

## بررسی تأثیر 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> و حسین بشری<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۰۸)

### 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 مدالوس انجام شد. شبکه‌های باور بیزین (BBNs) نیز برای تبدیل مدل مدالوس 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 پی اچ و همچنین میزان افت سطح آب به صورت 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 مدالوس 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 به‌عنوان مهم‌ترین پارامترهای دخیل در بیابان‌زایی منطقه از لحاظ شرایط آب‌های زیرزمینی بودند. ضریب تبیین بین خروجی مدل مدالوس و BBNs، ۶۳٪ به‌دست آمد که در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار بود. این نتایج نشان داد که استفاده از مدل BBNs در ارزیابی بیابان‌زایی به‌خوبی می‌تواند عدم اطمینان از نتایج ارزیابی را به مدیران نشان داده و آنها را در تصمیم‌گیری در مورد روش‌های مناسب مدیریت اراضی یاری نماید.

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

۱. گروه بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

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

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

## مقدمه

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 تأثیر این پدیده ضرورت دارد. محدودیت منابع آبی، کاهش کیفیت آب و بهره‌برداری بی‌رویه سبب شده که تخریب منابع آب زیرزمینی همراه دیگر فرایندها از جمله اصلی‌ترین عوامل بیابان‌زایی شناخته شوند. استفاده از آب‌های با کیفیت نامناسب یکی از عوامل مؤثر بر شوری خاک و گسترش بیابان‌زایی می‌باشد. تأثیر 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 (به‌طور مثال دشت‌های سگزی و مهران) عاملی اساسی در افزایش روند بیابان‌زایی است و با افت سطح سفره‌های آب زیرزمینی، بیابانی شدن شتاب بیشتری به‌خود می‌گیرد (۱۴). افزایش بی‌رویه آب‌های زیرزمینی نیز مانند بالا آمدن سطح آب زیرزمینی در یک ناحیه (به‌طور مثال دشت عباس دهلران) نیز می‌تواند به‌طور 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 مؤثر 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 (۳ و ۸). تاکنون مطالعات زیادی برای بررسی تأثیر شرایط آب زیرزمینی بر پدیده بیابان‌زایی با استفاده از مدل مدالوس صورت گرفته است. سپهر و همکاران (۱۳۸۷) در بررسی روش مدالوس به‌منظور 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 به‌عنوان مؤثرترین عامل در افزایش شدت بیابان‌زایی منطقه معرفی کرد (۱۰). به‌دلیل اینکه ترکیب عوامل مختلف اکولوژیکی می‌تواند تأثیر متفاوتی بر روند بیابان‌زایی داشته باشد مدل‌هایی نظیر مدل مدالوس نمی‌توانند عدم اطمینان ناشی از این موارد را در نظر بگیرند و به‌طور قطعی بیان می‌دارند که تحت یک سناریوی مشخص شرایط بیابان‌زایی در چه کلاسی قرار دارد. این مدل‌ها با استفاده از امتیازدهی به شاخص‌های مختلف به‌طور مشخص وضعیت بیابان‌زایی را در یک کلاس (مناسب یا نامناسب) قرار می‌دهند. همان‌طور که اشاره شد به‌دلیل پیچیدگی‌های مکانی و زمانی و تعدد عوامل مؤثر بر شرایط اکولوژیکی منطقه نمی‌توان با اعتماد کامل به نتایج به‌دست آمده نگاه کرد و جهت مدیریت استفاده نمود.

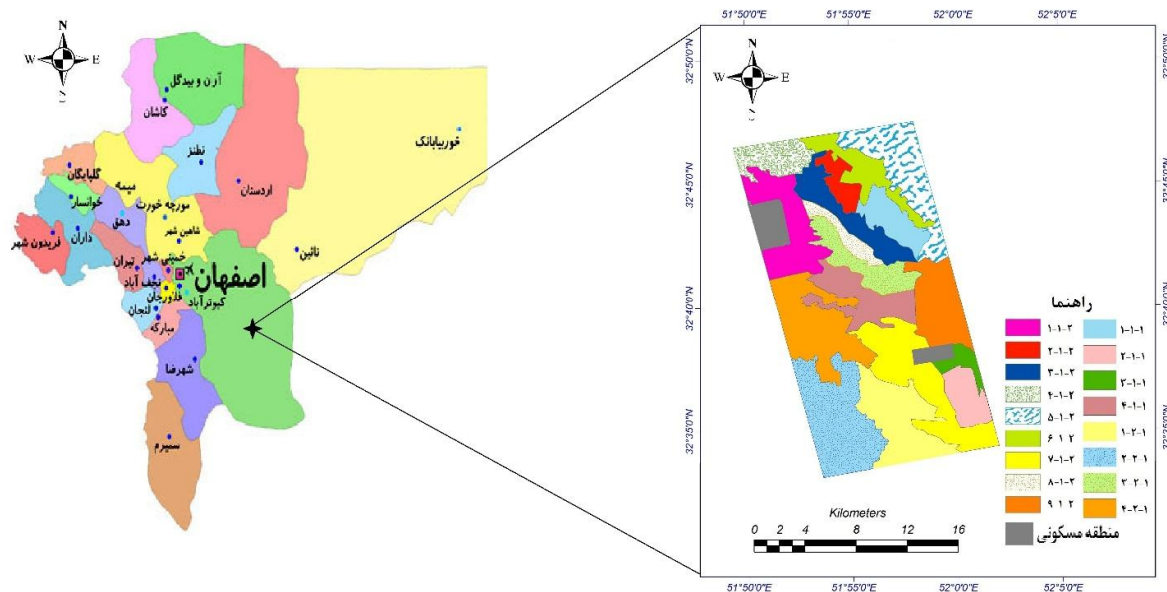
کمی‌سازی روابط میان متغیرهای زیست‌محیطی، رویکردهای مدیریتی و اثرات آنها بر سلامت انسان، به ایجاد شبکه‌های باور بیزین پرداخته است، و بدین ترتیب به رویکردهای مناسب مدیریتی دست یافته است (۲۵ و ۲۳). اما تا کنون از این روش جهت تعیین ارزیابی شدت بیابان‌زایی استفاده نشده است. استان اصفهان با دارا بودن اقلیمی خشک و نیمه‌خشک، 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 مؤثرترین 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 سگزی، واقع در ۴۰ کیلومتری شرق شهر اصفهان می‌باشد. مساحت آن ۳۰۱۸۵ هکتار می‌باشد و بین طول جغرافیایی  $30^{\circ} 07' 51''$  تا  $29^{\circ} 51' 51''$  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 بانند پانکروماتیک و چند طیفی تصاویر

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 (۲۱ و ۲۹، ۲۸). 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 تأثیر 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 مؤثر در سیستم و یک سری روابط که به یکدیگر متصل شده‌اند می‌باشند. نحوه تعامل این متغیرها در سیستم به وسیله روابط و جداول احتمال شرطی تعیین می‌گردد (۱۸). شبکه‌های باور بیزین در اصل به‌عنوان 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 به‌منظور 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 به‌کار رفته‌اند (۳۱). گرونولد در سال ۲۰۰۷ به‌منظور مطالعه آلودگی باکتریایی آب‌های سطحی و



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

زیرزمینی، براساس معادله (۱)، امتیاز مربوط به معیار آب زیرزمینی محاسبه و بر طبق جدول (۲) کیفیت آن تعیین می‌شود.

$$W_G = (W_{OFT} \times W_{CL} \times W_{EC} \times W_{TDS} \times W_{SAR} \times W_{pH}) \quad (1)$$

عبارت  $W_G$  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 فرایند میان‌یابی به روش‌های کریجینگ و معکوس فاصله وزنی استفاده شد. دقت روش‌های مذکور نیز با استفاده از مقادیر میانگین خطا، ریشه میانگین مجذور خطا و فن‌آوری‌های اعتبار متقاطع مثل میانگین قدر مطلق خطا 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  $ME$ ،  $RMSE$  و  $MAE$  چگونگی اعتبار روش‌های کریجینگ و معکوس فاصله وزنی بررسی شد.

ماهواره‌ای لندست سنجنده TM و باز دیده‌های صحرایی تفکیک گردید و رخساره‌های ژئومرفولوژی هر یک از تپ‌ها به علت آنکه شیب منطقه کم و تغییر جهت شیب منطقه ناچیز بود، به عنوان واحدکاری در نظر گرفته شد. در شکل (۱) موقعیت منطقه مطالعاتی در استان اصفهان و نقشه واحدهای کاری آورده شده است.

#### 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 باز دیده‌های صحرایی، شاخص‌های مورد نیاز برای ارزیابی معیار آب‌های زیرزمینی منطقه سگری انتخاب شد (جدول ۱). جهت مطالعه معیار آب زیرزمینی که شامل خصوصیات شیمیایی و کمیت آب می‌شود، از داده‌های ۱۲ حلقه چاه پیرومتری موجود در منطقه (۱۳۹۱-۱۳۹۲) استفاده شد (۴). پس از امتیازدهی شاخص‌های آب

جدول ۱. شاخص‌های ارزیابی معیار آب‌های زیرزمینی (۱۶)

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

جدول ۲. کیفیت معیار آب زیرزمینی (۲۲)

کلاس	کیفیت آب زیرزمینی	وضعیت بیابان‌زایی	حدود امتیاز
G <sub>۱</sub>	بالا	خفیف	۱۰۰ - ۱۲۵
G <sub>۲</sub>	متوسط	متوسط	۱۲۵ - ۱۵۰
G <sub>۳</sub>	پایین	شدید	۱۵۰ - ۱۷۵
G <sub>۴</sub>	بسیار پایین	بسیار شدید	۱۷۵ - ۲۰۰

می‌بایست متغیرهای مؤثر 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 مؤثر در مدل BBN انتخاب شدند. پس از شناسایی مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار بر معیار آب زیرزمینی از نظر بیابان‌زایی، در مرحله بعد می‌بایست با استفاده از نمودار اثر، 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

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 فرایند مدل‌سازی به کمک شبکه‌های بیزین ابتدا

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 واحدکاری و وارد کردن این امتیازات در نرم‌افزار 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 تأثیر آن در فرایند 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 سرآپانداژ 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 بین ۵ تا ۸ دسی‌زیمنس بر متر متغیر است و براساس طبقه بندی 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 زیر زمینی 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 (G۳) LOW قرار می‌گیرد.

تعریف شد. در نهایت برای ایجاد مدل و تشکیل جداول احتمالات شرطی برای متغیرهای مدل، نمودار تأثیر با استفاده از نرم‌افزار Netica به یک BBN اولیه تبدیل شد. با انجام جلسات متعدد با کارشناسان و استفاده از نرم‌افزار محاسبه‌گر احتمالات شرطی 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، به‌منظور 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 (گروه‌های میانی مدل) با استفاده از روش کاهش آنروپی انجام گرفت (۲۷).

$$I = H(Q) - H(Q|F) = \sum_f \sum_q \frac{p(q,f) \log_2 [P(q,f)]}{P(q)p(f)} \quad (2)$$

در این معادله  $I$ ، کاهش قابل انتظار اطلاعات متغیر  $Q$  در اثر، تأثیرپذیری از متغیر  $F$  می‌باشد. بر این اساس  $H(Q)$ ، بی‌نظمی متغیر  $Q$ ، مستقل از سایر متغیرها و  $H(Q|F)$ ، بی‌نظمی متغیر  $Q$ ، در شرایطی است که تحت تأثیر متغیر  $F$  قرار دارد، می‌باشد. همچنین در این معادله  $q$  حالت متغیر  $Q$  بوده و  $f$  حالت متغیر  $F$  می‌باشد. در نهایت شاخص آب زیرزمینی در هر واحدکاری با استفاده از هر دو روش مدل مدالوس و مدل BBN تعیین و میزان همبستگی نتایج بررسی شد.

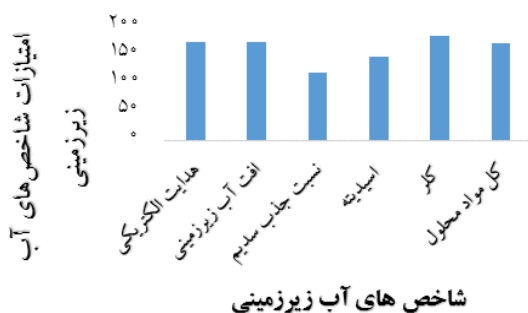
## نتایج و بحث

### ارزیابی معیار آب زیرزمینی در مدل مدالوس

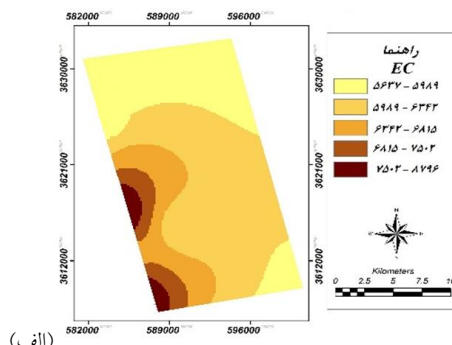
پس از امتیازدهی و محاسبه میانگین هندسی شاخص‌های مربوط به معیار آب زیرزمینی، امتیازات هر یک از شاخص‌ها در واحدهای کاری محاسبه و شاخص‌هایی که حائز بالاترین امتیاز بود تعیین شد (جدول ۳). به هر یک از شاخص‌ها امتیازی بین

جدول ۳. امتیاز معیار آب زیرزمینی و شش شاخص ارزیابی شدت بیابان‌زایی در مدل مدالوس

کیفیت آب زیرزمینی (امتیازات شاخص‌ها)							
کد	نام واحد	هدایت الکتریکی	افت آب زیرزمینی	نسبت جذب سدیم	میزان اسیدیته	میزان کلر	کل مواد محلول (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 رخساره‌های 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	رخساره 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-پهنه‌های ماسه‌ای	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 رخساره‌های فرسایش بادی	۱۹۰	۱۷۵	۱۲۶	۱۵۰	۱۹۰	۱۶۱/۴۱
۹-۱-۲	اراضی دست کاشت	۱۵۰	۱۷۵	۱۱۰	۱۵۰	۱۸۰	۱۵۴/۱۷

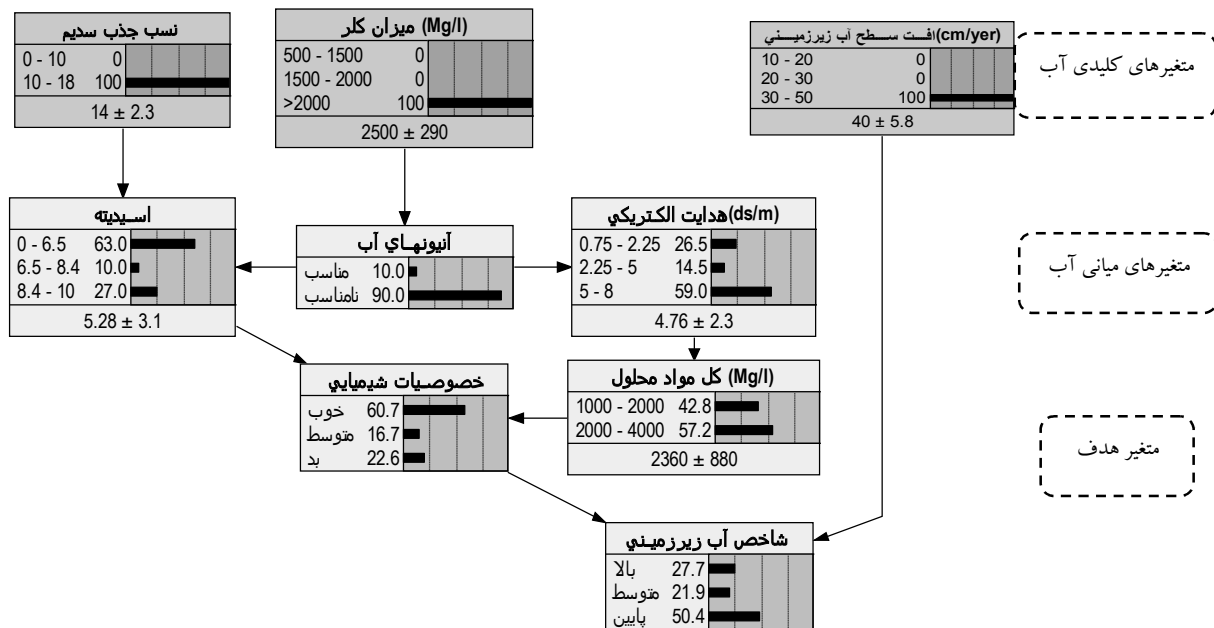


(ب)



(الف)

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



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

میزان هدایت الکتریکی آب را تحت تأثیر 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 به‌طور مستقیم بر خصوصیات شیمیایی آب تأثیرگذار بوده و وضعیت این متغیر را تعیین می‌کنند. در نهایت عواملی که شاخص آب زیرزمینی در منطقه را به‌طور مستقیم تعیین می‌کنند پارامترهای افت آب زیرزمینی و خصوصیات شیمیایی آب می‌باشد. کاربرد مدل شبکه باور بیزین در حالت پیش‌بینی وضعیت شاخص آب زیرزمینی در واحد کاری شماره ۱ نشان داده شده است (شکل ۳). در این واحد کاری میزان نسبت جذب سدیم بین صفر تا ۱۰ میلی‌اکی والان بر لیتر 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- 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 تأثیر می‌گذارند به‌طوری که خصوصیات شیمیایی آب در این

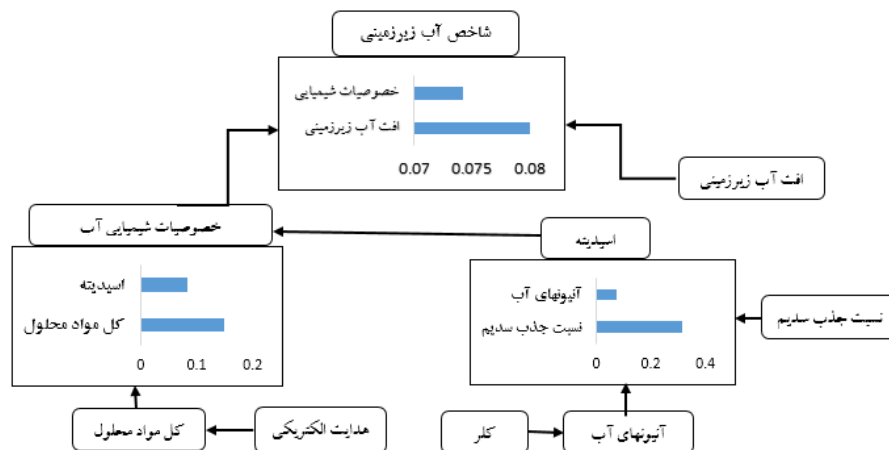
ارزیابی معیار آب با استفاده از شبکه‌های باور بیزین در مدل نهایی شبکه باور بیزین، متغیرهای مؤثر بر شاخص آب شناسایی و روابط علی و معلولی آنها نشان داده شده است (شکل ۳). متغیر هدف (متغیر فرزند) در این مدل متغیر شاخص آب زیرزمینی می‌باشد. متغیرهای میزان کلر، نسبت جذب سدیم و افت آب زیرزمینی به‌عنوان متغیرهای ورودی و کلیدی مدل (متغیرهای والد) معرفی شدند که سایر متغیرها را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند. متغیرهای اسیدیته، هدایت الکتریکی، کل مواد محلول، خصوصیات شیمیایی و آنیون‌های آب به‌عنوان متغیرهای میانی شاخص آب در منطقه شناسایی شدند.

در مدل همان‌گونه که مشخص است متغیرهای مولود از طریق تأثیر آنها بر متغیرهای میانی در نهایت متغیر فرزند یا متغیر هدف که در این مدل "شاخص آب زیرزمینی" است را تحت تأثیر قرار می‌دهند. همان‌طور که مدل شبکه باور بیزین نشان می‌دهد، شرایط یون کلر تنها عامل تأثیرگذار بر آنیون‌های آب تشخیص داده شد. متغیرهای نسبت جذب سدیم و آنیون‌های آب بر میزان اسیدیته تأثیرگذار هستند. آنیون‌ها



جدول ۴. احتمالات شرطی مربوط به گره خصوصیات شیمیایی در مدل شاخص آبکه در این جدول احتمالات شرطی ۶ حالت متصور ارایه شده است

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

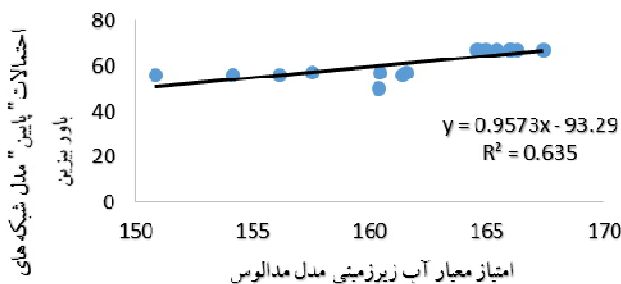


شکل ۴. نتایج حساسیت سنجی مدل شاخص آب به صورت جزء به جزء در منطقه مورد مطالعه

شاخص آب در منطقه بیشتر تحت تأثیر افت آب زیرزمینی و متعاقب آن تأثیر خصوصیات شیمیایی می‌باشد. کل مواد محلول و اسیدیته نیز به ترتیب بیشترین تأثیر را بر خصوصیات شیمیایی دارا می‌باشند. میزان اسیدیته نیز بیشترین تأثیر را از نسبت جذب سدیم و سپس از آنیون‌های آب می‌گیرد. نتایج مدل شبکه باور بیزین با معیار آب زیرزمینی مدل مدالوس مقایسه گردید تا میزان همگنی پیش‌بینی‌های دو مدل با یکدیگر ارزیابی گردد. شرایط و خصوصیات کلیه واحدهای کاری در مدل شبکه‌های باور بیزین وارد شد و نتایج احتمالات متغیر هدف بررسی گردید. براساس نتایج ضریب تبیین مناسب و معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بین احتمالات طبقه "پایین" گره نهایی

واحدکاری 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 سانتی‌متر در این واحدکاری افت سطح آب زیرزمینی وجود دارد، پارامتر شاخص آب زیرزمینی به احتمال ۵۰/۴ درصد در کلاس پایین، قرار می‌گیرد. به‌علت بهره‌برداری بیش از حد در بیشتر منطقه، اهالی اغلب با کمبود شدید آب مواجه بوده و در قسمت‌هایی که آب موجود است از کیفیت نامناسب برخوردار می‌باشند.

نتایج حساسیت سنجی مدل کیفیت خاک به صورت جزء به جزء در منطقه مورد مطالعه انجام شد (شکل ۴). براساس نتایج،



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

آنیون کلر در خاک شور و سدیمی از طریق مطالعه ستون خاک، به این نتیجه رسیدند که تغییرات کلر در خاک های مناطق خشک و نیمه خشک از جمله مهم ترین عوامل شوری خاک و عامل محدود کننده رشد پوشش گیاهی در این مناطق می باشد (۲). هدایت الکتریکی آب زیرزمینی منطقه در چند سال اخیر روند صعودی داشته که می تواند ناشی از کاهش بارندگی و افزایش برداشت از آب های زیرزمینی این منطقه باشد (۱۸). افزایش میزان هدایت الکتریکی باعث تخریب ساختمان خاک و ایجاد مشکلاتی در زهکشی اراضی می شود و قطعاً پوشش گیاهی منطقه دچار آسیب جدی خواهد شد (۱۸). محمدی و همکاران تأثیر 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 می گیرد (۱۸). هدایت الکتریکی (EC)، کلر (در صورتی که با سدیم ترکیب شود) و افزایش غلظت املاح محلول (TDS) باعث شوری خاک می شوند (۳۰، ۱۲ و ۱۸). شوری آب در منطقه ریشه دوانی گیاهان، می تواند منجر به تمرکز نمک شده و انتقال آب از خاک به گیاهان را کاهش دهد، که این می تواند به نوبه خود باعث کاهش سلامت گیاهان و بیابانزایی گردد. تخریب کانی های خاک، بارش اتمسفری و فعالیت بشر از قبیل آبیاری و استفاده از آب های کاملاً شور یا مواد زائد صنعتی باعث افزایش نمک در خاک می شود. از آنجایی که تأثیر شوری خاک بر روی گیاهان غالباً به طور غیرمستقیم و از طریق تأثیر بر پتانسیل

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

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 گردیده اند. به طور کلی به دلیل خشک شدن رودخانه زاینده رود و عدم ورودی آب به منطقه شرق اصفهان، کشاورزان به ناچار از منابع آب زیرزمینی از جمله چاه های عمیق استفاده می کنند که بهره برداری بی رویه از منابع آب زیرزمینی، باعث کاهش سطح آب زیرزمینی در این منطقه شده و همچنین میزان شوری سطح خاک نیز افزایش یافته است (۱۳ و ۱۷). آب های مناطق خشک و نیمه خشک، حاوی مقدار زیادی کلر می باشند که در اثر مصرف این گونه آب ها مقدار زیادی کلر در خاک های زراعی متراکم می شود. 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 بالا دست رودخانه زاینده رود و همچنین احداث صنایع مختلف در مسیر این رودخانه باعث افت کیفیت منابع آب منطقه گردیده است به نحوی 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

داد که دو عامل افت سطح آب زیرزمینی و کاهش کیفیت آب، به‌ویژه خصوصیات شیمیایی آن (یون کلر و هدایت الکتریکی آب) باعث روند بیابان‌زایی منطقه از لحاظ شاخص آب زیرزمینی گردیده‌اند. با توجه به نتایج به‌دست آمده واحدهای کاری اراضی باغی و زارعی در دشت سر اپانداژ، اراضی مناطق مسکونی و اراضی گچی به‌ترتیب از لحاظ شاخص آب زیرزمینی (کیفیت و کمیت) در بدترین شرایط قرار گرفتند. با بهره‌برداری 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 به‌کارگیری داده‌های حاصل از مطالعه میدانی نشان داد که با استفاده از مدل شبکه باور بیزین به‌خوبی می‌توان شدت بیابان‌زایی را در اراضی بیابانی بررسی نمود. در این مطالعه نشان داده شد که مدل‌های قطعی نظیر مدالوس به‌خوبی می‌توانند با BBN تلفیق شده و امکان ایجاد مدل‌های علی و معلولی با قابلیت نشان دادن عدم اطمینان در برآورد کیفیت آب و تأثیر 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.

اسمزی و در نتیجه کاهش جذب رطوبت بوسیله ریشه‌ها و بذرهای جوانه‌زده است، دارای اهمیت فراوانی می‌باشد. در واحدهای کاری اراضی زراعی و باغی در دشت سر پوشیده (۱-۲) اگر چه شرایط خاک جهت انجام کشاورزی مناسب می‌باشد اما وضعیت آب زیرزمینی از شرایط مطلوبی برخوردار نمی‌باشد که دلایل این امر، بهره‌برداری بیش از حد از این منابع در این واحد و همچنین تخلیه زه‌کش اراضی کشاورزی به منابع آبی اطراف خود می‌باشد. در نتیجه چاه‌های محدوده اراضی کشاورزی دارای بیشترین میزان املاح و شوری می‌باشند. با توجه به طبقه‌بندی ویل کاکس کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از نظر کشاورزی در کلاس S۱-C۴ قرار گرفت. بنابراین برای بهره‌برداری از این نوع منابع آب زیرزمینی برای زراعت با محدودیت‌های جدی روبه‌رو 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 تأثیر دارند و به دلیل تغییر پذیری عوامل محیطی و ناهمگونی ساختاری بسیار بالای مناطق خشک و نیمه‌خشک 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 مؤثر در پدیده بیابان‌زایی امتیاز دهی می‌شوند ولی حالت علت و معلولی ندارند حال آنکه در مدل شبکه باور بیزین این حالت به‌خوبی 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

## منابع مورد استفاده

۱. اختصاصی، م. ر. و ع. سپهر. ۱۳۹۰. روش‌ها و مدل‌های ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی. چاپ اول، انتشارات دانشگاه یزد.
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.
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 ۱۰(۱): ۱۶۹-۱۸۷.
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.
۸. جباری، ا. ۱۳۸۵. روش‌های آماری در علوم محیطی و جغرافیایی. چاپ چهارم، 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 ۵۹(۳): ۵۴۳-۵۵۵.
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 ۱(۳): ۵۳۷-۵۵۴.
۱۲. شهریور، ع. د. سونگ کریستوفر، ش. جزوپ، ع. انور، و م. صوفی، 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 ۸: ۱-۱۲.
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، ۱۳: ۹۶-۸۳.
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: ۴۷-۵۷.
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 حوضه‌ای (چالش‌ها و فرصت‌ها)، شهرکرد.
۱۶. کریمی کارویه، ع. ۱۳۷۶. مقایسه خصوصیات خاکهای دارای پوشش گیاهی با سطوح مجاور عاری از پوشش گیاهی منطقه سجزی اصفهان، پایان‌نامه 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، ع. ح. کریمی، م. خجسته و ف. مهدوی فر. ۱۳۹۲. تأثیر 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. خلقی، ا. مساعدی، ا. سعدالدین و م. مفتاح هلقی. ۱۳۸۹. مدیریت کمی آبخوان با شبکه‌ی تصمیم بیزی. مجله آب و خاک، دانشگاه فردوسی مشهد.

20. 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.
21. Bashari, H., C. Smith and O. Bosch. 2009. Developing decision support tools for range land management By combining state and transition Models and Bayesian Belief Networks. *Agricultural Sys.* 99: 23-34.
22. 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, USA.
24. Hamby, D. M. 1994. A review of techniques for parameter sensitivity analysis of environmental models. *Environmental Monitoring and Assessment*, 32(2): 135-154.
25. Johnson, F. V. and D. T. Nielsen. 2007. Bayesian network and decision graphs. springer, New York.
26. Jafari, R. and L. Bakhshandehmehr. 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.
27. 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* 46: 1-11.
28. Marcot B. G., J. D. Steventon, G. D. Sutherland, and R. K. McCan. 2006. Guidelines for developing and updating Baysian belief networks applied to ecological modeling and conservation. *Canadian J. of forest Res.* 36(12): 3054-3063.
29. Newton, A. C. 2009. Bayesian belief networks in environmental: a review of recent progress *Environmental Modelling: new research*, New York Nova science publishers. 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.
31. 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

A. H. Boali<sup>1\*</sup>, R. Jafari<sup>2</sup> and H. Bashari<sup>2</sup>

(Received: Dec. 17-2014 ; Accepted: Dec. 28-2016)

### 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 waater 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.

---

1. Dept. of Combat Desertification, Faculty of Natural Resour. Isf. Univ. of Technol., Isfahan, Iran.

2. Dept. of Range and Watershed. Manage., Faculty of Natural Resour. Isf. Univ. of Technol., Isfahan, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: Hossien.boali@yahoo.com