

# راهنمای ارزیابی کیفی منابع آب

# راهنمای ارزیابی کیفی منابع آب

به نام خدا  
جمهوری اسلامی ایران  
وزارت نیرو  
شرکت مدیریت منابع آب ایران  
معاونت پژوهش و مطالعات پایه  
دفتر استانداردها و معیارهای فنی

## راهنمای ارزیابی کیفی منابع آب

آبان ماه ۱۳۸۴

نشریه شماره ۶۶- الف

## پیش‌گفتار

امروزه، نقش و اهمیت ضوابط، معیارها و استانداردها و آثار اقتصادی اجتماعی و زیست‌محیطی ناشی از به‌کارگیری مناسب و مستمر آنها، در پیشرفت جوامع؛ تهیه و کاربرد آنها را ضروری و اجتناب‌ناپذیر کرده است. با در نظر داشتن گستردگی دامنه علوم و فنون در جهان امروز، تهیه ضوابط، معیارها و استانداردها در هر زمینه، به مجامع فنی - تخصصی واگذار شده است. با در نظر گرفتن موارد بالا و با توجه به شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، تهیه استاندارد در بخش آب، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و از این رو، امور آب وزارت نیرو با همکاری سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، به تهیه استانداردهای مهندسی آب اقدام کرده است.

استانداردهای مهندسی آب با در نظر داشتن موارد زیر، تهیه و تدوین شده است :

- استفاده از تخصص و تجربه های کارشناسان و صاحب‌نظران شاغل در بخش دولتی و خصوصی
- استفاده از منابع و مأخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی
- بهره‌گیری از تجربه‌های دستگاه‌های اجرایی، سازمانها، نهادها، واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت
- ایجاد هماهنگی در مراحل تهیه، اجرا، بهره‌برداری و ارزشیابی طرحها
- پرهیز از دوباره‌کاری و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور
- توجه به اصول و موازین مورد عمل مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و دیگر مؤسسه‌های معتبر تهیه‌کننده استاندارد.

امید است، مجریان و دست‌اندرکاران بخش آب، با به‌کارگیری استانداردهای یادشده، برای پیشرفت و خودکفایی این بخش از فعالیتهای کشور، تلاش کرده و صاحب‌نظران و متخصصان نیز با اظهارنظرهای سازنده، در تکامل این استانداردها همکاری کنند.



## ترکیب اعضای کمیته

اعضای شاخه هیدروژئوشیمی گروه تخصصی کیفیت آب کمیته فنی هیدروژئولوژی (شماره ۱۲) طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور که در تهیه و تدوین این استاندارد مشارکت داشته‌اند به شرح زیر هستند:

خانم فیروزه امامی	کارشناس زمین‌شناسی	طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور
خانم زهرا ایزدپناه	کارشناس آبیاری و آبادانی	دانشگاه تهران
آقای رحمتعلی براتعلی	کارشناس زمین‌شناسی و آب‌شناسی	کارشناس آزاد
آقای علی‌اکبر علوی	کارشناس شیمی و مهندسی بهداشت	کارشناس آزاد
خانم فاطمه فروغی‌زاده	کارشناس زمین‌شناسی و آب‌شناسی	کارشناس آزاد
آقای بیژن مهرسا	کارشناس آبهای زیرزمینی	دفتر مطالعات پایه منابع آب (تماب)
آقای مهدی هاشمی	کارشناس زمین‌شناسی و آب‌شناسی	شرکت مهندسین مشاور زیست کاو

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۲	۱- هدف
۲	۲- دامنه کاربرد
۲	۳- ملاحظات بر ژئوشیمی آب زیرزمینی
۳	۱-۳ هیدروشیمی عمومی آب زیرزمینی
۳	۱-۱-۳ آب باران
۳	۲-۱-۳ انحلال شیمیایی مواد معدنی سنگها
۳	۲-۳ کیفیت آب و شرایط طبیعی
۳	۱-۲-۳ اثرات سنگها
۳	۱-۱-۲-۳ سنگهای سیلیسی
۴	۲-۱-۲-۳ سنگهای کربناتی، آهکی و دولومیتی
۴	۳-۱-۲-۳ سنگهای تبخیری
۵	۴-۱-۲-۳ سنگهای ذغال دار
۵	۵-۱-۲-۳ سنگهای رسی
۵	۶-۱-۲-۳ سنگهای بلور لایه و ماگمایی
۶	۲-۲-۳ اثرات نوسانات سطح آب زیرزمینی
۶	۳-۲-۳ اثرات آب و هوایی
۷	۴-۲-۳ اثرات گرمای آب
۷	۴- مبانی ارزیابی کیفی منابع آب
۷	۱-۴ محدوده ارزیابی کیفی آب
۷	۲-۴ دوره ارزیابی کیفی آب
۷	۳-۴ ایجاد بانک اطلاعات کیفی آب
۸	۴-۴ آمار و اطلاعات پایه و مورد لزوم
۸	۱-۴-۴ آمار و اطلاعات هواشناسی
۸	۲-۴-۴ آمار هیدرولوژی
۸	۳-۴-۴ آمار هیدروژئولوژی
۸	۱-۳-۴-۴ چاههای انتخابی کیفی

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۹	دوره نمونه برداری آب ۲-۳-۴-۴
۹	آزمونهای شیمیایی و فیزیکی آب ۳-۳-۴-۴
۹	ارائه داده‌های آزمایشگاهی ۴-۳-۴-۴
۱۳	روشهای ارزیابیهای کیفی منابع آب ۵-۴
۱۳	کیفیت شیمیایی آب ۱-۵-۴
۱۳	تکنیکهای آماری در بررسیهای هیدروشیمیایی ۲-۵-۴
۱۳	کلیات ۱-۲-۵-۴
۱۳	تکنیکهای آماری ساده در بررسیهای کیفی ۲-۲-۵-۴
۱۴	بستگی آماری بعضی داده‌های هیدروشیمیایی ۳-۲-۵-۴
۱۶	آزمایشهای شیمیایی و نمودارهای کیفی آبها ۳-۵-۴
۱۷	نمودارهای نیمه لگاریتمی ۱-۳-۵-۴
۲۰	نمودارهای ستونی کالینز ۲-۳-۵-۴
۲۸	نمودارهای لگاریتمی ۳-۳-۵-۴
۲۹	حاصل ضرب حلالیت ۴-۵-۴
۳۴	تعیین و ارزیابی اشباع کلسیم کربنات ۵-۵-۴
۳۹	تحول ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی ۶-۵-۴
۳۹	تبادل بازی و عدم تعادل کلر - قلیا ۱-۶-۵-۴
۴۲	کاهش (احیاء) سولفات ۲-۶-۵-۴
۴۴	افزایش شوری ۳-۶-۵-۴
۴۶	تحول ترکیب شیمیایی آب ۴-۶-۵-۴
۵۱	مسافت طی شده (dx) و تأثیر آن بر ترکیب شیمیایی آب (dc) ۷-۵-۴
۵۱	تعیین مسافت طی شده آب در تغییر ترکیب شیمیایی (dx) ۱-۷-۵-۴
۵۶	تغییر ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی در رابطه با عمق ۲-۷-۵-۴
۶۱	ارزیابی آبهای کشاورزی ۸-۵-۴
۶۲	گروه‌بندی آبها در مصارف شرب ۹-۵-۴
۶۶	نقشه‌های کیفی منابع آب ۱۰-۵-۴
۷۵	منابع و مأخذ

## مقدمه

کشور ایران در منطقه خشک و نیمه خشک جهان قرار گرفته است. ریزشهای جوی برگستره خارجی آن کم بوده و منابع آبی، بویژه در فلات مرکزی بسیار محدود است. در این مناطق آگاهی از توان و پتانسیل آبی ضروری بوده، که با ارزیابی منابع آب امکان پذیر می باشد. ارزیابی نامبرده مشتمل بر دو بخش کمی و کیفی است. ارزیابی کیفی منابع آب امروزه به علل مسائل زیست محیطی و شرایط بوم شناسی ناحیه ای اهمیت بیشتری پیدا کرده است.

ارزیابی کمی، توان یا آبدهی طبیعی منابع آب را با توجه به نیاز آبی هر ناحیه تعیین می کند. ارزیابی کیفی وضعیت ترکیب شیمیایی آب را در بررسیهای عمومی هیدروژئولوژی و مرغوبیت آن را در مصارف مختلف از جمله در کشاورزی، شرب و صنعت تعیین می کند.

مدیریت بر منابع آب به عنوان یک اصل انسانی، اجتماعی، اقتصادی و سیاسی بر اصول بررسیهای کمی و کیفی منابع آب استوار می باشد.

در این مجموعه، استاندارد روشهای مناسب ارزیابی کیفی منابع آب با شیوههایی ساده و سازگار با اقلیمهای ایران تشریح شده ضمن اینکه روند مطالعاتی یکسان و یکنواخت و هماهنگ با سایر کشورها مدنظر قرار گرفته است. در این راستا برای جلوگیری از کاربرد نشانهها و واحدهای مختلف، بهره گیری آسانتر از دادهها و همسانی بین المللی تلاش شده است تا حد ممکن از نشانهها و واحدهای همگانی استفاده شود از اینرو برای نامگذاری ترکیبات معدنی، قواعد مصوب آیوپاک<sup>1</sup> به کار گرفته شده است. واحدهای تعیین مقادیر دو واحد استاندارد میلی گرم بر لیتر و میلی اکی والان بر لیتر گزینش شده و نمودارهای کیفی و نشانههای نقشههای هیدروژئوشیمیایی بر طبق علائم بین المللی ارائه شده است.

ارزیابی کیفی منابع آب، در بررسی، مطالعات، و توسعه منابع آب و طرحهای اجرایی کاربرد بسیاری دارد.

## ۱- هدف

هدف از ارزیابی کیفی منابع آب، بررسی تحولات ترکیب شیمیایی آب، با تأکید بر آب زیرزمینی، در یک محدوده معین، در زمان حرکت، نفوذ، تغذیه، ذخیره و تخلیه است که بر اصل بقا ماده در چرخه آبی استوار بوده و قوانین، پدیده‌ها و سازوکارهای حاکم را تحلیل می‌نماید. در این روند مرغوبیت آب در کاربریهای گوناگون تعیین می‌شود.

ارزیابی کیفی منابع آب، براساس محاسبات ریاضی، رسم نمودارهای کیفی و تهیه نقشه‌های هیدروژئوشیمیایی صورت می‌گیرد.

## ۲- دامنه کاربرد

ارزیابیهای کیفی منابع آب، در پروژه‌های مطالعات منابع آب زیرزمینی، آب سطحی، بررسیهای کیفی مخازن آب، پایشهای کیفی و دورسنجی، طرحهای توسعه منابع آب، طرحهای اجرایی و مدیریتی، آبخیزداریها و آبخوانداریها، پروژههای سدسازی و سازه‌های آبی، طرحهای آبیاری و زهکشی، بررسیهای زیست‌محیطی، و پروژههای آبرسانی و توزیع آب، کاربرد وسیع و جایگاه خود را دارا می‌باشد.

## ۳- ملاحظات بر ژئوشیمی آب زیرزمینی

در مبحث «کیفیت آب زیرزمینی» آزمونهای فیزیکی و شیمیایی، روشهای نمونه‌برداری آب و گزارش داده‌های شیمیایی آب زیرزمینی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در ارزیابی منابع آب زیرزمینی، ترکیب شیمیایی آب هنگام حرکت، تغذیه، ذخیره و تخلیه مطالعه می‌شود. در این بررسیها نهایتاً مرغوبیت آب چون یک کالای اقتصادی، در بهره‌برداری، برای مصارف کشاورزی، شرب، صنایع و سایر موارد تعیین می‌شود.

این ارزیابیها، اطلاعات ارزشمندی درباره منشأ اصلی تغذیه، سرعت و جهت جریان و تخلیه آب زیرزمینی، ذخیره آن، طبیعت آبخوانها و رگه‌های معدنی پنهان احتمالی موجود به دست می‌دهد که برای برآورد کیفیت و مطالعه ترکیب شیمیایی آب بسیار ضروری است.

کیفیت آبهای طبیعی آب و آلودگی آب به شرح زیر تعریف می‌شود:

«کیفیت آب» یعنی مشخصات شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی آب، که ممکن است در سه گروه عالی، خوب و بد قرار گیرند.

«کیفیت طبیعی آب» به کیفیت آب در حالت طبیعی خود در سنگهای گوناگون یک ناحیه گفته می‌شود.

«آلودگی آب» آغشته‌شدن آب به مواد شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی است. آلودگی باعث زوال و فساد کیفیت طبیعی آب

می‌شود. معمولاً آلودگیهای آب نتیجه عملیات و فعالیتهای انسانی و حیوانی می‌باشد.

### ۱-۳ هیدروشمی عمومی آب زیرزمینی

برای آگاهی از کیفیت آب زیرزمینی، باید اطلاعاتی، از هیدروشمی آب زیرزمینی داشت. عناصر شیمیایی که در آب زیرزمینی یافت می‌شوند ابتدا از آب باران ناشی شده و در مراحل بعدی مواد شیمیایی خاک و مواد معدنی سنگهایی که در مسیر عبور آب قرار می‌گیرند به آن اضافه می‌شود.

بعضی از مواد موجود در آب مقادیرشان زیاد است و در تمامی آبهای زیرزمینی یافت می‌شوند مانند: سدیم، کلسیم، منیزیم، بیکربنات، کلرید، سولفات و سیلیس، بقیه عناصر ممکن است در مقادیر کم وجود داشته باشند.

