



## شناسایی و اولویت‌بندی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با استفاده از GIS و روش AHP (مطالعه موردی: جلگه تجن)

علی عمروانی<sup>۱</sup>، علی شاهنظری<sup>۲</sup>، رامین فضل‌اولی<sup>۳</sup> و سید مهدی عمادی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری  
۲- دانشیار، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسوول: aliponh@yahoo.com)  
۳- دانشیار، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری  
۴- مدیر برنامه‌ریزی و بررسی‌های اقتصادی شرکت سهامی آب منطقه‌ای مازندران، ساری  
تاریخ دریافت: ۹۷/۵/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۷/۸/۹  
صفحه: ۱۸۹ تا ۲۰۰

### چکیده

در حوضه‌های ساحلی افت آب‌های زیرزمینی از مهم‌ترین مشکلات می‌باشد. بهره‌برداری بیش از حد مجاز از آب‌های زیرزمینی از تأثیرگذارترین عوامل می‌باشد که باعث پیش‌روی آب شور به‌ویژه در فصل‌های کم‌بارش می‌شود. لذا در این تحقیق شناسایی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در دشت تجن (با مساحت حدود ۳۳۴۶۷ هکتار)، انجام شد. برای این منظور نقشه‌های لازم شامل کاربری اراضی، زمین‌شناسی، شیب، بافت خاک، ضخامت خاک خشک (بخش غیراشباع خاک) و فاصله از آبراهه تهیه شد. در ادامه با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) وزن نهایی معیارها و زیرمعیارها مشخص شدند؛ سپس با استفاده از نرم‌افزار GIS نقشه‌های یاد شده با هم تلفیق و نهایتاً مناطق مناسب شناسایی و اولویت‌بندی شدند. سپس روش‌های مختلف تغذیه مصنوعی برای منطقه مطالعاتی بررسی شد؛ با مراجعه به نتایج مشخص شد که ۳۸/۸۰، ۲۵/۱۵، ۲۱ و ۸/۱۴ درصد از اراضی برای انجام عملیات تغذیه مصنوعی به ترتیب دارای شرایط کاملاً مناسب، مناسب، متوسط، نامناسب و کاملاً نامناسب بودند. با توجه به نزدیکی حوضه مطالعاتی به مناطق ساحلی، گزینه‌هایی مانند پخش سیلاب و احداث سد لاستیکی، برای تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی در منطقه و جلوگیری از پیش‌روی آب شور پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: سد لاستیکی، فاصله از آبراهه، مکان‌یابی

### مقدمه

شیب کمتر از ۳ درصد قرار دارند. دادوکلاهی و همکاران (۶) از دو روش بولین و AHP برای تعیین بهترین مکان اجرای طرح حوضچه‌های تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی در دشت گرمسار سمنان استفاده کردند و نشان دادند که اراضی مناسب برای اجرای طرح تغذیه مصنوعی با به‌کارگیری منطق بولین ۰/۷۸ درصد و در روش AHP نیز ۳/۳۸ درصد خیلی مناسب و ۳۶/۳۹ درصد مناسب می‌باشند. قایومین و همکاران (۸) با استفاده از پارامترهای شیب، میزان نفوذپذیری، عمق آب زیرزمینی، کیفیت رسوبات آبرفتی و زمین‌شناسی هم‌چنین با استفاده از منطق فازی و بولین و سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS مناطق مناسب برای تغذیه آب‌های زیرزمینی در آبخوان ساحلی در حوضه آبخیز گاویندی جنوبی ایران را شناسایی کردند و نشان دادند که ۱۲ درصد و ۸ درصد از منطقه مورد مطالعه برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی به ترتیب مناسب و متوسط است. ارتباط بین ژئومورفولوژی و مناطق مناسب برای تغذیه آب‌های زیرزمینی نشان می‌دهد که اکثر این مناطق در مخروط افکنه قرار دارند و در مرحله شناسایی این واحدهای ژئومورفولوژیکی می‌تواند به‌عنوان مکان مناسب برای تغذیه مصنوعی در مناطق دارای ویژگی‌های مشابه مورد توجه قرار گیرد. سانایاکی و همکاران (۱۶) با استفاده از GIS و هم‌چنین با استفاده از فاکتورهای موثر شامل بارندگی، شیب، زهکشی، پوشش زمین، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و ویژگی‌های خاک مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی در منطقه آمابالاتوتتا (یک شهر ساحلی در جنوب سریلانکا) را شناسایی کردند و نشان دادند که ۴۹٪ از منطقه آمابالاتوتتا برای تغذیه مصنوعی مناسب

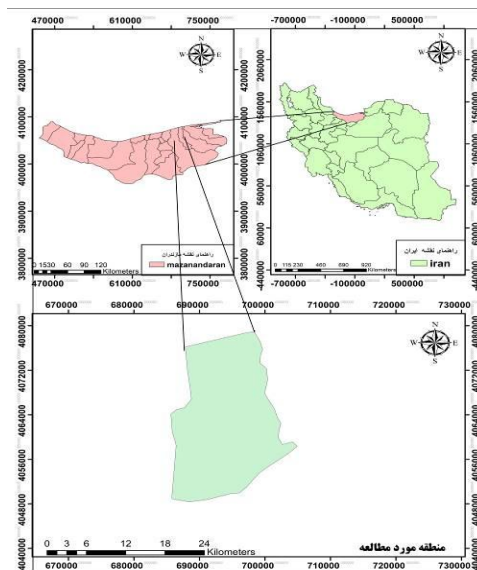
رشد سریع جمعیت و نیاز روزافزون به منابع آب در کشور، باعث بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و در نتیجه به‌هم‌خوردن تعادل طبیعی آبخوان شده و بیلان آب زیرزمینی در آبخوان‌های بسیاری از مناطق کشور را منفی ساخته است. از جمله روش‌های کاربردی برای تقویت و توسعه منابع آب که از قدیم در ایران مورد توجه بوده، تغذیه مصنوعی می‌باشد (۱۱). در اکثر نقاط کشور بارش‌ها اغلب ناچیز و گاه به‌صورت سیلاب‌های مخرب ظاهر می‌شوند (۱۵). تغذیه مصنوعی آبخوان به‌وسیله‌ی آب‌های سطحی مازاد و نابهنگام یکی از روش‌های مؤثر در راستای ایجاد تعادل آبخوان بوده که می‌تواند بخشی از آب‌های برداشتی را جایگزین کند (۶). تغذیه مصنوعی فرآیندی برای ذخیره‌کردن آب در داخل سازندهای نفوذپذیر به‌منظور استفاده مجدد از آن، با رژیم و یا کیفیتی متفاوت است (۳). GIS قادر به توسعه اطلاعات در لایه‌های مختلف موضوعی و یکپارچه‌سازی آن‌ها با دقت کافی و در یک دوره کوتاه از زمان است. استفاده از روش‌های AHP و GIS برای چنین تجزیه و تحلیل‌هایی ضروری است (۸) پوردشت بزرگ و همکاران (۱۲) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش AHP و هم‌چنین با استفاده از ۷ عامل موثر شیب، نفوذپذیری، کیفیت سیلاب، ضخامت آبرفت، قابلیت انتقال، تراکم زهکشی و کاربری اراضی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی منطقه آبیید سریشه را شناسایی کردند و به این نتیجه رسیدند که عرصه‌های با تناسب بالا برای اجرای تغذیه مصنوعی به‌روش پخش سیلاب اغلب در واحد ژئومورفولوژی مخروط افکنه و

