

ارزیابی و به کارگیری روش های کریجینگ و شبکه عصبی مصنوعی در پیش بینی تراز آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت رودان)

وحید سهرابی^{۱*}، محمد ابراهیم عفیفی^۲، کامران واحدی^۳، احسان مرادی^۴

^۱دکترای جغرافیا و برنامه ریزی شهری، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران؛ sohrabiv@ymail.com

^۲دانشیار گروه جغرافیا، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران؛

^۳مربی گروه عمران، واحد میناب، دانشگاه آزاد اسلامی، میناب، ایران

^۴دانشجوی دکترای جغرافیا و برنامه ریزی شهری، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران؛

چکیده

با افزایش جمعیت و افزایش نیاز انسان به آب طی هفتاد سال گذشته مصرف آب ۶ برابر شده است. امروزه کمبود آب و هجوم به سفره های آب زیرزمینی، زندگی بشر را با تهدید روبرو ساخته و نیاز فزاینده به آب، از بین رفتن منابع طبیعی و توسعه بیابان ها، بشر را به سوی بحران جهانی آب سوق می دهد. وقوع خشکسالی های متوالی در دهه اخیر لزوم برنامه ریزی صحیح و همه جانبه جهت مقابله با مسئله کم آبی را افزایش داده است. هدف اصلی پژوهش مدل سازی مکانی - زمانی تراز آب زیرزمینی دشت رودان طی سال های ۱۳۸۵ الی ۱۴۰۱ است با تهیه نقشه تراز آب زیرزمینی در سال های مورد نظر و بررسی قرار دادن آنها به شناسایی و تحلیل الگوی مکانی و زمانی تراز آب زیر زمینی دشت رودان و تحلیل حساسیت و ارزیابی قابلیت اعتماد نتایج روش های پیشنهادی دست پیدا میکنیم. روش کار از نوع کاربردی و رویکرد حاکم بر آن توصیفی-تحلیلی می باشد که در این پژوهش از اطلاعات چاه های مشاهداتی مربوط به سال های ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۱ به عنوان نمونه معلوم استفاده گردید و با استفاده از تکنیک های زمین آمار و شبکه عصبی مدل های درون یابی اجرا و تغییرات به صورت زمانی و مکانی در سطح دشت رودان مورد کنکاش قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان می دهد روش کریجینگ بهتر از روش *RBF* توانسته است تا تراز آب زیر زمینی بین سال های ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۱ را مدل سازی کند. باید این نکته را در نظر داشت که در این منطقه مدل کریجینگ بهتر بوده است.

واژگان کلیدی: مدل سازی زمانی، آب زیرزمینی، مدل های کریجینگ، شبکه های عصبی، رودان

(Nayak et al., 2001) می‌باشند. از روش‌های

کریجینگ نیز در چند سال اخیر به وفور در این زمینه استفاده شده است.

هدف اصلی پژوهش مدلسازی مکانی - زمانی تراز آب زیرزمینی دشت رودان طی سال‌های ۱۳۸۵ الی ۱۴۰۱ است با تهیه نقشه تراز آب زیرزمینی در سالهای مورد نظر و بررسی قرار دادن آنها به شناسایی و تحلیل الگوی مکانی و زمانی تراز آب زیر زمینی دشت رودان و تحلیل حساسیت و ارزیابی قابلیت اعتماد نتایج روش-های پیشنهادی دست پیدا میکنیم.

Hosseini Soumae et al. (2020) مدل‌سازی تغییرات سطح آب زیرزمینی بر اساس روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی را برای دشت زاوه انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی با دقت بالا ($R^2=0.99$) قادر به پیشبینی تراز سطح ایستابی می‌باشد. از جمله روش‌های درون‌یابی که می‌توان برای تخمین متغیرهای مکانی از قبیل سطح ایستابی بکار برد روش‌های زمین‌آماري است. با در نظر گرفتن پراکنش مکانی داده‌ها دستیابی به دقت مطلوب همیشه امکان‌پذیر نیست. تخمین زمین‌آماري فرایندی است که طی آن می‌توان مقداری کمیت در نقاطی با مختصات معلوم را با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگری با مختصات معلوم بدست آورد. در روش‌های میان‌یابی مبتنی بر آمار کلاسیک مانند روش وزن‌دهی عکس فاصله توجهی به مبحث خودهمبستگی فضایی نمونه‌ها نمی‌شود، از این رو روش‌های زمین‌آماري از قبیل کریجینگ توسعه یافتند.

بروجدی و فریدونی (۱۳۹۴) در تحقیقی با عنوان "شبیه سازی تراز آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های بردار پشتیبان و مقایسه آن با مدل‌های عصبی فازی و موجک عصبی (مطالعه موردی دشت شیراز)"، به بررسی مبانی علمی هر سه روش به کار رفته در پژوهش خود اعم از SVM، ANFIS، موجک

آبهای زیرزمینی همواره به عنوان یکی از منابع مهم و عمده تامین آب شرب و کشاورزی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک مطرح بوده اند (مبارکی و فریدونی، ۱۳۹۴). با افزایش جمعیت و افزایش نیاز انسان به آب طی هفتاد سال گذشته مصرف آب ۶ برابر شده است (کاظمی، ۱۳۸۵، ۲۵). در مناطق خشک و نیمه خشک در اغلب موارد که آب‌های سطحی به میزان خیلی کم دیده می‌شوند، آبهای زیرزمینی قابل دسترس می‌باشند. امروزه کمبود آب و هجوم به سفره‌های آب زیرزمینی، زندگی بشر را با تهدید روبرو ساخته و نیاز فزاینده به آب، از بین رفتن منابع طبیعی و توسعه بیابان‌ها، بشر را به سوی بحران جهانی آب سوق می‌دهد؛ وقوع خشکسالی‌های متوالی در دهه اخیر لزوم برنامه ریزی صحیح و همه جانبه جهت مقابله با مسئله کم آبی را افزایش داده است؛ آب‌های زیرزمینی یکی از مهمترین منابع آبی درایران هستند و بخش مهمی از آب مورد نیاز کشاورزی و مصارف شهری از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شوند. برای مدیریت بهینه آب‌های زیرزمینی اطلاعات کافی از مجموعه ویژگی‌های کمی و کیفی آبخوان مورد مطالعه جمع‌آوری گردیده است.

یکی از مهمترین رویکردها در برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب به دست آوردن مدل مناسبی جهت پیشبینی رفتار منابع آب تحت تاثیر متغیرهای موثر بر این پدیده می‌باشد. مهمترین مدل‌های رایج در این زمینه مدل‌های رگرسیونی با سری زمانی (Van Tankersley et al., 1997; Geer and Zuur, 1997; al., 1993) مدل‌های فیزیکی (Knotters and Van Walsum, 1997)، مدل‌های مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی، مدل‌های زمین‌آماري و مدل‌های فازی (Belmans et al., 1983) و Maier and Dandy, 2000., Coulibaly et

درون‌یابی جهت پهنه‌بندی مکانی و زمانی و پارامترهای کمی آب‌های زیر زمینی نیز انجام شد. باتوجه به جایگاه آب‌های زیرزمینی به‌عنوان یکی از منابع آبی قابل‌استفاده و همچنین روبه کاهش آن، مطالعه و مدیریت بهره‌برداری از آن دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد؛ از طرفی مدیریت صحیح منابع آب مستلزم داشتن اطلاعات از تغییرات مکانی و زمانی سطح آب زیرزمینی در سطح حوزه مورد مطالعه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی و فیزیوگرافی محدوده مورد مطالعه محدوده این پژوهش، دشت رودان واقع در شرق استان هرمزگان است که در مختصات جغرافیایی ۵۶ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی و ۵ دقیقه تا ۲۷ درجه تا ۵۹ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. فاصله شهر رودان (مرکز شهرستان) تا بندرعباس (مرکز استان)، حدود ۱۰۰ کیلومتر است. این شهرستان مساحتی برابر با ۴/۳۰۴۴ کیلومترمربع داشته، دارای ۴ بخش، ۳ شهر و ۱۰ دهستان است. شکل زیر موقعیت شهرستان رودان و تقسیمات کشوری آن را در استان هرمزگان نشان می‌دهد.