#### ۱-۱-۳ آب باران

آب باران دارای مواد شیمیایی کم است که در اثر تبخیر اولیه غلظت آنها زیاد می‌شود. در آب باران کلرید با غلظتهای ۱۰-۱/۰ میلی‌گرم بر لیتر، سولفات از ۱/۰-۲۰ میلی‌گرم بر لیتر، کلسیم از ۱/۰-۲۰ میلی‌گرم بر لیتر، منیزیم از ۱/۰-۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، سدیم از ۱/۰-۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و غیره ظاهر می‌شوند. بیشترین مقدار کل مواد جامدمحلول در آب باران از سواحل دریاها و اقیانوسها تا فاصله ۵۰ کیلومتری در داخل خشکی‌ها وجود دارد، از این فاصله به تدریج یونهای آب باران کاهش پیدا می‌کنند. در سرزمینهای خشک املاح آب باران بیشتر از آن در سرزمینهای مرطوب است. زیرا بیشتر مواد محلول از غبار نمکی که در بخشهای فوقانی اتمسفر پراکنده شده است منشاء می‌گیرد. در نزدیکی شهرها، سولفات، نترات و غیره در نتیجه وجود مواد آلاینده موجود در هوا افزایش می‌یابد.

#### ۲-۱-۳ انحلال شیمیایی مواد معدنی سنگها

انحلال مواد معدنی سنگها بر اثر گازهای محلول موجود در آب می‌باشد. این املاح عبارتند از:  $KCl$ ،  $NaCl$ ،  $(CaMg)CO_3$ ،  $CaCO_3$ ،  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ، حلالیت این املاح برحسب گرم بر کیلوگرم  $g/kg$  بیان می‌شوند. نتیجه انحلال در یک زمان ممکن است دو یا چند ماده محلول باشد مانند  $NaCl$  و  $CaSO_4$ ، به علاوه در فرایند تبادل کاتیونی ممکن است کاتیونهایی وارد آب شده و حلالیت جدیدی را شامل شوند.

### ۲-۳ کیفیت آب و شرایط طبیعی

#### ۱-۲-۳ اثرات سنگها

طبیعت و ساختار سنگها، مستقل از اثرات آب و هوایی، بوم‌شناختی، زیست‌محیطی و توپوگرافی، به‌طور آشکار بر کیفیت آب تأثیر می‌گذارند.

#### ۱-۱-۲-۳ سنگهای سیلیسی

سنگهای سیلیسی، مانند ماسه‌ها و ماسه سنگهای خالص، دارای مواد محلول بسیار کمی بوده و کل املاح محلول در آب عبوری از میان این سنگها، (۲۰-۳۰۰) با میانگین ۲۲۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد  $SO_4$  و  $Cl$  آن بسیار کم است. تواتر یونی این آبها

اغلب به صورت  $rNa > rCa > rMg$  بوده و غلظت کلسیم غالباً بین ۴-۶۰ میلی گرم با میانگین ۲۵ میلی گرم بر لیتر و  $HCO_3$  معمولاً نصف مقدار بیکربنات در سایر سازندها بوده و مقدار آن ۱۲-۱۶۰ با متوسط ۶۰ میلی گرم بر لیتر است، تا هنگامی که  $HCO_3$  از سنگهای کربناتی اضافه نشود.

تمام نمکهای محلول در آب در این سنگها از آب باران منشاء گرفته و افزایش شوری در اثر تبخیر به وجود می آید. در نقاطی که سنگهای سیلیسی دارای کمی آهک و یا رس باشد به علت سطح تماس زیاد، آب عبوری به سرعت، موادی از آنها را جذب می کند که بستگی به درجه آبشویی و شدت تبخیر و تعرق دارد و ممکن است آب دارای مقدار زیادی  $SO_4, Cl$  و کاتیونها شود ولی غلظت  $HCO_3$  حالت طبیعی خود را حفظ می کند.

### ۳-۱-۲-۳ سنگهای کربناتی، آهکی و دولومیتی

وجود درز و شکافهای فراوان در سنگهای کربناتی و سرعت جریان و سطح تماس زیاد آب و سازند در این سنگها و نیز مقدار املاح در ساختار آنها، اثر زیادی در کیفیت آب دارند. آهکهای توده ای دارای شکافهای بزرگتر و کانالهای متعدد بوده ولی دارای درزهای باریک است. جریان آب در این سنگها سریع بوده و سطح تماس در مقایسه با حجم آب در گردش کوچک می باشد. سنگهای آهکی دارای نمکهای قابل انحلال کمی هستند. برای حل شدن این نمکها در آب لازم است آب از بین آهک فشرده از طریق پدیده پخش یا انحلال در آهک عبور کند. به علت سرعت نفوذ سریع، تبخیر و تعریق، تأثیر ناچیزی در افزایش شوری دارد، در نتیجه آب دارای املاح کمی خواهد بود. آنیون و کاتیون عمده  $HCO_3$  و  $Ca$  می باشند، همچنین مقدار کمی  $SO_4, Cl, Na$  موجود است. منیزیم موجود در آب بستگی به مقدار منیزیم در ساختمان آهک دارد. هنگامی که سنگ آهک دارای خلل و فرج و شکافهای ریز باشد، آب به طور آهسته گردش کرده و سطح تماس بین آب و سنگها بسیار زیاد است.

کلریدها و سولفات به ویژه در آهکهای مارنی می توانند حل شوند. در شرایط خاص ممکن است  $(rSO_4 + rCl) > rHCO_3$  باشد و  $rHCO_3$  ثابت باقی می ماند، زیرا تنها بستگی به فشار گاز  $CO_2$  دارد. آب در سازندهای آهکی دولومیتی و دولومیتها دارای ویژگیهایی مشابه سنگهای آهکی است فقط نسبت  $rMg/rCa$  در آنها متفاوت است. در صورتی که نفوذ کاملاً قطع شود، منافذ و خلل و فرج سنگهای آهکی به وسیله مواد آلاینده آلی و میکروبی پر شده و آب را آلوده می کند.

### ۳-۱-۲-۳ سنگهای تبخیری

ژپس و انیدریت یا سنگهای نمک دار و سولفات دار ممکن است در تماس با آب قرار گیرند. به علت حلالیت بسیار زیاد این مواد معدنی، آب زیرزمینی ممکن است دارای مقادیر زیادی  $NaCl, CaSO_4$  گردد و حتی ممکن است تانقطه اشباع هم برسند. املاح آب عبوری از این سازندها ممکن است به تمامی درجات غلظتی برسد که بستگی به سرعت جریان، مسافت طی شده آب زیرزمینی و مواد تبخیری لایه آبدار دارد.  $HCO_3$  به شکل طبیعی خود باقی می ماند مگر اینکه غلظت  $Ca$  بسیار زیاد شود که در این مورد، ممکن است از حد طبیعی خود کمتر شود. عموماً  $HCO_3$  کمتر از  $rSO_4 + rCl$  و یا  $rSO_4$  و  $rCl$  ظاهر می شود. هرچه املاح آب زیاد شود  $rSO_4 / rCl$  کاهش و  $rMg/rCa$  افزایش می یابد.

آبی که از نهشته‌های حالیت<sup>۱</sup> آبشویی شده است دارای نسبت  $rCl/rBr > 300$  است. امکان دارد در اینگونه آبها  $CaSO_4$  به نقطه اشباع رسیده و گاهی نیز ممکن است  $NaCl$  هم به نقطه اشباع نزدیک شود.

### ۳-۲-۱-۴ سنگهای ذغال دار

آب در تماس با سنگهای ذغال داری مانند لینییت، ذغال سنگ نارس، ذغال و سایر هیدروکربنها دارای اختصاصات مشخصی، همانند پتانسیل ردوکس منفی بوده که باعث فراوانی آهن و کاهش مکرر سولفاتها شده و مقدار  $SO_4$  کاهش می‌یابد وجود گوگرد  $S^{--}$  و سولفیدریک اسید  $H_2S$  احتمالاً سبب افزایش  $HCO_3$  می‌شود. هنگامیکه این آب در مجاورت هوا قرار گیرد  $Fe^{++}$  به  $Fe^{3+}$  اکسایش یافته و به شکل  $Fe(OH)_3$  رسوب می‌کند. وجود  $H_2S$  در قابلیت شرب آب اثر منفی ندارد مگر اینکه در مقادیر زیاد در آب موجود باشد. زیرا  $H_2S$  به سرعت در هوا متصاعد می‌شود. وجود  $H_2S$  همچنین پتانسیل ردوکس منفی و وجود  $CO_2$  مهاجم، آب را در لوله‌های فلزی بسیار خورنده می‌کند.

### ۳-۲-۱-۵ سنگهای رسی

آب در رسها و شیلها ممکن است کم و بیش شور باشد که بستگی به آبشویی رس و جذب برخی یونها دارد. آب در تماس با لایه‌های رسی، و یا لایه‌های آبدار رسی، ممکن است از نمک غنی شود، در این آبها امکان دارد ابتدا  $Na$  با  $Ca$  و سپس  $Ca$  با  $Mg$  و یا  $Ca$  با  $Mg$  و سپس  $Mg$  با  $Na$  تعویض کاتیونی نمایند.

هنگامی که سرعت جریان آب بسیار کم و در حدود چند سانتیمتر در سال باشد، ممکن است آب از  $SO_4, Cl, Na, Mg, Ca$  غنی شده و فرایند تبادل بازی کامل شود. در بعضی موارد  $CaCl_2$  و  $MgCl_2$  به صورت نمکهای آب ظاهر شده و  $rCa + rMg$  بزرگتر از  $rSO_4 + rCl$  می‌شود. ولی از سویی دیگر با حضور  $Na_2CO_3$  و  $rNa$  بزرگتر از  $rSO_4 + rCl$  می‌شود. وقتی که آبشویی سازند طی یک دوره زمانی زمین‌شناسی صورت گیرد، پدیده‌های افزایش شوری و تبادل بازی بسیار کم می‌شود.

### ۳-۲-۱-۶ سنگهای بلور لایه و ماگمایی

در سنگهای بلور لایه‌ای و ماگمایی، مانند گرانیتها و بازالتها، آب در منافذ و شکافهای آنها جریان می‌یابد. در گرانیتها، معمولاً این شکافها باریک بوده و بندرت در ژرفای پایین‌تر از ۳۰-۶۰ متری وجود دارند. بازالتها دارای درز و شکافهای زیادتر و پهن‌تری هستند.

در اینگونه سنگها سیلیکاتها بسیار کم محلول هستند. بنابراین، در شرایط معمولی، آب در این سازندهای سخت، شیرین و دارای املاح نسبتاً کمی است.  $HCO_3$  در گرانیتها و بازالتها کم و حدود نصف مقدار آن در سایر سنگهاست زیرا  $HCO_3$  زیادی از سنگ وارد آب نمی‌شود، مقدار  $SO_4, Cl$  در این آبها بسیار کم است.



### ۳-۲-۲ اثرات نوسانات سطح آب زیرزمینی

نوسانات سطح آب زیرزمینی در شبانه‌روز عامل مهمی در تغییر کیفیت آب زیرزمینی به شمار می‌رود. در تابستان، در اواسط و انتهای دشتها در طول روزها به علت تبخیر زیاد، سطح آب زمینی کاهش یافته و برعکس با خنکی هوا سطح آب بالا می‌آید. در مناطق کشاورزی، چنانکه عمق سطح آب زیرزمینی کم باشد، ریشه گیاهان آب زیادی را می‌کشد و تبخیر و تعرق بستگی به سطح زیر کشت و تراکم گیاهی دارد.

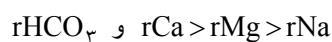
چنانچه آب زیرزمینی در مجاورت و زیر بستر رودخانه‌ها با نفوذپذیری مناسب قرار گیرد، آب رودخانه به آب زیرزمینی نفوذ کرده و باعث تغییر کیفیت آب زیرزمینی می‌شود. این موضوع در محیطهای کارستی بیشتر قابل مشاهده است.

### ۳-۲-۳ اثرات آب و هوایی

معمولاً، در اثر تبخیر و فرایندهای تعرق، غلظت املاح آب زیرزمینی افزایش یافته و ممکن است ترکیب شیمیایی باتوجه به درجه غلظت تغییر کند. اثر تبخیر، در هوای گرم‌تر و خشک‌تر بیشتر است. از سوی دیگر، تلفات تعرق بستگی به تراکم پوشش گیاهی دارد، که در ارتباط با میزان بارش است. در حقیقت، ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی، تابع نوع خاک و گسترش پوشش گیاهی آن است.

بارش باران، نقش مهمی در غلظت نمک آب زیرزمینی داشته که با شدت بارندگی، طول زمان بارش، نفوذ و فروکش آن در خاک و آبشویی املاح خاک در ارتباط می‌باشد. آب باران، املاحی مانند NaCl و  $\text{CaSO}_4$  را آبشویی نموده و نمکهای تجمع یافته سطحی را به آب زیرزمینی منتقل می‌کند.  $\text{CaCO}_3$  به شکلهای گوناگون عمل می‌کند زیرا حلالیت آن کم، و بستگی به  $\text{CO}_2$  آزاد آب دارد که این عامل مهمی بدون در نظر گرفتن فشار و مقدار است. در فرایندهای طبیعی مقدار کمی  $\text{CO}_2$  تولید و آزاد می‌شود. زیرا درجه حرارت پایین و آب شیرین بوده و کل مواد جامد محلول آن حدود ۱۰۰-۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر است و در این نوع آبها تیپ آن  $r\text{SiO}_2 > r\text{HCO}_3^-$  می‌باشد.

