Journal of Water and Wastewater Science and Engineering (JWWSE)
Vol. 4, No. 2, PP. 47-57, Summer 2019
DOI: 10.22112/jwwse.2019.163705.1130

نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال چهارم، شماره ۲، صفحات ۴۷-۵۷، تابستان ۱۳۹۸

Technical Paper

Locating Areas Suitable for Groundwater Artificial Recharge with Fuzzy Model (Case Study, Lorestan Province)

Zahra Yarmoradi[1*], Mehdi Khodadad[2], Behrouz Nasiri[3] and Mostafa Karampoor[4]
1- Ph.D. Candidate, University of Lorestan, Khoramabad, Iran.
2- Masters of Geography and Rural Planning, Golestan University, Gorgan, Iran.
3- Associate Professor, Department of Climatology, Lorestan University, Khoramabad, Iran.
4- Assistant Professor, Department of Climatology, Lorestan University, Khoramabad, Iran.
* Corresponding author, Email: yarmoradi.za@fh.lu.ac.ir

Received: 25/01/2019
Revised: 20/05/2019
Accepted: 21/05/2019

Abstract

Iran is a dry land with very little rainfall. The average rainfall in Iran is less than a third of the global average. Nowadays, with the increase in population and the subsequent increase in demand for food, the utilization of water resources, and in particular groundwater resources, is considerably increased. Currently the amount of groundwater resources exploitation exceeds its supply and so the lack of groundwater resources should be compensated. The purpose of this study was to locate zones suitable for the artificial recharge of the aquifers with a case study for Lorestan Province. For this purpose, AHP was employed as an efficient techniques and comprehensive system designed for multiple criteria decision-making. Required layers such as the slope, soil and geological structure, land use, rainfall, distribution of Quaternary alluvial and satellite imagery of the area was prepared. Then GIS software was used to overlay the layers and information and with use of Fuzzy logic, distinguishing suitable sites for artificial recharge of groundwater and the flood spreading. Based on the results, form the total area of the province (28294 km²), about 9258.36 km² (32.5%) are suitable for the design of artificial recharge and 5926.36 km² (about 21%) can be considered for flood spreading. Finally, the integration of the two resulting maps led to suitable sites for artificial recharge and flood spreading as about 7682.21 km² (21.79%). Therefore, GIS models are a powerful tool to locate artificial recharge and flood plain sites, because of their ability for analysis of large geographical data and prioritization of scientific decisions.

Keywords: Artificial recharge, Fuzzy model, Groundwater, Locating, Lorestan province.

مقاله کاربردی

مکان‌یابی عرصه‌های مناسب آب‌های زیرزمینی نیازمند به تغذیه مصنوعی با مدل فازی (با تاکید بر استان لرستان)

زهرا یارمرادی[۱*]، مهدی خداداد[۲]، بهروز نصیری[۳] و مصطفی کرمپور[۴]
۱- دانشجوی دکترای اقلیم شناسی، دانشگاه لرستان.
۲- کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه گلستان.
۳- دانشیار اقلیم شناسی، دانشگاه لرستان.
۴- استادیار اقلیم شناسی، دانشگاه لرستان.
* نویسنده مسئول، ایمیل: yarmoradi.za@fh.lu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۰۵
تاریخ اصلاح: ۱۳۹۸/۰۲/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۳۱

چکیده

ایران سرزمینی است خشک با نزولات جوی بسیار کم به‌طوری‌که میانگین بارش آن کمتر از یک سوم متوسط بارندگی در دنیا است. امروزه با افزایش جمعیت کشور و به‌تبع آن افزایش تقاضا برای مواد غذایی، بهره‌برداری از منابع آب، به‌ویژه منابع آب زیرزمینی بسیار بیشتر از گذشته شده است، به‌طوری‌که این میزان مصرف بیشتر از میزان تغذیه منابع آب زیرزمینی است. لذا باید این کمبود منابع آب زیرزمینی جبران شود. هدف از این پژوهش مکان‌یابی پهنه‌های مناسب تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی در استان لرستان است. در این تحقیق ابتدا لایه‌های مورد نیاز همچون شیب، جنس خاک و ساختار زمین‌شناسی، کاربری‌اراضی، میزان بارندگی، پراکنش آبرفت‌های کواترنری و تصاویر ماهواره‌ای در منطقه موردنظر تهیه شد. سپس در نرم‌افزار GIS با انطباق لایه‌های اطلاعاتی و استفاده از منطق Fuzzy مکان‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی و محل‌های مناسب پخش سیلاب استخراج شد. براساس نتایج به‌دست آمده، از کل مساحت استان (۲۸۲۹۴ کیلومترمربع) حدود ۹۲۵۸/۳۶ کیلومترمربع (۳۲/۵٪) مناسب برای طرح‌های تغذیه مصنوعی و حدود ۵۹۲۶/۳۶ کیلومترمربع (حدود ۲۱٪) سطح استان مناسب برای اجرای پروژه‌های پخش سیلاب است. در نهایت از تلفیق دو نقشه حاصل، مکان‌های مناسب برای تغذیه‌مصنوعی و پخش سیلاب در این استان حدود ۷۶۸۲/۲۱ کیلومترمربع (۲۱/۷۹٪) برآورد شد. در نتیجه استفاده و به‌کارگیری مدل‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تجزیه و تحلیل حجم بالای داده‌های جغرافیایی و ارزیابی و اولویت‌بندی تصمیم‌گیری‌ها در قضاوت کارشناسانه، ابزار کارامدی را برای مکان‌یابی محل‌های تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب فراهم می‌کند.

کلمات کلیدی: مکان‌یابی، تغذیه مصنوعی، آب‌های زیرزمینی، مدل فازی، استان لرستان.

۱- مقدمه

کشور ایران سرزمینی است خشک و نیمه خشک با نزولات جوی بسیار اندک، به‌طوری‌که میانگین بارش سالیانه آن کمتر از یک سوم متوسط بارندگی سالیانه جهان است. این گستره بزرگ جغرافیایی با مشخصات هیدرولوژیکی خاص (مانند حجم نزولات جوی ۴۱۳، تبخیر و تعرق ۲۹۶ و حجم آب قابل‌دسترس ۱۱۷ میلیارد مترمکعب، سرانه آب تجدیدشونده ۱۹۰۰ مترمکعب، مصرف ۴۳ میلیارد مترمکعب که حدود ۶۵٪ آن از آب‌های زیرزمینی تامین می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۵). به‌ویژه این‌که هم‌اکنون از ۶۳۰ دشت کشور ۲۲۰ دشت آن ازنظر منابع آب زیرزمینی در رده دشت‌های ممنوعه قرار دارند (کردوانی، ۱۳۸۵). لزوم شناخت و بهره‌برداری بهینه از آب‌های زیرزمینی از آن‌جا ناشی می‌شود که این منابع ۹۹٪ از کل آب‌های شیرین قابل استفاده را تشکیل می‌دهند (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۳). مشکلات ناشی از بروز خشک‌سالی‌ها از یک‌سو و سیلاب‌های مخرب از سوی دیگر، لزوم مدیریت صحیح منابع آب را نمایان می‌سازد. در این رابطه جمع‌آوری آب‌های سطحی، تغذیه آب‌های زیرزمینی و تنظیم بهره‌برداری صحیح آب، مهم‌ترین راه‌کارهای مدیریت منابع آب به‌شمار می‌روند (قهاری و پاکرو، ۱۳۸۶). تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی به روش‌های مختلفی صورت می‌گیرد، ازجمله می‌توان به پخش آب[۱] از طریق: غرقاب کردن زمین در کرت‌های وسیع[۲]، تغذیه از طریق رودخانه[۳]، ایجاد نهر[۴]، گودال‌های تغذیه و از طریق پخش سیلاب[۵] اشاره کرد.

Mahdavi et al. (2004) مطالعه‌ای را در مورد مکان‌یابی محل‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی منابع آب زیرزمینی از طریق سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در یکی از مناطق جنوبی اصفهان انجام دادند. در این بررسی پس از تهیه نقشه‌های شیب، خاک، جهت شیب، شبکه آبراهه، اطلاعات اقلیمی و نقشه کاربری اراضی، لایه‌های اطلاعاتی با هم تلفیق و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، محل‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی استخراج شد. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش آن‌ها نشان‌داد که استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند ابزار کارآمدی برای مکان یابی محل‌های مناسب تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی باشد. Ghayoumian et al. (2007) برای مکان‌یابی مناطق تغذیه آب زیرزمینی در حوضه آبخیز گاوبندی از فاکتورهای شیب، نفوذ پذیری سطحی، ضخامت و کیفیت آبرفت بهره‌گرفتند. پارامترهای بالا در محیط GIS و با اعمال روش‌های مختلف امتیازدهی و تلفیق شدند.

Sekar and Radhir (2007) در پژوهشی با عنوان ارزیابی مکان‌یابی پتانسیل جمع‌آوری آب باران در سیستم حوضه آبخیز روش مشخصی از ارزیابی پتانسیل جمع‌آوری آب و ارزیابی هزینه‌ها را ارائه دادند. نتایج نشان‌داد که برای به‌حداقل رساندن تلفات رواناب و ذخیره آن باید متغیرهای استراتژی جمع‌آوری آب باران مورد استفاده قرارگیرد. این متغیرها شامل اطلاعات مربوط به تهیه نقشه‌های اولویت‌بندی مناطق مستعد تغذیه آب‌های زیرزمینی است. اطلاعاتی مانند نقشه کاربری اراضی، شیب خاک و ... است. مناطق جمع‌آوری که به‌صورت خوشه‌ای در یک محل جمع شده‌اند از نظر مکانی و اقتصادی مورد تایید بوده، ولی در بعضی از زیرحوضه‌ها که موقعیت مکانی جمع‌آوری آب متفرق بوده، باید توسعه اقتصادی با ارزیابی هیدرولوژیکی به‌منظور تسهیل در مدیریت ذخیره و بالابردن راندمان جمع‌آوری آب مورد استفاده قرار گیرد.

Hissen et al. (2008) با استفاده از سنجش از دور و GIS نقاط مناسب برای تغذیه آب زیرزمینی در حوضه[۶] چی پی تایوان را بررسی کردند. Mosavi et al. (2008) با استفاده از GIS به مطالعه مناطق مناسب برای تغذیه آب زیرزمینی در جنوب دشت ایذه واقع در جنوب غرب ایران پرداختند و نتایج آن نشان داد که مناطق دارای شکستگی در آهک‌ها دارای بیشترین پتانسیل و سازنده‌های متشکل از مواد ریزدانه و دارای نفوذ پذیری کم و نیز مناطق بدون شکستگی دارای کم‌ترین پتانسیل تغذیه هستند. Chenini et al. (2009) با استفاده از GIS پهنه‌بندی تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی مناطق خشک را با تحلیل داده‌های بارندگی، شدت رواناب حوضه، زمین‌شناسی سطحی و شرایط آبخوان انجام دادند. نتایج نشان داد که GIS به‌طور موثر توانایی پهنه‌بندی تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی را دارد.

Sargaonkar et al. (2010) به ارزیابی آب‌شناختی آبخیز بر پایه GIS برای تعیین محل‌های مناسب تغذیه مصنوعی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی پرداختند. حکمت پور و همکاران (۱۳۸۶) مکان‌یابی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی در دشت ورامین از طریق طبقه‌بندی و تلفیق لایه‌ها در محیط GIS را انجام دادند. رمضانی مهریان و همکاران (۱۳۹۰)، به مکان‌یابی محل‌های انجام تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با به‌کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و سامانه اطلاعات جغرافیایی پرداختند. نتایج نشان داد که فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در کنار فن بردار ویژه نتایج با اعتبار بیشتری را ارایه می‌دهد. رامشت و عرب‌عامری (۱۳۹۲)، پهنه‌بندی حوضه آبخیز بیاضیه به‌منظور تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش AHP را بررسی کردند، نتایج نشان داد که روش وزن دهی از اطمینان بالاتری برخوردار است.

بذرافشان و همکاران (۱۳۹۵)، تحقیقی را با هدف شناسایی عرصه‌های مستعد پخش سیلاب در دشت سرخون بندرعباس با استفاده از روش‌های بولین، فازی و هم‌پوشانی انجام دادند. برای مقایسه سه روش از عرصه‌های کنترل زمینی، براساس آماره کاپا

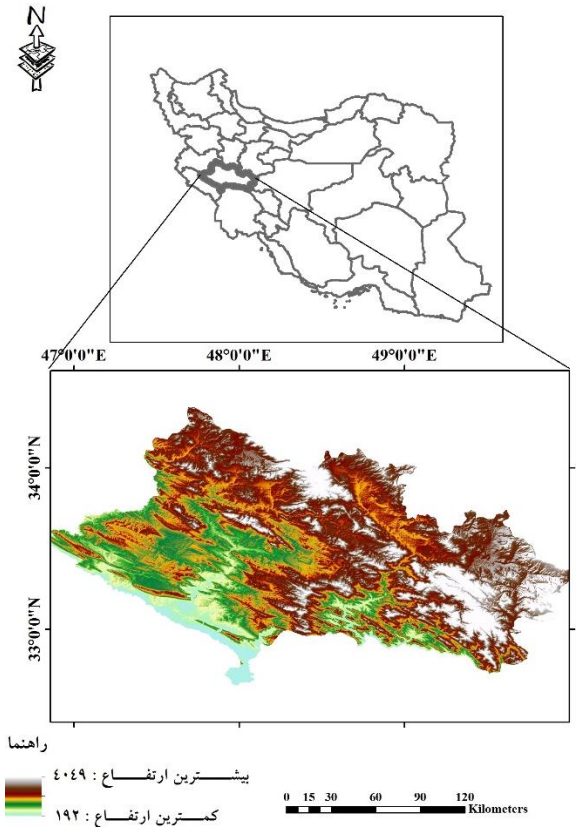
استفاده شد که در نهایت روش فازی به‌عنوان بهترین روش شناخته شد. دادوکلایی و همکاران (۱۳۹۶) به تعیین بهترین مکان برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی گرمسار با استفاده از روش‌های وزن‌دهی پرداختند. نتایج نشان داد که در مجموع چهل درصد منطقه برای تغذیه مصنوعی مناسب است. مهدوی و اخوان (۱۳۹۷)، مکان‌یابی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی منطقه همدان را با روش فازی انجام دادند. نتایج نشان داد که ۲۶٪ منطقه برای تغذیه مصنوعی مناسب تشخیص داده شد.

استان لرستان به‌دلیل دارا بودن منابع عظیم آب‌های زیرزمینی، خاک حاصل‌خیز و هموار بودن زمین، از کشاورزی و باغداری پررونقی برخوردار است. در سال‌های اخیر به‌علت بهره‌برداری بی‌رویه، سطح ایستابی در این دشت بسیار افت پیدا کرده است. از سوی دیگر این منابع تامین کننده آب شرب، کشاورزی و صنعت شهرهای استان است. هدف از انجام این تحقیق، ایجاد چارچوبی برای مکان‌یابی سایت‌های مناسب تغذیه مصنوعی منابع آب زیرزمینی و مناطق پخش سیلاب در استان لرستان با استفاده از منطق فازی است.

۲- منطقه مورد مطالعه

استان لرستان در غرب ایران بین ۴۶ درجه و۵۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۳۲ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۱۲ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. استان لرستان از شمال به شهرستان‌های اراک و خمین و شهرستان نهاوند و ملایر از استان همدان، از شرق به شهرستان‌های گلپایگاه، فریدن و فریدون‌شهر از استان اصفهان، از جنوب به شهرستان‌های دزفول و اندیمشک و از غرب به شهرستان‌های دره‌شهر، اسلام آباد و هرسین محدود است. این استان شامل ۱۱ شهرستان است که طول و عرض تمامی شهرستان‌ها به‌همراه ارتفاع آن‌ها از سطح دریا در شکل ۱ و جدول ۱ نمایش داده شده است. استان لرستان یکی از استان‌های مرتفع و کوهستانی و پر آب ایران بوده که آب‌های سطحی آن تماما به رودخانه‌های حوزه آبریز دریای عمان و خلیج فارس متعلق است. وسعت این حوزه ۳۱۳۸۴ کیلومترمربع بوده و تقریبا شامل تمامی وسعت استان می‌شود. مناطق کوهستانی لرستان از کانون‌های آبگیری مطمئن و همیشگی ایران بوده و شاخه‌های مهم رودخانه‌های کارون و کرخه را تشکیل می‌دهد. مهم‌ترین این کانون‌های آبگیر کوه‌های بلند و پرف اشترانکوه و گرین است. این کوهستان‌ها به‌علت ارتفاع زیاد و ذخیره برف کافی در تمام سال رودهای مهم این منطقه را تغذیه می‌نماید.

در سطح استان نزولات جوی به‌صورت‌های گوناگون متحول و مجتمع می‌شود. قسمتی پس از تبخیر به‌صورت جریان سطحی درآمده، رودخانه‌ها را به‌وجود می‌آورد. بخشی نیز در زمین نفوذ کرده و مخازن آب زیرزمینی را شکل می‌دهد. در این‌صورت بدیهی است که برای ارزیابی پتانسیل آبی این استان لازم است که منابع آب سطحی و زیرزمینی در آن بررسی شود.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
خرم آباد	۴۸° ۲۶′	۳۳° ۲۶′	۱۱۴۷/۸
بروجرد	۴۸° ۴۵′	۳۳° ۵۵′	۱۶۲۹
کوهدشت	۴۷° ۳۹′	۳۳° ۳۱′	۱۱۹۷/۸
الشتر	۴۸° ۱۵′	۳۳° ۴۹′	۱۵۶۷/۲
الیگودرز	۴۹° ۴۲′	۳۳° ۲۴′	۲۰۲۲
نورآباد	۴۸° ۰۰′	۳۴° ۳۰′	۱۸۵۹/۱
ازنا	۴۹° ۴۱′	۳۳° ۴۶′	۱۸۷۰
درود	۴۹° ۰۰′	۳۳° ۸۲′	۱۵۲۲/۲۵
پلدختر	۴۸° ۰۲′	۳۳° ۳۳′	۶۷۳
چگنی	۴۷° ۸۲′	۳۳° ۳۸′	۱۲۳۴
رومشگان	۴۷° ۳۰′	۳۳° ۱۷′	۱۱۹۸

۳- مواد و روش‌ها

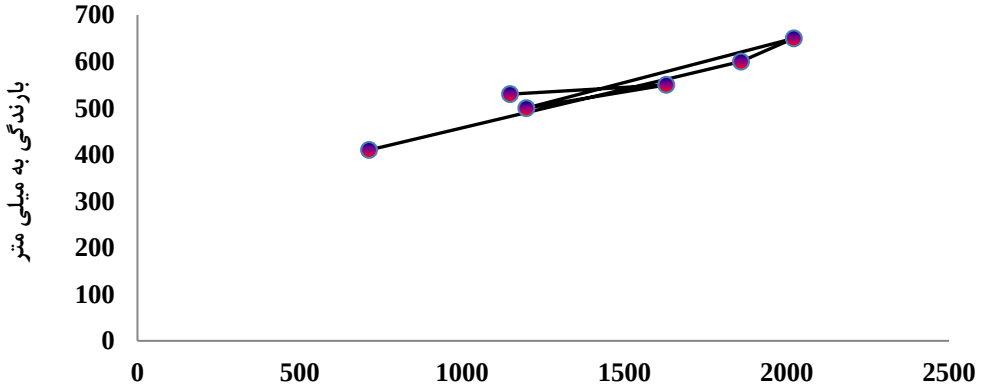
عوامل موثر در مکان‌یابی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی متعدد هستند. بدیهی است که استفاده از همه مشخصه‌های موثر در مدل‌های مکان‌یابی میسر نیست. از این‌رو عوامل یادشده با توجه به نکاتی از قبیل هدف، مقیاس کار و دقت قابل انتظار، شرایط منطقه، میزان تاثیرگذاری هر عامل و کافی بودن و دردسترس‌بودن اطلاعات، تعیین می‌شود. در این پژوهش به‌منظور مکان‌یابی محل‌های تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی از لایه‌های مختلف مانند: زمین‌شناسی، لایه شیب، میزان نفوذپذیری، لایه ارتفاع، لایه هم‌بارش، لایه بافت خاک و لایه کاربری اراضی استفاده شد. در تهیه نقشه هم‌باران به‌دلیل ناکافی بودن ایستگاه‌ها در منطقه موردمطالعه، از ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان لرستان، نورآباد، پلدختر، خرم آباد، بروجرد، الیگودرز، ازنا دورود، رومشکان، چگنی و کوهدشت استفاده شد. ابتدا میزان بارندگی دریافتی در هریک از ایستگاه‌ها محاسبه، سپس بین مقدار بارندگی سالانه و ارتفاع ایستگاه‌های فوق رابطه رگراسیونی برقرار شد. در مرحله بعدی برای تهیه نقشه شیب، اطلاعات خطوط تراز ۱۰۰ متری نقشه توپوگرافی موردبررسی قرار گرفت. در مرحله بعد با استفاده از DEM نود متری منطقه برای هر پیکسل با ابعاد ۶۰۰ × ۶۰۰ مقدار شیب در نرم‌افزار ARC GIS استخراج شد. در تهیه نقشه بافت خاک، بافت‌های سبک و متوسط از نقشه تفکیک شده و بقیه بافت‌ها نیز حذف شد. هم‌چنین در نقشه کاربری اراضی قسمت مرتع برای تغذیه مصنوعی مناسب تشخیص داده شده و بقیه کاربری‌ها حذف شد. در مرحله بعد برای تهیه مکان‌های پخش سیلاب براساس نقشه پراکنش تهیه شده برای آبرفت‌های استان لرستان، مناطق و محل های دارای نهشته‌های آبرفتی کواترنری در سطح شهرستان ازنظر هدف مورد بررسی قرار گرفته شد. سپس از توابعی همچون تابع منطقی (Anaist Analyst)، (3D Anaiyst) و محاسبات مکانی (Cell Statistics) و (Raster Calculator) به‌منظور ترکیب و همپوشانی آن‌ها استفاده شد. درنهایت به‌منظور نمایش مکان‌های مناسب و همچنین مقایسه دقیق‌تر نقشه‌ها، نقشه به‌دست آمده در سه دسته اهمیت (اولویت اول، دوم، سوم) به‌لحاظ قابلیت تغذیه مصنوعی طبقه‌بندی شدند. برای انجام عملیات مکان‌یابی در روش fuzzy اولا لایه‌های مورد استفاده به طبقات معین تقسیم‌بندی و ثانیا براساس اولویت و اهمیت لایه‌های مورداستفاده در منطق فازی به نتیجه‌گیری مبادرت شده است. در این‌روش نقشه شیب منطقه براساس لایه DEM موجود به‌صورت درصدی به دو قسمت شیب کمتر از ۲ و بیشتر از ۲ درصد تقسیم و بقیه لایه‌ها براساس شیب فایل‌های مرتبط تهیه و وارد منطق فازی برای تصمیم‌گیری شده است. سپس لایه‌های اطلاعاتی و معیارهای تعیین شده آن‌ها با استفاده از توابع فازی در قالب رستر به‌صورت ارزشی از صفر تا یک قرارگرفتند. بدین صورت لایه‌های وزن‌دار فازی آماده شدند. سپس عملگرهای جمع، ضرب و گامای فازی روی لایه‌های فازی شده صورت گرفت. نتیجه حاصل در این عملیات به‌صورت دو قسمت (۰ و ۱) محل تغذیه مستعد و نامساعد در نقشه نهایی تقسیم شده است. درنهایت نقشه نهایی تناسب زمین براساس ارزیابی دقت مدل برای عرصه‌های مناسب پخش سیلاب فراهم شد.

نظریه مجموعه‌های فازی در سال ۱۹۶۵ توسط عسگرزاده عرضه شد. این نظریه از آن‌زمان تاکنون، گسترش زیادی یافته و کاربردهای مختلفی در علوم مختلف نظیر الکترونیک، منابع طبیعی، معدن و مدیریت و برنامه‌ریزی شهری پیدا کرده است. یک مجوعه فازی مجموعه‌ای است از درجات عضویت که می‌تواند به‌طور پیوسته از صفر تا یک اختیار شود. این مجموعه توسط یک تابع عضویت مشخص می‌شود. عضویت یک به یک مجموعه یعنی تعلق کامل و عضویت صفر یعنی عدم تعلق به مجموعه. هرچه درجه عضویت به یک نزدیک‌تر باشد نشانه تعلق بیشتر به مجموعه موردنظر است و برعکس. درجه عضویت می‌تواند توسط کاربر و

براساس نظرات کارشناسان و خبرگان تعیین شود و یا براساس توابع تحلیلی مانند تابع مثلثی، ذوزنقه‌ای، زنگوله‌ای، سیگوئیدی و گوسی به‌دست آید. ویژگی دیگر این منطق این است که بتوان به‌طریقی نقشه‌های پایه را نسبت به‌هم، بر اساس اهمیت‌شان در موضوع رتبه‌بندی و وزن‌دهی کرد. با استفاده از پنج عملگر فازیAND، OR، حاصل‌ضرب جبری فازی، حاصل‌جمع جبری فازی و عملگر فازی گاما می‌توان لایه‌ها را با هم ترکیب و تلفیق نمود (Bonham Carter, 1984). روش فازی در اصل یک روش وزن‌دهی به لایه‌های مورد استفاده است که قابل قبول‌ترین روش مکان‌یابی برای مدل کردن ابهام فرآیندهای وابسته به دانش بشری است. این روش، دارای ریسک‌پذیری پایین و نتیجه‌دهی بسیار مناسب و بالایی است (Lee et al., 2008؛ احمدپور و همکاران، ۱۳۸۶؛ کوره‌پزان، ۱۳۸۷).

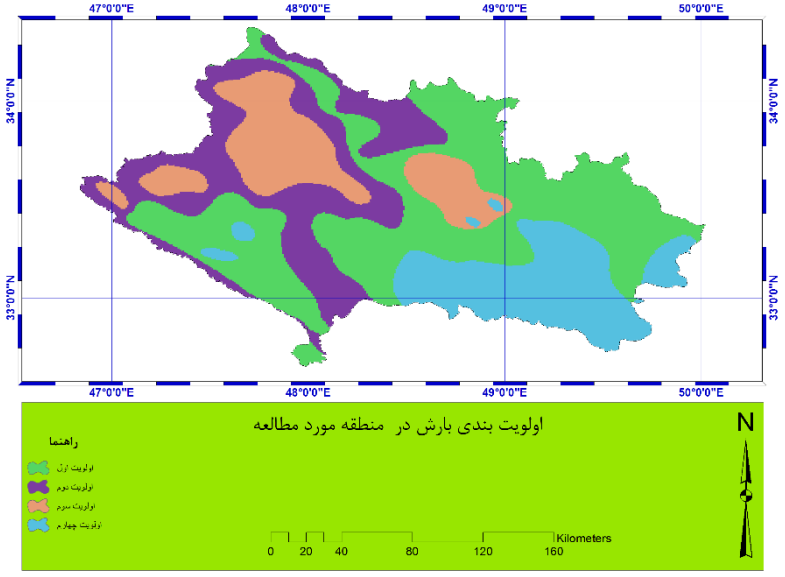
۴- نتایج و بحث

استان لرستان یکی از استان‌های کوهستانی در غرب ایران است. بیشتر مناطق این استان را کوه‌های زاگرس پوشانده است. آب و هوای این استان متنوع بوده و تنوع آب و هوا در آن از شمال شرق به جنوب غرب کاملا مشهود است. میانگین بارش سالانه استان ۵۵۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر است. ابتدا میزان بارندگی دریافتی در هریک از ایستگاه‌ها محاسبه و سپس بین مقدار بارندگی سالانه و ارتفاع ایستگاه‌های فوق رابطه رگراسیونی برقرار شد (شکل ۲). با توجه به عدد حاصل از این رابطه، نقشه بارندگی سالانه در ارتفاعات مختلف منطقه تهیه شد.



شکل ۲- رابطه رگرسیونی بین ارتفاع و بارندگی

رابطه رگرسیونی به‌صورت $y = 0.1622x - 308.29$ و $R^2 = 0.9343$ است که y: مقدار بارندگی سالانه در ارتفاعات مختلف و x: ارتفاع هر نقطه است. توزیع میانگین بارندگی سالانه در استان لرستان نیز در شکل ۳ نشان داده شده است.

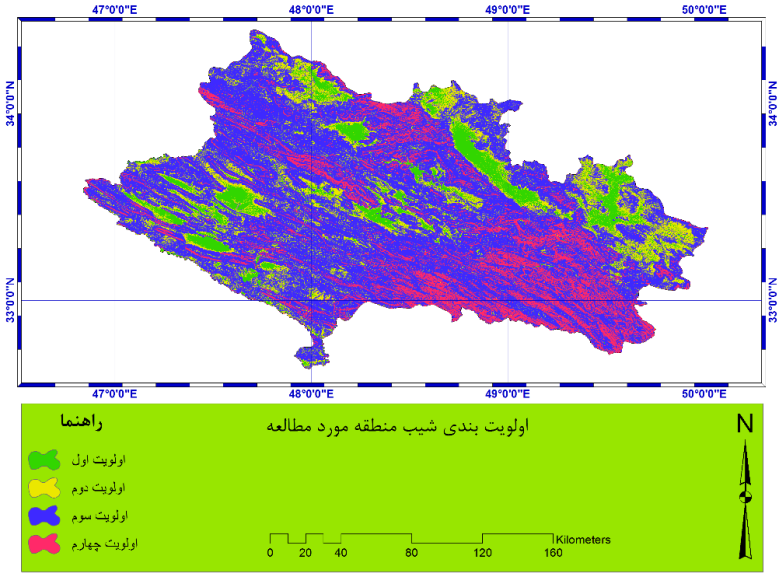


شکل ۳- توزیع میانگین بارندگی سالانه در استان لرستان

شکل ۴ طبقه‌بندی شیب در سطح استان با توجه به رابطه میزان شیب و تغذیه مصنوعی سفره آب‌های زیرزمینی و مناطق مساعد پخش سیلاب است. در این نقشه چهار طبقه شیب کمتر از ۲ درصد و بین ۲ تا ۳ درصد و ۳ تا ۵ و ۵ درصد به بالا تفکیک شده است. بر اساس این شکل و جدول ۲، ۳۱/۸٪ از استان لرستان دارای شیب کمتر از ۲٪ بوده که برای تغذیه مصنوعی سفره آب‌های زیرزمینی و مناطق مساعد پخش سیلاب در اولویت اول است.

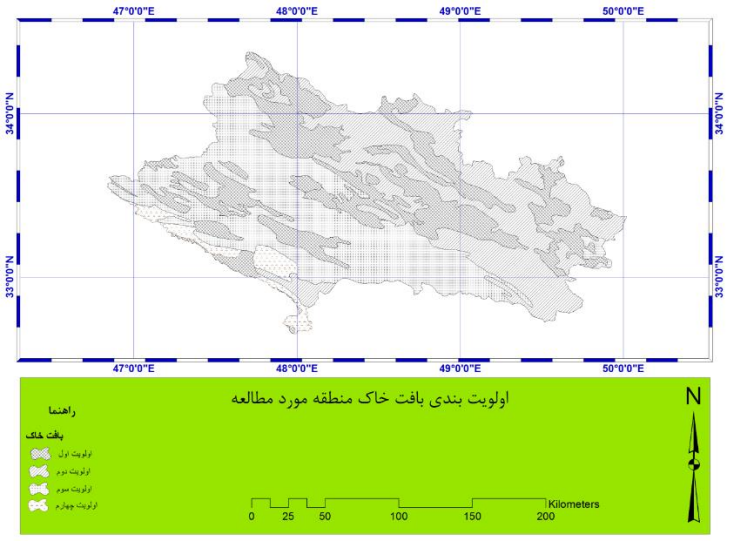
جدول ۲- توزیع طبقات شیب استان لرستان در چهار طبقه

گروه	درجه قابلیت	شیب	درصد پوشش منطقه	مساحت (Km^2)
۱	اولویت اول	کمتر از ۲ درصد	۳۱/۸	۹۰۵۸/۹
۲	اولویت دوم	بین ۲ تا ۳ درصد	۲/۵	۹۱۴/۲
۳	اولویت سوم	بین ۳ تا ۵ درصد	۵۱/۸	۱۲۱۸۵/۳
۴	اولویت چهارم	بیش از ۵ درصد	۱۳/۸۲	۶۱۳۵/۶



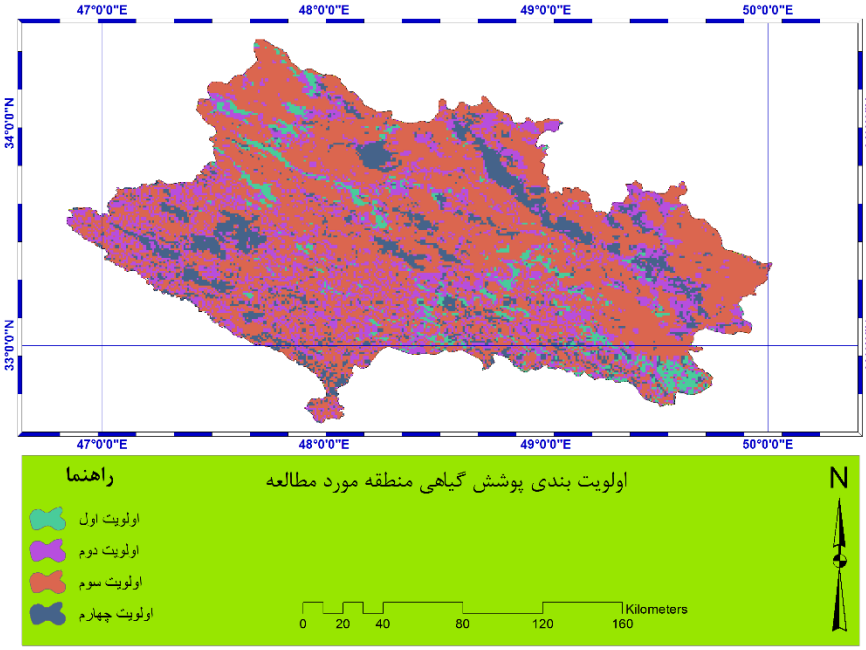
شکل ۴- طبقات شیب استان لرستان

به‌طور کلی خاک عاملی است که گیاهان در آن رشد می‌کنند. این عامل نه‌تنها مواد لازم برای رشد گیاهان را فراهم می‌آورد، بلکه آب مورد نیاز برای تعرق و اکثر شانزده عنصر شیمیایی لازم برای رشد و نمو گیاه را تامین می‌کند. خاک‌ها با توجه به خصوصیات آن‌ها (ساختمان، عمق، بافت، محتوی مواد غذایی واسیدیته) تفاوت‌هایی قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر دارند (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۲). در تهیه نقشه بافت خاک، بافت‌های سبک و متوسط از نقشه تفکیک شده و بقیه بافت‌ها حذف شد. با توجه به شکل ۵ حدود ۱۳۳۵۲/۲۸ کیلومتر مربع (۴۰/۳۲٪) از مساحت استان مناسب برای طرح‌های تغذیه مصنوعی سفره آب‌های زیرزمینی است.



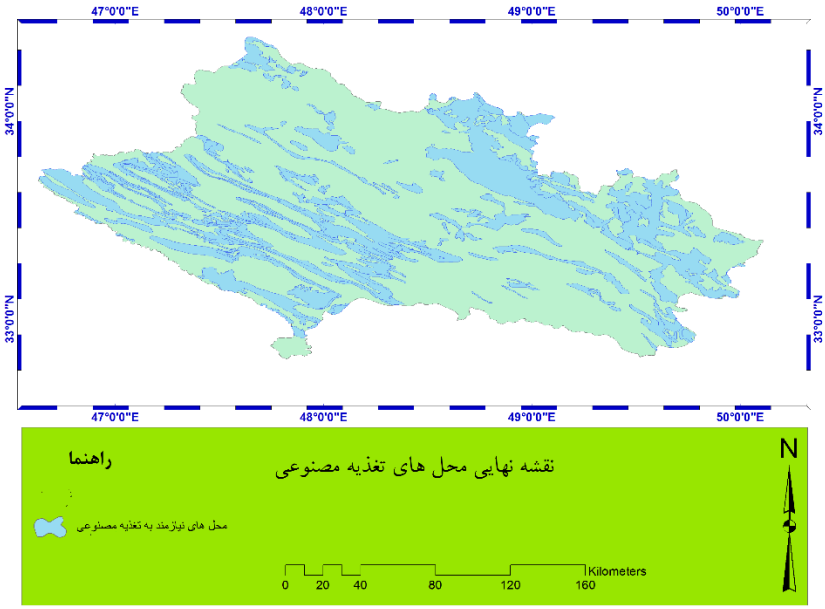
شکل ۵- نقشه بافت خاک استان لرستان

شکل ۶، نقشه کاربری اراضی استان لرستان را نشان می‌دهد. همانطور که در نقشه نمایان است مرتع با پوشش‌گیاهی ۵ تا ۱۰ درصد، بیشترین وسعت منطقه را در برگرفته است که حدود (۳٪/۸)، ۸۹۸/۳۲ کیلومترمربع با اولویت اول نشان داده شده است. در این نقشه قسمت مرتع برای تغذیه مصنوعی مناسب تشخیص داده شده و بقیه کاربری‌ها حذف شد.



شکل ۶- پوشش گیاهی مرتع در استان لرستان

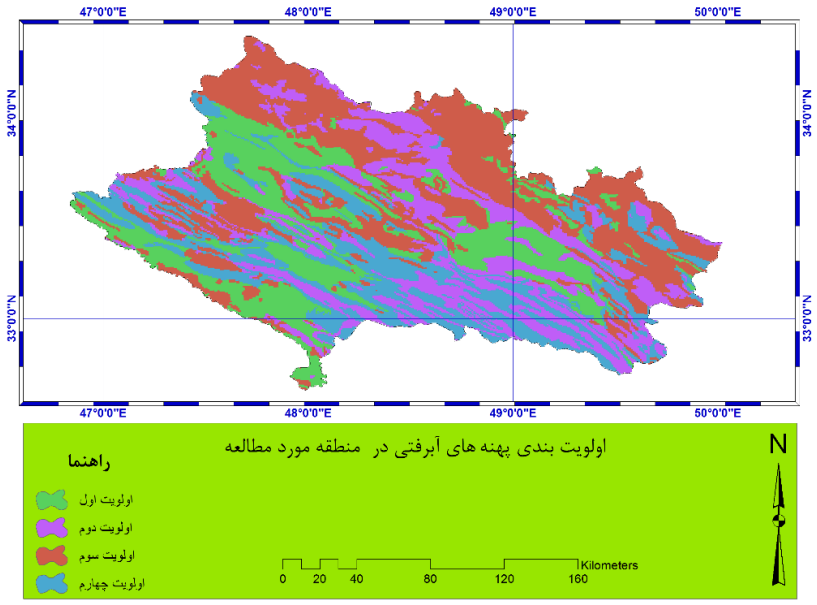
تجزیه و تحلیل داده‌ها و جمع‌بندی منابع در اصل شامل تقسیم عوامل محیطی به پارامترهای قابل‌فهم و سپس ترکیب آن‌ها به‌نحوی که ارزیاب بتواند به توان و یا محدودیت منابع سرزمین برای کاربری موردنظر پی‌ببرد. برای تعیین محل‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی، پس از تهیه نقشه‌های (همباران، کاربری‌اراضی، شیب، بافت‌خاک) از قابلیت‌های نرم‌افزار (ARC GIS) هم‌چون تابع منطقی (Anaist Analyst) و(3D Anaiyst) و محاسبات مکانی (Cell Statistics) و (Raster Calculator) به‌منظور ترکیب و همپوشانی نقشه‌ها استفاده شده است. در نهایت به‌منظور نمایش مکان‌های مناسب و همچنین مقایسه دقیق‌تر نقشه‌ها، نقشه به‌دست آمده در سه دسته اهمیت (اولویت اول و دوم) به‌لحاظ قابلیت تغذیه مصنوعی طبقه‌بندی شده است (شکل ۷). با توجه به این‌که مساحت استان لرستان حدود ۲۸۲۹۴ کیلومترمربع است، با توجه به شکل ۷ مقدار ۹۲۵۸/۳۶ کیلومترمربع (۳۲/۵٪) از مساحت شهرستان برای طرح‌های تغذیه مصنوعی سفره آب‌های زیرزمینی مناسب تشخیص داده شده است.



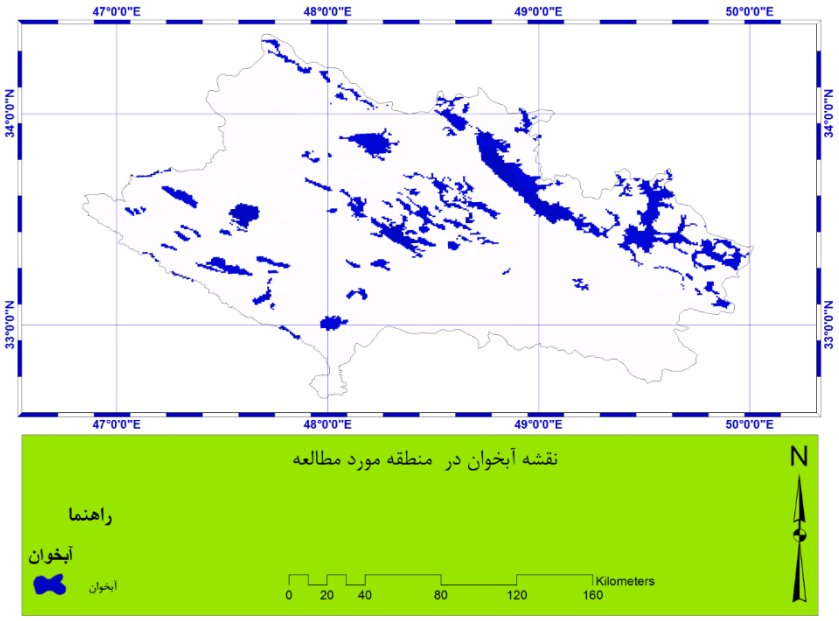
شکل ۷- نقشه تلفیقی به‌دست آمده محل‌های مناسب تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی با روش فازی با پهنه ۳۲/۵ درصدی برای استان لرستان

۵- مکان‌یابی محل‌های مناسب برای پخش سیلاب

نهشته‌های کواترنری استان لرستان با گستردگی بیش از ۱۰۱۹۱ کیلومترمربع که در حدود ۴۹/۷٪ مساحت شهرستان را شامل می‌شود، با مشخصه‌های متنوع، قابلیت‌های برای اهداف مختلف مورد نیاز زندگی بشری دارند. شناسایی این قابلیت‌ها در استفاده بهینه از آن‌ها کمک موثری خواهد نمود. با توجه به مطالعات و بررسی‌های انجام شده و براساس نقشه پراکنش تهیه شده برای آبرفت‌های استان لرستان، مناطق و محل‌های دارای نهشته‌های آبرفتی کواترنری در سطح استان از نظر هدف مورد بررسی در این پژوهش که مکان‌یابی سایت‌های مناسب برای اجرای طرح‌های آبخوانداری است، در نواحی‌ای از سطح استان قابل بررسی هستند که موقعیت قرارگیری آن‌ها در شکل ۸ و موقعیت آبخوان موجود در آن‌ها در شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل ۸- موقعیت قرارگیری آبرفت‌های کواترنری در سطح استان لرستان

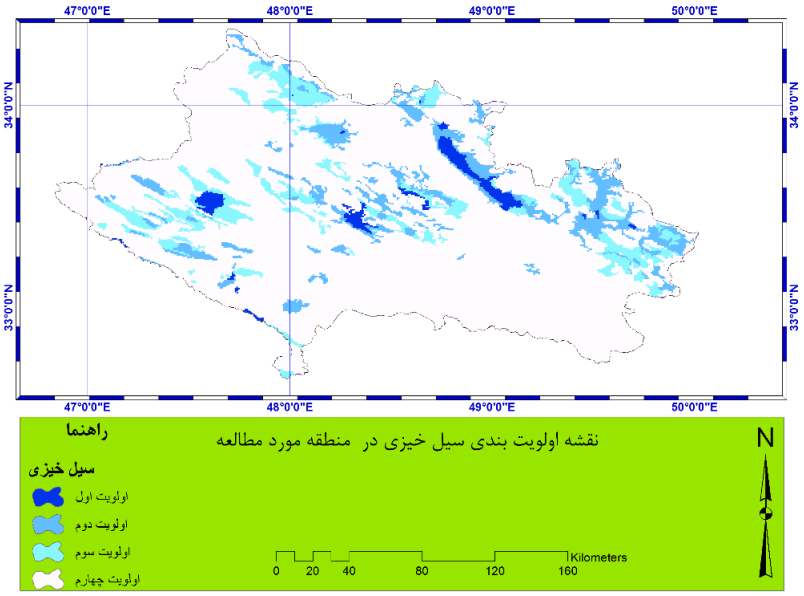


شکل ۹- موقعیت قرارگیری آبخوان‌های موجود در سطح استان لرستان

برای مشخص کردن محل‌های مناسب برای پخش سیلاب حداقل به دو لایه اطلاعاتی شامل شیب‌های مناسب و موقعیت آبخوان‌های موجود در سطح استان نیاز است. لایه موقعیت آبخوان‌ها مطابق اطلاعات موجود و بررسی‌های انجام گرفته در سطح استان با کمک نقشه زمین‌شناسی این شهرستان تهیه‌شد (شکل ۹). همچنین نقشه شیب مطابق با رده‌های شیب مناسب برای پخش سیلاب تهیه شد (مطابق باشکل۴). پس از تهیه نقشه‌های مورد نیاز از قابلیت‌های نرم‌افزار (ARC GIS) همچون تابع منطقی (Anaist Analyst) و (3D Anaiyst) و محاسبات مکانی (Cell Statistics) و (Raster Calculator) به‌منظور ترکیب

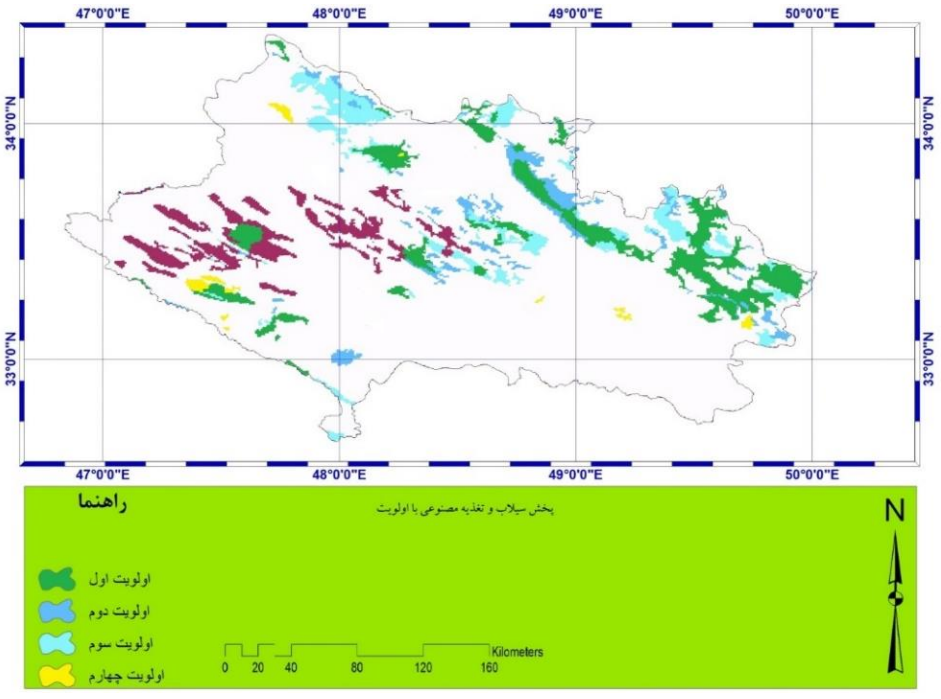
و هم‌پوشانی نقشه‌ها استفاده شده است. با توجه به لایه‌های آب‌های زیرزمینی و درصد شیب منطقه موردمطالعه از ۲۸۲۹۴ کیلومترمربع از سطح استان حدود ۱۴٪ به آبخوان‌ها تعلق گرفته است که بیشتر مطالعات، در این سطح موردنظر انجام خواهد گرفت.

در نهایت برای تعیین محل‌های مناسب تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی و مناطق پخش سیلاب نقشه محل‌های مناسب تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب (شکل‌های ۷ و ۱۰) با هم تلفیق شده و نقشه محل‌های مناسب مطابق شکل ۱۰ تهیه‌شد. در این شکل، هم‌چنان که مشاهده می‌شود از کل سطح استان به مساحت ۲۸۲۹۴ کیلومترمربع تنها ۲۱٪ استعداد سیل‌خیزی را دارد که برحسب میزان بارندگی و درصد شیب و زمین‌شناسی مشخص شده است. در این شکل استعداد مناطق سیل‌خیزی در ۴ رده اولویت‌بندی شده است، که اولویت‌های اول تا چهارم به‌ترتیب بیشترین و کمترین استعداد سیل‌خیزی را به خود نسبت داده‌اند.



شکل ۱۰- نقشه اولویت‌بندی محل‌های مناسب برای پخش سیلاب

شکل ۱۱ تلفیق نقشه‌های شکل ۱۰ به‌روش فازی است. بیشترین نیاز به تغذیه مصنوعی و سیل‌خیزی در غرب استان لرستان مشاهده شده است. این شکل به اولویت‌های ۱ تا ۴ تقسیم‌بندی شده است که به‌ترتیب از بیشترین نیاز تا کمترین نیاز به تغذیه مصنوعی را نشان می‌دهد. اولویت اول حدود ۷/۶٪، اولویت دوم ۸/۳۵٪ و اولویت سوم و چهارم به ترتیب ۴/۳۲ و ۱/۵۲ درصد از منطقه مورد مطالعه را دربرگرفته‌اند.



شکل ۱۱- نقشه اولویت‌بندی محل‌های مناسب برای تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و پخش سیلاب

۶- نتیجه گیری

امروزه تخلیه آب‌های زیرزمینی و عدم جایگزین‌شدن این منابع یکی از بزرگ‌ترین مشکلاتی است که جوامع بشری با آن روبرو هستند. در استان لرستان استفاده گسترده از زمین‌های کشاورزی باعث افت سطح آب زیرزمینی شده است. یکی از راه‌کارهای مناسب برای کاهش این بحران، تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی است. بدین منظور مهم‌ترین قدم در طرح پخش سیلاب، مکان‌یابی مناطق مستعد برای پخش آب و نفوذ دادن آن به داخل سفره‌های آب زیرزمینی است. با توجه به یافته‌های تحقیق می‌توان گفت که کاربرد روش منطق فازی در برنامه‌ریزی محیطی از اهمیت به‌سزایی برخوردار است و به برنامه‌ریزان کمک می‌کند تا با سرعت و دقت کافی به حل مسائل پیچیده طبیعی بپردازند. در این پژوهش برای مکان‌یابی بهینه و مساعد برای تغذیه آب‌های زیرزمینی از روش فازی در نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است. برای نتیجه‌یابی و دست‌یافتن به محل‌های مناسب تغذیه آب‌های زیرزمینی از لایه‌هایی مانند (لایه DEM شهرستان، شیب منطقه، کاربری اراضی، لایه خاک و زمین‌شناسی، هم‌بارش و ...) استفاده شده است. نتیجه‌ای که درنهایت از این روش به‌دست آمده در شکل ۱۱ نشان داده است. مناطق مستعد در منطقه برابر ۲۱/۷۹٪ است که براساس اولویت‌بندی، اولویت اول برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی ۷/۶٪ است. در کنار این تحلیل نقشه‌هایی نیز مانند اولویت‌بندی محل‌های تغذیه و نیز سیل‌خیزی مشخص شده است. برای تهیه نقشه آبخوان از چاه‌های پیزومتری و میانگین دبی آن‌ها در این منطقه استفاده شده است. اولویت اول برای پخش سیلاب ۲۳/۳٪ از کل مساحت منطقه مورد مطالعه تشخیص داده شد. همچنین اولویت اول برای توزیع مناطق مساعد تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب ۷/۶٪ است که بنابر نتایج موردانتظار، در قسمت‌های رسوبات ماسه‌ای و تلماسه‌ای و مناطق دارای پوشش‌گیاهی و بافت سبک خاک دارای شیب کمتر از ۲ درصد واقع شده است.

۷- پی‌نوشت‌ها

1- Water Spreading
2- Basin
3- Steram Channel
4- Ditch Method
5- Flooding Method
6- Basin

۸- مراجع

احمدپور، ا.، حبیبی، ک.، محمدزهرائی، س.، و نظری عدلی، س.، (۱۳۸۶)، "استفاده از الگوریتم‌های فازی و GIS برای مکان‌یابی تجهیزات شهری مطالعه موردی محل دفن زباله شهر بابلسر"، *محیط شناسی*، ۳۳ (۴۲)، ۳۱-۴۲.

باقری دادوکلایی، ا.، محمدولی سامانی، ج.، و سروریان، ج.، (۱۳۹۶)، "تعیین بهترین مکان برای اجرای طرح حوضچه‌های تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی با استفاده از دو روش بولین و AHP"، *فصل‌نامه علمی تخصصی مهندسی و مدیریت ساخت*، ۲(۱)، ۱۶-۱۲

بذرافشان، ا.م.، علیایی، م.، و غلامی، ح .، (۱۳۹۵)، "مقایسه روش‌های تلفیقی در شناسایی عرصه‌های مناسب پخش سیلاب در دشت‌های ساحلی جنوب ایران (مطالعه موردی: دشت سرخون، استان هرمزگان)"، *مجله علمی ترویجی سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۴(۴)، ۴۳-۵۶.

بیز، ژانف، لوسیون، بورگه، و ژاک، لومان، (۱۳۶۹)، *تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی*، ترجمه جلال حیدرپور، مرکز نشر دانشگاهی، تهران.

حکمت‌پور، م.، فیض‌نیا، س.، احمدی، ح.، و خلیل پور، ا.، (۱۳۸۶)، "پهنه‌بندی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی دشت ورامین به کمک GIS و سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری DSS"، *مجله محیط شناسی*، ۴۲، ۱-۸.

خواجه‌الدین، ج.، مهدوی، ر.، پورمنافی، س.، سفیانیان، ع.، کریم زاده، ح.، و سلطانی، س.، (۱۳۸۵)، *گزارش نهایی پروژه تعیین رویشگاه گونه‌های چوبی صنعتی و نیمه‌صنعتی مناطق نیمه‌خشک مدیترانه در استان چهارمحال و بختیاری*، شورای پژوهش‌های علمی کشور، برنامه ملی تحقیقات، پروژه پژوهشی ویژه توسعه کشور (توتک).

رامشت، م.ح.، و عرب‌عامری، ع.، (۱۳۹۲)، "پهنه‌بندی حوضه آبخیز بیاضیه به‌منظور تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش AHP"، *نشریه علمی پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، (۴۵) ۱۷، ۶۹-۹۶.

رمضانی مهریان، م.، ملک محمدی، ب.، جعفری، ح.ر.، و رفیعی، ی.، (۱۳۹۰)، "مکان‌یابی محل‌های انجام تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با به‌کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و سامانه اطلاعات جغرافیایی"، *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری*، ۱۴، ۱-۱۰.

علی‌محمدی، ش .، (۱۳۸۵)، "مکان‌یابی پارک‌های شهری با استفاده از GIS"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه اصفهان.

علیزاده، ا .، (۱۳۸۵)، *اصول هیدرولوژی کاربردی*، چاپ هجدهم، دانشگاه امام رضا، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.

قهاری، غ .، و پاکپرور، م .، (۱۳۸۶)، "بررسی تاثیر استحصال و پخش سیلاب بر منابع آب زیرزمینی دشت گربایگان"، *فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۱۴، ۳۶۸-۳۹۰.

کردوانی، پ .، (۱۳۸۴)، *منابع و مسائل آب ایران*، چاپ هشتم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

کوره‌پزان، ا .، (۱۳۸۷)، *اصول تئوری مجموعه‌های فازی و کاربردهای آن در مدل‌سازی مسایل مهندسی آب*، انتشارات جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی امیر کبیر، ۲، ۲۶۱.

مروتی، م.، منوری، م .، فرشچی، پ.، حسنی، ا.ح.، و روستا، ز.، (۱۳۸۷)، "*طرح تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها*"، *فصل‌نامه انسان و محیط‌زیست*، ۱۸، ۶۸-۷۶.

مهدوی، ر.، عابدی کوپایی، ج.، رضایی، م.، و عبدالحسینی، م.، (۱۳۸۳)، "مکان‌یابی محل‌های مناسب تغذیه مصنوعی منابع آب زیرزمینی از طریق GIS"، *دومین کنفرانس ملی منابع آب و خاک*، دانشگاه تبریز، ۲۳ تا ۲۴ اردیبهشت.

مهدوی، ع.، و اخوان، س.، (۱۳۹۷)، "مکان‌یابی و اولویت‌بندی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی براساس منطق بولین، روش هم‌پوشانی و منطق فازی"، ۵(۱۲)، ۱۲۵۳-۱۲۶۵.

Bonham Carter, G.F., (1996), *Geographic Information Systems for geosciences, modeling With GIS*, Ontario, Canada: Pergamon, Love Printing Service Ltd.

Chenini, I., Ben Mammou, A. and El-May, M., (2009), "Groundwater recharge zone mapping using GIS-based Multi-Criteria Analysis: A case study in Central Tunisia (Maknassy Basin)", *Water Resources Management*, 24, 921-939.

Ghayoumian, J., Mohseni Saravi, M., Feiznia, S., Nouri, B., and Malekian, A., (2007), "Application of GIS techniques to determine areas most suitable for artificial groundwater recharge in a coastal aquifer in southern Iran", *Journal of Asian Earth Science*, 30(2), 346-374.

Hissen, H.F., Lee, C.H., Hsu, K.C., and Chang, P.H., (2008), "GIS for assessment of the groundwater recharge potential zone", *Environmental Geology*, 58(1), 185-195.

Hubbell, D.C., Cardner, L., (1994), "Some edaphic and ecological effects of water spreading on range lands", *Ecology*, 25(1), 27-44.

Lee, A.H.I., Chen, W.C., and Chang, C.J., (2008), "A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan", *Expert Systems with Applications*, 34(1), 96-107

Mahdavi, R., Abedi-Koopaei, J., Rezaei, M., and Abdolhosaini, M., (2004), "Identifying suitable sites of ground water recharge based on RS and GIS", *2nd Student National Conference of Soil and Water Resources*, Department of Agriculture, University of Shiraz, pp. 28-39.

Mosavi, S., Chitsazan, M., and Mirzaei, Y., (2008), "Groundwater recharge equal zone determination with Remote Sensing and GIS technology: Case study: South of Izeh City", *12th Conference of Geological Society of Iran*, pp. 345-350.

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*, 62(5), 1099-1108.

Sekar, I., and Radhir, I.O., (2007), "Spatial assessment of conjunctive water harvesting potential in watershed systems", *Hydrology*, 334, 39-52.