

# بررسی تاثیر برخی شاخصهای کیفیت آب زیرزمینی بر بیابان‌زایی اراضی دشت سگزی اصفهان با استفاده از Bayesian Belief Networks

عبدالحسین بوعلی<sup>۱\*</sup>، رضا جعفری<sup>۲</sup>، حسین بشری<sup>۲</sup>

چکیده

این مقاله با هدف بررسی شدت بیابان‌زایی در دشت سگزی واقع در بخش شرقی شهرستان اصفهان، با توجه به معیار کیفیت آب زیرزمینی مورد استفاده در مدل MEDALUS انجام شد. شبکه‌های باور بیزین (BBNs) نیز برای تبدیل مدل MEDALUS به یک مدل پیش‌بینی کننده که قابلیت نشان دادن روابط علت و معلولی را داراست مورد استفاده قرار گرفت. با برداشت داده‌های ۱۲ حلقه چاه آب زیرزمینی در منطقه (۱۳۹۱-۱۳۹۲) و استفاده از تکنیک‌هایی نظیر کریجینگ و معکوس فاصله وزنی، نقشه تغییرات مکانی داده‌های کیفیت آب شامل میزان کلر، نسبت جذب سدیم، هدایت الکتریکی، مجموع مواد محلول در آب و پی‌اچ و همچنین میزان افت سطح آب بصورت پیوسته در محیط GIS ایجاد گردید. اثرات تغییرات شاخص‌های کیفیت آب بر شدت بیابان‌زایی منطقه با انجام تجزیه و تحلیل‌های حساسیت سنجی و بررسی سناریوهای مختلف در مدل BBNs انجام شد. با توجه به نتایج حاصل از مدل MEDALUS به دلیل کیفیت پایین آب‌های زیرزمینی، بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه در کلاس شدید طبقه‌بندی شد. تجزیه و تحلیل حساسیت هر دو مدل نشان داد که افت سطح آب، وضعیت یون کلرید و شرایط هدایت الکتریکی آب‌های منطقه به عنوان مهم‌ترین پارامترهای دخیل در بیابان‌زایی منطقه از لحاظ شرایط آب‌های زیرزمینی بودند. ضریب تبیین بین خروجی مدل MEDALUS و BBNs، ۰/۶۳ بدست آمد که در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار بود. این نتایج نشان داد که استفاده از مدل BBNs در ارزیابی بیابان‌زایی بخوبی می‌تواند علم اطمینان از نتایج ارزیابی را به مدیران نشان داده و آنها را در تصمیم‌گیری در مورد روش‌های مناسب مدیریت اراضی یاری نماید.

کلمات کلیدی: مدل‌وس، شبکه‌های باور بیزین، کیفیت آب، آنالیز حساسیت

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Hossien.boali@yahoo.com

بیابان‌زایی فرایند طبیعی و یا منوط به فعالیت‌های بشری است که منجر به تغییرات بدون بازگشت در شرایط خاک و رستنیهای یک منطقه می‌شود و شرایط منطقه را به سمت خشکی بیشتر پیش برده و باعث کاهش پتانسیل تولید کنندگی منطقه می‌شود (۶). در حال حاضر بیابان‌زایی معضلی گریبان‌گیر برای بسیاری از کشورهای جهان از جمله کشورهای در حال توسعه می‌باشد. جهت مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح برای جلوگیری از بیابان‌زایی، شناخت عوامل، شاخص‌ها و معیارهای بیابان‌زایی در مناطق تحت تاثیر این پدیده ضرورت دارد. محدودیت منابع آبی، کاهش کیفیت آب و بهره‌برداری بی‌رویه سبب شده که تخریب منابع آب زیرزمینی همراه دیگر فرآیندها از جمله اصلی‌ترین عوامل بیابان‌زایی شناخته‌شوند. استفاده از آب‌های با کیفیت نامناسب یکی از عوامل موثر بر شوری خاک و گسترش بیابان‌زایی می‌باشد. تاثیر آب‌های زیرزمینی در روند بیابان‌زایی یک منطقه مانند شمشیری دو لبه است. افزایش و کاهش سطح آب‌های زیرزمینی در هر دو حالت باعث بیابانی شدن بعضی از مناطق می‌گردد (۱۸). کمبود آب زیرزمینی در یک ناحیه (بطور مثال دشت‌های سگزی و مهران) عاملی اساسی در افزایش روند بیابان‌زایی (Desertification) است و با افت سطح سفره‌های آب زیرزمینی، بیابانی شدن شتاب بیشتری به خود می‌گیرد (۱۴). افزایش بی‌رویه‌ی آب‌های زیرزمینی نیز مانند بالا آمدن سطح آب زیرزمینی در یک ناحیه (بطور مثال دشت عباس دهلران) نیز می‌تواند بطور مقطعی موجب رشد اقتصادی و بهبود وضعیت منابع آب منطقه شود اما به مرور زمان با کاهش میزان تهویه خاک اگر شرایط ماندابی ادامه داشته باشد می‌تواند در برخی موارد باعث بیابانی شدن اراضی شود (۱۴). با توجه به اینکه یکی از تعاریف بیابانی شدن، کاهش قابلیت‌های اراضی یک منطقه است، چنانچه سطح آب آن قدر بالا آید که زمین‌ها باتلاقی شوند، در این صورت با وجود آب فراوان بیابان‌زایی در آن رخ خواهد داد (۱). جهت پی بردن به نقش عوامل موثر بر بیابان‌زایی و پتانسیل بیابان‌زایی تحقیقات زیادی انجام شده که حاصل آن ارائه مدل‌های مختلف بیابان‌زایی است. مدل مدالوس (Mediterranean Desertification and Land Use) از جمله مدل‌هایی است که به نحو وسیعی در ارزیابی بیابان‌زایی در کشورهای مختلف و از جمله ایران استفاده شده است (۸ و ۳). تاکنون مطالعات زیادی برای بررسی تاثیر شرایط آب زیرزمینی بر پدیده بیابان‌زایی با استفاده از مدل مدالوس صورت گرفته است. سیهر و همکاران (۱۳۸۷) در بررسی روش مدالوس به منظور ارائه یک مدل منطقه‌ای برای ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی، برای معیار وضعیت آب‌های زیرزمینی از شاخص‌های میزان کلر، هدایت الکتریکی، سطح ایستایی آب زیرزمینی و نسبت جذب سدیم استفاده کردند. آنها در بررسی خود به این نتیجه رسیدند که از لحاظ کیفیت آب‌های زیرزمینی، ۳۸ درصد از منطقه در وضعیت متوسط، ۹ درصد در کلاس