در سرزمینهای نیمه گرمسیری و مرطوب هوا گرمتر بوده و تولید  $\text{CO}_2$  در خاک زیادتر است، از این رو تبخیر و تعرق بیشتر است و آبشویی در فصول بارش اتفاق می‌افتد. در این مناطق کل مواد جامد محلول معمولاً از ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در تغییر است که بستگی به طبیعت و ساختار سازند دارد و تواتر عمومی یونی به صورت زیر می‌باشد:



در نزدیکی استوا، هوا دارای رطوبت کمتر و داغ بوده و میزان بارش کمتر از تلفات ناشی از تبخیر و تعرق است و میزان کلریدها و سولفاتها بستگی به میزان آبشویی خاک و املاح ذخیره شده در آن دارد که در یک بارش سنگین با شستشوی شدید خاک، املاح خاک به آب زیرزمینی وارد می‌شود. در مسیر عبور آب اضافی از خاک، رسوبات  $\text{CaCO}_3$  در آب حل می‌شود زیرا کلسیم کربنات آب با فشار  $\text{CO}_2$  کنترل می‌شود. در نتیجه مواد محلول آب به بیشترین مقدار خود می‌رسد و تواتر یونی به صورت زیر است:



در سرزمینهای خشک، املاح آب زیادتر می شود زیرا مقدار تبخیر بزرگتر از میزان بارش بوده و نفوذ آن کم می شود، رسوب  $\text{CaCO}_3$  در خاک خیلی زیاد بوده و حتی ممکن است گچ هم رسوب کرده و تواتر یونی به صورتهای زیر مشاهده شود:

$$r\text{SO}_4 > r\text{Cl} > r\text{HCO}_3 \text{ و } r\text{Ca} > r\text{Mg} \text{ یا } r\text{Na}$$

$$r\text{Cl} > r\text{SO}_4 > r\text{HCO}_3 \text{ و } r\text{Na} > r\text{Ca} > r\text{Mg} \text{ و یا}$$

در بعضی از نقاط بارندگیهای سنگین گرمسیری ممکن است از تبخیر و تعرق بزرگتر شود، در این صورت شوری آب زیرزمینی کاهش می یابد. در این موارد آنیون عمده  $\text{HCO}_3$  بوده و در چنین آب و هوایی آهن، آلومینیم و سیلیس نقش مهمی ایفا می نمایند.

### ۳-۲-۴ اثر گرمای آب

گرمای آب، اثر زیادی در سرعت واکنشهای شیمیایی آب دارد. آبهای طبیعی، دارای دماهایی از حدود چند درجه سانتیگراد بالای صفر، تا حدود ۱۰۰ درجه سانتیگراد هستند. معمولاً در ارزیابیهای کیفی آب دما پایین و واکنشها از نوع کند می باشند. منابع آبی، عموماً از نظر گرمایی، خنک تا معتدل هستند.

## ۴- مبانی ارزیابی کیفی منابع آب

### ۴-۱ محدوده ارزیابی کیفی آب

ناحیه ای که اطلاعات پایه ارزیابی کیفی آب جمع آوری و برنامه های مطالعات کیفی برای آن برقرار می شود، محدوده مطالعات ارزیابی کیفی آب نامیده می شود. این ناحیه ممکن است، یک حوضه آبریز، یک دشت و ارتفاعات مشرف بر آن، یک آبخوان، یک واحد کشاورزی و یا یک واحد صنعتی باشد.

### ۴-۲ دوره ارزیابی کیفی آب

یک مقطع زمانی، که در طی آن کلیه عوامل کیفی آب مورد بررسی قرار می گیرد، دوره ارزیابی کیفی آب نامیده می شود. این دوره زمانی متفاوت بوده و ممکن است یک ماه، یک فصل، یک سال آبی و چند سال متمادی بوده و تغییرات ترکیب شیمیایی آب با یکدیگر مقایسه شوند.

### ۴-۳ ایجاد بانک اطلاعات کیفی آب

ایجاد بانکهای اطلاعات رایانه ای مشتمل بر آمار و اطلاعات هواشناسی، هیدرولوژی آب زیرزمینی و کیفیت است. برای این کار می توان از نرم افزارهای بانک اطلاعاتی استفاده نمود.

#### ۴-۴ آمار و اطلاعات پایه و مورد لزوم

آمار و اطلاعات، اساس ارزیابی کمی و کیفی آب را تشکیل می‌دهند. آمار باید مشخصات وضع آب و هوایی، ویژگیهای کیفی هیدرولوژی و هیدروژئولوژی محدوده مطالعاتی را تعیین کرد.

#### ۴-۴-۱ آمار و اطلاعات هواشناسی

آمار مورد نیاز هواشناسی یا کليمتولوژی ممکن است متوسط روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه، مشتمل بر آمار بارندگی، تبخیر از تشت، دما، رطوبت نسبی ماهانه و سرعت باد باشد.

#### ۴-۴-۲ آمار هیدرولوژی

آمار هیدرولوژی شامل: آبدهی رودخانه‌ها، چشمه‌ها، انهار، سطح آب در مخازن سدها، دریاچه‌ها، آب‌بندها و پلایاها می‌باشد. چنانچه آبدهی رودخانه‌ها و مسیله‌ها موجود نباشد، می‌توان با اندازه‌گیریهای موردی و روشهای آماری، آبدهی را برآورد کرده و با نمونه‌برداری از آب آنها، آزمونهای شیمیایی را انجام داد.

#### ۴-۴-۳ آمار هیدروژئولوژی

#### ۴-۴-۳-۱ چاههای انتخابی کیفی

توزیع شبکه چاههای انتخابی مشاهده‌ای کیفی در محدوده مطالعاتی باید دارای پراکندگی مناسب باشد. در آبخوانهای آزاد، تعیین این نقاط براساس تراکم منابع بهره‌برداری آب، وجود رودخانه، زهکش، مناطق تبخیری، زهکشهای واحدهای کشاورزی و عوامل زمین‌ساختی است که ممکن است موجب تغییرات روند عمومی کیفی در آب زیرزمینی شود.

این چاهها ممکن است منطبق با چاههای پیژومتری باشد و به‌طور متوسط هر ۲۵ کیلومتر مربع یک حلقه چاه‌مشاهده‌ای کیفی در نظر گرفته شود. در صورت تغییرات و تبدلات آبی کمتر می‌توان از نظر اقتصادی در هر ۵۰ کیلومتر مربع یک حلقه چاه مشاهده‌ای در نظر گرفت و در موارد زیر تراکم زیاد می‌شود.

- در اطراف رودخانه‌ها و زهکشهای مصنوعی و طبیعی
- در نواحی تحت بهره‌برداری زیاد کشاورزی و صنعتی
- در صورت ناهمگن بودن ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی در سطح و عمق لایه اشباع، که در این صورت دو چاه سطحی و عمیق پیشنهاد می‌شود.
- در دشتهایی که آبخوان تحت فشار و نیمه تحت فشار وجود داشته باشد باید چاههای مشاهده‌ای به‌طور جداگانه به‌نحوی که مشخص‌کننده آبخوانهای مزبور باشد، مشخص یا حفر شود.

#### ۴-۳-۲ دوره نمونه برداری آب

با توجه به تغییرات عوامل هیدروکلیماتولوژی در درازمدت بر روی سطح آب زیرزمینی، هرچه دوره نمونه برداری آب از نقاط آب سطحی و چاههای مشاهده‌ای کیفی کوتاه‌تر باشد دقت آمار افزایش می‌یابد. این دوره‌ها می‌تواند به صورت روزانه، هفتگی، ماهانه، فصلی و فصول پرآبی و کم‌آبی باشد.

برای نمونه برداری آب، از بطریهای ۱ تا ۲ لیتری از جنس پلی‌اتیلن سفید استفاده می‌شود که پس از ۲ تا ۳ دقیقه جاری شدن آب از شیر منبع و ۳ بار شستشوی بطری باید اقدام به نمونه برداری کرده و در یخدان قرار داد.

#### ۴-۳-۳ آزمونهای شیمیایی و فیزیکی آب

آزمون شیمیایی مورد لزوم در ارزیابیهای کیفی منابع آب شامل: تعیین سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، کربناتها، بیکربناتها، سولفاتها، کلرید و نیز اندازه‌گیریهای فیزیکی دما، pH، هدایت الکتریکی و Eh می‌باشد. پارامترهای رنگ، کدورت، بو، طعم و سایر مشخصات باید یادداشت شود. به استثناء یونهای سدیم، سولفات و کلرید، سایر پارامترها باید در محل نمونه برداری از منبع انجام شود و هیچ نوع عامل تثبیت کننده به آب نمونه برداری نباید اضافه شود. در بعضی ارزیابیها، ممکن است آزمایش کمی آهن، آلومینیم، نترات، فلئور و سیلیس انجام شود.

#### ۴-۳-۴ ارائه داده‌های آزمایشگاهی

داده‌های آزمایشگاهی، معرف عناصر مواد موجود در آب است که باید در فرمهای زیر ثبت و بایگانی شود. ضمناً پایگاهها و بانکهای اطلاعاتی دارای قابلیت فرم‌سازی و انتقال داده‌ها هستند.

فرم ۱- ویژه آب سطحی

فرم ۲- ویژه آب زیرزمینی

فرم ۳- ویژه تجزیه شیمیایی کلرید و هدایت الکتریکی منابع آب



نتایج تجزیه کامل شیمیایی منابع آب زیرزمینی

نام محدوده مطالعاتی ..... کد محدوده مطالعاتی ..... نام دشت ..... علائم اختصاری منابع آب: قنات Q، چشمه SP، چاه عمیق D، چاه نیمه عمیق S، چاه آرتزین Ar، چاه پیزومتر P																				
سختی کل TH برحسب mg/l CaCO <sub>3</sub>	S.A.R	%Na	میلی اکی والان بر لیتر										pH	باقیمانده خشک T.D.S در mg/l ۱۸۰.°c	هدایت الکتریکی EC×۱.۶ ۲۵°c	تاریخ نمونه برداری	نام محل	نوع منبع آب	مختصات منبع آب	ردیف
			جمع کاتیونها	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	جمع آنیونها	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>--</sup>								

واحد اقدام کننده      تهیه کننده      تاریخ تهیه      کنترل کننده



## ۵-۴ روشهای ارزیابیهای کیفی منابع آب

### ۴-۵-۱ کیفیت شیمیایی آب

در تعاریف علم هیدرولوژی، آب خالص با فرمول  $H_2O$  و رفتار فیزیکی آن مورد توجه قرار می‌گیرد. موادی که در اثر حلالیت آب وارد آن می‌شود، ممکن است ناخالصی آب تلقی شود. برای تعبیر و تفسیر ترکیب شیمیایی آب و تغییرات آن اطلاع از قوانین حاکم بر این عوامل ضروری است.

ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی و سطحی بسیار متنوع است. این تنوع تابع: آب و هوای مناطق، زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی محدوده مطالعاتی است بنابراین مواد شیمیایی آبها، از یک ناحیه تا ناحیه دیگر بسیار متفاوت بوده و باید دلایل آن بررسی و روشن شود.

یکی از عوامل مهم غلظت آب زیرزمینی، شرایط طبیعی و ساختار سنگهای تشکیل‌دهنده دیواره‌ها و بدنه لایه‌های آبدار است که این خود تابع ساختار زمین‌شناسی منطقه می‌باشد. در هیدروژئولوژی سرعت جریان و زمان تماس آب با سازند و عمق آن و آنگاه در اقلیم منطقه عواملی مانند تبخیر نقش مهمی در تغییر غلظت آب زیرزمینی دارند. در نتیجه بر اثر تحول ترکیب شیمیایی آب، غلظت آب شکل یکنواختی شبیه رخساره هیدروشیمیایی آب دریا پیدامی‌کند.

### ۴-۵-۲ شیوه‌های آماری در بررسیهای هیدروشیمیایی

#### ۴-۵-۲-۱ کلیات

تجزیه و تحلیل داده‌ها، در ارزیابیهای کیفی منابع آب در بیشتر موارد تجربی است، با تهیه یک مدل ریاضی، نوع منبع، جریانهای ورودی، ذخیره، تخلیه، تغییرات ترکیب شیمیایی آب، و غیره توصیف می‌شود. از اینرو داده‌های هیدروژئوشیمیایی باید در معرض تجزیه و تحلیل آماری قرار گیرند تا الگوهای غیر عادی یا ناهنجاریهای هیدروژئوشیمیایی براساس میزان انحراف داده‌ها از یک سری مقادیر ناحیه‌ای، که با عنوان مقدار زمینه نامیده می‌شود شناخته شوند.

تعداد این ناهنجاریها زیاد است بعضی از آنها بی‌اهمیت بوده که مرتبط با معدنی‌شدن در طبیعت محیط نمونه‌برداری است. همچنین تعداد و فواصل مطلوب و روشهای آماری برای تعبیر و تفسیر داده‌ها باید مورد توجه قرار گیرد.

### ۴-۵-۲-۲ شیوه‌های آماری ساده در بررسیهای کیفی

در این بخش، ساده‌ترین و مهمترین محاسبات آماری بر روی داده‌های هیدروشیمیایی ذکر شده است. امروزه این محاسبات به‌وسیله ماشینهای حساب و نرم‌افزارهای رایانه‌ای به سرعت صورت می‌گیرد. عموماً نتایجی که از تجزیه شیمیایی یک سری نمونه حاصل می‌شود در جدولی خلاصه می‌شود، سپس داده‌ها براساس غلظت صعودی یا نزولی مرتب شده تا جدول دیگری به دست آید. تعیین میانگین در مرحله بعد و میانه در توزیع داده‌ها صورت می‌گیرد. میانه به عنوان مقداری که بازای آن نیمی از کل داده‌ها کمتر از آن و نیم دیگر مقادیر بیشتری هستند، تعریف می‌شود. اگر مقادیر داده‌ها در توزیع زوج باشد، میانه به‌عنوان معدل دو مقداری که توزیع را نصف می‌کند، انتخاب می‌شود. پس از تعیین میانه، توزیع درصدی فراوانی داده‌ها مورد توجه قرار



می‌گیرد. انتخاب تعداد گروهها، مناسبترین مقدار و فواصل گروهها به روشهای نرمال یا لوگ نرمال دارای اهمیت است زیرا اگر این گروهها طوری انتخاب شود که تعداد آنها بسیار کم باشد صفات عمده توزیع داده‌ها نمی‌تواند آشکار شود. برای انتخاب یک فاصله بین گروهی مطلوب می‌توان از رابطه  $K = 1 + \frac{3}{32} \log n$  استفاده کرد که K تعداد فواصل و n تعداد نمونه‌ها است. از مشخصه‌های مهم آماری در بررسیهای کیفی، محاسبه مقدار میانگین، انحراف معیار ضریب تغییرات هر متغیر شیمیایی می‌باشد که از روابط زیر به دست می‌آید:

$$M = \frac{\sum x_i}{n}$$

M = میانگین متغیر شیمیایی

$x_i$  = مقدار متغیر شیمیایی i

n = تعداد کل نمونه‌ها

$$S^2 = \frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n-1}, S = \sqrt{S^2}$$

S = انحراف معیار متغیر شیمیایی

$$C_v = \frac{S}{M} \times 100$$

$C_v$  = ضریب تغییرات متغیر شیمیایی

#### ۴-۵-۲-۳ بستگی آماری بعضی داده‌های هیدروشیمیایی

در ارزیابیهای کیفی منابع آب، غالباً غلظت تعدادی از عناصر در یک سری نمونه هیدروشیمیایی اندازه‌گیری می‌شوند. چون هر گروه معینی از عناصر، نسبت به یک سری از شرایط محیطی کم و بیش به‌طور مشابه حساسیت نشان می‌دهد، شناخت ارتباط و بستگیهای ژنتیکی متقابل موجود بین عناصر مختلف می‌تواند در شناخت دقیق تغییرات موجود در محیطهای آبی به کار گرفته شود. تجمع بعضی از عناصر ممکن است دلالت بر وجود ناهنجاریهایی داشته باشند که گمراه‌کننده‌اند. در مجموع بستگیهای ژنتیکی که در بین عناصر وجود دارد، اطلاعات لازم را برای تفسیر هرچه صحیح‌تر داده‌های هیدروشیمیایی در اختیار می‌گذارد. یکی از روشهای آماری در بررسیهای کیفی آب، تعیین همبستگی بین یک جفت از متغیرهایی است که احتمالاً با یکدیگر در ارتباط هستند. در پردازش داده‌های خطی کیفی آب، گاهی آگاهی از معادله تغییرات یک متغیر نسبت به متغیر دیگر ضروری است. در این موارد فقط می‌توان نزدیکترین معادله خطی را که با داده‌ها انطباق خوبی دارد تعیین کرد.

یکی از راههای به دست آوردن چنین معادله‌ای براساس کمترین مقدار کمیته  $\sum (X - \bar{X})^2$  بنا شده که به روش حداقل مربعات مشهور است. اگر  $x$  یک متغیر مستقل و  $y$  یک متغیر وابسته به آن در نظر گرفته شود باید با استفاده از داده‌های تجربی به دست آمده مانند  $(x_1, y_1)$  ضرایب  $a$  و  $b$  را در معادله خطی زیر تعیین کرد:

$$y = a + bx$$

$$\sum y = na + b \sum x$$

حداقل مربعات  $x^2$ ، به صورت زیر تعریف می‌شود

$$x^2 = \sum_{i=1}^n \left( \frac{y_i - a - bx_i}{S_i} \right)^2$$

$S_i$  = انحراف معیار نمونه  $i$

$N$  تعداد نقاطی است که به طور تجربی تعیین شده و فرض شده که انحراف معیارها همه مساوی باشند ( $S_i = S$ ).

ممکن است این بستگیها را از طریق محاسبه ضریب همبستگی خطی تعیین کرد.

اگر بین  $x$  و  $y$  رابطه و بستگی وجود نداشته باشد شیب خط صفر خواهد بود. برای به دست آوردن اطلاعات بیشتر در مورد بستگی بین دو متغیر  $x$  و  $y$  می‌توان  $x$  را متغیر مستقل و  $y$  را تابع آن نامیده و برعکس. در این حالت اگر داده‌ها را بخواهیم با خطی مانند  $x = a' + b'y$  وفق دهیم که در آن  $\sum (y - y')^2$  دارای کمترین مقدار باشد مقدار  $b$  از معادله زیر به دست می‌آید.

$$b' = \frac{\sum x_i \sum y_i - N \sum x_i y_i}{(\sum y_i)^2 - N \sum y_i^2}$$

$$r = \frac{\sum x_i \sum y_i - N \sum x_i y_i}{\sqrt{(\sum x_i)^2 - N \sum x_i^2} \sqrt{(\sum y_i)^2 - N \sum y_i^2}}$$

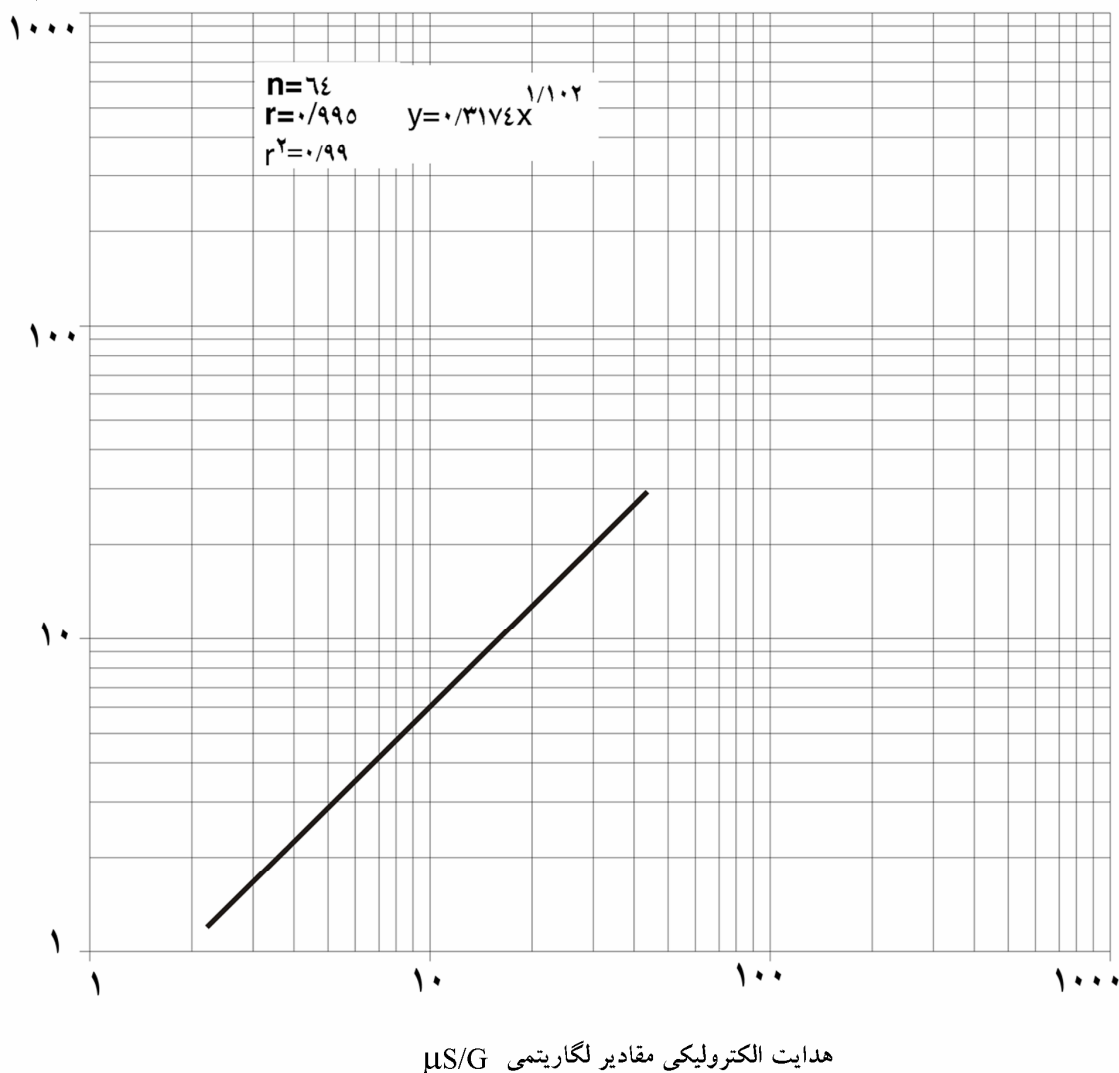
$r$  مقدار ضریب همبستگی خطی،  $N$  تعداد نمونه‌ها،  $\sum x_i y_i$  حاصل جمع مقادیری که از ضرب عامل  $x$  در  $y$  نظیرش به دست می‌آید.

$\sum x_i^2$  جمع مربعات تمام مقادیر  $x$

مقدار  $r$  از صفر تا  $\pm 1$  تغییر می‌کند.  $+1$  دلالت بر یک انطباق کامل بین متغیرها دارد. در ارزیابی کیفی منابع آب معمولاً رابطه بین هدایت الکتریکی و غلظت املاح آب و در مورد رودخانه‌ها رابطه بین مواد معلق رسوبی و تخلیه لحظه‌ای و نیز مواد جامد محلول با تخلیه لحظه‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در شکل ۱ همبستگی و نسبت بین کل املاح محلول T.D.S و هدایت الکتریکی آبخوان مفروض محاسبه و نمایش داده شده است.

میلی گرم بر لیتر



شکل ۱- همبستگی خطی غلظت کل املاح محلول و هدایت الکتریکی آب زیرزمینی

#### ۴-۵-۳ آزمایشهای شیمیایی و نمودارهای کیفی آبها

برای آگاهی از منشاء رخساره‌های مختلف آب، باید ترکیب شیمیایی آنها با یکدیگر مقایسه و بررسی شوند. بهترین روش برای این کار روشهای نموداری هستند که به‌طور چشمی و با سرعت می‌توان تعداد زیادی از داده‌های هیدروشیمیایی را با هم مقایسه و نسبت‌های موجود بین سریهای مشاهداتی را تعیین و اختلاف بین آنها را آشکار کرد.

برای نمایش نموداری، داده‌های غلظتی آب باید برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر محاسبه شوند. برای این کار مقادیر عناصر داده شده برحسب میلی‌گرم بر لیتر را به میلی‌اکی‌والان بر لیتر تبدیل کرده به‌طوری‌که در مورد کلسیم مقادیر  $\text{mg/l}$  را بر ۲۰ و منیزیم را بر ۱۶/۱۲، سدیم را بر ۲۳، پتاسیم بر ۳۹، کربنات بر ۳۰، بیکربنات بر ۶۱، کلرید بر ۵/۳۵ و سولفات بر ۴۸ تقسیم می‌شود.

پس از محاسبه عناصر و یونها برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر، آنها با پیشوند r (رادیکال) نمایش داده می‌شوند. برای کلسیم rCa بجای Ca به کار برده می‌شود.

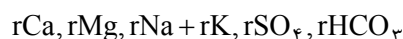
برای نمایش نموداری، داده‌های هیدروشیمیایی، روشهای زیادی وجود دارد و در ارزیابی کیفی منابع آب از نمودارهای نیمه لگاریتمی و ستونی استفاده می‌شود.

#### ۴-۵-۳-۱ نمودارهای نیمه لگاریتمی

نمودارهای نیمه لگاریتمی نسبت به سایر نمودارها از فواید ارزشمندی برخوردار است. در این نمودارها، در یک برگ کاغذ نیمه لگاریتمی، نمایش غلظتی تعداد زیادی از نمونه آب را به آسانی ترسیم نموده و در یک نظر اجمالی، با تغییر غلظت آب، جریانهای ورودی و خروجی مشاهده و اختلاف بین آنها مشخص می‌شود. در این نمودارها نسبتهای عناصر آنها مانند  $r \frac{SO_4}{Cl}$  و  $r \frac{Mg}{Ca}$  غیره به طور چشمی محاسبه و مقایسه می‌شوند. همچنین اشباع کلسیم کربنات، کلسیم سولفات و حاصل ضرب حلالیت این مواد به دست می‌آید.

