پتانسیل سنجی مناطق مستعد به خشکسالی آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت نیشابور)

آرزو بخشی دم او [۱]، علی گلکاریان [۲*]، ابوالفضل مساعدی [۳]، علیرضا راشکی [۴]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه فردوسی مشهد *arezoobakhshi94@gmail.com*

۲. .استادیار دانشکده منابع طبیعی ومحیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد *Golkarian@um.ac.ir*

۳.استاد دانشکده منابع طبیعی ومحیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد.*mosaedi@um.ac.ir*

۴. استادیار دانشکده منابع طبیعی ومحیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد *a.rashki@ferdowsi.um.ac.ir*

چکیده:

خشکسالی یکی از پدیده های جوی است که بخش های مختلف محیطی را در طول دوره حاکمیت تحت تاثیر قرار می دهد . یکی از نیازهای رشد و توسعه هر کشور آب است. از طرفی با عنایت به نبود جریانات آب سطحی دائمی و یا حتی فصلی مهم در بسیاری از دشت های کشور، یکی از مهم‌ترین منابع برداشت آب، استفاده از ذخایر آب زیرزمینی است. بنابراین بررسی وضعیت این منابع و تعیین عوامل اثرگذار بر روی آنها از اهمیت شایانی برخوردار است. در این پژوهش سعی شده است مناطقی که در معرض خشکسالی شدید آب زیرزمینی قرار دارند شناسایی شوند برای این منظور تعدادی پارامتر موثر که بر خشکسالی آب‌های زیرزمینی نقش دارند در محیط GIS و RS تهیه شده و با استفاده از مدل ماکزیمم آنتروپی میزان تاثیر هرکدام از این پارامترها مشخص شد . نتایج نشان داد که از بین عوامل زیرزمینی عامل جهت شیب و ارتفاع دو عامل مهم در خشکسالی این مناطق هستند . میزان AUC برای مدل ماکزیمم آنتروپی ۰/۸۹ برآورد شد که نشان دهنده‌ی دقت بالای مدل می‌باشد.

واژه های کلیدی: خشکسالی، آب زیرزمینی، ماکزیمم آنتروپی، AUC

مقدمه

خشکسالی یکی از مخاطره آمیزترین پدیده‌های طبیعی است. اگر چه امکان جلوگیری از وقوع آن وجود ندارد، اما می توان با انجام اقداماتی اثرات منفی آن را کم نمود. یکی از سیستم‌هایی که به شدت تحت تأثیر خشکسالی واقع شده و کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد، آب‌های زیرزمینی است (چمن پیرا و همکاران، ۱۳۹۳) آب‌های زیرزمینی به عنوان یک منبع مهم تامین آب شیرین جایگاه ویژه ای در مطالعات منابع آب دارد، به طوری که بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی و بیلان آن برای برنامه ریزی بهره برداری یک ضرورت اساسی به نظر میرسد (پورمحمدی و همکاران، ۱۳۹۶). با توجه به وجود نوسانات شدید در بارش‌های مناطق مختلف کشور، خشکسالی از جمله بلایای طبیعی است که در شرایط نوسان منفی و به عبارتی کاهش بارش‌های جوی نسبت به میانگین دراز مدت رخ داده و اثرات زیان‌باری را بر بخش کشاورزی و اقتصاد آن نواحی تحمیل می نماید (عشقی زاده و نورا، ۱۳۸۸). زمانی که سیستم‌های آب زیرزمینی تحت تأثیر خشکسالی واقع می شوند، ابتدا آبگیری، سپس سطح و در نهایت آبدهی سفره آب زیرزمینی کاهش پیدا می کند، چنین خشکسالی را خشکسالی آب زیرزمینی می‌نامند (VanLanen, peters, 2000).

خشکسالی آب‌های زیرزمینی به عنوان نتیجه‌ای از تغییرپذیری آب و هوا تعریف شده است، که معمولا به معنی کاهش بارندگی می باشد و ممکن است همراه با تبخیر و تعرق بالا باشد. امروزه برداشت بی رویه از سفره‌های آبدار موجب کاهش سطح ایستایی در بیشتر مناطق خشک و نیمه خشک جهان شده است. این کاهش سطح ایستایی به گونه ای است که انتظار می رود در آینده‌ای نه چندان دور بحران آب روی دهد (حیدری موسی و همکاران ۱۳۸۹). یکی از مهمترین منابع تأمین‌کننده‌ی آب به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، سفره‌های آب زیرزمینی هستند منابع زیرزمینی آب، به صورت مستقیم یا غیرمستقیم از آب‌های سطحی و بارندگی تغذیه میشوند. پایین افتادن سطح آب‌های زیرزمینی به معنای خشک شدن مناطق پایین دست و از بین رفتن چاه ها، قنات‌ها و چشمه‌های آن است (انتظاری و غلامی ۱۳۹۳). علیرضا شکیبا و همکاران (۱۳۸۹)، به بررسی خشکسالی و تاثیر آن بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از شاخص SPI در شرق استان کرمانشاه پرداختند، نتایج نشان داد که تمام ایستگاه‌ها در منطقه مورد مطالعه با خشکسالی مواجه بودند. همچنین از بین معیارهای مورد توجه در شاخصSPI [1]، معیارمجموع بزرگی خشکسالی DM [2]معیار مناسب تری جهت نشان دادن وضعیت خشکسالی در منطقه تشخیص داده شد. دررابطه با تاثیر خشکسالی برمنابع آب زیرزمینی نیز مشخص شد، خشکسالی‌های رویداده در افت سطح آب زیرزمینی تاثیر بسزایی داشته است. رحمتی و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از داده‌های مبتنی بر GIS حاصل از مدل‌های جنگل تصادفی (RF)و مدل ماکزیمم آنتروپی (MAXENT) به تهیه نقشه بالقوه آب‌های زیرزمینی منطقه مهران، ایران پرداختند و به این نتیجه رسیدند که هر دو مدل مورد استفاده در این منطقه از دقت بسیار بالایی برخوردار هستند و می‌توانند در تهیه نقشه بالقوه آب‌های زیرزمینی کارآمد باشند.RF , MAXENT مدل‌های مؤثری برای تهیه نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی هستند و مدل MAXENT عملکرد پیش‌بینی بهتری نسبت به مدل RF دارد.

