

بررسی تغییرات مکانی شاخص‌های خشکسالی و تأثیر آن بر شوری خاک در دشت یزد-اردکان

اقدس شریفی^۱، سمیه سلطانی گردفرامری^{۲*}، روح‌الله تقی‌زاده^۳، نجمه یرمی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۵/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۲/۳

چکیده

خشکسالی یکی از پدیده‌های جوی است که بخش‌های مختلف محیطی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تحقیق حاضر به منظور بررسی تغییرات مکانی خشکسالی هواشناسی و منابع آب زیرزمینی و تأثیر آن بر شوری خاک در دشت یزد-اردکان می‌باشد. برای این منظور، شاخص بارندگی استاندارد (SPI) سالانه از ۶ ایستگاه باران‌سنجی و شاخص منبع آب زیرزمینی (GRI) از ۳۸ چاه پیزومتری در طی دوره آماری ۱۳۷۷-۱۳۹۴ در سطح دشت محاسبه شد. همچنین نقشه شوری خاک با استفاده از داده‌های سال ۲۰۱۴ مربوط به ۸۴ نمونه خاک و هدایت الکتریکی آن‌ها تهیه شد. سپس با استفاده از مدل شبکه عصبی، رابطه بین داده‌های زمینی و متغیرهای محیطی (شاخص خشکسالی هواشناسی، آب زیرزمینی، داده‌های ماهواره لندست ۷ و ۸ و شاخص پوشش گیاهی NDVI و مدل رقومی ارتفاع) به دست آمد و میزان شوری خاک در سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰ شبیه‌سازی و نقشه شوری خاک در این دو سال ترسیم شد. نتایج نشان‌دهنده افزایش میزان شوری در منطقه همراه با تغییرات ناچیز پوشش گیاهی در قسمت‌های غرب و جنوبی دشت است به طوری که میانگین آن در سال ۲۰۰۶ از ۵۶/۱۷ dS/m به ۵۹/۴۸ dS/m در سال ۲۰۱۴ رسید. به طور کلی با افزایش شدت خشکسالی هواشناسی و هیدروژئولوژیکی در دشت یزد اردکان، میزان شوری خاک افزایش یافت؛ هرچند تغییرات پوشش گیاهی ناچیز بوده است.

کلیدواژه‌ها: خشکسالی هواشناسی، شاخص منبع آب زیرزمینی، شبکه عصبی مصنوعی، پوشش گیاهی.

۱. کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان

۲. استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه اردکان، نویسنده مسئول، ssoltani@ardakan.ac.ir

۳. استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، گروه مهندسی طبیعت

۴. استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه اردکان

* این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه اردکان است.

مقدمه

خشکسالی مخاطره‌آمیزترین پدیده طبیعی است که اساساً در اثر کمبود بارندگی حاصل می‌شود. همه مناطق دنیا ممکن است در طول زمان شاهد پدیده خشکسالی باشند، اما این وضعیت در مناطقی که از نظر اقلیمی به‌طور نامنظم و تصادفی توسط سامانه‌های مختلف آب‌وهوایی تحت‌تأثیر قرار می‌گیرند، بیشتر مشاهده می‌شود.

در دهه اخیر، مطالعات زیادی در خصوص خشکسالی هواشناسی و هیدروژئولوژیکی انجام شده که نشان‌دهنده رابطه معنی‌دار شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و هیدروژئولوژیکی است (خورانی و خواجه، ۲۰۱۴؛ بختیاری و همکاران، ۲۰۱۶؛ داودی و همکاران، ۲۰۱۷؛ خان‌او همکاران، ۲۰۰۸؛ شمس‌الدین و هازاریکا، ۲۰۱۰).

یکی از سیستم‌هایی که به شدت تحت‌تأثیر خشکسالی واقع شده و کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد، آب‌های زیرزمینی است (سلطانی گردفرامری و حسن‌آبادی، ۲۰۱۸). برای تجزیه و تحلیل این نوع خشکسالی، باید آمار بارندگی، دبی رودخانه‌ها و چاه‌های پی‌زومتری مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. ولی اغلب رودخانه‌ها به‌صورت فصلی بوده و اکثر مواقع خشک می‌باشند و فعالیت‌های کشاورزی در اکثر نقاط منحصراً به منابع آب‌های زیرزمینی وابسته‌اند؛ به همین دلیل در خشکسالی هیدروژئولوژیک باید نوسانات سفره‌های آب زیرزمینی بررسی شود (کرمی و کاظمی، ۲۰۱۲).

از طرفی، افزایش جمعیت در سال‌های اخیر و رشد سریع مصرف آب و آبیاری که متأسفانه با گرم شدن تدریجی کره زمین و خشکسالی‌های منطقه‌ای هم‌زمان بوده است، نیاز آبی مؤثر گیاهان را افزایش داده است. این موضوع در مناطق خشک و نیمه‌خشک با شدت تبخیر زیاد، اثرات زیان‌بارتری در پی داشته که از جمله آن، تبخیر آب، باقی ماندن نمک بر سطح خاک و مشکل شوری خاک و افزایش پراکنش آن است. هرچند که شور شدن خاک مانند سایر مخاطرات محیطی اثرات سریع و آنی ندارد، به دلیل عواقبی که بر زندگی بشر در

دنیا امروز دارد، بسیار مورد توجه قرار گرفته و به‌عنوان یک مخاطره محیطی شدید مطرح شده است (وو و همکاران، ۲۰۰۸). خاک‌های شور بخش وسیعی از کشور ایران را فرا گرفته است. این خاک‌ها در مساحت‌های کوچک در نقاط مختلف کشور پراکنده است، که اراضی مجاور خود را در اثر شوری مورد تهدید و خطر جدی قرار می‌دهند. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، کاهش سطح ایستابی آب زیرزمینی و تنزل کیفیت شیمیایی آن (در اثر افزایش غلظت املاح) در ایجاد شوری ثانویه خاک، شوری آب‌های سطحی، کاهش باروری خاک‌ها و... نقش اساسی دارد (مالینز و مترنیکت، ۲۰۰۶).

از سوی دیگر، در سال‌های اخیر استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور در مطالعات خشکسالی رواج یافته است. برای مثال باعقیده و همکاران (۲۰۱۱) برای شناسایی شاخص جایگزین به‌جای شاخص‌های اقلیمی، ارزیابی و پایش خشکسالی‌ها، از آمار بارش شاخص SPI و از تصاویر ماهواره‌ای، شاخص NDVI را توصیه کردند. همبستگی بین شاخص‌ها در همه ایستگاه‌ها قابل قبول بود. این مسئله نشان داد که شاخص پوشش گیاهی NDVI می‌تواند جایگزین مناسبی برای شاخص‌های اقلیمی در ارزیابی و پایش خشکسالی‌ها باشد. آذرافرا و مختاری (۲۰۱۳) تغییرات شوری آب دریاچه ارومیه در اثر خشکسالی را با استفاده از سنجش از دور بررسی کردند. نتایج نشان داد اثرات تغییرات شوری در طی گستره زمانی معرف خشکسالی در بخش شمالی و جنوبی دریاچه بسیار متفاوت است.

آلبد و کومار (۲۰۱۳) به بررسی نقشه‌برداری شوری خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک با استفاده از سنجش از دور پرداختند. ایشان عنوان کردند که شوری خاک را می‌توان از داده‌های سنجش از دور به‌صورت مستقیم برآورد و به‌صورت غیرمستقیم از گیاهان شورپسند و تأثیر عملکرد آن بر سطح خاک بررسی کرد.

