

مطالعه عوامل کنترل کننده شوری در آبخوان آبرفتی دشت مند، استان بوشهر

محسن رضائی

استادیار زمین شناسی با گرایش آب شناسی، و مدیر گروه زمین شناسی دانشگاه تربیت معلم تهران

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۰/۲۳ تاریخ پذیرش: ۸۹/۹/۱۴

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 بهره برداری بین ۱۷۲۷ تا بیشتر از ۶۰۰۰ میکرومهموس بر سانتیمتر در تغییر است. بهره برداری از این آبخوان در دو زون مجزا از هم باعث برقراری بیلان منفی شده است. عوامل گوناگونی مانند، سازندهای انحلال پذیر در اطراف دشت، وجود گنبد نمکی، نفوذ آب شور دریا و برگشت آبهای مصرفی از جمله عواملی هستند که می توانند منجر به کاهش کیفیت آب در این دشت شوند. با استفاده از نتایج آزمایش فیزیکی و شیمیایی مربوط به ۲۸ حلقه چاه بهره برداری، نقش هر کدام از این عوامل در شوری منابع آب مورد تحلیل قرار گرفته است. از روشهای آماری چند متغیره در ارزیابی مشخصه های کیفی استفاده شده است. نتایج نشان داده است که رخساره هیدروشیمیایی غالب (Ca, Mg-SO₄) و مشاهده شده در ۸۴ درصد از نمونه هاست. تحلیل خوشه ای، منابع آب را در ۲ گروه مجزا قرار می دهد که منطبق با زون های بهره برداری در آبخوان است. نتایج تحلیل عاملی نشان می دهد که ۸۳/۳ درصد از تغییرات کیفی آب با ۳ عامل کنترل می شود. عامل اول و مهم ترین عامل، انحلال کانی های سولفات موجود در سازندهای گروه فارس در اطراف دشت مند است. انحلال هالیت در گنبد نمکی موجود در شرق دشت و نفوذ آب دریا، به عنوان عامل دوم در نظر گرفته شده است. عامل سوم را میتوان به انحلال گاز کربنیک در آب نفوذی به آبخوان دانست که باعث تغییر در میزان بیکربنات شده است. در زون بهره برداری شمال دشت عامل دوم تأثیر گذار نیست.

کلید واژه

تحلیل عاملی، شوری، هیدروژئوشیمی، مند، استان بوشهر

سر آغاز

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 نمایه های اشباع ترکیبات مختلف و ارتباط آنها (Nordstorm, et al., 1989, Jeong, 2001) و روشهای آماری چند متغیره از جمله روشهایی هستند که در سالهای اخیر برای بررسی ترکیب شیمیایی و تفسیر ویژگی های کیفی آب استفاده زیادی شده است. به طور ویژه روشهای آماری چند متغیره ابزار قدرتمندی هستند که در بررسی روابط بین متغیرها، میتوانند به طور همزمان چند مشخصه را مورد تحلیل قرار دهند (Johnson & Wichern, 1988). این روشها معمولاً برای گروه بندی منابع آب بر اساس شباهت ها و استخراج

آب زیرزمینی از مهم ترین منابع تأمین آب در جهان به شمار می رود. در مناطق دارای اقلیم خشک مانند استان بوشهر استفاده از آب زیرزمینی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در دشت مند بیشتر آب مصرفی در بخش های شرب، کشاورزی و صنعت از منابع زیرزمینی تأمین می شود. در این دشت منابع آب زیرزمینی کیفیت بسیار پایینی دارد. ترکیب شیمیایی آب متأثر از واکنش های مختلفی است که در تقابل بین آب و ویژگی های سنگ شناسی و پترولوژی آبخوان اتفاق می افتد. بر این اساس با مطالعه ترکیب شیمیایی منابع آب می توان 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 به عنوان ابزاری

محدوده مطالعاتی است. شهر کاکي در مسیر ارتباطی بوشهر-کنگان قرار دارد. با یک جاده فرعی که بعد از شهر کاکي 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 درجه حرارت ماهانه منطقه ۳۶/۸ درجه سانتیگراد و حداقل آن ۱۵/۲ درجه سانتیگراد بوده است.

زمین‌شناسی

از نظر زمین‌شناسی، منطقه مورد مطالعه در کمربند ساحلی خلیج فارس و در زون چین‌خورده زاگرس واقع شده است. امتداد چین‌ها عموماً شمال غربی - جنوب شرقی و به‌صورت تاقدیس و ناودیس‌های با سطح محوری نسبتاً قائم، فرم کلی زمین‌ساختی منطقه را مشخص می‌کند. در بخش جنوب شرقی دشت مند پلانژ شمالی تاقدیس درنگ واقع شده است. بخش کوچکی از یال جنوب شرقی تاقدیس مند نیز در این محدوده است. مرزهای شمال شرقی این محدوده را نیز تاقدیس نمک تشکیل می‌دهد و بخش بسیار کوچکی از تاقدیس کاکي نیز در گوشه شمالی این محدوده قرار گرفته است.

آبرفت دشت مند بر پهنه ناودیسی که بین دو تاقدیس مند در جنوب غرب و تاقدیس‌های نمک و کاکي در شمال شرق 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 زمین‌شناسی این ناحیه بیشتر شامل سازندهای مارن ماسه سنگ، کنگلومرای بختیاری و نیز آبرفت‌های عهد حاضر است (شکل شماره ۱).

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

سازندهای اطراف دشت مند از نظر نوع تأثیر بر منابع آب دشت در چهار گروه (ستون اول جدول شماره 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

عوامل از بین متغیرهای فراوان استفاده می‌شوند. در روش تحلیل عاملی فرایندهای عمده کنترل‌کننده شیمی آب، در قالب عامل‌های پیوندهنده 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 مطالعه 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 میکرومهموس بر سانتیمتر می‌رسد. این شوری بالا می‌تواند دلایل مختلفی مانند انحلال سنگ‌های تبخیری، واکنش‌های آب، سنگ و رسوب مانند پدیده تبادل کاتیونی، تبخیر از آب‌های زیرزمینی، نفوذ آب شور دریا در آبخوان ساحلی و آب‌های برگشتی کشاورزی داشته باشد.

هدف این مقاله 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 حوضه آبریز رودخانه مند قرار دارد. دشت مند و ارتفاعات مشرف به آن تشکیل محدوده 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، که ۹۲۴ کیلومتر مربع آن دشت مند (کاکي-بردخون) و مابقی آن را ارتفاعات تشکیل داده است.

در شکل شماره (۱) موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی نشان داده شده است. کاکي و بردخون از مهم‌ترین مناطق جمعیتی این

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 شماره (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.

در سال 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 ۱۳۸۱ تا ۸۲ انجام و نتایج در جدول شماره (۲) ارائه شده است. میزان تخلیه آب زیرزمینی به صورت 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 تغذیه 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.

جدول شماره (۲): خلاصه 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	-	-	-	۰/۰۱	-	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

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 سولفات-کلسیک و به تعداد کمتر سولفات سدیک هستند (جدول شماره ۴). از نمونه‌های تجزیه و تحلیل شده ۸۴ درصد تیپ سولفات-کلسیک، ۱۲ درصد تیپ

منابع آب دشت مند بیشتر شور هستند. بررسی آماری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب در جدول شماره (۳) ارائه شده است. هدایت الکتریکی منابع آب بین مقادیر کمینه ۱۷۲۷ و بیشینه ۶۱۹۰ میکرومهموس برسانتیمتر در تغییر است. بیشترین شوری متعلق به چاه W3 است که در زون بهره‌برداری کاکي قرار گرفته

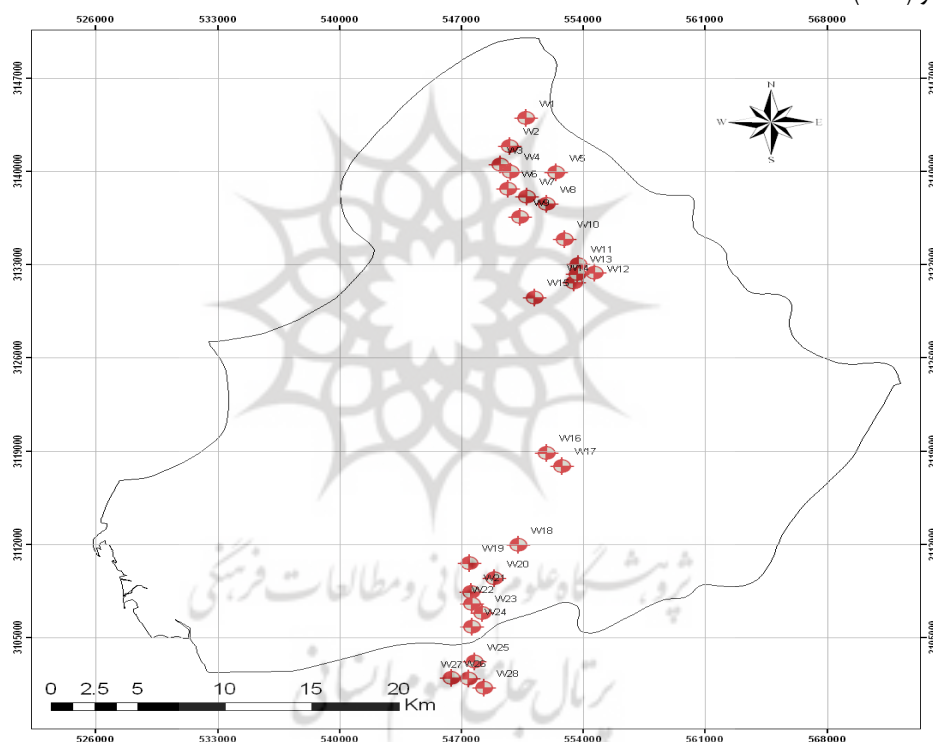
۲- بین یون‌های با بار متفاوت نیز همبستگی به این صورت است که پیش‌بینی Cl با Na همبستگی بالا (۰/۹۷) و SO₄ با Ca (۰/۹۱) و با Mg (۰/۸۹) همبستگی بالا نشان می‌دهد. بیکرنات با دیگر یون‌های مثبت همبستگی قوی نشان نداده است.

۳- یون‌های با بار یکسان معمولاً 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.

سولفات سدیک و ۴ درصد نیز تیپ کلروره سدیک دارند. روند تکامل و جهت تغییر یون‌ها در شکل شماره (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- تقریباً تمامی مشخصه‌ها بجز pH و بیکرنات با شوری (EC) همبستگی مثبت نشان داده‌اند. این همبستگی مثبت برای TDS از همه بیشتر (۰/۹۹) است.



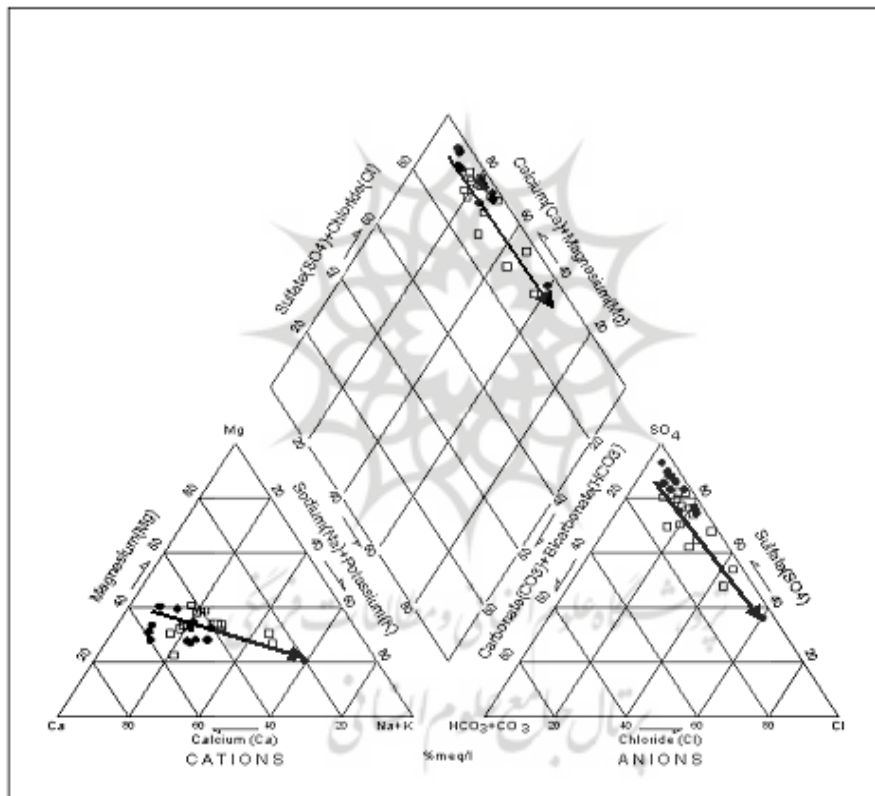
شکل شماره (۲): موقعیت نقاط نمونه‌برداری از آب زیرزمینی

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

SO ₄	Cl	CO ₃	HCO ₃	K	Na	Mg	Ca	pH	T.D.S	EC	مشخصه
۱۹۹۷/۳	۴۱۲/۱	۵/۱	۱۵۶/۸	۱۴/۱	۳۱۹/۵	۲۱۱/۳	۴۷۱/۶	۷/۵۴	۲۰۷۲/۴	۳۴۹۵	میانگین حسابی
۷۲۵/۳	۳۵۷/۷	۲۰/۴	۶۲/۸	۱۲/۷	۲۲۶/۲	۷۴/۱	۱۷۲/۲	۰/۳۴	۶۶۲/۱	۱۰۸۰/۲	انحراف معیار
۳۶/۳	۸۶/۷	۳۹۷	۴۰/۱	۹۰/۵	۷۰/۸	۳۵/۱	۳۶/۵	۴/۵۱	۳۱/۹	۳۰/۹	ضریب تغییرات (%)
۳۳۰۰	۱۴۷۹	۹۹/۳	۳۷۱/۵	۶۷/۷	۹۷۹/۸	۳۷۰/۹	۶۸۷/۲	۸/۲۹	۳۷۱۰	۶۱۹۰	حداکثر
۷۹۹/۷	۷۰/۶	۰	۹۲/۷	۵/۱	۱۰۴/۹	۸۴/۸	۱۲۷/۶	۶/۹۵	۱۰۳۶	۱۷۲۷	حداقل
۲۲۴۹/۸	۲۷۶/۵	۰	۱۳۴/۲	۸/۹۷	۲۵۹/۸	۲۱۸	۵۰۷/۴	۷/۵	۱۸۷۱	۳۱۲۰	میان
۲۵۰۰/۳	۱۴۰۸	۹۹/۳	۲۷۸/۸	۶۲/۸	۸۷۴/۹	۲۸۶/۱	۵۵۹/۶	۱/۳۳	۲۶۷۴	۴۴۶۳	دامنه تغییرات

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

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



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

وجود دارد که نشان دهنده رویداد فرایند انحلال ژپس در آبخوان است. نسبت یونی بی کربنات (نسبت یون بی کربنات به مجموع آنتی یونها) $HCO_3/Sum.Anions$ کمتر از 0.8 و مقدار سولفات بالاست، این موضوع نشان دهنده نقش انحلال ژپس در تغییر کیفیت آب است (Freeze and Cherry, 1979).

وابستگی بین یون های مختلف به نوعی تأثیر سنگ شناسی غالب سازندهای مؤثر در کاهش کیفیت آب را نشان می دهد. در جدول شماره (۶) سازندهای مؤثر در کاهش کیفیت آب بر اساس وابستگی یون های ترکیب غالب شیمیائی ارائه شده است

نتایج جدول شماره (۵) نشان می دهد که با افزایش شوری، غلظت بیکربنات و میزان pH کاهش و دیگر مشخصه ها افزایش می یابند. کاهش غلظت بیکربنات با شوری به این دلیل است که نمونه های با شوری کم و سولفات و کلر پایین که بیشتر مربوط به مناطق تغذیه اند، تحت تأثیر انحلال کربنات ها هستند. اما با افزایش شوری و افزایش قدرت یونی محلول، رسوبگذاری کربنات ها و در نتیجه کاهش بی کربنات رخ می دهد.

از طرفی با افزایش شوری، غلظت یون کلسیم افزایش نشان می دهد و رابطه خطی بین غلظت یون های سولفات و کلسیم نیز

جدول شماره (۵): ماتریس ضریب وابستگی یون های آنالیز شده

Cl	SO ₄	HCO ₃	K	Na	Mg	Ca	PH	TDS	EC	
									۱	EC
									۰/۹۹	TDS
							۱	-۰/۱۱	-۰/۰۹	PH
						۱	۰/۳۵	۰/۴۹	۰/۵۱	Ca
					۱	۰/۷۲	-۰/۰۲	۰/۷۴	۰/۷۴	Mg
				۱	۰/۳۳	۰/۰۲	-۰/۲۰	۰/۸۴	۰/۸۳	Na
			۱	۰/۴۲	۰/۳۳	۰/۱۵	-۰/۰۰	۰/۴۴	۰/۴۳	K
		۱	۰/۰۳	۰/۱۹	-۰/۳۷	-۰/۵۲	۰/۱۸	-۰/۱۲	-۰/۱۲	HCO ₃
	۱	-۰/۴۳	۰/۳۷	۰/۱۷	۰/۸۹	۰/۹۱	۰/۲۲	۰/۶۴	۰/۶۴	SO ₄
۱	۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۲۷	۰/۹۷	۰/۲۹	-۰/۰۲	-۰/۲۵	۰/۸۰	۰/۷۹	Cl

جدول شماره (۶): ارتباط ضریب وابستگی یون ها با سازندهای عامل کاهش کیفیت

نام سازندها کاهنده کیفیت	سنگ شناسی غالب	مساحت رخنمون در محدوده مطالعاتی (Km ²)	ضریب وابستگی بین یون های موجود در ترکیب غالب
سری هرمز	هالیت	۱۰	Na-Cl ۰/۹۷
گچساران	ژیپس	۱۹	Ca-SO ₄ ۰/۹۱
چهرم	دولومیت	۱۲	Ca-Mg ۰/۷۲
			Mg-SO ₄ ۰/۸۹
			Ca-SO ₄ ۰/۹۱

گروه بندی منابع آب

زون کاکي و بردخون و عدم ارتباط هیدرولوژیکی قوی بین این دو زون را نشان می دهد.

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 می توان به شرح زیر معرفی کرد:

۱- انحلال کانی های تبخیری موجود در سازندهای گروه فارس مانند سازندهای گچساران، میشان و آقاجاری. در بخش زمین شناسی اشاره شد که بخش عمده ای از سازندهای اطراف دشت مند را این سازندها تشکیل می دهند.

۲- در بخش شرقی محدوده مطالعاتی و دشت مند یک گنبد نمکی بزرگ در هسته تأقدیس نمک بیرون زدگی دارد (شکل شماره ۱). انحلال تبخیری های این گنبد نمکی بویژه هالیت را می توان به عنوان عامل دیگر مؤثر در شوری فرض کرد.

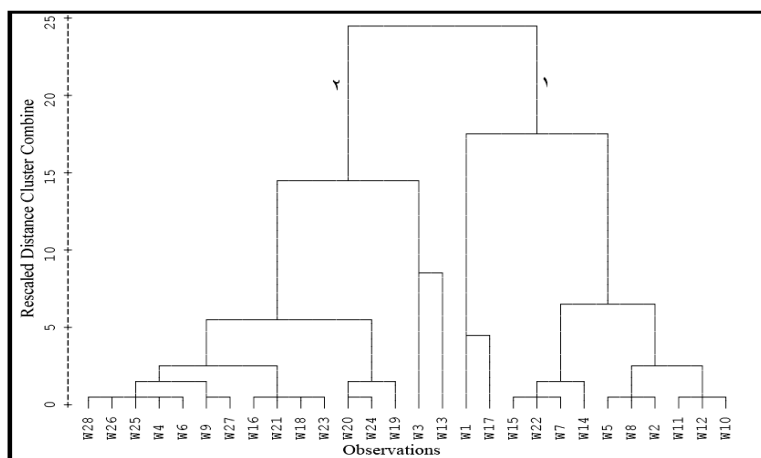
۳- دشت مند حدود ۲۲ کیلومتر مرز ساحلی در حاشیه خلیج فارس دارد. نفوذ آب شور دریا در دشت از طریق این مرز می تواند منجر به افزایش شوری آب در دشت شود.

۴- در دشت مند بیلان منفی حاکم است. بهره برداری بیش از ظرفیت آبخوان، می تواند منجر به افزایش شوری شود

شکل شماره (۴) نتیجه تحلیل خوشه ای بر اساس غلظت یون های اصلی را نشان داده است. مطابق شکل، نمونه های آب زیرزمینی دشت مند در ۲ گروه قرار گرفته اند. هر یک از این گروهها در سطح پایین تر به دو دسته و در نهایت به دسته های ریزتر تقسیم می گردند. این گروهها در زیر به اختصار توضیح داده شده اند:

گروه ۱: نمونه هایی که در خوشه شماره ۱ قرار گرفته اند، بیشتر شامل منابع آبی اند که در زون بهره برداری شماره ۱ (زون کاکي) واقع شده اند. نمونه های 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 کاکي و ۱۷ درصد را منابع آب زون بردخون تشکیل داده است. در نمونه های گروه ۱ سولفات به عنوان مهم ترین آنیون و از مقدار ۸۰۰ تا ۱۸۰۰ میلی گرم در لیتر متغیر است.

گروه ۲: این گروه به طور عمده مشتمل بر منابع آبی زون بردخون است. نمونه های شماره ۳، ۴، ۶، ۹، ۱۳، ۱۶، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸ در این گروه قرار گرفته اند. ۷۰٪ این نمونه ها در زون بردخون و ۳۰٪ آنها در زون کاکي قرار گرفته اند. میزان سولفات در این گروه از ۱۹۰۰ تا ۳۳۰۰ میلی گرم در لیتر متغیر است. این دسته بندی به نوعی تفاوت در علت شوری در منابع آب دو



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

تحلیل عاملی

چاه شماره 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 دهنده 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 می‌گردد.

شکل شماره (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 شماره ۸ و ۱۰ در این عامل وزن بیشتری نشان داده‌اند. این چاه‌ها دارای شوری کمتری نسبت به بقیه چاه‌ها هستند.

جدول شماره (۷): مقدار بار عامل‌ها بر اساس چرخش

Varimax برای دشت مند (همه نمونه‌ها)			متغیرها
عامل‌ها	۱	۲	
۳	۰/۱۰	۰/۴۱	pH
-۰/۸۴	۰/۸۵	-۰/۴۲	Ca
-۰/۰۹	۰/۹۲	-۰/۰۱	Mg
-۰/۰۷	۰/۴۱	۰/۸۸	Na
۰/۲۵	۰/۴۷	۰/۳۷	K
-۰/۶۴	-۰/۴۷	۰/۴۳	HCO ₃
-۰/۰۸	۰/۹۵	-۰/۲۴	SO ₄
-۰/۰۴	۰/۳۵	۰/۸۷	Cl
۱۵/۰	۴۰/۱	۲۸/۲	درصد واریانس هر عامل
۸۳/۳	۴۰/۱	۶۸/۳	تجمعی درصد واریانس

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 کاکلی و بردخون به صورت مجزا انجام شده است.

تحلیل عاملی انجام شده با استفاده از تمامی نمونه‌های دشت (جدول شماره 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 شماره (۷) ارائه شده است و تحلیل آنها به صورت زیر ارائه می‌شود:

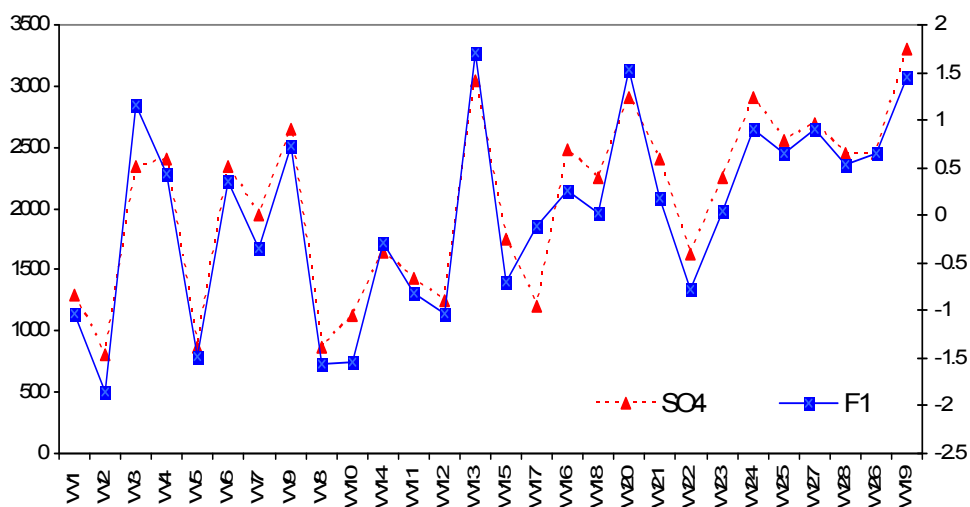
عامل اول (F1): این عامل با یون‌های SO₄، Ca و Mg

در ارتباط است که میتواند به انحلال تبخیری‌ها و بویژه ژپس در سازندهای گروه فارس نسبت پیدا کند و مسئول حدود ۴۰٪ از تغییرات کیفیت آب زیرزمینی است.

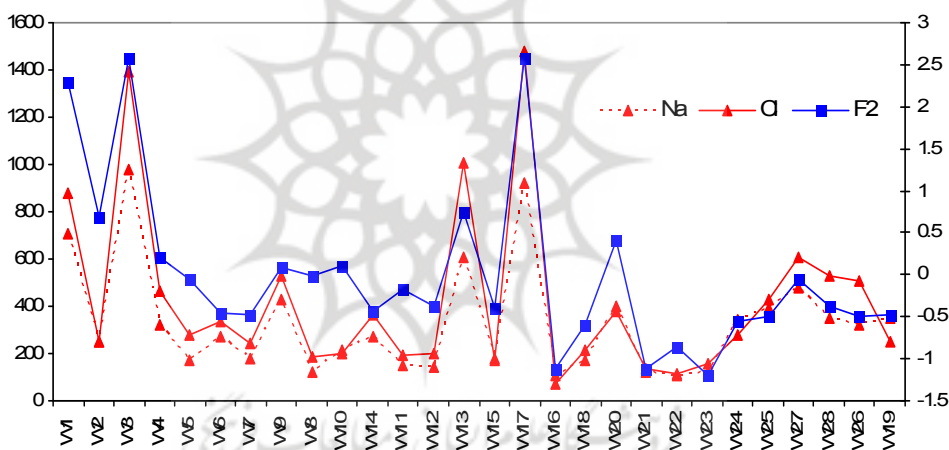
شکل شماره (۵) ارتباط بین وزن این عامل با غلظت سولفات را در چاه‌های مختلف نشان داده است. چاه‌های شماره ۱۳ و ۳ بیشترین وزن این عامل را نشان می‌دهند. این چاه‌ها به سازندهای گروه فارس نزدیکی بیشتری دارند.

عامل دوم (F2): این عامل با یون‌های Cl و Na ارتباط

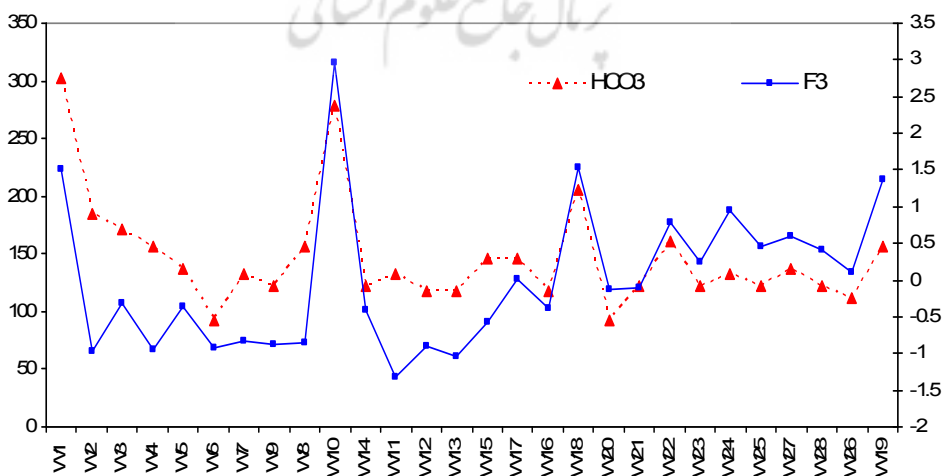
بالایی نشان داده است و میتواند به انحلال هالیت، یا نفوذ آب شور دریا در آبخوان ساحلی مند مربوط باشد. حدود ۲۸٪ از تغییرات ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی دشت با عامل دوم کنترل می‌شود. در شکل شماره (۶) ارتباط بین وزن عامل دوم با غلظت یون‌های سدیم و کلر ارائه شده است. وابستگی بین غلظت این یون‌ها با عامل دوم در چاه‌های منطقه بردخون بیشتر از چاه‌های منطقه کاکلی است.



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



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



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

نفوذ آب شور دریاست، در زون کاکلی تأثیرگذار نیست. با توجه به نقشه زمین شناسی، امکان اثر گنبد نمکی و آب شور دریا در شوری زون کاکلی بسیار بعید به نظر می‌رسد.

تحلیل عاملی برای زون‌های کاکلی و بردخون به صورت مجزا انجام و نتایج در جدول شماره (۸) ارائه شده است. نتایج در دشت بردخون سه عامل و در زون کاکلی دو عامل مؤثر در شوری را معرفی می‌کند. عامل دوم شوری که معرف تأثیر انحلال هالیت یا

جدول شماره (۸): مقدار بار عامل‌ها بر اساس چرخش Varimax برای زون‌های کاکلی و بردخون به تفکیک

زون ۱ (کاکلی)		زون ۲ (بردخون)		متغیرها	
عامل‌ها		عامل‌ها			
۲	۱	۳	۲	۱	
۰/۳۱	-۰/۳۵	-۰/۴۷	-۰/۷۴	۰/۳۴	pH
-۰/۵۴	۰/۷۲	-۰/۰۰	-۰/۰۶	۰/۹۱	Ca
۰/۵۲	-۰/۸۴	-۰/۴۱	-۰/۴۸	۰/۶۶	Mg
-۰/۳۰	۰/۹۰	-۰/۴۱	-۰/۵۲	-۰/۶۸	Na
-۰/۸۰	-۰/۵۷	-۰/۱۹	-۰/۸۳	-۰/۰۹	K
۰/۹۰	-۰/۱۶	-۰/۶۷	-۰/۶۱	-۰/۱۶	HCO ₃
-۰/۳۹	۰/۸۷	-۰/۲۱	-۰/۴۱	۰/۸۸	SO ₄
-۰/۴۲	-۰/۸۸	-۰/۳۰	-۰/۳۶	-۰/۸۲	Cl
۳۱/۴	۵۰/۵	۱۴/۷	۳۰/۰	۴۱/۴	درصد واریانس هر عامل
۸۱/۹	۵۰/۵	۸۶/۱	۷۴/۴	۴۱/۴	تجمعی درصد واریانس

نتیجه‌گیری

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 ژپس 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 گاز کربنیک در منطقه تغذیه ایجاد می‌شود. نتایج تحلیل عاملی به صورت مجزا برای دو زون کاکلی و بردخون نشان داده است که، عامل دوم در محدوده کاکلی تأثیرگذار نیست.

آب زیرزمینی در دشت مند شوری بسیار بالایی دارد. میزان شوری آب در این دشت از حداقل ۱۷۰۰ تا بیشتر از ۶۰۰۰ میکرومhos بر 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 کاکلی و بردخون) منطبق است.

گروه اول 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 محدوده (Ca, Mg-SO₄) واقع شده است. در جهت جریان آب زیرزمینی، منابع آب از یون‌های کلسیم، منیزیم و سولفات تهی و بر میزان یون‌های کلر و

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

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 Bases-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.

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.