Deo و Sahin (۲۰۱۵)، با استفاده از روش حداکثر یادگیری ماشین (ELM) برای پیش‌بینی شاخص خشکسالی موثر در شرق استرالیا پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که سرعت یادگیری ELM (حداکثر یادگیری ماشین) سریع‌تر از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی بود. متغیرهای ماهانه شاخص خشکسالی موثر (EDI) که با مدل ELM بدست آمد بسیار نزدیک

[1] Standardized precipitation index
[2] Drought magnitude

به مقادیر متوسط مشاهده شده‌ای که به طور مستقیم از داده‌های بارش بدست آمده می‌باشد. بنابراین مدل ELM [3] نسبت به مدل های شبکه عصبی مصنوعی برای تشخیص و پیش بینی شاخص خشکسالی موثرتر است. Ravinesh و همکاران (۲۰۱۶) به پیش‌بینی شاخص خشکسالی موثر با استفاده از یک مدل ماشین یادگیرنده موجک با حداکثر الگوریتم یادگیری (W-ELM) در استرالیا پرداختند. نتایج نشان داد که بر اساس آماره‌های MAE، RMSE، ضریب تعیین، نش ساتکلیف و بازده محاسباتی از نظر زمان اجرای مدل اولاً بکارگیری مدل‌های موجک با فرایندهای پیش پردازش داده های ورودی (W-ELM, W-LSSVR, W-ANN نسبت به مدل های غیر موجک دارای عملکرد بهتری هستند و از بین مدل های موجک W-ELM, W-LSSVR, W-ANN مدل W-ELM دارای عملکردی بهتر نسبت به سایر مدل‌ها در پیش بینی خشکسالی می باشد.

Parka و همکاران (۲۰۱۶) به ارزیابی خشکسالی و نظارت از طریق ترکیب چند شاخص با استفاده از روش یادگیری ماشین برای مناطق آب و هوایی مختلف در ایالات متحده آمریکا پرداختند . نتایج نشان داد که مدل جنگل تصادفی بهترین عملکرد را برای پیش بینی SPI در سه روش مورد نظر دارد (RMSE = 0.3 ، R2 = 0.93.). عوامل خشکی مربوط به سطح زمین، به عنوان مثال، دمای سطح زمین (LST)، تعرق (ET) اهمیت نسبی بالاتری برای خشکسالی هواشناسی کوتاه مدت دارد، در حالی که عوامل خشکسالی مربوط به پوشش گیاه ی اهمیت نسبی بالاتری برای خشکسالی هواشناسی بلند مدت با روش جنگل تصادفی دارد و هم چنین شاخص‌های دمای سطح زمین (LST) و پوشش گیاه ی نرمال (NDVI) با اهمیت نسبی بالاتری برای خشکسالی کشاورزی در مناطق خشک و مرطوب برآورد شد.

در پژوهش حاضر سعی برآن شده است که با استفاده از عوامل مختلفی چون کاربری اراضی، شیب و جهت شیب، شاخص انحنای زمین، شاخص رطوبت توپوگرافی، دما، رطوبت و پوشش گیاهی ابتدا با استفاده از روش MAXENT اقدام به تعیین پتانسیل مناطق مستعد خشکسالی آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه نمود و در ادامه مهمترین عوامل موثر بر خشکسالی سفره های منابع آب زیرزمینی را تعیین کرد.

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

دشت نیشابور در طول جغرافیایی ´۱۷ °۵۸ تا ´۲۰ °۵۹ شرقی و عرض جغرافیایی ´۴۰ °۳۵ تا ´ ۳۹ °۳۴ شمالی و در محدوده ۷۲۸۰۰۰-۶۰۸۰۰۰ متر و ۴۰۵۸۰۰۰-۳۹۴۹۵۰۰ متر (برحسب UTM) واقع شده است. این دشت از زیرحوضه‌های آبریز کویر مرکزی ایران می‌باشد. این حوضه از نظر موقعیت جغرافیایی از شمال به حوضه آبریز دشت مشهد، از شرق به حوضه آبریز سنگ بست، ازجنوب به حوضه آبریز رخ، از جنوب غرب به حوضه آبریز عطائیه ، از غرب به حوضه آبریز سبزوار و از شمال غرب به حوضه های آبریز جوین- سلطان آباد و ینگجه متصل می باشد .موقعیت حوضه آبریز نیشابور نسبت به حوضه های آبریز مجاور و حوضه های آبریز در استان خراسان رضوی در شکل (۱) رائه شده است.

حداکثر ارتفاع دشت نیشابور در ارتفاعات بینالود در ۳۲۰۰ متری از سطح دریا و پست ترین نقطه در خروجی دشت با

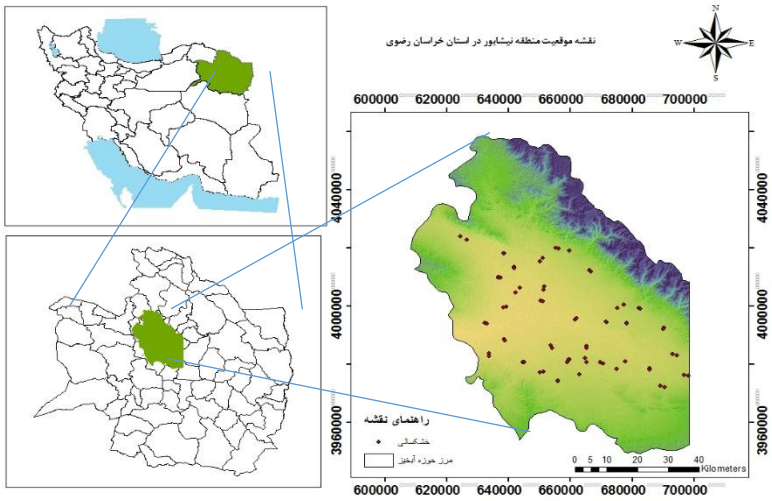
[3] extreme learning machine

ارتفاع ۱۰۵۰ متر از سطح دریا قرار دارد. ارتفاع متوسط دشت از سطح دریا ۱۹۰۰ متر می باشد. وسعت دشت برابر۴۱۰۰ کیلومتر مربع بوده که معادل ۵۶ درصد از وسعت ۷۳۳۰ کیلومتر مربعی حوضه آبریز را شامل م یشود. این حوضه ۵/۷ درصد وسعت استان خراسان رضوی را پوشش می دهد.

آب و هوای منطقه در دامنه ها معتدل ولی در نواحی پست خروجی دشت بر میز ان گرما و خشکی هوا افزوده می شود. میزان بارندگی آن بطور متوسط برای کل حوضه ۲۹۲ میلی متر گزارش شده است (شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان، ۱۳۸۴).

رخنمون های مربوط به دوران اول زمین شناسی محدوده مورد مطالعه شامل شیستها و آهکهای تیر هرنگ است که در ارتفاعات شمالی حوضه رخنمون دارند. سازند های دوران دوم شامل آهک، ماسه سنگ و کوارتزیت می باشد.

از دوران سوم زمین شناسی رسوبات نئوژن از قبیل کنگلو مرا، ماسه‌سنگ، مارن و سنگهای ولکانیکی ائوسن در ارتفاعات شمالی و جنوبی حوضه قابل مشاهده اند. رسوبات کواترنر شامل تراسهای آبرفتی، مخروط افکنه ها، شنهای روان و واریزه ها بوده که نقاط پست و دامنه ارتفاعات را پوشانده اند. ضخامت آبرفت در غرب دشت ۸۰ متر و در شهر نیشابور حدود ۷۵ متر در جنوب شرق ۵۰ متر در شمال شرق ۱۸۰ متر و در اراضی باغرود و سالاری حدود ۲۰۰ متر می باشد.



شکل ۱. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه درکشور و خراسان رضوی

روش تحقیق

یادگیری ماشین روشی برای استخراج داده ها با حجم زیاد داده کاوی است . عمل یادگیری اطلاعات پایه را از محیط استخراج کرده و در تحلیل حوادث آینده از آن بهره می گیرند. این روش‌ها از مهم ترین شاخه‌های هوش مصنوعی هستند . هدف از تحقیقات در این زمینه دستیابی به تکنیک هایی است که امکان شبیه سازی رفتار یادگیری را به عنوان یک رفتار هوشمندانه توسط رایانه فراهم می‌کند.

یکی از قابلیت های مورد انتظار در روش های ماشین لرنینگ پیش بینی و تعیین مهم ترین عوامل موثر در خشکسالی آب زیرزمینی می‌باشد. در این پژوهش با بررسی منابع موجود تعدادی از عوامل موثر در وقوع خشکسالی آب زیرزمینی همانند

خصوصیات شبکه زهکشی (تراکم زهکشی، فاصله از آبراهه)، خصوصیات سطح زمین (دمای سطح زمین، رطوبت خاک سطحی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی)، خصوصیات توپوگرافی (شیب، جهت، شاخص ان حنای زمین، شاخص رطوبت توپوگرافی)، (پورقیومی و همکاران،۱۳۹۰، داود آبادی فراهانی و همکاران، ۲۰۱۳) انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت.

تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز:

خصوصیات شبکه زهکشی:

-تراکم زهکشی: تراکم آبراهه‌ها در آب زیرزمینی، به دلیل تأثیر آن بر نفوذپذیری، دارای اهمیت میباشد. تراکم آبراهه‌ها نسبت معکوس با مقدار نفوذ دارد. بدین معنی که هر چه میزان تراکم آبراهه‌ها یا به عبارتی چگالی آبراهه‌ها بیشتر باشد، رواناب بیشتر بوده و فرصت نفوذ کاهش یافته و در نتیجه مقدار نفوذ کمتر خواهد بود. بنابراین، آبراهه‌ها با تأثیر بر میزان نفوذ و حجم آب عبوری نسبی، در نهایت بر ذخیره آب های زیرزمینی تأثیر می‌گذارد. این لایه با استفاده از نرم افزار ArcGIS تهیه شد.