از اهمیت موضوع دارد. هدف از انجام تغذیه مصنوعی در محدوده مورد مطالعه جلوگیری از افت سطح ایستابی و جلوگیری از پیشروی آب شور دریای خزر می‌باشد، البته انجام این گونه پروژه‌ها باعث جلوگیری از کاهش کیفیت آب زیرزمینی بر اثر برداشت بی‌رویه، جلوگیری از پیشروی آب شور، جلوگیری از هدر رفت رواناب‌های ناشی از آبراهه‌های اصلی و سیلابی منطقه مورد نظر و جلوگیری از فرسایش خاک می‌شود. با انجام این پروژه می‌توان منابع آبی منطقه را مدیریت نمود. در این پژوهش، برای شناسایی و اولویت‌بندی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی دشت تجن از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و GIS استفاده شده است.

### مواد و روش‌ها موقعیت منطقه

محدوده مطالعاتی دشت تجن در استان مازندران و بین دو رود نکا و تجن می‌باشد. این حوضه از شمال به دریای خزر، از جنوب جنوب به تپه‌های کم ارتفاع رشته کوه‌های البرز (بزرگراه ساری-نکا)، از شرق به رودخانه نکا رود و از غرب به رودخانه تجن متصل می‌باشد. از نظر موقعیت جغرافیایی بین  $26^{\circ} 33' 36''$  تا  $26^{\circ} 50' 53''$  شمالی و  $53^{\circ} 4' 53''$  تا  $53^{\circ} 13' 26''$  شرقی قرار دارد.

است. آمیخته و همکاران (۲) با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و همچنین با استفاده از ۹ پارامتر موثر که شامل زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، پوشش گیاهی، زهکشی، آبخوان، کیفیت آب، توپوگرافی، کاربری اراضی و بافت خاک مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی را در حوزه آبریز هامون جازموریان شناسایی کردند و نشان دادند که ۳٪ از کل منطقه برای تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی بسیار مناسب، ۳۱٪ مناسب، ۵۲٪ متوسط و ۱۴٪ نامناسب و ماه‌های اولیه سال به‌عنوان بهترین زمان برای اجرای طرح تغذیه مصنوعی است. اولین قدم در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، ایجاد یک نمایش گرافیکی از مساله می‌باشد که در سطح اول هدف، سطح دوم معیار و در سطح آخر گزینه‌ها نشان داده می‌شوند. پس از تجزیه و تحلیل مساله به روش AHP، عناصر سطوح مختلف به‌صورت دوتایی نسبت به هم مقایسه، سپس بر اساس میزان ارجحیت معیارها، ارزش‌گذاری صورت گرفته و بهترین پاسخ انتخاب می‌گردد. در نهایت برای اطمینان از جواب نهایی، سازگاری و ناسازگاری آن مورد آزمون قرار می‌گیرد (۵). پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی، این لایه‌ها در محیط Arc GIS 10.2 طبقه‌بندی و نقشه‌های آن‌ها تهیه شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که حدود ۴۵/۷۱ درصد از کل مساحت منطقه مناسب می‌باشد. مطالعات زیادی در این زمینه صورت گرفته که نشان



شکل ۱- محدوده مطالعاتی دشت تجن و موقعیت آن در نقشه ایران و مازندران  
Figure 1. The study area of Tajan Plain and its location on the map of Iran and Mazandaran

مشخص می‌کند. از روش‌های معتبری که در مهندسی ارزش (Value Engineering) بکار رفته و استنباط وزن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با تشکیل ماتریس مقایسات زوجی شاخص‌ها می‌باشد که توسط مادج (Mudge) ارائه شده است و این روش در سال ۱۹۹۴ توسط ساعتی (Saaty) توسعه یافته و یکی از جامع‌ترین

### روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

تصمیم‌گیری فرآیند انتخاب از بین موارد مختلف برای رسیدن به هدف می‌باشد. در واقع تصمیم‌گیری بررسی معیارها رسیدن به هدف و ارجحیت این معیارها نسبت به هم است. برای تصمیم‌های چند معیاره و شاخص‌های ترکیبی چندین روش وجود دارد که اهمیت نسبی آن‌ها را در تصمیم‌گیری

در این تحقیق تعیین وزن لایه‌های مربوط به معیارهای مختلف با استفاده از روش AHP به ترتیب زیر می‌باشد:

- ۱- تشکیل ساختار سلسله مراتبی
- ۲- طرح پرسش نامه جمع‌آوری نظرات کارشناسان و اساتید مختلف در مورد میزان اهمیت و ارزش هر کدام از معیارها نسبت به تعیین هدف با توجه به جدول ۹ کمیته ساعتی (Saaty)، جدول ۱ مقیاس ۹ کمیته ساعتی را نشان می‌دهد (۱).

سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است زیرا تکنیک امکان فرموله کردن مساله را به صورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مساله دارد. این فرآیند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیر معیارها دارد، علاوه بر این بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده، که قضاوت و محاسبات را آسان تر می‌کند.

جدول ۱- مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی (Saaty)

مقدار عددی	
۹	اهمیت برتری حداکثر
۸	اهمیت برتری خیلی زیاد تا حداکثر
۷	اهمیت برتری خیلی زیاد
۶	اهمیت برتری زیاد تا خیلی زیاد
۵	اهمیت برتری زیاد
۴	اهمیت متوسط تا زیاد
۳	اهمیت متوسط
۲	ارزش برتری یکسان تا متوسط
۱	دو فاکتور با ارزش برتری یکسان

$$A \times W = \lambda \times W \quad (۳)$$

در حالتی که ماتریس A سازگار باشد یک مقدار ویژه برابر n بوده (بزرگترین مقدار ویژه) و بقیه آن‌ها برابر صفر هستند.

$$\sum \lambda_i = n \quad (۴)$$

$$\lambda_{max} \geq n \quad (۵)$$

بنابراین در این حالت می‌توان نوشت:

$$A \times W = n \times W \quad (۶)$$

در حالتی که ماتریس مقایسه زوجی A ناسازگار باشد،  $\lambda_{max}$  کمی از n فاصله می‌گیرد که می‌توان نوشت:

$$A \times W = \lambda_{max} \times W \quad (۷)$$

پس از تشکیل ماتریس مقایسات زوجی بزرگترین مقادیر ویژه بردار  $A(\lambda_{max})$  با استفاده از معادله زیر تعیین می‌گردد.

