

مکان‌یابی تغذیه مصنوعی آبخوان با روش پخش سیلاب (مطالعه موردی: قاهره دلیجان)

جواد مظفری^{۱*}، مریم خدادادی^۲

۱. دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه اراک

۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه اراک

(تاریخ دریافت ۱۴۰۰/۰۸/۰۸؛ تاریخ بازنگری ۱۴۰۰/۱۰/۳۰؛ تاریخ تصویب ۱۴۰۱/۰۱/۱۱)

چکیده

تعیین مناطق مناسب پخش سیلاب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی اهمیت زیادی دارد. دشت قاهره دلیجان طی ۱۰ سال اخیر بیش از ۱۱ متر افت سطح آب زیرزمینی داشته است و نیاز به ایجاد تعادل در آبخوان دارد. در این پژوهش برای مکان‌یابی نقاط پخش سیلاب در حوضه آبریز قاهره دلیجان (استان مرکزی) از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. این بررسی در سه مرحله انجام شد. در مرحله اول مهم‌ترین معیارها و شاخص‌های مؤثر در مکان‌یابی تغذیه مصنوعی تعیین شد. در مرحله دوم برای ارزیابی و اولویت‌بندی این معیارها، از روش سلسله‌مراتبی استفاده شد. برای این منظور، از معیارهای خصوصیات سیل‌خیزی، شیب، نفوذپذیری، زمین‌شناسی، ضریب ذخیره، کاربری اراضی استفاده شد. از جدول تعیین ارزش، اهمیت و ارزش هر یک از معیارها و شاخص‌ها تعیین شد. نتایج نشان داد در مورد تعیین مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در حوضه آبریز قاهره، معیارهای سیل‌خیزی و شیب به ترتیب از وزن بیشتری برخوردارند. در این راستا ضریب ذخیره و کاربری اراضی دارای وزن نسبی کمتری هستند. در مرحله سوم بر اساس ماتریس اوزان، لایه‌های اطلاعاتی رستری، توسط اکستنشن AHP در ArcGis با یکدیگر تلفیق شدند و نقشه اولویت مکانی پخش سیلاب تهیه شد. نتایج نشان داد با لحاظ کردن مناطق دارای محدودیت کاربری، ۲۹/۳ درصد از کل حوضه آبریز به عنوان مناطق بسیار مناسب و مناسب برای پخش سیلاب است که مساحتی حدود ۴۲۸۰ هکتار را شامل می‌شود.

کلمات کلیدی: سیلاب، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، تغذیه مصنوعی.

مقدمه

مهار سیلاب‌ها، تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها و بهینه‌سازی استفاده از منابع طبیعی از مهم‌ترین اقداماتی است که در پخش سیلاب در مناطق خشک و نیمه‌خشک صورت می‌گیرد. در زمینه مکان‌یابی برای تغذیه مصنوعی به روش پخش سیلاب تحقیقات زیادی انجام شده است که از آن جمله می‌توان به پژوهش‌های طاهری تیزرو و همکاران (۲۰۱۳) در دشت ماهی کرمانشاه، زاهدی و همکاران (۲۰۱۶) در دشت مشهد، خدایاری و همکاران (۲۰۱۷) در دشت خوی، شفیع و قنبرزاده (۲۰۱۸) در دشت خوی و یوسفی و همکاران (۲۰۲۰) در دشت خرم‌آباد اشاره کرد [۱-۵]. در پژوهش‌های خارجی می‌توان از پژوهش‌های رابیشانکار و موهان (۲۰۰۵) در دشت دکان هند، چینی و همکاران (۲۰۱۳) در دشت مکنازی تونس و کالیبراج و همکاران (۲۰۱۴) در دشت واگای هند نام برد [۶-۸]. معیارهای مختلفی برای مکان‌یابی پخش سیلاب در نظر گرفته می‌شود. قیومیان و همکاران (۲۰۰۵) معیارهای شیب، نفوذپذیری، ارتفاع سطح ایستابی، هدایت الکتریکی و کاربری اراضی را استفاده کردند [۹]. حافظ مقدس و همکاران (۲۰۱۵) از پارامترهای شیب، کاربری اراضی، ژئومورفولوژی، فاصله از آبراهه، بافت خاک استفاده کردند [۱۰]. قاسمیان و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی در منطقه شهریاری استان یزد چهار معیار شامل خصوصیات سیلاب، شرایط نفوذپذیری، کاربردهای آب در منطقه و خسارت‌های سیلاب را در نظر گرفتند. به منظور تعیین اهمیت عوامل مؤثر در امر مکان‌یابی از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شد که در نهایت عوامل بافت خاک و حجم سیلاب به عنوان مهم‌ترین عوامل در مکان‌یابی پخش سیلاب شناخته شدند [۱۱]. AHP از جامع‌ترین سامانه‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است، زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مسئله را به صورت سلسله‌مراتبی فراهم می‌کند و همچنین، امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسئله مهیا می‌سازد [۱۱]. گودرزی و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی معیارهای لازم و تأثیرگذار در تغذیه مصنوعی را زمین‌شناسی، شیب، ضخامت بخش غیراشباع، کیفیت آب زیرزمینی، گرادیان هیدرولیکی، قابلیت انتقال، ضریب ذخیره، فاصله از منابع آب سطحی و کاربری اراضی بیان کردند [۱۲]. زرچشم و همکاران