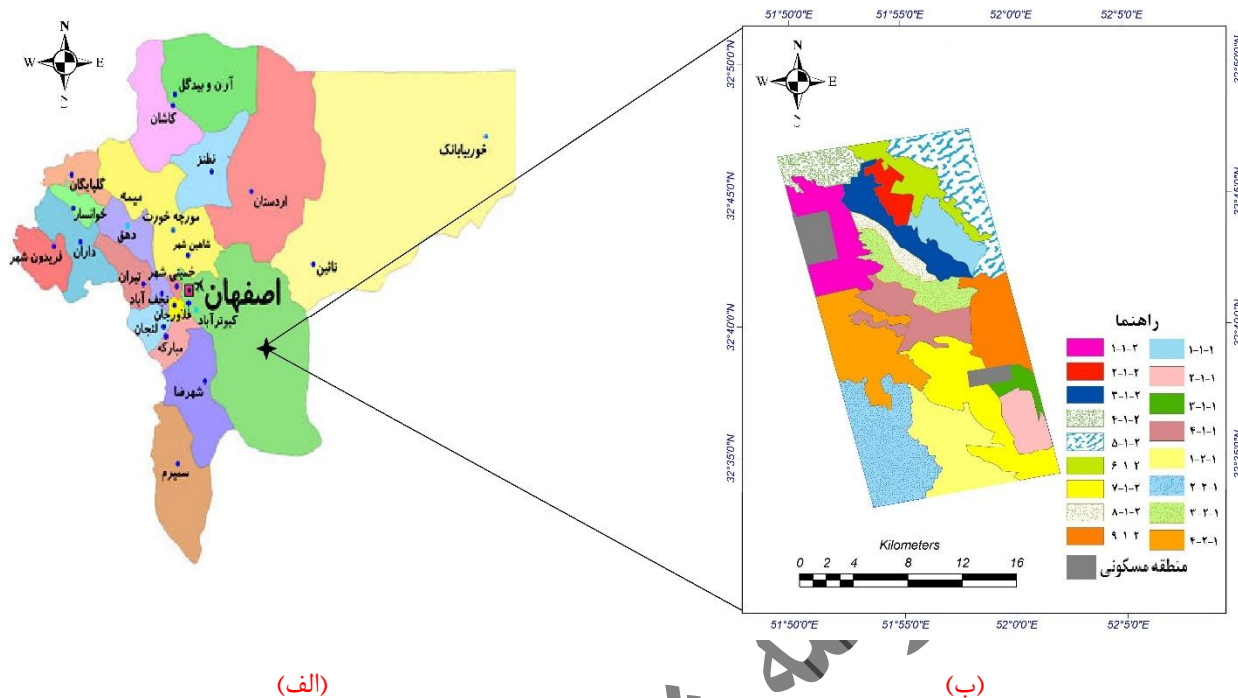
وضعیت مناسب و ۵۳ درصد از منطقه در وضعیت نامناسب قرار داشتند (۱۱). خسروی (۱۳۸۳) برای ارزیابی بیابان‌زایی در کاشان با استفاده از مدل مدالوس، برای معیار تخریب منابع آب از شاخص‌های افت آب زیرزمینی، میزان کلر، شوری آب، کمبود منابع آب، بالا آمدگی سطح آب زیرزمینی و شاخص بحران آب استفاده کرد و به این نتیجه رسید که ۴۰/۳ درصد از کل منطقه در کلاس شدید تخریب منابع آب و ۵۹/۷ درصد در کلاس خیلی شدید قرار دارد و همچنین شاخص بحران آب را به عنوان موثرترین عامل در افزایش شدت بیابان‌زایی منطقه معرفی کرد (۱۰). بدلیل اینکه ترکیب عوامل مختلف اکولوژیکی می‌تواند تاثیر متفاوتی بر روند بیابان‌زایی داشته باشد مدل‌هایی نظیر مدل مدالوس نمی‌توانند عدم اطمینان ناشی از این موارد را در نظر بگیرند و به طور قطعی بیان می‌دارند که تحت یک سناریوی مشخص شرایط بیابان‌زایی در چه کلاسی قرار دارد. این مدل‌ها با استفاده از امتیازدهی به شاخص‌های مختلف به طور مشخص وضعیت بیابان‌زایی را در یک کلاس (مناسب یا نامناسب) قرار می‌دهند. همانطور که اشاره شد به دلیل پیچیدگی‌های مکانی و زمانی و تعدد عوامل موثر بر شرایط اکولوژیکی منطقه نمی‌توان با اعتماد کامل به نتایج بدست آمده نگاه کرد و جهت مدیریت استفاده نمود. شبکه‌های باور بیزین (Bayesian Belief Networks) روشی است که این امکان را فراهم می‌سازد که عدم اطمینان حاصل از مدل‌های برآورد بیابان‌زایی را به مدیران نشان دهد (۲۸ و ۲۱). ساختار یک شبکه بیزی در واقع یک نمایش نموداری از اثرات علت و معلولی متغیرهایی است که باید مدل شوند و علاوه بر این که کیفیت **معادله** بین متغیرهای مسئله را نشان می‌دهند، نحوه شدت تاثیر بین این متغیرها را نیز به نمایش می‌گذارد که به صورت عددی، از توزیع احتمال مشترک آن‌ها استفاده می‌کند (۲۰). شبکه‌های باور بیزین شامل تعدادی گره که نشان‌دهنده متغیرهای موجود و موثر در سیستم و یک سری **روابط** که به یکدیگر متصل شده‌اند می‌باشند. نحوه تعامل این متغیرها در سیستم بوسیله روابط و جداول احتمال شرطی تعیین می‌گردد (۱۸). شبکه‌های باور بیزین در اصل به عنوان یک ابزار، برای تجزیه و تحلیل استراتژیهای تصمیم‌گیری تحت شرایط عدم اطمینان توسعه داده شده است (۹ و ۲۷). از جمله مطالعاتی که در زمینه بررسی آب زیرزمینی با استفاده از شبکه‌های باور بیزین صورت گرفته می‌توان به مهاجرانی و همکاران (۱۳۹۰) اشاره کرد که جهت مدیریت **کمی** آبخوان در دشت کردکوی در استان گلستان از شبکه‌های باور بیزین استفاده نمودند. نتایج ایشان نشان داد که استفاده از شبکه‌های تصمیم‌گیری بیزین در مدیریت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی می‌تواند کمک شایانی به مدیران و برنامه‌ریزان به منظور برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح منابع آب بنماید (۱۴ و ۱۹). شبکه‌های باور بیزین در زمینه‌های مختلف علوم زیست محیطی مورد استفاده قرار گرفته‌اند که می‌توان به مطالعه آلدروز (۲۰۱۱) اشاره کرد که پتانسیل کارایی شبکه‌های باور بیزین را در ارزیابی آسیب‌پذیری و خطر خاک‌های تورب‌دار نسبت به

فرسایش در مقیاس‌های بزرگ آزمایش کرده و قابلیت استفاده از شبکه‌های باور بیزین را در بحث فرسایش خاک مناسب دانسته‌اند (۲۰). شبکه‌های باور بیزین جهت پیش‌بینی و کمک به مدیریت کیفیت آب و برنامه‌ریزی منابع آبی بکار رفته‌اند (۳۱). گرونولد در سال ۲۰۰۷ به منظور مطالعه آلودگی باکتریایی آب‌های سطحی و کمی‌سازی روابط میان متغیرهای زیست محیطی، رویکردهای مدیریتی و اثرات آن‌ها بر سلامت انسان، به ایجاد شبکه‌های باور بیزین پرداخته است، و بدین ترتیب به رویکردهای مناسب مدیریتی دست یافته است (۲۳). اما تا کنون از این روش جهت تعیین ارزیابی شدت بیابان‌زایی استفاده نشده است. **استان اصفهان با دارا بودن اقلیمی خشک و نیمه خشک، وابسته به آبهای زیرزمینی می‌باشد. در اثر بهره‌برداری بی‌رویه از این منابع آبی، سطح آب‌های زیرزمینی در برخی مناطق استان تا ۳۰۰ متر هم گزارش شده است (۱۵). در نتیجه این افت، شوری آب این منابع افزایش یافته و هم‌چنین خصوصیات شیمیایی آن به حدود بحرانی رسیده است. بهره‌برداری از این آب جهت مصارف کشاورزی باعث گردیده سطح اراضی کشاورزی شور شده که نهایتاً منجر به تخریب و رها شدن اراضی و در نتیجه بیابان‌زایی شدید در منطقه گردیده است (۲۶). لذا با توجه به اهمیت آبهای زیرزمینی در ایران مرکزی، هدف از مطالعه حاضر، تعیین موثرترین شاخص‌های آب زیرزمینی جهت ارزیابی شدت بیابان‌زایی با استفاده از مدل مدالوس و هم‌چنین استفاده از شبکه‌های باور بیزین جهت نشان دادن عدم قطعیت در مطالعات پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی این معیار در منطقه شرق اصفهان می‌باشد.**

