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 ژئومورفولوژیک، پخش سیلاب، حوضچه‌های تغذیه، مدل WLC، شهرستان روانسر

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

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 مناسب 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 مناسب 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 مناسب برای تغذیهٔ مصنوعی 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 مصنوعی (سطحی و تزریقی) به صورت جداگانه وزن‌دهی و تلفیق کردند. نتیجهٔ به دست آمده نشان می‌دهد که مدل AHP با داشتن بیشترین در صد همپوشانی و کمترین مساحت بهترین مدل مکان‌یابی و پس از آن مدل Multi-Class-Maps و در رتبهٔ آخر مدل Boolean قرار دارد [۱۳].

در تحقیق حاضر، هدف شناسایی مکان‌های مستعد برای تغذیهٔ مصنوعی آب‌های زیرزمینی در شهرستان روانسر می‌باشد. با توجه به اینکه تغذیهٔ مصنوعی به روش‌های مختلف صورت می‌گیرد و تعیین مکان مناسب برای هر کدام از این روش‌ها متفاوت است لذا، در این تحقیق سعی شده است که برای دو روش متداول تغذیهٔ مصنوعی؛ پخش سیلاب و حوضچه‌های 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

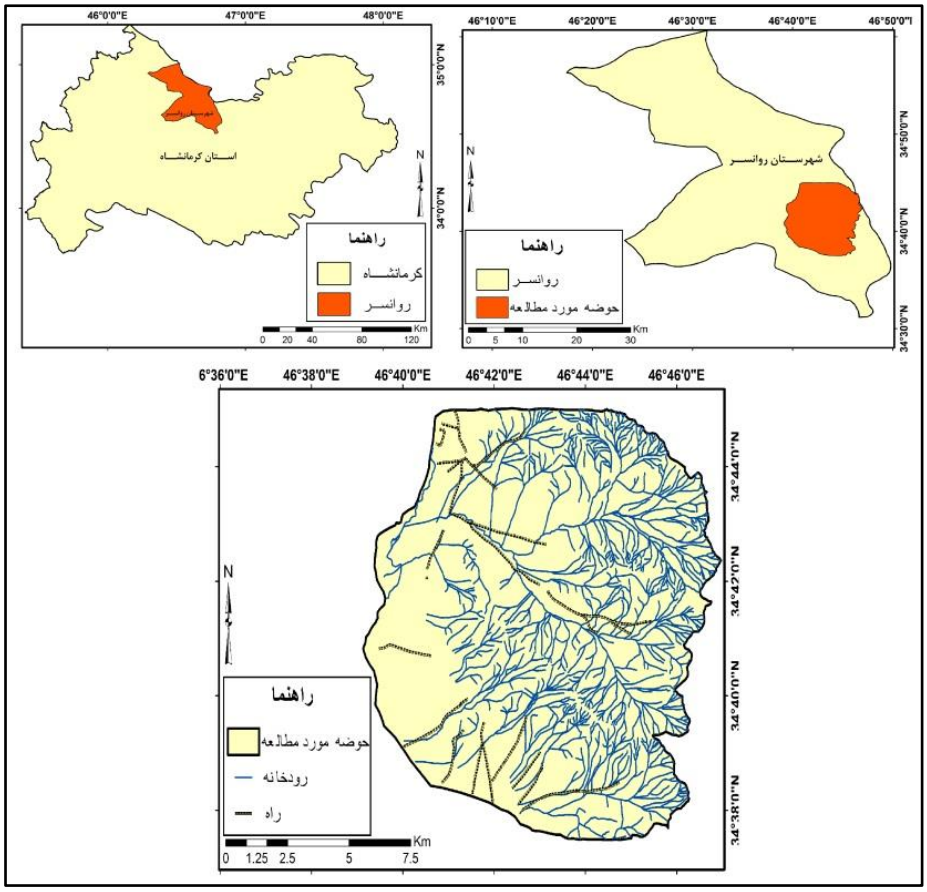
[1] Sargaonkar
[2] Agarwal
[3] Garg

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 ۳۰َ، ۳۷َ، ۴۶ْ تا ۵۲َ، ۴۶ْ طول شرقی و ۳۰َ، ۳۷َ، ۳۴ْ تا ۴۵َ، ۳۴ْ 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

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. لایه‌های مورد استفاده در مکان یابی به 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

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

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].

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

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

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.

$$Ai = \sum_{j=1}^{n} Wj \times Xij$$ (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

روش AHP، لایه‌ها با هم تلفیق می‌شـــوند که برای این منظور از روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) اســـتفاده می‌گردد در این روش هر فاکتور استاندارد شده در محیط GIS در وزن مرتبط با آن لایه بر ا ساس رابطهٔ (۳) ضرب می‌شود سپس همهٔ فاکتورها با هم جمع می‌شوند و نقشهٔ به دســـت آمده در لایهٔ محدودیت (کاربری اراضـــی و زمین شنا سی) ضرب و در نهایت نقشهٔ مورد نظر حا صل می‌گردد. انجـام این مراحـل برای هر کـدام از دو روش پخش سـیلاب و حوضـچه‌های تغذیه به صـورت جداگانه محاسبه و طبقه‌بندی گردید.

پس از طبقه‌بندی لایه‌های اصـلی بر اســاس اســتعداد تغذیهٔ مصـــنوعی برای تعیین مکان مناســـب با توجه به نظر کارشناسان از مدل wlc استفاده شده است، که ابتدا وزن هر لا یه به روش AHP تعیین می‌گردد. وزن نهایی لا یه ها با اســتفاده از نرم‌افزار (Expert Choice) EC که جهت تحلیل مسایل تصمیم‌گیری چندمعیاره با استفاده از تکنیک فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی طراحی شده ا ست که علاوه بر امکان طراحی نمودار ســـلســـله‌مراتبی تصـــمیم‌گیری 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 اســـتفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) لا یه ها با هم تلفیق می‌گرد ند. در این روش هر فاکتور اســتاندارد شــده در محیط GIS در وزن مرتبط با آن لایه بر ا ساس رابطهٔ (۳) ضرب می شود سپس همه فاکتورها با هم جمع می‌شـــوند و نقشـــه به دســـت آمده در لایهٔ محدودیت (کاربری اراضی و زمین‌شناسی) ضرب و در نهایت نقشه مورد نظر حاصـــل 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 منا سب تغذیهٔ م صنوعی سفره‌های آب زیرمینی شـــهرســـتان روانســـر به روش wlc تعداد ۷ لایهٔ اطلاعاتی استفاده شد که شامل لایه‌های شیب، ضخامت آبرفت، نفوذپذیری ســـطحی، هدایت هیدرولیکی، شـــن، رس، فر سایش‌پذیری و دو لایه محدودیت کاربری ارا ضی و زمین‌شناسی است (شکل ۲).

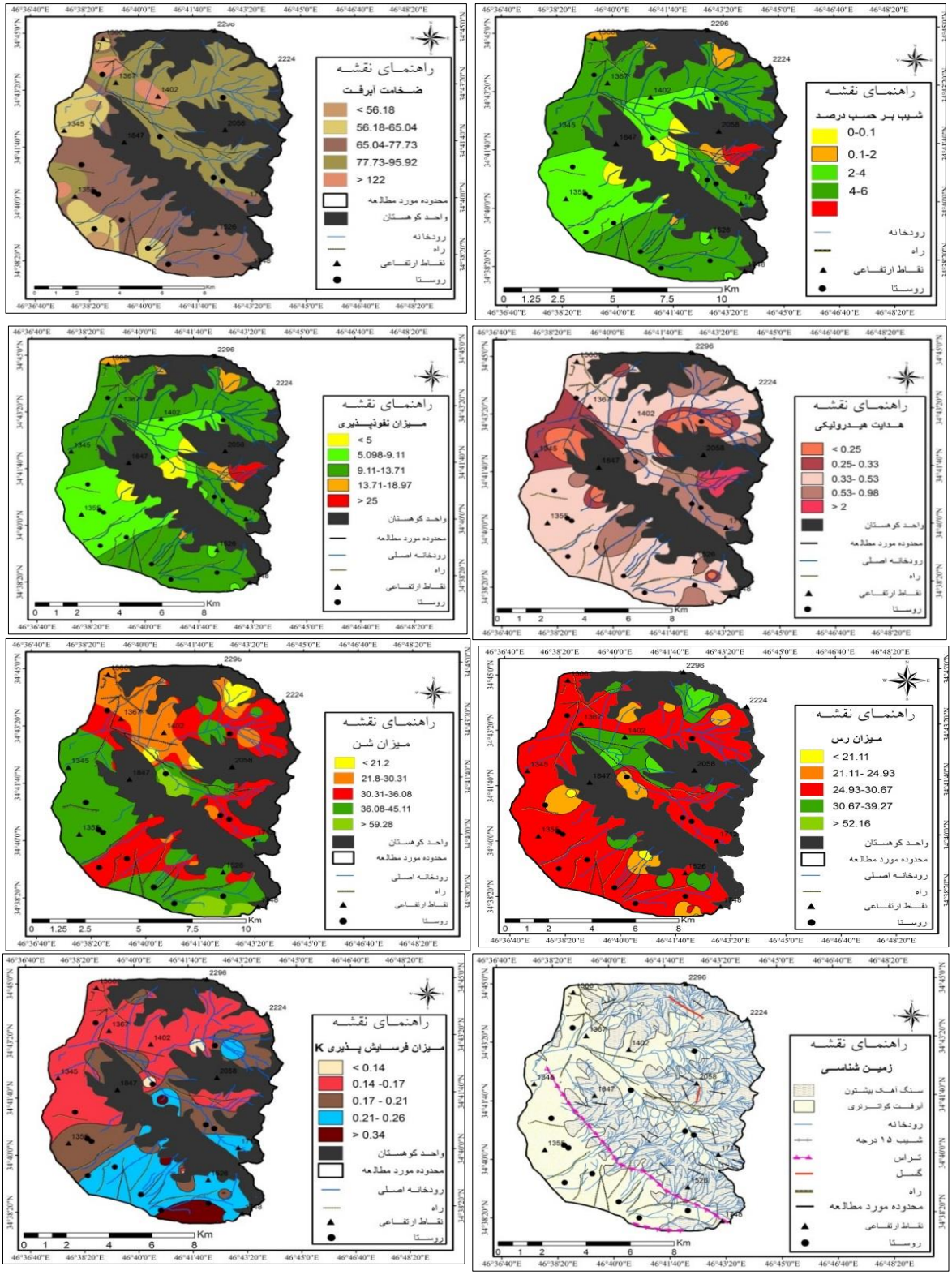
همانطور که در بخش قبل ذکر شـــد، در این پژوهش تعیین مکان منا سب تغذیهٔ مصنوعی برای دو روش پخش ســیلاب و حوضـچه‌های تغذیه، با اســتفاده از مدل WLC مشخص گردید که در جدول ۳ طبقه‌بندی لایه‌های اصلی مورد نیاز همراه با مساحت آنها آورده شده است.

جدول ۴ وزن لایه‌ها به روش پخش ســـیلاب و روش حوضچه‌های تغذیه را نشان می دهد. شکل ۳ نقشهٔ نهایی مکان‌یابی تغذیهٔ مصـنوعی پخش سـیلاب و حوضـچه‌های تغذیه را در سه کلاس منا سب، متوسط و نامنا سب نشان می‌دهد.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش مکان‌یابی تغذیهٔ م صنوعی بر ا ساس ۷ لایهٔ اصـــلی و متغیر محیطی با اســـتفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) انجام شد. بر اساس نتایج به دست آمده از نقشـــه‌های نهایی مکان‌یابی تغذیهٔ مصـــنوعی، در روش پخش سیلاب طبقهٔ مناسب با ۲۲/۲۰ کیلومتر مربع ۱۷/۶ درصـد از مسـاحت حوزه، طبقهٔ متوسـط با ۳۹/۸۶ کیلومتر مربع ۳۱/۷ درصـــد از مســـا حت حوزه، طبقهٔ نامنا سب با ۱۹/۳۵کیلومتر مربع ۱۵/۴ در صد از م ساحت حوزه و منطقهٔ دارای محدودیت با ۴۴/۵۵ کیلومتر مربع ۳۵/۴ درصد از مساحت حوزه را تشکیل می‌دهد، همچنین در روش حوضـــچه‌های تغذیه، طبقهٔ مناســـب با ۲۱/۱۰ کیلومتر مربع ۱۶/۸ درصد از مساحت حوزه، طبقهٔ متوسط با ۴۰/۹۵ کیلومتر مربع ۳۲/۵ درصـــد از مســـاحت حوزه، طبقهٔ نامناســـب با ۱۹/۳۴ کیلومتر مربع ۱۵/۴درصـــد از مســـا حت حوزه و منط قه دارای م حدود یت با ۴۴/۵۵

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.



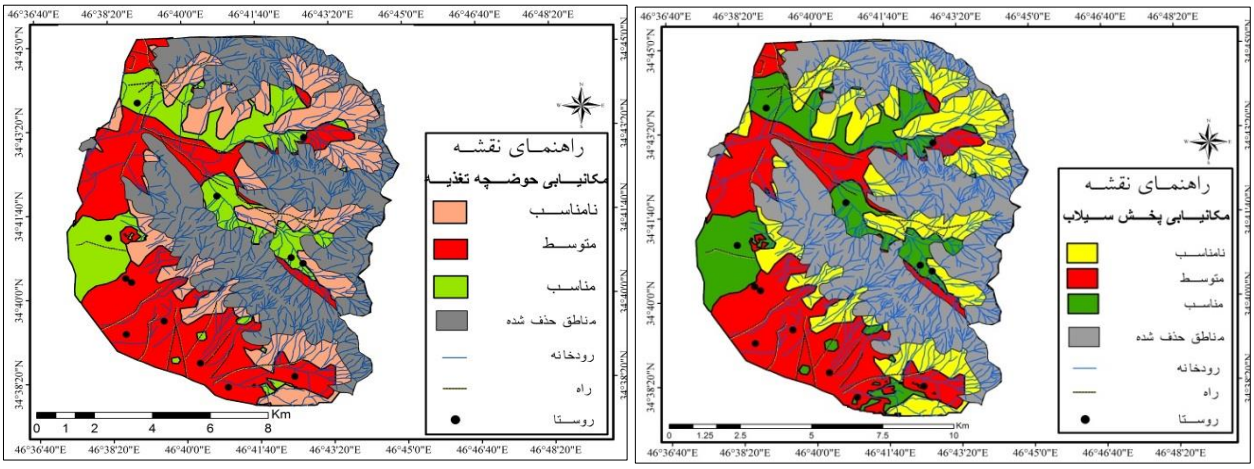
شکل ۲. نقشه متغیرهای مورد استفاده در منطقه روانسر

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



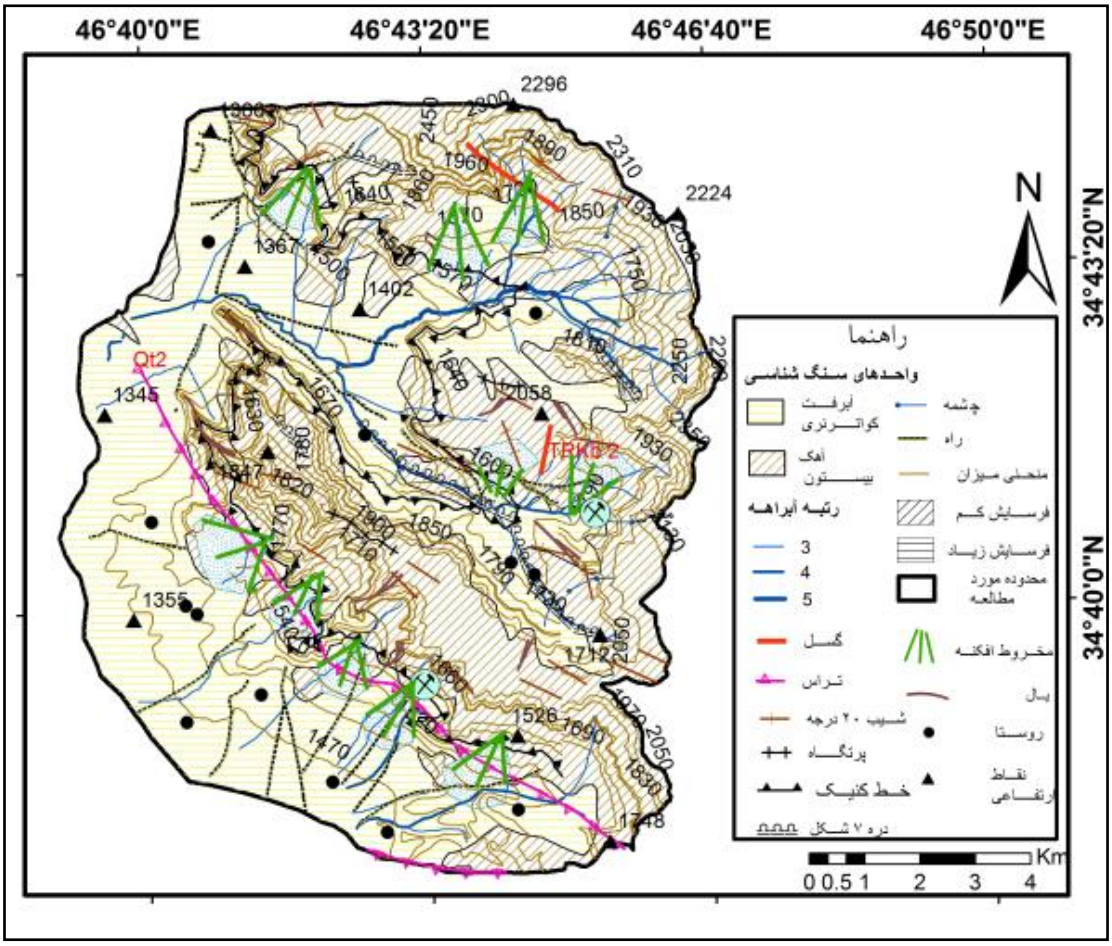
شکل ۳. نقشهٔ نهایی مکان‌یابی تغذیهٔ مصنوعی به روش پخش سیلاب در منطقهٔ روانسر

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 منا سب تغذیهٔ م صنوعی با نقشـــهٔ ژئومورفولوژی در دو روش پخش ســـیلاب و حوضـــچه‌های تغذیه مشـــخص گردید که مخروط‌افکنه‌ها مکان مناسب برای تغذیهٔ مصنوعی می‌باشند. لازم به ذکر اســـت در این پژوهش فرض گردید که مخروط‌افکنه‌ها از مکان‌های مناسب تغذیهٔ مصنوعی می‌باشند، لذا به منظور تأیید یا رد این فرض نقشـــه ژئومورفولوژی منطقه تهیه و موقعیت مخروط‌افکنه‌ها تعیین گردید. با انطباق مکان‌های مناسب تغذیهٔ مصنوعی با نقشهٔ ژئومرفولوژی (شکل ۵) در دو روش پخش ســـیلاب و حوضـــچه‌های تغذیه مشـــخص گردید که مناطق م ستعد در را ستای 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 درصـــد مســـاحت مخروط‌افکنه‌ها در محدودهٔ متوســـط و ۵۲/۷ در صد م ساحت مخروط‌افکنه‌ها در محدودهٔ مناطق نامنا سب قرار گرفته ا ست. نتایج ن شان می‌دهد که به کار گیری روش‌های جدید و ترکیبی می‌تواند ب عنوان ابزاری کارآمد در مکان‌یابی محل تغذیهٔ م صنوعی مورد ا ستفاده قرار بگیرد. وجود شـــرایط زمین‌شـــناســـی، ژئومورفولوژی، ه یدرولوژی و ه یدروژئولوژی مطلوب، قرار داشـــتن در خارج از حریم منابع آبی ســـطحی و زیرزمینی، کنترل و تطبیق این مکان‌ها به و سیلهٔ بازدیدهای صحرایی، کارایی این روش را به اثبات می‌رساند. این پژوهش نشان می‌دهد که می‌توان م سائل پیچیده و د شواری همچون مکان‌یابی تغذیهٔ مصـــنوعی را با تقســـیم نمودن آن به اجزاء و معیارهای تأثیرگذار، ســـاده نمود و علاوه بر آن معیارهای کیفی را با اختصـــاص مقادیر عددی به آنها، به صـــورت ریاضـــی بیان کرده و در امر تصـــمیم‌گیری دخیل نمود. با توجه به اینکه اراضـــی کشـــاورزی در مالکیت مردم بوده و امکان اجرای چنین پروژه هایی در اراضـــی کشـــاورزی امکان‌پذیر نیســـت، و در مکان‌یابی عرصـــه‌های تغذیهٔ مصنوعی، توجه به اراضی کشاورزی حائز اهمیت می‌باشد در صورت عدم ا ستفاده از این ارا ضی در طرح‌های تغذیهٔ م صنوعی پیشنهاد می‌گردد در پروژه‌های تغذیهٔ م صنوعی با آموزش دادن به ک شاورزان؛ این قبیل ارا ضی را با انجام روش‌هایی نظیر آبیاری ا ضافی و سایر روش‌های منا سب در طرح‌های تغذیهٔ مصنوعی در زمان‌های مناسب شرکت داد.

بنابراین نتایج حاصـــل از اجرای مدل نشـــان داد که مخروط‌افکنه‌ها مکان‌هایی مناســـب برای تغذیهٔ مصـــنوعی ســـفره‌های آب زیرزمین می‌باشـــند. کریمی و همکاران (۱۳۹۰) به مکان‌یابی مناطق مناســـب جهت تغذیهٔ مصنوعی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل AHP در دشـــت داراب (اســـتان فارس) پرداختند [۱۱]. نتایج به دســـت آمده از تحقیق نشـــان‌دهندهٔ این بود که بالادســـت آب‌های زیرزمینی، نزدیک رودخانه و آب‌های سطحی مناسب‌ترین محل برای تغذیهٔ مصنوعی می‌باشند. همچنین نتایج تحقیق ناصـــری و همکاران (۱۳۸۸) در دشـــت چاه‌دراز (ســـیرجان) نشـــان داد که محدوده‌های مناسب که عمدتاً در شمال و شمال شرقی دشت چاه دراز قرار دارند، ب عنوان مکان منا سب تغذیهٔ م صنوعی آ های زیرزمینی انتخاب شده‌اند [۱۶].



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.

[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.