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_j}{\lambda_{max}} \quad (۸)$$

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_j}{W_i} \quad (۹)$$

$a_{ij}$ : مقادیر ارزش داده شده در جدول ارزش‌ها در ستون‌های سطر i

$w_j$ : مقادیر ارزش محاسبه شده ماتریس ستونی w به دست آمده پس از تجزیه جدول ارزش‌ها A

i: شماره سطر کمترین مقدار از درایه‌های ماتریس ستونی W

۳- تشکیل ماتریس مقایسه زوجی معیارها

۴- محاسبه میانگین هندسی هر سطر از ماتریس مقایسه زوجی ( $b_{ij}$ )

$$b_{ij} = \left( \prod_{j=1}^i a_{ij} \right)^{1/k} \quad (۱)$$

$b_{ij}$ : میانگین هندسی هر سطر از ماتریس مقایسه زوجی

$a_{ij}$ : اهمیت معیار jام نسبت به معیار iام

۵- نرمالیزه کردن میانگین‌های هندسی حاصل از مرحله (۲)

$$w_i = \frac{b_{ij}}{\sum_{i=1}^k b_{ij}}$$

$w_i$ : وزن معیار iام

K: تعداد معیارهای تصمیم‌گیری

### بررسی نرخ ناسازگاری

یکی از مهم‌ترین مزیت‌های تکنیک تحلیل سلسله مراتبی، امکان بررسی سازگاری در قضاوت‌های انجام شده برای تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیر معیارها می‌باشد. وقتی اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر برآورد می‌شود احتمال ناهماهنگی در قضاوت‌ها وجود دارد. پس باید روشی را یافت تا میزان ناهماهنگی داورها را نمایان سازد. بدین منظور ضریب سازگاری ساعتی ( $CR^1$ ) که از تقسیم شاخص سازگاری ( $CI^2$ ) به شاخص تصادفی بودن ( $RI^3$ ) حاصل می‌شود، برآورد می‌گردد. چنانچه این ضریب کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد سازگاری در قضاوت‌ها مورد قبول است، در غیر این صورت باید در قضاوت‌های خود تجدید نظر شود. برای هر ماتریس مربعی A که در آن W و  $\lambda$  به ترتیب بردار ویژه و مقدار ویژه ماتریس باشند خواهیم داشت:

قضایوت در مورد ناسازگاری می‌باشد که نرخ ناسازگاری (I.R) نامیده می‌شود.

نرخ ناسازگاری نیز از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$I \cdot R = \frac{I \cdot I}{I \cdot I \cdot R} \quad (11)$$

### تهیه لایه‌های اطلاعاتی در GIS

برای انجام این پژوهش، نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱/۸۰۰۰۰، DEM ۳۰ متر و داده‌های آماری ۹ ساله (۱۳۸۷-۱۳۹۵) چاه‌های مشاهده‌ای و داده‌های آماری ۵ ساله (۱۳۹۰-۱۳۹۴) چاه‌های بهره‌برداری منطقه به‌عنوان ورودی لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز برای شناسایی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفت. بدین منظور ۶ لایه اطلاعاتی (شیب، زمین‌شناسی، بافت خاک، کاربری اراضی، ضخامت خاک خشک (بخش غیراشباع خاک و فاصله از آبراهه‌ها) منطقه مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.2 آماده گردید. سپس بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی، میزان تاثیرگذاری و وزن هر یک از پارامترهای شش‌گانه در نرم‌افزار Expert Choice 11.1 محاسبه گردید. برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی از تابع Weight Sum استفاده شد. در شکل (۲) مراحل انجام تحقیق به‌صورت شماتیک نشان داده شده است.

$W_i$ : کمترین مقدار ارزش از درایه‌های ماتریس ستونی W از آنجایی که  $\lambda_{max}$  همواره بزرگتر یا مساوی n است، چنانچه ماتریس از حالت سازگاری کمی فاصله بگیرد  $\lambda_{max}$  از n کمی فاصله خواهد گرفت. انحراف کمی در عناصر ماتریس A موجب تغییر ناچیزی در مقادیر ویژه  $\lambda$  و به‌خصوص  $\lambda_{max}$  می‌گردد. بنابراین تفاضل  $\lambda_{max}$  و n که  $(\lambda_{max} - n)$  می‌باشد، می‌تواند معیار خوبی برای اندازه‌گیری ناسازگاری ماتریس باشد. بدون شک مقیاس  $(\lambda_{max} - n)$  به مقدار n (طول ماتریس) بستگی داشته و برای رفع این وابستگی می‌توان مقیاس را به‌صورت زیر تعریف کرد که آن را شاخص ناسازگاری (I.I) می‌گویند:

$$I \cdot I = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (10)$$

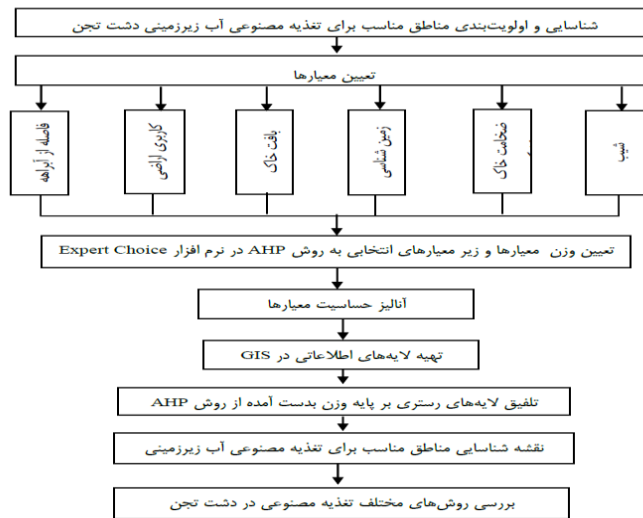
مقادیر شاخص ناسازگاری (I.I) را برای ماتریس‌هایی که اعداد آن‌ها کاملاً تصادفی انتخاب شده باشند محاسبه و آن را شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی (I.I.R) می‌نامند که مقادیر آن‌ها برای ماتریس‌های n بعدی مطابق جدول ۲ می‌باشد:

برای هر ماتریس حاصل تقسیم شاخص ناسازگاری برای ماتریس تصادفی (I.I.R) هم بعدش، معیار مناسبی برای

جدول ۲- شاخص ناسازگاری ماتریس‌های تصادفی

Table 2. Inconsistency index of random matrices

n	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
I.I.R	۰/۰۰	۰/۵۸	۰/۹۰	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹	۱/۵۱	۱/۴۸	۱/۵۶	۱/۵۷	۱/۵۹



شکل ۲- مراحل شناسایی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی با استفاده از روش AHP و GIS  
Figure 2. Identification of appropriate areas for artificial groundwater recharge using the AHP and GIS method.

### شیب

شیب عامل تاثیرگذار در سرعت رواناب بوده و باعث افزایش میزان فرسایش نیز می‌شود، بنابراین می‌توان گفت مناطق با شیب کم برای تغذیه مصنوعی مناسب‌ترند (۱۵). لذا

شناسایی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه به عوامل متعددی بستگی دارد. لذا در این تحقیق پارامترهای موثر زیر انتخاب و تجزیه و تحلیل شدند.

از نقشه زمین‌شناسی ۱/۸۰۰۰۰ تهیه‌شده توسط شرکت مهندسی مشاور آگستران سبز دشت استفاده شد. سپس در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.2 ژئورفرنس و پلی‌گون‌بندی شد. که دارای زیر معیارهای ذکرشده در جدول ۳ می‌باشد. از لحاظ نفوذپذیری سازند Q2ag (رسوبات تخریبی بستر شن و ماسه درشت دانه) دارای بیشترین اهمیت و سازند Q2bs (رسوبات باتلاقی گل و رس مرطوب) کمترین اهمیت را دارند (شکل ۳-ب).

