گزینش مناطق مستعد تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان‌ها با کاربرد نرم‌افزار RockWorks

عبدالرسول شفیعی‌دستجردی[۱]، کورش شیرانی[*۲]

چکیده

با توجه به محدود بودن منابع آب زیرزمینی و افزایش روزافزون نیاز به آب، اعمال مدیریت بهره‌برداری بهینه، امری اجتناب‌ناپذیر است. در این میان، تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها، با توجه به قابلیت‌های زیاد و هزینه نسبتاً کم، یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای رسیدن به این هدف می‌باشد. لازمه انجام صحیح تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی، مکان‌یابی مناسب و دقیقی است که تمامی فراسنج‌های مؤثر در امر تغذیه، در سنجش آن در نظر گرفته شده باشند. در این پژوهش به منظور جانمایی و تجزیه و تحلیل‌های مورد نیاز و نهایتاً ترسیم نقشه نهایی از نرم‌افزار RockWorks که به‌طور گسترده در بررسی‌های زیرسطحی کاربرد دارد، استفاده شد. پژوهش حاضر در حوضه آبخیز سوراندر واقع در شهرستان سراوان در استان سیستان و بلوچستان انجام شده است. به منظور مکان‌یابی نواحی مناسب، لایه‌های اطلاعاتی مختلف ازجمله: شیب، نفوذپذیری سطحی، فرونشت، ضخامت آبرفت، کیفیت آبرفت، کاربری اراضی، اندازه‌ی آبدهی حوضه و قابلیت انتقال سفره در محیط نرم‌افزار RockWorks تهیه و پس از اعمال وزن‌دهی مناسب، نقشه‌های مربوط به هر کدام از لایه‌ها از طریق شبکه‌بندی رایج کریجینگ ترسیم شدند. در نهایت، نقشه‌های تمامی لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از توابع بولین تهیه و ترسیم گردیدند. عملیات حاصل‌ضرب جبری نقشه‌های بولین، مرحله پایانی کار بود که پس از اعمال آن، نقشه‌ی مکان‌های مناسب تغذیه‌ی مصنوعی سفره‌های آبخوان حوضه مشخص و ترسیم شد. با اندازه‌گیری مساحت‌های نواحی مستعد و غیر مستعد تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان‌ها، مشخص شد که ۱۷.۳۳ درصد از مساحت کل حوضه که برابر ۲۱۰۴.۵۷ هکتار می‌باشد، برای تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان‌ها مناسب و ۸۲.۶۷ درصد از مساحت کل حوضه برابر ۱۰۰۳۶.۵۳ هکتار برای تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان‌ها در حوضه نامناسب است.

واژه‌های کلیدی: تغذیه‌ی مصنوعی، مکان‌یابی، آبخوان، سراوان

[۱]ـ کارشناس‌ارشد پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی تهران، ایران

[۲]ـ استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی تهران، ایران

[*]ـ نویسنده مسئول: k_sh424@yahoo.com

مقدمه

یکی از روش‌های مناسب برای مبارزه با بحران آب، نفوذ دادن آب‌های سطحی به داخل آبخوان‌ها در مناطق مستعد می‌باشد. وجود چنین زمین‌هایی جهت تغذیه‌ی آبخوان‌ها در یک منطقه بستگی به عوامل مختلفی چون: وضعیت سطح زمین، شیب منطقه، پوشش گیاهی، مخروط‌های افکنه و غیره دارد. تشخیص نواحی مستعد که شامل حداکثر ویژگی‌های بهینه‌ی تغذیه‌ی مصنوعی شود، در حالت عادی نیاز به وقت و هزینه زیادی دارد. اخیراً روش‌های فراکاوشی به عنوان ابزاری کارآنما برای حل مسائل پیچیده‌ی مهندسی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (رجب‌پور و همکاران ۱۳۹۴). خوشبختانه، با گسترش روزافزون برنامه‌های رایانه‌ای این مشکل مرتفع شده است، به‌طوری که با برداشت و اندازه‌گیری داده‌های دخیل در امر تغذیه‌ی مصنوعی از منطقه‌ی مورد مطالعه، عملیات تلفیق و تحلیل فراسنج‌ها را می‌توان با ابزار رایانه‌ای به راحتی انجام داده و نواحی مستعد را شناسایی کرد. زنگنه‌اسدی و همکاران (۱۳۹۴)، در پژوهشی به منظور تهیه نقشه آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان بقیع خراسان از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور استفاده کردند. نتایج حاکی از وجود چهار محدوده با آسیب‌پذیری‌های مختلف در حوضه بود. بیشترین وسعت ناحیه‌ی آسیب‌پذیر نیز به ناحیه‌ای با آسیب‌پذیری متوسط تعلق داشت. همچنین ایشان به منظور تهیه‌ی نقشه آسیب‌پذیری حوضه از لایه‌های نوع سنگ، نفوذ سطحی و ویژگی‌های کارست استفاده کردند. کریمی و همکاران (۱۳۹۰)، به منظور شناسایی مکان‌های مناسب تغذیه‌ی آبخوان‌ها در دشت داراب در استان فارس از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی و روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده کردند. بدین منظور، پس از در نظر گرفتن معیارهای زمین‌شناسی، شیب زمین، هدایت الکتریکی آب، عمق برخورد به سطح ایستایی، تراکم آبراهه‌ها، کاربری اراضی، ضخامت لایه‌ی رسی منطقه‌ی غیراشباع و تهیه لایه‌ی رستری هر کدام از این معیارها نسبت به رتبه‌بندی هر معیار با کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی و تعیین وزن معیارها با بهره‌وری از روش مقایسه دوتایی، اقدام کردند. سپس با استفاده از روش همپوشانی وزنی لایه‌های رستری، نقشه‌ی نهایی بهترین مکان را برای تغذیه‌ی مصنوعی تهیه کردند. هاتفی‌اردکانی و رضایی‌راد (۱۳۹۰) با استفاده از سنجش از دور و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی مکان‌های مناسب تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان‌ها را در دشت سمنان مشخص کردند. ایشان لایه‌های شیب منطقه، سنگ‌شناسی ارتفاع‌سنجی، شبکه‌ی آبراهه‌ها و همچنین وضعیت پستی و بلندی را از نقشه‌های پستی و بلندی ۱:۵۰۰۰۰ و زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه کردند سپس با انطباق لایه‌های اطلاعاتی مورد نظر در محیط سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی، محل‌های مناسب را برای تغذیه‌ی مصنوعی استخراج کردند. غیومیان و همکاران (۲۰۰۷) برای تعیین نواحی مستعد تغذیه‌ی آبخوان‌ها در یک آبخوان ساحلی در جنوب شرقی ایران از روش‌های سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی استفاده کردند. فراسنج‌های زیر برای گزینش محل مناسب تغذیه منظور گردیدند: شیب، اندازه نفوذ، عمق آب زیرزمینی، کیفیت آبرفت‌ها و کاربری اراضی. نتایج مطالعه ایشان نشان دادند که در حدود ۱۲ درصد از نواحی مورد مطالعه برای امر تغذیه‌ی مصنوعی مناسب، بوده و ۸ درصد نیز نسبتاً مناسب می‌باشند. بالاچاندار و همکاران (۲۰۱۰)، با استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، به بررسی مناطق مستعد تغذیه‌ی مصنوعی در حوضه آبخیز سیواگانا در بخش جنوبی تامیل نادو در هندوستان پرداختند. برای این منظور از داده‌های مختلفی چون شمار آبراهه‌ها، تراکم آبراهه‌ها، زمین‌ریخت‌شناسی، کاربری اراضی و داده‌های ماهواره‌ای بهره بردند. همچنین، به منظور انجام پردازش‌های خود از نرم‌افزارهای ArcGIS9.3 و ENVI4.3 استفاده کردند. درنهایت پس از اعمال پردازش‌های نرم‌افزاری و طبقه‌بندی‌های مورد نیاز، سه منطقه‌ی مستعد را با سه درجه‌بندی مجزا در حوضه آبخیز سیواگانا بهره‌وری و معرفی نمودند. کومار (۲۰۱۱)، با استفاده از فناوری‌های ژئوماتیک به تهیه نقشه نواحی مستعد تغذیه‌ی آبخوان‌های حوضه آبخیز سنجایی پرداخت. روش استفاده شده به وسیله‌ی ایشان سنجش از دور و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی بود. فراسنج‌های که ایشان برای اثردهی در نتایج خود استفاده کردند عبارت بودند از: زمین‌شناسی، زمین‌ریخت‌شناسی، کاربری اراضی، نفوذپذیری، عمق خاک، تراکم شبکه‌ی آبراهه و بافت خاک. ایشان با تهیه‌ی نقشه‌های موضوعی مختلف از فراسنج‌های مذکور و طبقه‌بندی نمودن آن‌ها و در نهایت