وانگ و همکاران (۲۰۱۵) به ارزیابی پویایی خشکسالی و اثرات آن بر پوشش گیاهی در چین از سال ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۱ با

و اردکان در آن قرار دارند. این دشت از غرب و جنوب غربی به کوهستان شیرکوه و از شرق به کوه‌های خرائق محدود می‌شود. در شمال این دشت، باتلاق نمک اردکان-نابین قرار دارد. جنوب آن به کفه بهادران می‌پیوندد. بلندترین ارتفاع آن را قلّه شیرکوه با ارتفاع ۴۰۷۵ متر و پست‌ترین آن را کویر اردکان با ارتفاع ۹۶۵ متر از سطح دریا تشکیل می‌دهد. در شکل (۱)، محدوده دشت یزد-اردکان و نقاط برداشت داده‌های شوری مشخص شده است. روش نمونه‌برداری داده‌های شوری هایپرکیوب است که بر اساس تغییرات متغیرهای ورودی، محل نمونه‌ها را مشخص می‌کند. این روش نمونه‌برداری به‌عنوان روش معمول در نقشه‌برداری رقومی خاک استفاده می‌شود. علت کمبود نمونه در غرب منطقه، کوهستانی بودن منطقه در این قسمت و غیرممکن بودن نمونه‌برداری بوده است.

داده‌های مورد استفاده

برای انجام این پژوهش، ابتدا داده‌های مربوط به بارندگی از ۶ ایستگاه باران‌سنجی (ایستگاه‌های اردکان، میبد، بهادران، اشکذر، ندوشن و یزد) از اداره هواشناسی و داده‌های آب زیرزمینی از ۳۸ چاه پیرومتری موجود در منطقه از اداره آب منطقه‌ای استان یزد جمع‌آوری شد و پس از کنترل کیفی و اصلاح و بازسازی داده‌ها دوره آماری هجده‌ساله (۱۳۷۷-۱۳۹۴) به‌عنوان دوره آماری مشترک برای تمامی ایستگاه‌ها در نظر گرفته شد. برای بررسی وضعیت خشکسالی هواشناسی در منطقه، از شاخص بارش استاندارد (SPI) و برای بررسی خشکسالی منابع آب زیرزمینی از شاخص (GRI) استفاده شد. شاخص خشکسالی SPI از رابطه (۱) و شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI) از رابطه (۲) محاسبه شد. در این رابطه، P_I میزان بارندگی سالانه، \bar{P} میانگین بارندگی، SD انحراف از معیار، $D_{y,m}$ مقادیر ارتفاع سطح آب زیرزمینی در سال y و ماه m ، $\mu_{D,m}$ میانگین ارتفاع آب زیرزمینی در ماه m و $\delta_{D,m}$ انحراف معیار سطح آب زیرزمینی در ماه m می‌باشد.

$$SPI = \frac{P_I - \bar{P}}{SD} \quad (1)$$

$$GRI = \frac{D_{y,m} - \mu_{D,m}}{\delta_{D,m}} \quad (2)$$

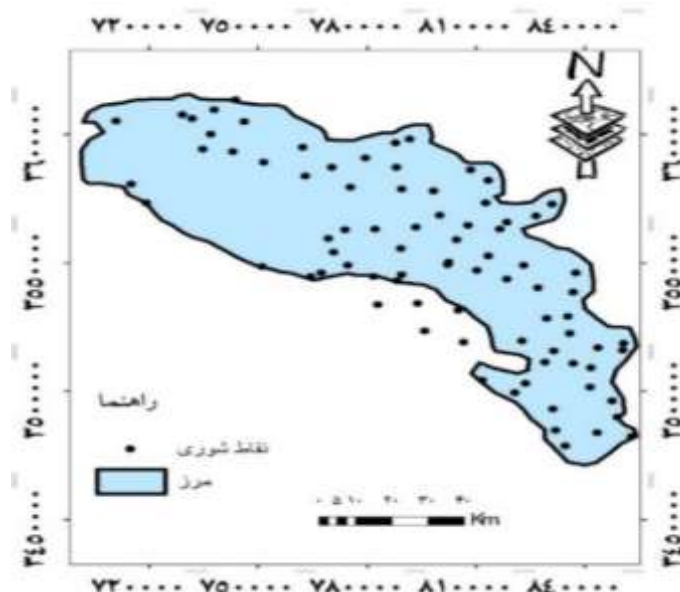
استفاده از شاخص SPI پرداختند. نتایج نشان داد که خشکسالی در طول فصل رشد و قبل از فصل رشد باعث ایجاد اثرات منفی زیادی بر روی پوشش گیاهی شده است. نوروزی و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از داده‌های هدایت الکتریکی خاک به‌دست‌آمده از ۲۳۶ نقطه در دشت گرمسار به بررسی رابطه همبستگی بین مقادیر هدایت الکتریکی با ۲۷ متغیر به‌دست‌آمده از تصاویر ماهواره‌ای لندست (شاخص‌های پوشش گیاهی، شوری، باندهای ۱ تا ۷ ماهواره، شاخص مؤلفه‌های اصلی و شاخص انتقال طیفی) اقدام کردند. همه شاخص‌ها همبستگی معنی‌داری در سطح یک درصد با ضریب هدایت الکتریکی خاک نشان دادند. نتایج گویای این است که کاربرد داده‌های ماهواره‌ای روشی مناسب و کم‌هزینه برای برآورد شوری سطحی خاک است.

با توجه به اهمیت خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی در دهه‌های اخیر و تأثیر آن بر شوری خاک دشت یزد اردکان و به‌تبع آن پوشش گیاهی منطقه، همچنین استفاده از روش‌های داده‌کاوی برای مدل‌سازی شوری، تحقیق پیش رو بدین منظور در طی یک دوره آماری مشترک هفده‌ساله (۱۳۷۷-۱۳۹۴) انجام شده است. طبق بررسی انجام‌شده تاکنون ارتباط بین شاخص‌های خشکسالی و شوری خاک به‌طور هم‌زمان و مدل‌سازی آن و استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی به این منظور در این دشت مطالعه نشده است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، حوزه دشت یزد-اردکان است. حوزه دشت یزد-اردکان با مساحت ۱۵۹۵۰/۷۰ کیلومترمربع در بخش شمالی استان یزد قرار دارد و در حدود ۲۴/۹ درصد از مساحت کل استان را شامل می‌شود. این حوزه در محدوده عرض ۳۱ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی و طول ۵۲ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۵۹ دقیقه شرقی فلات مرکزی ایران گسترده شده است. میزان متوسط بارندگی در بسیاری از نقاط این دشت کمتر از ۶۵ میلی‌متر در سال است. دشت یزد-اردکان دشتی است پهناور که شهرهای مهریز، یزد، اشکذر، میبد



شکل (۱): دشت یزد-اردکان و نقاط برداشت داده‌های شوری
Figure (1): Yazd-Ardakan plain and salinity data points

متغیرهای محیطی (داده‌های حاصل از تصویر ماهواره‌ای، شاخص‌های خشکسالی SPI و GRI، شاخص پوشش گیاهی و مدل رقومی ارتفاع) شوری خاک در نقاط دیگر منطقه مورد مطالعه تعیین و نقشه شوری خاک در سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴ تهیه شد. به منظور مدل‌سازی شوری، پس از پیش‌پردازش‌های اولیه، داده‌های خام ساختار بهینه شبکه تعیین شد. در شبکه عصبی، ساختار شبکه شامل نوع ورودی‌ها و خروجی‌ها، تعداد لایه‌های مخفی و تعداد نرون‌ها در هر لایه مخفی، نوع تابع فعال‌سازی و روش الگوریتم آموزشی است (شکل ۱). ارزیابی مدل به روش اعتبارسنجی یک‌طرفه یک مورد خاص از اعتبارسنجی متقابل است. در این روش، هر رکورد داده‌ای یک بار در مرحله آموزش و یک بار در مرحله تست استفاده می‌شود. حالت عمومی‌ترین روش k-fold cross-validation نام دارد که در آن مقدار k برابر N، یعنی برابر اندازه مجموعه داده‌های اولیه قرار می‌گیرد. این حالت Leave-One-Out نامیده می‌شود. مزیت این حالت در آن است که از بیشترین تعداد داده‌های ممکن برای مرحله آموزش استفاده می‌کند. ورودی‌های شبکه برای پیش‌بینی هدایت الکتریکی خاک شامل داده‌های کمی ارائه شده در جدول (۱) می‌باشد.

داده‌های شوری نیز در ۸۴ نقطه از دشت یزد-اردکان در سال ۲۰۱۴ از بانک اطلاعات خاک منطقه تهیه شد. سپس به منظور بهینه‌بندی شدت خشکسالی در محیط نرم‌افزاری ArcGIS از روش درون‌یابی عکس فاصله وزنی استفاده شد. همچنین از تصاویر ماهواره‌ای به منظور استخراج پارامترهای کمکی استفاده شد. باندهای تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ (باند ۱ تا ۵ و باند ۷) در سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۱۰، ۲۰۱۴ مربوط به فصل تابستان از سایت USGS دانلود شد. با تهیه تصاویر ماهواره‌ای و انجام تصحیحات لازم مقادیر باندها در نقاط مورد نظر استخراج شد. همچنین با استفاده از این تصاویر، شاخص پوشش گیاهی (NDVI) نیز تهیه شد. شاخص NDVI نسبت به تغییر در مقدار بیومس، مقدار کلروفیل و تنش در مقدار آب تاج‌پوشش واکنش نشان می‌دهد. این شاخص در رابطه زیر، نحوه محاسبه NDVI در نرم‌افزار ENVI 4.5 می‌باشد. از نظر تئوری، مقدار این شاخص در محدوده -۱ و +۱ متغیر است.

$$NDVI = \left(\frac{P_{nir} - P_{red}}{P_{nir} + P_{red}} \right) \quad (3)$$

در این رابطه، P_{nir} و P_{red} به ترتیب بازتابندگی در باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز است.

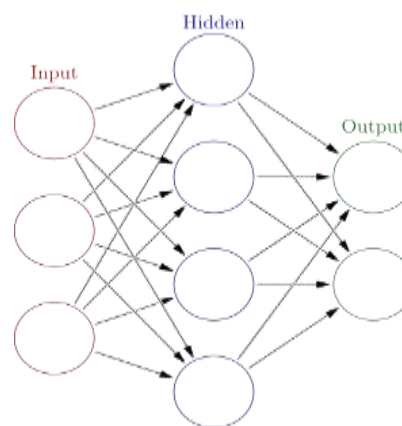
در مرحله بعد با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و به منظور یافتن ارتباط بین پارامتر شوری خاک سال ۲۰۱۴ و

جدول (۱): متغیرهای مورد استفاده به عنوان متغیرهای پیش‌بینی کننده در مدل‌سازی

Table (2): Variables used as predictor variables in modeling

پارامتر	تعریف
B1-B7	باندهای تصاویر ماهواره‌ای
NDVI	$NIR - R$ $NIR + R$
DEM	مدل رقومی ارتفاع
SPI	شاخص خشکسالی هواشناسی
GRI	شاخص خشکسالی آب زیرزمینی

۴). همان گونه که در نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص SPI و GRI در سال ۲۰۰۶ مشاهده می‌شود، بیشترین میزان خشکسالی برای هر دو شاخص، در قسمت مرکزی و جنوب دشت است. متوسط میزان شاخص SPI، ۰/۰۸ و شاخص GRI، ۰/۲۱ می‌باشد. برای سال ۲۰۰۶ از نظر شاخص SPI خشکسالی تقریباً نرمال و GRI وضعیت از نوع مرطوب ملایم است. در سال ۲۰۱۰، بیشترین میزان خشکسالی هواشناسی در قسمت شرق دشت یزد-اردکان با میزان میانگین ۰/۰۴- می‌باشد که نشان‌دهنده خشکسالی از نوع تقریباً نرمال در این سال است. شاخص آب زیرزمینی در قسمت‌های مرکزی، شرق و شمال غرب دشت به میانگین ۰/۴۹ می‌رسد که خشکسالی آب زیرزمینی از نوع مرطوب ملایم است. در سال ۲۰۱۴، بیشترین خشکسالی هواشناسی در قسمت‌های شمال و جنوب دشت و شاخص آب زیرزمینی در قسمت‌های شمالی حوزه مشاهده می‌شود. میانگین شاخص SPI در این سال ۰/۰۷ که برابر با خشکسالی تقریباً نرمال در دشت مورد مطالعه و شاخص GRI، ۰/۵۲ با خشکسالی از نوع خشکسالی نرمال است. البته باید به این نکته اشاره کرد که در همه سال‌ها و در همه مناطق دشت، خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی به صورت هم‌زمان روی نداده است؛ زیرا معمولاً خشکسالی آب زیرزمینی با تأخیر زمانی نسبت به خشکسالی هواشناسی اتفاق می‌افتد (حیدری و همکاران، ۲۰۱۵).