#### - روش تهیه نمودارهای نیمه لگاریتمی

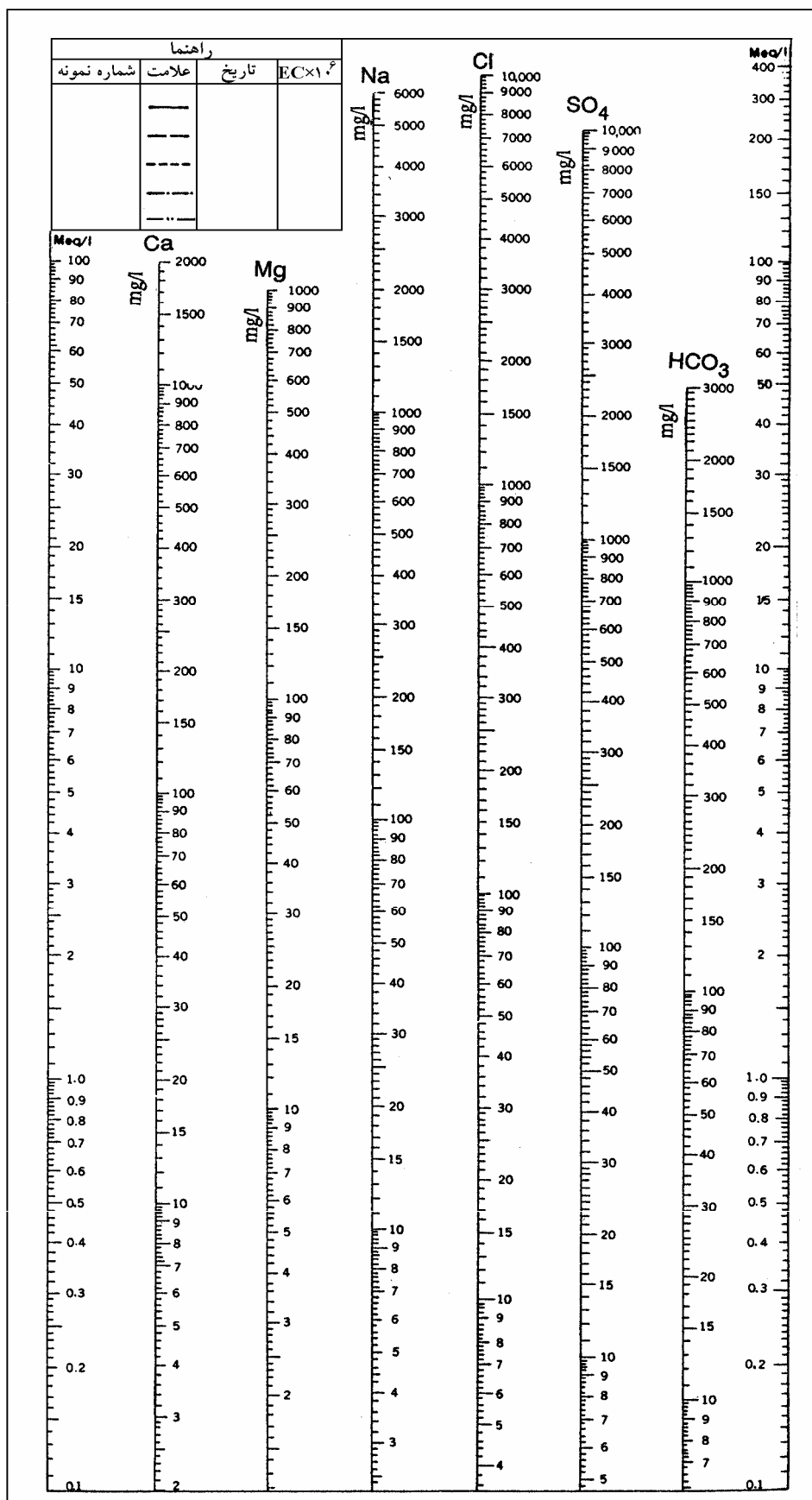
تهیه نمودارهای نیمه لگاریتمی بسیار آسان است. یک برگ کاغذ نیمه لگاریتمی را انتخاب کرده، روی محور x ها از چپ به راست به فواصل مساوی یونهای زیر با پیشوند r (رادیکال) به ترتیب جدا می‌شوند.



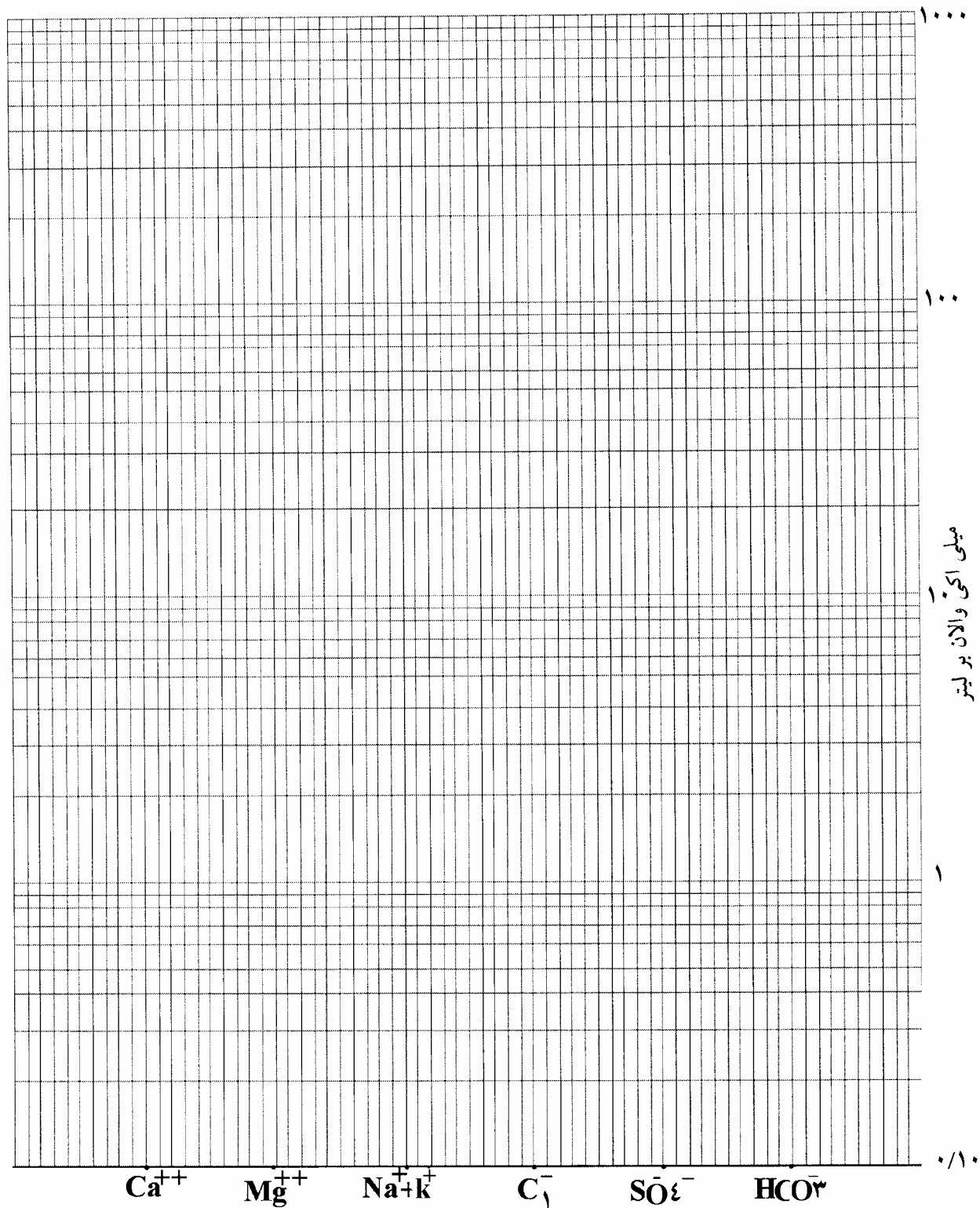
چون rCa کنار rMg و rCl کنار rNa و غیره قرار دارد می‌توان مقادیر روابط  $rMg/rCa$  و  $rSO_4/rCl$  و  $r \frac{Cl-Na}{Cl}$  را

قرائت کرد.

در امتداد محور y ها مقادیر هر یک از عناصر برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر قرار می‌گیرد. برای تبدیل مقادیر وزنی به میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌توان با تهیه یک خط‌کش محاسب یا مدول<sup>۱</sup> آنها را تبدیل کرد. بدین منظور یک نوار از کاغذ نیمه لگاریتمی به عرض ۳ سانتیمتر جدا کرده و روی آن برای کلسیم به ۲۰ قسمت، منیزیم به ۱۲ قسمت، سدیم ۲۳ قسمت، Cl تا ۳۵/۵ تا SO<sub>۴</sub> ۴۸ قسمت و HCO<sub>۳</sub> تا ۶۱ قسمت تقسیم می‌شود که در این صورت ۲۰ قسمت کلسیم روی اشل، معادل یک میلی‌اکی‌والان بر لیتر آن است  $rCa = \frac{۲۰ \text{ mg}}{۲}$  (شکل‌های ۲ و ۳).



شکل ۲- نمودار لگاریتمی برای نمایش و مقایسه نموداری کیفیت شیمیایی آبها



شکل ۳- نمودار نیمه لگاریتمی برای مقایسه و قرائت نسبت‌های معرف هیدروژن‌شیمیایی آب

## – قرائت نسبت‌های معرف هیدروشیمیایی

از فواید نمودارهای نیمه لگاریتمی، مقایسه سریع نسبت‌های بین عناصر آب است. اگر غلظت rCa و rMg یک نمونه آب با غلظت‌های r'Mg, r'Ca نمونه آب دیگری را در نظر گرفته و با یک خط مستقیم این نقاط بهم وصل شوند، چنانچه این خطوط موازی باشند نسبت‌های بین آنها مساوی است زیرا:

$$\log rMg - \log rCa = \log r'Mg - \log r'Ca = \log rMg / rCa = \log r'Mg / r'Ca$$

برای ارزیابی سایر نسبت‌ها به همین ترتیب عمل می‌شود. نسبت‌های مهم به قرار زیر است:

$$\frac{rMg}{rCa} \quad \frac{rSO_4}{rCl}$$

$$\frac{rCl - rNa - rK}{rCl} \quad \frac{rNa}{rCa + rMg} \quad \frac{rNa}{rCa} \quad \frac{rNa}{rMg}$$

## ۴-۵-۳-۲ نمودارهای ستونی کالینز<sup>۱</sup>

نمودارهای ستونی کالینز یکی از انواع نمودارهای کیفی است که برای مقایسه یک یا چند نمونه آب، تعیین نسبت‌های معرف هیدروژئوشیمیایی و تعیین فرمول فرضی ممکن آب، به صورت تصویری مورد استفاده قرار می‌گیرد. طراحی این نمودارها به صورت میله‌ای<sup>۲</sup> روی هم یا مطابق<sup>۳</sup> و پهلوی<sup>۴</sup> هم بوده که پیوسته از دو منطق ریاضی و شیمی تبعیت کرده و جایگاه مطالعاتی خاصی در امور مهندسی آب، بویژه در مطالعات هیدروژئولوژی دارد. از این نمودارها می‌توان به صورت تک ستونی و یا انفرادی برای مقایسه یک سری از آنیونها یا کاتیونهای مورد نظر استفاده و نتیجه گیری نمود. در حالت دوم به صورت دو ستون چسبیده بهم، برای مقایسه و به تصویر کشیدن آنیونها و کاتیونها بوده و در صورت سوم پارامترها یا ویژگیهای مورد نظر را میتوان در جایگاه ویژه آن قرار داده و استفاده کرد (شکل ۴). در صورتی که نمونه آبهای مورد مطالعه از سه نمونه بیشتر شود، می‌توان یک پانل نمودار تهیه و آبهای مورد نظر را در آن بررسی کرد.

## مکان عناصر شیمیایی، آنیونها، کاتیونها و سایر ویژگیها در نمودار ستونی کالینز

چون طراحی این نمودارها مبتنی بر منطق ریاضی و شیمی است، لذا در این نمودارها کاتیونها و آنیونها از پایین به بالا به ترتیب کاتیونهای کلسیم، منیزیم و بالای این دو سدیم قرار می‌گیرد. در صورتی که پتاسیم در آب وجود داشته باشد، به صورت مجموع سدیم و پتاسیم در روی نمودار نمایش داده می‌شود. در نمودار ستونی کاتیونها، کاتیون H<sup>+</sup> در بالاترین محل نمودار قرار

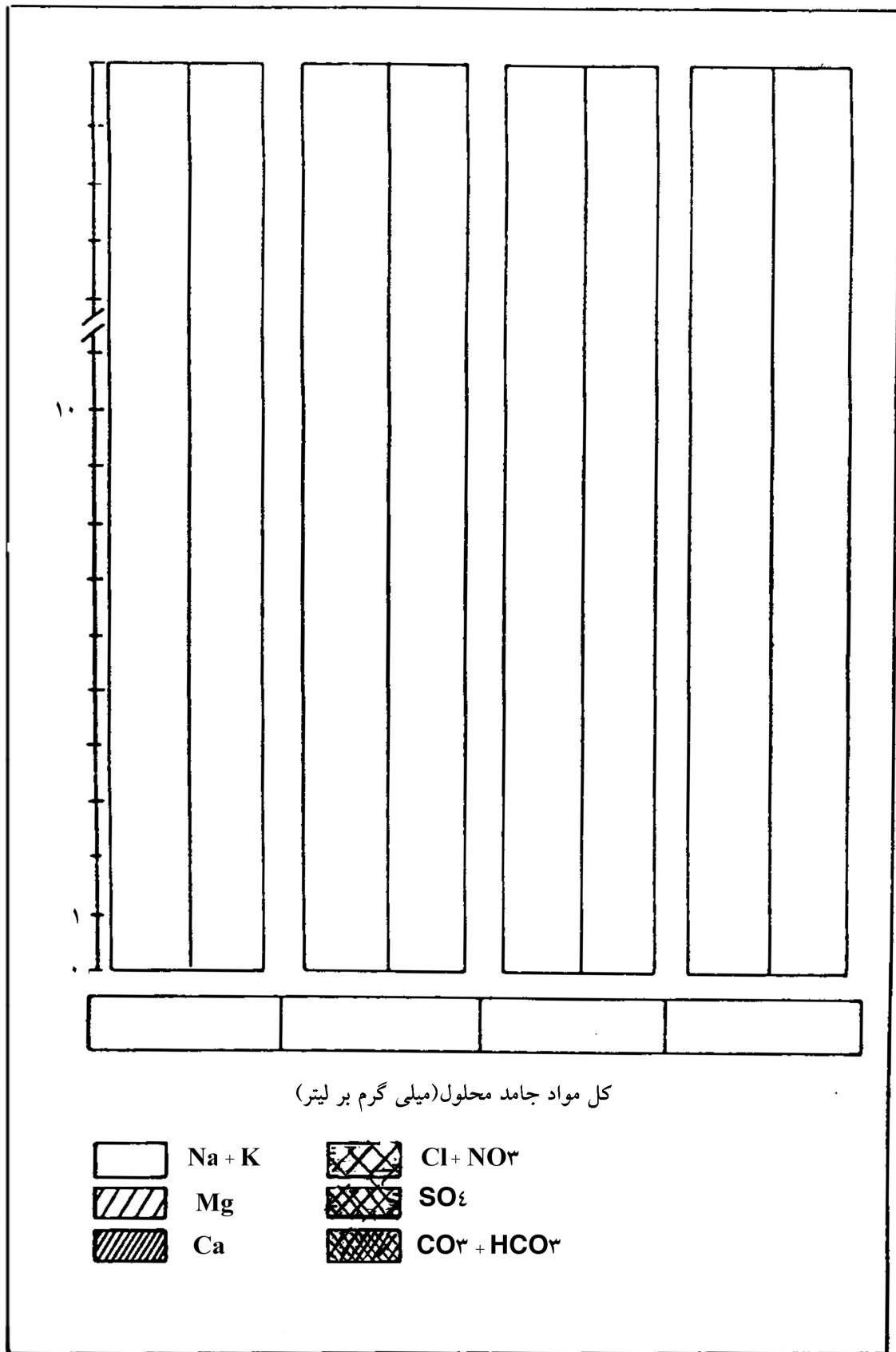
1 - Collin's  
2 - Bar Chart  
3 - Stack Bar  
4 - Side by Side Bar

می‌گیرد. در نمودار جنبی سمت راست، نمودار کالینز از پایین به بالا به ترتیب آنیونهای بیکربنات، سپس آنیون سولفات و آنگاه کلرید قرار می‌گیرد. اگر نیترات آب اندازه‌گیری شده باشد، غلظت اندازه‌گیری شده بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر به آنیون کلرید اضافه شده و به صورت مجموع کلرید و نیترات نمایش داده می‌شود. پارامترهای TH مجموع کاتیونهای کلسیم و منیزیم را در بر می‌گیرد.  $\text{OH}^-$  به مجموع  $\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$  اضافه شده و در خانه اول پایینی مربوط به کربناتها جای می‌گیرد. در بررسی آبخوانهای آهن دار، آهن اندازه‌گیری شده به صورت آهن کل بر حسب میلی‌گرم بر لیتر در سمت راست ستون آنیونی با  $\frac{1}{4}$  پهنای ستون مربوط قرار گرفته و مطالعه می‌شود. و تاکید می‌شود که محل پارامترهای ذکر شده به هیچ وجه قابل تغییر نیست.