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه بخشی از دشت سگری، واقع در ۴۰ کیلومتری شرق شهر اصفهان می‌باشد. مساحت آن ۳۰۱۸۵ هکتار می‌باشد و بین طول جغرافیایی  $51^{\circ} 7' 30''$  تا  $52^{\circ} 29' 51''$  و عرض جغرافیایی  $32^{\circ} 23' 32''$  تا  $32^{\circ} 55' 32''$  واقع شده است. جهت تعیین نقشه همگن کاری، واحدهای دشت سر و پلایا و تیپ‌های مختلف آنها با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی (۱:۲۵۰۰۰)، زمین‌شناسی (۱:۱۰۰۰۰۰)، تفسیر عکس‌های هوایی و باند پانکروماتیک و چند طیفی تصاویر ماهواره‌ای لندست سنجنده TM و بازدیدهای صحرایی تفکیک گردید و رخساره‌های ژئومرفولوژی هر یک از تیپ‌ها به علت آنکه شیب منطقه کم و تغییر جهت شیب منطقه ناچیز بود، بعنوان واحد کاری در نظر گرفته شد. در شکل زیر موقعیت منطقه مطالعاتی در استان اصفهان و نقشه واحدهای کاری آورده شده است.



شکل (۱): (الف): موقعیت منطقه مورد مطالعه در دشت سگری در استان اصفهان و (ب): نقشه واحدهای کاری منطقه مطالعاتی

### تهیه لایه‌های اطلاعاتی وضعیت معیار آب زیرزمینی مدل مدالوس

از آنجا که تخریب منابع آبی جزو چهار معیار اصلی در روش مدالوس نیست ولی این مورد از مهمترین دلایل بیابانزایی در مناطق خشک به ویژه منطقه خاور میانه و ایران است لذا پس از بررسی و مطالعه منابع موجود و نیز بازدیدهای صحرائی، شاخص‌های مورد نیاز برای ارزیابی معیار آب‌های زیرزمینی منطقه سگری انتخاب شد (جدول ۱). جهت مطالعه معیار آب زیرزمینی که شامل خصوصیات شیمیایی و کمیّت آب می‌شود، از داده‌های ۱۲ حلقه چاه پیرومتری موجود در منطقه (۱۳۹۱-۱۳۹۲) استفاده شد (۴). پس از امتیازدهی شاخص‌های آب زیرزمینی، براساس معادله ۱، امتیاز مربوط به معیار آب زیرزمینی محاسبه و بر طبق جدول ۲ کیفیت آن تعیین می‌شود.

$$W_G = (W_{OFT} \times W_{CL} \times W_{EC} \times W_{TDS} \times W_{SAR} \times W_{pH}) \quad \text{معادله ۱}$$

$W_G$  عبارت است از معیار آب زیرزمینی و شاخص‌ها به ترتیب عبارتند از: افت آب زیرزمینی ( $W_{OFT}$ )، میزان محلول کلر ( $W_{CL}$ )، هدایت الکتریکی ( $W_{EC}$ )، کل مواد جامد محلول ( $W_{TDS}$ ) و نسبت جذب سدیم ( $W_{SAR}$ ) و میزان اسیدیته ( $W_{pH}$ ). به منظور تعمیم اطلاعات و خصوصیات معیار آب‌های زیرزمینی به قسمت‌هایی که فاقد آمار بودند، از فرآیند میان‌یابی به روش‌های کریجینگ و معکوس فاصله وزنی (Inverse Distance Square Weighted) استفاده شد. دقت روش‌های مذکور نیز با استفاده از مقادیر میانگین خطا (Mean Error)،

ریشه میانگین مجذور خطا (Root Mean Square Error) و فن آوری‌های اعتبار متقاطع مثل میانگین قدر مطلق خطا (Mean Absolute Error) مقایسه گردید و در نهایت برای تولید نقشه هر شاخص، از روشی استفاده گردید که کمترین میزان خطا را داشت (۱۲). جهت تهیه نقشه‌هایی با دقت مناسب، با استفاده از توابع RMSE، MAE و چگونگی اعتبار روش‌های کریجینگ و معکوس فاصله وزنی بررسی شد. براساس تابع ME، روشی دارای بالاترین میزان دقت است که مقدار ME آن به مقدار ایده‌آل صفر نزدیک باشد (۵). همچنین نقشه تهیه شده با روشی که کمترین میزان RMSE و MAE را دارد، دارای دقت بالاتری خواهد بود (۵). براین اساس نقشه متغیرهای کل مواد محلول و میزان کلر از طریق روش میان‌یابی کریجینگ و نقشه‌های متغیرهای هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم و اسیدیته به روش IDW تهیه شد.

### شبکه‌های باور بیزین

برای شروع فرآیند مدل‌سازی به کمک شبکه‌های بیزین ابتدا می‌بایست متغیرهای موثر در مدل شناسایی شوند. در منطقه مورد مطالعه با توجه به اطلاعات موجود، بررسی منابع جامع و شاخص‌های در نظر گرفته شده برای مدل مدالوس، متغیرهای موثر در مدل BBN انتخاب شدند. پس از شناسایی مهمترین متغیرهای تاثیرگذار بر معیار آب زیرزمینی از نظر بیابان‌زایی، در مرحله بعد می‌بایست با استفاده از نمودار اثر (Influence diagram)، روابط بین این متغیرها برقرار شود. طراحی نمودار اثر، طی چندین مرحله طراحی و اصلاح، با استفاده از نظرات متخصصین صورت گرفت. سپس تعریف هر متغیر و حالات مختلف مربوط به هر متغیر با استفاده از منابع موجود تبیین و تعریف شد. در نهایت برای ایجاد مدل و تشکیل جداول احتمالات شرطی برای متغیرهای مدل، نمودار تاثیر با استفاده از نرم افزار Netica به یک BBN اولیه تبدیل شد. با انجام جلسات متعدد با کارشناسان و استفاده از نرم افزار محاسبه گر احتمالات شرطی (CPT Calculator) جداول احتمالات شرطی مدل تکمیل گردید (۲۴).

در این مطالعه با انجام تجزیه و تحلیل حساسیت و بررسی نتایج توسط متخصصین و همچنین مقایسه نتایج این آنالیز با مدل مدالوس، مدل شبکه باور بیزین اعتبار سنجی گردید. اطلاعات حاصل از تجزیه و تحلیل حساسیت، به منظور تعیین متغیرهای ورودی که بیشترین اثر را بر خروجی مدل و عدم قطعیت آن دارند استفاده می‌شود. در این مطالعه حساسیت سنجی مدل شبکه باور بیزین به شکل جزء به جزء (گره-های میانی مدل) با استفاده از روش کاهش آنتروپی (Antropy reduction) انجام گرفت (۲۷).

$$I = H(Q) - H(Q|F) = \sum f \sum q \frac{p(q,f) \log_2 [P(q,f)]}{P(q)p(f)} \quad \text{معادله ۲:}$$

در این معادله، کاهش قابل انتظار اطلاعات متغیر Q در اثر، تاثیر پذیری از متغیر F می باشد. بر این اساس H(Q)، بی نظمی متغیر Q، مستقل از سایر متغیرها و H(Q|F)، بی نظمی متغیر Q، در شرایطی است که تحت تاثیر متغیر F قرار دارد، می باشد. همچنین در این معادله q حالت متغیر Q بوده و f حالت متغیر F می باشد. در نهایت شاخص آب زیرزمینی در هر واحد کاری با استفاده از هر دو روش مدل مدالوس و مدل BBN تعیین و میزان همبستگی نتایج بررسی شد.

