوری آب باران در کشور اردن استفاده نمود. در این مطالعه شش معیار اصلی بارش، شیب، درصد رس، زمین‌شناسی، تراکم آبراهه، تراکم گسل‌ها و شکستگی‌ها وزن‌دهی و بر اساس آن نقشه محل‌های مناسب جمع‌آوری آب باران تهیه شد. هم‌چنین Shashikumar و همکاران (2018) در مطالعه‌ای محل‌های مناسب احداث بندهای اصلاحی را به منظور جمع‌آوری آب باران با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در یکی از حوضه‌های هند مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور معیارهای بافت خاک، شیب، کاربری اراضی، پوشش زمین، رتبه آبراهه و در دسترس بودن آب به عنوان معیارهای تعیین کننده در نظر گرفته شد و پس از وزن‌دهی و تلفیق این لایه‌ها در محیط GIS، نقشه محل‌های مناسب برای استحصال آب باران در حوضه‌ی مورد مطالعه استخراج شد. در ایران نیز عشقی زاده و همکاران (۱۳۸۹) به ارزیابی مکانی رواناب در حوضه آبخیز کلات بر اساس عکس العمل هیدرولوژیکی حوضه و تلفیق آن با سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. آن‌ها برای این منظور سطح مکان‌های جمع‌آوری رواناب پتانسیل را نسبت به سطح تمرکز رواناب و محل توزیع آب ذخیره شده با لحاظ معیارهای فاصله از قنات، فاصله از اراضی زراعی، توپوگرافی، خاک و کاربری زمین تعیین نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد ۴/۸ درصد از سطح حوضه به منظور جمع‌آوری رواناب دارای تناسب بالا و خیلی بالاست. خیرخواه و همکاران (۱۳۹۴) مناطق مستعد استحصال و ذخیره‌سازی آب باران را با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و با در نظر گرفتن عوامل موثر بر نفوذ و ذخیره آب باران در پروفیل خاک، در حوضه آبخیز رود سراب شهرستان خوشاب مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور شش معیار کاربری اراضی، شیب، نفوذپذیری، بافت خاک، عمق خاک و بارش در نظر گرفته شد. نتایج آن‌ها نشان داد اثر عامل کاربری اراضی در تولید رواناب و عامل بافت خاک در ذخیره رواناب از سایر عوامل بیش‌تر بوده است. یوسفی و همکاران (۱۳۹۴) به منظور مکان‌یابی محل‌های مناسب اجرای عملیات بیومکانیکی در مراتع از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و با در نظر گرفتن چهار معیار اصلی توپوگرافی، بارندگی، پوشش سطح زمین و خصوصیات خاک در

1 - Geographic Information System
2 - Analytic hierarchy process
3 - Pune

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-05-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.3.5.7]

حوضه آبخیز رود سراب شهرستان خوشاب استفاده نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که عامل توپوگرافی بیش‌ترین تاثیر را در مکان‌یابی اجرای این پروژه‌ها داشته است و با کمک این روش می‌توان نقشه مکان‌یابی مناسب اجرای پروژه‌های اصلاحی را در مراتع تهیه نمود. Eshghizadeh (2017) روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، روش‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و فرآیند تحلیل شبکه‌ای[1] (ANP) را به منظور برآورد پتانسیل سیل‌خیزی و مقایسه این دو روش در حوضه زوجی کاخک شهرستان گناباد مورد بررسی قرار داد. در این مطالعه عوامل موثر بر سیل‌خیزی شامل عوامل توپوگرافی، اقلیمی، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، هیدرولوژی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی انتخاب شد و پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی، آن‌ها را با استفاده از AHP و ANP وزن‌دهی نمودند. نتایج این مطالعه با وجود موفقیت هر دو روش در تعیین پتانسیل سیل‌خیزی و نمایش تغییرات مکانی آن در سطح حوضه، برای مطالعات در مقیاس حوضه آبخیز روش AHP و در مقیاس زیرحوضه روش ANP مورد تایید قرار داد. سلطانی (۱۳۹۶) در بررسی امکان‌سنجی مناطق مستعد استحصال آب باران با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به منظور احیاء منابع آب و تقویت پوشش گیاهی در حوضه آبخیز خسروآباد شهرستان سنقر از عوامل موثر بر نفوذ و ذخیره آب باران در پروفیل خاک استفاده نمود. در مطالعه صورت گرفته، هفت عامل پوشش گیاهی، شیب، بارندگی، کاربری اراضی، گروه‌های هیدرولوژیک خاک، طبقات ارتفاعی و فرسایش در نظر گرفته شد. نتایج حاصل نشان داد عوامل بارندگی، شیب و گروه‌های هیدرولوژیک خاک نسبت به سایر عوامل از اهمیت بیش‌تری برخوردار بوده‌اند. همچنین سوری و همکاران (۱۳۹۶) به منظور تعیین مناطق دارای پتانسیل بالای آب زیرزمینی در دشت رومشگان از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به کمک سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده نمودند. برای این منظور لایه‌های سنگ‌شناسی، ضخامت آبرفت، کاربری اراضی، هیپسومتری، شیب، تراکم آبراهه، تراکم گسل، دما و بارش به روش فازی تهیه شد. نتایج حاصل نشان داد عامل سنگ‌شناسی بیش‌ترین اهمیت را در بین عوامل داشته و امکان تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی با این روش وجود دارد. سلطانی و همکاران (۱۳۹۷) به منظور شناسایی محل‌های مناسب برای احیاء منابع آب زیرزمینی با استفاده از استقرار سیستم‌های جمع‌آوری آب باران از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در حوضه آبخیز خسروآباد شهرستان سنقر استفاده نمودند. برای این منظور معیارهای پوشش گیاهی، تاج پوشش، درصد و جهت شیب، بارندگی، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، گروه‌های هیدرولوژیک خاک، ژئومورفولوژی، طبقات ارتفاعی و فرسایش خاک در نظر گرفته و بر اساس آن‌ها نقشه مناطق مناسب برای تغذیه منابع آب زیرزمینی تهیه شد.

