



# Site Selection of Suitable Areas for Artificial Groundwater Recharge Using Analytical Hierarchical Processing (AHP) in GIS: A Case Study: Dehgolan Plain

Mohammad Rahimi<sup>1\*</sup>, Karim Solaimani<sup>2</sup>, Khaled Babaei<sup>3</sup>, Jalal Zandi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari University, Iran.

<sup>2</sup> M.Sc Student of Water Engineering, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari University, Iran.

<sup>3</sup> Regional Water Company, Kurdistan, Iran

<sup>4</sup> Assistant Professor, Department Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari University, Iran.

\* Corresponding Author (m.rahimi@stu.sanru.ac.ir)

## Article History:

Revised: Aug. 14, 2014

Received: Jun. 09, 2014

Accepted: Dec. 06, 2014

Reviewed: Jul. 08, 2014

Published: Mar. 15, 2016

## ABSTRACT

Currently, water demand has exceeded exploitable water resources; so that, the groundwater level has dropped in most plains of Iran such as Dehgolan plain in Kurdistan province, due to additional utilization of these resources. Hence, in the present study it has been attempted to identify the most suitable zones for performance of artificial recharge plan in Dehgolan plain, by integrating Geographic Information System (GIS) and Multi Criteria Decision Making (MCDM). In this regard, the data of eight effective parameters including slope, geology, surface permeability, thickness of unsaturated alluvium, transmission, electrical conductivity of the aquifer, distance from the waterway and land use of the study area were prepared in GIS environment. Then, the weight of each criterion and weight of the classes of each layer were calculated using AHP method and expert choice software. Finally, the final map was produced in five grades from suitable to quite unsuitable, by integrating the zoned maps based on the weight acquired by AHP. Accordingly, quite suitable and suitable areas for artificial recharge of aquifers with respectively .37% and 2. 8% of total area, are located in a thick layer of Quaternary deposits and close to major waterways. An integrated study helps to plan suitable groundwater management program for artificial recharge.

**Keywords:** Groundwater, Artificial Recharge, Site Selection, AHP, GIS and Dehgolan Plain.

مکان‌یابی عرصه‌های مناسب تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی با استفاده از فرایند

سلسله‌مراتبی (AHP) در سامانه اطلاعات جغرافیایی،

مطالعه موردی: دشت دهگلان

محمد رحیمی<sup>۱</sup>، کریم سلیمانی<sup>۲</sup>، خالد بابایی<sup>۳</sup>، جلال زندی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> استادیار، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ساری، نگارنده رابط (m.rahimi@stu.sanru.ac.ir).

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ساری.

<sup>۳</sup> شرکت سهامی آب منطقه‌ای، کردستان.

<sup>۴</sup> استادیار، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ساری.

تاریخ داوری: ۱۳۹۳/۴/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۳/۱۹

تاریخچه انتشار مقاله

تاریخ انتشار: ۱۳۹۴/۱۲/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۹/۱۵

تاریخ اصلاحات: ۱۳۹۳/۵/۲۳

## چکیده

هم اکنون تقاضای آب از امکانات منابع آب قابل استحصال تجاوز نموده بطوری که به دلیل برداشت اضافی از این منابع در اغلب دشت‌های کشور از جمله دشت دهگلان در استان کردستان سطح آب زیرزمینی کاهش یافته است. از این رو در این پژوهش سعی شده تا با تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی و سیستم‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)، مناسب‌ترین عرصه‌ها برای اجرای طرح تغذیه مصنوعی در دشت دهگلان شناسایی شوند. بدین منظور ابتدا داده‌های ۸ پارامتر تاثیرگذار شامل شیب، زمین‌شناسی، نفوذپذیری سطحی، ضخامت آبرفت غیر اشیاع، قابلیت انتقال، هدایت الکتریکی آبخوان، فاصله از آبراهه و کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در محیط GIS آماده سازی گردید و با استفاده از روش AHP به ترتیب وزن هر معیار و وزن کلاس‌های هر لایه در نرم افزار expert choice محاسبه شد. در نهایت با تلفیق نقشه‌های پهنه‌بندی شده بر اساس وزن اکتسابی از روش AHP، نقشه نهایی در پنج کلاس کاملاً مناسب تا کاملاً نامناسب تهیه شد. بر این اساس مناطق کاملاً مناسب و مناسب برای تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها، برترتیب با ۱/۳۷ و ۱۲/۱۸ درصد از کل مساحت اغلب در نهشته‌های کوتاه‌تری ضخیم لایه و نزدیک به آبراهه‌های اصلی قرار گرفته‌اند. مطالعه یکپارچه به طراحی برنامه مدیریت مناسب آب‌های زیرزمینی برای تغذیه مصنوعی کمک می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** آب زیرزمینی، مکان‌یابی، تغذیه مصنوعی، AHP، GIS و دشت دهگلان.

## ۱. مقدمه

شرط برای احداث طرح تغذیه، شناسایی محل مناسب است (سپند، ۱۳۸۶؛ بوور، ۲۰۰۲). مطالعات مختلفی در این زمینه صورت گرفته که نشان از اهمیت موضوع دارد.

قرمز چشمه و همکاران (۱۳۸۰)، کاربرد ژئومورفولوژی در مکان‌یابی پخش سیلاب در مناطق فاقد آمار جهت تغذیه مصنوعی در دشت میمه را بررسی کردند، نقشه‌های شیب، نفوذپذیری سطحی، کیفیت و ضخامت آبرفت و قابلیت انتقال را در محیط GIS تهیه و نقشه تلفیقی به دست آمده را با نقشه ژئومورفولوژی همپوشانی دادند، نتایج نشان داد دشت سر پانداژ مناسب پخش سیلاب و تغذیه مصنوعی است. غیومیان و همکاران (۲۰۰۵)، جهت مکان‌یابی محل مناسب برای تغذیه مصنوعی در حوضه میمه اصفهان، از معیارهای شیب، نرخ نفوذ، ضخامت رسوب، کاربری اراضی و کیفیت آب استفاده نموده و بعد از وزن دهی به لایه‌ها با کمک مدل‌های فازی و بولین به معرفی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی پرداختند. ملکی و همکاران (۱۳۸۸)، در حوضه مرگ کرمانشاه به منظور مکان‌یابی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی آبخوان، پانزده لایه اطلاعاتی شامل شیب، کاربری اراضی، ژئومورفولوژی، ضخامت آبرفت، لیتولوژی و غیره را استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل AHP با بیشترین درصد همپوشانی و کمترین مساحت، بهترین مدل مکان‌یابی برای منطقه مورد نظر است و قسمت انتهایی حوضه بعلت منطبق بودن با آبرفت‌های جوان دارای پتانسیل بالایی است. سبکبار و همکاران

امروزه در دنیا آب و منابع آبی یکی از مهم‌ترین ارکان توسعه پایدار بشمار می‌روند. روند افزایش تقاضای بشر به آب سبب شده است که آب‌های زیرزمینی بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد و در مناطقی که آب سطحی وجود ندارد و یا امکان ذخیره آنها میسر نیست، فشار مضاعفی بر منابع آب زیرزمینی وارد می‌شود، به طوریکه باعث بیلان منفی و افت شدید سطح ایستابی آبخوان شده است (وزارت نیرو، ۱۳۸۸). مناطقی که منابع آب زیرزمینی منبع تأمین آب است و میزان برداشت از این منابع بیش از تغذیه آنهاست دارای وضعیتی بحرانی هستند (کلاتری و همکاران، ۲۰۱۰). نتایج بررسی‌های مختلف در زمینه تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی نشان داده که افت سطح آب زیرزمینی قابل احیاء است (Bouwer, 1999; Ting et al, 2006). بر این اساس تغذیه مصنوعی از روش‌هایی است که می‌تواند بخشی از آب خارج شده از زیر زمین را جایگزین کند (علیزاده، ۱۳۸۹). از طرفی، ذخیره آب در زیر زمین در هر منطقه‌ای به منزله بیمه‌ای علیه خشکسالی و خسارت‌های ناشی از آن محسوب می‌شود (Shankar and Mohan, 2005). تغذیه مصنوعی را می‌توان روش‌های مختلف وارد کردن آب به داخل یک سازند نفوذپذیر به منظور استفاده مجدد از آن، با رژیم و کیفیتی متفاوت تعریف نمود. موفقیت طرح‌های تغذیه مصنوعی مستلزم اطلاعات زیادی است و نخستین

خاک، کاربری اراضی و پوشش زمین، زهکشی، قابلیت انتقال آبخوان استفاده کردند (Chandrasekar, 2013). روش AHP برای محاسبه وزن پارامترها بکار رفت و مناطق با شیب ملایم برای تغذیه آب‌های زیرزمینی بالقوه شناخته شد.

در عین حال به علت وجود عوامل متعدد دخیل در امر مکان‌یابی و نیاز به بررسی توام معیارهای ارزیابی شده (در قالب نقشه)، GIS ابزار کارآمدی جهت پردازش داده‌های مکانی مختلف است (خراسانی و همکاران، ۱۳۸۳؛ قدسی پور، ۱۳۸۷). استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در کنار روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) ابزار قدرتمند تصمیم‌گیری مکانی را فراهم می‌کند (Ehrgott, 2010). آنالیز تصمیم‌گیری مکانی فرایندی است که طی آن داده‌های جغرافیایی (داده‌های ورودی) ترکیب و به یک تصمیم (داده‌های خروجی) تبدیل می‌شوند. این فرایند شامل مراحل مختلفی است که به استفاده از داده‌های جغرافیایی، سلاقی تصمیم‌گیرندگان و بکارگیری داده‌ها بر مبنای قواعد تصمیم‌گیری مشخص مربوط می‌شود. معمولاً هر چه عوامل بیشتری در ارائه یک مدل دخیل باشند دقت مدل بالاتر خواهد بود، اما بر پیچیدگی مدل افزوده می‌شود. بهترین مدل، مدلی است که با کمترین تعداد عامل، بهترین نتیجه را ارائه نماید (لی و همکاران، ۱۳۸۶).

با توجه به افت منابع آب زیرزمینی در دشت دهگلان و پیامدهای ناشی از آن از جمله کف‌شکنی و افزایش عمق چاه‌ها و افزایش هزینه پمپاژ جهت دسترسی به آب، این پژوهش به الگوسازی مکان‌یابی عرصه‌های مناسب برای اجرای طرح تغذیه مصنوعی در دشت دهگلان بر اساس معیارهای زیست محیطی و با استفاده از GIS و مدل AHP پرداخته است.

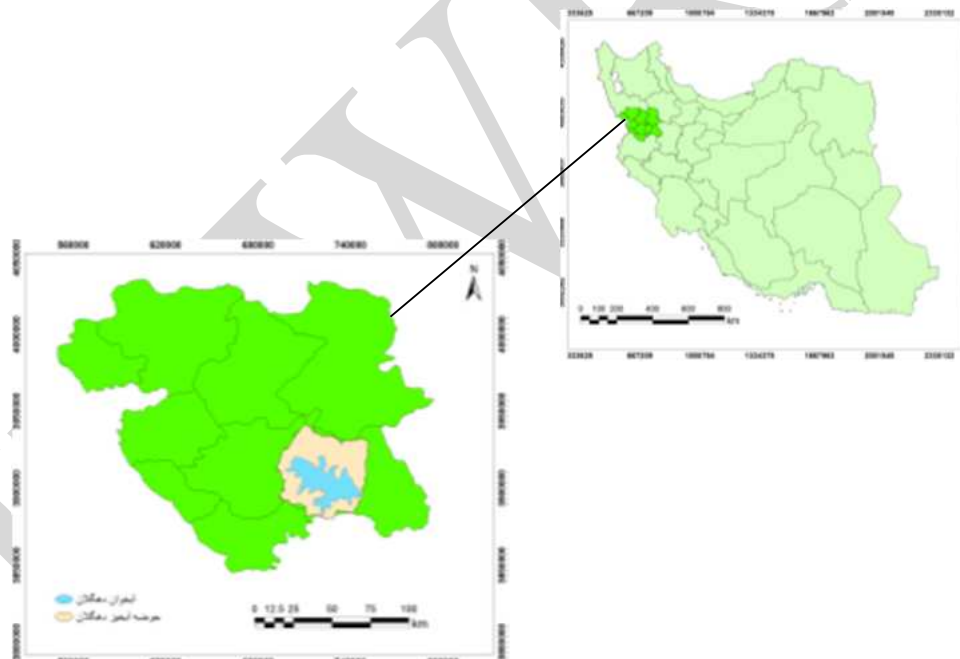
## ۲. منطقه مورد مطالعه

دشت دهگلان با مساحت حوضه آبخیز ۲۵۵۰ کیلومتر مربع و مساحت دشت آبرفتی ۹۸۲/۸۳۸ کیلومتر مربع دارای

(۱۳۹۰)، در مطالعه‌ای در دشت فسا عوامل موثر در مکان‌یابی پخش سیلاب از جمله ارتفاع، شیب، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، کاربری اراضی، ضخامت آبرفت، ضریب انتقال، تراکم زهکشی و هدایت الکتریکی را در AHP وزن دهی کردند، نتایج نشان داد که دهانه مخروط افکنه‌ها، دشت سرها و مراتع کم تراکم مکان‌های کاملاً مناسب برای پخش سیلاب‌اند. رضانی و همکاران (۱۳۹۱)، در دشت شمیل آشکارا در هرمزگان مکان‌یابی محل‌های تغذیه مصنوعی را با استفاده از روش AHP در GIS انجام دادند. نتایج نشان داد که استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و GIS ابزاری کارآمد برای مکان‌یابی محل‌های تغذیه مصنوعی فراهم می‌کند. نصیری و همکاران (۲۰۱۳)، برای عملیات پخش سیلاب در حوضه گریبانگانه لایه‌های مربوط به هشت عامل موثر در GIS را تهیه و با استفاده از روش رتبه‌بندی اولویت برای ارزیابی (PROMETHEE II) و (AHP)، نقشه تناسب اراضی برای پخش سیلاب تهیه گردید. سرگانکار و همکاران (۲۰۱۰)، مطالعه‌ای بر پایه GIS و AHP برای زیر حوضه رودخانه کنهان در هند، برای تعیین محل‌های مناسب انجام عملیات تغذیه مصنوعی انجام دادند. معیارهای در نظر گرفته شده ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی بودند، مناطق با حداکثر تجمع جریان و تشکیلات ماسه سنگی در رده اول قرار گرفتند (Sargaonka et al, 2010). چودری و همکاران (۲۰۱۰)، مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در منطقه مدیناپور غربی در هند را با معیارهای شیب، قابلیت انتقال، تراکم زهکشی، ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی تعیین نمودند (Chaowdhury et al, 2010). نتایج حاکی از کارایی تکنیک‌های MCDM<sup>۱</sup> در تلفیق با GIS در تعیین مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی است. چاندراسکار و همکاران (۲۰۱۳)، در تجزیه و تحلیل مکانی زمین برای تعیین مناطق بالقوه تغذیه مصنوعی در حوضه تامیل نادو هند از لایه‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، نوع

آب‌های سطحی در این دشت ضعیف و کمتر از نصف بخش‌های غربی استان است (محمدی، ۱۳۸۵). این در حالیست که قسمت عمده آب زیرزمینی استان در دشت‌های شرقی (دشت‌های دهگلان، قروه و چهار دولی) متمرکز است و به سبب مرغوبیت خاک و وجود سفره‌های آب زیرزمینی و استحصال آب این مناطق از طریق چاه‌های عمیق و نیمه عمیق، محل عمده کشت محصولات زراعی آبی‌اند. دشت دهگلان از سال ۱۳۸۲ در فهرست دشت‌های ممنوعه کشور قرار گرفته و در حال حاضر شاهد اضافه برداشت از آبخوان این دشت هستیم، به طوری که در سال آبی ۹۲-۹۱ افت سطح آب آبخوان نسبت به سال پایه ۶۷-۶۶ حدود ۲۷ متر برآورد گردیده است (آب منطقه‌ای کردستان، ۱۳۹۰). در شکل (۱) موقعیت آبخوان دشت نشان داده شده است.

آبخوانی با مساحت آبخوان ۷۷۹/۸۱ کیلومترمربع است. این دشت با ارتفاع ۱۸۷۶ متری از سطح دریا بزرگترین دشت استان کردستان است که در بین شهرستان‌های سنندج و قروه واقع شده است و قسمتی از سرشاخه رودخانه تلوار در حوضه آبریز سفیدرود را شامل می‌شود. دشت در موقعیت  $47^{\circ} 45'$  تا  $47^{\circ} 35'$  طول شرقی و  $35^{\circ} 35'$  تا  $35^{\circ} 30'$  عرض شمالی قرار گرفته است. شیب متوسط دشت حدود  $3/2$  درصد است. مقدار بارندگی دشت دهگلان ۳۵۰ میلی‌متر در سال بوده و از نظر اقلیمی جز نواحی نیمه خشک و سرد استان به شمار می‌آید (آب منطقه‌ای کردستان، ۱۳۹۰). محدوده به لحاظ زمین ساختی در زون سنندج- سیرجان قرار می‌گیرد و خاک‌های این دشت عمدتاً عمیق و مسطح و مناسب کشاورزی‌اند، از طرفی مقدار بارندگی و پتانسیل



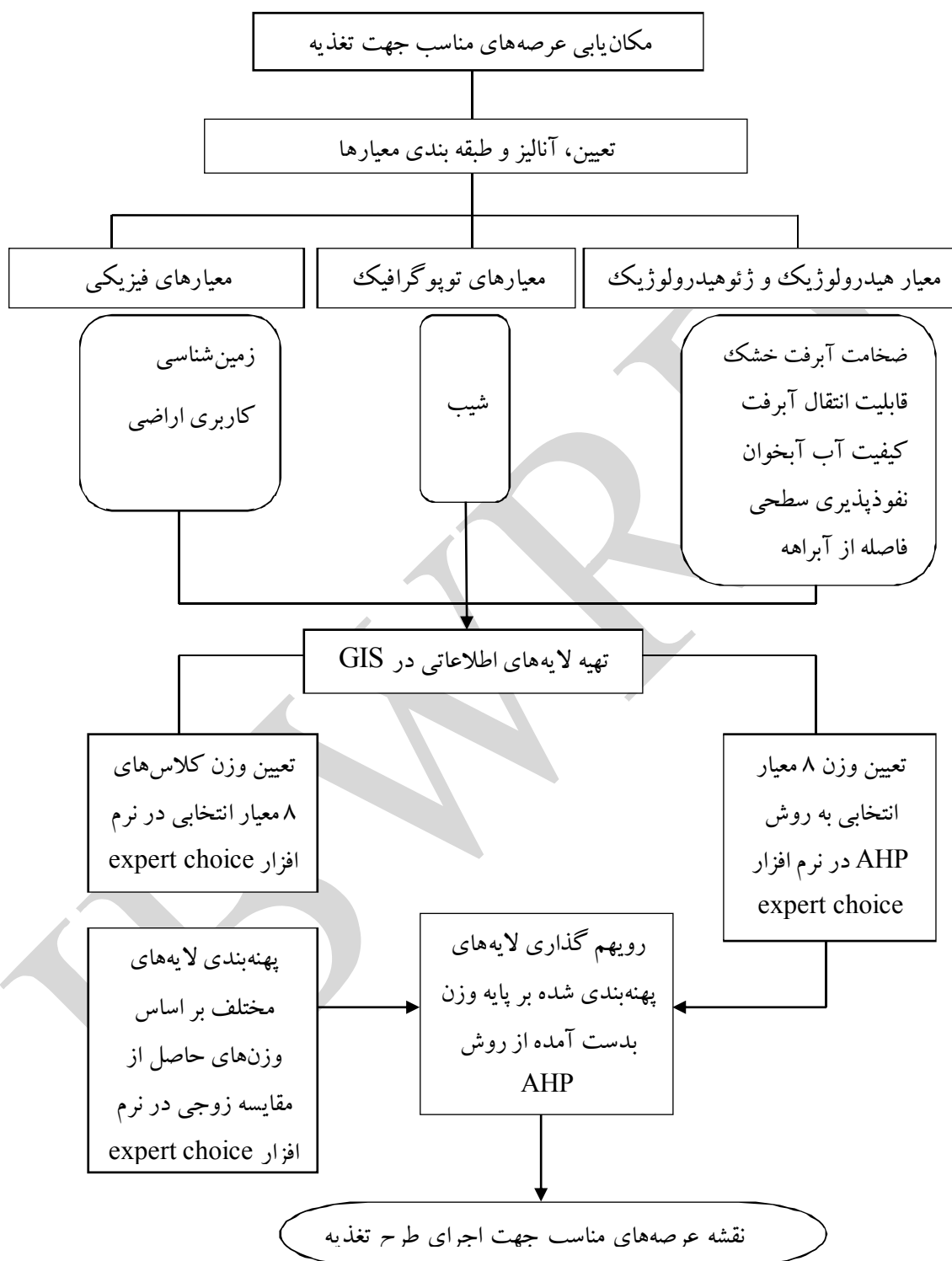
شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان کردستان

بدین منظور ۸ لایه موضوعی مشتمل بر شیب، زمین‌شناسی، نفوذپذیری سطحی، ضخامت آبرفت غیر اشباع، قابلیت انتقال، هدایت الکتریکی آبخوان، فاصله از آبراهه و کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در GIS آماده گردید. بر اساس روش AHP میزان تاثیرگذاری و وزن هر یک از پارامترهای در نظر گرفته شده در نرم‌افزار expert choice

### ۳. مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای لندست ETM سال ۲۰۱۳ و داده‌های آماری چاه‌های نمونه‌برداری منطقه به عنوان ورودی تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز برای فرایند مکان‌یابی مناطق تغذیه مصنوعی مورد استفاده قرار گرفت.

محاسبه شد. شکل (۲) نمودار جریانی مراحل انجام تحقیق را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.

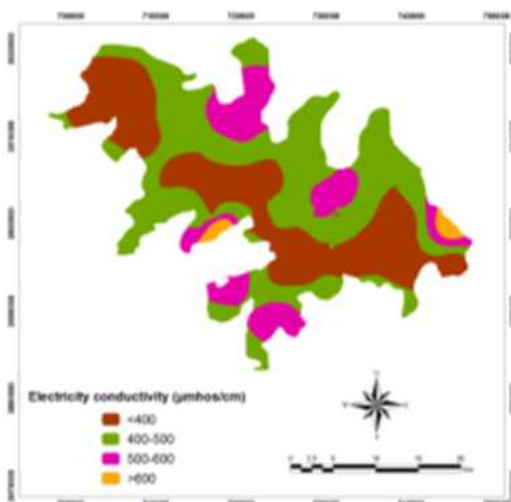


شکل ۲. فرآیند مکان‌یابی عرصه‌های مناسب تغذیه مصنوعی با استفاده از تلفیق سیستم‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و GIS

زمینه تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها و شرایط محلی منطقه پارامترهای موثر زیر انتخاب و تجزیه و تحلیل شدند. شیب: برای تهیه نقشه شیب با استفاده از رقوم‌سازی نقشه

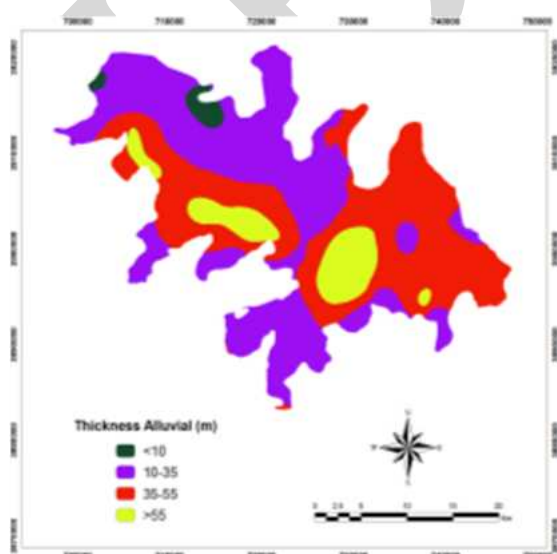
مناطق مستعد برای تغذیه مصنوعی دارای خصوصیات خاص خود هستند که شناسایی آنها به عوامل متعددی بستگی دارد. لذا در پژوهش حاضر با توجه به کارهای انجام گرفته در

هدایت الکتریکی: هدایت الکتریکی در تحلیل‌های کیفی آب نقش اساسی دارد، جهت تهیه این نقشه از آمار هدایت الکتریکی سال ۹۱-۹۲ در ۳۵ پیزومتر محفور در دشت استفاده شده است که با روش کریجینگ درون‌یابی شده‌اند (شکل ۵).



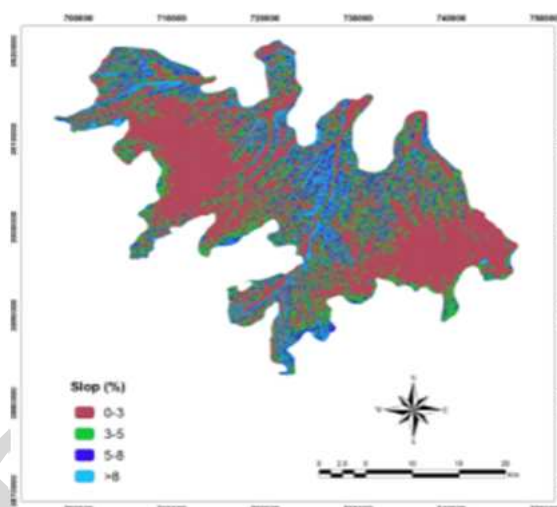
شکل ۵. نقشه هدایت الکتریکی

ضخامت آبرفت غیر اشباع: هر چه ضخامت آبرفت بیشتر باشد میزان ذخیره آب زیرزمینی در آن نیز زیادتر می‌شود. به موازات ضخامت آبرفت، عمق آب زیرزمینی (ضخامت لایه خشک آبرفت) نیز تاثیر بسزایی در تعیین محدوده مناسب برای تغذیه دارد. بدین منظور از نقشه هم‌عمق آب زیرزمینی که با استفاده از عمق آب زیرزمینی در ۵۳ پیزومتر و انطباق نقشه‌های تراز و توپوگرافی تهیه شد، استفاده گردید (شکل ۶).



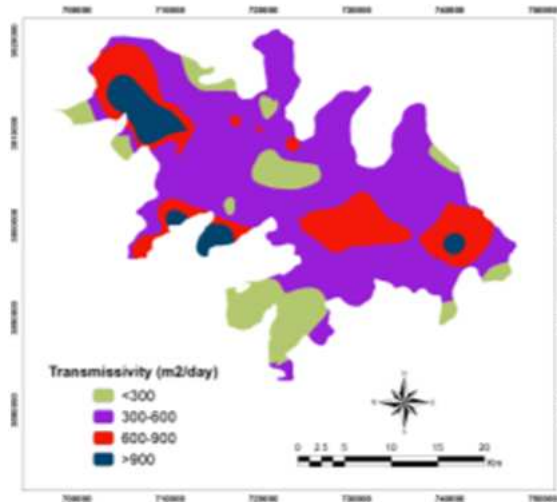
شکل ۶. نقشه ضخامت آبرفت خشک

توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری، مدل رقومی ارتفاعی  $20 \times 20$  متر تهیه شد و سپس نقشه شیب منطقه از آن برگرفته شد (شکل ۳).

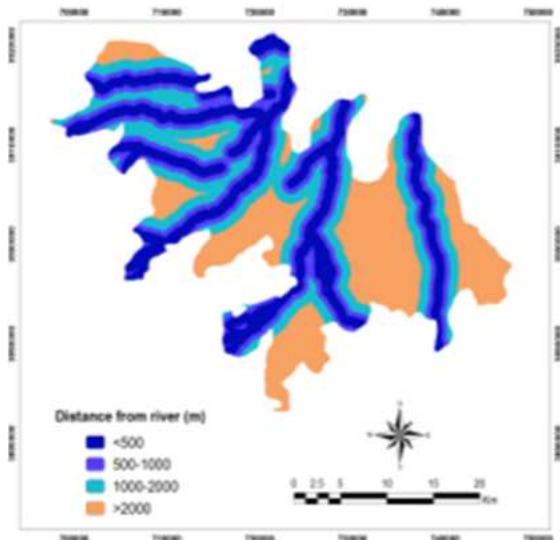


شکل ۳. نقشه شیب

قابلیت انتقال: توانایی انتقال آب در آبرفت، یکی از ضرایب هیدرودینامیکی است که نشان دهنده حرکت آب در محیط متخلخل است. مناسب‌ترین روش جهت محاسبه آن، انجام آزمون پمپاژ است (نخعی، ۱۳۸۸). جهت تهیه نقشه قابلیت انتقال دشت دهگلان از داده‌های حاصل از آزمون پمپاژ در ۹۴ پیزومتر منطقه استفاده گردید که با روش کریجینگ درون‌یابی شدند (شکل ۴).



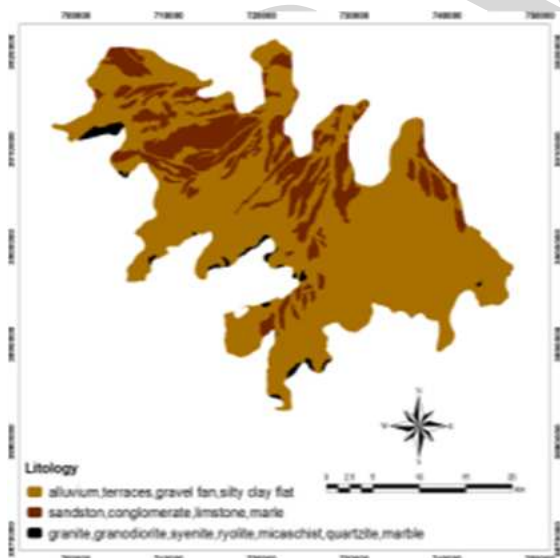
شکل ۴. نقشه قابلیت انتقال



شکل ۸. نقشه فاصله تا آبراهه

زمین‌شناسی: منطقه مورد مطالعه در دو شیت سندج (۵۴۶۰) و قروه (۵۵۶۰) نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی سازمان زمین‌شناسی کشور قرار گرفته است.

برای تهیه نقشه زمین‌شناسی دشت دهگلان پس از ژئورفرنس نمودن و یکپارچه سازی دو شیت و قرار دادن مرز حوضه بر روی آن اقدام به دیجیت کردن سازندهای مختلف منطقه شد (شکل ۹).



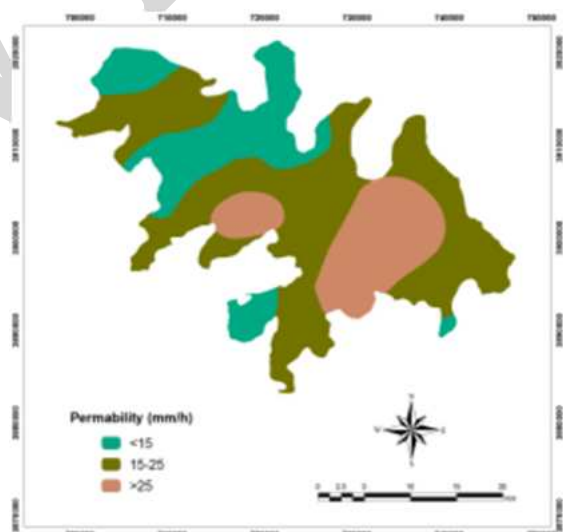
شکل ۹. نقشه زمین‌شناسی

کاربری اراضی: برای تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه مطالعاتی از تصویر سنجنده ETM ماهواره لندست ۸ مربوط به سال ۲۰۱۳ استفاده گردید.

نفوذپذیری سطحی: در دشت دهگلان مطالعات جامع خاک‌شناسی صورت نگرفته، لذا به دلیل مشکلات فوق، نفوذپذیری از جداول فائو طبق رابطه بین بافت و نفوذپذیری به دست آمد.

برای تعیین محل‌های نمونه‌برداری خاک از تصاویر ماهواره‌ای لندست ETM استفاده گردید. ترکیب باندهای ۱، ۵ و ۷ بهترین باند برای تفکیک نهشته‌های کواترنر است (مغانلو، ۱۳۸۲).

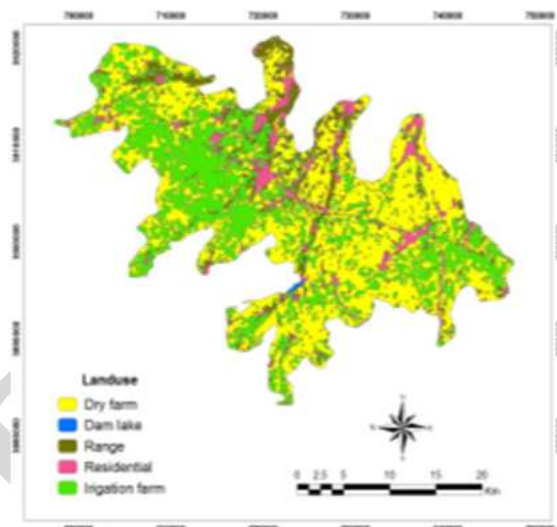
پس از ترکیب باندهای فوق نقشه زمین‌شناسی را بر روی تصویر انداخته و مرز بین کواترنر و واحدهای سنگی جدا گردید. سپس در واحد کواترنر، محل‌هایی که تن یکسانی داشتند مشخص شده و در هر واحد یک نقطه برای نمونه‌برداری انتخاب گردید سپس نقاط با روش کریجینگ درون‌یابی شده و نقشه نفوذپذیری سطحی دشت دهگلان به دست آمد (شکل ۷).



شکل ۷. نقشه نفوذپذیری سطحی

فاصله از آبراهه: نواحی اطراف آبراهه‌های با رده بالا که رواناب تولیدی بیشتری دارند برای اجرای طرح مناسب‌تر هستند. لایه آبراهه از طریق رقومی کردن آبراهه‌های اصلی و فرعی از روی نقشه ۱:۲۵۰۰۰ توپوگرافی منطقه تهیه شد (شکل ۸).

بدین منظور از طبقه‌بندی نظارت شده و روش الگوریتم حداکثر احتمال در نرم افزار ENVI 4.5 برای شناسایی و تعیین انواع کاربری‌ها استفاده شد و نقشه کاربری منطقه استخراج گردید (شکل ۱۰).



شکل ۱۰. نقشه کاربری اراضی

#### ۴. یافته‌ها و بحث

محدوده مورد مطالعه برای هر یک از معیارهای تعیین شده به صورت زیر پهنه‌بندی شد.

##### ۴.۱. وزن دهی لایه‌های اطلاعاتی

در فرایند مکان‌یابی پس از تبیین اهداف کلی، بیان مقاصد و تهیه گزینه‌های مختلف برای رسیدن به مکان بهینه، ارزیابی صورت می‌گیرد تا بر اساس شایستگی هر یک از گزینه‌ها، مکان مناسب انتخاب شود. روال کار مدل AHP با مشخص کردن عناصر و تصمیم‌گیری و اولویت دادن به آنها آغاز می‌شود (Changa, 2007).

اساس این فرایند استفاده از مقایسه زوجی است که سبب سهولت در قضاوت و محاسبات می‌شود. پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز، از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی جهت وزن دهی به لایه‌ها استفاده گردید. در این روش عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و وزن نسبی آنها محاسبه می‌شود و نهایتاً با تلفیق وزن‌ها وزن نهایی و یا وزن مطلق مشخص می‌شود. بر اساس روش AHP میزان تاثیرگذاری هر یک از پارامترهای در نظر گرفته شده برای مکان‌یابی تغذیه مصنوعی در نرم افزار expert choice محاسبه شد. نرم افزار expert choice جهت تحلیل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی طراحی شده است. این نرم افزار برای حل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره، تعیین اولویت اهداف، ارزیابی گزینه‌ها و محاسبه وزن نهایی معیارها است. AHP تکنیکی ساده اما با محاسباتی طولانی است که به وسیله expert choice به سادگی می‌تواند کارشناسان را در حل تصمیمات با معیارهای گسترده یاری دهد. پس از وزن‌دهی به معیارها و زیرمعیارها نرخ ناسازگاری (Ir) بایست به گونه‌ای تعیین شود که  $Ir > 0.1$  باشد در این صورت این نسبت به دست آمده دلالت بر سازگاری مقایسه دو به دو عوامل دارد. در غیر اینصورت باید در قضاوت تجدید نظر کرد (Dey and Ramcharan, 2000). شاخص ناسازگاری برای پارامترها با استفاده از نرم افزار expert choice حدود ۰/۰۰۱۴ است که قابل قبول است. در جدول (۱) وزن نهایی معیارها و زیر معیارها که از expert choice به دست آمده نشان داده شده است.

جدول ۱. امتیاز واحدهای نقشه‌های پایه

پارامتر	امتیاز	تناسب کلاسه	بازه کلاسه	مساحت (%)	امتیاز
		خیلی مناسب	$3 >$	۵۷/۴۶	۰/۴۷۶
		مناسب	۳-۵	۲۴/۶۲	۰/۳۰۸
		متوسط	۵-۸	۱۱/۳۸	۰/۱۸۷
		نامناسب	$8 <$	۶/۵۲	۰/۰۳
شیب (%)	۰/۱۶۲				

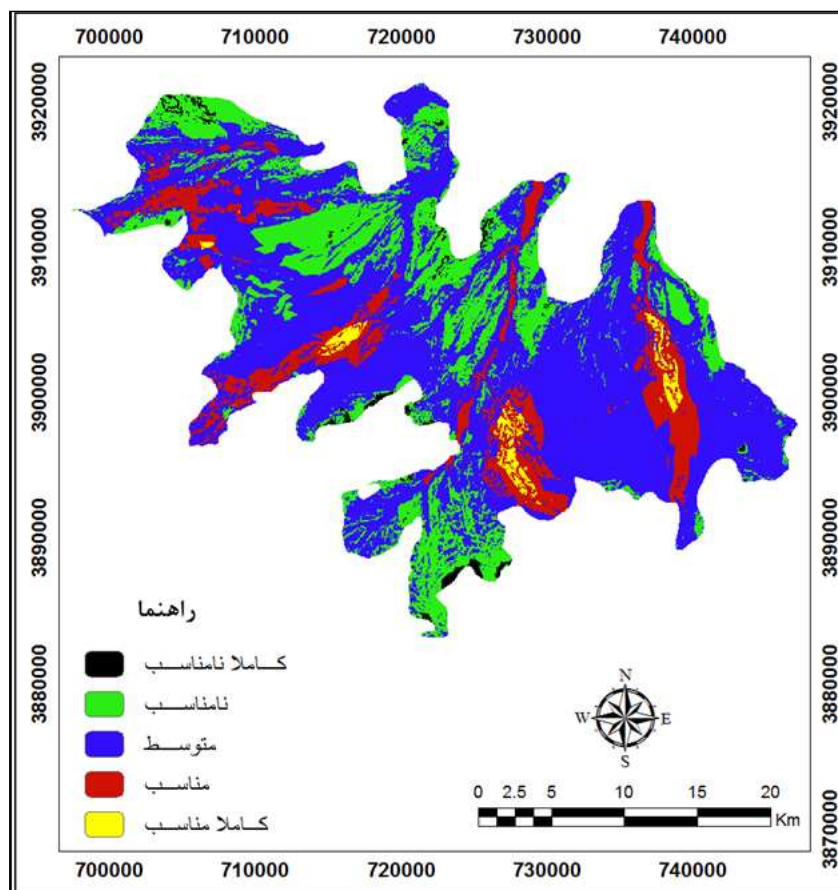


پارامتر	امتیاز	تناسب کلاسه	بازه کلاسه	مساحت (%)	امتیاز
ضخامت آبرفت (m)	۰/۰۷۹	خیلی مناسب	۵۵ <	۹/۶۷	۰/۴۲۲
		مناسب	۳۵-۵۵	۴۲/۰۴	۰/۳۱۲
		متوسط	۱۰-۳۵	۴۶/۵۴	۰/۳۰۹
		نامناسب	۱۰ >	۱/۷۴	۰/۰۵۷
قابلیت انتقال (m <sup>2</sup> /day)	۰/۱۰۷	خیلی مناسب	۹۰۰ <	۶/۰۹	۰/۳۹۸
		مناسب	۶۰۰-۹۰۰	۱۸/۲۳	۰/۳۰۵
		متوسط	۳۰۰-۶۰۰	۶۱/۵۷	۰/۲۰۸
		نامناسب	۳۰۰ >	۱۴/۶	۰/۰۸۹
هدایت الکتریکی (μmoh/cm)	۰/۰۵۹	خیلی مناسب	۴۰۰ >	۳۵/۳۷	۰/۵۰۹
		مناسب	۴۰۰-۵۰۰	۴۸/۶۳	۰/۲۸۲
		متوسط	۵۰۰-۶۰۰	۱۴/۵۳	۰/۱۳۸
		نامناسب	۶۰۰ <	۱/۴۶	۰/۷۱
نفوذپذیری سطحی (mm/h)	۰/۱۳۵	خیلی مناسب	۲۵ <	۲۱/۱۸	۰/۵۸۸
		متوسط	۱۵-۲۵	۵۴	۰/۳۱۰
		نامناسب	۱۵ >	۲۴/۸۱	۰/۱۰۲
فاصله تا آبراهه (m)	۰/۱۹۱	خیلی مناسب	۵۰۰ >	۳۲/۵۹	۰/۴۶۱
		مناسب	۵۰۰-۱۰۰۰	۲۴/۳۵	۰/۳۱۴
		متوسط	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۱۸/۳۹	۰/۱۸۵
		نامناسب	۲۰۰۰ <	۲۴/۶۶	۰/۰۳۹
زمین شناسی	۰/۲۲۷	خیلی مناسب	آبرفت، تراس، پهنه شنی و رسی	۷۷/۷۵	۰/۵۷۴
		متوسط	ماسه سنگ، کنگلومرا، آهک	۲۰/۶۸	۰/۳۰۷
		نامناسب	گرانیت، گرانودیوریت، سینیست، کوارتزیت، مرمر	۱/۵۶	۰/۱۱۹
کاربری اراضی	۰/۰۴	خیلی مناسب	مرتع	۹/۵۲	۰/۵
		مناسب	اراضی دیمی	۵۲/۶۳	۰/۳
		متوسط	کشت آبی	۳۱/۳۳	۰/۲
		نامناسب	مسکونی و مخازن آبی	۷/۵	۰

#### ۲.۴. تلفیق لایه‌های اطلاعاتی

پس از به دست آمدن وزن‌های نهایی در ماتریس استاندارد نرم افزار expert choice، وزن‌های محاسبه شده در محیط GIS به لایه‌ها اعمال گردید و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی با

تابع weight sum صورت گرفت. سپس نقشه رستری پهنه‌های پتانسیلی مختلف تهیه گردید که به پنج کلاس کاملاً مناسب، مناسب، متوسط، نامناسب و کاملاً نامناسب طبقه‌بندی شد (شکل ۱۱).



شکل ۱۱. نقشه نهایی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی در دشت دهگلان بر اساس مدل AHP

با توجه به نقشه نهایی به دست آمده، مناطق مستعد تغذیه بیشتر در واحدهای کوآترنری ( $Q_{t1}$  و  $Q_{t2}$ ،  $Q_c$ ،  $Q_f$ ،  $Q_{al}$ ) قسمت‌های جنوبی و مرکزی دشت واقع شده‌اند، که از علل آن می‌توان به قرارگیری این واحدها در حواشی آبراهه‌های اصلی دشت (با دبی بیشتر) و همچنین محتوی تشکیل شده این واحدها از رس، سیلت، ماسه و گراول اشاره کرد. این واحدهای زمین‌شناسی در ارتفاعات پایین و در شیبی کم (کمتر از ۵ درصد) واقع هستند که نتیجه ته نشست بار رسوبی آبراهه‌ها در پهنه‌های رسوب‌گیر در شرایط سیلابی می‌باشند و میزان نفوذ بالایی دارند. همچنین در این مناطق بعلافت بیشتر سطح آب، ضخامت غیر اشباع آبرفت زیاد بوده و حجم ذخیره‌ای آبخوان بیشتر است، از طرفی بدلیل عمیق‌تر بودن سطح آب کیفیت آب نیز بالاست. بطور کلی قسمت‌های جنوبی دشت از قابلیت انتقال و آبگذری بیشتری برخوردار است و بدین لحاظ مناطق مناسب تعیین شده

بر این اساس مناطقی که بیشترین ارزش وزنی را داشتند بعنوان مناطق بسیار مناسب جهت اجرای طرح تغذیه مصنوعی در منطقه تشخیص داده شدند که مساحتی بالغ بر ۱۰ کیلومتر مربع از کل مساحت منطقه را شامل می‌شود. سایر مناطق نیز با توجه به ارزش وزنی طبقه‌بندی شد که مساحت آنها در جدول (۲) آمده است.

جدول ۲. مساحت کلاس‌های مناطق به دست آمده از نقشه نهایی با مدل

AHP			
ردیف	طبقات	مساحت	درصد مساحت
(کیلومتر مربع)			
۱	کاملاً نامناسب	۹/۳۴۶	۱/۱۵۷
۲	نامناسب	۱۸۳/۷۶۷	۲۳/۵۲۴
۳	متوسط	۴۸۰/۹۵	۶۱/۶۸
۴	مناسب	۹۵/۰۱۴	۱۲/۱۸
۵	کاملاً مناسب	۱۰/۷۳۳	۱/۳۷۶
جمع کل		۷۷۹/۸۱	۱۰۰

می‌تواند در مدیریت محیط منابع آب زیرزمینی مثر ثمر بوده و نیز در طرح‌های بهره‌برداری بهینه از منابع آب منطقه و جلوگیری از بهره‌وری بیش از توان آنها، سازنده باشد.

### تشکر و قدردانی

بدینوسیله از مطالعات پایه شرکت آب منطقه ای استان کردستان که داده‌های مربوطه را در اختیار گذاشتند تشکر به عمل می‌آوریم.

### منابع

- بلذاجی، م.، حسن زاده، م.، و ابراهیمی، ز (۱۳۸۹) مکان‌یابی عرصه پخش سیلاب با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، در حوزه آبخیز عشق آباد طبرستان. *علوم و مهندسی آبخیزداری*، ۴(۱۳)، ۳۱-۳۸.
- خراسانی، ن. ا.، مهرداد، ن.، درویش صفت، ع. ا. و شکرایی، ع (۱۳۸۳) مطالعات زیست محیطی جهت انتخاب محل مناسب برای دفن زباله شهر ساری. *مجله منابع طبیعی ایران*، ۵۷(۲)، ۱-۱۴.
- رضائی، م.، ملک محمدی، ب. و رفیعی، ی (۱۳۹۱) استفاده از منطق فازی در مکان‌یابی محل های تغذیه مصنوعی آبخوان با تلفیق روش‌های FTOPSIS و AHP در دشت شمیل و آشکارای هرمزگان. *مجله محیط شناسی*، ۳۸(۳)، ۹۹-۱۰۸.
- سبکبار، ح. غ.، حسن پور، س.، علوی پناه، ک. و الیاس پور، س (۱۳۹۰) مکان‌یابی عرصه های مناسب پخش سیلاب با استفاده از فرایند سلسله مراتبی در سیستم اطلاعات جغرافیایی در گرگان فسا. *فصل نامه جغرافیای طبیعی*، ۴(۱۴)، ۱۳-۲۵.
- سپند، س (۱۳۸۶) مکان سنجی طرح تغذیه مصنوعی در محدوده لالی با استفاده از تکنیک‌های RS & GIS. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز. ۱۱۰ ص.
- علیزاده، ا (۱۳۸۹) اصول هیدرولوژی کاربردی، ویرایش پنجم، چاپ سی‌ام، انتشارات آستان قدس رضوی، دانشگاه امام رضا (ع).
- رامشت، م. ح.، و عامری، ع. ر (۱۳۹۲) پهنه‌بندی حوضه آبخیز بیاضیه جهت تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش AHP و تکنیک GIS. *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۷(۴۵)، ۶۹-۹۶.
- قدسی پور، ح (۱۳۸۷) فرایند تحلیل سلسله مراتبی، چاپ ششم، انتشارات دانشگاه امیرکبیر.

منطبق بر این نواحی هستند. با توجه به کم بودن وسعت مراتع در سطح دشت، قسمت عمده ای از وسعت مناطق مناسب شناسایی شده بترتیب در دیم‌زارها و اراضی آبی واقع شده‌اند. نتایج این مطالعه با نتایج تحقیقات رامشت و عامری (۱۳۹۲) و بلذاجی و همکاران (۱۳۸۹) مبنی بر توانایی تلفیق GIS و AHP در پهنه‌بندی عرصه‌ها جهت تغذیه مصنوعی هم‌خوانی دارد.

### ۵. نتیجه‌گیری

در این تحقیق عوامل موثر از جمله شیب، زمین‌شناسی، نفوذپذیری سطحی، ضخامت آبرفت غیر اشباع، قابلیت انتقال آب در آبرفت، هدایت الکتریکی آبخوان، فاصله از آبراه و کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه بررسی شد و لایه‌های ایجاد شده از لحاظ تناسب برای تغذیه مصنوعی طبقه‌بندی شدند. در نهایت به کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرایند سلسله مراتبی، نقشه پهنه‌بندی مناطق مستعد برای تغذیه مصنوعی تهیه شد. نتایج نشان می‌دهد اراضی خیلی مناسب ۱/۳ درصد و اراضی مناسب ۱۲ درصد منطقه را بخود اختصاص می‌دهند. این مناطق منطبق بر رسوبات آبرفتی درشت دانه و نهشته‌های رودخانه‌ای است که تاثیر بسزایی در تغذیه آبخوان نیز دارند و در نوار مرکزی آبخوان قرار گرفته‌اند. مهم‌ترین عامل محدودیت در اراضی با کلاس نامناسب مربوط به زمین‌شناسی منطقه و ضخامت کم آبرفت است که بیشتر در قسمت‌های شمالی آبخوان واقع‌اند. با توجه به قابلیت که این سامانه در مدل‌سازی مکانی داده‌ها دارد، تعمیم اطلاعات، ساخت مدل‌های جدید و آزمون روش‌های مختلف را دارا است. همچنین به لحاظ اینکه با استفاده از مدل AHP و بر اساس معیارهای مورد نظر در حوضه مطالعاتی، مناطق مختلف از نظر قابلیت‌های مکانی برای اجرای سامانه تغذیه مصنوعی شناسایی و اولویت بندی شدند، این موضوع به مدیران کمک زیادی می‌کند تا بتوانند بر اساس داده‌های مکانی، بهتر تصمیم‌گیری نمایند. نتایج حاصل از این پژوهش

- Changa, K.F., Chiangb, C.M. and Chouc, P.C (2007) Adapting Aspects of GB Tool- Searching for Suitability in Taiwan. *Building and Environment*, 42(10): 310-316.
- Dey, P.K., Ramcharan, E.K (2000) Analytic Hierarchy Process Helps Select Site for Limestone Quarry Expansion in Barbados. *Journal of Environmental Management*, 12(22): 25-39.
- Ehrgott, M. (2010) *Multiple Criteria Decision Analysis and Geographic Information Systems*, pp. 369-395, Trends in Multiple Criteria Decision Analysis. Springer, US.
- Ghayoumian J., Ghermez cheshme, B., Feiznia S., Noroozi A. A (2005) Integrating GIS and DSS for Identification of Suitable Areas for Artificial Recharge Case Study Meimeh Basin, Isfahan, Iran. *Environmental Geology*, 47(8):493 - 50.
- Kalantari, N., Rangzan, K., Rahimi, M. H ( 2010) Site Selection and Cost-benefit Snaalysis for Artificial Recharge in the Baghmalek Plain, Khuzestan Province, Southwest Iran, *Hydrogeology Journal*, 18(3): 761-773.
- Nasiri, H., Darvishi, A., Sabokbar, H, A., Jafari, H, R., Hamzeh, H., Rafii, Y (2013) Determining the most Suitable Areas for Artificial Groundwater Recharge via an Integrated PROMETHEE II-AHP method in GIS, A Case Study in Garabaygan Basin, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(1): 707-718.
- Ravi Shankar M. N., Mohan G (2005) A GIS based Hydrogeomorphic Approach for Identification of Site Specific Artificial Recharge Techniques in the Deccan Volcanic Province, *Journal Earth Sciences*, 114 (5): 505-514.
- Sargaonkar, P., Rathi, B., Baile, A (2010) Identifying potential Sites for Artificial Groundwater Recharge in Sub-Watershed of River Kanhan, India, *Environmental Earth Sciences*, 62(5): 1099-1108.
- Ting C S, C Y Lin, C H Chuang, C C Liu (2006) *Pilot Study for Artificial Recharge of Groundwater in High-Infiltration Basin, Proceedings of 4th International Symposium on Artificial Recharge of Groundwater*, Adelaide, Australia, A. A. Balkema publishers Rotterdam, 479-484.
- فرمزچشمه، ب.، فیض نیا، س.، غیومیان، ج و پرهمت، ج (۱۳۸۰) کاربرد ژئومورفولوژی در مکان‌یابی پخش سیلاب در مناطق فاقد آمار در دشت میمه، همایش ملی مدیریت اراضی- فرسایش خاک و توسعه پایدار، اراک، ص ۵۰-۶۰.
- لی، ژیلین، ژو، کینگ، گلد، کریستوفر (۱۳۸۶) مدل‌سازی رقوم زمین (اصول و روش‌ها)، ترجمه عزیزی، ح.، حاجی میر رحیمی، م.، تاروردی، م.ع. چاپ دوم، نشر ماه حرا.
- محمدی، ا (۱۳۸۵) تهیه نقشه رسوبدهی حوضه آبخیز سیروان. سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان کردستان، کارگروه پژوهش آمار و فناوری اطلاعات، ص ۱۶-۱۸.
- ملکی، ا.، حصادی، ه و نادریان، پ (۱۳۸۸) مکان‌یابی تغذیه مصنوعی در آبخوان حوضه مرگ کرمانشاه. تحقیقات جغرافیایی، (۷۵۱) ۵۹-۸۴.
- مطالعات پایه آب منطقه‌ای استان کردستان (۱۳۹۰) گزارش تمديد ممنوعیت دشت دهگلان، مهندسین مشاور کاوش آبخوان، ۱۲۰ ص.
- مغانلو، ک (۱۳۸۲) بررسی نهشته‌های کواترنر جهت تعیین اراضی مناسب پخش سیلاب در دشت تسوج، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۲۰ص.
- نخعی، م (۱۳۸۸) مقدمه‌ای بر آب‌های زیرزمینی. چاپ اول، انتشارات آراد کتاب.
- وزارت نیرو (۱۳۸۸) پیش‌نویس راهنمای بررسی اثرات اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی بر آبخوان. نشریه شماره ۳۵۳، معاونت امور آب و آبفا، دفتر مهندسی و معیارهای فنی.
- Bouwer, H (2002) Artificial Recharge of Groundwater. Hydrogeology and Engineering. *Hydrogeology Journal*, 10(4): 121-142.
- Bouwer, H (1999) *Artificial Recharge of Groundwater Systems Design and Management*. Mays LW(ed) Hydraulic Design Handbook, McGraw-Hill, New York, 24(44):1-24.
- Chowdhury, A., Madan K. Jha., V. M. Chowdary (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.
20. Chandrasekar, N., S. Kaliraj., N. S. Magesh (2013) Identification of Potential Groundwater Recharge Zones in Vaigai upper basin, Tamil Nadu, Using GIS-based Analytical Hierarchical Process (AHP) Technique. *Arabian Journal of Geosciences*, DOI 10.1007/s12517-013-0849-x.