Archive of SID

نشریه دانش آب و خاک / جلد ۲۵ شماره ۱ صفحه‌های ۱۲۵ تا ۱۴۱/ سال ۱۳۹۴

مکان‌یابی حوضچه‌های تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در حوضه آبخیز بوشکان بر اساس فرایند تحلیل سلسله مراتبی

علیرضا نسیمی*[۱] و محمد زارع[۲]

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۹/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۴/۱۴

[۱]- دانشجوی دکترای زمین‌شناسی- آبشناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز

[۲]- دانشیار بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: alirezanassimi@shirazu.ac.ir

چکیده

تغذیه مصنوعی روشی شناخته شده برای مقابله با کاهش کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی است. انتخاب مکان مناسب برای اجرای این روش، نقش اصلی را در موفقیت پروژه دارد. در این تحقیق از میزان بارش، شیب، نفوذپذیری سطحی، زمین‌شناسی، هدایت الکتریکی آبخوان، عمق سطح ایستابی، قابلیت انتقال آبخوان و کاربری زمین به‌عنوان عوامل مؤثر در مکان‌یابی تغذیه مصنوعی استفاده شد که وزن هر کدام بر حسب اهمیت و تأثیر آن در تغذیه آب به آبخوان، مشخص شده است. از فرایند تحلیل سلسله مراتبی به‌عنوان کاربردی‌ترین روش جهت تعیین بهینه‌ترین وزن برای هر معیار در مطالعات منابع آب و از سامانه اطلاعات جغرافیایی جهت اعمال وزن هر معیار و تهیه نقشه نهایی استفاده شده است. فرایند تحلیل سلسله مراتبی و سامانه اطلاعات جغرافیایی کمک مؤثری در شناخت عرصه‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی، با دقت بالا و در حداقل زمان ممکن دارد. نتایج نشان داد که در حوضه آبخیز بوشکان، ۱/۱۴ درصد منطقه برای تغذیه مصنوعی بسیار مناسب، ۱۰/۳۹ درصد مناسب، ۱۳/۳۳ درصد نسبتاً مناسب و ۷۵/۱۴ درصد نامناسب است. از هشت منطقه بسیار مناسب، چهار منطقه آبرفتی با توجه به وضعیت سیستم زهکشی منطقه کاربرد عملی دارند. با توجه به انطباق این چهار منطقه با نقشه نتایج حاصل از مدل آب‌های زیرزمینی دشت بوشکان، تهیه شده در محیط نرم‌افزار GMS، سه منطقه آبرفتی برای تغذیه مصنوعی با اهداف کوتاه مدت و یک منطقه آبرفتی برای تغذیه مصنوعی با اهداف بلند مدت انتخاب گردید. در این حوضه آبخیز، تغذیه مصنوعی در آبرفت مناسب‌تر از تغذیه مصنوعی در کارست است.

واژه‌های کلیدی: تغذیه مصنوعی، حوضه آبخیز، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

www.SID.ir

Archive of SID

Site Selection of Basins for Artificial Recharge of Groundwater in Boushkan Catchment based on Analytical Hierarchical Process (AHP)

A Nassimi[*1] and M Zare[2]

Received: 22 April 2014 Accepted: 5 July 2014
[1-] Ph.D. Student of Hydrogeology, Dept. of Earth Science, Faculty of Science, Univ. of Shiraz, Iran
[2-] Assoc. Prof. of Hydrogeology, Dept. of Earth Science, Faculty of Science, Univ. of Shiraz, Iran
[*] Corresponding Author, Email: alirezanassimi@shirazu.ac.ir

Abstract

Artificial recharge is the well known method for controlling the degradation of groundwater quality and quantity. The artificial recharge is substantially dependent on the identification of a suitable recharge location which plays the main role in the success of the project. In this research, quantity of precipitation, land slope, surface infiltration, geology, hydraulic conductivity of the aquifer, depth of water table, transmissivity and land use information were used to find the most appropriate location for artificial recharge and the weight of each layer was determined based on the importance of its role in surface water infiltration into aquifer. The AHP technique was used to identify the most appropriate weight for various parameters in site selection for artificial recharge. Results showed that 1.4% of the studied area was very suitable for artificial recharge, while 10.39% and 13.33% were suitable and to some extent suitable, respectively, and 75.14% was unsuitable for artificial recharge. In eight different locations which were classified in suitable group, four locations had suitable situation regarding to the drainage system and roads. Regarding the accordance of these four alluvium sites with the resulted maps by Ground Water Model in GMS environment, three suitable sites were selected for the long-term and one site was proposed for the short- term recharge programs in the Boushkan region. In this watershed, the artificial recharge in alluvial deposits was much more suitable than that in karst environment.

Keywords: Analytical Hierarchy Process (AHP), Artificial Recharge, Catchment, Geographical Information System (GIS)

مقدمه

رشد سریع جمعیت و متناسب با آن نیاز فزاینده به منابع آب در کشور موجب بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و در نتیجه به‌هم خوردن تعادل طبیعی آن شده و بیلان آب‌های زیرزمینی در دشت‌های بسیاری از مناطق کشور را منفی ساخته است. برای کاهش این مشکل، تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی راهبردی است برای تقویت و توسعه منابع آب که از دیرباز نیز در ایران مورد توجه بوده است (کردوانی ۱۳۷۴). کشاورزان در مواقع فراوانی آب، سعی می‌کردند با همان وسایل ساده، آب اضافی سیلاب‌ها و آب بلااستفاده قنات‌ها را برای تقویت

www.SID.ir

Archive of SID

آب‌های زیرزمینی و سیراب کردن زمین‌های مورد کشت، در زمین نفوذ دهند (کوثر ۱۳۷۴).

از عوامل مهم در کارایی طرح تغذیه مصنوعی، انتخاب محل مناسب برای اجرای آن است. این مکان می‌تواند در آبرفت (طاهری تیزرو و همکاران ۱۳۹۱) و یا کارست (داهر و همکاران ۲۰۱۱) باشد. در هر صورت، برای شناخت مکان‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی لازم است عوامل مؤثر را شناسایی و از آن‌ها به عنوان معیارهایی برای انتخاب مکان‌های مناسب استفاده کرد. این انتخاب، همواره مد نظر متخصصان آب‌های زیرزمینی بوده است، به طوری که حتی با وجود گذشت سال‌ها از اولین پژوهش‌ها در این زمینه (بابکوک و کوشینگ ۱۹۴۲)، تحقیق در این زمینه متوقف نشده و همچنان با استفاده از معیارهای مختلفی به بررسی و ارزیابی مکان‌های مختلف پرداخته می‌شود. به عنوان مثال معیارهای استفاده شده برای انتخاب مکان مناسب تغذیه مصنوعی در پژوهش‌های سال‌های اخیر در جدول ۱ ارائه گردیده است.

جدول ۱- معیارهای استفاده شده در مکان‌یابی تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی.

منبع	زمین شناسی	شیب	پتانسیل رواناب	عمق سطح ایستابی	EC	کاربری زمین	T	ژئومورفولوژی	خاک	آبراهه‌ها	آبدهی ویژه
آگاروال و همکاران (۲۰۱۳)	×	√	√	×	×	√	×	×	√	√	×
سینق و همکاران (۲۰۱۳)	√	√	×	×	×	√	√	√	√	√	√
نصیری و همکاران (۲۰۱۳)	√	√	×	√	√	√	√	√	×	√	×
ملکمحمدی و همکاران (۲۰۱۲)	√	√	√	√	√	√	×	×	×	×	×
چودهوری و همکاران (۲۰۱۰)	√	√	×	×	×	×	√	√	×	√	×

در یکی از جدیدترین پژوهش‌ها در این زمینه، با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی و الگوریتم ژنتیک به بررسی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی به روش پخش سیلاب در دشت گربایگان ایران پرداخته شده است (رحیمی و همکاران ۲۰۱۴). در این پژوهش که از نه لایه اطلاعاتی شیب، ضخامت آبرفت، زمین‌شناسی، مورفولوژی، هدایت الکتریکی، کاربری زمین، تراکم شبکه آبراهه، قابلیت انتقال آبخوان و ارتفاع از سطح دریا استفاده شده است، بیشتر مناطق مناسب برای پخش سیلاب در واحدهای زمین‌شناسی Qft_2 و Qsf کواترنری با شیب کمتر از ۲ درصد قرار گرفته‌اند.