جدول (۱): شاخص های ارزیابی معیار آب های زیرزمینی (۱۵)

شاخص	کلاس	شرح شاخص	امتیاز	شاخص	کلاس	شرح شاخص	امتیاز
نسبت جذب سدیم	۱	< ۱۰	۱۰۰ - ۱۲۵	۱	۰ - ۱۰	۱۰۰ - ۱۲۰	
	۲	۱۰ - ۱۸	۱۲۵ - ۱۵۰	۲	۱۰ - ۲۰	۱۲۰ - ۱۴۰	
	۳	۱۸ - ۲۶	۱۵۰ - ۱۷۵	۳	۲۰ - ۳۰	۱۴۰ - ۱۶۰	
	۴	> ۲۶	۱۷۵ - ۲۰۰	۴	۳۰ - ۵۰	۱۶۰ - ۱۸۰	
				۵	> ۵۰	۱۸۰ - ۲۰۰	
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	۱	< ۰/۲۵	۱۰۰ - ۱۲۰	۱	< ۲۵۰	۱۰۰ - ۱۲۰	
	۲	۰/۲۵ - ۰/۷۵	۱۲۰ - ۱۴۰	۲	۲۵۰ - ۵۰۰	۱۲۰ - ۱۴۰	
	۳	۰/۷۵ - ۲/۲۵	۱۴۰ - ۱۶۰	۳	۵۰۰ - ۱۵۰۰	۱۴۰ - ۱۶۰	
	۴	۲/۲۵ - ۵	۱۶۰ - ۱۸۰	۴	۱۵۰۰ - ۲۰۰۰	۱۶۰ - ۱۸۰	
	۵	> ۵	۱۸۰ - ۲۰۰	۵	> ۲۰۰۰	۱۸۰ - ۲۰۰	
کل مواد جامد محلول	۱	< ۵۰۰	۱۰۰ - ۱۲۵	۱	< ۶,۵	۱۰۰ - ۱۳۳	
	۲	۵۰۰ - ۱۰۰۰	۱۲۵ - ۱۵۰	۲	۸,۴ - ۶,۵	۱۳۳ - ۱۶۶	
	۳	۱۰۰۰ - ۲۰۰۰	۱۵۰ - ۱۷۵	۳	< ۸,۴	۱۶۶ - ۲۰۰	
	۴	> ۲۰۰۰	۱۷۵ - ۲۰۰				

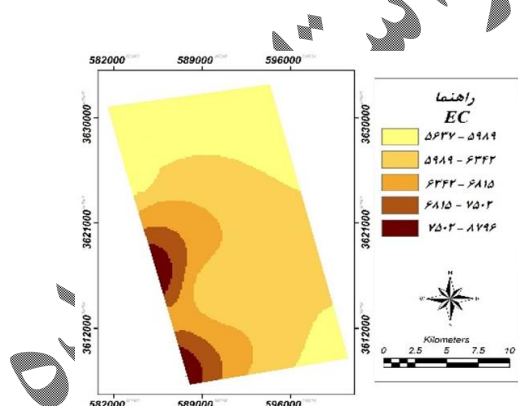
جدول (۲): کیفیت معیار آب زیرزمینی (۲۲)

کلاس	کیفیت آب زیرزمینی	وضعیت بیابان زایی	حدود امتیاز
G <sub>1</sub>	بالا	خفیف	۱۰۰ - ۱۲۵
G <sub>2</sub>	متوسط	متوسط	۱۲۵ - ۱۵۰
G <sub>3</sub>	پایین	شدید	۱۵۰ - ۱۷۵
G <sub>4</sub>	بسیار پایین	بسیار شدید	۱۷۵ - ۲۰۰

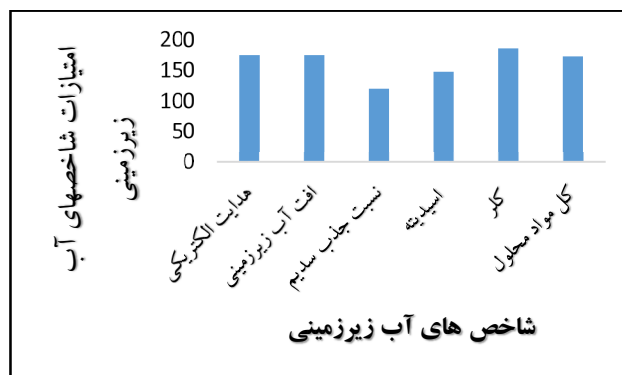
## نتایج و بحث

### ارزیابی معیار آب زیرزمینی در مدل مدالوس

پس از امتیازدهی و محاسبه میانگین هندسی شاخص‌های مربوط به معیار آب زیرزمینی، امتیازات هر یک از شاخص‌ها در واحدهای کاری محاسبه و شاخص‌هایی که حائز بالاترین امتیاز بود تعیین شد (جدول ۳). به هر یک از شاخص‌ها امتیازی بین ۱۰۰ (بهترین شرایط) تا ۲۰۰ (بدترین شرایط) تخصیص داده شد. بر این اساس و با توجه به امتیازات داده شده، یون کلر، افت آب زیرزمینی و هدایت الکتریکی آب به ترتیب حائز بالاترین امتیاز می‌باشند (شکل ۲) و بیشترین محدودیت را برای معیار آب زیرزمینی از نظر بیابان‌زایی ایجاد می‌کنند. پس از تعیین امتیازات مربوط به هر شاخص در هر واحد کاری و وارد کردن این امتیازات در نرم افزار ArcGIS 9.3 نقشه رستری شاخص‌ها و همچنین نقشه معیار آب زیرزمینی تهیه شد. میزان کل مواد جامد محلول در آب‌های زیرزمینی (TDS) در منطقه مورد مطالعه بسیار زیاد بوده و بین ۴۰۰۰ تا ۶۵۵۰ میلی‌گرم در لیتر در نوسان است. هر چه از قسمت‌های شرقی منطقه به سمت قسمت‌های غربی و جنوب غربی پیش می‌رویم بر میزان TDS افزوده می‌شود. بنابراین کیفیت آب در این مسیر کاهش یافته و تاثیر آن در فرآیند بیابان‌زایی افزایش می‌یابد. میزان کلر آب در منطقه بسیار بالاست و در تمام منطقه میزان کلر از حداکثر مجاز (۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر از نظر کشاورزی) بالاتر است (۷). حداقل میزان کلر مربوط به اراضی دشت سرآب‌انداز می‌باشد و بیشترین میزان آن در قسمت‌های غربی و جنوب غربی مشاهده شد. نقشه میزان کل مواد جامد محلول و میزان کلر در آب زیرزمینی منطقه دارای شباهت‌های زیادی بوده و هر دو یک روند را نشان می‌دهند. مقدار هدایت الکتریکی آب در این منطقه بالا و مابین ۵ تا ۸ دسی‌زیمنس بر متر متغیر است و براساس طبقه‌بندی ویل کاکس شوری آب در کلاس بسیار شدید قرار می‌گیرد. روند تغییرات هدایت الکتریکی در منطقه مانند دیگر پارامترهای آب زیرزمینی بوده که هر چه در منطقه به سمت غرب و جنوب غربی پیش می‌رویم بر میزان آن افزوده می‌شود (شکل ۲). سطح سفره آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه در تمام سطح آن ۳۵ سانتی‌متر افت داشته است و امتیازی که به شاخص سطح آب اختصاص داده شد در کل منطقه ۱۷۵ می‌باشد. براساس نتایج، کل منطقه از نظر کلاس معیار آب زیرزمینی در کلاس پایین یا (G3) LOW قرار می‌گیرد.