بنابراین با توجه به لزوم مدیریت منابع آب به ویژه نزولات جوی و توسعه سیستم‌های جمع‌آوری آب باران برای بهره‌وری بیش‌تر از آب باران، مهار و کاهش فرسایش خاک و جلوگیری از تمرکز یافتن آن در آبراهه‌ها و رودخانه‌ها که در برخی موارد منجر به ایجاد سیلاب‌های شدید و خسارت‌های جانی و مالی گسترده می‌شود، ارائه روشی کاربردی، سریع و ساده برای تعیین مناطق دارای پتانسیل استحصال آب باران ضروری به نظر می‌رسد. در نتیجه به منظور یکسان‌سازی این مطالعات در کل کشور لازم است که یک روش استاندارد معرفی و به کار گرفته شود. زیرا در مطالعات مختلف از فاکتورها و روش‌های مختلفی برای تعیین وزن عوامل موثر برای این منظور ممکن است استفاده شود که اولویت‌بندی و مقایسه این حوضه‌ها را نسبت به هم با مشکل مواجه می‌سازد. لذا هدف از این مطالعه توسعه یک روش به منظور شناسایی و تعیین پتانسیل کیفی استحصال آب باران در مقیاس حوضه آبخیز بر اساس عوامل ژئومورفولوژیکی و با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی است تا به عنوان یک روش سریع و ساده در شناسایی محل‌های دارای پتانسیل برای استحصال آب باران به کار گرفته شود.

[1] Analytic network process

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-05-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.3.5.7]

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز کلات در ۲۵ کیلومتری جنوب گناباد و در فاصله بین شهرستان‌های گناباد و فردوس در خراسان رضوی واقع شده است. این حوضه ۴۲۸۰ هکتار وسعت داشته و متوسط بارندگی آن ۲۶۰ میلی‌متر است. از لحاظ توپوگرافی کوهستانی بوده و دارای شیب متوسط ۴۵ درصد است. حداکثر ارتفاع حوضه ۲۵۹۱ متر و حداقل ارتفاع در محل خروجی حوضه ۱۶۰۰ متر می‌باشد. شکل (۱) موقعیت حوضه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

شکل (۱): موقعیت حوضه مورد مطالعه

روش کار

در روش ارائه شده در این تحقیق معیارهای اصلی کاربری و پوشش زمین، توپوگرافی، زمین‌شناسی، بافت خاک، نفوذپذیری خاک و پوشش گیاهی به عنوان عوامل ژئومورفولوژیکی اصلی تعیین‌کننده در پتانسیل یک محل در استحصال آب باران در نظر گرفته شد و بر اساس آن لایه‌های اطلاعاتی کاربری و پوشش زمین، شیب، جهت شیب، سازندهای زمین‌شناسی، گروه‌های هیدرولوژیک خاک و تیپ و درصد تاج پوشش گیاهی به عنوان لایه‌های ورودی تهیه شد.

نقشه شیب و جهت شیب حوضه از مدل رقومی ارتفاع حوضه در محیط ILWIS 3 تهیه و طبقه‌بندی شد. نقشه کاربری و پوشش زمین شامل مناطق مسکونی، زراعت آبی و باغی، دیم، درخت‌کاری، سنگلاخی، مرتع و جاده از روی عکس هوایی و کنترل زمینی تهیه شد. نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک با استفاده از داده‌های حاصل از آزمایشات نفوذپذیری و بافت خاک تهیه شد. برای این منظور آزمایشات میدانی نفوذپذیری با استفاده از استوانه‌های زوجی انجام گرفت. این آزمایشات در سازندهای زمین‌شناسی و کاربری‌های مختلف حوضه انجام شد. همچنین با نمونه‌برداری از خاک و تعیین بافت خاک حوضه، آزمایشات مذکور کنترل شد. بر اساس این آزمایشات پنج کلاس بافت خاک شامل لومی شنی، لوم رسی شنی، لومی، شنی و شنی لومی شناسایی شد. بدین ترتیب با استفاده از داده‌های حاصل از این آزمایشات، نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک حوضه تهیه شد. نقشه سازندهای زمین‌شناسی نیز از نقشه پایه زمین-شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه استخراج و با کمک عکس‌های هوایی و بازدید میدانی کنترل شد. بر اساس مطالعات پوشش گیاهی انجام گرفته سه تیپ مرتعی در حوضه کلات شناسایی شد که ویژگی‌های آن‌ها به شرح جدول (۱) است.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-05-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.3.5.7]