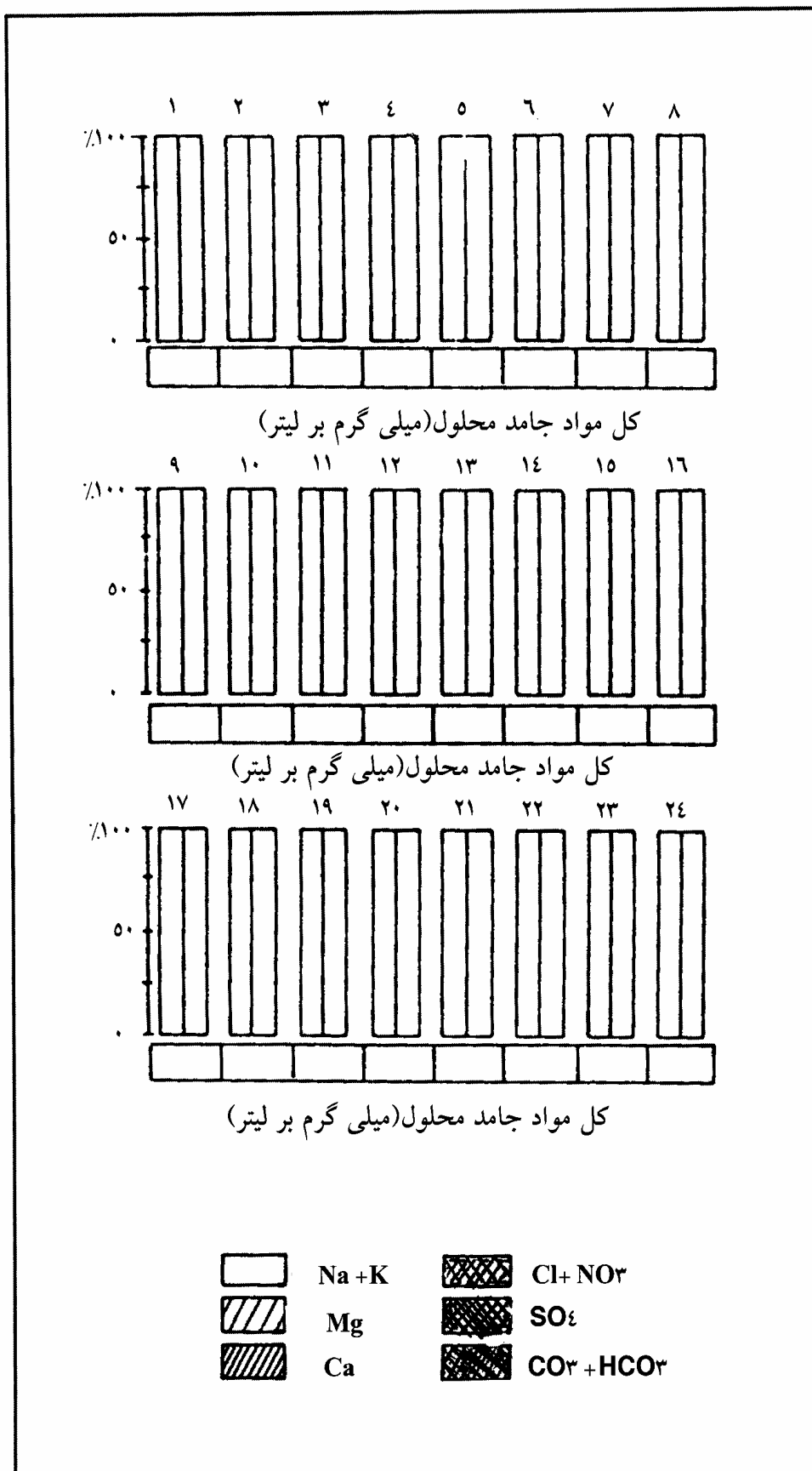
### تهیه نمودارهای ستونی کالینز

یک صفحه کاغذ کالک یا کاغذ میلی متری به قطع  $A_4$  یا هر اندازه مورد نظر انتخاب و در مکانی به فاصله ۳ سانتیمتر در کنار کاغذ و  $\frac{2}{3}$  از طول کاغذ یک نقطه انتخاب و دو محور عمود بر هم (محور X و محور Y) رسم می‌شود. محور Yها برای انتقال غلظت آنیونها یا کاتیونها بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر با فواصل دلخواه و مساوی، حسابی یا درصدی و محور موازی این محور برای نمایش غلظت پارامترهای مورد نظر بر حسب میلی‌گرم بر لیتر آهن و سختی استفاده می‌شود. در مقایسه آبهای بسیار شور ممکن است مجموع آنیونها یا کاتیونها از ۱۰۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر نیز تجاوز نماید در این صورت برای کاهش طول محور قائم و در کادر قرار گرفتن آن یک شکستگی محوری در طول قائم داده می‌شود (شکل ۴). در محور افقی با یک فاصله از محور قائم با فواصل مساوی سه نقطه انتخاب و از آن نقاط سه عمود رسم کرده و به ترتیب از پایین به بالا در ستون سمت چپ یا ستون کاتیونی؛ ابتدا غلظت مربوط به یون کلسیم و با توجه به اشل سمت چپ، نقطه‌یابی کرده و با یک خط افقی حد آنرا تعیین می‌نماییم. سپس همین عملیات در مورد کاتیون منیزیم، سدیم و پتاسیم ادامه داده می‌شود. در ستون جنبی یعنی ستون آنیونها، بی کربنات، سولفات، مجموع یونها کلرید و نیترات فاصله یابی و حدود آنها تعیین می‌شود (شکل‌های ۴ و ۵).





شکل ۴- نمایش و مقایسه ۴ نمونه آب مختلف به روش ستونی کالینز و نشان دادن علائم استاندارد آنها



شکل ۵- نمودار درصدی کالینز برای نمایش و مقایسه کیفیت ۲۴ نمونه آب

## کنترل و صحت نتایج آنالیزهای شیمیایی آبها

پس از ترسیم نمودار کالینز چنانچه بالاترین حد آنیونی و کاتیونی یک نمونه آب در امتداد هم قرار داشته باشد و یکدیگر را پوشش دهند، آب الکترولیت کامل بوده و کلیه اندازه گیریها از اعتماد کافی برخوردار است. در غیر این صورت با استفاده از رابطه استابلر<sup>۱</sup> می توان، در صد خطا را محاسبه کرد:

$$e = 100 \cdot \frac{rp - m}{rp + m}$$

e درصد خطا

rp مجموع کاتیونها یا بنیانهای مثبت

m مجموع آنیونها یا بنیانهای منفی

چنانچه درصد خطا منفی شود خطاها مربوط به یونهای مثبت است.

## نمایش غلظت سیلیس $\text{SiO}_2$

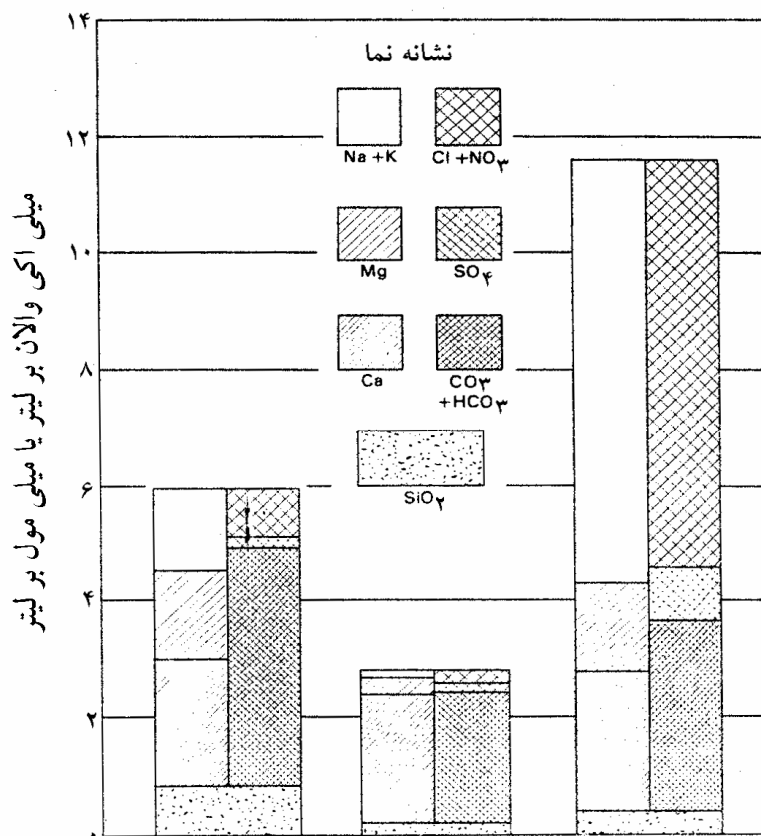
برای نشان دادن غلظت سیلیس در نمودار ستونی کالینز، غلظت سیلیس برحسب میلی مول بر لیتر با نشانه خطی یارنگی در زیر ستون آنیونها و کاتیونها نشان داده می شود شکل ۶. در مورد سیلیس چون گونه های محلول آن به شکل یون ظاهر نمی شود. لذا از واحد میلی اکی والان بر لیتر نمی توان استفاده کرد.

## نمایش غلظت سختی کل TH

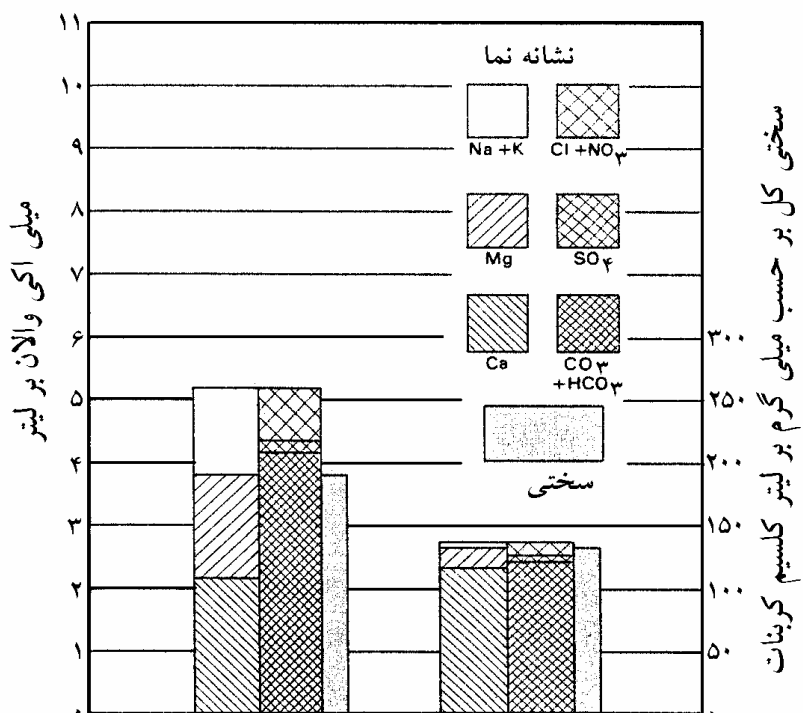
برای نشان دادن سختی کل در نمودار کالینز، اشل دیگری در طرف راست نمودار (شکل ۷) و به صورت میلی گرم بر لیتر انتخاب می شود، به طوری که هر واحد آن مساوی ۵۰ میلی گرم بر لیتر کلسیم کربنات بوده که مساوی یک میلی اکی والان بر لیتر ستون مقابل می باشد. میزان سختی کل برحسب میلی گرم بر لیتر کلسیم کربنات در سمت راست سایر پارامترها با اشل عرضی  $\frac{1}{3}$  آنیونها با نشانه مربوطه یارنگی نشان داده می شود (شکل ۷).

## نمایش آهن Fe

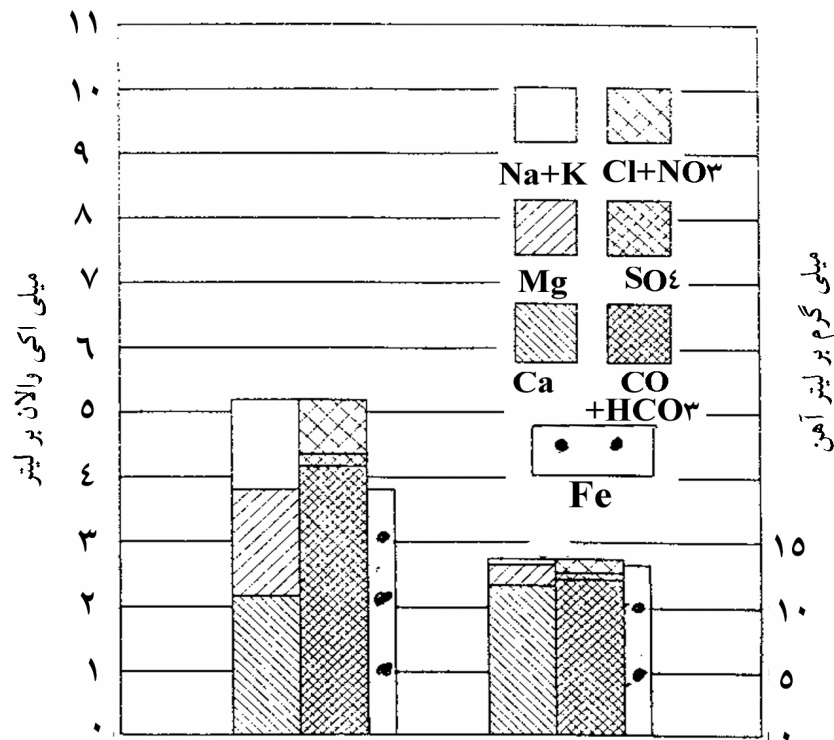
برای نشان دادن غلظت آهن در سمت راست نمودار کالینز (شکل ۸) اشل دیگری به صورت میلی گرم بر لیتر با همان ابعاد انتخاب می شود. میزان غلظت نمونه مورد نظر روی آن مشخص شده و به صورت ستونی عمودی در سمت راست ستون آنیونها و کاتیونها با عرض مساوی  $\frac{1}{3}$  سایر پارامترها با نشانه مربوطه یا رنگی نشان داده می شود (شکل ۸).



شکل ۶- نمایش کیفیت سه نمونه آب سیلیس دار مفروض با نمودار ستونی کالینز



شکل ۷- نمایش غلظت کاتیونها و آنیونهای عمده و سختی کل دو نمونه آب و نشانه‌های مربوط به آنها



شکل ۸- نمایش غلظت آنیونها و کاتیونهای عمده و آهن دو نمونه آب با نشانه‌های مربوط

### محاسبه ترکیب فرضی آب<sup>۱</sup>

پس از انتقال داده‌های آنالیز شیمیایی مربوط به تجزیه کامل به روی نمودار ستونی کالینز و بررسی آنها از نظر صحت، برای تعیین ترکیب شیمیایی فرضی آبهای مورد مقایسه به ترتیب زیر اقدام می‌شود:

ستون‌های کاتیونی و آنیونی پیوسته، حداقل سه کاتیون و سه آنیون عمده را در بر گرفته که بر حسب غلظت مربوط حدود هریک تعیین شده و محاسبات مربوط به آن با توجه به نمودار کالینز و طبق نظریه هیل<sup>۲</sup> انجام می‌پذیرد.

بر مبنای این تئوری ابتدا باید کربناتها نسبت به کلسیم محاسبه شود. هر گاه کربنات از مقدار مورد نیاز کلسیم تجاوز نماید مازاد آن به صورت منیزیم کربنات محاسبه می‌شود. سولفات و کلرید نیز بنیانه‌های مشابه بوده و با منیزیم تا تمام شدن آن ترکیب می‌شوند. چنانچه کلسیم بیش از مقدار مورد نیاز کربنات باشد منیزیم کربنات موجود نبوده و مازاد کلسیم ابتداء با سولفات و سپس با کلرید و نیترات ترکیب خواهد شد. منیزیم نیز با باقیمانده کلرید و سولفات به طور کامل ترکیب می‌شود. باقیمانده کلرید و سولفات و نیترات را می‌توان به صورت نمک‌های سدیم و پتاسیم محاسبه کرد.

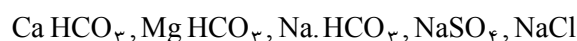
چنانچه کلسیم نمونه آبی با بی‌کربناتها و منیزیم با سولفاتها و نیز کل کاتیونهای سدیم و پتاسیم مقابل آنیون کلرید قرار گرفته باشد، در این صورت سه ترکیب فرضی قابل ارائه است.



1 - Hypothetical Combination

2 - Hale

حال در صورتی که حدود یکی از کاتیونها و آنیونها با یکدیگر پوشش نداشته باشد، ترکیبات مختلف شیمیایی ممکن است وجود داشته باشد. چنانچه کلسیم بخشی از بیکربنات را شامل شود، ابتداء کلسیم بی کربنات و سپس بقیه بیکربناتها به صورت منیزیم بیکربنات در آب وجود خواهند داشت و به همین ترتیب اگر کلسیم و منیزیم در کمترین غلظت و سدیم یون غالب باشد در این صورت ترکیب شیمیایی آب مورد نظر به ترتیب زیر خواهد بود:



### ارزیابی نسبت‌های معرف هیدروژن‌شیمیایی با نمودار کالینز

با توجه به نمودار کالینز چنانچه کاتیونهای Ca و Mg از فواصل مساوی برخوردار باشند نسبت  $\frac{rMg}{rCa}$  مساوی یک و در صورتی که فاصله غلظتی کلسیم بیشتر از منیزیم باشد این نسبت از یک کوچکتر و در حالت عکس از یک بزرگتر خواهد بود. همچنین در مورد سایر نسبت‌های معرف هیدروژن‌شیمیایی نیز به همین طریق عمل می‌شود.

### نمودار درصدی کالینز

نمودار کالینز به دو صورت با اشل میلی اکی والان بر لیتر و درصدی نمایش داده می‌شود. در نمودار کالینز با اشل میلی اکی والان بر لیتر غلظت عناصر شیمیایی بر حسب میلی اکی والان بر لیتر با در نظر گرفتن اشل عمودی ترسیم می‌شود ولی در نمودار با اشل در صدی عناصر بر حسب در صد، محاسبه و منظور می‌شوند (شکل ۹).

$$\%Ca = \frac{rCa \times 100}{\text{مجموع کاتیونها}}$$

$$\%Cl = \frac{rCl \times 100}{\text{مجموع آنیونها}}$$

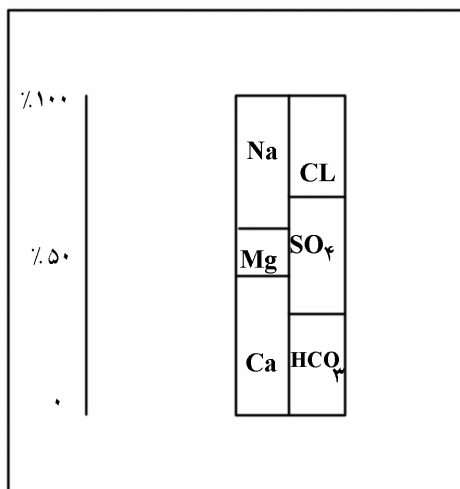
### تعیین فرمول درصدی ترکیب شیمیایی آبها

برای به دست آوردن فرمول درصدی ترکیب شیمیایی آبها همانند محاسبه فرمول غلظتی طبق نظریه هیل عمل می‌شود. بدین ترتیب که ابتدا نمودار درصدی کالینز را برای نمونه مورد نظر تهیه کرده و پس از واریسی آنها از نظر صحت و دقت عمل برای تعیین درصد هر یک از ترکیبات با توجه به اشل درصدی سمت چپ نمودار اقدام می‌شود.

اگر کلسیم با بیکربناتها و منیزیم با سولفاتها و نیز کل کاتیونهای سدیم و پتاسیم مقابل آنیون کلرید قرار گرفته باشد، در این صورت امتداد حد بین آنها را روی اشل قرائت کرده و در صد ترکیبات زیر به ترتیب مشخص می‌شود:



در صورتی که حدود هیچ یک از کاتیونها و آنیونها با هم پوشش نداشته باشند، اگر موارد زیر در نظر گرفته شود با تهیه نمودار کالینز حدود پوشش تعیین می‌شود (شکل ۹):



Ca HCO <sub>3</sub>	%۲۶	کلسیم کربنات
Ca SO <sub>4</sub>	%۱۱	کلسیم سولفات
Mg SO <sub>4</sub>	%۱۳	منیزیم سولفات
Na SO <sub>4</sub>	%۹	سدیم سولفات
Na Cl	%۴۱	سدیم کلرید

در نظر گرفته شود.

شکل ۹- نمودار کالینز درصدی و تعیین فرمول شیمیایی آب

### نشانه رنگی نمودارهای کالینز

برای نمایش نموداری ترکیب شیمیایی آنها علاوه بر نشانه‌ها از رنگ نیز ممکن است استفاده می‌شود. در صورت تهیه این نمودار ستونی رنگی، رنگهای استاندارد زیر برای هر یک از آنیونها و کاتیونها در نظر گرفته شده است:

Ca	قرمز
Mg	نارنجی
Na+K	بی رنگ
HCO <sub>3</sub>	آبی
SO <sub>4</sub>	زرد
Cl + NO <sub>3</sub>	سبز
Fe	قرمز جگری
SiO <sub>2</sub>	خاکستری

### ۴-۵-۳ نمودارهای لگاریتمی

نمودار لگاریتمی از ۶ محور موازی محور y به فواصل مساوی تشکیل شده. این خطوط عمودی از چپ به راست مربوط به غلظت Ca, Mg, Na, Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub> است. که برحسب میلی‌گرم بر لیتر مدرج شده است. برای انتقال داده‌ها برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر از دو محور چپ و راست کناری می‌توان استفاده کرد.

در این نمودارها ترکیب شیمیایی چندین نمونه آب را می‌توان تهیه و مقایسه کرد (شکل ۲).

#### ۴-۵-۴ حاصل ضرب حلالیت

حاصل ضرب حلالیت، یکی از مهمترین پارامترهای هیدروژئوشیمیایی در مطالعه ژئوشیمی آبهای زیرزمینی است. این پارامتر علل تحول ترکیب شیمیایی آبهای زیرزمینی و سطحی را به دست می دهد.

#### • اشباع $\text{CaSO}_4$

چنانچه حاصل ضرب  $(\text{Ca})(\text{SO}_4)$  یک نمونه آب با حاصل ضرب حلالیت کلسیم سولفات یعنی :

$$(\text{Ca})(\text{SO}_4) = K_{\text{CaSO}_4} \quad (1)$$

مقایسه شود حاصل ضرب حلالیت از ضرب کردن غلظت مولی  $\text{SO}_4$  و  $\text{Ca}$  حاصل می شود که اگر از ضرب غلظت میلی اکی والانی آنها برای به دست آوردن حاصل ضرب حلالیت استفاده شود، رابطه ۲ را خواهیم داشت :

$$(r\text{SO}_4)(r\text{Ca}) = K_{\text{CaSO}_4} \times 10^6 \quad (2)$$

اگر بر روی یک کاغذ نیمه لگاریتمی داده های مربوط به تجزیه آب را انتقال داده و نصف فاصله  $r\text{SO}_4$  و  $r\text{Ca}$  را تعیین کرده و خط عمودی از آن عبور داده شود، رابطه ۳ به صورت زیر به دست می آید:

$$2 \times 10^3 \sqrt{K_{\text{CaSO}_4}} = \sqrt{(r\text{SO}_4)(r\text{Ca})} \quad (3)$$

نقطه تلاقی خط عمود با خط فاصل بین  $r\text{SO}_4$  و  $r\text{Ca}$  برابر  $S_0$  بوده که معرف حاصل ضرب حلالیت است و چون روی کاغذ نیمه لگاریتمی کار شده است با لگاریتم گرفتن از رابطه ۳، رابطه ۴ حاصل می شود که اثبات نصف فاصله  $r\text{SO}_4$  و  $r\text{Ca}$  را به دست می دهد:

$$\log \sqrt{(r\text{SO}_4)(r\text{Ca})} = \frac{1}{2} (\log(r\text{SO}_4) + \log(r\text{Ca})) \quad (4)$$

حال  $r'\text{SO}_4$  و  $r'\text{Ca}$  آب مورد نظر را به هم وصل کرده تا خط عمود  $S_0$  را قطع کند.

$$\frac{1}{2} [\log(r'\text{SO}_4) + \log(r'\text{Ca})] = \log S'$$

$$S' = \sqrt{(r'\text{SO}_4)(r'\text{Ca})}$$

نقطه اشباع کلسیم سولفات با نیروی یونی، دما و غلظت  $\text{NaCl}$  تغییر کرده و ممکن است تا سه برابر افزایش یابد.