الف



ب

شکل ۲- الف) نقشه هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در منطقه سگری و (ب) میانگین وزنی هر کدام از شاخص‌های معیار آب زیرزمینی



جدول (۳): امتیاز معیار آب زیرزمینی و شش شاخص ارزیابی شدت بیابان‌زایی در مدل مدالوس

کیفیت آب زیر زمینی ( امتیازات شاخص‌ها )							
کد	نام واحد	هدایت الکتریکی	افت آب زیر زمینی	نسبت جذب سدیم	میزان اسیدیته	میزان کلر	امتیازات (میانگین هندسی)
۱-۱-۱	اراضی باغی و زراعی	۱۸۰	۱۷۵	۱۲۰	۱۵۰	۱۸۰	۱۶۰/۴۰
۲-۱-۱	دشت ریگی با تراکم زیاد	۱۸۰	۱۷۵	۱۲۰	۱۴۰	۱۷۰	۱۵۷/۵۷
۳-۱-۱	اراضی دست کاشت	۱۹۰	۱۷۵	۱۲۴	۱۵۰	۱۹۰	۱۶۲/۹۷
۴-۱-۱	اراضی دست کاشت همراه با فرسایش بادی	۱۳۰	۱۷۵	۱۱۰	۱۵۰	۱۷۵	۱۵۰/۸۵
۱-۲-۱	اراضی باغی و زراعی	۱۹۰	۱۷۵	۱۲۶	۱۵۰	۲۰۰	۱۶۷/۴۱
۲-۲-۱	اراضی دست کاشت با رخصاره‌های فرسایش بادی	۱۵۰	۱۷۵	۱۱۰	۱۵۰	۱۸۵	۱۵۶/۱۷
۳-۲-۱	تاسیسات، کارگاه‌ها و مناطق مسکونی	۱۹۰	۱۷۵	۱۲۵	۱۴۰	۲۰۰	۱۶۶/۳۲
۴-۲-۱	اراضی دست کاشت	۱۵۰	۱۷۵	۱۱۰	۱۵۰	۱۸۰	۱۵۴/۱۷
۱-۱-۲	اراضی پف کرده همراه با گیاهان شورپسند	۱۹۰	۱۷۵	۱۲۴	۱۵۰	۱۹۰	۱۶۴/۹۷
۲-۱-۲	رخصاره زرده	۱۹۰	۱۷۵	۱۲۲	۱۵۰	۱۹۰	۱۶۴/۵۳
۳-۱-۲	اراضی رها شده	۱۷۰	۱۷۵	۱۲۰	۱۵۰	۱۹۰	۱۶۰/۴۴
۴-۱-۲	منطقه حمل _ پهنه های ماسه ای	۱۹۰	۱۷۵	۱۲۲	۱۵۰	۱۹۰	۱۶۳/۵۳
۵-۱-۲	منطقه حمل _ پوشش دست کاشت	۱۷۰	۱۷۵	۱۲۰	۱۵۰	۱۸۵	۱۶۱/۴۴
۶-۱-۲	اراضی گچی	۱۹۰	۱۷۵	۱۲۴	۱۵۰	۱۸۵	۱۶۵/۹۷
۷-۱-۲	اراضی پف کرده	۱۸۰	۱۷۵	۱۲۰	۱۴۰	۱۹۰	۱۶۱/۵۷
۸-۱-۲	اراضی دست کاشت با رخصاره‌های فرسایش بادی	۱۹۰	۱۷۵	۱۲۶	۱۵۰	۱۹۰	۱۶۱/۴۱
۹-۱-۲	اراضی دست کاشت	۱۵۰	۱۷۵	۱۱۰	۱۵۰	۱۸۰	۱۵۴/۱۷

### ارزیابی معیار آب با استفاده از شبکه‌های باور بیزین

در مدل نهایی شبکه باور بیزین، متغیرهای موثر بر شاخص آب شناسایی و روابط علی و معلولی آنها نشان داده شده است (شکل ۳). متغیر

هدف (متغیر فرزندی) در این مدل متغیر شاخص آب زیرزمینی می‌باشد. متغیرهای میزان کلر، نسبت جذب سدیم و افت آب زیرزمینی

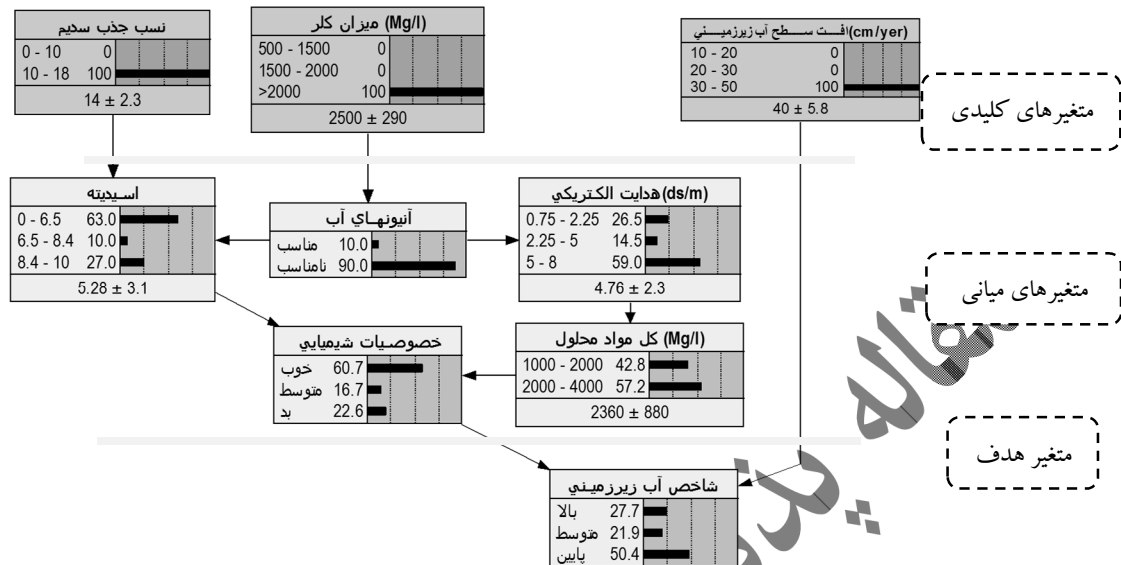
به عنوان متغیرهای ورودی و کلیدی مدل (متغیرهای والد) معرفی شدند که سایر متغیرها را تحت تاثیر خود قرار می دهند. متغیرهای

اسیدیته، هدایت الکتریکی، کل مواد محلول، خصوصیات شیمیایی و آنیونهای آب به عنوان متغیرهای میانی شاخص آب در منطقه

شناسایی شدند.

در مدل همان گونه که مشخص است متغیرهای مولود از طریق تاثیر آنها بر متغیرهای میانی در نهایت متغیر فرزندی یا متغیر هدف که در این مدل "شاخص آب زیرزمینی" است را تحت تاثیر قرار می‌دهند. همانطور که مدل شبکه باور بیزین نشان می‌دهد، شرایط یون کلر تنها عامل تاثیرگذار بر آنیونهای آب تشخیص داده شد. متغیرهای نسبت جذب سدیم و آنیونهای آب بر میزان اسیدیته تاثیرگذار هستند. آنیونها میزان هدایت الکتریکی آب را تحت تاثیر قرار داده و هدایت الکتریکی به نوبه خود میزان کل مواد محلول در آب را مشخص می‌سازند. در این مدل اسیدیته و کل مواد محلول به طور مستقیم بر خصوصیات شیمیایی آب تاثیرگذار بوده و وضعیت این متغیر را تعیین می‌کنند. در نهایت عواملی که شاخص آب زیرزمینی در منطقه را به طور مستقیم تعیین می‌کنند پارامترهای افت آب زیرزمینی و خصوصیات شیمیایی آب می‌باشد. کاربرد مدل شبکه باور بیزین در حالت پیش بینی (Predictive mode) وضعیت شاخص آب زیرزمینی در واحد کاری شماره ۱ نشان داده شده است (شکل ۳). در این واحد کاری میزان نسبت جذب سدیم بین ۱۰-۰ و آنیونهای آب (میزان کلر) در کلاس نامناسب قرار دارد و طبق نتایج مدل این باعث می‌شود اسیدیته آب به احتمال ۶۳ درصد در کلاس ۶/۵-۰ قرار گیرد. در این واحد به علت نامناسب بودن آنیونهای آب، هدایت الکتریکی آب بالا رفته، که این افزایش هدایت الکتریکی

آب موجب افزایش کل مواد محلول آب شده و از این طریق بر خصوصیات شیمیایی آب تاثیر می‌گذارند بطوریکه خصوصیات شیمیایی آب در این واحد کاری به احتمال ۶۰ درصد در کلاس "خوب" قرار می‌گیرد (جدول ۴). در نهایت با توجه به شرایط خصوصیات شیمیایی آب در این واحد و با توجه به اینکه سالانه به میزان ۳۰ تا ۵۰ سانتی متر در این واحد کاری افت سطح آب زیرزمینی وجود دارد، پارامتر شاخص آب زیرزمینی به احتمال ۵۰/۴ درصد در کلاس پایین، قرار می‌گیرد. به علت بهره برداری بیش از حد در بیش تر منطقه، اهالی اغلب با کمبود شدید آب مواجه بوده و در قسمت‌هایی که آب موجود است از کیفیت نامناسب برخوردار می‌باشند.



