Archive of SID

تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال پانزدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸
Volume 15, No. 3, Fall 2019 (IR-WRR)
۲۴۶-۲۵۷

بررسی تبادل منابع آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از تحلیل خوشه‌ای (مطالعه‌ی موردی: دشت دز غربی)

ساناز ابراهیمی ورزنه[۱]، حیدر زارعی[۲*]، پروانه تیشه‌زن[۳] و علی محمد آخوندعلی[۴]

چکیده

بررسی برهم‌کنش آب‌های سطحی و زیرزمینی به منظور مدیریت مؤثر منابع آب ضروری است. از آنجا که دشت دزفول- اندیمشک بزرگترین و مهم‌ترین دشت استان خوزستان از نظر کشاورزی می‌باشد و افزایش تقاضا به منظور استفاده از منابع آب سطحی و زیرزمینی در مصارف کشاورزی رو به گسترش است، لذا موجب شده است تا ارزیابی ارتباط آبخوان و رودخانه در جهت مدیریت صحیح منابع آب، از اهمیت بسزایی برخوردار شود. هدف از این پژوهش استفاده از تحلیل خوشه‌ای به‌منظور بررسی ارتباط آب‌های سطحی و زیرزمینی در بخش غربی دشت دزفول- اندیمشک می‌باشد. بدین منظور پارامترهای کیفی ۳۷ چاه آب زیرزمینی و ۳ ایستگاه هیدرومتری مربوط به رودخانه‌های شاوور، دز و کرخه در سه دوره‌ی آماری نرمال، خشک و ترسالی مورد بررسی قرار گرفتند. پارامترهای مورد بررسی شامل EC (هدایت الکتریکی)، کاتیون‌های اصلی (Ca^{2+}،Mg^{2+}،Na^{+}،K^{+}) و آنیون‌های اصلی (Cl^{-}، HCO_3^{-}، SO_4^{2-}) می‌باشد. با استفاده از تحلیل خوشه‌ای شباهت بین ایستگاه‌ها تعیین شد، نمودار درختی سه گروه متمایز را نشان می‌دهد، گروه اول شباهت بین رودخانه‌ی دز و شاوور و آبخوان ساحل راست دز را نشان داد، گروه دوم چاه‌های معرف کیفی ناحیه‌ی جنوبی دشت و گروه سوم بیانگر شباهت رودخانه‌ی کرخه با چاه‌های اطراف این رودخانه بودند. بررسی‌ها مشخص کرد، تغذیه‌ی رودخانه‌ی دز مستقیماً بر بهبود کیفیت آبخوان دشت اثرگذار است و به نظر می‌رسد رودخانه‌ی کرخه کمترین شباهت را به منابع آب سطحی و زیرزمینی در دشت دارد.

کلمات کلیدی: تحلیل خوشه‌ای، تبادلات آبخوان و رودخانه، دشت دز غربی.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۱/۲۷
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۴/۲۸

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران محیط زیست، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۲- دانشیار، دانشکده مهندسی علوم آب، گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۳- استادیار، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۴- استاد، گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان زمستان ۱۳۹۸ امکانپذیر است.

Evaluation of Groundwater-Surface Water Interaction by Using Cluster Analysis (Case Study: Western Part of Dezful-Andimeshk Plain)

S. Ebrahimi Varzane [1], H. Zarei[2], P. Tishezan[3], and A.M. Akhondali[4]*

Abstract

For an efficient management of the water resources the evaluation of the interactions between surface water and groundwater is essential. Dezful-Andimeshk plain, as the largest and the most important agricultural plain in Khuzestan province, are experiencing increasing demand on surface water and groundwater resources for the agricultural use. Accordingly the assessment of the relationship between aquifers and rivers for the proper management of water resources in this plain is of great importance. To this aim, this study applied cluster analysis to determine the interactions between groundwater resources and surface waters in the designated plain. In this study, the qualitative parameters of 37 groundwater wells and 3 hydrometric stations associated to Shavour, Dez and Karkheh rivers were investigated in normal, dry and wet periods. EC (Electrical conductivity), main cations (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}) and major anions (Cl^{-}, HCO_3^{-}, SO_4^{2-}) were assessed in water samples. Then, using cluster analysis, the similarity between stations was determined and the dendrogram indicated three distinct groups. The first group demonstrated the similarity between the Shavour river, Dez river and the right-hand seafront aquifer. The second group denoted the qualitative repository wells in the southern plain and the third group reflected the similarity of the Karkheh River with the wells neighboring the river. Results have shown that Dez River recharge directly affects the quality of the aquifer in the plain. Also it seems that Karkheh River has the least similarity to the surface water and groundwater resources in the plain.

Keywords: Cluster Analysis, Groundwater-Surface Water Interaction, Dezful-Andimeshk Plain.

Received: April 16, 2019
Accepted: July 19, 2019

1- M.Sc. Graduate of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. Email: sanaaz.ebrahimi@gmail.com
2- Associate Professor, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. Email: zareih@scu.ac.ir
3- Assistant Professor, Department of Irrigation & Drainage Engineering, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
4- Professor, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
*- Corresponding Author

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

ایران از جمله کشورهایی است که بیشترین مصرف آب را در بخش کشاورزی دارد و به دلیل کمبود آب‌های سطحی، بیشتر این نیاز از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود. با توجه به ارتباط طبیعی بین آب‌های سطحی و زیرزمینی، در بسیاری مناطق، کاهش سطح آب زیرزمینی موجب آسیب‌رسانی به آب‌های سطحی شده است (Madani et al., 2016)، این اثر اغلب نادیده گرفته شده و یا کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. از این‌رو مطالعه آب‌های سطحی و زیرزمینی در نقاط مختلف کشور به ویژه در دشت‌هایی که کشاورزی در آن‌ها انجام می‌گیرد، بسیار حایز اهمیت است، علاوه بر این شناخت سازوکار تعامل آب‌های زیرزمینی و سطحی در مدیریت اثربخش زیست‌محیطی ضروری است (Dahm et al., 1998). روش‌های تجزیه و تحلیل چندمتغیره مانند تجزیه و تحلیل خوشه‌ای[1] از آن دسته روش‌های آماری هستند که در مطالعات محیط‌زیستی به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند تا پیچیدگی مجموعه داده‌های بزرگ را کاهش دهند. تعاملات بین آب‌های سطحی و زیرزمینی و تعیین منشاء آب، با استفاده از روش‌های مختلف طبقه‌بندی و به طور عمده بر اساس داده‌های هیدروشیمیایی و ایزوتوپ صورت می‌گیرد (Pla-Mas and Mencio, 2008).

روش تحلیل خوشه‌ای شامل چندین الگوریتم طبقه‌بندی شده متفاوت می‌باشد که هدف این الگوریتم‌ها اتصال متغیرها در داخل خوشه‌های بزرگتر می‌باشد. 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 (Vazquez et al., 2005). روش‌های خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی برای تحلیل داده‌های نمونه‌های آبی مناسب می‌باشد و برای ارزیابی داده‌های کیفی آب و گروه‌بندی هیدروشیمیایی نمونه‌ها به کار برده می‌شود و از نقطه نظر آماری در هیدرولوژی و زمین‌شناسی دارای اهمیت خاصی است (Zhang et al., 2012). به طور مثال در پژوهشی، Woocay et al. (2008) با استفاده از تحلیل خوشه‌ای به بررسی ارتباط بین آب‌های سطحی و زیرزمینی پرداختند. Guggenmos et al. (2011) با بهره‌گیری از تحلیل سلسله‌مراتبی و بهره‌گیری از ایزوتوپ، تعامل بین آب‌های سطحی و زیرزمینی را در منطقه‌ی وایرآپا[2] نیوزلند مورد بررسی قرار دادند. Tay et al. (2015) به ارزیابی هیدروشیمیایی آبهای زیرزمینی در حوضه‌ی پایین‌دست پراگ با رویکرد تجزیه و تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی پرداختند. هدف این مطالعه، تعیین ویژگی‌های شیمیایی گروه‌ها و زیرگروه‌های مختلف آبی است که مسئول تغییرات آب زیرزمینی هستند و مناطق تغذیه و تخلیه‌ی آب زیرزمینی را در حوضه مشخص می‌کنند. Lautz and Fanelli (2008) تکنیک‌های آماری چندمتغیره را برای ارزیابی تعامل آب‌های سطحی و زیرزمینی در مقیاس محلی به کار بردند. در دشت بستان، بررسی هیدروشیمیایی منابع آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از تکنیک تجزیه و تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی به منظور طبقه‌بندی کیفی نمونه‌های آب منطقه به‌کار گرفته شد (Anbari and Mohammadi, 2018). در مطالعه‌ی دیگری از آنالیز خوشه‌ای به منظور تعیین منشاء و خواص فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی استفاده شد. نتایج تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی (HCA) بر روی ۳۷ نمونه از چاه‌ها، ۵ خوشه‌ی مجزا را نشان داد، رخساره‌های آب در هر خوشه با استفاده از نمودار پایپر مشخص شد و با استفاده از زمین‌شناسی منطقه منشأ آن‌ها شناسایی شد (Everest and Özcan, 2019).

در پژوهش دیگری برای درک بهتر فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی در آبخوان دشت سلماس، از روش‌های آماری چندمتغیره استفاده شد، آنالیز خوشه‌ای سلسله‌مراتبی، پنج گروه مختلف آب زیرزمینی را نشان داد، با استفاده از نمودار استیف مشخص شد سه گروه اول، آب‌هایی هستند که از سنگ‌های آهکی و دولومیتی نشأت گرفته‌اند، گروه چهارم آب‌های شور را نشان می‌دهند و گروه پنجم آب‌هایی هستند که تحت تأثیر انحلال ساده یا اختلاط قرار گرفته‌اند (Naderi et al., 2018). در جدیدترین پژوهش‌ها در شمال ایتالیا، طی یک مطالعه‌ی میدانی، با استفاده از روش‌های آماری به بررسی ویژگی‌های هیدروشیمیایی منابع آب سطحی و زیرزمینی پرداختند. نتایج آنالیز خوشه‌ای منجر به شناسایی ۵ خوشه‌ی اصلی شد که معرف سیستم هیدرولوژیکی منطقه است. گروه اول شامل آب‌های زیرزمینی و چشمه‌های بالادست، گروه دوم آب‌های زیرزمینی پایین‌دست دشت، گروه سوم رودخانه، گروه چهارم انشعابات رودخانه و گروه پنجم نمونه‌های خارج از محدوده را مشخص کردند (Rotiroti et al. (2019)). مطالعات انجام‌شده توسط این نویسندگان نشان‌دهنده‌ی همبستگی شیمیایی قابل توجهی بین آب‌های سطحی و زیرزمینی و برجسته‌سازی استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره به عنوان ابزار تحقیقاتی مناسبی برای شناسایی مناطق بالقوه تعامل با آب‌های زیرزمینی است.

اگرچه در پژوهش‌های قبلی از روش‌های آماری چندمتغیره برای ارزیابی تغییرات هیدروشیمیایی بین رودخانه‌ها و یا آب‌های زیرزمینی

www.SID.ir

Archive of SID

استفاده کرده‌اند، اما مطالعات بسیار کمی به طور همزمان داده‌های کیفی رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این مطالعه تمرکز بر روش‌های هیدروشیمیایی و استفاده از تحلیل خوشه‌ای به منظور بررسی ارتباط آب‌های سطحی و زیرزمینی دشت دز غربی می‌باشد. در مطالعات انجام شده عمدتاً یک دوره‌ی آماری یک‌ماهه و یا یک‌ساله مورد بررسی قرار گرفته است اما در مطالعه‌ی پیش‌رو پارامترهای کیفی سه دوره‌ی آماری نرمال، تر و خشک، با استفاده از آنالیز خوشه‌ای ارزیابی می‌شود. هم‌چنین در این مطالعه به منظور تأیید و تکمیل نتایج حاصل از آنالیز خوشه‌ای، مقایسه بین روند تغییرات پارامتر هدایت الکتریکی آب سطحی و زیرزمینی انجام شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه‌ی مورد مطالعه

دشت دزفول-اندیمشک بزرگترین و مهم‌ترین دشت استان خوزستان از نظر کشاورزی می‌باشد. این دشت که در شمال استان خوزستان واقع شده، با داشتن یکی از بزرگترین شبکه‌های آبیاری کشور (شبکه آبیاری دز) نقش مهمی در کشاورزی استان دارد. دشت دز غربی یکی از بخش‌های دشت دزفول-اندیمشک است که با وسعت ۷۵۷ کیلومتر مربع از غرب به کرخه و از شرق به رودخانه دز و از جنوب به تاقدیس سردارآباد و محدوده آهودشت محدود می‌گردد. حوضه آبریز رودخانه شاوور (شکل ۱) در شمال غرب استان خوزستان و بین عرض ′۳۱،۱۵ تا ′۳۱،۲۵ شمالی و طول جغرافیایی ′۴۸،۰۸ تا ′۴۸،۴۱ شرقی قرارگرفته است. این حوضه به‌صورت باریکه‌های بین دو حوضه آبریز دز و کرخه واقع‌شده است. کل سطح حوضه ۱۱۶۰ کیلومترمربع و محیط آن ۲۵۰ کیلومتر می‌باشد. شیب حوضه کم و در حدود ۰/۲ متر در کیلومتر (۰/۲ در هزار) محاسبه شده است. به‌طورکلی حوضه نسبتاً مسطح و دارای شیب ملایمی است؛ به‌طوری‌که بلندترین نقطه ارتفاعی آن ۱۰۰ متر و پایین‌ترین نقطه آن ۳۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد.

۲-۲- زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی منطقه

دشت دزفول-اندیمشک که از لحاظ زمین‌شناسی ناحیه‌ای جزیی از دشت خوزستان و از نظر زمین‌ساخت، جزیی از پلاتفرم عربی محسوب می‌شود، کاملاً پوشیده از رسوبات آبرفتی است.

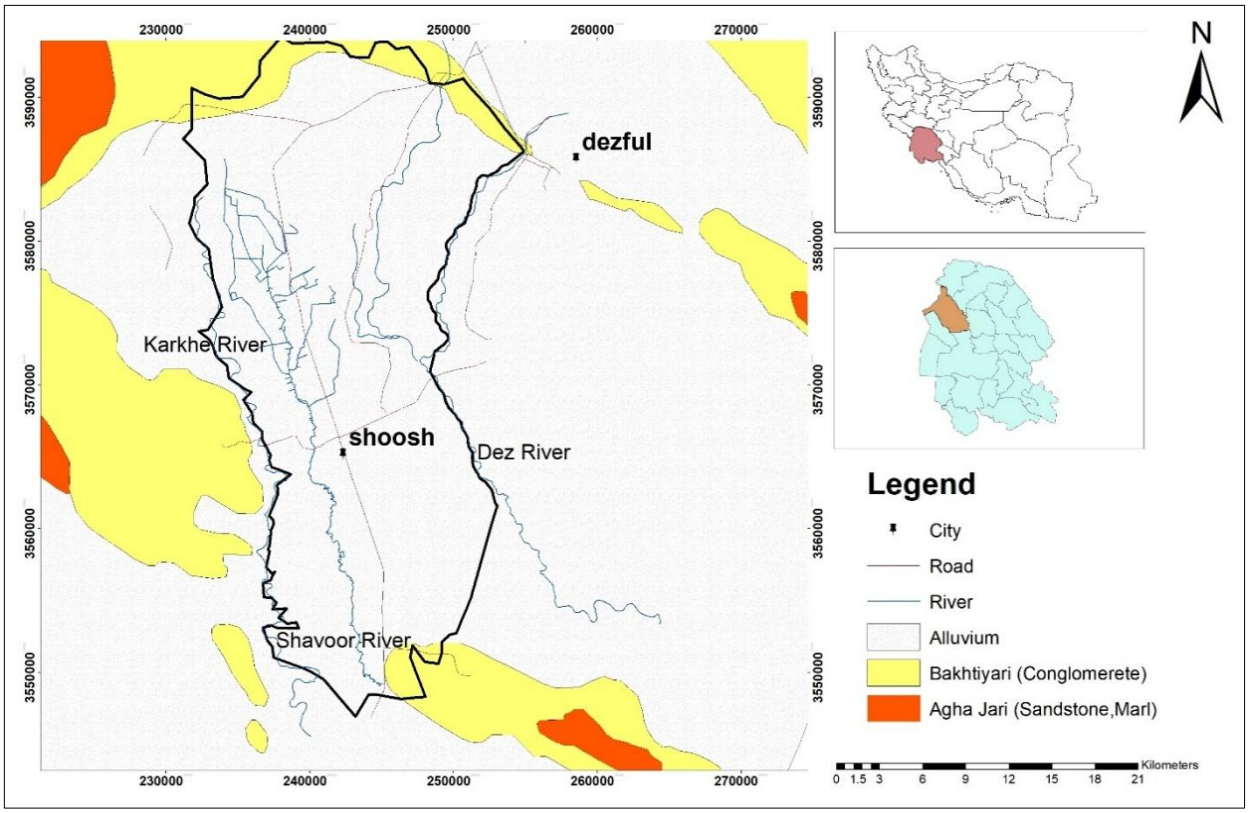

Fig. 1- Geological map and geographical location of Dezful-Andimeshk plain

شکل ۱- نقشه‌ی زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی دشت دزفول- اندیمشک

www.SID.ir

Archive of SID

آبرفت‌های دشت به طور کلی به سه بخش تقسیم می‌شوند آبرفت‌هایی که منشاء آنها کنگلومرای بختیاری است و بخش‌های شمالی تا میانی دشت را فرا می‌گیرند. آبرفت‌هایی که منشأ آن‌ها از رسوبات آغاجاری و لهبری است، این نوع آبرفت‌ها بیشتر در قسمت جنوب دشت گسترش دارند. آبرفت‌هایی که منشاء رودخانه‌ای و سیلابی دارند و در بستر جدید و قدیم رودخانه‌ی دز، کرخه و بالارود دیـــده می‌شونـد (Khodaei et al., 2015). سازند بختیاری از قلوه‌سنگ‌های آهکی و چرت‌های محلی تشکیل شده است که دارای سیمانی از آهک و گاهی سیلیس می‌باشد. سازند بختیاری به‌دلیل نفوذپذیری و تخلخل کافی مقدار زیادی آب در خود ذخیره می‌کند. سازند آغاجاری از نظر لیتولوژی شامل ماسه‌سنگ‌های آهک‌دار قهوه‌ای-خاکستری، رگه‌های ژیپس، مارن‌های قرمز و سیلتستون می‌باشد. سازند آغاجاری تقریباً در تمامی بخش‌های محدوده، سازند بختیاری را احاطه کرده است. بخش لهبری از نظر زمین‌شناسی شامل سیلستون‌های هوازده نرم و گچ‌دار است که در آن لایه‌های مارن و ماسه‌سنگ و گچ نیز دیده می‌شود. سازند لهبری به‌دلیل این‌که حاوی رسوبات دانه‌ریز سیلت و رس و گاهی گچی و نمکی است، عمدتاً باعث کاهش کیفیت آب زیرزمینی می‌شود.

بر اساس اطلاعات موجود از نتایج حفاری‌های اکتشافی و پیزومترها و نیز وجود چندین حلقه چاه آرتزین در منطقه می‌توان نتیجه گرفت که دشت دز دارای دو آبخوان آزاد و محبوس می‌باشد. به نظر می‌رسد در حد واسط این دو آبخوان یک لایه‌ی نیمه نفوذپذیر از جنس رس ماسه‌ای وجود داشته باشد. از لحاظ هیدرولیکی آبخوان آزاد در تغذیه‌ی آبخوان محبوس نمی‌تواند نقش مؤثری داشته باشد و وجود لایه‌ی محصورکننده بین دو آبخوان مانع از اختلاط آن‌ها و ورود آلاینده‌ها می‌شود (Naseri and Saffar Zade, 2005). بیش از ۱۷۰۰ حلقه چاه بهره‌برداری عمیق و نیمه‌عمیق در منطقه‌ی مورد مطالعه وجود دارد، بیشتر نیاز آبی محصولات کشاورزی در منطقه از شبکه‌های آبیاری تأمین شده و مابقی از منابع آب زیرزمینی با برداشت متوسط حدود ۸۸ میلیون مترمکعب در سال تأمین می‌شود. در محدوده‌ی دشت دز غربی تعداد ۳۲ حلقه چاه فعال مشاهده‌ای وجود دارد. عمق آب زیرزمینی در قسمت‌های شمالی دشت بیشتر از بقیه‌ی نقاط دشت است، از حدود ۱۰۰ متر در شمال شرقی تا ۴۵ متر در جنوب غربی دشت متغیر است. جهت کلی جریان آب زیرزمینی وابسته به توپوگرافی منطقه و از شمال شرقی دشت به سمت جنوب غربی است (شکل ۲).

۲-۳- آمار و اطلاعات مورد استفاده

در این مطالعه به منظور بررسی ارتباط هیدرولیکی منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت دز غربی از پارامترهای کیفی آب‌های سطحی منطقه که شامل سه رودخانه‌ی دز، کرخه و شاوور می‌شود و داده‌های مربوط به آب‌های زیرزمینی و سطحی دشت در سه دوره‌ی آماری نرمال (۱۳۹۵-۱۳۹۴)، دوره‌ی ترسالی (۱۳۹۳-۱۳۹۲) و دوره‌ی خشک (۱۳۹۱-۱۳۹۰) استفاده شده است.

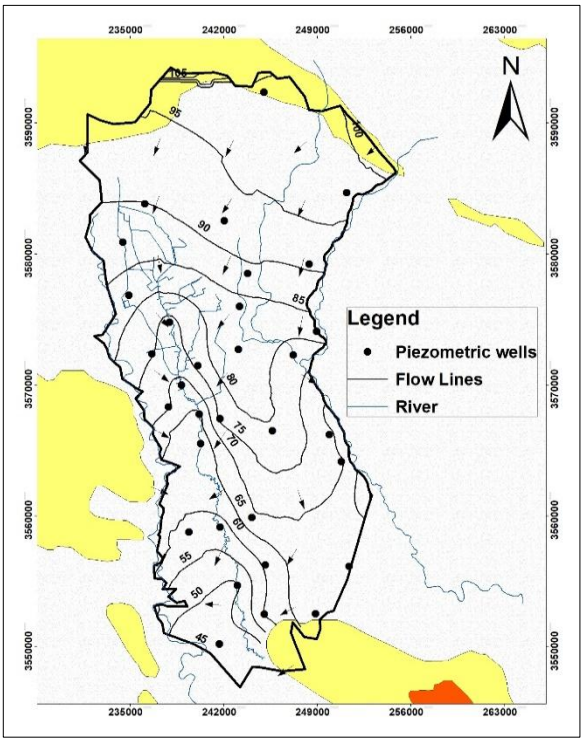

Fig. 2- Groundwater iso-depth contour map of the study area, (1395)

شکل ۲- نقشه‌ی هم‌عمق آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه سال ۱۳۹۵

داده‌های مربوطه از سازمان آب و برق منطقه‌ای خوزستان تهیه شد. ۸ پارامتر به منظور بررسی و آنالیز آماری انتخاب شده‌اند: این پارامترها عبارتند از: EC (هدایت الکتریکی)، کاتیون‌های اصلی (Ca^{2+}، Mg^{2+}، Na^{+}، K^{+}) و آنیون‌های اصلی (Cl^{-}، HCO_3^{-}، SO_4^{2-}). با توجه به در دسترس نبودن داده‌های دما در ایستگاه‌های معرف کیفی آب زیرزمینی، از بررسی این پارامتر صرف‌نظر شد. تعداد ۳۷ حلقه چاه آب زیرزمینی (چاه معرف) در محدوده‌ی دشت مورد مطالعه و سه ایستگاه هیدرومتری واقع بر رودخانه‌های دز (ایستگاه دزفول)، کرخه (ایستگاه پای‌پل) و شاوور (ایستگاه پل شاوور) انتخاب شده‌اند. ایستگاه‌های مورد بررسی پس از ثبت اطلاعات و مختصات جغرافیایی با علامت اختصاری W کدگذاری شدند. محاسبه‌ی درصد خطای موازنه‌ی یونی اختلاف کاتیون‌ها و آنیون‌ها بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر نشان داد

www.SID.ir

Archive of SID

که خطای انجام آزمایش در تمام نمونه‌های مورد استفاده در حد استاندارد تعیین شده (کمتر از ۵± درصد) برای صحت داده‌ها است (Freeze and Cherry, 1979; Yang et al., 2007).

۲-۴- تحلیل خوشه‌ای

تحلیل خوشه‌ای یک روش شناسایی الگوریتم بین مجموعه‌ای از داده‌ها است که رفتار اصلی یا ساختار اساسی بین داده‌ها را بدون ایجاد یک پیش فرض، به‌منظور طبقه‌بندی داده‌ها بر اساس شباهت بین آن‌ها، مشخص می‌کند (Thompson, 2000). تکنیک‌های خوشه‌بندی مختلفی وجود دارد که تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی یکی از پرکاربردترین روش‌ها در علوم زمین است (Davis, 1986). با استفاده از روش خوشه‌بندی آماری می‌توان نمونه‌ها را به گروه‌های متمایزی که از لحاظ زمین‌شناسی و آماری معنی‌دار باشند، تقسیم‌بندی کرد (Güler et al., 2002). در تجزیه و تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی فاصله‌ی بین نمونه‌ها به عنوان یک معیار شباهت مورد استفاده قرار می‌گیرد (Vega et al., 1998). برای خوشه‌بندی و قرار دادن نمونه‌ها در گروه‌های جدا، روش‌های مختلفی مـانند: همبستگی منفرد[۳]، همبستگی کامـل[۴]، روش وارد و غیره استفاده می‌شـود (Farshadfar, 2005). هر دو روش همبستگی منفرد و کامل دارای حساسیت بالایی نسبت به داده‌های پرت هستند اما در روش وارد با توجه به اینکه از تجزیه و تحلیل واریانس برای تعیین فاصله‌ی بین خوشه‌ها استفاده می‌شود، گروه‌هایی با ویژگی‌های متمایزتر نسبت به سایر روش‌ها ایجاد می‌شود (Batayneh and Zumlot, 2012). در این تحقیق به‌منظور گروه‌بندی نمونه‌های منابع آب زیرزمینی و آب سطحی در منطقه‌ی مورد مطالعه، با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی، از فاصله‌ی اقلیدسی به‌عنوان سنجش تشابه نمونه‌ها و طبق روش تکرار وارد[۵] که به‌عنوان روشی بسیار قدرتمند در خوشه‌بندی داده‌ها اثبات شده است (Ward, 1963; Willett, 1987)، استفاده شد. تابع الگوریتم وارد مطابق رابطه (۱) مجموع مربعات فاصله اعضا از مرکز ثقل خوشه را به حداقل می‌رساند:

$$W=\sum_{k-1}^{K}\sum_{j-1}^{m}\sum_{j-1}^{N_K}(Y_{iy}^{k}-Y_{wj}^{k})^2 \qquad (۱)$$

در این رابطه K تعداد خوشه‌های موجود، m تعداد متغیرهای در نظر گرفته شده، N_k تعداد اعضای متعلق به هر خوشه Y_{wj}^{k} مقدار متوسط بی‌بعد شده متغیر j در خوشه‌ی k، Y_{iy}^{k} مقدار بی‌بعد شده‌ی متغیر j مربوط به عضو i واقع در خوشه‌ی k می‌باشد. برای بی‌بعد کردن مقدار متغیر از رابطه‌ی (۲) استفاده می‌شود:

$$Y_{ij}=\frac{W_j}{\sigma_j}\left[f(x_{ij})\right] \qquad (۲)$$

در این رابطه x_{ij} مقدار متغیر j ام مربوط به عضو i، $f(x_{ij})$ تابع تبدیل، W_j وزن در نظر گرفته شده برای متغیر j و σ_j، Y_{ij} به ترتیب انحراف استاندارد و مقدار بی‌بعد شده‌ی متغیر i است (Farshadfar, 2005). نتایج بدست آمده را می‌توان به صورت یک نمودار درختی که خلاصه‌ای بصری از فرآیند خوشه‌بندی است، ارائه کرد. دندروگرام[۶] با کاهش قابل توجهی در ابعاد داده‌های اصلی، تصویری از گروه‌ها و نزدیکی آنها با یکدیگر فراهم می‌کند. هم‌چنین نمودار درختی به عنوان بهترین روش برای نمایش نتایج حاصل از تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی در نظر گرفته می‌شود (Kruskal and Landwehr, 1983). ابتدا با استفاده از داده‌های چاه‌های مشاهده‌ای در منطقه خطوط هم‌پتانسیل تراز آب زیرزمینی و جهت جریان ترسیم شد، سپس با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SPSS Statistics 22 و Minitab 17 تحلیل سلسله مراتبی و خوشه‌بندی داده‌های کیفی آب برای سه دوره‌ی آماری نرمال، تر و خشک انجام شد.

۳- نتایج و بحث

تحلیل خوشه‌ای به منظور بررسی شباهت بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری مورد استفاده قرار گرفت. نمودار درختی ایستگاه‌ها در سه دوره آماری نرمال، تر و خشک در شکل ۳ ارائه گردید. محور افقی موقعیت ایستگاه‌ها در خوشه‌بندی و محور عمودی فاصله‌ی بین خوشه‌ها را نشان می‌دهد. شباهت بین ایستگاه‌ها از طریق قرار گرفتن آن‌ها در یک شاخه مشخص می‌شود. همانطور که پژوهش‌هایی مانند Güler et al. (2002) و Daughney and Reeves. (2005) اشاره کرده‌اند، به‌منظور شناسایی خوشه‌های بیشتر و یا کمتر، آستانه‌ی جداسازی را می‌توان بالا برد و یا کاهش داد. در این شکل سه گروه متمایز در نظر گرفته شده است. گروه a که با فاصله‌ی دورتری از دو گروه دیگر قرار گرفته است و این بیانگر شباهت بیشتر دو گروه b و c به یکدیگر می‌باشد. به منظور نمایش بهتر مکان قرارگیری چاه‌های آب زیرزمینی در هر خوشه، شکل ۴ ارائه شده است.

در دوره‌ی نرمال شکل ۴، ۶۵ درصد از ایستگاه‌ها در گروه اول، ۲۶ درصد در گروه دوم و ۹ درصد از ایستگاه‌های مورد بررسی در گروه سوم جای گرفته‌اند. ملاحظه می‌گردد اغلب ایستگاه‌های واقع در ساحل راست رودخانه‌ی دز که نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان دشت دز غربی می‌باشند، در گروه اول (نماد دایره) قرار گرفته‌اند. هم‌چنین، ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه‌ی شاوور و رودخانه‌ی دز به‌عنوان نماینده آب‌های سطحی در منطقه، در گروه اول جای گرفته‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID

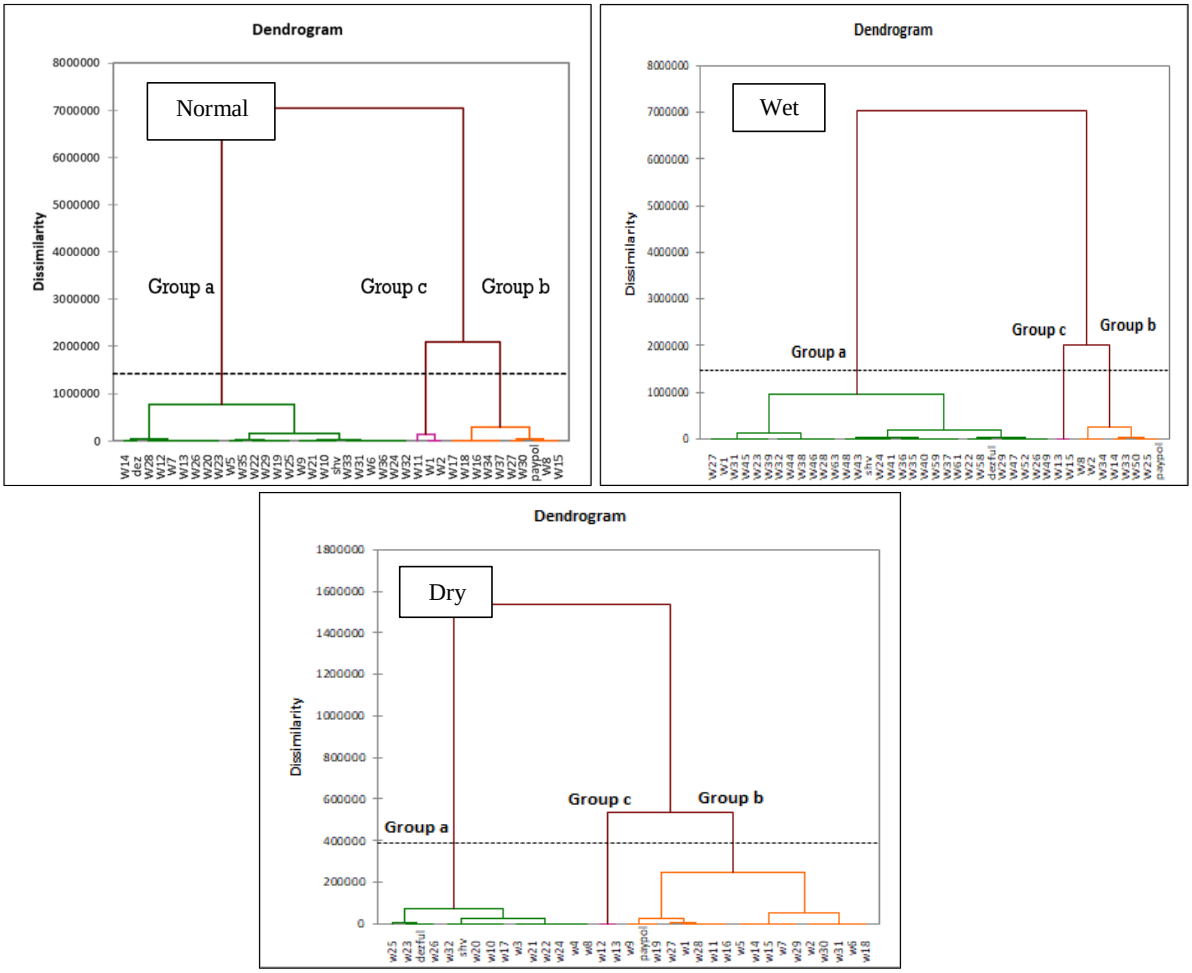

Fig. 3- Dendrogram showing the cluster of groundwater and surface water sampling sites on Dezful-Andimeshk plain

شکل ۳- نمودار درختی تحلیل خوشه‌ای نمونه‌های آب زیرزمینی و سطحی در دشت دز غربی

گروه b (نماد مربع) شامل چاه‌های واقع در نیمه‌ی میانی تا جنوبی ساحل چپ رودخانه‌ی کرخه و گروه c (نماد مثلث) دو حلقه چاه اطراف ایستگاه هیدرومتری پای‌پل (رودخانه‌ی کرخه) می‌باشد.

طبق بررسی‌های کیفی، گروه a دارای پایین‌ترین EC، بین µS/cm ۴۵۰ تا ۸۵۰ می‌باشد. EC گروه دوم بین µS/cm ۱۱۱۰ تا ۱۴۵۰ است و گروه سوم دارای بدترین کیفیت با EC بیش از µS/cm ۲۰۰۰ می‌باشد. از آن‌جا که اساس تحلیل خوشه‌ای یافتن شباهت‌هاست، بنابراین می‌توان این‌گونه تفسیر کرد که نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان ساحل راست دز و نمونه‌ی آب رودخانه‌ی شاوور و دز به لحاظ پارامترهای کیفی شباهت بالایی دارند و کمترین شباهت در ایستگاه‌های کرخه و چاه‌های اطراف آن می‌باشد. جدول ۱ نتیجه‌ی حاصل از خوشه‌بندی ایستگاه‌ها براساس داده‌های کیفی را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد در هر سه دوره‌ی آماری نرمال، تر و خشک، ایستگاه‌های رودخانه‌ی شاوور و دز در گروه اول قرار گرفته‌اند.

شکل ۴ (Wet Period)، نتایج تحلیل خوشه‌ای در دوره‌ی ترسالی (۱۳۹۳-۱۳۹۲) را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد پراکندگی گروه اول در دشت بسیار گسترده‌تر شده، ۷۵ درصد از ایستگاه‌ها در گروه اول قرار گرفته‌اند و این گواه کیفیت خوب نمونه‌ها در منطقه می‌باشد. به‌طورکلی میزان املاح در گروه‌بندی ایستگاه‌ها در سه دوره‌ی آماری به صورت مقابل خلاصه می‌شود: گروه a < گروه b < گروه c. میزان EC در اطراف حوضه‌ی رودخانه‌ی کرخه افزایش داشته و کمترین مقدار EC مربوط به رودخانه‌ی دز (۴۰۰µS/cm) و آبخوان ساحل راست رودخانه‌ی دز می‌باشد. بین نقشه‌ی هم‌پتانسیل EC و نتایج تحلیل خوشه‌ای، سازگاری و تطابق خوبی برقرار است. به نظر می‌رسد

www.SID.ir

Archive of SID

Table 1- Cluster analysis results based on sampling sites in normal, wet and dry periods
جدول ۱- نتایج تحلیل خوشه‌ای بر اساس ایستگاه‌های نمونه‌برداری در دوره‌های آماری نرمال، تر، خشک

Normal	a	w5-w6-w7-w9-w10-w12-w13-w14-w19-w20-w21-w22-w23-w24-w25-w26-w28-w29-w31-w32-w33-w35-w36-Shavoor-Dezfoul
	b	w8-w15-w16-w17-w18-w27-w30-w34-w37-Paypol
	c	w1-w2-w11
Wet	a	w1-w22-w23-w24-w26-w27-w28-w29-w31-w32-w35-w36-w37-w38-w39-w40-w41-w43-w44-w45-w46-w47-w48-w49-w52-w58-w59-w61-w63-Shavoor-Dezfoul
	b	w2-w8-w14-w25-w33-w34-w50-Paypol
	c	w13- w15
Dry	a	w3-w4-w8-w10-w17-w20-w21-w22-w23-w24-w25-w26-w32-Shavoor-Dezfoul
	b	w1-w2-w5-w6-w7-w9-w11-w14-w15-w16-w18-w19-w27-w28-w29-w30-w31-Paypol
	c	w12-w13

آبخوان واقع در دشت دز غربی متأثر از رودخانه‌ی دز و شبکه‌ی آبیاری دشت است. زیرا تغییرات بین آبخوان و رودخانه در دوره‌های آماری بررسی شده مشابه است. مقدار EC در روستاهای مالحه استقلال (W13) و روستای عنکوش (W15)، اطراف کرخه به ۲۷۰۰ µS/cm هم می‌رسد، بنابراین به نظر می‌رسد رودخانه‌ی کرخه تأثیری در تغذیه‌ی آبخوان دشت نداشته باشد.

در دوره‌ی خشک با توجه به کاهش مقدار بارندگی، میزان آبدهی شبکه‌ی آب سطحی و شبکه‌ی آبیاری دز کاهش پیدا کرده و بنابراین افزایش غلظت املاح و هدایت الکتریکی در دشت دز غربی مشاهده می‌شود. در (شکل ۴، Dry Period) ملاحظه می‌گردد نشانگرهای گروه دوم (مربع‌ها)، در محدوده‌ی دشت، پرتعدادتر ظاهر شده‌اند، قسمت‌های شمالی دشت و اطراف رودخانه‌ی دز مشابه نتایج خوشه‌بندی در دوره‌ی نرمال، در گروه اول قرار گرفته‌اند اما در نواحی شرقی دشت افزایش EC در نقشه‌ی هم‌پتانسیل هدایت الکتریکی (شکل ۵) به خوبی تغییرات را نشان می‌دهد.

به‌طورکلی غلظت یون‌های اصلی و EC به‌ترتیب در توالی خوشه‌ای از گروه اول تا سوم افزایش یافته است. نمودار جعبه‌ای رسم شده با هدف نمایش روند تغییرات EC بین گروه‌های به‌دست آمده از تحلیل خوشه‌ای و نمونه‌های آب سطحی دشت دز غربی در سه دوره‌ی آماری نمایش داده شده است (شکل ۶). نمودار جعبه‌ای به منظور نشان دادن دامنه تغییرات و روندیابی داده‌ها استفاده می‌شود. خط میانی در هر جعبه بیانگر مقدار میانه، قسمت پایینی نشان‌دهنده‌ی چارک سوم (صدک ۷۵) و قسمت بالایی جعبه چارک اول (صدک ۲۵) را مشخص می‌کند. همچنین بیشترین و کمترین مقدار با خطوط عمودی از بالا و پایین به جعبه وصل شده‌اند (Helsel and Hirsch, 1992). ملاحظه می‌گردد روند تغییرات هدایت الکتریکی در گروه a و رودخانه‌های شاوور و دزفول نزدیک به هم می‌باشد. هم‌چنین گروه c و ایستگاه پای‌پل رودخانه‌ی کرخه روند مشابهی را دنبال می‌کنند. روند افزایش هدایت الکتریکی از ارتفاعات رودخانه‌ی دز در قسمت شمال شرقی دشت به سمت نواحی جنوبی، کاملاً با جهت جریان تطابق دارد. افت کیفیت آب در قسمت‌های جنوبی دشت دز غربی می‌تواند مربوط به اثر رسوبات رسی و دانه‌ریز حاوی نمک سازند آغاجاری و بخش لهبری باشد که شور شدن نمونه‌های آب را در پی دارد. هرقدر رسوبات دانه‌ریزتر باشند، حرکت آب کندتر و زمان ماندگاری آب در میان‌لایه‌ها بیشتر می‌شود و در نتیجه انحلال بیشتر املاح را به دنبال خواهد داشت. هم‌چنین این نمودار با نتایج حاصل از خوشه‌بندی کاملاً سازگار است.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از روش آماری تحلیل خوشه‌ای پارامترهای کیفی و ایستگاه‌های هیدرومتری و چاه‌های معرف آبخوان دشت دز غربی مورد بررسی قرار گرفتند. به‌طورکلی جهت جریان آب زیرزمینی از ارتفاعات شمال شرقی دشت به سمت نواحی جنوبی دشت می‌باشد. براساس نتایج تحلیل خوشه‌ای سه گروه متمایز استخراج شد، درگروه اول رودخانه‌ی دز و شاوور شباهت بالایی به نمونه‌های آب زیرزمینی ساحل راست دز دارند، چاه‌های واقع در نیمه‌ی جنوبی دشت در گروه دوم قرار گرفتند. این گروه به لحاظ کیفی بیشترین شباهت را به نمونه‌های اطراف ایستگاه پای‌پل واقع بر رودخانه‌ی کرخه داشت. به طور کلی میزان املاح در گروه‌بندی ایستگاه‌ها در سه دوره‌ی آماری نرمال،خشک و تر به صورت مقابل خلاصه می‌شود: گروه a < گروه b < گروه c. پارامتر EC جهت تعیین شباهت در روند تغییرات سه رودخانه و آبخوان منطقه به‌طور هم‌زمان، مورد استفاده قرار گرفت.

www.SID.ir

Archive of SID

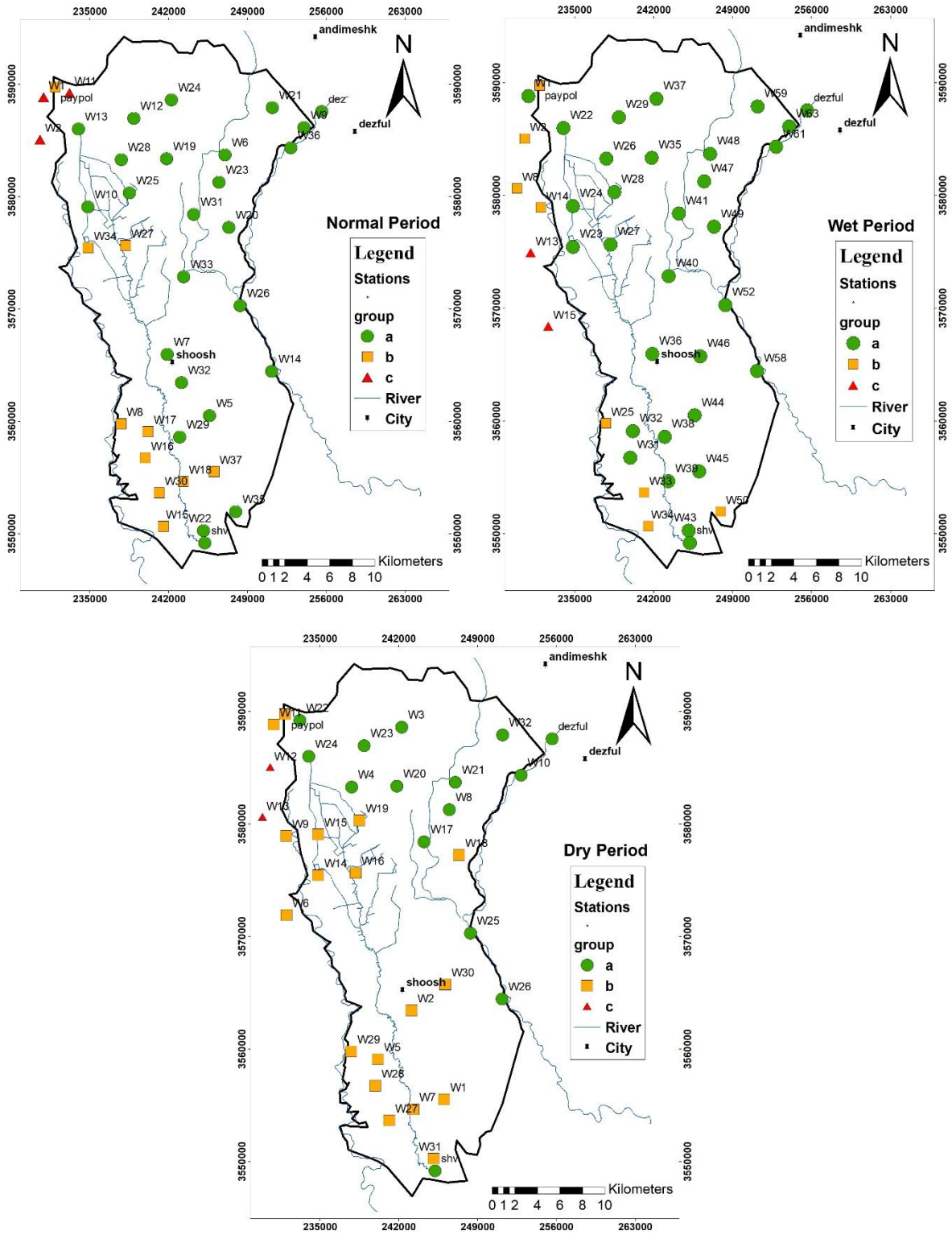

Fig. 4- Location of surface water and groundwater sampling sites from cluster analysis in Dezful-Andimeshk plain

شکل ۴- موقعیت قرارگیری نمونه‌های آب سطحی و زیرزمینی حاصل از تحلیل خوشه‌ای در دشت دز غربی

www.SID.ir

Archive of SID

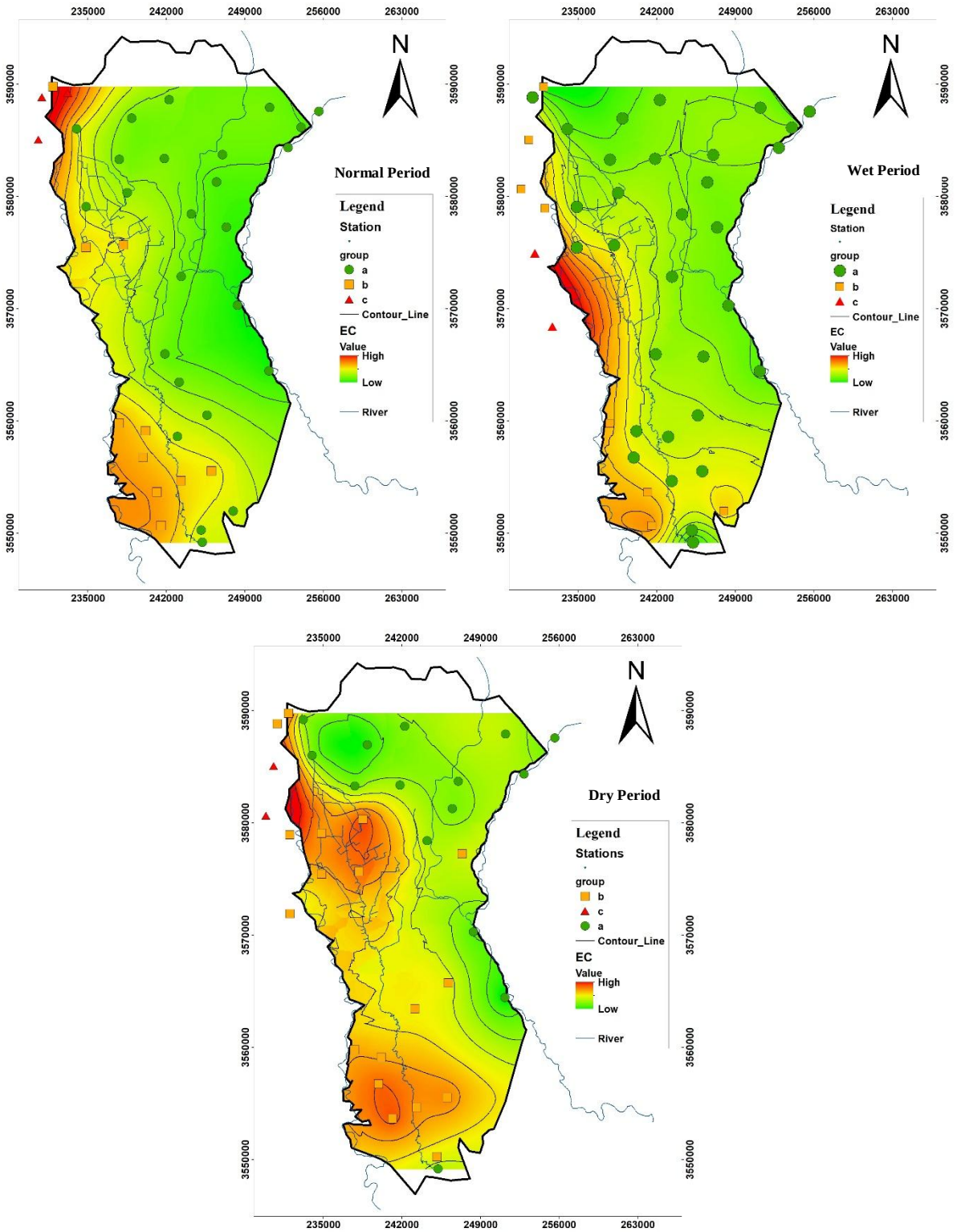

Fig. 5- EC contour map of Dezful-Andimeshk plain in normal, wet and dry periods

شکل ۵- نقشه‌ی هم‌ارزش هدایت الکتریکی دشت دز غربی در سه دوره‌ی آماری: نرمال، تر، خشک

www.SID.ir

Archive of SID

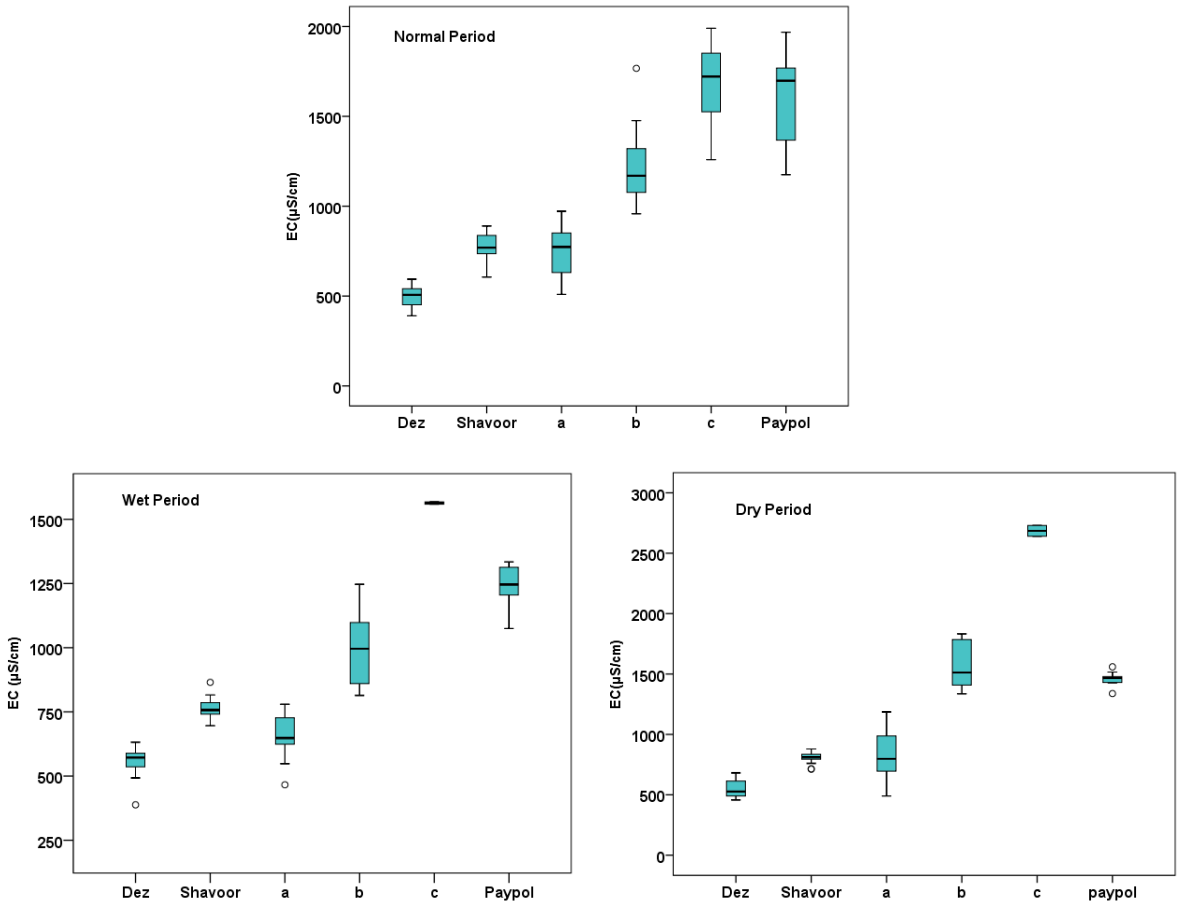

Fig. 6- Boxplot showing the EC concentration of sampling sites in the study area

شکل ۶- نمودار جعبه‌ای هدایت الکتریکی نمونه‌های آب دشت مورد مطالعه

نمودار جعبه‌ای به خوبی نشان می‌دهد که رودخانه‌ی کرخه کمترین شباهت را به منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت دز غربی دارد و روند تغییرات هدایت الکتریکی بین رودخانه‌ی دز و آبخوان دشت مشابه است. تحلیل خوشه‌ای در دو دوره‌ی آماری خشک و تر مجدداً تکرار شد و نتایج نشان داد، بارندگی و تغذیه آبخوان از رودخانه‌ی دز مستقیماً بر کیفیت منابع آب زیرزمینی اثرگذار است. تغذیه از رودخانه‌ی دز در منطقه مورد مطالعه باعث کاهش غلظت یون‌های اصلی و EC در محدوده‌ی اطراف رودخانه می‌شود. ملاحظه شد در دوره‌ی ترسالی، نزولات جوی و نفوذ آب رودخانه به درون آبخوان موجب بهبود کیفیت آبخوان شد و در دوره‌ی خشک، میزان املاح آب زیرزمینی و هدایت الکتریکی در بخش قابل توجهی از دشت افزایش پیدا کرد.

با توجه به توسعه اراضی کشاورزی در منطقه‌ی دشت دز غربی و وجود شبکه‌ی آبیاری دز، همچنان برداشت از آب زیرزمینی به منظور آبیاری اراضی صورت می‌گیرد، توجه به نتایج بدست آمده در این پژوهش به منظور اتخاذ تصمیمات مدیریتی مؤثر در بهره‌برداری از منابع آب سطحی و زیرزمینی شایان توجه است.

پی‌نوشت‌ها

1- Cluster Analysis
2- Wairarapa
3- Single Linkage
4- Complete Linkage
5- Wards Method
6- Dendrogram

۵- مراجع

Anbari AH and Mohammadi H (2018) Hydrochemical assessment of surface and ground water resources of Bostan plain using multivariate statistical techniques. Iran-Water Resources Research 14(2):242-253 (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

Madani K, AghaKouchak A and Mirchi A (2016) Iran's Socio-economic drought: Challenges of a water-bankrupt nation. Iranian Studies 49:(6):997-1016

Menció A and Mas-Pla J (2008) Assessment by multivariate analysis of groundwater–surface water interactions in urbanized Mediterranean streams. Journal of Hydrology 352(3-4): 355-366

Naderi K, Nadiri AA, Asghari Moghaddam A and Kord M (2018) Hydrogeochemistry evaluation of Salmas plain aquifer using multivariate statistical methods. Iranian Journal of Ecohydrology 5(3):791-800 (In Persian)

Naseri HR and Saffar Zade A (2005) Investigating the relationship between free and confined aquifers of Shoosh plain with regard to hydrochemical data. Geological Society of Iran, Shahroud University (In Persian)

Rotiroti M, Zanotti C, Fumagalli L, Taviani S, Stefania G, Patelli M, Nava V, Soler V, Sacchi E and Leoni B (2019) Multivariate statistical analysis supporting the hydrochemical characterization of groundwater and surface water: A case study in northern Italy. Rendiconti Online Societa Geologica Italiana

Tay CK, Hayford E, Hodgson IO and Kortatsi BK (2015) Hydrochemical appraisal of groundwater evolution within the Lower Pra Basin, Ghana: a hierarchical cluster analysis (HCA) approach. Environmental Earth Sciences 73(7):3579-3591

Thompson RQ (2000) Analytical chemistry (ed.s Kellner R; Mermet J M; Otto M; Widmer H M). Journal of Chemical Education, American Chemical Society 77(4):453

VÁzquez JCG, Grande JA, BarragÁn FJ, OcaÑa JA, and Torre MLD La (2005) Nitrate accumulation and other components of the groundwater in relation to cropping system in an aquifer in southwestern Spain. Water Resources Management 19(1):1-22

Vega M, Pardo R, Barrado E and Debán L (1998) Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. Water Research 32(12):3581-3592

Ward JH (1963) Hierarchical grouping to optimize an objective function. Journal of the American Statistical Association 58(301):236-244

Willett P (1987) Similarity and clustering in chemical information systems. Letchworth, Hertfordshire, England: Research Studies Press

Woocay A and Walton J (2008) Multivariate analyses of water chemistry: surface and ground water interactions. Groundwater 46(3):437-449

Kruskal J B and Landwehr J M (1983) Icicle Plots: Better Displays for Hierarchical Clustering. The American Statistician 37(2):162-168

Batayneh A and Zumlot T (2012) Multivariate statistical approach to geochemical methods in water quality factor identification; Application to the shallow aquifer system of the Yarmouk Basin of North Jordan. Maxwell Science Publication

Dahm CN, Grimm NB, Marmonier P, Valett HM and Vervier P (1998) Nutrient dynamics at the interface between surface waters and groundwaters. Freshwater Biology 40(3):427-451

Daughney CJ and Reeves RR (2005) Definition of hydrochemical facies in the New Zealand National Groundwater Monitoring Programme. Journal of Hydrology (New Zealand). New Zealand Hydrological Society 44(2):105-130

Davis JC (1986) Statistics and Data Analysis in Geology. Wiley

Everest T and Özcan H (2019) Applying multivariate statistics for identification of groundwater resources and qualities in NW Turkey. Environmental Monitoring and Assessment 191:47

Farshadfar A (2005) Multivariate statistical principles and methods. Razi University of Kermanshah (In Persian)

Freeze RA and Cherry JA (1979) Groundwater. Prentice-Hall

Guggenmos M, Jackson B, and Daughney J C (2011) Investigation of groundwater-surface water interaction using hydrochemical sampling with high temporal resolution, Mangatarere catchment, New Zealand. Hydrology and Earth System Sciences Discussions 8(6):10225-10273

Güler C, Thyne GD, McCray JE and Turner KA (2002) Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data. Hydrogeology Journal 10(4):455-474

Helsel D and Hirsch R (1992) Statistical Methods in Water Resources. Amsterdam, The Netherlands, Elsevier Science Publishers

Khodaei K, Naseri HR, Shahsavari AA, Hatefi R and Asadian F (2015) Identifing effective factors on groundwater quality and contamination in Dezful-Andimeshk plain using factor analysis method. Iranian Journal of Geology (34):1-18 (In Persian)

Lautz LK and Fanelli RM (2008) Seasonal biogeochemical hotspots in the streambed around restoration structures. Biogeochemistry 91(1):85-104

www.SID.ir

Archive of SID

Yang H, Shen Z, Zhang J and Wang W (2007) Water quality characteristics along the course of the Huangpu River (China). Journal of Environmental Sciences 19(10):1193-1198

Zhang B, Song X, Zhang Y, Han D, Tang C, Yu Y and Ma Y (2012) Hydrochemical characteristics and water quality assessment of surface water and groundwater in Songnen plain, Northeast China. Water Research 46(8):2737-2748

www.SID.ir