

حرکت از مرکز دشت به طرف جنوب شرقی دشت، وسعت اراضی کشاورزی و نیز تعداد چاه‌های غیرمجاز و نیز کاربری‌های شهری - صنعتی افزایش می‌یابد که هر دو این عوامل نقش قابل توجهی در کاهش کیفیت آب دارند.

کلید واژه‌ها: تغییر کاربری، روش‌های زمین‌آماری، روش‌های ریاضی، آب‌زیرزمینی، دشت مشهد

بررسی اثر کاربری اراضی بر تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت مشهد)

علی یزدان‌پناهی^۱، خالد احمدالی^۲، مهدی گل‌افشانی^۳ و اسماعیل حیدری علمدارلو^۴
تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۱۷

مقدمه

آب‌های زیرزمینی منابع آب حیاتی برای مناطق خشک و نیمه‌خشک در ایران است [۲۱]. افزایش جمعیت، شهرنشینی، رشد صنعتی و فعالیت‌های کشاورزی تأثیر قابل توجهی در تقاضای منابع کمیاب آب دارد [۱۸]. یکی از ارکان توسعه و تحولات اجتماعی و اقتصادی هر جامعه، آب است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به دلیل بارش اندک و کمبود یا نبود منابع آب سطحی، آب‌های زیرزمینی منبع اصلی و قابل اعتمادی برای تأمین آب در مصارف مختلف به‌ویژه شرب و کشاورزی به شمار می‌رود. در دهه‌های اخیر، از میان نگرانی‌ها در زمینه تغییرات محیط‌زیست جهانی، مسائل مربوط به تغییر کاربری در گذر زمان، از مهم‌ترین دغدغه‌ها است. کیفیت آب از مهم‌ترین عواملی که باید به هنگام سنجش و ارزیابی توسعه یک منطقه بررسی شود، چراکه کیفیت آب به‌اندازه‌ی کمیت آن برای قابل استفاده بودن در مصارف مختلف مهم و ضروری است. افزایش آلاینده‌های شیمیایی شهری و صنعتی و شیوه‌های نوین کشاورزی و تغییر کاربری از تهدیدات جدی محیط‌زیست به حساب می‌آیند [۲۴]. از این‌رو در مناطق خشک و نیمه‌خشک که وابستگی به منابع آب زیرزمینی بیشتر است، اثر تخریبی کیفیت این منابع به علت ضعف طبیعی در منابع آب و خاک شدت بیشتری خواهد داشت. در رابطه با کیفیت آب زیرزمینی و تغییرات کاربری اراضی مطالعات مختلفی در داخل و خارج کشور صورت گرفته که می‌توان آن‌ها را در سه گروه دسته‌بندی نمود. گروه اول شامل مطالعاتی است که به بررسی و طبقه‌بندی منطقه مورد مطالعه بر اساس پارامترهای کیفیت آب بر اساس مصارف مختلف شرب، کشاورزی پرداخته‌اند. گروه دوم مطالعاتی که به مقایسه‌ی تکنیک‌های مختلف در پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی پرداخته‌اند و گروه سوم مطالعاتی است که به بررسی تغییرات کاربری اراضی پرداخته‌اند. در زیر به‌طور مختصر به برخی از آن‌ها اشاره می‌گردد:

چکیده

مدل‌سازی تغییرات زمانی و مکانی کیفی آب و بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی بر پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی اهمیت ویژه‌ای دارد. این پژوهش به مقایسه‌ی تکنیک‌های مختلف ریاضی و زمین‌آماری برای برآورد مکانی و زمانی مهم‌ترین پارامترهای کیفی آب از نظر شرب، نفوذ آب در خاک و کشاورزی در دشت مشهد با استفاده از آمار ۶۲ حلقه چاه در بازه‌ی زمانی ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵ می‌پردازد. نقشه‌های کاربری اراضی از تصاویر ماهواره Landsat با نرم‌افزار ENVI5.1 تهیه شد. بررسی نقشه‌های هم‌مقدار نشان داد که با گذر زمان، کیفیت آب به لحاظ سختی کل، افت زیادی داشته طوری که مساحت مربوط به کلاس نامناسب رشد چشمگیری داشته است. بر اساس نقشه‌های هم‌مقدار EC، مساحت کلاس متوسط و نامناسب با گذر زمان افزایش داشته طوری که در سال ۱۳۹۵ بیشتر از ۱۳۸۵ و ۱۳۷۵ بود. نقشه‌های هم‌مقدار SAR نشان داد که عمده‌ی سطح دشت در کلاس خوب قرار دارند و در سال‌های مختلف تغییرات جزئی داشت. همچنین نقشه‌های زمین‌شناسی نشان داد که سازندهای منطقه جزو سازندهای باکیفیت خوب و متوسط در ارتباط با آب زیرزمینی بود. نتایج بررسی نقشه‌های کاربری اراضی نشان داد که مرتع و کشاورزی بیشترین مساحت را دارند و کاربری مرتع بیشترین کاهش (۶/۶۱ درصد) معادل ۶۴۳/۲۹ کیلومترمربع و کاربری کشاورزی تقریباً بیشترین افزایش (۲/۱۶ درصد) معادل ۲۳۵/۴۶ کیلومترمربع را داشته است. با

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲- نویسنده مسئول و استادیار گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، پست الکترونیک: khahmadali@ut.ac.ir

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۴- دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

همان‌طور که ذکر شد برخی مطالعات به بررسی و طبقه‌بندی منطقه‌ی مورد مطالعه بر اساس پارامترهای کیفی آب زیرزمینی برای مصارف مختلف شرب، کشاورزی پرداخته‌اند که از این مطالعات می‌توان به مطالعه‌ی زارعی و بهرامی [۳۱] در دشت فسا، بامری و همکاران [۸] در دشت بجنستان، احمدپور و همکاران [۳] در دشت گیلان و چن و فنگ [۹] در شمال چین، خان و قریشی [۱۷] در کراچی پاکستان، تیگی و همکاران [۲۶] در یامونانگار هاریانا اشاره نمود.