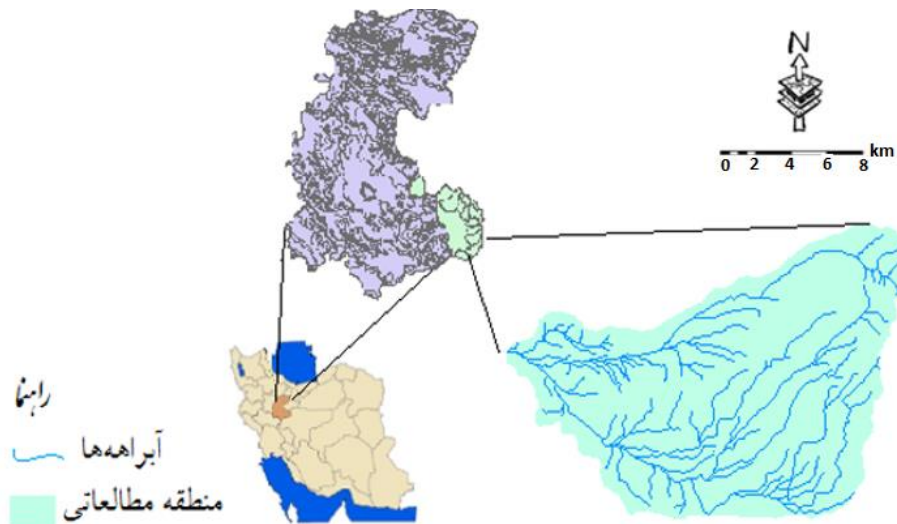
(۲۰۱۵) طی مطالعه‌ای که در حوضه آبخیز ماشکید استان سیستان و بلوچستان انجام دادند، توانستند با تلفیق DSS و GIS مکان‌های مناسب برای پخش سیلاب را تعیین کنند [۱۳]. مهسواران و همکاران (۲۰۱۶) در راستای یافتن نقاط دارای پتانسیل ذخیره آب زیرزمینی در بخش سالم، تامیل نادو، هندوستان، از تکنیک RS و GIS استفاده کردند [۱۴]. چدری و همکاران (۲۰۱۸) با معیارهای شیب، قابلیت انتقال، ضریب زهکشی، ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی و با استفاده از سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و تکنیک‌های MCDM مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی را در منطقه مدیناپور غربی تعیین کردند. نتایج به‌دست‌آمده بیانگر کارایی تکنیک‌های MCDM در تلفیق با GIS در تعیین مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی بوده است [۱۵]. سلاجقه تزرگی (۲۰۱۸) با لایه‌های اطلاعاتی زمین‌شناسی، گسل‌ها، تراکم آبراهه، نقشه شرایط تغذیه، فشردگی مواد و تیپ خاک، مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی و همچنین، مناطق مناسب برای تغذیه آب‌های زیرزمینی را تعیین کرد [۱۶]. موغلی (۲۰۲۱) به مکان‌یابی تغذیه مصنوعی آبخوان با ترکیب روش‌های GIS و MCDA در گربایگان فارس پرداخت و با استفاده از روش‌های PROMETHEEII-SAW و Fuzzy-AHP، نقشه مناسب بودن زمین برای شارژ مصنوعی آب‌های زیرزمینی را ایجاد کرد [۱۷]. هدف از پژوهش حاضر، تعیین مکان‌های مناسب پخش سیلاب در حوضه آبریز قاهره دلیجان با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و سامانه اطلاعات جغرافیایی است که برای اولین بار در این حوضه مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

حوضه آبخیز قاهره به عنوان بخشی از حوضه آبخیز قمرود در حد فاصل عرض شمالی $33^{\circ} 48' 36''$ تا $33^{\circ} 55' 15''$ و طول شرقی $51^{\circ} 03' 01''$ تا $50^{\circ} 51' 55''$ در شهرستان دلیجان از توابع استان مرکزی قرار دارد. شکل ۱ موقعیت محدوده مطالعاتی در حوضه آبخیز قاهره را نشان می‌دهد. این حوضه با مساحت ۱۴۳۲۰ هکتار دارای بلندترین نقطه ارتفاعی ۲۳۹۹ متر و پست‌ترین نقطه (خروجی حوضه) ۱۷۹۰ متر از سطح دریاست، که ۱۸ زیرحوضه مجزا دارد. برای بررسی و شناسایی عرصه‌های مناسب پخش سیلاب

تا به این ترتیب اثرات متقابل، توصیف و تجزیه و تحلیل شود. به طور کلی، یک مدل GIS را می‌توان به صورت یک فرایند ترکیب یک سری نقشه‌های ورودی به کمک یک تابع برای تهیه یک نقشه خروجی فرض کرد.

ابتدا باید شاخص‌های مؤثر بر مکان‌یابی انتخاب و لایه‌های اطلاعاتی در نرم‌افزار Arc GIS تهیه شود. نرم‌افزار Arc GIS مدل رفتار یک پدیده را در دنیای واقعی با استفاده از چندین عامل ارائه می‌کند. هدف نهایی اغلب پروژه‌های GIS ترکیب داده‌های فضایی از منابع گوناگون با هم است



شکل ۱. موقعیت محدوده مطالعاتی در حوضه آبخیز قاهر

کل منطقه تفکیک شد. شکل ۲ نقشه شیب حوضه آبخیز قاهر را نشان می‌دهد. با توجه به این نقشه، بیشتر حوضه در کلاس شیب‌های پایین (۰-۵ درصد) قرار دارد و کلاس‌های شیب بالا در قسمت‌های شمال شرقی حوضه و تا حدی در جنوب منطقه مطالعاتی دیده می‌شود.

زمین‌شناسی

قدیمی‌ترین واحدهای سنگی موجود در منطقه شامل واحد کنگلومرای ائوسن است که در نقاط مختلف حوضه رخمون دارد و در بخش‌های شمال شرقی حوضه به ولکانیک‌های خنثی تا بازیک و کنگلومراهای توفی تبدیل می‌شود. پس از این واحدها، واحدهای الیگمیوسن در منطقه مشاهده می‌شود که به نام سازند قم نام‌گذاری شده‌اند و از آهک با تداخل‌هایی از مارن و ماسه سنگ و مارن تشکیل شده‌اند. این واحد با حالت ناپیوستگی روی تشکیلات ائوسن قرار می‌گیرد و نمایانگر پیشروی دریا و افزایش عمق محیط رسوب‌گذاری است که در نتیجه، فازهای کوهزایی آلیی ایجاد شده است. فرسایش ارتفاعات بعد از کوهزایی طی دوره پلیوسن رسوبات کنگلومرای خاصی را به وجود آورده که در جنوب غرب منطقه

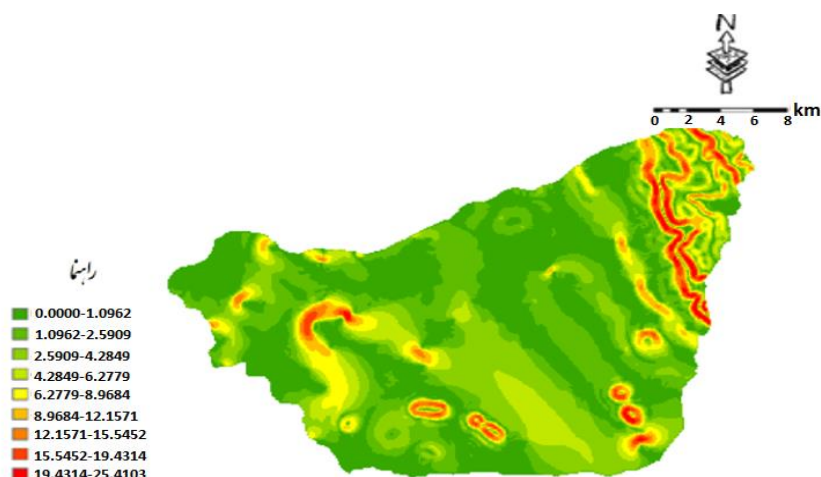
با بررسی‌های مطالعات پیشین شش شاخص شیب، نفوذپذیری، سیل‌خیزی، ضریب ذخیره، واحدهای کواترنری (زمین‌شناسی) و کاربری اراضی در نظر گرفته شدند. لایه اطلاعاتی هر یک از شاخص‌های یادشده به شرح زیر در نرم‌افزار Arc GIS تهیه شد:

شیب

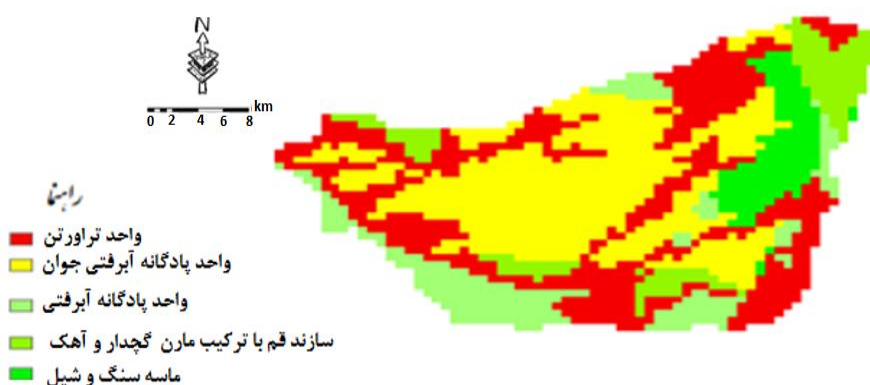
شیب نقش بسیار مهمی در کنترل عواملی مانند سیل‌خیزی، نفوذپذیری، تشکیل خاک و غیره داشته و در تعیین محل‌های پخش سیلاب مهم‌ترین عامل است. هر گاه شیب و عمق آب کاهش یابد، سرعت آب نیز کم می‌شود و فرصت کافی برای نفوذ در خاک را خواهد داشت. در نتیجه، باید شیب منطقه پخش بین صفر تا ۵ درصد باشد تا اینکه بتوان سیلاب را در عرصه پخش کرد و سیلاب فرصت نفوذ پیدا کند و وارد سفره آب زیرزمینی شود. برای تهیه نقشه شیب در منطقه مورد مطالعه، ابتدا نقشه‌های رقومی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور به محیط GIS وارد می‌شود و مدل رقومی ارتفاع منطقه (DEM) از آن‌ها تهیه شد. از مدل رقومی ارتفاع نقشه شیب استخراج و در نهایت، مدل رقومی شیب محدوده آبرفتی از

واحد‌های آبرفتی دوران چهارم را به وجود آورده‌اند. نهشته‌های کواترنری که حاصل فرسوده شدن سازندهای بالادستان هستند، مهم‌ترین مخازن آب زیرزمینی به شمار می‌آیند و عملیات پخش سیلاب عموماً در واحدهای کواترنری انجام می‌گیرد. شکل ۳ نقشه زمین‌شناسی منطقه را نشان می‌دهد.

رخنمون دارد. فعالیت‌های آتشفشانی در این منطقه شامل واحد ولکانیکی ائوسن است، که باعث به وجود آمدن کنگلومراهای توفی در شمال شرق حوضه شده، ضمن اینکه نفوذ توده‌های آذرین نیز در همین قسمت از حوضه باعث به وجود آمدن واحد دیوریتی شده است. پس از این مراحل، پدیده‌های فرسایش ارتفاعات منطقه شده‌اند و



شکل ۲. نقشه شیب حوضه آبخیز قاهر



شکل ۳. نقشه زمین‌شناسی حوضه آبخیز قاهر

گروه A: (پتانسیل ضعیف رواناب) خاک‌های با شدت نفوذپذیری بالا حتی هنگامی که کاملاً مرطوب هستند، دارای زهکش خوبی بوده و آب‌گذری بالایی داشته و خاک‌های شنی و قلوه‌سنگی عمیق را شامل می‌شوند.
گروه B: خاک‌هایی با شدت نفوذپذیری متوسط هنگامی که مرطوب هستند. خاک‌هایی که عمیق هستند و زهکش متوسط تا خوب داشته و بافت آن‌ها نسبتاً ریز تا متوسط است. آب‌گذری آن‌ها متوسط است و توانایی متوسطی از نظر تولید رواناب دارند.

نفوذپذیری

تأثیر این عامل در کاهش تبخیر و تعرق نمایان می‌شود. به گونه‌ای که نفوذپذیری اگر پایین باشد، آب روی سطح خاک می‌ماند و بعد از مدتی تبخیر می‌شود. برای تعیین نفوذپذیری محدوده آبرفتی از نتایج آزمایش‌های نفوذپذیری که به روش حلقه مضاعف انجام شده استفاده شد و نقشه نفوذپذیری محدوده با درون‌یابی کریجینگ اطلاعات یادشده در محیط GIS تهیه شد. گروه‌های اصلی خاک تعیین‌شده توسط SCS عبارت‌اند از:

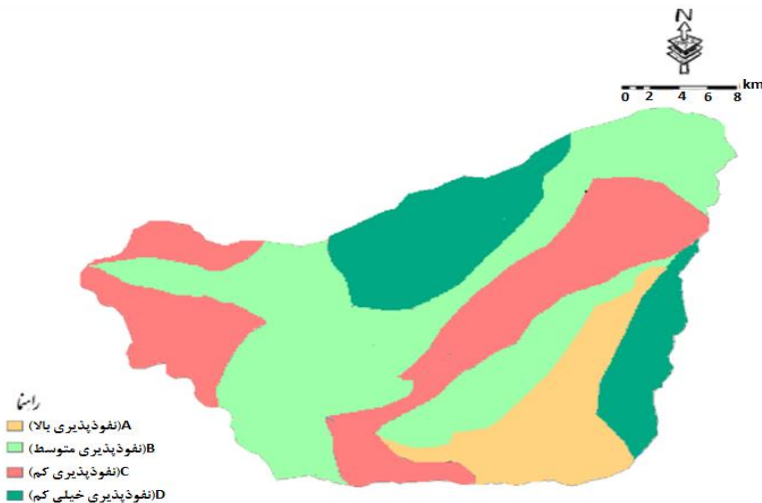
حوضه آبخیز قاهر را نشان می‌دهد. بررسی‌ها نشان داد ۳۲ درصد از خاک زیرحوضه‌ها از گروه \times با نفوذپذیری متوسط، ۵۱ درصد از گروه Δ با نفوذپذیری کم و ۱۷ درصد از گروه \times با نفوذپذیری خیلی کم است.

کاربری اراضی

در این موارد باید عوامل متعددی در نظر گرفته شود که شامل نوع استفاده از زمین، عملیات اصلاحی انجام شده و وضعیت هیدرولوژیکی است. بعد از تعیین کلاس‌های هیدرولوژیک حوضه که هر کلاس مربوط به یک محدوده نفوذپذیری است. شکل ۵ وضعیت کاربری اراضی را نشان می‌دهد. با توجه به این نقشه، بیشتر حوضه در کلاس مراتع قرار دارد.

گروه C: خاک‌هایی با نفوذپذیری کم وقتی که مرطوب هستند. عمدتاً همراه با لایه‌ای که مانع نفوذ آب به قسمت‌های پایین‌تر می‌شود و یا دارای بافت ریز تا نسبتاً ریز هستند و ضرایب آب‌گذری کمی دارند توانایی تولید رواناب آن‌ها نسبتاً زیاد است.

گروه \times : خاک‌هایی با نفوذپذیری خیلی کم هنگامی که خیس هستند. عمدتاً شامل خاک‌های رسی، خاک‌هایی با یک سفره آب بالا و دائمی، خاک‌هایی با لایه‌های سخت رسی در سطح و نزدیک آن و خاک‌های کم‌عمق روی تشکیلات تقریباً نفوذناپذیرند. این خاک‌ها دارای قابلیت انتقال خیلی کم بوده و قسمت‌های سنگی حوضه‌ها و جاده‌ها نیز شامل این گروه می‌شود. در این گروه توانایی تولید رواناب زیادی وجود دارد. شکل ۴ نقشه نفوذپذیری



شکل ۴. نقشه نفوذپذیری حوضه آبخیز قاهر



شکل ۵. نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز قاهر

سیل خیزی

$$(D_2 - D_1) = 0.133 \times T_L \quad (3)$$

$$T_L = 0.6 \times T_C \quad (4)$$

$$T_B = 2.6 \times T_P \quad (5)$$

Q_P = دبی اوج هیدروگراف واحد (m^3/s)

A = مساحت حوضه آبریز (km^2)

Q = ارتفاع رواناب (mm)

T_P = زمان تا منطقه اوج هیدروگراف واحد (hr)

$(D_2 - D_1)$ = مدت زمان بارش مؤثر نظیر هیدروگراف

واحد-مدت بارش واحد (hr)

T_L = زمان تأخیر حوضه آبریز از مرکز ثقل مدت بارش

واحد تا نقطه اوج هیدروگراف (hr)

T_B = زمان پایه هیدروگراف واحد (hr)

T_C = زمان تمرکز حوضه آبریز (hr)

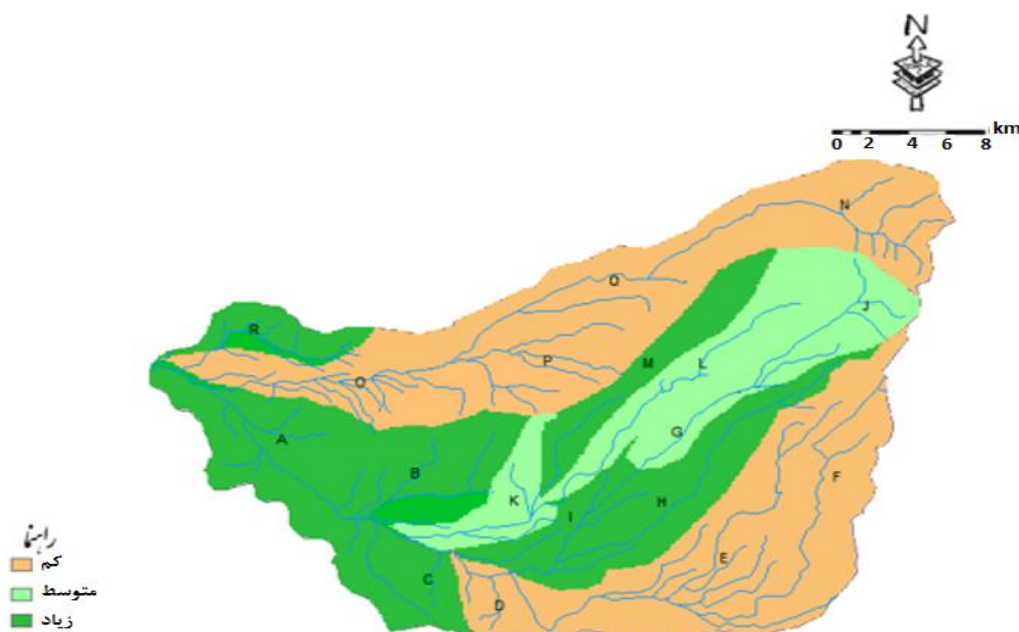
شکل ۶ نقشه سیل خیزی حوضه مورد بررسی را نشان

می دهد.

یکی دیگر از معیارهای انتخاب محل‌های مناسب برای پخش سیلاب میزان سیل خیزی یا آبدهی حوضه‌های آبخیز بالادست است، زیرا در صورت فراهم شدن سایر فاکتورها، ولی نبود آب جهت نفوذ و تزریق به زمین، مکان یابی غیر قابل استفاده است. برای تهیه نقشه سیل خیزی، با استفاده از روش SCS، حجم رواناب تولیدی در هر یک از زیرحوضه‌ها در دوره‌های بازگشت مختلف برآورد شد و در نهایت، پتانسیل آب تولیدی با دوره بازگشت ۱۰ ساله به عنوان قابلیت سیل خیزی مناطق مختلف محدوده آبرفتی در نظر گرفته شد و لایه رقمی آن تهیه شد. روش SCS به صورت زیر است:

$$Q_P = \frac{0.2083 \times A \times Q}{T_P} \quad (1)$$

$$T_P = \left(\frac{D_2 - D_1}{2} \right) + T_L \quad (2)$$



شکل ۶. نقشه سیل خیزی حوضه آبخیز قالهر

درشت‌تر و میزان سیمانی شدن آن کم باشد، آب وارد شده در داخل آبخوان زودتر از منطقه خارج شده و از ماندابی شدن عرصه جلوگیری می‌کند. با استفاده از اطلاعات قابلیت انتقال چاه‌های بهره‌برداری این چاه‌ها استخراج و در محیط GIS مدل رقمی قابلیت انتقال در محدوده آبرفتی تهیه شد. شکل ۷ نقشه ضریب ذخیره حوضه آبخیز قالهر را نشان می‌دهد.

ضریب ذخیره

ضریب ذخیره یکی از ضرایب هیدرودینامیک است که حرکت آب در محیط متخلخل را نشان می‌دهد. رسوبات عمقی آبرفت در مناطق مختلف دارای قابلیت انتقال متفاوتی هستند. آبخوان‌ها با توجه به دانه‌بندی، میزان سیمانی شدن و عمق آن‌ها در واحد زمان مقدار مشخصی آب را در خود عبور می‌دهند. هر چه دانه‌بندی آبرفت



شکل ۷. نقشه ضریب ذخیره حوضه آبخیز قاهر

امتیازدهی مقایسه‌ای به صورت یک مقیاس استاندارد درآمده است. در این مقایسه‌ها تصمیم‌گیرندگان از قضاوت‌های شفاهی استفاده خواهند کرد به گونه‌ای که اگر عنصر i با j مقایسه شود تصمیم‌گیرنده خواهد گفت که اهمیت i بر j یکی از حالت‌های کیفی است که به مقادیر کمی بین ۱ تا ۹ تبدیل شده‌اند.

جدول ۱. مقادیر توصیفی و ترجیح و اولویت

مقدار عددی	ترجیحات (قضاوت شفاهی)
۹	کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر
۷	اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
۵	اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	کمی مطلوب‌تر یا کمی مهم‌تر
۱	اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۸، ۶، ۴، ۲	اولویت‌های بین فواصل

پس از وزن‌دهی به عوامل و زیرعوامل باید نرخ ناسازگاری (Ir) به گونه‌ای تعیین شود که $Ir < 0.1$ باشد، در این صورت این نسبت به‌دست‌آمده دلالت بر سازگاری مقایسه دوه‌دو عوامل دارد. در غیر این صورت، باید با اعمال تغییراتی در ماتریس دوتایی Ir در حد قابل قبول تنظیم کرد.

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است، زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مسئله را به صورت سلسله‌مراتبی و همچنین، امکان در نظر گرفتن شاخص‌های مختلف کمی و کیفی را در مسئله فراهم می‌سازد [۱۸]. در این فرایند که بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده، گزینه‌های مختلفی در تصمیم‌گیری دخالت داده می‌شود و امکان تحلیل حساسیت معیارها و زیرمعیارها فراهم می‌آید. همچنین، میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چندمعیاره است. در این پژوهش با تشکیل ماتریس‌های مربوط به معیارها در نرم‌افزار Expert choice، مقادیر وزن‌های نسبی و نهایی به دست آمد. میزان نرخ ناسازگاری قابل تحمل در روش AHP، کمتر از ۰/۱ در نظر گرفته شده است.

تعیین ضریب اهمیت گزینه‌ها

مقایسه دو به دو عوامل با استفاده از مقیاسی که از مطلوبیت یکسان تا کاملاً مطلوب‌تر طراحی شده، انجام می‌گیرد. تجربه نشان داده است که استفاده از ۱ تا ۹ تصمیم‌گیرنده را قادر می‌سازد تا مقایسه‌ها را به گونه‌ای مطلوب انجام دهد. به همین علت، استفاده از جدول ۱ در

نتایج و بحث

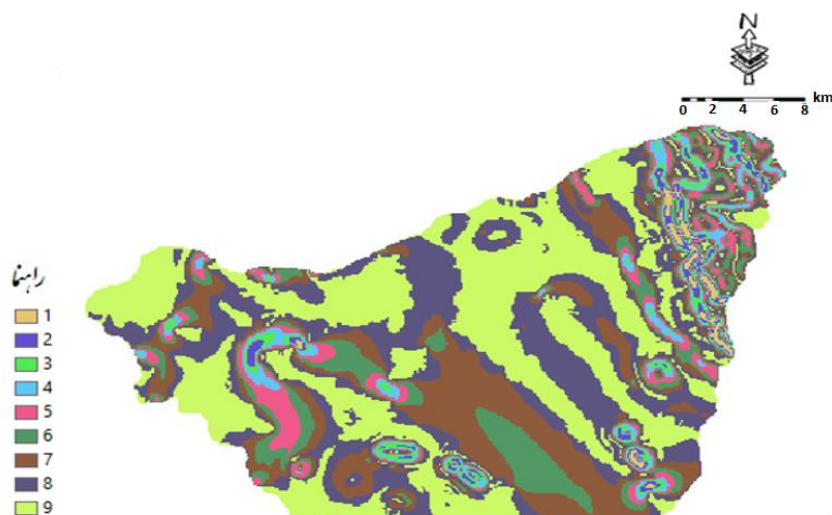
تعیین ارزش معیارها در مکان‌یابی پخش سیلاب با استفاده از AHP

شکل ۸ خروجی حاصل از ارزش‌گذاری شاخص شیب است. در این نقشه شیب‌های کم از اهمیت بیشتری برخوردارند. در این شکل، عدد ۹ نشان‌دهنده مکان‌های با کمترین شیب و مطلوب‌ترین وضعیت برای پخش سیلاب است که حدود ۴۳ درصد از اراضی را در بر گرفته است. این مناطق در تمام حوضه وجود دارد، اما در شمال شرقی حوضه شیب افزایش می‌یابد و برای پخش سیلاب مناسب به نظر نمی‌رسد.

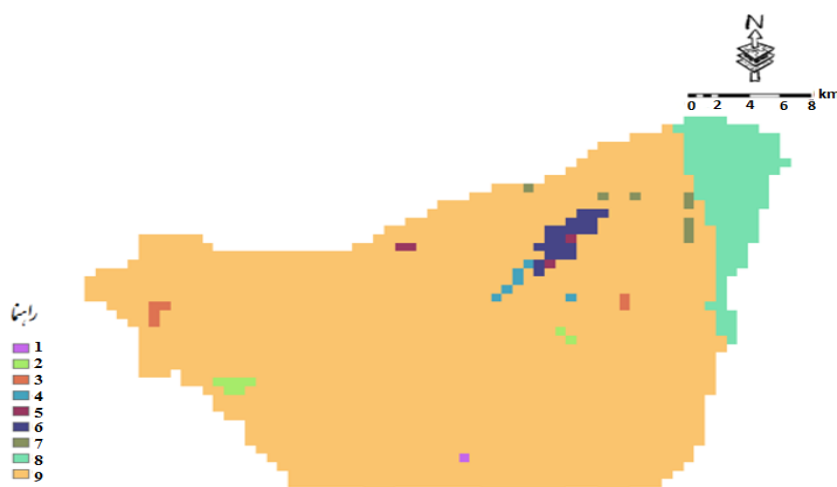
در لایه کاربری اراضی، نواحی شهری، بستر رودخانه و اراضی کشاورزی به عنوان محدودیت در نظر گرفته شدند.

در این مرحله با استفاده از لایه کاربری اراضی، وزن‌دهی انجام شد. شکل ۹ خروجی حاصل از ارزش‌گذاری شاخص کاربری اراضی است و نشان می‌دهد مساحتی حدود ۸۲ درصد دارای قابلیت پخش سیلاب است. در این شکل مناطق شمال شرقی دارای کاربری اراضی مسکونی و غیر قابل استفاده برای پخش سیلاب است.

در گام بعدی برای تعیین لایه ضریب ذخیره، بخش‌هایی که دارای ضریب ذخیره بیشتر بود، با اهمیت بیشتر در نظر گرفته شد. شکل ۱۰ خروجی حاصل از ارزش‌گذاری شاخص ضریب ذخیره است. طبق شکل، مکان‌هایی با ارزش ۹ وجود ندارد و حداکثر ارزش ضریب ذخیره عدد ۷ است که وضعیت مطلوبیت خیلی قوی را نشان می‌دهد و حدود ۶۸ درصد از مساحت حوزه را در بر گرفته است.



شکل ۸. ارزش‌گذاری شاخص شیب



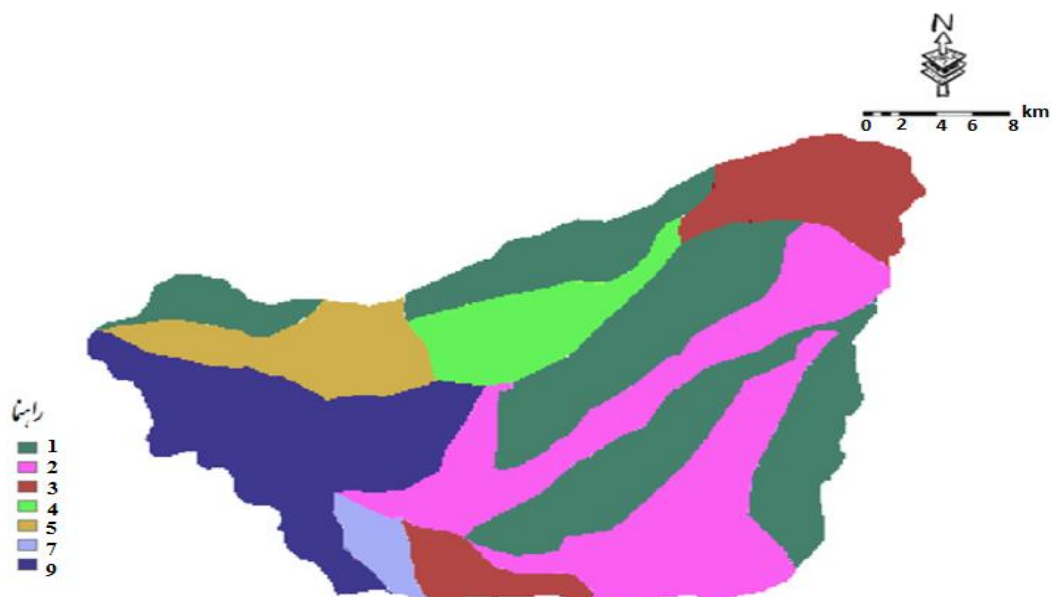
شکل ۹. ارزش‌گذاری شاخص کاربری اراضی



شکل ۱۰. ارزش شاخص ضریب ذخیره

بخش کوچکی از مناطق جنوبی که با آبی کم‌رنگ نشان داده شده است، قابلیت پخش سیلاب را دارد. باقی اراضی دارای ارزش سطح پایینی برای پخش سیلاب از نظر سیل‌خیزی است. از آنجا که وجود حجم آب مناسب، عامل بسیار مهمی در پخش سیلاب است، به نظر می‌رسد مناطق غربی و جنوب غربی در صورت ارزش بالای بقیه عوامل برای پخش سیلاب مناسب خواهد بود و دیگر مناطق قابلیت مناسبی را برای تغذیه مصنوعی نخواهند داشت.

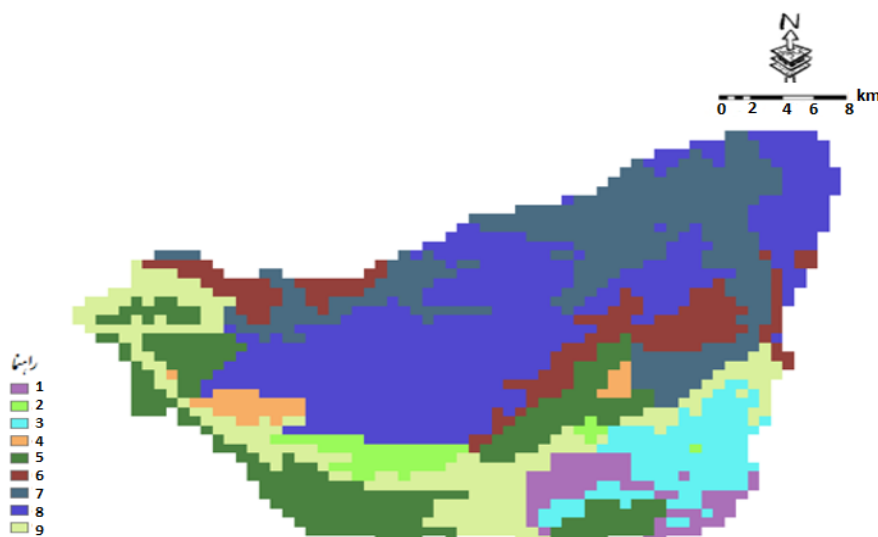
در گام بعد با استفاده از مدل تجربی SCS، حجم رواناب با دوره بازگشت ۱۰ ساله برآورد شد. در این مرحله با استفاده از لایه سیل‌خیزی، وزن‌دهی توسط نرم‌افزار GIS Arc انجام شد. شکل ۱۱ خروجی حاصل از ارزش‌گذاری شاخص سیل‌خیزی است. در شکل یادشده، قسمت‌هایی که دارای سیل‌خیزی بیشتری است، دارای اهمیت بیشتری خواهد بود. این مناطق که به رنگ آبی تیره نشان داده شده، حدود ۱۷ درصد از اراضی را در بر گرفته است. همچنین،



شکل ۱۱. ارزش شاخص سیل‌خیزی

که دارای پادگانه‌های آبرفتی جدید هستند، محل‌های مناسب‌تری برای پخش سیلاب هستند. شکل ۱۲ خروجی حاصل از ارزش‌گذاری شاخص زمین‌شناسی است. طبق شکل، بهترین مکان از نظر زمین‌شناسی به رنگ سبز کم رنگ نشان داده شده و حدود ۱۱ درصد از اراضی را در بر گرفته است.

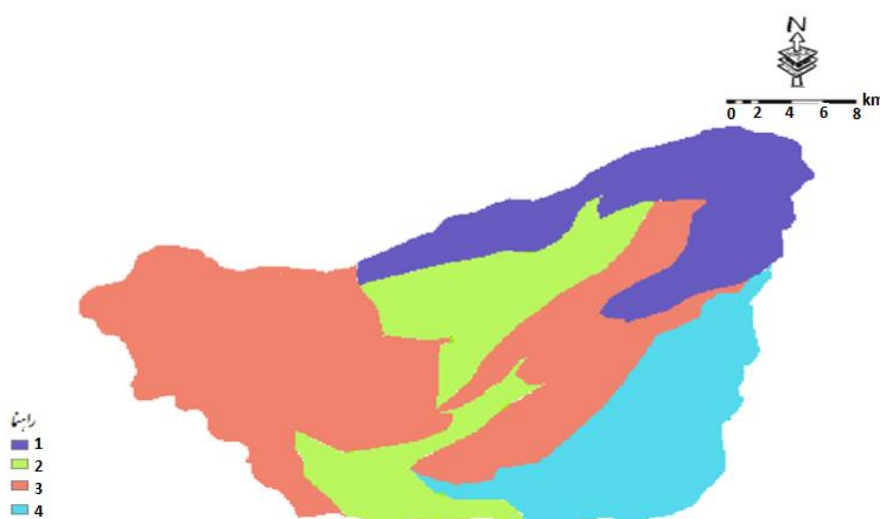
نهشته‌های کواترنری که حاصل فرسوده شدن سازندهای بالادستان هستند، مهم‌ترین مخازن آب زیرزمینی به شمار می‌آیند. عملیات پخش سیلاب عموماً در واحدهای کواترنری انجام می‌گیرد. در این میان مخروط افکنه‌های جدید، مناسب‌ترین مناطق برای انجام پخش سیلاب است. روال کار به این صورت است که قسمت‌هایی



شکل ۱۲. نقشه ارزش شاخص زمین‌شناسی

نفوذپذیری بوده که تقریباً ۱۹ درصد از اراضی را در بر گرفته است. پس از آن نیز بخش قرمز رنگ با ۲۳ درصد از مساحت اراضی حوضه، وضعیت بهتری را از نظر نفوذپذیری نسبت به مکان‌های دیگر نشان می‌دهد.

در گام نهایی با استفاده از لایه نفوذپذیری، قسمت‌هایی که نفوذپذیری بیشتری دارند به عنوان محل‌های مناسب‌تری برای پخش سیلاب در نظر گرفته شدند. شکل ۱۳ خروجی حاصل از ارزش‌گذاری شاخص نفوذپذیری است. بخش آبی کم‌رنگ مکان‌های مناسب‌تری از نظر



شکل ۱۳. نقشه ارزش شاخص نفوذپذیری

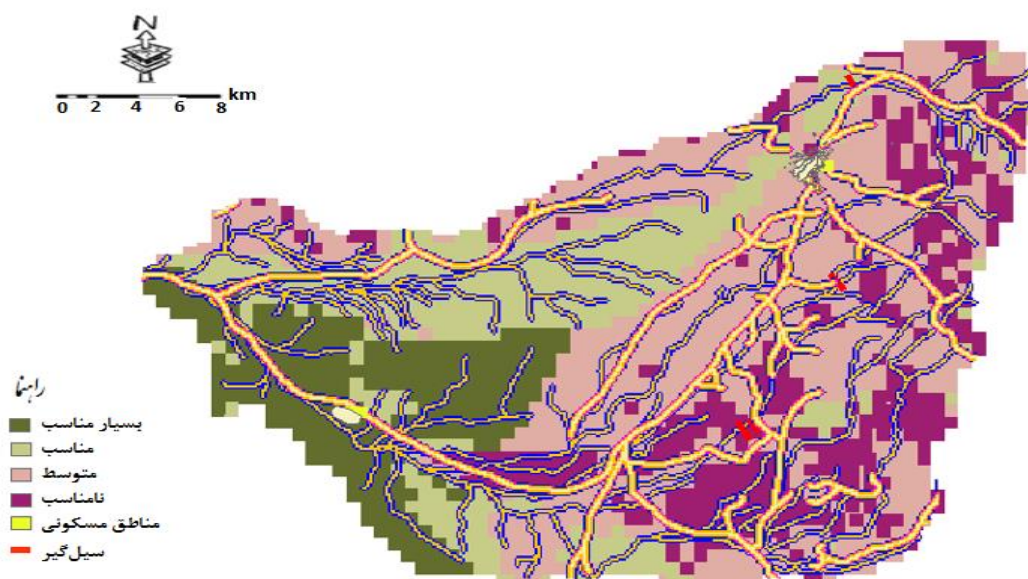
به تلفیق لایه‌ها شد. وزن لایه سیل‌خیزی با ۰/۴۲۵۸، بیشترین وزن و سپس به ترتیب لایه‌های شیب با وزن ۰/۲۲، زمین‌شناسی با وزن ۰/۲۰۵۵، نفوذپذیری با وزن ۰/۰۷۴۵، کاربری اراضی ۰/۰۴۳۹ و ضریب ذخیره با وزن ۰/۰۳۰۱ در رده‌های بعدی قرار دارند. بعد از اعمال وزن‌های نهایی در AHP مدل خروجی در شکل ۱۴ نشان داده شد. با توجه به شکل، مساحتی حدود ۲۹/۲۲ کیلومتر مربع بسیار مناسب، ۳۰/۵۸ کیلومتر مربع مناسب، ۵۵/۶۲ کیلومتر مربع متوسط و ۲۰/۴ کیلومتر مربع نامناسب جهت پخش سیلاب است.

ارزیابی نرخ‌های ناسازگاری در مدل AHP
پس از اعمال وزن‌ها و ارزش‌گذاری شاخص‌های مختلف، لایه‌های دارای وزن وارد اکستنشن AHP در نرم‌افزار Gis شده و در نهایت وزن نسبی (ارزش هر زیر لایه نسبت به زیرلایه دیگر) و وزن نهایی در جدول ۲ به دست آمد. همچنین، نرخ ناسازگاری هر لایه مشخص شده است، با توجه به اینکه نرخ ناسازگاری در تمام زیرلایه کمتر از ۰/۱ است، قابل قبول بودن وزن‌های نهایی را نشان می‌دهد.

تلفیق و آنالیز لایه‌های اطلاعاتی بر اساس ارزش‌های به دست آمده از روش AHP
پس از وزن‌دهی لایه‌ها و اولویت‌بندی آن‌ها در AHP اقدام

جدول ۲. وزن‌های نسبی و نهایی مربوط به تمامی زیرمعیارها

کلاس‌های طبقه‌بندی				
>۱	۲-۱	۲-۴	۴<	میلیون متر مکعب
۰/۰۶۲	۰/۱۱۸	۰/۲۴۳	۰/۵۷۶	وزن نسبی
			۰/۴۲۵۸	وزن نهایی
			۰/۰۰۶۳	نرخ ناسازگاری
Qv	Qal	QT	QF	انواع واحدها
۰/۱۲	۰/۰۷۶	۰/۲۳۱	۰/۵۹۱	وزن نسبی
			۰/۲۰۵۵	وزن نهایی
			۰/۰۰۹	نرخ ناسازگاری
۸<	۵-۸	۳-۵	۰-۳	کلاس‌های طبقه‌بندی (درصد)
۰/۰۴۵	۰/۱۱	۰/۲۷۱	۰/۵۷۳	وزن نسبی
			۰/۲۲	وزن نهایی
			۰/۰۹۸	نرخ ناسازگاری
D	C	B	A	کلاس نفوذپذیری
۰/۲۶۲	۰/۵۶۵	۰/۱۱۸	۰/۰۵۵	وزن نسبی
			۰/۰۷۴۶	وزن نهایی
			۰/۰۶۸۵	نرخ ناسازگاری
-	مسکونی	مراتع	کشاورزی	انواع کاربری
	۰/۰۴۳	۰/۹	۰/۰۶۲	وزن نسبی
			۰/۰۴۳۹	وزن نهایی
			۰/۰۰۳	نرخ ناسازگاری
۷۵-۱۰۰	۵۰-۷۵	۲۵-۵۰	۰-۲۵	کلاس‌های طبقه‌بندی (درصد)
-	۰/۲۴۸	۰/۷۵۲	-	وزن نسبی
			۰/۰۳۰۱	وزن نهایی
			۰/۰۴۵	نرخ ناسازگاری



شکل ۱۴. نقشه مکان‌یابی تغذیه مصنوعی بر اساس AHP

- [2].Zahedi E, Jahanbakhshi F, Talebi A. Investigating Suitable Areas for Flood Spreading Using Fuzzy Logic and Analytic Network Process (ANP) (Case Study: Mashhad Plain). JWSS. 2016; 20 (77) :185-196. [Persian]
- [3].Khodayari M, Hessari B, Ahmadi H and Mohammadpor M. Surveying effects of artificial recharge spreading. Water Resources Management. 2017; 27(8):3071-3084. [Persian].
- [4].Shafiee M, and Ghanbarzadeh Lak M. Modeling of Site Selection Process for Artificial Groundwater Recharge (Through Flood Spreading) based on GIS Technique and AHP Method (Case Study: Khoy Plain Aquifer), Iranian Water Resources Research. 2018; 14 (5), 219-236. [Persian]
- [5].Yousefi H, Younesi H, Shahi Nejad B, Arshia A, Mirzapour H and Yarahmadi Y. Flood Spatial Location Detection by Combining AHP and Fuzzy Models Using WLC Method in GIS (Case Study: Khorramabad Watershed), Echo Hydrology. 2020; 7 (1), 251-261. [Persian]
- [6].Ravishankar MN and Mohan G. A GIS based hydro-geomorphic approach for identification of site specific artificial recharge techniques in the Deccan Volcanic province. Journal of Earth System Science. 2005; 114(5):505-514.
- [7].Chenini I., Ben Mammou A & El May M. Groundwater Recharge Zone Mapping Using GIS-Based Multi-Criteria Analysis: A Case Study In Central Tunisia (Maknassy Basin). Water Resources Management. 2013; 24(5), 921-939.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی مکان‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با روش پخش سیلاب پرداخته شده است. با توجه به پژوهش‌های پیشین معیارهای خصوصیات سیل‌خیزی، شیب، نفوذپذیری، زمین‌شناسی، ضریب ذخیره، کاربری اراضی برای مکان‌یابی تغذیه مصنوعی استفاده شد. پس از جمع‌آوری اطلاعات و محاسبه حجم رواناب و ایجاد لایه‌های مورد نیاز در نرم‌افزار ArcGis 9.3، اقدام به وزن‌دهی و اولویت‌دهی توسط مدل AHP شد. با تلفیق لایه‌ها نقاط مناسب برای ایجاد سیل‌گیرها مشخص شد. این نقاط شامل ویژگی‌هایی نظیر نقاطی با نفوذپذیری زیاد به منظور تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی و دارای فاصله مناسب از جاده و مناطق مسکونی است. نتایج نشان داد با تعیین مناطق دارای محدودیت کاربری و مناطق مستعد تغذیه مصنوعی، ۲۹/۳ درصد از کل حوضه آبریز به عنوان مناطق بسیار مناسب و مناسب برای پخش سیلاب است، که مساحتی حدود ۴۲۸۰ هکتار را شامل می‌شود.

منابع

- [1].Taheri Tizro A, Mashayekhi H, and Zare, M. Site selection of artificial recharge using GIS in Mahi plain of Kermanshah plain. Iranian Journal of Water Research. 2013; 6 (11), 47-53. [Persian]

- [8]. Kaliraj S, Chandrasekar N and Magesh NS. Identification of potential groundwater recharge zones in Vaigai upper basin, Tamil Nadu, using GIS based analytical hierarchical process AHP technique. *Arabian Journal of Geosciences*. 2014; 7(4):1385-1401.
- [9]. Ghayoumian J, Ghermezcheshmeh B, Feyznia S and Noroozi AA. Integrating GIS and DSS for identification of suitable areas for artificial recharge, Case study Meimeh basin, Isfahan, Iran. *Environmental Geology*. 2005; 47(4):493-500. [Persian].
- [10]. Hafiz Moqaddas N, Lashkaripour G, Khalaji J. Selection of groundwater artificial recharge site using AHP and GIS methods, case study: Shahrekord plain. *First International Congress on Drainage*, Ferdowsi University, Mashhad, Iran; 2015. [Persian]
- [11]. Ghasemian D. Site selection of Flood spreading using decision support system in Shahriari region of Yazd province. Master Thesis, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University; 2012. [Persian]
- [12]. Goodarzi L., and Akhund Ali A. and Zarei H. Site selection for artificial recharge using GIS and AHP method (Case study: Ashtrinan plain). *Application of Remote Sensing and GIS in Natural Resources Science*. 2014; 4 (2), 53-67. [Persian]
- [13]. Zarchsham M, Khairkhah Zarkesh M, Davood Gh. Combining GIS and Decision Support to Determine Suitable Flood Development Areas (Study Area: Meshkid Watershed in Sistan and Baluchestan Province). *Conference National Geomatics, Iran*; 2015. [Persian]
- [14]. Maheswaran G, Geetha Selvarani A, Elangovan K. Groundwater resource exploration using GIS and remote sensing. *Journal of Earth System Science*. 2016; 125:311-328.
- [15]. Chowdhury A K, Jha M, Chowdary V M. Delineation Of Groundwater Recharge Zones And Identification Of Artificial Recharge Sites In West Medinipur District, West Bengal, Using RS & GIS And MCDM Techniques. *Environmental Earth Science*. 2018; 59:1209–1222.
- [16]. Selajgeh Tazarji, A. Hydrological Modeling of Zanjan Plain Using Remote Sensing Data and Geographic Information System, M.Sc. Thesis, Department of Geography, Tarbiat Modares University; 2018. [Persian]
- [17]. Moghli M. Site selection of aquifer artificial recharge using GIS (Case study: Gorbayegan Basin, Fars). *Natural Geography*. 2021; 14 (51), 131-153. [Persian]
- [18]. Dyer R F, Forman E H. Group Decision Support with the Analytic Hierarchy Process. *Decision Support Systems Journal*. 2012; 8: 99-124.