Archive of SID

محیط شناسی، سال سی و هفتم، شمارهٔ ۵۸ ، تابستان ۹۰، صفحهٔ ۱۰۵-۱۱۶

مطالعهٔ عوامل کنترل‌کنندهٔ شوری در آبخوان آبرفتی دشت مند، استان بوشهر

محسن رضائی

استادیار زمین‌شناسی با گرایش آب‌شناسی، و مدیر گروه زمین‌شناسی دانشگاه تربیت معلم تهران

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۰/۲۳ تاریخ پذیرش:۸۹/۹/۱٤

چکیده

در این تحقیق عوامل مؤثر در شوری منابع آب دشت مند در استان بوشهر مورد مطالعه قرار گرفته است. در این دشت هدایت الکتریکی چاههای بهره‌برداری بین ۱۷۲۷ تا بیشتر از ۶۰۰۰ میکرومهوس بر سانتیمتر در تغییر است. بهره‌برداری از این آبخوان در دو زون مجزا از هم باعث برقراری بیلان منفی شده است. عوامل گوناگونی مانند، سازندهای انحلال‌پذیر در اطراف دشت، وجود گنبد نمکی، نفوذ آب شور دریا و برگشت آبهای مصرفی از جمله عواملی هستند که می‌توانند منجر به کاهش کیفیت آب در این دشت شوند. با استفاده از نتایج آزمایش فیزیکی و شیمیایی مربوط به ۲۸ حلقه چاه بهره‌برداری، نقش هر کدام از این عوامل در شوری منابع آب مورد تحلیل قرار گرفته است. از روشهای آماری چند متغیره در ارزیابی مشخصه‌های کیفی استفاده شده است. نتایج نشان داده‌است که رخساره هیدروشیمیایی غالب ($Ca,Mg-SO_4$) و مشاهده شده در ۸۴ درصد از نمونه‌هاست. تحلیل خوشه‌ای، منابع آب را در ۲ گروه مجزا قرار می‌دهد که منطبق با زون‌های بهره‌برداری در آبخوان است. نتایج تحلیل عاملی نشان می‌دهد که ۸۳/۳ درصد از تغییرات کیفی آب با ۳ عامل کنترل می‌شود. عامل اوّل و مهم‌ترین عامل، انحلال کانی‌های سولفاته موجود در سازندهای گروه فارس در اطراف دشت مند است. انحلال هالیت در گنبد نمکی موجود در شرق دشت و نفوذ آب دریا، به‌عنوان عامل دوم در نظر گرفته شده است. عامل سوم را میتوان به انحلال گازکربنیک در آب نفوذی به آبخوان دانست که باعث تغییر در میزان بیکربنات شده است. در زون بهره‌برداری شمال دشت عامل دوم تأثیرگذار نیست.

کلید واژه

تحلیل عاملی، شوری، هیدروژئوشیمی، مند، استان بوشهر

سرآغاز

آب زیرزمینی از مهم‌ترین منابع تأمین آب در جهان به شمار می‌رود. در مناطق دارای اقلیم خشک مانند استان بوشهر استفاده از آب زیرزمینی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در دشت مند بیشتر آب مصرفی در بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت از منابع زیرزمینی تأمین می‌شود. در این دشت منابع آب زیرزمینی کیفیت بسیار پایین دارد. ترکیب شیمیایی آب متأثر از واکنش‌های مختلفی است که در تقابل بین آب و ویژگی‌های سنگ‌شناسی و پترولوژی آبخوان اتفاق می‌افتد. بر این اساس با مطالعهٔ ترکیب شیمیایی منابع آب می‌توان به دلایل تغییرات کیفی آب پی برد. بدین منظور در تحقیقات مختلف از روشهای مختلفی برای شناخت منشا املاح استفاده شده است. استفاده از نمودارهای ترکیبی به‌عنوان ابزاری مناسب برای شناخت منشاء شوری (Back,1966, Henry & Schwartz,1990, Howard and Mullings, 1996, Stober & Buche,1999, Marie & Vengush, 2001, Gosselin et al.,2001 and Cloutier, 2004) ، بررسی مقادیر نمایه‌های اشباع ترکیبات مختلف و ارتباط آنها (Nordstorm, et al., 1989, Jeong, 2001) و روشهای آماری چند متغیره از جملهٔ روشهایی هستند که در سالهای اخیر برای بررسی ترکیب شیمیایی و تفسیر ویژگی‌های کیفی آب استفادهٔ زیادی شده است. به طور ویژه روشهای آماری چند متغیره ابزار قدرتمندی هستند که در بررسی روابط بین متغیرها، میتوانند به‌طور همزمان چند مشخصه را مورد تحلیل قرار دهند (Johnson &Wichern, 1988). این روشها معمولا برای گروه‌بندی منابع آب بر اساس شباهت‌ها و استخراج

نویسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۲۴۱۰۸۵۵۴

E-Mail: m_rezaei@tmu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

عوامل از بین متغیرهای فراوان استفاده می‌شوند. در روش تحلیل عاملی فرایندهای عمدهٔ کنترل کنندهٔ شیمی آب، در قالب عامل‌های پیونددهندهٔ مجموعه‌ای از متغیرهای دارای وابستگی بالا بیان می‌شوند (Jeong, 2001).

در روش تحلیل خوشه‌ای، نمونه‌های آب بر اساس شباهت ترکیب شیمیایی گروه‌بندی می‌شوند (Beatriz, et al., 1998). محققان مختلفی از روشهای آماری چند متغیره در بررسی کیفی، تحلیل کیفیت و مطالعهٔ هیدروشیمی آبهای زیرزمینی در مناطق مختلف جهان استفاده کرده‌اند (Beatriz, et al., 1998). Dawdy & Feth, 1967, Hitchen, et al., 1971, Dalton & Upchurch, 1978, Usunoff & Guzman,1989, Subbarao, et al., 1996, Reghunath, et al., 2002 and Liu, et al., 2003).

آبخوان آبرفتی دشت مند از لحاظ کیفیت آب زیرزمینی دارای شرایط ویژه‌ای است. در بعضی از بخش‌های این دشت، هدایت الکتریکی آب به بیشتر از ۶۰۰۰ میکرومهوس بر سانتیمتر می‌رسد. این شوری بالا می‌تواند دلایل مختلفی مانند انحلال سنگ‌های تبخیری، واکنش‌های آب، سنگ و رسوب مانند پدیدهٔ تبادل کاتیونی، تبخیر از آبهای زیرزمینی، نفوذ آب شور دریا در آبخوان ساحلی و آبهای برگشتی کشاورزی داشته باشد.

هدف این مقالعه بررسی کیفی آبهای زیرزمینی و علل کاهش کیفیت در منابع آب این دشت است. از روشهای ذکر شده در بالا برای بررسی علت کاهش کیفیت آبهای زیرزمینی دشت مند استفاده شده است.

مواد و روش بررسی

موقعیت جغرافیایی و آب و هوایی

دشت مند دشتی ساحلی است که در جنوب شرق بندر بوشهر واقع شده و در حوضهٔ آبریز رودخانهٔ مند قرار دارد. دشت مند و ارتفاعات مشرف به آن تشکیل محدودهٔ مطالعاتی مند را می‌دهند. این محدوده از نظر جغرافیایی بین ´۱۴ °۵۱ تا ´۴۶ °۵۱ طول شرقی و ´۴ °۲۸ تا ´۲۸ °۲۸ عرض شمالی واقع شده است.

مساحت این محدوده ۱۲۰۰ کیلومتر مربع بوده،که۹۲۴ کیلومتر مربع آن دشت مند (کاکی–بردخون) و مابقی آن را ارتفاعات تشکیل داده است.

در شکل شمارهٔ (۱) موقعیت جغرافیایی محدودهٔ مطالعاتی نشان داده شده است. کاکی و بردخون از مهم‌ترین مناطق جمعیتی این محدوده مطالعاتی است. شهر کاکی در مسیر ارتباطی بوشهر–کنگان قرار دارد. با یک جاده فرعی که بعد از شهر کاکی به سمت جنوب منشعب می‌شود، میتوان به شهر بردخون دسترسی داشت. منطقه مورد مطالعه جزء مناطق گرم و خشک و دارای تابستان‌های طولانی و زمستان‌های کوتاه و معتدل است.

میزان بارندگی در این منطقه کم و با توجه به آمار چند ساله بارش در این منطقه، متوسط بارندگی سالانه ۲۲۱ میلیمتر است. حداکثر متوسط درجهٔ حرارت ماهانه منطقه ۳۶/۸ درجهٔ سانتیگراد و حداقل آن ۱۵/۲ درجه سانتیگراد بوده است.

زمین شناسی

از نظر زمین‌شناسی، منطقهٔ مورد مطالعه در کمربند ساحلی خلیج فارس و در زون چین‌خوردهٔ زاگرس واقع شده است. امتداد چین‌ها عموماً شمال‌غربی – جنوب‌شرقی و به‌صورت تاقدیس و ناودیس‌های با سطح محوری نسبتاً قائم، فرم کلی زمین‌ساختی منطقه را مشخص می‌کند. در بخش جنوب‌شرقی دشت مند پلانژ شمالی تاقدیس درنگ واقع شده است. بخش کوچکی از یال جنوب‌شرقی تاقدیس مند نیز در این محدوده است. مرزهای شمال‌شرقی این محدوده را نیز تاقدیس نمک تشکیل می‌دهد و بخش بسیار کوچکی از تاقدیس کاکی نیز در گوشه شمالی این محدوده قرار گرفته است.

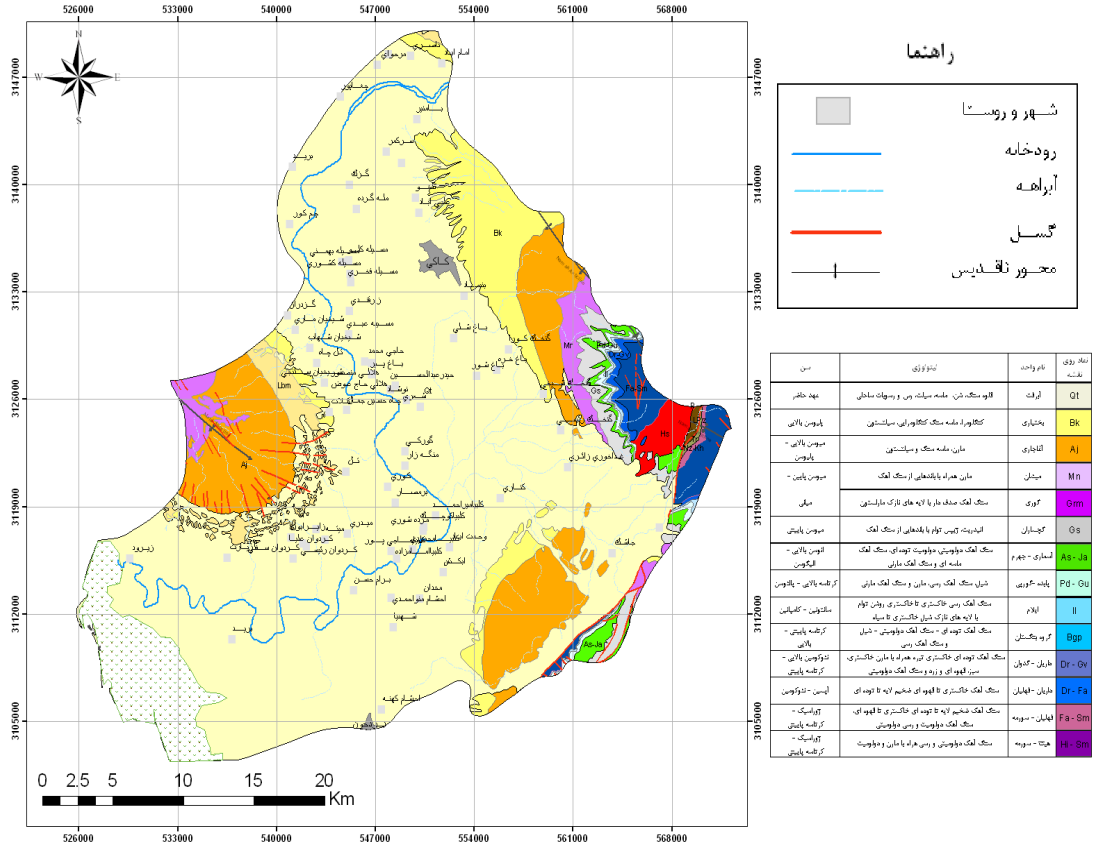
آبرفت دشت مند بر پهنهٔ ناودیسی که بین دو تاقدیس مند در جنوب‌غرب و تاقدیس‌های نمک و کاکی در شمال‌شرق قرار گرفته واقع شده و سنگ کف دشت آبرفتی را رسوبات تبخیری میوسن، شامل مارن و گچ و ماسه سنگ و در حاشیه شمالی کنگلومرای پلیوسن تشکیل داده است. سازندهای زمین شناسی این ناحیه بیشتر شامل سازندهای مارن ماسه سنگ، کنگلومرای بختیاری و نیز آبرفت‌های عهد حاضر است (شکل شمارهٔ ۱).

در جدول شمارهٔ (۱) گسترش رخنمون سازندهای مختلف در محدوده مطالعاتی نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول شمارهٔ (۱) مشاهده می‌شود بیشترین گستردگی متعلق به سازندهای آغاجاری و بختیاری و آبرفت کواترنر است.

سازندهای اطراف دشت مند از نظر نوع تأثیر بر منابع آب دشت در چهار گروه (ستون اوّل جدول شمارهٔ ۱) قرار داده شده‌اند. ۱۷/۹ درصد از سطح محدوده و بیشتر از ۶۳ درصد ارتفاعات اطراف دشت مند را سازندهایی تشکیل می‌دهند که در کیفیت آب زیرزمینی تأثیر می‌گذارند

www.SID.ir

Archive of SID



شکل شمارهٔ (۱): نقشهٔ زمین شناسی و موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه

جدول شمارهٔ (۱): مساحت رخنمون سازندهای مختلف در محدودهٔ مورد مطالعه

گروه	ویژگی‌ها	نام سازند	سطح رخنمون(Km^2)	درصد	درصدرخنمون
–	–	آبرفت	۸۵۹/۲	۷۱/۶	۷۱/۶
۱	سنگ‌های کربناته با درز و شکاف زیاد و کارستی	آسماری– جهرم	۱۱/۹	۱/۰	۱/۰
۲	سنگ‌های کربناته با درز وشکاف کم	ایلام	۲/۵	۰/۲	۲/۶
		داریان–گدوان	۴/۳	۰/۴	
		فهلیان– سورمه	۲۳/۹	۲/۰	
۳	سنگ‌های غیر کربناته موثر در تغذیه آبخوان‌ها	بختیاری	۸۲/۶	۶/۹	۶/۹
۴	سنگ‌های با تأثیر منفی بر کیفیت آب زیرزمینی	آغاجاری	۱۳۰/۰	۱۰/۸	۱۷/۹
		(بخش لهبری)	۲۱/۳	۱/۸	
		میشان	۲۶/۰	۲/۲	
		گچساران	۱۸/۷	۱/۶	
		پابده–گورپی	۴/۸	۰/۴	
		سری هرمز	۱۰/۵	۰/۹	

هیدروژئولوژی

دشت مند دشت آبرفتی نسبتا پیوسته است، اما بهره‌برداری از منابع آب فقط در دو زون توسعه یافته است. زون شمارهٔ ۱ (زون کاکی) در بخش شمالی دشت و در اطراف شهر کاکی و زون شمارهٔ ۲ (زون بردخون) در نواحی جنوبی دشت و در شمال شهر بردخون قرار گرفته است. بر اساس آخرین آماربرداری از منابع آب انجام شده

www.SID.ir

Archive of SID

درسال ۱۳۸۱ در این دو زون در مجموع ۶۲۷ حلقه چاه با تخلیه سالانه معادل ۲۳/۰۳ میلیون متر مکعب، گزارش شده است. بخش عمده این برداشت به مصرف کشاورزی می‌رسد. از آنجا که بعد از سال آماربرداری، اطلاعات دقیقی از برداشت از آب زیرزمینی در دست نیست، محاسبات بیلان برای سال آبی ۱۳۸۱تا۸۲ انجام و نتایج در جدول شمارهٔ (۲) ارائه شده است. میزان تخلیه آب زیرزمینی به‌صورت خروجی و بهره برداری از منابع آبی واقع در محدوده مطالعاتی (چاه) در سال (۸۱ تا ۸۲) جمعاً رقمی در حد ۳۲ میلیون مترمکعب را تشکیل داده و تغذیهٔ ناشی از جریان‌های زیرزمینی با برگشتی کشاورزی فاضلاب، نفوذ از بارندگی و جریان‌های سطحی و سیلابی رقمی در حد ۲۶/۸ میلیون متر مکعب میباشد. رقم کاهش حجم مخزن در این جدول ۵/۲ میلیون متر مکعب است.

مواد و روشها

به منظور بررسی روندهای تکاملی آب زیرزمینی و تشخیص فرایندهایی که آبهای زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهند از نتایج شیمیایی مربوط به ۲۸ حلقه چاه آبرفتی استفاده شد. در شکل شمارهٔ (۲) موقعیت این چاهها نشان داده شده است. در بررسی‌ها از رفتار شیمیایی عناصر اصلی محلول در آب و ویژگی‌های فیزیکی آب استفاده گردیده است. ابتدا تیپ منابع آب در نمودار مثلثی تعیین گردید. در ادامه روش تحلیل خوشه‌ای برای گروه بندی منابع آب دشت، مورد استفاده قرار گرفت و در نهایت برای شناسایی عوامل حاکم بر تغییرات کیفیت آب زیرزمینی و روابط بین متغیرها از روش تحلیل عاملی استفاده شد.

جدول شمارهٔ (۲): خلاصهٔ بیلان دشت مند برای سال آبی ۸۱–۸۲ (میلیون متر مکعب)

شرح	دوره مرطوب		دوره خشک		یکساله	
	تغذیه	تخلیه	تغذیه	تخلیه	تغذیه	تخلیه
جریان ورودی زیرزمینی	۲/۷	–	×	–	۲/۷	–
نفوذ مستقیم از بارندگی (۸۱–۸۲)	۱۰/۴	–	–	–	۱۰/۴	–
نفوذ از جریان‌های سطحی و سیلاب‌ها	۰/۱۵	–	–	–	۰/۱۵	–
نفوذ مستقیم از رودخانه	۶/۲	–	۲/۷	–	۸/۹	
آب برگشتی کشاورزی از چاهها	–	–	۴/۶	–	۴/۶	–
آب برگشتی از فاضلاب‌های شهری	۰/۰۱	–	۰/۰۱	–	۰/۰۲	–
جریان خروجی زیرزمینی	–	×	–	×	–	×
برداشت از چاهها برای کشاورزی	–	–	–	۲۳	–	۲۳
برداشت از چاهها برای شرب و صنعت		۰/۰۳	–	۰/۰۱	–	۰/۰۳
تبخیر از سطح آب زیرزمینی	–	۵/۴	–	۳/۶	–	۰/۹
جمع	۱۹/۴۶	۵/۴۳	۷/۳۱	۲۶/۶	۲۶.۸	۳۲
بیلان	+ ۱۴		– ۱۹/۳		–۵/۲	

نتایج

هیدروشیمی

منابع آب دشت مند بیشتر شور هستند. بررسی آماری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب در جدول شمارهٔ (۳) ارائه شده است. هدایت الکتریکی منابع آب بین مقادیر کمینه ۱۷۲۷ و بیشینه ۶۱۹۰ میکرومهوس برسانتیمتر در تغییر است. بیشترین شوری متعلق به چاه W3 است که در زون بهره‌برداری کاکی قرار گرفته است و از آبرفت خارج می‌شود. میزان کل مواد جامد محلول در منابع آب از حداقل ۱۰۳۶ تا حداکثر ۳۷۱۰ میلی‌گرم بر لیتر در تغییر و میزان pH در این منابع از ۶/۹۶ تا ۸/۲۹ تغییر کرده است. نمونه‌های آب بیشتر دارای تیپ سولفاته کلسیک و به تعداد کمتر سولفاته سدیک هستند (جدول شمارهٔ ۴). از نمونه های تجزیه‌وتحلیل شده ۸۴ درصد تیپ سولفاته–کلسیک، ۱۲ درصد تیپ

www.SID.ir

Archive of SID

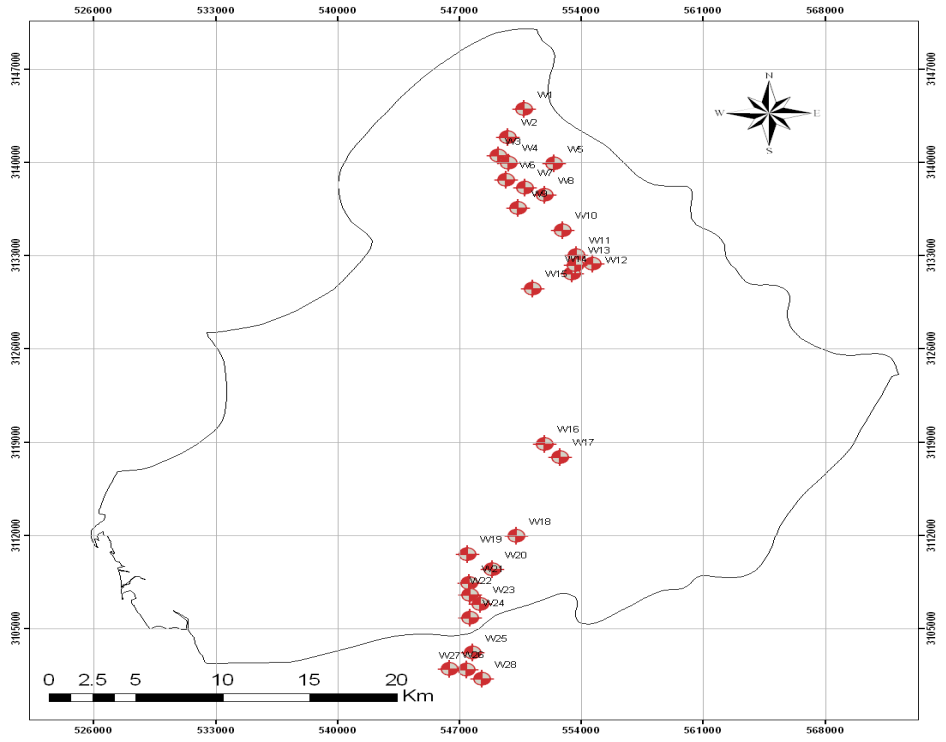
سولفاته سدیک و ۴ درصد نیز تیپ کلروره سدیک دارند. روند تکامل و جهت تغییر یون‌ها در شکل شمارهٔ (۳) مشخص شده است.

در جهت جریان، منابع آب از یون‌های کلسیم، منیزیم و سولفات تهی و بر میزان یون‌های کلر و سدیم افزوده می‌شود. میزان همبستگی بین مشخصه‌های مختلف کیفی بررسی و ماتریس حاصل در جدول شماره (۵) ارائه شده است. سه نوع وابستگی متفاوت بین مشخصه‌های مختلف قابل تشخیص است:

۱- تقریبا تمامی مشخصه‌ها بجز pH و بیکربنات با شوری (EC) همبستگی مثبت نشان داده‌اند. این همبستگی مثبت برای TDS از همه بیشتر (۰/۹۹) است.

۲- بین یون‌های با بار متفاوت نیز همبستگی به این صورت است که پیش‌بینی Cl با Na همبستگی بالا (۰/۹۷) و SO_4 با Ca (۰/۹۱) و با Mg (۰/۸۹) همبستگی بالا نشان می‌دهد. بیکربنات با دیگر یون‌های مثبت همبستگی قوی نشان نداده است.

۳- یون‌های با بار یکسان معمولا همبستگی قوی و معنی‌داری نشان نمی‌دهند. تنها همبستگی قوی از این دست بین Ca و Mg و معادل ۰/۷۲ مشاهده می‌شود. این همبستگی می‌تواند به دلیل انحلال سنگ‌های دولومیتی سازند جهرم باشد.



شکل شمارهٔ (۲): موقعیت نقاط نمونه‌برداری از آب زیرزمینی

جدول شمارهٔ (۳): مشخصه‌های آماری مؤلفه‌های مختلف شیمیایی بر حسب ppm

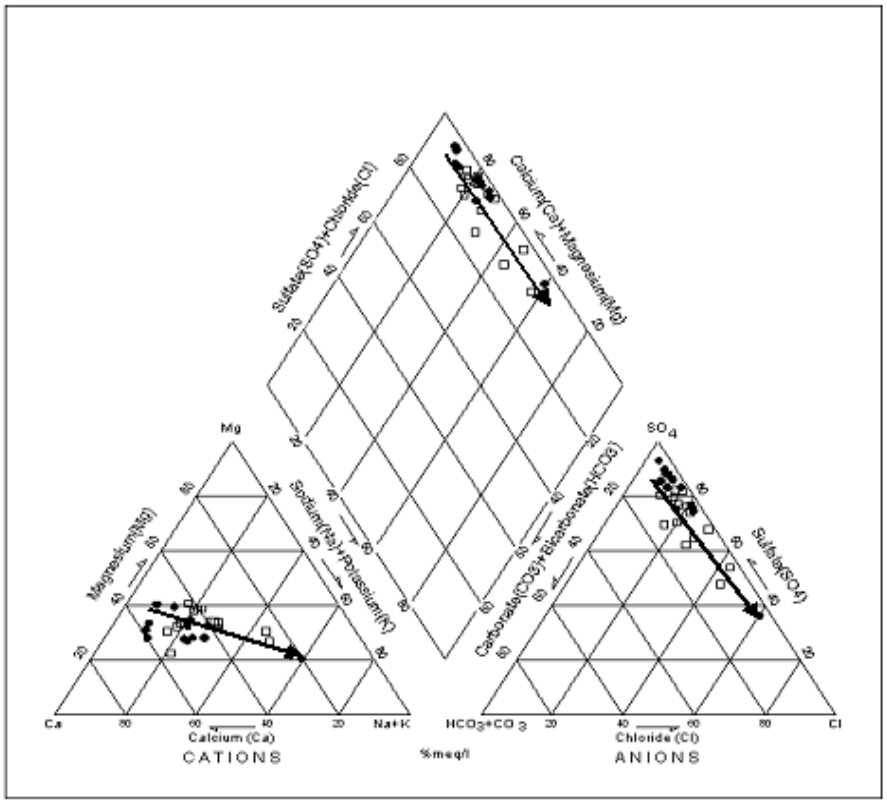
مشخصه	EC	T.D.S	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO_3	CO_3	Cl	SO_4
میانگین حسابی	۳۴۹۵	۲۰۷۲/۴	۷/۵۴	۴۷۱/۶	۲۱۱/۳	۳۱۹/۵	۱۴/۱	۱۵۶/۸	۵/۱	۴۱۲/۱	۱۹۹۷/۳
انحراف معیار	۱۰۸۰/۲	۶۶۲/۱	۰/۳۴	۱۷۲/۲	۷۴/۱	۲۲۶/۲	۱۲/۷	۶۲/۸	۲۰/۴	۳۵۷/۷	۷۲۵/۳
ضریب تغییرات (٪)	۳۰/۹	۳۱/۹	۴/۵۱	۳۶/۵	۳۵/۱	۷۰/۸	۹۰/۵	۴۰/۱	۳۹۷	۸۶/۷	۳۶/۳
حداکثر	۶۱۹۰	۳۷۱۰	۸/۲۹	۶۸۷/۲	۳۷۰/۹	۹۷۹/۸	۶۷/۷	۳۷۱/۵	۹۹/۳	۱۴۷۹	۳۳۰۰
حداقل	۱۷۲۷	۱۰۳۶	۶/۹۵	۱۲۷/۶	۸۴/۸	۱۰۴/۹	۵/۱	۹۲/۷	۰	۷۰/۶	۷۹۹/۷
میانه	۳۱۲۰	۱۸۷۱	۷/۵	۵۰۷/۴	۲۱۸	۲۵۹/۸	۸/۹۷	۱۳۴/۲	۰	۲۷۶/۵	۲۲۴۹/۸
دامنه تغییرات	۴۴۶۳	۲۶۷۴	۱/۳۳	۵۵۹/۶	۲۸۶/۱	۸۷۴/۹	۶۲/۸	۲۷۸/۸	۹۹/۳	۱۴۰۸	۲۵۰۰/۳

www.SID.ir

Archive of SID

جدول شمارهٔ (۴): تیپ آب در منابع مختلف آب

چاه	تیپ آب	چاه	تیپ آب	چاه	تیپ آب	چاه	تیپ آب
W1	سولفاته سدیک	W9	سولفاته کلسیک	W15	سولفاته کلسیک	W23	سولفاته کلسیک
W2	سولفاته سدیک	W8	سولفاته کلسیک	W17	سولفاته کلسیک	W24	کلروره سدیک
W3	سولفاته سدیک	W10	سولفاته کلسیک	W16	سولفاته کلسیک	W25	سولفاته کلسیک
W4	سولفاته کلسیک	W14	سولفاته کلسیک	W18	سولفاته کلسیک	W27	سولفاته کلسیک
W5	سولفاته کلسیک	W11	سولفاته کلسیک	W20	سولفاته کلسیک	W28	سولفاته کلسیک
W6	سولفاته کلسیک	W12	سولفاته کلسیک	W21	سولفاته کلسیک	W26	سولفاته کلسیک
W7	سولفاته کلسیک	W13	سولفاته کلسیک	W22	سولفاته کلسیک	W19	سولفاته کلسیک



شکل شمارهٔ (۳): نمودار مثلثی منابع آب دشت مند

نتایج جدول شمارهٔ (۵) نشان می‌دهد که با افزایش شوری، غلظت بیکربنات و میزان pH کاهش و دیگر مشخصه‌ها افزایش می‌یابند. کاهش غلظت بیکربنات با شوری به این دلیل است که نمونه‌های با شوری کم و سولفات و کلر پایین که بیشتر مربوط به مناطق تغذیه‌اند، تحت تأثیر انحلال کربنات‌ها هستند. اما با افزایش شوری و افزایش قدرت یونی محلول، رسوبگذاری کربنات‌ها و در نتیجه کاهش بی‌کربنات رخ می‌دهد.

از طرفی با افزایش شوری، غلظت یون کلسیم افزایش نشان می‌دهد و رابطهٔ خطی بین غلظت یون‌های سولفات و کلسیم نیز وجود دارد که نشان‌دهندهٔ رویداد فرایند انحلال ژیپس در آبخوان است. نسبت یونی بی‌کربنات (نسبت یون بی‌کربنات به مجموع آنتی یونها) $HCO_3/Sum.Anions$ کمتر از ۰/۸ و مقدار سولفات بالاست، این موضوع نشان‌دهندهٔ نقش انحلال ژیپس در تغییر کیفیت آب است (Freeze and Cherry, 1979).

وابستگی بین یون‌های مختلف به نوعی تأثیر سنگ‌شناسی غالب سازندهای مؤثر در کاهش کیفیت آب را نشان می‌دهد. در جدول شمارهٔ (۶) سازندهای مؤثر در کاهش کیفیت آب بر اساس وابستگی یون‌های ترکیب غالب شیمیائی ارائه شده است

www.SID.ir

Archive of SID

جدول شمارهٔ (۵): ماتریس ضریب وابستگی یون‌های آنالیز شده

	EC	TDS	PH	Ca	Mg	Na	K	HCO_3	SO_4	Cl
EC	۱									
TDS	۰/۹۹	۱								
PH	-۰/۰۹	-۰/۱۱	۱							
Ca	۰/۵۱	۰/۴۹	۰/۳۵	۱						
Mg	۰/۷۴	۰/۷۴	-۰/۰۲	۰/۷۲	۱					
Na	۰/۸۳	۰/۸۴	-۰/۲۰	۰/۰۲	۰/۳۳	۱				
K	۰/۴۳	۰/۴۴	-۰/۰۰	۰/۱۵	۰/۳۳	۰/۴۲	۱			
HCO3	-۰/۱۲	-۰/۱۲	۰/۱۸	-۰/۵۲	-۰/۳۷	۰/۱۹	۰/۰۳	۱		
SO4	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۲۲	۰/۹۱	۰/۸۹	۰/۱۷	۰/۳۷	-۰/۴۳	۱	
Cl	۰/۷۹	۰/۸۰	-۰/۲۵	-۰/۰۲	۰/۲۹	۰/۹۷	۰/۲۷	۰/۱۳	۰/۰۹	۱

جدول شمارهٔ (۶): ارتباط ضریب وابستگی یون‌ها با سازنهای عامل کاهش کیفیت

نام سازند کاهندهٔ کیفیت	سنگ‌شناسی غالب	مساحت رخنمون در محدودهٔ مطالعاتی (Km^2)	ضریب وابستگی بین یون‌های موجود در ترکیب غالب		
سری هرمز	هالیت	۱۰	Na-Cl ۰/۹۷		
گچساران	ژیپس	۱۹	Ca-SO4 ۰/۹۱		
جهرم	دولومیت	۱۲	Ca-SO4 ۰/۹۱	Mg-SO4 ۰/۸۹	Ca-Mg ۰/۷۲

گروه‌بندی منابع آب

شکل شمارهٔ (۴) نتیجهٔ تحلیل خوشه‌ای بر اساس غلظت یون‌های اصلی را نشان داده است. مطابق شکل، نمونه‌های آب زیرزمینی دشت مند در ۲ گروه قرار گرفته‌اند. هر یک از این گروهها در سطح پایین‌تر به دو دسته و درنهایت به دسته‌های ریزتر تقسیم می‌گردند. این گروهها در زیر به اختصار توضیح داده شده‌اند:

گروه ۱: نمونه‌هایی که در خوشهٔ شمارهٔ ۱ قرار گرفته‌اند، بیشتر شامل منابع آبی‌اند که در زون بهره‌برداری شماره ۱ (زون کاکی) واقع شده‌اند. نمونه‌های این گروه چاههای شماره ۱، ۲، ۵، ۷، ۸، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۵، ۱۷ و ۲۲ هستند. ۸۳٪ از این گروه را منابع آب زون کاکی و ۱۷ درصد را منابع آب زون بردخون تشکیل داده است. در نمونه‌های گروه ۱ سولفات به‌عنوان مهم‌ترین آنیون و از مقدار ۸۰۰ تا ۱۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر متغیر است.

گروه ۲: این گروه به طور عمده مشتمل بر منابع آبی زون بردخون است. نمونه‌های شمارهٔ ۳، ۴، ۶، ۹، ۱۳، ۱۶، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸ در این گروه قرار گرفته‌اند. ۷۰٪ این نمونه‌ها در زون بردخون و ۳۰٪ آنها در زون کاکی قرار گرفته‌اند. میزان سولفات در این گروه از ۱۹۰۰ تا ۳۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر متغیر است. این دسته‌بندی به نوعی تفاوت در علت شوری در منابع آب دو زون کاکی و بردخون و عدم ارتباط هیدرولویکی قوی بین این دو زون را نشان می‌دهد.

معرفی عوامل احتمالی مؤثر در شوری

در دشت مند عوامل محتمل زیادی ممکن است در شوری مؤثر باشند. در این تحقیق تلاش شده است تا وزن تأثیر این عوامل در شوری منابع آب ارزیابی شود. این عوامل محتمل را می‌توان به شرح زیر معرفی کرد:

۱- انحلال کانی‌های تبخیری موجود در سازندهای گروه فارس مانند سازندهای گچساران، میشان و آقاجاری. در بخش زمین‌شناسی اشاره شد که بخش عمده‌ای از سازندهای اطراف دشت مند را این سازندها تشکیل می‌دهند.

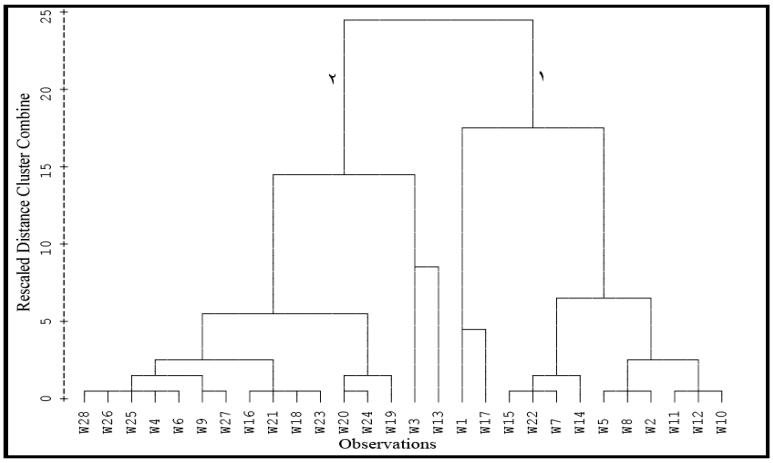
۲- در بخش شرقی محدوده مطالعاتی و دشت مند یک گنبد نمکی بزرگ در هستهٔ تاقدیس نمک بیرون‌زدگی دارد (شکل شمارهٔ ۱). انحلال تبخیری‌های این گنبد نمکی بویژه هالیت را می‌توان به‌عنوان عامل دیگر مؤثر در شوری فرض کرد.

۳- دشت مند حدود ۲۲ کیلومتر مرز ساحلی در حاشیهٔ خلیج فارس دارد. نفوذ آب شور دریا در دشت از طریق این مرز می‌تواند منجر به افزایش شوری آب در دشت شود.

۴- در دشت مند بیلان منفی حاکم است. بهره‌برداری بیش از ظرفیت آبخوان، می‌تواند منجر به افزایش شوری شود

www.SID.ir

Archive of SID



شکل شمارهٔ (۴): نمودار تحلیل خوشه‌ای نمونه‌های آب زیرزمینی دشت مند

تحلیل عاملی

نظر به دسته‌بندی ارائه شده در بخش قبل، تحلیل عاملی بر اساس مشخصه‌های کیفیت شامل غلظت یون‌های اصلی و pH برای همه دشت و همچنین برای زون‌های کاکی و بردخون به‌صورت مجزا انجام شده است.

تحلیل عاملی انجام شده با استفاده از تمامی نمونه‌های دشت (جدول شمارهٔ ۷) نشان می‌دهد که ۸۳/۳ درصد تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت مند توسط ۳ عامل کنترل می‌شود. بار این عامل‌ها نسبت به مشخصه‌های کیفیت در جدول شمارهٔ (۷) ارائه شده است و تحلیل آنها به صورت زیر ارائه می‌شود:

عامل اول (F1): این عامل با یون‌های SO_4، Ca و Mg در ارتباط است که میتواند به انحلال تبخیری‌ها و بویژه ژیپس در سازندهای گروه فارس نسبت پیدا کند و مسئول حدود ۴۰٪ از تغییرات کیفیت آب زیرزمینی است.

شکل شمارهٔ (۵) ارتباط بین وزن این عامل با غلظت سولفات را در چاههای مختلف نشان داده است. چاههای شمارهٔ ۱۳ و ۳ بیشترین وزن این عامل را نشان می‌دهند. این چاهها به سازندهای گروه فارس نزدیکی بیشتری دارند.

عامل دوم (F2): این عامل با یون‌های Cl و Na ارتباط بالایی نشان داده است و میتواند به انحلال هالیت، یا نفوذ آب شور دریا در آبخوان ساحلی مند مربوط باشد. حدود ۲۸٪ از تغییرات ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی دشت با عامل دوم کنترل می‌شود. در شکل شمارهٔ (۶) ارتباط بین وزن عامل دوم با غلظت یون‌های سدیم و کلر ارائه شده است. وابستگی بین غلظت این یون‌ها با عامل دوم در چاههای منطقه بردخون بیشتر از چاههای منطقه کاکی است. چاه شمارهٔ ۱۷ که نزدیک‌ترین چاه به گنبد نمکی است، بیشترین وزن این شاخص را نشان داده است.

عامل سوم (F3): این عامل با pH و بیکربنات وابستگی نشان می‌دهد و نشان دهندهٔ تغذیه ناشی از بارندگی در سطح دشت می‌باشد (Lawrence Upchurch،1982). با توجه به عدم ارتباط این عامل با کلسیم و منیزیم، انحلال کربناتها را نمیتوان به این عامل منسوب کرد. حدود ۱۵ درصد تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت مند نیز توسط این عامل کنترل می گردد.

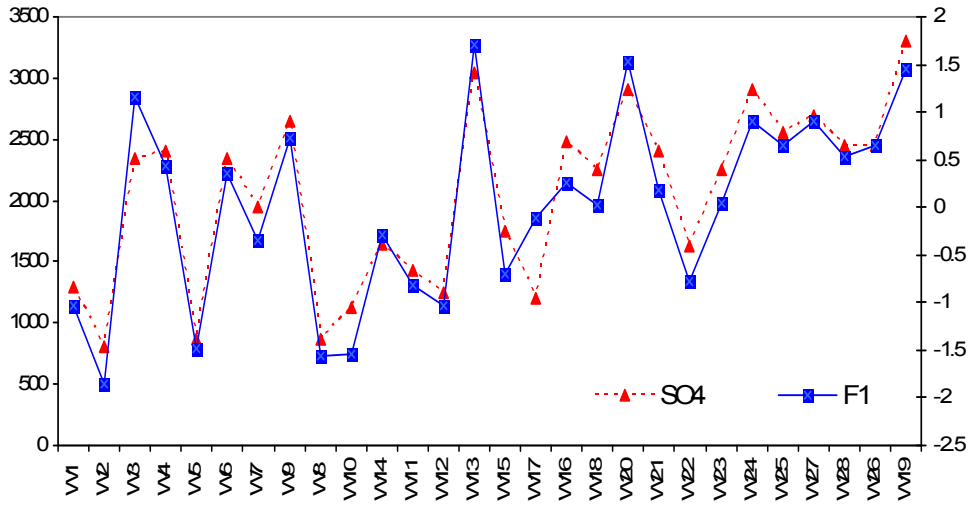
شکل شمارهٔ (۷) تغییرات عامل سوم را در چاه‌های مختلف نشان داده است. چاه‌های با شوری کمتر که هنوز تحت تأثیر عوامل شوری دیگر قرار نگرفته‌اند، مانند چاههای شمارهٔ ۸ و ۱۰ در این عامل وزن بیشتری نشان داده‌اند. این چاهها دارای شوری کمتری نسبت به بقیهٔ چاهها هستند.

جدول شمارهٔ (۷): مقدار بار عامل‌ها بر اساس چرخش Varimax برای دشت مند (همه نمونه‌ها)

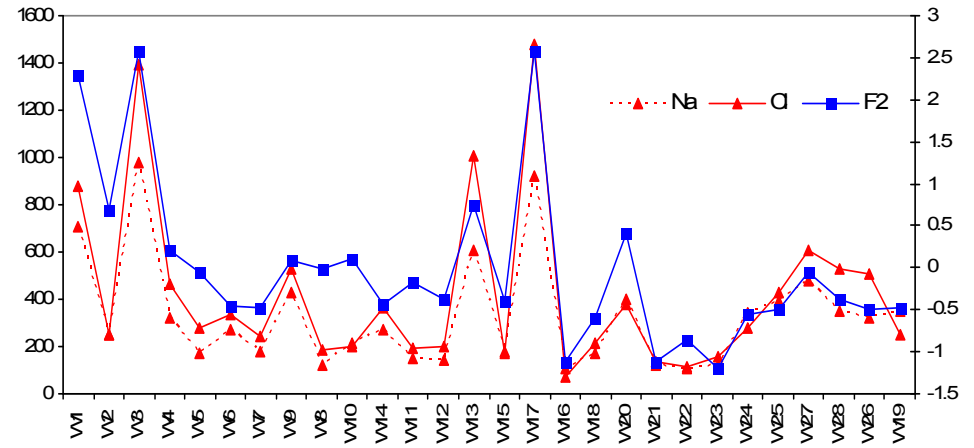
متغیرها	عامل‌ها		
	۱	۲	۳
pH	۰/۱۰	-۰/۴۱	۰/۸۴
Ca	۰/۸۵	-۰/۴۲	۰/۰۹
Mg	۰/۹۲	-۰/۰۱	-۰/۰۹
Na	۰/۴۱	۰/۸۸	۰/۰۷
K	۰/۴۷	۰/۳۷	۰/۲۵
HCO_3	-۰/۴۷	۰/۴۳	۰/۶۴
SO_4	۰/۹۵	-۰/۲۴	۰/۰۸
Cl	۰/۳۵	۰/۸۷	-۰/۰۴
درصد واریانس هرعامل	۴۰/۱	۲۸/۲	۱۵/۰
تجمعی درصد واریانس	۴۰/۱	۶۸/۳	۸۳/۳

www.SID.ir

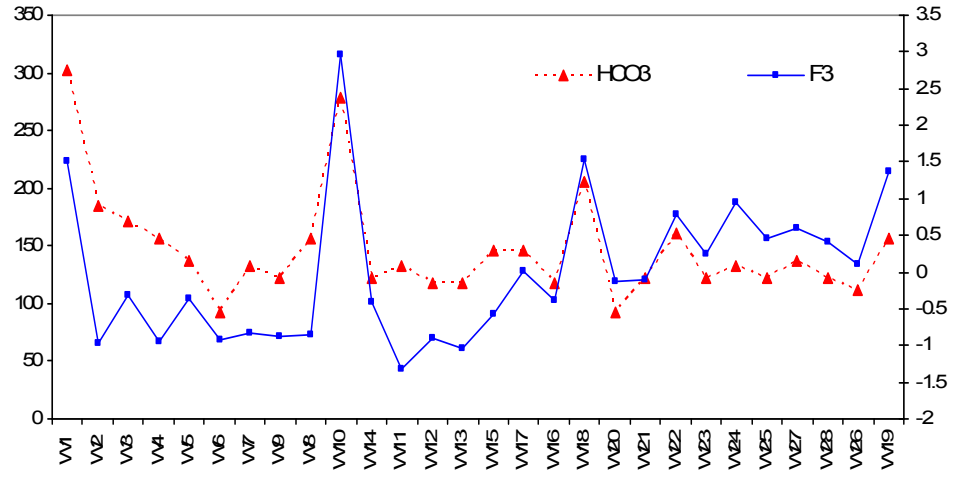
Archive of SID



شکل شمارهٔ (۵): ارتباط بین وزن فاکتور ۱ و غلظت SO_4 در منابع آب



شکل شمارهٔ (۶): ارتباط بین وزن فاکتور ۲ و غلظت Cl و Na در منابع آب



شکل شمارهٔ (۷): ارتباط بین وزن فاکتور ۳ و غلظت HCO_3 در منابع آب

www.SID.ir

Archive of SID

تحلیل عاملی برای زون‌های کاکی و بردخون به‌صورت مجزا انجام و نتایج در جدول شمارهٔ (۸) ارائه شده است. نتایج در دشت بردخون سه عامل و در زون کاکی دو عامل مؤثر در شوری را معرفی می‌کند. عامل دوم شوری که معرف تأثیر انحلال هالیت یا نفوذ آب شور دریاست، در زون کاکی تأثیرگذار نیست. با توجه به نقشهٔ زمین‌شناسی، امکان اثر گنبد نمکی و آب شور دریا در شوری زون کاکی بسیار بعید به نظر می‌رسد.

جدول شمارهٔ (۸): مقدار بار عامل‌ها بر اساس چرخش Varimax **برای زون‌های کاکی و بردخون به تفکیک**

متغیرها	زون ۲ (بردخون)			زون ۱ (کاکی)	
	عامل‌ها			عامل‌ها	
	۱	۲	۳	۱	۲
pH	۰/۳۴	−۰/۷۴	۰/۴۷	−۰/۳۵	**۰/۳۱**
Ca	۰/۹۱	۰/۰۶	−۰/۰۰	۰/۷۲	−۰/۵۴
Mg	۰/۶۶	۰/۴۸	۰/۴۱	۰/۸۴	**۰/۵۲**
Na	−۰/۶۸	۰/۵۲	۰/۴۱	۰/۹۰	−۰/۳۰
K	۰/۰۹	۰/۸۳	۰/۱۹	۰/۵۷	۰/۸۰
HCO_3	−۰/۱۶	−۰/۶۱	۰/۶۷	−۰/۱۶	**۰/۹۰**
SO_4	۰/۸۸	۰/۴۱	۰/۲۱	۰/۸۷	−۰/۳۹
Cl	−۰/۸۲	۰/۳۶	۰/۳۰	۰/۸۸	۰/۴۲
درصد واریانس هر عامل	۴۱/۴	۳۰/۰	۱۴/۷	۵۰/۵	۳۱/۴
تجمعی درصد واریانس	۴۱/۴	۷۴/۴	۸۶/۱	۵۰/۵	۸۱/۹

نتیجه‌گیری

آب زیرزمینی در دشت مند شوری بسیار بالایی دارد. میزان شوری آب در این دشت از حداقل ۱۷۰۰ تا بیشتر از ۶۰۰۰ میکرومهوس‌بر سانتیمتر در تغییر است. تحلیل خوشه‌ای بر اساس تشابه نمونه‌های آب زیرزمینی در دشت مند، منابع آب را در دو گروه متمایز قرار داده است. این گروه‌بندی به‌طور نسبی بر دو زون بهره‌برداری موجود در این دشت (زون‌های کاکی و بردخون) منطبق است.

گروه اوّل با شوری کمتر، منابع منطقه تغذیه را شامل می‌شود. گروه دوم نزدیکی بیشتری به گنبد نمکی و دریا دارند و به سمت منطقه خروجی دشت قرار می‌گیرند و شوری این گروه نیز بیشتر از گروه اول است. ترکیب شیمیایی منابع آب در محدودهٔ (Ca,Mg–SO_4) واقع شده است. در جهت جریان آب زیرزمینی، منابع آب از یون‌های کلسیم، منیزیم و سولفات تهی و بر میزان یون‌های کلر و سدیم افزوده می‌شود. نتیجه تحلیل عاملی نشان می‌دهد که ۸۳/۳ درصد تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت مند توسط ۳ عامل کنترل می‌شود. عامل اول شامل انحلال کانی‌های تبخیری، بویژه ژیپس موجود در سازندهای گروه فارس از جمله سازند گچساران است. این عامل مسئول حدود ۴۰٪ از تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت مند است.

حدود ۲۸٪ از تغییرات کیفی منابع آب این دشت به عامل دوم مربوط است. این عامل معرف انحلال هالیت در گنبد نمکی، یا نفوذ آب شور دریاست. عامل سوم که ۱۵٪ تغییرات را باعث می‌شود، با بیکربنات و pH ارتباط دارد و از طریق انحلال گازکربنیک در منطقه تغذیه ایجاد می‌شود. نتایج تحلیل عاملی به‌صورت مجزا برای دو زون کاکی و بردخون نشان داده است که، عامل دوم در محدودهٔ کاکی تأثیرگذار نیست.

منابع مورد استفاده

Back,W.1966. Hydrochemical facies and ground-water flow patterns in northern part of Atlantic Coastal Plain. U.S. Geological Survey Professional Paper 498-A

www.SID.ir

Archive of SID

Beatriz,A.H., et al.1998. A case study of hydro chemical characteristics of an alluvium aquifer influenced by human activities, Air, water and Soil pollution Bulletin.

Cloutier,V.2004. Origin and geochemical evolution of groundwater in the Paleozoic Basses-Laurentides sedimentary rock aquifer system, St. Lawrence Lowlands, Québec, Canada. PhD Thesis, INRS-Eau, Terre & Environnement, Québec, Canada.

Dalton,M.G., S.B.,Upchurch.1978. Interpretation of hydro chemical facies by factor analysis, Groundwater, V. 16, pp. 228-233.

Dawdy,D.R., J.H., Feth .1967. Application of factor analysis in steady of chemistry of groundwater quality, Mojaveriver Vally, California, Water Resour. Res.3(2), 505-510.

Freeze,R.A., J.A.,Cherry .1979. Groundwater, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey

Gosselin, D.C., F.E.,Harvey and C.D.,Frost .2001. Geochemical evolution of ground water in the Great Plains aquifer of Nebraska: Implications for the management of a regional aquifer system. Groundwater 39(1):98–108

Hendry,M.J., F.W.,Schwartz .1990. The chemical evolution of ground water in the Milk River Aquifer, Canada. Groundwater 28(2):253–261

Hitchon,B., G.K.,Billing and J.E.,Kolvan .1971. Geochemistry and origin of formation waters in the western Canada sedimentary basin, III. Factor controlling chemical composition, Geochem. Cosmochem. Acta, 35, 567-598

Howard,F.,W.,Ken and E.,Mullings .1996. Hydro chemical analysis of groundwater flow and saline intrusion in the Clarendon basin, Jamaica, Groundwater, 34(6), 801-810.

Jeong,C. 2001. Mineral-water interaction and hydrogeochemistry in the Samkwang mine area, Korea. Geochemical Journal, Vol. 35, pp. 1-12.

Johnson,R.A., D.W., Wichern.1988. Applied Multivariate Statistical Analysis, Prentic Hall, p.605.

Lawrence,F.W. , S.B.,Upchurch .1982. Identification of water recharge areas using geochemical factor analysis, Groundwater, 20(6), 680-687.

Liu,C.W., K.H.,Lin and Y.M.,Kuo.2003. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan, The Science of Total Environment, V.313, pp.77-89.

Marie,A., A.,Vengosh .2001. Sources of salinity in groundwater from Jericho area, Jordan Vally, Grounwater, 39(2), 240-248.

Nordstrom,D.K., et al.1989. Groundwater chemistry and water-rock interaction at Stripa. Geochem. Cosmochem. Acta. 53, 1727-1740.

Reghunath,R., T.R.S., Murthy and B.R.,Raghvan .2002. The utility of multivariate statistical techniques in hydrogeochemical studies: an example from Karnataka, India, Water Research, Vol. 36., pp. 2437-2442.

www.SID.ir

Archive of SID

Stober,I., K.,Bucher .1999. Deep groundwater in the crystalline basement of the Balck Forest region, Applied Geochemistry, 14, 237-254.

Subbarao,C., N.V.,Subbarao and S.n.,Chandu .1996. Characterization of groundwater contamination using factor analysis, Environmental Geology, V.28 No. 4, p. 175-180.

Usunoff,E.J., A.,Guzman-Guzman .1989. Multivariate analysis in hydrochemistry: An example of the use factor and correspondence analysis. Groundwater, 27, 27-34.

www.SID.ir