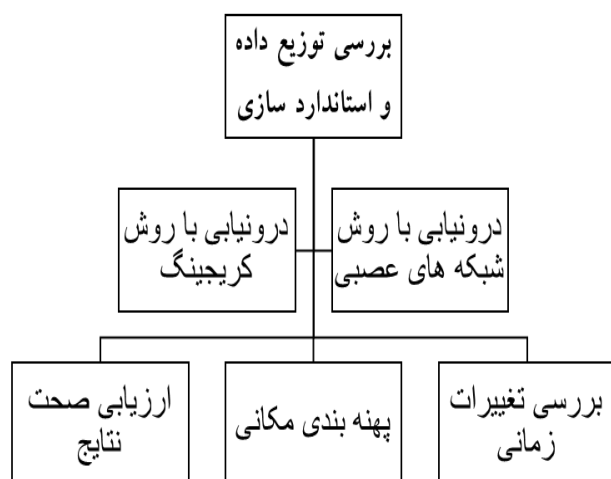
شهرستان رودان به علت برخورداری از جلگه ها و دشت های حاصلخیز، خاک مناسب و منابع آبی شیرین و دایمی، یکی از قطبهای اصلی کشاورزی استان محسوب میشود. وجود رودخانه های دایمی نظیر رودخانه آبنما، جغین و آبشارهای طبیعی مانند فربوری، کرون و دیگر عوارض طبیعی، این شهرستان را از دیگر شهرستانهای استان متمایز کرده است در شکل ۱، موقعیت محدوده مورد مطالعه درکشور و استان هرمزگان نشان داده شده است.

عصبی پرداختند. با استفاده از جعبه ابزار های نرم افزار MATLAB به پیاده سازی الگوریتم ها و مدل های حاصله پرداخته شد. در نهایت با استفاده از داده های دو گام زمانی ماهیانه داده های ۱۹.۵ ساله بارش و سطح تراز آب از ابتدای سال ۷۲ تا شش ماهه دوم ۹۲ به پیش بینی ماهیانه تراز آب شیراز پرداخته شد که در بهترین حالات به تر تیب ضریب رگرسیون ۰/۹۹۳، ۰/۹۸۶ و ۰/۷۶۷ برای مدل موجک عصبی، ANFIS و ماشین بردار پشتیبان حاصل شد. نتایج آنها گواه آن است که مدل موجک عصبی از سایر تکنیک ها موفق تر و مدل SVM در بین مدل ها ضعیف تر از سایرین عمل کردند.

(Sarbaziy et al., 2013). در این تحقیقات تنها از مدل شبکه‌های عصبی استفاده شد و روش‌های زمین‌آماری مورد بررسی قرار نگرفته است در صورتی که نتایج برخی تحقیقات حاکی از آن است که مدل‌های زمین‌آماري عملکرد بهتری نسبت به شبکه‌های عصبی مصنوعی دارند (Ahmadizadeh & Maroufi 2017).

(Mir Arabi & Nakhai (2017) به بررسی دقت سیستم شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی بر اساس اطلاعات پیژومتری در دشت بیرجند پرداختند و نتیجه گرفتند که با وارد کردن میزان بارندگی و برداشت با تأخیر زمانی ۲ ماهه دقت شبکه افزایش می‌یابد آن‌ها از برداشت و بارندگی کل دشت، به‌عنوان ورودی مدل استفاده کردند درحالی‌که میزان بارندگی و تخلیه در قسمت‌های مختلف دشت با هم متفاوت است و تأثیر بسزایی بر نوسانات سطح آب دارد. هدف از این پژوهش مدل‌سازی زمانی و مکانی تراز آب زیر زمینی دشت میناب با استفاده از مدل‌های کریجینگ (انواع روش‌ها) و نیز مدل‌های درون‌یابی مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی است. همچنین ارزیابی دقت روش‌های

بر شبکه عصبی است نیز استفاده شد. در نهایت برای بررسی تغییرات به صورت سری زمانی از روش سری زمانی من کنдал استفاده شده است و پهنه بندی مکانی زمانی در طی سالهای مورد بررسی صورت گرفت.



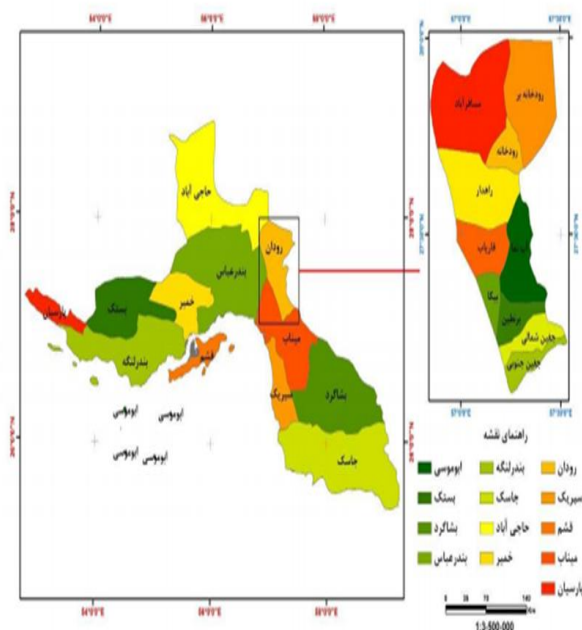
شکل ۲- مدل مفهومی تحقیق (منبع: تحقیقات نگارندگان)

جمع آوری و آماده سازی داده های پژوهش

داده های خام جمع آوری شده برای دشت رودان شامل ۲۵ چاه مشاهده ای بود. اطلاعات این چاه ها برای هر ماه از سال موجود بود که با میانگین گیری از آنها داده ها به فرمت سالانه تبدیل شدند. از آنجا که برای برخی از سالها داده ها ناقص بود، لذا در نهایت تعداد ۲۵ نقطه شاهد به عنوان داده نهایی انتخاب شد. همچنین از آنجا که داده ها در محیط اکسل بوده اند لذا به منظور تهیه نقشه های درونیابی شده و بررسی میزان تغییرات تراز آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه از نرم افزار ArcGis استفاده شده است. جدول زیر مشخصات جغرافیایی چاه های مشاهداتی مورد استفاده در پژوهش حاضر را نشان میدهد.

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی چاه های مشاهداتی مورد

نام ایستگاه	طول	عرض جغرافیایی	ارتفاع نقطه جغرافیایی
p1	512351	3035796	221.915
p2	516449	3036384	201.449



شکل ۱- موقعیت مکانی محدوده مطالعاتی (منبع: تحقیقات نگارندگان)

روش تحقیق

تحقیق حاضر از نوع کاربردی و رویکرد حاکم بر آن توصیفی-تحلیلی می باشد. در این پژوهش از اطلاعات چاه های مشاهده ای مربوط به سال های ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۱ به عنوان نمونه معلوم استفاده گردید و با استفاده از تکنیک های زمین آمار و شبکه عصبی مدل های درون یابی اجرا و تغییرات به صورت زمانی و مکانی در سطح دشت رودان مورد کنکاش قرار گرفت. به منظور شناخت و ارزیابی آثار برداشت بی رویه از سفره آب زیرزمینی دشت رودان و آسیب پذیری منطقه از این مسأله، ابتدا اطلاعات موجود مربوط به منابع آبی (چاه های مشاهده ای) و هیدروژئولوژیکی دشت در دوره ای زمانی ۱۷ ساله مبنای کار قرار گرفت. جهت مطالعه تغییرات کمی آب های زیرزمینی، اطلاعات مربوط به موقعیت مکانی و متوسط سطح آب چاه های مشاهده ای محاسبه شده است. برای پهنه بندی تراز آب زیرزمینی دشت رودان علاوه بر روش زمین آماری کریجینگ از روش توابع پایه شعاعی (RBF) که مبتنی

200.363	200.55633 33	201.428	201.61216 67	200.79133 33	200.108	200.89883 33	201.6555	202.02716 67	202.04466 67	203.43466 67
133.03933 33	134.12266 67	137.5835	137.31683 33	136.40016 67	137.9435	139.94183 33	140.956	141.806	142.16683 33	142.436
137.733887 81	137.704757 57	137.332586 02	136.87758 68	137.271682 2	12.949462 97	12.750849 44	12.737862 93	12.646320 48	12.609976 63	12.948882 09
149.66221 33	150.63644 67	152.58811	153.74911 33	152.04281 33	153.09464 67	154.80611 33	156.26121 33	158.22798	159.45428	161.32191 33
۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵
۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۲	۱۳۹۱	۱۳۹۰	۱۳۸۹	۱۳۸۸	۱۳۸۷	۱۳۸۶

237.006	3038158	522396	p3
223.338	3038955	525957	p4
203.099	3035266	524127	p5
188.627	3032143	525011	p6
181.59	3033344	519696	p7
192.837	3032376	511365	p8
180.013	3029740	515841	p9
165.342	3027934	521023	p10
200.129	3028327	524761	p11
188.817	3026933	516187	p12
183.636	3024440	517863	p13
158.039	3024352	520506	p14
182.989	3023955	523792	p15
170.783	3021282	522323	p16
161.593	3019940	519946	p17
211.796	3021179	525567	p18
186.262	3018345	525901	p19
216.344	3012841	524128	p20
152.356	3017335	522049	p21
202.434	3014642	527701	p22
238.586	3020449	527874	p23
174.264	3019529	522376	p24
173.868	3032520	517339	p25

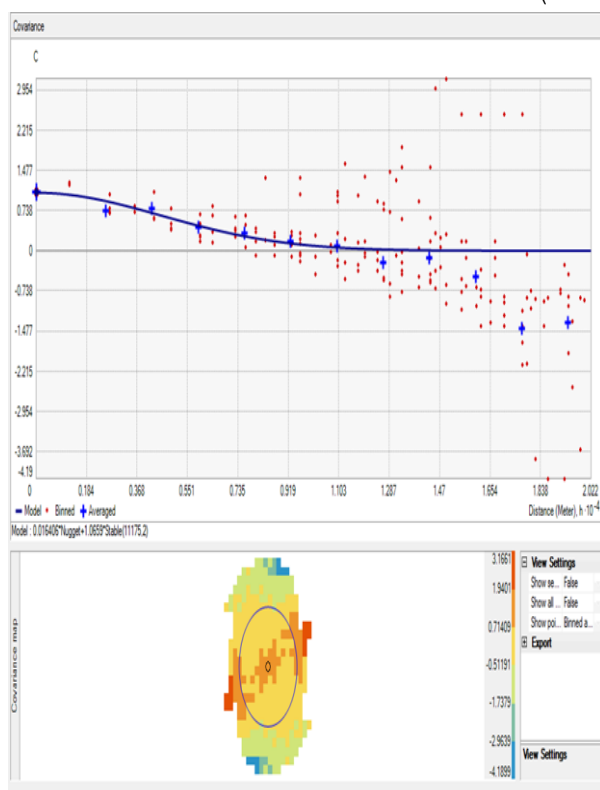
بررسی توصیفی داده ها

بعد از محاسبه تراز آب به صورت سالانه آماره های توصیفی از قبیل میانگین، انحراف معیار، کمینه و بیشینه هر ایستگاه مورد محاسبه قرار گرفته است. جدول زیر آمار توصیفی مربوط به این داده ها را نشان می دهد.

جدول ۲- آمار توصیفی سالانه تراز آب چاه های مشاهداتی

سال	مشاهدات	تعداد	میانگین	انحراف معیار	کمینه	بیشینه
۱۳۸۵	۲۵	161.16901 33	13.078223 77	142.526	203.16216 67	

می‌گویند. برای یک متغیر ناحیه‌ای با ساختار فضایی معین توزیع طوری است که تشابه برای نقاط نزدیک به هم نسبت به نقاط دور از هم بیشتر است. لذا با افزایش فاصله زمانی یا مکانی بین نمونه‌ها به حدی می‌رسیم که از آن به بعد متغیر ناحیه‌ای در نقاط اطراف یکدیگر برهم تأثیر چندانی ندارد و با افزایش فاصله مقدار واریوگرام تغییر معنی‌داری پیدا نمی‌کند که به این فاصله دامنه تأثیر می‌گویند. در ساختار فضایی داده‌ها با افزایش فاصله مقدار واریوگرام افزایش یافته و بعد از فراز و نشیب‌هایی ممکن است به یک حد ثابت میل کند که به آن سقف واریوگرام گفته می‌شود (سلیمانی و همکاران، ۱۳۸۵).



شکل ۳- نمودار همبستگی مکانی داده‌های مربوط به سال ۱۳۸۵ (منبع: تحقیقات نگارندگان)

201.013	131.93683 33	13.911875 57	149.29561 33	۲۵	۱۳۹۷
200.9305	131.21433 33	14.267342 76	149.72871 33	۲۵	۱۳۹۸
200.92466 67	131.95516 67	14.348715 38	149.71708	۲۵	۱۳۹۹
200.4405	130.94183 33	14.632198 08	148.77054 67	۲۵	۱۴۰۰
200.52633 33	130.92266 67	14.965282 59	148.93668	۲۵	۱۴۰۱

استفاده از روش‌های زمین‌آماري مستلزم بررسی وجود ساختار مکانی در بین داده‌هاست که توسط تجزیه و تحلیل واریوگرام این امر بررسی می‌شود. شرط استفاده از این تجزیه و تحلیل، نرمال بودن داده‌هاست. این کار با استفاده از آزمون‌های کلموگراف-اسمیرنوف و شاپیرو-ویلک در محیط SPSS انجام شد و مشخص شد که داده‌ها از توزیع نرمال برخوردار نیستند. از اینرو با لگاریتم‌گیری از داده‌ها، نرمال‌سازی صورت گرفت. سپس داده‌های نرمال به محیط نرم‌افزار ArcGIS منتقل شده و اقدام به برازش واریوگرام و انتخاب مدل مناسب برای پهنه‌بندی گردید.

اعمال روش‌های درونیایی

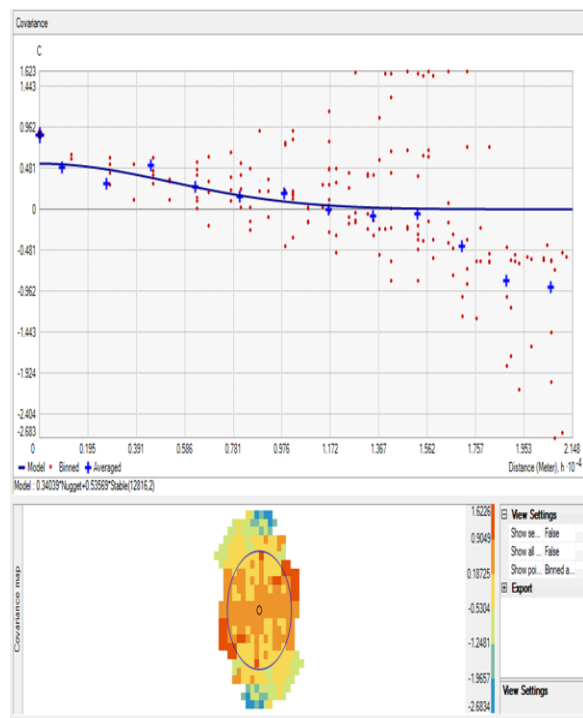
برای تشریح ساختار مکانی یک متغیر ناحیه‌ای از نیم تغییرنا استفاده می‌شود و یکی از اساسی‌ترین ابزارها در زمین‌آمار می‌باشد. نیم تغییر نما نشانگر همبستگی مکانی بین داده‌های اندازه‌گیری شده برحسب فاصله دو نقطه است و چون از محاسبه داده‌های اندازه‌گیری شده به دست می‌آید معمولاً به آن نیم تغییرنمای تجربی

های درونیابی شده که دقت لازم را داشته اند به دست آمده و سپس از روش من کندال برای پهنه بندی مکانی زمانی تغییرات استفاده شده است. آزمون من-کندال یک آزمون آماری ناپارامتری است که برای تجزیه و تحلیل روند در داده های بلند مدت استفاده می شود. روش های ناپارامتری نیاز به هیچ مفروضاتی با توجه به زمینه توزیع آماری داده ها ندارند. بر این اساس آزمون من-کندال نیاز به توزیع آماری خاص و تست حساسیت نمونه گیری به فاصله ندارد. روش من-کندال می تواند برای مجموعه داده هایی که شامل فواصل نمونه برداری نامنظم، اطلاعات زیر حد تشخیص، اطلاعات از دست رفته یا ناچیز مورد استفاده قرار گیرد. این آزمون مخصوصاً در مواردی سودمند است که می توان اندازه گیری داده ها را با استفاده از روش های پارامتری تجزیه و تحلیل کرد. این روش می تواند برای ردیابی روند داده ها با هدف ارزیابی قابل قبول آب های زیرزمینی، بررسی مکان، نظارت بر کارایی عملکردهای اصلاحی آب زیرزمینی استفاده شود و ابزارهایی است که به طور گسترده در این مطالعات به کار برده می شوند (کونور و همکاران، ۲۰۱۲). روابط مربوطه جهت تعیین مقادیر آماره من-کندال بصورت زیر است:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i) \quad (1)$$

$$\text{sgn}(X_j - X_i) = \begin{cases} +1 & \text{اگر } (X_j - X_i) > 0 \\ 0 & \text{اگر } (X_j - X_i) = 0 \\ -1 & \text{اگر } (X_j - X_i) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{var}(s) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad (3)$$



شکل ۴- نمودار همبستگی مکانی داده های مربوط به سال

۱۴۰۱ (منبع: تحقیقات نگارندگان)

در محور افقی این نمودارها فاصله و در محور عمودی واریانس داده ها نمایش داده شده است. همانگونه که مشخص است با افزایش فاصله میزان همبستگی داده ها به شدت کاهش پیدا میکند، این امر به قانون توپلر اشاره دارد. از آنجا که ساختار رستری به عنوان رهیافتی مناسب در تحلیل های فضایی و مدل سازی سری های زمانی به شمار می رود از این رو کلیه لایه های اطلاعاتی درونیابی شده هم برای روش کریجینگ و هم برای روش RBF به ساختار رستری تبدیل شدند.

پهنه بندی مکانی زمانی

برای بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی از روش آماری من-کندال استفاده شد. در اغلب مقالات به شکل رایج آمار کلاسیک از آمار من کندال استفاده شده است ولی در این پژوهش تغییرات به صورت زمانی-مکانی بر روی نقشه ها تحلیل خواهد شد. ابتدا سری های زمانی تغییرات تراز آب یا به عبارت ساده نقشه

$$Z_M = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{اگر } S > 0 \\ 0 & \text{اگر } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{اگر } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

که در روابط فوق n تعداد داده مشاهده‌ای (طول دوره آماری)، X_i و X_j به ترتیب i امین و j امین داده مشاهده‌ای، و q تعداد گروه‌های ایجاد شده (با داده‌های برابر و بیشتر از دو عضو)، t_p تعداد داده‌های برابر در p امین گروه و Z_M مقدار آماره من کندال می‌باشد. مقدار منفی Z_M بیانگر روند کاهشی و مقدار مثبت آن نشان‌دهنده روند افزایشی در سری داده‌ها می‌باشد.

باتوجه به سطح معنی‌دار بودن ۹۵ درصد اگر $[|Z|] > 96/1$ باشد فرض صفر رد شده و سری زمانی پارامتر مورد مطالعه دارای روند معنی‌دار و در غیر این صورت فاقد روند ارزیابی می‌شود. برای روندیابی از نرم‌افزار Edrisi Terset استفاده شد. آزمون من کندال متکی بر سه پارامتر آماری است (Aziz et al., 2003) که در زیر شرح داده می‌شود:

آماره: S نشان می‌دهد که آیا روند در بازه زمانی به صورت کاهشی ($-S$) و یا افزایشی ($+S$) اتفاق افتاده است.

ضریب اطمینان: میزان ضریب اطمینان محاسبه آماره S را اصلاح می‌کند و درجه‌ای از اعتماد به نفس را در تحلیل روند نشان می‌دهد. مثلاً "کاهشی، احتمالاً" کاهشی، افزایشی، احتمالاً" افزایشی. همچنین اگر میزان ضریب اطمینان کم باشد به دلیل تنوع قابل توجهی در داده‌ها یا به دلیل تغییر کمی در آن است.

ضریب واریانس: ضریب واریانس برای تمایز میان نتیجه "بدون روند" (پراکندگی قابل توجهی در روند مقابل زمان) و نتیجه "پایدار" (تنوع محدود در برابر زمان) برای مجموعه داده با روند کاهشی یا افزایشی

غیرقابل ملاحظه بوده است. جدول (۲) واحدهای آماری استفاده شده در آزمون من کندال را نشان می‌دهد.

جدول ۳- واحدهای آماری استفاده شده در آزمون من -

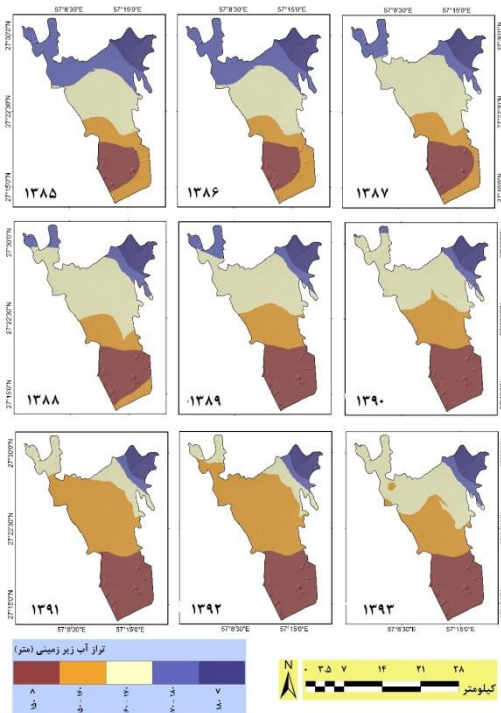
کندال (Aziz et al., ۲۰۰۳)

روند	اطمینان در روند (CF)	آماره S
افزایش	CF > 95%	S > 0
احتمال افزایش	95% ≥ CF ≥ 90%	S > 0
بدون روند	CF < 90%	S > 0
بدون روند	CF < 90% and COV ≥ 1	S ≤ 0
ثابت	CF < 90% and COV < 1	S ≤ 0
احتمال کاهش	95% ≥ CF ≥ 90%	S < 0
کاهش	CF > 95%	S < 0

بحث و یافته‌ها

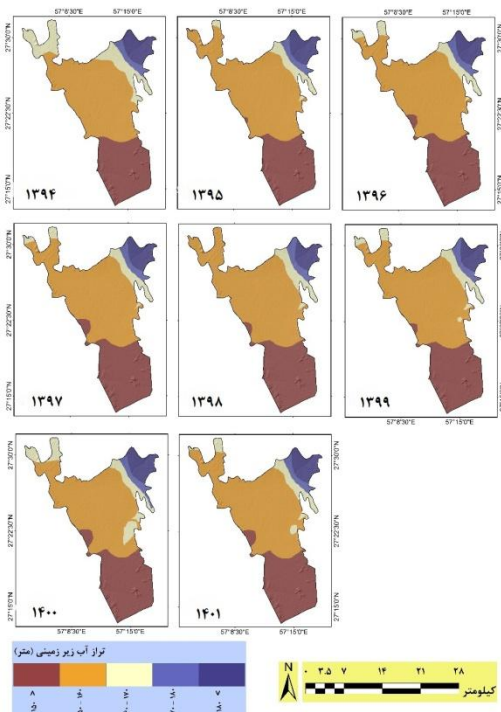
نتایج درون یابی به روش کریجینگ

به منظور درک بهتر از کاهش تراز آب زیر زمین منطقه رودان نیاز به یک نقشه است تا تغییرات مکانی را به خوبی نمایش دهد. یکی از راه‌های ایجاد نقشه از داده‌های نقطه‌ای روش‌های درون‌یابی است تا با استفاده از داده‌های تراز آب زیر زمینی موجود، تراز آب زیر زمین سایر مناطقی که فاقد داده هستند نیز تخمین زده شود. روش کریجینگ یک روش درون‌یابی زمین آماری است و فرآیندی است تخمینی که مبتنی بر میانگین متحرک وزن‌دار می‌باشد. روش‌های زمین‌آمار بر اساس مدل‌های آماری که شامل خود همبستگی مکانی هستند، محاسبه می‌شود. برای انجام روش‌های زمین‌آمار، داده‌های مورد استفاده باید دو ویژگی داشته باشند، یکی توزیع نرمال فضایی داده‌ها و دیگری میانگین و واریانس در مکان تغییر معنی‌داری نداشته باشد. کریجینگ، برای تخمین مقادیر در نقاط نمونه برداری نشده، وزن‌هایی را به مقادیر نمونه‌برداری شده



شکل ۵- نقشه درون یابی به روش کریجینگ بین سال های

۱۳۷۶ تا ۱۳۸۴



شکل ۶- نقشه درون یابی به روش کریجینگ بین سال های

۱۳۸۴ تا ۱۳۹۲

اطراف نسبت می‌دهد و بهترین تخمین گر خطی نااریب^۲ است. با استفاده از روش کریجینگ، برای هر سال تراز آب زیر زمینی درون یابی شد. شکل (۵ و ۶) نقشه های درون یابی شده آب زیر زمینی منطقه رودان به روش کریجینگ را برای هر سال نشان می دهد. با توجه به این شکل ها، شمال منطقه که از ارتفاع بالاتری برخوردار است، دارای سطح تراز بالاتری نسبت به جنوب منطقه است. یکی از روش های نمایش داده های سری زمانی به صورت snapshot است که تصاویر سری زمانی به صورت لحظه ای یا ایستا در کنار هم قرار می گیرند تا درک درستی از تغییرات مورد نظر در دوره زمانی را به کاربر منتقل کند. به منظور نمایش بهتر همه نقشه ها در یک مقیاس فضایی و طیفی نمایش داده شده اند. همچنین همه تصاویر به ۵ طبقه تراز آب زیر زمینی (کمتر از ۱۵۰ متر، ۱۵۰ تا ۱۶۰ متر، ۱۶۰ تا ۱۷۰ متر، ۱۷۰ تا ۱۸۰ متر و بیشتر از ۱۸۰ متر) طبقه بندی شدند. با توجه به شکل های (۵ و ۶) طبقه تراز آب زیر زمینی کمتر از ۱۵۰ متر در سال پایه (۱۳۷۶) فقط قسمت هایی از جنوب غرب منطقه را در بر میگیرد اما در سال آخر (۱۳۹۲) کل جنوب منطقه را در بر گرفته است

² Best Linear Unbiased Estimator

۱	۶	۵	۶	۶	۱
۲۰۴	۸۸	۲۲۶	۱۸۹۹	۹۹۸۹	۱۳۹
۸	۵	۱	۰		۲

نتایج درون یابی با روش توابع پایه شعاعی (RBF)

روش تابع پایه شعاعی از جمله روش‌های درون‌یابی می‌باشد که در آن دامنه مقادیر تخمینی از حد مقادیر مشاهده شده فراتر می‌رود یا تخمین از دامنه مشاهده خارج می‌شود و به عنوان یکی از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی است. در این روش مقادیر برآورد شده به دامنه حداقل و حداکثر مقادیر مشاهده شده محدود نمی‌شود و ممکن است مقادیر تخمینی بیشتر از بیشینه مقادیر مشاهده شده و یا کمتر از کمینه مقادیر مشاهده شده نیز وجود داشته باشند (میرموسوی و همکاران، ۱۳۸۹؛ ۱۲۰-۱۰۵). با استفاده از روش RBF، برای هر سال تراز آب زیر زمینی درون یابی شد. شکل (۷ و ۸) نقشه‌های درون یابی شده آب زیر زمینی منطقه رودان به روش کریجینگ را برای هر سال نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌ها روند تغییرات تراز آب زیر زمینی در روش RBF تقریباً مشابه روش کریجینگ است با این تفاوت که طبقات میانی اندک تفاوتی را نشان می‌دهند جدول (۵) مساحت طبقات تراز آب زیر زمینی در دوره مورد مطالعه به روش RBF را نشان می‌دهد.

طبقه ۱۶۰ تا ۱۷۰ متر نیز به همین صورت در سال آخر کاهش بسیاری داشته است. در عوض طبقه تراز آب زیر زمینی ۱۵۰ تا ۱۶۰ متر بیشتر مناطق مرکزی و شمالی نقشه را در بر گرفته است. دلیل این امر این است که شیب لایه های زمین شناسی آبخوان در منطقه به سمت شمال منطقه است. بنابر این استخراج آب زیر زمینی در هر نقطه در منطقه موجب می شود که بیشترین کاهش سطح تراز آب زیر زمینی در جنوب منطقه رخ دهد. طبقه ۱۷۰ تا ۱۸۰ متر در سال پایه بیشتر شمال نقشه را پوشش می دهد که در سال آخر این طبقه تقریباً ناپدید شده است. جدول (۴) مساحت طبقات تراز آب زیر زمینی در دوره مورد مطالعه به روش کریجینگ را نشان می دهد.

جدول ۴- مساحت طبقات تراز آب زیر زمینی در دوره مورد

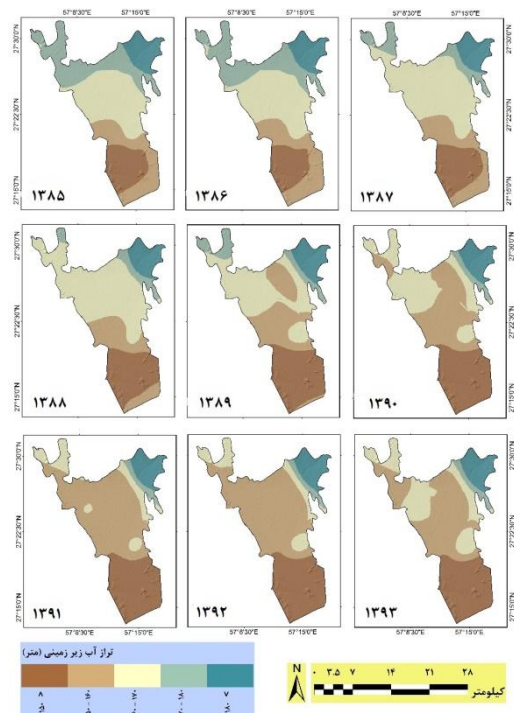
مطالعه به روش کریجینگ

سال/طبقات	۵۰ تا ۷۰	۵۰ تا ۱۰۰	۱۰۰ تا ۱۵۰	۱۵۰ تا ۲۰۰	۲۰۰ تا ۲۵۰
۱۳۷۶	۵۱۴۲	۶۱۴۶	۱۰۲۶۹	۹۳۴۰	۳۲۷۷
۱۳۷۷	۴۷۷۰	۷۹۱۶	۱۲۰۱۴	۶۲۸۹	۳۱۸۵
۱۳۷۸	۶۰۸۹	۶۱۲۱	۱۴۷۳۰	۴۴۷۲	۲۷۶۳
۱۳۷۹	۷۲۴۱	۵۸۰۱	۱۵۵۴۹	۲۸۵۸	۲۷۲۶
۱۳۸۰	۸۸۳۷	۶۷۲۶	۱۳۰۹۶	۳۰۴۴	۲۴۷۰
۱۳۸۱	۹۰۰۴	۷۸۱۲	۱۳۴۶۹	۱۴۷۳	۲۴۱۶
۱۳۸۲	۹۲۶۶	۱۵۸۷۷	۵۷۹۲	۱۰۴۷	۲۱۹۲
۱۳۸۳	۹۳۶۶	۱۷۷۶۱	۳۹۴۰	۹۸۱	۲۱۲۶
۱۳۸۴	۹۰۸۹	۸۶۴۳	۱۲۵۶۷	۱۴۴۰	۲۴۳۵
۱۳۸۵	۹۱۳۰	۱۶۹۰۹	۴۸۹۵	۱۰۱۹	۲۲۲۱
۱۳۸۶	۹۴۶۵	۱۹۶۷۲	۲۰۲۴	۹۰۳	۲۱۱۰
۱۳۸۷	۹۸۸۵	۱۹۱۹۹	۲۲۲۲	۸۷۰	۱۹۹۸
۱۳۸۸	۱۰۱۱۹	۱۹۱۷۳	۲۰۸۰	۸۹۸	۱۹۰۳
۱۳۸۹	۹۸۳۳	۱۹۸۷۰	۱۷۹۳	۱۰۷۲	۱۶۰۷
۱۳۹۰	۹۶۷۷	۱۹۴۶	۲۳۲	۹۶	۱۷۲
۰		۷	۶	۶	۸
۱۳۹۱	۱۰۱۱۷	۱۷۵۰	۳۴۵	۹۶	۲۰۷

جدول ۵- مساحت طبقات تراز آب زیر زمینی در دوره مورد

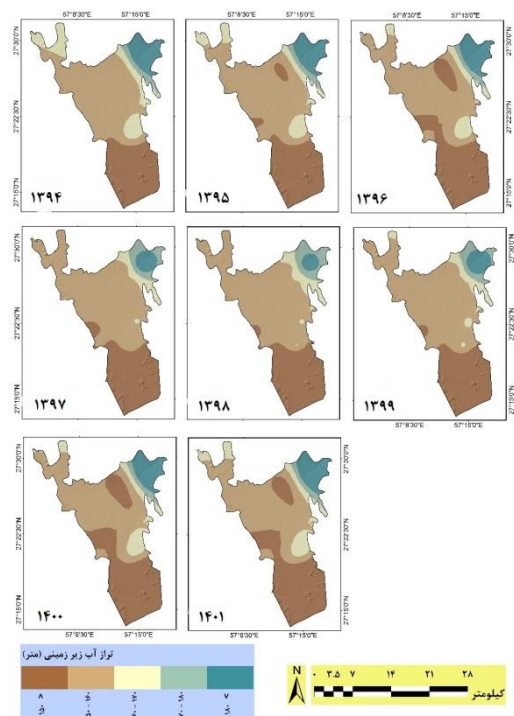
مطالعه به روش BRF

سال/طبقات	<۱۵۰	۱۵۰ تا ۱۶۰	۱۶۰ تا ۱۷۰	۱۷۰ تا ۱۸۰	>۱۸۰
۱۳۷	۵۳۲۹	۵۹۲۴	۱۱۲۷	۸۳۶	۳۲۷
۶			۷	۸	۶
۱۳۷	۴۶۶۸	۶۷۳۳	۱۱۳۲	۸۲۵	۳۱۹
۷			۳	۲	۷
۱۳۷	۵۹۹۷	۶۱۳۴	۱۵۶۲	۳۴۷	۲۹۳
۸			۹	۹	۴
۱۳۷	۷۲۵۱	۵۶۲۲	۱۶۴۸	۱۹۰	۲۹۱
۹			۳	۷	۲
۱۳۸	۸۷۲۸	۸۶۵۲	۱۱۰۵	۲۷۲	۳۰۲
۰			۲	۰	۱
۱۳۸	۹۱۰۹	۱۱۱۹	۹۸۶۷	۱۰۸	۲۹۱
۱		۸		۵	۶
۱۳۸	۹۲۲۸	۱۷۴۲	۳۹۷۳	۹۵۴	۲۷۴
۲		۷			۶
۱۳۸	۹۲۶۶	۱۷۵۸	۳۵۹۳	۹۴۵	۲۷۸
۳		۷			۷
۱۳۸	۸۹۸۷	۱۳۲۱	۷۹۹۷	۱۰۶	۲۹۰
۴		۲		۸	۹
۱۳۸	۹۰۹۲	۱۷۰۶	۴۲۷۴	۹۴۰	۲۸۰
۵		۴			۷
۱۳۸	۱۰۰۸	۱۷۳۱	۳۲۱۹	۸۴۵	۲۷۱
۶	۴	۶			۰
۱۳۸	۱۲۱۶	۱۶۲۲	۲۳۲۴	۷۸۱	۲۶۷
۷	۷	۴			۹
۱۳۸	۱۰۱۱	۱۹۵۶	۱۶۱۶	۱۶۶	۱۲۱
۸	۳	۵		۰	۵
۱۳۸	۹۸۰۵	۱۴۲۵	۷۰۸۰	۲۲۳	۷۹۷
۹		۳		۸	
۱۳۹	۹۶۲۵	۱۹۵۸	۱۹۸۱	۱۴۳	۱۵۴
۰		۸		۵	۴
۱۳۹	۱۲۹۷	۱۵۰۷	۲۷۲۱	۷۶۴	۲۶۴
۱	۴	۴			۰
۱۳۹	۱۲۲۸	۱۵۲۸	۳۱۲۹	۸۰۶	۲۶۶
۲	۳	۸			۸



شکل ۷- نقشه درون یابی به روش RBF بین سال های ۱۳۸۵

تا ۱۴۰۱

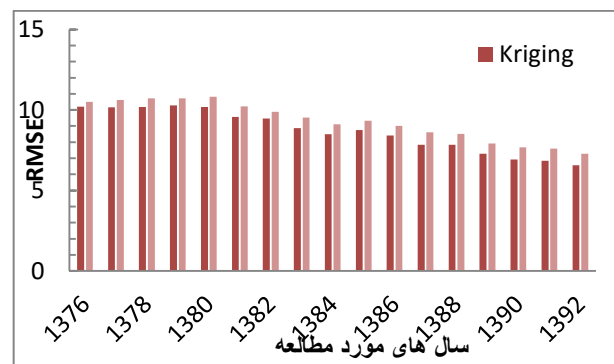


شکل ۸- نقشه درون یابی به روش RBF بین سال های ۱۳۸۵

تا ۱۴۰۱

مقایسه نتایج درون یابی کریجینگ با RBF

به منظور مقایسه و ارزیابی نتایج روش های درونیابی کریجینگ و RBF، از ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد. RMSE ریشه توان دوم خطا ها به منظور محاسبه میزان تفاوت بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش بینی شده در مدل استفاده شده است. این شاخص هم به خطاهای تصادفی و هم به خطاهای سیستماتیک حساسیت دارد. شکل ۹ نمودار ستونی مربوط به RMSE مدل های کریجینگ و RBF را نشان می دهد. با توجه به نمودار، مقدار RMSE درونیابی RBF در تمام سال ها از روش کریجینگ بیشتر است بنابراین روش زمین آماری کریجینگ در این منطقه نتایج بهتری نسبت به روش RBF را بدست می آورد



شکل ۹- نمودار ستونی مربوط به RMSE مدل های

کریجینگ و RBF

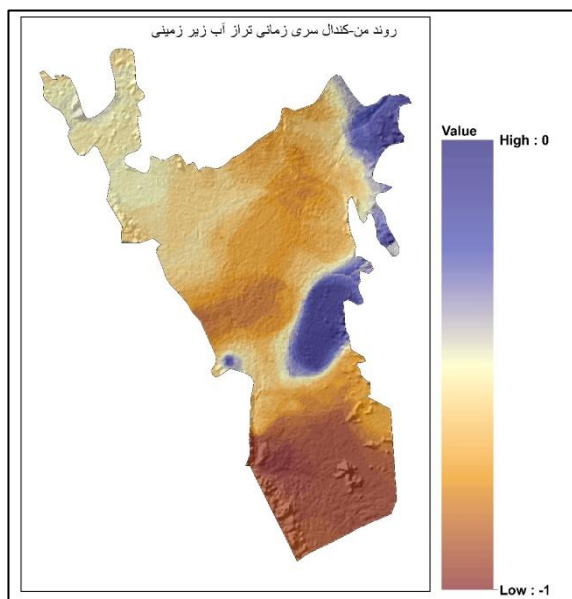
روند یابی فضایی تغییرات تراز آب زیر زمینی

هر چند که در نمایش و تفسیر داده های سری زمانی به صورت snapshot می توان تغییرات مکانی-زمانی یک متغیر را مشاهده و تفسیر کرد اما مواقعی که داده های سری زمانی ما زیاد باشد نمی توان از snapshot برای تفسیر یک متغیر خاص استفاده کرد زیرا نقشه های زیاد در چندین صفحه موجب سر در گمی و تفسیر اشتباهی از داده ها می شود. مناسب ترین روش برای تحلیل زمانی-مکانی داده های سری زمانی استفاده از

روش های روند یابی فضایی است. روندیابی فضایی برای تحلیل پدیده های سیستماتیک و همچنین پویایی اکوسیستم ها مناسب است. مدل های مختلفی برای روند یابی فضایی در نرم افزار ادریسی وجود دارد که همه ی آنها محاسبات بر پایه رستر انجام می دهند. از جمله این مدل ها، روند یابی های خطی (بر پایه R2، R و شیب خط بین یک پیکسل خاص در داده های سری زمانی)، روند یابی میانه که یک محاسبه غیر پارامتری از شیب تیل-سن را انجام می دهد، روند یابی مونوتونیک که یک محاسبه غیر پارامتری از ضریب همبستگی من-کندال است.

روند خطی OLS

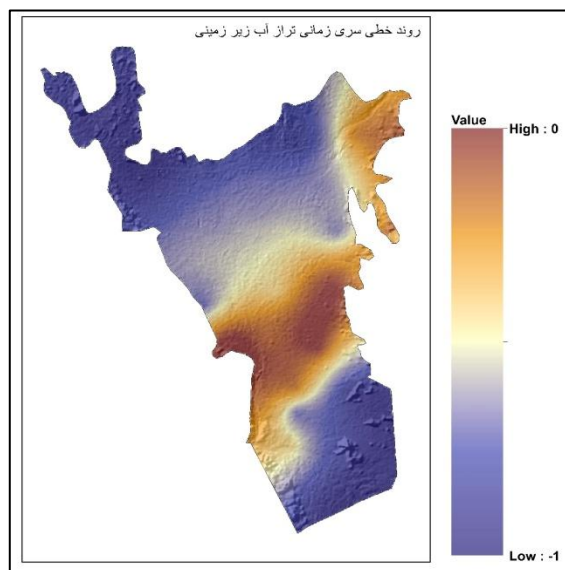
روند خطی (OLS) ضریب شیب رگرسیون حداقل مربعات معمولی بین ارزش هر پیکسل در طول زمان در یک سری کاملاً خطی را محاسبه می کند. نتیجه بیان نرخ تغییرات در هر مرحله زمان است. به این معنی که هر پیکسل در نقشه خروجی نشان می دهد که شیب خط به صورت صعودی است یا نزولی و شدت آن نیز مشخص می شود. شکل (۱۰) روند خطی OLS از سری زمانی داده های درون یابی شده به روش کریجینگ را نمایش می دهد. با توجه به شکل، شمال و جنوب منطقه مورد مطالعه روند نزولی با نرخ تغییرات نزدیک به ۱- دارد. در قسمت مرکزی و شمال شرق منطقه مورد مطالعه روند تغییرات کاهش می یابد و در برخی مناطق نشان می دهد که در دوره مورد مطالعه هیچ تغییری نداشته و روند ثابتی را داشته است.



شکل ۱۱- روند من-کندال از سری زمانی داده های درون یابی شده به روش کریجینگ

نتیجه گیری

رشد سریع شهرنشینی، عوامل استرس‌زای انسانی بی‌سابقه‌ای را به ارمغان آورده است که برخی بر این باورند که این عوامل ممکن است عملکرد و ساختار سیستم زمین و یا بخشی از آن را دچار تغییر کند. در سال‌های اخیر در بسیاری از کشورهای جهان برداشت آب از منابع زیرزمینی از میزان تغذیه سالیانه آنها بیشتر است که این امر به معنای استخراج و استفاده از آبی است که در طول هزاران سال در لایه های ابدار زمین ذخیره شده است. این کار سطح آبهای زیرزمینی در منطقه روز به روز افت کرده و سرانجام به جایی خواهد رسید که آبی برای استخراج وجود نخواهد داشت. استفاده از داده های سری زمانی تراز آب زیر زمینی دشت رودان و استفاده از روش های درون یابی و روند یابی، تغییرات سطح تراز آب زیر زمینی مورد بررسی قرار گرفت و بهترین مدل برای درون یابی سطح تراز آب زیر زمینی در این منطقه معرفی شد. این تحقیق به منظور بررسی تغییرات تراز آب زیر زمینی دشت رودان بین سال های ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۱ و پهنه بندی و مدل-



شکل ۱۰- روند خطی OLS از سری زمانی داده های درون یابی شده به روش کریجینگ

روند من-کندال

مدل روندیابی من کندال روندهای کاهشی و یا افزایشی پدیده ها را بررسی می کند. آزمون من کندال جزوه روش های تجزیه و تحلیل پارامتریک رگرسیون خطی می باشد. نتایج روش من کندال بین اعداد ۱- و ۱ قرار دارد. عدد یک به این معنی است که پدیده مورد مطالعه در آن منطقه بیشترین تغییرات افزایشی را داشته است و ۱- به این معنی است که پدیده مورد مطالعه در آن مکان بیشترین تغییرات کاهشی را داشته است و صفر به معنی عدم تغییر در پدیده مورد مطالعه می باشد. این روش مشابه به روندیابی میانه محاسبه می شود. شکل (۱۱) روند من-کندال از سری زمانی داده های درون یابی شده به روش کریجینگ را نمایش می دهد. با توجه به شکل، روند مثبت و افزایش در منطقه وجود ندارد. در جنوب منطقه، روند کاهشی با شدت بالا و نزدیک ۱- مشاهده می شود. شمال منطقه نیز روند کاهشی را نمایش می دهد با این تفاوت که از شدت کمتری نسبت به جنوب منطقه برخوردار است. برخی از مناطق در شرق و شمال شرق منطقه روند ثابتی را نشان می دهند.

سازی تراز آب زیر زمینی در این دشت انجام شده است. فرضیه‌هایی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته‌اند شامل دو مورد زیر هستند:

۱- به نظر می‌رسد طی سالهای ۱۳۸۵-۱۴۰۱ تراز آب های زیرزمینی شهرستان رودان به شدت کاهش یافته است.

۲- به نظر می‌رسد با استفاده از روش‌های زمین آمار و شبکه عصبی میتوان به پهنه بندی و مدلسازی تراز سطح آب در دشت رودان مبادرت نمود.

در رابطه با فرضیه اول، تغییرات سطح تراز آب زیر زمینی دشت رودان با استفاده از داده های ۲۵ چاه در ۱۷ سال از لحاظ آماری و مکانی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آماری از میانگین سالانه کل تراز سطح آب زیر زمینی رودان نشان داد که سطح آب زیر زمینی در منطقه روند کاهشی داشته است به طوری که در دوره مورد مطالعه حدود ۱۲ متر کاهش یافته است. از لحاظ مکانی جنوب دشت رودان که از سطح تراز آب پایین تری نسبت به شمال دشت دارد، کاهش بیشتری داشته است که می تواند در نتیجه شیب لایه های آبخوان در این منطقه باشد که به سمت شمال منطقه می باشد. با ادامه برداشت آب از دشتهای ذخیره آب های زیرزمینی دشت رودان به زودی به اتمام خواهد رسید و کشاورزان را با مشکل جدی مواجه خواهد کرد، همانطور که هم اکنون به دلیل اتمام آب برخی از چاه های دشت رودان به دلیل خشکسالی با نبود آب مواجه شده اند. با توجه به نزدیکی دشت رودان به خلیج فارس پایین رفتن سطح آبهای زیرزمینی می تواند خطر شورشدن و بی کیفیت شدن آبهای شیرین را در پی داشته باشد، چرا که با پایین رفتن سطح آبهای شیرین زیرزمینی، خطر حمله آب شور به سمت آب شیرین به وجود خواهد آمد. برداشت بیش از اندازه از ذخایر آبهای زیرزمینی باعث دگرگونی در بافت خاک و در نهایت به هم خوردن

قدرت پایداری خاک و نشست لایه های مختلف آن می شود.

در رابطه با فرضیه دوم، دو مدل کریجینگ و RBF که یکی از روش های شبکه عصبی مصنوعی است مورد آزمون قرار گرفتند. از داده های نقطه ای که آمار ۱۷ ساله تراز آب زیر زمینی را ذخیره داشتند به عنوان ورودی مدل های ذکر شده به منظور درون یابی داده های نقطه ای و به دست آوردن داده های سطحی استفاده شد. خطای RMSE به منظور مقایسه دو روش و انتخاب مدل بهینه استفاده شد که نتایج نشان داد که مدل کریجینگ بهتر می تواند سطح تراز آب زیر زمینی در دشت رودان را مدل سازی کند. به منظور پهنه بندی سطح تراز آب زیر زمینی منطقه، داده های نقطه ای درون یابی شده به پنج طبقه تراز آب زیر زمینی (کمتر از ۱۵۰ متر، ۱۵۰ تا ۱۶۰ متر، ۱۶۰ تا ۱۷۰ متر، ۱۷۰ تا ۱۸۰ متر و بیشتر از ۱۸۰ متر) طبقه بندی شدند. توزیع فضایی طبقه تراز آب زیر زمینی کمتر از ۱۵۰ متر در سال پایه (۱۳۸۵) فقط قسمت هایی از جنوب غرب منطقه را در بر می گیرد اما در سال آخر (۱۴۰۱) کل جنوب منطقه را در بر گرفته است. طبقه ۱۶۰ تا ۱۷۰ متر نیز به همین صورت در سال آخر کاهش بسیاری داشته است. در عوض طبقه تراز آب زیر زمینی ۱۵۰ تا ۱۶۰ متر بیشتر مناطق مرکزی و شمالی نقشه را در بر گرفته است. دلیل این امر این است که شیب لایه های زمین شناسی آبخوان در منطقه به سمت شمال منطقه است. بنابراین استخراج آب زیر زمینی در هر نقطه در منطقه موجب می شود که بیشترین کاهش سطح تراز آب زیر زمینی در جنوب منطقه رخ دهد. همچنین به منظور مدل سازی بهتر تغییرات زمانی مکانی از روش های روند یابی مکانی خطی و من-کندال استفاده شد. نتایج روند یابی فضایی نشان داد که در کل منطقه تراز آب زیر زمینی روند کاهشی داشته است. در جنوب منطقه، روند کاهشی با شدت بالا و نزدیک ۱- مشاهده

می شود. شمال منطقه نیز روند کاهشی را نمایش می دهد با این تفاوت که از شدت کمتری نسبت به جنوب منطقه برخوردار است. برخی از مناطق در شرق و شمال شرق منطقه روند ثابتی را نشان می دهند.

نتایج نشان داد روش کریجینگ بهتر از روش RBF توانسته است تا تراز آب زیر زمینی بین سال های ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۱ را مدل سازی کند. باید این نکته را در نظر داشت که در این منطقه مدل کریجینگ بهتر بوده است و این مدل ها محلی می باشند. بنابر این ممکن است که در مناطق دیگر مدل های دیگری بهینه باشند. به هر حال اگر در این منطقه محقق یا سازمانی بخواهد تغییرات سطح تراز آب زیر زمینی را مورد بررسی قرار دهد یا به عنوان بخشی از یک پروژه بخواهد استفاده کند، پیشنهاد می شود که از مدل درون یابی کریجینگ استفاده کند. پایش مکانی زمانی تغییرات سطح تراز آب زیر زمینی، می تواند برای مدیران و برنامه ریزان آب منطقه ای، وزارت نیرو و بخش کشاورزی بسیار با اهمیت باشد بویژه در شهرستان رودان و سایر شهرستان های استان هرمزگان که از منابع آب زیر زمینی محدودتری برخوردار هستند. این پایش ها می تواند تغییرات تراز آب زیر زمینی، مقدار آن، شدت تغییرات و محل تغییرات را در داده های سری زمانی مشخص کند تا با توجه به وضع موجود راهکار های اساسی بر نامه ریزی شود و بتوان با استفاده از روند تغییرات در گذشته آینده را نیز پیش بینی کرد.

- model (Kriging) and its integration with neural fuzzy inference system in underground water level zoning (case study: Shiraz plain), 2nd National Conference on Water, Man and Earth. (In Persian) <https://cpro.ir/product/586034/>
- Ghorbani, M.A., R. Khatibi, M. Hasanpour kashani and O. Kisi. 2019. Comparison of three artificial intelligence techniques for discharge routing. *Journal of Hydrology*, 4. (In Persian) <https://doi.org/10.22034/hydro.2024.60223.1310>
- Hossein Sarzabi, A., Esmaili, K. (2013), Investigation and Quantitative Modeling of Groundwater (Case Study: Neishapur Plain), *Irrigation Engineering Sciences (Agriculture Scientific Journal)*, Volume 36, Number 4, Winter 92. (In Persian) <https://doi.org/20.1001.1.25885952.1392.36.4.8.5>
- Hosseini Someh, M., A. Roshani and A. Zebah. 2020. Modeling of groundwater level changes based on methods based on artificial intelligence (Case study of Zaveh Torbat Heydariyeh plain). *Watershed Management*, Period 11, Number 21: 223-235. (In Persian) <https://doi.org/10.52547/jwmr.11.21.223>
- Kazemi, T., Fadeli, M., Farzin, M., 2015, assessment and analysis of peak flow with different return periods for Bashar River using HEC-HMS model, *Iranian Water Resources Research Quarterly*, Volume: 17, Number 4, March 1400 , page 50-69. (In Persian) <https://doi.org/20.1001.1.17352347.1400.17.4.3.0>
- Meshaikhi, S., Ebrahimi, K., Modaresi, F., Iraqhinejad, S. (2022), integrated management of Minab basin water resources using modified sustainability
- Abdul Aziz, O. and Burn, D. 2003. Trends and variability in the hydrological regime of the Mackenzie River Basin. *Journal of Hydrology*. 319:282-294
- Affandi, A. and Watanabe, K., 2007. Daily groundwater level fluctuation forecasting using soft computing Estimation of Reference Evapotranspiration from Pan Evaporation in a Semi-Arid Environment. *Irrigation Science*, Available in www.Springer.com.
- Ahmadizadeh, M., Maroufi, p. 2017, application of Bayesian analysis and particle filter in rainfall-runoff models and uncertainty analysis, *Journal of Water and Soil Protection Research*, Volume 24, Number 1, p. 251. (In Persian) <https://doi.org/10.22069/jwfst.2017.12108.2663>
- Bierkens, M., 1998. Modeling water table fluctuations by means of a stochastic differential equation. *Water Resources Research*, 34(10), pp.2485-2499.
- Boroujerdi, A., Feridouni, M., 2015, Simulation of underground water level using support vector models and its comparison with fuzzy neural models and neural wavelet (case study of Shiraz Plain), *Water Engineering Conference and Exhibition*. (In Persian) <https://civilica.com/doc/407797/>
- Connor KM, Davidson JR, Churchill LE, Sherweed A, Foa EB. Psychometric properties of the Social Phobia Inventory (SPIN). *The British Journal of Psychiatry* 2012; 176:379-386.
- Fakher, A. (2000) Application of physical models in teaching engineering courses, *Iranian Engineering Educational Journal*, Volume 2, Number 6, pp. 39-72. (In Persian) <https://doi.org/10.22047/ije.2000.2014>
- Feridouni, M., Khojand, M. (2014), Application of geostatistical

- Investigating the efficiency of support vector regression, multilayer perceptron neural network and multivariable linear regression methods to predict the level of underground water (case study: Shahrekord Plain). Watershed Management Research Journal, Volume 8, Number 15, pp. 1-12 . (In Persian)
<https://doi.org/10.29252/jwmr.8.15.1>
- Shirzaei, S (2019), a review of variable selection methods in regression models with time series errors, master's thesis, Shahrood University of Technology. (In Persian)
- Yazidi, A., Davari, K., Alizadeh, A., Kahraman, B., and Haqati Moghadam, S.A. (2007). Prediction of water level using artificial neural networks (case study: Neyshabur Plain). Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 1(2), 59-71. (In Persian)
- index, Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering, Year 12, Number 47, Spring 2022. (In Persian)
<https://profdoc.um.ac.ir/paper-abstract-1082166.html#tabs-2>
- Mir Arabi, A., Nakhai, M., 2017, prediction of underground water level fluctuations in Birjand Plain using artificial neural network, 12th conference of Geological Society of Iran. (In Persian)
file:///C:/Users/sohra/Downloads/50013890101-1.pdf
- Moghadisi, M., Mardian, M., Parsa, M. (2021) Comparison and evaluation of smart models and geostatistics in order to analyze the spatial changes of groundwater quality (Dasht Kamijan), watershed management research journal, volume: 12, number 24, pages 54-64. (In Persian)
<https://doi.org/10.52547/jwmr.12.24.54>
- Mubaraki, M. Feridouni, M., 2015. Simulation of underground water level using the combination of wavelet, neural fuzzy models and its comparison with the neural fuzzy model, international conference on new research achievements in civil engineering and urban architecture. (In Persian) <https://isnac.ir/XYCC-ACCBA>
- Nayak, P., Satyaji Rao, Y.R. and Sudheer, K.P., 2001. Groundwater Level Forecasting in a Shallow Aquifer Using Artificial Neural Network Approach. Water Resources Management, 20, pp.77-90.
- Rajaei, T., Zainivand, A., 2014, Modeling the underground water level using the hybrid wavelet-artificial neural network model (case study: Sharifabad plain), Reist Civil and Environmental Engineering Journal, Volume 44.4, Number 77, March 2013. Page 51-63. (In Persian) SID.
<https://sid.ir/paper/102298/fa>
- Ramezani Charmehineh, A. and M. Zounematkermani. 2017.

"Evaluation and Application of Kriging and Artificial Neural Network Methods in Groundwater Level Prediction (Case Study: Rudan Plain)"

Vahid Sohrabi¹, Mohammad Ebrahim Afifi², Kamran Vahedi³, Ehsan Moradi⁴

1-PhD in Geography and Urban Planning, Larestan Branch, Islamic Azad University, Larestan, Iran

2-Associate Professor, Department of Geography, Larestan Branch, Islamic Azad University, Larestan, Iran

3-Instructor, Department of Civil Engineering, Minab Branch, Islamic Azad University, Minab, Iran

4-PhD Student in Geography and Urban Planning, Larestan Branch, Islamic Azad University, Larestan, Iran

Abstract

With population growth and the increasing human demand for water, water consumption has multiplied sixfold over the past seventy years. Today, water scarcity and the overexploitation of groundwater resources have posed serious threats to human life. The growing demand for water, the destruction of natural resources, and the expansion of deserts are driving humanity toward a global water crisis. The occurrence of consecutive droughts in recent decades has further highlighted the need for comprehensive and strategic planning to address water scarcity.

The main objective of this study is the spatio-temporal modeling of groundwater levels in the Rudan Plain from 2006 to 2022. By preparing groundwater level maps for the mentioned years and examining them, the spatial and temporal patterns of groundwater level changes in the Rudan Plain are identified and analyzed. Furthermore, the study evaluates the sensitivity and reliability of the proposed methods.

This is an applied study with a descriptive-analytical approach. Observation well data from 2006 to 2022 were used as known samples. Using geostatistical techniques and artificial neural networks, interpolation models were implemented and groundwater level changes were examined both spatially and temporally across the Rudan Plain.

The results of this research indicate that the kriging method outperformed the RBF (Radial Basis Function) method in modeling groundwater levels from 2006 to 2022. It should be noted that in this particular region, the kriging model proved to be more effective.

Keywords: Temporal Modeling, Groundwater, Kriging Models, Neural Networks, Rudan