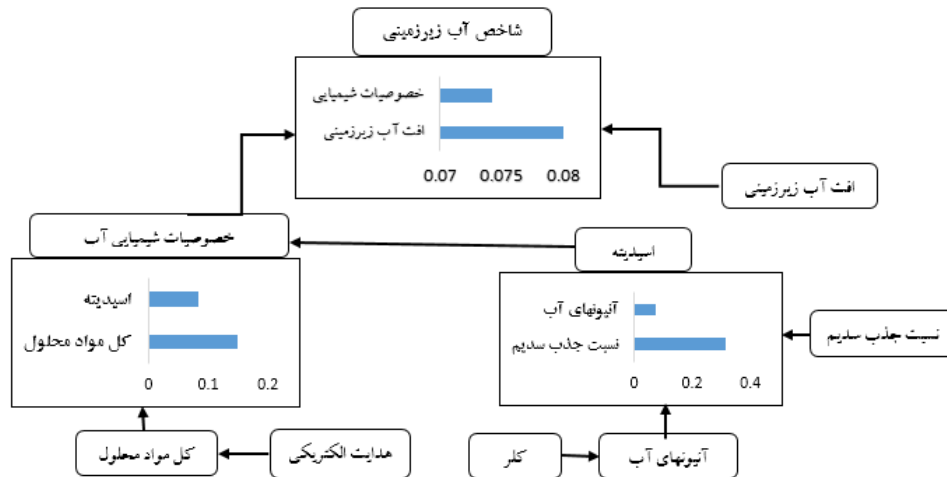
شکل ۳- مدل شبکه‌های باور بیزین ارائه شده جهت ارزیابی شاخص آب در واحدکاری شماره یک

جدول ۴- احتمالات شرطی مربوط به گره خصوصیات شیمیایی در مدل شاخص آب. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است متغیرهای کل مواد محلول، هدایت الکتریکی و میزان اسیدیته تعیین کننده وضعیت خصوصیات شیمیایی آب می باشند که در این جدول احتمالات شرطی ۶ حالت متصور ارایه شده است.

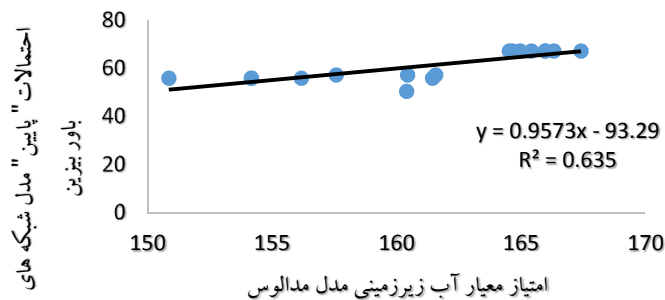
کل مواد محلول	میزان اسیدیته	خصوصیات شیمیایی		
		پایین	متوسط	بالا
۱۰۰۰-۲۰۰۰	۰-۶/۵	۰	۱۰	۹۰
۱۰۰۰-۲۰۰۰	۶/۵-۸/۴	۱۰	۱۰	۸۰
۱۰۰۰-۲۰۰۰	۸/۴-۱۰	۲۰	۱۰	۷۰
۲۰۰۰-۴۰۰۰	۰-۶/۵	۲۵	۲۵	۵۰
۲۰۰۰-۴۰۰۰	۶/۵-۸/۴	۴۰	۲۰	۴۰
۲۰۰۰-۴۰۰۰	۸/۴-۱۰	۵۵	۱۵	۳۰

نتایج حساسیت سنجی مدل کیفیت خاک به صورت جزء به جزء در منطقه مورد مطالعه انجام شد (شکل ۴). براساس نتایج شاخص آب در منطقه بیشتر تحت تاثیر افت آب زیرزمینی و متعاقب آن تاثیر خصوصیات شیمیایی می باشد. کل مواد محلول و اسیدیته نیز به ترتیب بیشترین تاثیر را بر خصوصیات شیمیایی دارا می باشند. میزان اسیدیته نیز بیشترین تاثیر را از نسبت جذب سدیوم و سپس از آنیونهای آب می گیرد. نتایج مدل شبکه باور بیزین با معیار آب زیرزمینی مدل مدالوس مقایسه گردید تا میزان همگنی پیش بینی های دو مدل با یکدیگر ارزیابی گردد. شرایط و خصوصیات کلیه واحدهای کاری در مدل شبکه های باور بیزین وارد شد و نتایج احتمالات متغیر هدف بررسی گردید. بر اساس نتایج ضریب تبیین مناسب و معنی داری در سطح **احتمال پنج درصد** بین احتمالات طبقه "پایین" گره نهایی مدل شبکه

باور بیزین که نشان دهنده احتمال شرایط نامناسب از لحاظ وضعیت آب زیرزمینی می‌باشد و امتیاز معیار آب زیرزمینی مدل مدالوس وجود داشت (شکل ۵).



شکل ۴- نتایج حساسیت‌سنجی مدل شاخص آب به صورت جزء به جزء در منطقه مورد مطالعه



شکل ۵- همبستگی بین امتیاز معیار آب زیرزمینی در مدل مدالوس و احتمالات پایین پیش بینی شده برای شاخص آب زیرزمینی مدل شبکه‌های باور بیزین خاک

نتایج این مطالعه نشان داد که دو عامل افت سطح آب زیرزمینی و کاهش کیفیت آب، به ویژه خصوصیات شیمیایی آن (یون کلر و هدایت الکتریکی آب) باعث روند بیابانزایی منطقه از لحاظ شاخص آب زیرزمینی گردیده‌اند. به طور کلی به دلیل خشک شدن رودخانه زاینده رود و عدم ورودی آب به منطقه شرق اصفهان، کشاورزان بناچار از منابع آب زیرزمینی از جمله چاه‌های عمیق استفاده می‌کنند که بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، باعث کاهش سطح آب زیرزمینی در این منطقه شده و همچنین میزان شوری سطح خاک نیز افزایش یافته است (۱۷ و ۱۳). آب‌های مناطق خشک و نیمه خشک، حاوی مقدار زیادی کلر می‌باشند که در اثر مصرف اینگونه آبها مقدار زیادی کلر در خاک‌های زراعی متراکم می‌شود. افزایش بیش از حد مجاز کلر در خاک علاوه بر سمیت گیاهان باعث متوقف

