



ISSN 2345 - 5012

Available online at: www.waterdevelop.com

Vol. (II)– No. (04)- S.N. (07)- Autumn 2014
12th Article– P. 127-141

IBWRD

International Bulletin of
Water Resources & Development

An Evaluation of Groundwater Potential Zones Using Combined Fuzzy-AHP Method and GIS/RS Technologies: A Case Study of NE Hezarmasjed Mountain, Khorasan Razavi Province

Keyvan Yousefi Sangani^{1*}, Hossein Mohammadzadeh², Mortaza Akbari³

¹ M.Sc. in Hydrogeology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

² Assistant Professor, Groundwater Research Center (GRC), Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
(mohammadzadeh@um.ac.ir)

³ Lecturer, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Iran (m_akbari@um.ac.ir)

* Corresponding Author (hydrologist517@yahoo.com)

Article History	Received: Feb. 26, 2014	Reviewed: Mar. 19, 2014
Revised: Apr. 05, 2014	Accepted: Jun. 02, 2014	Published: Dec. 16, 2014

Abstract

Due to extensive withdrawal from alluvial aquifers all around the Hezarmasjed mountains and less available water for different consumptions, it is essential to study and investigate the Karstic aquifers as an important water resource for meeting water demands. The main purpose of this paper was to identify and evaluate the potential of groundwater resources, especially in carbonate formations, in the Northern part of Hezarmasjed Mountains. To achieve this propose, the maps of lithology, distance from intersection fracture, fracture density, distance from fracture, vegetation cover, slope and rain were prepared in GIS environment based on available geological, hydrogeological, structural, physiographical, topographical, and climatic data and using Satellite images (IRS and ETM⁺). These maps of different layers were converted to maps with the same scale using fuzzy membership and analytical hierarchy process (AHP). Then, the final groundwater potential zoning map was prepared, with respect to the importance of each maps, using the index and gamma Fuzzy overlying models. The evaluation of the different overlaying models, according to its correlation with springs' layer and to the apparent resolution of the final maps, indicate that the gamma Fuzzy overlaying method is the best, comparing to other methods.

Keywords: Groundwater Potential, Hezarmasjed Mountain, Fuzzy Logic, Analytical Hierarchy Process (AHP)

ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی با روش تلفیق فازی و مدل تحلیل سلسله مراتبی، مطالعه موردی: شمال خاوری رشته کوه‌های هزارمسجد، استان خراسان رضوی

کیوان یوسفی سنگانی^۱، حسین محمدزاده^۲، مرتضی اکبری^۳

^۱ کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، نگارنده رابط (hydrologist517@yahoo.com)

^۲ دانشیار، مرکز تحقیقات آب‌های زیرزمینی (متاب)، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد (mohammadzadeh@um.ac.ir)

^۳ مربی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد (m_akbari@um.ac.ir)

تاریخ دآوری: ۱۳۹۲/۱۲/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۰۷

تاریخچه انتشار مقاله

تاریخ انتشار: ۱۳۹۳/۰۹/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۳/۱۲

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۳/۰۱/۱۶

چکیده

با توجه به برداشت زیاد منابع آب از آبخوان‌های دشت‌های اطراف رشته کوه‌های هزارمسجد و کمبود آب جهت مصارف مختلف، بررسی منابع آب کارستی منطقه، به عنوان یکی از مهم ترین منابع تأمین آب مورد نیاز، بسیار ضروری است. هدف از این پژوهش، شناسایی و ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی، به خصوص در سازندهای کربناته، در بخش شمالی کوه‌های هزارمسجد است. بدین منظور، با توجه به اطلاعات زمین شناسی، هیدروژئولوژیکی، ساختاری، فیزیوگرافی، توپوگرافی و اقلیمی و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (IRS و

ETM⁺، نقشه‌های معیار لیتولوژی، فاصله از محل برخورد شکستگی، تراکم طول شکستگی، فاصله از محل شکستگی، اختلاف ارتفاع نسبت به محل چشمه‌ها، تراکم پوشش گیاهی، شیب و بارش در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه شدند. این نقشه‌های معیار با به‌کارگیری توابع عضویت فازی مختلف و روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) به صورت نقشه‌هایی هم‌مقیاس تبدیل شدند. سپس نقشه نهایی پهنه‌بندی پتانسیل آب زیرزمینی، با توجه به اهمیت هر معیار، با استفاده از مدل‌های هم‌پوشانی خطی وزنی و فازی گاما تهیه گردید. ارزیابی مدل‌های مختلف هم‌پوشانی، با توجه به میزان تطابق با لایه چشمه‌های منطقه و تفکیک‌پذیری ظاهری نقشه‌های نهایی، نشان می‌دهد که روش تلفیقی فازی گاما نسبت به سایر روش‌ها برای پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه مناسب‌تر است.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل آب‌های زیرزمینی، کوه هزارمسجد، منطق فازی، تحلیل سلسله‌مراتبی

۱. مقدمه

پتانسیل ضعیف، پتانسیل متوسط، پتانسیل خوب و خیلی خوب شناسایی و مشخص شد.

گوپتا و سریواستاوا^۵ (۲۰۱۰) با استفاده تلفیقی از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و کارهای صحرائی پتانسیل آب زیرزمینی در عوارض تپه ماهوری غرب هند را ارزیابی کردند. در این راستا نقشه‌های معیار تراکم خطواره، تراکم آبراهه، مدل رقومی ارتفاع^۶، شیب، کاربری و پوشش اراضی تهیه شد. آن‌ها جهت تخمین خطواره‌ها و کاربری و پوشش اراضی از ترکیب باندی ۱، ۴ و ۵ تصویر TM ماهواره لندست به کمک نرم‌افزار اِرداس^۸ استفاده کردند. با توجه به برداشت بیش از حد از آب زیرزمینی و ممنوعه بودن دشت‌های اطراف محدوده مورد مطالعه (دشت مشهد و درگر) و همچنین کمبود منابع آب آبرفتی، پتانسیل‌یابی با استفاده از پارامترهای مختلف از قبیل لیتولوژی، فاصله از محل برخورد شکستگی، تراکم شکستگی، اختلاف ارتفاع نسبت به محل تخلیه، تراکم پوشش گیاهی، فاصله از شکستگی، شیب و بارش، اولین قدم در جهت شناسایی منابع آب زیرزمینی این منطقه محسوب می‌شود. بر این اساس در پژوهش حاضر به مطالعه موارد یاد شده در دشت مشهد و درگر به منظور پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی پرداخته شده است.

۲. منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه بین شهرستان‌های کلات نادری و درگر در فاصله ۶ کیلومتری کلات نادری با موقعیت جغرافیایی ۳۶° تا ۳۷° عرض شمالی و ۲۰° تا ۲۱° ۵۹' طول شرقی در حوضه آبریز قره‌قوم در استان خراسان رضوی واقع شده

با توجه به توزیع نامتعادل زمانی و مکانی منابع آب‌های سطحی و پتانسیل بالای آلودگی این منابع، امروزه تقاضا برای آب‌های زیرزمینی جهت مصارف شرب، کشاورزی و صنعت افزایش یافته است. اما استفاده روزافزون و بی‌رویه از آبخوان‌های آبرفتی و افت سطح آب در این آبخوان‌ها، باعث شده است که جست‌وجو برای یافتن سایر منابع آب زیرزمینی در کارست و سازندهای سخت بیش‌تر مورد توجه قرار گیرد.

دسترسی مکانی، طیفی و زمانی به داده‌های زیاد و مناطق خارج از دسترس با استفاده از تکنولوژی‌های جدید سنجش از دور^۱ و سیستم اطلاعات جغرافیایی^۲، ارزیابی سریع منابع آب را امکان‌پذیر نموده است. پژوهش‌گران متعددی نشان دادند که تلفیق نقشه‌های معیار متعدد با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت اکتشاف، توسعه و مدیریت منابع آب زیرزمینی مفید است (Gintamo, 2010; Mattikalli, 1995; Nadun et al., 2010).

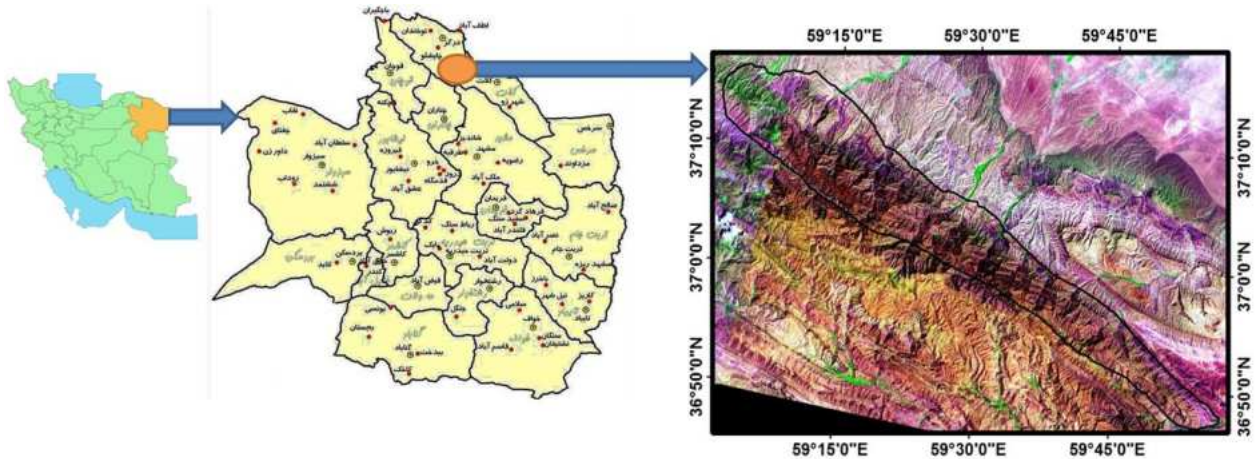
پریجا^۳ و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از تلفیق تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی را در حوضه آبریز کرالا^۴ در هند شناسایی کردند. برای این کار، لایه‌های اطلاعاتی زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، تراکم خطواره‌ها، شیب و کاربری و پوشش گیاهی اراضی را با استفاده از داده‌های تصویر ETM⁺ ماهواره لندست^۵ با نقشه ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی تلفیق نمودند. بر اساس نقشه حاصل، پراکندگی پتانسیل آب زیرزمینی به ۴ گروه

5. Landsat
6. Gupta and Srivastava
7. Digital Elevation Model (DEM)
8. Erdas

1. Remote Sensing (RS)
2. Geography Information System (GIS)
3. Preeja
4. Kerala

سررود، ژرف و پشته‌داغ که به ارتفاعات الله‌اکبر ختم می‌گردد را شامل می‌شود.

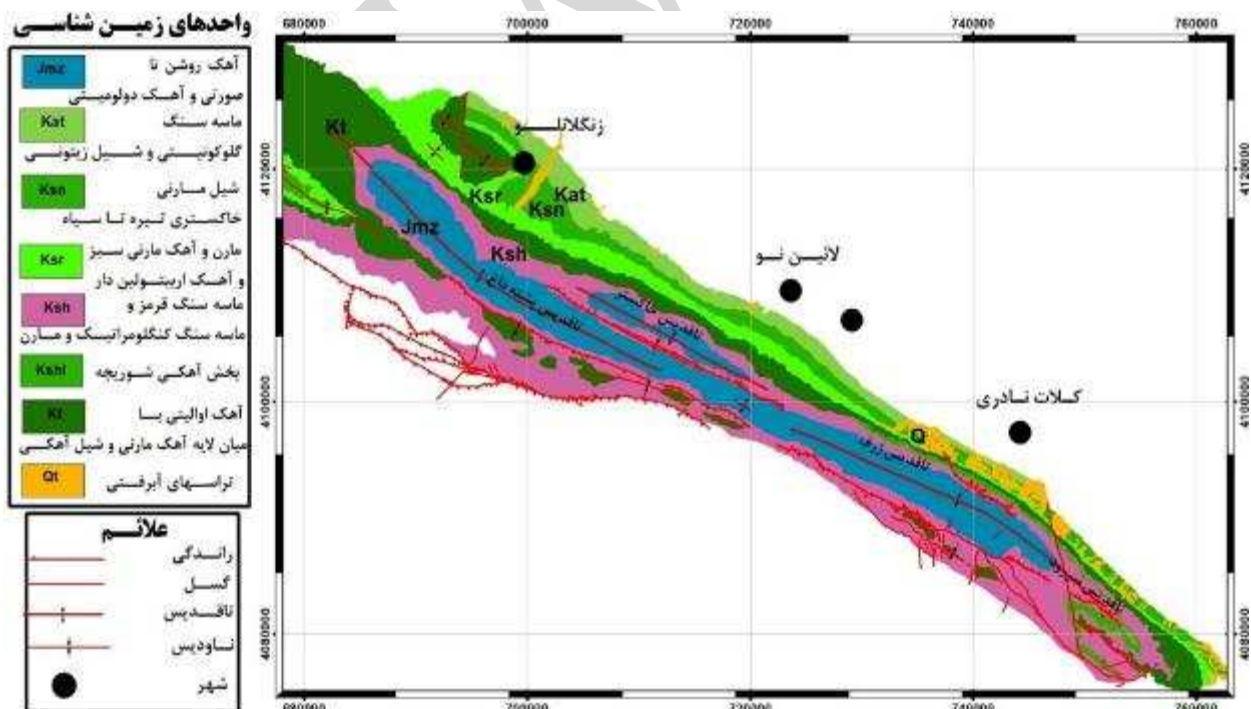
است (شکل ۱). این محدوده با مساحتی حدود ۸۸۳ کیلومتر مربع شامل سه تاقدیس به هم چسبیده به طول حدودی ۹۴ کیلومتر است که از سمت جنوب به شمال، تاقدیس‌های



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه.

زمین‌شناسی در محدوده مورد مطالعه شامل سنگ‌های رسوبی با سن ژوراسیک تا عهد حاضر هستند که با روند شمال‌غرب-جنوب شرق به صورت دیواره‌ای مرتفع، حوزه آبریز قره‌قوم را به دو قسمت تفکیک می‌نمایند (شکل ۲).

از نظر زمین‌شناسی، محدوده مورد مطالعه در زون کپه‌داغ در محدوده ارتفاعات هزارمسجد و بزنگان واقع شده که از سمت شمال‌غرب به جنوب شرق کشیده شده است. رخساره‌های

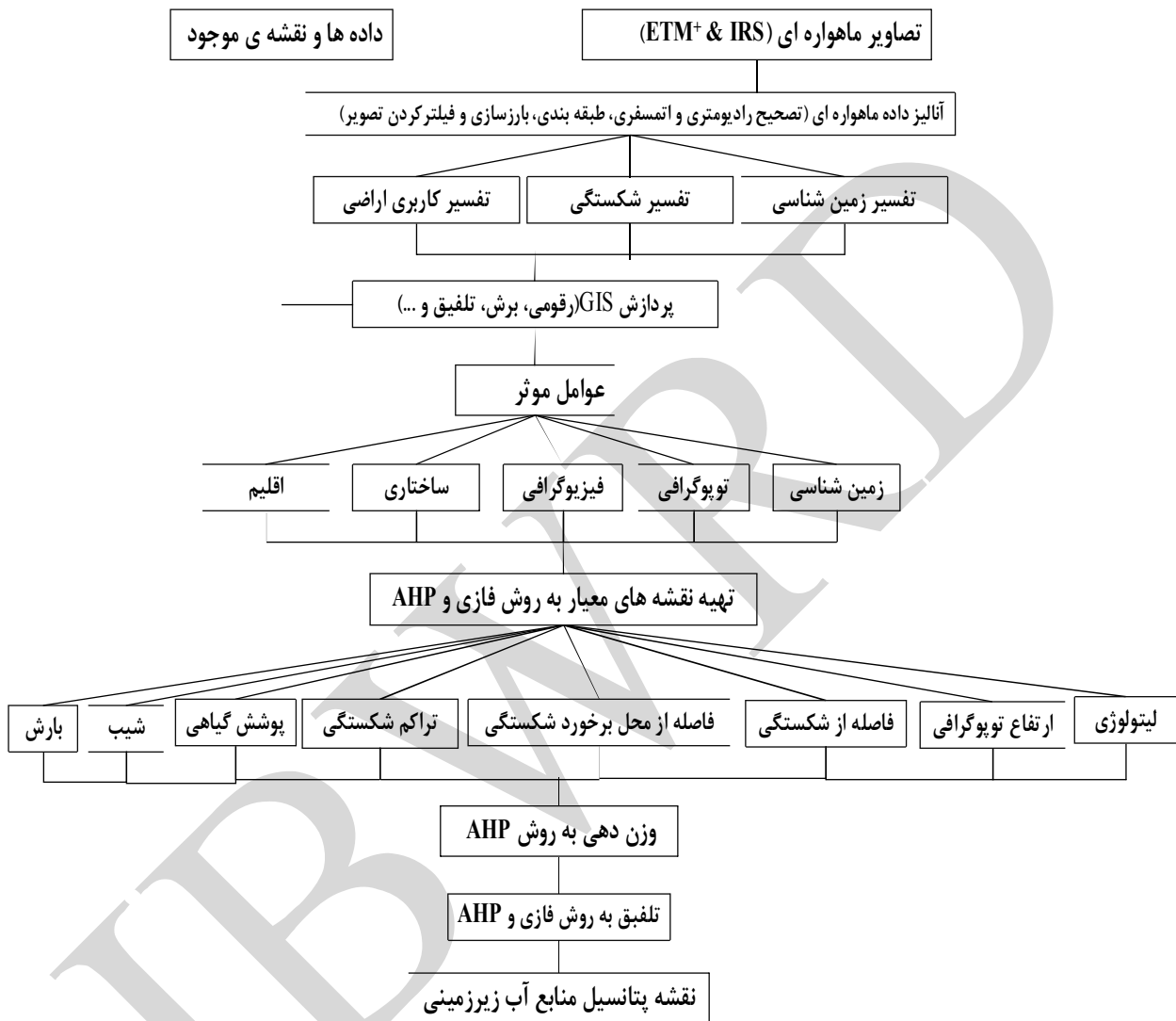


شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (اقتباس از نقشه‌های سازمان زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه).

۳. مواد و روش‌ها

تهیه و به محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی وارد شدند. سپس جهت تهیه نقشه نهایی پتانسیل آب زیرزمینی این لایه‌ها به دو روش تحلیل سلسله‌مراتبی^۹ و فازی تلفیق گردیدند (شکل ۳).

اطلاعات مورد نیاز برای انجام این پژوهش، با استفاده از منابع داده‌های مختلف، عملیات صحرائی و با فرمت‌های گوناگون



شکل ۳. مراحل تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در پژوهش حاضر.

۱.۳. روش تحلیل سلسله‌مراتبی

نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چندمعیاره به شمار می‌آید (قدسی‌پور، ۱۳۸۵).

یکی از روش‌های وزن‌دهی به پارامترهای مختلف مؤثر در یک تصمیم‌گیری، روش مقایسه دوتایی پارامترهاست که در این زمینه فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی توسط ساعتی^{۱۰} (۱۹۸۰) ارائه شد. این روش بر اساس قضاوت بین دو معیار خاص پایه‌ریزی شده است. بدین صورت که ابتدا کلیه پارامترها به

روش تحلیل سلسله‌مراتبی، یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری‌های دارای معیارهای چندگانه است؛ زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مسأله را به صورت سلسله‌مراتبی فراهم می‌کند. علاوه بر این بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده است که قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌نماید؛ همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را

10. Saaty

9. Analytical Hierarchy Process (AHP)

اکسپرت چویس^{۱۱} که بر اساس روش تحلیل سلسله‌مراتبی طراحی شده است، وزن هر پارامتر محاسبه می‌گردد. جهت تعیین صحت مقایسه‌ها، نرخ سازگاری محاسبه می‌شود که این میزان نباید از ۰/۱ تجاوز کند.

ترتیب نزولی اهمیت در یک ماتریس در نظر گرفته و سپس دوبه‌دو مقایسه می‌شوند و بر اساس روش ساعتی (جدول ۱) اعدادی از ۱ تا ۹ برای آن‌ها در نظر گرفته می‌شود. پس از اتمام مقایسه دوبه‌دو پارامترها با استفاده از نرم‌افزار

جدول ۱. مبنای مقایسات زوجی پارامتر (Saaty, 1980).

کاملاً مرجح	ترجیح خیلی قوی	ترجیح قوی	کمی مرجح	ترجیح یکسان	ترجیحات بین فواصل
۹	۷	۵	۳	۱	۸ و ۴ و ۶ و ۲

بین صفر تا یک، مجموعه پیوسته‌ای از عضویت به مجموعه فازی را نشان می‌دهند (Nadun et al., 2010). برخی از نرم‌افزارهای مورد استفاده در این تحقیق جهت پردازش تصاویر ماهواره‌ای و تهیه لایه‌های مختلف اطلاعاتی در جدول (۲) آمده است.

۲.۳. روش تلفیق فازی

در یک مجموعه فازی، به هر عضو درجه عضویتی بین ۰ تا ۱ اختصاص می‌یابد. صفر بیان‌کننده عدم عضویت کامل به مجموعه فازی و یک عضویت کامل را توجیه می‌کند و اعداد

جدول ۲. نرم‌افزارهای مورد استفاده در این تحقیق و کاربرد آن‌ها.

نرم‌افزار	کاربرد
ArcGIS10	تهیه نقشه‌های مختلف با استفاده از توابع و دستورهای مختلف پردازش و تصحیح تصویر ماهواره لندست جهت تهیه نقشه پوشش گیاهی
ERDAS9.1	پردازش و اعمال فیلتر در جهات مختلف تصویر ماهواره IRS جهت تهیه نقشه شکستگی
ENVI4.7	ایجاد سلسله مراتب و وزن‌دهی به روش AHP
Expert Choice11	تهیه نقشه توپوگرافی و DEM منطقه
Global Mapper13	

مجموعه متنوعی از سازندهای زمین‌شناسی (شکل ۲) است که بین آن‌ها سازند کربناته مزدوران و تیرگان از نظر ذخیره آب زیرزمینی جزء سازندهایی با آب‌دهی بسیار خوب هستند؛ به طوری که مخزن چشمه‌های آهکی با آب‌دهی نسبتاً خوبی در این سازندها قرار دارند و در نتیجه سازندهای هدف در امر پتانسیل‌یابی در نظر گرفته شده‌اند. اما سازندهای آبدراز و شورچه که تأثیر نامطلوبی بر کیفیت آب دارند و فاقد پتانسیل قابل توجه آب زیرزمینی هستند، در زمینه پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، بدون تأثیر در نظر گرفته شده‌اند.

۳.۳. بررسی و شناسایی عوامل مؤثر بر پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی

انتخاب روش و معیارها در هر منطقه، به اطلاعات موجود و هدف مورد مطالعه وابسته است (Mallikajuna, 2011). در این بخش با توجه به شرایط هیدرولوژی، هیدروژئولوژی و ساختمانی منطقه مورد مطالعه، داده‌های موجود و با اعمال قضاوت کارشناسی، پنج عامل زمین‌شناسی، اقلیم، ساختاری، توپوگرافی و فیزیوگرافی شناخته شده است که در ادامه به توضیح هر یک از آن‌ها پرداخته می‌شود.

عامل زمین‌شناسی: این عامل به صورت نمایه لیتولوژی در پتانسیل‌یابی اعمال شده است. منطقه مورد مطالعه شامل

آب زیرزمینی در اولویت هستند و ارتفاع‌های بالاتر و پایین‌تر اهمیت کم‌تری در پتانسیل آب زیرزمینی دارند.

عامل اقلیم: شرایط اقلیمی به صورت مستقیم و غیر مستقیم پتانسیل آب‌های زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بارندگی از طریق میزان و نوع بارش که در اقلیم‌ها و ارتفاع‌های گوناگون، متفاوت است؛ تأثیر مستقیم و از طریق توسعه مخزن کارستی با تأثیر بر حجم فضای نگه‌دارنده آب در اثر انحلال توسط گاز کربنیک موجود در قطرات باران یا آب موجود در خاک (پدیده کارستی شدن) تأثیر غیر مستقیم بر پتانسیل آب‌های زیرزمینی می‌گذارد (عبادیان، ۱۳۸۱). با در نظر گرفتن سایر شرایط، هر چه مقدار و حجم بارش‌ها در ناحیه‌ای بیش‌تر باشد، مقدار آب نفوذی به درون سفره نیز بیش‌تر می‌گردد و سبب افزایش دبی خروجی از این سفره می‌شود.

۴. یافته‌ها و بحث

با توجه به آن‌چه در بخش مواد و روش‌ها ذکر شد، نقشه‌های معیار تهیه و به محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی وارد شدند و در این مبحث به شرح نتایج حاصل از آن‌ها پرداخته می‌شود.

لایه لیتولوژی: این لایه با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و تصویر ETM ماهواره لندست (دو فریم تصویر ماهواره‌ای با گذر ۱۵۹ و ردیف ۳۴ و با گذر ۱۶۰ و ردیف ۳۴ مربوط به سال ۲۰۰۵) در نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه گردید. بدین منظور، ابتدا سازندهای مختلف روی نقشه‌های زمین‌شناسی در گز، چناران، کلات‌نادری و قهقهه شناسایی و رقومی شدند. سپس تصاویر رنگی کاذب^{۱۲} منطقه با استفاده از باندهای ترکیبی ۷۴۲، ۷۴۱، ۵۴۳، ۲۵۳ و ۱۳۵ ایجاد و بهترین ترکیب جهت تفکیک واحدهای سنگی (۷۴۲ و ۵۴۳) انتخاب گردید. با استفاده از تطبیق نقشه سازندهای رقومی تهیه شده با این تصاویر رنگی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی لایه لیتولوژی تصحیح و تهیه گردید (شکل ۴- الف).

لایه ارتفاع: نقشه مدل رقومی ارتفاعی منطقه با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه و داده‌های استر^{۱۳} تهیه گردید. در

عامل ساختاری: این عامل به صورت سه معیار تراکم طول شکستگی‌ها، فاصله از شکستگی‌ها و فاصله از محل برخورد شکستگی‌ها در پژوهش پیش‌رو به کار رفته است. محل برخورد شکستگی‌ها به علت هوازگی بیش‌تر و در نتیجه نفوذپذیری بالاتر، مجرای مناسبی برای نفوذ آب‌های سطحی به شمار می‌رود. بنابراین احتمال وجود آب زیرزمینی در مناطق یاد شده بیش‌تر از سایر نقاط است. تأثیر معیارهای ساختاری با توجه به ماهیت آن‌ها کاملاً مشخص است؛ به گونه‌ای که هرچه فاصله از شکستگی‌ها و محل برخورد آن‌ها با یکدیگر، کم‌تر باشد، احتمال رخداد آب زیرزمینی بیش‌تر خواهد بود. بنابراین فاصله‌های کم‌تر، از اهمیت بالاتری برخوردارند. تراکم بالای طول شکستگی‌ها در این سازندها نیز می‌تواند معرف تکنویزه‌شدگی بیش‌تر و در نتیجه کارستی شدن بیش‌تر سازندها باشد.

عامل فیزیوگرافی: این عامل به صورت معیار پوشش گیاهی در پتانسیل آب زیرزمینی در نظر گرفته شده است. پوشش گیاهی یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های وابسته به فرآیند فیزیوگرافی است که بر نفوذ، فرسایش و تبخیر و تعرق تأثیر می‌گذارد (Gintamo, 2010). در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌خصوص در فصل خشک، آب سطحی بسیار محدود است، بنابراین پوشش گیاهی نمایان‌گر خوبی از آب‌های زیرزمینی کم‌عمق است. استفاده از داده‌های ماهواره‌ای امکان مطالعه گسترده پوشش گیاهی را فراهم می‌سازد (آبشیرینی، ۱۳۸۳).

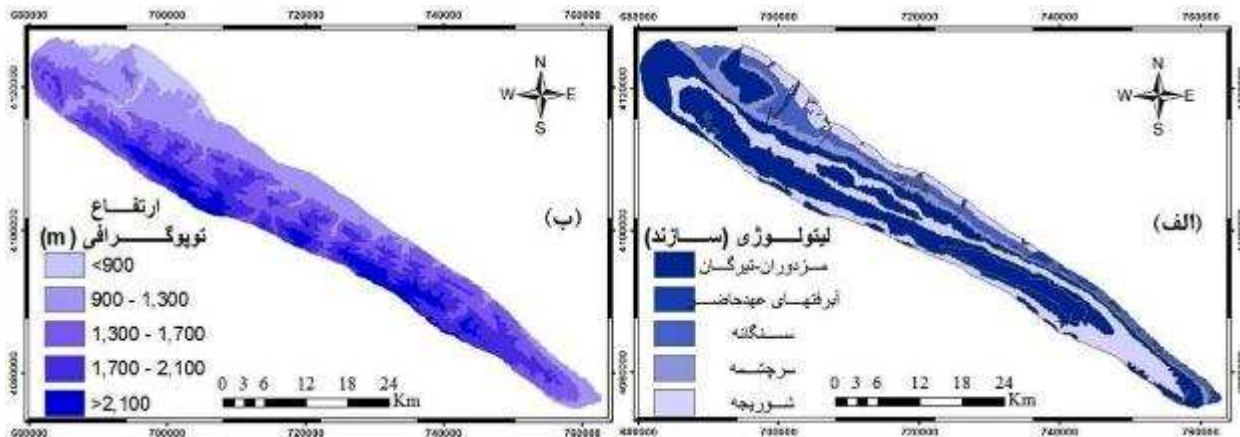
عامل توپوگرافی: این عامل به صورت دو نمایه شیب و ارتفاع در نظر گرفته شده است. عامل توپوگرافی یکی از فاکتورهای مؤثر بر نفوذ آب‌های سطحی در زمین است. در شیب ملایم، رواناب سطح به آرامی حرکت می‌کند و زمان بیش‌تری برای نفوذ به درون زمین دارد. در حالی که نواحی دارای شیب‌های تندتر، رواناب بیش‌تری دارند و بنابراین کم‌تر آب زیرزمینی را تغذیه می‌نمایند (Vijith, 2007). توپوگرافی جهت کلی جریان آب زیرزمینی را نشان می‌دهد و بر تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی اثر می‌گذارد (Sener et al., 2005؛ Gintamo, 2010). همچنین ارتفاع‌های هم‌تراز با ارتفاع چشمه‌ها از نظر پتانسیل

13. Aster

12. False Color Composite (FCC)

خود اختصاص داده است. این نقشه به ۵ کلاس با فاصله ۴۰۰ متری، طبقه‌بندی مجدد گردید (شکل ۴-ب).

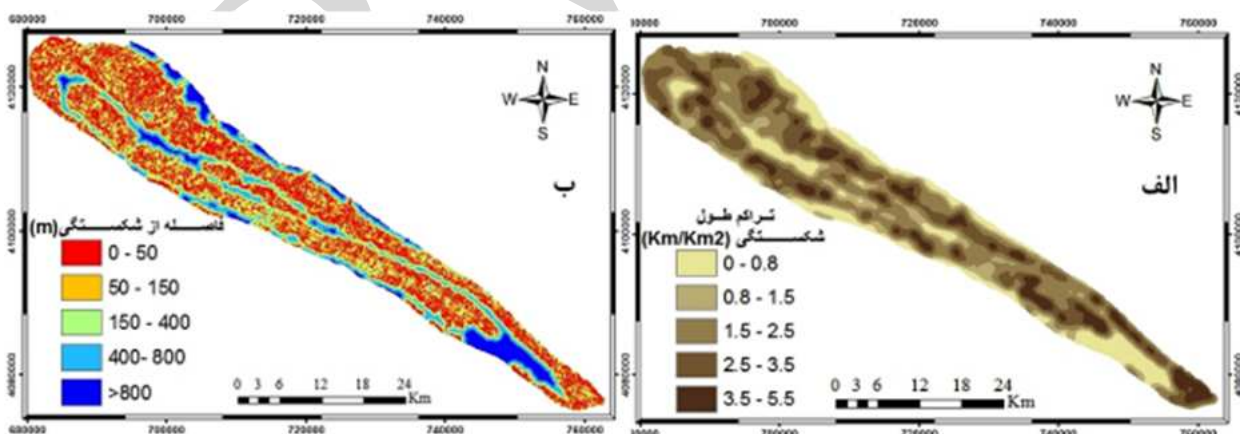
این منطقه، بیش‌ترین درصد وقوع چشمه‌ها در ارتفاع ۹۰۰ تا ۱۳۰۰ متر قرار گرفته‌اند. به همین دلیل در پژوهش پیش رو، این محدوده ارتفاعی بیش‌ترین اهمیت را در امر پتانسیل‌یابی به



شکل ۴. تهیه لایه‌های اطلاعاتی الف) لیتولوژی و ب) ارتفاع توپوگرافی منطقه.

خطای اثر جاده و مسیرهای جریان، لایه شکستگی‌ها با نقشه سه‌بعدی زمین^{۱۶} انطباق داده شد. سه لایه فاصله از شکستگی، فاصله از محل برخورد شکستگی و تراکم طول شکستگی با استفاده از توابع فاصله و تراکم از توابع تحلیلی در نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی و با استفاده از نقشه شکستگی‌های منطقه تهیه گردیده است (شکل ۵ و ۶-الف).

لایه شکستگی‌ها: نقشه شکستگی‌ها از پردازش تصویر باند پان ماهواره IRS^{۱۴} (۲۵ سپتامبر ۲۰۰۵) با قدرت تفکیک زمینی ۵/۸ متر به دست آمد. در این راستا ابتدا فیلترهای بالاگذر و جهتی^{۱۵} در جهات مختلف جغرافیایی روی تصویر اعمال شد و سپس تصاویر به دست آمده جهت رقومی‌سازی شکستگی‌ها به سیستم اطلاعات جغرافیایی انتقال یافتند. جهت حذف

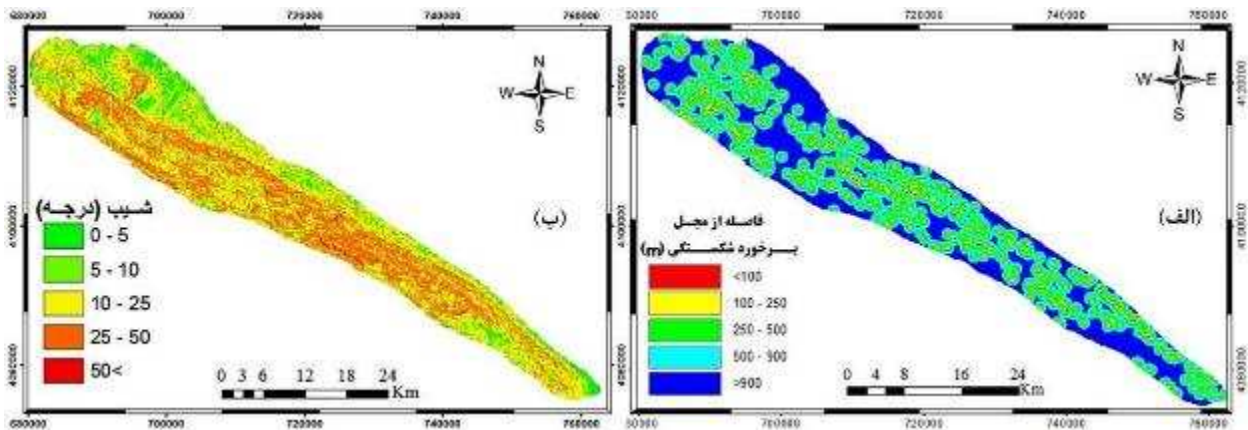


شکل ۵. تهیه لایه‌های اطلاعاتی الف) تراکم طول شکستگی و ب) فاصله از شکستگی در منطقه مورد مطالعه.

لایه شیب: با استفاده از مدل ارتفاع رقومی منطقه و به کارگیری توابع تحلیل سطح، لایه شیب بر حسب درجه طبقه‌بندی شد و تهیه گردید (شکل ۶-ب).

16. Google Earth

14. Indian Remote Sensing
15. High Pass and Directional

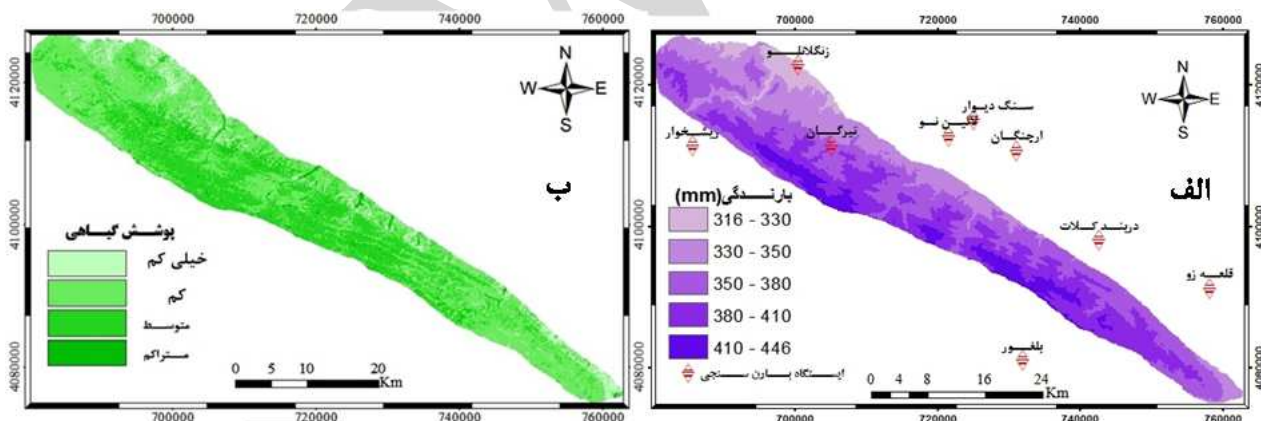


شکل ۶. تهیه لایه‌های اطلاعاتی الف) فاصله از محل برخورد شکستگی و ب) تغییرات شیب در منطقه مورد مطالعه.

اقدامات خطی شاخص نرمال شده پوشش گیاهی^{۱۷} ایجاد و در نهایت با اعمال طبقه‌بندی نظارت نشده، درصد تراکم پوشش گیاهی بر حسب کلاس‌های پوشش خیلی کم (۰-۲۵٪)، کم (۲۵-۵۰٪)، متوسط (۵۰-۷۵٪)، متراکم (۷۵-۱۰۰٪) مشخص شده است (شکل ۷-ب). در این منطقه تراکم ۱۰۰ درصد پوشش گیاهی مشخص‌کننده زمین‌های باغی است.

لایه بارش: این لایه با استفاده از اطلاعات داده‌های بارندگی ایستگاه‌های بارنسنجی و با توجه به رابطه ارتفاع-بارش تهیه گردیده است. بارندگی منطقه از حدود ۳۱۶ میلی‌متر در ارتفاعات پست تا حدود ۴۴۵ میلی‌متر در ارتفاعات بالاتر تغییر می‌کند (شکل ۷-الف).

لایه پوشش گیاهی: لایه پوشش گیاهی با اعمال تصحیح اثر جوی روی تصویر ماهواره‌ای ETM از طریق انعکاس طبیعی و



شکل ۷. تهیه لایه‌های اطلاعاتی الف) مدل رقمی بارش و ب) تراکم پوشش گیاهی.

۱.۴. تهیه نقشه‌های معیار قابل مقایسه

اشاره شد، در این تحقیق نقشه‌های معیار به صورت تحلیل سلسله مراتبی و فازی تهیه شده‌اند.

۱.۴.۱. تهیه نقشه‌های معیار با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی

جهت تهیه لایه‌های اطلاعاتی قابل مقایسه به روش تحلیل سلسله‌مراتبی، ابتدا ماتریس مقایسه زوجی برای هر یک از

با توجه به این که نقشه‌های معیار از داده‌های مختلف تهیه شده‌اند و دارای فرمت‌های گوناگون و مقیاس‌های مختلفی مانند متر برای فاصله‌ها و اختلاف ارتفاع، درصد برای تراکم‌ها و درجه برای شیب هستند؛ هم‌مقیاس‌سازی آن‌ها قبل از تلفیق، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. همان‌طور که پیش‌تر نیز

17. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

پس از مقایسه دوه‌دو کلاس‌های هر معیار، بر اساس اهمیت هر کلاس نسبت به یکدیگر، بر اساس روش ساعتی اعدادی از ۱ تا ۹ به آن‌ها اختصاص داده شد. سپس با اجرای نرم‌افزار، وزن نهایی هر کلاس محاسبه گردید (جدول ۳) و بدین ترتیب نقشه معیارهای جدید بر اساس این اوزان تهیه شد.

معیارها در نرم‌افزار اکسپرت چویس ایجاد گردید. در یک ماتریس، مقایسه دوه‌دو که بیان‌گر اولویت‌های نسبی فاکتورها است، بیان می‌شوند. بنابراین بایستی مقادیر عددی مربوط به اولویت بندی و اهمیت نسبی یک فاکتور نسبت به دیگری، در نظر گرفته شود. بدین جهت، کلاس‌های هر لایه به ترتیب کاهش اهمیت جهت سهولت مقایسه دوتایی مرتب می‌شود.

جدول ۳. وزن‌دهی کلاس‌های هر یک از معیارها به روش تحلیل سلسله مراتبی.

وزن AHP	پارامتر	وزن AHP	پارامتر
وزن کلاس	بارش (میلی‌متر)	وزن سازند	لیتولوژی (سازند)
۰/۰۴۶	۳۳۰ >	۰/۵۲۸	تیرگان- مزدوران
۰/۱۰۳	۳۳۰ - ۳۵۰	۰/۳۰۲	آبرفت عهد حاضر
۰/۱۷۹	۳۵۰ - ۳۸۰	۰/۱۰۲	سنگانه
۰/۲۸۸	۳۸۰ - ۴۱۰	۰/۰۶۸	سرچشمه
۰/۳۸۴	۴۱۰ <	۰	سایر سازندها
وزن کلاس	اختلاف ارتفاع توپوگرافی (متر)	وزن کلاس	تراکم شکستگی (Km/Km ²)
۰/۲۹۰	۹۰۰ >	۰/۰۴۳	۰ - ۰/۸
۰/۴۵۶	۹۰۰ - ۱۳۰۰	۰/۰۷۸	۰/۸ - ۱/۵
۰/۱۹۰	۱۳۰۰ - ۱۷۰۰	۰/۱۵۰	۱/۵ - ۲/۵
۰/۰۶۴	۱۷۰۰ - ۲۱۰۰	۰/۲۹۰	۲/۵ - ۳/۵
۰	۲۱۰۰ <	۰/۴۳۹	۳/۵ - ۵/۵
وزن کلاس	پوشش گیاهی (درصد)	وزن کلاس	فاصله از شکستگی (متر)
۰/۰۴۳	۰ - ۲۵	۰/۴۴۹	۵۰ >
۰/۱۷۸	۲۵ - ۵۰	۰/۲۹۷	۵۰ - ۱۵۰
۰/۳۱۴	۵۰ - ۷۵	۰/۱۶۰	۱۵۰ - ۳۰۰
۰/۴۶۶	۷۵ - ۱۰۰	۰/۰۹۵	۳۰۰ - ۵۰۰
-	-	۰	۵۰۰ <
وزن کلاس	فاصله از برخورد شکستگی (متر)	وزن کلاس	شیب (درجه)
۰/۴۵۲	۱۰۰ >	۰/۴۳۶	۰ - ۵
۰/۳۰۵	۱۰۰ - ۲۵۰	۰/۳۱۶	۵ - ۱۰
۰/۱۵۸	۲۵۰ - ۵۰۰	۰/۱۵۹	۱۰ - ۲۵
۰/۰۸۵	۵۰۰ - ۹۰۰	۰/۰۹۰	۲۵ - ۵۰
۰	۹۰۰ <	۰	۵۰ <

توجه به تأثیر هر یک از این عوامل در نقشه نهایی، نوع تابع فازی مورد استفاده انتخاب شد. در تحقیق پیش رو، تمام نقشه‌های معیار به جز نقشه معیار ارتفاع توپوگرافی با توجه به تغییر مطلوبیت هر عامل به صورت خطی، از توابع خطی فازی نوع کاهش یا افزایشی تهیه شده‌اند. به طور مثال در رابطه با تراکم شکستگی، هر چه تراکم یاد شده بیش تر باشد، پتانسیل

۲،۱،۴. تهیه نقشه‌های معیار با استفاده از توابع عضویت فازی

یکی از عوامل مؤثر بر استانداردسازی نقشه‌های فازی، تعیین حد آستانه است که به آن‌ها نقاط کنترل گفته می‌شود. از این رو در تحقیق حاضر نیز با توجه به دانش کارشناسی و همچنین رابطه هر معیار با برون‌زد چشمه‌ها، حد آستانه هر نقشه معیار در توابع عضویت مختلف فازی تعیین شد (جدول ۴). سپس با

مطرح بوده است (۹۰۰-۱۳۰۰ متر)، جهت سازگاری با این عامل، از تابع زنگوله‌ای فازی استفاده شد.

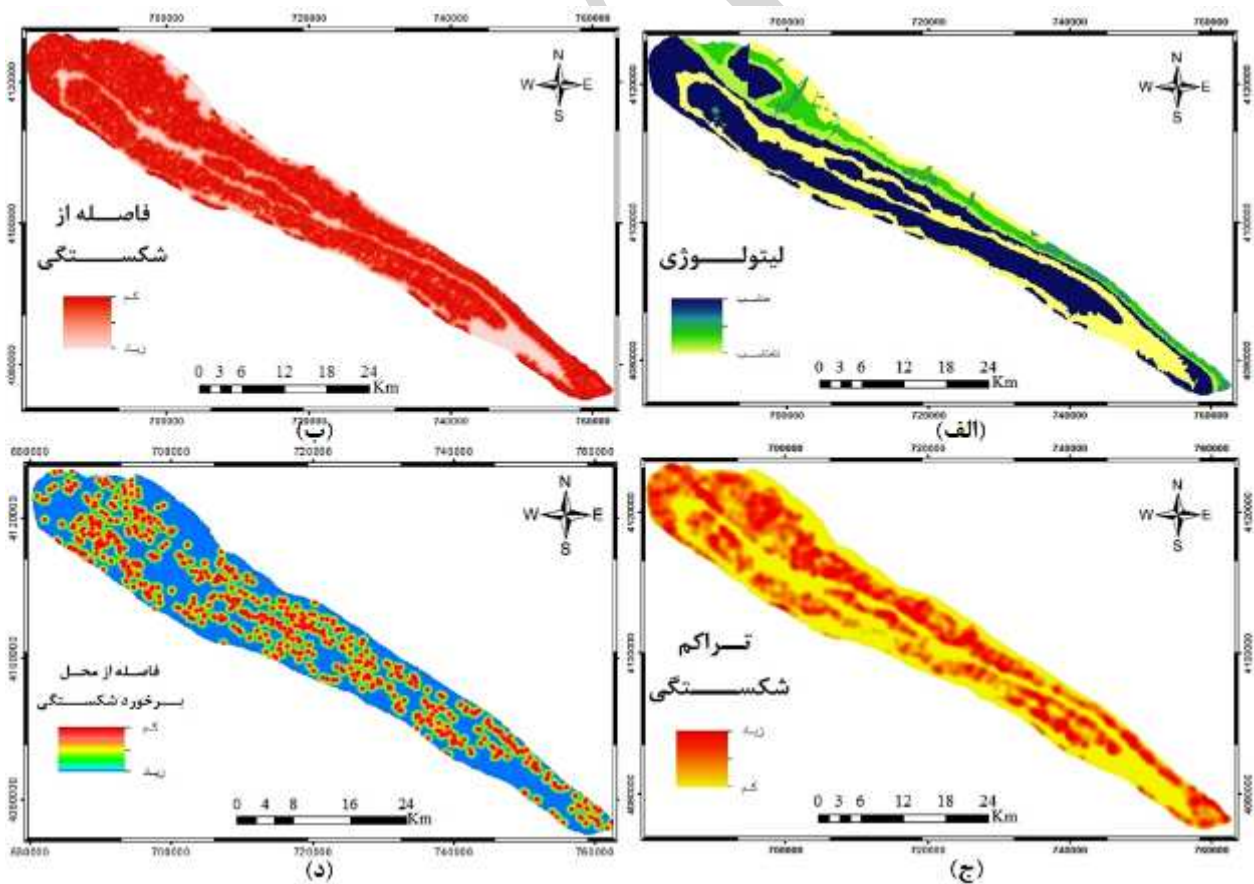
آب زیرزمینی مناسب‌تر است و در نتیجه در این جا از تابع افزایشی استفاده می‌شود. معیار ارتفاع توپوگرافی به علت این که در این تحقیق، محدوده حد واسط جهت پتانسیل‌یابی

جدول ۴. اعداد حد آستانه نقشه‌های مختلف معیار استفاده شده در توابع فازی.

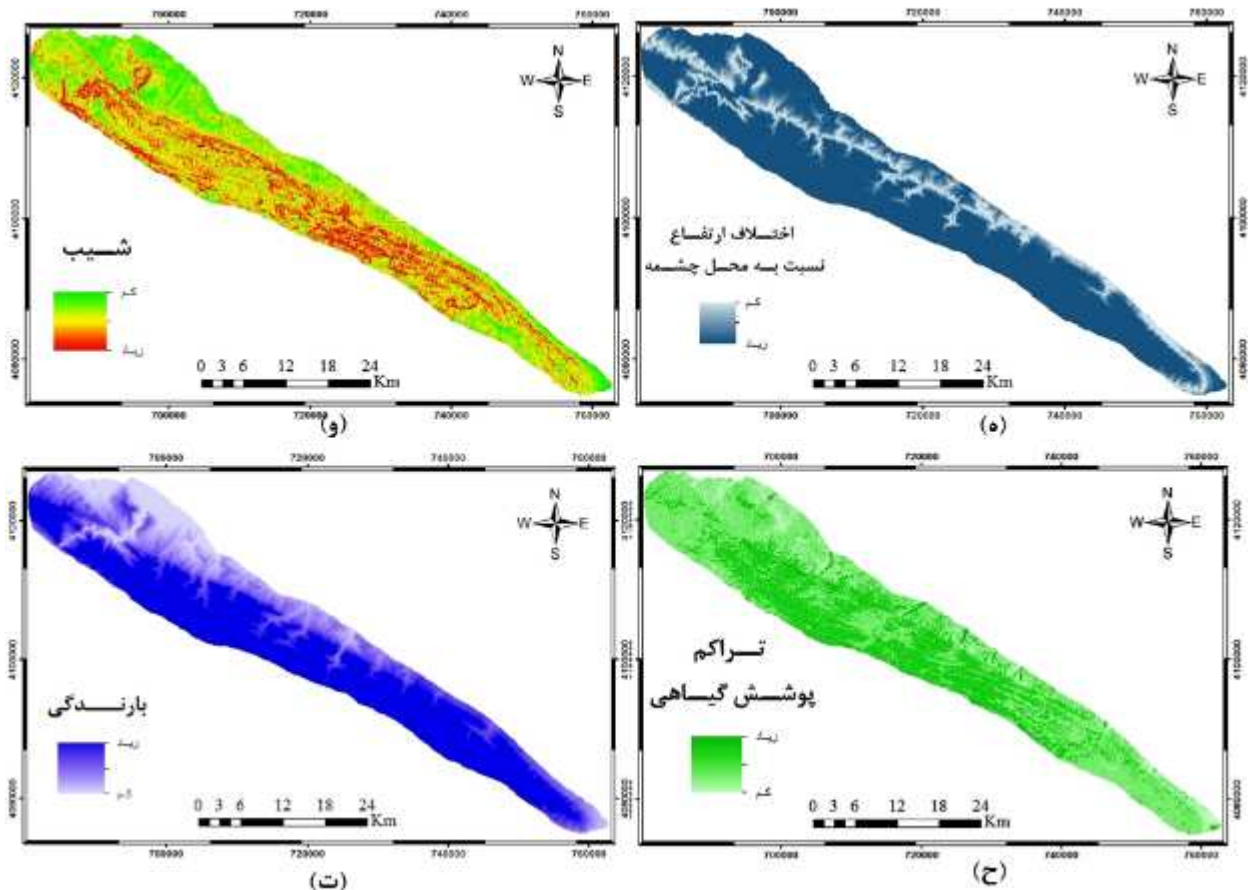
نقشه معیار	نوع تابع فازی	حد آستانه
فاصله از شکستگی	خطی کاهش	۵۰-۵۰
تراکم طول شکستگی	خطی افزایشی	۱-۶
فاصله از محل برخورد شکستگی	خطی کاهش	۸۰۰-۲۰۰
ارتفاع توپوگرافی	تابع زنگوله‌ای	۰/۰۰۵-۱۲۵۰
شیب	خطی کاهش	۵۰-۵
پوشش گیاهی	خطی افزایشی	۲۵-۱۰۰
بارندگی	خطی افزایشی	۳۲۰-۳۷۰

ارزش‌های آن‌ها به واحدهای قابل مقایسه‌ای از صفر تا یک تبدیل شده است (شکل ۸).

نقشه‌های معیار با استفاده از تابع‌های فازی خطی و زنگوله‌ای در نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی استاندارد گردیدند و



شکل ۸. نقشه‌های فازی شده معیار با استفاده از توابع عضویت فازی الف) لیتولوژی، ب) فاصله از شکستگی، ج) تراکم شکستگی، د) فاصله از محل برخورد شکستگی، ه) ارتفاع توپوگرافی، و) شیب، ح) تراکم پوشش گیاهی، ت) بارش.



ادامه شکل ۸. نقشه‌های فازی شده معیار با استفاده از توابع عضویت فازی الف) لیتولوژی، ب) فاصله از شکستگی، ج) تراکم شکستگی، د) فاصله از محل برخورد شکستگی، ه) ارتفاع توپوگرافی، و) شیب، ح) تراکم پوشش گیاهی، ت) بارش.

۳،۱،۴. وزدهی به نقشه‌های معیار

نرخ سازگاری نیز برابر با ۰/۰۲ محاسبه شده است که صحت مقایسه زوجی و تعیین وزن را تأیید می‌کند.

نظر به این که میزان تأثیر هر یک از معیارها در امر پتانسیل یابی آب زیرزمینی یکسان نیست، یکی از مراحل مهم پیش از تلفیق نقشه‌های معیار، تعیین اهمیت نسبی هر یک از پارامترها و اختصاص وزن به هر کدام از آنها است. بدین منظور از روش وزندهی بر اساس مقایسه زوجی معیارها در قالب روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شده است. جهت وزندهی معیارها به این روش ابتدا ماتریس مقایسه زوجی در نرم‌افزار اکسپرت چویس ایجاد گردید و همه معیارها بر اساس اهمیت مرتب شدند. سپس با اعمال قضاوت کارشناسی و تجزیه و تحلیل اطلاعات موجود، اعدادی بین ۱ تا ۹ به هر معیار اختصاص یافت و در نهایت وزن لایه‌ها بر اساس روش تحلیل سلسله‌مراتبی تعیین شد (جدول ۵). لایه لیتولوژی با توجه به اهمیت ماکزیمم آن در پتانسیل یابی بیش‌ترین وزن را به خود اختصاص می‌دهد.

جدول ۵. وزن‌دهی به معیارها با استفاده از روش مقایسه دوتایی (تحلیل سلسله‌مراتبی).

وزن کل	بارش	شیب	فاصله از شکستگی	تراکم پوشش گیاهی	ارتفاع توپوگرافی	تراکم شکستگی	فاصله از محل برخورد شکستگی	لیتولوژی	معیار
۰/۳۳۸	۶/۵	۴/۵	۴/۲	۴	۳/۵	۳/۲	۳	۱	لیتولوژی
۰/۱۶۷	۴	۳	۲/۶	۲/۵	۲	۱/۲	۱		فاصله از محل برخورد شکستگی
۰/۱۲۶	۴/۵	۲	۱/۷	۱/۵	۱/۳	۱			تراکم شکستگی
۰/۱۱۳	۴	۲/۲	۱/۵	۲	۱				ارتفاع توپوگرافی
۰/۰۸۶	۳/۵	۲	۱/۳	۱					تراکم پوشش گیاهی
۰/۰۸۵	۳/۵	۲/۷	۱						فاصله از شکستگی
۰/۰۵۳	۲	۱							شیب

۴،۱،۴. تلفیق نقشه‌های معیار

مربوط به هر یک از آن‌ها استفاده و مسأله به صورت خطی حل شده است. نقشه نهایی پتانسیل آب زیرزمینی یک بار با تلفیق نقشه‌های معیار تهیه شده به روش تحلیل سلسله‌مراتبی با توجه به وزن‌های محاسبه شده (شکل ۹) و یک بار هم با تلفیق نقشه‌های معیار تهیه شده به روش فازی با در نظر گرفتن وزن‌های مربوط (شکل ۱۰) تهیه شده است.

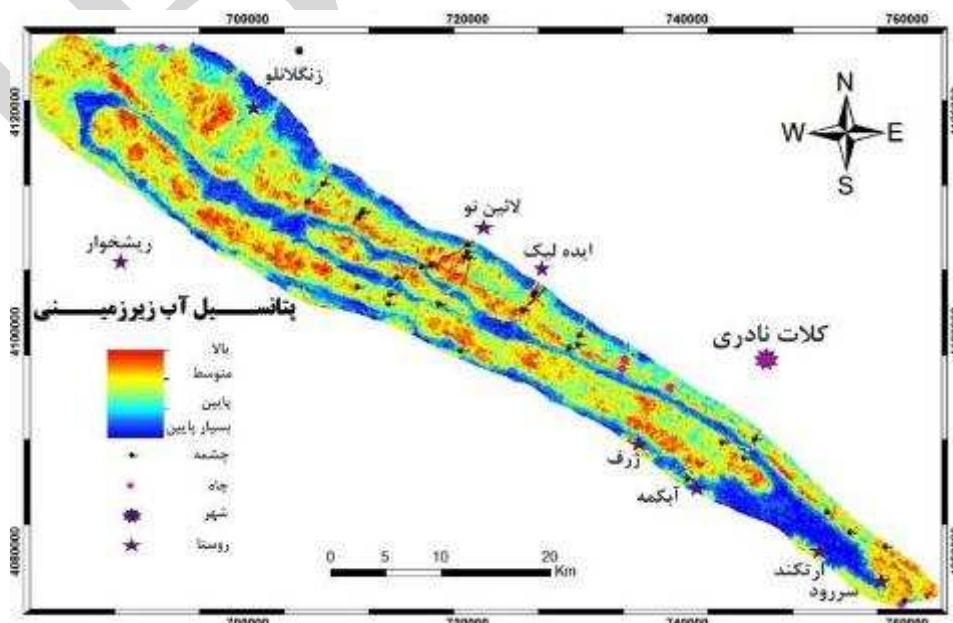
$$S = \sum_{i=0}^n W_i \times X_i \quad (1)$$

S ، میزان قابلیت، W_i ، وزن هر معیار، X_i ، ارزش استاندارد شده هر معیار است.

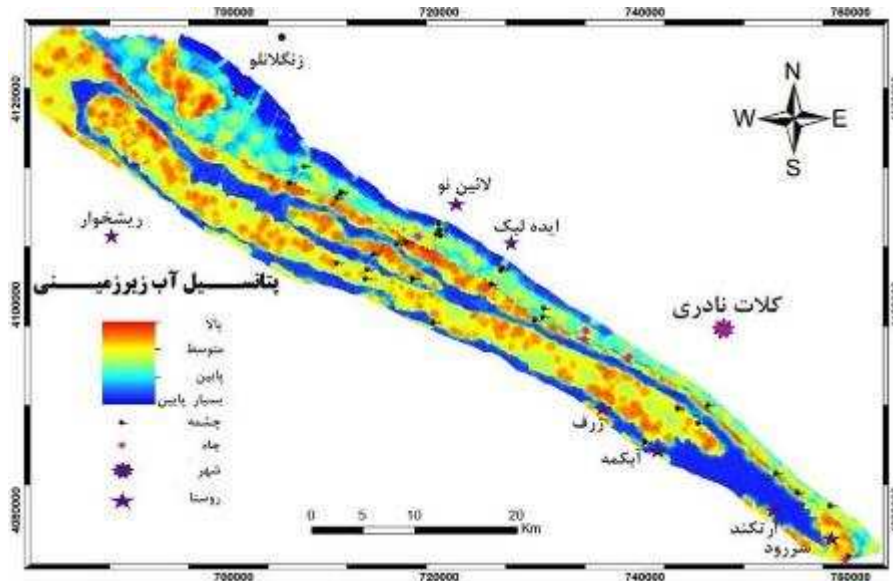
پس از تهیه و سامان‌دهی لایه‌ها، انتخاب روش مناسب مدل‌سازی جهت تلفیق و تهیه نقشه نهایی مورد نیاز است. در این تحقیق از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی با توجه به قابلیت‌های بالای آن، جهت اجرای مدل‌های هم‌پوشانی خطی وزنی و مدل‌های منطق فازی استفاده شده است.

۱،۴،۱،۴. تلفیق نقشه‌های معیار با مدل هم‌پوشانی خطی وزنی

در این تحقیق برای تلفیق نقشه‌های معیار، از مدل هم‌پوشانی خطی وزنی (رابطه ۱) با توجه به وزن معیارها و کلاس‌های



شکل ۹. نقشه نهایی پتانسیل آب زیرزمینی به روش هم‌پوشانی خطی وزنی با استفاده از لایه‌های AHP.

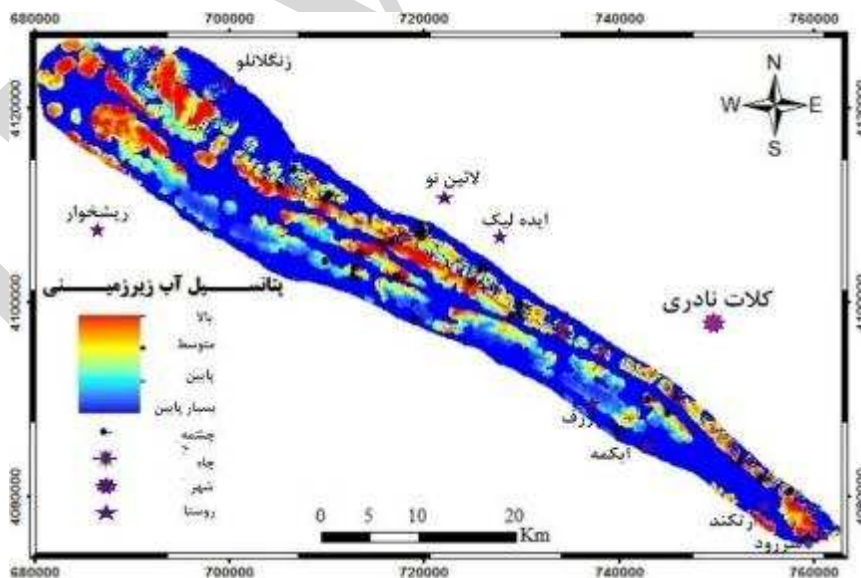


شکل ۱۰. نقشه نهایی پتانسیل آب زیرزمینی به روش هم‌پوشانی خطی وزنی با استفاده از لایه‌های فازی.

۲،۴،۱،۴. تلفیق نقشه‌های معیار با مدل هم‌پوشانی فازی گاما

استفاده شده است. جهت انتخاب مقدار گاما، ابتدا گاما در محدوده ۰ تا ۱ انتخاب و به ازای هر گاما یک نقشه خروجی تهیه گردیده است، سپس هر یک از این نقشه‌ها با موقعیت چشمه‌ها و اسنجی شده است. در نتیجه بهترین جواب با گامای ۰/۹۵ حاصل گردیده است. بر اساس این مدل نقشه نهایی پتانسیل آب زیرزمینی به چهار گروه پتانسیل بالا، متوسط، پایین و بسیار پایین طبقه‌بندی شده است (شکل ۱۱).

جهت تلفیق به روش هم‌پوشانی فازی، عمل گره‌های مختلفی وجود دارد که با توجه به عوامل مؤثر در هدف انتخاب می‌شوند. با توجه به اثر کاهشی و افزایشی نقشه‌های معیار در این تحقیق (جدول ۴)، از مدل فازی گاما به جهت در نظر گرفتن اثر توأم تابع کاهشی و افزایشی، جهت هم‌پوشانی



شکل ۱۱. نقشه نهایی پتانسیل آب زیرزمینی به روش هم‌پوشانی فازی گاما با استفاده از لایه‌های فازی.

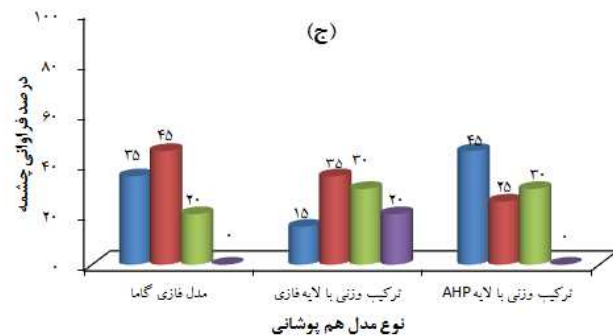
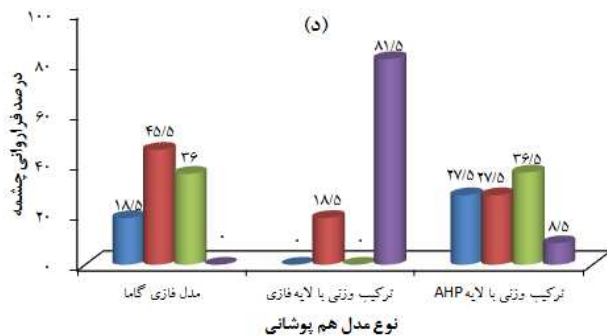
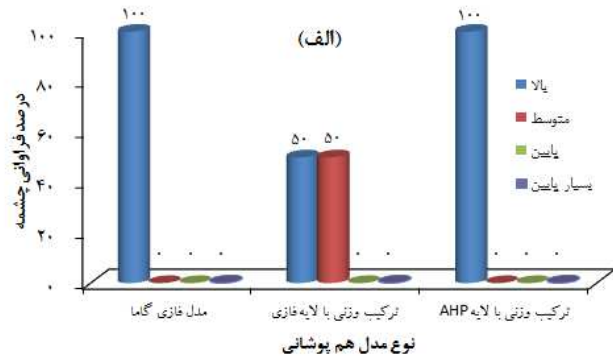
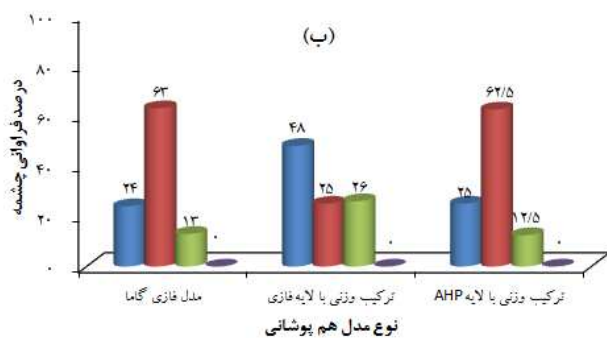
۳،۴،۱،۴. تطابق نقشه تلفیق با موقعیت و دبی چشمه

جهت ارزیابی مدل‌ها با استفاده از دبی چشمه‌ها، ابتدا سه نقشه نهایی پتانسیل یابی شده به روش‌های مختلف، در مقیاس ۰ تا ۱۰۰ استانداردسازی شدند و برای مقایسه راحت‌تر، چهار

از چشمه‌های موجود در منطقه، تعداد ۵۰ چشمه دائمی با دبی بالاتر از ۲ لیتر بر ثانیه جهت ارزیابی مدل‌ها استفاده شده است.

پتانسیل بایبی آب زیرزمینی هر یک از مدل‌های هم‌پوشانی (فازی گاما، خطی وزنی با لایه فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی) با چهار گروه چشمه‌ها، انطباق داده شده است. از این رو، ارزش پیکسل‌هایی که گروه‌های مختلف چشمه‌ها در آن‌ها جای گرفته بودند، به صورت درصد فراوانی گروه‌های مختلف چشمه‌ها در هر مدل مشخص شده است (شکل ۱۲).

گروه پتانسیل آب زیرزمینی بالا (۷۵-۱۰۰)، متوسط (۵۰-۷۵)، پایین (۲۵-۵۰) و بسیار پایین (۰-۲۵) مشخص گردیده است. همچنین چشمه‌ها بر اساس میزان دبی، به چهار گروه چشمه‌های گروه اول (۶۰ تا ۱۵۰ لیتر بر ثانیه)، گروه دوم (۷ تا ۶۰ لیتر بر ثانیه)، گروه سوم (۳ تا ۷ لیتر بر ثانیه) و گروه چهارم (۲ تا ۳ لیتر بر ثانیه) دسته‌بندی شده‌اند. سپس نقشه نهایی



شکل ۱۲. درصد فراوانی چشمه‌ها در گروه‌های پتانسیل بالا، متوسط، پایین و بسیار پایین آب زیرزمینی در سه مدل هم‌پوشانی فازی گاما، خطی وزنی با لایه فازی و AHP (الف) در چشمه‌های با دبی ۶۰ تا ۱۵۰ لیتر بر ثانیه، (ب) در چشمه‌های با دبی ۷ تا ۶۰ لیتر بر ثانیه، (ج) در چشمه‌های با دبی ۳ تا ۷ لیتر بر ثانیه و (د) در چشمه‌های با دبی ۲ تا ۳ لیتر بر ثانیه.

(۱۲-د) مشاهده می‌شود، در نقشه نهایی پتانسیل آب زیرزمینی تهیه شده با مدل فازی گاما، بیش‌ترین درصد چشمه‌های گروه چهارم با دبی پایین (۸۱/۵ درصد) در محدوده پتانسیل بسیار پایین قرار می‌گیرند که صحت و دقت مدل را نشان می‌دهد. همان‌طور که نتایج این مقایسه‌ها نشان می‌دهد مناطق پتانسیل متوسط تا بالا در هر سه مدل هم‌پوشانی با موقعیت چشمه‌های با دبی قابل توجه انطباق خوبی دارد که این موضوع می‌تواند بیان‌گر انتخاب صحیح معیارها، شناخت نحوه تأثیر آن‌ها و انتخاب وزن‌های مناسب باشد. به طور کلی واسنجی با دبی و موقعیت چشمه‌ها نشان می‌دهد که مدل فازی گاما در اولویت اول و دو مدل خطی وزنی در رده دوم قرار می‌گیرند.

بررسی نمودارهای شکل (۱۲) نشان می‌دهد که ۱۰۰ درصد چشمه‌های گروه اول در دو مدل خطی وزنی با لایه‌های فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی در محدوده پتانسیل بالا و در مدل فازی گاما نیز در محدوده پتانسیل متوسط و بالا قرار می‌گیرند. بیش‌ترین درصد فراوانی چشمه‌های گروه دوم در محدوده پتانسیل بالا در مدل فازی گاما و در سایر مدل‌ها نیز در محدوده پتانسیل متوسط و بالا قرار می‌گیرند. در محدوده پتانسیل بسیار پایین در هر سه مدل درصد چشمه‌ها صفر است. انطباق گروه‌های چشمه‌های سوم و چهارم با مدل‌ها نشان می‌دهد که محدوده‌های پتانسیل‌های پایین و بسیار پایین با این گروه چشمه‌ها انطباق بیش‌تری دارد. همان‌گونه که در شکل

۵. نتیجه‌گیری

منابع

آبشیرینی، ا. (۱۳۸۳) کاربرد تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در شناخت و پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی کارست در تاق‌دیس پابده-لالی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.

عبادیان، س. (۱۳۸۱) ارزیابی عوامل مؤثر در پتانسیل‌یابی آب‌های کارستی کوه‌های گر و برم فیروز در استان فارس با استفاده از اطلاعات رقومی ماهواره‌ای و روش‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی-آب‌شناسی، دانشگاه شیراز.

قدسی‌پور، ح. (۱۳۸۵) فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی. چاپ پنجم، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

Gintamo, T. T. (2010) *Groundwater potential elevation based on integrated GIS and Remote Sensing techniques, in Bilate River catchment: South Rift Valley of Ethiopia*. M.Sc. Thesis of Hydrogeology, University of Addis Ababa.

Gupta, M. & Srivastava, P. k. (2010) Integrating GIS and remote sensing for identification of groundwater potential zones in the hilly terrain of Pavagarh, Gujarat, India. *Water International*, 35(2), 233-245.

Mallikajuna, I. J. P. (2011) Review: Satellite-based remote sensing and geographic information systems and their application in the assessment of groundwater potential, with particular reference to India. *Hydrogeology Journal*, DOI 10.1007/s10040-011-0712-7.

Mattikalli, N. M., Devereux, B. J. & Richards, K. S. (1995) Integration of remote sensed satellite images with a GIS, *Computers and Geosciences*, 21(8), 947-956.

Nadun, S. N. E. M., Maarof, I., Ghazali, R., Samad, A. M., Adnan, R. (2010) Sustainable groundwater potential zone using remote sensing and GIS. *Signal Processing and Its Applications (CSPA), 6th International Colloquium on*, 1(6), 21-23.

Preeja, K. R., Sabu, J., Jobin, T. & Vijith. H. (2011) Identification of a Tropical River Basin (Kerala, India) Using Remote Sensing and GIS Techniques. *Journal of Indian Society of Remote Sensing*, 39(1), 83-94.

Saaty, T. L. (1980) *The Analytical Hierarchical Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. New York: McGraw-Hill.

Sener, E., Davraz. A. & Ozcelik, M. (2005) An integration of GIS and remote sensing in groundwater investigations: A case study in Burdur, Turkey. *Hydrogeology Journal*, 13(5-6), 826-834.

Vijith, H. (2007) Groundwater Potential in the Hard Rock Terrain of Western Ghats-a Case Study from Kottayam District, Kerala Using Resource Sat (IRS-P6) Data and GIS Techniques. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 35(2), 171-179.

بر اساس نتایج به دست آمده، استفاده از توابع عضویت فازی در استانداردسازی نقشه‌ها، نسبت به سایر روش‌ها نتایج قابل اطمینان‌تری را ارائه می‌کند. این روش به علت فراهم آوردن امکان تبدیل ارزش‌های نقشه‌های معیار به طیف پیوسته‌ای بین ۰ تا ۱ سبب می‌شود که مرز بین کلاس‌ها به صورت تدریجی تعیین گردد؛ همچنین نقش هر معیار نه به صورت قطعی، بلکه به صورت احتمالی تعیین می‌شود و در نتیجه مطابقت بیش‌تری با سازوکار عوامل طبیعی در پتانسیل‌یابی دارد. مقایسه نتایج دو مدل هم‌پوشانی خطی وزنی به کار گرفته شده این موضوع را تأیید می‌کند.

پتانسیل‌یابی در منطقه شمال خاوری رشته‌کوه‌های هزارمسجد با تأکید بر منابع آب کارست انجام شده و به همین دلیل به سازندهای کربناته بیش‌ترین وزن اختصاص یافته است. در این راستا از عوامل مختلفی که در ذخیره آب کارست دخیل هستند بهره گرفته شده است. از مقایسه دو مدل فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی مشخص می‌شود که مدل فازی گاما، جواب مناسب‌تری را در تفکیک مناطق نشان می‌دهد. این مدل محدودیت بیش‌تری را ایجاد کرده و تفاوت خاص آن با مدل تحلیل سلسله‌مراتبی در جداسازی محدوده‌های بیش‌تر به عنوان مناطق بدون پتانسیل است. بررسی نقشه‌ی نهایی پتانسیل آب زیرزمینی در این تحقیق نشان می‌دهد که محدوده‌های با پتانسیل بالای آب، بیشتر در یال‌های شمالی و پلانژ تاق‌دیس‌ها قرار گرفته‌اند. این امر به دلیل وجود شیب‌های تند، تا حدی برگشتگی یال و همچنین وجود نقاط بسیار مرتفع و صعب‌العبور در یال جنوبی است. از بین دو سازند کارستی تیرگان و مزدوران، سازند تیرگان به دلیل واقع شدن در یال‌ها و از همه مهم‌تر در پلانژ جنوبی تاق‌دیس سررود، از پتانسیل آب زیرزمینی بالایی برخوردار است. همچنین بررسی ارتباط بین لایه شکستگی‌ها و چشمه‌ها نشان می‌دهد که حدود ۴۳ درصد چشمه‌ها در فاصله کم‌تر از ۵۰ متری این شکستگی‌ها واقع شده‌اند که این دلیل ارتباط تنگاتنگ بین آب زیرزمینی با شکستگی‌های منطقه است.