تحلیل فضایی عرصه‌های مناسب جهت تغذیه مصنوعی بر پایه مدل FUZZY-AHP (مطالعه موردی: محدوده مطالعاتی میناب)

محمد قاسمی[۱]، حوریه زحمتکش مارمی*[۲]، نسیم قشقایی زاده[۳]، محمدرضا ایدون[۴]

۱-کارشناس شبکه‌های هوشمند و GIS، اداره کل شیلات هرمزگان، بندرعباس، ایران
۲-کارشناس مطالعات آب‌های زیرزمینی، شرکت سهامی آب منطقه‌ای هرمزگان، بندرعباس، ایران
۳-کارشناس مطالعات آب‌های سطحی، شرکت سهامی آب منطقه‌ای هرمزگان، بندرعباس، ایران
۴-دفتر مطالعات پایه منابع آب، شرکت سهامی آب منطقه‌ای هرمزگان، بندرعباس، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۲/۱۲
تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۷/۲۲

چکیده

در سال‌های اخیر برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و همچنین خشکسالی در دشت میناب استان هرمزگان موجب کاهش سطح آب‌های زیرزمینی، کاهش کیفیت آب، فرونشست و در نتیجه مشکلات اجتماعی و اقتصادی برای مردم این منطقه شده است. از سوی دیگر در فصول بارندگی، به دلیل سیلابی بودن این دشت، آب‌های سطحی زیادی به دریا سرازیر می‌شود. با توجه به این مسائل یافتن عرصه‌های مناسب و تحلیل فضایی این عرصه‌ها جهت تغذیه مصنوعی منابع آب‌های زیرزمینی دشت میناب، ضرورت می‌یابد تا با احداث سدهای تغذیه مصنوعی از ورود این آب‌ها و سیلاب‌ها به دریا جلوگیری کرده و سبب تغذیه دشت میناب شود. در همین راستا این تحقیق با انتخاب محدوده مطالعاتی میناب به عنوان پایلوت به شناسایی پارامترهای مؤثر و استفاده از آن‌ها به صورت شاخص‌هایی برای تعیین محل‌های مستعد و در نهایت تعیین عرصه‌های مناسب جهت تغذیه مصنوعی با استفاده از نرم افزار Arc GIS و Expert Choice، به روش FUZZY-AHP در این دشت می‌پردازد. در این مطالعه از لایه‌های اطلاعاتی زمین‌شناسی، هیدرولوژی، اقلیم، توپولوژی، کاربری و لایه ضخامت آبرفت استفاده شده است. لایه‌ها همراه با زیر لایه‌های آن در محیط نرم‌افزاری ArcGIS تهیه گردید. بعد از وزن‌دهی لایه‌ها به روش تحلیل سلسله مراتبی، لایه‌ها تلفیق شدند و لایه نهایی که مشخص کننده عرصه‌های مناسب جهت تغذیه مصنوعی می‌باشد، تهیه گردید. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد؛ معیار زمین‌شناسی با وزن ۰/۴۵۰ بیش‌ترین تأثیر را در اولویت‌بندی داشته است، شمال‌غرب و محدوده‌هایی از غرب (۹/۱۷ درصد از مساحت) منطقه مطالعاتی میناب نیز بهترین مکان برای تغذیه مصنوعی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تغذیه‌مصنوعی، دشت‌میناب، GIS، FUZZY-AHP، Expert Choice.

*- نویسنده مسئول: Email: Zahmatkeshhoorieh@yahoo.com

مقدمه

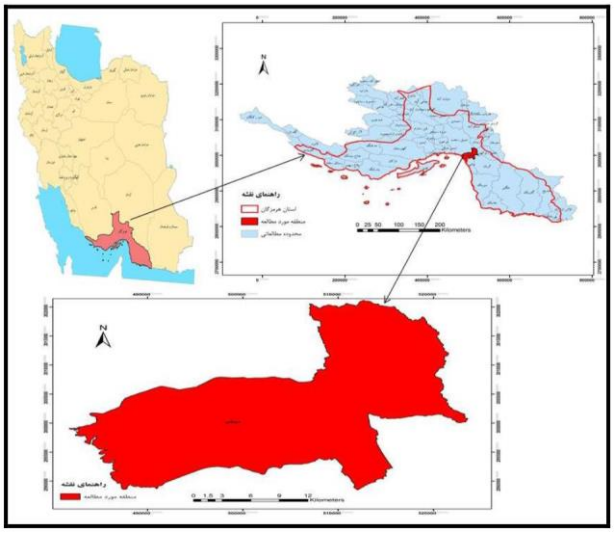
امروزه تخلیه آب‌های زیرزمینی و عدم جایگزین شدن این منابع یکی از بزرگ‌ترین مشکلاتی است که جوامع بشری با آن روبه رو هستند (ناصری و همکاران، ۱۳۸۸). لزوم شناخت و بهره‌برداری بهینه از آب‌های زیرزمینی از آنجا ناشی می‌گردد که این منابع ۹۹ درصد از کل آب‌های شیرین قابل استفاده را تشکیل می‌دهند (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۳). مشکلات ناشی از بروز خشکسالی‌ها از یک سو و سیلاب‌های مخرب از سوی دیگر، لزوم مدیریت صحیح منابع آب را 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). در ایران به دلیل استفاده روزافزون از آبخوان‌ها، باید اقداماتی به منظور جبران آن‌ها نیز انجام شود، تا بتوان بدون ایجاد اشکال، بهره‌برداری بیش‌تری از منابع آب نمود و مخصوصاً از سیلاب‌های زمستانی و بهاری استفاده کرد (مروتی و همکاران، ۱۳۸۷). افزایش تقاضای آب به احتمال زیاد در کوتاه مدت و بلندمدت، افزایش فشار بر منابع آب زیرزمینی را به دنبال خواهد داشت. به علاوه، تغییرات اقلیمی تأثیرات قابل توجهی بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی دارد (Adamowski and Chan, 2011). ذخیره این منابع عظیم در آبخوان‌های زیرزمینی به جای ذخیره‌سازی سطحی در این مناطق نه تنها از حیث فنی و اقتصادی، بلکه از نظر زیست محیطی و حفظ و بهبود کیفیت آب، ارجح است. در این راستا یافتن عرصه‌های مناسبی که از هر جنبه شرایط لازم جهت تغذیه مصنوعی منابع آب‌های زیرزمینی را داشته باشد، یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر در مبحث تغذیه مصنوعی آبخوان‌هاست. 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 تأسیسات اضافی یا تغییراتی در شرایط طبیعی منطقه است (حیدرپور، ۱۳۶۹). با استفاده به جا و به هنگام از سیلاب‌ها و به کارگیری روش پخش سیلاب جهت تغذیه مصنوعی علاوه بر آبدارکردن آبخوان‌ها، کاهش زیان‌های سیل و حفاظت خاک را نیز به دنبال دارد (کوثر، ۱۳۷۴). مدیریت تلفیقی پایدار آب‌های زیر زمینی و سطحی برای اطمینان از پایداری منابع سطحی و زیرزمینی حوضه آبریز بسیار مهم است (Krishnamurthy et al, 1996). حفظ پایداری محیط زیست به عنوان بستر حیات موجودات زنده یکی از مهم‌ترین ارکان توسعه پایدار محسوب می‌شود. محدودیت و کمبود منابع آب‌های زیرزمینی در جهان و بخصوص در کشورهای واقع در کمربند خشک کره زمین از جمله کشور ما شرایطی را رقم زده است که به منظور حفظ و بهره‌برداری بهینه و کاهش آثار زیست محیطی ناشی از افت این منابع بسیار با ارزش، باید تلاش بسیاری کرد (Kalantari et al, 2010). در چنین مناطقی تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی از مهم‌ترین راهکارهای مدیریتی است (Mandal and Singh, 2004). در مناطق خشک، تغذیه مصنوعی برای: ۱) تقویت تغذیه طبیعی ناشی از باران و رواناب، ۲) جلوگیری از کاهش سطح آب آبخوان، ۳) کنترل آلودگی ذخایر آب به وسیله پساب و ۴) جلوگیری از تداخل آب شور به آب شیرین در سواحل دریاها انجام می‌شود (Abu-Taleb, 2003). موفقیت طرح‌های تغذیه مصنوعی مستلزم

جمع‌آوری و تکمیل داده‌ها و اطلاعات بسیار زیادی است و نخستین پیش شرط برای احداث طرح تغذیه، شناسایی محل مناسب است (Kalantari et al, 2010). در زمینه تغذیه مصنوعی در جهان و ایران تحقیقاتی انجام گرفته که تعدادی از آن‌ها در زیر اشاره شده است: کریشنا مورتی (Krishnamurthy et al, 1996) برای تعیین مناطق مناسب برای تغذیه آب‌های زیرزمینی در جنوب هند، عوامل زمین‌شناسی، لندفرم‌ها، گسل‌ها و شکستگی‌ها، آب‌های سطحی، تراکم آبراهه و شیب را مطالعه کرد. ایشان معتقدند که انواع عوامل زمین ساختی و ژئومورفولوژی در سطوح مختلف نقش مهمی در رفتار آب‌های زیرزمینی دارد. سارف و چوودوری (Saraf and Choudhur, 1998) با استفاده از فناوری سنجش از دور استخراج لایه‌های مختلفی نظیر کاربری اراضی، پوشش‌گیاهی، ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی و تلفیق آن‌ها با سایر لایه‌های اطلاعاتی مانند شیب، مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در ناحیـه مادیا پرادش در نواحی مرکزی هند تعیین نمودند. چوودوری و همکاران (Chowdhury et al, 2010) با استفاده از سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و تکنیک‌های MCDM[1] مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در منطقه مدیناپور غربی تعیین نمودند. حکمت پور (۱۳۸۳) برای مکان‌یابی مناطق مستعد پخش سیلاب در دشت ورامین از لایه‌های اطلاعاتی شیب، نفوذ پذیری سطحی، ضخامت آبرفت، قابلیت انتقال آب در آبرفت، کیفیت آبرفت، کاربری اراضی و ژئومرفولوژی استفاده کرد و این لایه‌ها را در محیط GIS براساس روش‌های منطق بولین، منطق فازی، روش‌های شاخص همپوشانی، روش میانگین امتیاز کلاس‌ها و روش DSS تلفیق و مناطق مناسب برای پخش سیلاب در هر روش را مشخص نمودند. عبادتی و شفیعی مطلق (۱۳۹۱) تاثیر تغذیه مصنوعی آبخوان دشت کلاچوی دهدشت را شبیه‌سازی کردند. طاهری و همکاران (۱۳۹۱)، به مکان‌یابی تغذیه مصنوعی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS و روش تحلیل سلسله مراتبی در دشت ماهی دشت کرمانشاه؛ رامشت و عرب‌عامری (۱۳۹۲)، به پهنه‌بندی حوضه آبخیز بیاضه به منظور تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش AHP و تکنیک GIS[2] پرداختند. صفاری و همکاران (۱۳۹۴) در دشت بوشکان استان بوشهر به مکان‌یابی عرصه‌های مناسب پخش سیلاب جهت تغذیه مصنوعی با استفاده از تلفیق مدل‌های فازی و تحلیل سلسله مراتبی پرداختند. نیکجو و همکاران (۱۳۹۵) از روش تحلیل سلسه مراتبی برای تعیین مکان مناسب برای تغذیه مصنوعی در حوضه آبریز زیلبیرچای شهرستان تبریز به منظور مدیریت محیط استفاده نمودند. باقری و همکاران (۱۳۹۵) نیز در دشت گرمسار به تعیین بهترین مکان برای اجرای طرح حوضچه‌های تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی با استقاده از دو روش بولین و AHP پرداختند. صبوری (۱۳۹۵) در پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد خود به منظور ارزیابی مخاطرات طبیعی شمال تهران شامل سیل، زمین‌لرزه و از روش ترکیبی FUZZY-AHP استفاده نموده است. مهدوی و همکاران (۱۳۹۵) به جهت مدل‌سازی مناطق مستعد آلودگی نفتی در سواحل شهرستان بندرعباس روش تحلیل سلسه مراتبی (AHP) را نیز به کار بردند. نوحه‌گر و همکاران (۱۳۹۵) با هدف شناسایی عرصه‌های مناسب برای اجرای عملیات پخش سیلاب در دشت سرخون هرمزگان از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تلفیق آن با فرایند تحلیل شبکه و روش مقایسه زوجی

بهره گرفته‌اند. در سال‌های اخیر برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و همچنین خشکسالی در دشت میناب استان هرمزگان موجب کاهش سطح آب‌های زیرزمینی، کاهش کیفیت آب، فرونشست و در نتیجه مشکلات اجتماعی و اقتصادی برای مردم این منطقه شده است. از سوی دیگر در فصول بارندگی، به دلیل سیلابی بودن این دشت، آب‌های سطحی زیادی به دریا سرازیر می‌شود. با توجه به این مسائل یافتن عرصه‌های مناسب و تحلیل فضایی آن جهت تغذیه مصنوعی منابع آب‌های زیرزمینی دشت میناب ضرورت می‌یابد تا با احداث سدهای تغذیه مصنوعی از ورود این آب‌ها و سیلاب‌ها به دریا جلوگیری کرده و سبب تغذیه دشت میناب شود. در همین راستا این تحقیق با انتخاب محدوده مطالعاتی میناب به عنوان پایلوت به شناسایی پارامترهای مؤثر و استفاده از آن‌ها به صورت شاخص‌هایی برای تعیین محل‌های مستعد و در نهایت تعیین عرصه‌های مناسب جهت تغذیه مصنوعی با استفاده از نرم افزار Arc GIS، اکسپرت چویس و روش FUZZY-AHP در این دشت می‌پردازد.

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی میناب به عنوان قسمتی از دشت میناب، در فاصله ۱۰۰ کیلومتری شرق بندرعباس واقع گردیده است. این محدوده با کد ۲۸۰۷ یکی از ۲۲ محدوده مطالعاتی حوضه آبریز رودخانه‌های بین بندرعباس تا سدیج می‌باشد که در نواحی مرکزی حوضه آبریز رودخانه‌های بین بندرعباس تا سدیج قرار دارد. از لحاظ موقعیت جغرافیایی بین طول‌های جغرافیایی ′۴۸ °۵۶ تا ′۱۵ °۵۷ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ′۰۰ °۲۷ تا ′۲۰ °۲۷ شمالی و در شرق استان هرمزگان واقع شده است. مساحت محدوده مطالعاتی میناب برابر با ۶۵۴ کیلومترمربع بوده که در حدود ۳۱۵ کیلومتر مربع آن را نواحی کوهستانی و مابقی آن (حدود ۳۴۰ کیلومتر مربع) را نواحی دشتی تشکیل می‌دهند (شکل ۱).



شکل ۱: نقشه محدوده مطالعاتی میناب

حداکثر ارتفاع در کل محدوده مطالعاتی حدود ۷۳۹ متر در نواحی شمالی و حداقل ارتفاع برابر با صفر در نواحی جنوب‌غربی محدوده مطالعاتی در حاشیه نواحی ساحلی و متوسط ارتفاع ۱۰۲ متر

می‌باشد. میزان متوسط ارتفاع در نواحی دشتی و کوهستانی نیز به ترتیب معادل ۱۳ و ۱۹۸ متر است (جدول ۱).

جدول ۱: وضعیت توپوگرافی دشت میناب (بر حسب متر)

نام	متوسط وزنی ارتفاع	حداقل ارتفاع	حداکثر ارتفاع
ارتفاعات مشرف به دشت میناب	۱۹۸/۲۸	۹/۵۶	۸۳۷/۵۱
دشت میناب	۱۲/۹۱	۰.۰۰	۱۱۰/۰۱

محدوده مطالعاتی دشت میناب شامل حوضه آبریز پایاب میناب می‌باشد. محدوده مطالعاتی مذکور از شمال و شمال‌شرق به حوضه آبریز رودخانه حسن‌لنگی (پایاب حسن‌لنگی) و میناب مقطع تلاقی دو رودخانه رودان و جغین، از شرق و جنوب به حوضه آبریز رودخانه زرانی و چالاک و از غرب به خلیج‌فارس ختم می‌شوند. مهم‌ترین راه ارتباطی مسیر ارتباطی بندرعباس-رودان-میناب-بندر سیریک می‌باشد. آبخوان میناب با وسعت ۲۷۲ کیلومتر مربع تنها آبخوان موجود در محدوده می‌باشد. با توجه به خلاصه وضعیت تغییرات حجم مخزن دشت میناب (جدول ۲)، کسری مخزن ۸/۸۷۶- (میلیون متر مکعب) و افت سالانه سطح آب ۰/۴۶- (متر) برای این دشت مشاهده می‌شود.

جدول ۲: خلاصه وضعیت سفره آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی میناب (گزارشات بیلان مطالعات پایه منابع آب هرمزگان، ۱۳۹۵).

نام دشت	سال شروع اندازه‌گیری	تعداد سال اندازه‌گیری	میزان تغییرات سطح آب طی دوره (متر)	میزان تغییرات سالانه سطح آب (متر)	تغییرات دینامیک حجم مخزن در طی دوره (میلیون متر مکعب)	تغییرات دینامیک حجم مخزن (سالانه) (میلیون متر مکعب)
میناب (۲۸۰۷)	۱۳۶۵	۳۰	۱۳/۸۵-	۰/۴۶-	۲۶۳/۵۶۹-	۸/۸۷۶-

محدوده مطالعاتی میناب در زون چین خورده مکران در جنوب فرورفتگی جازموریان قرار دارد. تشکیلات زمین‌شناسی در کل حوضه مورد مطالعه عمدتاً از رسوب‌های آبرفتی کواترنر و سازندهای سخت ترشیاری و آمیزه رنگین است. رخنمون‌های به جای مانده متشکل از تناوبی از ماسه و سنگ دارای تراکم متوسط، ضعیف و به ندرت سخت و ریزدانه و دارای تخلخل زیاد می‌باشد. مارن، مارن ماسه‌ای و فرسایش‌پذیر به صورت بی‌شکل در لایه‌های سخت انباشته گردیده است و مواد تخریبی حاصل از این رسوب‌ها اصولا شامل مواد ریزدانه می‌باشد (نوحه‌گر و یمانی، ۱۳۸۲). این دشت با متوسط بارندگی سالانه ۲۲۰ میلی‌متر، متوسط دمای سالانه ۲۶ درجه سانتی‌گراد دارای آب و هوای خشک است. اراضی مرتعی، بیشه‌زار جنگلی و اراضی کشاورزی آبی بیش‌ترین پوشش‌گیاهی منطقه را تشکیل می‌دهند. شهرستان میناب در فاصله ۱۰۰ کیلومتری از شهر بندرعباس قرار دارد. جمعیت آن طبق سرشماری سال ۱۳۹۵ مرکز آمار ایران بالغ بر ۲۵۶۰۹۵ نفر

بوده و وسعت آن حدود ۶۸۷۸ کیلومتر مربع می‌باشد. در شکل ۲ و ۳ به ترتیب نمایی از فروچاله در دشت میناب و خروج رواناب‌های سطحی مهار نشده دشت میناب مشاهده می‌شود.

شکل ۲: تصویری از فروچاله‌های دشت میناب

شکل ۳: خروج رواناب‌های سطحی مهار نشده دشت میناب

مواد و روش‌ها

روش‌های مختلفی برای مکان‌یابی مناطق مناسب جهت تغذیه مصنوعی وجود دارد. استفاده از هر روش مستلزم تلفیق اطلاعات مختلف با هم و تجزیه و تحلیل آن‌ها می‌باشد. بدین ترتیب این تحقیق به منظور شناسایی عرصه‌های مناسب جهت تغذیه مصنوعی و مشخص نمودن پارامترهای موثر بر مکان‌یابی این عرصه‌ها در دشت میناب پرداخته است. برای ارائه بهتر مطالعات صورت گرفته پس از توضیح مختصر فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی به شرح مراحل انجام تحقیق پرداخته می‌شود:

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP): یکی از روش‌های ارزیابی و تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاری است که کاربرد وسیعی در علوم زمین و برنامه‌ریزی فضا و محیط دارد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در دهه ۷۰ میلادی به وسیله ساعتی ابداع شد (Saaty, 1980) و بعدها به وسیله سایر محققین در ارزیابی‌ها و برنامه‌ریزی‌ها مورد استفاده قرار گرفت (کرم و محمدی، ۱۳۸۸). این روش امکان فرموله‌کردن مسئله را به صورت سلسه مراتبی فراهم کرده و همچنین امکان در نظر گرفتن عوامل مختلف کمی و کیفی را در حل مسائل دارد (Saaty, 1980). فرآیند تحلیل سلسه مراتبی با طی مراحل ۱)ساخت سلسه مراتبی، ۲)مقایسه زوجی و نرمال‌سازی[۳]، ۳)تعیین وزن‌ها، ۴)محاسبه نرخ ناسازگاری[۴]، منجر به انتخاب گزینه برتر و یا اولویت‌بندی گزینه‌ها خواهد شد (حافظی و همکاران، ۱۳۹۴).

مدل فازی: واژه فازی در فرهنگ لغت آکسفورد به صورت (مبهم، گنگ، نادقیق، گیج، مغشوش، درهم و نامشخص) تعریف شده است. تئوری مجموعه‌های فازی و منطق فازی به عنوان نظریه‌ای ریاضی برای مدل‌سازی و صورت بندی ریاضی ابهام و عدم دقت موجود در فرآیندهای شناختی انسانی ابزارهای بسیار کارآمد و مفیدی برای این منظور به شمار می‌رود (Lootsma, 2005). این تئوری را اولین بار پرفسور لطفی زاده در رساله‌ای به نام (مجموعه‌های فازی–اطلاعات و کنترل) در سال ۱۹۶۵ معرفی نمود. در تئوری کلاسیک مجموعه‌ها، یک عنصر، یا عضو مجموعه است یا نیست. در حقیقت عضویت عناصر از یک الگوی صفر و یک تبعیت می‌کند. اما تئوری مجموعه‌های فازی لین مفهوم را بسط می‌دهد و عضویت درجه‌بندی شده را مطرح می‌کند. به این ترتیب که یک عنصر می‌تواند تا درجاتی (نه کاملا)، عضو یک مجموعه باشد.

مراحل روش FUZZY-AHP در این تحقیق به طور خلاصه به شرح ذیل است:

۱-تعیین معیارها و زیر معیارها (لایه‌ها و زیرلایه‌ها).

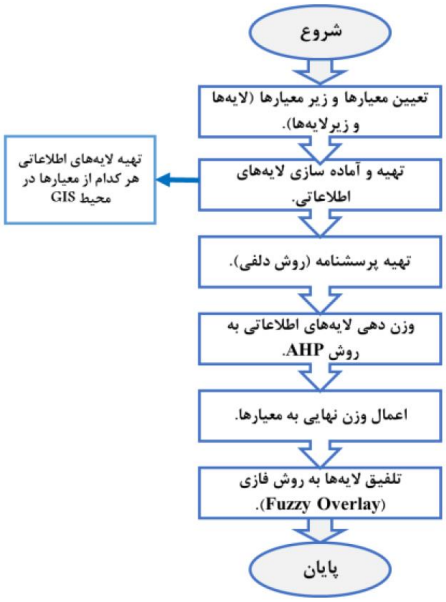
۲-تهیه و آماده سازی لایه‌های اطلاعاتی.

۳-تهیه پرسشنامه (روش دلفی: از روش‌هایی است که برای دست‌یابی به اتفاق نظر میان متخصصان درباره مسئله‌ای پیچیده به کار می‌رود[۵]).

۴-وزن دهی لایه‌های اطلاعاتی به روش AHP.

۵-اعمال وزن نهایی به معیارها.

۶-تلفیق لایه‌ها به روش فازی (Fuzzy Overlay).



شکل ۴: فرآیند انجام تحقیق در روش FUZZY-AHP

الف) تعیین معیارها و تهیه لایه‌های اطلاعاتی

در این مطالعه مواردی که در تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی موثرتر هستند و علاوه بر آن، آمار و اطلاعات مربوط به آن‌ها کامل‌تر و بیش‌تر در دسترس بودند، مورد بررسی قرار گرفته است. بنابراین از لایه‌های اطلاعاتی زمین‌شناسی، هیدرولوژی، اقلیم، توپولوژی، کاربری و لایه ضخامت آبرفت استفاده شده است. لایه‌ها همراه با

زیر لایه‌های آن در محیط نرم‌افزاری ArcGIS تهیه گردید. در ذیل به زیر لایه‌هایی که تشکیل دهنده لایه‌های اصلی هستند اشاره شده است:

۱-لایه زمین‌شناسی شامل زیرلایه‌های: بافت خاک، سنگ‌شناسی، فاصله از گسل، تراکم گسل، ضخامت لایه آبرفت می‌باشد (شکل‌های ۵ تا ۹). لازم به ذکر است لایه آبرفت براساس فایل نقطه‌ای عمق لایه آبرفت پیزومترها و روش درون‌یابی (در روش درونیابی IDW فرض این است که تاثیر هر پدیده متناسب با توانی از معکوس فاصله آن است، بنابراین تاثیر پدیده مورد نظر با افزایش فاصله، کاهش می‌یابد) IDW[۶] تهیه شده است.

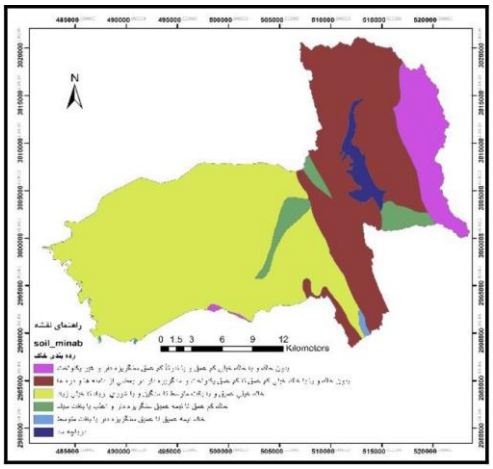
۲-لایه هیدرولوژی شامل زیرلایه‌های: فاصله از رودخانه (شکل ۱۰)، تراکم آبراهه (شکل ۱۱).

۳-لایه اقلیم شامل زیرلایه‌های: دما (شکل ۱۲)، بارش (شکل ۱۳).

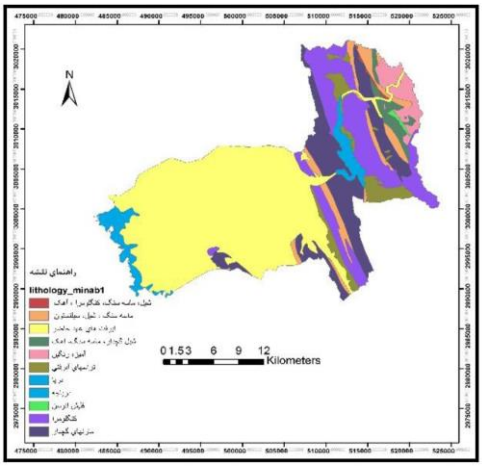
۴-لایه توپولوژی شامل زیرلایه‌های: شیب (شکل ۱۴)، جهت شیب (شکل ۱۵)، ارتفاع (شکل ۱۶).

۵-لایه کاربری (شکل ۱۷).

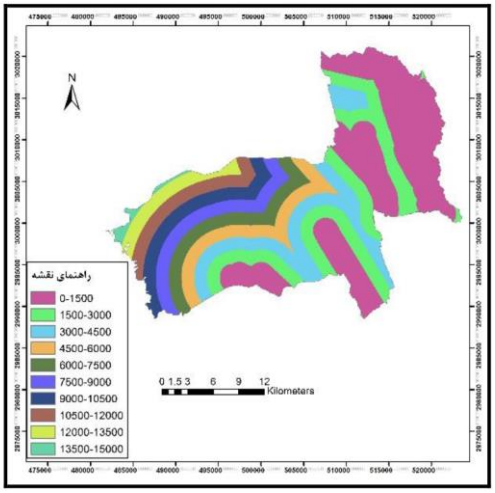
۶-لایه ضخامت لایه آبرفت.



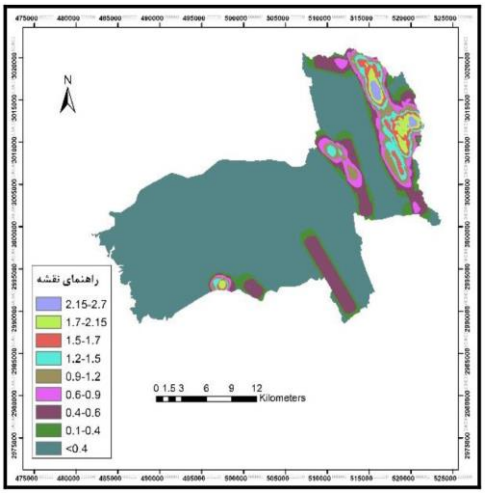
شکل ۵: نقشه گروه‌بندی بافت خاک منطقه



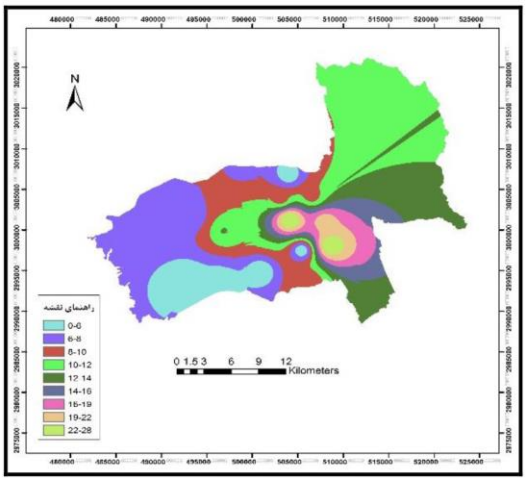
شکل ۶: نقشه تشکیلات سنگ‌شناسی موجود در منطقه



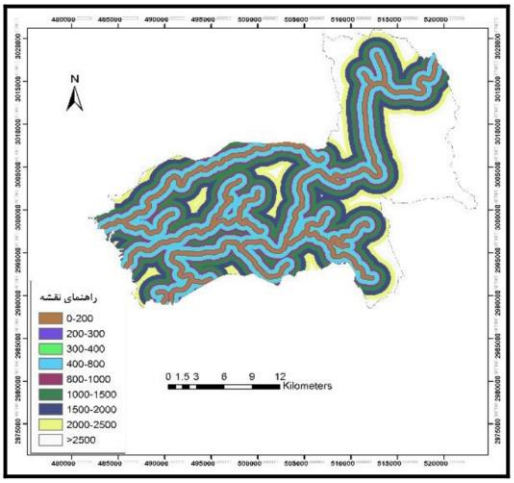
شکل ۷: نقشه طبقه‌بندی شده فاصله از گسل‌های منطقه



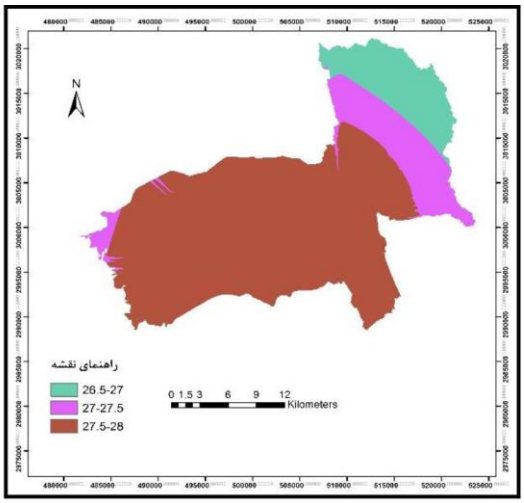
شکل ۸: نقشه کلاس‌بندی شده تراکم گسل‌های منطقه



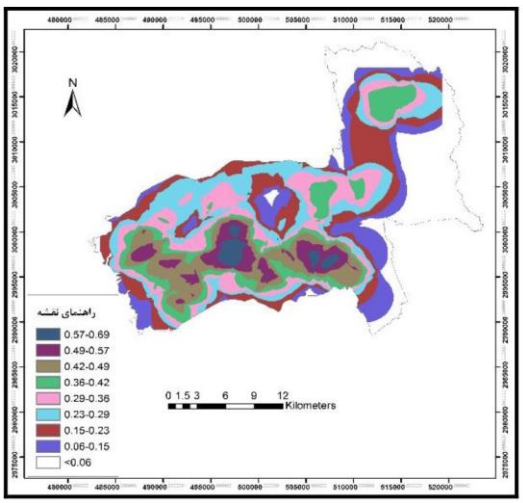
شکل ۹: نقشه پهنه‌بندی ضخامت لایه آبرفت منطقه



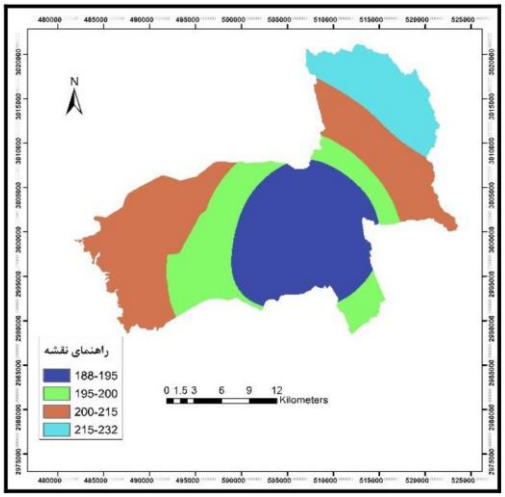
شکل ۱۰: نقشه کلاس‌بندی شده فاصله از آبراهه‌ها



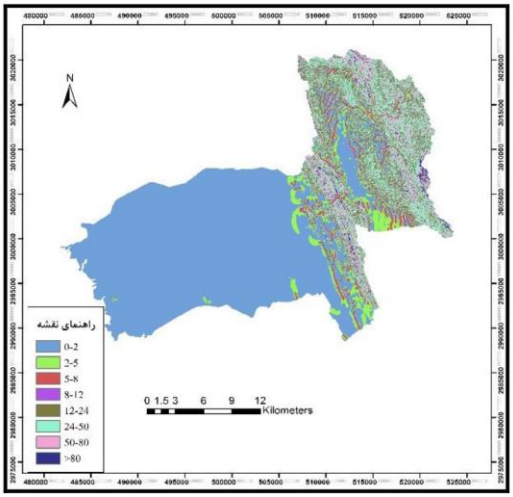
شکل ۱۱: نقشه تراکم آبراهه‌های منطقه



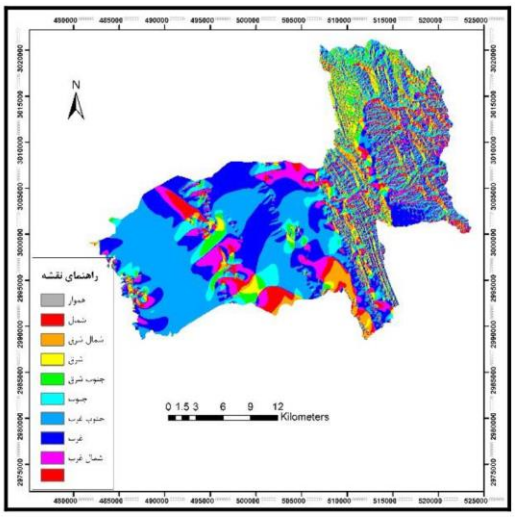
شکل ۱۲: نقشه طبقات هم دمای منطقه



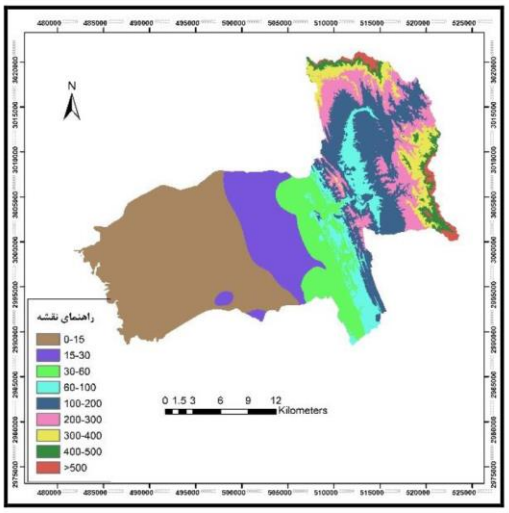
شکل ۱۳: نقشه طبقه‌بندی مناطق هم‌بارش منطقه



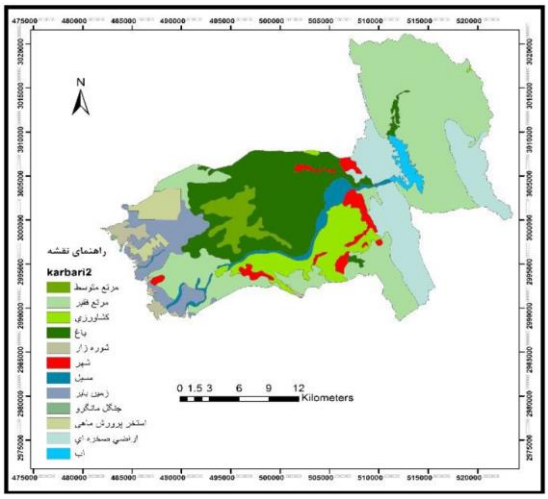
شکل ۱۴: نقشه طبقات شیب منطقه



شکل ۱۵: نقشه جهت شیب منطقه



شکل ۱۶: نقشه طبقات هم ارتفاع منطقه



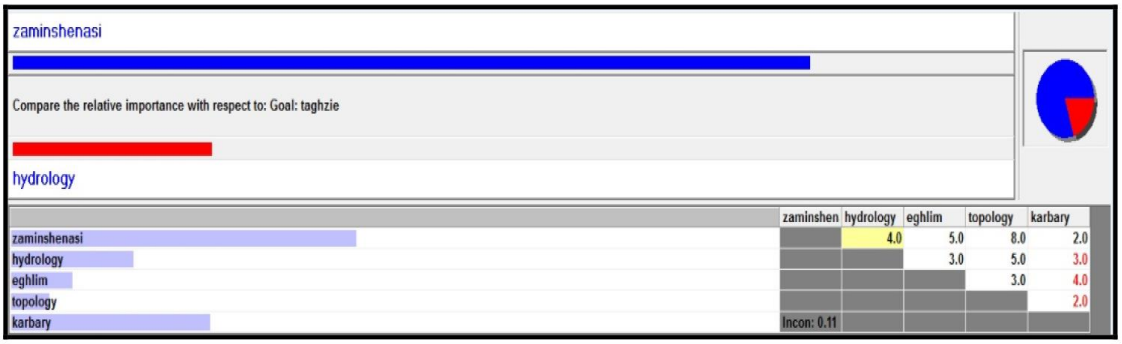
شکل ۱۷: نقشه کاربری اراضی در محدوده مورد مطالعه

ب)وزن‌دهی لایه‌ها و نرمال‌سازی

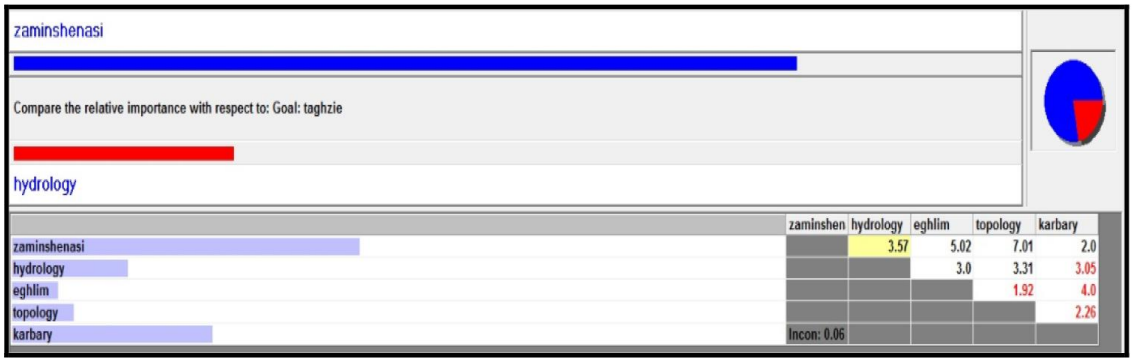
بعد از آماده‌سازی و تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز، از مدل مفهومی استفاده شد و لایه‌های اطلاعاتی وزن‌دهی شدند. وزن‌دهی لایه‌ها در این تحقیق با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) صورت گرفته است. امتیازبندی هر مشخصه براساس نظر کارشناسی و اطلاعات موجود در منابع مربوطه انجام گرفته است. در این پژوهش شاخص‌های اولیه که از منابع موجود و نظر کارشناسان به دست آمده است، به صورت یک پرسش‌نامه تهیه شد و به کارشناسان خبره جهت مقایسه زوجی ارائه گردید (مقایسه زوجی در اصل در نرم‌افزار اکسپرت چویس تهیه می‌گردد و کارشناسان اهمیت معیارها را تعیین می‌کنند. از ۱ تا ۹ به هر معیار وزن می‌دهند). در مرحله بعد پرسش‌نامه وارد نرم‌افزار اکسپرت چویس شد و وزن هر کدام از شاخص‌ها مشخص گردید. روش مقایسه دو به دو (زوجی) به دلیل داشتن مبنای نظری قوی، دقت بالا و سهولت استفاده، دارا بودن ارزش و اعتبار و درستی و دقت نتیجه، یکی از معتبرترین و پرکاربردترین روش‌ها است (Mousseau et al, 1999). به ترتیب در جدول ۳

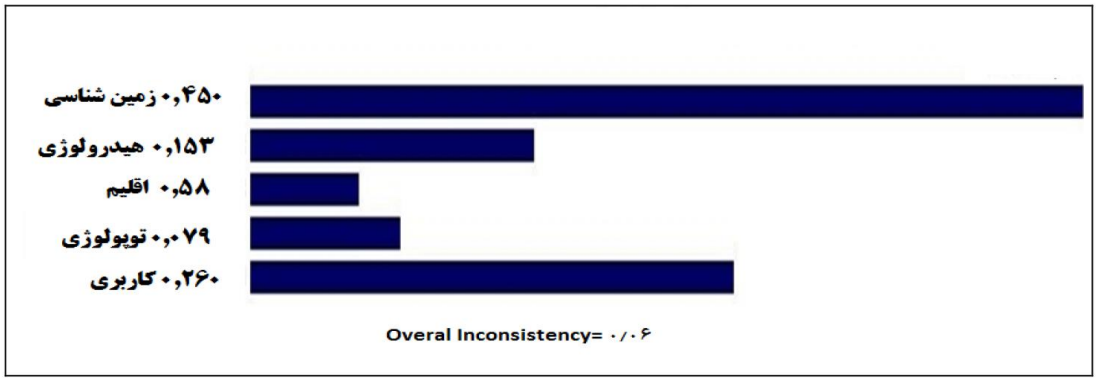
و ۴ و شکل ۱۸؛ مقایسه زوجی معیارها، نرمال‌سازی و وزن‌نهایی معیارها به همراه نرخ ناسازگاری آن آمده است. نکته مهم محاسبه نرخ ناسازگاری است، که اگر نرخ ناسازگاری[۷] کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد سازگاری سیستم قابل قبول است و اگر بیش‌تر از ۰/۱ باشد بهتر است تصمیم گیرنده در قضاوت‌های خود تجدید نظر کند (Dey and Ramcharan, 2008) (جدول ۳ و ۴).

جدول ۳: مقایسه زوجی و تعیین وزن معیارها



جدول ۴: نرمال سازی وزن معیارها





شکل ۱۸: نمودار وزن نهایی معیارها

ج)تلفیق لایه‌ها به روش Fuzzy Overlay

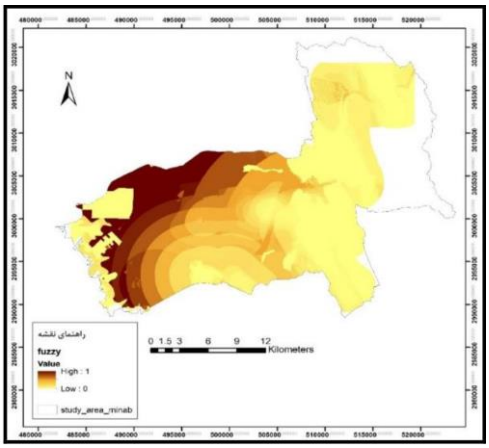
به منظور تلفیق اطلاعات مکانی در GIS می‌توان از منطق فازی استفاده نمود. بدین صورت که کلاس‌ها و واحدهای مکانی موجود در هر یک از فاکتورها به عنوان عناصر زیر مجموعه هستند و معیار عضویت آن‌ها در مجموعه مطلوب، میزان حساسیت یا نداشتن حساسیت آن‌هاست که با درجه عضویت بین صفر تا یک مشخص می‌شود. هر کلاس یا واحد اطلاعاتی موجود در فاکتور دارای یک درجه عضویت بین ۰ تا ۱ می‌باشد که در هر فاکتور اهمیت و ارزش یک واحد مکانی نسبت به دیگر واحدها و یک فاکتور منفرد نسبت به دیگر واحدها را نشان می‌دهد. مقدار درجه عضویت هر کلاس و واحد مکانی براساس نظرات کارشناسی تعیین می‌گردد، سپس با استفاده از عملکردهای فازی عملیات تلفیقی مورد نظر انجام می‌شود (Deng, 1999). بعد از وزن‌دهی لایه‌ها به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، با دستور Fuzzy Overlay (در محیط ArcGIS) لایه‌ها تلفیق شدند و لایه نهایی که مشخص کننده عرصه‌های مناسب جهت تغذیه مصنوعی می‌باشد (شکل ۱۹)، در محیط ArcGIS تهیه گردید و در ادامه با دستور طبقه‌بندی مجدد[۷] لایه نهایی طبقه‌بندی شد (شکل ۲۰).

نتایج

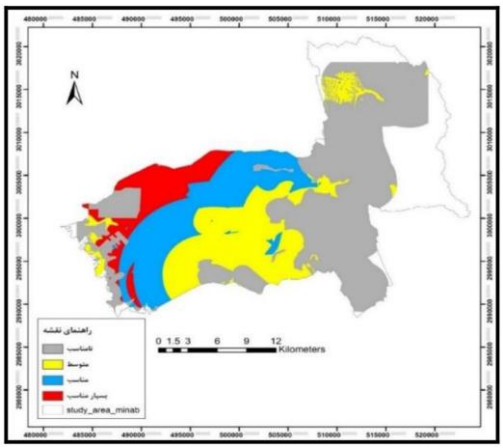
در ارتباط با مولفه‌های موثر در تعیین عرصه‌های مناسب تغذیه مصنوعی محدوده مورد مطالعه؛ یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد (جدول ۵) معیار زمین‌شناسی بیش‌ترین امتیاز و تأثیر (۰/۴۵۰) را در اولویت‌بندی پارامترهای موثر در تغذیه مصنوعی دشت محدوده مطالعاتی میناب داشته است و به ترتیب معیارهای کاربری اراضی (۰/۲۶۰)، هیدرولوژی (۰/۱۵۳)، توپولوژی (۰/۰۷۹) و در آخر اقلیم (۰/۰۵۸) کم‌ترین وزن را در اولویت‌بندی پارامترهای موثر به خود اختصاص داده‌اند. در ارتباط با زیر معیارها (جدول ۵)؛ در معیار زمین‌شناسی، زیرمعیار ضخامت لایه آبرفت (۰/۵۰۱)؛ در معیار هیدرولوژی، زیرمعیار تراکم آبراهه (۰/۶۶۷)؛ در معیار اقلیم، بارش (۰/۸۰۵)؛ در معیار توپولوژی، زیر معیار شیب (۰/۵۴۸) و در معیار کاربری اراضی، مسیل‌ها بالاترین تأثیرگذاری را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین نرخ ناسازگاری (۰/۰۶) به علت کم‌تر بودن از ۰/۱ (جدول ۴) قابل قبول می‌باشد. بعد از تلفیق لایه‌ها به روش فازی لایه نهایی که مشخص کننده مکان‌های مناسب جهت تغذیه مصنوعی می‌باشد تهیه گردید (شکل ۱۹). نقشه نهایی نیز به ۴ کلاس (نامناسب، متوسط، مناسب و بسیار مناسب) که به ترتیب به رنگ‌های خاکستری، زرد، آبی و قرمز در شکل ۲۰ مشاهده می‌شود؛ طبقه‌بندی شد. طبقه یا مکان‌های نامناسب بیش‌ترین مساحت (۴۹/۵۵ درصد)، به همین ترتیب طبقه متوسط ۲۱/۷ درصد، طبقه مناسب ۱۹/۵۸ درصد و طبقه بسیار مناسب ۹/۱۷ درصد از مساحت را جهت مکان‌یابی عرصه‌های مناسب تغذیه مصنوعی به خود اختصاص دادند (شکل ۱۷ و ۱۸، جدول ۶).

جدول ۵: معیارها و وزن هر معیار و زیر معیار

نام لایه (معیار)	زیر لایه	وزن زیر لایه‌ها	بیش‌ترین وزن	وزن نهایی	اولویت
زمین‌شناسی	خاک	۰/۲۷۳		۰/۴۵۰	۱
	سنگ شناسی	۰/۱۲۳			
	فاصله از گسل	۰/۰۵۲			
	تراکم گسل	۰/۰۵۱			
	ضخامت آبرفت	۰/۵۰۱	*		
هیدرولوژی	فاصله از آبراهه	۰/۳۳۳		۰/۱۵۳	۳
	تراکم آبراهه	۰/۶۶۷	*		
اقلیم	دما	۰/۱۹۵		۰/۰۵۸	۵
	بارش	۰/۸۰۵	*		
توپولوژی	شیب	۰/۵۴۸	*	۰/۰۷۹	۴
	جهت شیب	۰/۱۲۷			
	ارتفاع	۰/۳۲۵			
کاربری				۰/۲۶۰	۲



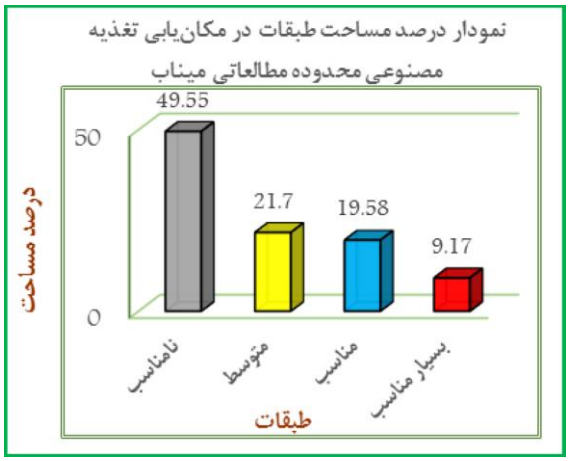
شکل ۱۹: مکان‌های مناسب تغذیه مصنوعی محدوده مطالعاتی میناب براساس روش ترکیبی FUZZY-AHP.



شکل ۲۰: مکان‌های مناسب (طبقه‌بندی شده) تغذیه مصنوعی محدوده مطالعاتی میناب براساس روش ترکیبی FUZZY-AHP.

جدول ۶: مساحت طبقات در نقشه مکان‌یابی تغذیه مصنوعی محدوده مطالعاتی میناب براساس روش FUZZY-AHP.

ردیف	طبقه	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (درصد)	رنگ طبقه در نقشه
۱	نامناسب	۲۷۳/۴۹۸	۴۹/۵۵	خاکستری
۲	متوسط	۱۱۹/۷۷	۲۱/۷	زرد
۳	مناسب	۱۰۸/۰۹۴	۱۹/۵۸	آبی
۴	بسیار مناسب	۵۰/۵۹۴	۹/۱۷	قرمز



شکل ۲۱: نمودار درصد مساحت طبقات در نقشه مکان‌یابی تغذیه مصنوعی محدوده مطالعاتی میناب براساس روش FUZZY-AHP.

در ارتباط با بررسی پارامترهای موثر در تغذیه مصنوعی محدوده مطالعاتی میناب (شکل ۱۵)، پارامتر زمین‌شناسی بیش‌ترین امتیاز را کسب کرد (جدول ۵)، در این معیار، زیرمعیار ضخامت لایه آبرفت بیش‌ترین امتیاز، زیرمعیارهای خاک‌شناسی، سنگ‌شناسی، فاصله از گسل و تراکم گسل در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. بدین ترتیب با توجه به شکل ۱۷ و نقشه زیرمعیارها (شکل۲-۶) مناطقی با ضخامت لایه آبرفت کم، خاک‌هایی خیلی عمیق با بافت متوسط تا سنگین، آبرفت‌های عهد حاضر، فاصله از گسل زیاد و تراکم گسلی کم، بهترین مکان‌ها از لحاظ زمین‌شناسی برای تغذیه مصنوعی است. معیار کاربری که در رتبه دوم قرار گرفته است با توجه به شکل ۱۴ مراتع متوسط و فقیر، اراضی باغی و بایر بهترین مکان از لحاظ کاربری برای تغذیه مصنوعی‌اند. در معیار هیدرولوژی با رتبه سوم، تراکم آبراهه متوسط (شکل ۸) و فاصله از آبراهه کم (شکل ۷) در تعیین بهترین مکان تاثیرگذار بوده‌اند. در معیار توپولوژی در ابتدا زیرمعیار شیب (شکل ۱۱) و سپس ارتفاع (شکل ۱۳) و جهت شیب (شکل ۱۲) موثر بودند، در این راستا در مناطق با شیب کم، ارتفاع کم و جهت شیب به سمت غرب و جنوب غرب بیش‌ترین تاثیر را در این مکان‌یابی داشته‌اند. معیار اقلیم که در رتبه آخر پارامترهای موثر قرار گرفته است، زیرمعیار بارش (شکل ۱۰) بسیار تأثیر گذار بوده است (بارش بیش از ۲۰۰ میلی‌متر).

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر به علت رشد جمعیت و افزایش مصرف، بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی در دشت

میناب روند رو به رشدی داشته است و اگر به آن خشکسالی نیز اضافه شود، وضعیت رو به وخامت این منابع بیش‌تر احساس می‌گردد که این امر توجه بیش‌تر به آبخوان‌های منطقه را می‌طلبد. با توجه به خلاصه وضعیت تغییرات حجم مخزن دشت میناب (جدول ۲)، کسری مخزن ۸/۸۷۶- (میلیون متر مکعب) و افت سالانه سطح آب ۰/۴۶- (متر) برای این دشت مشاهده می‌شود. میزان تغییرات سطح آب در طی دوره ۳۰ ساله ۱۳/۸۵- متر بوده است (۱۳ متر افت سطح آب) که این امر موجب کاهش سطح آب‌های زیرزمینی، کاهش کیفیت آب، فرونشست و در نتیجه مشکلات اجتماعی و اقتصادی برای مردم این منطقه شده است. با توجه به این مسائل یکی از راه‌های مفید برای تداوم آبدهی و حفظ منابع آب زیرزمینی منطقه، تغذیه مصنوعی است که علاوه بر جبران افت اضافی آبخوان و احیای آن، باعث جذب سیلاب‌ها و کاهش آثار تخریبی آن‌ها می‌شود. با توجه به یافته‌های تحقیق، شمال غرب و محدوده‌هایی از غرب منطقه مطالعاتی میناب بهترین مکان برای تغذیه مصنوعی می‌باشد (شکل ۱۷) که تنها ۹/۱۷ درصد از کل مساحت محدوده را به خود اختصاص داده است (جدول ۶، شکل ۱۸). مناطق مرکزی محدوده مورد تحقیق به ترتیب در رتبه‌های مناسب و متوسط قرار گرفته‌اند که در اولویت‌بعدی جهت تغذیه مصنوعی قرار می‌گیرند. تراکم وضعیت نامناسب نیز در شرق محدوده مشاهده می‌شود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از دیدگاه فازی در کنار روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند رویکرد مناسبی برای مکانیابی تغذیه مصنوعی باشد. با توجه به ماهیت یکسان فرایند مکانیابی می‌توان از این روش ترکیبی در سایر پروژه‌های مربوط به مکانیابی استفاده کرد. با توجه به آثار محیط‌زیستی و مسائل ناشی از افت سطح آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه، استفاده از روش پیشنهادی این مقاله و انتخاب مکان‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی و اجرای آن می‌تواند در بهبود وضعیت سفره‌های آب زیرزمینی و کاهش آثار محیط زیستی آن در منطقه کمک کند.

پانوشت

1-Multi Criteria Decision Making
2-Geographic Information System
3-Normalization
4-Inconsistency
5-Delphi
6-Inverse Distance Weighting
7-Reclassify

منابع

-باقری دادوکلایی، ا.، ولی سامانی، م. و سروریان، ج.، ۱۳۹۵. تعیین بهترین مکان برای اجرای طرح حوضچه‌های تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی با استفاده از دو روش بولین و AHP، پانزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، قزوین.

-بیز، ژ.، بورگه، ل. و لومان، ژ.، ۱۳۶۹. تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی، ترجمه حیدرپور، جلال، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ۲۲۶ ص.

-حافظی مقدس، ن.، لشکری‌پوری، غ.ر. و خلجی، ج.، ۱۳۹۴. مکان‌یابی مناطق مناسب جهت تغذیه مصنوعی آب‌های زیر زمینی با استفاده از روش

تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) مطالعه موردی دشت شهرکرد، نخستین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران، مشهد.

-حکمت پور، م.، ۱۳۸۳. بررسی شاخص‌های مناسب در مکانیابی عرصه‌های مستعد پخش سیلاب (مطالعه موردی حوضه آبخیز جاجرود) منتهی به دشت ورامین، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تهران.

-دفتر مطالعات پایه منابع آب استان هرمزگان، ۱۳۹۵. گزارش بیلان منابع آب محدوده‌های مطالعاتی میناب، هرمزگان، ۶۱ ص.

-رامشت، م.ح. و عرب عامری، ع.ر.، ۱۳۹۲. پهنه‌بندی حوضه آبخیز بیاضه به منظور تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش AHP و تکنیک GIS، نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، شماره ۴۵، ص ۶۹-۹۶.

-صبوری، ش.، ۱۳۹۵. ژئومورفولوژی شمال تهران و تاثیر آن بر آسیب‌پذیری شبکه زیرساخت‌های شهری (شبکه آب و فاضلاب)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، رشته ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

-صفاری، ا.، جان‌احمدی، م. و رعیتی‌شوازی، م.، ۱۳۹۴. مکان‌یابی عرصه‌های مناسب پخش سیلاب جهت تغذیه مصنوعی با استفاده از تلفیق مدل‌های فازی و تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: دشت بوشکان- استان بوشهر)، سومین همایش ملی انجمن ایرانی ژئومورفولوژی، تهران.

-عبادتی، ن. و شفیعی‌مطلق، خ.، ۱۳۹۱. شبیه-سازی تاثیر تغذیه مصنوعی آبخوان دشت کلاچوی دهدشت، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، شماره ۳، ص ۲۵۵-۲۶۳.

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

-کوثر، آ.، ۱۳۷۴. مهار سیلاب و بهره‌وری بهینه از آن‌ها، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، ص ۹۰-۹۸.

-کرم، ا. و محمدی، ا.، ۱۳۸۸. ارزیابی و پهنه‌بندی تناسب زمین برای توسعه فیزیکی شهر کرج و اراضی پیرامونی بر پایه فاکتورهای طبیعی و روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال اول، شماره ۴، ص ۵۰-۷۴.

-مروتی، م.، منوری، م.، فرشچی، پ. و حسنی، ا.ح.، ۱۳۸۷. طرح‌های تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها راه‌حلی مناسب برای افزایش سطح آب‌های زیرزمینی، فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۱۸، ص ۶۸-۷۶.

-مهدوی نجف آبادی، ر.، قاسمی، م.، بختیاری‌کیا، م. و محمدی‌زاده، م.، ۱۳۹۵. مدل‌سازی مناطق مستعد آلودگی نفتی در سواحل شهرستان بندرعباس با استفاده از مدل‌های ELECTRE-I و AHP، نشریه علمی پژوهشی محیط‌شناسی دانشگاه تهران، شماره ۲۱، ص ۵۲۲-۸۰۵.

-مهدوی، ر.، عابدی کوپایی، ج.، رضایی، م. و عبدالحسینی، م.، ۱۳۸۳. مکانیابی محل‌های مناسب تغذیه مصنوعی منابع آب زیرزمینی از طریق GIS و RS، دومین کنفرانس ملی منابع آب و خاک، دانشگاه شیراز.

-ناصری، ح.، عزیزخانی، م.ج. و مکنونی، س.، ۱۳۸۸. تلفیق سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاری و اطلاعات جغرافیایی در مکان‌یابی

محل‌های مناسب پخش سیلاب جهت تغذیه مصنوعی (مطالعه موردی: دشت چاه دراز-سیرجان)، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، شماره ۱۰، ص ۹۷-۱۰۵.

-نوحه‌گر، ا.، ریاحی، ف. و کمانگر، م.، ۱۳۹۵. تعیین عرصه‌های مناسب پخش سیلاب با رویکرد توسعه پایدار منابع آب زیرزمینی مطالعه موردی: دشت سرخون، مجله محیط شناسی، شماره ۴۲، ص ۳۳-۴۵.

-نوحه‌گر، ا. و یمانی، م.، ۱۳۸۲. بررسی وضعیت ژئومورفولوژیکی پیچان‌رود و نقش آن در فرسایش بستر و کناره‌های رودخانه میناب (پایین دست سد میناب)، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۱، ص ۶۵-۸۴.

-نیکجو، م.ر.، رضایی مقدم، م.ح. و اندریانی، ص.، ۱۳۹۵. تعیین مکان مناسب برای تغذیه مصنوعی در حوضه آبریز زیلبیرچای به منظور مدیریت محیط، چهارمین همایش ملی انجمن ایرانی ژئومورفولوژی، تهران.

-Abu-Taleb, M.F., 2003. Recharge of groundwater through multi-stage reservoirs in a desert basin, Environmental Geology, v. 44, p. 379-390.

-Adamowski, J. and Chan, F., 2011. A wavelet neural network conjunction model for groundwater level forecasting, Journal of Hydrology, v. 407(1-4), p. 28-40.

-Chowdhury, A.K., Jha, M. and Chowdary, V.M., 2010. Delineation ofgroundwater recharge zones andidentification of artificial recharge sitesin West Medinipur district, WestBengal, using RS & GIS and MCDM techniques, Environmental EarthScience, v. 59, p. 1209-1222.

-Deng, H., 1999. Multicriteria analysis with fuzzy pairwise comparison, International journal of approximate reasoning, v. 21(3), p. 215-231.

-Dey, P.K. and Ramcharan, E.K., 2008. Analytic hierarchy process helps select site for limestone quarry expansion in Barbados, Journal of Environmental management, v. 88(4), p. 1384-1395.

-Kalantari, N., Rangzan, K., Shripad Thigale, S. and Rahimi, M.H., 2010. Site selection and cost-benefit analysis for artificial recharge in the Baghmalek plain, Khuzestan Province, southwest Iran. Hydrogeology Journal, v. 18, p. 761-773.

-Krishnamurthy, J., Venkatesa Kumar, N., Jayaraman, V. and Manivel, M., 1996. An approach to demarcate ground water potential zones through remote sensing and a geographical information system. International Journal of Remote Sensing, v. 17(10). p. 1867-1884.

-Lootsma, F.A., 2005. Fuzzy Logic for Planning and Decision Making, Dordrecht, kluwer AcademicPublisher, 195 p.

-Mandal, N. and Singh, V., 2004. A new approach to delineate the groundwater recharge in hard rock terrain, current science, v. 75, p. 658-662.

-Mousseau, V. and Slowinski, R., 1998. Inferring an ELECTRE TRI model from assignment examples, Journal of Global Optimization, v. 12, p. 157- 174.

-Saaty, T.L., 1980. The Analytical Hierarchy Process, Pinning Priority, Resource Allocation, RWS Publication, USA., 287 p.

-Saraf, A.K. and Choudhury, P.R., 1998. Integrated remote sensing and GIS for groundwater exploration and identification of artificial recharge sites, International Journal of Remote Sensing, v. 19, p. 2595-2616.