شدن فعالیت بیولوژیکی شده و از این طریق در تخریب اراضی و بیابان‌زایی نقش دارد. تغییرات وسیع کاربری اراضی در اراضی بالادست رودخانه زاینده رود و همچنین احداث صنایع مختلف در مسیر این رودخانه باعث افت کیفیت منابع آب منطقه گردیده است بنحوی که سختی کل آب به میزان ۸۸/۰۴ میلی گرم بر لیتر رسیده است این در حالی است که در سال ۱۳۸۰ سختی آب منطقه ۶۰/۷ میلی گرم بر لیتر بوده است (۱۲ و ۱۸). **افشار منش و همکاران (۱۳۹۰)** در بررسی روند تغییرات آنیون کلر در خاک شور و سدیمی از طریق مطالعه ستون خاک، به این نتیجه رسیدند که تغییرات کلر در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک از جمله مهمترین عوامل شوری خاک و عامل محدود کننده رشد پوشش گیاهی در این مناطق می‌باشد (۲). هدایت الکتریکی آب زیرزمینی منطقه در چند سال اخیر روند صعودی داشته که می‌تواند ناشی از کاهش بارندگی و افزایش برداشت از آبهای زیرزمینی این منطقه باشد (۱۸). افزایش میزان هدایت الکتریکی باعث تخریب ساختمان خاک و ایجاد مشکلاتی در زهکشی اراضی می‌شود و قطعاً پوشش گیاهی منطقه دچار آسیب جدی خواهد شد (۱۸). محمدی و همکاران تاثیر تغییرات هدایت الکتریکی آب زیرزمینی را بر پدیده بیابان‌زایی بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش میزان هدایت الکتریکی و شوری خاک، ساختمان خاک متلاشی شده و بیابان‌زایی با شدت بیشتری صورت می‌گیرد (۱۸). هدایت الکتریکی (EC)، کلر (در صورتی که با سدیم ترکیب شود) و افزایش غلظت املاح محلول (TDS) باعث شوری خاک می‌شوند (۱۸ و ۱۲). شوری آب در منطقه ریشه دوانی گیاهان، می‌تواند منجر به تمرکز نمک شده و انتقال آب از خاک به گیاهان را کاهش دهد، که این می‌تواند به نوبه خود باعث کاهش سلامت گیاهان و بیابان‌زایی گردد. تخریب کانی‌های خاک، بارش اتمسفری و فعالیت بشر از قبیل آبیاری و استفاده از آبهای کاملاً شور یا مواد زائد صنعتی باعث افزایش نمک در خاک می‌شود. **از آنجایی که تاثیر شوری خاک بر روی گیاهان غالباً به طور غیرمستقیم و از طریق تاثیر بر پتانسیل اسمزی و در نتیجه کاهش جذب رطوبت بوسیله ریشه‌ها و بذرهاى جوانه زده است، دارای اهمیت فراوانی می‌باشد.** در واحدکاری اراضی زراعی و باغی در دشت سرپوشیده (۱-۲-۱) اگر چه شرایط خاک جهت انجام کشاورزی مناسب می‌باشد اما وضعیت آب زیرزمینی از شرایط مطلوبی برخوردار نمی‌باشد که دلایل این امر، بهره برداری بیش از حد از این منابع در این واحد و همچنین تخلیه زه کش اراضی کشاورزی به منابع آبی اطراف خود می‌باشد. در نتیجه چاه‌های محدوده اراضی کشاورزی دارای بیشترین میزان املاح و شوری می‌باشند. با توجه به طبقه بندی ویل کاکس کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از نظر کشاورزی در کلاس S1 - C4 قرار گرفت. بنابراین برای بهره‌برداری از این نوع منابع آب زیرزمینی برای زراعت با محدودیتهای جدی روبرو هستیم. یکی از نقاط ضعف اکثر مدل‌های ارزیابی بیابان‌زایی از جمله مدل مدالوس در نظر

نگرفتن عدم قطعیت‌هاست. به دلیل اینکه عوامل مختلف اکولوژیکی و مدیریتی بر شدت بیابان‌زایی تاثیر دارند و به دلیل تغییر پذیری عوامل محیطی و ناهمگونی ساختاری بسیار بالای مناطق خشک و نیمه خشک با اطمینان نمی‌توان در مورد شدت بیابان‌زایی یک منطقه قضاوت نمود (۶). در مدل شبکه‌های باور بیزین همانطور که نشان داده شد، این عدم قطعیت‌ها در نظر گرفته شده و با احتمالات شدت‌های مختلف بیابان‌زایی برای یک منطقه در نظر گرفته می‌شود. همچنین در مدل مدالوس عوامل مختلف موثر در پدیده بیابان‌زایی امتیاز دهی می‌شوند ولی حالت علیت و معلولی ندارند حال آنکه در مدل شبکه باور بیزین این حالت بخوبی نشان داده شده و این امکان فهم بهتر تغییرات را در منطقه فراهم می‌سازد.

### نتیجه‌گیری

نتایج دو مدل شبکه باور بیزین و معیار آب مدل مدالوس نشان داد که دو عامل افت سطح آب زیرزمینی و کاهش کیفیت آب، به ویژه خصوصیات شیمیایی آن (یون کلر و هدایت الکتریکی آب) باعث روند بیابان‌زایی منطقه از لحاظ شاخص آب زیرزمینی گردیده‌اند. با توجه به نتایج بدست آمده واحدهای کاری اراضی باغی و زارعی در دشت سر اپانداژ، اراضی مناطق مسکونی و اراضی گچی به ترتیب از لحاظ شاخص آب زیرزمینی (کیفیت و کمیت) در بدترین شرایط قرار گرفتند. با بهره برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، عمق سطح آب در منطقه افزایش یافته و در نتیجه میزان املاح شوری مانند کلر و سدیم روند افزایشی خواهد داشت که این موضوع باعث می‌شود با آمدن این آب به سطح زمین بر اثر نیروی شعریه و یا پمپاژ بر شدت تخریب منابع سطحی زمین مانند خاک و پوشش گیاهی افزوده گردد.

نتایج مقایسه دو مدل (شبکه باور بیزین و معیار آب مدل مدالوس) و تجزیه و تحلیل حساسیت و بکارگیری داده‌های حاصل از مطالعه میدانی نشان داد که با استفاده از مدل شبکه باور بیزین بخوبی می‌توان شدت بیابان‌زایی را در اراضی بیابانی بررسی نمود. در این مطالعه نشان داده شد که مدل‌های قطعی نظیر مدالوس بخوبی می‌توانند با BBN تلفیق شده و امکان ایجاد مدل‌های علی و معلولی با قابلیت نشان دادن عدم اطمینان در برآورد کیفیت آب و تاثیر آن بر بیابان‌زایی را فراهم می‌سازد. نتایج این مدل علاوه بر کمک کردن و جهت دادن به تصمیم‌گیری‌های مدیریتی، مقدار ریسک تصمیم‌ها را نیز نشان داده و همچنین اثرات گزینه‌های مدیریتی مختلف را نیز بررسی می‌نماید. تهیه شبکه‌های باور بیزین نسبتاً آسان بوده و از همه مهم‌تر اینکه قابلیت درک آن‌ها توسط متخصصین بسیار بالا می‌باشد.

### منابع

۱. اختصاصی، م. ر. و. ع. سپهر. ۱۳۹۰. روشها و مدل‌های ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی، انتشارات دانشگاه یزد، چاپ اول.
۲. افشارمنش، ع.، ه. نقوی، ن. برومند و م. محمدآبادی. ۱۳۹۰. بررسی روند تغییرات آنیون کلر در خاک شور و سدیمی از طریق مطالعه ستون خاک، پنجمین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک کشور، کرمان.
۳. اختصاصی، م. ر. ۱۳۸۹. گیاهان مناسب تثبیت تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای در ایران، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه یزد، ۲۳۰ ص.
۴. اداره کل مطالعات و بررسی‌های اقتصادی. ۱۳۸۸. خلاصه سیمای آب و هوایی اقلیم و منابع آب استان اصفهان، اداره کل منابع طبیعی و استان اصفهان.
۵. احمدی ح. و ا. ابریشم. ۱۳۸۴. "ارزیابی و تهیه نقشه وضعیت بیابان‌زایی با استفاده از مدل ICD و MICD در منطقه فخر آباد مهریز" مرکز تحقیقات مناطق کویری و بیابانی ایران، ج ۱۰، شماره ۱، ص ۱۸۷ - ۱۶۹.
۶. احمدی، ح. ۱۳۸۳. گزارش نهایی طرح تدوین شرح خدمات جامع و متدولوژی تعیین معیارها و شاخص‌های بیابان‌زایی در ایران، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
۷. بیرویدیان، ن. ۱۳۸۰، اصول مدیریت مناطق بیابانی، چاپ اول، انتشارات رشد، ۲۰۵ ص.
۸. جباری، ا. ۱۳۸۵. روش‌های آماری در علوم محیطی و جغرافیایی. انتشارات دانشگاه رازی کرمانشاه.
۹. چمن‌پیرا، غ.، غ. زهتابیان و ح. احمدی. ۱۳۸۵. کاربرد روش ICD به منظور تعیین شدت وضعیت فعلی بیابان‌زایی در حوزه آبخیز کوه‌دشت، نشریه دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، جلد ۵۹، شماره ۳، ص ۵۵۵ - ۵۴۳.
۱۰. خسروی، ح. ۱۳۸۳. "کاربرد مدل مدالوس در بررسی بیابان‌زایی کاشان" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
۱۱. سپهر، ع. ۱۳۸۷. "بررسی کاربرد روش مدالوس به منظور ارائه یک مدل منطقه‌ای برای ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی" نشریه دانشکده منابع طبیعی، جلد ۶۱، شماره ۳، ص ۵۵۴ - ۵۳۷.
۱۲. شهریور، ع.، د. سونگ کریستوفر. جزوپ، ش. انور، ع. صوفی، م. ۱۳۹۱. نقش هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR) در گسترش فرسایش خندقی در مناطق نیمه خشک استان کهگیلویه و بویر احمد. مجله پژوهش در کشاورزی. ۱۴۱۸-۱.
۱۳. شعبانی، م. ۱۳۹۰. ارزیابی روش‌های زمین آماری در تهیه نقشه‌های کیفی آب زیرزمینی و پهنه بندی آنها، مطالعه موردی: دشت نی ریز استان فارس. فصل‌نامه جغرافیای طبیعی لار: ۹۶: ۸۳ - ۹۶.
۱۴. شعبانی، م. ۱۳۸۹. تعیین مناسب‌ترین روش زمین آماری در تهیه نقشه تغییرات PH و TDS آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت ارسنجان). مجله مهندسی آب. ۱: ۵۷-۴۷.

۱۵. عباسی جندانی، ش.، و ح. ملکی نژاد. ۱۳۹۱. بررسی اثرات انتقال آب بر روی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت کوهپایه سگری اصفهان. اولین همایش ملی انتقال آب بین حوضه ای (چالشها و فرصتها). شهرکرد.

۱۶. کریمی کارویه، ع. ۱۳۷۶. مقایسه خصوصیات خاکهای دارای پوشش گیاهی با سطوح مجاور عاری از پوشش گیاهی منطقه سجری اصفهان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۱۷. کریم زاده، ح. ۱۳۸۱. چگونگی تدوین و تکامل خاکها در لندفرمهای مختلف و منشاء یابی رسوبات فرسایش بادی در منطقه شرق اصفهان رساله دکترا، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۱۸. محمدی، م. ح.، کریمی، م.، خجسته، و ف. مهدوی فر. ۱۳۹۲. تاثیر تغییرات هدایت الکتریکی آب زیرزمینی بر روند بیابانزایی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی دشت مهران)، اولین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، تهران.

۱۹. مهاجرانی، ح.، م.، خلیقی، ا.، مساعدی. ا.، سعدالدین و م.، مفتاح هلقی. ۱۳۸۹. مدیریت کمی آبخوان با شبکه‌ی تصمیم بیزی. مجله آب و خاک. دانشگاه فردوسی مشهد.

۲۰. Aalders, I., R. L. Hough, W. Tower. 2011. Risk of erosion in peat soils – an investigation using Bayesian belief networks. Soil Use and Management, December 2011, 27,538–549.

۲۱. Bashari, H., C. Smith, and O. Bosch, J. H. 2009. Developing decision support tools for range land management By combining state and transition Models and Bayesian Belief Networks. Agricultural Systems, 99:23-34.

۲۲. European, 1999, Commission Mediterranean Desertification and Use (MEDALUS), MEDALUS offic. Landent.

23. Gronewold, A. D. and K. H. Reckhow. 2007. "Developing a Bayesian network model for bacteriologically impaired surface water " In conference proceedings .Water mater .Washington .D.C.USA.

۲۴. Hamby, D. M. ۱۹۹۴. A review of techniques for parameter sensitivity analysis of environmental models. Environmental Monitoring and Assessment, ۳۲ (۲): ۱۳۵-۱۵۴.

۲۵. Johnson, F. V. and D. T. Nielsen. 2007. " Bayesian network and decision graphs, springer, New York.

26. Jafari, R. Bakhshandehmehr, L. 2013. Quantitative mapping and assessment OF Environmentally sensitive area to Desertification in central IRAN. land degradation & development. Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/ldr.2227 .

۲۷. Landuyt, D., S. Broeckx, R. Dhondt, G. Engelen, J. Aertsens, and L. M. Goethals. 2013. "A review of Bayesian belief networks in ecosystem service modelling." Environmental Modelling & Software, Vol 46, pp1-11.

28. Marcot B. G., J. D. Steventon, G. D. Sutherland, and R. K. McCan. ۲۰۰۶. Guidelines for developing and updating Bayesian belief networks applied to ecological modeling and conservation. Canadian Journal of forest Research, ۳۶(۱۲): ۳۰۶۳-۳۰۵۴.

29. Newton, A. C. 2009. "Bayesian belief networks in environmental: a review of recent progress" Environmental Modelling: new research, New York Nova science publishers, pp, 13-50.

30. Sh W. J., Z. Liu, Y. Du, C. Song, and T. Yue. 2009. Surface modeling of soil Ph. Geoderma 150:113-119.

۳۱. Sepehr, T. A. and M. R. Ekhtesasi. " Holding back the tide", Geo-internation Magazine, UK, 2006.



# Analyzing the effect of groundwater quality on desertification using Bayesian belief networks in Segzi desertification hotspot

Abdolhossein boali\*<sup>1</sup>, Reza Jafari<sup>2</sup>, Hossien bashari \*

## Abstract

This paper aimed to assess the severity of desertification in Segzi plain located in the eastern part of Isfahan city, focusing on groundwater quality criteria used in MEDALUS model. Bayesian Belief networks (BBNs) were also used to convert MEDALUS model into a predictive, cause and effects model. Different techniques such as Kriging and IDW were applied to water quality data of 12 groundwater wells to map continuous variations of the CL, SAR, EC, TDS, pH and decline in water table indices in GIS environment. The effects of measured water quality indicators on desertification severity levels were assessed using sensitivity and scenario analysis in BBNs model. According to the results of the MEDALUS, the desertification of the study area was classified as severe class due to its low quality of groundwater. Sensitivity analysis by the both models showed that decline in water table, water chloride content and electrical conductivity were the most important parameters responsible for desertification in the region from ground water condition standpoint. The determination coefficient between the outputs of the MEDALUS and BBNs models ( $R^2 > 0.63$ ) indicated that the results of both models were significantly correlated ( $\alpha = 5\%$ ). These results indicate that the application of BBNs model in desertification assessment can appropriately accommodate the uncertainty of desertification methods and can help managers to make better decision for upcoming land management projects.

**Keywords:** MEDALUS, BBNs, Water quality, Sensitivity analysis

---

<sup>1</sup> M.Sc in Combating Desertification, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology