علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیستم، شماره چهار، زمستان ۹۷

تحلیل کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت آمل-بابل و پهنه‌بندی سدیم با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی

نیما حیدرزاده [1]*

n.heidarzadeh@khu.ac.ir

محمد معزی [2]

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۲۲ تاریخ پذیرش:۹۴/۱۱/۱۷

چکیده

زمینه و هدف: امروزه توجه به کیفیت آب‌های زیرزمینی و روند تغییرات آن برای مصارف مختلف شرب و کشاورزی و سلامت عمومی بسیار حایز اهمیت است. آلودگی آب های زیرزمینی اغلب به دلیل فاضلاب های سمی ناشی از صنایع و یا از چاه‌های جذبی فاضلاب اتفاق می‌افتد.

روش بررسی: در این پژوهش به منظور بررسی تغییرات کیفی منابع آب زیرزمینی، از داده‌های کیفیت شیمیایی دشت آمل-بابل در بازه زمانی ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۸ استفاده گردید. در دشت آمل-بابل کاربری اراضی عموما کشاورزی است و برای ارزیابی کیفیت از استاندارد FAO استفاده شده است. پارامترهای مختلفی از جمله هدایت الکتریکی، Cl^-, Na^+, HCO_3^- و pH بررسی گردید و طی آن سدیم به عنوان یکی از عوامل مهم مورد توجه بیش‌تر قرار گرفت. سپس با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی وضعیت سدیم در منطقه پهنه بندی و تحلیل گردید.

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج به‌دست آمده نشان داد که وضعیت آلودگی با توجه به کاربری اراضی در اطراف مناطق صنعتی و شهرهای پرجمعیت بحرانی‌تر می‌باشد. هم‌چنین با بررسی وضعیت آب‌دهی و تشخیص سال‌های ترسالی و خشک‌سالی و نرمال رابطه افزایش آلودگی در سال‌های با دبی کم‌تر کاملا مشهود می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: دشت آمل-بابل، استاندارد FAO، سدیم، سیستم اطلاعات جغرافیایی، پهنه‌بندی.

۱- استادیار مهندسی محیط زیست، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۲- کارشناسی ارشد مهندسی عمران- محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

J. Env. Sci. Tech., Vol 20, No.4, Winter 2019

Groundwater quality analysis in Amol-Babol plain and zoning of sodium using GIS

Nima Heidarzadeh [1*]
n.heidarzadeh@khu.ac.ir
Mohammad Moezzi [2]

Admission Date: January 27, 2016 Data Received: March 13, 2014

Abstract

Background and Objective: Nowadays, paying attention to the quality of groundwater and its trend is very important for various purposes such as drinking, agriculture, and public health. Groundwater pollution is often formed due to toxic industrial wastewaters and disposing wells of urban wastewaters.

Method: In this study, the qualitative data of Amol-Babol plain within1986-2009 was used in order to evaluate qualitative changes of groundwater resources. In the study area, the main groundwater consumption was found to be agricultural irrigation. Several parameters of electrical conductivity, Cl-, Na+, HCO3-, and pH were investigated to assess groundwater quality and Na+ was detected as the most important one. Then, Na+ was zonned in the area using geographic information system (GIS).

Discussion and Conclusion: The results showed that most of the polluted areas are close to urban and industrial landuses. Also, the highest contamination of groundwater was found in dry years due to low flow conditions of the main river in the area.

Keywords: Amol-Babol Plain, FAO Standard, Na, GIS, Zoning.

1- Assistant Professor in Environmental Engineering, Department of Civil Engineering, Faculty of Technical and Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran. * *(Corresponding Author)*
2- MSc of Environmental Engineering, Department of Civil Engineering, Faculty of Technical and Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran.

مقدمه

انسان برای حیات و فعالیت‌های متنوع خود نیازمند آب با کمیت و کیفیت مناسب است. به همین جهت حفاظت از منابع آب به‌خصوص منابع آب‌های شیرین یکی از عوامل اصلی در حفظ بهداشت و توسعه جوامع می‌باشد (۱). کیفیت آب زیرزمینی یک دشت از مهم‌ترین مراحل مدیریت کیفیت منابع آب زیرزمینی به شمار می‌آید. با نشان دادن روند و چگونگی تغییرات کیفی آب نسبت به زمان و مکان می‌توان جنبه مصرفی آن را از لحاظ شرب، کشاورزی یا صنعت مشخص نمود. مساله کمبود آب برای کشورهایی چون ایران که دارای آب و هوای خشک و نیمه خشک می‌باشد، به ویژه در دهه اخیر از اهمیت و حساسیت بیش‌تری برخوردار می‌باشد. بر اساس مطالعات انجام شده متوسط بارندگی سالانه کشور حدود ۲۲۴ میلی‌متر است که کم‌تر از یک سوم باران سالانه جهان می‌باشد، درنتیجه بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی به عنوان یک منبع قابل اطمینان که در تمام طول سال می‌توان از آن استفاده کرد و در مقابل تغییرات بارندگی در کوتاه مدت کم‌تر تحت تاثیر می‌باشند، بیش‌تر مورد توجه قرار گرفته است. از سوی دیگر، مصرف آب با کیفیت نامطلوب برای آبیاری علاوه بر کاهش محصول، خصوصیات فیزیکی خاک را نیز از بین می‌برد که نتیجه آن بایر شدن تدریجی اراضی است. ورود آلاینده‌ها به سیستم منابع آب می‌تواند سبب بروز اثرات زیستی زیان‌آوری بر کیفیت آب گردد. مدیریت کیفی آب از مهم‌ترین مسایل و دغدغه‌های روز می‌باشد که باید به دقت و با استفاده از روش‌های جدید و کارآمد بررسی و ارزیابی گردد (۲). متاسفانه برای کشورهای فقیر و در حال توسعه معمولاً هزینه‌های زهکشی خاک برای مبارزه با شوری و تامین آب شیرین برای شستشوی املاح، بسیار سنگین است. مهم‌ترین مسایلی که در اثر مصرف آب‌های نامناسب ایجاد می‌شود، شور شدن ثانویه خاک‌ها، کاهش نفوذپذیری و سمیت املاح می‌باشد که هرکدام به نوعی به رشد و تولید محصولات کشاورزی صدمه می‌زنند. لذا کنترل کیفیت منابع آب لازمه یک کشاورزی موفق می‌باشد. بنابراین انجام پایش مستمر وکسب آگاهی از وضعیت کمی وکیفی آن‌ها شرایط بهره‌برداری بهینه و پایدار از این منابع را فراهم خواهد نمود. با توجه به بحران آب پیش‌بینی می‌شود در صورتیکه روند کنونی مصرف ادامه یابد تا سال ۲۰۲۵ از هر سه نفر جمعیت کره زمین دو نفر از آن‌ها در مناطق بحران زده ناشی از آب زندگی خواهند کرد (۳).

رحمانی (۴)، کیفیت آب زیرزمینی از نظر شرب را در آب‌خوان دشت ایذه- پیون در استان خوزستان از طریق برآورد شاخص GQI بررسی کرده است. هدف از این تحقیق به‌کار بردن روش GQI در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی آب‌خوان دشت دزفول-اندیمشک واقع در شمال اهواز در استان خوزستان می‌باشد که نتایج این روش با دیاگرام شولر مقایسه گردید. گالیشاند و همکاران (۵) روش‌های مختلف درون‌یابی را به منظور برآورد شوری و قلیاییت خاک بررسی کردند. این محققان روش کریجینگ را به عنوان مناسب‌ترین روش برای درون‌یابی پارامترهای شوری خاک پیشنهاد می‌کنند. از سویی، جانگ و همکاران (۶) روش‌های متعدد درون‌یابی برای برآورد پارامترهای مختلف را ارزیابی کردند. نتایج تحقیق نشان داد وقتی داده‌های مربوط به متغیرهای مکانی به صورت نرمال پراکنده شده باشند، روش کریجینگ نتایج بسیار دقیق‌تری ارایه می‌دهد. وو و همکاران (۷)، با استفاده از متغیرهای کمکی اسیدیته و کربن آلی خاک میزان روی در منطقه داکوتای شمالی را با استفاده از روش کریجینگ برآورد کردند. در این تحقیق روش کریجینگ معمولی، کوکریجینگ و لوگ نرمال کریجینگ مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج این تحقیق نشان داد روش کوکریجینگ و لوگ نرمال کریجینگ در مقایسه با روش کریجینگ معمولی نتایج دقیق‌تری ارایه می‌دهند. بابیکر و همکاران (۸) در دشت ناسونو منطقه توچیگی ژاپن به منظور ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی از ضریب GQI استفاده نمودند. برای تهیه داده‌ها، از اندازه‌گیری فصلی تعداد ۵۰ حلقه چاه اطراف دشت استفاده کردند. بررسی GQI نشان داد که کیفیت آب منطقه به لحاظ آب شرب به‌طور کلی بالا بوده ولی در قسمت جنوب‌شرق منطقه مقدار GQI پایین‌تر از همه جا بوده و در نتیجه کیفیت پایین‌تری نسبت به

بقیه قسمت‌های دشت دارد. این ضریب نیز آشکار نمود که عواملی مثل عمق سطح آب زیرزمینی و ساختار ژئومورفولوژیکی، نوع کاربری از عوامل موثر بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه می‌باشند. راماکریشنایا و همکاران (۹) نیز به منظور بررسی و تعیین میزان کیفیت آب زیرزمینی منطقه تومکور هند با استفاده از ۱۲ پارامتر شیمیایی مختلف شامل F^-, Mn^{+2}, Fe^{+2}, TDS, $HCO3^-$, Mg^{+2}, Ca^{+2}, TH, pH, Cl^-, $NO3^-$, $SO4^{-2}$ ضریب WQI را تعیین نمودند. در این بررسی میزان آلودگی بسیار و ناشی از بالا بودن یون‌هایی مثل F^-, Mn^{+2}, Fe^{+2},TDS , HCO3- بوده و پیشنهاد کردند که قبل از مصرف آب حتما برخی از فرآیندهای تصفیه بر روی آن انجام گردد. کارا یوسف اغلو و همکاران (۱۰) به بررسی و تخمین پارامترهای حوضه سولاکلی ترکیه با استفاده از زمین آمار پرداختند. آن‌ها در این تحقیق از روش‌های وزن‌دهی عکس فاصله، توابع پایه شعاعی و کریجینگ استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد از میان روش های میان‌یابی بالا روش کریجینگ از دقت بیش‌تری نسبت به بقیه برخوردار است.

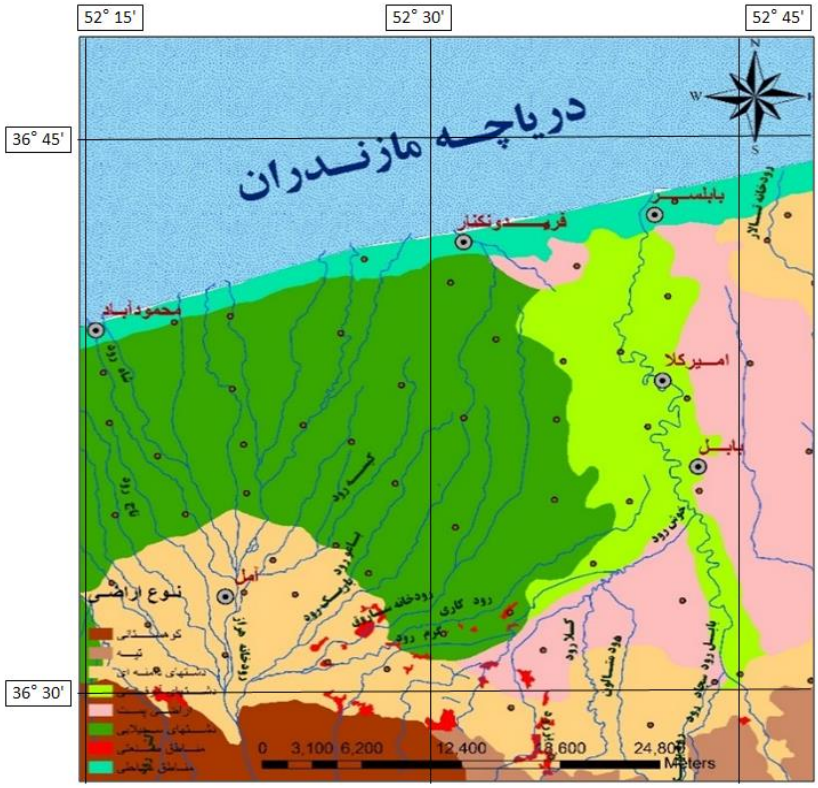
در تحقیق حاضر روش ارزیابی کیفی آب‌خوان مصرف‌محور بوده و از این نظر تا حدودی با سایر پژوهش‌ها متفاوت است. به این معنا که متناسب با نوع بهره‌برداری از چاه‌ها و مصرف آن‌ها (در این تحقیق آبیاری)، استاندارد متناسب با آن به‌کار گرفته شده است. علاوه بر آن روش استنتاجی برای ارزیابی کیفی، بر خلاف برخی روش‌های ادغام‌کننده پارامترهای کیفی (نظیر WQI و GQI) که سبب می‌گردد اهمیت پارامترهای کیفی در امتیاز نهایی منعکس نگردد، سعی شده متناسب با مشخصات کیفی آب‌خوان، مهم‌ترین پارامتر کیفی همان آب‌خوان مورد توجه قرار گیرد و در واقع غربال اولیه‌ای برای پارامترهای مهم‌تر صورت گرفته است. به عنوان مثال در تحقیقات گذشته علیرغم اهمیتی که سدیم در کیفیت آب آبیاری داشت، توجه چندانی بدان نشده است، در حالی‌که در تحقیق حاضر نشان داده شده است که در آب‌خوان آمل-بابل فلز سدیم پارامتر با اهمیت‌تری می‌باشد. نکته دیگر آن‌که در اکثر تحقیقات صورت گرفته پهنه‌بندی‌های کیفی برای میانگین درازمدت داده‌ها صورت می‌گیرد و در این حالت تغییرات فصلی یا سالانه قابل تشخیص نیست. هم‌چنین امکان ارزیابی اثرات اقلیمی احتمالی (خشک‌سالی و تر سالی) بر کیفیت آب‌خوان در سال‌های مختلف فراهم نمی‌آید. لیکن در تحقیق حاضر پهنه‌بندی کیفی برای داده‌های فصلی صورت گرفته و می‌توان تغییرات فصلی را در سال‌های مختلف بررسی کرد. هم‌چنین می‌توان تطابق آن با خشک‌سالی و تر سالی‌ها را رصد نمود.

هدف این تحقیق بررسی پارامترهای آلاینده در منطقه مورد بررسی و پس از آن پهنه‌بندی با مناسب‌ترین روش درون‌یابی و سپس تحلیل روند تغییرات آلاینده به‌وسیله نقشه‌های پهنه-بندی است. هم‌چنین در این مقاله ارتباط کیفیت چاه‌ها با خشک‌سالی‌ها و ترسالی‌ها مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

روش کار

محدوده مطالعاتی

منطقه بررسی شده در این تحقیق دشت بابل و آمل واقع در استان مازندران و حاشیه جنوبی دریای خزر می‌باشد که در موقعیت جغرافیایی ′۱۴، °۵۲ تا ′۵۰، °۵۲ طول شرقی و ′۲۸، °۳۶ تا ′۴۴، °۳۶ عرض شمالی به مساحت تقریبی ۱۵۷۰ کیلومتر مربع واقع می‌باشد. این منطقه حدفاصل دو شهر آمل و بابل و بین دو رود بابل‌رود و هراز قرار دارد (شکل ۱).



شکل ۱- نوع اراضی منطقه و مکان چاه‌های برداشت داده

Figure 1- Landuse and location of the studied well in the study area

کاربری اراضی این منطقه عمدتاً کشت برنج می‌باشد. از همین رو بررسی وضعیت آب منطقه حایز اهمیت است. اقلیم شمال ایران در حقیقت یک اقلیم مدیترانه‌ای و دارای آب و هوای معتدل و مرطوب است. میزان بارش سالانه به‌طور متوسط ۱۰۰۰ میلی متر است که بیش‌ترین آن در قسمت‌های غربی و کم‌ترین آن در نواحی شرقی است و درجه حرارت متوسط سالانه بین ۱۵ تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (۱۱).

در این پژوهش با توجه به داده‌های برداشت شده از چاه‌های دشت آمل-بابل از سوی شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران ابتدا حدود ۲۱۴۱ داده طی سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۸ برای هر یک از پارامترهای کیفی هدایت الکتریکی، Cl^-, Na^+, $HCO3^-$ و pH بررسی شد. شکل(۱) نشان‌دهنده‌ی نقاط هرکدام از چاه‌های برداشت و نیز شهرهای اطراف و نوع اراضی و نیز مسیر رودهای منطقه می‌باشد. سپس این داده‌ها با استفاده از استاندارد سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) برای مصارف کشاورزی بررسی شد و با محاسبه درصد دفعات افزایش از حد مجاز برای هر پارامتر، پارامترداری اهمیت بیش‌تر شناسایی گردید. تعداد چاه‌های برداشت شده در کل این سال‌ها حدود ۷۷ چاه بوده است.

استاندارد FAO برای مصارف آبیاری

دشت آمل-بابل منطقه‌ای کشاورزی با کشت عمدتا برنج می‌باشد، به همین دلیل بررسی پارامترهای آب منطقه طبق استانداردهای کشاورزی امری ضروری است. استاندارد FAO پارامترهای مربوط به آب جهت مصارف کشاورزی را در چهار طبقه‌بندی شوری (EC و یا TDS)، نفوذ آب در خاک (اثر توامان SAR و EC)، یون‌های مسمومیت‌زا (تاثیرگذار بر محصولات حساس)، اثرات جانبی (تاثیرگذار بر محصولات مستعد) بررسی می‌کند. جدول (۱) چکیده‌ای از مقدار مجاز پارامترهای بررسی شده در این پژوهش در استاندارد FAO را نشان می‌دهد.

1- Food And Agriculture Organization of The United Nations

جدول ۱- مقایسه حدمجاز پارامترهای مختلف در استاندارد FAO (۱۲)

Table 1- Comparison of the acceptable limits of several parameters in FAO guideline (12)

پارامتر	EC	Cl	HCO_3	Na	pH
واحد	(µS/cm)	(meq/l)	(meq/l)	(meq/l)	-
استاندارد FAO	۳۰۰۰	۱۰	۸/۵	۹	۶/۵-۸/۴

پهنه‌بندی

پهنه بندی کیفیت آب زیرزمینی یک دشت از مهم ترین مراحل مدیریت کیفیت منابع آب زیرزمینی به شمار می آید. با نشان دادن روند و چگونگی تغییرات کیفی آب نسبت به زمان و مکان و با توجه به وضعیت کیفی آب می توان پیش‌بینی‌های لازم را برای بهبود نحوه مصرف آب و کنترل آلایندگی‌های آن ارایه داد. بر اساس استاندارد کیفیت آب آبیاری سازمان خوار و بار و کشاورزی (FAO) از جمله مهم‌ترین پارامترهای کیفی درصد سدیم (Na%) و نیز SAR (نسبت جذب سدیم) می‌باشد (۱۳). در محدوده مطالعاتی، آب چاه‌ها عمدتا برای کشاورزی و آبیاری مصرف می‌شود و هم‌چنین بررسی آمار کیفی چاه‌های محدوده مطالعاتی نشان داد (به بخش ۳-۴ مراجعه گردد) که در دشت آمل-بابل، پارامتر کیفی که در بیش‌ترین موارد (نسبت به EC ، کلراید و pH) از حد مجاز FAO برای آبیاری فراتر رفته است، سدیم می‌باشد. از این‌رو سدیم برای پهنه‌بندی کیفی برگزیده شد. در این پژوهش برای بررسی غلظت سدیم با توجه به داده‌های سالیانه در هر سال دو ماه پهنه بندی گردید. این دو ماه عموماً در فصل بهار و پاییز قرار داشتند. لازم به ذکر است برخی سال‌ها به دلیل نقص داده‌ها پهنه‌بندی نگردیده و در برخی دیگر نیز فقط یک ماه پهنه‌بندی شده است. در این پژوهش برای پهنه‌بندی منطقه پس از شناسایی بهترین روش درون‌یابی، از روش کریجینگ برای پهنه‌بندی استفاده شد. برای پهنه‌بندی از نقشه‌هایی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ بهره‌برداری گردید.

روش کریجینگ

این مدل مهمترین و گسترده‌ترین روش درون‌یابی زمین آمار است که به افتخار یکی از پیش‌گامان علم زمین آمار به نام دی‌جی‌کریگ[1] نام‌گذاری شده است (۱۴). در بررسی‌های آمار کلاسیک، نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری نمونه‌ها، مستقل از موقعیت فضایی نمونه‌ها تحلیل می‌شوند. بنابراین مقدار یک کمیت در یک نمونه هیچ‌گونه اطلاعاتی درباره مقدار همان کمیت در نمونه‌ای دیگر در یک فاصله مشخص ارایه نمی‌دهد. اشکال این نوع بررسی این است که وجود روابط و ساختارهای بین نمونه‌ها آشکار نمی‌شود. زمین آمار تجزیه و تحلیل نمونه‌ها را همراه با موقعیت فضایی آن‌ها بررسی می‌کند، بنابراین در این نوع بررسی، ساختارهای وابسته به فاصله نمایان و درک محقق نسبت به تغییرات و رفتار نمونه‌ها بالاتر می‌رود. اساس مدل کریجینگ (یا به‌صورت صحیح‌تر کریگینگ) بر تئوری متغیر ناحیه‌ای استوار است. مفهوم متغیر ناحیه‌ای اولین بار توسط ماترون[2] در دهه ۱۹۶۰ ارایه شده است. از آن‌جا که متغیر ناحیه‌ای نوعی متغیر تصادفی است، بنابراین به منظور بررسی متغیر ناحیه‌ای، ابتدا متغیر تصادفی تعریف می‌شود. بر مبنای تعاریف ریاضی، متغیر تصادفی به متغیری گفته می‌شود که کسب هر مقدار از آن در دامنه خود، دارای یک احتمال رخداد است. در صورتی که تفاضل دو مقدار متغیر تصادفی، در دو نقطه مختلف از فضا، مستقل از مختصات نقاط و وابسته به فاصله آن دو نقطه باشد، به آن متغیر تصادفی، متغیر ناحیه‌ای می‌گویند. با توجه به اهمیت پهنه‌بندی‌های هیدروشیمیایی در مدل‌های بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی، در این بخش به این مسأله پرداخته می‌شود. لذا جهت انتخاب بهترین روش درون‌یابی از پارامتر زمین آماری RMSE استفاده شد (۱۵). برای دست‌یابی به بهترین روش در قسمت Geostatistic Wizard نرم افزار ArcGIS، مقادیر سدیم به منظور

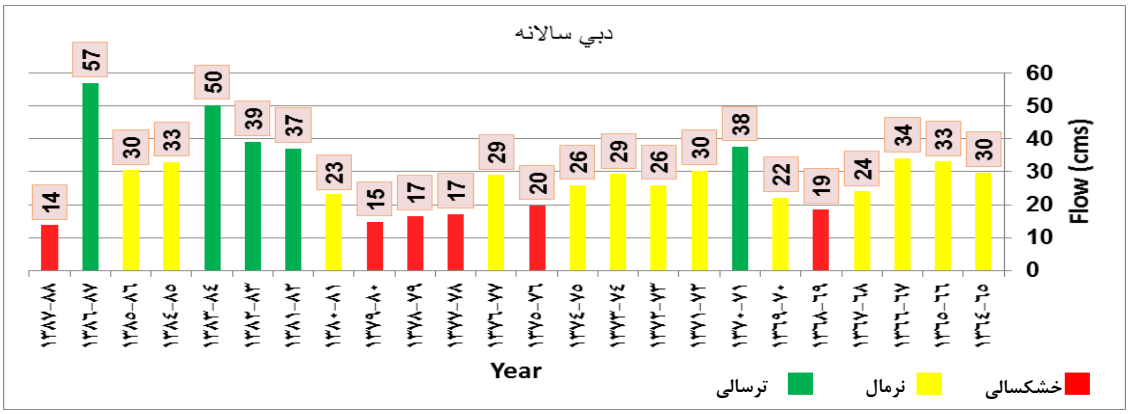
1- D.G. Krige
2- Matheron

درون‌یابی انتخاب گردید. در ادامه روش‌های کریجینگ، توابع پایه شعاعی(RBF) و عکس فاصله (IDW) برای درون‌یابی مقادیر سدیم بررسی و بهترین روش جهت پهنه‌بندی انتخاب گردید (۱۷ و ۱۶).

نتایج و بحث

بررسی خشک‌سالی و ترسالی و کیفیت آب‌خوان

یکی از مواردی که در بررسی روند تغییرات کیفی آبخوان‌ها می‌تواند تاثیر به‌سزایی داشته باشد، میزان مصرف از آب‌خوان می‌باشد. بدیهی است که در دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی بر حسب میزان در دسترس بودن منابع آب سطحی، امکان برداشت از آب زیرزمینی متفاوت خواهد بود، بنابراین در پژوهش حاضر دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی هیدرولوژیک در محدوده مورد بررسی اجمالی قرار گرفت. این روش براساس مقدار میانگین دبی حوزه آب‌ریز منطقه در یک دوره سالانه استفاده می‌گردد. بدین صورت که اگر دبی یک سال از ۸۰ درصد میانگین طی این دوره کم‌تر باشد، خشک‌سالی و اگر از ۱۲۰ درصد مقدار میانگین بیش‌تر باشد، ترسالی قلمداد می‌شود (۱۸). در این پژوهش آب‌دهی رودخانه هراز در یک دوره ۲۵ ساله در ایستگاه کره‌سنگ واقع در بالادست دشت، مبنای بررسی قرار گرفت (شکل ۲).



شکل ۲- وضعیت دبی رودخانه هراز در ایستگاه کره سنگ از سال ۱۳۶۴ تا سال ۱۳۸۸

Figure 2- Haraz river flow in the Kar-E-Sang station during 1985-2009

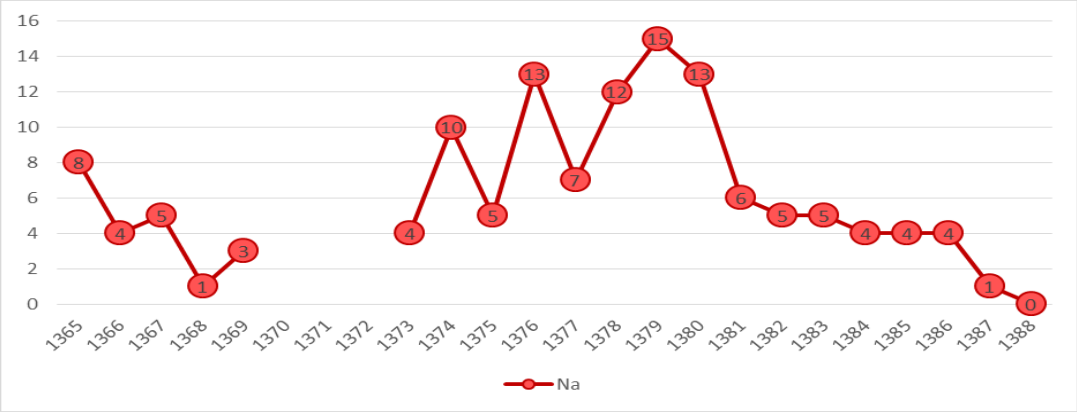
هم‌چنین در جدول(۲) مقادیر میانگین، انحراف معیار، ماکزیمم و مینیمم پارامترهای کیفی آب‌خوان آمل-بابل در کل این سال‌ها نشان داده شده است. با مقایسه‌ی پارامترهای مختلف و درصد گذر از حد مجاز هر پارامتر در طی ۲۰ سال مشاهده شد که پارامتر سدیم با بیش از ۱۲۹ بارگذر از حد استاندارد از کل ۲۰۶۲ مورد (که حدود ۶/۳ درصد از کل برداشت‌ها می‌باشد)، یکی از پارامترهای مهم در ارزیابی کیفی آب‌خوان این منطقه به شمار می‌رود. از همین رو با بررسی این پارامتر طی این سال‌ها روند تغییرات آن به‌وسیله سیستم اطلاعات جغرافیایی پهنه-بندی گردید. شایان ذکر است پارامترهای مهم دیگر نظیر هدایت الکتریکی و کلراید دفعات کم‌تری نسبت به سدیم از حد مجاز فراتر رفته اند؛ به ترتیب ۱۹ و ۶۰ بار.

جدول ۲- پارامترهای آماری کل چاه‌های برداشت از سال ۶۵ تا ۸۸

Table 2- Statistical parameters of all studied wells from 1986 to 2009

پارامتر	pH	Na (meq/L)	HCO_3 (meq/L)	Cl (meq/L)	EC (µS/cm)
میانگین	۷/۷	۳/۳۵	۶/۸۶	۲/۳۲	۱۱۵۲
انحراف معیار	۰/۲۸	۳/۵۷	۱/۸۹	۳/۲	۵۱۸/۶
مینیمم	۶/۴	۰/۱۳	۱/۵	۰/۲	۳۱۸
ماکزیمم	۸/۶	۴۴	۲۵/۱	۴۵	۵۵۳۰

با توجه به محدودیت داده‌ها، در سال‌ها و فصل‌هایی کـه تعـداد چاه‌های برداشت کم بوده و برای پهنه بنـدی مناسـب نبودنـد، پهنه بندی صورت نگرفته است. در شکل (۳) تعداد دفعات گذر از حد مجاز برای پارامتر سدیم نشان داده شده اسـت. مشـاهده می‌شود در سال‌هایی که پس از یک دوره خشک‌سـالی هسـتند مانند سال ۷۶ و ۷۴، افزایش آلودگی رخ داده است. دلیـل ایـن امر می‌تواند کاهش ذخایر آب زیرزمینی به مرور زمان باشد.



شکل ۳- تعداد دفعات افزایش غلظت سدیم فراتر از حد مجاز آبیاری در سال‌های مختلف

Figure 3- Exceeded times of Na from acceptable limits of irrigation in several years

انتخاب بهترین روش درون یابی

با توجه بـه شـاخص RMSE، روش کریجینـگ بهتـرین روش درون‌یابی در منطقه بود (جدول۳). البته با توجه به متغیر بودن پارامترهای مؤثر در غلظت یک عنصـر در منـابع آب زیرزمینـی این روش درون‌یابی گرچه در این دشت بسیار کارآمد است، ولی ممکن است در دشـت دیگـری کـارایی مناسـب نداشـته باشـد (نخعی و محمودی، ۱۳۹۰).

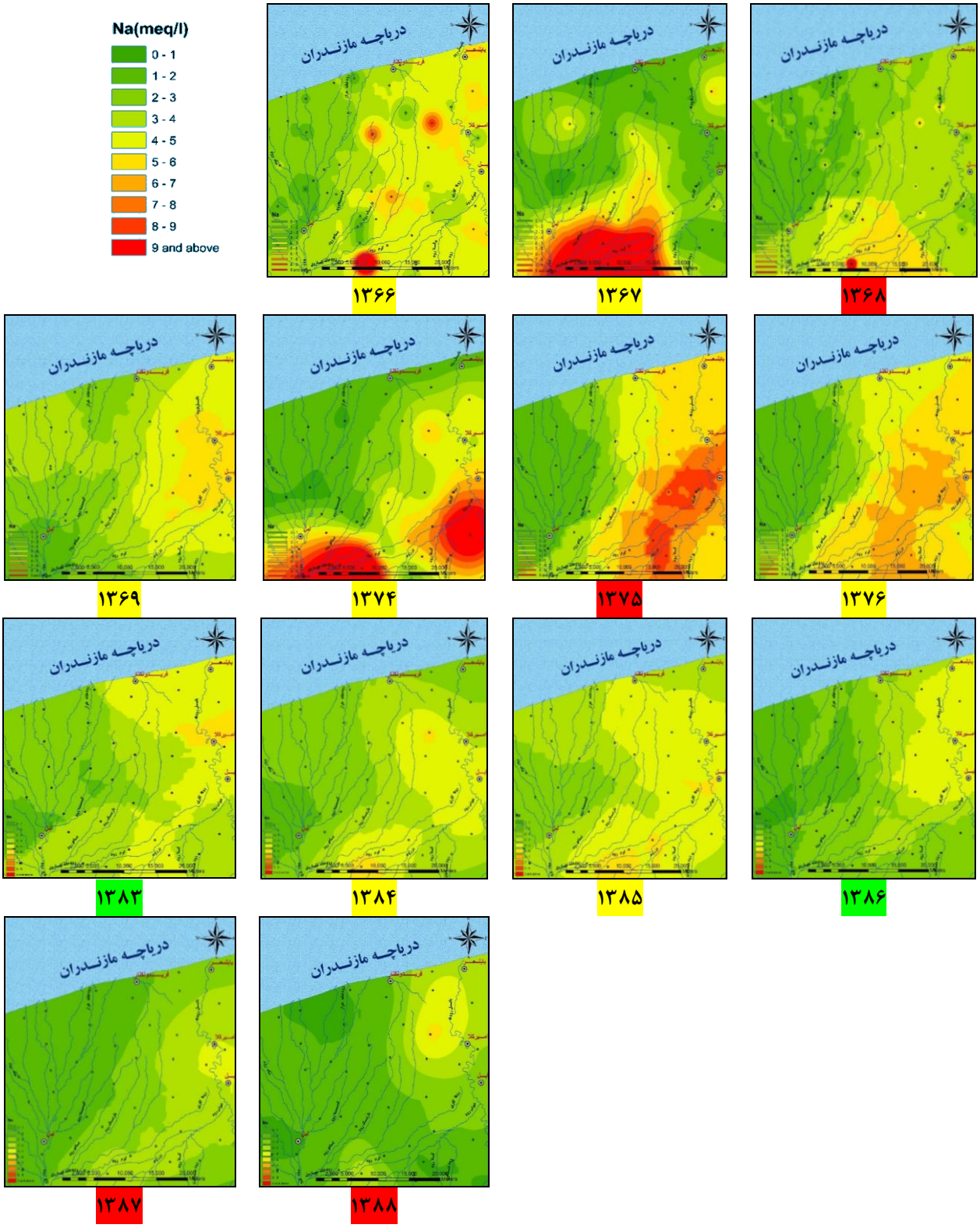
نتایج پهنه‌بندی

پس از بررسی آلاینده‌ها و تشخیص پارامتر سدیم به عنوان پارامتر بحرانی، برای این پارامتر پهنه بندی به روش کریجینگ صورت گرفت. نتایج پهنه‌بندی منطقه در دو شکل (۴) و (۵) نشان‌داده شده است. در این نقشه‌ها سال‌های خشک‌سالی با رنگ قرمز، سال‌های نرمال با رنگ زرد و سال‌های ترسالی با رنگ سبز نشان داده شده است.

جدول ۳- نتایج حاصل از بررسی روش‌های درون‌یابی

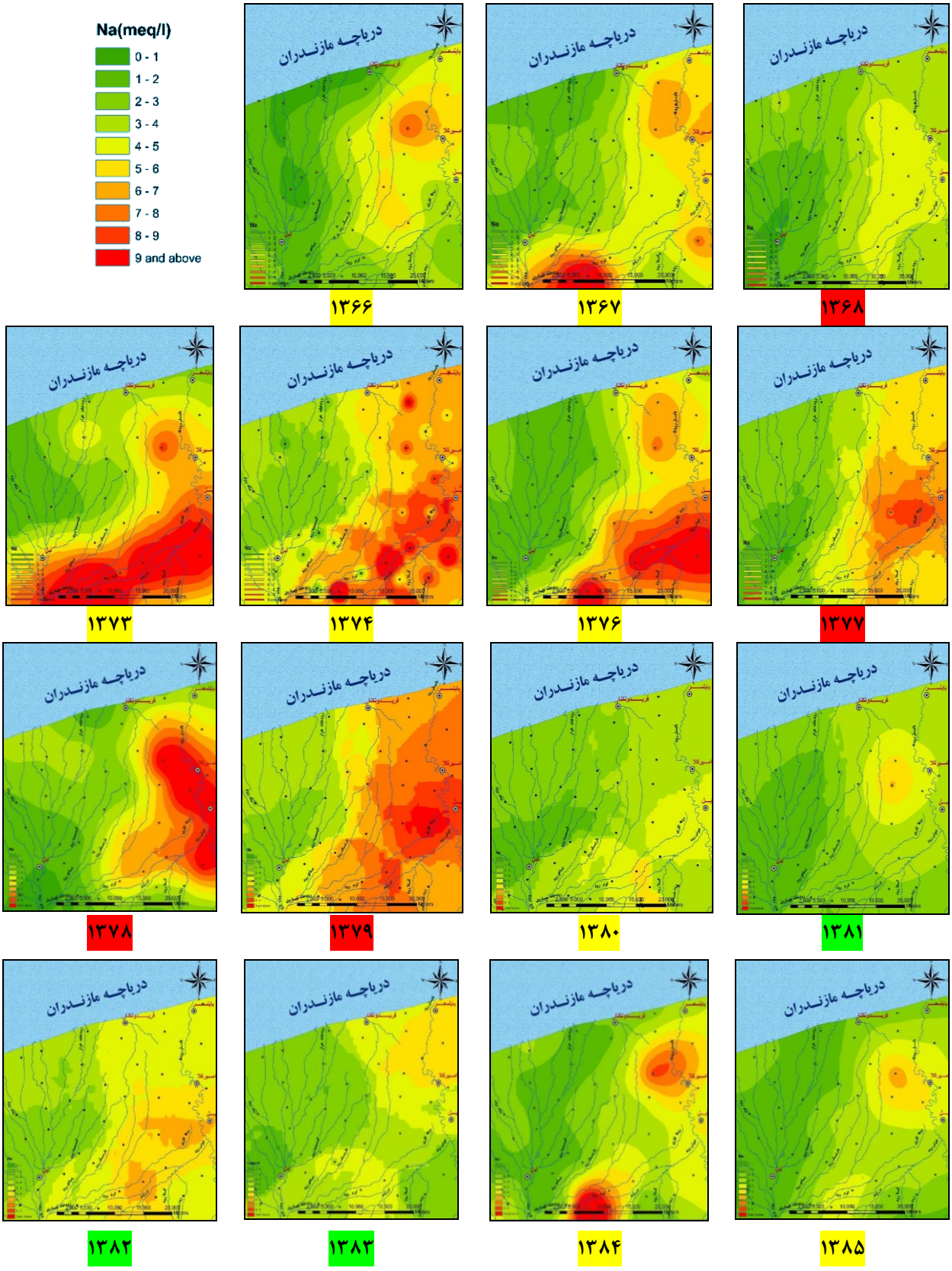
Table 3 – Results of the applied interpolation methods

روش درون‌یابی	RMSE
کریجینگ	۱/۷۰
کو کریجینگ	۱/۹۵
پایه شعاعی	۳/۶۵
عکس فاصله	۷/۲۵



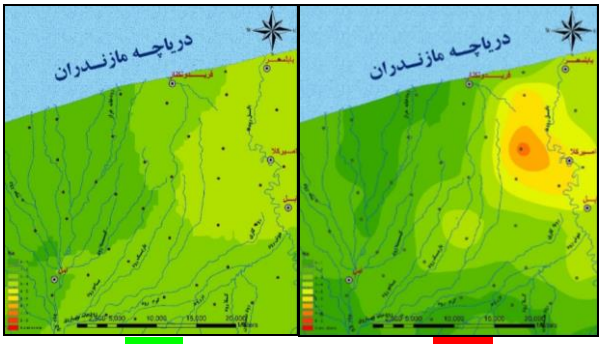
شکل۴- تغییرات غلظت سدیم در فصل بهار از سال ۶۶ تا ۸۸

Figure 4- Na concentration changes in spring from 1987 to 2009



شکل۵-تغییرات غلظت سدیم در فصل پاییز از سال ۶۶ تا ۸۷

Figure 5- Na concentration changes in autumn from 1987 to 2009



ادامه شکل ۵- تغییرات غلظت سدیم در فصل پاییز از سال ۶۶ تا ۸۷

Figure 5- Na concentration changes in autumn from 1987 to 2009 (continue)

با مقایسه اشکال (۴) و (۵) مشاهده می‌شود در اکثر سال‌ها آلودگی آب زیرزمینی در فصل پاییز بیش‌تر بوده است. دلیل این امر می‌تواند کاهش بارش در نیمه اول سال و نیز کشت برنج در فصل بهار و استفاده از ذخایر آب زیرزمینی و در پی آن کاهش سطح آب زیرزمینی و هم‌چنین نفوذ املاح و کودهای شیمیایی حاصل از آبیاری به آب زیرزمینی در انتهای دوره کشت باشد. از طرفی لکه‌های آلودگی در اکثر سال‌ها در نقاط جنوبی و شرقی دشت مشاهده می‌گردد. با بررسی شکل (۱) مشاهده می‌شود اکثر مناطق صنعتی در مناطق جنوبی دشت واقع شده است و این می‌تواند یک عامل برای افزایش آلودگی در این منطقه باشد. مشاهده می‌شود حد فاصل بین دو شهر آمل و بابل و هم‌چنین بابل و امیرکلا لکه‌های آلودگی بیش‌تر دیده می‌شود که دلیل این امر می‌تواند جمعیت این مناطق و درپی آن مصرف بیش‌تر آب و تولید بیش‌تر فاضلاب باشد. استفاده از چاه‌های جاذب در دفع فاضلاب‌های خانگی در این مناطق به صورت گسترده وجود دارد.

هم‌چنین با بررسی شکل (۲) مشاهده می‌شود که از سال ۸۱ تا ۸۳ یک دوره ترسالی سه ساله رخ داده است که در پی آن کاهش آلودگی منطقه در سال‌های آتی را در پی داشته که این امر می‌تواند خود بیان‌گر رابطه مستقیم میزان بارش با کاهش آلودگی باشد. هم‌چنین بررسی نقشه‌ها نشان می‌دهد از سال ۸۱ به بعد که هیچ دوره خشک‌سالی اتفاق نیفتاده، آلودگی منطقه نیز کاهش یافته است.

از سویی مقایسه فصل‌های مختلف یک سال در تمام موارد نشان می‌دهد که در فصل پاییز آلودگی‌های مناطق شرقی افزایش داشته است و می‌توان نتیجه گرفت آلودگی حوزه بابل-رود نسبت به رودخانه هراز بیش‌تر بوده و این امر نیازمند کنترل و نظارت بیش‌تر از سوی مسئولان است.

نتیجه گیری و پیشنهادات

در این پژوهش با مطالعه و بررسی آب‌های زیرزمینی دشت آمل-بابل نتایج زیر حاصل شد:

- با توجه به شاخص RMSE و مقایسه‌ی روش‌های مختلف درون‌یابی در محیط GIS، مشاهده شد روش کریجینگ با مقدار شاخص ۱/۷ بهترین روش جهت درون‌یابی در منطقه می‌باشد.
- بررسی وضعیت خشک‌سالی منطقه نشان داد در این ۲۳ سال، ۶ سال خشک‌سالی، ۵سال ترسالی و در بقیه سال‌ها وضعیت نرمال حاکم بوده است.
- با توجه به نقشه پهنه بندی نوع اراضی و مقایسه‌ی آن با پهنه بندی آلودگی سدیم طی ۲۳سال کاملاً مشهود است که محل عمده ایجاد آلودگی‌ها در اطراف مناطق صنعتی بین دو شهر پرجمعیت آمل و بابل و نیز مناطق در نزدیکی شهر امیرکلا و بابل می‌باشد و کم‌ترین آلودگی‌ها مناطق مرکزی و غربی دشت می‌باشد.
- با مقایسه نقشه‌های پهنه بندی پارامتر Na مشاهده می‌شود در اکثر سال‌ها آلودگی آب زیرزمینی در فصل پاییز بیش‌تر بوده است. دلیل این امر می‌تواند کاهش بارش در نیمه اول سال و نیز کشت برنج در فصل بهار و استفاده از ذخایر آب زیرزمینی و

در پی آن کاهش سطح آب زیرزمینی و هم‌چنین نفوذ املاح و کودهای شیمیایی حاصل از آبیاری به آب زیرزمینی در انتهای فصل کشت باشد.

- با بررسی وضعیت دبی طی ۲۰سال مشاهده می‌شود در سال‌هایی که آب‌دهی نسبت به سال قبل کم‌تر شده به عنوان مثال از نرمال به خشک‌سالی تغییر کرده، آلودگی نیز افزایش داشته و این نشان دهنده رابطه مستقیم میزان دبی با روند کاهش آلودگی می‌باشد.

هر آزمایش، تحقیق و مطالعه علمی نواقص و کاستی‌هایی را به همراه دارد. لازمه تکمیل هر پژوهش استفاده از تجارب پیشین برای بهبود آن در آینده می‌باشد. از همین جهت برای تکمیل این پژوهش در آینده پیشنهادات ذیل ارایه می‌گردد.

- بررسی استانداردهای دیگر و نیز بررسی‌های شاخص‌های کیفیت سنجی می‌تواند در آینده مورد توجه قرار گیرد.
- علاوه برآب‌های زیرزمینی، آب‌های سطحی و روان‌آب‌ها نیز می‌تواند بررسی گردد.
- برای مطالعات موردی آینده می‌توان مناطق بحرانی‌تر از لحاظ آلاینده مورد بررسی قرار گیرد.
- چون تغییرات فصلی روی دبی و کیفیت منابع آب دشت تاثیرات زیادی دارد، پیشنهاد می‌شود به‌جای نمونه‌گیری ۱ یا ۲ بار در سال، نمونه برداری را به‌صورت فصلی انجام گردد که آمار بهتر و کامل‌تری از تغییرات پارامترهای دشت به‌دست آید .
- با توجه به این‌که در این تحقیق از روش زمین‌آمار کریجینگ برای پهنه‌بندی استفاده شده است، پیشنهاد می‌گردد که در تحقیق‌های آتی از روش‌های دیگری هم‌چون کوکریجینگ استفاده شود.

Reference

1- Vathananukij, H. 1994. Water Quality Analysis on the chao-phra-ya Estuary using remote sensing data, Kasetsart University, RIO Thailand.

2- Alizadeh A, 1998, Principles of Irrigation Systems Design, Fourth Edition, Imam Reza University Press, Pages 1-100. (In persian)

3- Mohammadi. and Soltani J, 2011, Investigation of the Effect of Drought on the Process of Quantitative and Qualitative Water Resources Reduction for Agricultural Use in Jiroft Plain, Eleventh Irrigation Seminar and Evaporation Reduction, University of Kerman Shahid Bahonar, pp. 1-15. (In persian)

4- Rahmani. Gh, 2011, Groundwater quality in terms of drinking water in the Izeh-Pyong plain aquifer in Khuzestan province, estimating by GQI index, 4th Iranian Water Management Conference, Amir Kabir University of Technology. (In persian)

5- Gallichand, j., Bouckland D., Marcotte D. and Hendry, M. J., 1992. Spatial Interpolation of Soil Salinity and Sodicity for a salin soil in southern Alberta, Can. J. Soil Sci. 72:503-516.

6- Juang K.W., Lee D.Y., and Ellsworth, T.R. 2001. Using rank-order geostatistics for spatial interpolation of highly skewed data in a heavy metal contaminated site, J. Environ. Qual. 30:894-903.

7- Wu J., Norvell W.A., and Welch, R.M., 2006. Kriging on highly skewed data for DTPA-extractable soil Zn with auxiliary information for pH and organic carbon, Geoderma, 134: 187–199.

8- Babiker, I. S., Mohamed, M. A. A., and Hiyama, T. 2007. Assessing groundwater quality using GIS, Water Resources Management, 21: 699–715.

9- Ramakrishnaiah C., Sadashivalah C., and Ranganna G., 2009. Assessment of

water quality index for the groundwater in Tumkur Taluk, Karnataka State, India. E-Journal of Chemistry, 6(2), pp.523-530

10- Karayusufoglu, S., Eris, E., and Coskun, H.G. 2010. Estimation of basin parameters and precipitation distribution of solalki basin, turkey. Wseas transactions on environment and development. Issue 5, 6: 385-394.

11- Kasmaei M, 2010, Climate and Architecture, Sixth Edition, Soil Publishing, pp. 83, 87, 129. (In persian)

12- WHO (World Health Organization). 2004. Guidelines for drinking-water quality, vol 1, 3rd ed, Geneva, Switzerland.

13- Habibi M and Masoumi A, 2006, Water Quality, Publications of Soil and Water Conservation Research Institute, pp. 28. (In persian)

14- Hasani Pak A. A, 1998, Geostatistics, Tehran University Press, p. 314. (In persian)

15- Laleh Zari. R, 2009, Monthly review of nitrate changes in Shahrekord plain and zoning using Geographic Information System, Iranian Journal of Water Research, Third Year, No. 4. (In persian)

16- ESRI, 2008. ArcGIS Spatial Analyst Tutorial, United States of America, ESRI Inc.

17- ESRI Inc. 2008. ArcMapTM. Version10.

18- Alizadeh A., 2002, Principles of Applied Hydrology, 21st Edition, Imam Reza University Press, Pages 276-279. (In persian)