جدول (۱): ویژگی‌های تیپ‌های غالب گیاهی حوضه آبخیز کلات

شماره تیپ	تیپ	مساحت تیپ به هکتار	متوسط درصد تاج پوشش
I	زراعت آبی و باغی	۱۳۲۹/۶	بیشتر از ۷۰
II	Lactuce orientalis – Annuals grasses	۶۵۰/۸	۱۱
III	Senecio orientalis-Lactuca orientalis	۹۱۲/۵۴	۲۳
IV	Artemisia kopedagensis-Senecio orientalis	۱۳۰۷/۰۶	۲۸
	سطوح فاقد پوشش	۸۰	۰
	کل حوضه آبخیز	۴۲۸۰	۳۶/۸

- وزن‌دهی معیارها و طبقات آن‌ها و تهیه لایه‌های وزنی

برای تعیین وزن معیارها و طبقات آن‌ها در این تحقیق از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در نرم افزار Expert Choice به شرح مراحل زیر استفاده شد (Saaty & Vargas, 1980).

مرحله اول: ساخت سلسله مراتبی

پس از شناسایی عوامل و معیارهای موثر بر تولید رواناب که در بالا بیان شد، ساختار سلسله مراتبی شامل معیارها و زیرمعیارها ایجاد شد.

مرحله دوم: تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی و تعیین وزن معیارها و طبقات معیارها

در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ابتدا عناصر هر سطح به صورت زوجی مقایسه شده و ماتریس مقایسه زوجی تشکیل شد؛ سپس با استفاده از این ماتریس، وزن نسبی عناصر آن سطح محاسبه شد. کلیه مقایسه‌ها در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به صورت زوجی انجام شد. در این مقایسه‌ها تصمیم‌گیرندگان از قضاوت‌های شفاهی به شکل ارائه شده توسط Saaty (1980) به مقادیر کمی بین ۱ تا ۹ تبدیل شده است که در جدول (۲) مشخص شده‌اند.

برای این منظور از قضاوت کارشناسان اجرایی و متخصصان دانشگاهی استفاده شد. هر یک از کارشناسان اجرایی و متخصصان دانشگاهی به صورت فردی نظریات خود را در مورد اهمیت نسبی هر معیار به صورت مقایسه زوجی نسبت به هم و همچنین طبقات هر معیار در پتانسیل تولید رواناب با توجه به جدول (۲) بیان داشته و بر اساس آن برای معیارها و طبقات هر معیار ماتریس عددی مقایسات زوجی ساخته و از طریق مقایسات زوجی نرم افزار Expert Choice به صورت ماتریس اعداد وارد مدل شدند. بدین ترتیب پس از وارد کردن هر ماتریس مقایسه زوجی، مدل نموداری وزن‌ها به نمایش در آمده و نرخ ناسازگاری محاسبه شد. در حالت کلی اگر نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ باشد ناسازگاری قابل قبول است و در صورتی که بیش از این مقدار باشد، باید در قضاوت‌های صورت گرفته بازنگری گردد (قدسی پور، Drake, 1998; Steiguer et al., 2003; Eshghizadeh, 2017;۱۳۸۵).

جدول (۲): مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی (Saaty & Vargas, 1980)

ترجیحات (قضاوت شفاهی)		مقدار عددی
کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر و مطلوبتر	Extremely Preferred	۹
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی	Very Strongly Preferred	۷
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی	Strongly Preferred	۵
کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوبتر	Moderately Preferred	۳
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان	Equally Preferred	۱
ترجیحات بین فواصل فوق		۸، ۶، ۴، ۲

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-05-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.3.5.7]

تلفیق لایه‌های وزنی

پس از تعیین وزن نسبی هر معیار و طبقات آن در پتانسیل تولید رواناب، وزن نهایی طبقات معیارها از طریق ضرب وزن نسبی هر معیار در وزن طبقات آن محاسبه شد. سپس وزن نهایی طبقات بر نقشه‌های رستری طبقات معیارها در محیط ILWIS 3 اعمال شد و این لایه‌های رستری با هم تلفیق شدند و در نهایت نقشه پتانسیل استحصال آب باران که یک نقشه وزنی است حاصل شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج حاصل، در بین ۶ معیار اصلی، عامل گروه‌های هیدرولوژیک خاک با وزن ۰/۴۴۴ بیش‌ترین و عامل جهت شیب کم‌ترین اهمیت نسبی را در پتانسیل مناطق برای استحصال آب باران داشته است. محاسبه وزن نهایی طبقات معیارها از طریق ضرب اهمیت نسبی هر معیار در اهمیت نسبی طبقات آن نیز نشان داد طبقه D گروه هیدرولوژیک خاک بیش‌ترین وزن (۰/۲۷۴) و طبقات زراعت آبی و باغی، نهال‌کاری و جهت شیب شمالی کم‌ترین وزن (۰/۰۰۲) را در استحصال آب باران داشته‌اند. جدول (۳) اهمیت نسبی معیارها و طبقات معیارها و وزن نهایی طبقات را نشان می‌دهد. بر اساس این نتایج، مناطق مسکونی، سنگ‌لاخی، جاده، دامنه‌های جنوبی و غربی با شیب بالای ۶۰ درصد و دارای سنگ‌های آگلومرا و برش آتشفشانی و پوشش گیاهی کمتر از ۱۱ درصد مناسب‌ترین محل‌ها برای ایجاد سطوح جمع‌آوری آب باران در حوضه کلات شناخته شدند. این مناطق حاصل تلفیق اطلاعات مربوط به کاربری اراضی، شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، گروه‌های هیدرولوژیک خاک، تیپ و درصد پوشش گیاهی در حوضه مورد مطالعه است که بر اساس نظر کارشناسی خبرگان در مورد امکان به کارگیری سیستم‌های استحصال آب باران صورت گرفته است. نتایج حاصل از تلفیق این اطلاعات می‌تواند به عنوان یک نقشه پایه برای این منظور در نظر گرفته شوند. با این وجود برای استقرار این سیستم‌ها در محل‌های تعیین شده مواردی مانند دسترسی آسان‌تر، مالکیت، سطح زیر کشت می‌توانند خود سبب اولویت‌بندی این محل‌ها برای اجرا شوند.

نقشه پتانسیل استحصال آب باران با اعمال وزن نهایی طبقات بر روی نقشه‌های رستری طبقات معیارها و تلفیق این لایه‌های وزنی در محیط GIS تهیه و در پنج کلاس تناسب طبقه‌بندی شد. شکل (۲) نقشه پتانسیل کیفی استحصال آب باران را در حوضه کلات نشان می‌دهد. در این نقشه به محدوده‌هایی که همه این ویژگی‌ها را دارا بودند، پتانسیل خیلی بالا برای استقرار سیستم‌های جمع‌آوری آب باران داده شد که وسعت آن ۱۷۳ هکتار محاسبه شد. بر اساس نتایج حاصل، ۵۶ درصد از مساحت حوضه دارای پتانسیل متوسط و ۱۶/۵ درصد از آن دارای پتانسیل بالا و خیلی بالا برای استحصال آب باران است. جدول (۴) درصد مساحت طبقات پتانسیل کیفی تولید رواناب را نشان می‌دهد.

نتایج این تحقیق نشان داد بیش از ۵۶ درصد سطح حوضه از پتانسیل متوسط به بالا برای استحصال آب باران برخوردار است. در مطالعه صورت گرفته توسط عشقی زاده و همکاران (۱۳۸۹) که با در نظر گرفتن دو عامل شیب و شماره منحنی و بر اساس رتبه‌بندی تناسب صورت گرفت، بیش از ۶۴ درصد مساحت این حوضه دارای پتانسیل تولید رواناب بالا تشخیص داده شد. نتایج هر دو روش، پتانسیل این حوضه را برای استحصال آب باران نشان داد. بررسی بیش‌تر نشان داد تنها مساحت طبقات متوسط و زیاد در این دو روش با هم اختلاف بارزی دارند که با توجه به این که در روش ارائه شده در این تحقیق شش عامل اصلی و ۲۸ طبقه در نظر گرفته شده است، می‌توان نتایج این روش را با واقعیت منطقه نزدیک‌تر دانست. در نظر گرفتن تنها دو عامل شیب و شماره منحنی در روش عشقی زاده و همکاران (۱۳۸۹) و قرار گرفتن شیب متوسط منطقه در کلاس زیاد از نظر تولید رواناب سبب بیش‌تر نشان داده شدن طبقه پتانسیل تولید رواناب زیاد (۶۴/۲) در حوضه شده است؛ اما به کارگیری عوامل مختلف در این تحقیق سبب تعدیل این عامل شد.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-05-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.3.5.7]

جدول (۳): اهمیت نسبی معیارها و طبقات معیارها و وزن نهایی طبقات در استحصال آب باران