از گروه دوم مطالعات می‌توان به زهتابیان و همکاران [۳۲] در حوضه‌ی آبخیز گرمسار، هوشمند و همکاران [۱۳] در دشت بوکان، سلیمانی و همکاران [۲۵] در دشت جیرفت، جهان‌شاهی و همکاران [۱۶] در دشت شهر بابک، دلبری و همکاران [۱۰] در استان مازندران و امیری بورخانی و همکاران [۶] در استان یزد، آجری و همکاران [۲] در کرالای هند اشاره نمود که به مقایسه‌ی روش‌های مختلف زمین‌آماری باهم و یا با روش‌های ریاضیاتی در تخمین پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی پرداخته‌اند. از بین مطالعات انجام‌شده در زمینه‌ی کاربری اراضی می‌توان به مطالعه‌ی یوسفی و همکاران [۳۰] پایش تغییرات کاربری اراضی مریوان با استفاده از سنجنده‌های TM و ETM+ ماهواره LandSat اشاره نمود.

بهره‌برداری بیش‌ازحد و استفاده غیر اصولی از منابع آب زیرزمینی و تغییر کاربری، باعث شده تا تخریب اراضی روند بسیار رو به رشدی داشته باشد [۱۵]. لذا، شناخت و آگاهی از تغییرات زمانی و مکانی کیفی آب و بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی بر پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی، به منظور حفظ و اصلاح کیفیت آن اهمیت ویژه‌ای دارد. بر اساس مرور منابع ملاحظه می‌گردد که مطالعات انجام‌شده کمتر به بررسی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب زیرزمینی و بررسی اثر کاربری اراضی بر این تغییرات پرداخته‌اند. لذا مطالعه‌ی حاضر جامع‌تر از سایر مطالعات است و با اهداف ارزیابی روش‌های مختلف برآورد مکانی در تعیین تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی دشت مشهد در دوره زمانی ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵، انتخاب مناسب‌ترین روش برآورد مکانی و تهیه نقشه‌های هم‌مقدار پارامترهای کیفی آب زیرزمینی و نهایتاً بررسی اثرات تغییر کاربری بر تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای کیفی آب، انجام گرفت. بدیهی است که با رسیدن به این اهداف، می‌توان استفاده از آب و تخصیص آن به انواع کاربری‌ها به‌ویژه کاربری کشاورزی را مدیریت نموده و تا حد زیادی بهبود بخشید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز مشهد یکی از ۱۳ زیر حوضه قره قوم می‌باشد. این حوضه با وسعتی حدود ۹۹۰۹/۴ کیلومتر مربع در شمال شرقی ایران و در مختصات جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۷ دقیقه‌ی عرض شمالی و ۵۵ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۲۰

دقیقه‌ی طول شرقی واقع بوده، که ۳۳۵۱ کیلومتر مربع آن را دشت و ۶۵۵۸ کیلومتر مربع دیگر را کوهستان تشکیل می‌دهد. دشت مشهد یکی از مهم‌ترین دشت‌های استان خراسان رضوی است. ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا، ۱۹۵۷ متر است [۴]. بر اساس آمار ایستگاه سینوپتیک مشهد، حداقل دمای منطقه مورد مطالعه در بازه‌ی ۱۹۵۰ تا ۲۰۱۴ در دی‌ماه و برابر ۹- درجه سانتی‌گراد و حداکثر دما در تیرماه و برابر ۳۹/۷۶ درجه سانتی‌گراد و میانگین دمای برابر ۱۵/۵۹ درجه سانتی‌گراد است. به‌طور کلی، اقلیم منطقه از خشک تا نیمه‌خشک متغیر است. قسمت عمده‌ی بارش در اواخر زمستان و اوایل بهار و کم‌ترین میزان بارش در فصل تابستان اتفاق می‌افتد. متوسط بارندگی منطقه بر اساس آمار ۶۴ ساله (۱۹۵۰ تا ۲۰۱۴) ایستگاه سینوپتیک مشهد، ۲۱۴/۱ میلی‌متر در سال است [۲۹].

روش کار

داشتن سری آماری کامل و بدون نقص داده‌های هیدرولوژیکی، برطرف ساختن خلأهای آماری و در مدل‌سازی داده‌ها بسیار بااهمیت است. لذا در این مطالعه پس از جمع‌آوری و تهیه آمار از شرکت مدیریت جامع منابع آب ایران و انتخاب پایه زمانی مشترک، آمار موجود از نظر کیفیت مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور آزمون داده‌های پرت و آزمون نرمالیت بر روی داده‌های کیفی آب زیرزمینی انجام شد. به منظور بررسی آمار از نظر همگنی، از روش آزمون توالی^۱ و برای بازسازی نواقص آماری از روش همبستگی یک متغیره با نرم‌افزار SPSS استفاده شد و نواقص پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در ۶۲ حلقه چاه بهره‌برداری در دشت مشهد در دوره‌ی آماری ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵ مورد بررسی قرار گرفت. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه و شکل (۲) نقشه زمین‌شناسی منطقه مطالعاتی در این تحقیق را نشان می‌دهد.

پارامترهای کیفی مورد بررسی در این مطالعه شامل میزان سختی آب (TH)، نسبت جذبی سدیم (SAR)، هدایت الکتریکی (EC) و است که از مهم‌ترین پارامترهای کیفی آب از نظر شرب، کشاورزی و نفوذ آب در خاک هستند. تکنیک‌های مورد استفاده جهت برآورد مکانی این پارامترها شامل مدل‌های زمین‌آماري و ریاضیاتی بود. مدل زمین‌آماري استفاده‌شده کریجینگ معمولی^۲ (OK) و روش‌های ریاضیاتی شامل روش وزنی معکوس فاصله^۳ (IDW) با توان‌های ۱، ۲ و ۳ و روش تابع پایه شعاعی^۴ (RBF) بود.

کریجینگ معمولی (OK)

روش‌های میان‌یابی زمین‌آماري با بهره‌گیری از ارتباط مکانی مشاهدات، به ایجاد نقشه‌های پیوسته به کمک داده‌های نقطه‌ای می‌پردازند [۱]. از مهم‌ترین ابزار تشخیص و مدل‌سازی همبستگی مکانی بین مشاهدات تابع برداری نیم تغییرنما^۵ است. فرمول ریاضی

1. Run Test
2. Ordinary Kriging
3. Inverse Distance Weighting
4. Radial Basis Function
5. Semivariogram

محاسبه نیم تغییرنما به شرح زیر است [۱۰]:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(u_i + h) - Z(u_i)]^2 \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن $\gamma(h)$ ، نیم تغییرنمای تجربی و $N(h)$ ، تعداد جفت مشاهداتی است که به فاصله h از یکدیگر قرار دارند. $Z(u_i + h)$ و $Z(u_i)$ به ترتیب مقادیر مشاهده شده متغیر در نقاط $u_i + h$ و u_i می باشند. پس از محاسبه نیم تغییرنمای تجربی، مناسب ترین مدل تئوری نیم تغییرنما برای استفاده در سیستم معادلات کریجینگ بایستی بر داده ها برازش شود.

