نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۲، آذر - دی ۱۳۹۷، ص. ۱۲۶۵-۱۲۵۳

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 12, Des.-Jan. 2018, p. 1253-1265

مکان‌یابی و اولویت‌بندی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی بر اساس، منطق بولین، روش هم‌پوشانی و منطق فازی

عاطفه مهدوی[۱] و سمیرا اخوان[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۲۵

چکیده

پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارش‌ها، سبب ایجاد سیلاب و رواناب‌های سطحی می‌شود. تغذیه مصنوعی با استفاده از این آب‌ها راه حلی جهت افزایش ذخایر زیرزمینی است. به‌منظور مکان‌یابی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی در آبخوان دشت همدان- بهار از شش عامل موثر شیب، نفوذپذیری سطحی، ضخامت غیراشباع آب‌رفت، توانایی انتقال آب در آب‌رفت، کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی و کاربری اراضی استفاده گردید. در روش اول هر یک از نقشه‌ها بر اساس منطق بولین طبقه‌بندی و با عملگر AND تلفیق شدند. ۲۶ درصد از منطقه مناسب تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی دشت همدان- بهار تشخیص داده شد. سپس با استفاده از روش هم‌پوشانی، مناطق مناسب به‌دست آمده از منطق بولین، به سه زیر گروه تقسیم شدند. ۰/۵۳درصد مناسب و ۲۱ درصد متوسط، ولی هیچ منطقه‌ای با تناسب خیلی مناسب حاصل نشد. در روش سوم لایه‌ها بر مبنای منطق فازی امتیازدهی و با حاصل‌ضرب فازی ترکیب شدند که ۲/۲۵ درصد خیلی مناسب، ۷/۷۱ درصد مناسب و ۱۶/۷۶ درصد متوسط تشخیص داده شد. نتایج آنالیز حساسیت منطق بولین نشان داد که افزایش ۵۰ درصدی ارقام بازه‌های مناسب در لایه‌های ورودی، سبب ۱/۵درصد افزایش و همین مقدار کاهش در بازه‌ها، باعث ۰/۵ درصد کاهش در تناسب اراضی شد.

واژه‌های کلیدی: تغذیه مصنوعی، دشت همدان- بهار، روش هم‌پوشانی، منطق فازی، منطق بولین

مقدمه

لزوم شناخت و بهره‌برداری بهینه از آب‌های زیرزمینی از آن‌جا ناشی می‌گردد، که این منابع ۹۹ درصد از کل آب‌های شیرین قابل استفاده را تشکیل می‌دهند. مشکلات ناشی از بروز خشک‌سالی‌ها از یک سو و سیلاب‌های مخرب از سوی دیگر، لزوم مدیریت صحیح منابع آب را، به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، نمایان می‌سازد. در این رابطه، جمع‌آوری آب‌های سطحی، تغذیه آب‌های زیرزمینی و تنظیم بهره‌برداری صحیح آب، مهم‌ترین راهکارهای مدیریت منابع آب به شمار می‌روند (قهاری و پاکپرور، ۱۳۸۶). با توجه به این‌که منابع آب زیرزمینی ایران حدود ۷۷/۸ درصد مصارف شرب، صنعت و کشاورزی را تامین می‌کند، برنامه‌ریزی و ارایه طرح‌هایی که موجب استفاده بهینه از منابع آب‌های زیرزمینی موجود و تغذیه آبخوان‌ها گردد، دارای ضرورتی اساسی و اولویتی انکارناپذیر می‌باشد. با وجود این‌که ایران دارای آب و هوای نیمه‌خشک است، حجم آب‌های سطحی در آن زیاد بوده و مشکل کمبود آب، بیش‌تر به عدم کنترل مطلوب این آب‌ها بر می‌گردد. بنابراین می‌توان از طرح‌های تغذیه مصنوعی به عنوان راه‌حلی بهینه برای مقابله با بحران آب، بهره جست (مروتی و همکاران، ۱۳۸۷).

اصولا سفره آب زیرزمینی را می‌توان به‌عنوان یک مخزن طبیعی جهت ذخیره آب‌های سطحی مورد استفاده قرار داد. به‌این صورت‌که آب‌های جاری سطحی در دوره‌های مرطوب را با استفاده از روش‌های مختلف وارد آبخوان نموده و در دوره‌های خشک که نیاز آبی افزایش می‌یابد، مورد بهره‌برداری قرار داد. تغذیه مصنوعی عبارت از وارد کردن آب به یک سازند نفوذپذیر با هدف تغذیه سفره آب زیرزمینی و به منظور استفاده مجدد از آن با رژیم و کیفیتی متفاوت و به وسیله ایجاد تاسیسات اضافی یا تغییراتی در شرایط طبیعی منطقه است (جمالی و همکاران، ۱۳۸۹). برای شناخت مکان‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی لازم است عوامل موثر را شناسایی و از آن‌ها به صورت شاخص‌هایی برای تعیین محل‌های مستعد استفاده کرد. مکان‌یابی سیستم‌های تغذیه مصنوعی از اصول اساسی ایجاد این سیستم‌ها می‌باشد. انتخاب محل بر مبنای واقعیت‌های علمی و طبیعی دارای بزرگ‌ترین نقش در جهت استحکام و کاربری

۱- دانش‌آموخته دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا
۲- استادیار گروه مهندسی آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا
(* - نویسنده مسئول: (Email: s.akhavan@basu.ac.ir

این سیستم‌ها در راستای تحقق اهداف مربوطه می‌باشد، بنابراین ضروری است این کار با دقت کافی انجام شود (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۰). از طرفی به علت وجود مشخصه‌های متعدد در مکان‌یابی و تغییرات مداوم آن‌ها و هم‌چنین نیاز به بررسی توام معیارهای ارزیابی شده، نیاز به سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی[1] (GIS) به عنوان ابزاری کارآمد برای مدیریت و استفاده از داده‌های مکانی در این زمینه است. کاربرد GIS در ذخیره، تجزیه و تحلیل و مدیریت حجم عظیم و متنوع اطلاعات مکانی، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد (معروفی و همکاران، ۱۳۹۰). سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی به همراه ابزار و تکنیک‌ها توانایی آن را دارد که با تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در قالب مدل‌های مختلف در حداقل زمان در مکان‌یابی عرصه‌های مستعد تغذیه مصنوعی مورد استفاده قرار گیرد.

در زمینه پهنه‌بندی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی سفره‌های زیرزمینی با استفاده از GIS در ایران و جهان تحقیقاتی انجام گرفته است که از آن جمله می‌توان به مطالعات کرشنامورتی و همکاران، ساراف و چادهاری، زهتابیان و همکاران، سلطانی (۱۳۸۱) و مهرورز و کلانتری اشاره کرد (Krishnomurthy et al., 1996; Saraf and Chounhary., 1998; Zehtabian et al., 1998; Mehrvarz and Kalantari., 2007). موهان و راوی‌شانکار جهت مکان‌یابی محل‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی Deccan Volcanic هند، از سه دسته پارامتر شامل زمین‌شناسی، ژئومرفولوژی و سطح ایستایی کمک گرفتند. در مجموع هشت نقشه مربوط به پارامترهای مذکور تهیه و هر کدام به صورت فایل بولین درآمد و در محیط GIS با یکدیگر تلفیق و در نهایت مکان‌های مناسب پیشنهاد شد. سپس آنالیز حساسیت بر روی داده‌ها انجام و مشخص شد که در طیف تغییرات ۱۲± درصد، محل‌های پیشنهاد شده برای تغذیه مصنوعی تغییر چندانی نمی‌کند (Mohan and Ravi Shankar., 2005).

غیومیان و همکاران جهت تعیین مناطق مناسب برای انجام طرح تغذیه مصنوعی به روش پخش سیلاب در منطقه میمه اصفهان، از سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری[2] (DSS) استفاده کردند. آن‌ها پارامترهای شیب، نفوذپذیری، قابلیت انتقال آبخوان، ضخامت آب‌رفت و هدایت الکتریکی[3] (EC) را در نظر گرفتند. نقشه‌های مربوط به هر عامل تهیه و در محیط GIS با استفاده از روش هم‌پوشانی، تلفیق شدند. سپس شش ایستگاه مختلف در ایران که قبلا جهت انجام تغذیه مصنوعی به درستی تعیین و هم‌اکنون پروژه‌های پخش سیلاب در آن‌ها اجرا شده‌اند را، انتخاب و به ارزیابی این روش و بررسی صحت و درستی جواب‌ها پرداختند (Ghayoumian et al., 2005).

حکمت‌پور و همکاران (۱۳۸۶) پروژه‌ای با عنوان پهنه‌بندی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی در دشت ورامین به‌انجام رساندند. در این تحقیق پنج عامل مقدار شیب، نفوذپذیری سطحی، ضخامت آب‌رفت، توانایی انتقال آب در آب‌رفت و کیفیت آب‌رفت به عنوان عوامل موثر در مکان‌یابی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی در منطقه مذکور مشخص شد. پس از تهیه و وزن‌دهی لایه‌های موردنظر، به کمک روش هم‌پوشانی با یکدیگر قطع داده شدند و نتایج آن به صورت جدول به دست آمد. سپس بر اساس روش حداکثر محدودیت، برای حالات مختلف به دست آمده تصمیم‌گیری شد و نقشه نهایی حاوی نواحی مستعد تغذیه مصنوعی ارایه گردید. آل‌شیخ و همکاران تحقیقی را با عنوان تعیین مناطق مستعد پخش سیلاب با استفاده از GIS در حوضه آبخیز سمل بوشهر انجام دادند. آن‌ها پارامترهای شیب، قابلیت اراضی، نفوذپذیری سطحی، سازندهای کواترنر و ضخامت آبرفت را به عنوان عوامل موثر بررسی و نقشه مربوط به هر کدام تهیه و سپس بر اساس سه روش منطق بولین، فازی و هم‌پوشانی شاخص، اقدام به تلفیق نقشه‌ها نمودند. در نهایت اعلام کردند که مدل فازی مناسب‌ترین راهکار برای تعیین مکان‌های مناسب پخش سیلاب با هدف تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها است (Alesheikh et al., 2008).

معروفی و همکاران (۱۳۹۰) در مقاله‌ای به مقایسه سه مدل منطق فازی، بولین و هم‌پوشانی شاخص در مکان‌یابی مناطق مستعد گسترش سیلاب پرداخت. شیب، کاربری اراضی، نفوذپذیری سطحی، واحدهای کوارترنر و ضخامت آب‌رفت به عنوان متغیرهای موثر انتخاب و هر کدام تبدیل به یک لایه اطلاعاتی شدند. سپس پهنه‌بندی بر مبنای مدل‌ها و عملگرهای مختلف آن‌ها انجام شد. نتایج حاصل از بررسی صحت با استفاده از نقاط کنترل، نشان داد که مدل هم‌پوشانی شاخص با زیرمدلMulti Class Maps و منطق فازی با عملگر AND دارای بیش‌ترین درصد انطباق در مکان‌یابی عرصه‌های مستعد گسترش سیلاب، بودند. بذرافشان و همکاران (۱۳۹۵) تحقیقی را با هدف شناسایی عرصه‌های مستعد پخش سیلاب در دشت سرخون بندرعباس با استفاده از روش‌های منطق بولین، منطق فازی و شاخص و هم‌پوشان انجام دادند. بدین منظور پارامترهای نفوذپذیری سطحی، شیب، ضخامت آب‌رفت، توانایی انتقال آب در آب‌رفت، شوری آب و کاربری اراضی، به عنوان عوامل موثر انتخاب شدند. جهت مقایسه سه روش از عرصه‌های کنترل زمینی، بر اساس آماره کاپا استفاده شد که در نهایت روش فازی به عنوان بهترین روش شناخته شد.

دشت همدان- بهار به دلیل دارا بودن منابع عظیم آب زیرزمینی، خاک حاصل‌خیز و هموار بودن زمین، از کشاورزی و باغداری پررونقی برخوردار است. در سال‌های اخیر به علت بهره‌برداری بی‌رویه، سطح ایستابی در این دشت بسیار افت پیدا کرده است. از سوی دیگر این

1- Geographic Information System
2- Decision Support System
3- Electrical Conductivity

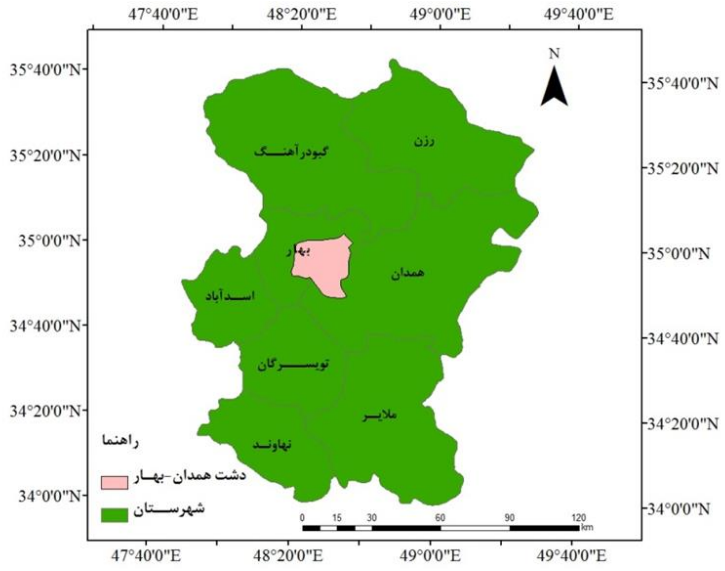
منابع تامین‌کننده آب شرب، کشاورزی و صنعت شهرهای همدان و بهار می‌باشد که از این میان ۷۰ درصد آب شرب شهر همدان را تامین می‌نماید (Akhavan et al., 2011). هدف از انجام این تحقیق مکان‌یابی عرصه‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی در دشت همدان بهار با استفاده از سه روش، منطق بولین، روش هم‌پوشانی و منطق فازی می‌باشد. در روش اول، ابتدا مناطق مناسب بر اساس منطق بولین انتخاب می‌شوند، در روش دوم مناطق به‌دست آمده از منطق بولین با استفاده از هم‌پوشانی لایه‌ها، اولویت‌بندی می‌شوند و در روش سوم مستقیما مناطق اولویت‌بندی شده بر پایه منطق فازی تعیین می‌شوند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دشت همدان- بهار که به سیمینه‌رود نیز موسوم است، با وسعت ۲۴۵۹ کیلومترمربع از زیرحوضه‌های مهم رودخانه قره‌چای و دریاچه نمک محسوب می‌گردد و در دامنه شمالی ارتفاعات الوند واقع شده است. وسعت دشت ۸۸۰ کیلومترمربع و وسعت ارتفاعات ۱۵۷۹ کیلومترمربع می‌باشد (مهدوی و زارع ابیانه، ۱۳۹۵). منطقه مورد مطالعه، محدوده آبخوان اصلی دشت همدان- بهار می‌باشد که در شمال‌غربی شهر همدان و بین طول‌های جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۳ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۲ دقیقه شمالی واقع شده است (شکل ۱). مساحت کل این آبخوان حدود ۴۸۰ کیلومترمربع و از نوع آبخوان آزاد می‌باشد.

این آبخوان از لحاظ زمین‌شناسی بر روی زون سنندج- سیرجان قرار گرفته و سنگ کف عمدتا از جنس سنگ آهک، شیل و مواد گرانیتی می‌باشد. بررسی‌های زمین‌شناسی نشان می‌دهد بخش عمده‌ای از منطقه مورد مطالعه توسط رسوبات کواترنری شامل رسوبات آب‌رفتی و کنگلومرایی مربوط به نهشته‌های عصر حاضر، پوشیده شده است که اکثرا در نواحی پست گسترش یافته و زمین‌های مستعد کشاورزی دشت بر روی آن‌ها قرار گرفته است. با توجه به جنس ارتفاعات محصور کننده دشت، جنس دانه‌های آب‌رفت‌ها اغلب از گرانیت و هورنفلس بوده و در حاشیه شرقی و شمال‌شرق بیش‌تر از جنس شیست و آهک می‌باشند (مهدوی و زارع ابیانه، ۱۳۹۵). با توجه به مطالعات ژئوفیزیکی انجام شده، ضخامت رسوبات آب‌رفتی در دشت همدان- بهار کم‌تر از ۲۵ متر در حواشی دشت تا حداکثر ۷۵ متر در مرکز دشت تغییر می‌کند. ضریب ذخیره آبخوان نیز ۵ تا ۱۰درصد است. کم‌ترین عمق سطح آب زیرزمینی در جنوب و حاشیه‌های غربی و شمال‌شرقی دشت بین ۳ تا ۱۰متر و بیش‌ترین عمق مربوط به نواحی مرکزی دشت است که بیش از۳۰ متر و تا عمق ۴۰ متر در جنوب هارون‌آباد می‌رسد. هم‌چنین این منطقه دارای آب و هوای نیمه‌خشک سرد با متوسط بارندگی سالانه ۳۲۵ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالانه ۱۱ درجه سلسیوس می‌باشد (Akhavan et al., 2011).