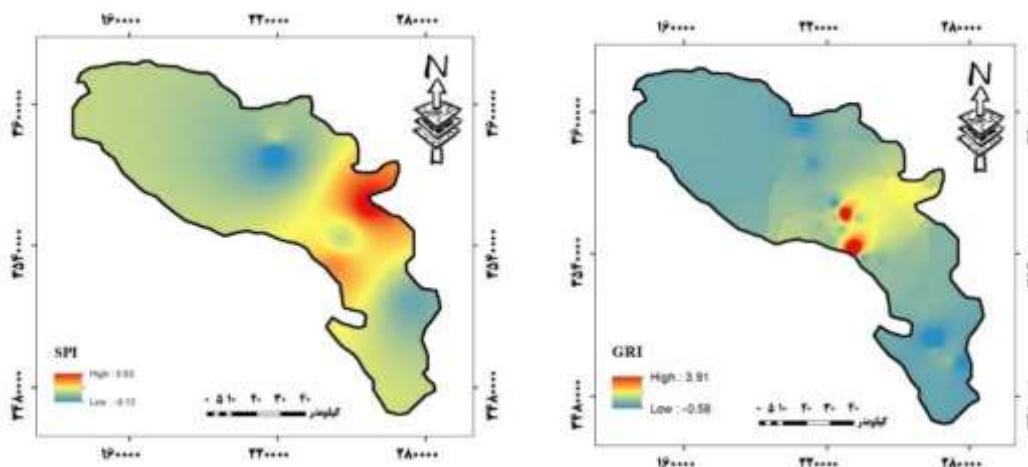


شکل (۱): ساختار یک شبکه عصبی
Figure (1): The structure of a neural network

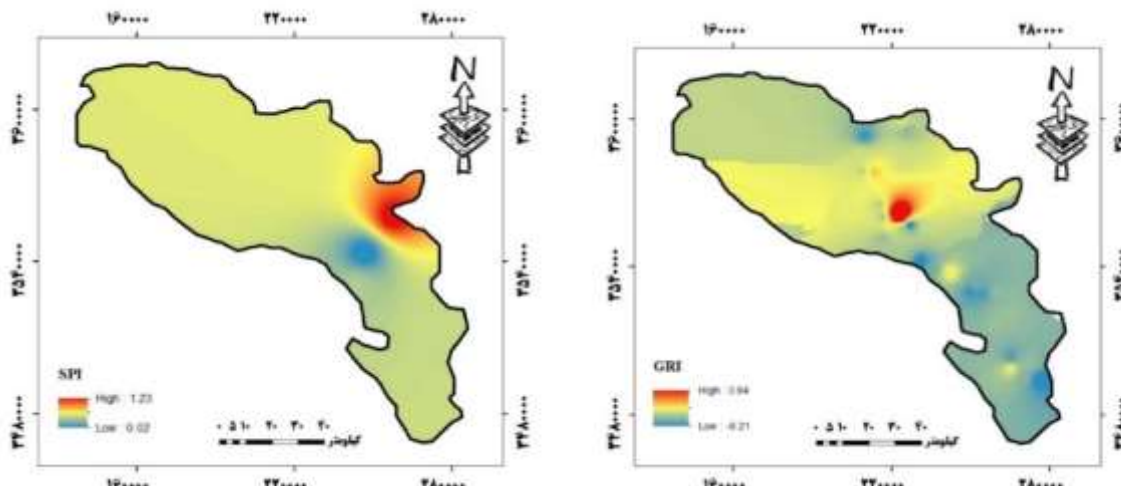
نتایج

توزیع مکانی خشکسالی هواشناسی (SPI) و خشکسالی آب زیرزمینی (GRI)

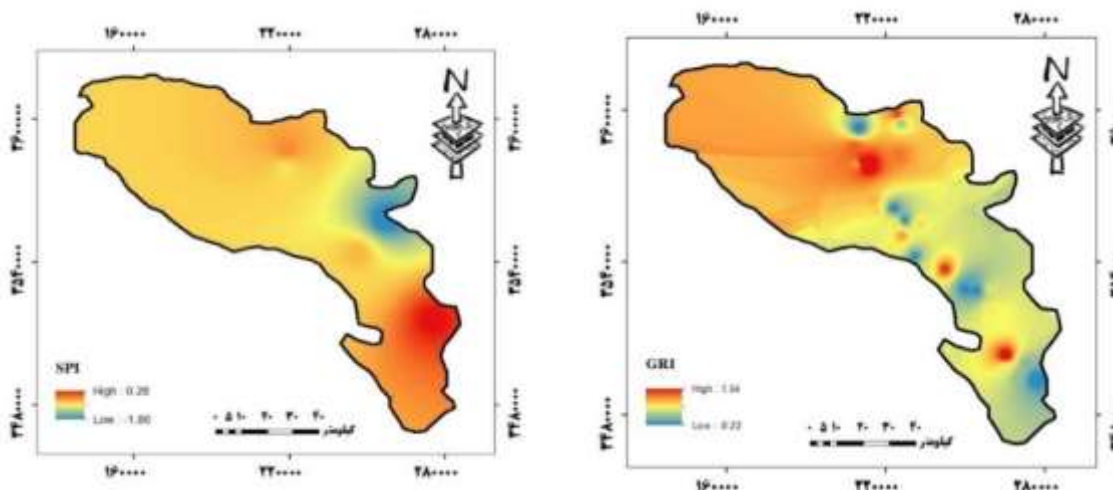
برای بررسی مکانی شاخص‌های هواشناسی SPI و آب‌های زیرزمینی GRI، نقشه‌های خشکسالی تهیه شد (شکل ۲ تا



شکل (۲): پهنه‌بندی شاخص SPI و GRI در سال ۲۰۰۶
Figure (2): SPI and GRI index zoning in 2006



شکل (۳): پهنه‌بندی شاخص SPI و GRI در سال ۲۰۱۰
Figure (3): SPI and GRI index zoning in 2010



شکل (۴): پهنه‌بندی شاخص SPI و GRI در سال ۲۰۱۴
Figure (4): SPI and GRI index zoning in 2014

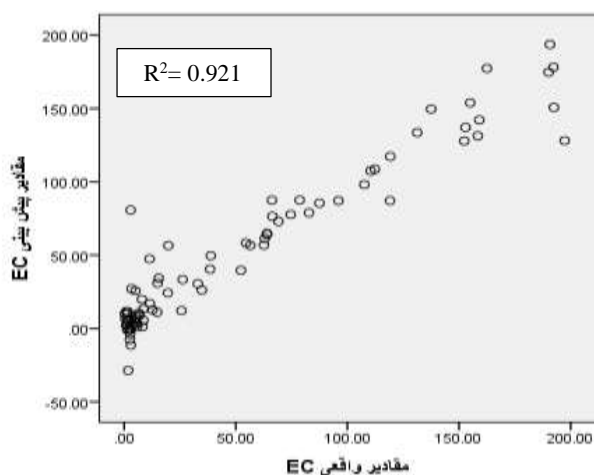
گیاهی ندارند، احتمال شور شدن خاک زیاد است. همچنین پارامتر شوری، خود، عامل محدودکننده رشد و توسعه پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. البته در خصوص کاهش پوشش گیاهی در سال ۲۰۱۴ نسبت به سال ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰ که در نقشه نیز مشخص است، باید به این نکته اشاره کرد که در سال‌های اخیر با کاهش منابع آب با کیفیت مناسب و توسعه نواحی شهری و فعالیت‌های صنعتی، به‌ویژه در شهرستان‌های میبد و اردکان و خشکسالی‌های متوالی، مساحت زمین‌های مرتعی و کشاورزی در این دشت کاهش یافته و به اراضی با کاربری مسکونی و شهری تغییر کرده است (رفیع شریف‌آباد و همکاران، ۲۰۱۷).