تخمین گر کریجینگ معمولی که شامل یک میانگین گیری متحرک وزنی خطی از مشاهدات موجود در همسایگی نقطه مورد برآورد است،

از آنجایی که این تخمینگر یک تخمینگر ناورب است لذا اوزان λ_i باید به گونه ای تعیین شوند که جمع جبری آن ها برابر با واحد و حداقل واریانس کریجینگ حاصل گردد. کریجینگ معمولی علاوه بر تخمین، واریانس تخمین را نیز ارائه می دهد:

رابطه (۳) $\sigma_{OK}^2(u) = -\gamma(u, u) + \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(u, u_i) + \mu$ که $\gamma(u, u)$ میانگین $\gamma(x_0, x_j)$ مقادیر نیم تغییرنما در موقعیت مورد تخمین u ، میانگین مقادیر نیم تغییرنما بین موقعیت مورد تخمین u و n آیین نقطه ی نمونه برداری شده و μ ضریب لاگرانژین برای به حداقل رساندن واریانس کریجینگ می باشد. واریانس تخمین معیاری از عدم قطعیت تخمین در نقطه مورد نظر می باشد.

روش وزنی معکوس فاصله (IDW):

روش وزنی معکوس فاصله یکی از روش های ریاضیاتی یا قطعی میان یابی است که در آن برای هر کدام از نقاط اندازه گیری شده، بر اساس فاصله بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول وزن مشخصی

در نظر گرفته می شود. سپس این اوزان توسط توان وزن دهی کنترل می شود، به طوری که توان های بزرگ تر، اثر نقاط دورتر از نقطه مورد برآورد را بیشتر کاهش داده و توان های کوچک تر وزن ها را به طور یکنواخت تری بین نقاط هم جوار توزیع می کنند. رابطه کلی میان یابی دوبعدی به روش فوق به صورت زیر است:

$$Z^*(x_0, y_0) = \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{\left[\frac{1}{d_i} \right]^p}{\sum_{j=1}^n \left[\frac{1}{d_j} \right]^p} \right\} Z(x_i, y_i) \quad \text{رابطه (۴)}$$

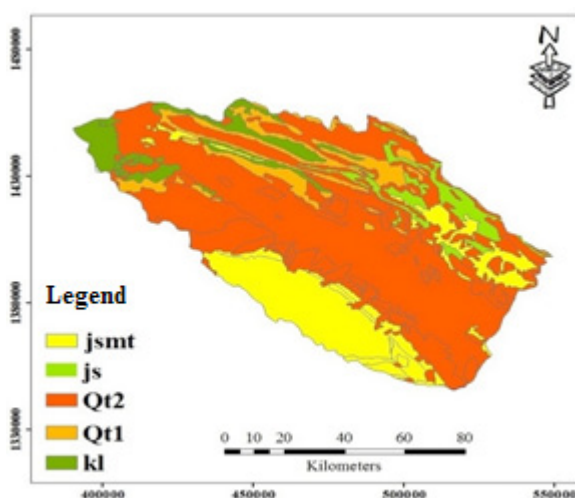
که در آن $Z^*(x_0, y_0)$ مقادیر برآورده شده در موقعیت (x_0, y_0) ، $Z(x_i, y_i)$ مقدار متغیر در نقطه ی مشخص (x_i, y_i) ، n تعداد نقاط معلوم مجاور (x_0, y_0) ، d_i فاصله اقلی دسی بین هر یک از نقاط واقع در موقعیت های (x_0, y_0) و (x_i, y_i) ، p توان p ضریبی است که وزن را بر اساس فاصله تعیین می کند.

روش تابع پایه شعاعی (RBF):

توابع پایه ی شعاعی این توانایی را به ما می دهند که سطوحی را ایجاد نماییم که هم روندهای عام در آن ها در نظر گرفته شده اند و همچنین تغییرات محلی نیز در آن ها لحاظ شده باشد. این روش می تواند روی داده های نويزداری که دارای پراکنش نامنظم هستند اعمال شده و یک میان یابی چند متغیره هموار روی داده ها انجام دهد. به عبارت دیگر روش RBF تابعی را می یابد که مشابه یک ورقه فلزی نازک است که به طور همواری خم شده است مقید به گذشتن از تمامی داده ها می باشد.

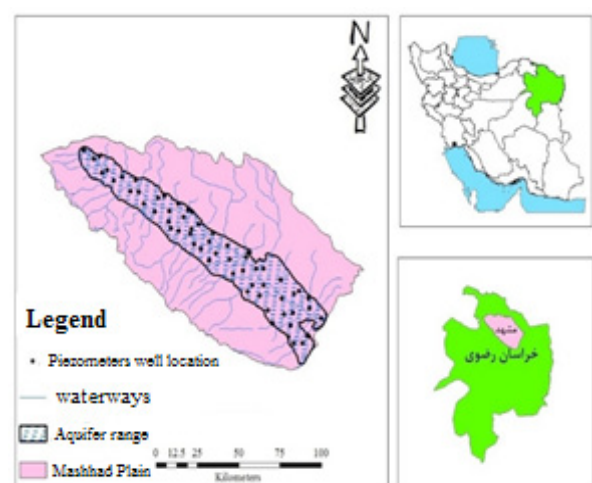
برای پیش پردازش و تحلیل های آماری داده ها از نرم افزار SPSS (Robertson, 2010)، برای واریوگرافی از نرم افزار GS+ (ESRI, 2011) ArcGIS و برای برآورد مکانی از نرم افزار استفاده شد.

برای ارزیابی مدل های استفاده شده، از شاخص های آماری ریشه



شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

Figure 2. Geology map of the study area



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1. The study area

جدول ۱- مشخصات مدل‌های برازش شده به نیم‌تغییرنمای تجربی پارامترهای کیفی موردبررسی

Table3. Specifications of fitted models to the experimental semivariograms

RSS	R ²	$\frac{C}{C+C_0}$	شعاع تأثیر (متر)	آستانه (C + C ₀)	اثر قطعه‌ای (C ₀)	مدل نیم‌تغییرنما	
RSS	R ²		Range	Sill	Nugget Effect	Semivariogram model	Parameter
0/261	0/082	0/501	311000	0/921	0/46	Spherical	TH
0/784	0/466	0/854	311000	2/012	0/294	Spherical	SAR
4/730	0/538	0/789	311000	6133000	1240000	Spherical	EC

فرسایش نقش چندانی در کیفیت آب ندارند. سازندهای Qt1، Qt2 و KI جزو سازندهای با کیفیت خوب در ارتباط به آب زیرزمینی بوده و سازندهای Jsmt و Js جزو سازندهای با کیفیت متوسط هستند [۱۹]. جوان‌ترین سازندهای مربوط به این محدوده، مربوط به کوآترنر Q_۱ بوده که با توجه به شکل (۲) قسمت اعظم مساحت محدوده آبخوان را نیز در بر گرفته است. سازندهای کوآترنری از نظر خصوصیات هیدروپدینامیکی به علت درشت‌دانه بودن و فضای بین دانه‌ها و ارتباط این فضاها باهم و تخلخل مناسب نفوذپذیری مناسبی دارند. این سازندها در منطقه، سفره آبی خوبی را تشکیل می‌دهند [۲۳].

تحلیل نیم‌تغییرنما

بررسی نیم‌تغییرنمای جهت‌دار (برای چهار جهت ۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه با انحراف زاویه‌ی ۲۲/۵ درجه) پارامترهای کیفی آب زیرزمینی محاسبه‌شده، تغییرات ناچیزی را در جهت‌های مذکور نشان داد. لذا نیم‌تغییرنمای همسانگرد آن در مرحله بعدی تحقیق محاسبه و مدل گردید. جدول (۱) مشخصات مدل نظری برازش شده به نیم‌تغییرنمای تجربی پارامترها را نشان می‌دهد.

بهترین مدل نظری با توجه به رفتار نیم‌تغییرنما در نزدیکی مبدأ مختصات، حداقل مجموع مربعات باقی‌مانده^۳ (RSS)، حداکثر ضریب تبیین (R²)، حداکثر تناسب ساختار مکانی^۴ (C/(C₀+C)) و نتایج حاصل از اعتبارسنجی متقابل تعیین گردید. تناسب ساختار مکانی، بیان‌کننده نسبت بخش ساختاردار واریانس (C) به کل واریانس (C₀+C) می‌باشد که هراندازه به یک نزدیک باشد، مطلوب‌تر است [۱۱]. با توجه به جدول (۱) ملاحظه می‌شود که بهترین مدل نیم‌تغییرنما برای تمامی پارامترهای مورد مطالعه مدل کروی می‌باشد.

میان‌یابی مکانی پارامترهای موردبررسی پس انتخاب بهترین مدل نیم‌تغییرنما برای کریجینگ معمولی، بهترین توان برای روش IDW و بهترین پارامترهای روش RBF، مدل‌های مذکور مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج مقایسه‌ی مدل‌های استفاده‌شده در جدول (۲) آورده شده است.

دوم میانگین مربع خطا^۱ (RMSE) و ضریب تبیین (R²) استفاده شد [۲۰].

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [Z^*(X_i) - Z(X_i)]^2}{n}}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [Z^*(X_i) - Z(X_i)]^2}{\sum_{i=1}^n [Z(X_i) - \bar{Z}]^2}$$

که در این روابط، $Z(X_i)$ و $Z^*(X_i)$ به ترتیب مقدار برآورد شده متغیر در X_i ، مقدار مشاهده‌ای متغیر در X_i و مقدار میانگین داده‌ها، n تعداد نقاط متغیر مشاهده‌ای می‌باشد.

بعد از تعیین انتخاب بهترین مدل نیم‌تغییرنما برای کریجینگ معمولی و نیز تعیین بهترین پارامتر روش‌های IDW و RBF نقشه‌های هم‌مقدار پارامترهای ذکر شده توسط بهترین مدل تهیه شد و با استفاده از روش شکست طبیعی^۲ و بر اساس رهنمودهای سازمان خواروبار جهانی (FAO) [۷] طبقه‌بندی گردید. این روش بر اساس یک الگوریتم محاسباتی، سعی در به حداقل رساندن اختلاف بین داده‌ها در هر طبقه و به حداکثر رساندن اختلاف بین طبقات می‌کند. درواقع این الگوریتم برای ایجاد طبقات از متوسط هر دامنه استفاده می‌کند تا توزیع داده‌ها در طول هر دامنه از یکنواختی بیشتر برخوردار باشد [۲۲].

در مرحله‌ی بعد نقشه‌ی کاربری اراضی منطقه‌ی مورد مطالعه تهیه شد به این ترتیب که ابتدا تصاویر داده‌های ماهواره Landsat مربوط به دو مقطع زمانی ۱۳۸۰ و ۱۳۹۱ دشت مشهد تهیه گردید. نهایتاً پس از تهیه نقشه‌های پارامترهای کیفی آب و نیز نقشه‌ی کاربری اراضی، تأثیر کاربری اراضی بر کیفیت آب زیرزمینی بررسی شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج

تحلیل نقشه زمین‌شناسی

سازندهای محدوده مورد مطالعه (شکل ۲) متنوع است و به دلیل گسترش محدود و ناتراوا بودن و حساسیت‌پذیری کم نسبت به

3. Residual Sum of Squared

4. Proportion of Spatial Structure

1. Root Mean Square Error

2. Natural break method

جدول ۲- مقایسه تکنیک‌های مختلف استفاده‌شده در برآورد مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی

Table4. Comparison of different techniques of groundwater quality parameters estimation

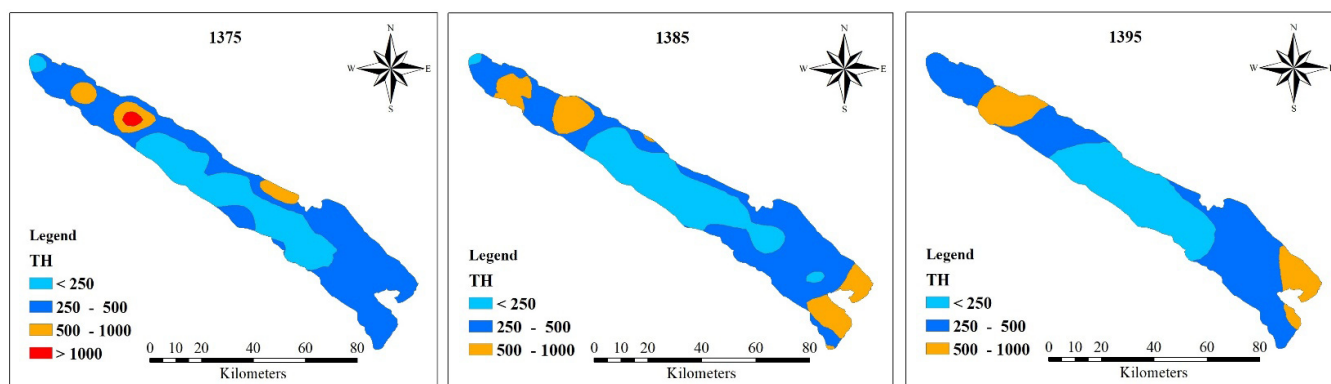
رتبه‌بندی	RMSE	R ²	بهترین پارامتر مدل	مدل برآورد مکانی	پارامتر
Ranking	RMSE	R ²	Best parameter of model	Model Type	Parameter
1	0/188	0/4	Exponential	Kriging	TH
2	0/038	0/3	3	IDW	
3	0/018	0/02	Spline with Tension	RBF	
2	0/784	0/47	Spherical	Kriging	SAR
3	0/361	0/36	3	IDW	
1	0/572	0/57	Completely Regularized Spline	RBF	
1	4/730	0/54	Spherical	Kriging	EC
2	0/415	0/42	3	IDW	
3	0/411	0/41	Completely Regularized Spline	RBF	

و ۱۳۹۵ در شکل ۵ نشان داده‌شده و در دو کلاس خیلی خوب و خوب کلاس‌بندی شد. با توجه به شکل ملاحظه می‌گردد که قسمت اعظم دشت به لحاظ SAR در کلاس خوب قرار دارند. در سال ۱۳۹۵ مناطقی که در کلاس خیلی خوب و خوب قرار داشته‌اند به ترتیب با مساحتی حدود ۹۱/۷ و ۸/۳ درصد در اکثر بخش‌های دشت مواجه بوده‌اند. مناطق با کلاس خیلی خوب و خوب در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۸۵ به ترتیب کاهش ۲ درصدی و افزایش ۴ درصدی داشتند. اما در سال ۱۳۷۵ کلاس خیلی خوب در همه جای آبخوان بوده است.

در ادامه برای بررسی علل پراکنش کلاس‌های مختلف پارامترهای کیفی آب به بررسی نقشه‌های کاربری اراضی نشان داده‌شده در شکل (۶) پرداخته‌شده است.

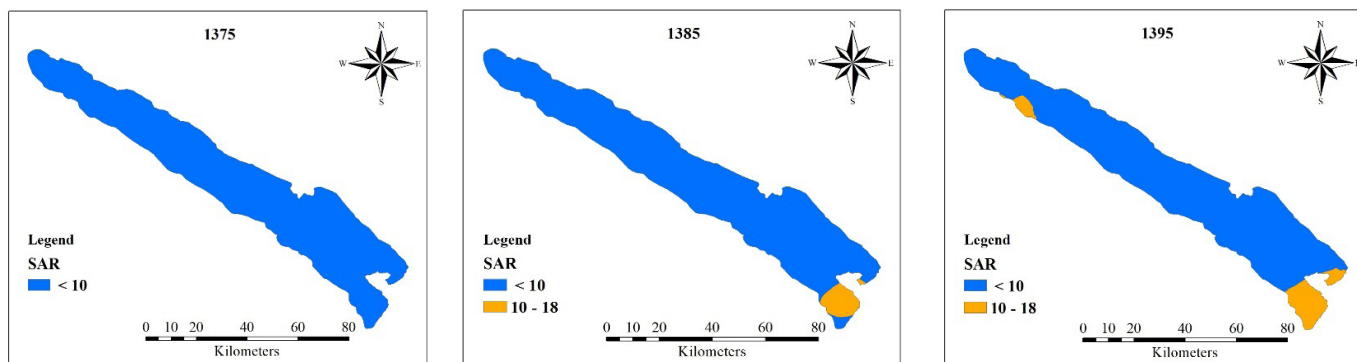
با توجه به جدول (۲) این نتیجه حاصل شد که روش کریجینگ بهترین مدل برای برآورد مکانی این پارامترها بود. لذا در ادامه نقشه‌ی پهنه‌بندی پارامترهای موردبررسی با استفاده از کریجینگ معمولی، برای سال‌های ۱۳۷۵، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۵ ترسیم و در شکل‌های ۳ تا ۵ ارائه‌شده است.

با توجه به نقشه‌ی هم‌مقدار TH ملاحظه می‌شود که کیفیت آب دشت با گذر زمان از مساحت طبقه‌ی خوب کاسته شده است. درصد کلاس خوب در سال‌های ۱۳۷۵، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۵ به ترتیب ۳۲/۴، ۳۴/۱، ۳۳/۸ درصد است. درصد مساحت طبقه قابل قبول به لحاظ این پارامتر در سال‌های ۱۳۷۵، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۵ به ترتیب ۵۹/۴، ۴۹ و ۵۱/۴ درصد است. ملاحظه می‌شود که بیشترین مساحت در آبخوان در طی این سال‌ها مربوط به کلاس قابل قبول است. نقشه‌ی هم‌مقدار SAR دشت مشهد در سال‌های ۱۳۷۵، ۱۳۸۵

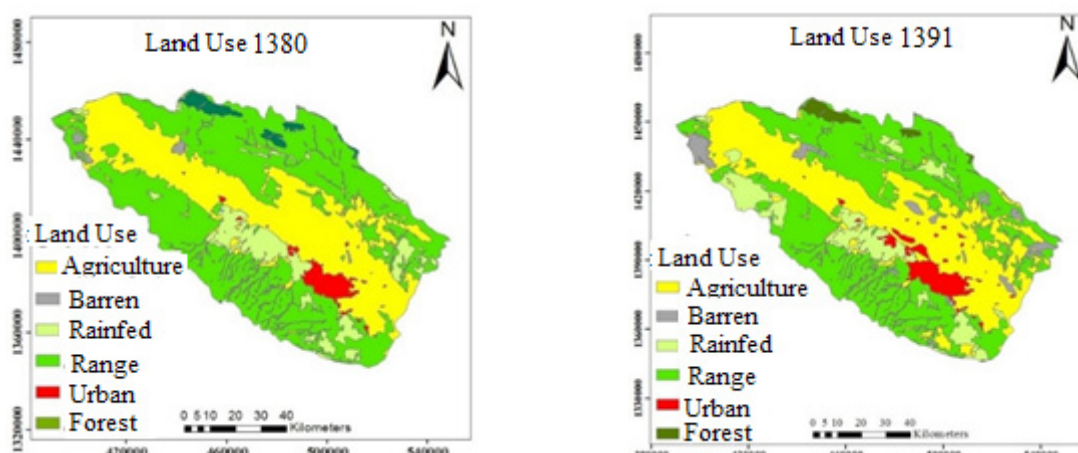


شکل ۴- نقشه‌ی هم‌مقدار TH آب زیرزمینی

Figure 4. Iso-distribution map of TH



شکل ۵- نقشه‌ی هم‌مقدار SAR آب زیرزمینی
Figure 5. Iso-distribution map of SAR

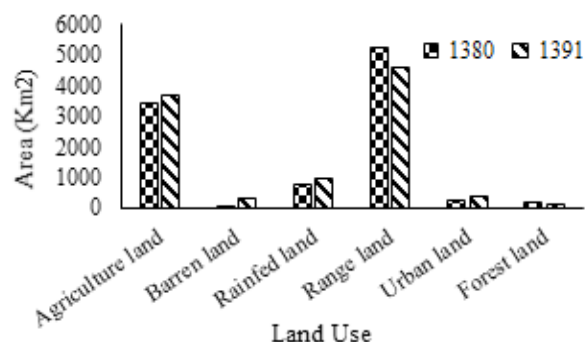


شکل ۶- نقشه‌ی کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه
Figure 6. Land use map of the study area

شکل (۷) کاربری‌های مختلف و تغییرات آن را از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۱ نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۷) مشاهده می‌شود که مساحت اراضی مرتع و کشاورزی طی بازه زمانی مورد مطالعه نسبت به سایر کاربری بیشتر بوده طوری که مساحت این کاربری‌ها در سال ۱۳۸۰ به ترتیب برابر ۵۲۳۶/۶۵ و ۳۴۰۸/۴۱ کیلومتر مربع و در سال ۱۳۹۱ به ترتیب برابر ۴۵۹۳/۳۶ و ۳۶۴۳/۸۵ کیلومتر مربع می‌باشد. کاربری مرتع با بیشترین مساحت در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۱ به ترتیب ۵۲/۸۲ و ۴۶/۲۱ درصد و اراضی کشاورزی به ترتیب ۳۴/۳۷ و ۳۶/۵۳ درصد از منطقه را به خود اختصاص داده است. همچنین ملاحظه می‌شود که کاربری‌های کشاورزی، بایر، دیم و شهری در سال ۱۳۹۰ نسبت به سال ۱۳۸۰ به ترتیب ۲/۱۶، ۲/۳۹، ۱/۷۶ و ۰/۹۷ درصد افزایش داشته‌اند و کاربری‌های مرتع و جنگل به ترتیب ۶/۶۱ و ۰/۶۸ درصد کاهش داشته است. حداکثر افزایش کاربری مربوط به اراضی بایر و کمترین افزایش مربوط به کاربری شهری است. بیشترین کاهش مربوط به کاربری مرتع است که خود بیشترین مساحت را در بین کاربری‌های مختلف دارد.

بررسی تغییرات نقشه‌ی کاربری اراضی دشت مشهد نشان می‌دهد که اراضی کشاورزی به صورت نواری از شمال غرب به سمت جنوب

با توجه به اینکه تغییرات کاربری اراضی در بازه‌های زمانی بیشتر خود را بهتر نشان می‌دهد و نظر به وسعت زیاد منطقه‌ی مورد مطالعه، نقشه‌ی کاربری اراضی در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۱ تهیه گردید و در شکل (۶) نشان داده شده است. نقشه‌های تهیه شده شامل شش کلاس اراضی کشاورزی، اراضی جنگلی، اراضی مرتعی، اراضی شهری، اراضی دیم و اراضی بایر می‌باشد.



شکل ۷- کاربری‌های مختلف و تغییرات آن در بازه‌ی زمانی مورد مطالعه

Figure 7. Changes in land use area during the study period

غرب در وسط دشت کشیده شده یا به عبارتی دیگر در اطراف خط تقارن دشت مشهد، اراضی کشاورزی گسترش یافته است. با توجه به نقشه‌های هم‌کیفیت آب زیرزمینی و نقشه‌ی کاربری اراضی مشخص می‌شود که کاربری کشاورزی در این محدوده سبب کاهش کیفیت آب شده است. دلیل افزایش کیفیت آب زیرزمینی به لحاظ برخی از پارامترها در برخی از نقاط مرکزی دشت مرکز دشت، می‌تواند ناشی از بارش‌های کوه‌های بینالود واقع در قسمت‌های جنوبی مرکز دشت مابین شهرهای مشهد و نیشابور باشد که رواناب و جریان آب‌های زیرزمینی کوه‌های بینالود در مرکز دشت به آب‌های زیرزمینی ملحق شده و باعث افزایش کیفیت کلی آب زیرزمینی می‌شود. اما با حرکت به سمت جنوب شرق که خروجی دشت در آن واقع است، به علت افزایش محدوده‌های کشاورزی، علی‌الخصوص فاضلاب و پساب‌های شهر مشهد، غلظت املاح افزایش یافته و کیفیت آب زیرزمینی کاهش می‌یابد.

بحث و نتیجه‌گیری

شناخت و آگاهی از تغییرات زمانی و مکانی کیفی آب و بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی بر پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی به منظور حفظ و اصلاح کیفیت آن اهمیت ویژه‌ای دارد. با توجه به آنچه بیان شد، روش‌های آماری برای تحلیل نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های آب زیرزمینی مناسب هستند، و نباید جایگزین روش‌های اصلی تحلیل کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی شوند، بلکه باید به عنوان یک ابزار کمکی به کار گرفته شوند. نتیجه‌ی بررسی تکنیک‌های ریاضی و زمین‌آماري در مدل‌سازی کیفیت آب زیرزمینی دشت مشهد نشان داد که بهترین مدل در واریوگرافی از بین مدل‌های مختلف نیم‌تغییرنما، مدل کروی است و از بین تکنیک‌های مختلف، کریجینگ بر اساس آماره‌های RMSE و R^2 بهترین تکنیک بود. نتایج حاکی از این است که مدل نیم‌تغییرنمای کروی از بین مدل‌های مختلف، بهترین مدل برای پارامترهای کیفی آب و تخمینگر کریجینگ در اکثر مطالعات نسبت به دیگر روش‌ها دقت بالاتری داشته است که این با نتایج جهانشاهی و همکاران [۱۶]، سلیمانی و همکاران [۲۵] و زهتاییان و همکاران [۳۳] همخوانی دارد.

در مرحله بعد نقشه‌های تهیه شده طبقه‌بندی شدند که برای پارامترهای مختلف روند تغییرات به دست آمد. بررسی نقشه‌های هم‌مقدار EC نشان می‌دهد که مساحت طبقه‌ی نامناسب در سال ۱۳۸۵ و ۱۳۹۵ بیشتر از سال ۱۳۷۵ است که به دلیل برداشت زیاد از آب‌های زیرزمینی و افت سطح آب باعث افزایش EC شده که طبق نتایج ولایتی [۲۸] افت متوسط آب زیرزمینی در دشت مشهد سالانه به طور متوسط یک متر بوده که به ازای هر یک متر افت سطح آب، EC بین ۲۶ تا ۹۶ میکرومhos بر سانتی‌متر افزایش نشان می‌دهد که این با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. می‌تواند خشکسالی به عنوان یک عامل تشدیدکننده در تغییر کیفیت آب باشد که این امر با نتایج یزدان‌پناهی و همکاران [۲۹] و ویسی یزدی و همکاران [۲۷]

مطابقت دارد. بررسی نقشه‌های هم‌مقدار TH نشان داد که منطقه به لحاظ تغییرات سختی رفتاری مشابه کلر دارد طوری که با گذر زمان از مساحت طبقه‌ی نامناسب کاسته شده است. همچنین بررسی سازندهای زمین‌شناسی منطقه نشان داد که سازندهای Qt1، Qt2 و K1 جزو سازندهای با کیفیت خوب در ارتباط به آب زیرزمینی بوده و سازندهای Jsmt و Js جزو سازندهای با کیفیت متوسط هستند. همچنین بررسی تغییرات کاربری اراضی و نقشه‌ی پراکنش چاه‌ها نشان داد که با حرکت از مرکز دشت به طرف جنوب شرقی دشت، وسعت اراضی کشاورزی و نیز تعداد چاه‌های غیرمجاز افزایش می‌یابد. نتایج بررسی نقشه‌های کاربری اراضی در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۱ نشان داد که کاربری مرتع و کاربری کشاورزی بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده‌اند و نیز در بازه‌ی زمانی مورد مطالعه، کاربری مرتع بیشترین کاهش (۶/۶۱ درصد) معادل ۶۴۳/۲۹ کیلومتر مربع و کاربری کشاورزی تقریباً بیشترین افزایش (۲/۱۶) معادل ۲۳۵/۴۶ کیلومتر مربع را داشته است که این روند تغییرات کاربری با زمان با نتایج زارعی و بهرامی [۳۲] مطابقت دارد. علاوه بر این در قسمت‌های جنوب شرقی دشت کاربری‌های شهری- صنعتی مشاهده می‌گردد که هردوی این عوامل نقش قابل توجهی در کاهش کیفیت آب چاه‌ها دارند. به طور کلی می‌توان اظهار داشت که افزایش کاربری‌های کشاورزی و شهری- صنعتی، تراکم جمعیت، تراکم چاه‌های بهره‌برداری بیشترین تأثیر را بر روی کیفیت آب‌های زیرزمینی در دشت مشهد داشته است که با نتایج امیری و همکاران [۵] مطابقت دارد. که با مدیریت بهتر این اراضی در راستای توسعه پایدار می‌توان از شدت کاهش کیفیت آب زیرزمینی کاست و به مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی در دشت مشهد کمک کرد.

منابع

1. Aalto, J., Pirinen, P., Heikkinen, J., Venäläinen, A. 2013. Spatial interpolation of monthly climate data for Finland: comparing the performance of kriging and generalized additive models. Theoretical and Applied Climatology 112, 99-111.
2. Achari, V. S., George, T. R., Deepa, P., & Ambili, M. S. 2017. Study of Temporal and Spatial variation of Groundwater Quality along a Coastal stretch of Alappuzha District, Kerala, India: Post Tsunamic study.
3. Ahmadpour, H., Khaledian, M.R., Ashrafzadeh, A., Rezaei, M., 2014. Spatial and temporal mapping of groundwater electrical conductivity and total dissolved solids in Guilan plain. Water Research in Agriculture 28, 667-676. (In Persian)
4. Akbari, M., Jarge, M. R., Madani, S. H., 2009. Assessment of decreasing of groundwater-table using

16. Jahanshahi, A., Rouhi Moghaddam, E., Dehvari, A., 2013. Investigating Groundwater Quality Parameters Using GIS and Geostatistics (Case Study: Shahr-Babak Plain Aquifer). *Journal of Water and Soil Science* 24, 183-197. (In Persian)
17. Khan, A., & Qureshi, F. R. (2018). Groundwater Quality Assessment through Water Quality Index (WQI) in New Karachi Town, Karachi, Pakistan. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 15(1), 41-46.
18. Li, H., Yang, Z., Liu, G., Casazza, M., & Yin, X. 2017. Analyzing virtual water pollution transfer embodied in economic activities based on Gray Water Footprint: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 161, 1064-1073.
19. Mohammadzadeh, F., Ekhtesasi, M.R., Hosseini, Z.A. 2017. The effects of geological formations on groundwater quality with application of Boulian logic, case study: Bajestan Watershed Plain, *Watershed Engineering and Management*, 9(1): 11-21. (In Persian)
20. Nadiri, A. A., Sadeghi Aghdam, F., Safari, Sh. 2017. Comparison of the Efficiency of Artificial Intelligence and Geostatistical Methods in location Prediction of Arsenic Abnormalities in Chardoli Plain. *Journal of environmental studies*, 43(3): 417-436. (In Persian)
21. Nadiri, A. A., Moghaddam, A. A., Tsai, F. T., & Fijani, E. 2013. Hydrogeochemical analysis for Tasuj plain aquifer, Iran. *Journal of earth system science*, 122(4), 1091-1105.
22. Nasrollahi, M., Khosravi, H., Moghaddamneia, A., Malekeian, A., 2015. Assessment of drought hazard index using standardized precipitation index (Case Study: Semnan province, Iran). *Journal of Agricultural Meteorology* 3, 57-66. (In Persian)
23. Office of Groundwater Studies. 2010. Report renews a ban on plain Bajestan-Younesi, Khorasan Razavi Regional Water Organization. (In Persian)
24. Pourmoghadas, H., 2002. A study of ground water quality in Lenjana township of Isfahan province. *Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research*, 4, 31-40. (In Persian)
25. Soleimani Sardo, F., boromand, N., azareh, A., 2017. Study the spatial and temporal changes in groundwater quality in Jiroft, Iran's natural resources *Journal of Range and Watershed*. *Journal of Natural Resources Iran Range and Watershed* 69, 921-932. (In Persian)
- Geographic Information System (GIS) (Case study: Mashhad Plain Aquifer). *Journal of Water and Soil Conservation* 16, 63-78. (In Persian)
5. Amiri Bourkhni, M., khaledian M, R., ashraf Zadeh, A., Ahah Nazari, A., 2016. Study of temporal and spatial changes in groundwater salinity in Yazd province by using indicator kriging. *Journal of Ecohydrology* 4, 333-345. (In Persian)
6. Amiri, M., Hafezi Moghaddam, N., Lashgripoor, Gh., 2017. Risk assessment of land subsidence in the city of Mashhad. The 5th National Conference on Applied Research in Civil Engineering, Architecture and Urban Management, 1-11. (In Persian)
7. Ayers, R. S., 1985. Water quality for agriculture. FAO and UN.
8. Bameri, A., Piri, H., Ganji, F., 2015. Assessment of Groundwater Pollution in Bajestan Plains for Agricultural Purposes Using Indicator Kriging. *Journal of Water and Soil Conservation* 22, 211-229. (In Persian)
9. Chen, L., Feng, Q., 2013. Geostatistical analysis of temporal and spatial variations in groundwater levels and quality in the Minqin oasis, Northwest China. *Environmental earth sciences*, 70, 1367-1378.
10. Delbari, M., Afrasib, P., Salari, M., 2013. Mapping Water Salinity and Sodicity Using Selected Geostatistical Methods, Case Study: Kerman Plain. *Journal of Water engineering*, 6, 11-23. (In Persian)
11. Deutsch, C. V., Journel, A. G., 1998. Geostatistical software library and user's guide. Oxford University Press, New York.
12. Goovaerts, P., 1997. Geostatistics for natural resources evaluation. Oxford University Press on Demand.
13. Hooshmand, A., Delgh, M., Izadi, A., & Aali, K. A., 2011. Application of kriging and cokriging in spatial estimation of groundwater quality parameters. *African Journal of Agricultural Research* 6, 3402-3408.
14. Isaaks E H, Srivastava R M., 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. New York: Oxford University Press.
15. Jahani shakib, F., Malek Mohammadi, B., Yavari, A.R., Sharifi, Y., Adeli, F., 2014. Evaluation of Changes in Land Use and Climate Change in Choghakhor Wetland with Emphasis on Environmental Impacts, *Journal of Environmental Studies* 40, 631-643. (In Persian)

30. Yazdanpanahi, A., Akbari, M., Behrangmanesh, M. 2018. Spatio-temporal Variable of groundwater parameters Using Geo-statistical methods in Mashhad Plain, Extension and Development of Watershed Management, 6 (20), 25-34. (In Persian)
31. Yousefi, S., Moradi, H. R., Hosseini, S. H., Mirzaee, S, 2011. Land use change detection using Landsat TM and ETM+ satellite images over Marivan. Journal of Applied RS & GIS Techniques in Natural Resource Science 2, 97-105. (In Persian)
32. Zarei, A., Bahrami, M., 2016. Evaluation of quality and quantity changes of underground water in Fasa plain, Fars (2006 - 2013). Iranian Journal of Irrigation and water Engineering 6, 103-113. (In Persian)
33. Zehtabian, G.H., Janfaza, E., Nematollahi, M. J., 2010. Modeling of ground water spatial distribution for some chemical properties (case study in Garmsar watershed). Iranian Journal of Range and Desert Research, 17, 61-73. (In Persian)
26. Tyagi, A., Mondal, P., & Siddiqui, N. A. 2018. Quality Assessment of Groundwater Using Water Quality Index at Yamunanagar, Haryana. In Advances in Health and Environment Safety (pp. 369-376). Springer, Singapore.
27. Viseyazdi, S., Farid hosseini, A., mosaedi, A. 2017. Correlation Meteorological Droughts and Groundwater in Mashhad Plain, 16th conference Hydraulic Iranian. University of Ardebil, 1-6. (In Persian)
28. Velayati, A.D., 2011. Investigating the Effects and Consequences of Excessive Extraction of Underground Water from Dashte-Mashhad Reservoir with an Emphasis on Water Ec variances, Journal of Geography and Regional Development, 8(15),22-37.
29. Yazdanpanahi, A., Ahmadaali, K. H., Hosseini Pazhouh, N., 2017. Temporal-spatial variation analysis of Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) (Case study: Khorasan Razavi). 3rd. International Conference on Agricultural Engineering and Natural Resources. 138-143. (In Persian)

*Abstract (Technical Note)***Effects of Land Use on Spatial-Temporal Variation of Ground Water Quality
(Case Study: Mashhad plain)**A. Yazdanpanahi¹, Kh. Ahmadaali², M. Golafshani³ and E. Heidaryalamdarloo⁴

Received: 09-01-2018 Accepted: 07-05-2018

Modeling the spatial-temporal variation of water quality and analyzing the effects of land use changes on the qualitative parameters of groundwater is very important. In this research, the ability of various deterministic and geostatistical techniques in the prediction of spatial-temporal qualitative parameters regarding drinking, agriculture usages and effects of infiltration rate of water into the soil in Mashhad's plain were investigated by using statistical data of 62 observation well from 1996 to 2016. The land use maps were prepared by ENVI5.1 using Landsat images. Analysis of isoline maps showed that the water quality had been dropped considerably in terms of chlorine and total hardness and the area with class of sever restricted usage had been increased. Investigation of EC isoline maps showed that in the year 2016, the area of regions with moderate and sever restricted usage was the highest in comparison to 1996 and 1986. The pH isoline maps showed that the major part of study area is located in the moderate restricted class. According to SAR isoline maps, all part of the study area is located in non-restricted class and it has approximately remained constant during the years. The geological maps of study area showed that the formations have good effects on groundwater quality. Analysis of Land use maps showed that rangeland and agriculture have received the most area of land use. During the studied period, rangeland and agriculture had the most decrease (6.61 %) and increase (2.16%) equivalent to 643.29 and 235.46 square kilometer, respectively. By moving from center to northeast part of Mashhad's plain, the agricultural lands and the number of illegal wells and urban industrial land use is increased which altogether have led to the significant loss of water quality.

Keywords: *Land use change, Geostatistical methods, Deterministic methods, Agricultural water, Mashhad's plain*

1- M.Sc. student in Management of Desert Areas, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

2- Corresponding author and Assistant Professor, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran.

3- M.Sc. student in Management of Desert Areas, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

4- Ph.D. student in Desertification, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran