تعیین عوامل موثر بر کیفیت و آلودگی آب زیرزمینی دشت دزفول - اندیمشک با استفاده از روش تحلیل عاملی

کمال خدایی[۱و*]، حمیدرضا ناصری[۲]، علی‌اکبر شهسواری[۱]، راحله هاتفی[۳] و فرهاد اسدیان[۳]

۱. استادیار پژوهش، پژوهشکده علوم پایه کاربردی، جهاددانشگاهی

۲. دانشیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۳. مربی پژوهش، پژوهشکده علوم پایه کاربردی، جهاددانشگاهی

تاریخ دریافت: ۹۱/۹/۷

تاریخ پذیرش: ۹۳/۴/۲۳

چکیده

شناسایی عوامل موثر بر تغییر کیفیت و آلودگی آب زیرزمینی برای مدیریت منابع آب ضروری است. هدف از این تحقیق شناسایی عوامل موثر بر کیفیت آب زیرزمینی دشت دزفول - اندیمشک با استفاده از روش آماری چند متغیره تحلیل مولفه‌های اصلی است. برای این منظور ۹۶ نمونه از منابع آب زیرزمینی در اردیبهشت ماه سال ۱۳۸۸ برداشت و میزان پارامترهای EC، TDS، Ca^{2+}، Mg^{2+}، K^{+}، Na^{+}، HCO_3^{-}، Cl^{-}، SO_4^{-} و NO_3^{-} بر اساس روش‌های استاندارد مشخص شد. سپس با استفاده از روش تحلیل مولفه‌های اصلی، چهار عامل اصلی موثر برکیفیت آب زیرزمینی که در مجموع ۸۸ درصد کل واریانس داده‌ها را شامل می‌شدند، استخراج گردید. عامل اول به تعامل آب زیرزمینی با تشکیلات زمین‌شناسی، دانه‌بندی رسوبات و ترکیب اولیه آب زیرزمینی، عامل دوم به تاثیر انحلال نمک‌های سازند لهبری و آغاجاری در تعامل با آب زیرزمینی، عامل سوم به اثر پساب ناشی از فعالیت‌های کشاورزی و عامل چهارم به پساب برگشتی از چاه‌های جذبی شهری و روستایی مربوط می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آلودگی آب زیرزمینی، تحلیل عاملی، دزفول - اندیمشک.

مقدمه

عوامل متعددی در کیفیت آب زیرزمینی تاثیرگذار هستند. شناسایی و دسته‌بندی این عوامل در مدیریت و جلوگیری از کاهش کیفیت آب زیرزمینی ضروری است. پس از جنگ جهانی دوم، آلودگی آب‌های زیرزمینی از طریق آلاینده‌های غیر نقطه‌ای که به‌صورت پخش در سطح زمین آلودگی تولید می‌کنند رو به افزایش بوده است (Ahmed et al., 2005). فعالیت‌های کشاورزی عمده‌ترین آلوده کننده غیرنقطه‌ای هستند. نیترات، کلراید، سدیم، کلسیم، منیزیم، آمونیوم، فسفات و انواع عناصر نادر از آلودگی‌های معمول آب زیرزمینی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی هستند (George et al., 1987). روش‌های مرسوم بررسی‌های هیدروژئوشیمیایی مانند

* نویسنده مرتبط: khodaeik@yahoo.com

نمودارهای استیف و پایپر، فقط ارزیابی کلی از کیفیت آب را ارائه می‌دهند. در چند سال اخیر، مطالعاتی در خصوص ترکیب اثرات متغیرهای مختلف کیفی آب برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی و ماهیت آلودگی صورت گرفته است. محققین از روش‌های متعددی برای این منظور استفاده کرده‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به روش‌های گرافیکی، تحلیل خوشه‌ای و تحلیل عاملی اشاره کرد. روش تحلیل خوشه‌ای شامل چندین الگوریتم طبقه‌بندی شده متفاوت می‌باشند که هدف این الگوریتم‌ها اتصال متغیرها در داخل خوشه‌های بزرگ‌تر می‌باشند. یک نمونه از این خوشه، مجموعه سه‌تایی است که نتایج را در داخل سه خوشه به‌هم متصل می‌کند. رابطه بین پارامترها در داخل شاخه‌های سه‌تایی ظاهر می‌شود. شباهت بین پارامترها نسبت عکس با فاصله بین آنها در روی نمودار دارد (Gonzalez Vazquez et al., 2005).

تحلیل عاملی یا به‌عبارتی تحلیل مولفه‌های اصلی یک روش آماری چندمتغیره می‌باشند که هدف آن ساده کردن مجموعه‌های پیچیده و مختلفی است که بین متغیرهای مشاهده‌ای وجود دارد. در مطالعات آب زیرزمینی متغیرهای مشاهده‌ای در واقع آنیون‌ها، کاتیون‌ها و سایر عناصر موجود در ترکیب آب زیرزمینی را شامل می‌شوند که معرف کیفیت آب هستند. برخی از این متغیرها با هم دارای همبستگی هستند که می‌تواند نشان دهنده تاثیرپذیری یکسان آن‌ها از شرایط هیدروژئولوژی یا عامل تغییر کیفیت باشد. به‌عبارتی تحلیل عاملی، متغیرهای دارای همبستگی را به عوامل (مولفه‌های) جدیدی تبدیل می‌کند که همبستگی آن‌ها صفر است. این عوامل (مولفه‌ها) می‌تواند همان عوامل تاثیرگذار بر کیفیت آب زیرزمینی باشد.

محققین مختلفی از روش تحلیل مولفه‌های اصلی برای شناسایی عوامل موثر بر کیفیت آب زیرزمینی استفاده کرده‌اند. روش‌های تحلیلی مولفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای در جنوب شرق سئول جهت شناسایی فرایندهای موثر بر افزایش غلظت هیدروکربن‌ها و پارامترهای هیدروژئوشیمی از استفاده شده است (Lee et al., 2001). روش‌های گرافیکی و آماری چند متغیره (تحلیل عاملی و خوشه‌ای) جهت طبقه‌بندی داده‌های شیمی آب زیرزمینی (Guler et al., 2002) مورد استفاده قرار دادند. روش تحلیل مولفه‌ای اصلی برای بررسی رابطه بین کاربری اراضی و کیفیت آب رودخانه (Wayland et al., 2003)، ارزیابی کیفیت و تعیین منشاء آلودگی آبخوان (Ahmed et al., 2005)، بررسی عناصر نادر در آب زیرزمینی آبخوانی ساحلی در کشور چین (Chen et al., 2007)، بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب رودخانه‌ای در کشور چین (Bu et al., 2010)، بررسی تغییرات کیفی آب زیرزمینی در آبخوان ساحلی در شمال شرق تونس (Charfi et al., 2012)، تحلیل سری زمانی جهت تعیین متغیرهای شاخص در مدیریت بهره‌برداری آب زیرزمینی (Page et al., 2012)، تحلیل ژئوشیمی فلوراید در آب زیرزمینی در منطقه شانگی چین (Hu et al., 2012)، ارزیابی وجود فلوراید در آب زیرزمینی منطقه شمال گانا[1] (Salifu et al., 2012) و بررسی آلودگی آب زیرزمینی به آرسنیک در شرق کرواسی (Bošnjak et al., 2012) مورد استفاده قرار گرفته است.

دشت دزفول اندیمشک یکی از قطب‌های کشاورزی ایران محسوب می‌شود و به دلیل شرایط اقلیمی مناسب کشاورزی در تمام طول سال انجام می‌شود. سه شهر دزفول، اندیمشک و شوش از شهرهای عمده استان خوزستان در این دشت واقع شده‌اند. سیستم دفع فاضلاب در شهرهای یاد شده جذبی است. هم چنین حدود سه میلیارد متر مکعب

1. Ghana

آب سـطحی از طریق شـبکه در اختیار کشاورزی قرار می‌گیرد. مجموعه این عوامل به‌علاوه زمین‌شناسـی ویژه منطقه باعـث پیچیدگی شـرایط هیدروژئولوژی شده اسـت. شناسـایی و تفکیک عوامل تاثیرگذار بر کیفیت و آلودگی آب زیرزمینی در مدیریت کیفیت آب زیرزمینی منطقه و سـایر مناطق مشـابه بسیار مفید می‌باشند. هدف این تحقیق به کارگیری روش تحلیل مولفه‌های اصلی (تحلیـل عاملی) برای تعیین عوامل موثر برکیفیت و آلودگی آب زیرزمینی دشـت دزفول - اندیمشک می‌باشند.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی

محدوده مطالعاتی دزفول - اندیمشک با مساحتی حدود ۱۷۷۸ کیلومترمربع و مختصات جغرافیایی ´۰۳ و °۳۲ تا ´۳۳ و °۳۲ عرض شـمالی و ´۱۰ و °۴۸ تا ´۳۷ و °۴۸ طول شرقی در شـمال ـ شمال‌غرب استان خوزستان واقع شـده اسـت و مهمتریـن شـهرهای آن دزفول، اندیمشک و شوش می‌باشـند. شکل ۱ محدوده مورد مطالعه و موقعیت نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.

زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی

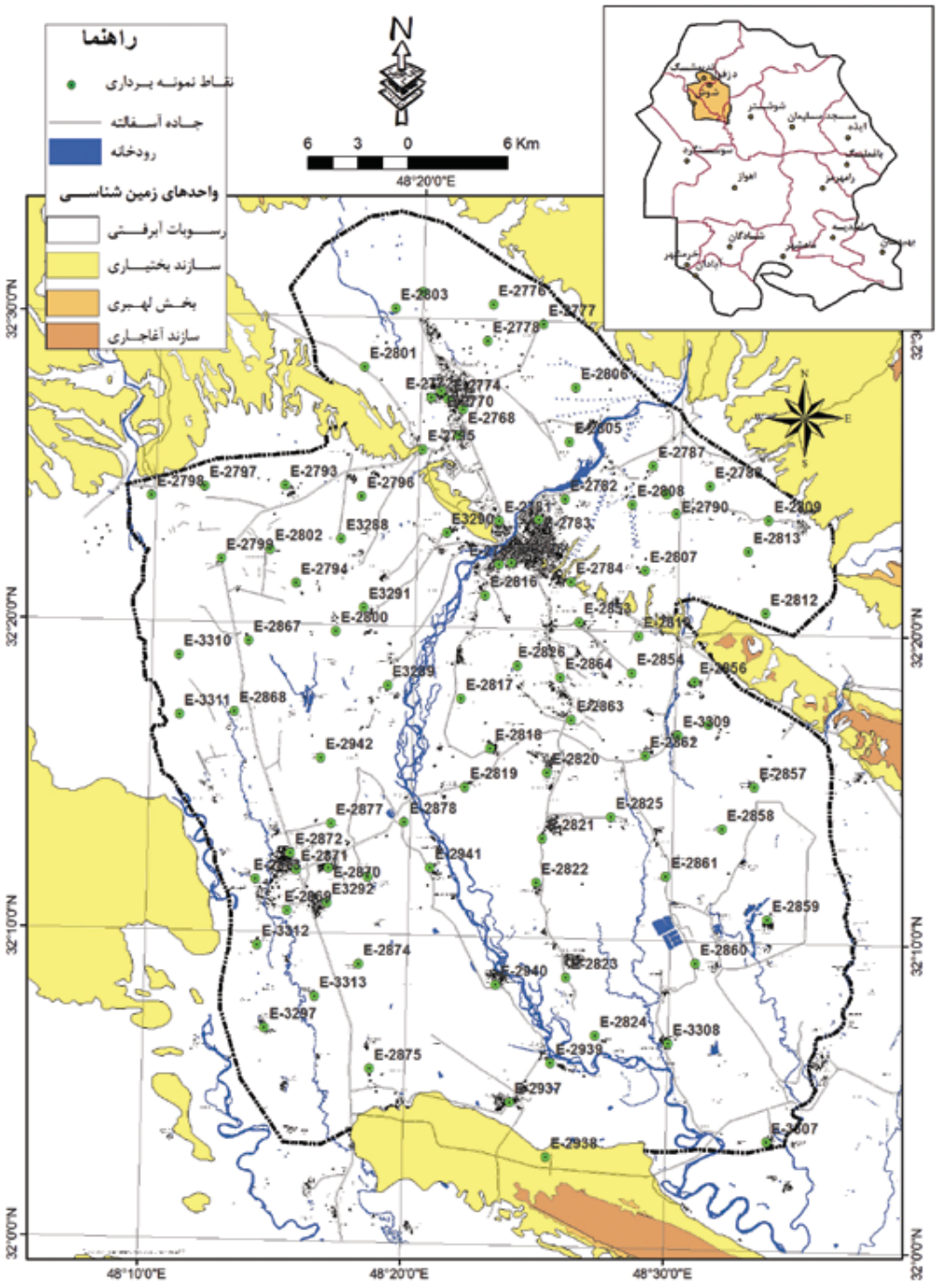
زمین‌شناسـی محدوده دشـت دزفول و ارتفاعات پیرامون آن عمدتاً از سازندهای آغاجاری و کنگلومرای بختیاری تشـکیل شـده‌اند. سـازند آغاجـاری از نظر لیتولوژی شـامل ماسه‌سـنگ‌های آهک‌دار قهوه‌ای ـ خاکستری، رگه‌های گچ، مارن‌های قرمز و سیلتستون می‌باشـند. سازند آغاجاری تقریباً در تمامی بخش‌های محدوده، سـازند بختیاری را احاطه کرده است. بخش لهبری از نظر لیتولوژی شـامل سیلتستون‌های هوازده نرم و گچ‌دار است که در آن لایه‌های مارن و ماسه‌سنگ و گچ نیز دیده می‌شـود. سـیمان بین دانه‌ای رسوبات بخش لهبری نسبتا سست است و به‌ویژه در برخی موارد میان‌لایه‌های ماسـه ای دارای تخلخل خوبی اسـت. سـازند بختیاری از قلوه سنگ‌های آهکی و چرت‌های محلی تشـکیل شده است که دارای سیمانی از آهک و گاها سیلیس می‌باشند.

آبرفت‌های دشـت دزفول - اندیمشک به طور کلی چهـار دسـته می‌باشـند. آبرفت‌هایی که منشـاء آنها کنگلومرای بختیاری است و بخش‌های شمالی تا میانی دشـت را فرا می‌گیرنـد. این آبرفت‌ها از قلوه، شـن و ماسه که در کنگلومرای بختیاری وجود دارند، تشکیل شده‌اند. آبرفت‌هایی که منشاء آنها از رسوبات آغاجاری و لهبری است شـامل رسـوبات دانه‌ریز رس و سیلت و گاهی شـن و ماسـه یا مخلوطی از آن‌ها است. این نوع آبرفت‌ها بیشـتر در قسـمت جنوب و شرق دشت دز گسـترش دارند. آبرفت‌هایی که منشاء رودخانه‌ای و سیلابی دارند، در بستر جدید و قدیم رودخانه‌های دز، کرخه، بالا رود و کهنک دیده می‌شوند.

آبخـوان دشـت دزفول - اندیمشـک در بخش‌های شـمالی از نوع آزاد است و در بخش‌های جنوبی حوالی شوش و هفت تپه علاوه بر آبخوان آزاد، آبخوان تحت فشار هم وجود دارد (شکل ۲). در آبخوان دزفول - اندیمشک برخلاف اکثر دشـت‌های ایران، حداکثر تراز سـطح آب زیرزمینی در ماه‌های مهر و آبان و حداقل تراز در ماه‌های بهمن و اسـفند رخ می‌دهد. کاربری غالب در این دشت کشاورزی است. بیش از ۹۰ درصد آب کشاورزی دشت از شبکه آبیاری پایین دست سد دز تامین می‌شود. با توجه به اقلیم گرم و خشـک منطقه کشاورزی در تمام فصول سال انجام می‌شوند. لذا برای افزایش بازدهی کشاورزی انـواع کودها مورد اسـتفاده قرار می‌گیـرد که کودهای نیتروژنه از مهمترین آنها محسـوب می‌شـود. برداشت بسـیار کم از آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی و آبیاری به روش غرقابی از آب سطحی در طول سالیان گذشته باعث بالا آمدن سطح آب زیرزمینی شده است. بـرای جلوگیری از تخریب خـاک زهکش‌های متعددی در سـطح دشت احداث شده اسـت که آب زیرزمینی را

زهکشـــی کرده و به رودخانـــه دز منتقل می‌کنند. دبی متوســـط مجموع این زهکش‌ها از ۴۰ تا ۴۵ متر مکعب در ثانیه تغییر می‌کند. زهکش عجیرب یکی از اصلی‌ترین زهکش‌های دشت محسوب می‌شود که دبی متوسط آن حدود ۹ متر مکعب بر ثانیه می‌باشند.

عمق آب زیرزمینی در قسمت‌های شمالی دشت بیش از بقیه نقاط دشـــت است و از حدود ۸۸ متر در شمال غربی منطقه حوالی دو کوهه تا سه متر در قسمت‌های جنوبـــی حوالی هفت تپه متغیر اســـت. در بیش از ۶۰ درصد گستره دشت عمق آب زیرزمینی کمتر از ۱۰ متر



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری دشت دزفول - اندیمشک

می‌باشند. به طور کلی می‌توان گفت که رودخانه دز و ارتفاعات کنگلومرایی شمال دشت از منابع تغذیه کننده آب‌های زیرزمینی منطقه هستند و جهت جریان آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (شکل ۲). جهت کلی جریان از شمال به سمت جنوب دشت می‌باشند. بدلیل بالاآمدگی سنگ کف در محدوده تاقدیس سردارآباد خروجی زیرزمینی برای آب‌های زیرزمینی وجود ندارد بنابراین آب زیرزمینی به رودخانه‌ها و زهکش‌ها تخلیه می‌شود.

نمونه‌برداری و آنالیز شیمیایی

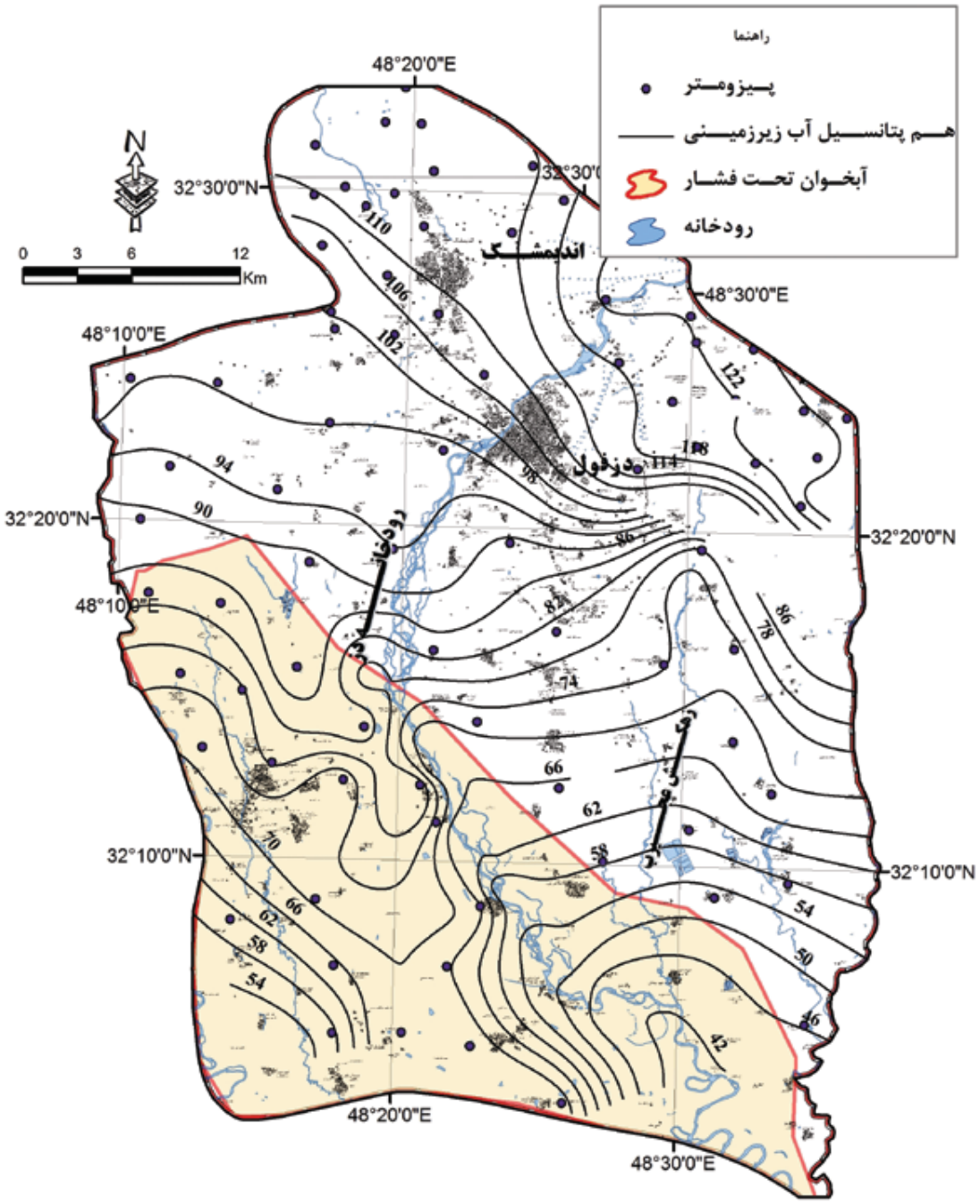
نمونه‌برداری از آب زیرزمینی در اردیبهشت ماه سال ۱۳۸۸ (دوره خشک) انجام شد. موقعیت نقاط نمونه‌برداری براساس قضاوت کارشناسی طوری انتخاب شده محدوده دشت را به طور کامل پوشش دهد. با توجه به گستردگی شبکه آبیاری در سطح دشت، آب‌های زیرزمینی تنها ۸ درصد از مصارف آب را تامین می‌کند. پراکنش چاه‌های آب در سطح منطقه مناسب نمی‌باشند، بویژه در بخش‌های جنوبی فقط به چاه‌های شرب روستایی و یا شهری محدود می‌شود. در این تحقیق ۹۶ نمونه آب زیرزمینی از کل سطح دشت برداشت شده است. در بخش‌های جنوبی دشت بدلیل نمونه‌برداری از چاه‌های آب زیرزمینی، در صورت خاموش بودن پمپ، پس از تخلیه حجمی معادل سه برابر حجم لوله‌های آب داخل چاه‌ها در ۱۵-۱۰ دقیقه پس از شروع پمپاژ صورت گرفته است. نمونه‌برداری با رعایت استانداردهای نمونه‌برداری و در ظروف پلاستیکی ۱/۵ لیتری برداشت شده و در دمای زیر ۴ درجه سانتی‌گراد پس از حدود ۱۸ ساعت به آزمایشگاه موسسه تحقیقات پیشرفته فرآوری مواد معدنی ایران منتقل شده است. پارامترهای هدایت الکتریکی، PH، دما و اکسیژن محلول (DO) به صورت درجا همزمان با نمونه‌برداری با استفاده از دستگاه Multi 350i WTW (Germany)اندازه‌گیری شده است.

آنیون‌ها و کاتیون‌ها و برخی از عناصر نادر در نمونه‌های آب زیرزمینی بر اساس روش استاندارد آزمایش آب و پساب (Standard methods for Examination of the Water and Wastewater Analysis، 1985) اندازه‌گیری شده است. آنیون‌ها با استفاده از کروماتوگرافی و کاتیون‌ها با استفاده از ICP-MS آنالیز شده‌اند.

تبدیل متغیرها به عامل‌ها با استفاده از روش آماری تحلیل مولفه‌های اصلی قبل از انجام عملیات تحلیل عاملی، توزیع تمامی متغیرها نرمال شدند. برای محاسبه مولفه‌ها (عامل‌ها) از نرم‌افزار SPSS استفاده شده است. عوامل استخراج شده در این مطالعه، در واقع فرآیندهای شیمیایی مستقل هستند که به صورت توام بر کیفیت آب زیرزمینی تاثیر گذاشته‌اند. با بررسی میزان بارگذاری[1] عوامل و مقدار ویژه آن‌ها، هر کدام از عوامل به یک پدیده یا فرآیند ژئوشیمیایی نسبت داده می‌شود. ممکن است برخی از پارامترها، در بیش از یک عامل مقدار ویژه بیشتری را به خود اختصاص دهند. این شرایط بدین دلیل است که چنین پارامترهایی در بیش از یک فرآیند ژئوشیمیایی وجود دارند. و در نهایت، عدد مربوط به عامل برای هر نمونه آب زیرزمینی محاسبه می‌شود که نشان‌دهنده اهمیت آن عامل در آن نمونه و موقعیت است (Klovan، 1975).

برای تعیین اهمیت منطقه‌ای فرآیندهای مختلف که توسط عامل‌ها نمایش داده می‌شود، نقشه کنتوری ترسیم شده است. Dalton and Upschurch (1978) نشان داده‌اند که امتیاز هر عامل به شدت تاثیر آن عامل (فرآیند هیدروژئوشیمیایی) مربوط می‌شود. بدین معنی که مقادیر منفی نشان‌دهنده عدم تاثیر عامل مذکور است و مقادیر مثبت نشان‌دهنده تاثیرگذاری بالای عامل و امتیازات نزدیک به صفر نشان‌دهنده تاثیرگذاری متوسط عامل در کیفیت آب می‌باشند.

1. Loading



شکل ۲. نقشه هم پتانسیل آب زیرزمینی دشت دزفول-اندیمشک و محدوده آبخوان تحت فشار

نتایج و بحث

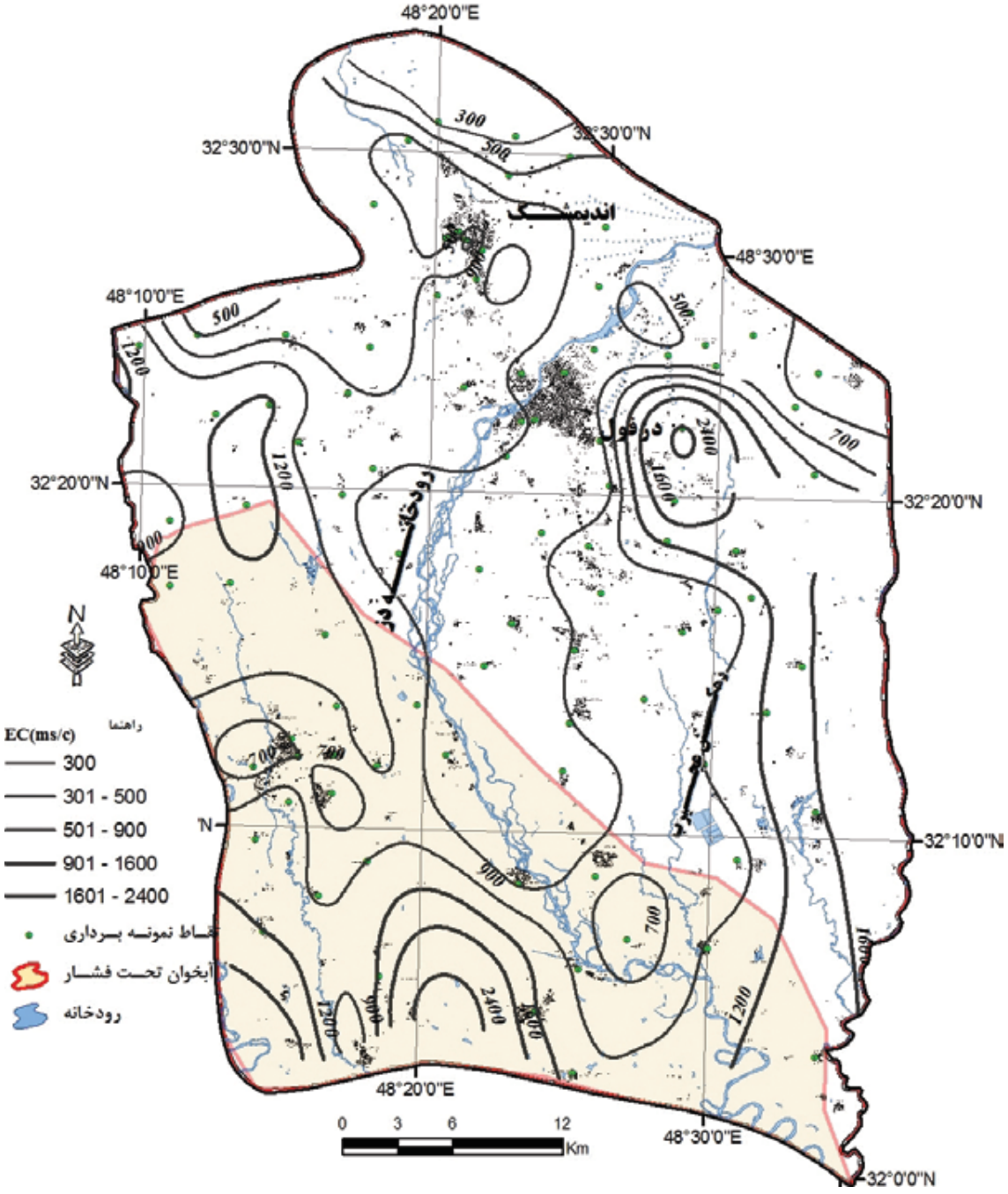
برای بررسی کلی کیفیت آب زیرزمینی دشت دزفول اندیمشک از پارامتر هدایت الکتریکی استفاده شده است. بالا بودن میزان هدایت الکتریکی آب به دلیل افزایش یون‌های محلول در آب اتفاق می‌افتد. آب زیرزمینی معمولاً در طول مسیر حرکت خود بر میزان املاح آن افزوده می‌شود و بدین‌ترتیب هدایت الکتریکی نیز افزایش می‌یابد (البته اختلاط آب‌های با منشاهای مختلف و شرایط خاص نیز تاثیرگذار است). به همین دلیل نقشه هدایت الکتریکی به عنوان ابزار کمکی برای شناسایی محل‌های تغذیه و تخلیه آبخوان مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تغییرات هدایت الکتریکی

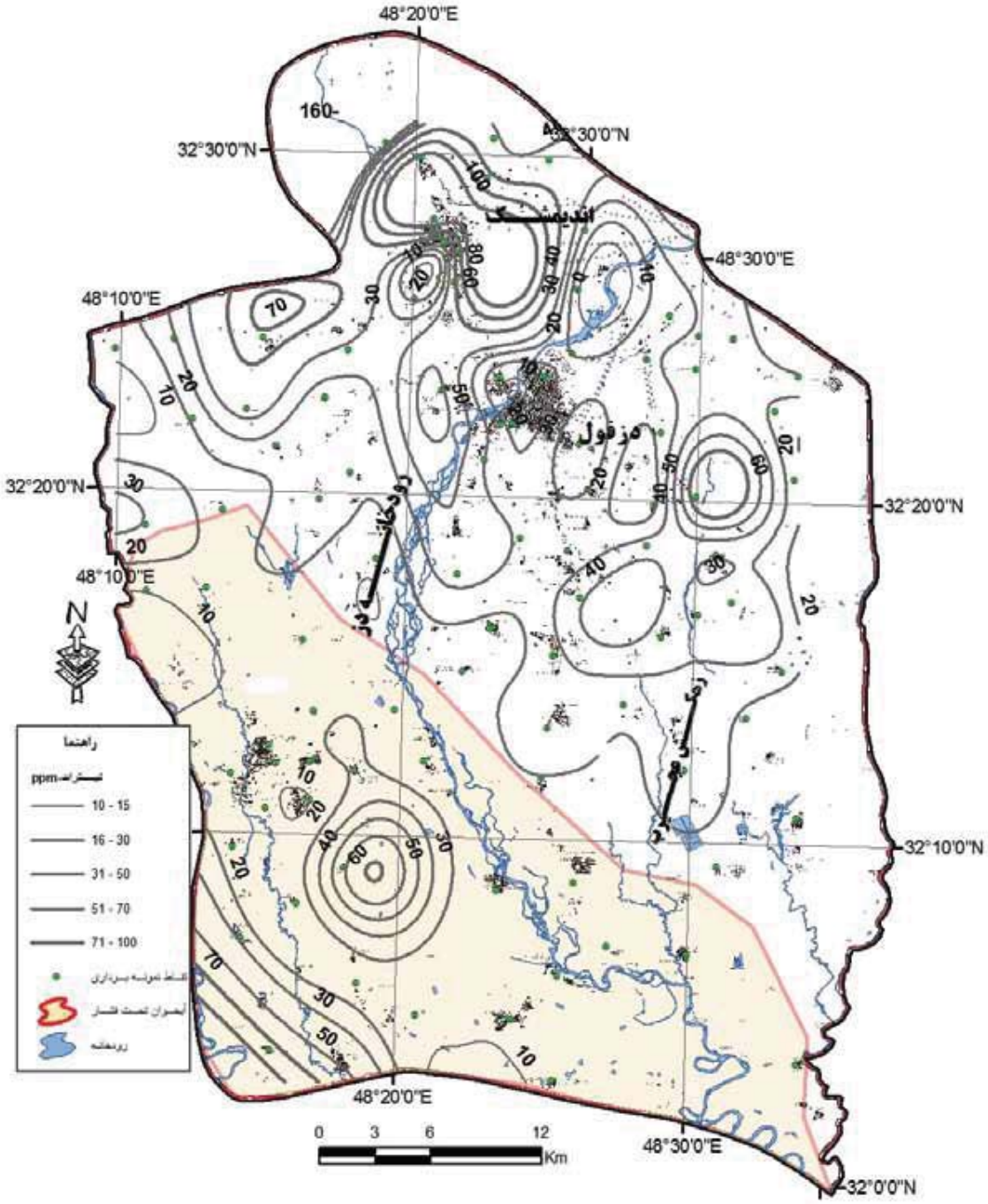
روند کلی منحنی‌های هم‌ارزش هدایت الکتریکی دشت دزفول اندیمشک از شمال به جنوب افزایش نشان می‌دهد (شکل ۳). در این نقشه نقش مهم رودخانه دز در تغذیه دشت دزفول اندیمشک مشهود است. میزان هدایت الکتریکی از رودخانه دز به سمت شرق و غرب افزایش می‌یابد. یکی از دلایل افزایش هدایت الکتریکی در شرق شهر دزفول و در جنوب دشت رخنمون بخش لهبری سازند آغاجاری است.

تغییرات غلظت نیترات

نیترات موجود در آب زیرزمینی از منابع مختلفی می‌تواند باشد. بیشترین تغییرات غلظت نیترات در آب زیرزمینی دشت دزفول - اندیمشک در محدوده شهر اندیمشک می‌باشند (شکل ۴). در شمال غرب و شمال شرق دشت غلظت نیترات بیش از حد مجاز شرب (۴۵ میلی‌گرم بر لیتر) است. با توجه به اینکه تمام آب شرب شهرها و روستاها از آب زیرزمینی تامین می‌شود، لذا خطرات جدی سلامت مردم را در مناطقی که نیترات بیش از حد مجاز است، تهدید می‌کند. روند کلی تغییرات غلظت نیترات کاهش آن از شمال به جنوب می‌باشند. این در حالی است که تقریباً شرایط کاربری اراضی در کل دشت یکسان است. با توجه به تغییرات غلظت نیترات و کاربری اراضی می‌توان بیان کرد که دانه‌بندی رسوبات و شرایط هیدروژئولوژی نقش تعیین کننده‌ای در توزیع غلظت نیترات دارند. در مناطق شمالی دشت آبخوان از رسوبات دانه درشت شن و ماسه تشکیل شده است، نفوذپذیری در این رسوبات زیاد می‌باشند. نفوذپذیری زیاد رسوبات زمان ماندگاری نیترات در زون غیراشباع را کاهش می‌دهد و بدون آن‌که فرصت استفاده کامل نیترات توسط گیاهان و نیترات زدایی توسط باکتری‌ها فراهم شود، توسط جریان عمودی آب در زون غیر اشباع شسته و در مدت زمان کوتاهی به آب زیرزمینی منتقل می‌شود. افزایش غلظت نیترات در محدوده شهرهایی مثل اندیمشک در شمال غربی دشت احتمالا بدلیل نفوذ نیترات به آب زیرزمینی از چاه‌های جذبی است. غلظت نیترات در چاه‌های پیرامون رودخانه دز حدود ۱۰ میلی‌گرم در لیتر است که با دور شدن از رودخانه بر غلظت نیترات افزوده می‌شود. نیترات موجود در آب رودخانه در ابتدای ورود به دشت پنج میلی‌گرم بر لیتر است. کم بودن غلظت نیترات در چاه‌های پیرامون رودخانه با نقش تغذیه‌کننده آن مرتبط است. نقشه هم ارزش غلظت نیترات روند کاهشی از شمال به جنوب نشان می‌دهد. در نیمه جنوبی دشت غلظت نیترات تا ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌رسد. در بخش‌های جنوبی دشت، نفوذ نیترات از سطح زمین به لایه تحت فشار عملا امکان‌پذیر نیست. نیترات موجود در این چاه‌ها احتمالا مربوط به قسمت شمالی دشت است. هم‌چنین در بخش‌هایی از آبخوان که غلظت نیترات کم است عمق برخورد به آب زیرزمینی کم می‌باشند و زهکش‌های متعدد و بزرگی شکل گرفته است. بخش قابل توجهی از نیترات موجود در آب زیرزمینی در این بخش‌ها از طریق زهکش‌ها تخلیه می‌شود.



شکل ۳. نقشه تغییرات هدایت الکتریکی در محدوده دشت دزفول-اندیمشک



شکل ۴. نقشه هم غلظت نیترات دشت دزفول - اندیمشک (بر حسب میلی‌گرم بر لیتر)

نتایج تحلیل عاملی

نتایج ماتریس همبستگی پارامترهای هیدروشیمایی آنالیز نمونه‌های آب زیرزمینی دشت دزفول در جدول ۱ ارائه شده است. بیشترین همبستگی مربوط به پارامترهای منیزیم با کلسیم، منیزیم و کلسیم با سولفات و سدیم با کلر می‌باشند. همبستگی پارامترهای سدیم و کلر با منیزیم و کلسیم بسیار کم می‌باشند. این مسئله نشان‌دهنده منشاء متفاوت عناصر فوق در آب‌های زیرزمینی منطقه است. غلظت نیترات به طور طبیعی در آب‌های زیرزمینی نزدیک به صفر است، این در حالی‌است که در نمونه‌های آب زیرزمینی دشت دزفول - اندیمشک بیش از ۱۰ میلی گرم بر لیتر می‌باشند. همبستگی نیترات تقریباً با تمام پارامترها نزدیک به صفر است و با برخی از پارامترها مانند کلر و سدیم دارای همبستگی منفی است. با توجه به زمین‌شناسی پیرامون دشت و دانه‌بندی آبخوان به نظر می‌رسد منشاء اصلی سدیم و کلر رسوبات دانه ریز فرسایش سازندهای آغاجاری و لهبری باشد که حاوی مقادیری نمک نیز می‌باشند.

جدول ۱. نتایج همبستگی متغیرهای کیفیت آب زیرزمینی دشت دزفول - اندیمشک

	Alkalinity	SO_4	Cl	NO_3	TDS	EC	Ca	Mg	Na
Alkalinity	1								
SO_4	-0.04	1.00							
Cl	0.06	0.23	1.00						
NO_3	0.05	-0.18	-0.17	1.00					
TDS	0.13	0.78	0.57	-0.14	1.00				
EC	0.14	0.77	0.76	-0.13	0.88	1.00			
Ca	0.01	0.86	0.14	-0.01	0.65	0.63	1.00		
Mg	0.17	0.89	0.18	-0.04	0.73	0.73	0.83	1.00	
Na	0.11	0.41	0.93	-0.25	0.68	0.84	0.20	0.30	1.00
K	0.17	0.10	0.15	-0.07	0.20	0.23	-0.08	0.24	0.18

تحلیل عاملی بر روی ۹۶ نمونه آب زیرزمینی انجام شده است و نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است. در تحلیل عاملی از n تا متغیر که دارای همبستگی هستند، می‌توان n عامل بدون همبستگی استخراج کرد. معمولاً عامل اول بیشترین واریانس را به خود اختصاص می‌دهد و به تدریج عامل‌های بعدی از واریانس کمتری برخوردار هستند (جدول ۳). برای ارائه مناسب نتایج، بهتر است کمترین عامل‌ها با بیشترین واریانس انتخاب شوند زیرا عاملی که دارای واریانس کمی است نشان‌دهنده این است که نقش این عامل در تمامی نمونه‌ها کم می‌باشند و نقش چندانی نسبت به پارامترهای دارای واریانس بالا ایفا نمی‌کند. در این تحقیق چهار عامل اول که واریانسی حدود ۸۸ درصد از کل واریانس داده‌ها را دارند، انتخاب شده است.

جدول ۲. نتایج تحلیل عاملی بر روی ۹۶ نمونه آب زیرزمینی دشت دزفول - اندیمشک

ماتریس عامل‌ها

	عامل			
	1	2	3	4
Alkalinity	.134	.115	.769	.102
SO_4	.867	-.421	-.108	-.133
Cl^-	.644	.687	-.142	.230
NO_3	-.195	-.268	.324	.800
TDS	.927	.002	.011	.039
EC	.972	.158	-.001	.114
Ca	.741	-.587	-.104	.064
Mg	.826	-.464	.190	-.089
Na	.751	.615	-.119	.123
K	.233	.241	.624	-.451

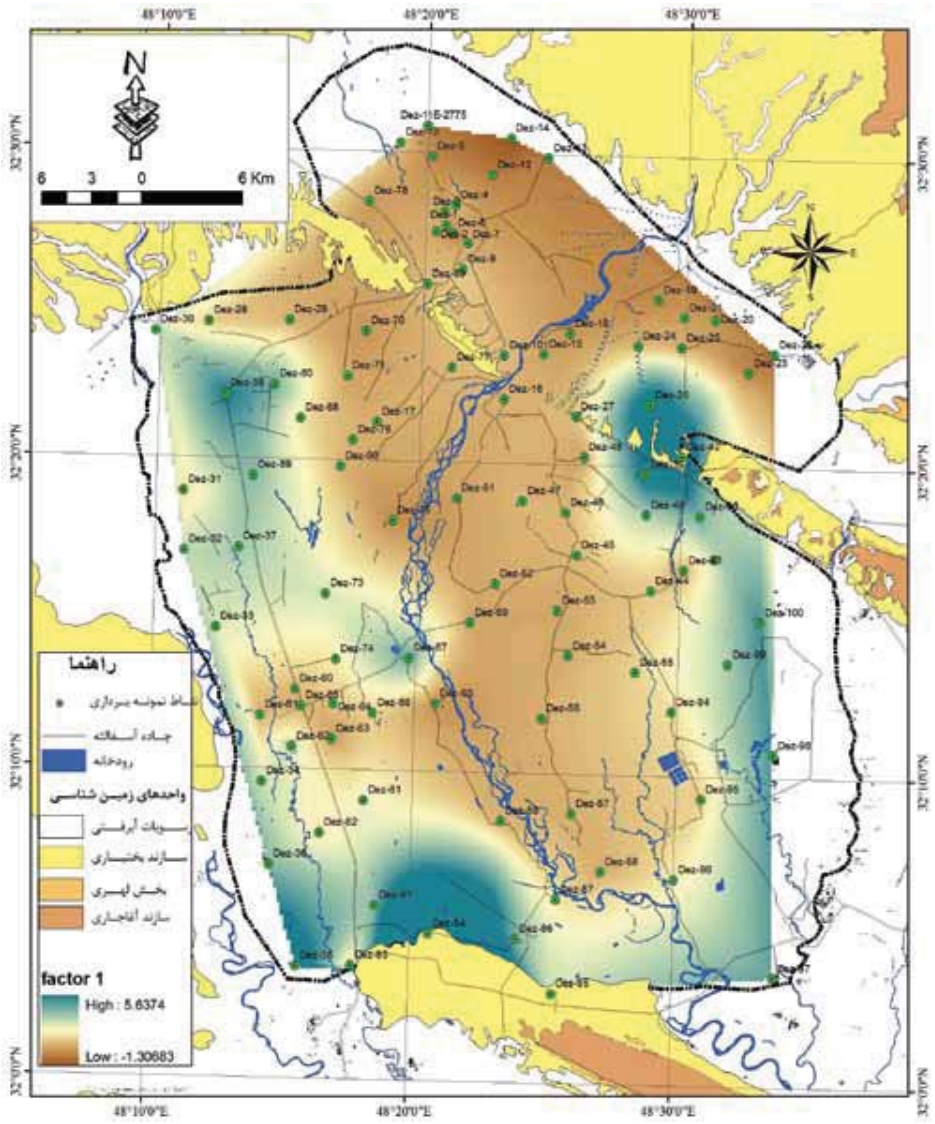
روش استخراج: تحلیل مولفه‌های اصلی.

در عامل اول تمامی متغیرها به جز نیترات دارای بار عاملی مثبت هستند و متغیرهای Mg^{2+}، Ca^{2+}، SO_4^{2-}، Na^+ و K^+ دارای بار عاملی مثبت بالایی هستند. متغیرهای EC و TDS نیز بدلیل تاثیرپذیری از کل متغیرها دارای بار عاملی مثبت بالایی می‌باشند. با توجه به اینکه اکثر متغیرها دارای بار عاملی مثبت هستند بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که عامل اول به اثر رسوبات تشکیل‌دهنده آبخوان مربوط می‌شود که در جهت جریان آب زیرزمینی افزایش می‌یابد. هر قدر رسوبات تشکیل‌دهنده آبخوان ریزدانه‌تر باشند سرعت حرکت آب زیرزمینی آهسته‌تر می‌باشند و میزان املاح آب زیرزمینی افزایش می‌یابد. با این فرض میزان بارگذاری در نمونه‌های آب زیرزمینی در گستره دشت بایستی مطابق با دانه‌بندی رسوبات و سازندهای زمین‌شناسی پیرامون آبخوان باشد. به این ترتیب در مناطقی که رسوبات ریزدانه‌تر می‌باشند، میزان بارگذاری مثبت و در مناطقی که رسوبات دانه‌درشت‌تر هستند، میزان بارگذاری کم و حتی منفی می‌باشند. میزان بارگذاری هر کدام از نمونه‌ها در عامل اول از نرم‌افزار SPSS استخراج و در محیط GIS با استفاده از روش کریجینگ معمولی برای تهیه نقشه میزان بارگذاری نمونه‌ها در عامل اول درونیابی شده است (شکل ۵). نقشه میزان بارگذاری نمونه‌ها توزیع مکانی عوامل تاثیرگذار را نشان می‌دهند. انطباق بسیار خوبی بین دانه‌بندی رسوبات دشت، زمان سیر و ماندگاری آب زیرزمینی و میزان بارگذاری در این عامل مشاهده می‌شود. از شمال دشت به سمت جنوب و در جهت جریان آب زیرزمینی بارگذاری عامل اول در چاه‌ها افزایش نشان می‌دهد. همچنین برخورد چاه‌ها به رسوبات دانه‌ریز در شرق و غرب دشت که در محدوده تاقدیس‌ها حفر شده‌اند، باعث افزایش هم‌زمان کلر، سدیم، کلسیم، منیزیم، سولفات و پتاسیم می‌شود. در ابتدای مسیر ورود آب زیرزمینی به دشت این عامل به اثر رسوبات رسی و دانه‌ریز حاوی نمک سازندهای شور لهبری و آغاجاری مربوط می‌شود. نیترات در این عامل دارای بار عاملی منفی است و بیانگر این است که نیترات در سازندهای زمین‌شناسی منطقه وجود ندارد بلکه از منابع دیگر منشا می‌گیرد.

جدول ۳. واریانس کل نمونه‌ها و واریانس عامل‌های استخراج شده

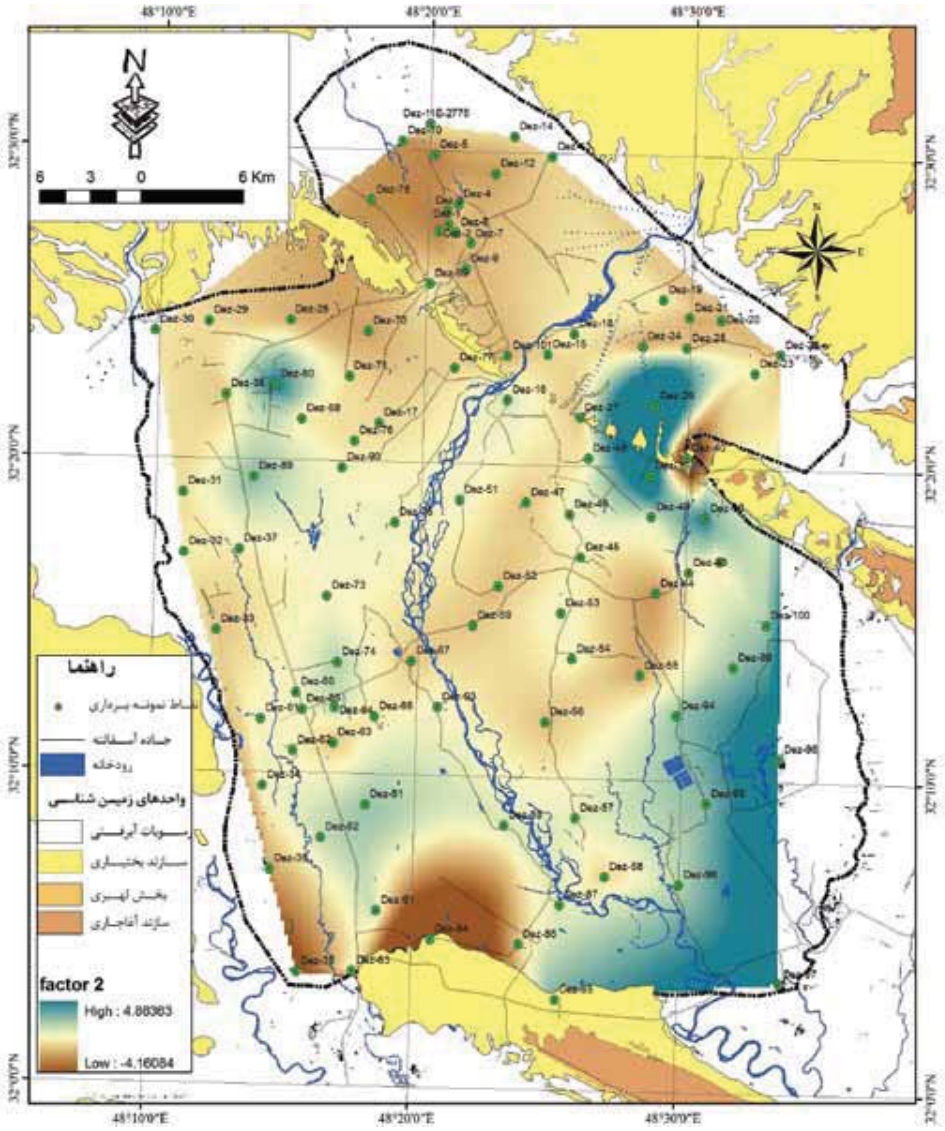
Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	4.875	48.755	48.755	4.875	48.755	48.755
2	1.755	17.555	66.310	1.755	17.555	66.310
3	1.179	11.791	78.100	1.179	11.791	78.100
4	.965	9.654	87.754	.965	9.654	87.754
5	.806	8.059	95.814			
6	.185	1.850	97.663			
7	.128	1.281	98.945			
8	.081	.808	99.753			
9	.016	.156	99.909			
10	.009	.091	100.000			

Extraction Method: Principal Component Analysis.



شکل ۵. میزان بارگذاری عامل اول در نمونه‌های آب زیرزمینی

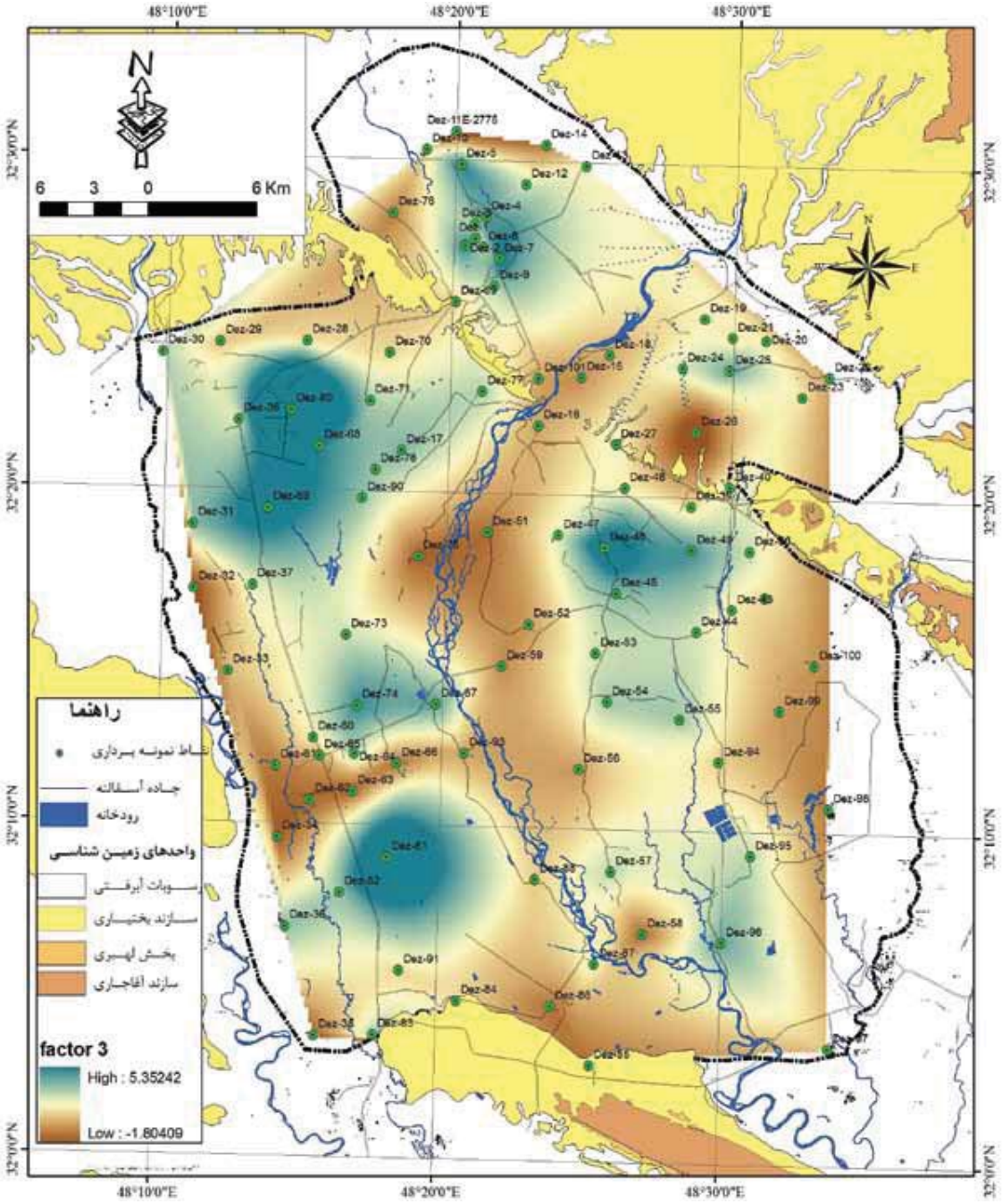
در عامل دوم کلر و سـدیم دارای بار عاملی مثبت و متغیرهای Ca^{2+}، Mg^{2+} و SO_4^{2-} دارای بار عاملی منفی می‌باشند. کلر و سدیم هم در عامل اول و هم در عامل دوم حضور دارند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که وجود این متغیرها (سدیم و کلر) در آب زیرزمینی حداقل از دو عامل ناشی می‌شود. عامل اول که باعث افزایش غلظت این عناصر به همراه عناصر دیگر می‌شود، به دانه‌بندی رسـوبات مربوط اسـت و عامل دوم که منحصرا باعث افزایش کلر و سـدیم و تا حدودی پتاسـیم می‌شود، به وجود نمک‌هایی مانند هالیت و سیلویت مربوط می‌شود که در رسـوبات سـازند لهبری یافت می‌شوند. سازند لهبری در محدوده آبخوان در هسته تاقدیس‌ها رخنمون دارد. هم‌چنین رودخانه شور (کهنک) که از مرز شرقی منطقه عبور می‌کند از مناطقی سرچشـمه می‌گیرد که بخش قابل توجهی از منطقه توسط سازندهای آغاجاری و لهبری رخنمون دارند. انحلال نمک سـازندهای یاد شـده در آب رودخانه شـور و تغذیه آبخوان توسط این رودخانه در مرز شرقی باعث افزایش املاح و بویژه کلر و سـدیم در آب زیرزمینی می‌شود. نقشه میزان بارگذاری هر نمونه برای عامل دوم در شکل ۶ ارائه شده است.



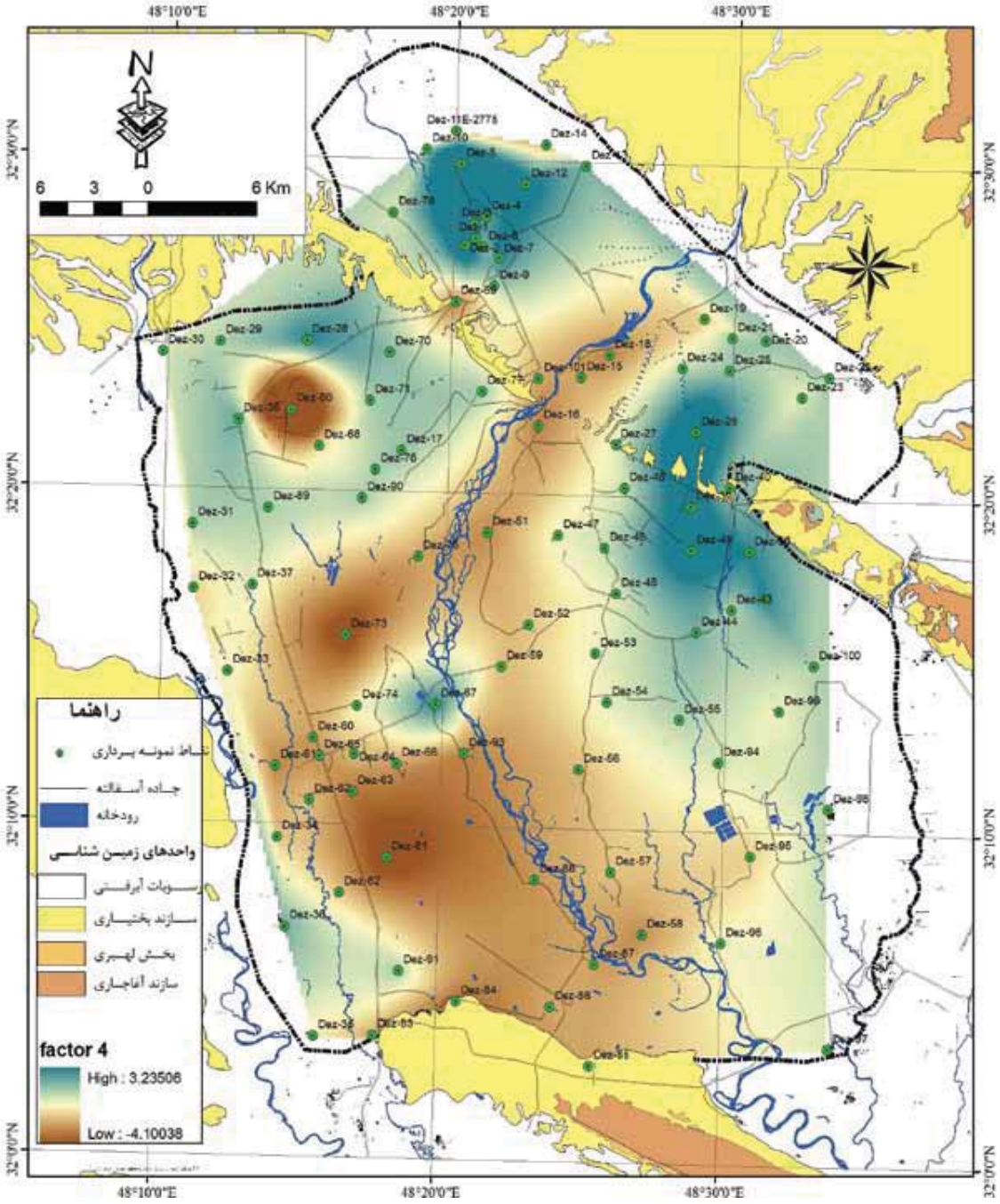
شکل ۶ . میزان بارگذاری عامل دوم در نمونه‌های آب زیرزمینی

در عامل سوم نیترات، پتاسیم و بی‌کربنات دارای بار عاملی بیشتری هستند. نیترات هم در عامل سوم و هم عامل چهارم حضور دارد که نشان‌دهنده این است که نیترات موجود در آب زیرزمینی دشت دزفول - اندیمشک حداقل از دو عامل منشا می‌گیرد. میزان بارگذاری در عامل سوم کمتر از عامل چهارم است یعنی اینکه درصد کمتری از نیترات از عامل سوم ناشی می‌شود. در عامل سوم علاوه بر نیترات، پتاسیم و بی‌کربنات نیز نسبت به سایر متغیرها بار عاملی بالایی دارند. همراهی پتاسیم و بی‌کربنات با نیترات در عامل سوم احتمالا به تاثیر پساب کشاورزی بر آب زیرزمینی مربوط می‌شود. زیرا که بخش اعظمی از منطقه از طریق شبکه آبیاری می‌شود و آب شبکه که از رودخانه دز تامین می‌شود دارای تیپ بی‌کربناته است، بنابراین پساب نفوذی ناشی از کشاورزی نیز بی‌کربناته خواهد بود که حاوی مقادیری نیترات و فسفات ناشی از مصرف کودهای شیمیایی نیز هست. بنابراین عامل سوم می‌تواند به اثر پساب کشاورزی بر آب زیرزمینی نسبت داده شود. لازم به ذکر است که در بخش‌های شمال غربی دشت (منطقه لور ـ اندیمشک) شبکه آبیاری گسترش ندارد ولی آب زیرزمینی در این منطقه تیپ بی‌کربناته دارد و تفسیر ارائه شده برای عامل سوم در این منطقه نیز معتبر است. نقشه توزیع میزان بارگذاری برای نمونه‌های آب زیرزمینی در شکل ۷ نشان داده شده است. به‌جز محدوده تحت تاثیر رودخانه‌ها و تاقدیس‌ها در بقیه قسمت‌های دشت، عامل سوم (پساب کشاورزی) اثرگذار می‌باشند.

در عامل چهارم نیترات دارای بیشترین بار عاملی است. در منطقه مورد مطالعه دو منشاء برای آلودگی نیترات می‌توان در نظر گرفت: یکی نیترات ناشی از چاه‌های جذبی شهرها، شهرک‌ها و روستاها و دیگری نیترات ناشی از فعالیت‌های کشاورزی. نقشه میزان بارگذاری عامل چهارم (شکل ۸) نشان می‌دهد که عامل چهارم به اثر چاه‌های جذبی شهرها، شهرک‌ها و روستاها مربوط می‌شود. چاه‌هایی که در این عامل، میزان بارگذاری بالایی نشان می‌دهند در محدوده شهرها و روستاها و دامداری‌ها حفر شده‌اند. دلیل اثرگذاری بیشتر این عامل در بخش‌های شمالی دشت به دانه‌بندی رسوبات نیز مربوط می‌شود بدین ترتیب که آلودگی ناشی از چاه‌های جذبی در نواحی شمال دشت به دلیل وجود رسوبات درشت دانه با محدودیت کمتری نسبت به نواحی جنوبی دشت وارد آب زیرزمینی می‌شوند. در نواحی جنوبی دشت رسوبات دانه‌ریز مانع از نفوذ زیاد نیترات به آب زیرزمینی می‌شوند. از طرفی دیگر در شهرهای جنوبی مانند شوش به‌جای چاه‌های جذبی از تانک‌های سپتیک استفاده می‌شود. هم‌چنین به‌جز یکی از چاه‌های نمونه‌برداری، تقریباً تمام چاه‌های نمونه‌برداری در نواحی جنوبی عمیق می‌باشند و عمدتاً از لایه محبوس آب برداشت می‌کنند، لذا نیترات نفوذی از سطح کمتر به لایه محبوس می‌رسد.



شکل ۷ . میزان بارگذاری عامل سوم در نمونه‌های آب زیرزمینی



شکل ۸ . میزان بارگذاری عامل چهارم در نمونه‌های آب زیرزمینی

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج تحلیل مولفه‌های اصلی، چهار عامل تعامل آب با رسوبات تشکیل‌دهنده آبخوان، کانی‌ها نمکی موجود در سازند لهبری، پساب کشاورزی و پساب شهری و روستایی عوامل موثر بر کیفیت آب زیرزمینی دشت دزفول - اندیمشک می‌باشند. در عامل اول بجز نیترات بقیه متغیرها دارای بار عاملی مثبت هستند. عامل اول که باعث افزایش اکثر متغیرها در آب زیرزمینی می‌شود، اثر تعامل آب زیرزمینی با سازندهای زمین‌شناسی است که با کاهش اندازه دانه‌بندی رسوبات اثر این عامل بیشتر می‌شود. عامل دوم که در ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی دشت دزفول - اندیمشک تاثیرگذار است و باعث افزایش کلر و سدیم و تا حدودی پتاسیم می‌شود، نمک‌های موجود در سازند لهبری و آغاجاری است. عامل سوم تاثیرگذار بر کیفیت آب زیرزمینی دشت دزفول - اندیمشک پساب ناشی از فعالیت‌های کشاورزی است. آب مورد استفاده در کشاورزی دشت دزفول - اندیمشک در اکثر نواحی ترکیب بی‌کربناته دارد و بالا بودن بار عاملی بی‌کربنات به همراه نیترات و پتاسیم در عامل سوم می‌تواند نشانگر ارتباط این عامل با پساب کشاورزی باشد. در عامل چهارم نیترات بیشترین بار عاملی مثبت را دارد و موقعیت نمونه‌های که دارای میزان بارگذاری بالایی هستند نشان می‌دهد که عامل چهارم به اثر چاه‌های جذبی شهرها، شهرک‌ها، روستاها و دامداری‌ها مربوط می‌شود.

منابع

- قره محمودلو، م.، رقیمی، م.، صفارزاده، ع. و خدایی ک.، ۱۳۸۷، استفاده از روش‌های گرافیکی و آماری چند متغیره در تعیین عوامل موثر بر کیفیت آب زیرزمینی شهر بندر گز، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۷، ۱۳-۲۳.
- Ahmed, S.M., Hussein, M. and Abderrahman, W., 2005. Using multivariate factor analysis to assess surface/logged water quality and source of contamination at a large irrigation project at Al-Fadhli, Eastern Province, Saudi Arabia. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 64, 319-327.
- American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation, 1985. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington, D.C.
- Bošnjak, M.U., Capak, K., Jazbec, A., Casiot, C., Sipos, L., Poljak, V. and Dadić Z., 2012. Hydrochemical characterization of arsenic contaminated alluvial aquifers in Eastern Croatia using multivariate statistical techniques and arsenic risk assessment. Science of the Total Environment, 420, 100- 110.
- Bu, H., Tan, X., Li, S. and Zhang Q., 2010. Temporal and spatial variations of water quality in the Jinshui river of the south Qinling Mts., China. Ecotoxicology and Environmental Safety, 73, 907-913.
- Charfi, S., Zouari, K., Feki, S. and Mami, E., 2012. Stud y of variation in groundwater quality in a coastal aquifer in north-eastern Tunisia using multivariate factor analysis. Quaternary International2), http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint. 2012.11.002.
- Chen, K., Jiao, J.J., Huang, J. and Huang R., 2007. Multivariate statistical evaluation of trace elements in groundwater in a coastal area in Shenzhen, China. Environmental Pollution, 147, 771-780.
- Dalton, M.G. and Upschurch, S.B., 1978. Interpretation of hydrochemical facies by factor analysis. Groundwater, 6, 228- 233.
- George, V.S., Bouwer, H. and Peter, J.W., 1987. Irrigation effects in Arizona and

New Mexico. Journal of Irrigation and Drainage of Engineering،113،30-48.

- Gonzalez Vazquez، J. C.، Grande، J.A.، Barragan، F.J.، Ocana، J.A. and Dela T.،2005. Nitrate Accumulation and other Components of the groundwater in Relation to Cropping systems in an Aquifer in Southwestern Spain. Journal of Water Resource Management، 19، 1-22.

- Guler، C.، McCray، J.E.، Thyne، G.D. and Turner، A.K.، 2002. Evaluation of geographical and Multivariate Statistical Methods for Classification of Water Chemistry data. Hydrogeology Journal، 10، 455-474.

- Hu، S.، Luo، T. and Jing، C.، 2012. Principal component analysis of fluoride geochemistry of groundwater in Shanxi and Inner Mongolia، China. Journal of Geochemical Exploration، http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.08.013.

- Klovan، J.E.، 1975. R-mode and Q-mode factor analysis. In: McCammon RB (ed) Concepts in geostatistics. Springer، Berlin Heidelberg New York، 168.

- Lee، J.Y.، Cheon، J.Y.، Lee، K.K.، Lee، S.Y. and Lee، M.H.، 2001. Statistical Evaluation of Geochemical Parameter Distribution in a Groundwater System Contaminated with Petroleum Hydrocarbons. Journal of Environmental Quality، 30،4،1548-1563.

- Salifu، A.، Petrusevski، B.، Ghebremichael، K.، Buamah، R. and Amy، G.، 2012. Multivariate statistical analysis for fluoride occurrence in groundwater in the Northern region of Ghana. Journal of Contaminant Hydrology، 140- 141، 34 - 44.

- Wayland، K.G.، Long، D.T.، Hyndman، D. W. and Haack، S.K.، 2003. Identifying relationships between baseflow geochemistry and land use with synotic sampling and R-Mode factor analysis. journal of environmental Quality، 32،2،180-190.