در منطقه مورد بررسی در این مقاله، با توجه به وضعیت توپوگرافی، مورفولوژی حوضه آبخیز و وضعیت اقلیمی منطقه (تبخیر شدید)، روش تغذیه مصنوعی حوضچه‌ای مناسب‌ترین روش است. این روش علاوه بر تغذیه آبخوان، اهداف کنترل سیل و کنترل فرسایش خاک را نیز برآورده می‌کند (بی‌نام ۱۳۸۵الف). حوضچه‌های تغذیه به دلیل عملی بودن، داشتن کارایی بیشتر و نگهداری آسان، مناسب‌ترین روش تغذیه مصنوعی در ایران است که برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد (نوری و همکاران ۱۳۸۳). سوابق طرح‌های تغذیه مصنوعی در شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس، بوشهر و کهکیلویه و بویراحمد نشان می‌دهد که در ۷۳ مورد طرح تغذیه مصنوعی اجرا شده فقط از روش حوضچه‌ای استفاده شده (جباری ۱۳۸۸، فولادفر ۱۳۸۸) که باعث افزایش پوشش گیاهی بعد از اجرای طرح تغذیه مصنوعی شده است (فولادفر ۱۳۸۸).

www.SID.ir

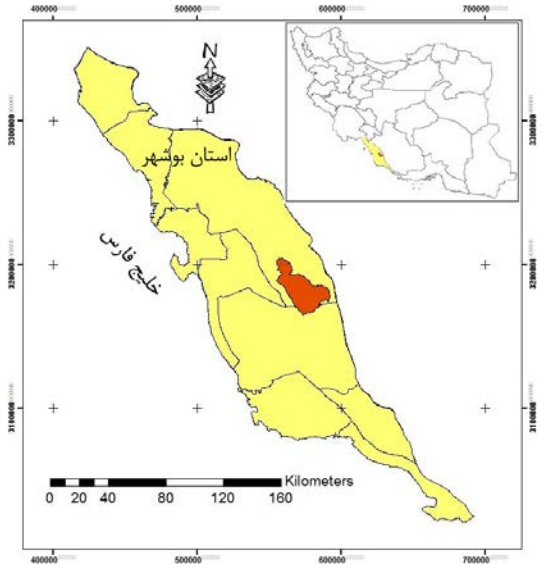
Archive of SID

در این مقاله، برای انتخاب مکان مناسب برای حوضچه‌های تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی از فرایند تحلیل سلسله مراتبی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده می‌شود. هدف این مطالعه، تعیین مکان مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی است به نحوی که لایه‌های اطلاعاتی مختلف در حوضه آبخیز در نظر گرفته شوند و نیز مکان تعیین شده محدود و بخش کوچکی از حوضه آبخیز باشد. همچنین در این متن مکان‌های انتخاب شده برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی به دو دسته مکان‌های مناسب با اهداف کوتاه مدت و بلند مدت طبقه‌بندی شده‌اند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز بوشکان یکی از زیر حوضه‌های رودخانه چنیر است که خود بخشی از حوضه بزرگ مند می‌باشد. این حوضه جزء شهرستان دشتستان در استان بوشهر است و در موقعیت ۵۱°۲۳'۴۶" تا ۵۱°۴۶'۳۶" طول شرقی و ۲۸°۲۸'۳۰" تا ۲۸°۵۸'۳۱" عرض شمالی در استان بوشهر واقع شده است و مساحتی حدود ۶۶۵ کیلومتر مربع دارد. در این منطقه دو نوع اقلیم خشک و نیمه خشک حاکمیت دارد (حسن زاده ۱۳۸۰). بر اساس لاگ حفاری چاه‌های اکتشافی و بررسی‌های به عمل آمده، آبخوان دشت بوشکان از نوع آزاد است (محمدی و نسیمی ۱۳۹۰) و الگوی کلی حرکت آب‌های زیرزمینی از شمال و شمال غرب به سمت جنوب و جنوب شرق می‌باشد (متوسل و محمدی ۱۳۹۱). در شکل ۱ موقعیت حوضه آبخیز بوشکان در استان بوشهر و کشور ایران نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت حوضه آبخیز بوشکان در استان بوشهر و کشور ایران.

روش تغذیه مصنوعی حوضچه‌ای

حوضچه‌ها احتمالاً مناسب‌ترین روش تغذیه هستند زیرا امکان استفاده کارآ از فضا را فراهم نموده و به عملیات ساده نگهداری احتیاج دارند (سلسله ۱۳۷۶). حوضچه‌ها در زمین حفر می‌شوند و یا با احداث دیواره یا سیل‌بند محصور می‌شوند. شکل هندسی حوضچه قابل تغییر است که امکان هماهنگی ساخت آن با زمین را می‌دهد. مزایای روش تغذیه مصنوعی حوضچه‌ای عبارتند از (جباری ۱۳۸۸) الف: با توجه به سادگی طراحی، ساخت و سهولت حفاظت و نگهداری بازده خوبی دارند، لذا یک روش مطلوب برای تغذیه مصنوعی محسوب می‌شود. ب: در تأسیسات دارای چند حوضچه در صورت خرابی و یا تعمیر یک حوضچه، عملیات تغذیه می‌تواند در حوضچه‌های دیگر

www.SID.ir

Archive of SID

ادامه یابد. ج: کاهش و تعدیل سیلاب و ته‌نشینی رسوب در حوضچه رسوب‌گیر که بعداً امکان برداشت آن وجود دارد. د: در تأسیسات دارای چند حوضچه، هر حوضچه در حین تغذیه آب نقش رسوب‌گیر برای حوضچه بعدی را ایفا می‌کند.

مدل‌های تلفیق لایه‌های اطلاعاتی برای مکان‌یابی

یکی از مهم‌ترین توانایی‌های GIS که آن را به‌عنوان سامانه‌ای ویژه و انحصاری مجزا می‌کند، توانایی تلفیق داده‌ها برای مدل‌سازی، مکان‌یابی و تعیین تناسب اراضی از طریق ارزشگذاری عرصه‌هاست (پوراحمد و همکاران ۱۳۸۶). زیرا در نتیجه تلفیق و ترکیب معیارها می‌توان بهترین مکان‌یابی را انجام داد. برای ترکیب معیارها روش‌های متفاوتی وجود دارد. در این تحقیق صرفاً از منطق‌های بولین[1] (صفر و یک) و همپوشانی[2] (روی هم‌گذاری) استفاده شده است.

مدل منطق بولین: مدل بولین ساده‌ترین روش برای ارزیابی‌های چند معیاره است. در این روش همه معیارها به‌صورت محدود عمل می‌کنند. به عبارت دیگر، به معیارهای نامناسب، ارزش صفر و به معیارهای مناسب، ارزش یک داده می‌شود. برای ترکیب لایه‌ها با استفاده از منطق بولین از عملگرهای متعددی استفاده می‌شود که مهمترین آن‌ها AND، OR و NOT هستند (ملکی و همکاران ۱۳۸۸). در عملگر AND یا ضرب معیارها، اگر همه ورودی‌ها مثبت باشد، در خروجی مثبت می‌آید. بنابراین در صورتی که یکی از ورودی‌ها صفر باشد، خروجی صفر است. در عملگر OR یا جمع معیارها، اگر فقط یکی از ورودی‌ها شرایط مورد نظر را داشته باشد، کافی است. به عبارت دیگر هنگامی که از عملگر OR استفاده می‌شود، اگر یکی از ورودی‌ها یا هر دو ورودی ارزش یک داشته باشد، جواب مثبت است و در خروجی هم یک می‌آید. همچنین عملگر NOT، ورودی‌ها را برعکس می‌کند؛ یعنی در صورتی که ورودی مثبت (۱) باشد، خروجی منفی (۰) است و برعکس.

مدل منطق همپوشانی: در این مدل علاوه بر وزن‌دهی به رده‌های هر لایه اطلاعاتی، به هر لایه (معیار) نیز بر اساس اهمیت آن در مکان‌یابی وزن داده می‌شود. این مدل دو حالت دارد (ملکی و همکاران ۱۳۸۸):

الف) نقشه‌های دودویی[3]: ساده‌ترین نوع مدل منطق همپوشانی است که بر اساس آن به نقشه‌های حاصل از مدل بولین بر اساس اهمیت آن‌ها در مکان‌یابی وزن خاصی داده می‌شود.

ب) نقشه‌های چندکلاسه[4]: در این مدل علاوه بر وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی، رده‌های موجود در هر لایه اطلاعاتی نیز بر اساس پتانسیل خود وزن خاصی خواهند داشت. در این مدل ارزش هر سلول در نقشه خروجی به‌صورت معادله ۱ تعیین می‌شود. محدوده وزن‌دهی در این مدل بستگی به نظر محقق دارد.

$$S = \frac{\sum_{i}^{n} S_{ij} W_i}{\sum_{i}^{n} W_i} \qquad [۱]$$

در این معادله، S ارزش هر سلول در نقشه نهایی، S_{ij} وزن رده j ام از لایه اطلاعاتی i ام و W_i وزن لایه اطلاعاتی i ام است.

انتخاب معیارهای مکان‌یابی تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی

همان‌طور که اشاره شد، عوامل مؤثر در مکان‌یابی مناطق مناسب تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی متعدد هستند. از جمله این عوامل می‌توان به عوامل اقلیمی، مرفومتریک، هیدروژئولوژی، خاک و زمین ساختاری و اقتصادی و اجتماعی اشاره کرد (حکمت‌پور و همکاران ۱۳۸۶). بدیهی است که استفاده از همه عوامل مؤثر در مدل‌های مکان‌یابی میسر نیست. از این‌رو برخی از معیارهای ذکر شده با توجه به هدف، مقیاس کار و دقت قابل انتظار، شرایط منطقه، میزان تأثیرگذاری هر معیار و کافی بودن و در دسترس بودن داده‌ها، انتخاب می‌شوند. در این تحقیق از هفت معیار: میزان بارش، شیب، نفوذپذیری سطحی، زمین‌شناسی، کیفیت آب آبخوان، عمق سطح ایستابی و قابلیت انتقال آبخوان برای انتخاب مکان مناسب و از لایه‌های

[1] Boolean Logic
[2] Index Overlay
[3] Binary Evidence maps
[4] Multi-class maps

www.SID.ir

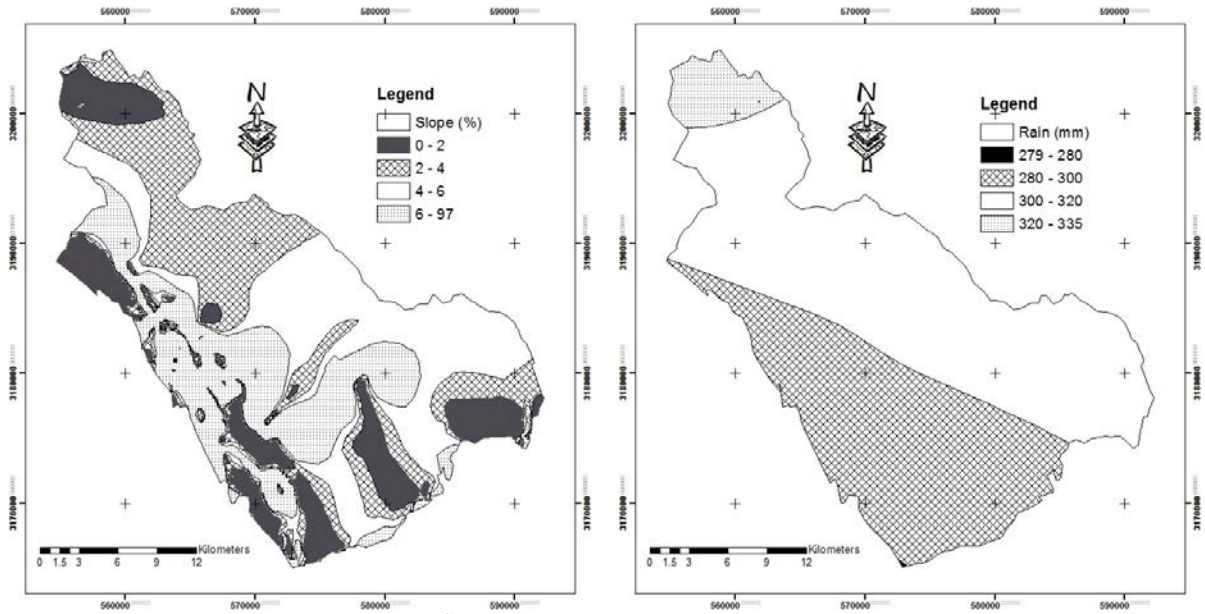
Archive of SID

اطلاعاتی کاربری زمین و شیب به‌عنوان لایه‌های محدود کننده تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی استفاده شده است.

تهیه لایه‌های اطلاعاتی

میزان بارش: یکی از مهمترین عوامل مؤثر در مکان‌یابی عرصه‌های مستعد تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی، حجم آب در دسترس است که با توجه به تناسب آن با میزان بارش، به طور مثال نقشه بارش سالانه تهیه می‌گردد. نقشه میزان بارش در حوضه آبخیز بوشکان با استفاده از لایه رقومی میزان بارش در استان بوشهر (بی‌نام ۱۳۸۸و) در محیط ArcGIS 10.1 تهیه شده و در شکل ۲ ارائه گردیده است.

شیب: یکی دیگر از مهمترین عوامل مؤثر در مکان‌یابی طرح‌های تغذیه مصنوعی، شیب است که در کنترل عواملی مانند نفوذپذیری و رواناب نقش بسیار مهمی دارد. شیب‌های بالا به علت ایجاد فرسایش و همچنین شیب‌های خیلی پایین (صفر درصد) به علت این که مانع از جریان آب می‌شود، مناسب برای تغذیه مصنوعی به روش پخش سیلاب نیست (ساراف و چودهوری ۱۹۹۸). مناطقی که دارای شیب پایینی هستند آب را برای مدت طولانی حفظ می‌کنند، این امر باعث نفوذ بیشتر آب می‌شود، ولی نواحی با شیب بالا دارای مقادیر زیادی رواناب می‌باشند و مقدار نفوذ در آن‌ها کم است (رحمان ۲۰۰۸). نقشه شیب در حوضه آبخیز بوشکان با استفاده از لایه رقومی توپوگرافی استان بوشهر (بی‌نام ۱۳۸۵ب) در محیط ArcGIS 10.1 تهیه شده و در شکل ۲ ارائه گردیده است.



شکل ۲- نواحی همگن بارش و شیب در حوضه آبخیز بوشکان.

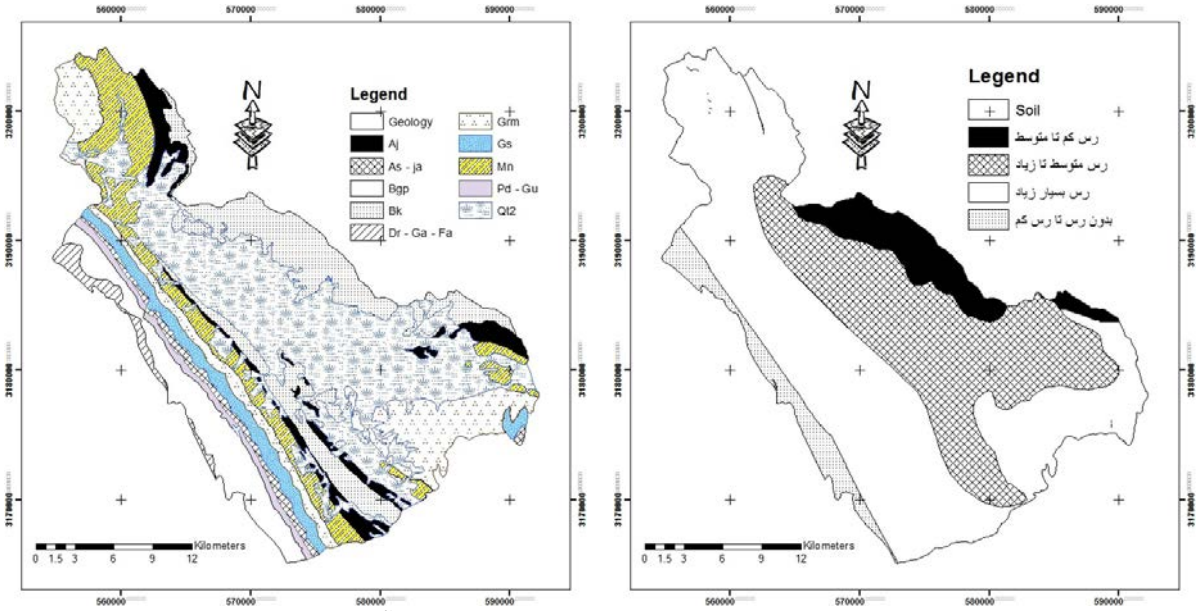
نفوذپذیری سطحی: میزان نفوذپذیری لایه‌های سطحی خاک در نفوذ آب به لایه‌های زیرزمینی تأثیرگذار است. اگر میزان نفوذپذیری سطحی زیاد باشد، آب زمان کمی روی سطح زمین و یا حوضچه‌های تغذیه باقیمانده و نرخ تبخیر کاهش می‌یابد. همچنین اگر نفوذپذیری سطحی کم باشد، در شیب‌های کم، آب روی سطح زمین و یا حوضچه‌های تغذیه باقیمانده و تبخیر آن باعث افزایش املاح خاک می‌شود. میزان نفوذ به عواملی نظیر بافت خاک، پوشش گیاهی و شیب وابسته است. بافت خاک وابستگی معنی داری با نفوذپذیری دارد و با تغییر بافت به سمت رس و سیلت میزان نفوذپذیری کاهش می‌یابد (صابری و همکاران ۱۳۹۱). برای برآورد میزان نفوذپذیری لایه‌های سطحی خاک نسبت به یکدیگر، از نقشه بافت خاک استفاده می‌گردد. نقشه بافت خاک در حوضه آبخیز بوشکان با استفاده از لایه رقومی بافت خاک در

www.SID.ir

Archive of SID

استان بوشهر (بی‌نام ۱۳۸۸د) در محیط ArcGIS 10.1 تهیه شده و در شکل ۳ ارائه گردیده است.

زمین‌شناسی: لایه زمین‌شناسی برای بررسی امکان عبور آب از لایه‌های زیرسطحی به‌کار می‌رود. برای تهیه نقشه زمین‌شناسی در حوضه آبخیز بوشکان در محیط ArcGIS 10.1، از نقشه شرکت سهامی آب منطقه‌ای بوشهر (بی‌نام ۱۳۸۸ج) استفاده شده است. این نقشه در شکل ۳ ارائه گردیده است.



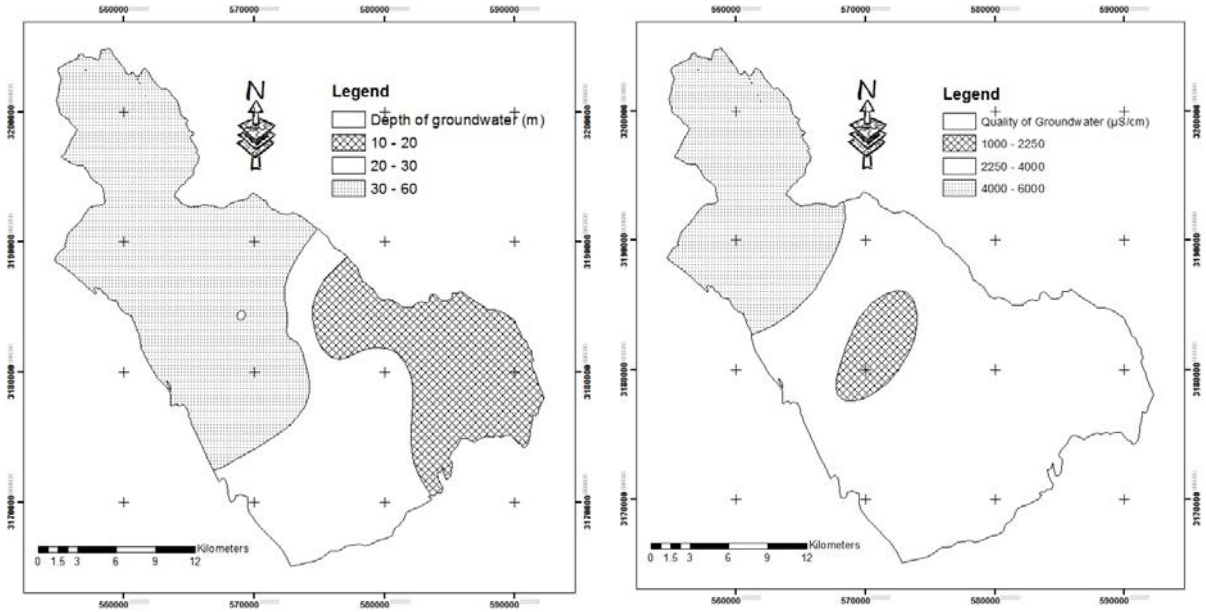
شکل ۳- نواحی همگن بافت خاک و زمین‌شناسی در حوضه آبخیز بوشکان.

کیفیت آب آبخوان: برای تعیین کیفیت آب آبخوان معمولاً از پارامترهای کلر، هدایت الکتریکی (EC)، مجموع مواد باقیمانده خشک (TDS)، نسبت جذب سدیم (SAR) و تیپ آب استفاده می‌شود. در بین عوامل متعدد مرتبط با کیفیت آب آبخوان، هدایت الکتریکی به‌طور کلی نماینده خوبی بوده و در تحلیل‌های کیفی آب بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر میزان هدایت الکتریکی آب کم باشد، املاح موجود در آب کم و کیفیت آن مطلوب است. کیفیت مطلوب آب آبخوان باعث می‌شود پس از انجام تغذیه مصنوعی بتوان مجدداً از آن آب استفاده کرد. نقشه هدایت الکتریکی آبخوان در حوضه آبخیز بوشکان با استفاده از داده‌های هدایت الکتریکی در چاه‌های اکتشافی و مشاهده‌ای منطقه (بی‌نام ۱۳۸۸ب) و درون‌یابی در محیط ArcGIS 10.1 تهیه شده و در شکل ۴ ارائه گردیده است.

عمق سطح ایستابی: عمق سطح ایستابی از دیگر معیارهای مهم و تأثیرگذار در تعیین مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی است. در مناطقی که عمق آب‌های زیرزمینی کم است، تغذیه آبخوان باعث بالا آمدن سطح آب‌های زیرزمینی و ماندابی شدن اراضی می‌شود و در مناطقی که عمق آبخوان بسیار زیاد باشد نیز ممکن است آبی که در زمین فرو می‌رود به سطح آب‌های زیرزمینی نرسد. نقشه عمق سطح ایستابی در حوضه آبخیز بوشکان با استفاده از داده‌های عمق سطح ایستابی در چاه‌های اکتشافی و مشاهده‌ای منطقه (بی‌نام ۱۳۸۸الف) و درون‌یابی در محیط ArcGIS 10.1 تهیه شده و در شکل ۴ ارائه گردیده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴- نواحی همگن هدایت الکتریکی آبخوان و عمق سطح ایستابی در حوضه آبخیز بوشکان.

قابلیت انتقال آبخوان (T): یکی دیگر از عوامل مهم در تعیین عرصه‌های مستعد تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی، قابلیت انتقال آبخوان است. نقشه قابلیت انتقال آبخوان در حوضه آبخیز بوشکان با استفاده از داده‌های قابلیت انتقال در چاه‌های اکتشافی و مشاهده‌ای منطقه (بی‌نام ۱۳۸۸الف و محمدی و نسیمی ۱۳۹۰) و درون‌یابی در محیط ArcGIS 10.1 تهیه شده و در شکل ۵ ارائه گردیده است.

لایه محدود کننده: با توجه به این که فقط مناطق با پوشش گیاهی ناچیز (فاقد ارزش اقتصادی) و شیب کمتر از ده درصد، پتانسیل تغذیه آبخوان را دارند، جهت آماده کردن لایه محدود کننده از معیارهای کاربری زمین و شیب استفاده می‌شود. نقشه کاربری زمین در حوضه آبخیز بوشکان با استفاده از لایه رقومی کاربری زمین در استان بوشهر (بی‌نام ۱۳۸۸ه) در محیط ArcGIS 10.1 تهیه شده است. در این نقشه مناطق شهری، باغ‌ها، مناطق درختکاری شده، مناطق جنگلی، مسیل، مناطق کشاورزی، مناطق با پوشش گیاهی متوسط و مناطق با پوشش گیاهی ناچیز مشخص شده است. لذا لایه محدود کننده اجرای طرح تغذیه مصنوعی (شیب بیش از ده درصد و کاربری غیر از پوشش گیاهی ناچیز) در شکل ۵ ارائه گردیده است.

لایه محدود کننده در مدل تلفیق لایه‌ها دخالت داده نمی‌شود، ولی بر لایه حاصل از تلفیق هفت لایه بالا اثر می‌گذارد و به مناطق دارای محدودیت ارزش صفر می‌دهد.

وزن‌دهی به رده‌های هر لایه اطلاعاتی

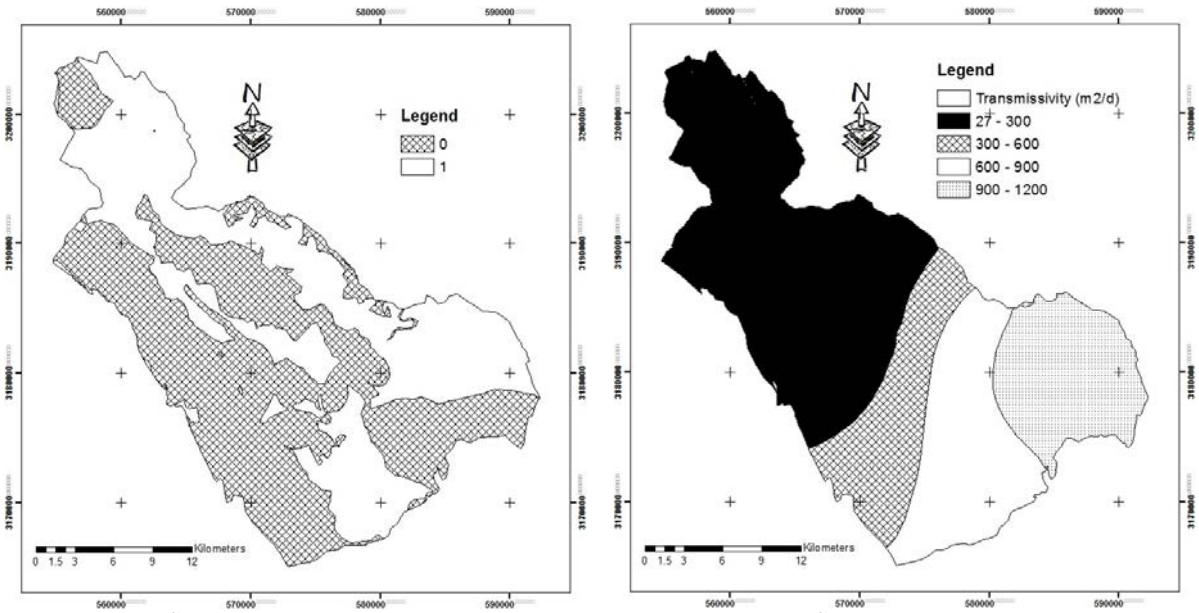
در این مرحله، در محیط ArcGIS 10.1، لایه‌های اطلاعاتی رستری با سلول‌هایی به ابعاد ۳۰ متر در ۳۰ متر از معیارهای مذکور تهیه گردیده و وزن نسبی رده‌های هر معیار، مطابق جدول ۲، به لایه‌های اطلاعاتی فوق اعمال شده است. رده‌بندی محدوده تغییرات هر لایه اطلاعاتی در مرحله قبل و وزن‌دهی به رده‌های آن‌ها در این مرحله، بر اساس مطالعات گذشته و نظرات کارشناسی انجام شده است.

روش تعیین وزن هر لایه اطلاعاتی

در این تحقیق برای تعیین بهینه‌ترین وزن هر معیار (لایه اطلاعاتی) از فرایند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است. این فرایند یکی از کارآمدترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری می‌باشد که بر اساس مقایسه‌های زوجی بنا شده است (ملکی و همکاران ۱۳۸۸). مراحل اجرای این روش در ادامه ارائه شده است:

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵- نواحی همگن قابلیت انتقال آبخوان و لایه محدود کننده اجرای طرح تغذیه مصنوعی در حوضه آبخیز بوشکان.

ساخت درخت سلسله مراتبی: درخت سلسله مراتبی یک نمایش گرافیکی از مسأله پیچیده واقعی است که در رأس آن هدف کلی مسأله و در سطوح بعدی معیارها و گزینه‌ها قرار دارند. هر چند قاعده‌ای ثابت و قطعی برای رسم درخت سلسله مراتبی وجود ندارد.

مقایسه‌های زوجی: با توجه به مبنای نظری این روش، هر یک از معیارها بر مبنای هدف و زیر معیارها بر مبنای معیار سطح بالای آن‌ها، باید به صورت دو به دو با هم مقایسه شوند. این مقایسه‌ها را می‌توان هم به‌صورت کیفی و هم به‌صورت کمی بر مبنای مقیاس ارائه شده در جدول ۳ انجام داد.

روش معمول برای انجام مقایسه زوجی تشکیل ماتریس مربعی به مرتبه تعداد معیارها یا زیر معیارهاست. برای تشکیل ماتریس مقایسه زوجی برای هر یک از گروه‌ها که n معیار دارد، لازم است $n(n-1)/2$ مقایسه صورت گیرد، تا مقایسه زوجی از مرتبه n کامل گردد.

محاسبه وزن در فرایند تحلیل سلسله مراتبی: محاسبه وزن در فرایند تحلیل سلسله مراتبی در سه بخش وزن نسبی[5]، وزن نهایی[6] و نرخ ناسازگاری[7] بررسی می‌شود:

الف) وزن نسبی: عناصر هر سطح نسبت به عنصرمربوطه خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و وزن آن‌ها محاسبه می گردد. در فرایند تحلیل سلسله مراتبی، این وزن به‌طور مستقیم از ماتریس مقایسه زوجی به‌دست می‌آید.

ب) وزن نهایی: این وزن از تلفیق وزن‌های نسبی به‌دست می‌آید و نشان دهنده وزن نهایی معیارها و رتبه کلی هر گزینه در میان گزینه‌هاست.

ج) نرخ ناسازگاری: قبل از تحلیل داده‌ها باید نسبت به سازگاری مقایسه‌ها اطمینان حاصل شود، زیرا تصمیم‌گیرنده به مقایسه دو به دو معیارها پرداخته و ممکن است مقایسه‌های او در کل با هم سازگار نباشند. لذا یکی از نقاط قوت فرایند تحلیل سلسله مراتبی، استفاده از نرخ ناسازگاری برای بررسی درجه پایایی[8] ماتریس مقایسه‌های زوجی است. محاسبه نرخ ناسازگاری در صورتی امکان‌پذیر است که مقایسه‌ها بر

[5] Local priority
[6] Overall priority
[7] Consistency Rate
[8] Reliability

www.SID.ir

Archive of SID

مبنای طیف ساعتی انجام شده باشد. نرخ ناسازگاری مکانیزمی است که میزان اعتماد به الویت‌های به‌دست آمده را نشان می‌دهد. به‌طوری که اگر نرخ ناسازگاری محاسبه شده کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری مقایسه‌ها قابل قبول است و در غیر این صورت، باید در قضاوت‌ها تجدید نظر نمود.

جدول ۲- رده‌بندی عوامل مؤثر در تغذیه مصنوعی در حوضه آبخیز بوشکان.

معیار	محدوده تغییرات	وزن هر رده	درصد گسترش
میزان بارش (mm)	۳۲۰-۳۴۰	۱۰	۰.۰۳
	۳۰۰-۳۲۰	۸	۳۹.۱۴
	۲۸۰-۳۰۰	۶	۵۵.۷۹
	۲۶۰-۲۸۰	۴	۵.۰۴
شیب (٪)	۰-۲	۱۰	۱۷.۵۸
	۲-۴	۸	۲۷.۷۱
	۴-۶	۶	۲۹.۹۶
	>۶	۳	۲۴.۷۵
بافت خاک	بدون رس تا رس کم	۱۰	۵.۴۷
	رس کم تا متوسط	۷	۷.۷۰
	رس متوسط تا زیاد	۴	۳۱.۸۲
	رس بسیار زیاد	۱	۵۵.۰۱
زمین‌شناسی	سازندهای کارستی (آسماری- جهرم، داریان- گدون- فهلیان)	۱۰	۴.۱۴
	رسوبات کواترنری	۷	۳۵.۲۸
	سازند بختیاری	۴	۱۵.۷۹
	سازندهای آغاجاری، بنگستان، گوری، گچساران، میشان، پابده- گورپی	۱	۴۴.۷۹
هدایت الکتریکی آبخوان (µS/cm)	۰-۱۰۰۰	۱۰	۰.۰۰
	۱۰۰۰-۲۲۵۰	۶	۵.۱۷
	۲۲۵۰-۴۰۰۰	۲	۶۷.۸۱
	>۴۰۰۰	۱	۲۷.۰۲
عمق سطح ایستابی (m)	۰-۱۰	۱	۰.۰۰
	۱۰-۲۰	۱۰	۲۱.۶۳
	۲۰-۳۰	۸	۲۸.۰۸
	>۳۰	۵	۵۰.۲۹
قابلیت انتقال آبخوان (m^2/d)	۰-۳۰۰	۵	۴۸.۳۱
	۳۰۰-۶۰۰	۷	۱۵.۱۳
	۶۰۰-۹۰۰	۱۰	۱۹.۸۷
	>۹۰۰	۳	۱۶.۶۹

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- مقیاس انجام مقایسه‌های زوجی (ساعتی ۱۹۸۰).

ارزش ترجیحی	وضعیت مقایسه i نسبت به j	توضیح
۱	اهمیت برابر	شاخص i نسبت به j اهمیت برابر دارد و یا ارجحیتی نسبت به هم ندارند.
۳	نسبتاً مهم‌تر	شاخص i نسبت به j کمی مهم‌تر است.
۵	مهم‌تر	شاخص i نسبت به j مهم‌تر است.
۷	خیلی مهم‌تر	شاخص i دارای ارجحیت خیلی بیشتری نسبت به j است.
۹	کاملاً مهم	شاخص i به‌طور مطلق از j مهم‌تر و قابل مقایسه با j نیست.
۲، ۴، ۶، ۸	-	ارزش‌های میانی بین ارزش‌های ترجیحی را نشان می‌دهد.

نتایج

در این مقاله، تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و تهیه نقشه پهنه‌بندی حوضه آبخیز بوشکان برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در سه مرحله تهیه لایه محدود کننده با استفاده از معیارهای کاربری زمین و شیب، تهیه نقشه پهنه‌بندی اولیه با استفاده از هفت معیار مذکور و تهیه نقشه پهنه‌بندی حوضه آبخیز برای تغذیه مصنوعی با استفاده از لایه محدود کننده و نقشه پهنه‌بندی اولیه انجام شده است.

تهیه لایه محدود کننده حوضه آبخیز بوشکان برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با استفاده از معیارهای کاربری زمین و شیب در محیط مدل منطق بولین انجام شده است. بدین ترتیب که به شیب کمتر از ده درجه یک، شیب بیشتر از ده درجه صفر، مناطق با پوشش گیاهی ناچیز یک و مناطق با کاربری غیر از پوشش گیاهی ناچیز صفر نسبت داده شد و لایه محدود کننده (شکل ۵) با استفاده از عملگر AND مدل منطق بولین حاصل شده است.

تهیه نقشه پهنه‌بندی اولیه حوضه آبخیز بوشکان برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با استفاده از هفت معیار مذکور در محیط مدل منطق همپوشانی چندکلاسه انجام شده است. برای محاسبه ارزش هر سلول نقشه پهنه‌بندی اولیه، با توجه به معادله ۱، به مقادیر وزن نسبی هر رده از هر لایه اطلاعاتی (S_{ij}) و وزن نسبی هر لایه اطلاعاتی (W_i) نیاز است. به عبارت دیگر، ابتدا وزن نهایی هر معیار از ضرب وزن نسبی آن (W_i) در وزن نسبی هر رده از آن (S_{ij}) حاصل می‌شود و سپس در محیط ArcGIS 10.1، در تمام سلول‌ها، وزن نهایی هفت معیار مذکور جمع شده تا نقشه پهنه‌بندی اولیه حاصل شود. مقادیر وزن نسبی هر رده از هر لایه اطلاعاتی در جدول ۲ ارائه شده است. همچنین کاربردی‌ترین روش تعیین وزن نسبی هر معیار (لایه اطلاعاتی) در مطالعات منابع آب استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی است (دلاور ۱۳۹۰). این روش اولین بار در سال ۱۹۸۰ مطرح گردید (ساعتی ۱۹۸۰). به منظور استفاده از این روش، ماتریس مقایسه معیارها به صورت جدول ۴ تشکیل شده است. ورودی‌های این ماتریس ارزش‌های ترجیحی تعیین شده با در نظر گرفتن مقایسه‌های زوجی (جدول ۳) و خروجی آن وزن نسبی هر معیار می‌باشد (مالکزوسکی ۱۹۹۹).

برای محاسبه وزن نسبی هر معیار در فرایند تحلیل سلسله مراتبی از بین روش‌های حداقل مربعات، حداقل مربعات لگاریتمی، بردار ویژه، تقریبی مجموع سطری، تقریبی مجموع ستونی، تقریبی میانگین حسابی و تقریبی میانگین هندسی از روش تقریبی میانگین حسابی استفاده شده است. این روش در مطالعات منابع آب استفاده می‌شود (دلاور ۱۳۹۰). در روش تقریبی میانگین حسابی، ابتدا هر ستون ماتریس نرمالایز شده و سپس میانگین هر سطر محاسبه و به عنوان وزن نسبی هر معیار در نظر گرفته می‌شود (قدسی‌پور ۱۳۸۷). با توجه به ماتریس بالا، وزن نسبی معیار میزان بارش ۰/۳۶۳، شیب ۰/۲۳۵، نفوذپذیری سطحی ۰/۱۵۶، زمین‌شناسی ۰/۱۰۳، هدایت الکتریکی آبخوان ۰/۰۶۸، عمق سطح ایستابی ۰/۰۴۴ و قابلیت انتقال آبخوان ۰/۰۳۰ حاصل شده است. نرخ ناسازگاری ماتریس بالا ۰/۰۲ است که چون کمتر از ۰/۱ است، وزن‌های نسبی حاصل شده از این ماتریس قابل قبول است.

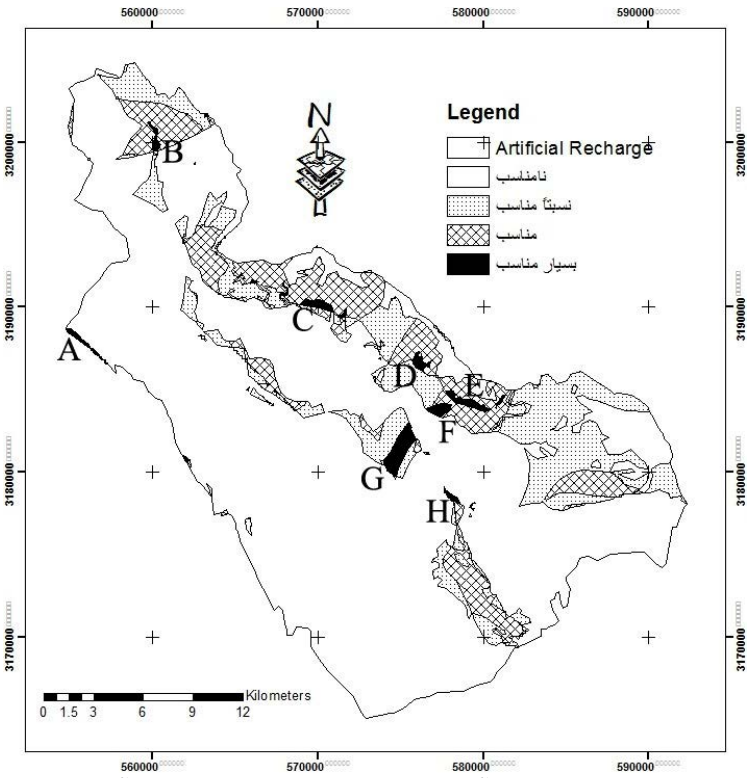
www.SID.ir

Archive of SID

در ادامه برای تهیه نقشه پهنه‌بندی حوضه آبخیز بوشکان برای تغذیه مصنوعی، مقدار هر یک از سلول‌های لایه محدود کننده در مقدار سلول متناظر آن در نقشه پهنه‌بندی اولیه ضرب شد تا مناطق دارای محدودیت کاربری و شیب بیش از ده درصد با ارزش صفر (نامناسب) نمایش داده شوند. نقشه پهنه‌بندی حوضه آبخیز بوشکان برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در شکل ۶ ارائه شده است. در این نقشه چهار رده برای نشان دادن پهنه‌بندی استفاده شده است. ویژگی مناطق بسیار مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۴- ماتریس مقایسه معیارها برای مکان‌یابی حوضچه‌های تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در حوضه آبخیز بوشکان.

معیار	میزان بارش	شیب	نفوذپذیری سطحی	زمین‌شناسی	هدایت الکتریکی	عمق سطح ایستابی	قابلیت انتقال
میزان بارش	۱	۲	۳	۴	۵	۷	۹
شیب	۰/۵	۱	۲	۳	۴	۵	۶
نفوذپذیری سطحی	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۳	۴	۵
زمین‌شناسی	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۳	۴
هدایت الکتریکی	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۳
عمق سطح ایستابی	۰/۱۴	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲
قابلیت انتقال	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱



شکل ۶- نقشه پهنه‌بندی حوضه آبخیز بوشکان برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- ویژگی مناطق بسیار مناسب برای تغذیه مصنوعی در حوضه آبخیز بوشکان.

منطقه	میزان بارش (mm)	شیب (٪)	بافت خاک	زمین‌شناسی	هدایت الکتریکی (µS/cm)	عمق سطح ایستابی (m)	قابلیت انتقال آبخوان (m^2/d)	کاربری زمین
A	۳۰۰- ۲۸۰	۲ -۰	بدون رس تا رس کم	داریان- گدون- فهلیان	۶۰۰۰- ۴۰۰۰	۶۰ -۳۰	۳۰۰ -۲۷	پوشش گیاهی ناچیز
B	۳۳۴- ۳۲۰	۲ -۰	رس بسیار زیاد	رسوبات کواترنری	۶۰۰۰- ۴۰۰۰	۶۰ -۳۰	۳۰۰ -۲۷	پوشش گیاهی ناچیز
C	۳۲۰- ۳۰۰	۴ -۲	رس کم تا متوسط	رسوبات کواترنری	۴۰۰۰- ۲۲۵۰	۶۰ -۳۰	۳۰۰ -۲۷	پوشش گیاهی ناچیز
D	۳۲۰- ۳۰۰	۶ -۴	رس کم تا متوسط	رسوبات کواترنری	۴۰۰۰- ۲۲۵۰	۲۰ -۱۰	۶۰۰ -۳۰۰	پوشش گیاهی ناچیز
E	۳۲۰- ۳۰۰	۶ -۴	رس کم تا متوسط	رسوبات کواترنری	۴۰۰۰- ۲۲۵۰	۲۰ -۱۰	۹۰۰ -۶۰۰	پوشش گیاهی ناچیز
F	۳۲۰- ۳۰۰	۴ -۲	رس متوسط تا زیاد	رسوبات کواترنری	۴۰۰۰- ۲۲۵۰	۲۰ -۱۰	۹۰۰ -۶۰۰	پوشش گیاهی ناچیز
G	۳۲۰- ۳۰۰	۴ -۲	رس متوسط تا زیاد	رسوبات کواترنری	۴۰۰۰- ۲۲۵۰	۳۰ -۱۰	۹۰۰ -۶۰۰	پوشش گیاهی ناچیز
H	۳۲۰- ۳۰۰	۲ -۰	رس متوسط تا زیاد	رسوبات کواترنری	۴۰۰۰- ۲۲۵۰	۳۰ -۲۰	۹۰۰ -۶۰۰	پوشش گیاهی ناچیز

مناطق A، B، C، D، E، F، G و H در شکل ۶ مشخص شده‌اند.

بحث

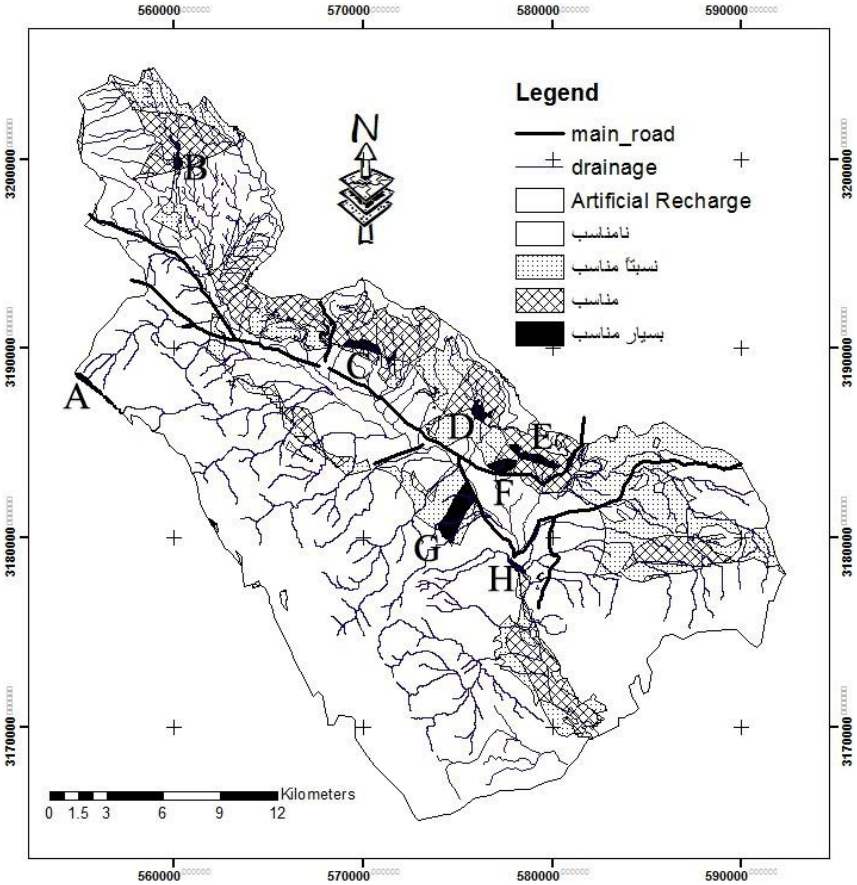
در نقشه پهنه‌بندی حوضه آبخیز بوشکان برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی که از تلفیق هفت لایه اطلاعاتی مذکور و اعمال لایه محدود کننده حاصل شده است، ۱/۱۴ درصد منطقه مورد مطالعه برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی بسیار مناسب، ۱۰/۳۹ درصد مناسب، ۱۳/۳۳ درصد نسبتاً مناسب و ۷۵/۱۴ درصد نامناسب است. مطابق شکل ۶، مناطق A، B، C، D، E، F، G و H در رده مکان‌های بسیار مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی قرار گرفته‌اند. اما در مناطق فاقد آبراهه، امکان استفاده از رواناب تولیدی در بالادست به‌عنوان منبع تغذیه وجود نخواهد داشت و در مناطق واقع در حریم آبراهه نیز امکان اجرای طرح تغذیه مصنوعی وجود ندارد، همچنین لازم است، راه دسترسی به مناطق اجرای طرح تغذیه مصنوعی وجود داشته باشد، لذا باید وضعیت شبکه آبراهه‌ها و راه‌های منطقه بررسی شده و در مناطق بسیار مناسب تجدید نظر گردد. انطباق نقشه پهنه‌بندی و نقشه راه‌ها و شبکه آبراهه‌ها در شکل ۷ ارائه شده است.

با توجه به نقشه شبکه آبراهه‌ها در حوضه آبخیز بوشکان، در منطقه A شبکه آبراهه و رواناب مورد نیاز جهت اجرای طرح تغذیه مصنوعی وجود ندارد. مناطق B و H نیز در حریم شبکه آبراهه واقع شده‌اند و امکان اجرای طرح تغذیه مصنوعی در این مناطق نیز وجود ندارند. همچنین برای مناطق B و D راه دسترسی وجود ندارد و برای اجرای طرح تغذیه مصنوعی مناسب نیستند. بنابراین پس از در نظر گرفتن وضعیت راه‌ها و شبکه آبراهه‌ها فقط چهار منطقه C، E، F و G برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی بسیار مناسب هستند. تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در حوضه آبخیز بوشکان توسط نورعلیزاده (۱۳۸۱ و ۱۳۸۶) نیز بررسی شده است. در تحقیقات نورعلیزاده (۱۳۸۱ و ۱۳۸۶) بدون توجه همزمان به پتانسیل بارش، شیب، نفوذپذیری سطحی، زمین‌شناسی، هدایت الکتریکی آبخوان، عمق سطح ایستابی، قابلیت انتقال آبخوان، کاربری زمین، شبکه آبراهه‌ها و راه‌ها و صرفاً بر اساس نظر کارشناسی و بازدیدهای صحرایی، احداث سدهای کوتاه در آبراهه‌های اصلی مشرف به

www.SID.ir

Archive of SID

دشت بوشکان و نیز احداث بانکت‌های هلالی شکل در سطح اراضی کوهپایه‌ای و آبرفتی مشرف به این دشت پیشنهاد شده است. در تحقیقات مذکور مناطق پیشنهادی برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی بسیار گسترده است و بخش قابل توجهی از دشت بوشکان برای عملیات تغذیه مصنوعی پیشنهاد شده است که مناطق پیشنهادی در این مقاله نیز بخشی از آن است.

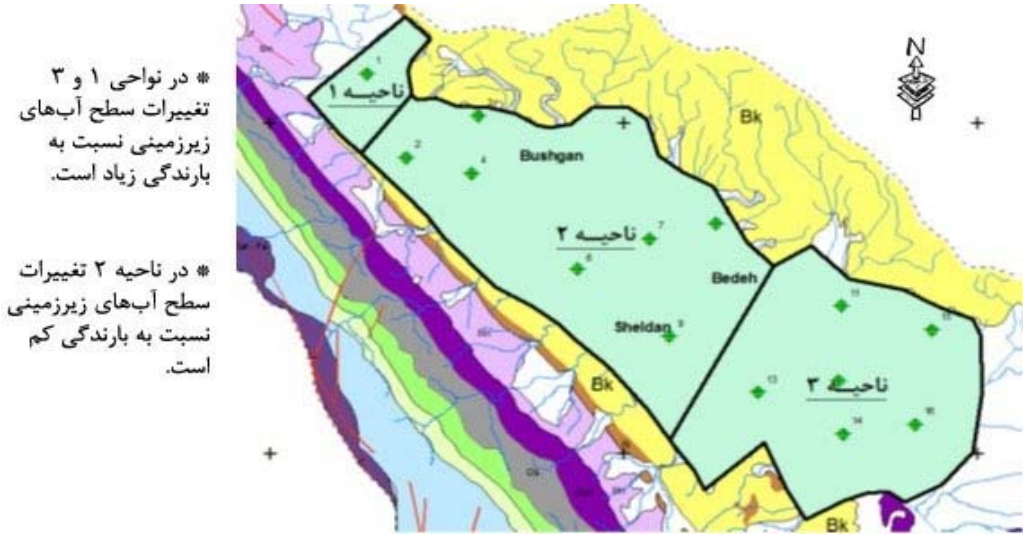


شکل ۷- انطباق نقشه پهنه‌بندی اولیه و نقشه شبکه آبراهه‌ها و راه‌ها در حوضه آبخیز بوشکان.

بر اساس مدل آب‌های زیرزمینی تهیه شده برای دشت بوشکان، در محیط نرم‌افزار GMS (آخوندی و همکاران ۱۳۹۰) که نتایج آن در شکل ۸ نشان داده شده است، مناطق مختلف این دشت نسبت به بارندگی (و یا تغذیه مصنوعی) عملکرد یکسانی ندارند. در مناطق E، F و G تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی نسبت به بارندگی (و یا تغذیه مصنوعی) زیاد و در منطقه C تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی نسبت به بارندگی (و یا تغذیه مصنوعی) کم است (آخوندی و همکاران ۱۳۹۰). در نتیجه می‌توان پیشنهاد نمود که مناطق E، F و G برای تغذیه مصنوعی با اهداف کوتاه مدت (بالا آمدن سریع سطح آب‌های زیرزمینی) و منطقه C برای تغذیه مصنوعی با اهداف بلند مدت (بالا آمدن آرام سطح آب‌های زیرزمینی) مناسب است. نتایج مدل آب‌های زیرزمینی دشت بوشکان، با عمق سطح ایستابی در مناطق مذکور (جدول ۵) هماهنگ است. چنانچه در مناطق E، F و G که برای اهداف کوتاه مدت پیشنهاد شده‌اند، عمق سطح ایستابی کمتر از ۳۰ متر و برای منطقه C که برای اهداف بلند مدت پیشنهاد شده است، عمق سطح ایستابی بیشتر از ۳۰ متر است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸- مناطق مختلف دشت بوشکان بر اساس شدت عکس‌العمل سطح آب‌های زیرزمینی نسبت به بارندگی (آخوندی و همکاران ۱۳۹۰).

نتیجه‌گیری کلی

از آنجا که بخشی از حوضه آبخیز بوشکان آبرفتی و بخش دیگری از آن کارستی است و هر چهار منطقه C، E، F و G به‌طور کامل در مناطق آبرفتی واقع شده‌اند، لذا می‌توان نتیجه گرفت که در این حوضه آبخیز، تغذیه مصنوعی در آبرفت مناسب‌تر از تغذیه مصنوعی در کارست است.

منابع مورد استفاده

آخوندی م، محمدی ض و کرم‌پور ف، ۱۳۹۰. تعیین میزان تخلیه مجاز از دشت بوشکان بر اساس مدل‌سازی آب زیرزمینی توسط GMS. صفحه‌های ۱ تا ۷. مجموعه مقالات پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران. ۲۴-۲۳ آذر ماه، دانشگاه تربیت معلم تهران، تهران.

بی‌نام، ۱۳۸۵الف. گزارش طرح تغذیه مصنوعی فاریاب رودان. شرکت سهامی آب منطقه‌ای هرمزگان. بندرعباس.

بی‌نام، ۱۳۸۵ب. لایه رقومی توپوگرافی استان بوشهر. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. تهران.

بی‌نام، ۱۳۸۸الف. گزارش آزمون‌های پمپاژ در دشت بوشکان. شرکت سهامی آب منطقه‌ای بوشهر. بوشهر.

بی‌نام، ۱۳۸۸ب. گزارش مطالعات آب‌های زیرزمینی- محدوده مطالعاتی بوشکان. شرکت سهامی آب منطقه‌ای بوشهر. بوشهر.

بی‌نام، ۱۳۸۸ج. گزارش مطالعات تعادل بخشی بیلان آب‌های زیرزمینی در دشت بوشکان، جلد اول- مطالعات پایه هیدروژئولوژی. شرکت سهامی آب منطقه‌ای بوشهر. بوشهر.

بی‌نام، ۱۳۸۸د. لایه رقومی بافت خاک در استان بوشهر. سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور. تهران.

بی‌نام، ۱۳۸۸ه. لایه رقومی کاربری زمین در استان بوشهر. سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور. تهران.

بی‌نام، ۱۳۸۸و. لایه رقومی میزان بارش در استان بوشهر. سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور. تهران.

پوراحمد ا، حبیبی ک، محمد زهرایی س و نظری عدلی س، ۱۳۸۶. استفاده از الگوریتم‌های فازی و GIS برای مکان‌یابی تجهیزات شهری. مجله محیط‌شناسی، شماره ۴۲، صفحه‌های ۳۱ تا ۴۲.

www.SID.ir

Archive of SID

حکمت‌پور م، فیض‌نیا س، احمدی ح و خلیل‌پور ا، ۱۳۸۶. پهنه‌بندی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی در دشت ورامین به کمک GIS و سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری. مجله محیط‌شناسی، شماره ۴۲، صفحه‌های ۱ تا ۸.

جباری ا، ۱۳۸۸. راهنمای بررسی اثرات اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی بر وضعیت آبخوان. استاندارد صنعت آب و آبفا، نشریه شماره ۳۵۳- الف. وزارت نیرو، معاونت امور آب و آبفا، دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا، تهران.

حسن زاده م، ۱۳۸۰. تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به پوشش گیاهی حوضه آبخیز بوشکان به‌منظور ایفاء نقش آن‌ها در پایداری اکوسیستم و منابع آب و خاک. صفحه‌های ۲۰۹ تا ۲۲۲. مجموعه مقالات نخستین همایش آبخیزداری و مدیریت استحصال آب در حوضه‌های آبخیز. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، بوشهر.

دلاور م ر، ۱۳۹۰. راهنمای کاربرد سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) و سنجش از دور (RS) در استخراج پارامترهای مؤثر مطالعات هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز. استاندارد صنعت آب و آبفا، نشریه شماره ۳۹۵- الف. وزارت نیرو، معاونت امور آب و آبفا، دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا، تهران.

سلسله م، ۱۳۷۶. روش‌های مختلف تغذیه مصنوعی هیدرولیک و مدیریت آن. استاندارد صنعت آب و آبفا، نشریه شماره ۱۲۲- ن. وزارت نیرو، معاونت امور آب و آبفا، دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا، تهران.

صابری ع، رنگزن ک، مهجوری ر و کشاورزی م، ۱۳۹۱. پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با تلفیق سنجش از دور و GIS به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در تاقدیس کمستان استان خوزستان. مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته (علوم سابق)، شماره ۶، صفحه‌های ۱۱ تا ۲۰.

طاهری تیزرو ع، مشایخی ح و زارع م، ۱۳۹۱. مکان‌یابی تغذیه مصنوعی با استفاده از GIS در دشت ماهی دشت کرمانشاه. مجله پژوهش آب ایران، شماره ۱۱، صفحه‌های ۴۷ تا ۵۴.

فولادفر ح، ۱۳۸۸. ضوابط زیست‌محیطی طرح‌های تغذیه مصنوعی. استاندارد صنعت آب و آبفا، نشریه شماره ۳۴۶- الف. وزارت نیرو، معاونت امور آب و آبفا، دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا، تهران.

قدسی‌پور س ح، ۱۳۸۷. فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

کردوانی پ، ۱۳۷۴. ژئوهیدرولوژی. انتشارات دانشگاه تهران.

کوثر س ا، ۱۳۷۴. مقدمه‌ای بر مهار سیلاب‌ها و بهره‌برداری بهینه از آن‌ها: آبیاری سیلابی، تغذیه مصنوعی، بندهای خاکی کوتاه. انتشارات مؤسسه جنگل‌ها و مراتع کشور، وزارت جهاد کشاورزی.

متوسل ر و محمدی ض، ۱۳۹۱. برآورد هدایت هیدرولیکی با استفاده از اطلاعات لاگ حفاری به روش آنالیز فازی، مطالعه موردی دشت بوشکان. صفحه‌های ۱ تا ۸. سی دی مجموعه مقالات شانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران. ۱۶-۱۴ شهریور ماه، دانشگاه شیراز، شیراز.

محمدی ض و نسیمی ع، ۱۳۹۰. بررسی اختلاف روش‌های مختلف تحلیل آزمون پمپاژ در براورد ضرایب هیدرودینامیک آبخوان آزاد. مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته (علوم سابق)، شماره ۲، صفحه‌های ۸ تا ۲۱.

ملکی ا، حصادی ه و نادریان پ، ۱۳۸۸. مکان‌یابی تغذیه مصنوعی آبخوان حوضه آبریز مرگ. مجله تحقیقات جغرافیایی، شماره ۹۲، صفحه‌های ۵۳ تا ۷۸.

نورعلیزاده ح، ۱۳۸۱. گزارش مطالعات آبخیزداری حوضه آبخیز بوشکان در استان بوشهر. شرکت مهندسین مشاور سازآب پردازان. شرکت سهامی آب منطقه‌ای بوشهر. بوشهر.

نورعلیزاده ح، ۱۳۸۶. ارزیابی اثر عملیات آبخیزداری بر آبخوان دشت بوشکان. صفحه‌های ۱ تا ۱۱. سی دی مجموعه مقالات چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران مدیریت حوضه‌های آبخیز. ۲-۱ اسفند ماه، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج.

www.SID.ir

Archive of SID

نوری ب، غیومیان ج، محسنی ساروی م، درویش صفت ع ا و فیض‌نیا س، ۱۳۸۳. تعیین مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی به روش حوضچه‌های تغذیه با استفاده از GIS. مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۷، شماره ۴، صفحه‌های ۶۳۵ تا ۶۴۷.

Agarwal R, Garg PK and Garg RD, 2013. Remote sensing and GIS based approach for identification of artificial recharge sites. Water Resources Management 27(7):2671–2689.

Babcock HM and Cushing EM, 1942. Recharge to groundwater from floods in a typical desert wash, Pinal County, Arizona. American Geophysical Union Transactions 23:49-56.

Chowdhury A, Jha MK and Chowdary VM, 2010. Delineation of groundwater recharge zones and identification of artificial recharge sites in West Medinipur district, West Bengal, using RS, GIS and MCDM techniques. Environmental Earth Sciences 59(6):1209–1222.

Daher W, Pistre S, Kneppers A, Bakalowicz M and Najem W, 2011. Karst and artificial recharge: theoretical and practical problems a preliminary approach to artificial recharge assessment. Journal of Hydrology 408: 189–202.

Malczewski J, 1999. GIS and Multicriteria Decision Analysis: Evaluation Criteria and Criterion Weighting. John Wiley & Sons, New York.

Malekmohammadi B, Ramezani Mehrian M and Jafari HR, 2012. Site selection for managed aquifer recharge using fuzzy rules: integrating geographical information system (GIS) tools and multi-criteria decision making. Hydrogeology Journal 20(7): 1393–1405.

Nasiri H, Darvishi Boloorani A, Faraji Sabokbar HA, Jafari HR, Hamzeh M and Rafii Y, 2013. Determining the most suitable areas for artificial groundwater recharge via an integrated PROMETHEE II-AHP method in GIS environment (case study: Garabaygan Basin, Iran). Environmental Monitoring and Assessment 185(1):707–718.

Rahimi S, Shadman Roodposhti M and Abbaspour RA, 2014. Using combined AHP-genetic algorithm in artificial groundwater recharge site selection of Gareh Bygone Plain, Iran. Environmental Earth Sciences 72(6): 1979-1992.

Rahman A, 2008. A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India. Applied Geography 28(1):32–53.

Saaty TL, 1980. The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York.

Saraf AK and Choudhury PR, 1998. Integrated remote sensing and GIS for groundwater exploration and identification of artificial recharge sites. International Journal of Remote Sensing 19(10):1825-1841.

Singh A, Panda SN, Kumar KS and Sharma CS, 2013. Artificial groundwater recharge zones mapping using remote sensing and GIS: a case study in Indian Punjab. Environmental Management 52(1):61–71.

www.SID.ir