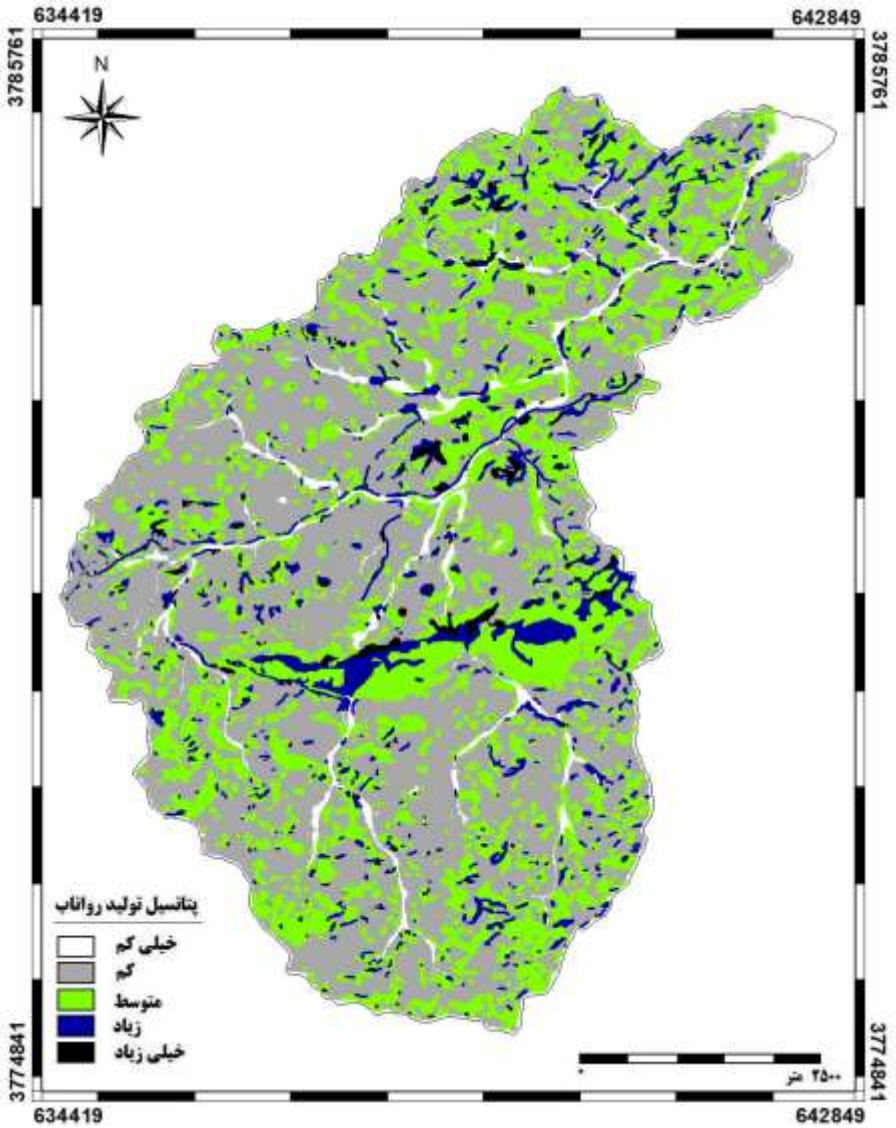
معیارهای اصلی	اهمیت نسبی معیارها	طبقات معیارها	اهمیت نسبی طبقات معیارها	وزن نهایی طبقات
کاربری	۰/۰۹۷	زراعت آبی و باغی	۰/۰۲۰	۰/۰۰۲
		زراعت دیم	۰/۰۵۸	۰/۰۰۶
		مرتع	۰/۰۴۵	۰/۰۰۴
		نهال‌کاری	۰/۰۲۵	۰/۰۰۲
		مسکونی	۰/۲۸۶	۰/۰۲۸
		سنگ‌لاخی	۰/۳۱۹	۰/۰۳۱
		جاده	۰/۲۴۶	۰/۰۲۴
		نرخ ناسازگاری زیرمعیارهای کاربری = ۰/۰۸		
درصد شیب	۰/۱۵۲	کم‌تر از ۱۰ درصد	۰/۰۴۷	۰/۰۰۷
		۱۰ – ۳۰ درصد	۰/۱۰۵	۰/۰۱۶
		۳۰ – ۶۰ درصد	۰/۲۵۷	۰/۰۳۹
		بیش‌تر از ۶۰ درصد	۰/۵۹۱	۰/۰۹۰
		نرخ ناسازگاری زیرمعیارهای شیب = ۰/۰۳		
جهت شیب	۰/۰۲۱	شیب شمالی	۰/۰۷۸	۰/۰۰۲
		شیب شرقی	۰/۱۲۵	۰/۰۰۳
		شیب غربی	۰/۴۹۲	۰/۰۱۰
		شیب جنوبی	۰/۳۰۶	۰/۰۰۶
		نرخ ناسازگاری زیرمعیارهای جهت شیب = ۰/۰۲		
گروه هیدرولوژیک خاک	۰/۴۴۴	گروه هیدرولوژیک A	۰/۰۴۳	۰/۰۱۹
		گروه هیدرولوژیک B	۰/۰۹۹	۰/۰۴۴
		گروه هیدرولوژیک C	۰/۲۴۰	۰/۱۰۷
		گروه هیدرولوژیک D	۰/۶۱۸	۰/۲۷۴
		نرخ ناسازگاری زیرمعیارهای گروه هیدرولوژیک خاک = ۰/۰۶		
سازند زمین-شناسی	۰/۱۹۲	شیل، ماسه سنگ	۰/۳۱۶	۰/۰۶۱
		سنگ آهک نازک لایه	۰/۲۰۰	۰/۰۳۸
		آگلومرا، برش آتشفشانی	۰/۴۰۱	۰/۰۷۷
		تراس آبرفتی	۰/۰۵۳	۰/۰۱۰
		آبرفت	۰/۰۳۰	۰/۰۰۶
		نرخ ناسازگاری زیرمعیارهای سازند زمین‌شناسی = ۰/۰۶		
تیپ و درصد پوشش	۰/۰۹۴	تیپ زراعی و باغی	۰/۰۶۷	۰/۰۰۶
		تیپ II پوشش ۱۱ درصد	۰/۵۱۹	۰/۰۴۹
		تیپ III پوشش ۲۳ درصد	۰/۲۳۱	۰/۰۲۲
		تیپ IV پوشش ۲۸ درصد	۰/۱۸۳	۰/۰۱۷
		نرخ ناسازگاری زیرمعیارهای تیپ و درصد پوشش = ۰/۰۳		
نرخ ناسازگاری معیارهای اصلی = ۰/۰۵				

