بررسی نیترات آب زیرزمینی شهرستان اهواز با روش های میان یابی زمین آماری و قطعی

مصطفی شجاعی[1]، حسین اسلامی [2]

۱- دانشجوی گروه علوم آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

۲- استادیار گروه علوم آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

چکیده

کیفیت آب زیرزمینی متاثر از عوامل مختلفی است. از مهمترین آلاینده های آب زیرزمینی نیترات است. بررسی شکل تغییرات مکانی نیترات با استفاده از روشهای مختلف میان یابی و تهیه نقشه این تغییرات می تواند آگاهی و بینش کارشناسان را برای برنامه ریزی آینده جهت بخشد. در این تحقیق با استفاده از داده های نیترات ۳۰ چاه نمونه برداری به بررسی تغییرات نیترات در آب زیرزمینی شهرستان اهواز پرداخته شده است. نتایج نشان داد که روش های کلی میان یابی قطعی نسبت به روش های زمین آماری بهتر جواب می دهند و بطور کلی روش تخمین گر موضعی کمترین خطا را دارا بوده است. نقشه های پهنه بندی شده نشان می دهند که در بالا دست، آلودگی نیترات کمتر از ۱۰ پی پی ام ولی از مرکز به سمت پایین دست آلودگی نیترات وجود دارد به طوری که در خروجی غلظت نیترات به ۱۷۸ پی پی ام رسیده است.

واژه های کلیدی : ***نیترات، آب زیرزمینی، میان یابی، زمین آمار، اهواز.***

مقدمه

کیفیت آب زیرزمینی، از عوامل متعدد طبیعی و انسانی متأثر است. بررسی چگونگی تغییرات آن در گذر زمان و در بستر مکان می تواند دریچه نگاه به این مهم را برای استفاده در سال های آتی جهت دهی نماید. یکی از شاخص های مهم برای نشان دادن کیفیت آب آشامیدنی و کشاورزی، میزان نیترات موجود در آن است که از طریق تجزیه و فساد پس ماند های انسانی و حیوانی، تولیدات صنعتی و پسآب های حاصل از کشاورزی وارد آب های سطحی و زیرزمینی می شود (۹).

فراوان‌ترین و شایع‌ترین آلاینده در منابع آب زیرزمینی نیترات می باشد. در سالهای اخیر به دلیل افزایش جمعیت، رشد صنعت و توسعه فعالیتهای کشاورزی غلظت نیترات در آب های زیرزمینی افزایش یافته است. بر اساس توصیه سازمان جهانی بهداشت حد مجاز نیترات و نیتریت در آب آشامیدنی به ترتیب ۵۰ و ۳ میلی گرم در لیتر می باشد. شناخت کیفیت و کمیت آب های زیرزمینی، به عنوان یکی از مهمترین و آسیب پذیرترین منابع تأمین آب در دهه های اخیر، یک امر کاملاً بدیهی است (۱۳). با توجه به اینکه خصوصیات آب های زیرزمینی در مکان و زمان متغیر است، برای شناخت این ویژگیها نیاز به تهیه نقشه های تغییرات مکانی است.

داده های پیوسته از جمله ویژگیهای آب های زیرزمینی به دلیل پیوستگی که دارند قابل اندازه گیری در تمام سطوح نیستند، لذا به طور نمونه ای برداشت می شوند. برآورد میزان متغیر پیوسته را در مناطق نمونه گیری نشده در داخل ناحیه ای که مشاهدات نقطه ای پراکنده شده اند، درون یابی می گویند. در واقع درون یابی، تغییرات فضایی متغیری پیوسته را نمایش می دهد. به عبارت دیگر درون یابی روش برآورد ارزش پدیده ها در مکان‌های نمونه برداری نشده با استفاده از مقادیر معلوم در نقاط همسایه است. خروجی درون یابی می تواند به عنوان یک نقشه یا لایه در تحلیل GIS مورد استفاده قرار گیرد.

پیشرفت هایی که در زمینهٔ آمار فضایی اخیراً صورت گرفته است و همچنین جایگزینی متغیر ناحیه ای، به جای متغیر تصادفی سبب ترویج انواع روش های درون یابی در GIS گردیده است. الگوریتم های متفاوتی برای درون یابی فضایی وجود دارد که برخی از آن ها مبتنی بر روش های زمین آمار و ژئومتری می باشند (۳، ۸، و ۱۶). محققان مختلف، تحقیقات گسترده ای را در زمینه کاربرد روش های زمین آمار در مطالعهٔ آب های زیرزمینی انجام داده اند و به نتایج متنوعی دست یافته اند. در بررسی تغییرات مکانی غلظت نیترات در مناطق آبرفتی آبخوان شمال رودخانه تاگوس در پرتغال، از روش کریجینگ گسسته استفاده شد (۱۰). نتایج این مطالعه، نشان دهندهٔ بالا بودن غلظت نیترات در غرب منطقه مورد مطالعه بود. توتمز و هاتیپوقلو کارایی دو روش کریجینگ و فازی را در پهنه بندی غلظت نیترات در منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز مرسین ترکیه مورد مقایسه قرار دادند. نتایج آن ها نشان دهنده کارایی بالای روش فازی بود (۱۶). نقشهٔ پهنه بندی نیترات در آبخوان وگاد- گراندا اسپانیا با استفاده از روش کریجینگِ شاخص ارزیابی و تهیه گردید (۷). نتیجه مطالعه آن ها نشان داد که غلظت نیترات در ۵۱ درصد از سطح منطقه مورد مطالعه، بالاتر از حد استاندارد بود. همچنین با استفاده از روش کریجینگِ شاخص، می توان با دقت بالایی نقشه پهنه بندی نیترات را تهیه نمود. روند تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب در دشت مشهد با مقایسهٔ دو روش وزن دهی عکس فاصله و کریجینگ انجام شد (۵). نتایج مطالعه آن ها نشان داد که از نظر تغییرات مکانی، پایین دستِ منطقه وضعیت مناسبی نداشته و از لحاظ تغییرات زمانی، غلظت آلاینده ها در حال افزایش می باشد.

محسنی و راحلی نمین تغییرات مکانی نیترات و فسفات آب‌های زیرزمینی و شناسایی مهمترین عوامل آلودگی از طریق ارزیابی روش‌های سری کریجینگ، کوکریجینگ و مدل رگرسیون چندگانه در حوزه آبخیز قره‌سو- استان گلستان انجام دادند. مقایسه روش‌ها نشان دهنده بالابودن توان روش کوکریجینگ با استفاده از متغیر کمکی، در برآورد میزان نیترات و فسفات می باشد. در مرحله بعد با استفاده از رگرسیون چندگانه خطی، عوامل مؤثر بر کاهش کیفیت آب شناسایی گردیدند (۴).

اوگرینک و همکاران به ارزیابی فرایندهای ژئوشیمیایی و منابع آلودگی نیترات در آبخوان جوبلانسکو پولج[1](اسلوونی) از منظر ایزوتوپ پایدار پرداختند. این محققین به این نتیجه رسیدند که برای کاهش بار نیتروژن و بهبود کیفیت آب نیاز به مهار و مدیریت دقیق منابع از ورودی های شهری و کشاورزی مانند فاضلاب و کود می باشد.

تعیین یک روش مناسب جهت میان‌یابی و پهنه‌بندی داده‌ها نیاز به حجم زیادی ازداده‌های کیفی و جغرافیایی دارد. در این بین سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) باظرفیت ذخیره، سازمان دهی، آنالیز، بازیابی، نمایش و تهیه خروجی‌های‌مناسب، به‌عنوان ابزارمناسبی است که می‌تواند محققین را در دستیابی به روش مناسب میان‌یابی و فهم شرایط هیدرولیکی و محیطی‌کمک نماید(۱، ۲ و ۱۱). این مطالعه در تلاش است تا ضمن بررسی تغییرات میزان نیترات در آب زیرزمینی اهواز، بهترین روش میان یابی نیز مشخص شود.

مواد و روش ها

این مطالعه توصیفی- تحلیلی از نوع مقطعی است. این تحقیق در شهرستان اهواز با مساحت ۲۰/۰۰۰ هکتار در مرکز استان خوزستان انجام گرفت. شهرستان اهواز در موقعیت جغرافیایی۳۱ درجه و۲۰

[1]Ljubljansko polje

دقیقه عـرض شـمالی و۴۸ درجه و ۴۰دقیقه طول شـرقی، در بخـش جلگـه ای خوزسـتان واقع شده است. خاک‌های شهرستان اهـواز از نـوع خـاک هـای رسوبی و در بعضی از مناطق خـاک هـا ی شـور قلیـا و قهـوه ای لیتوسل است. از نظر اقلیمی شهرستان اهواز دارای تابستان‌هـای بسیار گـرم و طـولانی و زمسـتان‌هـای کوتـاه و معتـدل اسـت. متوسط رطوبت نسـبی ایـن ناحیـه تقریبـاً معـادل ۴۳ درصـد و براساس طبقه‌بندی دومـارتن کـه متکـی بـه دو متغیـر میـانگین بارندگی و میانگین دما است، شهر اهواز در گروه اقلـیم خشـک قرار دارد. بخش عمده منطقه داری ارتفاع پایین‌تر نسبت بـه آب دریا است به‌طوری‌که حداکثر ارتفـاع ۱۶۱متـر مربـوط بـه شرق منطقه و حداقل ارتفاع ۱۲- متر مربوط بـه جنـوب غـرب است. بر این اساس، بخش‌های شمالی و شـرق منطقه مورد بررسی دارای ارتفاع بیشتری نسبت به سـایر نـواحی است (کوهستان و تپه مـاهور) کـه بـایر و غیـر زراعـی بـوده و مناطق مسکونی در بخش مرکزی واقع شده‌اند و سایر نواحی که بخـش عمـده‌ای ازمنطقـه را شـامل مـی‌شـود توسـط اراضـی کشاورزی پوشانده شده است.

در تحلیل اطلاعات از آمار توصیفی و کمی استفاده می شود. در این تحقیق ابتدا مرز منطقه مورد مطالعه، با استفاده از نرم افزار Arc Gis، مشخص می گردد. سپس موقعیت نقاط نمونه برداری با توجه به مختصات جغرافیایی و Utm نقاط مشخص می شود. به این منظور اطلاعات ۳۰ چاه نمونه برداری مشخص شده و اطلاعات کیفی چاهها مورد بررسی قرار می گیرد. بعد از همگن سازی و نرمال سازی، داده ها وارد نرم افزار Arc Gisمی گردد و مراحل پردازش و تجزیه وتحلیل داده های آب زیرزمینی و تهیه کلیه نقشه های کیفی با استفاده از روشهای میان یابی بررسی می شود.

روش های میان یابی

روشهای میان یابی مجموعه ای از مدلهای مختلف ریاضی و آماری را برای پیش بینی مقادیر نامعلوم بکار می گیرند. آنچه مسلم است شباهت نقاط مجهول به نزدیکترین نقاط معلوم یا اصل نزدیکترین همسایه پایه روشهای دورن یابی است و اینکه چگونه این اصل مورد استفاده قرار می گیرد بستگی به مدل انتخابی دارد که جزییات آن شرح داده می شود. در یک دسته بندی کلی روشهای درون یابی به دو رده بزرگ روشهای میان یابی قطعی و زمین آماری تقسیم می شوند. میان یابی قطعی بر نقاط اندازه گیری شده متکی است و برای میان یابی از توابع ریاضی استفاده می کند این گونه میان یابی دقیق[1]است و مقدار برآوردی تنها تابعی از ساختار مکانی متغیر مورد نظر است و در آن نشانی از تغییرات تصادفی وجود ندارد.

درون یابی قطعی بر دو گروه همگانی[2]و محلی[3] تقسیم می شود. در درون یابی همگانی برای برآورد نقاط مجهول از داده های همه نقاط اندازه گیری شده استفاده می شود، اما در مدل محلی از داده های همه نقاط برداشت شده برای برآورد مقدار نقطه مجهول استفاده نمی شود.

روش زمین آماری نقاط مجهول را بر اساس خود همبستگی بین نقاط اندازه گیری شده و ساختار فضایی آنها پیش بینی می کند. در واقع درون یابی زمین آماری، یک درون یابی غیر دقیق[4]یا احتمالی است که در آن نقاط پیش بینی شده با اندازه های واقعی تفاوت دارد. این روش می تواند از تأثیر داده های نادر مثل حداکثر ها و حداقل های مطلق جلوگیری کند. اگر مقدار ارزش نمونه ها دارای توزیع چند متغیری نرمال و خود همبستگی باشد از درون یابی های زمین آماری می توان بهره برد. روشهای کریجینگ و کوکریجینگ جزو دسته روشهای زمین آماری است.

[1]Exact
[2]Global
[3]Local
[4]Inexact

کریجینگ[1]، روش میان یابی پیشرفته ای است و برای داده هایی که دارای روندهای موضعی تعریف شده ای باشند مناسب است. کریجینگ معمولی[2] مقادیر متغیر در نقاط نمونه برداری نشده را با نسبت دادن وزن به هر یک از نمونه ها به صورت ترکیب خطی از مقادیر همان متغیر در نقاط اطراف آن در نظر می گیرد. با فرض غلبه ی مؤلفه ی همبستگی مکانی و به کارگیری مستقیم نیم متغیرنمای، ارزش مقداری Z در یک نقطه مثل Z_0 به شکل زیر است:

$$Z_0 = \sum_{i=1}^{s} W_x Z_x \qquad (۱)$$

وزن ها (W_x) از حل مجموعه ای از معادلات همزمان و با حداقل کردن واریانس به دست می آیند. برآورد نقاط نمونه برداری نشده در کرجینگ ساده[3] به شکل ترکیب خطی وزن دار است و در فرآیند برآورد آن باید دقت شود که دارای ویژگی های ایستایی مرتبه دوم باشد. در روش میان یابی به روش کریجینگ جامع[4]، در ساختار مکانی متغیر ناحیه ای باید هر دو مؤلفه تغییرپذیری جبری و تصادفی به صورت همزمان وجود داشته باشند. در این روش فرض بر این است که علاوه بر مؤلفه همبستگی مکانی بین نقاط، انحراف یا روند نیز در مقادیر z وجود دارد. در این صورت کریجینگ با یک چند جمله ای مرتبهٔ اول یا دوم ترکیب می شو(۱۴).

در شرایطی که توزیع داده ها پیچیده باشد و برازش آن ها از راه های معمول دشوار باشد از مدل کریجینگ گسسته[5] استفاده می شود. همانگونه که در آمار کلاسیک، روش های چندمتغیره وجود دارد در زمین آمار نیز براساس همبستگی بین داده ها میتوان از روش کوکریجینگ[6] مطابق رابطه (۲) استفاده نمود (۱۵).

روش کوکریجینگ نیز همانند روش کریجینگ از چهار نوع معمولی، ساده، جامع و گسسته تشکیل شده است.

$$Z(X_i) = \sum_{e=1}^{n} \lambda_{ei} X_i \sum_{k=1}^{n} \lambda_k y(xk) \qquad (۲)$$

در این روش یک یا چند متغیر ثانوی که با متغیر مورد نظر در ارتباط است، برای میان یابی به کار می رود. این روش ضمن اینکه برای پهنه های فاقد ایستگاه مناسب است، بر این فرض استوار است که همبستگی بین متغیرها می تواند دقت برآورد را افزایش دهد (۱۷).

ارزیابی صحت

به منظور ارزیابی و مقایسه روشهای میان یابی از معیار ریشه مربعات میانگین خطا[7] ، که میزان خطا و انحراف مقادیر تخمینی روش ها را نسبت به مقدار واقعی نشان می دهد استفاده شد، در نهایت براساس بهترین روش میان یابی اقدام به تهیه نقشه های مورد نظر گردید (۶).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{N}(Z_i - Z_i^*)^2} \qquad (۳)$$

نتایج و بحث

نیتروژن عنصر اصلی برای همه ارگانیسم هاست و منشأ اصلی آن از نیتروژن اتمسفر می باشد. آلودگی نیتراته توسط فعالیت های بشری رخ میدهند. الگو و شکل و هیدورلوژی سفره فاکتورهایی هستند که باعث توسعه الودگی در سفره می شوند. نیتریت (No_2) و نیترات (No_3) برحسب میلی گرم در لیتر برحسب ازت بیان میشود. کل ازت اکسید شده برابر با ازت نیتریت ونیترات است. نیتریت مرحله میانی اکسایش ازت در اکسید شدن بیوشیمی امونیاک و تبدیل ان به نیترات است. با توجه به جدول ۱ و داده های ۳۰ نمونه بررسی

[1]kriging
[2]Ordinary Kriging (OK)
[3]Simple Kriging (SK)
[4]Universal Kriging (SK)
[5]Disjunctive Kriging (DK)
[6]Co– Kriging
[7]Root Mean Square Error (RMSE)

شده غلظت نیترات دراین نمونه ها در محدوده ۲۰-۲۰۲ متغییر می باشد. بیشترین میزان آن در چاه های شماره ۱و۲و۴و۸و۹و۱۰و۱۱و۱۳و۱۵و۱۶و۲۳و۲۶و۲۷ می باشد، که بیشتر این چاه ها در محدوده توسعه شهر از سال ۱۳۶۵ به بعد وجود دارند. چاه شماره ۲۳ نزدیک قبرستان قدیمی واقع شده لذا به این علت میزان نیترات ان بالامی باشد. در این تحقیق یکبار نمونه برداری انجام شده است و اطلاعات کیفی چاهها از سازمان آب و برق خوزستان اخذ شده است که مربوط به پاییز ۹۷ بوده است.

جدول۱- نتایج تجزیه شیمیایی آب زیرزمینی شهر اهواز

شماره چاه	دما (*C*)	EC	pH	HCO_2^*	Cl	SO_4^{2}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	PO_4^{3}	NO_3^*	NO3/Cl	SO2/Cl
۱	۱۶/۲	۱۷۵۶	۸	۳۶۰	۱۲۷	۲۰۸	۸۴	۸۷	۱۴۷	۰/۵۷	۱۶۰	۱/۲۵	۳/۲
۲	۱۵۶	۲۶۳۰	۸/۲	۱۵۸	۲۶۶	۷۹۶	۱۶۶	۸۶	۲۵۵	۰/۶۷	۱۰۹	۰/۴۱	۳
۳	۱۷/۶	۱۹۸۰	۷/۸	۵۳۶	۲۸۰	۱۷۲	۱۵۰	۶۵	۱۶۸	۰/۱۹	۷۰	۰/۲۵	۰/۶
۴	۱۶	۵۷۹۰	۸	۳۲۵	۲۹۰	۱۸۸۶	۵۹۰	۱۶۸	۲۱۰	۰/۴۱	۱۳۸	۰/۲۸	۳/۸
۵	۱۵۹	۱۲۱۶	۸/۲	۲۴۷	۱۲۴	۱۵۸	۴۰	۳۲	۱۷۷	۰/۸۹	۳۴	۰/۲۷	۱/۳
۶	۱۷	۶۳۷	۸/۳	۲۰۷	۵۳	۷۲	۶۰	۲۴	۲۴	۰/۳	۴۱	۰/۷۷	۱/۴
۷	۱۸	۵۷۸	۸/۱	۲۱۳	۴۶	۶۷	۴۲	۱۴	۶۴	۰/۴۲	۳۴	۰/۵۳	۱/۴
۸	۱۵	۲۲۰۰	۷/۷	۱۶۲	۲۶۶	۶۱۲	۱۵۸	۷۳	۲۱۱	۰/۳۸	۱۵۲	۰/۵۷	۲/۳
۹	۱۴	۲۲۰۰	۷/۹	۲۵۶	۳۸۷	۸۴۵	۲۲۰	۹۶	۲۱۰	۰/۵۲	۷۸	۰/۲۰	۲/۲
۱۰	۱۷/۱	۴۲۵۰	۷/۹	۲۰۱	۳۱۶	۱۵۲۶	۲۹۰	۱۵۶	۲۵۶	۰/۲۲	۲۰۲	۰/۶۴	۲/۸
۱۱	۱۸/۲	۱۶۰۲	۷/۷	۴۳۷	۱۲۷	۳۷۸	۱۰۰	۶۰	۱۴۵	۱/۵۴	۱۳۱	۱/۰۳	۲/۲
۱۲	۱۹	۱۱۷۹	۷/۵	۳۱۷	۱۵۶	۱۰۱	۱۰۶	۲۶	۱۰۱	۲/۷۲	۴۵	۰/۲۹	۰/۶
۱۳	۱۵	۱۰۸۳	۷/۳	۳۲۵	۸۸	۱۴۴	۹۴	۲۲	۱۰۱	۱/۷۷	۶۸	۰/۷۷	۱/۶
۱۴	۱۶	۱۶۷۲	۷	۶۵۸	۱۸۱	۵۳	۱۱۸	۵۶	۱۴۵	۲/۰۶	۴۱	۰/۲۲	۰/۲۹
۱۵	۱۷	۱۳۵۵	۷/۳	۲۹۹	۱۲۴	۲۵۴	۱۰۸	۴۸	۹۷	۰/۸	۶۵	۰/۵۲	۲/۱
۱۶	۱۶/۷	۱۶۰۵	۷/۳	۳۵۳	۱۶۳	۲۸۸	۱۵۲	۳۴	۱۳۶	۰/۷۵	۱۶۱	۰/۹۹	۱/۸
۱۷	۱۵/۹	۱۰۳۷	۷/۵	۳۵۴	۶۴	۱۴۹	۵۸	۳۱	۱۱۳	۰/۸۹	۳۹	۰/۶۱	۲/۲
۱۸	۱۴	۸۶۲	۷/۱	۳۳۵	۶۴	۷۷	۸۰	۳۰	۵۳	۱/۰۲	۳۴	۰/۵۳	۱/۲
۱۹	۱۴/۹	۶۸۶	۷/۹	۲۳۱	۵۷	۷۷	۵۴	۱۹	۶۰	۱/۰۸	۲۶	۰/۴۷	۱/۳
۲۰	۲۱	۷۰۸	۷/۷	۲۵۰	۵۷	۸۲	۵۸	۱۶	۷۱	۰/۹۸	۲۰	۰/۲۶	۱/۴
۲۱	۱۷	۱۳۷۱	۷/۱	۴۲۰	۱۴۲	۱۴۹	۱۲۸	۱۴	۱۴۵	۰/۷۲	۲۲	۰/۱۶	۱/۱
۲۲	۱۷/۶	۱۷۳۷	۷/۱	۴۲۰	۱۸۸	۲۲۱	۱۶۲	۲۸	۱۶۱	۱/۰۳	۹۹	۰/۵۳	۱/۱
۲۳	۲۰	۱۹۶۰	۷	۵۸۵	۲۰۲	۲۲۵	۱۶۰	۵۰	۱۷۷	۱/۲۷	۱۰۹	۰/۵۴	۱/۲
۲۴	۱۹	۱۱۴۰	۷/۵	۲۶۲	۱۳۱	۱۷۷	۱۱۰	۳۰	۸۳	۱/۰۹	۵۱	۰/۲۹	۱/۳
۲۵	۱۸	۱۰۱۵	۷/۸	۱۶۵	۱۱۲	۲۳۵	۹۴	۲۰	۶۲	۰/۲۲	۳۷	۰/۲۲	۲/۱
۲۶	۱۷/۸	۱۹۶۷	۸/۱۰	۱۴۰	۱۵۶	۶۳۸	۱۴۶	۴۷	۲۰۰	۰/۹۹	۱۱۰	۰/۷	۲/۱
۳۷	۱۷	۲۰۱۰	۷/۶۰	۱۳۴	۲۰۹	۱۰۸۹	۲۲۸	۸۰	۲۸۷	۰/۱۶	۱۱۶	۰/۵۵	۵/۲

واحد ها برحسب mg/l می باشند بجز EC که بر حسب µS/cm می باشد.

مقایسه روشهای میان یابی

جهت مقایسه روش ها بر اساس RMSE انواع روش های میان یابی شامل وزن دهی عکس فاصله، تابع شعاعی، تخمین گر عام، تخمین گر موضعی، کریجینگ و کوگریجینگ، برای پیش بینی توزیع نیترات انتخاب شده است. سپس متناسب با هر روش، معادله ها و توان ها و رده های موجود را تغییر داده ایم تا کمترین مقدار RMSE حاصل شود. جدول ۲ مقادیر برای روش های قطعی را نشان می دهد.

در روش های زمین آمار، داده های مورد استفاده باید دو ویژگی داشته باشند: یکی توزیع نرمال فضایی داده ها است و دیگری این که میانگین و واریانس در مکان تغییر زیادی نداشته باشد و چون مقادیر مشاهداتی نیترات توزیع نرمال نداشتند، قبل از اعمال روشهای کریجینگ و کوکریجینگ، داده ها را نرمال سازی کردیم. آزمون همسانگردی را نیز برای داده ها، با رسم واریوگرام های مختلف در جهت های گوناگون انجام دادیم. یکسان بودن واریوگرام ها در جهات مختلف، نشانگر همسانگرد بودن توزیع داده در منطقه مطالعاتی بود. همچنین برای صحت نسبی واریوگرام های زمین آماری، از اثر قطعه ای نسبی (اثر قطعه ای[1] تقسیم بر مقدار آستانه[2]) ارائه شده توسط ایساک و سریواستاو استفاده شد(۸)، به طوری که این معیار برای تمام مدل های زمین آمار کمتر از ۲ درصد بود این نشان دهنده صحت مدل های زمین آماری در منطقه مورد مطالعه است. لذا با تهیه واریوگرام همسانگرد مدل های مختلف کریجینگ (ساده، معمولی، عام) را تهیه و نتایج آن در جدول ۳ ارائه شد. در تهیه مدل های کوکریجینگ علاوه بر واریوگرام همسانگرد نیترات به عنوان پارامتر اولیه، کراس واریوگرام نیز به دلیل استفاده از پارامتر ثانویه سطح آب زیرزمینی، که بیشترین همبستگی را با نیترات داشت رسم شد. نتایج مقادیر RMSE روش های زمین آماری مختلف در جدول ۳ آمده است.

جدول ۲ و ۳ نشان می دهند، از بین تمام روش ها به ترتیب شش روش: تخمین گر موضعی با تابع نمایی درجه ۳ (۴/۵۱)، تابع شعاعی با اسپیلاین کاملا منظم (۵/۱)، تابع شعاعی با اسپیلاین چند ربعی (۶/۳۱)، کریجینگ معمولی با تابع نمایی (۶/۵)، کریجینگ عام با تابع اکسپاننشیال (۶/۷۸) و کوکریجینگ عام با تابع چند جمله ای (۷/۰۶) دارای کمترین مقادیر RMSE هستند و از میان تمام روش ها تخمینگر موضعی کمترین RMSE را دارد. روش های قطعی نسبت به روش های زمین آماری مخصوصا کوکریجینگ بهتر جواب می دهند و از بین روش های زمین آماری، کریجینگ از کوکریجینگ بهتر جواب می دهد. روش های کوکریجینگ معمولی، ساده و عام، همگی دارای RMSE بالا هستند. جز روش کوکریجینگ عام با تابع اکسپاننشیال که مقدار آن کم است، بالاترین RMSE مربوط به روش تخمینگر عام با تابع درجه ۱ است که مقدار آن برابر با ۲۸/۱۶ است.

[1] Nugget Effect
[2] Sill

جدول ۲-نتایج ارزیابی روش های قطعی مختلف در میان یابی مقادیر نیترات اهواز

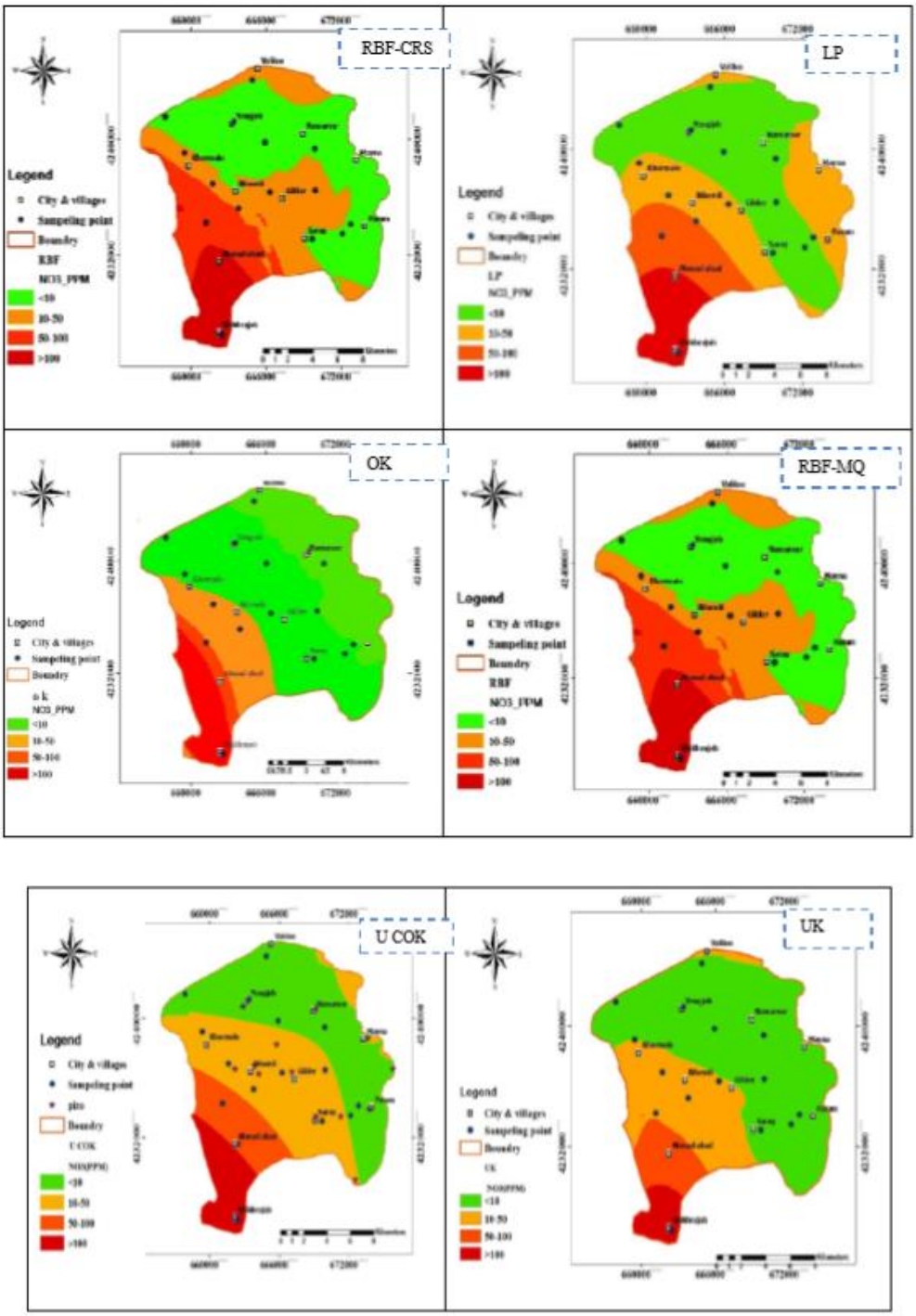
روش درون‌یابی	درون یابی مدل	RMSE
معکوس فاصله	توان ۱	۲۰/۲۷
	توان ۲	۱۹/۱۶
	توان ۳	۱۸/۲۶
	توان ۴	۱۷/۵۷
	توان ۵	۱۷/۰۹
	توان ۶	۱۶/۷۸
	توان ۸/۴۳	۱۶/۵۳
تابع پایه شعاعی	اسپیلاین کاملاً منظم	۵/۱
	اسپیلاین کششی	۱۲/۳۸
	اسپیلاین چند ربعی	۶/۳۱
	اسپیلاین چند ربعی معکوس	غ ق ق
	اسپیلاین صفحه ای نازک	غ ق ق
تخمین گر موضعی	نمایی درجه ۲	۱۱/۲۸
	نمایی درجه ۳	۴/۵۱
	نمایی درجه ۴	۱۰/۶۳
	گوسین درجه ۱	۱۵/۲۲
	گوسین درجه ۲	۱۱/۴۶
	گوسین درجه ۳	۷/۸۵
	گوسین درجه ۴	غ ق ق
	اکسپاننشیال درجه ۲	غ ق ق
	اکسپاننشیال درجه ۳	غ ق ق
	اکسپاننشیال درجه ۴	غ ق ق
	چند جمله ای ۲	۱۵/۳۶
	چند جمله ای ۳	غ ق ق
	چند جمله ای ۴	۹/۹۵
تخمین گر عام	درجه ۱	۲۸/۱۶
	درجه ۲	۱/۶۷
	درجه ۳	غ ق ق
	درجه ۴	۱۰/۸۸
	درجه ۵	۲۷

جدول ۳-نتایج ارزیابی روش های مختلف زمین آماری در میان یابی مقادیر نیترات اهواز

روش درون یابی	درون یابی مدل	RMSE
کریجینگ معمولی	چند جمله ای	۷/۸۵
	نمایی	۶/۵۰
	گوسین	۱۰/۰۹
	اکسپانشیال	۱۰/۴۹
	درجه چهارم	۹/۸۱
	ثابت	۱۲/۳۰
کریجینگ ساده	چند جمله ای	۸/۷۴
	نمایی	۷/۲۵
	گوسین	۹/۹۱
	اکسپانشیال	۹/۹۴
	درجه چهارم	۷/۹۶
	ثابت	۱۲/۲۵
کریجینگ عام	چند جمله ای	۲۱/۵۳
	نمایی	۲۱/۲۳
	گوسین	۲۱/۴۳
	اکسپانشیال	۶/۷۸
	درجه چهارم	۷/۲۱
	ثابت	۲۱/۳۲
کو کریجینگ معمولی	چند جمله ای	۲۳/۲۸
	نمایی	۲۰/۲۱
	گوسین	۲۳/۴۰
	اکسپانشیال	۲۳/۸۰
کو کریجینگ ساده	چند جمله ای	۲۳/۴۰
	نمایی	۲۲/۴۰
	گوسی	۲۳/۴۰
	اکسپانشیال	۲۴/۵۰
کو کریجینگ عام	چند جمله ای	۷/۰۶
	نمایی	۲۰/۵۱
	گوسین	۲۱/۴۳
	اکسپانشیال	۲۰/۵۱

نقشه پهنه بندی توزیع یون نیترات

پس از مقایسه روش ها و مشخص شدن روش های دقیق تر، به منظور بررسی توزیع آلودگی نیترات نقشه های پهنه بندی توزیع یون نیترات بر اساس روش های، LP، RBF-CRS، RBF-MQ، OK، UK و UCOK تهیه شدند که در شکل ۱ آمده اند.



شکل ۱- نقشه پهنه بندی یون نیترات با روش های، LP، RBF-CRS، RBF-MQ، OK، UK و UCOK

بر اساس این نقشه ها، در منابع آب بخش هایی از شمال، شمال شرق و شمال غرب آلودگی وجود ندارد ولی در مرکز، جنوب و غرب آلودگی وجود دارد. یکی از دلایل احتمالی وجود آنومالی در این بخش ها، این است که جهت جریان روانابها از اطراف به سمت مرکز است. بنابراین روانابها، نیترات حاصل از کودهای حیوانی و شیمیایی اطراف را همراه با خود به مرکز و نهایتا خروجی اهواز می برند. بنابر این نیترات به آب های زیر

زمینی نفوذ کرده، باعث آلوده شدن آن ها می شود و همچنین در پایین دست سطح آب بالاست و همین امر باعث شده است که آب های زیر زمینی بیشتر تحت تاثیر روانابهای حاوی نیترات قرار بگیرند. نقشه ها نشان می دهند که کمترین ناحیه آلوده مربوط به روش کریجینگ معمولی و بیشترین ناحیه آلوده مربوط به روش تابع شعاعی با اسپلاین کاملا منظم است.

نتیجه گیری

از نتایج این پژوهش و مقالات متعدد مورد استفاده، چنین برمی آید که انتخاب بهترین روش میان یابی وابسته به ویژگی های محل پروژه و مقادیر مشاهداتی است. روش های میان یابی با توجه به ویژگی های مکان پژوهش، پراکنش و تعداد نمونه، نوع متغیر و ... از محلی به محل دیگر و حتی در یک مکان ولی برای متغیر دیگری می تواند متفاوت باشد. بهترین نتایج هنگامی بدست می آیند که رفتار تابع ریاضی روش میان یابی مورد نظر با رفتار پدیده مورد نظر مشابه باشد. در این تحقیق، روش تخمینگر موضعی با تابع چند جمله ای درجه ۳، بهترین روش برای میان یابی توزیع یون نیترات است چون کمترین RMSE را دارد. از بین انواع روش های میان یابی انجام شده، روش های قطعی نسبت به روش های آماری بهتر جواب می دهند، از بین روش ها و زیر روش های قطعی به ترتیب، تخمین گر موضعی، تابع شعاعی و تخمین گر عام و معکوس فاصله و از بین روش های زمین آماری هم انواع روش های کریجینگ (ساده، معمولی و عام) نسبت به انواع روش های کوکریجینگ (معمولی، ساده و عام) RMSE کمتری دارند. نقشه های پهنه بندی شده نشان می دهند که در بالا دست آلودگی نیترات کمتر از ppm۱۰ ولی از مرکز به سمت پایین دست آلودگی نیترات وجود دارد به طوری که در خروجی غلظت نیترات به ppm۱۷۸ رسیده است. دلایل احتمالی تراکم غلظت نیترات در این بخش ها، رواناب های حاوی کودهای کشاورزی و شیمیایی و همچنین بالا بودن سطح آب زیرزمینی است. نقشه ها نشان می دهند که کمترین ناحیه آلوده مربوط به روش کریجینگ عام و بیشترین ناحیه آلوده مربوط به روش تابع شعاعی با اسپیلاین کاملا منظم است.

منابع

۱- صمدی محمدتقی، ساقی محمدحسین، رحمانی علیرضا، تراب زاده حسین، (۱۳۸۸)،پهنه بندی کیفی آب رودخانه دره مراد بیک همدان بر اساس شاخص بهره گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی، مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی همدان، شماره ۱۶.صص:۴۴-۳۸

۲- علوی پناه، سیدکاظم، خدایی، کمال، جعفربیگلو، منصور، (۱۳۸۴)، مطالعه کارایی داده‌های ماهواره ای در بررسی کیفیت آب در دو سوی میانگذر دریاچه ارومیه، پژوهشهای جغرافیایی، ۳۷ (۵۳):۵۷-۶۹.

۳- قهرودی تالی، م (۱۳۸۴)، « سیستم اطلاعات جغرافیایی در محیط سه بُعدی»، تهران، انتشارات جهاد دانشگاهی تربیت معلم.

٤- محسنی، بهروز؛ راحلی نمین، بهناز؛ (۱۳۹۶). بررسی تغییرات مکانی نیترات و فسفات آب‌های زیرزمینی و شناسایی مهمترین عوامل آلودگی از طریق ارزیابی روش‌های سری کریجینگ، کوکریجینگ و مدل رگرسیون چندگانه در حوزه آبخیز قره‌سو- استان گلستان.دوره ۱۷، شماره ۵۹ - (۹-۱۳۹۶).

۵- مقدم، ع؛ قلعه بان تکمه داش، م؛ اسماعیلی، ک (۱۳۹۲)، « بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب دشت مشهد با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی»، مجله پژوهش های حفاظت آب وخاک، شماره ۳، صص ۲۲۵-۲۱۱.

6- Ahmadian, M., Chavoshian, M., (2012), "Spatial variability zonation of groundwater table by use geostatistical methods in central region of hamadan province", Annals of Biological Research, 3 (11): 5304-5312
7- Chica-Olmo, M., Luque-Espinar, J. A., Rodriguez-Galiano, V., Pardo-Igúzquiza, E., ChicaRivas, L., (2014), "Categorical indicator kriging for assessing the risk of groundwater nitrate pollution: The case of Vega de Granada aquifer (SE Spain), Science of the Total Environment , 470–471 : 229–239
8- Isaaks, E. H., Srivastava, R. M., (1989), "An Introduction To Applied Geostatistics, Oxford: Oxford University Press".
9- Kraft, G. J., Stites, W., (2003), "Nitrate impacts on groundwater from irrigatedvegetable systems in a humid north-central US Sand Plain", Agriculture, Ecosystems and Environment, 100 (1): 63-74
10- Mendes, M. P., Ribeiro, L., (2010), "Nitrate probability mapping in the northern aquifer alluvial system of the river Tagus (Portugal) using disjunctive kriging", Science of the Total Environment, 408: 1021–1034
11- Ng, S.M.Y., Wai1, O.W.H., Xu1, Z.H., Li1, Y.S., Jiang, Y.W. (2005), Application of GIS for Retrieval and Display of Hydrodynamic and Water Quality Data for the Pearl River Estuary. Environmental Informatics Archives, Vol.3, pp: 372–378.
12- Ogrinc, N., Tamse, S., Zavadlav, S and Vrzel, J. 2019. Evaluation of geochemical processes and nitrate pollution sources at the Ljubljansko polje aquifer (Slovenia): A stable isotope perspective, Science of The Total Environment, 646:1588-1600.
13- Rizzo, D.M., Dougherty, D.E., (1994), "Characterization of aquifer properties using artificial nueral network: nueral kriging", Water Resource Research, 30, 438-497.
14- Stein, A. Corsten, L. C. A., (1991), "Universal kriging and cokriging as regression procedures", Biometrics, 47: 575 -587.
15- Taghizadeh-Mehrjardi, R., (2014), "Mapping the spatial variability of groundwater quality in Urmia", Iran. J. Mater. Environ. Sci, 5 (2): 530-539
16- Tutmez, B., Hatipoglu, Z., (2010), "Comparing two data driven interpolation methods for modeling nitrate distribution in aquifer", Ecological Informatics, 5: 311–315
17- Weterings, G., (1989), "Using cokriging in variability studies to predict physical land qualities of a level river terrace", Soil Technology, 2: 385-402.