فصلنامه علمی تخصصی
مهندسی و مدیریت ساخت
سال دوم، شماره اول
شماره پیاپی پنجم، بهار ۱۳۹۶

تعیین بهترین مکان برای اجرای طرح حوضچه‌های تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی با استفاده از دو روش بولین و AHP

نویسنده مسئول:
امید باقری دادوکلایی
آدرس ایمیل:
omid_bagheri@modares.ac.ir

امید باقری دادوکلایی*
دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی دانشگاه تربیت مدرس
جمال محمد ولی سامانی
عضو هیئت علمی گروه سازه‌های آبی دانشگاه تربیت مدرس
جواد سروریان
عضو هیئت علمی گروه مهندسی آب دانشگاه ایلام

چکیده:

برداشت بی رویه از آب های زیرزمینی و عدم جایگزینی آن‌ها، در بسیاری از آبخوان‌های کشور من‌جمله آبخوان دشت گرمسار موجب کاهش سطح آب زیرزمینی شده است. تعیین مناطق مناسب جهت تغذیه مصنوعی به‌عنوان راهکاری برای جبران این مشکل، از اهمیت زیادی برخوردار است. در این تحقیق از دو روش بولین و AHP با کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی (ArcGIS)، برای تعیین بهترین مکان اجرای طرح حوضچه‌های تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی در سطح دشت گرمسار سمنان استفاده شد. بدین منظور از ۸ پارامتر مؤثر شامل فاصله از رودخانه، شیب، ضخامت ناحیه غیراشباع، نفوذپذیری سطحی، زمین‌شناسی، کیفیت آب زیرزمینی، کاربری اراضی، تراکم زهکش استفاده شده و لایه‌های اطلاعاتی آن در ArcGIS تهیه شد. هرکدام از این لایه‌ها بر اساس منطق بولین و AHP امتیازدهی شده و درنهایت بر اساس عملگر هر یک از این روش‌ها با یکدیگر تلفیق شدند و نقشه‌های مکان مناسب برای تغذیه مصنوعی تهیه شد. طرح تغذیه مصنوعی اجرا شده در محدوده دشت گرمسار به‌عنوان نقطه کنترل، در طبقه مناسب روش AHP و روش بولین قرار گرفت. اراضی مناسب جهت اجرای طرح تغذیه مصنوعی با به‌کارگیری منطق بولین ۰/۷۸ درصد حاصل شد و روش AHP نیز ۳/۳۸ درصد خیلی مناسب و ۳۶/۳۹ درصد مناسب تشخیص داده شد.

کلمات کلیدی: حوضچه‌های تغذیه مصنوعی، روش AHP، منطق بولین، مکان‌یابی

Determine the best place to implement groundwater artificial pond design by using two methods of boolean and AHP

JECM
Journal of Engineering & Construction Management
Volume 2 , Issue 1,
Spring 2017

Corresponding author:
Omid Bagheri Dadvokalaii
Email address:
omid_bagheri@modares.ac.ir

Omid Bagheri Dadvokalaii*
master Student, Faculty of Engineering, Tarbiat Modares University
Jamal Mohammad Vale Samani
faculty member of Tarbiat Modares University
Javad Sarvarian
faculty member of Ilam University Water Engineering Department

۱- مقدمه

آب‌های زیرزمینی یکی از منابع اصلی و کلیدی آب شرب به شمار می‌رود و برای زندگانی بشر بسیار ضروری است که نه‌تنها به لحاظ کمی حائز اهمیت است بلکه در مقایسه با آب‌های سطحی دارای محاسنی است که اهمیت آن را بیشتر می‌نماید. در چند دهه اخیر با افزایش رشد جمعیت و به دنبال آن افزایش نیاز آبی کشور، تعادل منابع آبی در معرض تهدید قرارگرفته است. برداشت بی‌رویه آب از سفره‌های آبدار در برخی مناطق موجب افت شدید سطح ایستابی و کاهش منابع آب زیرزمینی شده است[۱]. در این راستا می‌بایست با اعمال مدیریتی صحیح و اجرای برنامه‌های اصولی از افت سطح آب زیرزمینی جلوگیری کرده و در صورت امکان تعادل به‌هم‌خورده‌ی آبخوان را احیا نمود. تغذیه مصنوعی آبخوان به‌وسیله‌ی آب‌های سطحی مازاد یکی از روش‌های مؤثر در راستای ایجاد تعادل بین برداشت از آبخوان و تغذیه آبخوان بوده که می‌تواند بخشی از آب‌های برداشتی را جایگزین کند.