-فاصله از آبراهه: به منظور تهیه نقشه فاصله از آبراهه، شبکه آبراهه از روی نقشه توپوگرافی بدست آمده، سپس نقشه مورد نظر به ۶ کلاس بافواصل ۰-۵۰، ۵۰-۱۰۰، ۱۰۰-۲۰۰، ۲۰۰-۴۰۰، ۴۰۰-۶۰۰ و بیشتر از ۶۰۰ متر تقسیم و به منظور بیان ارتباط بین خشکسالی آب زیرزمینی و فاصله از آبراهه بکار گرفته می‌شود (شادفر، ۱۳۹۳).

خصوصیات سطح زمین:

-دمای سطح زمین: از شاخص‌های محاسبه شده در سنجنده LANDSAT استخراج شد.

-پوشش گیاهی: به منظور بررسی پوشش گیاهی به کمک اطلاعات ماهواره ای نمایه‌های گوناگونی وجود دارد. این نمایه‌ها مانند شاخص نرمال پوشش گیاهی و نمایه گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI) از معروف‌ترین و ساده ترین نمایه‌های گیاهی مورد استفاده بر حسب دو باند قرمز و مادون قرمز نزدیک است. دلیل استفاده از این باندها خاصیت جذب نور قرمز توسط رنگ دانه‌های موجود در سبزینه است که باعث می شود گیاهان انعکاس کمتری در این باند داشته باشند و در عین حال گیاهان در بخش مادون قرمز طیف الکترومغناطیس انعکاس شدیدی دارند (فاتحی مرج و همکاران، ۲۰۱۴). این نمایه از شاخص‌های محاسبه شده در سنجنده LANDSAT استخراج شد.

-لایه کاربری اراضی: با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در نرم‌افزار IDRISI Selva تهیه و توسط تصاویر ماهواره‌ای (google earth) تدقیق و تایید شد.

خصوصیات توپوگرافی

لایه شیب و جهت شیب پس از کلاسه بندی در محیط GIS تهیه شدند.

شاخص انحنای زمین: نقشه انحنای زمین در محیط GIS و با استفاده از نقشه DEM تهیه شد.

شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI): شاخص رطوبت توپوگرافی یک پارامتر ساده ریاضی از وضعیت رطوبت خاک است. این شاخص گرایش آب را به جمع شدن در هر نقطه از حوزه و تمایل نیروهای گرانشی را به انتقال آب به سمت پایین دست توصیف می‌کند. شاخص رطوبت توپوگرافی که از ترکیب مساحت حوزه بالادست و شیب بدست می آید معمولا برای کمی کردن کنترل توپوگرافی بر روی فرایند های هیدرولوژیکی می‌باشد. این شاخص تعیین کننده تاثیر توپوگرافی برروی میزان سطوح اشباع جهت تولید رواناب است که با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد (Luca et al, 2011).

$$TWI=Ln(As/tan\sigma)$$

TWI: شاخص رطوبت توپوگرافی

As: مساحت ویژه حوضه (متر)

σ : درجه شیب

مدل ماکزیمم آنتروپی:

تئوری آنتروپی اولین بار توسط شانون در سال ۱۹۴۸ توسعه داده شد و پس از آن به طور گسترده در مسائل مختلف علمی مورد استفاده قرار گرفته است . آنتروپی یک شاخص عدم قطعیت است که برای پیشامد خاصی از یک فرآیند تصادفی قابل تخمین است.

آنتروپی یک سیستم ر ا می توان به وسیله بکار بردن روش بهینه سازی کلاسیک برای استخراج تابع توزیع احتمال بهینه نمود. اطلاعات مورد نیاز برای استخراج تابع توزیع اساسا برحسب محدودیت هایی است که بر اساس، داده های مشاهداتی، تجربه، روابط ریاضی یا از هر منبع دیگر استخراج شده‌اند. پس از اینکه محدودیت‌ها مشخص شدند، تابع توزیع به طور واحد تعیین می‌گردد.

آنتروپی معیاری از عدم قطعیت فرایندهای تصادفی محیطی است که به طور غیر مستقیم محتوای اطلاعاتی اندازه گیری های زمانی-مکانی این فرایندها را منعکس می سازد.

مدل ME یک تکنیک ماشین یادگیری عامه پسند است که امکان بررسی رابطه متقابل بین متغیر وابسته و چندین متغیر مستقل را فراهم می کند که بر اساس نقاط خشکسالی بدست آمده ، ۷۵ درصد از نقاط برای آزمون و ۲۵ درصد برای اعتبار-سنجی مشخص می‌شود. در ادامه با اجرای روش MAXENT بر اساس لایه‌های اطلاعاتی تهیه شده و نقاط آزمون اقدام به پتانسیل‌سنجی مناطق مستعد به خشکسالی آب زیرزمینی شده و مهم‌ترین عوامل موثر در خشکسالی سفره آب‌های زیرزمینی مشخص شد.

مدل‌سازی پتانسیل خشکسالی اب زیرزمینی با استفاده از مدل ماکزیمم آنتروپی

در این مدل پس از تهیه لایه های اطلاعاتی و کلاس بندی آنها، اقدام به تعیین نقاط خشکسالی با استفاده از شاخص خشکسالی GRI شد. پس از محاسبه شاخص GRI و رسم نمودارهای این شاخص نقاطی که در سال ۹۰-۸۹ روی این نمودار سیر نزولی داشته به عنوان نقاط خشکسالی در نظر گرفته شد . تعداد ۳۲ نقطه به عنوان نقاط خشکسالی در دشت نیشابور مشخص شد که از این تعداد به نسبت ۷۰ به ۳۰ استفاده شد. با توجه به تعداد نقاط حضور خشکسالی و در نظر گرفتن همان تعداد نقاط عدم خشکسالی توسط مدل MAXENT و بررسی ارتباط بین عوامل موجود مهمترین عوامل در پتانسیل خشکسالی آب زیرزمینی بر اساس درجه اهمیت تعیین شده و نقشه پیش بینی خشکسالی تهیه می شود. سپس با استفاده از ۳۰ درصد نقاط آزمون که توسط نرم‌افزار کنار گذاشته شده اقدام به بررسی صحت مدل می‌کند.

ارزیابی دقت مدل

منحنی ROC [4] یک تکنیک علمی برای توصیف بازده‌ی سیستم های شناسایی و پیش بینی احتمالی و قطعی است. این منحنی برای داده های آزمون و آزمایشی در نظر گرفته می شود و مقدار آن بین ۰ تا ۱ متغیر است. هرچه مقداربه ۱ نزدیک تر باشد مدل از دقت بالاتری برخوردار است.

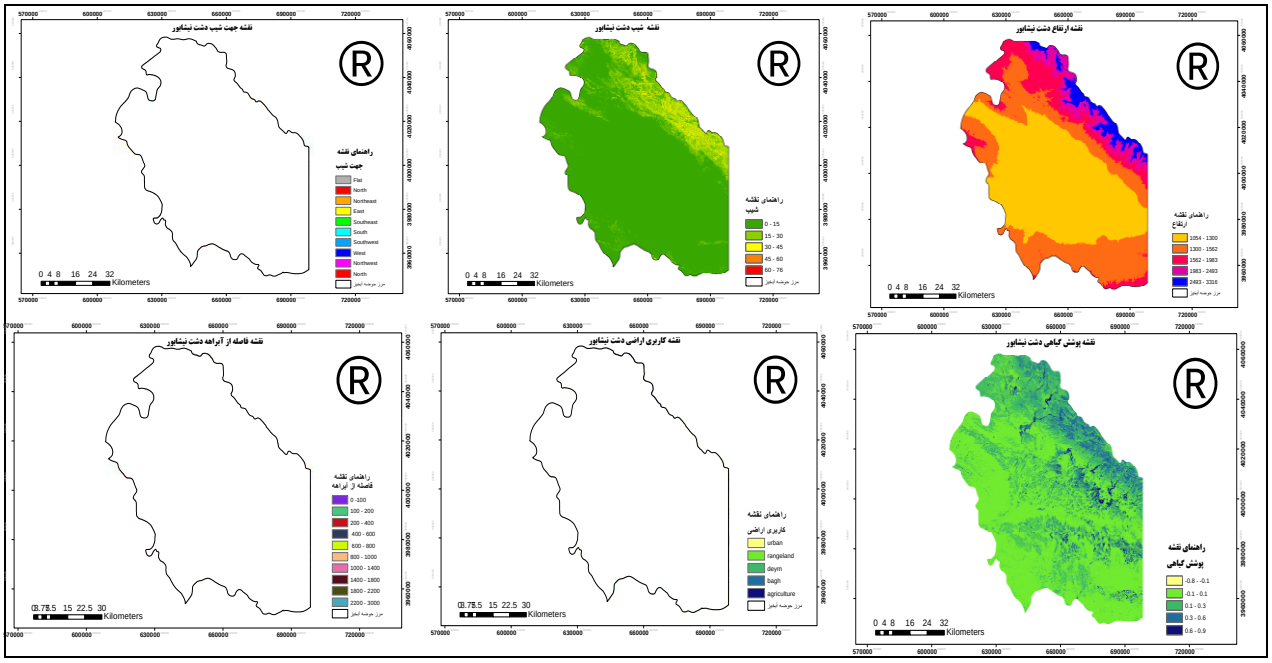
[4] Receiver operating characteristic

AUC [5] یک روش ارزیابی پارامتری برای مشکلات طبقه بندی باینری است و توانایی و عدم اطمینان مدل ها را برای تهیه نقشه مورد نظر با استفاده از سطح زیر منحنی ROC بررسی می کند. هرچه عدد بدست آمده نزدیک به یک باشد طبقه بندی بهتر است.

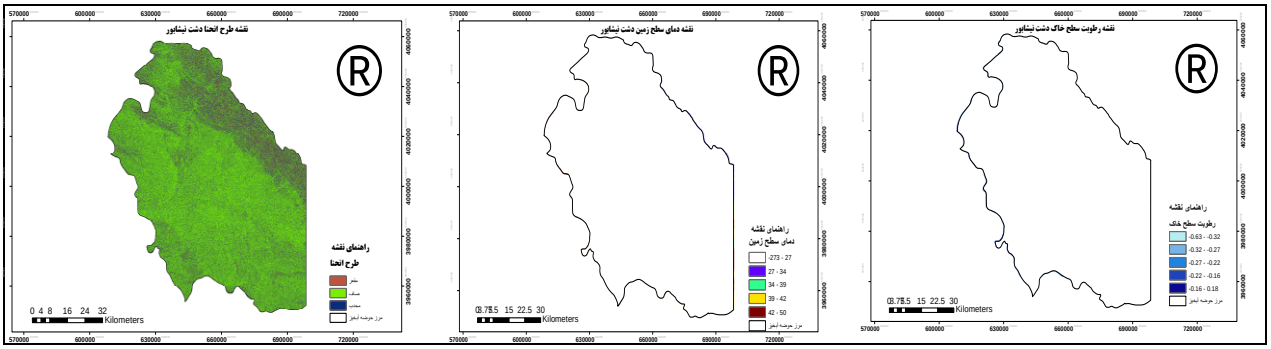
یافته‌ها

براساس شاخص خشکسالی GRI و تعداد ۳۲ نقطه خشکسالی بدست آمده از این شاخص و شناسایی عوامل موثر در وقوع خشکسالی آب زیرزمینی منطقه، در محیط نرم افزار ARC GIS اقدام به تهیه لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر یک از عوامل موثر در وقوع خشکسالی آب زیرزمینی گردید.

همچنین جهت تعیین موثرترین عامل در وقوع خشکسالی آب زیرزمینی و پیش بینی مناطق مستعد به خشکسالی از مدل ماکزیمم آنتروپی استفاده گردید.



[5] Area under the curve



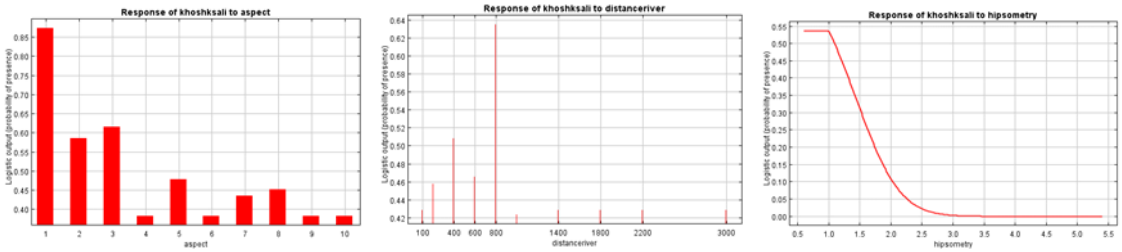
شکل ۲. عوامل موثر بر وقوع خشکسالی آب زیرزمینی. a (ارتفاع)، b (شیب)، c (جهت شیب)، d (شاخص پوشش گیاهی)، e (کاربری اراضی)، f (فاصله از آبراهه)، g (رطوبت سطح خاک)، h (دمای سطح زمین)، i (طرح انحنا)

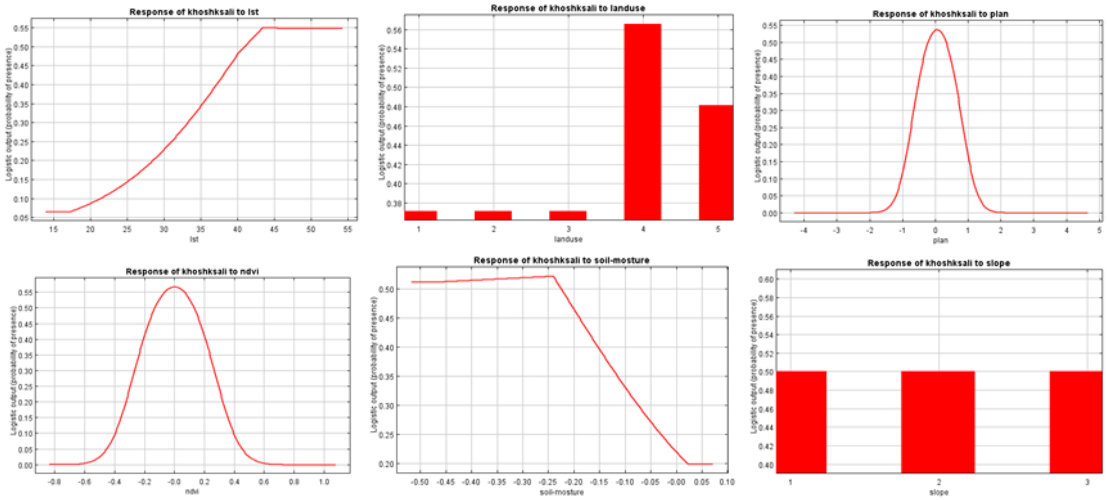
پس از اجرای مدل در نرم افزار مکسنت درصد سهم نسبی متغیرها در مدلسازی بدست آمد که در جدول شماره ۱ آورده شده است.

جدول۱. درصد سهم نسبی متغیرها در مدلسازی

متغیر	نام اختصاری	درصد سهم
جهت شیب	aspect	۶۳/۲
ارتفاع	hipsometry	۲۹
فاصله از آبراهه	distanceriver	۳
کاربری اراضی	landuse	۲/۵
پوشش گیاهی	NDVI	۰/۹
دما	LST	۰/۷
پروفیل انحنا	Profil	۰/۶
طرح انحنا	plan	۰
شیب	slope	۰
رطوبت	soil-moisture	۰

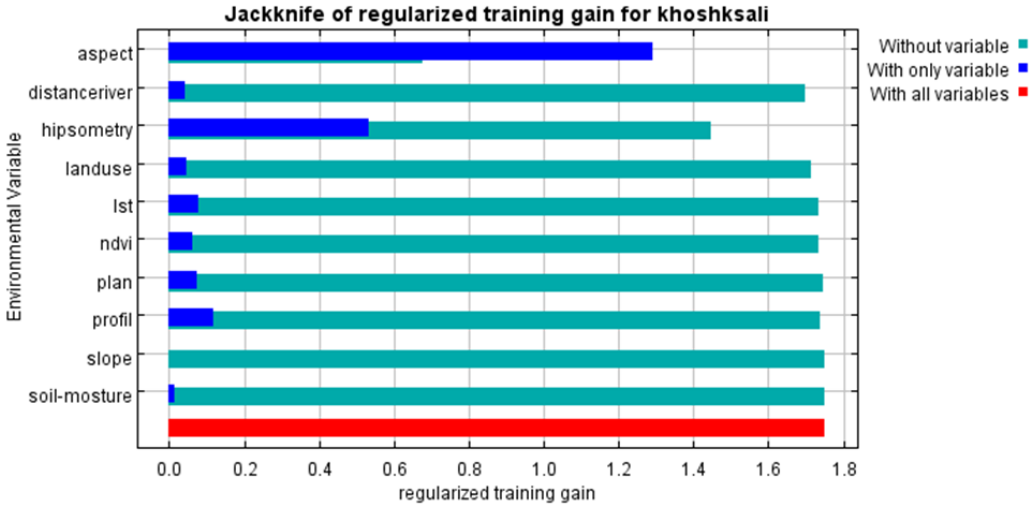
منحنی پاسخ هرکدام از عوامل موثر در پتانسیل سنجی مناطق مستعد به خشکسالی در شکل ۳ آمده است.





شکل۳: منحنی پاسخ ۱۰ عامل موثر در خشکسالی آب زیرزمینی مورد استفاده برای پتانسیل سنجی در مدل

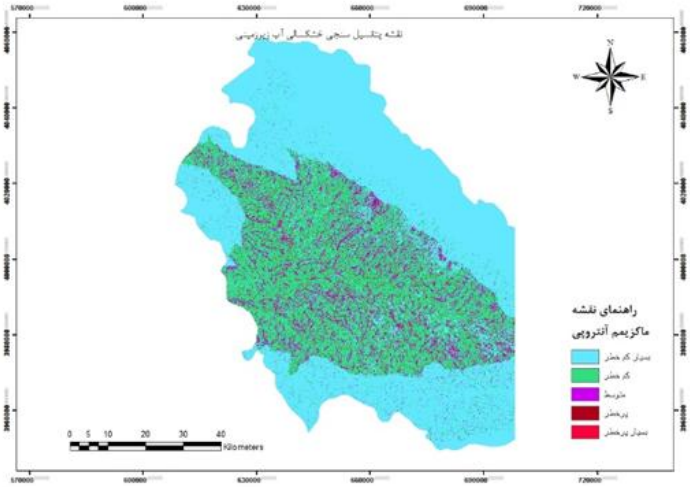
نتایج آزمون جک‌نایف به شکل زیر است:



شکل ۴. آزمون جک‌نایف برای بررسی اهمیت هرکدام از متغیرهای محیطی در پتانسیل سنجی مناطق مستعد به خشکسالی آب زیرزمینی

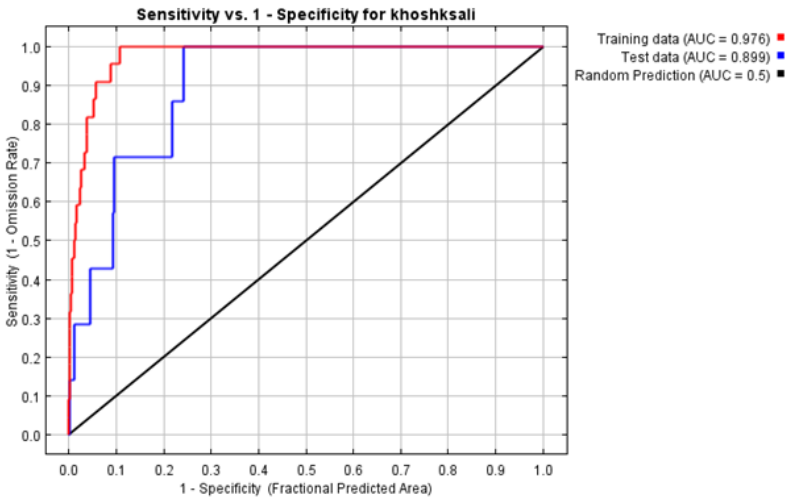
شکل ۴ نیز، نتایج تحلیل جک‌نایف را نشان می‌دهد. این منحنی شامل دستیابی به افزوده در سه حالت مختلف است . جهت شیب متغیری است که با حذف آن بیشترین کاهش در افزوده اتفاق می‌افتد. حالت دوم مربوط به زمانی است که مدلسازی تنها بر اساس وجود یک متغیر انجام می شود و بر اساس آن میزان افزوده برآورد می گردد. در این حالت نیز مهمترین متغیر برای خشکسالی آب زیرزمینی جهت شیب است. به طور کلی تحلیل جک‌نایف موید نتایج خروجی خود حداکثر آنتروپی است.

نقشه پتانسیل سنجی آب زیرزمینی در دشت نیشابور در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل۴. نقشه پتانسیل سنجی خشکسالی آب زیرزمینی

نتایج حاصل از اعتبار سنجی در شکل ۵ نمایش داده می‌شود.



شکل ۵. نتایج حاصل از اعتبارسنجی مدل

بحث و نتیجه‌گیری:

پژوهش حاضر با هدف تعیین تاثیر هر کدام از عوامل تاثیرگذار در خشکسالی آب زیرزمینی در دشت نیشابور بررسی شد. بر اساس نتایج بدست آمده روابط بین عوامل موثر و وقوع خشکسالی آب زیرزمینی به شرح زیر است:

تحلیل منحنی‌های پاسخ مربوط به عوامل محیطی که مهم ترین آن‌ها در شکل ۳ آمده است نشان می‌دهد که جهت شیب یکی از عوامل موثر در خشکسالی آب زیرزمینی می باشد، به طوریکه این خشکسالی در مناطق بدون شیب بیشتر بوده و

همچنین با توجه به اینکه هرچه فاصله از آبراهه بیشتر باشد خشکسالی هم بیشتر می شود، در این منطقه هم صدق می کند و در فاصله ۸۰۰ متر از آبراهه بیشترین خشکسالی را دراین منطقه داریم . همچنین در این منطقه با افزایش ارتفاع میزان وقوع خشکسالی هم کمتر می‌شود. یکی دیگر از عوامل موثر در خشکسالی آب زیرزمینی تغییر کاربری اراضی می باشد، همانطور که مشاهده می شود در منحنی پاسخ کاربری اراضی در مناطق دیم بیشترین خشکسالی آب زیرزمینی را به همراه داشته است . همچنین با افزایش دما خشکسالی آب زیرزمینی هم افزایش داشته است . در پروفیل انحنا و طرح انحنا در سطح های صاف خشکسالی بیشترین مقدار را دارد . در این پژوهش در تمام شیب ها خشکسالی یکسان بوده است . با توجه به منحنی پاسخ مشاهده می شود که هرچه رطوبت سطحی بیشتر باشد خشکسالی آب زیرزمین ی کمتر رخ می دهد. در نهایت، از مهمترین عوامل تاثیرگذار در خشکسالی آب زیرزمینی در دشت نیشابور عامل جهت شیب و ارتفاع می باشد. میزان AUC برای مدل ماکزیمم آنتروپی برای نقاط آموزشی ۰/۹۷ و برای نقاط تست ۰/۸۹ برآورد شد که نشان دهنده‌ی دقت بالای مدل می‌باشد.

فهرست منابع

۱. چمن پرا، غ.، زهتابیان، غ.، احمدی ،ح.، و ملکیان ، آ. **بررسی تأثیر خشک سالی بر منابع آب زیرزمینی به منظور مدیریت به‌ینه بهره برداری، مطالعه موردی: دشت الشتر**. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۶، شماره۱،۱۳۹۳، صفحات ۱۰تا۲۰

۲. عشقی زاده، م.، نورا، ن. **تعیین احتمال وقوع خشکسالی و ترسالی با استفاده از آمار بارندگی سالانه**. همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران(مدیریت پایدار بلایای طبیعی). دوره ۵. ۱۳۸۸

۳. شکیبا، ع.، م‌یرباقری، ب.، وخ یری، ا. **خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه با استفاده از شاخص SPI**، جغرافیا (فصلنامه علمی پژوهشی انجمن جغرافیای ایران) دوره جدید، سال هشتم، شماره ۲۵ ، تابستان ۱۳۸۹

۴. فاتحی مرج، ا.، وح یدریان ، س ا . **بررسی خشکسالی هواشناسی، کشاورزی ه یدرولوژی با استفاده از GIS در استان خوزستان**. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. سال هفتم- شماره ۲۳ – زمستان۱۳۹۳

۵. شادفر، صمد. **تعیین پتانسیل فرسایش خندقی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در حوزه آبخیز طرود** . نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز. ۱۳۹۵. جلد ۸، شماره۳. ۲۵۶-۲۶۳

۶. پورمحمدی، س، دستورانی، م، جعفری، ه، مساح بوانی، ع، گودرزی، م، باقری، ف، رحیمیان، م، **بررسی اثرات خشکسالی هواشناسی و هیدروژئولوژیکی بر بیلان آب زیرزمینی دشت تویسرکان**، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد۹، شماره۱، ۱۳۹۶، صفحات ۴۶-۵۷

۷. انتظاری، م. غلامی، م (۱۳۹۳). **پتانسیل یابی مناطق مناسب جهت تغدیه آبهای زیرزمینی در حوضه رومشگان**. دو فصلنامه ی ژئومورفولوژی کاربردی ایران سال دوم، شماره چهارم، پاییز و زمستان۱۳۹۳

۸. حیدری موسی، م. کلانتری، ن. رحیمی، م. معین نیا، م (۱۳۸۹). **نقش ارزیابی آسیبپذیری سفرههای آبدار در انتخاب محل مناسب برای تغذیه مدیریتی سفره آبدار: مطالعه موردی دشت زیدون**.چهاردهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران و بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین. شهریورماه ۱۳۸۹

1. Lucà, Federica , Conforti, Massimo and Robustelli, Gaetano. 2011.**Comparison of GIS-based gullying susceptibility mapping using.0 bivariate and multivariate statistics**: Northern Calabria, South Italy. Geomorphology, 134 (3): 297-308.
2. Deo, R. C., & Şahin, M. (2015). **Application of the extreme learning machine algorithm for the prediction of monthly Effective Drought Index in eastern Australia**. Atmospheric Research, 153, 512-525.
3. Van Lanen, H.A.J. and E. Peters. 2000. **Definition, effects and assessment of groundwater droughts.** In J. S. Vogt, Drought and Drought Mitigation in Europe (pp. 49-61). Dordrecht: Kluwer
4. Park, S., Im, J., Jang, E., & Rhee, J. (2016). **Drought assessment and monitoring through blending of multi-sensor indices using machine learning approaches for different climate regions.** Agricultural and Forest Meteorology, 216, 157-169.