در این مطالعه شیب‌های ۲-۰ درصد، ۵-۲ درصد و ۸-۵ درصد به ترتیب در بازه کلاسه خیلی مناسب، مناسب و متوسط طبقه‌بندی شد. نقشه شیب منطقه بر اساس مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر در محیط Arc GIS 10.2 با استفاده از ابزار Slope تهیه گردید (شکل ۳-الف).

#### نقشه زمین‌شناسی

سرعت نفوذ آب به درون زمین به میزان نفوذپذیری ذاتی سازندهای زمین‌شناسی بستگی دارد. یک آبخوان آبدار در یک سازند دارای شرایط ویژه شکل می‌گیرد (۱۵). در این تحقیق

جدول ۳- جنس رسوبات محدوده دشت تاجن

Table 3. Sediments in the plain of Tajan

اولویت	اختصار	جنس رسوبات	مساحت (%)
۱	Q2ag	رسوبات تخریبی بستر شن و ماسه درشت دانه	۱۵/۱۷
۲	Q2rtg	تراس‌های رودخانه‌ای گراول سست	۰/۷۴
۳	Q2fg	مخروط افکنه‌های رسوبی شن با مقداری ماسه سست	۳۶/۱۲
۴	Q2al	رسوبات رودخانه‌ای اخیر که در رودخانه‌ها و کانال‌ها تشکیل می‌شود.	۴/۷۰
۵	Q2ms	رسوبات خط ساحلی جدید	۱/۰۸
۶	Q2cp2	رسوبات دشتی که به سمت ساحل ریز دانه می‌شود.	۳۷/۱۰
۷	Q2of	رسوبات تخریبی سیلابی ماسه و سیلت و رس	۰/۷۳
۸	Q2bs	رسوبات باتلاقی گل و رس مرطوب	۴/۳۶

در تحقیق حاضر ابتدا نرمال بودن توزیع داده‌ها در محیط GIS با استفاده از ابزار Geostatistical Analyst بررسی شد. اگر توزیع داده‌ها نرمال نباشد از روش مجذور عکس فاصله‌ها (IDW) استفاده می‌شود. چنانچه توزیع داده‌ها نرمال باشد علاوه بر این روش، از روش کریجینگ و کوکریجنگ نیز بررسی و بهترین روش (با حداقل RMS) برای پهنه‌بندی پارامتر استفاده می‌شود (۱۸). نقشه ضخامت خاک خشک (بخش غیراشباع خاک) با استفاده از داده‌های برداشت‌شده از چاه‌های مشاهده‌ای دشت تاجن تهیه شد. نقشه ضخامت خاک خشک با استفاده از میانگین ۹ ساله (شهریور ماه (دوره کم آبی) ۱۳۸۷-۱۳۹۵) داده‌های سطح آب مربوط به ۳۷ چاه مشاهده‌ای و تعمیم آن به کل دشت با استفاده از الگوریتم درون‌یابی به روش IDW به دست آمد و در ۳ کلاس خیلی مناسب (۱۵-۲۰ متر)، متوسط (۱۵-۱۰ متر) و نامناسب (۱۰-۰ متر) طبقه‌بندی گردید (شکل ۳-ت).

#### فاصله از آبراهه

فاصله از آبراهه نقش بسیار موثری در شناسایی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی دارد. برای ایجاد حد فاصل مجاز از آبراهه، از ابزار Multiple Ring Buffer در محیط Arc GIS 10.2 استفاده شد که در شکل ۳-ج ارائه شده است.

#### بافت خاک

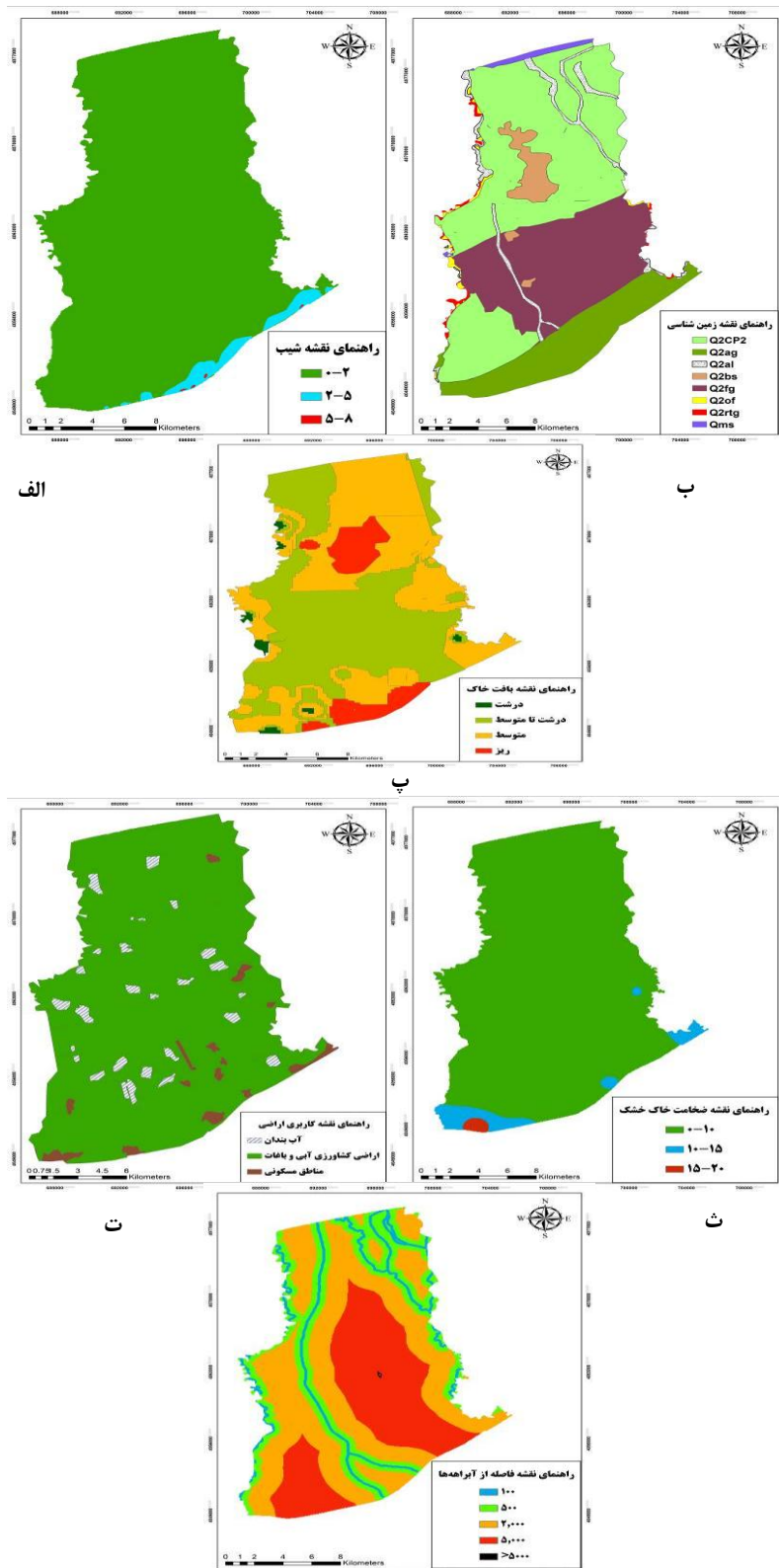
برای بدست آوردن لایه بافت خاک، از نقشه تهیه‌شده توسط شرکت مهندسی مشاور آگستران سبز دشت ساری استفاده شد. محدوده موردنظر از نقشه مذکور جدا شده و پلی‌گون‌بندی شد. در محدوده مورد مطالعه ۱۲ نوع بافت خاک وجود دارد، که به ۴ کلاس بافت درشت، بافت درشت تا متوسط، بافت متوسط و بافت ریز تقسیم شد (۱۷)، که در شکل ۳-پ ارائه شده است.

#### کاربری اراضی

برای تهیه لایه کاربری اراضی (شکل ۶)، از نقشه کاربری اراضی تهیه‌شده توسط اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری مازندران استفاده شد. نقشه مورد نظر در محیط GIS ژئورفرنس و پلی‌گون‌بندی شد. سپس به ۳ محدوده سطوح آبی (آب‌بندان‌ها)، اراضی کشاورزی آبی و باغات و مناطق مسکونی طبقه‌بندی گردید (شکل ۳-ت).

#### ضخامت خاک خشک (بخش غیر اشباع خاک)

از نظر تئوری هر چه عمق آبرفت یا رسوبات بیشتر باشد، میزان ذخیره آب زیرزمینی در آن نیز زیادتر می‌شود. در صورتی که سایر عوامل مناسب بوده ولی ضخامت آبرفت کم باشد آب وارده شده در آبرفت به سنگ بستر می‌رسد و کم کم آبرفت اشباع‌شده، از نفوذ بیشتر آب جلوگیری کرده و باعث ماندابی شدن عرصه می‌شود (۱۲).



شکل ۳- الف) نقشه شیب، ب) نقشه زمین‌شناسی، پ) نقشه بافت خاک، ت) نقشه کاربری اراضی، ث) نقشه ضخامت خاک خشک (بخش غیراشباع خاک)، ج) نقشه فاصله از آبراهه  
 Figure 3. A) slope map, B) Geology map, C) soil texture map, D) land use map, E) Unsaturated part of soil map, F) Distance from river map

## نتایج و بحث

در فرآیند شناسایی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی گزینه‌های مختلف (مناطق به‌طور کامل مناسب، مناسب، متوسط، نامناسب و به‌طور کامل نامناسب) برای رسیدن به مکان بهینه، ارزیابی صورت می‌گیرد تا بر اساس ارزش هر یک از معیارها (زمین‌شناسی، بافت خاک، شیب، کاربری اراضی، بخش غیراشباع خاک و فاصله از آبراهه)، مکان مناسب انتخاب شود. روند کار مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با مشخص کردن معیار، زیر معیار، گزینه‌ها و اولویت دادن به آن‌ها آغاز می‌شود (۴). اساس این فرآیند استفاده از مقایسه زوجی است که سبب سهولت در قضاوت و محاسبات می‌شود. پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز، از روش AHP برای وزن‌دهی به لایه‌ها استفاده گردید. در این روش عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر به‌صورت 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 تاثیرگذاری هر یک از پارامترهای در نظر گرفته شده برای شناسایی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی در نرم‌افزار Expert Choice محاسبه شد. با توجه به جدول ۴ در مورد شناسایی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی دشت تجن،

معیارهای فاصله از آبراهه و زمین‌شناسی و شیب به‌ترتیب با وزن نسبی ۰/۳۷۷، ۰/۵۹۶ و ۰/۱۹۸ از اهمیت بیشتری برخوردارند. در این راستا معیارهای بافت خاک، ضخامت خاک خشک (بخش غیراشباع خاک) و کاربری اراضی به‌ترتیب با وزن نسبی ۰/۱۰۵، ۰/۰۴۹ و ۰/۰۴۷ از اهمیت کمتری برای شناسایی مناطق مناسب تغذیه مصنوعی برخوردارند. همچنین زیر معیارهای ۲-۰٪، Q2ag، بافت درشت دانه، سطوح آبی، ۱۵-۲۰ متر و ۵۰۰-۱۰۰ متر به‌ترتیب با وزن نسبی ۰/۶۵۵، ۰/۳۶۶، ۰/۵۶۶، ۰/۷۳۳، ۰/۶۹۹ و ۰/۵۷۱ از اهمیت بیشتری برخوردارند. جدول (۴) وزن نهایی معیارها و زیر معیارها بدست آمده از نرم‌افزار Expert Choice را نشان می‌دهد. شاخص ناسازگاری برای پارامترها کمتر از ۰/۱ می‌باشد و نتایج قابل قبول است.

### آنالیز حساسیت معیارها

ارزش‌های بدست آمده برای هر یک از معیارها و زیرمعیارها مورد بررسی در روش تحلیل سلسله مراتبی، نشان می‌دهد که از بین معیارهای مورد نظر، معیار فاصله از آبراهه از اولویت یا به عبارتی از حساسیت بالاتری برخوردار می‌باشد. در همین راستا معیار کاربری اراضی کمترین حساسیت را در مدل دارد. نتایج حاصل از آنالیز حساسیت معیارها در جدول (۵) و شکل (۴) آورده شده است.