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.3.5.7]

جدول (۴): درصد مساحت طبقات پتانسیل استحصال آب باران در حوضه آبخیز کلات با استفاده از AHP

پتانسیل مکانی تولید رواناب	درصد مساحت
خیلی کم	۴/۵۶
کم	۲۲/۶۷
متوسط	۵۶/۲۵
زیاد	۱۲/۴۸
خیلی زیاد	۴/۰۴



شکل (۲): نقشه پتانسیل استحصال آب باران در حوضه آبخیز کلات

یکی از اهداف اصلی در مکان‌یابی و تعیین پتانسیل حوضه‌های آبخیز برای سیستم‌های جمع‌آوری آب باران تهیه نقشه تناسب منطقه برای این منظور است (Mahmoud et al., 2014). این پژوهش همانند سایر مطالعات مرتبط با این هدف، نشان داد روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی به خوبی قادر به نمایش تغییرات مکانی تناسب سطح حوضه‌ها برای استحصال آب باران است. این امر نشان دهنده قابلیت و انعطاف روش

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-05-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.3.5.7]

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای مکان‌یابی سیستم‌های جمع‌آوری آب باران است. یکی از مهم‌ترین مزیت‌های این روش عدم محدودیت در انتخاب تعداد عوامل موثر است. به طوری که Winnaar و همکاران (2007) و یوسفی و همکاران (۱۳۹۴) چهار عامل، Mahmoud و همکاران (2014)، Al-shabeeb (2016)، Shashikumar و همکاران (2018) و خیرخواه و همکاران (۱۳۹۴) شش عامل، سلطانی (۱۳۹۶) و Eshghizadeh (2017) هفت عامل، سوری و همکاران (۱۳۹۶) نه عامل و سلطانی و همکاران (۱۳۹۷) ۱۱ عامل را برای این منظور در نظر گرفتند. در این بین عوامل کاربری اراضی، شیب، خصوصیات خاک و بارش در اکثر مطالعات در نظر گرفته شده‌اند. بر اساس نتایج به دست آمده از بین عوامل اصلی در نظر گرفته شده در استحصال آب باران در سطح حوضه، عامل گروه‌های هیدرولوژیک خاک با وزن ۰/۴۴۴ بیش‌ترین اهمیت نسبی را داشته است. با توجه به این که گروه‌های هیدرولوژیک خاک بر اساس بافت خاک و نفوذپذیری تعیین شده‌اند، می‌توان بافت خاک و نفوذپذیری را مهم‌ترین عوامل در استحصال آب باران در این حوضه دانست. Santos و همکاران (2003)، Rubio و همکاران (1997)، Karnieli و Ben-Asher (1993)، در مطالعات خود نشان دادند بافت خاک مهم‌ترین عامل موثر بر تولید رواناب است. همچنین Schulze و همکاران (1992) و Schmidt و Schulze (1987) نیز خاک و خصوصیات آن را تنظیم کننده اصلی پاسخ هیدرولوژیکی یک حوضه می‌دانند. واعظی و همکاران (۱۳۸۷) نیز در بررسی تغییرات مکانی رواناب و عوامل موثر بر آن در خاک‌های آهکی نواحی نیمه خشک شمال غرب به این نتیجه دست یافتند که تاثیر شن درشت و ماده آلی و آهک بر رواناب معنی‌دار است و با تغییرات آن‌ها، رواناب به طور مکانی در سطح منطقه تغییر می‌کند. نتایج Winnaar و همکاران (2007)، Sharma و Singh (2012) و عشقی زاده و همکاران (۱۳۸۹) نیز این مطلب را تایید می‌نماید.

نتیجه گیری

در این تحقیق پهنه‌بندی حوضه کلات به منظور تهیه نقشه تناسب سطح حوضه برای استحصال آب باران با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی صورت گرفت. نقشه تهیه شده نشان داد بیش از ۵۰ درصد سطح حوضه دارای پتانسیل متوسط به بالا برای این منظور است. همچنین مناطق مسکونی، سنگ‌لاخی، جاده، دامنه‌های جنوبی و غربی با شیب بالای ۶۰ درصد و دارای سنگ‌های آگلومرا و برش آتشفشانی و پوشش گیاهی کمتر از ۱۱ درصد مناسب‌ترین محل‌ها برای ایجاد سطوح جمع‌آوری آب باران در حوضه کلات می‌باشند.

بر اساس نتایج حاصل، روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی با محاسبه وزن معیارهای در نظر گرفته شده از طریق مقایسات زوجی و کنترل نرخ ناسازگاری این مقایسات، امکان اعمال این وزن‌ها را بر روی لایه‌های اطلاعاتی مربوطه در محیط GIS فراهم می‌سازد. از مزیت‌های به کارگیری روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، علاوه بر سادگی و صرفه‌جویی زمانی، امکان در نظر گرفتن عوامل مختلف کمّی و کیفی در استحصال آب باران است. عامل اصلی در تعیین پتانسیل استحصال آب باران در این روش مقادیر اهمیت نسبی عوامل و طبقات آن‌ها است که توسط مقایسات زوجی تعیین می‌شوند و عاملی که بیش‌ترین اهمیت را به خود اختصاص می‌دهد در تعیین مکانی پتانسیل استحصال آب باران مهم‌ترین نقش و اثر را داراست. ولی این امر خود می‌تواند یکی از نقاط ضعف این روش به شمار رود. زیرا در پرسشنامه‌های مقایسات زوجی نظر کارشناسی بسیار دخیل بوده و چنانچه در گروهی دیگر این بررسی انجام شود ممکن است نتیجه مشابه دیده نشود. همین امر کاربرد این روش را در مکانی‌یابی‌ها، محدود به مقیاس‌های محلی می‌سازد. زیرا گروه‌های تحت پرسش در این روش حتماً بایستی از خبرگان و متخصصان مرتبط با موضوع بوده و به منطقه مورد مطالعه تسلط و شناخت کافی داشته باشند.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.3.5.7]

تمامی مطالعات صورت گرفته در این زمینه نشان داده‌اند، پتانسیل مکانی استحصال آب باران در سطح یک حوضه آبخیز یکسان نیست. لذا اعمال مدیریت یکسان در تمامی سطح حوضه آبخیز علاوه بر افزایش هزینه‌ها ممکن است اهداف مورد نظر را تامین نکند و یا در برخی موارد منجر به شدت بخشیدن به اثرات منفی شود. بنابراین یکی از مهم-ترین موارد در مدیریت منابع آب و به کارگیری سیستم‌های استحصال آب باران، شناخت پتانسیل مناطق برای این منظور در سطح حوضه است.

منابع

۱- رمضانی، ب (۱۳۸۱). بررسی رابطه بارش و رواناب در شهرک ماسوله. فصلنامه سپهر، ۴۱: ۴۶-۵۰.

۲- خیرخواه، آ.، ف. محمدی و ه. معماریان (۱۳۹۴). تعیین مناطق مستعد استحصال و ذخیره‌سازی آب باران با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رود سراب شهرستان خوشاب استان خراسان رضوی). سامانه سطوح آبگیر، ۳(۸): ۱-۱۴.

۳- سلطانی، ع. (۱۳۹۶). امکان‌سنجی مناطق مستعد استحصال آب باران با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه خسروآباد شهرستان سنقر). سامانه سطوح آبگیر، ۵(۱۵): ۶۵-۷۶.

۴- سلطانی، م.، ک. سلیمانی، م. حبیب نژاد روشن و خ. جلیلی (۱۳۹۷). مکان‌یابی مقایسه‌ای جمع‌آوری آب باران (مطالعه موردی: حوضه‌های میخوران و خسروآباد استان کرمانشاه). مهندسی اکوسیستم بیابان، ۷(۱۸): ۴۹-۶۲.

۵- سوری، س.، س. بهاروند و و. امیری (۱۳۹۶). پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی دشت رومشگان). زمین‌شناسی محیط زیست، ۱۰(۴۰): ۱۱-۲۵.

۶- صادقی، س. ح. ر.، ز. حزباوی و م. غلامعلی فرد (۱۳۹۸). پهنه‌بندی پویایی سلامت آبخیز شازند بر اساس دبی‌های مشخصه کم آبی و پرآبی. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۱(۳): ۵۸۹-۶۰۸.

۷- عشقی زاده، م.، ن. نورا و ع. سپهری (۱۳۸۹). ارزیابی مکانی مناطق مناسب جمع‌آوری روان آب پتانسیل در سیستم حوضه آبخیز (مطالعه موردی: حوضه آبخیز گناباد). پژوهش های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، ۱۷(۲): ۲۹-۴۸.

۸- قدسی پور، ح. (۱۳۸۵). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، چاپ پنجم. انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ۲۲۰ صفحه.

۹- واعظی، ع. ر.، ح. ع. بهرامی، س. ح. ر. صادقی و م. ح. مهدیان (۱۳۸۷). تغییرات مکانی رواناب در بخشی از خاک-های ناحیه نیمه خشک در شمال غرب ایران. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۵(۴): ۲۸-۳۱.

۱۰- یوسفی، م.، س. نورمحمدی و ه. معماریان (۱۳۹۴). مکان‌یابی پروژه‌های استحصال آب در حوضه‌های آبخیز مناطق خشک و نیمه‌خشک با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره سلسله مراتبی در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رود سراب شهرستان خوشاب استان خراسان رضوی). سامانه سطوح آبگیر، ۳(۸): ۵۹-۷۲.

11- Al-shabeeb A.R. *(2016). The use of AHP within GIS in selecting potential sites for water harvesting sites in the Azraq Basin—Jordan.* Journal of Geographic Information System, 8: 73-88.

12- Drake P.R. *(1998). Using the analytic hierarchy process in engineering education*. International journal engineering education, *14(3): 191-196.*

13- Durbude D.G. Purandara B.K. and Sharma A. *(2000). Estimation of surface runoff potential of a watershed in semi-arid environment- A case study*. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, *29 (l&2): 47-58.*

14- Eshghizadeh M. *(2017). Application of multi-criteria decision making to estimate the potential criteria decision making to estimate the potential of flooding*. International Journal of Human Capital in Urban, *2(3): 189-202*.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-05-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.3.5.7]

15- Gogate N.G. and Rawal P.M. *(2015). Identification of potential stormwater recharge zones in a dense urban context: A case study from Pune city.* International Journal of Environmental Research, 9(4):1259-1268.
16- Karnieli A. and Ben-Asher J. *(1993). A daily runoff simulation in semi-arid watersheds based on deficit calculations.* Journal of Hydrology, *149: 9-25*.
17- Mahmoud S.H. Mohammad F.S. and Alazba A.A. *(2014). Delineation of potential sites for rainwater harvesting structures using a geographic information system-based decision support system.* Hydrology Research, 46 (4): 591-606.
18- Rubio J.L. Forteza J. Andreu V. and Cerni R. *(1997). Soil profile characteristics influencing runoff and soil erosion after forest fire: A case study Valencia Spain*. Journal of Soil Technology, *11: 67-78*.
19- Rosewell C.J. *(1993). Soil Loss: A program to assist in the selection of management practices to reduce erosion, Tech. Handbook No. 11*, Second Edition, Department of Conservation and Land Management, Sydney.
20- Saaty T.L. *(1980). The analytic hierarchy process, planning, priority setting, resources allocation. New York: McGraw.*
21- Saaty T.J. and Vargas L.G. *(1980). Decision making with the analytic Network process: economics, political, social and technological application with benefits, opportunities, costs and risks.* USA, Spring Science+Business.
22- Santos F.L. Reis J.L. Martins O.C. Castanheria N.L. and Serralherio R.P. *(2003). Comparative assessment of infiltration, runoff and erosion of sprinkler irrigation soils.* Journal of Biosystems Engineering, *86(3): 355-364*.
23- Schmidt E.J. and Schulze R.E. *(1987). Flood volume and peak discharge from small catchments in southern Africa: Based on the SCS technique. Pretoria, WRC Report No. 155 (TT 31/87)*, Water Research Commission.
24- Schulze R.E. Scmidt E.J. and Smithers J.C. *(1992). PC-based SCS design flood estimates for small catchments in Southern Africa.* University of Natal, Department of Agricultural Engineering.
25- Sharma A. and Singh V.V. *(2012). Identification of potential runoff harvesting sites in a water scarce rural watershed using GIS approach.* Water, Energy and Food Security: Call for Solutions.
26- Shashikumar B.N. Vaibhav G. and Bhaskar R.N. *(2018). Analytical Hierarchy Process for identification of suitable water harvesting site in a geospatial environment.* ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 5: 189-196.
27- Steiguer J.E De. Duberstein J. and Lopes V. *(2003). The analytic hierarchy process as a means for integrated watershed management. In Proceedings of the First Interagency Conference on Research in the Watersheds,* Tucson, USDA-ARS, AZ, 736–740.
28- Winnaar Gde. Jewitt G.P.W. and Horan M. *(2007). A GIS-based approach for identifying potential runoff harvesting sites in the Thukela River basin, South Africa.* Journal of Physics and Chemistry of the Earth, *32: 1058–1067*.
29- Yang M.Y. Tian J.L. and Liu P.L. *(2005). Investigating the spatial distribution of soil erosion and deposition in a small catchment on the Loess Plateau of China using 137Cs*. Journal of Soil and Tillage Research, *83(3): 121-128*.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-05-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.3.5.7]

Determining the Potential of Rain Water Harvesting Based on Geomorphological Factors and Analytic Hierarchy Process (Kalat Watershed, Khorasan Razavi Province)

Masoud Eshghizadeh[1*]
1- Assistant professor, University of Gonabad, Iran
Received: 2019/07
Accepted: 2019/09

Abstract

In this research, a method is proposed to identify and determine rainwater harvesting potential in a watershed based on geomorphological factors through integrating Geographical Information System (GIS) and Analytical Hierarchy Process (AHP). For this purpose, land use, land cover, topography, geology, soil, vegetation, and soil permeability factors were considered the as main geomorphological factors in the Kalat watershed of Gonabad and the corresponding data layers were obtained. Then, weights of the criteria and their classes were calculated using AHP and the results were applied to the existing layers, creating a rainwater harvesting potential map. The results showed that hydrological soil group had the most relative importance for rainwater harvesting potential (0.444). Soil hydrological groups are determined based on soil texture and permeability. Therefore, soil texture and permeability can be considered as the most relatively important factors for rainwater harvesting. In this study, 56.2% of the watershed had medium potential and 16.5% had a high and very high potential for runoff generation. The results showed that the analytical hierarchy process can be used as a method to qualitatively assess rainwater harvesting potential at the watershed scale.

Keyword: AHP, Multi-Criteria Decision Making, Qualitative potential, Rain water harvesting

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-05-27]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.3.5.7]