تلفیق لایه‌های مختلف، نقشه‌ی مکان‌های مناسب تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان‌ها را در سنجایی به دست آوردند. نگ و لاهیری (۲۰۱۱)، با استفاده از سنجش از دور و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی نواحی دارای توان آب زیرزمینی را در واراکسوار در هند مشخص نمودند. ایشان به منظور شناسایی چنین نواحی از ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه، از جمله سازندهای زمین‌شناسی، الگوی آبراهه‌ها و تراکم خطواره‌ها استفاده کردند. نتایج ایشان نشان دادند که خصوصیات تراکم خطواره، سنگ‌شناسی و بافت شبکه آبراهه‌ها برای شیب‌های کم نقش مهمی را ایفا می‌کنند. ذوالفقاری و همکاران (۱۳۹۱)، در پژوهشی، منطقه فشارک را در شرق اصفهان که با مشکل کم‌آبی مواجه شده است مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه خصوصیات زمین‌شناسی، آب‌شناسی و کیفیت آب را به عنوان عوامل مؤثر در تغذیه‌ی مصنوعی در منطقه مورد مطالعه‌ی خود معرفی و اطلاعات مربوطه را وارد نرم‌افزار ArcGIS کردند. ایشان معیارهای مناسب جهت تعیین مناطق مستعد برای تغذیه‌ی مصنوعی را شیب زمین، کیفیت آب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، ضخامت آبرفت خشک و نفوذپذیری دانستند. با وارد کردن لایه‌های اطلاعاتی وابسته به معیارهای فوق به نرم‌افزار ArcGIS و تحلیل مکانی آن‌ها با کاربرد منطق استدلالی جمع وزنی نرم‌افزار، مناطقی را که برای اجرای طرح مناسب بودند مشخص کردند. زمانی و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی، به صورت موردی جایابی مناسب را جهت اجرای تغذیه‌ی مصنوعی در منطقه‌ی علویجه مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور، ابتدا نقشه‌های کاربری اراضی، زمین‌شناسی، پستی و بلندی، خاک‌شناسی و سطح ایستابی را تهیه کردند و به کمک نرم‌افزار ArcGIS10 اطلاعات را رقومی‌سازی و وارد محیط نرم‌افزار نمودند. سپس جداول وزن‌دهی لایه‌ها را تنظیم و به کمک آن‌ها، لایه‌ها را وزن دادند. سپس با استفاده از جمع وزنی، لایه‌ها را روی هم قرار داده و بهترین مکان را جهت تغذیه‌ی مصنوعی در منطقه‌ی مورد مطالعه خود مشخص نمودند.

مواد و روش‌ها

۱- موقعیت جغرافیایی حوضه مورد مطالعه

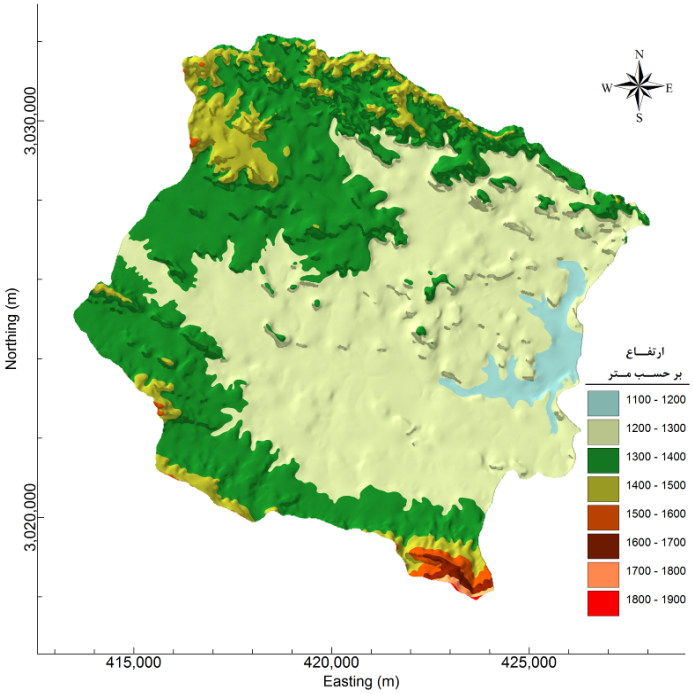
حوضه آبخیز سوراندر شهرستان سراوان واقع در استان سیستان و بلوچستان و در محدوده‌ی جغرافیایی ″۲۳ ′۱۱ °۶۱ تا ″۲۷ ′۳۷ °۶۱ طول شرقی و ″۳۵ ′۲۸ °۲۷ تا ″۴۸ ′۵۷ °۲۷ عرض شمالی قرار داشته و به وسعت ۱۲۱۴۱.۱ هکتار می‌باشد. بیشترین ارتفاع منطقه ۱۸۸۴ متر و کمترین آن ۱۱۷۳ متر از سطح دریاست.

۲- روش انجام کار

در این مطالعه از هشت لایه‌ی اطلاعاتی شامل شیب، نفوذپذیری سطحی، فرونشت، ضخامت آبرفت، کیفیت آبرفت، کاربری اراضی، اندازه‌ی آبدهی حوضه و قابلیت انتقال سفره در مکان‌یابی مناطق مستعد جهت تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان‌ها استفاده شده است. به همین منظور ابتدا نقشه‌های پستی و بلندی ۱:۵۰۰۰۰ حوضه با استفاده از نرم‌افزار RockWorks15 رقومی[1] شده و به کمک اطلاعات حاصله از رقومی نمودن نقشه پستی و بلندی حوضه، نقشه‌ی شبیه رقومی ارتفاعی حوضه[2] (DEM) به دست آمد (شکل ۱).

از نقشه‌ی DEM حوضه و با کاربرد نرم‌افزار RockWorks، نقشه‌ی شیب حوضه (لایه‌ی اطلاعاتی اول) به دست آمد. به منظور دستیابی به دیگر لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز تحقیق، مطالعات پایه‌ی حوضه اعم از زمین‌شناسی، خاک‌شناسی و آب‌شناسی انجام پذیرفت و تمامی اطلاعات به دست آمده به منظور تهیه‌ی نقشه‌های موضوعی مختلف، به صورت رقومی وارد نرم‌افزار RockWorks شدند. تمامی داده‌های مکانی و مقادیر لایه‌های اطلاعاتی که به صورت کمی اندازه‌گیری شده بودند مستقیماً وارد محیط نرم‌افزار RockWorks گردیده و فراسنج‌های که به صورت کیفی و توصیفی برآورد شدند نیز طبقه‌بندی گردیده و پس از اعمال تنظیم‌ها و تصحیح‌های لازم، نقشه‌های مربوط به هر کدام به‌طور مجزا ترسیم شدند. وزن‌دهی مناسب بر اساس مطالعات محققین مختلف داخل و خارج برای لایه‌های اطلاعاتی صورت گرفت. در نهایت، با استفاده از عملیات بولین[3]، نقشه‌های بولین از تمامی لایه‌های اطلاعاتی تهیه شد. وزن‌دهی به واحدها در هر لایه اطلاعاتی در این

[1] -Digitizing
[2] -Digital Elevation Model
[3] -Boolean Operations



شکل ۱- نقشه‌ی شبیه رقومی ارتفاعی حوضه.

منطق بر اساس منطق صفر و یک می‌باشد؛ به عبارت دیگر هر واحد یا گره شبکه‌ی از نظر تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان‌ها مناسب یا نامناسب بوده و حالت بینابینی وجود ندارد (راک‌ویر، ۲۰۱۲). در نقشه نهایی و تلفیق‌یافته نیز هر پیکسل یا مناسب و یا نامناسب تشخیص داده می‌شود (شکل ۲). عملیات حاصل‌ضرب جبری نقشه‌های بولین تهیه شده مرحله‌ی پایانی کار بود که پس از اعمال آن، نقشه‌ی مکان‌های مناسب تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان‌های حوضه مشخص و ترسیم شد. از آنجا که دو شبکه دارای نواحی صفر و یک می‌باشد، لذا با انجام عملیات حاصل‌ضرب دو شبکه در یکدیگر (از دو نقشه یا لایه‌ی متفاوت)، مناطقی از هر دو شبکه باقی خواهند ماند که مقدار عددی آن نواحی برابر با یک بوده و در مناطق با ارزش عددی یک شبکه‌ی دیگر ضرب شده باشد نه عدد صفر. شبکه‌ی حاصل از این عملیات نیز در شبکه‌های دیگر نقشه‌های تهیه شده ضرب شده و نهایتاً نقشه مکان‌های مناسب تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان‌ها به دست خواهد آمد (شکل ۳).

۳- آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی

۳-۱- نقشه‌ی شیب حوضه

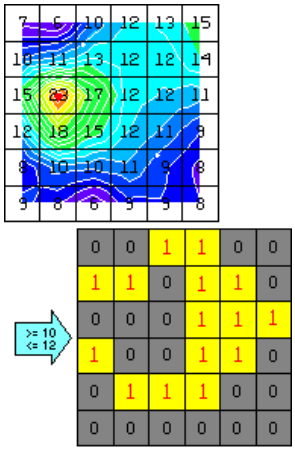
از آنجا که شیب با اندازه نفوذ رابطه‌ی عکس دارد، لذا معیار قابل قبولی که برای شیب حوضه به منظور تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان‌ها در این طرح در نظر گرفته شده است صفر تا ۵ درصد می‌باشد (نوری، ۱۳۸۲). شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب نقشه‌ی شیب و نقشه بولین شیب حوضه را نمایش می‌دهند.

۳-۲- نقشه‌ی آبدهی حوضه

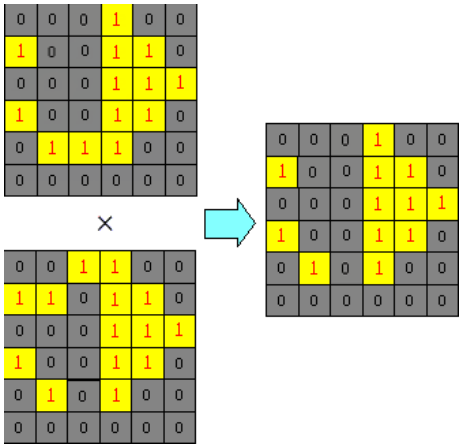
از آنجا که ایستگاه آب‌سنجی در حوضه وجود ندارد، برای برآورد اندازه‌ی آبدهی آن از روش تجربی مؤسسه‌ی تحقیقات آبیاری ایالت اوتاپرادش هند (UP2) بهره‌وری گردید. برای تهیه‌ی نقشه‌ی بولین اندازه‌ی آبدهی حوضه نیز از نمای میانه‌ی اندازه آبدهی استفاده شد. نمای میانه اندازه‌ی آبدهی حوضه با کاربرد نرم‌افزار RockWorks برابر با ۰.۱۲ میلیون مترمکعب برآورد شد؛ بنابراین برای نرم‌افزار مقادیر ۰.۱۲ میلیون مترمکعب و بیشتر از آن جزء نواحی مستعد و کمتر از آن جزء مناطق غیر مستعد تعریف گردیدند (شکل ۶ و ۷).

۳-۳- نقشه‌ی فرونشت حوضه

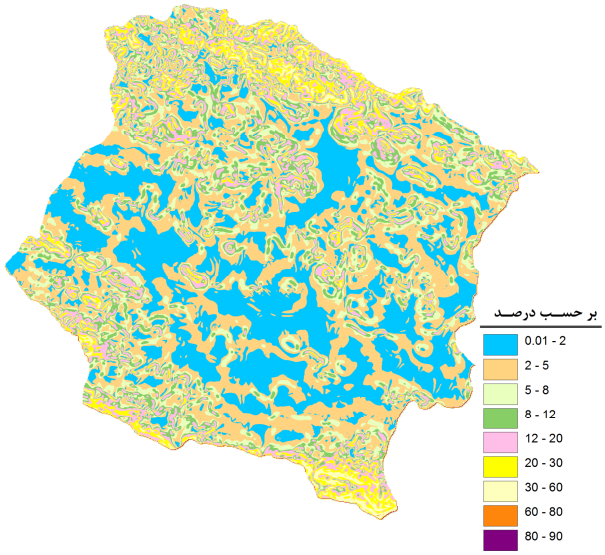
پس از تشخیص نوع سازندهای زمین‌شناسی حوضه، اندازه تراوایی واحدهای سنگ چینه‌ای بر اساس جداول ارائه شده در این خصوص، تعیین گردید. سپس تمامی واحدهای با نفوذپذیری یکسان گروه‌بندی و طبقه‌بندی شدند. همچنین، گستره‌ی اندازه‌ی تراوایی بالا تا بسیار بالا برای نواحی مستعد تغذیه در نظر گرفته شد (شکل‌های ۸ و ۹).



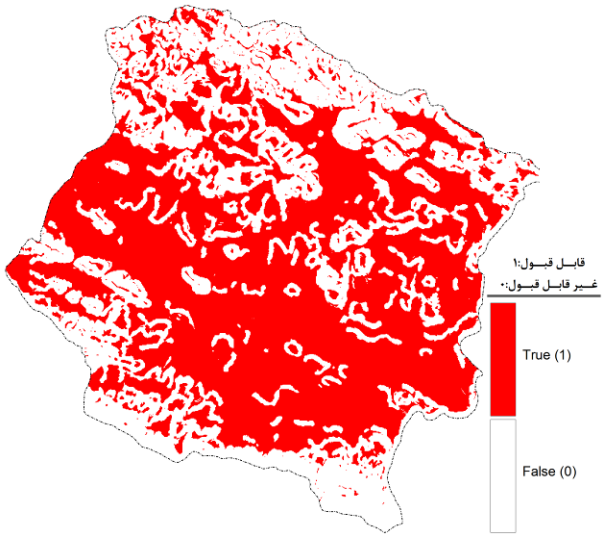
شکل ۲- منطق بولین (تبدیل نقشه به نقشه صفر و یک).



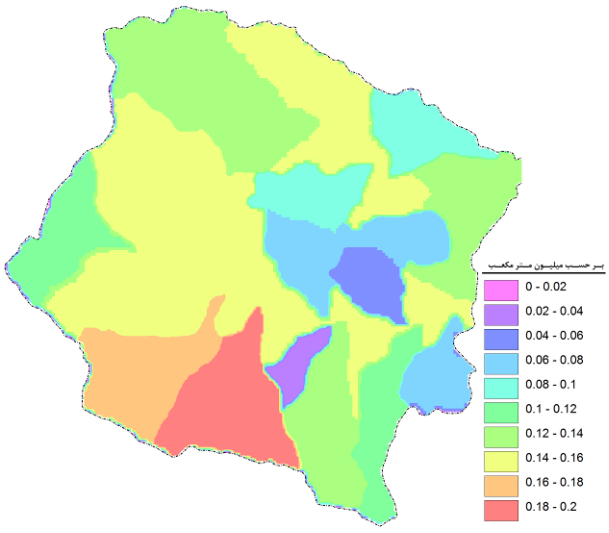
شکل ۳- حاصل‌ضرب جبری دو شبکه در یکدیگر.



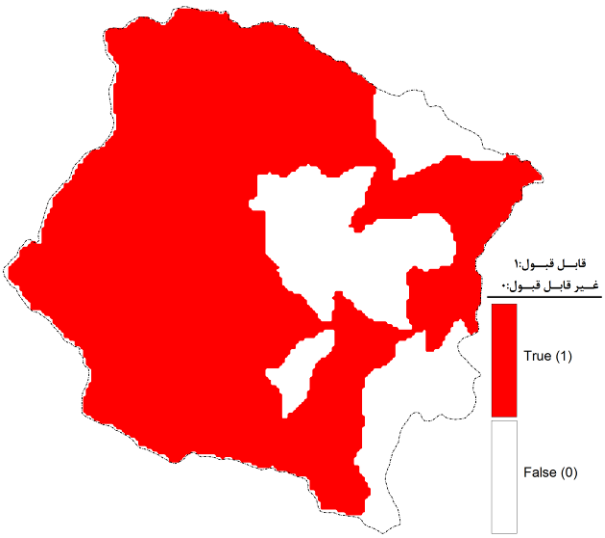
شکل ۴- نقشه‌ی شیب حوضه.



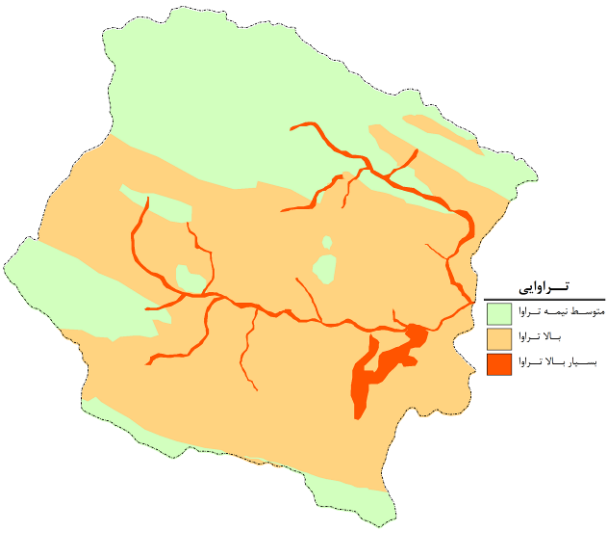
شکل ۵- نقشه‌ی بولین شیب حوضه.



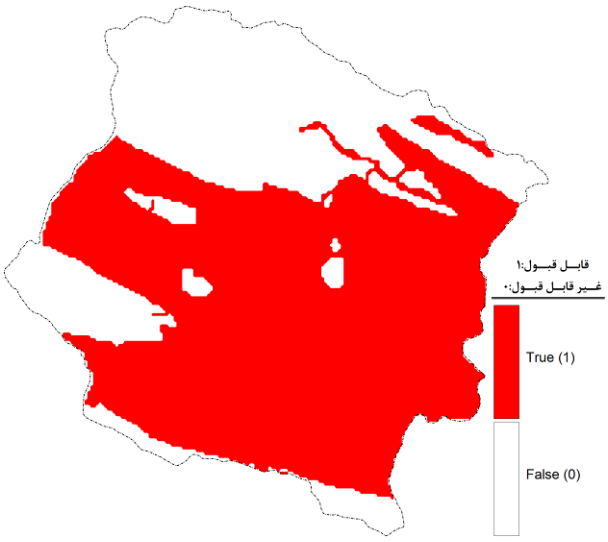
شکل ۶- نقشه‌ی آبدهی حوضه.



شکل ۷- نقشه‌ی بولین آبدهی حوضه.



شکل ۸- نقشه‌ی نفوذپذیری واحدهای سنگ‌چینه‌ای.



شکل ۹- نقشه‌ی بولین نفوذپذیری واحدهای سنگ‌چینه‌ای.

۳-۴- نقشه‌ی قابلیت انتقال آبخوان حوضه

با توجه به نوع سازندهای زمین‌شناسی موجود در حوضه، اندازه قابلیت انتقال سازندها به صورت توصیفی تهیه شد. به منظور تهیه‌ی نقشه‌ی بولین از لایه‌ی قابلیت انتقال سازندها، واحدهای سنگی و آبرفتی با انتقال متوسط تا بالا، نواحی مناسب و سایر واحدها نواحی نامناسب در نظر گرفته شدند. بر همین اساس، چهار واحد سنگ چینه‌ای و آبرفتی (واحدهای سنگی با قابلیت انتقال بالا، واحد آبرفتی با قابلیت انتقال متوسط، واحدهای سنگی با قابلیت انتقال کم و واحدهای آبرفتی با قابلیت انتقال کم) در حوضه تشخیص داده شدند (شکل‌های ۱۰ و ۱۱).

۳-۵- نقشه‌ی ضخامت آبرفت حوضه

از آنجا که در حوضه مورد مطالعه ضخامت آبرفت در اکثر نقاط کم بود و همچنین اختلاف زیادی بین نظریات محققین مختلف در این رابطه وجود دارد، لذا بازه‌ی ضخامت بیش از ۵ متر برای نواحی مستعد در این حوضه منظور گردیده و ضخامت‌های کمتر از ۵ متر به عنوان نواحی نامناسب تعریف شدند (شکل‌های ۱۲ و ۱۳).

۳-۶- نقشه‌ی هدایت الکتریکی (کیفیت آبرفت حوضه)

برای تهیه‌ی نقشه کیفیت آب آبرفت از فراسنج هدایت الکتریکی (EC) حاصله از نتایج آزمایشگاهی منابع آبی حوضه استفاده شد. هدایت الکتریکی منابع آب حوضه در بازه‌ی ۰/۸۶۰ تا ۱/۶۲۰ زیمنس بر متر می‌باشد. با توجه به داشتن موقعیت مکان‌های برداشت نمونه آب و نیز اندازه هدایت الکتریکی آن، نقشه‌ی هدایت الکتریکی و یا به عبارت دیگر کیفیت آب آبرفت ترسیم شد. با توجه به اینکه هدایت الکتریکی به دست آمده کل حوضه در بازه‌ی مناسب قرار می‌گیرد، لذا هیچ قسمتی از حوضه حذف نشد و تمام سطح آن در مناطق مستعد قرار گرفت (شکل‌های ۱۴ و ۱۵).

۳-۷- نقشه‌ی کاربری اراضی حوضه

روش و جداسازی کاربری‌های مختلف اراضی در منطقه‌ی مورد مطالعه بر اساس تفسیر عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات صحرایی انجام گرفت. به منظور تهیه‌ی شبکه‌ی نقشه‌ی کاربری اراضی نیز وزن‌دهی به هر ۳ نوع کاربری صورت گرفت و سرانجام نقشه‌ی شبکه‌ی آن تهیه شد. از آنجا که نوع کاربری مرتع برای تغذیه‌ی آبخوان‌های مناطقی مناسب می‌باشد (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۳)، این نوع کاربری برای نرم‌افزار جزء مناطق مناسب تعریف و سایر نواحی جزء مناطق نامناسب به شمار آمدند (شکل‌های ۱۶ و ۱۷).

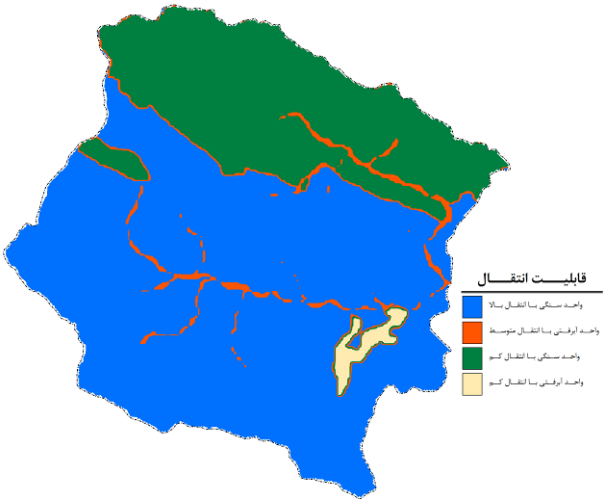
۳-۸- نقشه‌ی نفوذپذیری سطحی حوضه

با توجه به نمونه‌برداری‌هایی که از عمق خاک در نقاط مختلف و همگن حوضه به عمل آمد، گروه‌های آب‌شناسی خاک حوضه بر اساس روش حفاظت خاک آمریکا (SCS) مشخص گردیدند. در طبقه‌بندی یادشده

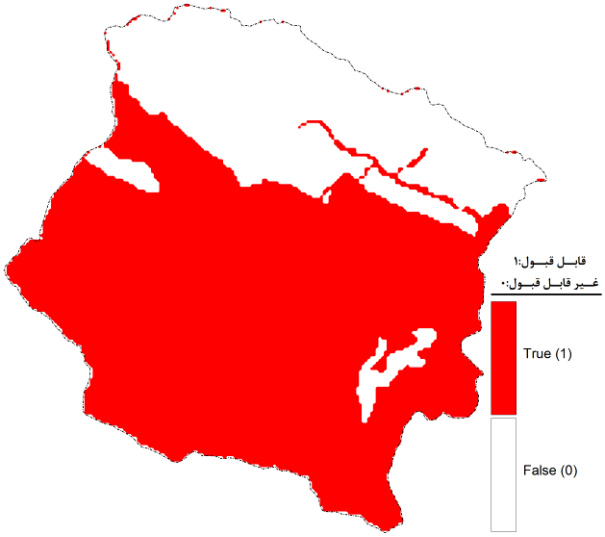
اندازه‌ی نفوذپذیری گروه‌های مختلف خاک نیز ارائه شده است؛ بنابراین، ویژگی مزبور بهره‌وری و مبادرت به تهیه‌ی نقشه‌ی نفوذپذیری سطحی خاک حوضه شد (شکل‌های ۱۸ و ۱۹).

۴- تلفیق لایه‌ها

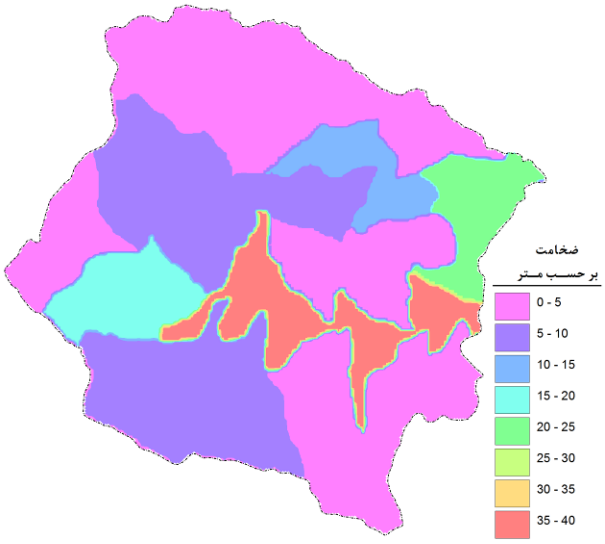
مرحله‌ی پایانی پردازش اطلاعات، تلفیق لایه‌های اطلاعاتی از طریق حاصل‌ضرب جبری تمامی نقشه‌های بولین تهیه شده، اعم از نقشه‌های شیب، نفوذپذیری سطحی، فرونشت، ضخامت آبرفت، کیفیت آبرفت، کاربری اراضی، اندازه‌ی آبدهی حوضه و قابلیت انتقال سفره بود که پس از اعمال آن، نقشه مکان‌های مناسب جهت تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان‌ها در حوضه مورد مطالعه ترسیم شد (شکل ۲۰).



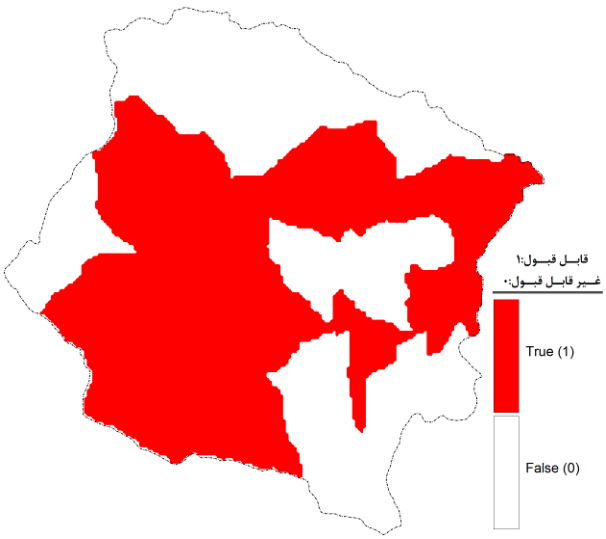
شکل ۱۰- نقشه‌ی قابلیت انتقال سازندهای زمین‌شناسی.



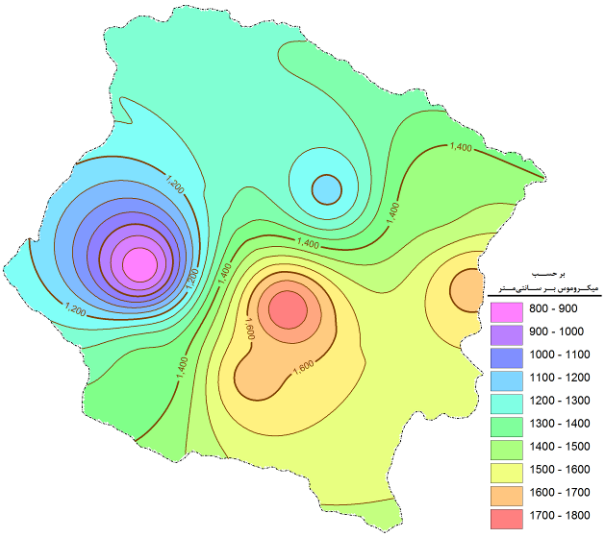
شکل ۱۱- نقشه‌ی بولین قابلیت انتقال سازندها.



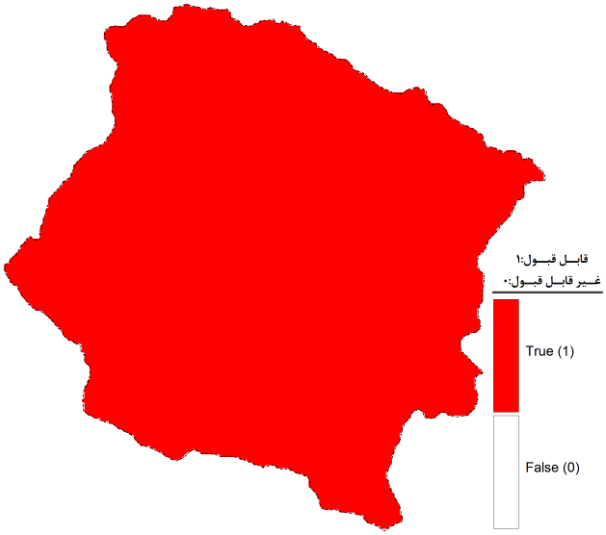
شکل ۱۲- نقشه‌ی ضخامت آبرفت حوضه.



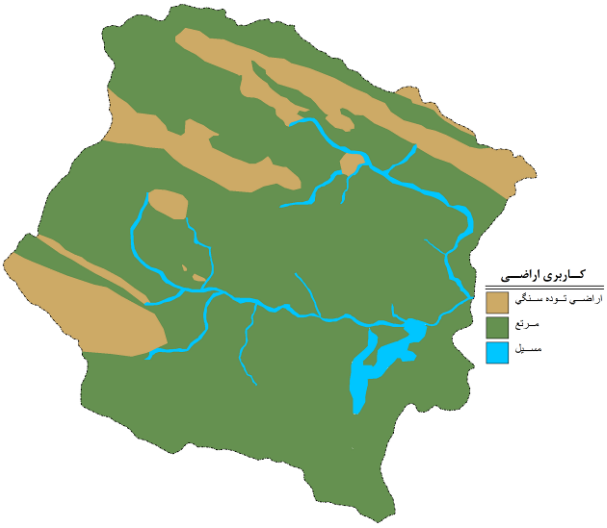
شکل ۱۳- نقشه‌ی بولین ضخامت آبرفت حوضه.



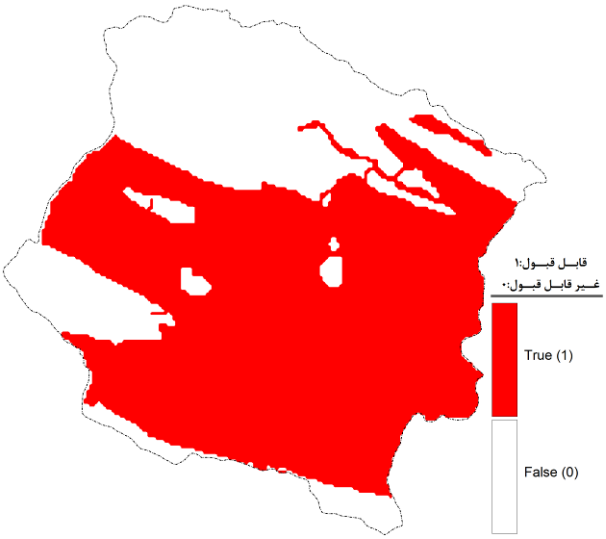
شکل ۱۴- نقشه‌ی هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی حوضه.



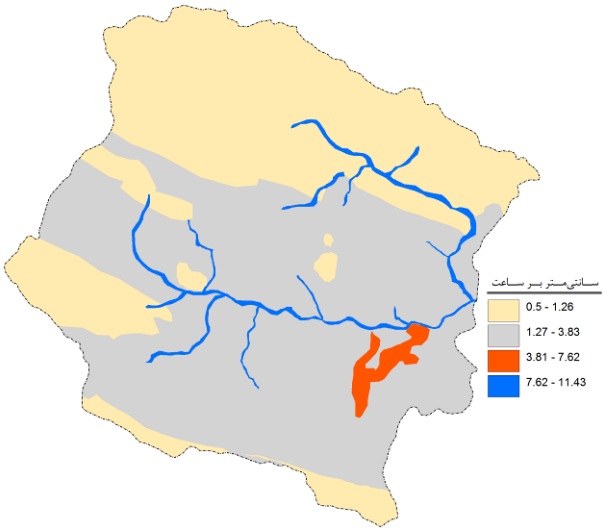
شکل ۱۵- نقشه‌ی بولین هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی حوضه.



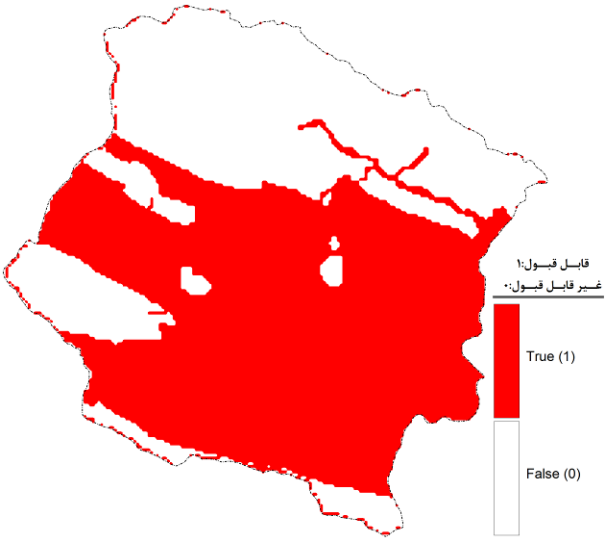
شکل ۱۶- نقشه‌ی کاربری اراضی حوضه.



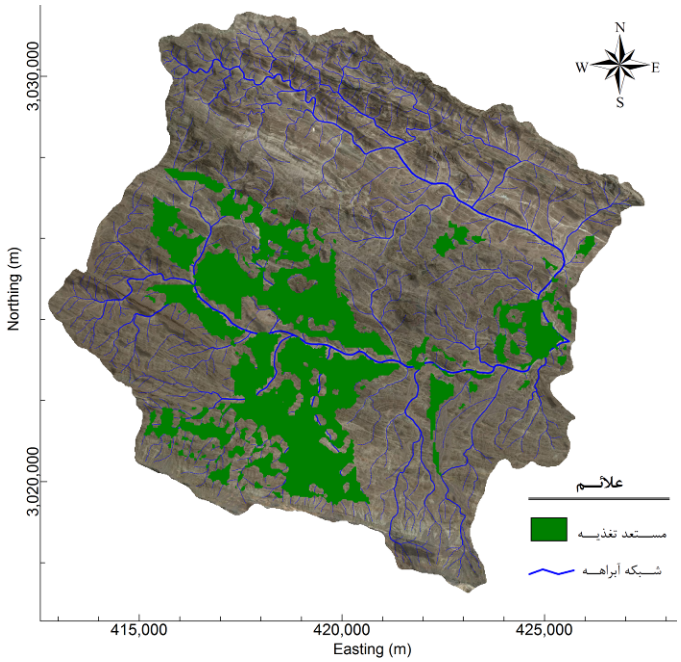
شکل ۱۷- نقشه‌ی بولین کاربری اراضی حوضه.



شکل ۱۸- نقشه‌ی نفوذپذیری سطحی خاک حوضه.



شکل ۱۹- نقشه‌ی بولین نفوذپذیری سطحی خاک حوضه.



شکل ۲۰- نقشه‌ی مکان‌های مناسب تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها در حوضه.

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه سعی بر آن بود که از بیشترین عوامل و فراسنج‌های مؤثر در مکان‌یابی مناطق مستعد تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان‌ها که مورد بهره‌وری دیگر محققین، از جمله قرمزچشمه، ۱۳۷۹؛ حکمت‌پور، ۱۳۸۶؛ ذوالفقاری، ۱۳۹۱؛ کریمی، ۱۳۹۰؛ مهدوی، ۱۳۸۳؛ نوری، ۱۳۸۰؛ هاتفی‌اردکانی، ۱۳۹۰؛ بالاچاندر، ۲۰۱۰؛ غیومیان، ۲۰۰۷؛ کومار، ۲۰۱۱؛ ونگ، ۲۰۱۱ قرار گرفته‌اند، استفاده گردد. بدین منظور برای تعیین مکان‌های مناسب جهت اجرای طرح‌های تغذیه‌ی مصنوعی از لایه‌های اطلاعاتی مختلف، از جمله شیب، نفوذپذیری سطحی، فرونشت، ضخامت آبرفت، کیفیت آبرفت، کاربری اراضی، اندازه آبدهی حوضه و قابلیت انتقال آبخوان در محیط نرم‌افزار RockWorks بهره‌وری شد.

نتایج حاصل از این مطالعه نشان دادند که در حوضه مورد مطالعه ۷۱۱۳.۴۰ هکتار برابر ۵۸.۵۹ درصد از کل مساحت حوضه (۱۲۱۴۱.۱۰ هکتار) دارای شیب مناسب جهت تغذیه‌ی مصنوعی می‌باشد؛ به عبارت دیگر بیش از نیمی از مساحت حوضه را شیب مناسب برای تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان‌ها به خود اختصاص داده است. همچنین، واحدهای سنگی با نفوذپذیری بالا مساحتی را برابر با ۷۶۴۹.۵۸ هکتار برابر ۶۳.۰۱ درصد از حوضه تحت پوشش خود قرار داده‌اند.

از لحاظ اندازه نفوذپذیری سطحی خاک نیز، وسعتی برابر با ۷۲۳۳.۱۳ هکتار برابر ۵۹.۵۸ درصد از حوضه را مناطق با نفوذپذیری سطحی مناسب پوشش داده‌اند. ضخامت آبرفت در مساحتی قریب به ۶۶۲۰.۰۶ هکتار برابر با ۵۴.۵۳ درصد از حوضه، بیشتر از ۵ متر بوده و ۷۸.۶۳ درصد از کل حوضه برابر با ۹۵۴۶.۵۱ هکتار به دلیل داشتن ضخامت ناچیز، دارای کاربری اراضی مرتع می‌باشد. همچنین، سازندهایی که دارای قابلیت انتقال مناسب جهت تغذیه‌ی مصنوعی در حوضه هستند برابر با ۸۴۳۲.۴۴ هکتار، برابر با ۶۹.۴۵ درصد از آن را تحت پوشش خود قرار داده‌اند. هدایت الکتریکی کل حوضه نیز مناسب برای تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان‌ها تشخیص داده شد. آن نواحی از حوضه که دارای آبدهی مناسب جهت تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان‌ها می‌باشند نیز برابر با ۹۱۸۶.۷۴ هکتار یا برابر با ۷۵.۶۷ درصد از کل حوضه را به خود اختصاص داده‌اند.

همچنین، با اندازه‌گیری مساحت نواحی مستعد و غیر مستعد تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان‌ها مشخص شد که ۸۲.۶۷ درصد از مساحت کل حوضه با انجام عملیات نهایی تلفیق لایه‌های اطلاعاتی، برای تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان‌ها نامناسب تشخیص داده شده و تنها ۱۷.۳۳

درصد از مساحت کل حوضه که برابر با ۲۱۰۴.۵۷ هکتار می‌باشد برای تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان‌ها مناسب است.

با نگاهی بر نتایج به دست آمده فوق مشخص شد که در تمامی لایه‌های اطلاعاتی بیش از ۵۰ درصد از حوضه مورد مطالعه را نواحی مستعد تغذیه به خود اختصاص دادند. ولی پس از همپوشانی لایه‌ها از طریق منطق بولین، این مقدار به ۱۷ درصد تقلیل پیدا کرده است؛ علت اصلی آن، توزیع غیریکنواخت نواحی مستعد برای هر کدام از لایه‌های اطلاعاتی در حوضه مورد مطالعه بوده است.

بررسی ارتباط بین واحدهای شکل زمین و مناطق مستعد جهت تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان‌ها نشان می‌دهد که مناطق مناسب جهت تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان‌ها، به‌طور عمده در واحد دشت‌سر قرار گرفته‌اند. قرمزچشمه (۱۳۷۹) نیز در پایان‌نامه خود در بررسی نهشته‌های کواترنر جهت تعیین مناطق مستعد پخش سیلاب در شمال شرق اصفهان به این نتیجه رسید که مناطق مناسب تغذیه‌ی مصنوعی در واحد دشت‌سر آپانداژ قرار گرفته‌اند.

همچنین، با مقایسه نتایج حاصله از این طرح و با کاربرد نرم‌افزار RockWorks و مقایسه با نتایج دستاوردهای دیگر در طرح‌های مشابه و با کاربری نرم‌افزار ArcGIS می‌توان به این نتیجه رسید که به منظور انجام عملیات مکان‌یابی، صرفاً نمی‌توان به نرم‌افزار ArcGIS اکتفا کرد، بلکه باید به دنبال نرم‌افزاری بود که توانایی‌های لازم را از دیدگاه‌های مختلف مهندسی در دستیابی به هدف اصلی داشته باشد، به‌طوری که بتوان تمامی معیارها و فراسنج‌های مهندسی دخیل را برای تصمیم‌گیری و نیل به هدف مورد انتظار طرح در آن تعریف نمود. نرم‌افزار مورد استفاده در این طرح قادر است با تخصصی و ظریف‌تر نمودن لایه‌های اطلاعاتی، در حیطه ساختاری خود نتایج قابل‌قبول و مطمئنی را ارائه دهد.

پیشنهادها

با توجه به اینکه در طرح‌های مکان‌یابی برای تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان‌ها، وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی، مهم‌ترین قسمت کار می‌باشد لذا ضروری است که برای تعیین وزن‌های مناسب در لایه‌های مختلف و برای مناطق گوناگون از رایزنی کارشناسان و متخصصین مربوطه در قالب پرسش‌نامه استفاده شود.

در طرح‌های مکان‌یابی، اندازه تأثیر هر یک از لایه‌های اطلاعاتی باید مورد بررسی و توجه قرار گیرد.

با توجه به اینکه نقش هر یک از فراسنج‌های مؤثر در طرح‌های تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان‌ها به طور کامل مشخص نیست، لازم است که تحقیقاتی در زمینه نقش فراسنج‌های مختلف در این طرح‌ها انجام گیرد.

با توجه به ارتباط بین پدیده‌های زمین‌ریخت‌شناسی و مناطق مناسب برای تغذیه‌ی مصنوعی آبخوان‌ها بهتر است که در چنین تحقیقاتی از دو شبیه جداگانه استفاده شود به‌طوری که یک شبیه بر اساس فراسنج‌های آب‌شناسی نظیر نفوذپذیری، ضخامت ته‌نشست‌ها، EC و غیره صورت گیرد و شبیه دیگر بر اساس فراسنج‌های حاصل از تجزیه و تحلیل‌های دورسنجی، نظیر زمین‌ریخت‌شناسی، پوشش گیاهی، شبکه زهکشی، تراکم زهکشی و غیره صورت پذیرد. با توجه به اینکه شبیهی که بر اساس فراسنج‌های آب‌شناسی خاک طراحی شده به طبیعت نزدیک‌تر است می‌تواند به عنوان یک واقعیت زمینی برای بازنگری کردن برنامه‌ای که بر اساس فراسنج‌های دورسنجی طراحی شده است، به کار برده شود.

مراجع

۱) ذوالفقاری، پ.، عابدی کوپایی، ج. و جواهری طهرانی، م. ۱۳۹۱. مکان‌یابی اجرای طرح تغذیه مصنوعی در منطقه فشارک اصفهان با استفاده از ArcGIS، دومین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، دانشگاه تهران.

۲) رجب‌پور، ر.، طالب بیدختی، ن. و رخشنده‌رو، غ. ۱۳۹۴. توسعه و کاربرد الگوریتم JPSO در بهینه‌سازی بهره‌برداری از آبگیرها سدها، مجله‌ی مهندسی منابع آب، ۸: ۶۰-۴۷.

۳) زنگنه‌اسدی، م. ع.، بقائی‌نژاد، ن.، غلامپور، ش. و بهشتی‌قله‌زو، ع. ۱۳۹۴. تهیه نقشه آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان بقیع خراسان رضوی به دو روش Cop و Paprika با استفاده از سنجش از دور و GIS، مجله‌ی مهندسی منابع آب، ۸: ۲۳-۳۰.

۴) قرمزچشمه، ب. ۱۳۷۹. بررسی نهشته‌های دوران چهارم جهت تعیین مناطق مستعد پخش سیلاب؛ مطالعه موردی شمال شرق اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

۵) کریمی، ث.، زارع، م.، کریمی، م. ر. و بهرامی، ز. ۱۳۹۰. مکان‌یابی مناطق مناسب جهت تغذیه مصنوعی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش تحلیل سلسله مراتبی مطالعه موردی دشت داراب، اولین همایش ملی زمین‌شناسی ایران، گروه زمین‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی شیراز.

۶) مهدوی، ر.، عابدی‌کوپایی، ج.، رضایی، م. و عبدالحسینی، م. ۱۳۸۳. مکان‌یابی محل‌های مناسب تغذیه مصنوعی منابع آب زیرزمینی از طریق RS و GIS، دومین کنفرانس ملی دانشجویی منابع آب و خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز.

۷) نوری، ب. ۱۳۸۲. تعیین مناطق مناسب جهت تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با استفاده از داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۸) هاتفی‌اردکانی، ا. ح. و رضایی‌راد، ن. ۱۳۹۰. استفاده از روش‌های RS و GIS در مکان‌یابی مناسب تغذیه مصنوعی منابع آب‌های زیرزمینی دشت سمنان، مجموعه مقالات هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

9) Balachandar, D., Alaguraja, P., Sundaraj, P., Rutharvelmurthy, K. and Kumaraswamy, K. 2010. Application of remote sensing and GIS for artificial recharge zone in Sivaganga District, Tamilnadu, India, International Journal of Geomatics and Geosciences. 1, No 1.

10) Ghayoumian, J., Mohseni Saravi, M., Feiznia, S., Nouri, B. and Malekian, A. 2007. Application of GIS techniques to determine areas most suitable for artificial groundwater recharge in a coastal aquifer in southern Iran, Journal of Asian Earth Sciences 30 (2007) 364–374.

11) http:\\www.rockware.com, 2012. Mail: RockWare Inc. 2221 East Street, Suite 101, Golden, CO 80401, USA.

12) Kumar, B. and Kumar, U. 2011. Ground water recharge zonation mapping and modeling using geomatics techniques, International Journal of Environmental Sciences.

13) Nag, S. K. and Lahiri, A. 2011. Integrated approach using remote sensing and GIS techniques for delineating groundwaterpPotential zones in Dwarakeswar Watershed, Bankura Distict, West Bengal, International, Journal of Geomatics and Geosciences.