

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

کمال خدایی^(۱)، حمیدرضا ناصری^(۲)، علی اکبر شهسواری^(۳)، راحله هاتفی^(۳) و فرهاد اسدیان^(۲)

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^{2-} و NO_3^- بر اساس روش‌های استاندارد مشخص شد. سپس با استفاده از روش تحلیل مولفه‌های اصلی، چهار عامل اصلی موثر بر کیفیت 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 لهری و آغاچاری 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

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

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 به صورت پخش در

* نویسنده مرتبط: khodaeik@yahoo.com

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 منشأ 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 (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

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 به هم 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 به عبارتی 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. به عبارتی 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

کمال خدایی و همکاران

سازند بختیاری از قله سنگ‌های آهکی و چرت‌های محلی تشکیل شده است که دارای سیمانی از آهک و گاه سیلیس می‌باشند.

آبرفت‌های دشت دزفول - اندیمشک به طور کلی چهار دسته می‌باشند. آبرفت‌هایی که منشاء آنها کنگلومرای بختیاری است و بخش‌های شمالی تا میانی دشت را فرا می‌گیرند. این آبرفت‌ها از قله، شن و ماسه که در کنگلومرای بختیاری وجود دارند، تشکیل شده‌اند. آبرفت‌هایی که منشاء آنها از رسوبات آجاجاری و لهری است شامل رسوبات دانه‌ریز رس و سیلت و گاهی شن و ماسه یا مخلوطی از آنها است. این نوع آبرفت‌ها بیشتر در قسمت جنوب و شرق دشت دز گسترش دارند. آبرفت‌هایی که منشاء رودخانه‌ای و سیلابی دارند، در بستر جدید و قدیم رودخانه‌های دز، کرخه، بالا رود و کهنک دیده می‌شوند.

آبخوان دشت دزفول - اندیمشک در بخش‌های شمالی 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 دشت‌های ایران، حداکثر تراز سطح آب زیرزمینی در ماه‌های مهر و آبان و حداقل تراز در ماه‌های بهمن و اسفند 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 خشک منطقه کشاورزی در تمام فصول سال انجام می‌شوند. لذا برای افزایش بازدهی کشاورزی انواع کودها مورد استفاده قرار می‌گیرد که کودهای نیتروژنه از مهمترین آنها محسوب می‌شود. برداشت بسیار 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. برای جلوگیری از تخریب خاک زهکش‌های متعددی در سطح دشت احداث شده است که آب زیرزمینی را

آب سطحی از طریق شبکه در اختیار کشاورزی قرار می‌گیرد. مجموعه این عوامل به‌علاوه زمین‌شناسی ویژه منطقه باعث پیچیدگی شرایط هیدروژئولوژی شده است. شناسایی و تفکیک عوامل تاثیرگذار بر کیفیت و آلودگی آب زیرزمینی در مدیریت کیفیت آب زیرزمینی منطقه و سایر مناطق مشابه بسیار مفید می‌باشند. هدف این تحقیق به کارگیری روش تحلیل مولفه‌های اصلی (تحلیل عاملی) برای تعیین عوامل موثر بر کیفیت و آلودگی آب زیرزمینی دشت دزفول - اندیمشک می‌باشند.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی

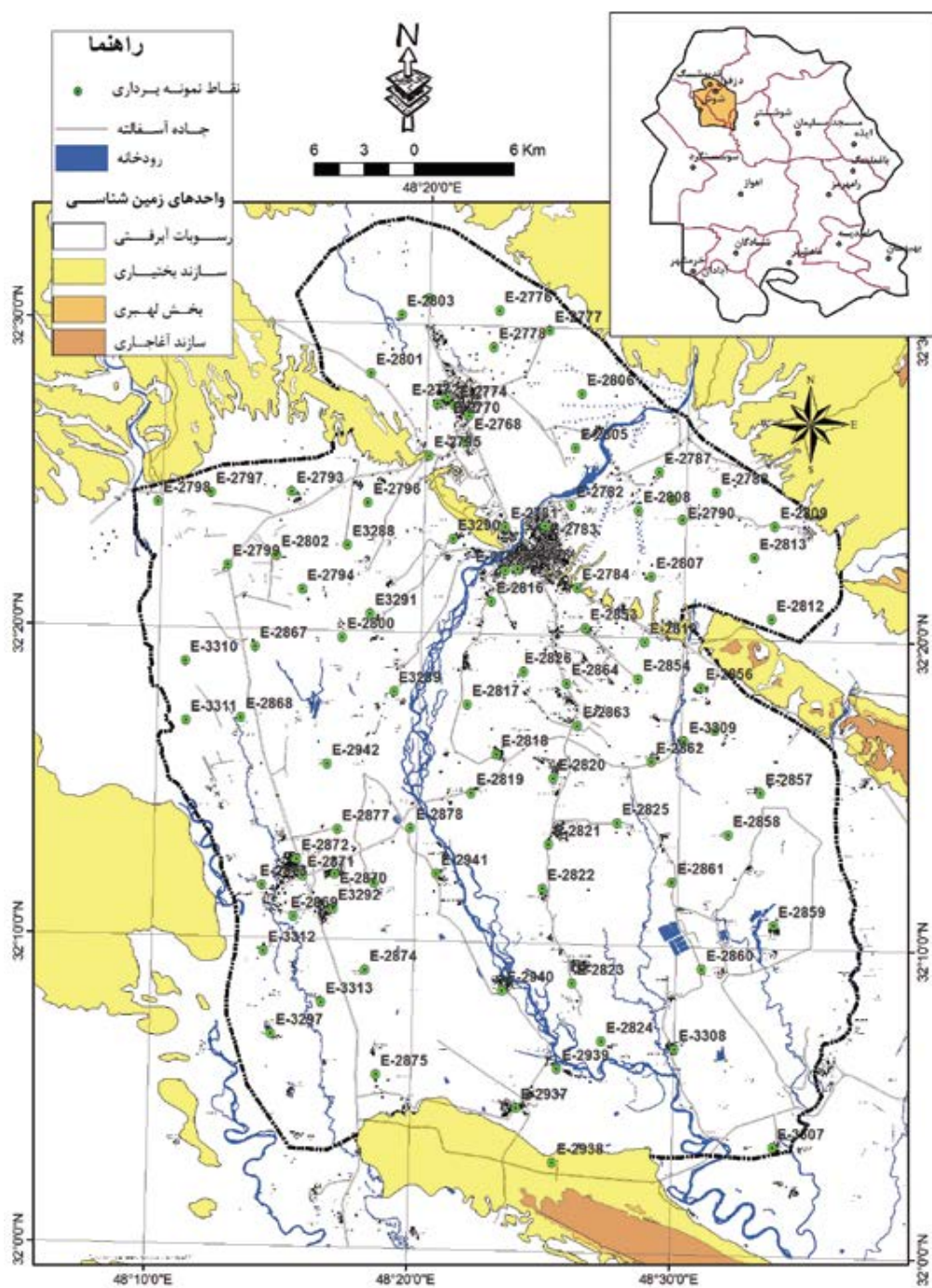
محدوده مطالعاتی دزفول - اندیمشک با مساحتی حدود ۱۷۷۸ کیلومترمربع و مختصات جغرافیایی ۰۳° و ۳۲° تا ۳۳° و عرض شمالی ۱۰° و ۴۸° تا ۳۷° و ۴۸° طول شرقی در شمال - شمال غرب استان خوزستان واقع شده است و مهمترین شهرهای آن دزفول، اندیمشک و شوش می‌باشند. شکل ۱ محدوده مورد مطالعه و موقعیت نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.

زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی

زمین‌شناسی محدوده دشت دزفول و ارتفاعات پیرامون آن عمدتاً از سازندهای آجاجاری و کنگلومرای بختیاری تشکیل شده‌اند. سازند آجاجاری از نظر لیتولوژی شامل ماسه‌سنگ‌های آهک‌دار قهوه‌ای - خاکستری، رگه‌های گچ، مارن‌های قرمز و سیلتستون می‌باشند. سازند آجاجاری تقریباً در تمامی بخش‌های محدوده، سازند بختیاری را احاطه کرده است. بخش لهری از نظر لیتولوژی شامل سیلتستون‌های هوازده نرم و گچ‌دار است که در آن لایه‌های مارن و ماسه‌سنگ و گچ نیز دیده می‌شود. سیمان بین دانه‌ای رسوبات بخش لهری نسبتاً سست است و به‌ویژه در برخی موارد میان‌لایه‌های ماسه‌ای دارای تخلخل خوبی است.

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

زهکشی کرده و به رودخانه دز منتقل می‌کند. دبی متوسط مجموع این زهکش‌ها از ۴۰ تا ۴۵ متر مکعب در ثانیه تغییر می‌کند. زهکش عجیب یکی از اصلی‌ترین زهکش‌های دشت محسوب می‌شود که دبی متوسط آن حدود ۹ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد.



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری دشت دز فول - اندیشک

کمال خدایی و همکاران

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^۱ 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. 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).

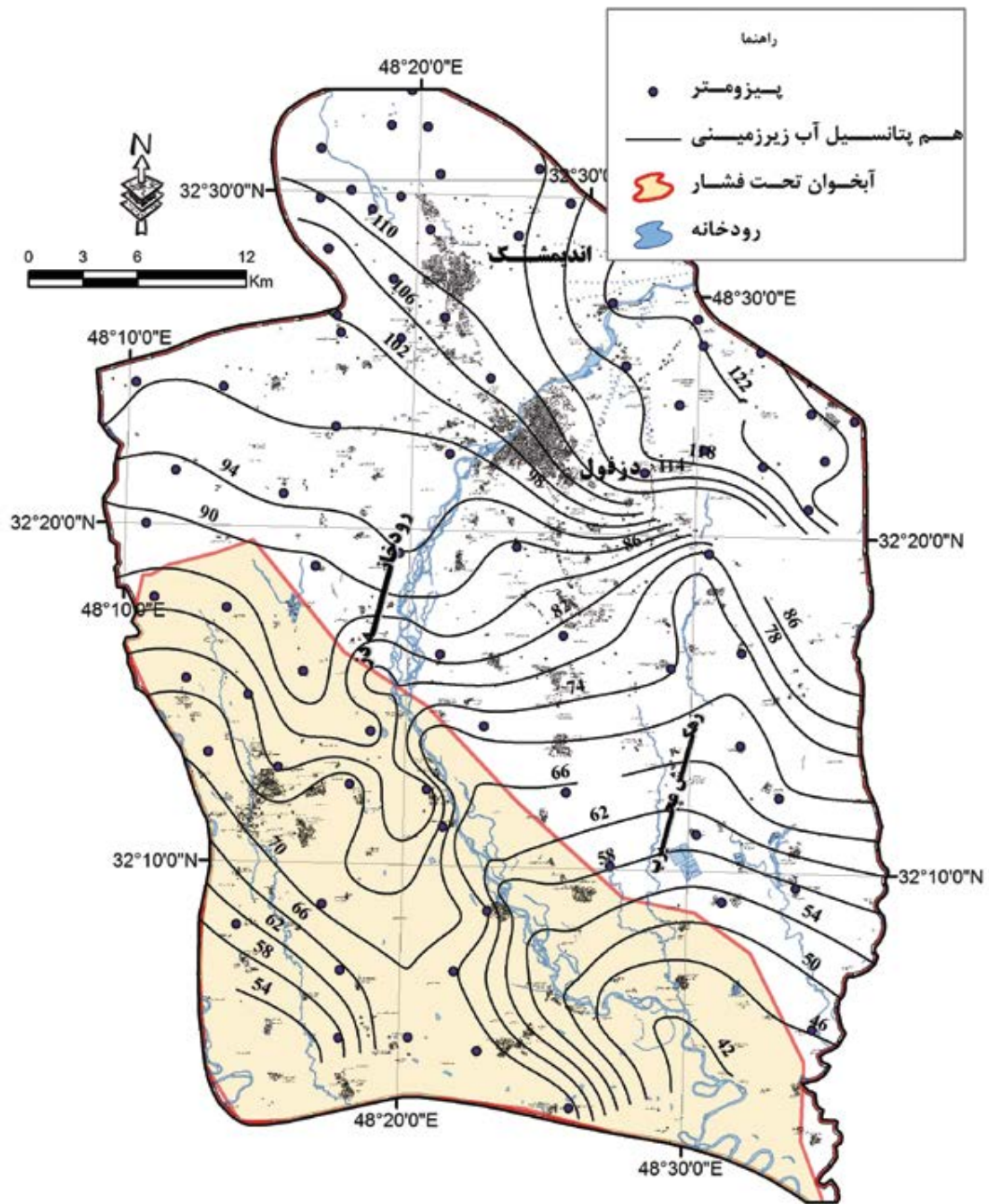
برای تعیین اهمیت منطقه‌ای فرآیندهای مختلف که توسط عامل‌ها نمایش داده می‌شود، نقشه کنترلی ترسیم شده است. (Dalton and Upschurch (1978) نشان داده‌اند که امتیاز هر عامل به شدت تاثیر آن عامل (فرآیند هیدروژئوشیمیایی) مربوط می‌شود. بدین معنی که مقادیر منفی نشان‌دهنده عدم تاثیر عامل مذکور است و مقادیر مثبت نشان‌دهنده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

می‌باشند. به طور کلی می‌توان گفت که رودخانه دز و ارتفاعات کنگلومرای شمال دشت از منابع تغذیه کننده آب‌های زیرزمینی منطقه هستند و جهت جریان آب زیرزمینی را تحت تاثیر قرار می‌دهند (شکل ۲). جهت کلی جریان از شمال به سمت جنوب دشت می‌باشند. بدلیل بالآمدگی 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 محدود 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 دستگاه Multi 350i WTW (Germany) اندازه‌گیری شده است.

1. Loading



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

غلظت نیترا 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 نیترا و کاربری اراضی می‌توان بیان کرد که دانه‌بندی رسوبات و شرایط هیدروژئولوژی نقش تعیین‌کننده‌ای در توزیع غلظت نیترا 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 نیترا در زون غیراشباع را کاهش می‌دهد و بدون آن که فرصت استفاده کامل نیترا توسط گیاهان و نیترا 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 نیترا در محدوده شهرهایی مثل اندیمشک در شمال غربی دشت احتمالاً بدلیل نفوذ نیترا به آب زیرزمینی از چاه‌های جذبی است. غلظت نیترا در چاه‌های پیرامون رودخانه دز حدود ۱۰ میلی‌گرم در لیتر است که با دور شدن از رودخانه بر غلظت نیترا افزوده می‌شود. نیترا موجود در آب رودخانه در ابتدای ورود به دشت پنج میلی‌گرم بر لیتر است. کم بودن غلظت نیترا در چاه‌های پیرامون رودخانه با نقش تغذیه‌کننده آن مرتبط است. نقشه هم ارزش غلظت نیترا روند کاهشی از شمال به جنوب نشان می‌دهد. در نیمه جنوبی دشت غلظت نیترا تا ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌رسد. در بخش‌های جنوبی دشت، نفوذ نیترا از سطح زمین به لایه تحت فشار عملاً امکان‌پذیر نیست. نیترا موجود در این چاه‌ها احتمالاً مربوط به قسمت شمالی دشت است. هم‌چنین در بخش‌هایی از آبخوان که غلظت نیترا کم است عمق برخورد به آب زیرزمینی کم می‌باشند و زهکش‌های متعدد و بزرگی شکل گرفته است. بخش قابل توجهی از نیترا موجود در آب زیرزمینی در این بخش‌ها از طریق زهکش‌ها تخلیه می‌شود.

نتایج و بحث

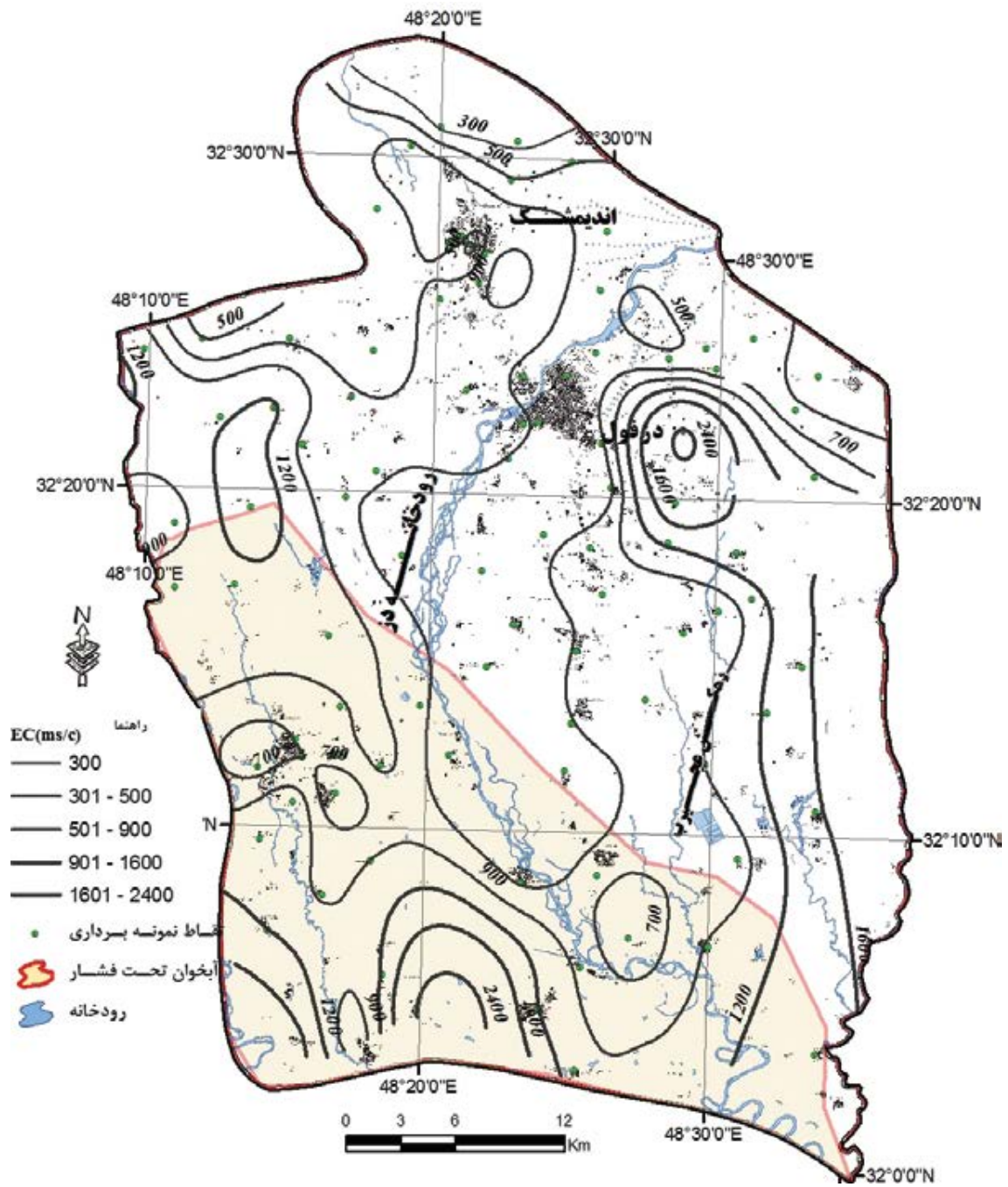
برای بررسی کلی کیفیت آب زیرزمینی دشت دز فول اندیمشک از پارامتر هدایت الکتریکی استفاده شده است. بالا بودن میزان هدایت الکتریکی آب به دلیل افزایش یون‌های محلول در آب اتفاق می‌افتد. آب زیرزمینی معمولاً در طول مسیر حرکت خود بر میزان املاح آن افزوده می‌شود و بدین ترتیب هدایت الکتریکی نیز افزایش می‌یابد (البته 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

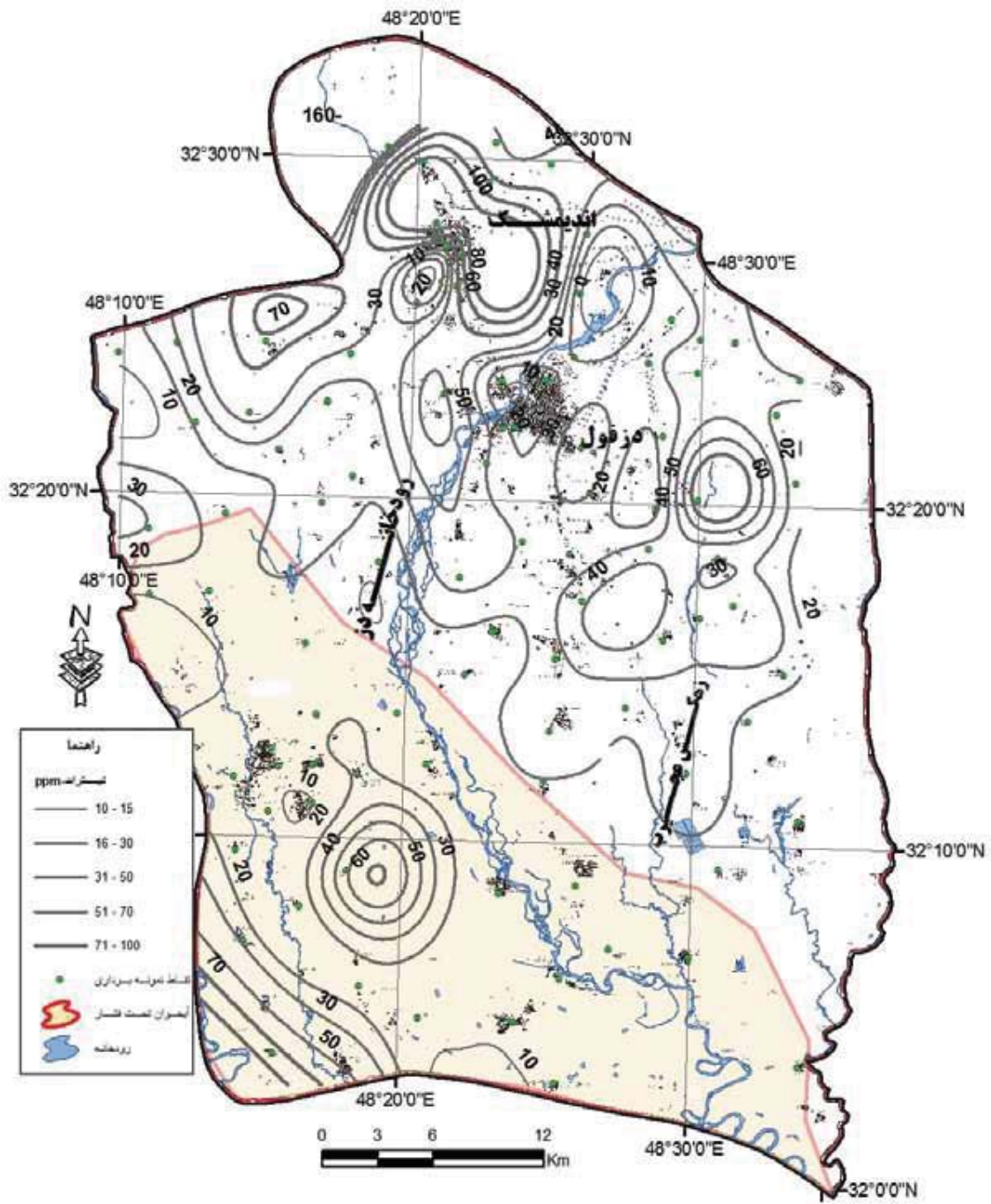
روند کلی منحنی‌های هم‌ارزش هدایت الکتریکی دشت دز فول اندیمشک از شمال به جنوب افزایش نشان می‌دهد (شکل ۳). در این نقشه نقش مهم رودخانه دز در تغذیه دشت دز فول اندیمشک مشهود است. میزان هدایت الکتریکی از رودخانه دز به سمت شرق و غرب افزایش می‌یابد. یکی از دلایل افزایش هدایت الکتریکی در شرق شهر دز فول و در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

تغییرات غلظت نیترا

نیترا موجود در آب زیرزمینی از منابع مختلفی می‌تواند باشد. بیشترین تغییرات غلظت نیترا در آب زیرزمینی دشت دز فول - اندیمشک در محدوده شهر اندیمشک می‌باشند (شکل ۴). در شمال غرب و شمال شرق دشت غلظت نیترا 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 نیترا بیش از حد مجاز است، تهدید می‌کند. روند کلی تغییرات



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



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

نتایج تحلیل عاملی

آب‌های زیرزمینی نزدیک به صفر است، این در حالی است 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 منشأ اصلی سدیم و کلر رسوبات دانه ریز فرسایش سازندهای آجاجاری و لهری باشد که حاوی مقادیری نمک نیز می‌باشند.

نتایج ماتریس همبستگی پارامترهای هیدروشیمیایی 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 منشأ متفاوت عناصر فوق در آب‌های زیرزمینی منطقه است. غلظت نیترات به طور طبیعی در

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

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 واریانس حدود ۸۸ درصد از کل واریانس داده‌ها را دارند، انتخاب شده است.

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

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.

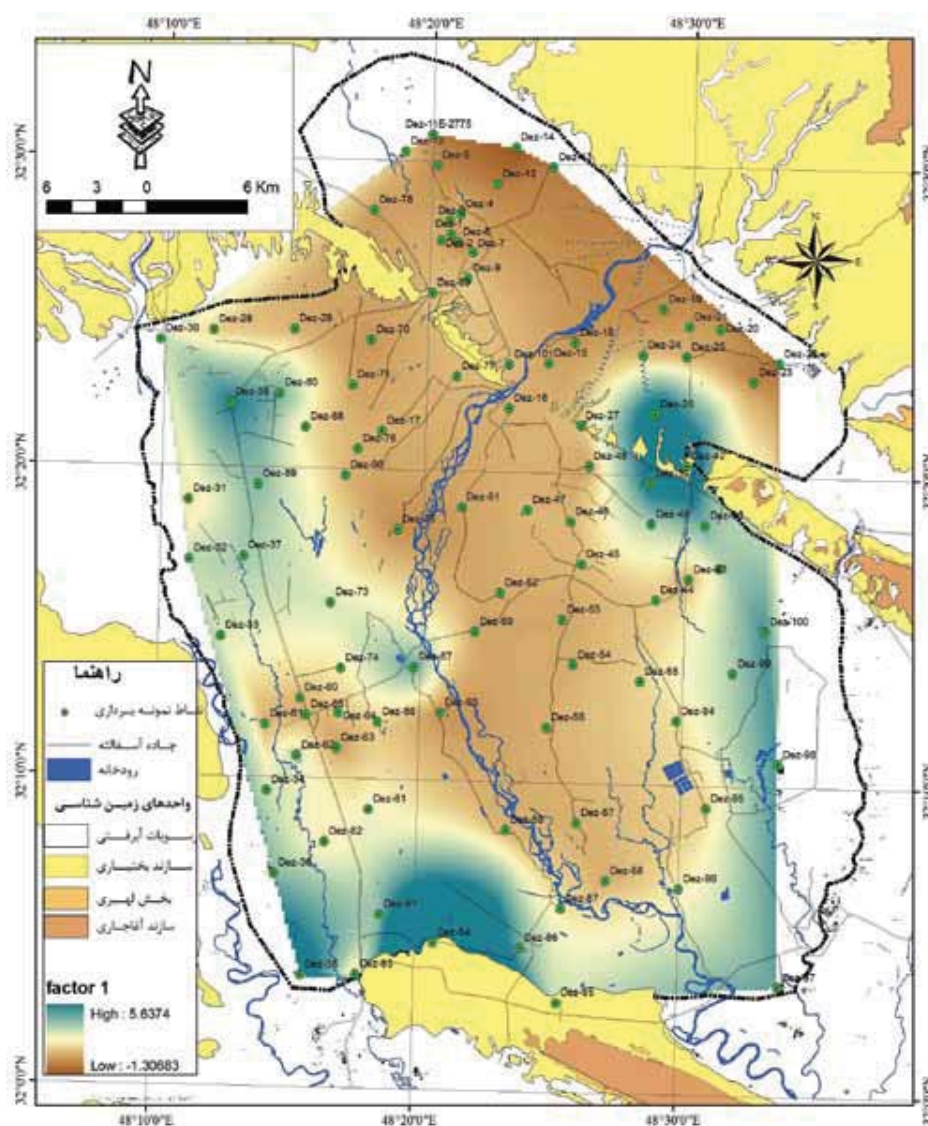
نرم‌افزار SPSS استخراج و در محیط GIS با استفاده از روش کریجینگ معمولی برای تهیه نقشه میزان بارگذاری نمونه‌ها در عامل اول درونیابی شده است (شکل ۵). نقشه میزان بارگذاری نمونه‌ها توزیع مکانی عوامل تاثیرگذار را نشان می‌دهند. انطباق بسیار خوبی بین دانه‌بندی رسوبات دشت، زمان سیر و ماندگاری آب زیرزمینی و میزان 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 لهری و آجاجاری 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.

در عامل اول تمامی متغیرها به جز نیترات دارای بار عاملی مثبت هستند و متغیرهای Ca^{2+} ، Mg^{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 تشکیل دهنده آبخوان مربوط می‌شود که در جهت جریان آب زیرزمینی افزایش می‌یابد. هر قدر رسوبات تشکیل دهنده 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

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.

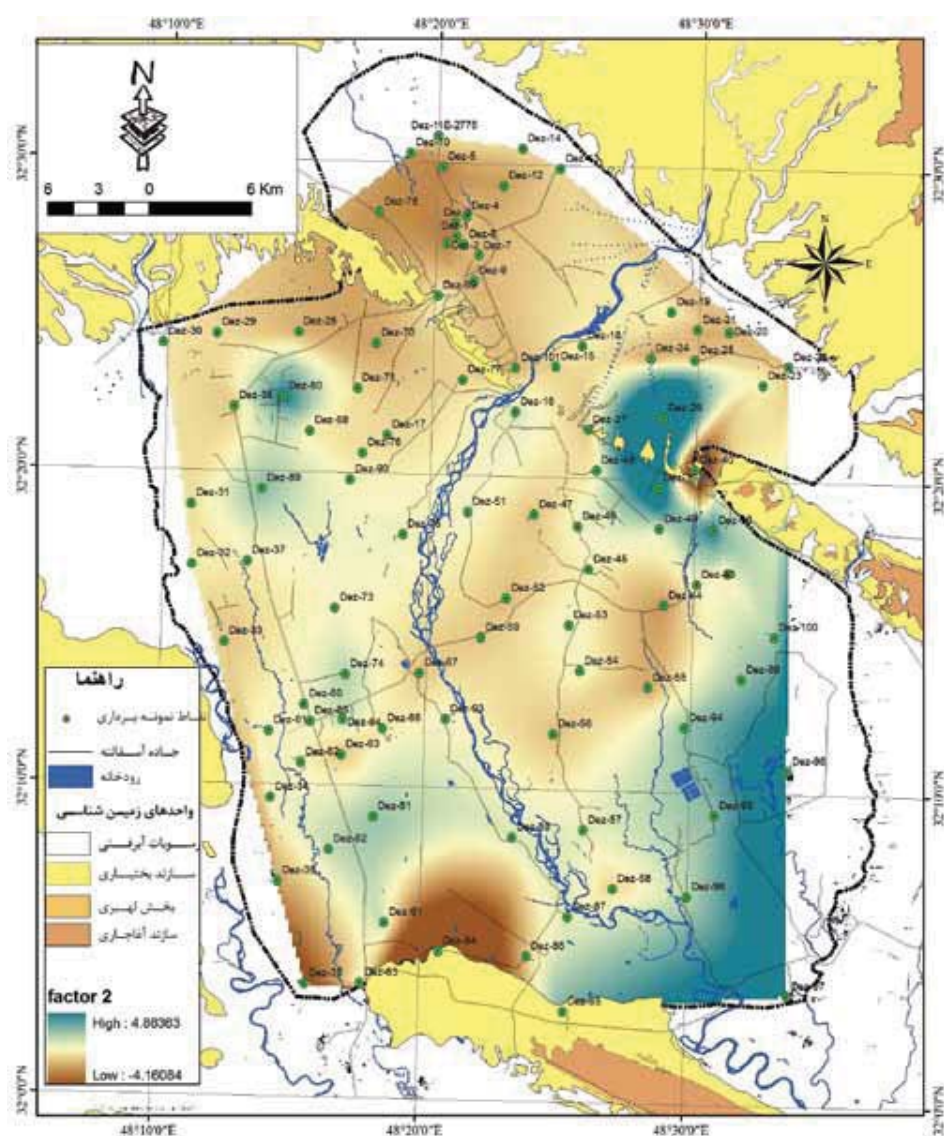


شکل ۵. میزان بارگذاری عامل اول در نمونه‌های آب زیرزمینی

کمال خدایی و همکاران

که در رسوبات سازند لهری یافت می‌شوند. سازند لهری در محدوده آبخوان در هسته تاقدیس‌ها رخنمون دارد. هم‌چنین رودخانه شور (کهنک) که از مرز شرقی منطقه عبور می‌کند از مناطقی سرچشمه می‌گیرد که بخش قابل توجهی از منطقه توسط سازندهای آجاجاری و لهری رخنمون دارند. انحلال نمک سازندهای یاد شده در آب رودخانه شور و تغذیه آبخوان توسط این رودخانه در مرز شرقی باعث افزایش املاح و بویژه کلر و سدیم در آب زیرزمینی می‌شود. نقشه میزان بارگذاری هر نمونه برای عامل دوم در شکل ۶ ارائه شده است.

در عامل دوم کلر و سدیم 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 رسوبات مربوط است و عامل دوم که منحصراً باعث افزایش کلر و سدیم و تا حدودی پتاسیم می‌شود، به وجود نمک‌هایی مانند هالیت و سیلویت مربوط می‌شود



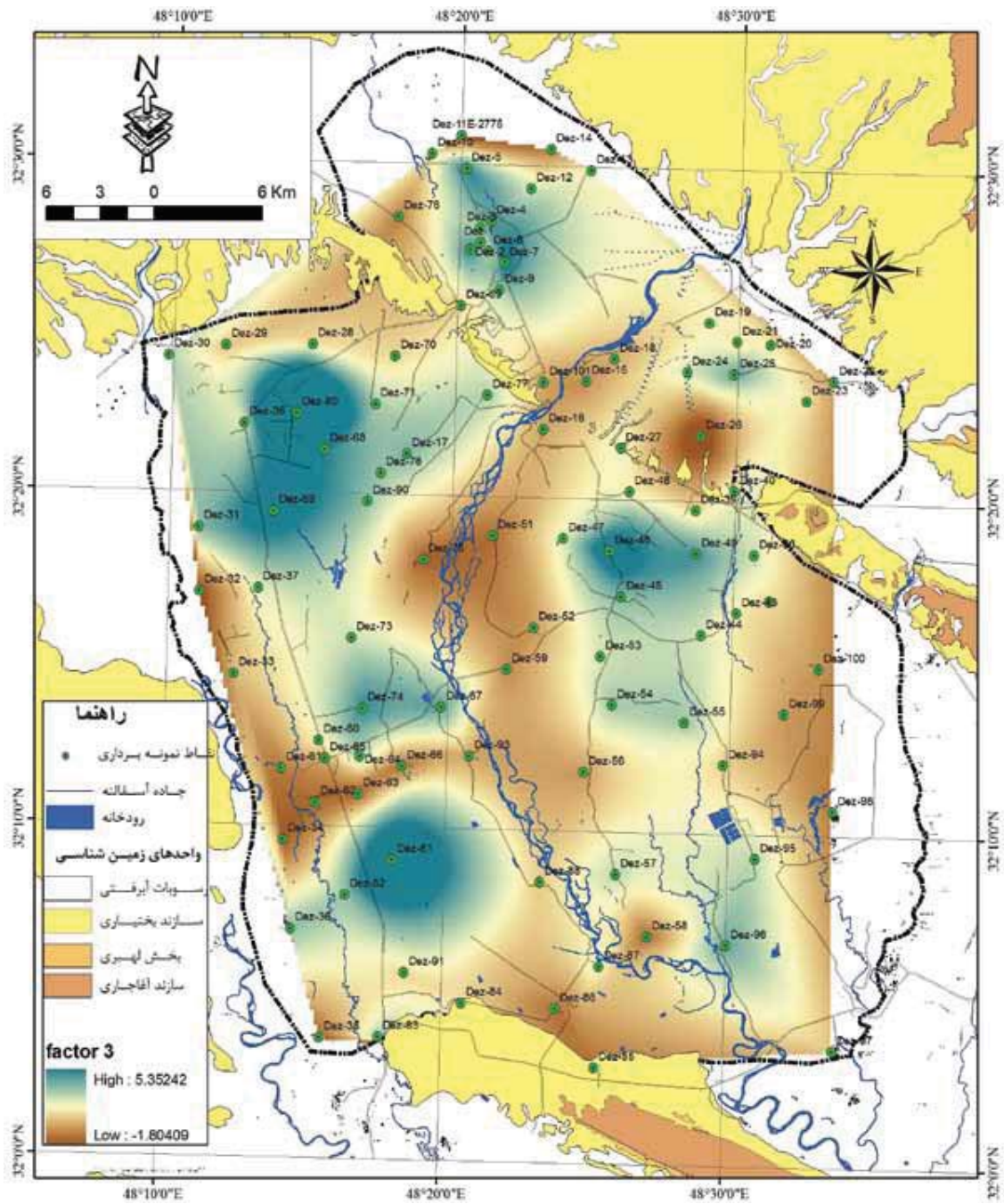
شکل ۶. میزان بارگذاری عامل دوم در نمونه‌های آب زیرزمینی

قسمت‌های دشت، عامل سوم (پساب کشاورزی) اثرگذار می‌باشند.

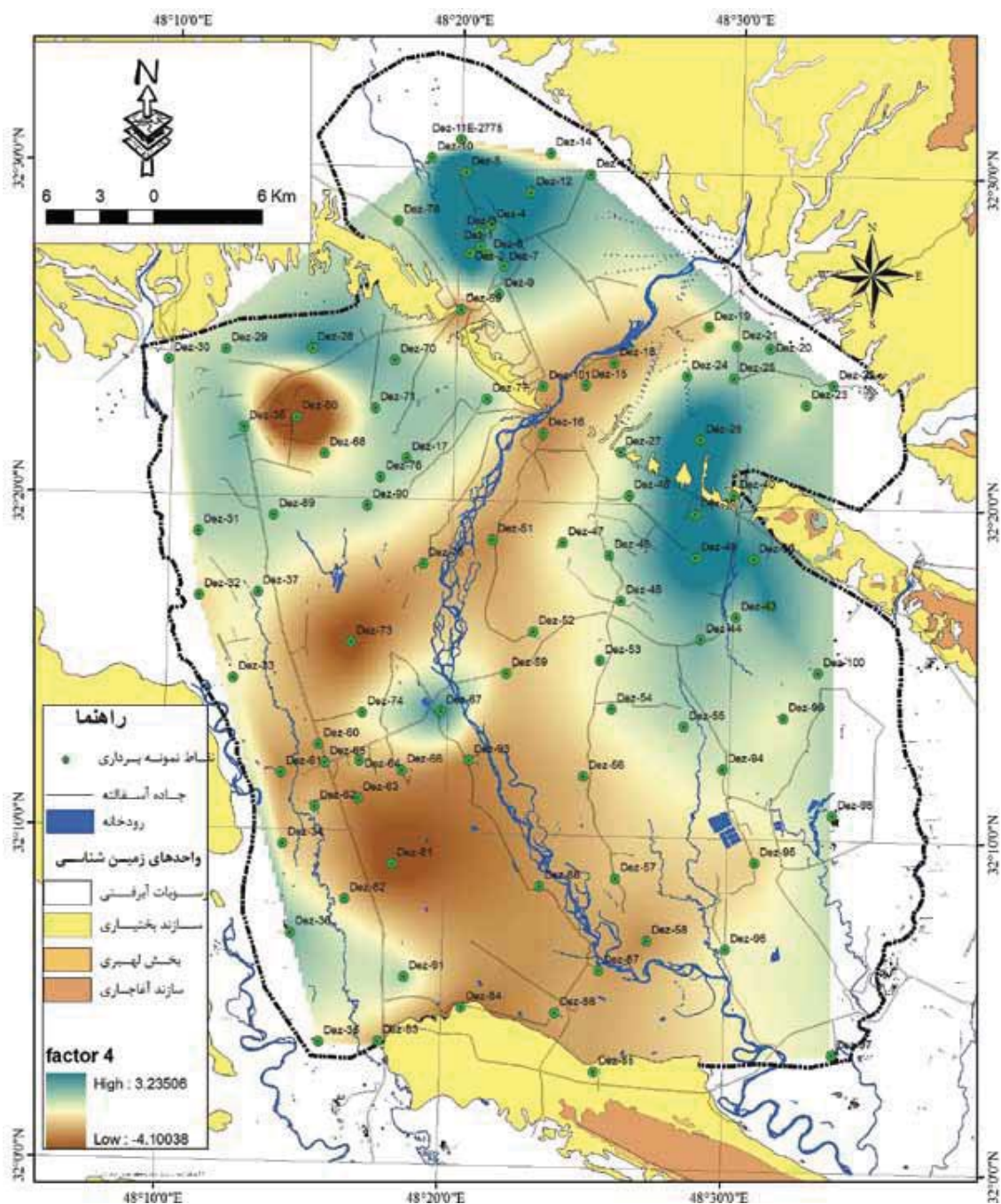
در عامل چهارم نیترات دارای بیشترین بار عاملی است. در منطقه مورد مطالعه دو منشأ برای آلودگی نیترات می‌توان در نظر گرفت: یکی نیترات ناشی از چاه‌های جذبی شهرها، شهرک‌ها و روستاها و دیگری نیترات ناشی از فعالیت‌های کشاورزی. نقشه میزان بارگذاری عامل چهارم (شکل ۸) نشان می‌دهد که عامل چهارم به اثر چاه‌های جذبی 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.

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 منشأ 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 احتمالاً 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 - 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

کمال خدایی و همکاران



شکل ۷. میزان بارگذاری عامل سوم در نمونه‌های آب زیرزمینی



شکل ۸. میزان بارگذاری عامل چهارم در نمونه‌های آب زیرزمینی

rahman, 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. Study of variation in groundwater quality in a coastal aquifer in north-eastern Tunisia using multivariate factor analysis. *Quaternary International* 2), <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

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج تحلیل مولفه‌های اصلی، چهار عامل تعامل آب با رسوبات تشکیل دهنده 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 آغاچاری 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 Abder-

- 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>.
 - Klován, 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.