

## Hydrochemical Assessment of Surface and Groundwater Resources of the Bostan Plain Using Multivariate Statistical Techniques

N. Kalantari<sup>1\*</sup>, A. Anbari<sup>2</sup>, H. Mohammadi<sup>3</sup>

### Abstract

Hydrochemical analyzes of 35 water samples during a dry and a wet seasons (July 2016 and April 2017) have been used to identify, extract the main factors of the hydrochemical changes, and investigate the geochemical processes controlling the surface water and groundwater resources of Bostan plain. In this research, two multivariate statistical methods of hierarchical cluster analysis (HCA) and principal components analysis (PCA) were used to classify water quality samples of the region. According to HCA, there are three main hydrochemical facies in Bostan plains; facies with higher salinity (group 1: Na-Cl), lower salinity facies (group 2: Ca-Na-SO<sub>4</sub>-Cl), intermediate facies (group 3: Na-Mg-Cl). In the analysis of the PCA, the first factor of the three factors showed 68.2% of the change. The second and third factors exhibited 14.45% and 9.25% of the change, respectively. The results of this study clearly demonstrated the usefulness and benefits of multivariate statistical techniques in assessing the hydrochemical characteristics of surface and groundwater.

**Keywords:** Groundwater, Hydrochemistry, Multivariate Statistical Methods, Facies, Bostan Plain.

Received: July 21, 2017

Accepted: January 22, 2018

## بررسی هیدروشیمیایی منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت بستان با استفاده از تکنیک‌های آماری چندمتغیره

نصرالله کلانتری<sup>۱\*</sup>، ابوالحسن عنبری<sup>۲</sup> و هادی محمدی<sup>۳</sup>

### چکیده

به منظور شناسایی عوامل اصلی تغییرات هیدروشیمیایی و بررسی فرآیندهای ژئوشیمی کنترل‌کننده منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت بستان از نتایج آنالیز شیمیایی ۳۵ نمونه آب در دو فصل خشک (تیر ماه ۱۳۹۵) و مرطوب (فروردین ماه ۱۳۹۶) استفاده شده است. در این تحقیق، دو روش آماری چند متغیره تجزیه و تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی (HCA<sup>۱</sup>) و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA<sup>۲</sup>)، برای طبقه‌بندی کیفی نمونه‌های آب منطقه بکار گرفته شد. بر اساس مطالعات انجام شده از HCA، سه رخساره‌ی اصلی هیدروشیمی دشت بستان شامل رخساره‌ی با شوری زیاد (گروه ۱: Na-Cl)، با شوری کمتر (گروه ۲: Ca-Na-SO<sub>4</sub>-Cl)، و رخساره حد واسط (گروه ۳: Na-Mg-Cl) مشاهده گردید. در روش PCA، اولین عامل ۶۸/۲ درصد و عامل‌های دوم و سوم به ترتیب ۱۴/۴۵ و ۹/۲۵ درصد از تغییرات را نشان می‌دهند. نتایج این مطالعه به وضوح فوائد تکنیک‌های آماری چند متغیره را در ارزیابی هیدروشیمیایی منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت مورد مطالعه نشان می‌دهد.

**کلمات کلیدی:** آب زیرزمینی، هیدروشیمی، تکنیک‌های آماری چند متغیره، رخساره، دشت بستان.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۴/۳۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۱۱/۲

1- Professor, Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. Email: nkalantari@hotmail.com  
2- M.Sc. Student of Hydrogeology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.  
3- M.Sc. Graduate in Hydrogeology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.  
\*- Corresponding Author

۱- استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.  
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.  
۳- دانش‌آموخته هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.  
\*- نویسنده مسئول  
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۳۹۷ امکانپذیر است.

کاهش منابع آب شیرین به یک مسأله مهم در دنیا تبدیل شده است (WHO, 2012). این مسأله باعث شده است که آبهای زیرزمینی از اهمیت ویژه‌ای برای مصارف مختلف به خصوص در مناطق بیابانی و نیمه بیابانی برخوردار باشند (Mtoni et al., 2013). تأمین امنیت آب از نظر کمی و کیفی برای رفع نیازهای انسان و اکوسیستم، یکی از مسائل مورد بحث در قرن ۲۱ است (Amangabara and Ejenma, 2012) و به طور بالقوه تحت تأثیر بسیاری از عوامل طبیعی و انسانی قرار می‌گیرد. (Freez and Cherry, 1997) این عوامل را به منشأ آب، میزان تخییر آن ناحیه، انواع سنگ و کانی‌های موجود در مسیر (زمین‌شناسی و کانی‌شناسی حوضه)، فرآیندهای شیمیایی حاکم در آبخوان، سرعت حرکت آب و مدت زمان تماس آب و مواد معدنی در مسیر جریان، تقسیم‌بندی کرده است. با بررسی تغییر مقادیر و نوع املاح در مسیر جریان آب زیرزمینی، می‌توان به تأثیر لیتولوژی اطراف سفره آبدار، سرعت آب در مسیر جریان، مقدار تغذیه و تخلیه و بسیاری از عوامل هیدروژئولوژیکی منطقه، به میزان قابل توجهی پی برد (Mokhtari and Espahbod, 2009).

قابلیت دسترسی به آب زیرزمینی و کیفیت آن برای محققان تمام دنیا ایجاد نگرانی کرده است. از این رو بیشتر مطالعات مربوط به این موضوع، بر روی ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی از نقطه نظر نفوذ آب شور، آرسنیک و دیگر فلزات سنگین، و قابلیت بهره‌برداری از آبخوان متمرکز شده است (Li et al., 2015). پژوهش‌های صورت گرفته اهمیت روش‌های هیدروشیمیایی جهت بدست آوردن اطلاعات مفید از داده‌های زیست محیطی که تجزیه و تحلیل آنها مشکل می‌باشد را نشان می‌دهد (Belkhiri et al., 2011). در بسیاری از موارد می‌توان از تکنیک‌های چند متغیره جهت تفسیر داده‌های جمع‌آوری شده برای آب‌های سطحی و زیرزمینی استفاده کرد. بیشتر تکنیک‌های آماری چند متغیره، یک رویکرد کمی می‌باشند که جهت طبقه‌بندی نمونه‌های آب زیرزمینی برای بررسی تطابق بین متغیرها (پارامترهای شیمیایی) و ارزیابی شباهت بین مشاهدات (مکان‌های نمونه‌برداری آب زیرزمینی)، به کار می‌روند (Cloutier et al., 2008).

(Steinhorst and Williams 1985) از آنالیز آماری داده‌های هیدروشیمیایی برای شناسایی منشأ آب زیرزمینی استفاده کرده‌اند. (Usunoff and Guzman-Guzman 1989) فواید استفاده از این روش‌ها را در بررسی‌های هیدروشیمیایی و دانش هیدروژئولوژیکی آبخوان نشان داده‌اند. (Melloul and Collin 1992) از PCA به

عنوان ابزاری جهت تایید دیگر روش‌های طبقه‌بندی ژئوشیمیایی منابع آب مثل دیاگرام شولر و دیاگرام پایپر استفاده کرده‌اند و به طور موفقیت‌آمیزی گروه‌های مختلف و فاکتورهای تأثیرگذار بر کیفیت آب زیرزمینی را شناسایی نموده‌اند. (Yidana et al. 2007) جهت تعیین منشأ یون‌های محلول در آب زیرزمینی دشت افرام غنا، با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره (PCA و HCA) و مدل ژئوشیمیایی معکوس، دئوع رخساره هیدروشیمی در منطقه مورد مطالعه را تشخیص داده‌اند. (Isa et al. 2014) با استفاده از PCA، عوامل آلودگی آبخوان جزیره کاپاس (Kapas) در مالزی را فلزات سنگین آرسنیک و منگنز معرفی کردند و استفاده از این روش در شناسایی عوامل تأثیرگذار بر کیفیت آب را بسیار مفید دانسته‌اند. (Lie et al. 2015) به بررسی هیدروشیمیایی دراز مدت آب‌های زیرزمینی دشت شمال چین (NCP) با استفاده از تجزیه و تحلیل‌های هیدروژئولوژیکی به همراه تکنیک‌های آماری چندمتغیره پرداختند. آنها در این مطالعه به این نتیجه دست یافتند که واکنش سنگ و آب و فعالیت‌های انسانی (بهره‌برداری بیش از حد)، عامل‌های کنترل‌کننده غلظت یون‌های عمده می‌باشند. (Jalali and Asghari 2012) به بررسی وضعیت هیدروژئوشیمیایی و روند شوری در سفره آبدار دشت خوی به روش‌های آماری و هیدروشیمیایی پرداختند و با استفاده از PCA عوامل تأثیرگذار بر منطقه را شناسایی کردند. (Mahmoudi et al. 2016) در بررسی منابع آب دشت شیر امین، استفاده از روش‌های آماری چند متغیره در شناخت عوامل مؤثر بر کیفیت آب و خوشه‌بندی آنها مؤثر دانستند. (Javanmard and Asghari Moghaddam 2016) جهت تحلیل کیفیت آب زیرزمینی دشت مهربان آذربایجان شرقی از تکنیک‌های آماری چند متغیره و مدل‌های هیدروشیمیایی استفاده نمودند. آنها در این پژوهش به طور موفقیت‌آمیزی منشأ شوری آب زیرزمینی و تأثیر سازندهای زمین‌شناسی را بر کیفیت آب منطقه تعیین کرده‌اند. بررسی کیفیت آب زیرزمینی زاهدان (Khazaie, 2001)، بررسی میزان آلودگی شبکه توزیع آب شهر دامغان به نترات (Mahdavi Nia and Nick Ravesh, 2002)، بررسی کیفیت آب شرب بندرعباس (Nowshadi et al., 2009) و ارزیابی کیفیت آب سطحی حوزه آبریز هرات- قره‌سو (Nosrati et al., 2011) از جمله مطالعات انجام شده در این زمینه در کشور، به شمار می‌روند. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهند که آنالیزهای آماری چند متغیره به طور قابل توجهی برای طبقه‌بندی آب‌های سطحی و زیرزمینی و شناسایی مکانیسم‌های عمده تأثیرگذار بر شیمی منابع آب مفید هستند. هنگامی که تفسیرهای هیدروشیمیایی با دانش زمین‌شناسی و اطلاعات هیدروژئولوژیکی ترکیب می‌شوند، روش‌های آماری چند متغیره نیز می‌توانند به درک جریان آب زیرزمینی در سیستم

پیچیده‌ی آبخوان کمک کنند (Farnham et al., 2000; Stetzenbach et al., 2001; Cloutier et al., 2008).

درجه سانتیگراد می‌باشد. با توجه به شاخص‌های اقلیمی دوارتن و سلیانیونوف اقلیم منطقه مورد مطالعه خشک و بیابانی است.

## ۲-۲- نمونه‌برداری و آنالیز شیمیایی نمونه‌ها

یکی از بخش‌های مهم مطالعات هیدروشیمیایی نمونه‌برداری است، چون اگر به درستی انجام نشود می‌تواند موجب اشتباه در تمام مراحل بعدی باشد. جهت شناخت سیستم ژئوشیمیایی آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از منابع آب سطحی و زیرزمینی در دو نوبت (تیر ۹۵ و فروردین ۹۶) نمونه‌برداری به عمل آمد. جهت نمونه‌برداری از منابع آب منطقه مورد مطالعه، ۱۲ حلقه پیزومتر و ۳ نمونه آب سطحی در تیرماه و ۱۳ حلقه پیزومتر و ۷ نمونه آب سطحی در فروردین ماه با پراکنش مناسب انتخاب گردید. جهت نمونه‌برداری کیفی از ظروف پلی‌اتیلنی نیم لیتری استفاده شد. در طول مراحل نمونه‌برداری، کنترل و تضمین کیفیت نمونه‌برداری مطابق با روش استاندارد (EPA, 2006) انجام شده است. آنالیز شیمیایی نمونه‌های منابع آب دشت بستان طبق جدول ۱ در آزمایشگاه سازمان آب و برق خوزستان انجام شده است.

## ۲-۳- آماده‌سازی داده‌ها و تکنیک‌های آماری چند متغیره

جهت صحت‌سنجی نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌ها از روش خطای واکنش<sup>۳</sup> (Mondel And Shiften, 1981) استفاده شده است. در این روش مجموع اکی‌والان کاتیون‌ها و آنیون‌های هر محلول باید با هم برابر و یا در محدوده خطای قابل قبول (کمتر از  $\pm 5$  درصد) باشد. جهت ارزیابی نرمال بودن داده‌ها، از شاخص‌های چولگی و کشیدگی و سپس آزمون کلموگراف-اسمیرنوف<sup>۴</sup> استفاده شده است. در این روش اگر مقدار چولگی و کشیدگی داده‌ها در بازه‌ی ۲ تا ۲- قرار گیرد، توزیع داده‌ها نرمال است و نیازی به فرآیند نرمال‌سازی داده‌ها نمی‌باشد و سپس جهت اطمینان از نرمال بودن داده‌ها از آزمون کلموگراف-اسمیرنوف استفاده می‌شود (Habibi, 2007). با استفاده از این شاخص‌های آماری و نتایج حاصل از آزمون کلموگراف و اسمیرنوف، متغیرها از توزیع نرمال پیروی می‌کنند. لازم به ذکر است که در طی بررسی داده‌ها در نرم‌افزار SPSS هیچ داده پرت و مشکوکی نیز یافت نشد. با استفاده از روش خوشه‌ای سلسله مراتبی و تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی، داده‌های هیدروشیمیایی منطقه مورد مطالعه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. در این پژوهش برای محاسبات ریاضی و آماری از نرم‌افزار XLSTAT 2016 و SPSS Statistic 22 و برای ترسیم دیاگرام پایپر از نرم‌افزار Aq.Qa 2013 استفاده شده است.

هدف از این پژوهش، شناسایی فرآیندهای کنترل‌کننده کیفیت منابع آب دشت بستان با استفاده از روش‌های آماری، شامل آنالیز خوشه‌ای سلسله مراتبی (HCA) و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) می‌باشند. این پژوهش اهمیت روش‌های آماری در ارزیابی تغییرات مکانی هیدروشیمیایی را نشان می‌دهد و همچنین تفسیر پیچیده داده‌های کیفی منابع آب را میسر می‌سازد. مراحل کلی فرآیند تحقیق در شکل ۱ ارائه شده است.

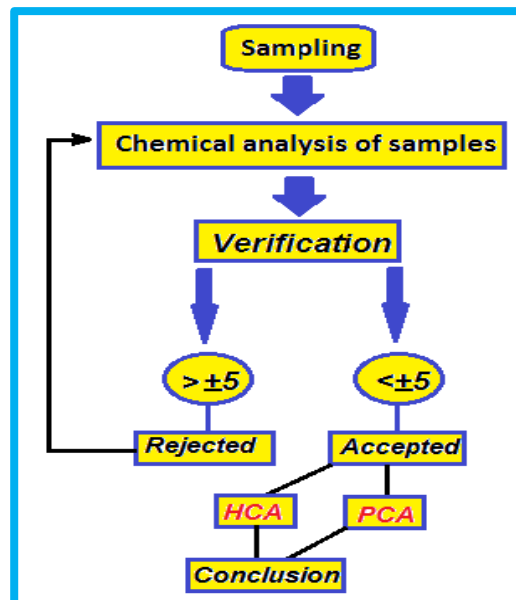


Fig. 1- Main steps of the research

شکل ۱- مراحل انجام پژوهش

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

دشت بستان در شهرستان دشت آزادگان، استان خوزستان و در ۸۰ کیلومتری غرب شهرستان اهواز واقع شده است (شکل ۲). دشت بستان با مساحت ۴۹۹ کیلومتر مربع، بین ۳۱ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۳۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۵۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۴ دقیقه طول شرقی قرار دارد. منطقه‌ی مورد مطالعه بخشی از جلگه‌ی خوزستان است و ارتفاع چندانی ندارد؛ ارتفاعات قابل ذکر آن تپه‌های شنی و کوه‌های کم ارتفاعی در شمال خاوری آن به نام میش‌داغ است. رودخانه پرآب کرخه، نهر هوفل و سابله در این دشت جریان دارند (شکل ۲). میانگین بارش سالانه آن ۲۲۸ میلی‌متر، تبخیر سالانه (طبق روش ترنت وایت) حدود ۲۷۰۱ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه آن ۲۶

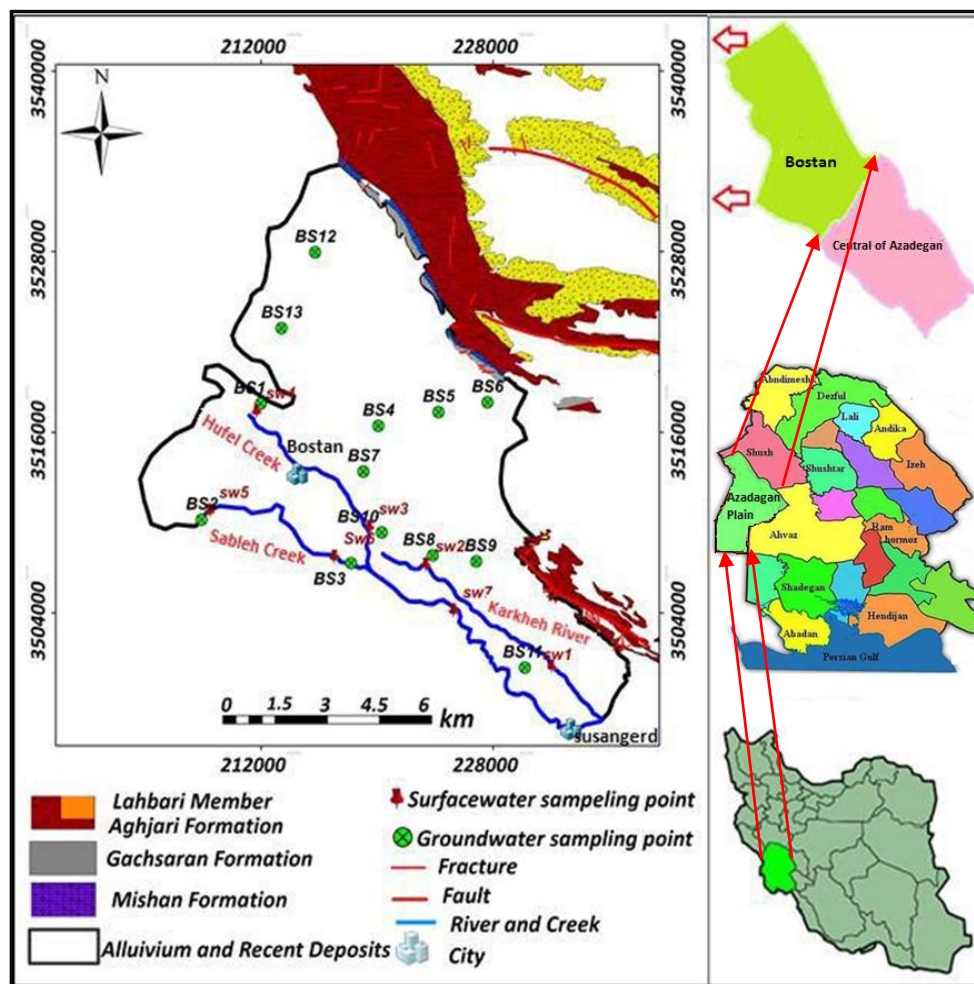


Fig. 2- Water sampling stations in the Bostan plain  
 شکل ۲- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری از منابع آب دشت بستان

Table 1- The methods used for water quality analysis  
 جدول ۱- روش‌های مورد استفاده برای آنالیز کیفیت آب

Quality parameter	Symbol	Method used
pH	pH	Potentiometric
Electrical Conductivity	EC	Conductometer
Calcium	Ca <sup>2+</sup>	EDTA (0.05 N) titrimetric
Magnesium	Mg <sup>2</sup>	EDTA (0.05 N) titrimetric
Sodium	Na <sup>+</sup>	Flame photometric
Potassium	K <sup>+</sup>	Flame photometric
Chloride	Cl <sup>-</sup>	Titration using 0.05 N AgNO <sub>3</sub>
Carbonate	CO <sub>3</sub>	Titration (with 0.01 N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
Bicarbonate	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Titration (with 0.01 N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
Sulphate	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Spectro Photometric

### ۲-۳-۱- تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی (HCA)

تحلیل خوشه‌ای برای تعیین شباهت نسبی بکار می‌رود که این شباهت، همگنی در ویژگی‌های اندازه‌گیری شده پارامترها را نشان می‌دهد. این روش آماری، کاربرد زیادی در بررسی داده‌های چند متغیره از جمله بررسی ارتباط بین متغیرها، سازمان‌دهی نمونه‌ها در قالب ساختارهای معنی‌دار و نمایش ترکیب کل آب زیرزمینی یک منطقه به تعداد محدودی از خوشه‌ها دارد. تحلیل خوشه‌ای مجموعه‌ای از متغیرها را در داخل خوشه‌های همگن جای می‌دهد. خوشه‌های حاصل از این تحلیل، از همگنی درونی (درون خوشه) و بیرونی (بین خوشه‌ها) برخوردار هستند (Shrestha and Kazama, 2007). روش‌های مختلفی برای طبقه‌بندی داده‌ها وجود دارد ولی خوشه‌بندی آماری یکی از مهم‌ترین روش‌هایی است که به طور گسترده‌ای در علوم زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد (Davis, 1986; Belkhiri et al., 2011). با استفاده از روش خوشه‌بندی آماری می‌توان نمونه‌ها را به گروه‌های متمایزی که از لحاظ زمین‌شناسی و آماری، معنی‌دار باشند تقسیم‌بندی کرد (Steinhorst and Willames, 1985; Guler et al., 2002). خوشه‌بندی متراکم سلسله مراتبی، رایج‌ترین روش تحلیل خوشه‌ای است که ارتباطات همسان ذاتی را بین هر کدام از نمونه‌ها و نیز بین همه داده‌ها فراهم می‌کند و معمولاً با یک نمودار درختی<sup>۵</sup> نشان داده می‌شود (Nosrati et al., 2011). نمودار درختی، خلاصه‌ای از فرآیند خوشه‌بندی، تصویر خوشه‌ها و مجاورت آن‌ها را به همراه کاهش قابل توجه ابعاد داده‌های اولیه نمایش می‌دهد. شباهت (به هم پیوستگی) بین خوشه‌ها و جداسازی خوشه‌های همگن برای مکان‌های نمونه‌برداری براساس فاصله اقلیدسی<sup>۶</sup> تعیین می‌شود. مکان‌های نمونه‌برداری با بیشترین شباهت در گروه اول (خوشه اول) قرار می‌گیرند و سپس با استفاده از یک قانون به هم پیوستگی بین نمونه‌ها با انجام تکرار مراحل تا زمانی که همه نمونه‌ها خوشه‌بندی شوند ادامه می‌یابد. با این مجموعه داده‌های هیدروشیمیایی، روش وارد موفقیت بیشتری برای تشکیل گروه‌هایی (خوشه‌ها) با همگنی و نیز تمایز ژئوشیمیایی بیشتر و یا کمتر در مقایسه با روش‌های دیگر مثل میانگین گروه‌های جفت شده وزنی<sup>۷</sup> دارد (Cloutier et al., 2008). روش وارد<sup>۸</sup> از دیگر روش‌های ارتباطی (به هم پیوستگی) متمایز است، زیرا با استفاده از تجزیه و تحلیل واریانس به ارزیابی فواصل بین خوشه‌ها می‌پردازد (StataSoft Inc., 2004).

### ۲-۳-۲- تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)

PCA یکی از روش‌های تبدیل داده است که برای ایجاد یک ساختار اساسی در یک مجموعه چند متغیره بکار می‌رود (Davais, 1986). تحلیل عاملی یک تکنیک تحلیلی چند متغیره از مجموعه متغیرهای

غیر همسان است که تغییرات را در پایگاه داده‌های اصلی نشان می‌دهد (Brown, 1998; Anazawa and Ohmori, 2005). تحلیل عاملی برای شناخت ساختار پنهان مجموعه‌ی متغیرها مورد استفاده قرار می‌گیرد و در اصطلاح فنی، نشان‌دهنده‌ی تغییرات معمول متغیرها به استثنای تغییرات منحصر به فرد و همچنین به دنبال یک روش برای ایجاد همبستگی متمرکز بین متغیرها می‌باشد، ولی اجزای مؤلفه‌های اصلی (PCA) منعکس‌کننده‌ی هر دو واریانس کل و منحصر به فرد از متغیرها می‌باشد و به مراتب بیشتر از تحلیل عاملی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Belkhiri et al., 2011). با این حال استفاده از تحلیل عاملی در تجزیه و تحلیل چند متغیره معمول‌تر از اجزای مؤلفه‌های اصلی (PCA) است. مؤلفه‌های اصلی استخراج شده از ماتریس همبستگی مقارن برای ۱۰ متغیر محاسبه شده است. این روش که در رابطه با روابط متقابل بین متغیرها است توسط (Davais, 1986) به عنوان تکنیک R-Mode بیان شده است. در تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، بر مبنای معیار کایزر<sup>۹</sup>، مؤلفه‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرند که مقدار بردار ویژه<sup>۱۰</sup> آنها بزرگتر یا مساوی ۱ باشد (Stata Soft Inc., 2004). در نتیجه همه عواملی که حاوی یک واریانس بیشتر از متغیرهای اصلی استاندارد شده باشند، پذیرفته می‌شوند (Davais, 1986). منطق انتخاب ۱ این است که یک عامل (فاکتور) در صورتی که حداقل یک واریانس بزرگتر از تنها متغیر اصلی استاندارد شده داشته باشد، قابل قبول است (Belkhiri et al., 2011). عامل‌ها به ترتیب ارزش، درجه‌بندی می‌شوند. عامل اول یا مؤلفه‌هایی که دارای بالاترین مقدار بردار ویژه هستند، دارای بیشترین اهمیت در منشأ تغییرات در داده‌ها می‌باشند و آخرین عامل به عنوان حداقل فرآیند ایجاد کننده‌ی تغییرات شیمیایی است. بار عاملی به عنوان ضریب همبستگی بین متغیرها و عوامل، تفسیر شده است. برای به حداکثر رساندن تغییرات عوامل اصلی، چرخش واریانس به کار گرفته می‌شود (Usunoff and Guzman-Guzman, 1989; Melloul and Collin, 1992; Jayakumar and siraz, 1997; Adams et al., 2001; Cloutier et al., 2008). به حداکثر رساندن واریانس، نشان‌دهنده‌ی طیف وسیعی از اجزاء است که شدیداً متمایل به سمت مثبت، منفی و یا اعداد نزدیک به صفر می‌باشد (Davais, 1986).

### ۳- نتایج و بحث

با توجه به آنکه غلظت اکثر عناصر در دو فصل نمونه‌برداری تحت تأثیر تغییرات قابل ملاحظه‌ای قرار نمی‌گیرند، به همین دلیل طبقه‌بندی نمونه‌ها با هم و در یک دندروگرام (شکل ۳) انجام شد. همچنین جدول ۲، گروه‌بندی نمونه‌های منابع آب منطقه را نشان می‌دهد. نتیجه اصلی

از انجام HCA در دندروگرام ۳۵ نمونه آب زیرزمینی و سطحی در شکل ۳ مشاهده می‌شود. در این شکل دو دسته متمایز دیده می‌شود که دسته اول را می‌توان در دو گروه ۱ و ۳ و دسته دوم را در گروه ۲ قرار داد. گروه اول به یک زیر گروه، گروه دوم به سه زیر گروه و گروه سوم به دو زیر گروه تقسیم می‌شوند. بیشتر نمونه‌ها در دسته اول قرار دارند. در زیر به اختصار سه گروه تفسیر شده‌اند:

می‌دهد. خواص شیمیایی آب زیرزمینی در یک حوضه ناودیسی متأثر از ترکیب رسوبات نهشته شده، تبخیر و تعرق، توپوگرافی منطقه، ترکیب آب تغذیه‌ای و وضعیت خشکسالی و ترسالی است. دشت بستان نیز به عنوان یک حوضه ناودیسی دارای مشخصات فوق می‌باشد. بنابراین، واکنش بین اجزای تشکیل دهنده سفره آبدار و آب از مهمترین عوامل نامطلوب شدن کیفیت آب در این بخش از منطقه مورد مطالعه است. بررسی لیتولوژی و جنس رسوبات (شکل ۵) این محدوده از دشت بستان، تمرکز مواد ریزدانه (رس، سیلت رسی) و حاوی املاح فراوان را نشان می‌دهد که این املاح عمدتاً نتیجه تبخیر می‌باشند. از دیگر عوامل مؤثر بر کیفیت آب در این بخش از منطقه، تبخیر زیاد از سفره آبدار است که ناشی از بالا بودن سطح آب (شکل ۶) و زه آبهای حاصل از آبیاری زباله‌های شهری می‌باشند.

در شکل ۶ نقشه عمق برخورد به سطح ایستایی و جهت جریان نشان داده شده است. همان طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، عمق برخورد به سطح ایستایی در بخش وسیعی از دشت بستان کمتر از ۵ متر می‌باشد، در واقع این امر نشان دهنده پتانسیل تبخیر زیاد در منطقه مورد مطالعه است.

گروه دوم: با توجه به شکل ۳ (دندروگرام) و جدول ۲، بیشترین نمونه‌های منابع آب محدوده مورد مطالعه در این گروه قرار گرفته‌اند. نمونه‌های این خوشه از کیفیت آب بهتری برخوردار هستند و همچنین دارای رخساره‌های غالب Na، Ca، SO<sub>4</sub> و Cl می‌باشند (شکل ۴). نمونه‌های این خوشه بیشتر در قسمت‌های مرکز و شمال دشت واقع شده‌اند. بررسی لاگ پیژومترها (شکل ۵) نشان می‌دهد که رسوبات این قسمت از دشت دانه درشت‌تر (ماسه و ماسه درشت دانه و سیلت) هستند و تفاوت بیشتری نسبت به اندازه رسوبات نقاط مختلف دشت دارند. متفاوت بودن نوع رسوبات این محدوده (شکل ۵) نسبت به دیگر نقاط دشت، قرار گرفتن در مجاورت منابع آب‌های سطحی (رود کرخه، نهر سابله و نهر هوفل)، و همچنین فاصله زیاد از سازندهای منطقه مورد مطالعه (گچساران و آغاچاری) باعث بهتر شدن کیفیت آب نمونه‌های این گروه شده است.

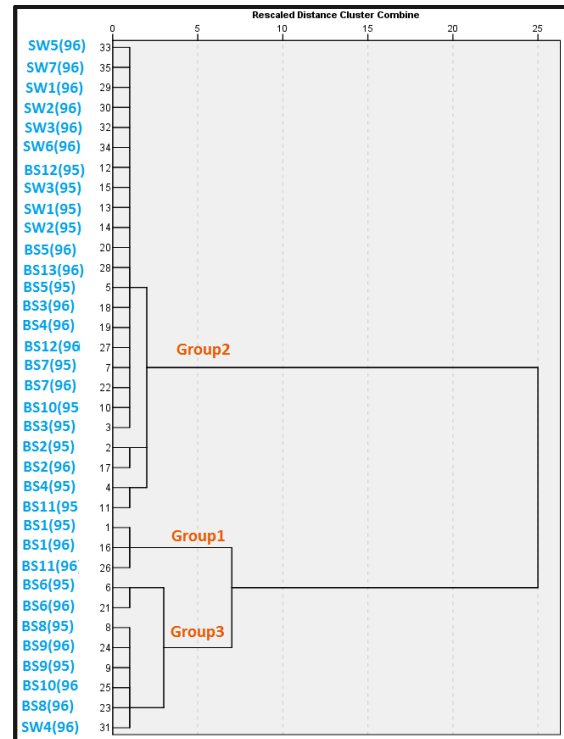


Fig. 3- Surface and groundwater samples dendrogram for Bostan plain in July 2016 and April 2017

شکل ۳- دندروگرام نمونه‌های آب سطحی و زیرزمینی دشت بستان در تیر ماه ۹۵ و فروردین ماه ۹۶

گروه اول: شامل نمونه‌های آب BS1 در هر دو فصل نمونه‌برداری و نمونه BS11 (فروردین ۹۶) در فصل تر می‌باشد (جدول ۲ و شکل ۳). با توجه به نمودار پایپر (شکل ۴)، رخساره غالب این خوشه Na-Cl است که کیفیت آب نامطلوب‌تری را نسبت به گروه‌های دیگر نشان

Table 2- Surface and groundwater samples grouping for Bostan plain in July 2016 and April 2017

جدول ۲- گروه‌بندی نمونه‌های آب سطحی و زیرزمینی دشت بستان در تیرماه ۹۵ و فروردین ماه ۹۶

<b>Group 1:</b> Sample: BS1, BS11(1.96)
<b>Group 2:</b> Sample: BS2, BS3, BS4, BS5, BS7, BS10(95), BS11(95), BS12, SW1, SW2, SW3, SW5, SW6, SW7
<b>Group 3:</b> Sample: BS6, BS8, BS9, BS10(96), SW4(96)



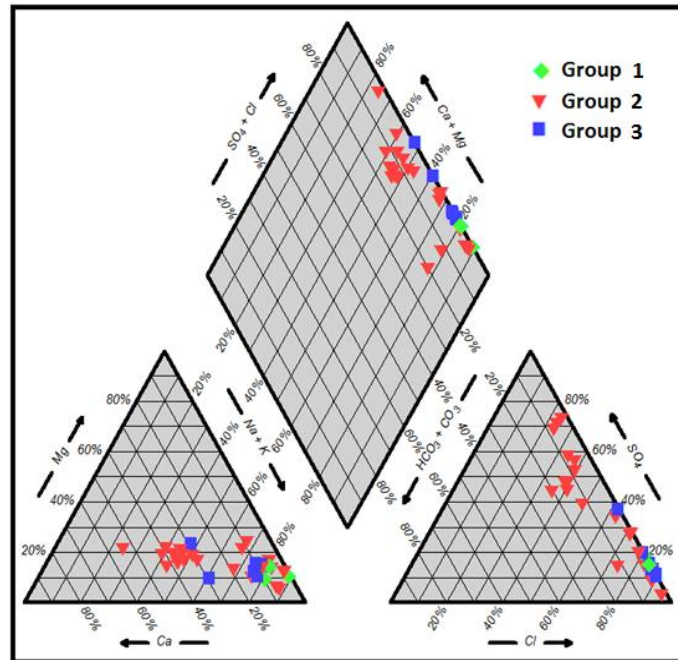


Fig. 4- Piper diagram of the Bostan plain water samples  
 شکل ۴- نمودار پایپر نمونه‌های تجزیه و تحلیل شده منابع آب دشت بستان

رسوبات درشت و ریز دانه ماسه و رس، ماسه و سیلت و رس و سیلت، لیتولوژی بیشتر این بخش از محدوده دشت را تشکیل می‌دهند. همان طور که ذکر شد یکی از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر کیفیت آب آبخوان دشت بستان نهشته شدن رسوبات ناشی از فرسایش سازندهای آغاچاری و گچساران است. بنابراین، هر چند که این محدوده از دشت در نزدیکی منشأ تغذیه (ابتدای جهت جریان) قرار دارد ولی چون در مجاورت سازند آغاچاری است، کیفیت نمونه‌های آب این خوشه، حد واسط می‌باشند. SW4 (فروردین ۹۶) تنها نمونه آب سطحی است که در این گروه قرار گرفته است و دارای کیفیت نامطلوب‌تری نسبت به دیگر نمونه‌های آب سطحی می‌باشد. عامل کیفیت نامطلوب این نمونه قرار گرفتن محل دفن زباله در مجاورت نهر هوفل و انتقال زه‌آبهای ناشی از آن در کانال‌های آبیاری زهکشی می‌باشد. نمونه BS10 (فروردین ۹۶) در فصل تر در این گروه قرار گرفته است. انحلال نهشته‌های نمکی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی (آبیاری) در فصل تر می‌تواند از مهمترین احتمال نامطلوب شدن کیفیت آب در این محدوده از منطقه مورد مطالعه باشد. از نکات قابل توجه، اینکه نمونه آب پیزومتر BS6 دارای کیفیت نامطلوب‌تری نسبت به دیگر نمونه‌های برداشت شده از پیزومترهای مجاور (BS4 و BS5) می‌باشد. این امر می‌تواند ناشی از تأثیر انحلال کانیهای تبخیری (هالیت و ژپس) سازند گچساران بر روی منابع آب زیرزمینی در این قسمت از منطقه مورد مطالعه باشد.

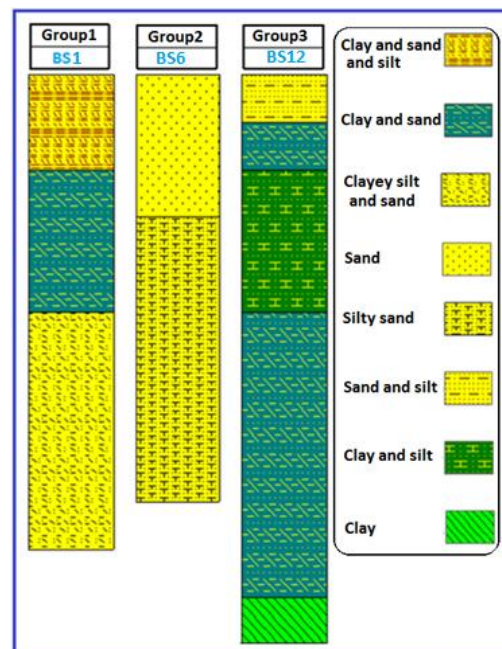


Fig. 5- Stratigraphic log of piezometers in Bostan plain

شکل ۵- لاگ چینه‌ای پیزومترها در دشت بستان

گروه سوم: نمونه‌های این خوشه بیشتر در قسمت شرقی دشت واقع شده‌اند. مطابق طبقه‌بندی انجام شده توسط روش HCA، کیفیت نمونه‌های این خوشه، حد واسط گروه ۱ و ۲ است و دارای رخساره غالب Na-Mg-Cl (شکل ۴) می‌باشند. با توجه به شکل ۵، ترکیبی از

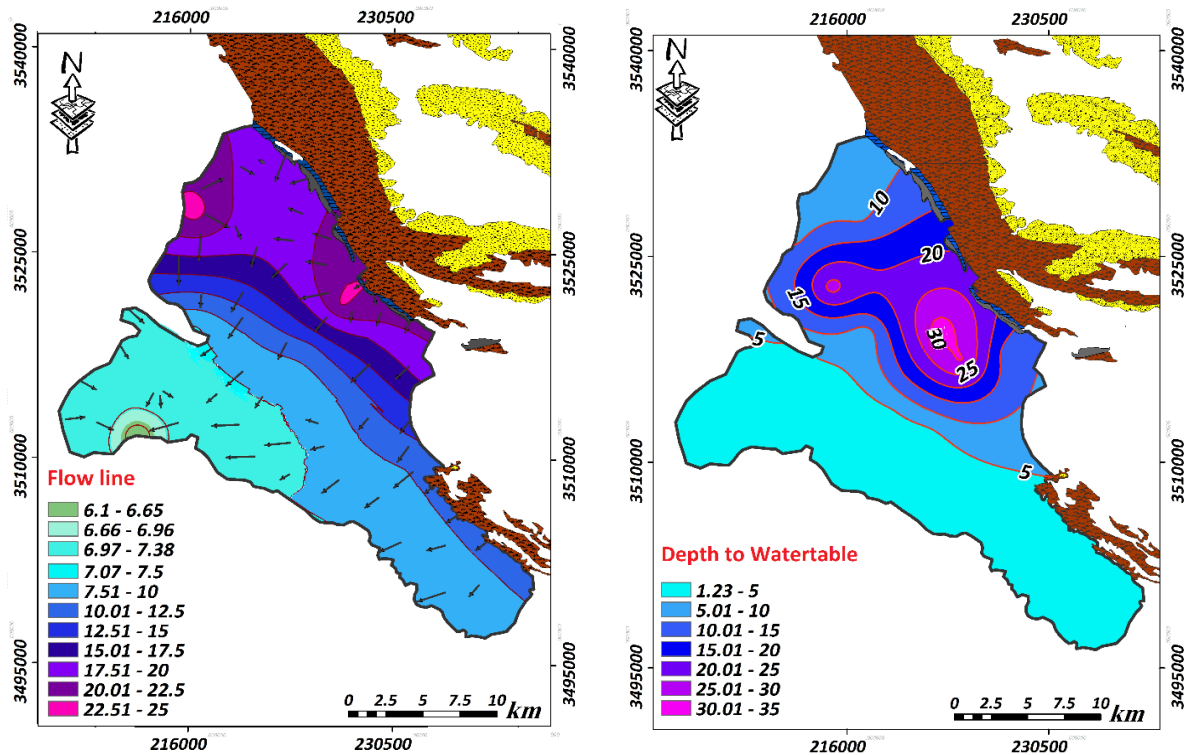


Fig. 6- Depth to water table and flow line water map in August 2016

شکل ۶- نقشه عمق برخورد به سطح ایستابی و خطوط جریان در شهریور ماه ۱۳۹۵

کلرید و سدیم دارای یک همبستگی بسیار خوبی ( $R^2=0.97$ ) می‌باشند. غلظت زیاد Na و Cl در برخی از نمونه‌ها، انحلال نمک‌های سدیم کلرید را نشان می‌دهد، چون انحلال هالیت در آب زیرزمینی باعث آزاد شدن یون‌های Na و Cl می‌شود. همبستگی مناسب بین Cl و  $SO_4$  با Mg، می‌تواند ناشی از انحلال کلرید منیزیم ( $MgCl_2$ ) و سولفات منیزیم ( $MgSO_4$ ) یا اپسومیت<sup>۱۲</sup> در محدوده مورد مطالعه باشد و همچنین همبستگی خوب بین این یون‌ها و یون Na نشان‌دهنده یک منبع مشترک برای همه‌ی این یون‌ها است. به طور کلی عناصر عمده مانند Ca، Na،  $SO_4$  و Cl اجزای مهم مواد معدنی مانند هالیت، گچ و میرابیلیت هستند.

همبستگی یا رگرسیون<sup>۱۱</sup> در میان متغیرهای کیفیت آب می‌تواند برخی از ارتباط‌های هیدروشیمیایی را آشکار کند (Wu et al., 2014). این یک ابزار آماری است که برای اندازه‌گیری و ایجاد ارتباط بین دو متغیر استفاده می‌شود (Belkhirri et al., 2011). ماتریس همبستگی ده متغیر در جدول ۳ مشاهده می‌شود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود بین مقدار هدایت الکتریکی و میزان مواد محلول با عناصر کلرید، سدیم، منیزیم و سولفات، همبستگی بسیار زیادی وجود دارد. این همبستگی منعکس‌کننده این واقعیت است که عامل شوری و نامطلوب شدن کیفیت آب، زیاد بودن میزان غلظت عناصر فوق است.

Table 3- Correlation coefficient of the water resources chemical parameters in Bostan plain

جدول ۳- ضریب همبستگی پارامترهای شیمیایی منابع آب دشت بستان

Variables	Ec	PH	tds	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>
Ec	1									
PH	-0.029	1								
TDS	<b>0.998</b>	-0.039	1							
Ca	<b>0.635</b>	<b>-0.435</b>	<b>0.621</b>	1						
Mg	<b>0.916</b>	-0.189	<b>0.909</b>	<b>0.688</b>	1					
Na	<b>0.987</b>	0.083	<b>0.983</b>	<b>0.537</b>	<b>0.872</b>	1				
K	<b>0.818</b>	0.085	<b>0.817</b>	<b>0.366</b>	<b>0.678</b>	<b>0.852</b>	1			
HCO <sub>3</sub>	-0.209	0.063	-0.207	<b>-0.409</b>	-0.220	-0.160	-0.065	1		
Cl	<b>0.995</b>	-0.029	<b>0.989</b>	<b>0.659</b>	<b>0.911</b>	<b>0.984</b>	<b>0.822</b>	-0.212	1	
SO <sub>4</sub>	<b>0.889</b>	0.093	<b>0.884</b>	<b>0.517</b>	<b>0.852</b>	<b>0.905</b>	<b>0.757</b>	-0.191	<b>0.868</b>	1



منابع آبی pH عمدتاً تحت تأثیر انحلال بی‌کربنات ( $\text{HCO}_3^-$ ) قرار می‌گیرد، هر چند که انحلال کربنات ( $\text{CO}_3^{2-}$ )، موجب افزایش pH آب می‌شود (Laar et al., 2011). مؤلفه ۳ نیز در رابطه با آنیون بی‌کربنات است که به عنوان بیشترین عامل ایجاد تغییرات در جدول ۴ نشان داده شده است.

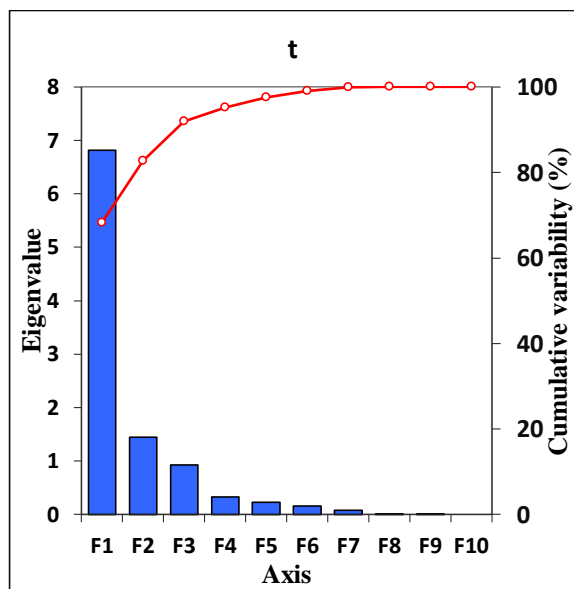


Fig. 7- Scary plot diagram and eigen vector variation percent of factors

شکل ۷- نمودار اسکری پلات و درصد تغییرات بردار ویژه عامل‌ها

میزان تغییرات pH و آنیون بی‌کربنات در مؤلفه ۲ و ۳ می‌تواند نشان دهنده ارتباط این دو پارامتر در محدوده مورد مطالعه باشد. با توجه به قلیایی بودن بیشتر نمونه‌های آب منطقه و تغییرات pH (جدول ۵)، یون بی‌کربنات و pH را می‌توان به عنوان عوامل تغییرات مؤلفه ۲ و ۳ در نظر گرفت. نتایج PCA یک تفسیر جامع از خصوصیات فیزیکی شیمیایی برخی از نمونه‌ها را نشان می‌دهد و در شکل ۸ نمودار اسکتر پلات<sup>۱۳</sup> مجموع مؤلفه PC1 بر روی PC2 نشان داده شده است. شکل ۸ شامل نمونه‌های مجزا از گروه‌های ۱، ۲ و ۳ در محیط PCA می‌باشد که به طور کامل با گروه‌بندی‌های ایجاد شده از HCA سازگار هستند. اگر توزیع نمونه‌ها در فضای PCA گسترده باشد ممکن است تغییرات شیمی آب به علت فرآیندهایی مثل منبع آلودگی، رقیق شدن یا تغییرات ناگهانی در لایه‌بندی آبخوان باشد (Belkhiri et al., 2011). ولی نتایج PCA توزیع نمونه‌های آب در گروه‌های سه گانه، نشان می‌دهد که عامل اصلی تغییر کیفیت اکثر نمونه‌های آب یکسان است، هر چند که غیر از لیتولوژی، عوامل دیگری نیز کیفیت منابع آب منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

نتایج محاسبه PCA، ۹۱/۹ درصد از تغییرات (جدول ۴) را نشان می‌دهد، که این میزان برای شناسایی تغییرات هیدروشیمی منطقه مورد مطالعه بسیار خوب است. در جدول ۴ اجزای عامل‌های اصلی برای این ۳ مؤلفه و همچنین واریانس آنها نشان داده شده است. مؤلفه اول و دوم به ترتیب ۶۸/۲ و ۱۴/۴۵ درصد و مؤلفه سوم ۹/۲ درصد از تغییرات را نشان می‌دهند (شکل ۷). مؤلفه ۱، بیشترین میزان تغییرات را نشان می‌دهد، که این تغییرات به دلیل تأثیر بیشتر پارامترهای هدایت الکتریکی، کلرید، سدیم، سولفات و در نهایت کلسیم می‌باشد (جدول ۴). همبستگی زیاد این پارامترها، احتمالاً نشان‌دهنده واکنش سنگ و آب و همچنین شباهت ژئوشیمیایی رفتار عمده این عناصر به یکدیگر است. زیاد بودن مقادیر عناصری مثل Na و Cl و همچنین EC و TDS (جدول ۴) باعث شده که از این عوامل به عنوان مؤلفه شوری اشاره شود. نوع رسوبات، تیخیر ناشی از بالا بودن سطح آب، وجود سازندهای آجاجاری و گچساران در منطقه و انحلال رسوبات تیخیری ناشی از این سازندها و ماندگاری زیاد آب در آبخوان، از مهمترین عوامل شوری در منطقه مورد مطالعه است.

Table 4- Analysis results of the factors (after rotation varimax)

جدول ۴- نتایج تجزیه به عوامل (پس از چرخش واریماکس)

Variable	F1	F2	F3
EC	<b>0.982</b>	0.003	0.001
pH	0.004	<b>0.678</b>	0.246
TDS	<b>0.974</b>	0.003	0.001
Ca	<b>0.465</b>	0.363	0.000
Mg	<b>0.872</b>	0.016	0.008
Na	<b>0.951</b>	0.034	0.000
K	<b>0.694</b>	0.081	0.006
HCO3	0.066	0.240	<b>0.660</b>
Cl	<b>0.978</b>	0.001	0.001
SO4	<b>0.835</b>	0.026	0.003
Eigenvalue	6.820	1.446	0.925
Variability (%)	68.201	14.458	9.253
Cumulative %	68.201	82.659	91.912

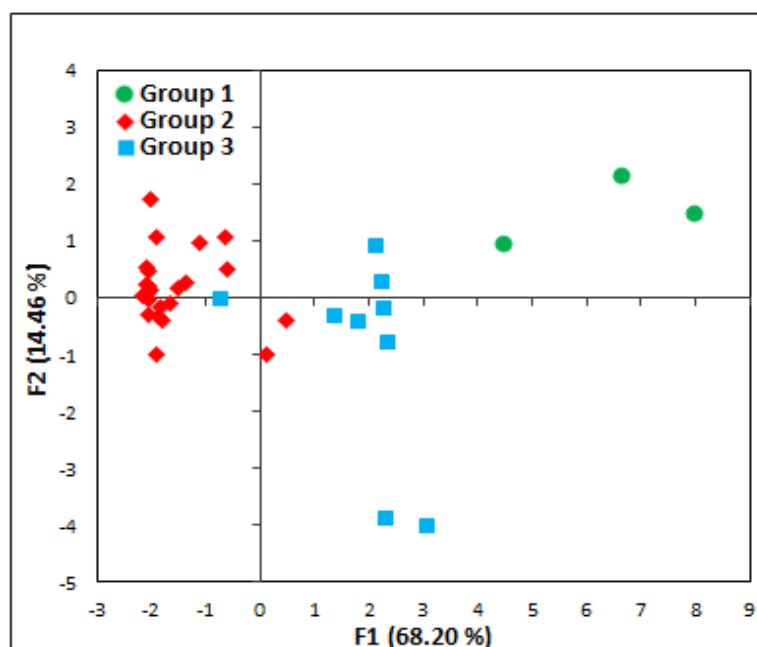
مؤلفه ۲ به وسیله نسبت بالای pH به عنوان بیشترین عامل ایجاد واریانس مشخص شده است. دامنه تغییرات pH در هر دو فصل نمونه‌برداری بین ۶/۲ تا ۸/۹ و میانگین آن ۷/۷۵ می‌باشد (جدول ۵). pH قلیایی می‌تواند از انحلال کانی‌ها و همچنین از فاضلاب‌های صنعتی و کشاورزی حاصل شود (Dinka et al., 2015). در بیشتر

**Table 5- Statistic summary of the water resources hydrochemical parameters in Bostan plain**

جدول ۵- خلاصه آماری پارامترهای هیدروشیمیایی منابع آب زیرزمینی و سطحی دشت بستان

	EC	PH	TDS	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>
Total(n=35)										
Min	1067.0	6.2	640	17.030	18.2	158.4	3.9	10.4	129	47.5
Max	92300	8.9	60434	2898	1381	20897.7	703.8	520.5	34105.5	8664
Mean	21849.2	7.76	13847.6	591.1	393.7	4271.7	74.7	144	7113.6	2211.4
Sted.Dev	25240.7	0.54	16077.9	751.6	426.6	5556.4	146.7	96.7	9011.3	2400
CV	115.5	6.95	116.1	127.1	108.3	130	196.4	67.1	126.7	108.5
July 2016 (n=15)										
Min	1687	6.2	1214	37	22.2	158.4	3.9	28.1	148.5	47.5
Max	90200	8.9	60434	2819	1381	20231	547.4	520.5	28845	8664
Mean	22065.8	7.6	14697.7	484	397.4	4100	72.2	154.1	6797.9	2020.6
Sted.Dev	25354.5	0.57	16960.8	747.6	433	5426.5	135.2	129.8	8364.2	2290.8
April 2017(n=20)										
Min	1067	6.2	640	17	18.2	175	3.9	10.4	129	219.5
Max	92300	8.6	57226	2898	1370	20897.7	703.8	211.1	34105.5	8421
Mean	21686.8	7.85	13210.1	671.5	391	4400.5	76.6	136.4	7350.4	2354.5
Sted.Dev	25813.1	0.52	15799.2	763.7	432.9	5788.7	158.3	64.6	9676	2527.9

All values are in mg/l except pH and EC ( $\mu$ .Siemens/cm).



**Fig. 8- Scatter plot of PCI component compilation on PC2**

شکل ۸- نمودار اسکتر پلات مجموع ترکیبات PC1 بر روی PC2

#### ۴- نتیجه گیری

در این مطالعه تکنیک‌های آماری چند متغیره مختلف، برای ارزیابی فرآیندهای ژئوشیمیایی کنترل کننده کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت بستان مورد استفاده قرار گرفته است. به دلیل تأثیرپذیری زیاد متغیرهای هیدروشیمیایی از عوامل زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی، از روش‌های آماری (HCA و PCA) برای تفسیر هیدروشیمیایی منابع آب منطقه مورد مطالعه، استفاده شده است. مطابق طبقه‌بندی HCA، ۳۵ نمونه‌ی منابع آب محدوده مورد مطالعه، در سه خوشه متمایز قرار گرفته‌اند. نمونه‌های گروه ۱ که در انتهای جهت جریان و در حاشیه غربی دشت بستان قرار دارند دارای رخساره غالب Na-Cl هستند و از کیفیت نامطلوب‌تری برخوردار می‌باشند. گروه ۲ از تعداد نمونه‌های بیشتری تشکیل شده است و یون‌های غالب آن Na، Ca، SO<sub>4</sub> و Cl می‌باشند که بیشتر در مرکز و قسمت‌های شمالی دشت واقع شده‌اند. نمونه‌های این گروه نسبت به سایر گروه‌ها دارای کیفیت بهتری هستند. کیفیت آب گروه ۳ حدواسط گروه ۱ و ۲ است و دارای رخساره غالب Na-Mg-Cl می‌باشد که در قسمت جنوب غربی دشت بستان قرار گرفته است.

بررسی زمین‌شناسی و لاگ پیژومترها در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهند که لیتولوژی و واکنش سنگ و آب تأثیر زیادی روی کیفیت منابع آب منطقه دارد. بررسی نقشه عمق تا سطح ایستابی نیز نشان می‌دهد که تبخیر ناشی از عمق کم سطح ایستابی یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار بر کیفیت منابع آب، در محدوده مورد مطالعه می‌باشد.

نتایج همبستگی زیاد بین عناصر کلرید، سدیم، منیزیم، TDS و EC، نشان‌دهنده انحلال کانیهای تبخیری و گچی مانند هالیت (NaCl) و منیزیم کلرید (MgCl<sub>2</sub>) در دشت می‌باشد و همچنین نمایانگر منشاء یکسان این عناصر در محدوده مورد مطالعه است.

تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، ۹۱/۹ درصد از کل تغییرات در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. عامل اول ۶۸/۲ درصد از کل تغییرات را نشان می‌دهد. این فاکتور به خاطر زیاد بودن تغییرات یون‌های Cl، Na، SO<sub>4</sub>، Mg و مقدار EC و TDS، به عنوان فاکتور عامل شوری شناخته شده است. عامل دوم و سوم به ترتیب pH و HCO<sub>3</sub> را به عنوان بیشترین عامل تغییرات معرفی می‌کند. این امر می‌تواند به خاطر رسوبگذاری متفاوت بی‌کربنات در نقاط مختلف دشت باشد. نتایج حاصل از این تحقیق به وضوح سودمندی و فواید تکنیک‌های آماری چند متغیره را در ارزیابی هیدروشیمیایی منابع آب سطحی و زیرزمینی محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد.

#### ۵- تشکر و قدرانی

بدین وسیله از حمایت و مساعدت مالی مدیریت محترم مطالعات پایه منابع آب سازمان آب و برق خوزستان و همچنین همکاری گروه زمین‌شناسی دانشگاه شهید چمران اهواز در انجام این پژوهش، تشکر و قدرانی می‌شود.

#### پی‌نوشت‌ها

- 1- Hierarchical Cluster Analysis
- 2- Principal Components Analysis
- 3- Reaction Error
- 5- Dendrogram
- 6- Eucliden Distanc
- 7- Weighted Pair-Group Average
- 9- Kaiser Criterion
- 10- Eigenvalue
- 11- Correlation Coefficient
- 12- Epsom Salts
- 13- Scatter-Plot

#### ۶- مراجع

- Adams S, Titus R, Pietersen K, Tredoux G, Harris C (2001) Hydrochemical characteristics of aquifers near Sutherland in the Western Karoo, South Africa. *Journal of Hydrology* 241(1):91-103
- Amangabara G T, Ejenma E (2012) Groundwater quality assessment of Yenagoa and environs Bayelsa State, Nigeria between 2010 and 2011. *Resour Environ* 2(2):20-29
- Anazawa K, Ohmori H (2005) The hydrochemistry of surface waters in Andesitic Volcanic area Norikura volcano central Japan. *Chemosphere* 59(5):605-615
- Belkhir L, Boudoukha A, Mouni L (2011) A multivariate statistical analysis of groundwater chemistry data. *International Journal of Environmental Research* 5(2):537-544
- Bouwer H (1978) *Groundwater Hydrology*. McGraw-Hill USA, 470p
- Brown C E (1998) *Applied multivariate statistics in geohydrology and related sciences*, Springer, New York
- Cloutier V, Lefebvre R, Therrien R, Savard M M (2008) Multivariate statistical analysis of geochemical data as indicative of the hydrogeochemical evolution of groundwater in a sedimentary rock aquifer system. *Journal of Hydrology* 353(3):294-313
- Davis J C (1986) *Statistics and data analysis in geology*. John Wiley & Sons Inc New York, 646p

- approaches: A case study in Cangzhou northern China. *Water* 7(3):1109-1128
- Mahdavi Nia M, Nick Ravesh Sh (2002) Determination of water pollution distribution in Damghan city to nitrate. *Journal of Water and Wastewater* 43:60-61 (In Persian)
- Mahmoudi M, Nadiri A, Asghari Moghadam A, Pourakbar M, Moradian Harhatzadeh (2016) Survey of water resources of Shiramin plain using multivariate statistical methods. *Water and Soil Conservation Researches Journal* 23(3)
- Mandel S and Shiften Z L (1981) *Groundwater resources investigation and development*, Academic Press Pub, pp 188-200
- Melloul A, Collin M (1992) The 'principal components' statistical method as a complementary approach to geochemical methods in water quality factor identification; application to the coastal plain aquifer of Israel. *Journal of Hydrology* 140(1-4):49-73
- Mokhtari H, Espahbod M R (2009) Hydrodynamic parameters of water potential of Varamin plain with regard to salinity gradient changes. *Quarterly Journal of Earth* 4(2)
- Mtoni Y, Mjemah I C, Bakundukize C, van Camp M, Martens K, Walraevens K (2013) Saltwater intrusion and nitrate pollution in the coastal aquifer of Dares Salaam, Tanzania. *Environ Earth Sci* 70:1091-1111
- Nosrati K, Derfishi Kh, Gharehchahi S, Rahimi Kh (2011) Surface water quality assessment of the Haraz-Ghareh Souz basin using multivariate statistical techniques. *Knowledge of Earth science* 2(5):41-55
- Nowshadi M, Azar Peykan A, and Noah-Gera A (2009) Evaluation of Bandar Abbas drinking water quality using cluster analysis and factor analysis. *Iran-Water Resources Research* 3(5):79-82 (In Persian)
- Pradhan J K, Kumar S (2014) Informal e-waste recycling: environmental risk assessment of heavy metal contamination in Mandoli industrial area Delhi India. *Environmental Science and Pollution Research* 1; 21(13):7913-7928
- Shrestha S, Kazama F (2007) Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Journal of Environmental Modeling & Software* 22(4):464-475
- Stat Soft Inc (2004) *STATISTICA (Data Analysis Software System)*, Version 6
- Steinhorst RK and Williams RE (1985) Discrimination of groundwater sources using cluster analysis, MANOVA, canonical analysis and discriminant
- Dinka M O, Loiskandlb W, Ndaambukic J M (2015) Hydrochemical characterization of various surface water and groundwater resources available in Matahara areas, Fantalle Woreda of Oromiya region. *Journal of Hydrology* 3:444-456
- Environmental Protection Agency (EPA) (2006) Final revisions to the national ambient air quality standards for particulate pollution. Environmental Protection Agency, United States of America
- Farnham I M, Stetzenbach K J, Singh A K, Johannesson K H (2000) Deciphering groundwater flow systems in Oasis Valley, Nevada, using trace element chemistry, multivariate statistics and geographical information system. *Mathematical Geology* 32(8):943-68
- Freeze R A, Cherry J A (1979) *Groundwater*. Prentice-Hall Inc New Jersey, pp 604
- Guler C, Thyne G D, McCray J E, Turner A K (2002) Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data. *Hydrogeology Journal* 10(4):455-74
- Habibi A (2007) *Applied training book on SPSS software*. Eelectronic Ppublication Pars Manager, pp 160-166
- Isa N M, Aris A Z, Lim W Y, Sulaiman W N A W, Praveena S M (2014) Evaluation of heavy metal contamination in groundwater samples from Kapas Island, Terengganu, Malaysia. *Arabian Journal of Geosciences* 7(3):1087-1100
- Jalali L, Asghari Moghaddam A (2012) Determination of hydrogeochemical status and salinity trend in aquifer of Khoy plain using statistical and hydrologic methods. *Ecological Journal* 39(2):113-122
- Javanmard Z, Asghari Moghadam A (2016) Using statistical and hydrochemical models in qualitative analysis of groundwater resources (Case study: East Azarbayejan Detroit). *Water and soil knowledge* 25(2):31-50
- Jayakumar R, Siraz L (1997) Factor analysis in hydrogeochemistry of coastal aquifers—a preliminary study. *Environmental Geology* 31(3-4):174-177
- Khazaie A (2001) The impact of urban expansion on groundwater quality in Zahedan. *Journal of Water and Sewage* 31:37-39
- Laar C, Akiti T T, Brimah A K, Fianko J R, Osaie S, Osei J (2011) Hydrochemistry and isotopic composition of the Sakumo Ramsar site. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences* 3(2):146-152
- Li W, Wang M Y, Liu L Y, Yan Y (2015) Assessment of long-term evolution of groundwater hydrochemical characteristics using multiple

- drinking- water; the challenge of extending and sustaining services. WHO: Geneva Switzerland
- Wu J, Li P, Qian H, Duan Z & Zhang X (2014) Using correlation and multivariate statistical analysis to identify hydrogeochemical processes affecting the major ion chemistry of waters: a case study in Laoheba phosphorite mine in Sichuan, China. *Arabian Journal of Geosciences* 7(10):3973-3982
- Yidana S M, Ophori D, Banoeng-Yakubo B (2007) Hydrochemical evaluation of the Voltaian system-the Afram Plains area, Ghana. *Journal of Environmental Management* 88(4):697-707
- analysis. *Water Resources Research* 21(8):1149-1156
- Stetzenbach K J, Hodge V F, Guo C, Farnham I M, Johannesson K H (2001) Geochemical and statistical evidence of deep carbonate groundwater within averlying volcanic rock aquifers/ aquitards of southern Nevada, USA. *Journal of Hydrology* 243(3):254-271
- Usunoff E J, Guzma'n-Guzma'n A (1989) Multivariate analysis in hydrochemistry: an example of the use of factor and correspondence analyses. *Ground Water* 27(1):27-34
- World Health Organization (WHO) (2012) UN-water global analysis and assessment of sanitation and