مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۰، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۶
ص ۱۰۴۳-۱۰۳۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۲۹
تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۰۵/۲۲

تعیین مناطق مناسب تغذیهٔ مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی شهرستان روانسر

❖ **کاظم نصرتی*؛** دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکدهٔ علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

❖ **محمد مهدی حسین زاده؛** دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکدهٔ علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

❖ **نگار بهرامی؛** دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکدهٔ علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

افزایش روزافزون جمعیت و میزان تقاضا برای استفاده از منابع آب، موجب افت سریع آب زیرزمینی در بسیاری از دشت‌ها شده است لذا نیاز به توجه به بهبود وضع کمی و کیفی آبخوان‌ها احساس می‌گردد. یکی از روش‌های مدیریتی منابع آب که در سال‌های اخیر کاربرد وسیعی یافته است، استفاده از روش تغذیهٔ مصنوعی می‌باشد. مطالعهٔ حاضر جهت شناسایی مناطق مناسب برای تغذیهٔ مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی شهرستان روانسر است. بدین منظور پس از در نظر گرفتن معیارهای زمین‌شناسی، شیب، هدایت هیدرولیکی، ضخامت آبرفت، نفوذپذیری، فرسایش‌پذیری، کاربری اراضی، درصد شن، رس و تهیهٔ لایهٔ رستری هر کدام از این معیارها نسبت به رتبه‌بندی هر معیار به روش تحلیل سلسله مراتبی و تعیین وزن معیارها با استفاده از مدل ترکیب خطی وزنی (WLC) برای دو روش متداول تغذیهٔ مصنوعی (پخش سیلاب و حوضچه‌های تغذیه) اقدام گردید. براساس نتایج به دست آمده از نقشه‌های نهایی مکانیابی تغذیهٔ مصنوعی در هر دو روش، مکان‌های مناسب در قسمت‌های شمالی، شمال شرقی و جنوب غربی حوزه واقع شده اند. در روش پخش سیلاب، اراضی مستعد تغذیهٔ مصنوعی آب‌های زیرزمینی حدود ۲۲/۲۰ کیلومتر مربع معادل ۱۷/۶ درصد و در روش حوضچه‌های تغذیه ۲۱/۱۰ کیلومتر مربع معادل ۱۶/۸ درصد از مساحت منطقهٔ مطالعاتی را به خود اختصاص داده است و مخروط افکنه‌ها مکان‌هایی مناسب جهت تغذیهٔ سفره‌های آب زیرزمینی بودند.

کلید واژگان: عوامل ژئوموفولوژیک، پخش سیلاب، حوضچه‌های تغذیه، مدل WLC، شهرستان روانسر

* نویسنده مسئول: شماره تماس: ۹۸۲۱۲۹۹۰۲۶۰۴+
Email: k_nosrati@sbu.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

۱. مقدمه

روند افزایش جمعیت، گسترش صنایع و نیاز بشر به آب برای تأمین غذای بشر، سبب شده است که آب‌های زیرزمینی به‌عنوان منبعی تجدیدشونده بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد [۷]. استفادهٔ بی‌رویه و عدم مدیریت صحیح بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی منجر به پایین رفتن سطح ایستابی، کاهش ذخیرهٔ مخزن و تغییر کیفیت یا آلوده شدن آبخوان شده است [۵]. راهکارهای مختلفی برای تغذیهٔ سفره های زیرزمینی وجود دارد، یکی از راهکارهای احیای آبخوان، استفاده از روش‌های تغذیهٔ مصنوعی است، که نقش مهمی در مدیریت پایدار منابع آب‌های زیرزمینی ایفا می‌کند [۴]. تغذیهٔ مصنوعی یکی از روش‌هایی است که می تواند بخشی از آب خارج شده از زیر زمین را جایگزین کند [۲] و 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 سفرهٔ آب زیرزمینی برداشت کنیم [۱۵]. از اقدامات اولیه در اجرای طرح تغذیهٔ مصنوعی تعیین مکان مناسب جهت اجرای طرح است [۱۸]. پارامترهای مؤثر در مکانیابی مناطق مناسب تغذیهٔ مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی شامل وضعیت زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، بافت خاک، شیب، نفوذپذیری سطحی، ضخامت آبرفت، قابلیت انتقال، کاربری اراضی و پوشش گیاهی می‌باشد [۱]. تعیین مکان‌های مناسب برای تغذیهٔ مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی با تکیه بر مطالعات صحرایی، با توجه به حجم زیاد لایه‌های اطلاعاتی و لزوم تلفیق آنها در قالب مدل‌های مختلف (مبتنی بر روش‌های سنتی) دشوار بوده ضمن آنکه نیاز به زمان طولانی دارد. لذا استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، ضمن آن که در مطالعات مختلف منابع طبیعی و با اهداف مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد، تهیه و تلفیق لایه‌های مختلف اطلاعاتی را با دقت و سرعت لازم ممکن می‌سازد. از سویی دیگر نیاز به داده‌های به‌هنگام در مطالعات و برنامه‌ریزی‌ها استفاده از فن‌های سنجش از دور را اجتناب ناپذیر کرده است [۱۱].

ضرورت انجام این پژوهش این است که برداشت بی رویه از سفره‌های آب زیرزمینی که در بسیاری از آبخان های کشور صورت گرفته، موجب شده است که سطح آب زیرزمینی هر ساله کاهش یافته و مشکلات مختلفی نظیر خشک شدن چاه‌ها و تخریب آبخوانه‌ها را به‌دنبال داشته باشد. امروزه با افزایش جمعیت و نیاز بیشتر به تولید و در نتیجه تبدیل اراضی دیم به کشت آبی از یک طرف و بروز خشکسالی‌ها از طرف دیگر مشکلات آبخوانه‌ها را چند برابر کرده است.

در زمینهٔ تعیین مکان مستعد برای تغذیهٔ مصنوعی آب‌های زیرزمینی در ایران و جهان با استفاده از سنجش از دور و سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری در تلفیق با سیستم اطلاعات جغرافیایی تحقیقاتی انجام گرفته است. رامالینگام[1] و همکاران (۲۰۰۲)، با استفاده از فن‌های GIS و سنجش از دور به بررسی مناطق مناسب تغذیهٔ مصنوعی در ایالتی در هند پرداختند. لایه های اطلاعاتی مانند ژئومورفولوژی، زمین شناسی، خاک، شیب، کاربری زمین، شدت رواناب و عمق آب‌های زیرزمینی در این مطالعه مورد استفاده قرار دادند و آنها به این نتیجه رسیدند که پهنه‌بندی ایجاد شده توسط GIS بیش از ۹۰٪ قابل قبول بوده است [۱۹]. موهان[2] و شانکار[3] (۲۰۰۵)، جهت مکان‌یابی مکان‌های مناسب جهت تغذیهٔ مصنوعی آب زیرزمینی منطقهٔ Deccanvolcani هند از سه دسته پارامتر شامل؛ زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و سطح ایستابی کمک گرفتند و در نهایت این نتیجه حاصل شده که در طیف تغییرات ۱۲± درصد محل‌های پیشنهاد شده برای تغذیهٔ مصنوعی تغییر چندانی نمی‌کند [۱۵]. چادهوری[4] و همکاران (۲۰۱۰)، با استفاده از سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تکنیک

[1] Ramalingam
[2] Mohan
[3] Shankar
[4] Chowdhury

Archive of SID
www.SID.ir

های MCDM، مناطق مناسب برای تغذیهٔ مصنوعی آب های زیرزمینی را در منطقهٔ غربی مدیناپور هند تعیین نمودند، آنها از معیارهای زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، شیب، تراکم زهکشی و قابلیت ضریب انتقال استفاده نمودند که نتایج حاکی از آن بود که حدود ۴۶ درصد از منطقه در زیرمنطقهٔ مناسب، ۴۳ درصد در زیرمنطقهٔ نسبتاً مناسب و بخش غربی منطقه‌ای نامناسب برای تغذیهٔ مصنوعی بوده است [۴]. ساراگانکار[1] و همکاران (۲۰۱۰)، به مطالعهٔ تعیین مکان‌های منا سب جهت تغذیهٔ مصنوعی بر پایهٔ ارزیابی آب‌شناختی پرداختند. در این مطالعات مدلسازی بارش -رواناب، کاربری زمین، خاک و توپوگرافی یک حوزه در رودخانهٔ کنهان در ناحیهٔ ناگپور ماهاراشترای هند انجام شد [۲۰]. آگاروال[2] و گارگ[3] (۲۰۱۳)، از سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای نشان دادن مکان‌های مناسب جهت تغذیهٔ مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی و مدیریت آب‌های زیرزمینی در حوضهٔ Unnao و مناطق Raebarel اوتار پرادش هند استفاده کردند. در این مطالعه با استفاده از مدل SCS-CN، داده‌های مربوط به عمق آب‌های زیرزمینی و پارامترهای مورفولوژیکی (نسبت انشعاب، نسبت طول، تراکم زهکشی) و پارامترهایی چون شیب، پتانسیل رواناب و اطلاعات مربوط به نوسانات آب‌های زیرزمینی و مورفومتری حوزه، مکان‌های تغذیه ترسیم شدند [۱]. ادهم و همکاران (۲۰۱۶)، برای مکان یابی تغذیهٔ مصنوعی مناطق خشک و نیمه‌خشک به این نتیجه رسیدند روش RWH یکی از مناسب‌ترین روش‌ها برای مکان یابی تغذیهٔ مصنوعی در مکان های خشک و نیمه‌خشک می‌باشد[۳]. خیرخواه زرکش و همکاران (۲۰۱۶)، پارامترهای مختلف تغذیهٔ مصنوعی را در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از GIS و فرایند سلسه تحلیلی بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند بافت خاک در بین عوامل دیگر بالاترین اهمیت را دارد [۱۲]. فیض‌نیا و همکاران (۱۳۸۶)، جهت مکان‌یابی مناطق منا سب برای تغذیهٔ مصنوعی آب‌های زیرزمینی در دشت ورامین با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تعداد ۵ لایهٔ اطلاعاتی (شیب، نفوذپذیری سطحی، ضخامت آبرفت، توانایی انتقال آب و کیفیت آبرفت) را در قالب مدل سامانهٔ پشتیبانی تصمیم‌گیری (DSS) وزن‌دهی کردند و نقشهٔ مکان‌یابی مناطق مستعد تغذیهٔ مصنوعی را تهیه کردند [۹]. ملکی و همکاران (۱۳۹۲)، جهت مکان یابی مناطق منا سب برای تغذیهٔ م صنوعی آب‌های زیرزمینی در حوزهٔ آبخیز مرگ در استان کرمانشاه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تعداد ۱۵ لایهٔ اطلاعاتی را در قالب سه مدل (Multi-Class-Maps، Boolean و AHP) و با توجه به دو روش متداول تغذیهٔ م صنوعی (سطحی و تزریقی) به صورت جداگانه وزن‌دهی و تلفیق کردند. نتیجهٔ به دست آمده نشان می‌دهد که مدل AHP با دا شتن بی شترین در صد همپو شانی و کمترین م ساحت بهترین مدل مکان‌یابی و پس از آن مدل Multi-Class-Maps و در رتبهٔ آخر مدل Boolean قرار دارد [۱۳].

در تحقیق حا ضر، هدف شنا سایی مکان‌های م ستعد برای تغذیهٔ مصنوعی آب‌های زیرزمینی در شهرستان روانسر می‌باشد. با توجه به اینکه تغذیهٔ مصنوعی به روش‌های مختلف صورت می‌گیرد و تعیین مکان منا سب برای هر کدام از این روش‌ها متفاوت است لذا، در این تحقیق سعی شده ا ست که برای دو روش متداول تغذیهٔ م صنوعی؛ پخش سیلاب و حو ضچه‌های تغذیه به صورت جداگانه و با استفاده از مدل WLC مکان‌یابی صورت گیرد. با مرور پیشینهٔ پژوهش در منابع مختلف مشخص گردید تاکنون در این منطقه مطالعه‌ای صورت نگرفته و نوآوری در این تحقیق در استفاده از مدل WLC (Weighted linear combination) می‌باشد؛ که تاکنون در کشور از این مدل برای مکان‌یابی مناطق مناسب تغذیهٔ

[1] Sargaonkar

[2] Agarwal
[3] Garg

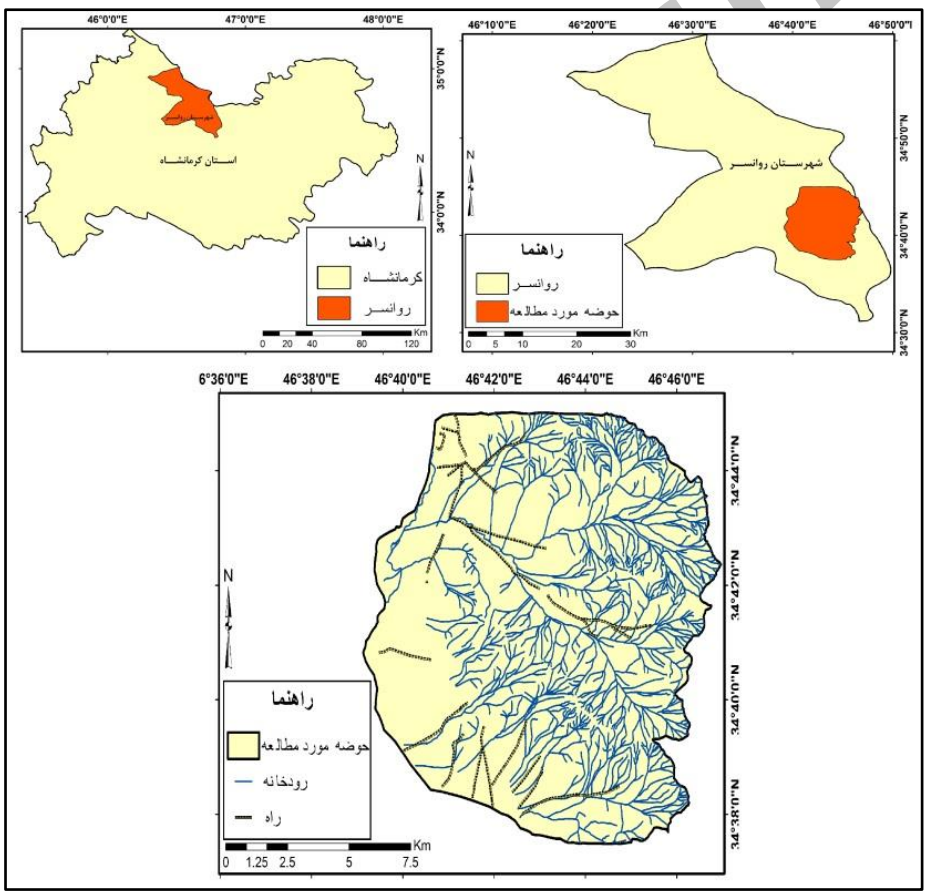
Archive of SID
www.SID.ir

مصنوعی استفاده نشده است.

۲. روش‌شناسی

۱.۲. معرفی منطقهٔ مورد مطالعه

محدودهٔ مورد مطالعه منطقه‌ای تقریباً کوهستانی در حوزهٔ آبخیز قره سو و در دامنهٔ کوه‌های شاهو از ارتفاعات زاگراس قرار دارد. این منطقه با وسعتی حدود ۱۲۷ کیلومترمربع و محیط ۴۸ کیلومتر در غرب ایران در استان کرمانشاه در شهرستان روانسر و بین ˚۴۶، ´۳۷، ״۳۰ تا ´۵۲، ˚۴۶ طول شرقی و ״۳۰، ´۳۷، ˚۳۴ تا ´۴۵، ˚۳۴ عرض شمالی واقع شده است. ارتفاع متوسط این حوزه ۱۵۸۹ متر از سطح دریا است. مرتفع‌ترین قلهٔ آن ۲۴۳۲ متر و پست‌ترین نقطهٔ آن ۱۳۳۶ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. شهر روانسر در شمال به استان کردستان، در جنوب و شرق به استان کرمانشاه، در شمال غرب به شهرستان پاوه و در غرب به شهرستان جوانرود محدود می شود. از نظر زمین‌شناسی منطقهٔ مورد مطالعه بر روی رسوبات کواترنری و سنگ آهک بیستون واقع شده است. شکل ۱ موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت حوزهٔ مورد مطالعه در استان کرمانشاه

۲.۲. روش تحقیق

در پژوهش حاضر به منظور مکان‌یابی مناطق مناسب برای تغذیهٔ مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی برای تعیین لایه‌های اطلاعاتی مناسب، پس از مطالعهٔ منابع مختلف داخلی و خارجی مرتبط با موضوع مورد مطالعه مبانی موضوع و کار کارشناسی در منطقه، ۷ لایهٔ اطلاعاتی به

www.SID.ir

عنوان پارامترهای مؤثر انتخاب گردید که شامل؛ شیب، ضخامت آبرفت، نفوذپذیری، هدایت هیدرولیکی، شن، رس و فر سایش‌پذیری به‌عنوان پارامترهای مؤثر و دو لایهٔ کاربری اراضی و زمین‌شناسی به‌عنوان پارامترهای محدودیت مورد استفاده قرار گرفتند. لایه های مورد استفاده در مکان یابی یه صورت زیر آماده شدند.

۱- لایهٔ شیب: نقشهٔ شیب بر اساس مدل رقومی ارتفاعی (DEM) تهیه شد.

۲- لایهٔ ضخامت آبرفت: با استفاده از داده‌های سازمان آب منطقه‌ای استان کرمانشاه، اطلاعات ۲۲ لوگ چاه اکتشافی حفاری شده در حوزهٔ مورد مطالعه تهیه گردید و در نهایت با استفاده از روش میان‌یابی IDW نقشهٔ مورد نظر تهیه شد.

۳- لایهٔ نفوذپذیری سطحی: جهت تهیه نقشهٔ مذکور ابتدا ۳۵ نمونه خاک از منطقه مورد مطالعه نمونه‌برداری شد و با آزمایش هیدرومتری بافت خاک تعیین شد و بر اساس رابطهٔ بین بافت خاک و نفوذپذیری (جدول ۱) نهایتاً میزان نفوذپذیری بر حسب میلی‌متر در ساعت (mm/h) به دست آمد. سپس از روش میان‌یابی IDW برای تهیهٔ نقشهٔ نفوذپذیری استفاده گردید.

جدول ۱. بافت **خاک و کلاس نفوذپذیری**

بافت خاک	شن	لوم شنی	لومی	لوم‌رسی	رسی‌سیلتی	رسی
نفوذپذیری و آبگذری (cm/h)	۵ (۲/۵-۲۵)	۲/۵ (۱/۳-۷/۶)	۱/۳ (۰/۸-۲)	۰/۸ (۰/۲۵-۱/۵)	۰/۲۵ (۰/۰۳-۰/۵)	۰/۰۵ (۰/۰۱-۱)

۴- لایهٔ هدایت هیدرولیکی: جهت تهیهٔ نقشهٔ هدایت هیدرولیکی یا همان آبگذری حوزهٔ مورد مطالعه با توجه به نمونه‌های خاک برداشت شده، از جدول (۲) رابطهٔ بین بافت خاک و آبگذری استفاده شد، به این صورت که با مشخص شدن بافت هر نمونه با توجه به اعداد آبگذری میزان آن بر حسب (متر در روز) مشخص می‌شود. سپس با استفاده از روش میان یابی IDW نقشهٔ هدایت هیدرولیکی منطقه تهیه شد.

۵- لایهٔ شن: نقشهٔ شن منطقه از طریق انجام آزمایش هیدرومتری و تعیین درصد شن (همان ذرات با اندازه‌ای بین ۰/۰۵ تا ۲ میلی‌متر) و روش میان یابی IDW آماده گردید.

۶- لایهٔ رس: بر اساس آزمایش هیدرومتری و تعیین درصد رس (همان ذرات با اندازهٔ کمتر از ۰/۰۰۲ میلی متر) و روش میان‌یابیIDW آماده گردید.

۷- لایهٔ فرسایش‌پذیری: میزان فرسایش‌پذیری با تعیین درصد مواد آلی، درصد سیلت، رس و شن بسیارریز، ساختمان و آبگذری نمونه‌های خاک برداشت شده و از طریق رابطهٔ (۴) محاسبه شد و در نهایت با استفاده از روش میان‌یابی IDW نقشهٔ رستری فرسایش تهیه شد.

رابطهٔ (۴)

$$K=۰/۰۰۰۲۱ \times M^{1.14} \times (۱۲-a) + ۳/۲۵ \times (b-۲) + ۰/۰۰۳۳ \times (c-۳) / ۱۰۰$$

که:

$$M=(\%Silt + \%\ Very\ fine\ sand) \times (100 - \%\ Clay)$$

a= درصد مواد آلی، b= کلاس ساختمان خاک، c= میزان آبگذری

۸- لایهٔ کاربری اراضی: با استفاده از داده‌های سازمان جنگل‌ها و مراتع استان کرمانشاه [۷] و بهره‌گیری از نرم‌افزار Google Earth محدودهٔ اولیهٔ کاربری های موجود در حوزه مشخص گردید و با بازدید میدانی نوع کاربری محدوده‌های مشخص شده کنترل شد. در لایهٔ

Archive of SID

کاربری اراضی نواحی شهری به‌عنوان لایهٔ محدودیت در نظر گرفته شدند.

۹- لایهٔ زمین‌شناسی: به منظور تعیین هر یک از سازندهای موجود در حوزه از نقشهٔ زمین‌شناسی کرمانشاه [۱۷] با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، استفاده گردید و منطقهٔ مورد مطالعه از آن استخراج و رقومی شد. لازم به ذکر است که در لایهٔ زمین‌شناسی سنگ آهک بیستون به عنوان لایهٔ محدودیت می‌باشد.

جدول ۲. مقادیر هدایت هیدرولیکی (k) بر اساس بافت و ساختمان خاک

بافت (USDA) ۰ -۰/۲۲	ساختمان خاک	K (m/d)
CheaveCL	فشرده، خیلی ریز یا بلوری ریز	۰/۰۱-۰/۰۵
	با شکاف‌های عمیق دائمی	> ۱
CCL,sCL, SC,	منشوری خیلی ریز یا ریز، بلوکی زاویه‌دار یا ورقه‌ای	۰/۰-۰/۱
sCL,S,SL,sCL,CL,sC, SC,C	منشوری ریز و متوسط، بلوکی زاویه‌دار و ورقه‌ای	۰/۱-۰/۴
L,very fine sL,SL,S, Light CL 0.3	منشوری متوسط و تقریباً بلوکی	-۰/۱
loam,sandy loamFine sandy	بلوکی درشت زاویه‌دار و دانه‌ای ریز	۱/۰-۳/۰
Loamy sand	دانه‌ای متوسط	۱/۶-۶/۰
Fine sand	دانه‌ای درشت	۱/۶-۶/۰
Medium sand	دانه‌ای درشت	>۶
Coarse sand and gravel	دانه‌ای درشت	>۶

۳.۲. مدل‌های ریاضی و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در مکان‌یابی

به طور کلی مدل، رفتار یک پدیده را در دنیای واقعی با استفاده از چندین عامل ارائه می‌کند. بنابراین می‌توان با استفاده از مدل‌های مختلف و لایه‌های اطلاعاتی لازم در محیط GIS بهترین مکان‌ها را برای اجرای طرح‌های تغذیهٔ مصنوعی مشخص کرد. با استفاده از مدل می‌توان با وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی، ارزش هر لایه و هر واحد را در مکان یابی دخالت داد. تلفیق لایه های اطلاعاتی بدون در نظر گرفتن وزن هر لایه موجب خواهد شد لایه‌ای که اهمیت کمتری در مکان‌یابی نسبت به بقیه دارد، در محدود کردن مناطق به اندازهٔ سایر لایه‌ها دخالت کند [۱۳]. در این پژوهش به منظور انجام مدل WLC از تلفیق دو مدل جهت مکان‌یابی تغذیهٔ مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی (به دو روش پخش سیلاب و حوضچه های تغذیه) شهرستان روانسر استفاده شده است که عبارتند از: تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و روش منطق فازی که در ذیل تشریح می گردند.

۱.۳.۲. روش مقایسهٔ دوتایی یا فرایند تحلیل سلسه‌مراتبی (AHP)

یکی از کارآمدترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی است که بر اساس مقایسه‌های زوجی بنا نهاده شده و امکان بررسی سناریوهای مختلف را به مدیران می‌دهد. مراحل اجرای این روش (AHP) شامل؛ ساخت درخت سلسله‌مراتبی، مقایسه‌های زوجی، محاسبهٔ وزن محلی و نهایی در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و محاسبهٔ نرخ سازگاری[1] می‌باشد.

[1] Inconsistency Rate

Archive of SID
www.SID.ir

۲.۳.۲. روش منطق فازی[1]

در منطق فازی مسئلهٔ قطعیت موجود در منطق بولین وجود ندارد و هر لایه در مقیاسی بین صفر و یک درجه بندی می‌شود. در این مقیاس‌ها اعداد بزرگتر مطلوبیت بیشتری خواهند داشت. یعنی عدد یک از بالاترین مطلوبیت و عدد صفر فاقد مطلوبیت است و طیفی از رنگ ها بین این دو عدد قرار می‌گیرند. علاوه بر مسئلهٔ انتخاب مقیاس جهت تهیهٔ نقشه‌های فازی، یکی دیگر از عوامل مؤثر در استانداردسازی نقشه‌های فازی تعیین حد آستانه می‌باشد که به آنها نقاط کنترل نیز گفته می‌شود و همچنین باید نوع معکوس یا مستقیم بودن تابع را مشخص نمود [۸].

از آنجایی که متغیرهای پیش‌بینی کننده در این نوع پژوهش از یک نوع نبوده و دارای انواع کمی و اسمی است، هر کدام دارای خصوصیات و ویژگی‌های متفاوتی می‌باشند و همچنین حداکثر و حداقل عددی لایه‌های مختلف، متفاوت است، لذا این مسائل تحلیل داده‌ها را دچار مشکل می‌کند. برای همین باید کلیهٔ حداکثر و حداقل‌ها بین یک مقدار مشخصی قرار بگیرند تا امکان تحلیل وجود داشته باشد و این مقدار مشخص از ۰ تا ۱ متغیر است. با این شرط که ابتدا اولویت کلاس‌ها در هر عامل شناخته می‌شود و سپس اقدام به استانداردسازی می‌شود. برای استانداردسازی لایه‌ها بر اساس رابطهٔ مستقیم یا معکوس بودن هر کدام از لایه‌ها از روابط (۱) و (۲) استفاده می گردد [۱۰].

رابطهٔ (۱) $\frac{X-Min(x)}{\mathrm{Max(x)-Min(x)}}$

رابطهٔ (۲) $\frac{\mathrm{Max(x)-X}}{\mathrm{Max(x)-Min(x)}}$

۳.۳.۲. روش WLC (روش ترکیب خطی وزنی)

روش ترکیب خطی وزنی[2] WLC رایج‌ترین تکنیک در تحلیل ارزیابی چندمعیاری است که روش امتیازدهی نیز نامیده می‌شود. این روش بر مبنای مفهوم میانگین وزنی استوار است. تحلیل‌گر یا تصمیم‌گیرنده مستقیماً بر مبنای اهمیت نسبی هر معیار مورد بررسی، وزن‌هایی به معیارها می‌دهد. سپس از طریق ضرب کردن وزن نسبی در مقدار آن خصیصه، یک مقدار نهایی برای هر گزینه (مثلاً عنصر تصویر در تحلیل فضایی) به دست می‌آید. بعد از آنکه مقدار نهایی هر گزینه مشخص شد، گزینه‌هایی که بیشترین مقدار را داشته باشد، مناسب‌ترین گزینه برای هدف مورد نظر خواهد بود. هدف مورد نظر می‌تواند تعیین تناسب زمین برای یک کارکرد خاص یا ارزیابی پتانسیل یک رخداد ویژه باشد. در این روش قاعدهٔ تصمیم‌گیری مقدار هر گزینهٔ Ai را به‌وسیلهٔ رابطهٔ (۳) محاسبه می‌کند.

$$Ai = \sum_{j=1}^{n} Wj \times Xij \qquad \text{(رابطهٔ ۳)}$$

در این رابطه Wj وزن شاخص jام، Xij مقداری است که مکان iام در رابطه با شاخص jام به خود پذیرفته است. به عبارت دیگر این مقدار می‌تواند بیانگر درجهٔ مناسب بودن مکان iام در ارتباط با شاخص jام باشد. N تعداد کل شاخص‌ها بوده و Ai مقداری است که در نهایت به مکان iام تعلق دارد.

در این روش می‌بایست مجموع وزن‌ها برابر یک باشد، که در صورت وجود عدم چنین شرایطی باید در مرحلهٔ آخر، Ai بر مجموع کل وزن‌ها تقسیم گردد. در این صورت خروجی Ai نیز عددی بین صفر و یک خواهد بود. در نهایت گزینهٔ ایده‌آل گزینه‌ای خواهد بود، که دارای بیشترین Ai باشد. روش ترکیب خطی وزنی می‌تواند با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و قابلیت‌های همپوشانی این سیستم اجرا شود.

۴.۲. تلفیق لایه‌های اطلاعاتی، طبقه‌بندی لایه‌های مورد استفاده و تعیین مکان مناسب تغذیهٔ مصنوعی با مدل WLC

بعد از استاندارد سازی لایه‌ها و وزن محاسبه شده به

[1] Fuzzy Logic

[2] Weighted linear combination

Archive of SID
www.SID.ir

روش AHP، لایه‌ها با هم تلفیق می‌شوند که برای این منظور از روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) استفاده می‌گردد در این روش هر فاکتور استاندارد شده در محیط GIS در وزن مرتبط با آن لایه بر اساس رابطهٔ (۳) ضرب می‌شود سپس همهٔ فاکتورها با هم جمع می‌شوند و نقشهٔ به دست آمده در لایهٔ محدودیت (کاربری اراضی و زمین شناسی) ضرب و در نهایت نقشهٔ مورد نظر حاصل می‌گردد. انجام این مراحل برای هر کدام از دو روش پخش سیلاب و حوضچه‌های تغذیه به صورت جداگانه محاسبه و طبقه‌بندی گردید.

پس از طبقه‌بندی لایه‌های اصلی بر اساس استعداد تغذیهٔ مصنوعی برای تعیین مکان مناسب با توجه به نظر کارشناسان از مدل wlc استفاده شده است، که ابتدا وزن هر لایه به روش AHP تعیین می‌گردد. وزن نهایی لایه‌ها با استفاده از نرم‌افزار EC (Expert Choice) که جهت تحلیل مسایل تصمیم‌گیری چندمعیاره با استفاده از تکنیک فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی طراحی شده است که علاوه بر امکان طراحی نمودار سلسله‌مراتبی تصمیم‌گیری و طراحی سوالات، تعیین ترجیحات و اولویت‌ها و محاسبهٔ وزن نهایی و قابلیت تحلیل حساسیت‌ها را نیز دارا می‌باشد، محاسبه شده است. با اجرای روابط ۲ و ۳ هر لایه استانداردسازی می‌شود. در نهایت با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) لایه‌ها با هم تلفیق می‌گردند. در این روش هر فاکتور استاندارد شده در محیط GIS در وزن مرتبط با آن لایه بر اساس رابطهٔ (۳) ضرب می‌شود سپس همه فاکتورها با هم جمع می‌شوند و نقشه به دست آمده در لایهٔ محدودیت (کاربری اراضی و زمین‌شناسی) ضرب و در نهایت نقشه مورد نظر حاصل می‌گردد. انجام این مراحل برای هر کدام از دو روش پخش سیلاب و حوضچه‌های تغذیه به صورت جداگانه محاسبه گردید.

۳. نتایج

همانطور که در روش کار ذکر شد در این مطالعه برای مکان‌یابی مناطق مناسب تغذیهٔ مصنوعی سفره‌های آب زیرمینی شهرستان روانسر به روش wlc تعداد ۷ لایهٔ اطلاعاتی استفاده شد که شامل لایه‌های شیب، ضخامت آبرفت، نفوذپذیری سطحی، هدایت هیدرولیکی، شن، رس، فرسایش‌پذیری و دو لایه محدودیت کاربری اراضی و زمین‌شناسی است (شکل ۲).

همانطور که در بخش قبل ذکر شد، در این پژوهش تعیین مکان مناسب تغذیهٔ مصنوعی برای دو روش پخش سیلاب و حوضچه‌های تغذیه، با استفاده از مدل WLC مشخص گردید که در جدول ۳ طبقه‌بندی لایه‌های اصلی مورد نیاز همراه با مساحت آنها آورده شده است.

جدول ۴ وزن لایه‌ها به روش پخش سیلاب و روش حوضچه‌های تغذیه را نشان می دهد. شکل ۳ نقشهٔ نهایی مکان‌یابی تغذیهٔ مصنوعی پخش سیلاب و حوضچه‌های تغذیه را در سه کلاس مناسب، متوسط و نامناسب نشان می‌دهد.

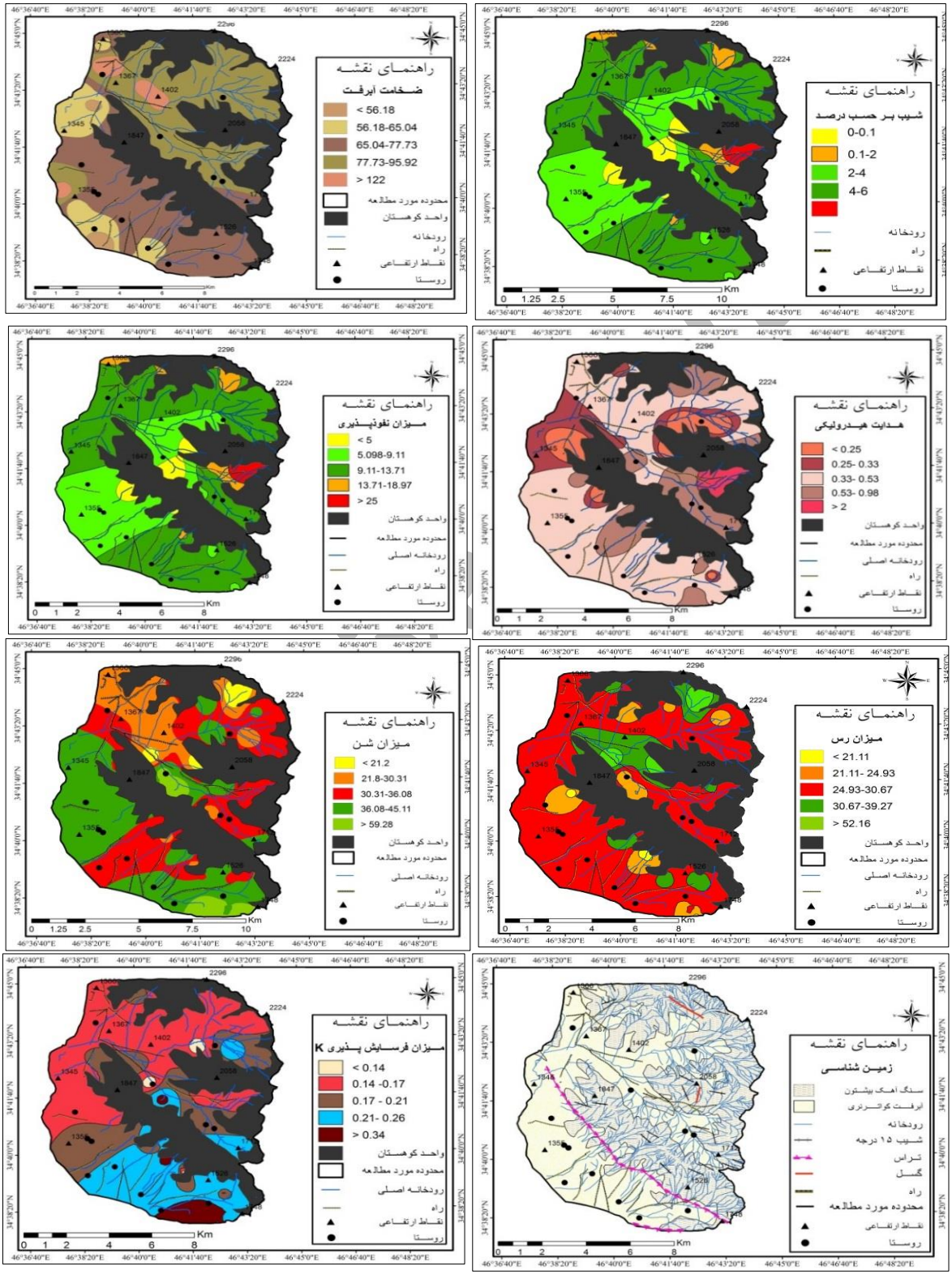
۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش مکان‌یابی تغذیهٔ مصنوعی بر اساس ۷ لایهٔ اصلی و متغیر محیطی با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) انجام شد. بر اساس نتایج به دست آمده از نقشه‌های نهایی مکان‌یابی تغذیهٔ مصنوعی، در روش پخش سیلاب طبقهٔ مناسب با ۲۲/۲۰ کیلومتر مربع ۱۷/۶ درصد از مساحت حوزه، طبقهٔ متوسط با ۳۹/۸۶ کیلومتر مربع ۳۱/۷ درصد از مساحت حوزه، طبقهٔ نامناسب با ۱۹/۳۵کیلومتر مربع ۱۵/۴ در صد از مساحت حوزه و منطقهٔ دارای محدودیت با ۴۴/۵۵ کیلومتر مربع ۳۵/۴ درصد از مساحت حوزه را تشکیل می‌دهد، همچنین در روش حوضچه‌های تغذیه، طبقهٔ مناسب با ۲۱/۱۰ کیلومتر مربع ۱۶/۸ درصد از مساحت حوزه، طبقهٔ متوسط با ۴۰/۹۵ کیلومتر مربع ۳۲/۵ درصد از مساحت حوزه، طبقهٔ نامناسب با ۱۹/۳۴ کیلومتر مربع ۱۵/۴درصد از مساحت حوزه و منطقه دارای محدودیت با ۴۴/۵۵

Archive of SID

www.SID.ir

کیلومتر مربع ۳۵/۴ درصد از مساحت حوزه را تشکیل می‌دهد، با این حال در دو روش مکان‌های مناسب در قسمت‌های شمالی، شمال شرقی و جنوب غربی حوزه واقع شده‌اند.



شکل ۲. نقشه متغیرهای مورد استفاده در منطقه روانسر

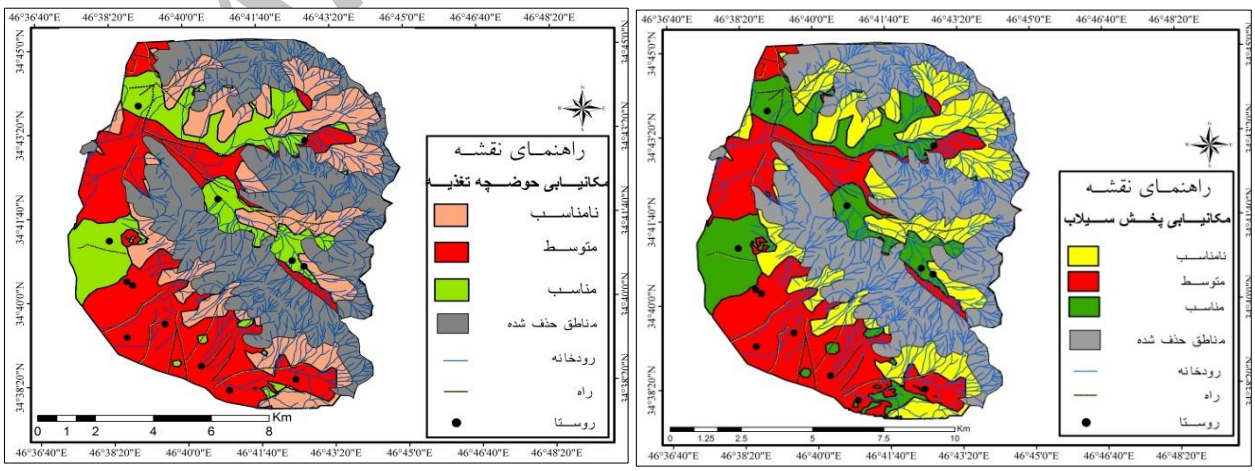
www.SID.ir

جدول ۳. کلاس ومساحت متغیرهای مختلف براساس استعداد تغذیهٔ مصنوعی آب زیرزمینی

متغیر	کلاس	نامناسب	تا حدودی مناسب	خیلی مناسب	تا حدودی مناسب	نامناسب
شیب	محدودهٔ کلاس(٪)	۰-۰/۰۱	۰/۰۱-۲	۲-۴	۴-۶	>۶
	مساحت (Km^2)	۴۷/۳	۱۹/۵۷	۱۹/۳۸	۲۰/۲۲	۱۹/۸۶
شن	محدودهٔ کلاس (٪)	۲۱/۲	۲۱/۲-۳۰/۳۱	۳۰/۳۱-۳۶/۰۸	۳۶/۰۸-۴۵/۱۱	>۵۹/۲۸
	مساحت (Km^2)	۳/۰۸	۲۰/۴	۵۰/۸	۴۸/۶	۴/۱۲
رس	محدودهٔ کلاس (٪)	> ۵۲/۱۶	۳۰/۶۷-۳۹/۲۴	۲۴/۹۳-۳۰/۶۷	۲۱/۱۱-۲۴/۹۳	< ۲۱/۱۱
	مساحت (Km^2)	۰/۵	۹/۵	۹۵/۸	۱۷/۹	۴/۰۸
شدت نفوذپذیری	محدودهٔ شدت نفوذپذیری (mm/h)	<۵	۵/۰۹۸-۹/۱۱	۹/۱۱-۱۳/۷۱	۱۳/۷۱-۱۸/۹۷	>۲۵
	مساحت (Km^2)	۶/۱	۳۵/۵	۷۰/۸	۱۲/۵	۳/۱
آبگذری	آبگذری(m/day)	<۰/۲۵	۰/۲۵-۰/۳۳	۰/۳۳-۰/۵۳	۰/۵۳-۰/۹۸	>۲
	مساحت (Km^2)	۸/۶	۱۳/۴	۷۰/۹	۲۷/۱	۷
فرسایش پذیری	محدوده کلاس(٪)	> ۰/۳۴	۰/۲۱-۰/۲۶	۰/۱۷-۰/۲۱	۰/۱۴-۰/۱۷	< ۰/۱۴
	مساحت (Km^2)	۱/۱۴	۵۵/۲۲	۳۴/۲۱	۳۳/۳۳	۴/۰۴
ضخامت آبرفت	ضخامت آبرفت (m)	۵۶/۱۸	۵۶/۱۸-۶۵/۰۴	۶۵/۰۴-۷۷/۷۳	۷۷/۷۳-۹۵/۹۲	>۱۲۲
	مساحت (Km^2)	۱/۴	۱۰/۷	۴۸/۳۷	۶۳/۷۶	۳/۶۶

جدول ۴. وزن لایه‌ها در روش پخش سیلاب

لایه	وزن	
	روش پخش سیلاب	روش حوضچه‌های تغذیه
نفوذپذیری	۰/۱۱۸	۰/۱۱۳
هدایت هیدرولیکی	۰/۰۹۵	۰/۰۹۵
ضخامت آبرفت	۰/۱۰۷	۰/۱۲۸
شن	۰/۱۷۲	۰/۱۶۹
رس	۰/۰۴۲	۰/۰۴۳
شیب	۰/۲۲۴	۰/۲۰۶
فرسایش‌پذیری	۰/۰۷۲	۰/۰۷۲



شکل ۳. نقشهٔ نهایی مکان‌یابی تغذیهٔ مصنوعی به روش پخش سیلاب در منطقهٔ روانسر

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۵. مساحت عرصه‌های تغذیهٔ مصنوعی از طریق روش پخش سیلاب و روش حوضچه‌های تغذیه

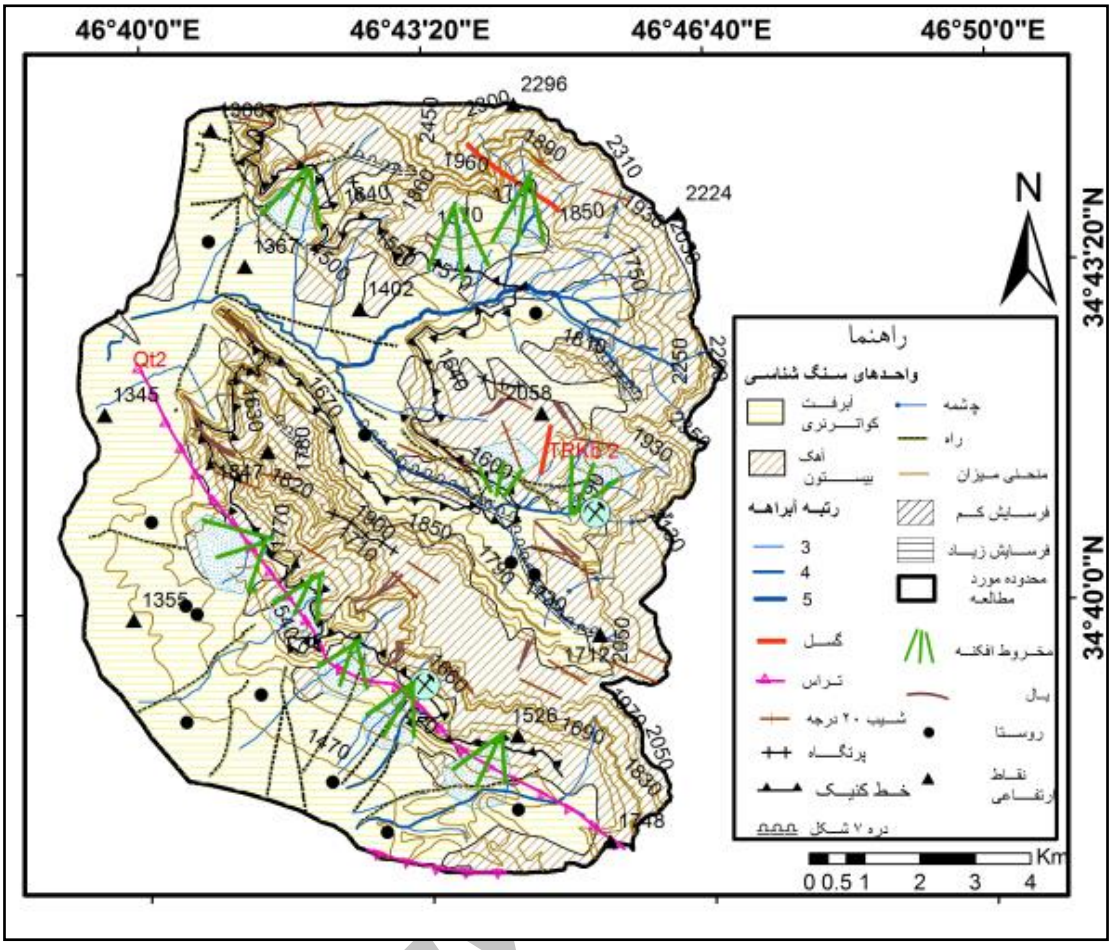
میزان تناسب	مناسب	متوسط	نامناسب	منطقهٔ دارای محدودیت
مساحت (Km^2) روش پخش سیلاب	۲۲/۲۰	۳۹/۸۶	۱۹/۳۵	۴۴/۵۵
مساحت (Km^2) روش حوضچه‌های تغذیه	۲۱/۱۰	۴۰/۹۵	۱۹/۳۴	۴۴/۵۵

همچنین با انطباق مکان‌های مناسب تغذیهٔ مصنوعی با نقشهٔ ژئومورفولوژی در دو روش پخش سیلاب و حوضچه‌های تغذیه مشخص گردید که مخروط‌افکنه‌ها مکان مناسب برای تغذیهٔ مصنوعی می‌باشند. لازم به ذکر است در این پژوهش فرض گردید که مخروط‌افکنه‌ها از مکان‌های مناسب تغذیهٔ مصنوعی می‌باشند، لذا به منظور تأیید یا رد این فرض نقشه ژئومورفولوژی منطقه تهیه و موقعیت مخروط‌افکنه‌ها تعیین گردید. با انطباق مکان‌های مناسب تغذیهٔ مصنوعی با نقشهٔ ژئومرفولوژی (شکل ۵) در دو روش پخش سیلاب و حوضچه‌های تغذیه مشخص گردید که مناطق مستعد در راستای شبکهٔ زهکشی و از مجموع ۱۰ مخروط‌افکنه در منطقهٔ مورد مطالعه که ۷/۸۱ کیلومتر مربع از مساحت منطقه را شامل می‌شود ۳۱/۹۸ درصد مساحت مخروط‌افکنه‌ها در منطقهٔ مناسب، ۱۳/۹۰ درصد مساحت مخروط‌افکنه‌ها در محدودهٔ متوسط و ۵۲/۷ در صد مساحت مخروط‌افکنه‌ها در محدودهٔ مناطق نامناسب قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که به کار گیری روش‌های جدید و ترکیبی می‌تواند ب عنوان ابزاری کارآمد در مکان‌یابی محل تغذیهٔ مصنوعی مورد استفاده قرار بگیرد. وجود شرایط زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، هیدرولوژی و هیدروژئولوژی مطلوب، قرار داشتن در خارج از حریم منابع آبی سطحی و زیرزمینی، کنترل و تطبیق این مکان‌ها به وسیلهٔ بازدیدهای صحرایی، کارایی این روش را به اثبات می‌رساند. این پژوهش نشان می‌دهد که می‌توان مسائل پیچیده و دشواری همچون مکان‌یابی تغذیهٔ مصنوعی را با تقسیم نمودن آن به اجزاء و معیارهای تأثیرگذار، ساده نمود و علاوه بر آن معیارهای کیفی را با اختصاص مقادیر عددی به آنها، به صورت ریاضی بیان کرده و در امر تصمیم‌گیری دخیل نمود. با توجه به اینکه اراضی کشاورزی در مالکیت مردم بوده و امکان اجرای چنین پروژه هایی در اراضی کشاورزی امکان‌پذیر نیست، و در مکان‌یابی عرصه‌های تغذیهٔ مصنوعی، توجه به اراضی کشاورزی حائز اهمیت می‌باشد در صورت عدم استفاده از این اراضی در طرح‌های تغذیهٔ مصنوعی پیشنهاد می‌گردد در پروژه‌های تغذیهٔ مصنوعی با آموزش دادن به کشاورزان؛ این قبیل اراضی را با انجام روش‌هایی نظیر آبیاری اضافی و سایر روش‌های مناسب در طرح‌های تغذیهٔ مصنوعی در زمان‌های مناسب شرکت داد.

بنابراین نتایج حاصل از اجرای مدل نشان داد که مخروط‌افکنه‌ها مکان‌هایی مناسب برای تغذیهٔ مصنوعی سفره‌های آب زیرزمین می‌باشند. کریمی و همکاران (۱۳۹۰) به مکان‌یابی مناطق مناسب جهت تغذیهٔ مصنوعی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل AHP در دشت داراب (استان فارس) پرداختند [۱۱]. نتایج به دست آمده از تحقیق نشان‌دهندهٔ این بود که بالادست آب‌های زیرزمینی، نزدیک رودخانه و آب‌های سطحی مناسب‌ترین محل برای تغذیهٔ مصنوعی می‌باشند. همچنین نتایج تحقیق ناصری و همکاران (۱۳۸۸) در دشت چاه‌دراز (سیرجان) نشان داد که محدوده‌های مناسب که عمدتاً در شمال و شمال شرقی دشت چاه دراز قرار دارند، ب عنوان مکان مناسب تغذیهٔ مصنوعی آ های زیرزمینی انتخاب شده‌اند [۱۶].

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۵. نقشهٔ ژئومورفولوژی منطقهٔ روانسر

References

[1] Agarwal, R., Garg, P. K., and Garg, R. D. (2013). Remote Sensing and GIS Based Approach for Identification of Artificial Recharge Sites. *Water Resource Management*, 27, 2671-2689.

[2] Alizadeh, A. (1995). Principles of Applied Hydrology, 6th Edition, Imam Reza press, Mashhad.

[3] Ammar Adhama, A. C., Michel Riksen, A., Mohamed Ouessar, B., and Coen Ritsema, A. (2016). Identification of suitable sites for rain water harvesting structures in arid and semi-arid regions: A review. *International Soil and Water Conservation Research*, 4, 108 –120.

[4] Chowdhury, V. M. (2010). Delineation of groundwater recharge zones and identification of artificial recharge site in west Medinipur district West Bengale, Using RS, GIS, and MCDM techniques. *Environmental Earth Sciences*, 59, 1209-1222.

[5] Ebrahimi, F., Karamy, G. H. and Hafazi Moghadas, N. (2011). Using the Analytic Hierarchy Process ANP in artificial feeding location in the city Shahrud. 7th Congress of the Association of Engineering Geology and the Environment, 5 August, Shahrud, Iran, pp 8-15.

[6] Forest Range and Watershad Management Organization. (2011). Land use map of the city Rawansar, Scale 1: 25000

[7] Geological Survey of Iran (GSI). (1996). Geological map of Kermanshah Scale 1: 100000.

Archive
www.SID.ir

[8] Gharagozlou, A. R., Pierroti, A. and Shahabi, H. (2010). Boolean evaluation method, AHP and linear weighted combination of the location of turpentine disposal with emphasis on geomorphic, Seventeenth National Conference and Exhibition Geomatics, 12 may, Tehran, Iran.pp153-168.

[9] HekmatPoor, M., Faznia, S., Ahmadi, H. and Khalil Pour, A. (1991). Zoning areas suitable for artificial recharge of the plains of Varamin with the help of GIS decision support system (DSS). *Journal of Environmental Studies*, 42, 1-8.

[10] Hosseinzadeh, M. M., Sarvati, M. R., Mansouri, A., Mirbagheri, B. and Khezri, S. (2009). Zoning the risk of mass movement occurrences using logistic regression model, case study in Vicinity of Sanandaj- Dehgolan Way. *Iranian Journal of Geology*, 3(3), 27-37.

[11] Karimi, S., Zareh, M., Karimi, M. R. and Bahrami, Z. (2011). Locate areas suitable for artificial feeding using GIS and Analytic Hierarchy Process (AHP): A Case Study of Darab plain, National Conference on Geology of Iran, 25&26 May, Shiraz, Tehran, pp145-154.

[12] Kheirkhah zarkesh, M. M., Zarcheshm, M. R . (2016). Floodwater spreading site Dikhsam area in Sistaan & Baluchistan province. *Journal of environmental science and technology*, 17, 64-67.

[13] Maleki, A., Hesadi, H. and Nadeian, P. (2013). Artificial feeding locating catchment Marg. *Geographical Research*, 24(1), 52-78.

[14] Ministry of Energy, Kermanshah Regional Water Company. (2008). Technical specifications exploratory wells piezometric Rawansar plain, boring log 22.

[15] Mohan, G., and Ravi Shankar, M. N. (2005) .A GIS based hydrogeomorphic approach for identification of site specific artificial-recharge techniques in the Deccan Volcanic Province. *Journal of Earth System Sciences*, 114(5), 505-514.

[16] Naseri, H. R., Azizkhani, M. J. and Maknoni, S. (2009). Integration of multi-criteria decision systems and geographic information in locating suitable sites for water spreading for artificial recharge (Case study: Plain long-Sirjan well). *Iranian Journal of Geology*, 3(2), 97-105.

[17] National Geography Organization of Iran. (2001). Topographic map of Rawansar, Scale 1: 25000, sheet 5359 2 NW and 5359 3 NE.

[18] Peksezer Sayit, A., and Yazicigil, H. (2012). Assessment of artificial aquifer recharge potential in the Kucuk Menderes River Basin,Turkey. *Hydrogeology Journal*, 20, 755-766.

[19] Ramalingam, M. and Santhakumar, A. (2002). Case study on artificial recharge using remote sensing and GIS. www.GISDevelopment.net (accessed on June25).

[20] Sargaonkar, A., Rathi, B., and Baile, A. (2010). Identifying potential sites for artificial groundwater recharge in sub-watershed of River Kanhan, India. *Environmental Earth Sciences*, 1, 45-69.

Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir