

تعیین و اولویت‌بندی پهنه‌های مناسب تغذیه مصنوعی به روش تاپسیس فازی سلسله‌مراتبی (مطالعه موردی: دشت فتویه استان هرمزگان)

آرش ملکیان^{۱*}، محمد پوررضا^۲

۱. دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد لارستان

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۱۰/۲۰؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۶/۰۴/۰۱)

چکیده

امروزه تخلیه آب‌های زیرزمینی و جایگزین‌نشدن آنها، یکی از مشکلات بزرگ محسوب می‌شود. تغذیه مصنوعی آبخوان، یکی از راه‌حل‌های اصلی این بحران است. دشت فتویه در بخش مرکزی شهرستان بستک و در استان هرمزگان قرار گرفته است. هدایت الکتریکی آب‌های سطحی در ایستگاه کهورستان واقع در منطقه، در کلیه ماه‌های بررسی شده بسیار نامناسب است، به طوری که این آب‌ها نه تنها برای شرب بلکه برای کشاورزی نیز مناسب نیستند. بنابراین، آب‌های زیرزمینی منبع تأمین آب منطقه به شمار می‌روند. با وجود افت آب‌های زیرزمینی نیاز به تغذیه مصنوعی آبخوان دشت فتویه احساس می‌شود. بنابراین، در تحقیق حاضر مناطق مناسب تغذیه مصنوعی شناسایی شد. شاخص‌های مطرح در این تحقیق شامل سه پارامتر هیدروژئولوژی و ارتفاعی می‌شود که هر یک از آنها در قالب نقشه در محیط GIS ارائه شد. در این تحقیق سعی شده است با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و روش تاپسیس فازی سلسله‌مراتبی و تاپسیس فازی تحلیل شبکه‌ای، لایه‌های اطلاعاتی مختلف ایجاد و تلفیق شوند تا مکان‌های مناسب برای اجرای تغذیه مصنوعی در دشت فتویه شناسایی و اولویت‌بندی شوند. نتایج نشان داد مناطق جنوبی دشت پتانسیل زیادی برای تغذیه مصنوعی دارند. در عین حال روش تاپسیس فازی تحلیل شبکه‌ای نتایج بهتری را ارائه داد.

کلیدواژه‌گان: تاپسیس فازی تحلیل شبکه‌ای، تاپسیس فازی سلسله‌مراتبی، تغذیه مصنوعی، دشت فتویه هرمزگان.

مقدمه

روند افزایش جمعیت، گسترش صنایع و نیاز انسان به آب برای تأمین غذا، سبب شده است که به آب‌های زیرزمینی بیش از پیش توجه شود. امروزه، تخلیه آب‌های زیرزمینی و جایگزین‌نشدن آب این منابع، از بزرگ‌ترین مشکلات محسوب می‌شود. خشک‌شدن تعداد زیادی از قنات‌ها و چاه‌ها سبب شده است که بخش زیادی از سرمایه‌گذاری‌های انجام‌شده از بین برود. تغذیه مصنوعی یکی از روش‌هایی است که می‌تواند بخشی از آب خارج‌شده از زیر زمین را جایگزین کند [۱]. تغذیه مصنوعی نه تنها راهکاری برای افزایش آب‌های زیرزمینی و جبران برداشت بیش از حد آب است، بلکه این امکان را می‌دهد که در مواقع نیاز، آب بیشتری را از سفره آب زیرزمینی برداشت کنیم. از طرفی، ذخیره آب در زیر زمین در هر منطقه‌ای به منزله بیمه‌ای علیه خشک‌سالی و خسارت‌های ناشی از آن محسوب می‌شود [۲]. روش‌های گوناگونی برای تغذیه مصنوعی توسعه یافته است که انتخاب یک روش ویژه بر پایه شرایط توپوگرافی، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، کیفیت آب تغذیه‌ای و کاربرد نهایی آب است. در شرایط ویژه، ارزش زمین، کیفیت آب زیرزمینی و یا حتی آب و هوا می‌توانند پارامترهای مهمی در گزینش روش تغذیه مصنوعی باشند [۳]. باید توجه داشت که روش‌های مختلف مکان‌یابی به عوامل و شاخص‌های زیادی بستگی دارد. بدون استفاده از یک سیستم توانمند، که توانایی استفاده از لایه‌های اطلاعاتی مؤثر و تجزیه و تحلیل آن‌ها را داشته باشد، امکان حل این معضل امکان‌پذیر نخواهد بود [۴]. سیستم اطلاعات جغرافیایی به دلیل توانایی مدیریت حجم عظیمی از داده‌ها، در این خصوص مناسب است [۵]. در مکان‌یابی نواحی مستعد طرح‌های تغذیه مصنوعی توسط موهان و شانکار [۲] شامل زمین‌شناسی (تراکم خطی، عمق سنگ بستر و عمق پوشش خاک)، ژئومورفولوژی (تراکم زهکشی، کاربری اراضی، واحدهای ژئومورفولوژی اراضی و شیب) است. معیار سوم نوسانات سطحی ایستایی است. تولیدی هر یک از لایه‌ها با اعمال روش بولی توسط نرم‌افزارهای GIS بررسی و تحلیل شد. گیومیان و همکارانش (۲۰۰۷) با استفاده از تکنیک‌های GIS مناطق مناسب برای تغذیه آب‌های زیرزمینی مصنوعی در آبخوان ساحلی در حوضه زهکشی گاو بندی در جنوب ایران را تعیین کردند [۶]. در این مطالعه عواملی مانند شیب، سرعت نفوذ، عمق آب زیرزمینی، کیفیت رسوبات آبرفتی و