نخستین مرحله در یک عملیات تغذیه مصنوعی، مکان‌یابی مناطق مناسب جهت اجرای طرح تغذیه است. در دهه‌های اخیر، به منظور انجام مکان‌یابی روش‌ها و تحقیقات متعددی در ایران و جهان اجرا شده است که ازجمله می‌توان به تحقیقات چودهوري و همکاران (۲۰۱۰)، راحمان و همکاران (۲۰۱۲)، خدیجا و همکاران (۲۰۱۵)، سیف و همکاران (۱۳۹۲)، نسیمی و همکاران (۱۳۹٤) اشاره کرد. نسیمی و همکاران (۱۳۹٤)، از میزان بارش، شیب، نفوذپذیری سطحی، زمین‌شناسی، هدایت الکتریکی آبخوان، عمق سطح ایستابی، قابلیت انتقال آبخوان و کاربری زمین به عنوان عوامل مؤثر در شکل پذیری جریان در آستانه ورود به سرریز متأثر از شکل هندسی دیواره هدایت جریان می باشد. انتخاب حالت بهینه برای شکل هندسی دیواره هدایت نقش به سزایی در عملکرد جریان روی سرریز دارد به همین دلیل هرگونه آشفتگی و اغتشاش جریان در قسمت کانال می تواند تلاطم جریان روی سرریز و کاهش ضریب دبی و حتی افزایش احتمال کاویتاسیون را به همراه داشته باشد [۵ و ٦]. مکان‌یابی تغذیه مصنوعی حوضه آبخیز بوشکان استفاده کردند. درنهایت سه منطقه آبرفتی برای تغذیه مصنوعی با اهداف کوتاه مدت و یک منطقه آبرفتی برای تغذیه مصنوعی با اهداف بلند مدت انتخاب کردند. سیف و همکاران (۱۳۹۲)، حوضه آبی رفسنجان را مورد مطالعه قرار دادند که بهترین گزینه را تغذیه مصنوعی تشخیص دادند. آن‌ها شش منطقه را به کمک روش Topsis و با استفاده از ۱۳ پارامتر مؤثر مطالعه خود را انجام دادند و درنهایت اولویت مناطق را از جهت تغذیه مصنوعی مشخص کردند. رحیمی و همکاران (۲۰۱٤)، دشت گره بایگان ایران را با هدف تعیین بهترین مکان مناسب برای پخش سیلاب و هدایت آن به سازندهای نفوذپذیر برای تغذیه مصنوعی مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها از ترکیب روش تحلیل سلسله مراتبی و الگوریتم ژنتیک برای وزن دهی استفاده کردند. هدف از این تحقیق تعیین مکان مناسب برای اجرای طرح تغذیه مصنوعی با کمک دو روش بولین و AHP در دشت گرمسار سمنان می‌باشد.

۲. داده‌ها و روش‌ها

۲-۱ محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه به مساحت ۵۳۳/۵ کیلومترمربع قسمتی از دشت گرمسار واقع در استان سمنان بوده که در محدوده «۲۳'۱٤"۵۲ تا «٤۵'۳٦"۵۲ طول شرقی و «٤٦'۰۵"۳۵ تا «۳۲'۱۷"۳۵ عرض شمالی قرار دارد و توسط رودخانه حبله رود تغذیه می‌شود (شکل ۱). در این دشت، چاه‌های دستی و عمیق زیادی حفاری شده است. بر اساس اطلاعات آخرین آماربرداری صورت پذیرفته توسط شرکت آب منطقه‌ای استان سمنان بررسی‌ها نشان داده که حفاری چاه‌های عمیق در سال ۱۳۵۷ به‌شدت افزایش داشته و میزان بهره‌برداری از آبخوان آبرفتی دشت گرمسار نیز رو به فزونی نهاده است، به‌طوری که میزان بهره‌برداری از آبخوان در حال حاضر بسیار بیش از میزان تغذیه آن بوده و لذا آبخوان با کاهش حجم مخزن روبرو است و تعدادی از چاه‌های موجود در رأس مخروط افکنه دشت گرمسار نیز کاملاً خشک شده‌اند.

شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

۲-۲ پارامترهای مؤثر

با توجه به هدفی که در این تحقیق دنبال می‌شود، بیشتر عواملی موردتوجه قرار می‌گیرند که در تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی مؤثرتر باشند. علاوه بر این بیشتر مواردی که آمار و اطلاعات مربوط به آن‌ها کامل‌تر و بیشتر در دسترس بودند بررسی می‌شوند؛ بنابراین از لایه‌های اطلاعاتی فاصله از رودخانه، شیب، ضخامت ناحیه غیراشباع آبرفت، نفوذپذیری سطحی، زمین‌شناسی، کیفیت آب زیرزمینی، کاربری اراضی و تراکم زهکش در مطالعه حاضر استفاده می‌شود. طبقه‌بندی هر پارامتر بر اساس دیدگاه مناسب برای تغذیه مصنوعی و استفاده از منابع قبلی در این زمینه در جدول ۱ آورده شده است. لایه‌های کلاس‌بندی شده‌ی تراکم زهکش، کیفیت آب زیرزمینی، زمین‌شناسی، نفوذپذیری سطحی، شیب، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی و ضخامت لایه خشک بر اساس داده‌های جدول ۱ تهیه شد.

جدول ۱. طبقه‌بندی معیارها بر اساس تناسب برای تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی

معیار- کلاس	خیلی مناسب	مناسب	متوسط	نامناسب
فاصله از رودخانه	۲۰۰-۵۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۰-۲۰۰، >۱۵۰۰
شیب	۰-۲	۲-۴	۴-۸	>۸
ضخامت ناحیه غیراشباع آبرفت	>۴۵	۳۰-۴۵	۱۵-۳۰	<۱۵
نفوذپذیری سطحی	>۴۵	۲۵-۴۵	۱۵-۲۵	۰-۱۵
کیفیت آب زیرزمینی	۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۲۲۵۰	۲۲۵۰-۴۰۰۰	>۴۰۰۰
تراکم زهکش	۰-۰/۷	۰/۷-۱/۴	۱/۴-۲/۱	>۲/۱

شکل ۲. چارچوب کلی انجام مکان‌یابی عرصه‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی

برای مکان‌یابی حوضچه‌ها در تحقیق حاضر از مدل‌های مفهومی در محیط GIS استفاده می‌شود. این مدل‌ها با انتخاب و مدل‌سازی داده‌ها به تصمیم‌گیری در خصوص وزن‌دار کردن لایه‌ها و اینکه چه مناطقی برای هدف مطالعه مناسب می‌باشد، کمک می‌کنند. مراحل فرآیند مکان‌یابی با استفاده از نرم‌افزار GIS در شکل ۲ نشان داده شده است.

۲-۳ وزن دهی لایه ها

تلفیق لایه‌ها بدون در نظر گرفتن اهمیت هر لایه در مکان‌یابی نمی‌تواند ارزش واقعی هر لایه را در تلفیق دخالت دهد. لذا بعد از آماده‌سازی و تهیه لایه‌های اطلاعاتی موردنیاز، از مدل‌های مفهومی استفاده شده و لایه‌های اطلاعاتی وزن دهی می‌شوند. وزن دهی به لایه‌ها در تحقیق حاضر با استفاده از دو روش بولین، AHP صورت می‌گیرد. امتیازبندی هر مشخصه بر اساس نظر کارشناسی و تحقیقات قبلی انجام گرفته و اطلاعات موجود در منابع مربوطه، انجام گرفته است. در این روش کلیه فاکتورهای ورودی دارای ارزش یکسانی می‌باشند و واحدهای مکانی موجود در هر نقشه فاکتور که دارای ارزش‌های مختلفی از لحاظ آن فاکتور هستند، دریکی از دو کلاس صفر و یک قرار می‌گیرند. از نقشه‌های شیب، نفوذپذیری، ضخامت لایه خشک، کیفیت آب، تراکم زهکش، فاصله از رودخانه و زمین‌شناسی به‌عنوان نقشه‌های پایه استفاده شده و به‌صورت صفر و یک امتیازدهی می‌شوند. در این منطق فقط دو کلاس مناسب و نامناسب وجود دارد.

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یک سیستم طراحی شده برای تصمیم‌گیری چند معیاره است. این روش امکان فرموله کردن مسئله را به‌صورت سلسله مراتبی فراهم کرده و همچنین امکان در نظر گرفتن عوامل مختلف کمی و کیفی را در حل مسائل دارد [٤]. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی با طی مراحل ۱- ساخت سلسله مراتبی ۲- مقایسه‌های زوجی ۳- تعیین وزن گزینه‌ها ٤- محاسبه نرخ ناسازگاری، منجر به انتخاب گزینه برتر و یا اولویت‌بندی گزینه‌ها خواهد شد. برای اولویت‌بندی در تحلیل سلسله مراتبی ابتدا فاکتورها به‌صورت دوبه‌دو باهم و بر اساس جدول ۲ مقایسه می‌شوند (مقایسات زوجی).

جدول ۲. مقادیر ارجحیت گزینه‌ها در مقایسه زوجی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

ترجیحات(قضاوت شفاهی)	مقدار عددی	توضیح
کاملاً مهم تر یا کاملاً مطلوب تر	۹	اهمیت خیلی بیشتر A نسبت به B به طور قطعی به اثبات رسیده است.
اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی	۷	تجربه نشان می دهد که اهمیت A خیلی بیشتر از B است
اهمیت یا مطلوبیت قوی	۵	تجربه نشان می دهد که اهمیت A خیلی بیشتر از B است.
کمی مطلوب تر یا کمی مهم تر	۳	تجربه نشان می دهد که برای تحقق هدف اهمیت A بیشتر از B است
اهمیت یا مطلوبیت یکسان	۱	در تحقق هدف دو معیار اهمیت مساوی دارند.
اولویت های بین فواصل	۸،۶،۴،۲	هنگامی که حالت های میانه وجود دارد

بعد از تعیین وزن‌های لایه‌ها می‌توان آن‌ها را در محیط GIS پردازش کرده و کلاس‌ها را با اعمال مقادیر وزن به هر یک با هم تلفیق کرد. درنهایت نقشه‌ای به دست می‌آید که دارای اوزان متفاوتی بوده و وزن بالاتر به معنی مناسبت بیشتر در آن مکان می‌باشد.

۳. نتایج تحقیق

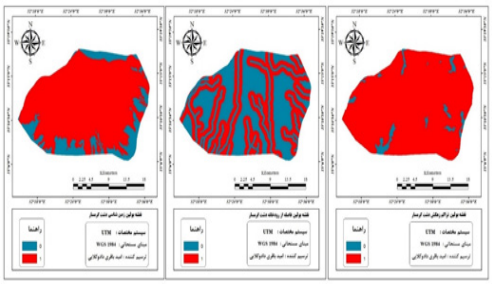
۳-۱ وزن دهی به روش منطق بولین

همان‌طور که گفته شد در منطق بولین، عضویت یک عنصر در یک مجموعه به‌صورت صفر (عدم عضویت) و یک (عضویت) بیان می‌شود لذا مقدار یک، در هر واحد پیکسلی از یک نقشه ورودی نشان‌دهنده مناسب بودن و مقدار صفر نشان‌دهنده نامناسب بودن موقعیت مکانی آن پیکسل جهت فعالیت مکان‌یابی حوضچه‌های تغذیه مصنوعی با توجه به مفهوم آن نقشه (عامل) می‌باشد. بر اساس نظر کارشناسی و تحقیقات قبلی انجام گرفته کلاس‌بندی منطق بولین طبق جدول ۳ آورده شده است. در این جدول گستره قابل‌قبول برای مکان‌یابی تغذیه مصنوعی و همچنین درصد مساحت‌های هر کلاس نیز آورده شده است.

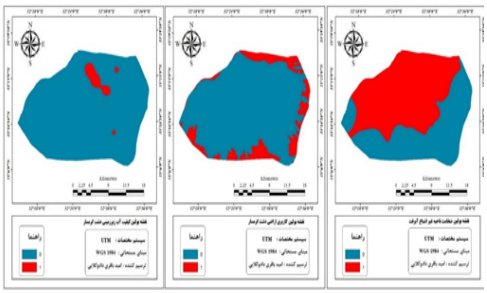
جدول ۳. گستره قابل‌قبول برای مکان‌یابی تغذیه مصنوعی به روش منطق بولین در دشت گرمسار

پارامتر	تناسب کلاس	بازه کلاس	مساحت	امتیاز
شیب (درصد)	مناسب	۰-۸	۹۵/۹۹	۱
	نامناسب	بیشتر از ۸	۴/۰۱	۰
نفوذپذیری (میلی‌متر بر ساعت)	مناسب	بیشتر از ۱۵	۹۸/۱۶	۱
	نامناسب	۰-۱۵	۱/۸۴	۰
ضخامت لایه خشک (متر)	مناسب	بیشتر از ۳۰	۴۳/۵۶	۱
	نامناسب	۰-۳۰	۵۶/۴۴	۰
کیفیت آب (µmhos/cm)	مناسب	۰-۲۱۵۰	۳/۰۷	۱
	نامناسب	بیشتر از ۲۱۵۰	۹۶/۹۳	۰
تراکم زهکش (Km/Km^2)	مناسب	کمتر از ۱/۲۵	۴۶/۶۹	۱
	نامناسب	بیشتر از ۱/۲۵	۹۵/۳۱	۰
فاصله از رودخانه (متر)	مناسب	۱۰۰۰-۲۰۰	۴۶/۰۶	۱
	نامناسب	کمتر از ۲۰۰ و بیشتر از ۱۰۰۰	۵۵/۹۴	۰
زمین‌شناسی	مناسب	آبرفت بستر رودخانه، مخروط آبرفتی جوان، مخروط آبرفتی قدیمی، پادگانه آبرفتی جوان، پادگانه آبرفتی قدیمی	۸۲/۳۵	۱
	نامناسب	سیلتستون شیل، مارن ماسه‌سنگ گچ دار، کنگلومرا	۱۷/۶۵	۰

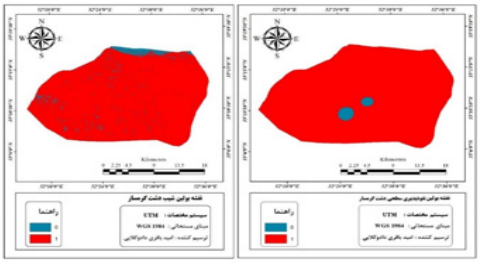
در ادامه نیز نقشه‌های کلاس‌بندی شده بر پایه منطق بولین آورده شده است. در تصاویر زیر، شکل‌های ٤ تا ۱۰ به ترتیب لایه‌های کلاس‌بندی شده ی تراکم زهکش، فاصله از رودخانه، زمین‌شناسی، ضخامت لایه خشک، کاربری اراضی، کیفیت آب زیرزمینی، نفوذپذیری سطحی و شیب می‌باشد. هر یک از این نقشه‌ها با استفاده از نقشه معیارها و داده‌های جدول ۳ به‌صورت صفر و یک امتیازدهی شدند.



شکل ۳. نقشه کلاس‌بندی تراکم زهکش شکل ٤. نقشه کلاس‌بندی فاصله از رودخانه شکل ٥. نقشه کلاس‌بندی زمین‌شناسی



شکل ٦. نقشه کلاس‌بندی ضخامت لایه خشک شکل ۷. نقشه کلاس‌بندی کاربری شکل ۸. نقشه کلاس‌بندی کیفیت آب زیرزمینی



شکل ۹. نقشه کلاس‌بندی نفوذپذیری سطحی شکل ۱۰. نقشه کلاس‌بندی شیب

۳-۲ وزن دهی به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

با توجه به مبانی مربوط به تحلیل سلسله مراتبی گفته شده، در این مرحله شاخص‌های اولیه که از مرور ادبیات و نظر کارشناسان به دست آمده است، به‌صورت یک پرسشنامه تهیه شده و به افراد خبره جهت مقایسه زوجی ارائه گردید. در مرحله بعد پرسشنامه وارد نرم‌افزار Expert Choice شده و وزن‌های هرکدام از شاخص‌ها مشخص گردید که در جدول ٤ ارائه شده است.

جدول ٤. وزن معیارها و زیرمعیارها بر اساس روش AHP

معیار	زیرمعیار	وزن	معیار	زیرمعیار	وزن
نفوذپذیری سطحی	۱۵ – ۲۵	۰/۱۶۲	زمین‌شناسی	مخروط آبرفتی قدیمی	۰/۲۰۴
	۲۵ – ۳۵	۰/۲۸۵		مخروط آبرفتی جوان	۰/۱۶۹
	> ۳۵	۰/۵۵۳		پادگانه آبرفتی جوان	۰/۱۳۶
کیفیت آب زیرزمینی	۱۰۰۰ – ۲۴۵۰	۰/۲۹۵		مخروط واریزه ای	۰/۱۳۸
	۲۴۵۰ – ۳۰۰۰	۰/۲۴۱		پادگانه آبرفتی قدیمی	۰/۱۱۳
	> ۳۰۰۰	۰/۰۷۳		آبرفت بستر رودخانه	۰/۰۹۹
کاربری اراضی	مسیل	۰/۳۰۴		سیلتستون شیل	۰/۰۳۱
	مرتع	۰/۴۸۸		کفه رسی	۰/۰۳۳
	پهنه آبی	۰/۰۷۷		مارن ماسه‌سنگ گچ دار	۰/۰۴۹
	باغ	۰/۰۷۰		کنگلومرا	۰/۰۴۹
	زراعت	۰/۰۶۸			
	جنگل	۰/۰۶۳			
	مسکونی	۰/۰۳۴			
شیب	۰ – ۲	۰/۴۹۶	فاصله از رودخانه	۰ – ۲۰۰	۰/۳۰۰
	۲ – ۳	۰/۲۸۸		۲۰۰ – ۵۰۰	۰/۲۱۶
	۳ – ۸	۰/۲۱۷		۵۰۰ – ۱۰۰۰	۰/۱۶۳
	> ۸	۰/۰۹۹		۱۰۰۰ – ۱۵۰۰	۰/۰۷۹
تراکم زهکش	۰ – ۰/۷	۰/۳۴۶		> ۱۵۰۰	۰/۰۳۲
	۰/۷ – ۱/۳	۰/۲۸۳	ضخامت لایه خشک	۰ – ۱۵	۰/۰۵۷
	۱/۳ – ۲/۱	۰/۱۷۲		۱۵ – ۲۰	۰/۱۱۸
	> ۲/۱	۰/۱۰۹		۲۰ – ۳۵	۰/۳۳۳
				> ۳۵	۰/۵۸۱

همان‌طور که مشاهده می‌گردد، شاخص نفوذپذیری با وزن ۰/۱۹۹ مهم‌ترین عامل ازنظر خبرگان تعیین گردیده است و شاخص کاربری اراضی با وزن ۰/۱۶۷ در اولویت دوم قرار دارد و همچنین شاخص تراکم زهکش با وزن ۰/۰۶۵ کم‌اهمیت‌ترین شاخص تعیین گردیده است.

۳-۳ تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش بولین

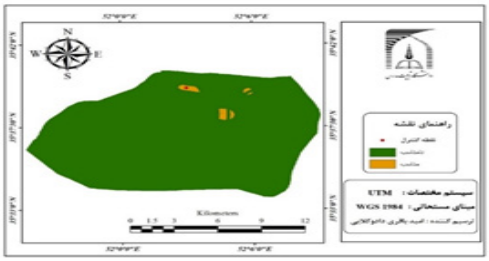
بعد از تهیه لایه‌های موردنیاز، بر اساس عملگر بولین اقدام به تهیه نقشه نهایی مکان‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی شد. از بین چهار عملگر مدل بولین، NOT, XOR,OR,AND، با توجه به هدف مسئله از عملگر AND که بر پایه نظریه مجموعه‌ها اشترک را استخراج می‌کند، برای تلفیق لایه‌ها استفاده شده است. با توجه به اینکه قسمت زیادی از کاربری اراضی در منطقه نامناسب می‌باشد، هیچ منطقه مناسبی جهت تغذیه مصنوعی حاصل نشد؛ بنابراین همپوشانی مجدد لایه‌ها با حذف لایه کاربری اراضی صورت گرفت. همان‌طور که در جدول ۵ و شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، مناطق مناسب جهت تغذیه مصنوعی ۰/۷۸ درصد از کل منطقه را شامل می‌شود و ۹۹/۲۲ درصد، نامناسب تشخیص داده شد.

جدول ۵. نتیجه حاصل از تلفیق نقشه‌های پایه به روش منطق بولین

تناسب	مساحت (مترمربع)	مساحت (درصد)
مناسب	۴۲۶۴۴۸۲/۳	۰/۷۸
نامناسب	۵۲۸۴۲۰۷۵۱/۱	۹۹/۲۲

شکل ۱۱. میزان نواحی تحت پوشش هر یک از رده‌های نقشه مکان‌یابی به روش بولین

شکل ۱۲ نقشه حاصل از تلفیق نقشه‌های پایه به روش منطق بولین را نشان می‌دهد. با توجه به این نقشه، طرح تغذیه مصنوعی اجرا شده در محدوده دشت گرمسار به‌عنوان نقطه کنترل، در کلاس مناسب قرار گرفته است.



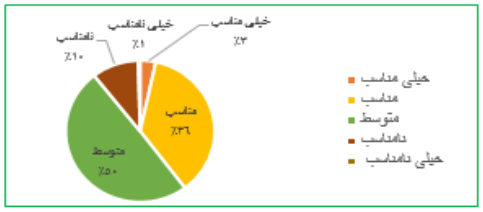
شکل ۱۲. نقشه حاصل از تلفیق نقشه‌های پایه به روش منطق بولین

۴-۳ تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش AHP

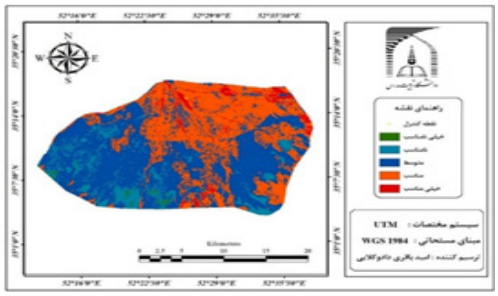
کلیه وزن‌های به دست آمده به روش AHP در محیط نرم‌افزار ArcGIS بر روی نقشه‌ها اعمال و نقشه نهایی در ۵ کلاس خیلی مناسب، مناسب، متوسط، نامناسب و خیلی نامناسب تهیه گردید. نتایج حاصله در جدول ۶ و شکل ۱۳ آورده شده است. همچنین در شکل ۱۴ نقشه حاصل از تلفیق نقشه‌های پایه به روش AHP را نشان می‌دهد.

جدول ۶. نتیجه حاصل از تلفیق نقشه‌های پایه به روش AHP

تناسب	مساحت (مترمربع)	مساحت (درصد)
خیلی مناسب	۱۷۹۳۵۰۹۰/۰۲	۳/۳۸
مناسب	۱۹۲۳۴۴۹۱۳/۹۷	۳۶/۳۹
متوسط	۲۶۳۷۴۹۸۰۰/۸۸	۴۹/۶۵
نامناسب	۵۴۰۷۷۵۷۸/۵۲	۱۰/۱۸
خیلی نامناسب	۲۱۵۹۲۴۴/۱۸	۰/۴۱



شکل ۱۳. میزان نواحی تحت پوشش هر یک از رده‌های نقشه مکان‌یابی به روش AHP



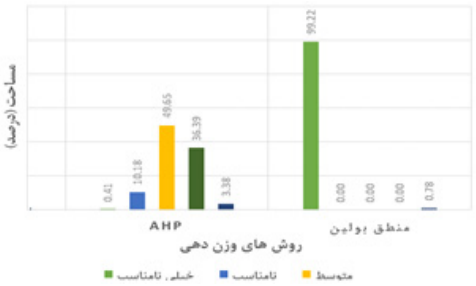
شکل ۱۴. نقشه حاصل از تلفیق نقشه‌های پایه به روش AHP