نقشه پوشش گیاهی (NDVI)

نقشه شاخص پوشش گیاهی در شکل (۵) نشان داده شده است. متوسط میزان شاخص پوشش گیاهی در سال ۲۰۰۶، ۰/۲۸ می‌باشد. همچنین برای سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴ میزان متوسط شاخص پوشش گیاهی به ترتیب ۰/۳۰ و ۰/۲۹ است. هرچه این نسبت به یک نزدیک‌تر می‌شود، پوشش گیاهی متراکم‌تر می‌گردد. کمترین میزان پوشش در قسمت‌های غربی و جنوبی دشت مشاهده می‌شود. هرچه مقادیر به سمت صفر و منفی میل می‌کند، پوشش گیاهی تُنک‌تر و کمتر می‌شود. به‌وسیله این شاخص می‌توان به‌صورت غیرمستقیم، مناطق شور را تا حدودی مشخص کرد؛ زیرا در مناطقی که پوشش

تهیه نقشه شوری خاک

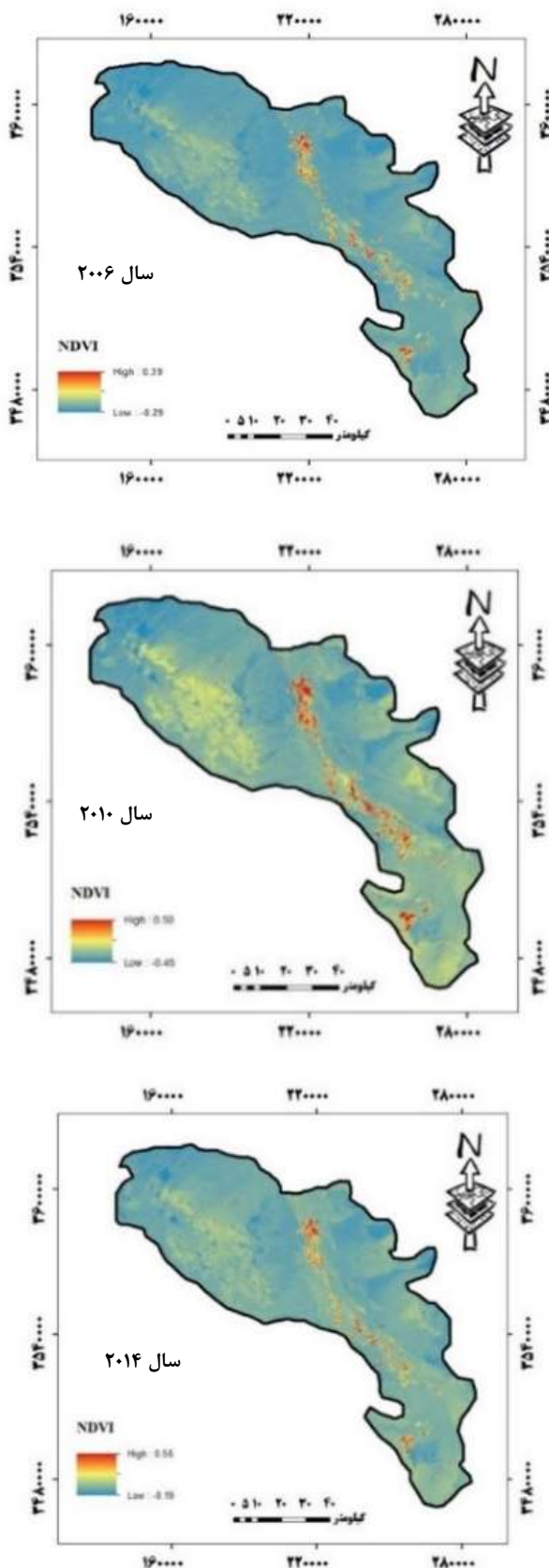
خلاصه آماره‌های توصیفی برای هدایت الکتریکی سطحی خاک در سال ۲۰۱۴ برای مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده در جدول (۲) ارائه شده است. مقدار هدایت الکتریکی خاک در سال ۲۰۱۴ از ۳۵ تا ۱۹۷/۳۰ دسی زیمنس بر متر متغیر بوده و انحراف معیار آن حدود ۷۰ بوده است؛ که این مقدار نشان‌دهنده تغییرپذیری زیاد شوری در منطقه مورد مطالعه است. نمودار پراکنش مقادیر واقعی شوری و مقادیر پیش‌بینی شده در سال ۲۰۱۴ در شکل (۶) نمایش داده شده است. همان‌طور که نتیجه نشان می‌دهد مدل توانسته است با دقت قابل قبولی مقدار شوری را پیش‌بینی کند. در نتیجه با استفاده از مدل شبکه عصبی مقادیر شوری در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۰۶ نیز پیش‌بینی شد (شکل ۷). در سال ۲۰۰۶ میانگین شوری در منطقه ۵۶/۱۷، در سال ۲۰۱۰ میانگین شوری ۵۸/۷۳، در سال ۲۰۱۴ میانگین شوری ۵۹/۴۸ دسی زیمنس بر متر است که روند افزایشی شوری خاک در این منطقه را نشان می‌دهد. بیشترین میزان شوری خاک در سال ۲۰۱۴ در قسمت شمال شرق و شرق حوزه و قسمت‌هایی از مرکز است که شوری از شمال تا جنوب دشت یزد اردکان مشخص می‌باشد.



شکل (۶): مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده شوری و مقادیر

اندازه‌گیری شده در سال ۲۰۱۴

Figure (6): Comparison of predicted salinity values and measured values in 2014



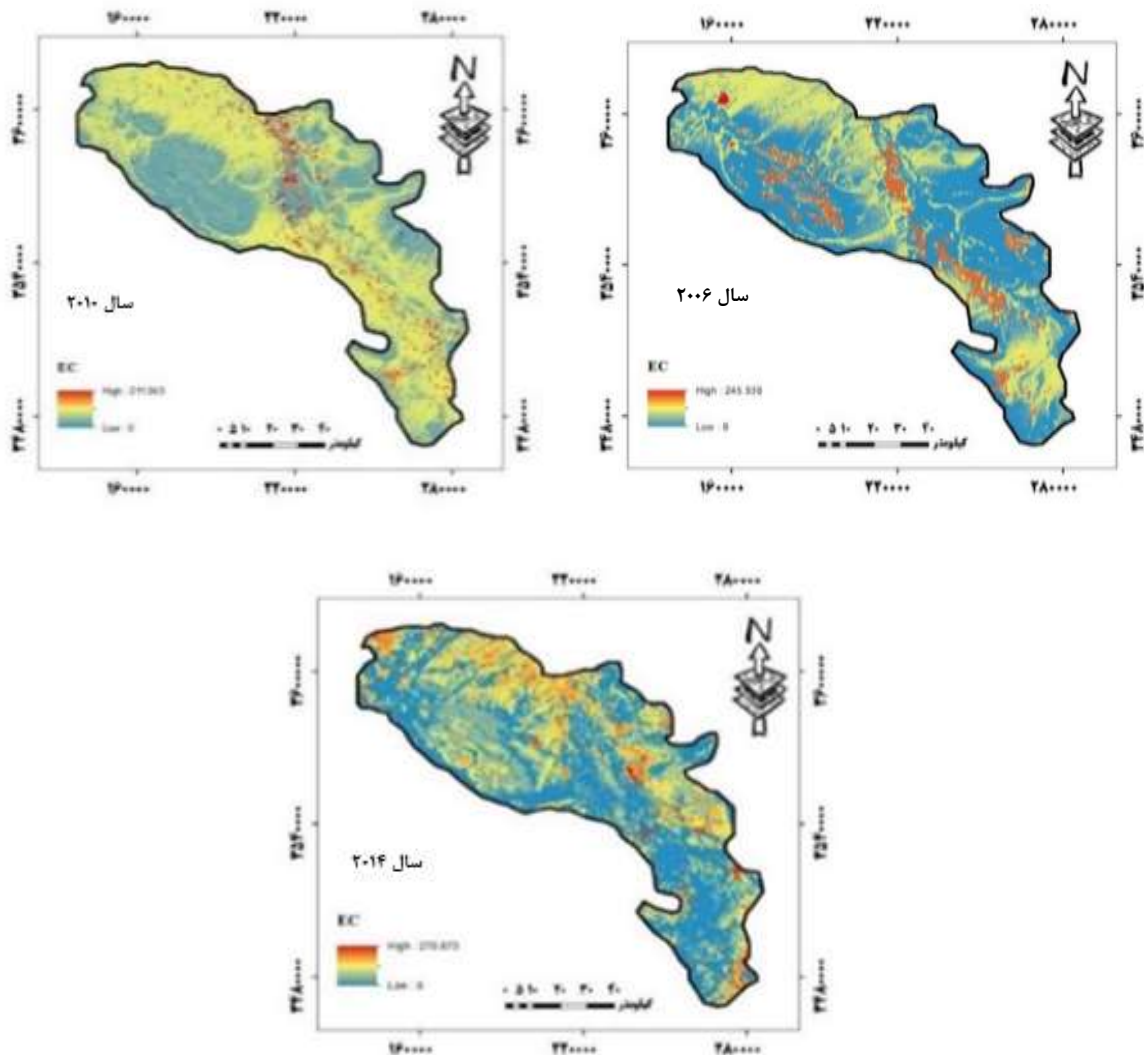
شکل (۵): نقشه پوشش گیاهی در سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴

Figure (5): Vegetation map for 2006, 2010 and 2014

جدول (۲): توصیف آماری هدایت الکتریکی خاک سطحی (EC) در منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۱۴

Table (2): Statistical description of surface electrical conductivity (EC) in the study area in 2014

انحراف معیار	میان	کمینه	بیشینه	میانگین	خصوصیات آماری
۶۰/۹۱	۱۹/۶	۳۵	۱۹۷/۳۰	۵۲/۱۳	هدایت الکتریکی (dS/m)
۵۵/۳۱	۳۰/۸۶	-۲۸/۶۷	۱۹۳/۶۴	۵۲/۰۷	هدایت الکتریکی پیش‌بینی شده (dS/m)



شکل (۷): نقشه شوری خاک منطقه با استفاده از مدل شبکه عصبی در سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴

Figure (7): Soil salinity map of the area using neural network model for 2006, 2010 and 2014

پوشش گیاهی کاهش یافته و با افزایش فاصله سطح ایستابی و پایین‌تر رفتن سطح آب زیرزمینی (کاهش شاخص آب زیرزمینی) شوری افزایش یافته است. همچنین با کاهش بارندگی و منفی‌تر شدن شاخص SPI، مقادیر شوری افزایش می‌یابد. علامت منفی در شاخص‌های مورد نظر نشان‌دهنده رابطه معکوس بین هر دو پارامتر است. هرچند این کاهش

به منظور بررسی رابطه شاخص‌های محاسبه شده با مقادیر شوری، ضریب همبستگی مقادیر شوری با شاخص‌های خشکسالی هواشناسی، آب‌های زیرزمینی و شاخص پوشش گیاهی در سال‌های مورد نظر محاسبه شد (جدول ۳). نتایج نشان‌دهنده رابطه معکوس شوری با پارامترهای مورد بررسی است. به این معنی که با افزایش شوری در مدت مورد مطالعه،

جدول (۴): پارامترهای آماری شاخص‌های مورد محاسبه
Table (4): Statistical parameters of calculated indices

سال	پارامتر آماری	EC(ds/m)	SPI	GRI	NDVI
۲۰۰۶	میانگین	۵۶/۱۷	۰/۰۸	۰/۲۱	۰/۲۸
	میانه	۴۶/۶	۰/۳۹	۰/۲۶	۰/۲۸
۲۰۱۰	میانگین	۵۸/۷۳	-۰/۰۴	۰/۴۹	۰/۳
	میانه	۴۸/۷۳	۰/۰۹	۰/۳۹	۰/۳۱
۲۰۱۴	میانگین	۵۹/۴۸	۰/۰۷	۰/۵۲	۰/۲۹
	میانه	۵۵/۶۲	۰/۲۱	۰/۵۴	۰/۸۷

بحث و نتیجه‌گیری

برای تهیه نقشه شوری با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و یافتن ارتباط بین پارامتر شوری خاک سال ۲۰۱۴ و متغیرهای محیطی (داده‌های حاصل از تصویر ماهواره‌ای در فصل تابستان و مدل رقومی ارتفاع) و شاخص‌های خشکسالی SPI و GRI شوری خاک در نقاط دیگر منطقه مورد مطالعه تعیین و نقشه شوری خاک در سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴ تهیه شد. نتایج نشان داد که روش شبکه عصبی با استفاده از متغیرهای ورودی نظیر تصاویر ماهواره‌ای، مدل رقومی ارتفاع، شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی و شاخص پوشش گیاهی می‌تواند به خوبی مقادیر شوری را در سال‌های فاقد داده پیش‌بینی کند.

نقشه‌های شوری پیش‌بینی شده نشان داد که میانگین شوری در دشت یزد اردکان طی سه سال مورد بررسی روند افزایشی داشته است به طوری که میانگین آن در سال ۲۰۰۶ از ۵۶/۱۷ ds/m به ۵۹/۴۸ ds/m در سال ۲۰۱۴ رسیده است. بیشترین میزان شوری خاک در سال ۲۰۱۴ در قسمت شمال شرق و شرق حوزه و قسمت‌هایی از مرکز است که شوری از شمال تا جنوب حوزه مشخص می‌شود.

برای مقایسه بین پارامترها (شاخص SPI, GRI, EC و NDVI) نقشه‌های مربوط به هر سال ترسیم و مقایسه شد. نقشه شاخص پوشش گیاهی NDVI برای سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴ با استفاده از نرم‌افزار سنجنش از دور ENVI تهیه شد. میزان شاخص پوشش گیاهی در سال ۲۰۰۶ کم و به میزان ۰/۲۸ بوده، در سال ۲۰۱۰ روند افزایشی ناچیز داشته و مجدداً در سال ۲۰۱۴ روند کاهشی داشته و میزان میانگین آن به ۰/۲۹

فقط در سال ۲۰۱۰ برای شاخص پوشش گیاهی در سطح ۰/۵ معنی‌دار بوده است. به‌طور کلی، گیاهان مناطق شور با سه مشکل اصلی مواجه‌اند: ۱. تنش خشکی ناشی از پتانسیل آبی کم، نسبت به پتانسیل اسمزی سلول‌های گیاهی، ۲. عدم تعادل عناصر غذایی ناشی از کاهش جذب، انتقال و توزیع عناصر غذایی مانند کلسیم و منیزیم، ۳. سمیت یونی مربوط به جذب زیاد سدیم و کلرید که اثرات زیان‌آوری بر غشاهای سلولی و سیستم‌های آنزیمی دارند (کاشی زنوزی و بانج شفيعی، ۲۰۱۷). پارامترهای آماری شاخص‌های مورد محاسبه در جدول (۴) نشان داده شده است. نتایج بررسی شاخص خشکسالی هواشناسی در دشت یزد- اردکان نشان داد که در سال‌های مورد بررسی، شاخص SPI تقریباً نرمال بوده است. شاخص آب زیرزمینی GRI روند افزایشی داشته به طوری که میزان متوسط آن در سال ۲۰۰۶ از ۰/۲۱ مرطوب ملایم به ۰/۵۲ خشک ملایم در سال ۲۰۱۴ رسیده است. با بررسی نقشه‌ها و میانگین این دو شاخص می‌توان چنین استنباط کرد که افت سطح ایستابی دشت یزد اردکان می‌تواند تحت تأثیر خشکسالی هواشناسی و افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی باشد. درباره شاخص پوشش گیاهی، متوسط این شاخص در سال ۲۰۰۶ کم بوده، در سال ۲۰۱۰ روند افزایشی ناچیز داشته و مجدداً در سال ۲۰۱۴ روند کاهشی داشته است و میزان میانگین آن به ۰/۲۹ رسیده است. نتایج بررسی شاخص شوری در سه سال مورد بررسی نشان‌دهنده روند افزایشی است که میانگین و میانه آن در هر سه سال افزایش داشته است، به طوری که میانگین آن در سال ۲۰۰۶ از ۵۶/۱۷ ds/m به ۵۹/۴۸ ds/m در سال ۲۰۱۴ رسیده است.