شکل ۱- نقشه استان همدان و موقعیت دشت همدان- بهار

عوامل موثر در انتخاب مکان‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی

عوامل موثر در مکان‌یابی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی متعددند، بدیهی است که استفاده از همه مشخصه‌های موثر در مدل‌های مکان‌یابی میسر نیست. از این رو عوامل یاد شده با توجه به نکاتی از

قبیل هدف، مقیاس کار و دقت قابل انتظار، شرایط منطقه، میزان تأثیرگذاری هر عامل و کافی بودن و در دسترس بودن اطلاعات، تعیین می‌شوند. در این پژوهش از شاخص‌های ضخامت لایه خشک آبرفت، مقدار شیب، نفوذپذیری سطحی، کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی، توانایی آبخوان در انتقال آب و کاربری اراضی مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

– ضخامت غیراشباع آب‌رفت: از عوامل مهم در پخش سیلاب و تغذیه آب‌های زیرزمینی ضخامت آبرفت است. از نظر تئوری هر چه ضخامت آب‌رفت بیش‌تر باشد، میزان ذخیره آب زیرزمینی در آن زیادتر خواهد بود. به عبارت دیگر یعنی مخزن طبیعی زیرزمینی جهت ذخیره کردن آب، بزرگ‌تر می‌باشد در نتیجه عمل تغذیه با درصد موفقیت بالاتری انجام می‌گیرد. تغذیه در مناطقی که سفره آزاد آب آن‌ها نزدیک به سطح زمین است، باعث بالا آمدن سفره و ماندابی شدن اراضی مزبور می‌شود (Ghayoumian et al., 2007). با داشتن عمق سطح آب در ۲۸ حلقه چاه پیزومتری موجود در آبخوان همدان‌بهار، در محیط Arc GIS 9.3 با انجام عملیات میان‌یابی، نقشه ضخامت غیر اشباع آب‌رفت (شکل ۲) تهیه شد.

– شیب: از مهم‌ترین عوامل موثر در مکان‌یابی عرصه‌های مستعد تغذیه مصنوعی است که نقش بسیار مهمی در کنترل پدیده‌هایی مانند روان‌آب، فرسایش، حمل مواد و نفوذپذیری دارد. شیب‌های بالا به علت ایجاد فرسایش مناسب نیستند و شیب‌های خیلی‌پایین (صفر درصد) به علت این‌که مانع از جریان آب می‌شود، مناسب برای تغذیه مصنوعی نخواهند بود (Mahdavi et al., 2013). پس از تهیه مدل رقومی ارتفاعی[1] (DEM)، نقشه شیب (شکل ۳) تولید شد.

– نفوذپذیری سطحی:از عوامل مهم در امر تغذیه، نفوذپذیری سطحی است. تاثیر این عامل در کاهش تبخیر و تعرق نمایان می‌شود، به نحوی‌که اگر نفوذپذیری پایین باشد، در شیب‌های کم، آب در روی سطح زمین باقی‌مانده و تبخیر آن باعث افزایش املاح خاک می‌شود. میزان نفوذ به عواملی نظیر خصوصیات خاک، پوشش گیاهی و شیب وابسته است (حکمت‌پور و همکاران، ۱۳۸۶). جهت تهیه لایه مربوط به این پارامتر، با توجه به نقشه بافت خاک (شکل ۴) و بر اساس جدول ارایه شده توسط FAO (۱۹۸۶)، بازه نفوذپذیری در هر نقطه مشخص شد.

– کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی: منبع و منشا اصلی آب‌های زیرزمینی، آب حاصل از بارش برف و باران بوده، که به داخل آب‌رفت نفوذ کرده است و بر اثر تماس با ذرات آب‌رفت و انحلال مواد مختلف، دچار تغییر کیفیت می‌شود. در بحث کیفیت آب عوامل مختلفی از قبیل کلرورها، سولفات‌ها، سختی آب، کربنات و بی‌کربنات، باقی‌مانده خشک و هدایت الکتریکی مدنظر هستند. در بین عوامل فوق هدایت الکتریکی به‌طور کلی نقش اساسی داشته و در تحلیل‌های کیفی آب بیش‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۰). به‌منظور تولید نقشه مذکور (شکل ۵) از میانگین آمار حدودا شش ساله مقدار شوری (۱۳۹۱–۱۳۸۵) در ۳۳ نقطه در سرتاسر حوضه، شامل ۲۴حلقه چاه عمیق، ۵ حلقه چاه نیمه‌عمیق، ۲ دهنه چشمه و ۲رشته قنات استفاده شد.

– توانایی انتقال آب در آبخوان: این مشخصه از ضرایب هیدرودینامیکی است که نشان دهنده حرکت آب در محیط متخلخل است. با توجه به شکل ۶ به‌طور کلی قابلیت انتقال تقریبا ۱۰۰مترمربع در روز در مناطق حاشیه‌ای تا حدود ۱۵۰۰ مترمربع در روز در مناطق مرکزی دشت متغیر است. نکته قابل ذکر این‌که، کلیه این داده‌ها مربوط به شرکت آب منطقه‌ای استان همدان می‌باشد.

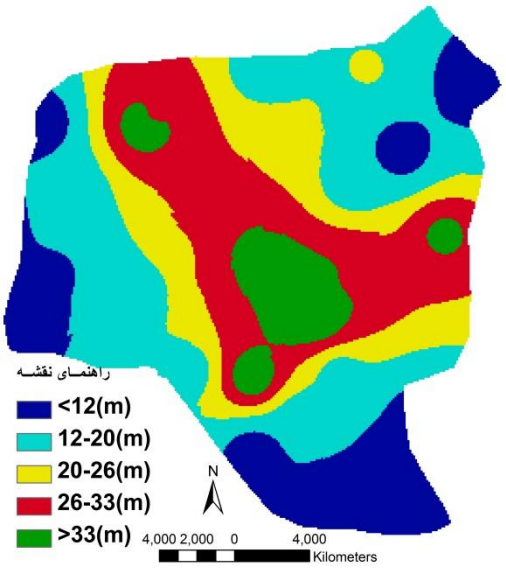
– کاربری اراضی: بر اساس شکل ۷ در محدوده مطالعاتی آبخوان دشت همدان– بهار، پنج واحد کاربری دیده می‌شود که عبارتند از: اراضی بدون پوشش، مراتع، اراضی کشاورزی تحت کشت، اراضی کشاورزی خشک شده و مناطق شهری. قسمت عمده محدوده مطالعاتی را اراضی کشاورزی تحت کشت در بر می‌گیرد. از میان کاربری‌های مذکور، اراضی تحت کشت و مناطق شهری برای تغذیه مصنوعی نامناسب و سایر واحدهای کاریری اراضی، مناسب در نظر گرفته می‌شوند. لازم به ذکر است که این لایه به صورت جداگانه و در آخرین مرحله، تلفیق می‌شود.

مدل‌های مورد استفاده، امتیازدهی، وزن‌دهی و تلفیق نقشه‌ها

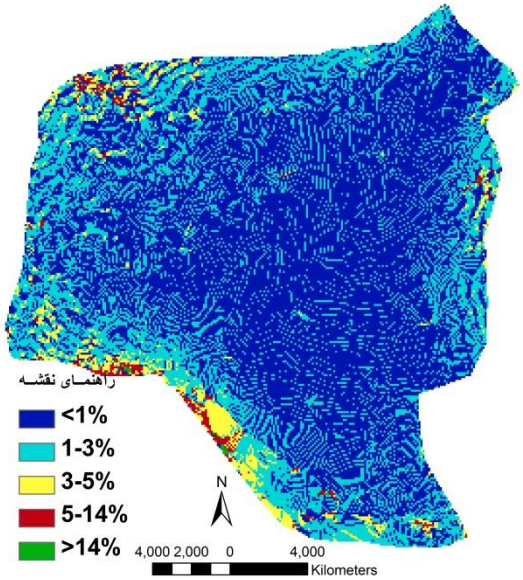
– منطق بولین: منطق ریاضی بولین (دوتایی)، برای اولین بار توسط جرج بول[2] مطرح گردید. در بیان این منطق فقط و فقط دو حالت یا دو سطح طبقه‌بندی شده وجود دارد، یکی با ارزش صحیح[3] و دیگری با ارزش غلط[4]. در روش بولین به معیارهای نامناسب ارزش صفر و به معیارهای مناسب ارزش یک داده می‌شود. در این روش، مناطقی که دارای محدودیت است، قدرت تصمیم‌گیری را کاهش می‌دهد، که بایستی با تغییر در محدوده لایه‌ها، در تصمیم‌گیری‌ها اعمال نظر نمود. در ضمن در این منطق اهمیت لایه‌های مختلف یکسان در نظر گرفته می‌شود. در نرم‌افزارهای GIS پس از تشکیل لایه‌های استاندارد شده براساس بولین، لایه‌ها با استفاده از عملگرهای مختلف با یکدیگر ترکیب می‌شوند و نقشه نهایی دارای دو کلاس صفر و یک است. در منطق بولین عمگرهای مختلفی شامل NOT, XOR, OR, AND اعمال می‌گردد (Kaye., 1968).

1- Digital Elevation Model

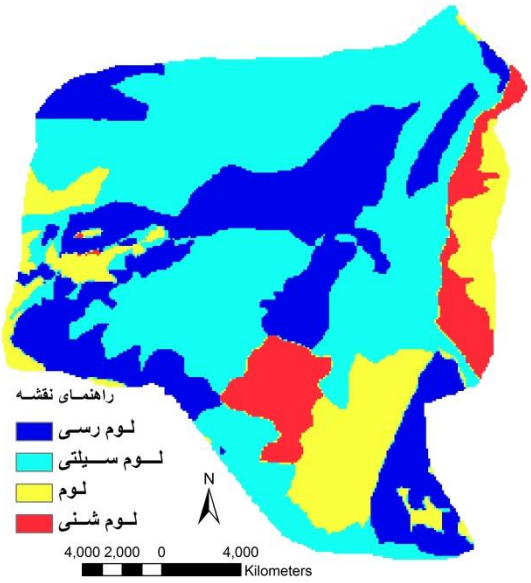
2- George Boole
3- True
4- False



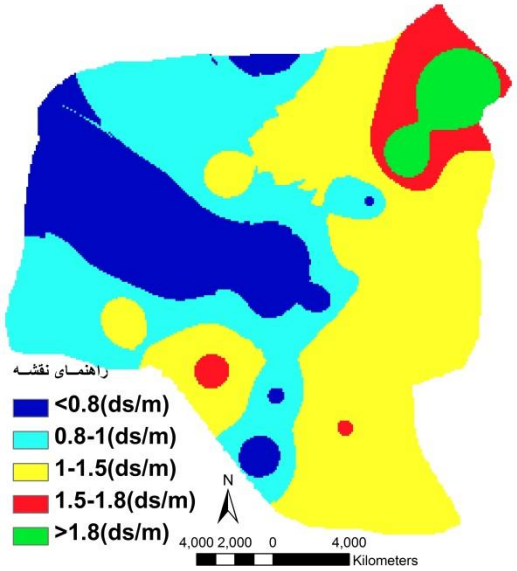
شکل ۲- نقشه ضخامت غیراشباع آبرفت



شکل ۳- نقشه شیب



شکل ٤- نقشه بافت خاک

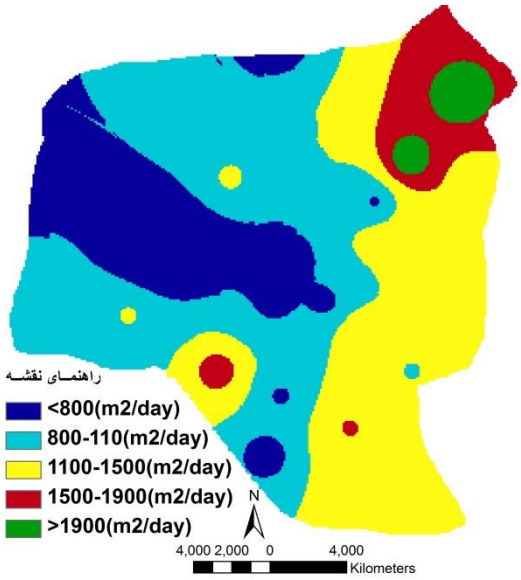


شکل ٥- نقشه شوری آب زیرزمینی

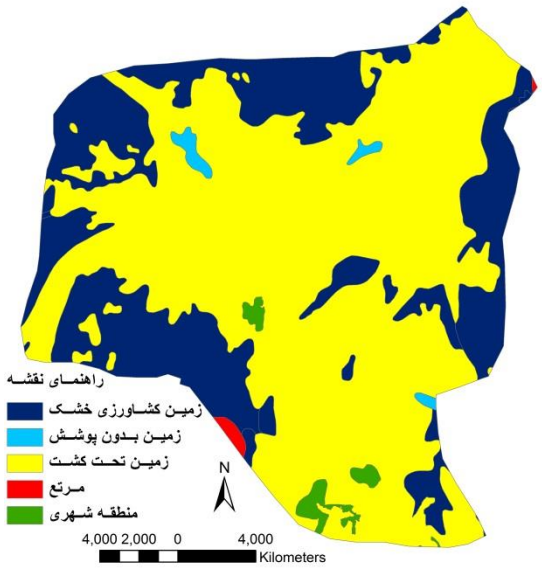
پس از تشکیل نقشه‌های مربوط به هر یک از فاکتورها، هر نقشه بر اساس جدول ۱ به دو کلاس مناسب و نامناسب رتبه‌دهی یا امتیازدهی شد. لازم به ذکر است که بازه مربوط به هر کلاس، با توجه به نظرات و تجربیات کارشناسی و تحقیقات قبلی صورت گرفته، مشخص شد. پس از امتیازدهی، لایه‌های بولینی بر پایه عملگر AND با یکدیگر تلفیق شدند. این عملگر بر اساس نظریه مجموعه‌ها، اشتراک مجموعه‌ها را استخراج می‌کند، که بر همین اساس حساس‌ترین عملگر در بین سایر عملگرهای منطق بولین است و با توجه به هدفی که در این تحقیق دنبال می‌شود، از این عملگر جهت ترکیب نقشه‌های ورودی بهره گرفته شد.

- روش هم‌پوشانی

در این روش نقشه‌های تولید شده برای هر شاخص، به چهار کلاس خیلی‌مناسب، مناسب، متوسط و نامناسب، بر اساس بازه‌هایی که در جدول ۲ مشخص شده، تقسیم شدند و به هر کلاس امتیاز ۱ تا ۴ تعلق گرفت. در واقع بازه‌های تعریف شده مربوط به کلاس مناسب برای هر معیار در روش بولین، در این‌جا به سه بازه خیلی مناسب، مناسب و متوسط تقسیم می‌شوند. سپس لایه‌های رتبه‌بندی شده، در محیط GIS با هم تلفیق و ارزش‌ها در نقشه نهایی بر مبنای روش حداکثر کلاس یا بیش‌ترین محدودیت، تعیین شدند.



شکل ٦- نقشه قابلیت انتقال آبخوان



شکل ۷- نقشه کاربری اراضی

جدول ۱- گستره قابل‌قبول برای عوامل مؤثر در منطق بولین (Alesheikh et al., 2008; Mohan and Ravi Shankar., 2005; بذرافشان و همکاران، ۱۳۹۵)

پارامتر	بازه	تناسب	امتیاز	مساحت (درصد)
شیب (درصد)	۰ تا ۸	مناسب	۱	۹۹/۷
	بیش از ۸	نامناسب	۰	۰/۳
نفوذپذیری سطحی (میلی‌متر در ساعت)	بیش از ۱۵	مناسب	۱	۷۱/۶
	۰ تا ۱۵	نامناسب	۰	۲۸/۳
ضخامت لایه خشک آبرفت (متر)	بیش از ۱۰	مناسب	۱	۸۸/۳
	۰ تا ۱۰	نامناسب	۰	۱۱/۶
کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی (دسی‌زیمنس بر متر)	۰ تا ۴	مناسب	۱	۱۰۰
	بیش از ۴	نامناسب	۰	۰
قابلیت انتقال آب (مترمربع بر روز)	بیش از ۳۰۰	مناسب	۱	۴۰/۷
	۰ تا ۳۰۰	نامناسب	۰	۵۹/۲

- منطق فازی: نظریه مجموعه‌های فازی در سال ۱۹۶۵ توسط عسگرزاده عرضه شد. این نظریه از آن زمان تاکنون، گسترش و تعمیق زیادی یافته و کاربردهای مختلفی در علوم مختلف نظیر الکترونیک، منابع طبیعی، معدن و مدیریت و برنامه‌ریزی شهری پیدا کرده است. یک مجموعه فازی، مجموعه‌ای است از درجات عضویت که می‌تواند به طور پیوسته از صفر تا یک اختیار شود. این مجموعه توسط یک تابع عضویت مشخص می‌شود. عضویت یک به یک مجموعه یعنی تعلق کامل و عضویت صفر یعنی عدم تعلق به مجموعه. هر چه درجه عضویت به یک نزدیک‌تر باشد نشانه تعلق بیش‌تر به مجموعه موردنظر می‌باشد و برعکس. درجه عضویت می‌تواند توسط کاربر و بر اساس نظرات کارشناسان و خبرگان تعیین شود و یا بر اساس توابع تحلیلی مانند تابع مثلثی، ذوزنقه‌ای، زنگوله‌ای، سیگموئیدی و گوسی به دست آید. ویژگی دیگر این منطق این است که بتوان به طریقی نقشه‌های پایه را نسبت به هم، بر اساس اهمیت‌شان در موضوع رتبه‌بندی و وزن‌دهی کرد. پس از تشکیل لایه‌ها با رتبه‌بندی فازی، با استفاده از پنج عملگر فازی AND، OR، حاصل‌ضرب جبری فازی، حاصل‌جمع جبری فازی و عملگر فازی گاما می‌توان لایه‌ها را با هم ترکیب و تلفیق نمود (Bonham-Carter., 1994).

جدول ۲- گستره قابل‌قبول برای عوامل موثر در منطق فازی و روش هم‌پوشان (حکمت‌پور و همکاران، ۱۳۸٦؛ Mehrvarz and Kalantari., 2007 ;Ghayoumian et al., 2007 Ghayoumian et al., 2005;)

پارامتر	بازه	تناسب	مساحت (درصد)	امتیاز روش هم‌پوشان	امتیاز منطق فازی
	بیش از ۴۵	خیلی‌مناسب	۷/۴۶	۱	۰/۹۵
نفوذپذیری سطحی	۲۵ تا ۴۵	مناسب	۱۴/۴	۲	۰/۷۴
(میلی‌متر در ساعت)	۱۵ تا ۲۵	متوسط	۴۹/۷	۳	۰/۳۴
	۰ تا ۱۵	نامناسب	۲۸/۳	۴	۰/۰۱
	بیش از ۳۰	خیلی‌مناسب	۱۷/۵	۱	۰/۸
ضخامت لایه خشک آبرفت	۲۰ تا ۳۰	مناسب	۳۱/۲	۲	۰/۶۵
(متر)	۱۰ تا ۲۰	متوسط	۳۹/۵	۳	۰/۵
	۰ تا ۱۰	نامناسب	۱۱/۶	۴	۰/۰۱
	۰ تا ۲	خیلی‌مناسب	۷۰/۴	۱	۰/۷
شیب زمین	۲ تا ۵	مناسب	۲۸/۴	۲	۰/۵
(درصد)	۵ تا ۸	متوسط	۰/۹	۳	۰/۳
	بیش از ۸	نامناسب	۰/۳	۴	۰/۰۱
	بیش از ۹۰۰	خیلی‌مناسب	۶/۲	۱	۰/۶
قابلیت انتقال آب	۶۰۰ تا ۹۰۰	مناسب	۵/۹	۲	۰/۴۵
(مترمربع بر روز)	۳۰۰ تا ۶۰۰	متوسط	۲۸/۵	۳	۰/۲۵
	۰ تا ۳۰۰	نامناسب	۵۹/۲	۴	۰/۰۱
	۰ تا ۱	خیلی‌مناسب	۴۸/۹	۱	۰/۵
شوری آب زیرزمینی	۱ تا ۲/۲۵	مناسب	۵۱	۲	۰/۴
(دسی‌زیمنس بر متر)	۲/۲۵ تا ۴	متوسط	۰/۱	۳	۰/۲
	بیش از ۴	نامناسب	۰	۴	۰/۰۱

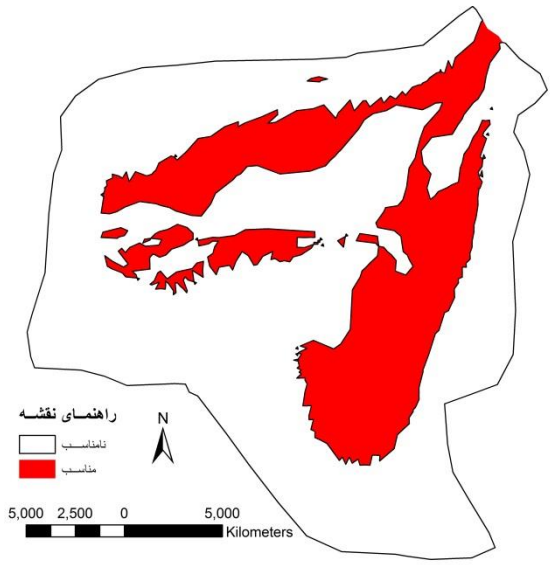
بر مبنای منطق فازی، ابتدا نقشه‌های پایه بر اساس تاثیر و اهمیت‌شان در مبحث تغذیه مصنوعی نسبت به یکدیگر رتبه‌بندی و وزن‌دهی شدند. به‌این‌صورت که پارامتر نفوذپذیری با بیش‌ترین تاثیر در تغذیه مصنوعی با رتبه یک، ضخامت خشک آب‌رفت با رتبه دو، شیب با مرتبه سه، ضریب انتقال آبخوان در رتبه چهار و شوری در رتبه پنج مشخص شدند (Zehtabian et al., 2001; جمالی و همکاران، ۱۳۸۹؛ مهدوی و همکاران، ۱۳۹۰؛ بذرافشان و همکاران، ۱۳۹۵). در مرحله بعد جهت فازی سازی داده‌ها، از درجات عضویت تعیین شده توسط کاربر استفاده شد (Mahdavi et al., 2013؛ معروفی و همکاران، ۱۳۹۰؛ Mehrvarz and Kalantari., 2007؛ بذرافشان و همکاران، ۱۳۹۵) بدین منظور هر کدام از لایه‌های مذکور به چهار کلاس نامناسب، متوسط، مناسب و خیلی‌مناسب، طبقه‌بندی شدند و بر حسب میزان تاثیرگذاری‌شان بر هدف مورد مطالعه و هم‌چنین بر اساس درجه اهمیت پارامترها نسبت به یکدیگر، به هر کلاس امتیازی داده شد. بازه‌های تعریف شده و امتیازهای اختصاص داده شده در جدول ۲ ذکر شده است. از بین پنج عملگر فازی، بهترین نتیجه را حالت ضرب جبری فازی خواهد داد. دلیل این امر آن است که کلیه لایه‌های اطلاعاتی با هر درجه عضویتی که باشند، در هم ضرب خواهند شد و ضرب چند عدد کوچک‌تر از یک، سبب تولید یک عدد کوچک‌تر خواهد شد. پس این عملگر در بین دیگر حالات از حساسیت بیش‌تری برخوردار است که در مکان‌یابی از آن استفاده شد.

نتایج و بحث

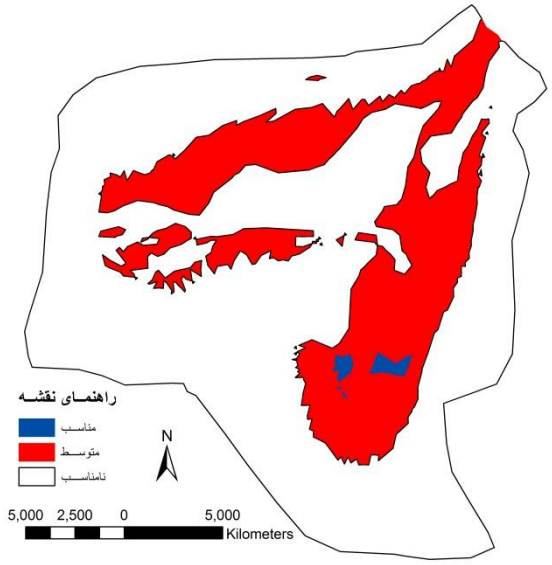
ارزیابی نقشه‌های مناطق مستعد تغذیه مصنوعی

بعد از تهیه نقشه‌های ورودی، عملیات رتبه‌دهی و وزن‌دهی آن‌ها انجام گرفت که نتایج مربوط به آن به همراه مساحت بازه ها در جدول ۱ و ۲ ذکر شده‌اند. با توجه به این جداول مهم‌ترین عامل محدودیت در اراضی، قابلیت انتقال آب در آبخوان می‌باشد. این پارامتر در حدود ۶۰ درصد از اراضی دشت همدان- بهار در بازه نامناسبی برای تغذیه مصنوعی قرار گرفته است و تنها ۴۰ درصد منطقه از این نظر مناسب می‌باشد. دومین عامل محدودیت، نفوذپذیری سطحی خاک است که حدود ۷۰ درصد منطقه مورد مطالعه جهت اجرای طرح تغذیه مصنوعی مناسب می‌باشد. لازم به ذکر است که کل دشت مورد بررسی از لحاظ مقدار شوری آب زیرزمینی در بازه مناسب قرار دارد و هیچ‌گونه محدودیتی از این لحاظ ایجاد نکرده است.

بعد از تلفیق نقشه‌های ورودی بر اساس عملگر AND منطق بولین، نقشه مناطق مناسب جهت انجام تغذیه مصنوعی سفره‌های زیرزمینی حاصل شد که در شکل ۸ نمایش داده شده است و نقشه نهایی تولید شده با استفاده از روش هم‌پوشانی در شکل ۹ نشان داده شده است. مساحت هر یک از کلاس‌های تناسب به‌دست آمده در شکل‌های ۸ و ۹، در جدول ۳ مشخص شده است.



شکل ۸- مناطق مناسب تغذیه مصنوعی بر اساس منطق بولین



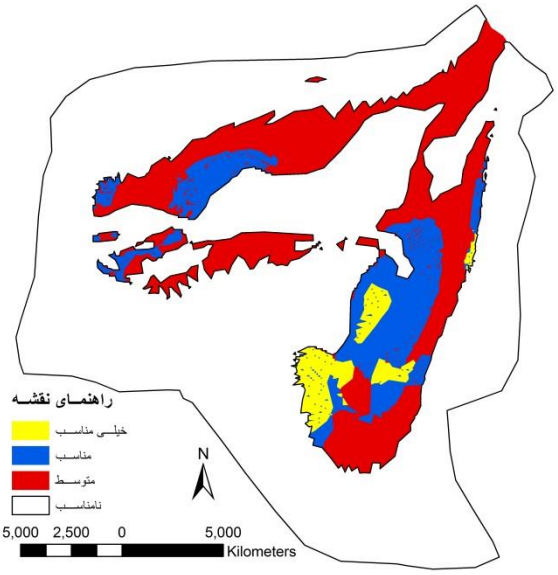
شکل ۹- مناطق مناسب تغذیه مصنوعی بر اساس روش هم‌پوشانی

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که مقدار اراضی مناسب در روش بولین ۲۶/۷۷ درصد و باقی اراضی یعنی ۷۳/۲۳ درصد، نامناسب جهت اجرای طرح تغذیه مصنوعی تشخیص داده شد. مناطق محاسبه شده در کلاس مناسب با استفاده از منطق بولین (۲۶/۷۷ درصد)، در روش هم‌پوشانی به سه زیر گروه تقسیم شدند که از این مقدار با توجه به جدول ۳، ۰/۵۳ درصد مناسب و ۲۱ درصد با درجه تناسب متوسط برای هدف مورد مطالعه می‌باشد، ولی هیچ منطقه‌ای با تناسب خیلی‌مناسب مشخص نشد.

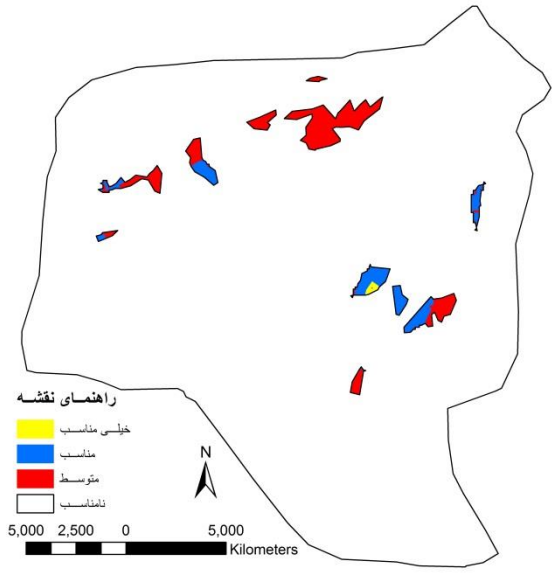
نقشه حاوی تناسب اراضی به‌دست آمده با استفاده از عملگر حاصل‌ضرب فازی در منطق فازی، در شکل ۱۰ نمایش داده شد. مساحت و درصد هر یک از کلاس‌ها در جدول ۳ محاسبه شد. با توجه به این جدول ۲/۲۵درصد از کل منطقه دارای درجه خیلی‌مناسب، ۷/۷۱ درصد با درجه مناسب، ۱۶/۷۶ درصد با تناسب متوسط و ۷۳/۲۶ درصد هم نامناسب تشخیص داده شد. نکته قابل توجه در شکل ۸ و ۱۰ این‌که درصد نواحی نامناسب به دست آمده در هر دو منطق فازی و بولین مساوی هستند. با توجه به این‌که در منطق بولین درصد اطمینان جواب‌ها بالاست، پس می‌توان نتیجه گرفت که منطق فازی توانسته مکان‌یابی را با درصد اطمینان بالایی محاسبه کند.

هم‌چنین با مقایسه شکل ۹ و ۱۰ می‌توان به این نکته پی برد که نقاط مناسب در روش هم‌پوشانی دقیقا بر روی نواحی خیلی‌مناسب در منطق فازی، قرار گرفته‌اند. با توجه به این‌که در منطق بولین نواحی صرفا مناسب را به ما می‌دهد، برای اولویت‌بندی این مناطق، بایستی از روش هم‌پوشان استفاده و تصمیم‌گیری نمود. در حالی‌که در منطق فازی به‌جای انجام این دو مرحله، به طور مستقیم اولویت‌بندی نقاط موردنظر انجام خواهد شد. در روش هم‌پوشانی نقاطی با تناسب خیلی‌مناسب تعیین نشد، ولی در منطق فازی نقاطی با هر چهار کلاس تناسب مشخص گردید. بنابراین منطق فازی در اولویت‌بندی مناطق نهایی دارای انعطاف بیش‌تری نسبت به روش هم‌پوشانی می‌باشد. با توجه به نکات فوق می‌توان نتیجه‌گیری کرد که به‌طور کلی برای انجام این تحقیق و تحقیقات مشابه، استفاده از منطق فازی آسان‌تر و سودمندتر خواهد بود. این نتیجه در راستای نتایج تحقیقات دیگر مانند مهرورز و کلانتری ، آل‌شیخ و همکاران، غیومیان و همکاران، معروفی و همکاران (۱۳۹۱) و جمالی و همکاران (۱۳۸۹) می باشد (Mehrvarz and Kalantari., 2007; Alesheikh et al., 2008; Ghayoumian et al., 2007).

در هر سه روش، نواحی مناسب به دست آمده به صورت دو خط که از شمال‌شرقی دشت شروع و به سمت مرکز آن کشیده می‌شوند. برای مشخص‌تر نمودن مکان‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی، نقشه تناسب اراضی به دست آمده از روش فازی بر روی نقشه کاربری اراضی آبخوان دشت همدان- بهار قرار داده شد و نقاط نهایی که از لحاظ کاربری نیز تناسب دارند، انتخاب شدند. این نقشه در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۰- مناطق مناسب تغذیه مصنوعی بر اساس منطق فازی



شکل ۱۱- نقشه نهایی مناطق مناسب تغذیه مصنوعی

جدول ۳- مساحت هر یک از کلاس‌های تناسب اراضی در دشت همدان- بهار

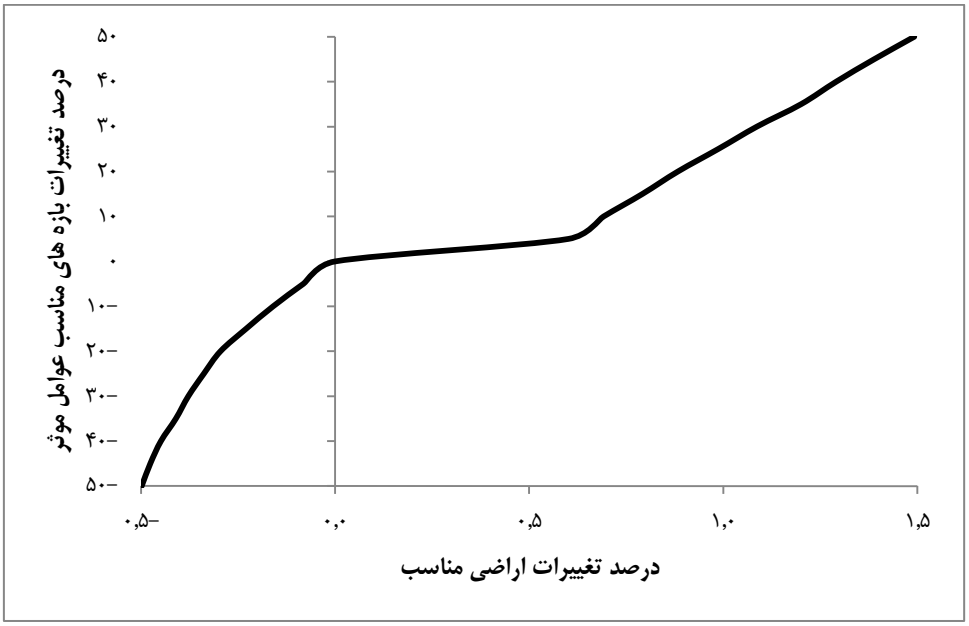
تناسب	روش تلفیق					
	منطق بولین		روش هم‌پوشانی		منطق فازی	
	مساحت (Km)	مساحت (٪)	مساحت (Km)	مساحت (٪)	مساحت (Km)	مساحت (٪)
خیلی‌مناسب	---	---	۰	۰	۱۱	۲/۲۵
مناسب	۱۳۰/۳۱	۲۶/۷۷	۲/۶۴	۰/۵۴	۳۷/۵۴	۷/۷۱
متوسط	---	---	۱۲۷/۷۱	۲۶/۲۴	۸۱/۵۹	۱۶/۷۶
نامناسب	۳۵۶/۳۸	۷۳/۲۳	۳۵۶/۳۸	۷۳/۲۳	۳۵۶/۶۰	۷۳/۲۶

آنالیز حساسیت

به‌دلیل این‌که بازه‌های انتخاب شده برای منطق بولین و فازی، بر اساس نظرات و تجربیات افراد خبره و تحقیقات قبلی انجام شده، می‌باشد، با انجام آنالیز حساسیت می‌توان میزان تاثیرپذیری نقشه نهایی به‌دست آمده را نسبت به تغییر این بازه‌ها، مشخص نمود. با افزایش و کاهش بازه‌های کلاس مناسب در هر پارامتر، مقدار افزایش و یا کاهش درصد مناطق مناسب نهایی محاسبه گردید که نمودار آن در شکل ۱۲ نشان داده شده است.

با دقت در این شکل مشخص می‌شود که با افزایش مقدار عددی بازه‌های مناسب در همه پارامترها، میزان درصد مناطق مناسب نهایی برای مبحث تغذیه مصنوعی نیز افزایش می‌یابد. هم‌چنین درصد تغییرات اراضی مناسب در حالتی که بازه‌های مناسب عوامل موثر، افزایش می‌یابند، بیش از زمانی است که این بازه‌ها کاهش داده می‌شوند. به طوری‌که با افزایش ۵۰ درصدی ارقام بازه‌ها، اراضی مناسب نهایی دارای ۱/۵درصد تغییر است. این در حالی است که با کاهش ۵۰ درصدی بازه‌ها، میزان اراضی مناسب ۰/۵درصد تغییر می‌کند. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که کاهش بازه‌ها تا میزان ۱۰ درصد، تاثیر ناچیزی بر روی درصد اراضی مناسب نهایی دارد. اما افزایش ۵ درصدی بازه‌ها، موجب افزایش ۰/۶ درصدی نتیجه می‌گردد، که غیرقابل‌قبول است.

به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که جهت افزایش محدودیت‌ها و یا کاهش بازه‌های مناسب در پارامترهای ورودی مدل، نتیجه خروجی با شیب کم‌تری تغییر می‌کند ولی جهت افزایش بازه‌های مناسب و یا کاهش محدودیت‌ها بایستی با حساسیت و دقت بیش‌تری انجام شود.



شکل ۱۲- نمودار آنالیز حساسیت تعیین عرصه‌های مستعد تغذیه مصنوعی به روش منطق بولین

نتیجه‌گیری

در این تحقیق مکان‌یابی مناطق مناسب برای مبحث تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی دشت همدان- بهار مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور پنج عامل شیب، نفوذپذیری سطحی، ضخامت لایه خشک آب‌رفت، توانایی انتقال آب در آب‌رفت و کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی بررسی و لایه‌های مربوط به هر یک ایجاد شدند. بر اساس نتایج، در درجه اول پارامتر قابلیت انتقال آب در آبخوان و بعد از آن عامل نفوذپذیری سطحی، بیش‌ترین محدودیت را در انتخاب مناطق مناسب به منظور انجام تغذیه مصنوعی، در دشت همدان- بهار ایجاد کردند.

از ساده‌ترین و رایج‌ترین مدل‌ها جهت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی، منطق بولین است. در این منطق با توجه به این‌که بهترین و ایده‌آل‌ترین شرایط انتخاب می‌شود، نتایج حاصله دارای درصد اطمینان زیادی هستند. در این روش تمامی معیارها به‌صورت محدودیت عمل می‌کنند و از لحاظ قطعیت، مبتنی بر قطعیت می‌باشد. از معایب این منطق این است که در جواب‌های حاصله دو حالت بیش‌تر وجود ندارد، یا برای هدف موردنظر مناسب تشخیص داده می‌شوند و یا نامناسب. در واقع تصمیم‌گیری در این حالت سخت و دشوار خواهد بود. به‌همین منظور می‌توان از روش هم‌پوشانی برای رفع این مشکل استفاده کرد.

نکته قابل ملاحظه این‌که در هر دو روش بولین و هم‌پوشان، میزان تاثیر و درجه اهمیت عوامل موثر، یکسان در نظر گرفته می‌شود. همین موضوع می‌تواند منجر به کاهش دقت در نتایج شود. برای رفع این مشکل می‌توان از منطق فازی استفاده نمود که در آن نقشه‌های مختلف به تعدادی کلاس تفکیک و بر اساس میزان تاثیرگذاری، رتبه‌بندی می‌شوند. همین سبب می‌شود که در این روش علاوه بر تشخیص نقاط مناسب، نقاط بینابینی (با احتمال بین صفر و یک) نیز مشخص گردد. از طرفی طبق درجه تاثیر و اهمیت، به هر یک از پارامترهای موثر وزنی تعلق می‌گیرد که بهبود و افزایش دقت در نتایج نهایی را به همراه خواهد داشت.

از لحاظ تناسب اراضی برای تغذیه مصنوعی، نقشه‌ها بر مبنای روش بولین طبقه‌بندی و امتیازدهی شدند. بر اساس عملگر AND در مدل بولین نقشه‌ها با یکدیگر تلفیق و نقشه نهایی عرصه‌های مناسب جهت انجام تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی که دارای دو کلاس مناسب و نامناسب است، تولید شد. سپس به منظور اولویت‌بندی مناطق به دست آمده برای اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی در مرحله قبل، هر پنج لایه ورودی بر اساس روش هم‌پوشان طبقه‌بندی و بر اساس روش حداکثر کلاس در این روش، نقشه‌ها با هم ترکیب شدند. در روش دیگر لایه‌های ورودی بر اساس منطق فازی، امتیازدهی و با استفاده از عملگر حاصل‌ضرب فازی با یکدیگر ترکیب شدند.

مقایسه نتایج حاصل از دو روش نشان می‌دهد که درصد کل اراضی مناسب با استفاده از دو منطق بولین و فازی یکسان است، ولی اولویت‌بندی مناطق مناسب در منطق فازی و روش هم‌پوشانی با یکدیگر فرق دارند و به نظر می‌رسد که منطق فازی توانسته با انعطاف بیش‌تری این درجه‌بندی را انجام دهد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که برای انجام این تحقیق و تحقیقات مشابه، استفاده

از منطق فازی نسبت به روش تلفیقی منطق بولین با روش هم‌پوشان، آسان‌تر و سودمندتر خواهد بود. در نهایت نقشه تناسب اراضی تولید شده به روش منطق فازی با لایه کاربری اراضی قطع داده شد و نقشه نهایی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی در آبخوان دشت همدان- بهار ارایه شد.

با انجام آنالیز حساسیت مشخص شد که با افزایش بازه‌های مناسب در نقشه‌های ورودی به مدل بولین، درصد تناسب اراضی نیز افزایش می‌یابد و به عکس. هم‌چنین نتایج آنالیز حساسیت نشان داد که با کاهش بازه‌های مناسب در همه لایه‌ها، شیب تغییرات برای درصد اراضی مناسب، خیلی کم‌تر خواهد بود نسبت به زمانی که بازه‌های مناسب پارامترها، افزایش می‌یابند.

منابع

بذرافشان،ا.، علیایی،م و غلامی،ح. ۱۳۹۵. مقایسه روش‌های تلفیقی در شناسایی عرصه‌های مناسب پخش سیلاب در دشت‌های ساحلی جنوب ایران (مطالعه موردی: دشت سرخون، استان هرمزگان). سامانه‌های سطوح آب‌گیر باران. ۴. ۱۳: ۴۳- ۵۶.

جمالی،ع.، عشوری،پ و زارع‌کیا،ص. ۱۳۸۹. تعیین و اولویت‌بندی پهنه‌های مناسب پخش سیلاب برای تغذیه قنات‌ها، چاه‌ها و چشمه‌ها در مناطق خشک (مطالعه موردی: حوزه آبخیز میان‌کوه یزد). فصل‌نامه علمی - پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران. ۱۷. ۱: ۱۱۴- ۱۰۶.

حکمت‌پور،م.، فیض‌نیا،س.، احمدی،ح و خلیل‌پور،ا. ۱۳۸۶. پهنه‌بندی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی دشت ورامین به کمک GIS و سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری DSS. مجله محیط شناسی. ۴۲: ۸-۱.

سلطانی،م.ج. ۱۳۸۱. ارزیابی اراضی به منظور مکان‌یابی عرصه‌های مستعد اجرای عملیات پخش سیلاب در محیط GIS. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی.

قهاری،غ و پاک‌پرور،م. ۱۳۸۶. بررسی تاثیر استحصال و پخش سیلاب بر منابع آب زیرزمینی دشت گربایگان. فصل‌نامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران. ۱۴,۳: ۳۶۸-۳۹۰.

مروتی،م.، منوری،م.، فرشچی،پ و حسنی،ا. ۱۳۸۷.طرح‌های تغذیه مصنوعی آبخوان ها راه حلی مناسب برای افزایش سطح آب های زیرزمینی. فصل‌نامه انسان و محیط زیست. ۱۷. ۱۸: ۶۸ - ۷۶.

معروفی،ص.، محمودی،م.، سلیمانی،س و جعفری،م. ۱۳۹۰. بررسی عرصه‌های مناسب پخش سیلاب با استفاده از شاخص هم‌پوشانی نقشه‌ها و منطق‌های بولین و فازی در محیط GIS. نشریه دانش آب و خاک. ۴. ۲۱: ۱۸-۱.

مهدوی،ع و زارع ابیانه،ح. ۱۳۹۵. تعیین پتانسیل آسیب پذیری آبخوان بر اساس مدل‌های دراستیک و منطق فازی (مطالعه موردی: دشت همدان -بهار). نشریه دانش آب و خاک. ۱. ۲۶: ۱۷-۱.

مهدوی،ع.، نوری امامزاده‌یی،م.، مهدوی نجف‌آبادی،ر و طباطبایی،ح. ۱۳۹۰. مکان‌یابی عرصه‌های مناسب تغذیه مصنوعی سفره‌های زیرزمینی به روش منطق فازی در حوضه آبریز دشت شهرکرد. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. ۵۶: ۶۳-۷۶.

Akhavan,S., Mousavi,S.F., Abedi-Koupai,J and Abbaspour,K. 2011. Conditioning RASTIC model to simulate nitrate pollution case study: Hamadan–Bahar plain. Environmental Earth Sciences. 63:1155–1167.

Alesheikh,A.A., Soltani,M.J., Nouri,N and Khalilzadeh,M. 2008. Land assessment for flood spreading site selection using geospatial information system. International Journal of Environmental Science and Technology. 5: 455-462.

Bonham-Carter,G.F. 1996. Geographic Information Systems for Geosciences, Modeling With GIS. Ontario, Canada: Pergamon, Love Printing Service Ltd.

FAO Soil Bulletin. 1979. Soil Survey Investigations for Irrigation. FAO, no. 42.

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: 346-374.

Ghayoumian,J., Ghermezcheshme,B., Feiznia,S and Noroozi,A.A. 2005. Integrating GIS and DSS for identification of suitable areas for artificial recharge, case study Meime Basin, Isfahan, Iran. Journal of Enviromental geology. 47: 493-500.

Kaye,D. 1968. Boolean System. Longmans, Green and Co Ltd.

Krishnomurthy,J., Kumar,N., jayaraman,V and Manival,M. 1996. An Approach to Demarcate Ground Water Potential Zones Thorough Remote Sensing and a Geographical Information System. INT. j. Remote Sensing. 17.10: 1867-1884.

Mahdavi,A., Tabatabaei,S.H,. Mahdavi,R and Nouri Emamzadei,M.R. 2013. Application of digital techniques to identify aquifer artificial recharge sites in GIS environment. International Journal of Digital Earth. 6.6: 589-609.

Mehrvarz,K and Kalantari Oskouei,A. 2007. Investigation of quaternary deposits suitable for floodwater spreading. Proceedings of the international congress of river basin management. Antalya, Turkey. 572-582.

Mohan,G and Ravi Shankar,M.N. 2005. A GIS based hydrogeomorphic approch for identification of site-specific arttificial-recharge techniques in the Deccan Volcanic Province. Journal of Earth System Science. 114.5: 505-514.

Saraf,A.K and Chounhary,P.R. 1998. Intergrated Remote Sensing and GIS for Ground Water Exploration and Identification of Artificial Recharge Sites. International Journal of Remote Sensing. 19.10: 1825-1841.

Zehtabian,G.R., Alavipanah,S.K and Hamedpanah,R. 2001. Determination of an appropriate area for floodwater spreading by remote sensing data and GIS. In proceeding of international conference on new technology for a new century. May. Seoul.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 12, Des.-Jan. 2018, p. 1253-1265

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۲، آذر - دی ۱۳۹۷، ص. ۱۲۶۵-۱۲۵۳

Site Selection and Prioritizing the Suitable Sites for Groundwater Artificial Recharge Using Fuzzy Logic, Boolean Logic and overlay method

A.Mahdavi[1], S. Akhavan[2*]

Recived: May.14, 2018 Accepted: Jul.16, 2018

Abstract

The spatial and temporal distribution of precipitation result in surface runoff and flood. Using this water in artificial recharge is a solution to increase groundwater recharge. Because the groundwater is considered as the major source of 99% of all retrievable fresh water, optimization of its usage would be very crucial. Groundwater artificial recharge using surface water is the recommended solution because that increases the aquifer storage. To identify the suitable sites for groundwater artificial recharge in the aquifer of Hamedan- Bahar plain, the six effective parameters including the ground slope, surface infiltration rate, vadoze zone thickness, electrical conductivity of the groundwater, land-use, were used. In the first method, each maps were classified based on the Boolean logic and then integrated via the AND operator. The results showed that 26% of study area was suitable for ground water recharge. Then, suitable areas were divided to three subsets using overlay method. The 0.53% was suitable, 21% was moderate and no area with very suitable appropriateness. In the third method, layers were rated based on the Fuzzy logic and integrated with the Fuzzy algebraic product operator. The 2.25, 7.71 and 16.76% of the study area were identified very suitable, suitable and assigned moderate, respectively. The result of Boolean logic sensitivity analysis showed that suitable zones increase 1.5% while suitable ranges in all parameters increase 50% against 0.5% reduction of suitable points at 50% reduction of suitable ranges of all parameters.

Keywords: Artificial Recharge, Boolean Logic, Hamedan-Bahar plain, Fuzzy, Logic and overlay method

1- PhD in Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Bu-Ali Sina University.
2- Assistant Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Bu-Ali Sina University.
(*- Corresponding Aouther Email: s.akhavan@basu.ac.ir)