استفاده از دیاگرام‌های ترکیبی، تحلیل عاملی و نمایه‌های اشباع در ارزیابی کیفی آب زیرزمینی دشت‌های زویرچری و خِران

نصرا... کلانتری، محمد حسین رحیمی، عباس چرچی:
دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ: دریافت ۸٤/۱۰/۱۰ **پذیرش** ۸٦/۸/۲۸

چکیده

آب زیرزمینی تنها منبع آب قابل دسترس در دشت‌های زویرچری و خِران برای کشاورزی است، این آب‌ها اغلب در ردهٔ شور مزه قرار دارند. به منظور شناسایی منشأ شوری آب‌های زیرزمینی این ناحیه در بهار ۱۳۸۳، شصت و یک نمونه از آب چاه‌های عمیق این منطقه سنجش شیمیایی شد. از نمودارهای ترکیبی(نمودارهای دو متغیره غلظت کل یون‌های محلول (TDI) در مقابل غلظت یون‌های اصلی و نمودارهای دو متغیره غلظت کلراید در مقابل غلظت‌های بی‌کربنات، سولفات و سدیم)، آنالیز آماری تحلیل عاملی و بررسی نمایه‌های اشباع یون‌های کلسیت، دولومیت و ژیپس برای شناسایی منشأ شوری و فرایندهایی که محیط ژئوشیمیایی سفره آب‌دار را تحت تاثیر قرار می‌دهند استفاده شد. آب‌های زیرزمینی دشت‌های زویرچری و خِران نسبت به کلسیت و دولومیت فوق اشباع و نسبت به ژیپس اشباع و در برخی موارد تحت اشباع هستند. این پژوهش‌ها نشان داد که انحلال ژیپس و انیدریت به صورت ناحیه‌ای و انحلال نمک به صورت محلی مهم‌ترین عوامل شوری آب‌های زیرزمینی منطقه بررسی شده‌اند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.1.3.3]

مقدمه

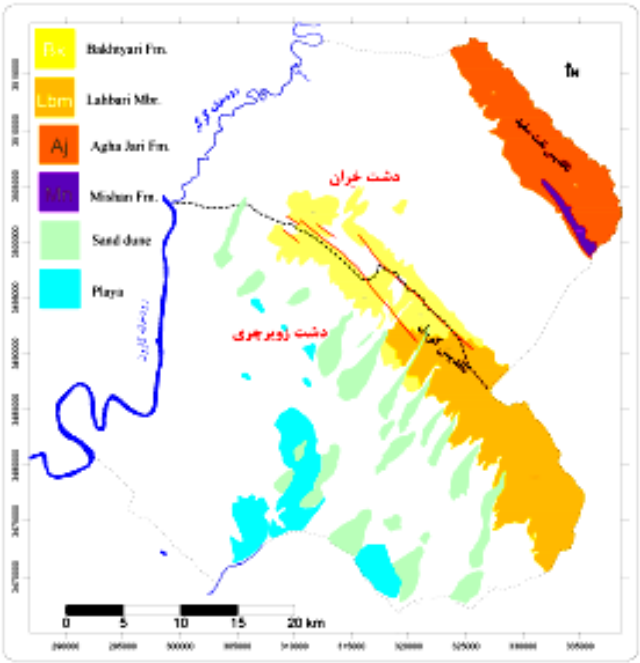
دشت‌های زویرچری و خِران در نزدیکی شهرستان ملاثانی(٤۰ کیلومتری شمال اهواز) بین طول جغرافیایی ٤۷´ ٤۸° تا ۱۵´ ٤۹° شرقی و عرض جغرافیایی ۲۰´ ۳۱° تا ٤۸´ ۳۱° شمالی قرارگرفته است نقشهٔ زمین‌شناسی منطقه بررسی شده در شکل۱ نشان داده شده است. در منطقهٔ بررسی شده دو تاقدیس با روند شمال غرب- جنوب شرق وجود دارد. تاقدیس نفت سفید در حاشیهٔ شمال‌شرقی، واقع شده است و تاقدیس کوپال با مورفولوژی تپه‌ماهوری در مرکز محدودهٔ بررسی شده باعث تفکیک منطقه به دو دشت زویرچری و خِران شده است. در منطقه بررسی شده سه سازند زمین‌شناسی و رسوبات عهد حاضر مشاهده می‌شود. سازند میشان با بیرون‌زدگی کم در خط‌الراس تاقدیس نفت سفید قرار دارد. سازند آغاجاری با گسترش و ضخامت قابل توجه در سرتاسر شمال‌شرق ناحیه رخ‌نمون دارد. این سازند با تغییر رخساره در جنوب شرقی دشت مجدداً بر روی تاقدیس کوپال رخ‌نمون پیدا کرده و بخش آواری لهبری را تشکیل می‌دهد. سازند بختیاری به‌صورت تپه ماهوری در مرکز دشت رخ‌نمون دارد. لیتولوژی سازند میشان را در این ناحیه مارن‌های خاکستری ضخیم لایه و آهک مارنی تشکیل داده است. سازند آغاجاری ترکیبی از مارن‌های قرمز، ماسه‌سنگ و میان‌لایه‌هایی از ژیپس و نمک است. بخش لهبری نیز لیتولوژی شبیه به آغاجاری دارد، ولی مقدار سیمان آن کم‌تر و میان لایه‌های ژیپس آن بیش‌تر است. سازند بختیاری در قسمت مرکزی اغلب از ماسه‌های جور شده سست با سیمان بسیار ضعیف رسی تشکیل شده است، بخش چشم‌گیری از این سازند در زیر رسوبات آبرفتی به دلیل تخریب شدید درجا، سفره آب‌داری را تشکیل داده است. حدود صد و هفتاد چاه عمیق موجود در این سفره‌آب‌دار تأمین‌کننده آب مورد نیاز برای کشاورزی دشت است[۱]،[۲].