جهت ارزیابی نقشه نهایی از پروژه اجرا شده توسط آب منطقه‌ای سمنان در منطقه استفاده شده است. با توجه نقشه نهایی مکان‌یابی به روش AHP، طرح تغذیه مصنوعی اجرا شده در محدوده دشت گرمسار به‌عنوان نقطه کنترل، در کلاس مناسب قرار گرفته است. بر اساس نتایج به دست آمده به روش AHP و طبق جدول ۷، بیشترین مساحت در طبقه‌بندی متوسط واقع شده است که نزدیک به نیمی از کل مساحت منطقه را شامل می‌شود. طبقه‌بندی مناسب با ۳۶/۳۹ درصد در رتبه دوم قرار گرفته است. با توجه به نقشه نهایی، بیشتر مناطق شمالی دشت گرمسار بر اساس روش AHP در ناحیه مناسب قرار گرفته است. همین‌طور بیشتر طبقه خیلی مناسب در ناحیه شمالی ناحیه واقع شده است.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از دو روش منطق بولین و AHP در شکل ۱۵ آورده شده است. این نتایج به‌صورت نمودار ستونی قرار داده شده است. بر اساس مبانی منطق بولین، دو دسته مناطق صد در صد مناسب و نامناسب حاصل می‌شود، پس درصدی از مساحت منطقه که مناسب تشخیص داده می‌شود، حتماً بدون ریسک از حیث اجرایی خواهد بود؛ اما در روش AHP مساحت منطقه به پنج طبقه بیان شده است. در بین پنج طبقه، طبقه متوسط نیز وجود دارد. این طبقه به این معناست که می‌توان در این قسمت‌ها نیز با مقدار ریسک بیشتری، در صورت نیاز فاز اجرایی پروژه را اعمال کرد و این یکی از تفاوت‌های بین روش بولین با دو روش دیگر است. بر این اساس می‌توان جهت تعیین محل نهایی برای احداث سیستم تغذیه مصنوعی، بر اساس روش بولین مناطقی که به‌طور قطعی مناسب هستند را مشخص کرد و با استفاده از روش AHP، مناطقی که در رتبه بعدی قرار می‌گیرند، تعیین نمود. با توجه به نقشه‌های نهایی، طرح تغذیه مصنوعی اجرا شده در محدوده دشت گرمسار به‌عنوان نقطه کنترل، در کلاس خیلی مناسب قرار گرفته است.

بر اساس نتایج به دست آمده با توجه به اینکه در روش بولین مناطق متوسط نداریم، لذا مناطق متوسط و نامناسب به‌صورت مناطق نامناسب مشخص شده است. در روش منطق بولین نقطه کنترلی در طبقه مناسب و در روش AHP در طبقه مناسب قرار گرفته است.



شکل ۱۵. مقایسه نتایج حاصل از دو روش منطق بولین و AHP

می‌توان موارد زیر را به عنوان نتیجه‌گیری¬های تحقیق عنوان نمود:
اراضی مناسب جهت اجرای طرح تغذیه مصنوعی با به‌کارگیری منطق بولین ۰/۷۸ درصد حاصل شد و روش AHP نیز ۳/۳۸ درصد خیلی مناسب و ۳۶/۳۹ درصد مناسب تشخیص داده شد. با توجه به نتایج مکان‌یابی با روش AHP، این روش مناطق زیادی را در دشت گرمسار به طبقه مناسب اختصاص داده است که در مجموع نزدیک به ۴۵ درصد مناطق در طبقه مناسب و خیلی مناسب قرار گرفتند. نقشه‌های حاصل از دو روش مورد استفاده در عملیات مکان‌یابی تغذیه مصنوعی نشان داد که کمترین زمین‌های ایجاد شده به لحاظ مناسب بودن در روش بولین می‌باشد. این موضوع بیانگر این است که در روش بولین به علت محدود بودن انتخاب‌ها و دامنه مقادیر معیارها، در فرایند مکان‌یابی انعطاف‌پذیری مناسبی وجود ندارد چراکه مناطق بر اساس معیارهای مطلق و قطعی انتخاب می‌شوند. به عنوان مثال د صورتی که عمق آب زیرزمینی فقط کمی کمتر از ۳۰ باشد (مثلاً ۲۹/۹۹۹) زمین شامل آن مناسب نخواهد بود. لیکن این روش به علت سادگی عملیات و سهولت کاربرد مورد توجه است.
به دلیل محدودیت در نقاط کنترلی در منطقه موردمطالعه، تنها از یک نقطه کنترل جهت ارزیابی استفاده شد. نقطه کنترل جهت بررسی صحت نقشه‌های نهایی نشان داد که این نقطه در قسمت مناسب روش بولین و مناسب روش AHP قرار گرفته است. از دیدگاه کلی‌تر، مطالعه حاضر نشان می‌دهد که GIS با توجه به تنوع ابزارها و قدرت انجام ترکیب لایه‌های اطلاعاتی، ابزار قدرتمندی در فرآیند مکان‌یابی است. فرآیندی که اگر قرار بود بدون کمک این نرم‌افزار انجام گیرد، بسیار وقت‌گیر، پرهزینه و کم‌دقت بود.

۵. منابع

[۱]. آرنوف، ا.(۱۳۷۵). «مدیریت سیستم اطلاعات جغرافیایی». ترجمه سازمان نقشه‌برداری کشور. انتشارات سازمان نقشه‌برداری، تهران.

[۲]. بیز، ژ. بورگه، ل. لومان، ژ. (۱۳۶۹). «تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی». ترجمه جلال حیدرپور. مرکز نشر دانشگاهی، تهران.

[۳]. Saaty, T.L.(۱۹۸۰). The Analaytical hierarchy process. Planning priority, Resource Allocation, TWS puplication, USA. ۱۵.

[٤]. سیف، ع. صلحی، س. عرفان، م. صلحیم. (۱۳۹۲). «تعیین منطقه مناسب برای تغذیه مصنوعی سفره‌هایآب زیرزمینی با استفاده از روش (TOPSIS) در محیط GIS مطالعه موردی: حوضه آبی رفسنجان». فصلنامه علمی-پژوهشی نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی، سال پنجم، شماره: ۲.

[۵]. قدسی پور، ح. (۱۳۸۵). «فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)». چاپ پنجم، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، تهران.

[٦]. Rahimi, S. and M.Shadman Roodposhti.(۲۰۱٤)."Using combined AHP-genetic algorithm in artificial groundwater recharge site selection of Gareh Bygone Plain", Iran. J. Environ Earth. Sci. ۱۹۹۲-۷۲:۱۹۷۹

[۷]. طاهری تیزرو، ع. مشایخی، ح. زارع، م. (۱۳۹۱).» مکان‌یابی تغذیه مصنوعی با استفاده از GIS در دشت کرمانشاه»، مجله پژوهش آب ایران، پاییز و زمستان، شماره یازدهم، صص ٤۷ - ۵۳.

[۸]. فاضل نیا غ. حکیم دوست، س، ی. بلیانی، ی.(۱۳۹۳). «راهنمای جامع مدل‌های کاربردی GIS در برنامه‌ریزی‌های شهری، روستایی و محیطی». انتشارات آزادپیما، چاپ سوم، ۲۵۱ صفحه.

[۹]. Shaban, A. Khawlie, M. Abdallah, C. (۲۰۰٦), "Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zone:the case of Occidental, Lebanon." J. Hydrogeology ٤٤۳-۱٤:٤۳۳

[۱۰]. فرجی سبک‌بار، ح. نصیری، ح. حمزه، م. طالبی، س. رفیعی، ی. (۱۳۹۰). «تعیین عرصه‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی بر پایه تلفیق روش‌های ANP و مقایسه زوجی در محیط GIS، مطالعه موردی دشت گربایگان فسا، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی»، شماره ٤، صص ۱٤۳ - ۱٦٦.

[۱۱]. Fread, D. L.,(۱۹۸۱). Flood Routing: A Synopsis of Past, Present, and Future Capability, Proceeding of International Symposium on Rainfall-Runoff Mdeling, Mississippi State University, USA, ۵٤۱-۵۲۱.

[۱۲]. فرجی سبک‌بار، ح. حسن‌پور، س. علوی پناه، س، ک. الیاس پور، س. (۱۳۹۰). «مکان‌یابی عرصه‌های مناسب پخش سیلاب با استفاده از فرآیند سلسله مراتبی (AHP) در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی، مطالعه موردی: حوضه آبخیز گر بایگان، دشت فسا، شیراز». فصلنامه جغرافیای طبیعی، شماره: ۱٤.

[۱۳]. Nasiri, H., Darvishi Boloorani, A., Faraji Sabokbar, H., Jafari, H,. Rafii, Y,. (۲۰۱۳). "Determining the most suitable areas for artificial groundwater recharge via an integrated PROMETHEE II-AHP method in GIS environment (case study: Garabaygan Basin, Iran)", Environmental Monitoring and Assessment January ۲۰۱۳,Volume ۱۸۵, Issue ۱, pp ۷۱۸-۷۰۷.

[۱٤]. Sargaonkar, A., Rathi, B. and Baile, A.(۲۰۱۰). "Identifying potential sites for artificial groundwater recharge in sub-watershed of River Kanhan, India". Environmental Earth Sciences: ۱۰-۱.

[۱۵]. Rahman, M. A., Rusteberg, B., Gogu, R. C., Lobo Ferreira, J. P., & Sauter, M. (۲۰۱۲). "A new spatial multi-criteria decision support tool for site selection for implementation of managed aquifer recharge". Journal of Environmental Management, ۷۵-٦۱ ,۹۹.