جدول ۴- امتیاز واحدهای نقشه‌های پایه

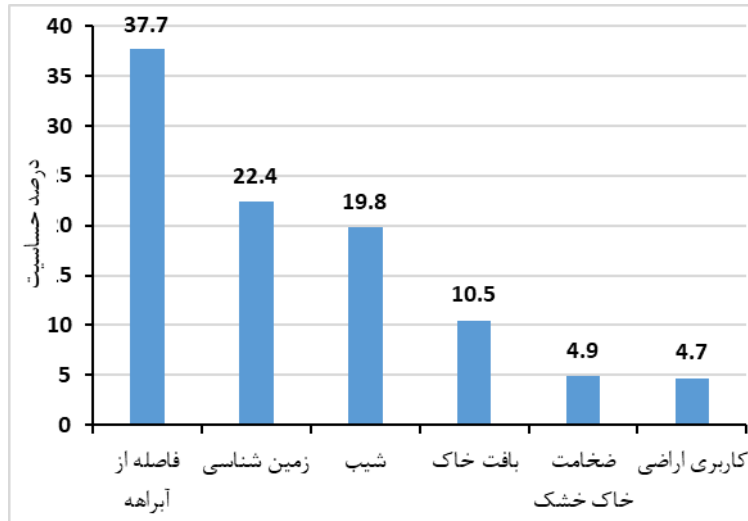
Table 4. Score base units

پارامتر	بردار ویژه	تناسب کلاسه	بازه کلاسه	مساحت بر حسب درصد	بردار ویژه	نرخ ناسازگاری
شیب	۰/۱۹۸	خیلی مناسب	۰-۲ درصد	۹۷/۲۰	۰/۶۵۵	۰/۰۲
		مناسب	۲-۵ درصد	۲/۷۵	۰/۲۵۰	
		متوسط	۵-۸ درصد	۰/۰۵	۰/۰۹۵	
زمین‌شناسی	۰/۲۲۴	متوسط	Q2ag	۱۵/۱۷	۰/۳۶۶	۰/۱۵
		خوب	Q2rtg	۰/۷۴	۰/۱۷۸	
			Q2fg	۳۶/۱۲	۰/۲۳۵	
			Q2al	۴/۷۰	۰/۰۸۳	
		متوسط	Q2ms	۱/۰۸	۰/۰۵۶	
			Q2cp2	۳۷/۱۰	۰/۰۴۲	
		کم	Q2of	۰/۷۳	۰/۰۲۵	
بافت خاک	۰/۱۰۵	خیلی کم	Q2bs	۴/۳۶	۰/۰۱۵	۰/۰۷
		خیلی مناسب	درشت دانه	۱/۱۰	۰/۵۶۶	
		مناسب	درشت تا متوسط	۴۸/۶۵	۰/۲۶۸	
		متوسط	متوسط	۴۱/۵۴	۰/۱۱۰	
کاربری اراضی	۰/۰۴۷	نامناسب	ریز	۸/۶۹	۰/۰۵۵	۰/۰۹
		خیلی مناسب	سطوح آبی	۳/۷۳	۰/۷۳۳	
		متوسط	اراضی کشاورزی آبی و باغات	۹۳/۶۱	۰/۱۹۹	
ضخامت خاک خشک	۰/۰۴۹	نامناسب	مناطق مسکونی	۲/۶۶	۰/۰۶۸	۰/۰۹
		خیلی مناسب	۱۵-۲۰ متر	۰/۵۳	۰/۶۹۹	
		متوسط	۱۰-۱۵ متر	۳/۸۹	۰/۳۳۷	
		نامناسب	۰-۱۰ متر	۹۵/۵۸	۰/۰۶۴	
		خیلی مناسب	۱۰۰-۵۰۰ متر	۱۵/۱۸	۰/۵۷۱	
فاصله از آبراهه	۰/۳۷۷	مناسب	۵۰۰-۲۰۰۰ متر	۳۹/۰۰	۰/۲۷۷	۰/۰۸
		متوسط	۲۰۰-۵۰۰ متر	۴۵/۷۸	۰/۱۰۷	
		نامناسب	>۵۰۰ متر	۰/۰۴	۰/۰۴۵	

جدول ۵- نتایج حاصل از آنالیز حساسیت معیارهای مورد نظر

Table 5. The results of sensitivity analysis of the desired criteria

معیارهای حساس	معیارهای غیر حساس
فاصله از آبراهه	کاربری اراضی
زمین شناسی	ضخامت خاک خشک
شیب	
بافت خاک	



شکل ۴- نمودار آنالیز حساسیت معیارهای مورد استفاده در شناسایی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی  
Figure 4. Sensitivity analysis of the criteria used to identify suitable areas for artificial nutrition

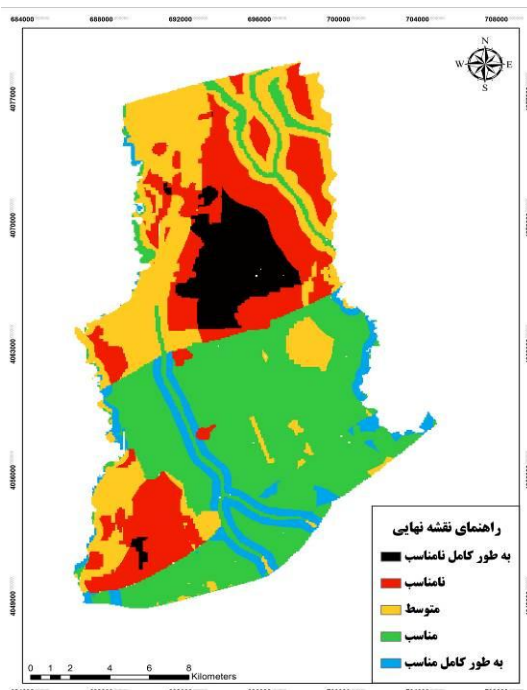
با نتایج مطالعات انجام شده در این زمینه (رامشت و عامری (۱۴)، رحیمی و همکاران (۱۳) و رضانی مهریان و همکاران (۱۵)) هم‌خوانی دارد.

$$S.I = [(0.377) * (\text{Distance from river})] + [(0.224) * (\text{Geology})] + [(0.198) * (\text{Slope})] + [(0.105) * (\text{Soil texture})] + [(0.049) * (\text{Unsaturated part of soil})] + [(0.047) * (\text{Land use})]$$

#### تلفیق لایه‌های اطلاعاتی

با اعمال وزن نهایی پارامترهای ورودی در GIS با استفاده از فرمول ۱۲، پتانسیل مناطق مختلف برای تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی مشخص شد و در ۵ کلاس به‌طور کامل نامناسب، نامناسب، متوسط، مناسب و به‌طور کامل مناسب طبقه‌بندی شدند که در شکل ۵ آورده شده است. نتایج حاصل از این مطالعه در شناسایی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی مبنی بر توانایی تلفیق GIS و AHP





شکل ۵- نقشه نهایی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی با استفاده از روش AHP  
Figure 5. The final map of suitable areas for artificial groundwater recharge using the AHP method

داده شدند که در مجموع مساحتی بالغ بر ۱۵۲۹۷ هکتار از کل مساحت منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود. سایر مناطق نیز با توجه به ارزش وزنی طبقه‌بندی شد که مساحت آن‌ها در جدول (۶) ذکر شده است.

بر این اساس مناطقی که دارای بیشترین ارزش وزنی هستند را به‌عنوان مناطق به‌طور کامل مناسب و مناسب به ترتیب با مساحت ۲۳۱۳ و ۱۲۹۸۴ هکتار از مساحت کل دشت برای اجرای طرح تغذیه مصنوعی در دشت تجن تشخیص

جدول ۶- مساحت کلاس‌های مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی با استفاده از روش AHP  
Table 6. Area of classes suitable for artificial groundwater utilization using the AHP method

درصد مساحت	مساحت (هکتار)	طبقات	ردیف
۸/۱۴	۲۷۲۴	به‌طور کامل نامناسب	۱
۲۱/۰۰	۷۰۲۸	نامناسب	۲
۲۵/۱۵	۸۴۱۸	متوسط	۳
۳۸/۸۰	۱۲۹۸۴	مناسب	۴
۶/۹۱	۲۳۱۳	به‌طور کامل مناسب	۵

### بررسی روش‌های مختلف تغذیه مصنوعی در دشت تجن

با توجه به اینکه امکان استفاده از روش‌های مختلف تغذیه مصنوعی در یک منطقه وجود ندارد، لازم است میزان کاربری هر یک از روش‌ها برای شرایط طبیعی و جغرافیایی خاص و برای رودخانه‌هایی با رژیم هیدرولوژی متفاوت مورد بررسی قرار گیرد و سپس با توجه به مشخصات منطقه مورد مطالعه، روش مناسب اتخاذ گردد. در این راستا روش‌های مختلف تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی دشت تجن مطابق جدول (۷) مورد بررسی قرار می‌گیرد.

با توجه به نقشه به‌دست آمده، مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی، بیشتر در سازندهای (Q2ag, Q2cp2, Q2al, Q2rtg) قسمت‌های جنوبی و حواشی آبراهه‌های دشت تجن قرار گرفته است. هم‌چنین در این منطقه به‌علت افت سطح آب، ضخامت خاک خشک زیاد بوده و حجم ذخیره آبخوان بیشتر است. با توجه به وجود مناطق مسکونی در منطقه مورد مطالعه، بیشترین وسعت مناطق مناسب شناسایی شده به‌ترتیب در سطوح آبی و اراضی کشاورزی آبی واقع شده است.

به‌طور کلی مناطق بخش جنوبی دشت تجن از قابلیت انتقال و آب‌گذری بالایی برخوردار است و بدین لحاظ مناطق مناسب تعیین‌شده منطبق بر این نواحی هستند.

جدول ۷- امکان استفاده از روش‌های مختلف تغذیه مصنوعی در دشت تجن

Table 7. Possibility of using different artificial feeding methods in Tajan Plain

نوع روش	توضیحات	امکان استفاده
سد لاستیکی	هدف اصلی از احداث این سد جلوگیری از تداخل آب شور دریای خزر و استفاده از دبی پایه رودخانه و در نتیجه تامین آب زراعی دشت مجاور است.	وجود دارد
حوضچه‌های تغذیه	با توجه به با ارزش بودن اراضی منطقه امکان ایجاد حوضچه وجود ندارد ولی آب بندان‌های موجود در دشت را می‌توان به‌عنوان بزرگترین حوضچه‌های تغذیه مصنوعی آب زیر زمینی در نظر گرفت.	وجود دارد
پخش سیلاب	یکی از بهترین روش‌های تغذیه مصنوعی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در فصل زراعی با انتقال آب از رودخانه و پخش آن در اراضی شالیزاری و ماندابی کردن زمین‌ها این کار امکان پذیر است.	وجود دارد
بستر رودخانه	دانه درشت بودن بستر رودخانه تجن و وجود چین خاصیتی در اعماق بستر باعث افزایش نفوذپذیری و در نتیجه انتقال بیشتر آب رودخانه تجن به آبخوان را منجر خواهد شد.	وجود دارد
نهر یا کانال	این روش برای مناطق ناهموار که امکان ایجاد حوضچه تغذیه مصنوعی وجود نداشته باشد و همچنین آب نسبتاً صاف دارند، استفاده می‌گردد.	وجود ندارد
سطحی	تلفات آبیاری مازاد شامل نفوذ و تبخیر می‌باشد، بسته به نوع کشت و بافت خاک، بخش زیادی از آب آبیاری در خاک نفوذ می‌کند و باعث تغذیه آبخوان می‌شود. به‌دلیل ناچیز بودن هزینه‌های این روش، می‌توان از این نوع سیستم در فصل‌های غیرزراعی (زمستان) برای افزایش نفوذ سطحی استفاده کرد.	وجود دارد
وجود شبکه آبیاری	این روش در مواقعی که در اراضی کشاورزی کشت صورت نمی‌گیرد، خصوصاً در فصل زمستان، با استفاده از شبکه آبیاری که نیاز به صرف هزینه برای آماده سازی آن نیست، تغذیه مصنوعی صورت می‌گیرد.	وجود دارد
استفاده توام از چاه و حوضچه در حواشی رودخانه	زمانی که مشکلات ناشی از تغذیه مستقیم آبخوان توسط لوله کمتر باشد، می‌توان از چاه‌های قلوه‌سنگی استفاده کرد که با قطر نسبتاً زیاد حفر شده و تا رسیدن به لایه نفوذپذیر ادامه می‌یابد، سپس توسط مواد درشت دانه پر می‌شود. به این طریق ارتباط هیدرولیکی بین سفره و سطح زمین فراهم می‌گردد. چنین چاه‌هایی را می‌توان طبق نقشه هم ایزو پتانسیل و برای جریان آب زیرزمینی، در مناطقی که رودخانه نقش تغذیه دارد، با احداث بند انحرافی و ایجاد چندین چاه دهانه گشاد در اطراف رودخانه، آبخوان را تغذیه نمود.	وجود دارد
چاه تزریق	این روش نیاز به تصفیه خانه برای گرفتن مواد جامد آب و کلر زنی برای از بین بردن مواد بیولوژیکی و جلوگیری از مسدود شدن منافذ چاه و افراد فنی بوده که هزینه‌های آن بیش از سایر انواع تغذیه می‌باشد. ضمناً این روش بیشتر برای سفره های تحت فشار استفاده می‌گردد.	وجود ندارد
زیرزمینی	با توجه به این که هدف از انجام این پژوهش تغذیه لایه آزاد می‌باشد، پس انجام این روش جزء اهداف نمی‌باشد.	
تغذیه القایی	این روش در مناطقی که بخش اشباع سفره آب زیرزمینی، ارتباط هیدرولیکی مستقیم با رودخانه داشته عملی می‌باشد.	وجود دارد

مناسب ۳۸/۸۰ درصد، اراضی متوسط ۲۵/۱۵ درصد، اراضی نامناسب ۲۱ درصد و اراضی به‌طور کامل نامناسب ۸/۱۴ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص می‌دهند. این مناطق منطبق بر رسوبات آبرفتی درشت دانه و نهشته‌های رودخانه‌ای است که تاثیر بسزایی در تغذیه آبخوان نیز دارد و در حواشی رودخانه و بخش جنوبی دشت تجن قرار گرفته‌اند. مهم‌ترین عامل محدودیت در اراضی باکلاس به‌طور کامل نامناسب، مربوط به زمین‌شناسی منطقه و فاصله از آبراهه است که بیشتر در بخش شمالی دشت تجن واقع‌اند.

استفاده از قابلیت GIS و AHP در تعیین مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی می‌تواند به‌عنوان یک راه‌حل کارآمد در بهبود وضعیت منابع آب منطقه پیشنهاد شود. به‌طوری‌که در این تحقیق با بررسی روش‌های مختلف تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی، احداث سد لاستیکی، توسعه شبکه‌های آبیاری و استفاده از آب‌بندان‌های موجود، در منطقه می‌تواند به‌عنوان راه‌حل‌های مناسب برای جلوگیری از تداخل آب شور و شیرین و بالابردن سطح تراز آب شیرین منطقه مورد استفاده قرار گیرند.

با بررسی روش‌های تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی در جدول ۷ احداث سد لاستیکی بر روی رودخانه تجن و انجام آبیاری مازاد در فصل غیرزراعی و همچنین توسعه شبکه آبیاری در محدوده مورد مطالعه می‌تواند توصیه شود. با توجه به نزدیکی منطقه مطالعاتی به خط ساحلی دریای خزر احداث سد لاستیکی با جلوگیری از تداخل آب شور و شیرین در دشت تجن می‌تواند باعث بهبود کیفیت آب زیرزمینی و بالا آمدن سطح تراز آب زیرزمینی گردد. همچنین عملیات احداث سد لاستیکی در حوضه‌های مشابه (۱۰) انجام شده که باعث بهبود وضعیت منابع آب زیرزمینی در این مناطق شده است.

در این پژوهش عوامل موثر از جمله شیب، زمین‌شناسی، بافت خاک، ضخامت خاک خشک، کاربری اراضی و فاصله از آبراهه منطقه مورد مطالعه، بررسی شد و لایه‌های ایجاد شده در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.2 از لحاظ تناسب برای تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی طبقه‌بندی شدند. در نهایت به کمک GIS و تکنیک تحلیل سلسله مراتبی، نقشه پهنه‌بندی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی آبخوان تهیه شد. نتایج نشان می‌دهد که اراضی به‌طور کامل مناسب ۶/۹۱ درصد و اراضی

## منابع

1. Akbar pour, A., A. Hkashei Siviky, A. Keshvarz and H. Froqi far. 2015. Determination of the Appropriate Sites to Rain Water Harvesting using Analysis Hierarchical Process (AHP). *Journal of Watershed Management Research*, 12(6): 65-73 (In Persian).
2. Amineh, Z.B.A., S.J. Hashemian and A. Magholi. 2017. Integrating Spatial Multi Criteria Decision Making (SMCDM) with Geographic Information Systems (GIS) for delineation of the most suitable areas for aquifer storage and recovery (ASR). *Journal of Hydrology*, 551: 577-595 (In Persian).
3. Bouwer, H. 2002. Artificial recharge of groundwater: systems, design and management. *Hydrogeology Journal*, 10: 121-142.
4. Chang, K.F., C.M. Chiang and P.C. Chou. 2007. Adapting aspects of GBTool searching for suitability in Taiwan. *Building and Environment*, 42(1): 310-316.
5. Chen, Y.W. 2001. Implementing an analytical hierarchy process by fuzzy integral. *International Journal of Fuzzy Systems*, 3(3): 493-502.
6. Dadvocalaei, A., J. Samani and J.M. Sarvaryan. 2016. Determine the best place to implement an artificial groundwater pond design using two methods of boolean and AHP. *The 15<sup>th</sup> Hydraulic Conference of Iran*, 1-11 (In Persian).
7. Dey, P.K. and E.K. Ramcharan. 2008. Analytic hierarchy process helps select site for limestone quarry expansion in Barbados. *Journal of Environmental management*, 88(4): 1384-1395.
8. Ghayoumian, J., B. Ghermezcheshme, S. Feiznia and A.A. Noroozi. 2005. Integrating GIS and DSS for identification of suitable areas for artificial recharge (case study Meimeh Basin, Isfahan) *Environmental Geology*, 47(4): 493-500.
9. Jalalvand, A., N. Kalantari and M.R. Keshavarzi. 2006. Locating suitable sites for artificial groundwater recharge using remote sensing and GIS. *10th Iranian Geological Society Conference*. Tehran, Geological Society of Iran, Tarbiat Modares University, 89-96 (In Persian).
10. Madadi, M.R. and S. Yakhkeshi. 2017. Study of Types of Rubber Dams and Their Role in Water Resources Development. *First National Conference on Coastal Water Resources Management*, 1-11 (In Persian).
11. Ministry of Energy. 2014. Guide to study the effects of artificial nutrition plan implementation on aquifer status, Water and Waste Water Department, Engineering Office and Technical Criteria, 156.
12. Pour dasht bozorg, N.M., R. Servati, P. Kerdevani and S. Shayan. 2013. Selection of Artificial Feeding Fields Using Flood Dispersal Method Using AHP Method in GIS Environment (Case Study of Abed-Sarbisheh Gotvand Region), 38(10): 93-108.
13. Rahimi, M., K. Solaimani, K.H. Babaei and J. Zandi. 2016. Site Selection of Suitable Areas for Artificial Groundwater Recharge Using Analytical Hierarchical Processing (AHP) in GIS: A Case Study: Dehgolan Plain. *International Bulletin of Water Resources and Development*, 4(12): 84-95 (In Persian).
14. Ramesht, M.H. and A.R. Arab Ameri. 2013. Underground waterfall zonation using AHP method and GIS technique. *Geography and Planning Scientific Journal*, 45(17): 69-96 (In Persian).
15. Ramezani mehrryan, M., B. Malek Mohammady, H.R. Jafari and Y. Rafiey. 2016. Locating Artificial Nutrition Groundwater Operations Using Multi-Criteria Decision Making and Geographic Information System (Case Study: Hormozgan Province, Shamil Plain and Aksakara Plain). *Iran Watershed Management Science and Engineering*, 14(5): 1-10 (In Persian).
16. Senanayake, I.P., D.M. Dissanayake, B.B. Mayadunna and W.I. Weerasekera. 2016. An approach to delineate groundwater recharge potential sites in Ambalantota, Sri Lanka using GIS techniques. *Geoscience Frontiers*, 7(1): 115-124.
17. Sheikh Zadeh, R., A. Nohegar and R. Mahdavi. 2014. Locating suitable areas for artificial nutrition of groundwater aquifers using Analytical Hierarchy Process (AHP) and Geographic Information System (GIS) (Case Study: Sarchahan Plain Hormozgan Province). *18<sup>th</sup> Iranian Geological Society*. Tehran, Tarbiat Modares University, 1-11 (In Persian).
18. Zeraei, A.R. and M.J. Amiri. 2016. Assessment of spatial variations and zoning of drinking water quality and agriculture using geomagnetic techniques and GIS, 4: 505-516 (In Persian).

## Identification and Prioritization of Suitable Areas for Artificial Nutrition of Groundwater using GIS and AHP Method (Case Study: Tajan Plain)

Ali Amrovani<sup>1</sup>, Ali shahnazari<sup>2</sup>, Ramin Fazloul<sup>3</sup> and Seyed Mehdi Emadi<sup>4</sup>

---

1- M.Sc. Student, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

2- Associate Professor, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources  
(Corresponding author: aliponh@yahoo.com)

3- Associate Professor, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources

4- Director of Economic Planning and Economic Research, Mazandaran Regional Water Company, Sari

Received: August 1, 2018

Accepted: October 31, 2018

---

### Abstract

In the coastal region, reduction of groundwater is one of the most important problems. Excessive exploitation from groundwater is one of the main effective reasons that lead to the progress of saline water, especially in seasons with low precipitation. Therefore, at the current research, identification of suitable areas for artificial groundwater recharge in the Tajan plain (with an area of approximately 33467 hectares), was conducted. For this purpose, the necessary maps including land use, geology, gradient, soil texture, dry soil thickness (non-saturated soil part) and distance from the waterway were prepared. Then the final weight of criteria and sub-criteria were determined by using AHP method; after that, by using GIS software, the mentioned maps were combined and finally the appropriate areas were identified and prioritized. Then the different methods of artificial recharging in study area were evaluated. According to the results, 6.91, 38.80, 25.15, 21 and 8.14 percent of total studied area were completely appropriate, appropriate, normal, inappropriate and completely inappropriate for artificial recharging respectively. Because of the short distance between study area and coastal region, some options like flood spreading and construction of rubber dam is suggested to artificially recharge of groundwater and to prevent of the saline water's advance.

**Keywords:** Distance from the waterway, Rubber dam, Zonation