جدول (۳): ضریب همبستگی شاخص‌های اندازه‌گیری شده

Table (3): Correlation coefficient of measured indices

	SPI	GRI	NDVI	
EC	-۰/۰۲۶	-۰/۰۲۴	-۰/۰۳۲	۲۰۰۶
EC	۰/۰۵۶	-۰/۰۲۱	-۰/۰۳۰*	۲۰۱۰
EC	-۰/۰۲۹	-۰/۰۸۳	-۰/۱۸۳	۲۰۱۴

قروه استان کردستان پرداختند. نتایج نشان داد که مدل شبکه عصبی دارای دقت بیشتری نسبت به رگرسیون درختی برای پیش‌بینی شوری خاک است.

صابری و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از شاخص‌های خشکسالی NDVI و DVI حاصل از تصاویر سنجنده مودیس در استان آذربایجان غربی، نشان دادند که بیشترین همبستگی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی با شاخص NDVI است.

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، مدل‌های رقومی ارتفاع و مدل‌سازی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی دارای دقت قابل قبول در مطالعات مربوط به حوضه‌های آبخیز است.

همچنین در مناطق خشک و نیمه‌خشک با خاک‌های شور و سدیمی که بیشتر تحت تأثیر خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی قرار می‌گیرند، با افزایش سدیم خاک که یکی از عوامل پراکندگی کلونیدهای رسی و انهدام ساختمان خاک و در نتیجه از بین رفتن تهویه و کاهش نفوذپذیری می‌شود، در تنفس گیاه اختلال ایجاد کرده و با ایجاد محیط سمی در اطراف ریشه گیاه، شرایط را برای استقرار و رشد گیاه محدود می‌کند. از طرف دیگر، شوری باعث توقف رشد و کاهش سطح برگ گیاه شده، جذب نور و ظرفیت کل فتوسنتز کاهش یافته و رشد و پوشش گیاهی نزول پیدا می‌کند.

رسیده است. با کاهش مقادیر شاخص پوشش گیاهی در طی دوره آماری و با توجه به نتایج همبستگی شاخص‌های اندازه‌گیری شده می‌توان نتیجه‌گیری کرد که با افزایش شدت خشکسالی هواشناسی و به دنبال آن خشکسالی آب زیرزمینی و کاهش پوشش گیاهی میزان شوری در منطقه افزایش یافته است. چوبین و ملکیان (۲۰۱۶) تغییر سطح آب زیرزمینی و روند شور شدن آن را در دشت آسپاس استان فارس مورد مطالعه قرار دادند. هیدروگراف واحد دشت نشان داد که در دوره آماری (۱۳۸۱-۱۳۸۹) سطح آب‌های زیرزمینی روند نزولی داشته و همچنین رابطه عکس بین روند سطح ایستابی و شوری آب زیرزمینی مشاهده می‌شود. مقایسه تغییرات هدایت الکتریکی و سطح آب زیرزمینی در آبخوان نشان داد که شوری در مناطقی از دشت که سطح ایستابی کمتر است، افزایش می‌یابد.

کاشی زنوزی و بانج شفیع (۲۰۱۶) اثر شوری خاک بر پراکنش گونه‌های گیاهی در منطقه خشک و نیمه‌خشک فوجرد استان قم بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که پوشش گیاهی همبستگی معکوس با عوامل شوری خاک دارد و سدیمی شدن خاک مهم‌ترین عامل محدودکننده پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه بوده است.

مرادیان و همکاران (۲۰۱۸) به پیش‌بینی شوری خاک با استفاده از رگرسیون درختی و شبکه عصبی مصنوعی در منطقه

منابع

- Allbed, A. and Kumar, L., 2013. Soil salinity mapping and monitoring in arid and semi-arid regions using remote sensing technology: a review. *Advances in remote sensing*, 2(4): 373-380.
- Azarafza, M. and Mokhtari, M.H., 2013. Evaluation of drought effect on Urmia Lake salinity changes using remote sensing techniques, *Arid Biome Scientific and Research Journal*, 3(2): 1-14.
- Baaghdeh, M. and Ziyaian, P., 2011. Evaluating the possibility of using the NDVI index to analyze and monitor droughts in Esfahan Province. *Arid Regions Geographic Studies*, 1 (4): 1-16
- Bakhtiar, B., Malekian, R. and Salajegheh, A., 2016. Time and Lag Correlation Analysis between Climate Drought and Hydrological Drought in Hashtgerd Plain, 46(4): 609-616.
- Choubin, B., Malekian, A. and Sajedi Hosseini, F., 2016. Lag-Time and Effect of Meteorological Drought on the Groundwater Level. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*; 10 (34): 35-42.
- Davoodi, E., Ghasemeieh, H., Soleimani-Motlagh, M. and Moeinzadeh, M., 2017. Spatial and Temporal Analysis of Meteorological and Groundwater Droughts (Case Study: Northern Mahyar Plain of Esfahan), *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 6(15): 101-114.
- Karami, F. and Kazemi, H., 2012. Spatial Monitoring of Groundwater Salinity in Drought and Wet Periods Case Study: Tabriz Plain, *Geography and development Iranian*

- journal, 10 (28): 79-94.
8. Kashi zenouzi; L. and Banjshafee, Sh., 2017. Effect of soil salinity on the distribution of plant species in arid and semi-arid. *Journal of Range and watershed management*, 70(3): 751-762.
 9. Khan, S. Gabriele, H.F. and Rana, T., 2008. Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on watertables in irrigation areas. *Irrigation and Drainage Systems*. 22: 159-177.
 10. Khorani, A. and khajeh, M., 2014. An Investigation on the coincidence between trend of drought and groundwater levels decline (A Case Study: Plain of Darab). *The Journal of Spatial Planning*, 18(2):57-80.
 11. Heidari, E., Ekrami, M. and Nasabpour, S., 2015. Temporal and Spatial Study Groundwater Quality Using Geostatistical (Case study: Yazd -Ardakan Plain). *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 4(6): 63-70.
 12. Malins, D. and Metternicht, G., 2006. Assessing the spatial extent of dryland salinity through fuzzy modeling. *Ecological Modelling*, 193(3): 387-411.
 13. Moradian, Sh., Nabiollahi, K. and Taghizadeh-Mehrjardi, R., 2018. Prediction of soil salinity using tree regression and artificial neural network in Ghorveh soils, Kurdistan province. *J. of Soil Management and Sustainable Production*, 7(4): 115-129.
 14. Noroozi, A., Homaei, M. and Farshad, A., 2014. Estimating Topsoil Salinity from LANDST Data: A Comparison between Classic and Spatial Statistics, *journal of range and watershed management*, 66(4): 609-620.
 15. Rafei Sharifabad, J., Nohegar, A., Zehtabian, G., Khosravi, H. and Gholami, H., 2017. An assessment of the impacts of land-use changes on groundwater quality in Yazd-Ardakan plain. *Geography (Regional Planning)*, 7(1): 189-199.
 16. Shamsuddin, SH. and Hazarika, M.K., 2010. Groundwater Droutht in the Northwestern Districts of Bangladesh. *Water Resour Manage*, 24: 1989-2006.
 17. Saberi, A., Soltani-Gerdefaramarzi, S. and Miryaghoubzadeh, M.H., 2018. Study of drought using meteorological and remote sensing data (Azarbaijan province). *Journal of the Earth and Space Physics*, 44(2): 439-461.
 18. Soltani-Gerdefaramarzi, S. and Hasanabadi, M., 2018. Assessment of Groundwater Resources of Ardabil Plain Using the GRI index. 13th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran.
 19. Wang, H., Chen, A., Wang, Q. and He, B., 2015. Drought dynamics and impacts on vegetation in China from 1982 to 2011. *Ecological Engineering* 75: 303-307.
 20. Wu, J., Vincent, B., Yang, J., Bouarfa, S. and Vidal, A., 2008. Remote sensing monitoring of changes in soil salinity: a case study in Inner Mongolia, China. *Sensors*, 8(11): 7035-7049.

Investigating the spatial variations of drought indices and their effect on soil salinity in Yazd-Ardakan Plain

Aghdas Sharifi¹, Somayeh Soltani-Gerdefaramarzi^{*2}, Rouhollah Taghizadeh³, Najmeh Yarami⁴

Received: 14/08/2019

Accepted: 09/05/2020

Extended abstract

Introduction: Drought is an atmospheric phenomenon that affects different components of the environment. Caused mainly by the lack of precipitation, It is considered as the most dangerous natural phenomenon. All regions of the world may occasionally be affected by droughts, but it is more common in areas that are

1. Graduate Student, Collage of Agriculture and Natural Resource, Ardakan University, Ardakan, Iran

2. Assistant Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Collage of Agriculture and Natural Resource, Ardakan University, Ardakan, Iran, Corresponding Author, Email: ssoltani@ardakan.ac.ir

3. Assistant Professor, Department of Natural Engineering, Collage of Agriculture and Natural Resource, Ardakan University, Ardakan, Iran

4. Assistant Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Collage of Agriculture and Natural Resource, Ardakan University, Ardakan, Iran

DOI: 10.22052/deej.2020.9.27.1

climatically and accidentally influenced by different climatic systems. Although groundwater resources are normally affected by drought, they are not much accounted for in relevant studies. Delayed meteorological droughts in one place could lead to hydrological droughts that are caused by stress to water resources. Groundwater resources are among the environmental phenomena which are highly affected by drought. In the last decade, numerous studies have been conducted on meteorological and groundwater droughts, indicating a significant relationship between meteorological and hydrogeological drought indices. In arid and semi-arid regions, reduction of the level of the groundwater table water and degradation of its chemical quality (due to increased solute concentration) play a key role in causing secondary soil salinity, surface water salinity, soil fertility decline, etc. Considering the importance of meteorological and groundwater droughts in recent decades and their impact on the salinity of Yazd Ardakan plain and consequently the vegetation of the region, the present research is a prospective study that uses data mining methods for salinity modeling. It was conducted over an 18-year common statistical period (1998-2016). So far, the relationship between drought and soil salinity has not been investigated in this plain.

Materials and methods: The study area was Yazd-Ardakan plain. Having an area of 15950.70 km, Yazd-Ardakan plain is located in the northern part of Yazd province and covers roughly 24.9% of the total area of the province. The average precipitation at many intersections of the plain is less than 65 mm per year. Yazd-Ardakan plain includes vast cities such as Mehriz, Yazd, Ashkezar, Meybod, and Ardakan. The plain is bounded on the west and southwest by Shirkouh Mountains, and on the east by Kharnaq Mountains. To perform this study, precipitation data were first collected from the relevant database of the Weather Meteorological Organization. Moreover, the groundwater data were gathered from 38 wells which were located in the area which belongs to the Organization of Regional water of Yazd. Having carefully examined the data regarding 18 years of precipitation in the region (1376-1394), it was considered as a common statistical period for all the stations from which the required data were obtained. Standard Precipitation Index (SPI) and the Groundwater Resource Index (GRI) were used to assess the meteorological drought in the region. Salinity data were also obtained from 84 sites of Yazd-Ardakan plain in 2014 from the Soil Database of the region. Then, the weighted distance interpolation method was used to map drought severity in the ArcGIS software. Satellite images were also used to extract the auxiliary parameters. Landsat 7 and 8 satellite bands for the summers of 2006, 2010, 2014 (bands 1 to 5, and bands 7) were downloaded from the USGS site. This study sought to investigate the temporal and spatial variations of drought and their effect on soil salinity in Yazd –Ardakan plain. The vegetation index (NDVI) was also obtained, using the aforementioned images. Then, using the artificial neural network to find the relationship between the soil salinity parameter in 2014 and the environmental variables (satellite image data, SPI and GRI drought indices, vegetation index, and digital elevation model), the soil salinity was determined for the study area. Moreover, soil salinity maps were prepared for the years 2006, 2010, and 2014. To model the salinity, the optimal structure of the network was determined after the initial preprocessing of raw data.

Results: Having studied the SPI and GRI zoning maps of the year 2006, the highest drought rates were found in both the central and southern plains. The mean SPI index was 0.08 and the GRI index was 0.21. In terms of the SPI index, drought was almost normal and the GRI status was mild. In 2010, the highest meteorological drought in the eastern part of the Yazd Ardakan plain was reported as being -0.04, indicating an almost normal type of drought this year. The average Groundwater index in the central, eastern, and northwestern parts of the plain was 0.49, which is considered as a mild groundwater drought. In 2014, the highest meteorological drought was observed in the northern and southern parts of the plain, and the highest rate for the groundwater index was found in the northern part of the basin. The average SPI and the GRI indices for the same year were 0.07 and 0.52 respectively, which are considered as normal drought for the plain. The vegetation index map showed the average vegetation index to be 0.28, 0.30, and 0.29 for 2006, 2010, and 2014 respectively. Soil electrical conductivity in 2014 varied from 35 to 197.30 dS/m and its coefficient of variation was 121.2%, indicating a high variability of salinity in the study area. The model successfully predicted the salinity value with acceptable accuracy. Consequently, salinity values for 2010 and 2006 were predicted, using the neural network model. The average salinity of the region was 56.17, 58.73, 59.48 dS/m in 2006, 2010, and 2014 respectively, suggesting an increasing trend in soil salinity.

Discussion and Conclusion: The results showed that the average salinity in the area had been increasing over the three years studied, reaching an average of 56.57 dS/m in 2006 and 59.58 dS/m in 2014. Most of the soil salinity in 2014 was found in the northeast and east of the basin, and parts of the center were saline from the north to the south. The results also indicated that the neural network method could well predict salinity values in previous years, using input variables such as satellite imagery, digital elevation model, meteorological and groundwater drought indices, and vegetation index. As found by the correlation reports, it could be concluded that the salinity increased in the area with increasing severity of meteorological drought and consequently increasing groundwater drought and decreasing vegetation.

Keywords: Meteorological drought, GRI, Neural network, Soil salinity.