

Technical Note

Finding Potential Groundwater Resources Using Fuzzy Logic (Case Study: South Khorasan Province)

M. Heydari Aghagol^{1*}, E. Gholami²
and H. Rostami Barani²

Abstract

Developing trend in South Khorasan Province in recent years in one hand and being located in arid and semi-arid areas on the other hand demands for effective water resource strategies more than ever. One strategy for water resources management is to identify areas with different water potentials so that to allocate them according to their capacity. The goal of this research was the water potential zonation in South Khorasan Province using effective factors in groundwater aquifer recharge by the help of fuzzy logic and GIS technics. Sixteen factors were used in 4 groups (geology, hydrology, geography and human) each classified in 5 classes from low to very high potential. Finally 43 basins of the province were classified based on the groundwater potential maps. The results were then correlated with the data from the exploration wells. The water potential map of the province was accordingly prepared. The results showed that about 17% ($27 \times 10^3 \text{ km}^2$) of the province area have a high or very high water potential classes that match with the quaternary sediments and areas with high fracture density. Also very low potential class correlate with high areas, hard lithology, and desert areas.

Keywords: South Khorasan Province, Water Potential, Groundwater, Fuzzy logic models, Water basins.

Received: February 13, 2016

Accepted: May 20, 2016

یادداشت فنی

پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش منطق فازی (مطالعه موردی: استان خراسان جنوبی)

مسعود حیدری آقاگل^{۱*}، ابراهیم غلامی^۲
و حمیدرضا رستمی بارانی^۲

چکیده

روند روبه رشد استان خراسان جنوبی در سال‌های اخیر از یک سو و قرار داشتن این استان در یک منطقه خشک و نیمه خشک از سوی دیگر، وجود راهبردهای مدیریت منابع آب در این منطقه را بیش از پیش ضروری می‌سازد. یکی از راهکارهای مدیریتی منابع آب، شناسایی مناطق آبی با پتانسیل‌های مختلف و بهره‌برداری از آنها با توجه به ظرفیتشان می‌باشد. هدف از این پژوهش پهنه‌بندی مناطق با پتانسیل آبی در استان خراسان جنوبی با استفاده از عوامل موثر در تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی، از طریق مدل منطق فازی و تکنیک GIS است. جهت نیل به اهداف از ۱۶ عامل در چهار گروه زمین‌شناسی، هیدرولوژی، جغرافیایی و انسانی بهره‌گیری شد و در مجموع پنج منطقه پتانسیلی بسیار بالا تا خیلی کم شناسایی گردید. در پایان ۴۳ حوضه‌ی آبی استان بر اساس نقشه پتانسیل آب زیرزمینی کلاس‌بندی شدند و با نتایج به‌دست‌آمده از چاه‌های اکتشافی تطابق داده شد و نقشه پتانسیل آبی حوضه‌های استان تهیه گردید. بر این اساس در حدود ۱۷٪ ($27 \times 10^3 \text{ km}^2$) از مساحت استان دارای کلاس پتانسیل آبی بالا و بسیار بالایی است که منطبق بر رسوبات دوران چهارم و مناطق دارای تراکم شکستگی بالا است، پهنه پتانسیل خیلی کم نیز منطبق بر ارتفاعات، لیتولوژی متراکم و مناطق بیابانی است.

کلمات کلیدی: استان خراسان جنوبی، پتانسیل یابی، منابع آب زیرزمینی، مدل منطق فازی، تکنیک GIS.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۱۱/۲۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۲/۳۱

1-MSc Student in Tectonic Geology, University of Birjand, South Khorasan, Iran. Email: Heydarimasoud8@gmail.com

2-Assistant Professor, University of Birjand, South Khorasan, Iran.

*- Corresponding Author

۱- کارشناسی ارشد، بیرجند، دانشگاه بیرجند، دانشکده علوم.

۲- استادیار، بیرجند، دانشگاه بیرجند، دانشکده علوم.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۳۹۶ امکانپذیر است.

۱- مقدمه

اساس موقعیت زمین‌شناسی در بخش لوت شمالی قرار دارد. بلوک لوت، با درازایی حدود ۹۰۰ کیلومتر، خاوری‌ترین بخش خردقاره ایران مرکزی است که از نظر فعالیت‌های زمین‌شناسی به سه بخش لوت شمالی، لوت میانی و لوت جنوبی تقسیم می‌شود. مرز خاوری آن با گسل نهبندان و حوضه فلیشی خاور ایران و مرز باختری آن با گسل ناینند و بلوک طبس مشخص می‌شود (Aghanabati, 2003). عمده لیتولوژی از واحدهای کواترنری، اتوسن، آهک‌های کرتاسه و شیل و ماسه‌سنگ‌های ژوراسیک تشکیل شده است (شکل ۱).

۱-۲- داده‌ها و روش پژوهش

انتخاب روش و معیارها در هر منطقه، به اطلاعات موجود و هدف مورد مطالعه وابسته است. در پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی از روش‌های گوناگونی مانند ژئوفیزیک سطحی، ژئوالکتریک، حفاری‌های اکتشافی و تکنیک‌های GIS متکی بر تحلیل‌های زمین‌شناسی، هیدرولیکی، اقلیمی و توپوگرافی انجام می‌پذیرد (Sener et al. 2005). در این گزارش با توجه به شرایط زمین‌شناسی، ساختمانی، هیدرولوژی و جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، به منظور پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در استان خراسان جنوبی با اعمال قضاوت کارشناسی، از داده‌ها و ابزار جدول ۱ استفاده شده است.

در حال حاضر با توجه به محدودیت‌های کمی و کیفی منابع آب سطحی در برخی نقاط جهان، منابع آب زیرزمینی مهم‌ترین منبع تأمین‌کننده آب در بخش‌های مختلف مصرف به شمار می‌رود (Tanaka, 2005). کشور ایران سرزمینی است خشک و نیمه‌خشک با نزولات جوی کم و از طرفی رشد سریع جمعیت، سبب شده است که میزان مصرف از منابع سطحی و زیرزمینی افزایش یابد به طوری که در خیلی از مناطق با افت شدید منابع همراه شده است. لذا جستجو برای کشف منابع جدید بیشتر از قبل مهم شده است. این گزارش استان خراسان جنوبی در شرق ایران، با توجه به مشکلات موجود در تأمین آب شرب روستاها و شهرهای استان و با توجه به قرارگیری استان در یک منطقه خشک و نیمه‌خشک، به عنوان منطقه هدف انتخاب شده است. در مطالعه حاضر با استفاده از تلفیق فنون GIS و روش منطق فازی، مناطق با احتمال بالای حضور آب زیرزمینی در استان شناسایی شد.

۱-۱- محدوده مورد مطالعه

استان خراسان جنوبی مساحت $15 \times 10^4 \text{ Km}^2$ و جمعیت ۳۳۲،۱۹۲ نفر، در شرق ایران و موقعیت جغرافیایی 57° تا $61^\circ 30'$ طول شرقی و $30^\circ 30'$ تا 35° عرض شمالی قرار دارد. استان خراسان جنوبی بر

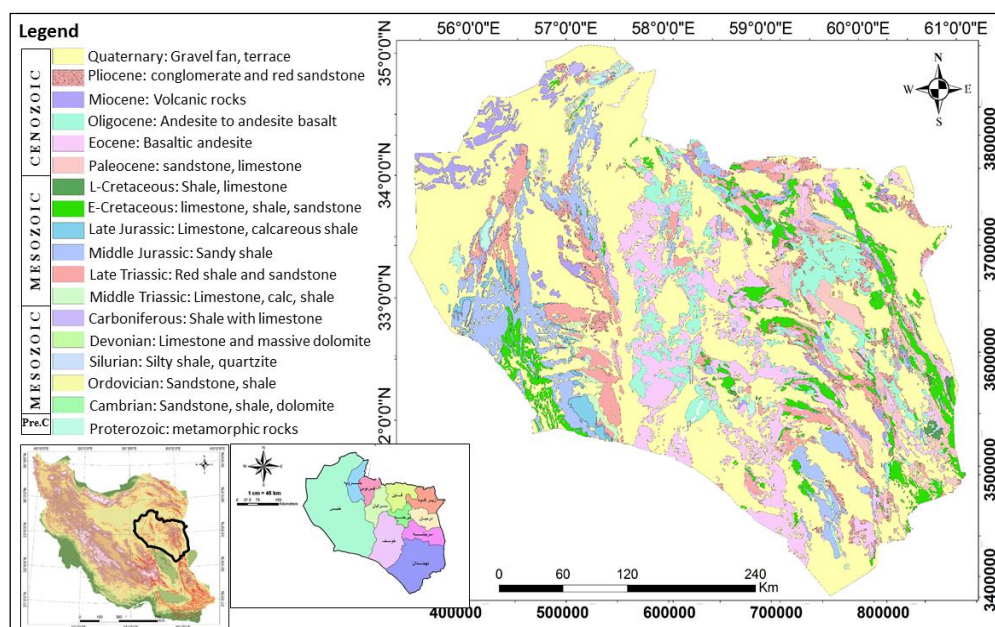


Fig. 1. Geological map of South Khorasan province

شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی استان خراسان جنوبی

Table 1. Factors and resources used

جدول ۱- عوامل و منابع مورد استفاده

Group	Data	sources
Geology	Lithology and erosion The density and spacing of fractures	LANDSAT ETM satellite images and maps of 1: 100,000 geological
	Lithology and erosion The density and spacing of fractures	PAN-band satellite image IRS with a ground resolution of 5.8
Hydrology	Density and distance to stream	Topographic maps and geographical maps
	Groundwater level	Data piezo metric wells
Geographical	Rainfall	Information precipitation last 20 years the country (State Meteorological Agency)
	Dip and dip direction	Digital elevation maps of 1: 25,000 National Cartographic Center
	Topography	DEM
	Climate and vegetation	Regional maps of the country (Forest & Rangelands)
	Temperature	The temperature contour map of the country (the country's Meteorological Agency)
	Soil	Soil map of the country (geographical organization)
Human	Land use	Landsat satellite imagery band ratio

۱-۲- تئوری منطق فازی

مفهوم منطق فازی اولین بار توسط لطفی زاده به عنوان مجموعه‌های فازی، در سال ۱۹۶۵ ارائه گردید (Prasad et al. 2008, Zadeh, 1965, 1973). منطق فازی یک منطق چند مقداری است، یعنی پارامترها و متغیرهای آن، علاوه بر اختیار اعداد ۰ یا ۱، می‌توانند تمامی مقادیر بین این دو عدد را نیز اختیار کنند. تعلق هر عضو مجموعه مرجع به یک عضو زیرمجموعه خاص، به صورت قطعی نیست یعنی با قاطعیت نمی‌توان گفت که عضو مورد نظر متعلق به این مجموعه هست یا نه. این عدم قطعیت با نسبت دادن یک عدد بین ۰ و ۱ به این عضو انجام می‌گیرد. اگر این عدد برابر صفر باشد می‌توان با قطعیت گفت که عضو مورد بحث متعلق به آن مجموعه نبوده و همچنین اگر این عدد ۱ باشد می‌توان ادعا کرد که عضو مورد بحث متعلق به آن مجموعه است (Chung and Fabbri, 1993). برای پیش‌بینی سری‌های زمانی با استفاده از منطق فازی هم، مدل‌های بسیاری در بازه زمانی ۲۰۰۵-۱۹۸۵ مطرح شده که از آن‌ها برای پیش‌بینی پدیده‌ها می‌توان استفاده کرد (Gooijer and Hyndman, 2006). از آنجاکه در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی دسته‌بندی و اولویت‌بندی اطلاعات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، بنابراین منطق فازی، پتانسیل‌یابی را بهتر از روش‌های معمول دیگر ارزیابی می‌کند (Dixon, 2005).

۲-۲- اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی

در منطق‌های کلاسیک، برای وزن‌دهی به هر عامل، قسمت‌هایی که به‌طور تقریبی از نظر ویژگی‌های دیگر مشابه بوده نظر گرفته می‌شود و با مشاهده تغییرات این عامل و تأثیر آن بر پتانسیل‌یابی، با استفاده از جدول ۱ بر اساس نظر و دید کارشناس نسبت به منطقه عوامل به‌صورت دوجه‌دو باهم مقایسه می‌شوند و یکی از وزن‌های جدول انتخاب می‌شود که بستگی به‌دقت و میزان آشنایی کارشناس با منطقه دارد (Mallikajuna, 2011). برای وزن‌دار کردن داده‌های مورد استفاده، بعد از اولویت‌بندی بر اساس نظر کارشناس، از نرم‌افزار Expert choice استفاده شد. بعد از تعیین میزان وزن عامل‌های مورد استفاده، عامل‌ها برای وزن‌دار شدن به روش فازی وارد نرم افزار IDRISI می‌شوند. با استفاده از نرم افزار IDRISI وزن نرمال عامل‌ها به وزن فازی تبدیل نقشه‌های فازی تهیه می‌شوند. سپس نقشه‌های تهیه‌شده بر اساس عملگرهای فازی Sum, Or, And. باهم همپوشان می‌شوند و خروجی نهایی به‌عنوان نقشه پهنه‌بندی تهیه می‌گردد (Sadeghi and Khalajmasoumi, 2015). بعد از تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از پنج عملگر فازی، در مرحله بعد برای سهولت در تحلیل و بررسی پتانسیل منابع آب زیرزمینی استان خراسان جنوبی با استفاده از عملگر Gamma، تمام نقشه‌ها با یکدیگر همپوشان و یک نقشه نهایی پتانسیل منابع آب زیرزمینی تهیه گردید (شکل ۲).

۳- نتیجه گیری

هدف از این پژوهش شناسایی و پهنه بندی بهترین پتانسیل مناطق آب زیرزمینی در استان خراسان جنوبی با استفاده از عوامل موثر در تغذیه سفره های آب زیرزمینی، از طریق روش منطق فازی و تکنیک GIS می باشد با توجه به ویژگی های هیدرولوژیکی، زمین شناسی، اقلیمی، ژئومورفولوژیکی و انسانی هر منطقه و اهداف پژوهش، می توان گفت که پارامترهای موثر در پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی متنوع و متفاوت هستند. این پژوهش سعی نموده تا مهمترین عوامل موثر بر نفوذپذیری، تغذیه و مصرف سفره های زیرزمینی را مدنظر قرار دهد. نتیجه حاصله به صورت عوامل موثر در ساختار پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی استان خراسان جنوبی در جدول ۱ ارائه شده است.

از تجزیه و تحلیل نقشه های پتانسیل منابع آب زیرزمینی و اطلاعات داده های چاه های پیژومتری اکتشافی می توان به نتایج زیر رسید:
۱- با توجه به خروجی نقشه ی پتانسیل یابی آب زیرزمینی می توان نتیجه گرفت که استان خراسان جنوبی دارای پتانسیل آبی در کلاس متوسط تا کم است. بر این اساس حوضه های اسفدن، قائن، قائنات، زوزن، فردوس و گزیک دارای پتانسیل بالایی آب زیرزمینی هستند

که وجود چاه پیژومتری تأیید کننده این امر هستند و حوضه های آبی کویر بجنستان و دشت کویر (کویر مرکزی) در کلاس پتانسیلی بسیار کم قرار دارند (شکل ۲). ۲- با توجه به جدول (۲) کلاس پتانسیلی بسیار بالا و بسیار کم به ترتیب در حدود 36748 km^2 (۲۳٪) و 17583 km^2 (۱۱٪) مساحت استان را شامل می شود. بر این اساس در حدود دوسوم از مساحت استان دارای پتانسیل متوسط تا فاقد پتانسیل آب زیرزمینی است. ۳- مناطق دارای پتانسیل بسیار بالا و بالا منطبق بر آبرفت ها و رسوبات دوران چهارم، مناطق دارای تراکم شکستگی بالا و شیب کم (شمال شرق، مرکز و شرقی استان) است و مناطق دارای پتانسیل بسیار کم و کم منطبق بر مناطق بیابانی، نمک زارها، مناطق کوهستانی و مناطق شهری (منطبق بر بخش های جنوبی، شمال غربی و غربی استان) است. ۴- عمق چاه های پیژومتری اکتشافی در منطقه مطابقت خوبی با نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی دارد به طوری که در مناطق دارای پتانسیل متوسط تا خیلی کم منابع آب زیرزمینی، عمق چاه های پیژومتری زیاد ($m > 250$) و در مناطق دارای پتانسیل بالای منابع آب زیرزمینی، عمق چاه های پیژومتری کم ($m < 15$) است (شکل ۳).

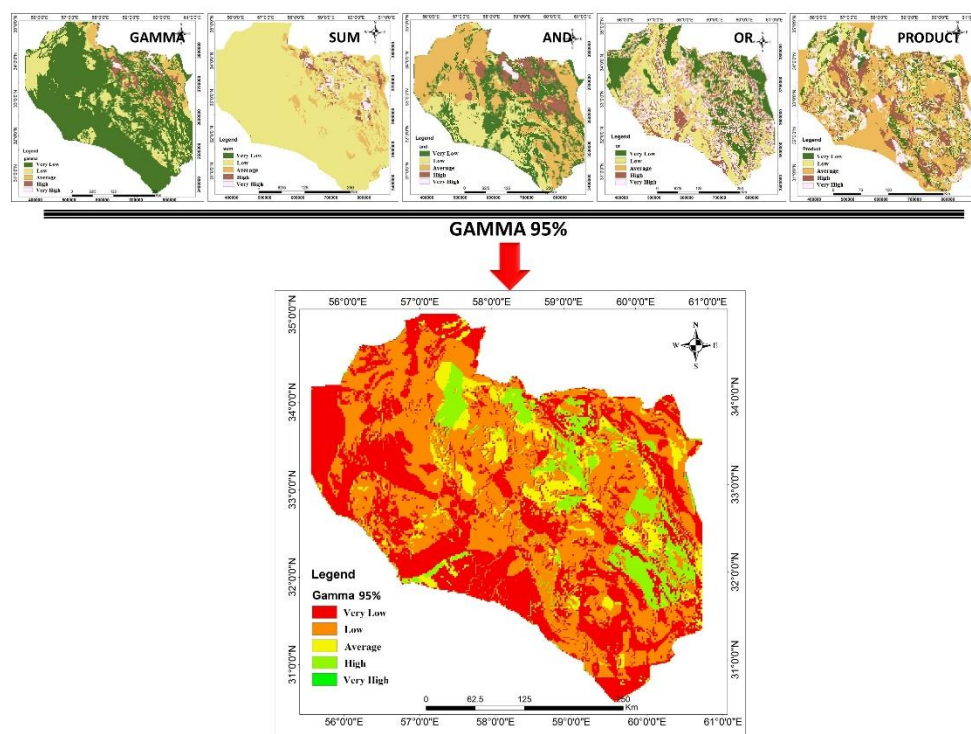


Fig. 2. Map of underground water resources in South Khorasan Province (using fuzzy logic)
شکل ۲- نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی در استان خراسان جنوبی (به روش منطق فازی)

Table 2. Geocaching class of potential groundwater in the study area
 جدول ۲- محاسبه مساحت کلاس‌های پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه

Potential	Product	Sum	Fuzzy			Gamma 95%
			Gamma	Or	And	
Very Low	19721	23	111198	36395	47677	42982
Low	22189	137408	31089	46092	32676	53891
Average	70226	14060	11069	18477	63798	35526
high	24317	4754	5337	22528	14445	14276
high Very	23547	3757	1306	36607	1403	13324

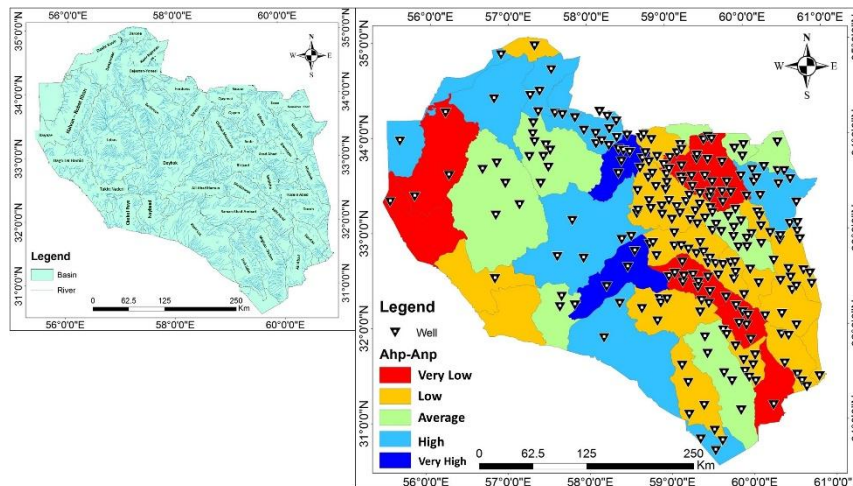


Fig. 3. Ground water potential in water basins of South Khorasan province

شکل ۳- پتانسیل آب زیرزمینی در حوضه‌های آبی استان خراسان جنوبی

groundwater zone in hard rock through the application of GIS. Environ Geol 55:467-475

Sadeghi S, Khalajmasoumi M (2015) A futuristic review for evaluation of geothermal potentials using fuzzy logic and binary index overlay in GIS environment. Renewable and Sustainable Energy Reviews 43:818-831

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

Tanaka K (2005) Introduction to practical applications of fuzzy logic. Mashhad University Press, 240p (In Persian)

Zadeh LA (1965) Fuzzy Sets, Information and Control, No. 8. 339p

Zadeh LA (1973) Outline of approach to analysis of complex system and decision process. IEEE Trans on System Man and Cybernetic, SMC. 1:28-44

۴- مراجع

Aghanabati AS (2003) Geology of Iran. Geological Survey of Iran, 586p (In Persian)

Chung CF, Fabbri AG (1993) The representation of geosciences information for data integration. Nonrenewable Resources 2(2):122-139

Dixon B (2005) Groundwater vulnerability mapping: A GIS and fuzzy rule based integrated tool. Applied Geography 25:327-347

Gooijer J, Hyndman R (2006) 25 years of time series forecasting. International Journal of Forecasting, No. 2: 443-473

Mallikajuna IJP (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 5:223-235

Prasad KR, Mondal NC, Banerjee P, Nandakumar MV, Singh VS (2008) Deciphering potential