با توجه به این‌که منابع آب‌زیرزمینی در حاشیه این سفره آب‌دار(شمال، شرق، جنوب و جنوب غرب) شور و کیفیت آن‌ها از نظر مجموع املاح و نوع یون‌های عمده متفاوت است، به منظور بررسی کیفیت آب زیرزمینی منطقه و شناسایی منشأ شوری در بهار ۱۳۸۳ از ٦۱ ایستگاه(چاه‌های عمیق) نمونه‌برداری شد و غلظت عناصرعمده (Ca,Mg ,Na, K,HCO3

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.1.3.3]

SO4, Cl) اندازه‌گیری شد. شکل۲ موقعیت و دیاگرام استیف نقاط نمونه برداری را نشان می‌دهد. آب‌های زیرزمینی محدودهٔ پژوهش اغلب در رده شوره مزه قرار دارند و رخساره غالب در محدودهٔ چاه‌های عمیق سولفاته کلسیک منیزیک است. در شمال سفره‌آب‌دار خران و جنوب سفره آب‌دار زویرچری آب‌های سطحی و زیرزمینی بسیار شوری وجود دارد که رخساره غالب آن‌ها کلروه- سدیک است.



شکل۱. نقشه زمین شناسی منطقهٔ پژوهش

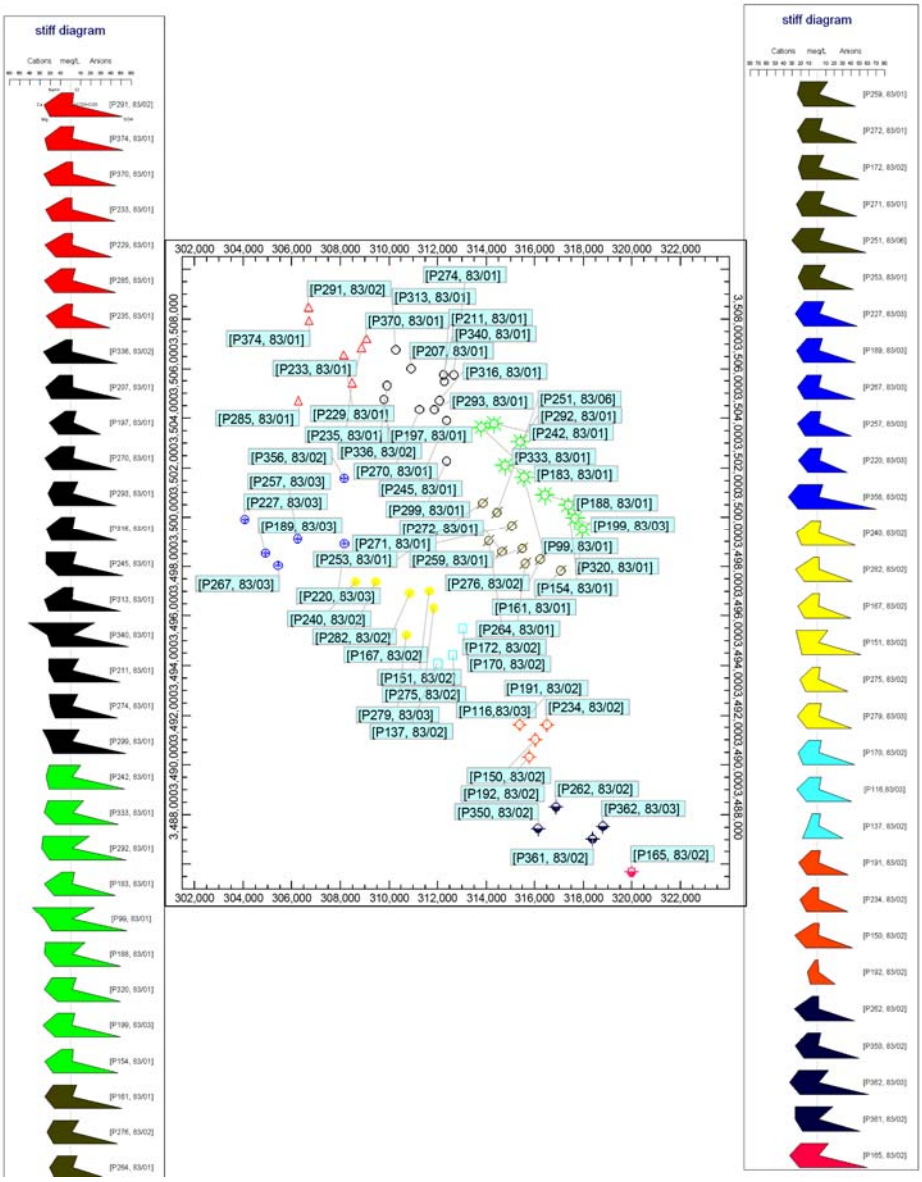
بحث

۱. دیاگرام‌های ترکیبی

نمودارهای ترکیبی ابزارهای مفیدی برای شناخت منشأ شوری هستند[۱]،[۱۲]،[۱۵]،[۱۷]، [۱۸]،[۲۰]. از نمودارهای ترکیبی مختلفی جهت شناخت فرآیندهای ژئوشیمیایی مؤثر بر شوری آب‌های زیرزمینی در مناطق مختلف دنیا استفاده کرده‌اند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.1.3.3]



شکل ۲. موقعیت و دیاگرام استیف چاه‌های عمیق نمونه‌برداری شده در منطقهٔ پژوهش

نمودارهای ترکیبی مختلفی با استفاده از آب‌های زیرزمینی دشت‌های زویرچری و خِران تهیه شده است. شکل۳ نمودارهای دو متغیرهٔ غلظت کل یون‌های محلول(TDI) را در مقابل

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.1.3.3]

غلظت یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، بی‌کربنات، کلراید، سولفات و درجهٔ حرارت، نشان می‌دهد. با توجه به پایدار بودن(Conservative) یون کلر و عدم شرکت این یون در واکنش‌های شیمیایی، نمودارهای دو متغیره غلظت کلراید در مقابل غلظت‌های بی‌کربنات، سولفات و سدیم نیز تهیه شده است.

نتایج کلی که از نمودارهای شکل۳ به دست آمده است عبارتند از:

غلظت بی‌کربنات با افزایش TDI نسبتاً ثابت باقی مانده و تغییرات کمی دارد و این امر نشان‌دهندهٔ آن است که انحلال کربنات‌ها در سفرهٔ آب‌دار دشت‌های زویرچری و خِران به طور جزیی روی می‌دهد.

با افزایش TDI، غلظت کلسیم به طور خطی افزایش می‌یابد و از طرف دیگر این رابطه خطی بین یون‌های سولفات و کلسیم نیز وجود دارد که نشان دهنده رویداد فرآیند انحلال ژیپس در سفره آب‌دار است. از طرفی با توجه به این‌که در نمونه‌های آب زیرزمینی نسبت یونی *HCO3/Sum..Anions* کم‌تر از ۰/۸ و مقدار سولفات بالا است[11]، نقش انحلال ژیپس در تغییر کیفیت آب تأیید می‌شود

کلراید در مقابل TDI، دارای روند خطی در TDI بالای ۱۰۰ میلی اکی والان بر لیتر است، ولی وقتی TDI کم‌تر از این مقدار است الگوی غالب در نمودار نمایان‌گر آن است که با افزایش TDI غلظت کلراید نسبتاً ثابت و کم‌تر از۱۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر است. این الگو نشان‌دهندهٔ آن است که انحلال ژیپس و نه‌هالیت، باعث افزایش شوری آب‌های زیرزمینی دشت‌های زویرچری و خِران شده است. وقتی که غلظت مجموع یون‌ها بیش از۱۰۰ میلی‌اکی‌والان باشد مشاهده می‌شود که با افزایش TDI ، غلظت کلراید نیز افزایش می‌یابد بنا بر این منشأ شوری آب‌های زیرزمینی دارای TDI و کلراید زیاد، انحلال‌هالیت است، هرچند که انحلال ژیپس نیز تا حدودی در افزایش شوری مؤثر است.

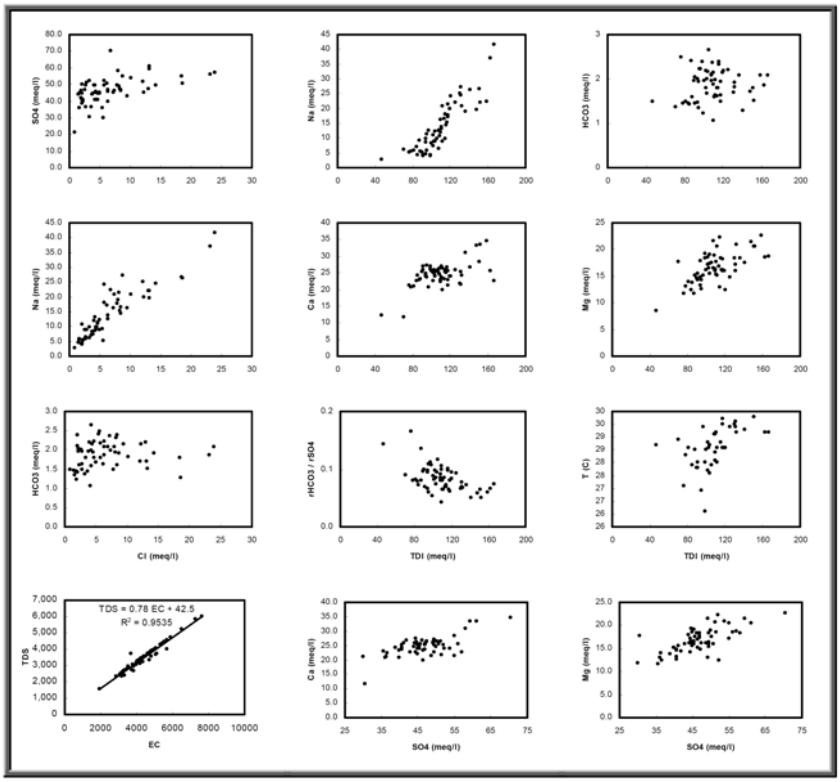
غلظت سدیم با افزایش TDI به صورت خطی افزایش می‌یابد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.1.3.3]

افزایش خطی منیزیم با افزایش TDI نیز تا حدودی مشاهده می‌شود. با توجه به این‌که نسبت یونی $Mg/(Ca+Mg)$ در تمامی نمونه‌ها کم‌تر از ۰/۵ است به همین دلیل منشأ منیزیم ناشی از هوازدگی دولومیت است [11].

درجه حرارت و غلظت TDI همبستگی مثبت را نشان می‌دهند. که علت آن انجام واکنش شیمیایی بیش‌تر در نمونه‌های با TDI بالاست.



شکل۳. دیاگرام‌های ترکیبی متغیرهای فیزیکوشیمیایی آب‌های زیرزمینی منطقهٔ پژوهش

نابرابری غلظت‌های کلر و سدیم ممکن است به دلیل منشأهای متفاوت این دو یون باشد. سکانس تکامل شیمیایی آب زیرزمینی دشت‌های زویرچری و خِران در ارتباط با انحلال کامل سولفات مشخص می‌شود، در حالی که انحلال کلرور نیز به طور محلی در سفرهٔ آب‌دار روی می‌دهد. به سبب وجود مقادیر زیاد کانی‌های تبخیری قابل انحلال در دشت‌های زویرچری و

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.1.3.3]

خِران عملاً مرحلهٔ اول سکانس تکامل هیدروشیمیایی(مرحلهٔ بی‌کربناته) در نمونه‌های آب زیرزمینی مشاهده نمی‌شود.

نمودار هدایت الکتریکی در مقابل مجموع املاح جهت تعیین رابطه بین این دو پارامتر، که از اختصاصات شیمیایی سفرهٔآب‌دار، تهیه گردیده که بدین صورت است:

TDS (mg/l) = 0. 78 * EC (µmoho/cm) +42.5

برای نمایش فرآیندهای تبادل یونی و تبادل یونی معکوس در سفرهٔ آب‌دار دشت‌های زویرچری و خِران، سه نمودار ترکیبی با استفاده از توابع بین متشکله‌های شیمیایی متأثر از فرآیند تبادل یونی تهیه شده است(شکل٤ الف، ب، ج). رخداد فرآیند تبادل یونی بر حسب این واکنش‌ها است:

$$2Na^{ads}+Ca^{2+}\leftrightarrow Ca^{ads}+2Na^{+}$$

$$2Na^{ads}+Mg^{2+}\leftrightarrow Mg^{ads}+2Na^{+}$$

در شکل٤ الف نمودار دو متغیره Na /Cl در مقابلEC برای نمونه‌های آب زیرزمینی دشت‌های زویرچری وخِران ارائه شده است. نمونه‌هایی که در بالای خط Na / Cl = 1 واقع شده‌اند، منشأ دوگانه دارند و نمونه‌هایی که مقادیر هدایت الکتریکی آن‌ها بیش از ۵۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر است، نشان‌دهندهٔ آن است که منشأ غالب هالیت است. به جز نمونهٔ [P197, 83/01] که در منطقهٔ تغذیه واقع شده است و در آن فرآیند تبادل یونی هنوز صورت نگرفته در بقیه نمونه‌های آب زیرزمینی فرایند تبادل یونی مشاهده می‌شود. در شکل٤ ب نمودار دو متغیره Ca+Mg در مقابل HCO_3+SO_4 نمایش داده شده است. خط ۱:۱ نشان‌دهندهٔ فرآیندهای انحلال کلسیت، دولومیت و ژیپس است. چون نمونه‌هایی که در امتداد خط ۱:۱ ، در مقادیر کم‌تر از meq/l ۵ واقع نشده‌اند، نشان دهنده عدم انحلال کلسیت و دولومیت در دشت است. تمام نمونه‌های آب زیرزمینی دشت‌های زویرچری و خِران بر روی خط ۱:۱ و در مقادیر بیش از meq/l ۲۰ واقع می‌شوند که نشان دهنده فرآیند غالب انحلال ژیپس است.

رخداد فرآیند تبادل یونی در نمودار Na-Cl در مقابل Ca + Mg- HCO_3- SO_4 در شکل٤ ج نشان داده شده است. در این نمودار نمونه‌هایی که نزدیک به مقدار صفر و روی محور x

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.1.3.3]

قرار می‌گیرند، تحت تأثیر تبادل یونی واقع نشده‌اند. علاوه بر این اگر انحلال کانی‌های کلسیت، دولومیت و ژیپس به طور سازگار روی دهد و تبادل یونی صورت نگیرد، در آن صورت مقدار $Ca + Mg- HCO_3- SO_4$ نیز نزدیک به صفر خواهد شد. آب‌هایی که تبادل یونی را متحمل گردیده‌اند، در طول خط با شیب ۱ قرار می‌گیرند[۱۳]. اکثر نمونه‌های آب دشت‌های زویرچری وخِران در شکل٤ ج کمتر از(۰و۰)هستند و نشان‌گر انحلال ژیپس است. نمونه‌هایی که تحت تأثیر تبادل یونی قرار گرفته‌اند، در امتداد خط با شیب۱/۰۰۱۱- ،(R2= ۰/۹۹۹۸) مشاهده می‌شوند. شیب خط برازش نمودار Na-Cl در مقابل $Ca + Mg-HCO_3- SO_4$ برای نمونه‌های آب زیرزمینی دشت ایذه برابر ۱/۰۷٦- و برای دشت‌عباس۰/۷۵- آمده است[٤]،[٦].

برای بررسی ساز و کارهای کنترل کننده شیمی آب‌های زیرزمینی دشت‌های زویرچری و خِران و شناخت روند تکاملی آن‌ها، نمودار گیبس(Gibbs diagram) نمونه‌های آب زیرزمینی منطقهٔپژوهش تهیه شده است. بر اساس نمودار گیبس فرآیند عمده کنترل‌کنندهٔ کیفیت شیمیایی واکنش متقابل آب و سنگ است(شکل ٤د).

۲. تحلیل عاملی

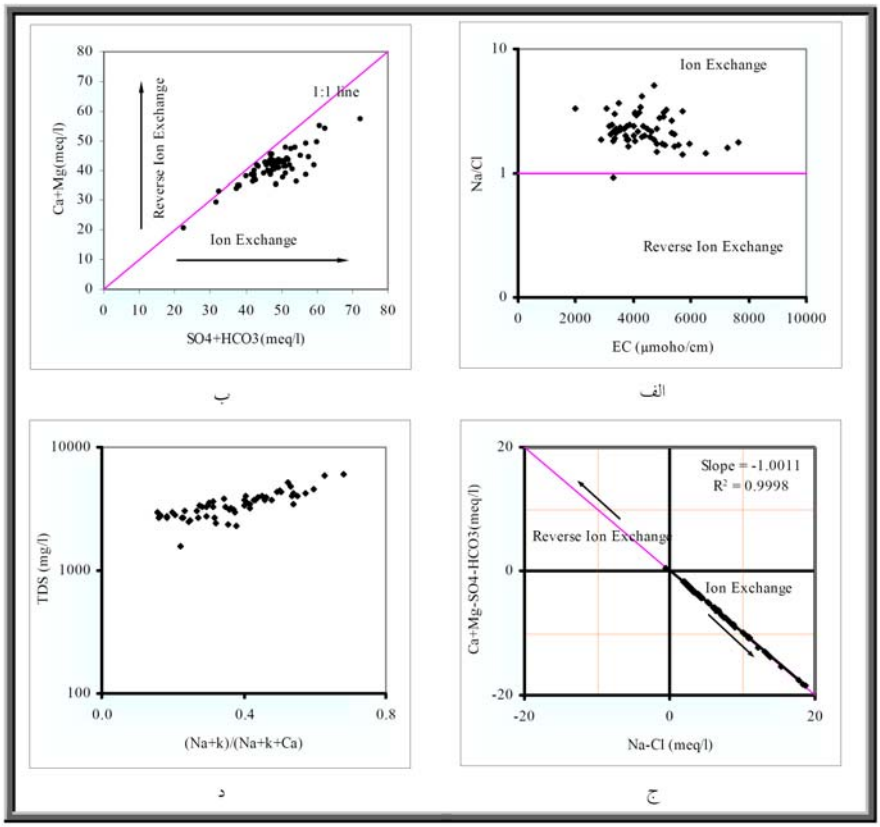
فرایندهای زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی معمولاً پیچیده هستند و این پیچیدگی با توزیع‌های غیر یک‌نواخت در بسیاری از اندازه‌گیری‌ها نمایان‌تر می‌شود. اندازه‌گیری‌های زمانی و مکانی فرآیندهای فیزیکی و یا شیمیایی معمولاً نمی‌توانند به وضوح فرآیندهای اصلی حاکم را آشکار سازند. آنالیزهای چند متغیره سعی می‌کنند فرآیندهای اصلی حاکم را با کاهش داده‌ها و طبقه‌بندی، تفسیر و یا آشکار کنند[۱۹].

تحلیل عاملی روش آماری چند متغیره‌ای است که هدف آن ساده کردن مجموعه‌های پیچیده و مختلفی است که بین متغیرهای مشاهده‌ای وجود دارد. تحلیل عاملی ارتباط بین واریانس-کواریانس یک تعداد از متغیرهای کمی مشاهده‌ای است که برحسب چند کمیت اصلی تصادفی اما غیر مشاهده‌ای، که عامل نامیده می‌شود، بیان می‌شود. تعدادی از متغیرها که بیش‌ترین همبستگی را با یک‌دیگر دارند عامل اصلی نامیده می‌شوند[۱۹]. در حقیقت، تحلیل

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.1.3.3]

عاملی اطلاعات یک ماتریس از داده با n متغیر را خلاصه می‌کند، برای این منظور تعدادی عامل جدید را شناسایی می‌کند؛ تعداد عامل‌ها از تعداد متغیرها کم‌تر است. این عامل‌ها در حقیقت بیان کنندهٔ متغیرهای اصلی است که اطلاعاتی کمی را از دست داده‌اند[۸].



شکل٤.نمایش نمودارهای وضعیت تبادل یونی(الف ،ب،ج)وگیبس(د)

در بررسی‌های هیدروژئوشیمی، نتایج آنالیزهای شیمیایی آب و داده‌های اندازه‌گیری شدهٔ صحرایی که تحت فرایندهای فیزیک و شیمیایی موجود در سفره آب‌دار تغییر می‌کنند به‌عنوان متغیرهای مشاهده‌ای در نظر گرفته شده‌اند[۱۰]. اولین گام در این روش تهیه یک ماتریس همبستگی از تمام متغیرهای بررسی شده است. جدول۱ گزارش تحلیل عاملی مورد استفاده را نشان می‌دهد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.1.3.3]

بر اساس استاندارد روش تحلیل‌های عامل، سه عامل اصلی مشخص می‌شود. عامل‌ها در واقع سازوکارهای موثر بر روی ترکیب آب‌زیرزمینی را نشان می‌دهند[۹]. تفسیر و تعیین منشأ هر یک از این عامل‌ها بر اساس بارهای عاملی، شرایط هیدروژئولوژیکی، زمین‌شناختی و فرایندهای هیدروشیمیایی صورت می‌گیرد. همبستگی هرمتغیر با هر عامل بار عاملی(Factor loading) نامیده می‌شود[۱۰].

مدل عاملی به‌کار رفته برای سه عامل و هشت متغیر مورد بررسی قرارگرفته است. نتایج حاصل از این تحلیل عاملی نشان دهنده آن است که این عامل‌ها حدود۷۷٪ از کل میزان اشتراک را در بر دارند. به‌طوری‌که از این مقدار ۳۸٪ به‌وسیله عامل یک،۲٦/۵٪ توسط عامل دو و ۱۲/۵٪ به‌وسیله عامل سه تبیین می‌شود(جدول۱).

توزیع متغیرهای شیمیایی آب زیرزمینی دشت زویرچری و خِران در هر یک از عامل‌ها در شکل۵ نشان داده شده است. بر این اساس عامل یک را می‌توان به فرایندهای شیمیایی انحلال نمک و نفوذ آب‌های کلروره سدیک از سمت آبراهه فصلی هدام نسبت داد، زیرا یون کلر و سدیم دارای بار عاملی زیادی هستند. عامل دو را می‌توان به انحلال ژیپس نسبت داد. در عامل سه، بی کربنات بالاترین بار عاملی را نشان می‌دهد که نشان دهنده تغذیه ناشی از نفوذ بارندگی در دشت است[۱٤].

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.1.3.3]

جدول۱. گزارش تحلیل عاملی نمونه آب چاه‌های عمیق منطقهٔ پژوهش

Factor Analysis Report
Sums of squares of loadings:

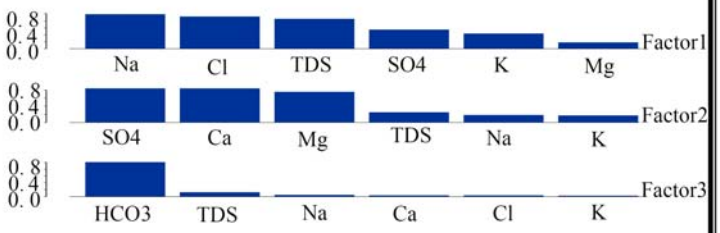
Factor1	Factor2	Factor3
3. 055268	2. 120866	1. 010464

The number of variables is 8 and the number of observations is 61
Test of the hypothesis that 3 factors are sufficient
versus the alternative that more are required:
The chi square statistic is 465. 15 on 7 degrees of freedom.
The p-value is 0
Call:
factanal (x =TDS, Ca, Mg, Na, K, HCO3, Cl, SO4. , factors = 3, method = "mle", data = DS8
scores = T, type
= "regression", rotation = "varimax", na. action = na. omit, control =
list (iter. max = 20, unique. tol = 0. 0001))
Importance of factors:

	Factor1	Factor2	Factor3
SS loadings	3. 0552683	2. 1208660	1. 0104640
Proportion Var	0. 3819085	0. 2651083	0. 1263080
Cumulative Var	0. 3819085	0. 6470168	0. 7733248

The degrees of freedom for the model is 7.
Loadings:

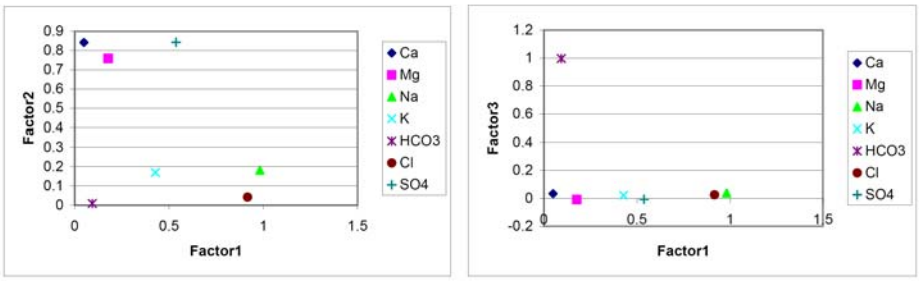
	Factor1	Factor2	Factor3	Uniquenesses
TDS	0. 857	0. 246	0. 124	0. 1901674
Ca	0. 049	0. 842	0. 034	0. 2868096
Mg	0. 177	0. 759	<0. 01	0. 392302
Na	0. 982	0. 182	0. 039	0. 0002229511
K	0. 428	0. 170	0. 022	0. 7877792
HCO	0. 093	<0. 01	0. 996	4e-010
Cl	0. 917	0. 042	0. 026	0. 1564214
SO4	0. 538	0. 843	<0. 01	4e-010



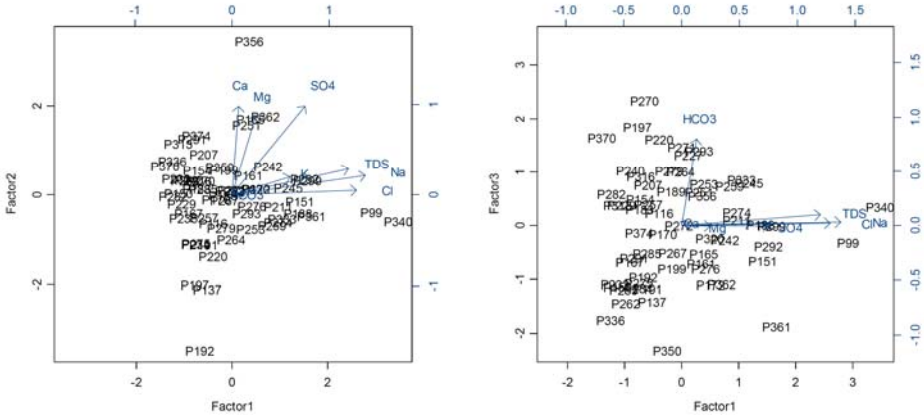
نمونه آب چاه‌های عمیق در دوره مرطوب بر روی سه نمودار که متغیرهای آن در هر نمودار دو تا از عامل‌های اصلی‌اند رسم شده‌اند و نمونه‌ها بر اساس عامل‌ها تفکیک شده‌اند(شکل٦)؛ برای مثال در نموداری که از رسم دو عامل اصلی یک و دو به دست آمده در

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.1.3.3]

محور افقی با افزایش مقدار عامل یک مقدار نمک نمونه‌ها افزایش می‌یابد و در محور قایم با افزایش عامل دو مقدار سولفات کلسیم و منیزیم نمونه‌ها افزایش می‌یابد. هم‌چنین در نموداری که از رسم عامل اصلی یک وسه به دست آمده نمونه‌هایی که در منطقه تغذیه واقع شده‌اند به راحتی قابل شناسایی است.



شکل ۵. چگونگی توزیع متغیرهای شیمیایی بر اساس عامل‌های اصلی



شکل ٦.طبقه بندی نمونه آب چاه‌های عمیق بر اساس عامل‌های اصلی

۳. نمایه‌های اشباع

برای شناسایی عوامل مؤثر بر هیدروشیمی آب‌های زیرزمینی استفاده از مقادیر نمایه‌های اشباع کانی‌های مختلف و بررسی روابط بین نمایه‌های اشباع بسیار مفید است. بدین سبب نمایه‌های اشباع کلسیت، دولومیت و ژیپس نمونه‌های آب زیرزمینی دشت‌های زویرچری و خِران در بهار۸۳ با استفاده از کد کامپیوتری[١٦] PHREEQC تهیه گردیده و سپس نمودارهای

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.1.3.3]

دو متغیرهٔ نمایه‌های اشباع مختلف تهیه شده است. برای هرکدام از ٦١ نمونه آب زیرزمینی دشت‌های زویرچری وخِران یک مدل اجزای تعادلی تهیه شده است. مقادیر نمایه‌های اشباع محاسبه شده کلسیت، دولومیت و ژیپس نمونه‌های آب زیرزمینی دشت‌های زویرچری وخِران از نتایج مدل‌سازی ژئوشیمیایی با کد PHREEQC استخراج شده و در جدول۲ ارائه شده است. تفسیر نمایه‌های اشباع برای بررسی کنترل‌های زمین‌شناسی بر روی شوری آب‌های زیرزمینی دشت‌های زویرچری وخِران با استفاده از نمودارهای دو متغیره صورت گرفته است. با توجه به آن‌که در نمونه‌های آب سفره آب‌دار دشت‌های زویرچری وخِران اغلب سولفات آنیون غالب بوده و شوری آب‌های زیرزمینی دشت نیز عمدتاً بر اثر افزایش غلظت یون سولفات(در اثر انحلال ژیپس) است، بنا بر این نمودارهای دو متغیرهٔ نمایه‌های اشباع کلسیت، دولومیت و ژیپس در مقابل غلظت سولفات(بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر) تهیه شده است(شکل۷).

جدول۲. مقادیر نمایه‌های اشباع کلسیت، دولومیت و ژیپس برخی از نمونه اب چاه‌های عمیق

Code	SIc	SId	SIg	Code	SIc	SId	SIg
[P291, 83/02]	۱/۴۰	۲/۸۴	-۰/۰۴	[P259, 83/01]	۱/۴۴	۲/۸۶	-۰/۱۱
[P374, 83/01]	۱/۳۹	۲/۸۶	-۰/۰۶	[P272, 83/01]	۱/۳۷	۲/۷۶	-۰/۱۰
[P370, 83/01]	۱/۴۴	۲/۸۷	-۰/۰۶	[P172, 83/02]	۱/۳۸	۲/۸۲	-۰/۱۱
[P233, 83/01]	۱/۴۰	۲/۸۰	-۰/۰۸	[P271, 83/01]	۱/۴۵	۲/۹۱	-۰/۰۹
[P229, 83/01]	۱/۴۷	۲/۸۴	-۰/۰۹	[P251, 83/03]	۱/۴۴	۲/۷۹	۰/۰۴
[P285, 83/01]	۱/۴۱	۲/۷۸	-۰/۰۷	[P253, 83/01]	۱/۶۲	۳/۲۴	-۰/۱۴
[P235, 83/01]	۱/۳۹	۲/۶۸	-۰/۱۱	[P227, 83/03]	۱/۴۵	۲/۸۴	-۰/۰۶

با توجه به نتایج مدل‌سازی ژئوشیمیایی، اکثر نمونه‌های آب زیرزمینی دشت‌های زویرچری وخِران نسبت به ژیپس اشباع هستند و دیگر انحلال ژیپس در آن نواحی روی نمی‌دهد. نمونه‌های[P192, 83/02], [P137, 83/01]& [P197, 83/01] که تا حدودی نسبت به ژیپس تحت اشباع می‌باشند اغلب در مناطق تغذیه سفرهٔ آب‌دار واقع شده‌اند.

تمامی نمونه‌های آب زیرزمینی دشت‌های زویرچری و خِران نسبت به کلسیت و دولومیت فوق اشباع هستند. افزایش غلظت‌های کلسیم، منیزیم، بی‌کربنات یا کربنات از منشأهایی غیر از

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

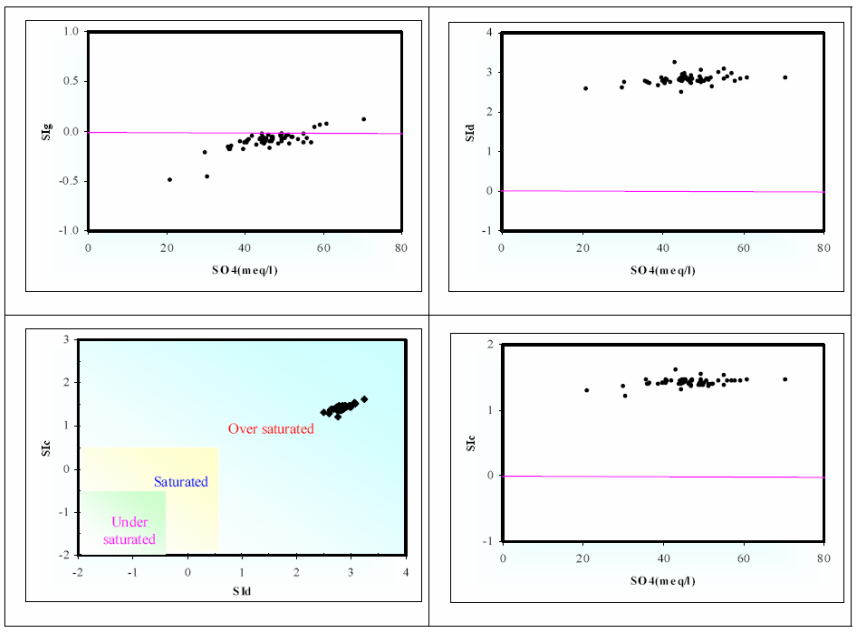
[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.1.3.3]

انحلال کلسیت و دولومیت می‌تواند باعث فوق اشباع شدن آب‌های زیرزمینی نسبت به کلسیت و دولومیت و در نتیجه رسوب‌گذاری این دو کانی گردد. در مورد آب‌های زیرزمینی دشت‌های خران و زویرچری می‌توان گفت که وجود مقادیر چشم‌گیری از کانی‌های تبخیری ژیپس و انیدریت در مواد آبرفتی باعث شده است تا آب‌های زیرزمینی این دو کانی را با نرخ‌های واکنشی سریعی حل کنند. کلسیم ناشی از انحلال ژیپس باعث ایجاد واکنش اثر یون مشترک (Common ion effect) بدین صورت می‌شود:

$$CaSO_4.\ 2H_2O\ (gypsum) + 2HCO \rightarrow 2H_2O + CaCO_3 + SO_4$$

مقدار متوسط نسبت یونی$Ca1(Ca+SO_4)$ در تمام نقاط نمونه‌برداری کم‌تر از ۰/۵ است که نشان‌دهنده از بین رفتن یون کلسیت از طریق رسوب و یا تبادل یونی است[۱۱].

در مباحث مربوط به نمایه‌های اشباع ذکر این مطلب ضروری است که نمایه اشباع فقط نشان می‌دهد که چه واکنشی به لحاظ ترمودینامیکی اتفاق می‌افتد، ولی نرخ انجام فرآیند را مشخص کند.



شکل۷. نمودارهای دو متغیره نمایه‌های اشباع کلسیت، دولومیت و ژیپس

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.1.3.3]

نتیجه‌گیری

انحلال ژیپس موجود در مواد آب‌رفتی(که از فرسایش رگه‌های ژیپسی و انیدریتی سازند لهبری ناشی شده است) منشأ اصلی شوری آب‌های زیرزمینی در سفره‌های آب‌دار دشت‌های زویرچری وخِران است.

منشأ شوری آب‌های زیرزمینی دارای TDI و کلراید زیاد، انحلال هالیت است، هرچند که انحلال ژیپس نیز تا حدودی در افزایش شوری مؤثر بوده است.

انحلال کربنات‌ها در سفرهٔ آب‌دار دشت‌های زویرچری وخِران به طور جزئی روی می‌دهد. منشأ اصلی افزایش غلظت منیزیم، ناشی از هوازدگی دولومیت است.

نمودارهای دو متغیرNa / Cl در مقابلEC و نمودار Na – Cl در مقابل Ca + Mg – HCO3 – SO4 و نمودار Ca+Mg در مقابل HCO3+SO4 رخداد تبادل یونی را در دشت نشان می‌دهد.

فرآیند عمدهٔ کنترل کننده کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی دشت‌های زویرچری و خِران واکنش متقابل آب و سنگ است.

نمونه‌های آب زیرزمینی دشت‌های زویرچری و خِران نسبت به کلسیت و دولومیت فوق اشباع و نسبت به ژیپس اشباع ودر برخی موارد تحت اشباع هستند.

نتایج حاصل از تحلیل عاملی نشان‌دهندهٔ آن است که سه عامل اصلی حدود۷۷٪ از کل میزان اشتراک را در بر دارند. به طوری‌که از این مقدار۳۸٪ با عامل یک،۲۶/۵٪ با عامل دو و ۱۲/۵٪ با عامل سه تبیین می‌شود. عامل یک را می‌توان به فرایندهای شیمیایی انحلال نمک و نفوذ آب‌های کلروره سدیک از سمت هدام نسبت داد. عامل دو را می‌توان به انحلال ژیپس نسبت داد. در عامل سه، بی کربنات بالاترین بار عاملی را نشان می‌دهد که نشان دهنده تغذیه ناشی از نفوذ بارندگی در دشت است.

تشکر و قدردانی

از واحد مطالعات پایهٔ منابع آب سازمان آب و برق خوزستان که هزینهٔ اجرای این تحقیات را فراهم کرده است سپاس‌گزاری می‌شود.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.1.3.3]

منابع

۱. رحیمی، م. ح.، *بررسی هیدروژئولوژیکی دشت‌های زویرچری و خران*، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شهید چمران اهواز، (۱۳۸۳)، ۲۱۱ ص.

۲. رحیمی، م. ح. وکلانتری، ن.، *رده بندی نمونه های هیدروشیمیایی با استفاده از روش منطق فازی*، بیست چهارمین همایش علوم زمین، (۱۳۸٤).

۳. رحیمی، م. ح.، کلانتری، ن. و مزارعی، ف.، *استفاده از روش‌های آماری در تعیین چاه‌های پایش هیدروشیمیایی*، نهمین همایش انجمن زمین شناسی، تهران، (۱۳۸٤)، ۱۸-۲۷.

٤. کلانتری، ن.، *منشأ شوری آب زیرزمینی دشت عباس*، سازمان آب وبرق خوزستان، (۱۳۸۲)،۳۲۱ ص.

۵. ناصری، ح. ر. و صفار، ع.، *ارزیابی عوامل آلاینده آب‌زیرزمینی دشت شوش با استفاده از نقشه‌های هم‌ارزش و تحلیل عاملی*، سازمان زمین‌شناسی، بیست دومین همایش علوم زمین، (۱۳۸۲).

٦. علیجانی، ف.، *هیدروژئوشیمی و آلودگی آب‌های زیرزمینی دشت ایذه*، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شهید بهشتی تهران، (۱۳۸۱)، ۳۷۱ ص.

7. Arnorsson, S., E. Gunnlaugsson, and H. Svarsson , The chemistry of Geothermal Waters in Iceland, II. Mineral Equilibrium and Independent Variables Controlling Water Composition, *Geochemical et Cosmochimica Acta*, 47 (1983) 547-566.

8. Grand, A.G., Gonzalez, R., and Sanchez-Rodas, D., Application of factor Analysis to Study of Contamination in Aquifer system of Ayamonte-Huelva, *Ground Water*, Vol. 34, No. 1(1996) 155-161.

9. Gurunadha, V.V. S., Dhar, R. L. and Subrahmanyam, K., Assessment of Contaminant Migration in Groundwater from an Industrial Development Area, Medak District, Andhra Pradesh, India, Water, *Air and Soil Pollution* 128 (2001) 369-389.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.1.3.3]

10. Ho Jeong, C., Effect of land use and Urbanization on Hydrochemistry and Contamination of Groundwater from Taejon Area, Korea, *Journal of hydrology* 253(2001)149-210.

11. Hounslow, A.W., Water Quality Data-Analysis and Interpretation, *CRC Press LLC* (1995) 85.

12. Howard, F.W. Ken., and Mullings, E., Hydrochemical Analysis of Groundwater Flow and Saline Intrusion in the Clarendon Basin, Jamaica, *Ground water*, Vol. 34, No. 6 (1996) 801-810.

13. Jankowski, J., Shekarforoush, S., and Acworth, R.I., Reverse Ion Exchange in a Deeply Weathered Porphyritic Dacite Fractured Aquifer System, Yass, New South Wales, Australia, Arehord G. B. & Hulston R. (eds.)In Proceeding of 9th International Symposium on Water Rock Interaction, Taupo, New Zealand, Rotterdam: Balkema (1998) 243-246.

14. Lawrence, F.W. and Upchurch, S.B., Identification of Water Recharge Areas Using Geochemical Factor Analysis, *Ground Water,* Vol. 20, No. 6 (1982) 680-687.

15. Marie, A., and Vengosh, A., Sources of Salinity in Groundwater from Jericho area, Jordan Valley, *Ground Water*, Vol.39, No. 2(2001)240-248.

16. Parkhurst, D.L., and C. A.J. Appelo, PHREEQC(v.2)-A Computer Program for Speciation, Batch- Reaction, One- Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations, U. S. *Geological Survey*(1999) 326.

17. Stober, I., and Bucher, K., Deep groundwater in the Crystalline basement of the Black Forest region. *Applied Geochemistry*, 14(1999) 237-254.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.1.3.3]

18. Stossel, R.K., Delineating the Chemical Composition of the Salinity Source for Saline Groundwater: An Example from East-Central Canadian Parish, Luisiana. *Ground Water*, 35, 3(1997)409-417.

19. Suk, H. and Lee, K., Characterization of Groundwater Hydrochemical System Through Multivariate Analysis: Clustering into Groundwater Zones, *Ground Water*, Vol. 37, No. 3(1999)358-366.

20. Timms, W., R. I. Acworth, J. Jankowski, and S. Lawson, Groundwater Quality Trends Related to Aquitard Salt Storage at Selected Sites in the Lower Murumbidgee alluvium, Australia, *Groundwater*: Past Achievements and Future Challenges, in Sililo et al.(eds.), Balkema, Rotterdam (2000) 655-660.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.1.3.3]