کاربری زمین در نظر گرفته شد. برای عملیات تلفیق لایه‌ها از منطق بولی و فازی استفاده شد. برای تعیین روابط بین واحدهای ژئومورفولوژی و سایت‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی، کاربری زمین و نقشه ژئومورفولوژی از تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد حدود ۱۲ درصد از منطقه مطالعه شده به عنوان سایت‌های نسبتاً مناسب و هشت درصد برای تغذیه آب‌های زیرزمینی مصنوعی مناسب است. ارتباط بین ژئومورفولوژی و مناطق مناسب برای تغذیه آب‌های زیرزمینی نشان می‌دهد بیشتر این مناطق در مخروط‌افکنه‌ها و واحد سنگ‌فرش واقع شده‌اند. به دلیل وجود عوامل متعدد در عملیات مکان‌یابی تغذیه مصنوعی نیاز به استفاده از سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره احساس می‌شود. با توجه به این موضوع، در تحقیق حاضر سعی شده است که با ایجاد و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مختلف، مکان مناسب برای اجرای تغذیه مصنوعی در دشت فتویه شناسایی و اولویت‌بندی شود.

موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه شده

دشت فتویه در بخش مرکزی شهرستان بستک و در استان هرمزگان قرار گرفته است. این دشت با وسعت ۲۹۹ کیلومترمربع از لحاظ جغرافیایی در محدوده بین ۱۲° ۵۴ تا ۴۴° ۵۴ طول شرقی و ۱۲° ۲۷ تا ۲۵° ۲۷ عرض شمالی واقع شده است. دشت فتویه جزء محدوده مطالعاتی کهورستان بوده و در حوضه آبخیز رودخانه کل واقع شده است. کلیه جریان‌های سطحی این دشت که مجموعه‌ای از آبراهه‌ها و رودخانه اصلی آن است از طریق رودخانه کل به خلیج فارس می‌ریزد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی دشت فتویه را نشان می‌دهد.

روش تحقیق

بر اساس اهداف تحقیق از روش‌های زیر استفاده شد:

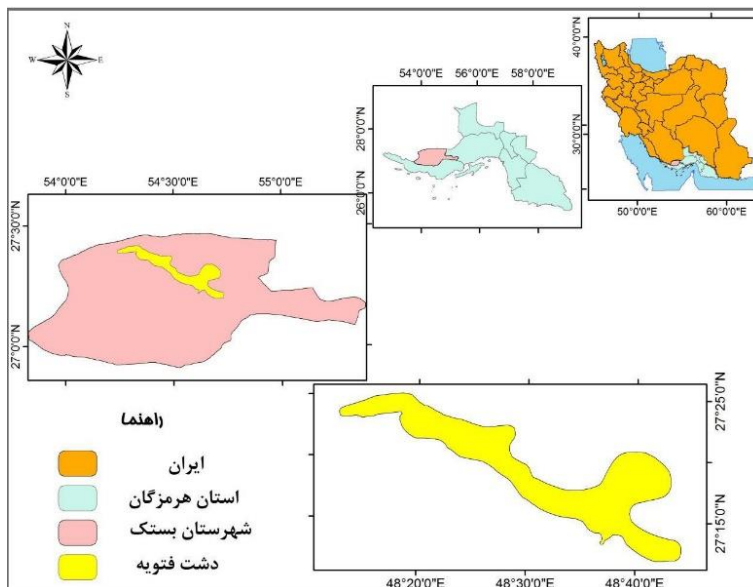
روش AHP: برای انجام روش AHP، با استفاده از نظرهای کارشناسان به مقایسه زوجی معیارها پرداخته شد. در این روش به هر معیار بر اساس درجه اهمیت، عددی بین یک تا نه اختصاص داده شد. در نهایت، میزان سازگاری و وزن نهایی معیارها به دست آمد.

روش ANP: برای وزن‌دهی معیار و زیرمعیارها در روش ANP، از این برنامه استفاده شد. بدین ترتیب که ابتدا

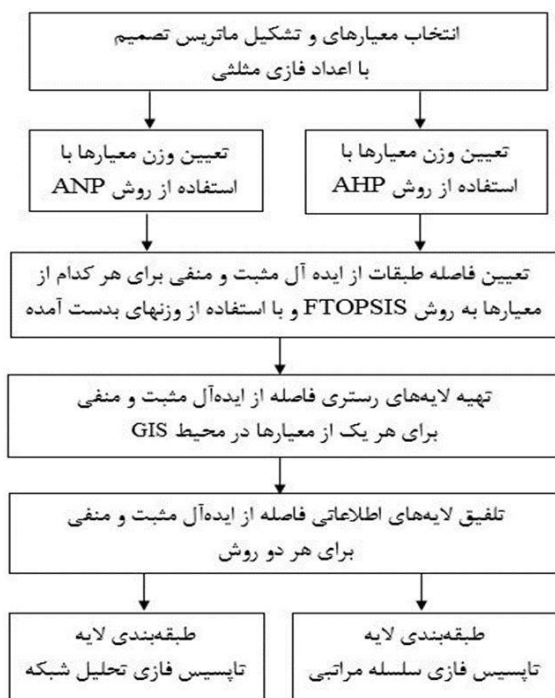
تعیین شد. در مرحله آخر رتبه‌بندی گزینه‌ها به دست آمد. روش همپوشانی: به منظور تهیه نقشه‌های رستری، تحلیل و تلفیق لایه‌ها استفاده شد. مراحل انجام تحقیق حاضر را می‌توان در فلوجارت زیر خلاصه کرد (شکل ۲).

رابطه‌ای بین آنها ایجاد شد و در نهایت وزن نهایی معیار و زیرمعیارها به دست آمد.

روش تاپسیس فازی: ابتدا، با اعداد مثلثی فازی ماتریس تصمیم تشکیل شد. سپس، وزن معیارها در ماتریس نرمالیزه اعمال شده و فاصله گزینه‌ها از گزینه ایده‌آل مثبت و منفی



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی دشت فتویه



شکل ۲. فرایند انجام تحقیق

میزان گرادیان هیدرولیکی کم باشد، بیشتر آب تزریقی از طریق نقاط خروجی تخلیه می‌شود و عملاً فرایند تغذیه مصنوعی با مشکل مواجه می‌شود [۱۰].

فاصله از آب‌های سطحی

در مکان‌یابی تغذیه مصنوعی به آبراهه‌هایی با حجم رواناب کافی توجه می‌شود. علاوه بر این، ابنیه باید در نواحی‌ای ساخته شوند که در فاصله مناسب از آبراهه‌هایی با رواناب کافی قرار گرفته باشند. با زیادبودن فاصله نواحی شناسایی شده برای اجرای طرح تغذیه مصنوعی از رودخانه، هزینه اجرای طرح زیاد می‌شود و عملاً توجیه اقتصادی خود را از دست می‌دهد و اگر این فاصله کم باشد، ممکن است رودخانه به حالت زهکش درآمده و بخشی از آب تزریقی به درون زمین را زهکشی کند [۱۱].

فاصله از چاه‌ها

برای ساخت ابنیه تغذیه مصنوعی در نزدیکی چاه‌ها حریمی را در نظر می‌گیرند تا بار فشاری که وارد می‌کنند، موجب تخریب چاه‌ها نشود.

فاصله از گسل

از آنجا که مناطق نزدیک به گسل شرایط مناسب‌تری برای تغذیه آبخوان دارند، از امتیاز بیشتری برخوردارند.

یافته‌ها

شناسایی و اولویت‌بندی مکان‌های مناسب تغذیه مصنوعی با استفاده از روش تاپسیس فازی سلسله‌مراتبی

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی با شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای تصمیم‌گیری شروع می‌شود. این عناصر شامل هدف، معیارها یا مشخصه‌ها و گزینه‌های احتمالی می‌شود که در اولویت‌بندی به کار گرفته می‌شوند. فرایند شناسایی عناصر و ارتباط بین آنها به ایجاد یک ساختار سلسله‌مراتبی منجر می‌شود. سلسله‌مراتبی بودن به این دلیل است که عناصر تصمیم‌گیری را می‌توان در سطوح مختلف خلاصه کرد [۱۲].

پس از تشکیل ماتریس مقایسه، به ترتیب زیر وزن‌های نسبی معیارها به دست می‌آید:

گام نخست: محاسبه مجموع مقادیر هر ستون در ماتریس مقایسه زوجی است (جدول ۱). گام دوم: استانداردسازی اعداد ماتریس است. گام سوم: محاسبه میانگین مؤلفه‌ها در هر ردیف از ماتریس استاندارد شده است؛ یعنی تقسیم مجموع

لایه‌های استفاده‌شده

شیب

شیب‌های زیاد به علت ایجاد فرسایش و همچنین شیب‌های بسیار کم به علت اینکه مانع جریان‌های آب می‌شوند، برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی مناسب نیستند [۶].

ارتفاع

کمترین و بیشترین ارتفاع منطقه به ترتیب ۳۶۵ و ۶۰۴ متر است. با افزایش ارتفاع، ارزش طبقات ارتفاعی کاهش می‌یابد.

کاربری اراضی

در نقشه کاربری اراضی، مناطق بایر به‌عنوان بهترین مکان‌ها برای تغذیه مصنوعی سفره‌های زیرزمینی شناخته شده است. نامناسب‌ترین کاربری محدوده مسکونی است. کاربری اراضی شامل استفاده از اراضی به‌منظور رفع نیازهای گوناگون انسان است [۷]. اجرای تکنیک‌های مختلف تغذیه مصنوعی، مستلزم وجود گستره‌های مناسب از نظر کاربری اراضی است. به طوری که این پهنه‌ها باید به دور از تمرکز تأسیسات، مناطق مسکونی، رخنمون‌های سنگی، مرداب‌ها و شورزارها، مناطق کویری و... باشد.

مناسب‌ترین منطقه برای تغذیه مصنوعی از نظر کاربری، مراتع و عرصه آبخوان است [۸].

هدایت الکتریکی

مؤلفه هدایت الکتریکی (EC) یا شوری آب به‌عنوان مبنایی برای شاخص کیفیت آب استفاده شد. هرچه EC بیشتر باشد، کیفیت آب کمتر می‌شود. بنابراین، با افزایش EC، ارزش مناطق کمتر می‌شود و به‌عکس.

نفوذپذیری

تأثیر این عامل در کاهش تبخیر و تعرق نمایان می‌شود، به گونه‌ای که اگر نفوذپذیری کم باشد، در شیب‌های کم، آب در روی سطح زمین باقی می‌ماند و تبخیر آن سبب افزایش املاح خاک می‌شود. میزان نفوذ به عواملی نظیر خصوصیات خاک، پوشش گیاهی و شیب وابسته است [۹].

گرادیان هیدرولیکی

هرچه سطح فشار آب‌های زیرزمینی کمتر باشد، به تغذیه آب بیشتری نیاز دارد. با تغذیه مصنوعی مناطق یادشده شیب گرادیان هیدرولیکی تعدیل می‌یابد. اگر در منطقه

ضریب اهمیت معیارها است. چنانچه این ضریب کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری در قضاوت‌ها مورد قبول است وگرنه باید در قضاوت‌ها تجدید نظر شود. به بیان دیگر، ماتریس مقایسه زوجی معیارها باید دوباره تشکیل شود. در این پژوهش سازگاری ۰/۰۴ بوده است؛ یعنی سازگاری در قضاوت‌ها رعایت شده است.

برای پیاده‌سازی روش تاپسیس فازی سلسله‌مراتبی توابع عضویت مثلثی برای هر یک از واژه‌های محاوره‌ای معرف ارجحیت در جدول ۳ مقادیر زبانی و عدد فازی مثلثی متناظر با وزن آنها آمده است.

امتیازهای استاندارد شده برای هر ردیف بر تعداد معیارها که حاصل هر یک ماتریس ستونی است. این میانگین‌ها تخمینی از وزن نسبی معیارهای مقایسه شده است. در این زمینه در نهایت وزن نهایی به دست می‌آید (جدول ۲). وزن نهایی مبنایی برای تصمیم‌گیری است و به عنوان نسبت‌های کارایی هر معیار در رسیدن به هدف نهایی به کار گرفته می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود مجموع ضریب اهمیت معیارها معادل یک است و این نشان‌دهنده نسبی بودن اهمیت معیارهاست. یکی از مزیت‌های فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی امکان بررسی سازگاری در قضاوت‌های انجام شده برای تعیین

جدول ۱. ماتریس مقایسه زوجی معیارها

لايه‌ها	شيب	نفوذپذیری	ف. از آب سطحی	ف. از چاه	کاربری اراضی	هدایت الکتریکی	سطح فشار	فاصله از غسل	ارتفاع
شيب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
نفوذپذیری	۰/۵	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
آب سطحی	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
چاه	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۳	۴	۵	۶
کاربری	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۳	۴	۵
هدایت الکتریکی	۰/۱۶	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۳	۴
سطح فشار	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۳
گسل	۰/۱۲۵	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲
ارتفاع	۰/۱۱	۰/۱۲۵	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱
مجموع	۲/۸۲	۴/۷۱	۷/۶	۱۱/۴۵	۱۶/۲۸	۲۲/۰۸	۲۸/۸۳	۳۶/۵	۴۴

جدول ۲. محاسبه وزن نهایی

لايه‌ها	شيب	نفوذپذیری	ف. از آب سطحی	ف. از چاه	کاربری اراضی	هدایت الکتریکی	سطح فشار	فاصله از غسل	ارتفاع	وزن نهایی
شيب	۰/۵	۰/۴۲	۰/۳۹	۰/۳۵	۰/۳	۰/۲۷	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۲	۰/۳۱
نفوذپذیری	۰/۷	۰/۲۱	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۲	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۲۲
آب سطحی	۰/۲	۰/۱	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۵
چاه	۰/۹	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۱
کاربری	۰/۷	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۰۷
هدایت الکتریکی	۰/۱۶	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۵
سطح فشار	۰/۵	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۳
گسل	۰/۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۲
ارتفاع	۰/۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱

جدول ۳. مقادیر زبانی و عدد فازی مثلثی متناظر با وزن آنها

مقدار زبانی	عدد فازی مثلثی متناظر با متغیر وزن
بسیار کم	(۰، ۰، ۰/۳)
کم	(۰، ۰/۲، ۰/۴)
متوسط	(۰/۳، ۰/۵، ۰/۷)
زیاد	(۰/۶، ۰/۸، ۱)
بسیار زیاد	(۰/۸، ۱، ۱)

جدول ۴. ماتریس تصمیم با اعداد فازی مثلثی

	ارتفاع (۰/۰۱۸)	گسل (۰/۰۲۵)	سطح فشار (۰/۰۳۵)	هدایت الکتریکی (۰/۰۵۱)	کاربری اراضی (۰/۰۷۴)	فاصله از چاهها (۰/۱۰۸)	ف. از آب سطحی (۰/۱۵۵)	نفوذپذیری (۰/۲۲۲)	شیب (۰/۳۱۲)
1	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)
2	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)
T=3	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)
4	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)
5	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)	(۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸)

اطلاعاتی مورد بررسی اعمال شد و برای هر معیار دو لایه اطلاعاتی به نام‌های فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی تشکیل شد. در این مطالعه هر پیکسل از لایه‌های رستری با ابعاد ۱۰ × ۱۰ متر به عنوان یک گزینه در نظر گرفته می‌شود. این لایه‌ها در محیط GIS تلفیق شدند.

مرحله پنجم: در محیط GIS با استفاده از ابزار Raster Calculator رتبه معیارها در لایه‌های رستری مربوط به آن اعمال می‌شود و تا لایه نهایی پهنه‌بندی تغذیه مصنوعی حاصل شود. در این لایه هرچه امتیاز یک پیکسل بیشتر باشد، نشان‌دهنده مطلوبیت بیشتر آن پیکسل برای انجام عملیات تغذیه مصنوعی است.

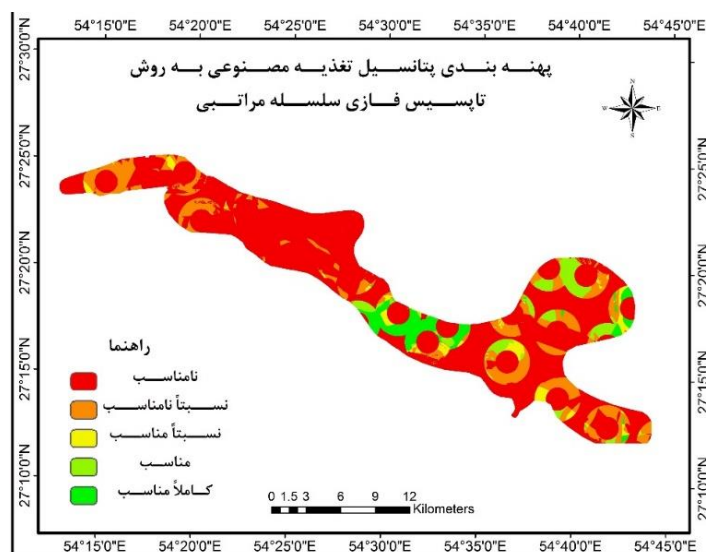
در مرحله ششم لایه مد نظر با استفاده از روش شکست طبیعی طبقه‌بندی شد. نقشه نهایی پهنه‌بندی تغذیه مصنوعی دشت فتویه براساس روش تاپسیس فازی سلسله‌مراتبی در شکل ۳ ارائه شده است. مشاهده می‌شود که مناطق مناسب و کاملاً مناسب در فاصله ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متری از چاه‌های جنوبی دشت واقع شده‌اند.

در مرحله اول ماتریس تصمیم با مؤلفه‌های عددی فازی تشکیل شد. از آنجا که اعداد فازی استفاده‌شده یک مقیاس دارند، نیازی به نرمالیزه کردن این ماتریس نیست.

در مرحله دوم با اعمال وزن نهایی معیارها (به‌دست آمده از روش AHP) در مؤلفه‌های ماتریس T، ماتریس وزن دار فازی به دست می‌آید.

در مرحله سوم ویژگی گزینه‌های ایده‌آل مثبت و منفی به ترتیب با قراردادن اعداد مثلثی بیشترین و کمترین در هر معیار در یک بردار مشخص می‌شود.

در مرحله چهارم هر مؤلفه از ماتریس D+، فاصله از طبقه ایده‌آل مثبت و هر مؤلفه از D- فاصله از طبقه ایده‌آل منفی را نشان می‌دهد. در این مرحله با تفریق هر یک از مؤلفه‌های ماتریس وزن دار از مقدار حد ایده‌آل مثبت و منفی، فاصله فازی از ایده‌آل مثبت و منفی به دست می‌آید. با تقسیم مجموعه مؤلفه‌های هر عدد فازی بر عدد ۳، ماتریس فاصله فازی‌زدایی شده از ایده‌آل مثبت و منفی حاصل می‌شود. ماتریس‌های D+ و D- در لایه‌های



شکل ۳. پهنه‌بندی پتانسیل تغذیه مصنوعی به روش تاپسیس فازی سلسله‌مراتبی

به هم مربوط می‌شوند، برخی از آنها ممکن است به عناصر سایر خوشه‌ها نیز وابسته باشند. این موضوع روابط بین خوشه‌ها و عناصر خوشه‌های مختلف را مشخص می‌کند. شکل ۴ ساختار شبکه‌ای مدل را نشان می‌دهد.

مقایسه زوجی خوشه‌ها

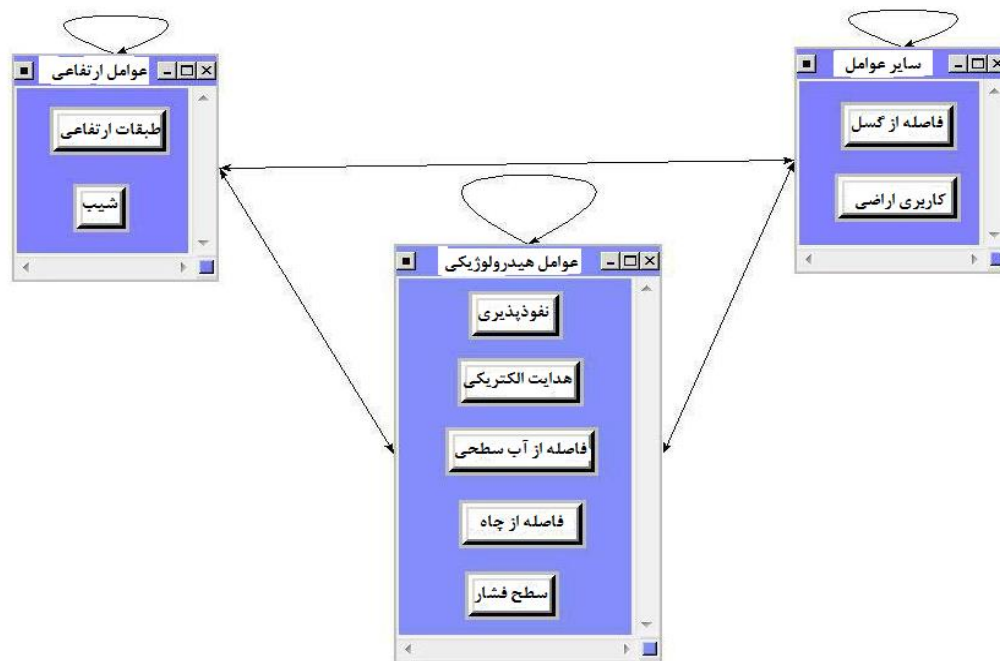
در این مرحله خوشه‌ها با هم مقایسه می‌شوند. با توجه به ترجیحات تصمیم‌ساز وزن خوشه‌ها به دست می‌آید. در اینجا برای محاسبه وزن نسبی از بردار ویژه ماتریس مقایسه زوجی استفاده شده است. برای حصول اطمینان از سازگاری مقایسه‌های انجام‌شده، نرخ ناسازگاری (C.R) محاسبه شده است و براساس شاخص‌های ساعتی متناسب با تعداد سطرهای ماتریس وزن‌ها، این اطمینان حاصل شد که ماتریس‌ها سازگارند. جدول ۵ ماتریس مقایسه زوجی و وزن خوشه‌ها نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۳ مساحت اولویت‌بندی مکان‌های تغذیه مصنوعی منطقه به روش تاپسیس فازی سلسله‌مراتبی مشخص شده است. مناطق با اولویت اول ۱۴۶۷ هکتار (طبقه کاملاً مناسب)، مناطق با اولویت دوم با مساحت ۱۵۷۳ هکتار (مناسب) و مناطق با اولویت سوم ۹۵۲ هکتار (نسبتاً مناسب) هستند.

شناسایی و اولویت‌بندی مکان‌های مناسب تغذیه مصنوعی با استفاده از روش تاپسیس فازی تحلیل شبکه‌ای

ایجاد شبکه ANP

با توجه به بررسی منابع و نیز ضوابط سازمانی شناسایی مکان‌های مناسب تغذیه مصنوعی، معیارها و شاخص‌ها در قالب سه خوشه عوامل هیدروژئولوژی، عوامل ارتفاعی و سایر، سازمان‌دهی شدند. داخل هر خوشه عناصر مربوط به آن جای گرفتند. عناصر هر خوشه ضمن آنکه در داخل خود



شکل ۴. ارتباط و وابستگی بین خوشه‌ها و معیارها

جدول ۵. ماتریس مقایسه زوجی و وزن خوشه‌ها

خوشه‌ها	عوامل هیدروژئولوژی	عوامل ارتفاعی	سایر عوامل	بردار ویژه
عوامل هیدروژئولوژی	۱	۳	۴	۰/۶۲۵
عوامل ارتفاعی	۰/۳۳	۱	۲	۰/۲۳۸
سایر عوامل	۰/۲۵	۰/۵	۱	۰/۱۳۶

تشکیل ابرماتریس اولیه و ابرماتریس وزنی

بعد از آنکه مقایسه‌های زوجی انجام شد، نتایج وارد ابرماتریس می‌شود. ابرماتریس اولیه از تلفیق ماتریس‌های مختلف به‌دست می‌آید (جدول ۶). جمع عناصر هر ستون ابرماتریس بیش از یک است. در مرحله بعد ابرماتریس نرمال می‌شود. ابرماتریس به‌دست‌آمده، ابرماتریس وزنی است.

محاسبه وزن نهایی معیارها

در آخرین مرحله با توجه به جدول وزن خوشه‌ها و ابرماتریس حد، وزن نهایی معیارها محاسبه می‌شود (جدول ۷). در این مرحله وزن نهایی معیارها حاصل از روش ANP، در مؤلفه‌های ماتریس T ضرب شده و ماتریس وزن‌دار فازی به‌دست آمده است (جدول ۸).

جدول ۶. ابرماتریس اولیه

معیار	ف. از گسل	کاربری اراضی	شیب	ارتفاع	سطح فشار	ف. از آب سطحی	ف. از چاه	نفوذپذیری	هدایت الکتریکی
گسل	۰	۱	۰	۰	۰	۰/۲	۰	۰	۰
کاربری اراضی	۱	۰	۱	۱	۰	۰/۸	۱	۱	۱
شیب	۰	۰/۵	۰	۱	۱	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۲
ارتفاع	۱	۰/۵	۱	۰	۰	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۸
سطح فشار	۰	۰	۰/۰۵	۰/۰۷	۰	۱	۰/۱۴	۰/۲	۰
ف. از آب سطحی	۰/۳۳	۰/۲۹	۰/۲۵	۰/۲۹	۰/۲۹	۰	۰/۶۵	۰	۰
ف. از چاه	۰	۰/۱۶	۰/۱۵	۰	۰/۱۶	۰	۰	۰/۸	۰/۷۵
نفوذپذیری	۰/۶۶	۰/۵۴	۰/۴۲	۰/۴۹	۰/۵۳	۰	۰	۰	۰/۲۵
هدایت الکتریکی	۰	۰	۰/۱۱	۰/۱۴	۰	۰	۰/۲۱	۰	۰

جدول ۷. وزن نهایی معیارها

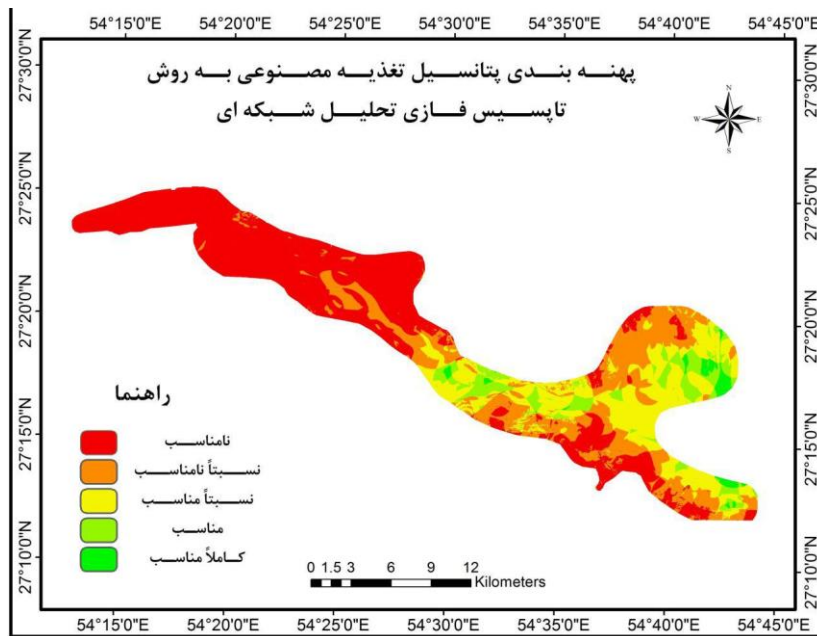
خوشه‌ها	وزن خوشه‌ها	عناصر	وزن عمومی	وزن نهایی
عوامل هیدروژئولوژی	۰/۶۲۵	نفوذپذیری	۰/۱۷	۰/۱۰۶
		هدایت الکتریکی	۰/۰۴	۰/۰۲۵
		فاصله از آب سطحی	۰/۱۵	۰/۰۹۳
		فاصله از چاه‌ها	۰/۱۴	۰/۰۸۷
عوامل ارتفاعی	۰/۲۳۸	سطح فشار	۰/۱۴	۰/۰۸۷
		شیب	۰/۱۷	۰/۰۴
		ارتفاع	۰/۰۷	۰/۰۱۶
سایر عوامل	۰/۱۳۶	فاصله از گسل	۰/۰۲	۰/۰۰۲
		کاربری اراضی	۰/۱	۰/۰۱۳

جدول ۸. ماتریس تصمیم با اعداد فازی مثلثی

ارتفاع (۰/۰۷)	گسل (۰/۰۰۲)	سطح فشار (۰/۰۸)	هدایت الکتریکی (۰/۰۲)	کاربری اراضی (۰/۰۱)	فاصله از چاه‌ها (۰/۰۸)	ف. از آب سطحی (۰/۰۹)	نفوذپذیری (۰/۱)	شیب (۰/۰۴)
(۰/۸، ۰/۸، ۰/۱)	(۰/۶، ۰/۸، ۰/۱)	(۰/۸، ۰/۱، ۰/۱)	(۰/۶، ۰/۸، ۰/۱)	(۰، ۰/۲، ۰/۲)	(۰/۴، ۰/۶، ۰/۱)	(۰، ۰، ۰/۲)	(۰/۸، ۰/۱، ۰/۱)	(۰/۸، ۰/۱، ۰/۱)
(۰/۶، ۰/۶، ۰/۱)	(۰/۴، ۰/۶، ۰/۸)	(۰/۶، ۰/۸، ۰/۸)	(۰/۴، ۰/۶، ۰/۸)	(۰/۸، ۰/۱، ۰/۱)	(۰/۴، ۰/۶، ۰/۸)	(۰، ۰/۲، ۰/۴)	(۰/۸، ۰/۱، ۰/۱)	(۰/۶، ۰/۸، ۰/۸)
(۰/۴، ۰/۴، ۰/۶)	(۰/۲، ۰/۴، ۰/۶)	(۰/۴، ۰/۶، ۰/۶)	(۰/۲، ۰/۴، ۰/۶)	(۰، ۰، ۰/۲)	(۰/۲، ۰/۴، ۰/۶)	(۰/۲، ۰/۴، ۰/۶)	(۰/۸، ۰/۱، ۰/۱)	(۰/۴، ۰/۶، ۰/۸)
(۰/۲، ۰/۲، ۰/۴)	(۰، ۰/۲، ۰/۴)	(۰/۴، ۰/۶، ۰/۴)	(۰، ۰/۲، ۰/۴)	(۰/۲، ۰/۴، ۰/۶)	(۰، ۰/۲، ۰/۴)	(۰/۴، ۰/۶، ۰/۸)	(۰/۸، ۰/۱، ۰/۱)	(۰/۲، ۰/۶، ۰/۶)
(۰، ۰، ۰/۲)	(۰، ۰، ۰/۲)	(۰، ۰، ۰/۲)	(۰، ۰، ۰/۲)	(۰/۴، ۰/۶، ۰/۸)	(۰، ۰، ۰/۲)	(۰/۶، ۰/۸، ۰/۱)	(۰/۸، ۰/۱، ۰/۱)	(۰، ۰، ۰/۲)

پنج طبقه از نامناسب تا کاملاً مناسب تقسیم‌بندی شده است. شکل ۵ نقشه طبقه‌بندی تغذیه مصنوعی دشت فتویه بر اساس روش تاپسیس فازی تحلیل شبکه‌ای را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مناطق جنوبی دشت پتانسیل زیادی برای تغذیه مصنوعی دارند.

در محیط GIS با استفاده از ابزار Raster Calculator رتبه معیارها در لایه‌های رستری مربوط به آن ضرب شده و لایه نهایی پهنه‌بندی تغذیه مصنوعی به دست آمد. لایه پهنه‌بندی با استفاده از روش شکست طبیعی موجود در ابزار Reclassify طبقه‌بندی شد. این لایه در



شکل ۵. پهنه‌بندی پتانسیل تغذیه مصنوعی به روش تاپسیس فازی تحلیل شبکه‌ای

سلسله‌مراتبی یعنی انعکاس تأثیرات عناصر به صورت یک‌طرفه و از بالا به پایین را مرتفع می‌سازد. به این ترتیب که یک شبکه خوشه‌هایی از عناصر دارد که وابستگی‌های داخلی و خارجی بین آن‌ها برقرار است. به طور کلی، روش ANP تکامل یافته AHP است.

- در فرایند استانداردسازی عوامل و معیارها روش فازی به دلیل توانایی انعکاس بهتر واقعیت‌ها، کارایی بیشتر و مؤثری دارد. با استفاده از توابع عضویت موجود در این روش می‌توان به کلاس‌های مختلف موجود در معیارها با توجه به تأثیری که در هدف مد نظر دارند، ارزش مناسبی اعمال کرد.

- به‌کارگیری اعداد مثلثی فازی در روش‌های تاپسیس فازی سلسله‌مراتبی و تاپسیس فازی تحلیل شبکه‌ای کارایی سیستم را بیشتر می‌کند.

- مواقعی که چارچوب خاصی برای تعیین اهمیت و ارزش معیارها وجود ندارد، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره از بهترین گزینه‌هاست. شیوه‌های

مساحت اولویت‌بندی مکان‌های تغذیه مصنوعی به روش تاپسیس فازی تحلیل شبکه‌ای مشخص شده است. مناطق با اولویت اول ۵۰۱ هکتار (طبقه کاملاً مناسب)، مناطق با اولویت دوم با مساحت ۲۲۵۰ هکتار (طبقه مناسب) و مناطق با اولویت سوم ۶۳۵۷ هکتار (طبقه نسبتاً مناسب) هستند. با بررسی مجدد معیارهای مطالعه‌شده و بازدید میدانی از منطقه مشخص شد که نتیجه روش حاصل از روش تاپسیس فازی تحلیل شبکه‌ای نسبت به تاپسیس فازی سلسله‌مراتبی کارایی بیشتری دارد.

نتایج

- با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی می‌توان طبقه‌بندی و مکان‌یابی مکان‌های تغذیه مصنوعی صورت گرفت. به طور کلی، در این سیستم می‌توان با مدل‌سازی جهان واقعی و تسلط بیشتر به موضوع مطالعه‌شده، مسائل را با دقت و سرعت عمل بیشتری بررسی و تحلیل کرد. - استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای ضعف شیوه تحلیل

- Sciences. Shahid Chamran University of Ahvaz. 2009. [Persian].
- [7]. Karimi E, Zare M, Karimi M, Bahrami Z. Areas suitable of site selection for artificial recharge using GIS and hierarchical analysis method. 1st National symposium on Geology of Iran. Shiraz. 2011. [Persian].
- [8]. Sepand S. Feasibility study of artificial recharge in the range of Lali. MSc thesis. Faculty of Sciences. Shahid Chamran University of Ahvaz. 2008. [Persian].
- [9]. Ebrahimi F. Artificial recharge of site selection in the township Shahrood. M.A. thesis. Shahrood University. 2011. [Persian].
- [10]. NajafAbadi AM. Areas suitable of site selection for artificial recharge of groundwater in two ways Boolean logic and fuzzy basin Shahrekord plain. M.Sc. thesis. Shahrekord University. 2010. [Persian].
- [11]. Bowen WM. AHP: Multiple Criteria Evaluation. In: Klosterman, R, Brail R and Bossard EG, Editor. Spreadsheet Models for Urban and Regional Analysis. New Brunswick: Center for Urban Policy Research. 1993. pp. 333-357.

تحلیل سلسله‌مراتبی و تحلیل شبکه‌ای به دلیل تعیین اولویت معیارها یا استفاده از نظرات کارشناسی و مقایسات زوجی از معروف‌ترین این روش‌ها هستند. از سوی دیگر، بیان بسیاری از عوامل با منطق ریاضی کلاسیک امکان‌پذیر نیست و همیشه در دنیای واقعی عدم قطعیت وجود دارد و چون روش تاپسیس فازی تحلیل شبکه‌ای این مهم را در نظر می‌گیرد، روش مناسبی است.

- بر اساس روش تاپسیس فازی سلسله‌مراتبی مناطق مناسب و کاملاً مناسب در فاصله یک هزار تا ۲ هزار متری از چاه‌های جنوبی دشت واقع شده‌اند. در این روش مساحت مناطق با اولویت اول ۱۴۶۷ هکتار، مناطق با اولویت دوم ۱۵۷۳ هکتار و اولویت سوم ۹۵۲ هکتار هستند.

- روش تاپسیس فازی تحلیل شبکه‌ای نشان می‌دهد مناطق جنوبی دشت پتانسیل زیادی برای تغذیه مصنوعی دارند. بر اساس این روش مناطق با اولویت اول ۵۰۱ هکتار، مناطق با اولویت دوم با مساحت ۲۲۵۰ هکتار و مناطق با اولویت سوم ۶۳۵۷ هکتار هستند.

منابع

- [1]. Alizadeh A. The principles of Applied Hydrology, 13th edition. Mashhad: Astan Quds Razavi; 2005. [Persian].
- [2]. Ravi Shankar MN, Mohan G. A GIS based hydrogeomorphic approach for identification of sitespecific artificial-recharge techniques in the Deccan volcanic province. J. Earth Syst. Sci. 2005. No, 114. pp. 505-514.
- [3]. Todd DK, Mays LW. Groundwater hydrology. 3rd, John Wiley and Sons publishers; 2005. P. 636. [4]. Salari S. Solid waste disposal site selection areas suitable for using GIS. M.Sc. thesis. Faculty of water science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz. 2012. [Persian].
- [4]. Sener B, Süzen ML, Doyuran V. Landfill site selection by using geographic information systems. Environmental Geology. 2006. 49 (3):376-388.
- [5]. Ghayoumian J, et al. 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. 2007. 30, 364 -374.
- [6] Torfi H. Plain Kharan Feasibility Study of artificial recharge techniques using remote sensing and GIS. M.A. thesis. Faculty of