• وسایل و داده‌های مورد نیاز

۱- کاغذ نیمه لگاریتمی شکل ۱۰

۲- داده‌های مربوط به تجزیه آب موردنظر و دمای نمونه آب در محل نمونه‌برداری

۳- محاسبه نیروی یونی

روش ترسیمی

ابتدا بر روی محور x، کاغذ نیمه لگاریتمی به فواصل مساوی و به ترتیب از چپ به راست محلهای:

$$rCa, rMg, r(Na + K), rCl, rSO_4, r(HCO_3 + CO_3)$$

را جدا کرده و غلظتهای میلی‌اکی‌والانی یونهای موردنظر به ترتیب روی محور y کاغذ نیمه لگاریتمی یادداشت می‌شود. سپس با اتصال نقاط تعیین شده منحنی نمونه آب تهیه می‌شود. با تعیین نصف فاصله  $rSO_4$  و  $rCa$  و عبور خط عمودی از محل تلاقی خط فاصل بین  $rSO_4$  و  $rCa$  با خط عمود،  $So$  نامیده می‌شود. همانطور که ذکر شد چون در اشباع کلسیم سولفات نمونه آب، درجه دما، نیروی یونی و غلظت  $NaCl$  مؤثر می‌باشد لذا باید این عوامل را از جدول ۱ و مدول شکل ۱۱ پیدا نموده و نقطه  $S'$  را بر روی محور  $So$  مشخص نماییم. چنانچه  $S'$  منطبق بر  $So$  باشد سولفات کلسیم آب در حال اشباع است و اگر  $S'$  پایین‌تر از  $So$  باشد آب زیر اشباع است و هنوز قادر به حل مقادیر بیشتری از کلسیم سولفات می‌باشد و در حالت سوم اگر  $S'$  بالاتر از  $So$  باشد آب فوق اشباع بوده و ممکن است کلسیم سولفات را رسوب کند.

محاسبه نیروی یونی

نیروی یونی را با  $\mu$  نمایش داده و از فرمول زیر قابل محاسبه است:

$$\mu = \frac{1}{2} [c_1 z_1^2 + c_2 z_2^2 + \dots + c_n z_n^2] \quad (1)$$

$c_1, c_2, \dots, c_n$  غلظت برحسب مول بر لیتر یونها

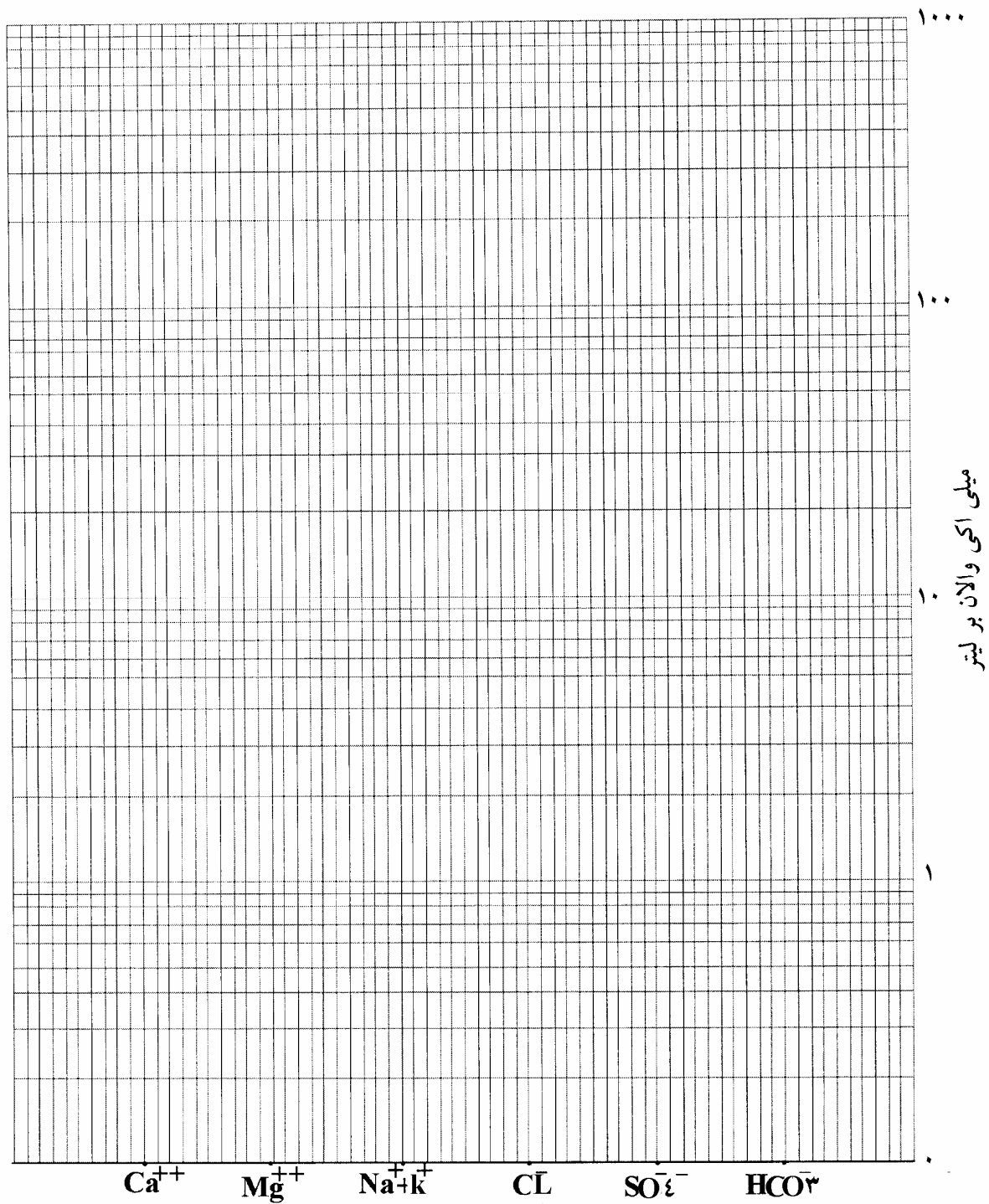
$z_1, z_2, \dots, z_n$  ظرفیت یونها

چون داده‌های مربوط به تجزیه شیمیایی آب باید برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر باشد پس در این صورت نیروی یونی آب برحسب داده‌های تجزیه شیمیایی برطبق رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\mu = \left[ \frac{rCl + rNa + rK + rHCO_3 + rNO_3}{2} + rSO_4 + rCO_3 + rCa + rMg + rFe \right] \times 10^{-3} \quad (2)$$

و یا

$$\mu = \frac{1}{2} [r_1 z_1 + r_2 z_2 + \dots + r_n z_n] \times 10^{-3}$$

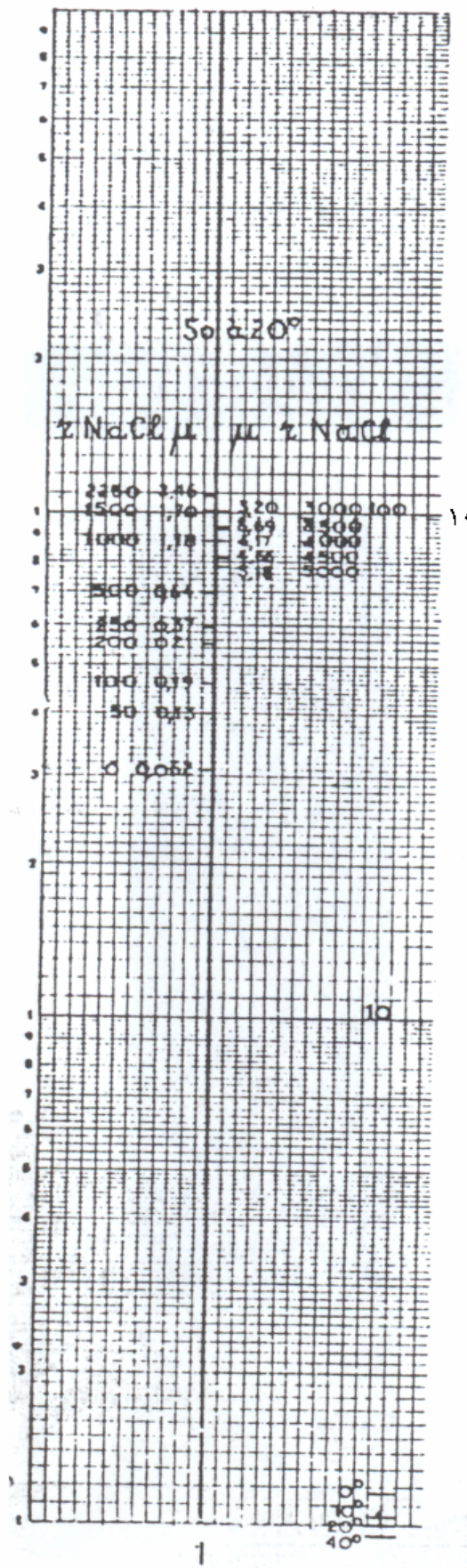


شکل ۱۰- فرم نیمه لگاریتمی برای انتقال داده‌های آزمایش آب و محاسبه اشباع  $\text{CaSO}_4$

جدول ۱- تغییرات حاصل ضرب حلالیت  $\text{CaSO}_4$  با دما و غلظت  $\text{NaCl}$  با نیروی یونی

نیروی یونی		$\text{CaSO}_4$ meq/L		NaCl Meq/l
در ۲۰ درجه سانتی گراد	در ۱۴ درجه سانتی گراد	در ۲۰ درجه سانتی گراد	در ۱۴ درجه سانتی گراد	
۰/۰۶۲	۰/۰۵۰	۳۱	۲۵	۰
۰/۱۳۰	۰/۱۱۸	۴۰	۳۴	۵۰
۰/۱۹۲	۰/۱۸۲	۴۶	۴۱	۱۰۰
۰/۲۱۰	۰/۳۰۰	۵۵	۵۰	۲۰۰
۰/۳۶۸	۰/۳۵۸	۵۹	۵۴	۲۵۰
۰/۶۳۸	۰/۶۵۰	۶۹	۶۵	۵۰۰
۱/۱۷۶	۱/۱۶۸	۸۸	۸۴	۱۰۰۰
۱/۷۰۲	۱/۶۹۴	۱۰۱	۹۷	۱۵۰۰
۱/۹۶۰	۱/۹۵۲	۱۰۵	۱۰۱	۱۷۵۰
۲/۲۱۴	۲/۲۰۸	۱۰۷	۱۰۴	۲۰۰۰
۲/۴۶۴	۲/۴۶۲	۱۰۷	۱۰۶	۲۲۵۰
۲/۷۱۰	۲/۷۰۸	۱۰۵	۱۰۴	۲۵۰۰
۲/۹۵۸	۲/۹۵۶	۱۰۳	۱۰۳	۲۷۵۰
۳/۲۰۰	۳/۲۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۳۰۰۰
۳/۶۸۶	۳/۶۸۶	۹۳	۹۳	۳۵۰۰
۴/۱۷۴	۴/۱۷۴	۸۷	۸۷	۴۰۰۰
۴/۶۶۲	۴/۶۶۲	۸۱	۸۱	۴۵۰۰
۵/۱۵۶	۵/۱۵۶	۷۸	۷۸	۵۰۰۰

دما ° ۶۰ ° ۵۵ ° ۴۰ ° ۳۰ ° ۲۰ ° ۱۰ ° °  
 -۳/۸ -۱/۳ ۰ ۱/۲ ۱/۶ ۱/۰ ۰



شکل ۱۱- اشل حاصل ضرب حلالیت  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  برای نیروی یونی و درجه حرارتهای مختلف

شکل ۱۲- محاسبه نیروی یونی آب به وسیله نمودار نشان داده شده که با انتقال داده‌های غلظتی عناصر و آنیونها و کاتیونها بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر بروی محور مربوط نیروی یونی از محورهای طرفین خوانده می‌شود.

#### ۴-۵-۵ تعیین و ارزیابی اشباع کلسیم کربنات

تعیین و دانستن درجه اشباع کربنات کلسیم در روند کلی تحول ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی از محل‌های تغذیه، ذخیره، خروجی، رگه‌های آب معدنی و چشمه‌های معدنی در ارتباط با سازندهای آهکی اهمیت زیادی دارد. پدیده ایجاد غارهای آهکی و تشکیل نهشته‌های تراورتنی، نتیجه انحلال سنگهای آهکی در تماس با آب فوق اشباع کلسیم کربنات بوده، که پس از تماس با هوا موجب به جاگذاری رسوبات آهکی می‌شود.

در برنامه‌های بهره‌برداری از منابع آبی، پیش‌بینی‌های لازم برای انتخاب آلیاژ کاربردی در تجهیزات چاهها، آبرسانی و مخازن آبی و نیز لوله‌های سیمانی و سدها باید انجام گیرد. و همچنین تعیین و ارزیابی اشباع کربنات در صنایع مختلف برای بازدهی بیشتر و جلوگیری از خسارات احتمالی و افزایش عمر مفید اقتصادی در حالت‌های خوردگی، رسوبگذاری و غیره نقش مهمی ایفاء می‌کند.

باید دانست چنانچه غلظت بیکربنات‌های نمونه آبی بیشتر از ۱۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر  $\text{rHCO}_3 > 10$  باشد، حدود  $800 - 600 \text{ mg/l}$  میلی‌گرم بر لیتر آن مربوط به کربنات کلسیم و بقیه آن مربوط به کربنات سدیم است.

تعیین اشباع کربنات کلسیم به روش محاسباتی بسیار پیچیده و وقت‌گیر بوده و اغلب باعث اشتباه می‌شود ولی با روش نموداری و استفاده از اشل‌های مربوط بسیار آسان و سریع انجام می‌پذیرد.

#### اشباع کلسیم کربنات $\text{CaCO}_3$

مقدار  $\text{CaCO}_3$  آب بستگی به ضریب حلالیت کلسیم کربنات یا  $(\text{Ca})(\text{CO}_3) = K_0$  داشته که خود با فشار  $\text{CO}_2$  گازی هوا در تماس با آب یا  $\delta$  در تغییر می‌باشد.

معادلات زیر روابط تعادلی این فرایندها را نشان می‌دهد:

$$(\text{H}_2\text{CO}_3) = \frac{\alpha \delta}{\gamma_2 / 4} \quad (1)$$

$$\frac{< \text{H}^+ > (\text{HCO}_3^-)}{(\text{H}_2\text{CO}_3)} = K_1''' = \frac{\gamma_0}{\gamma_1} K_1 \quad (2)$$

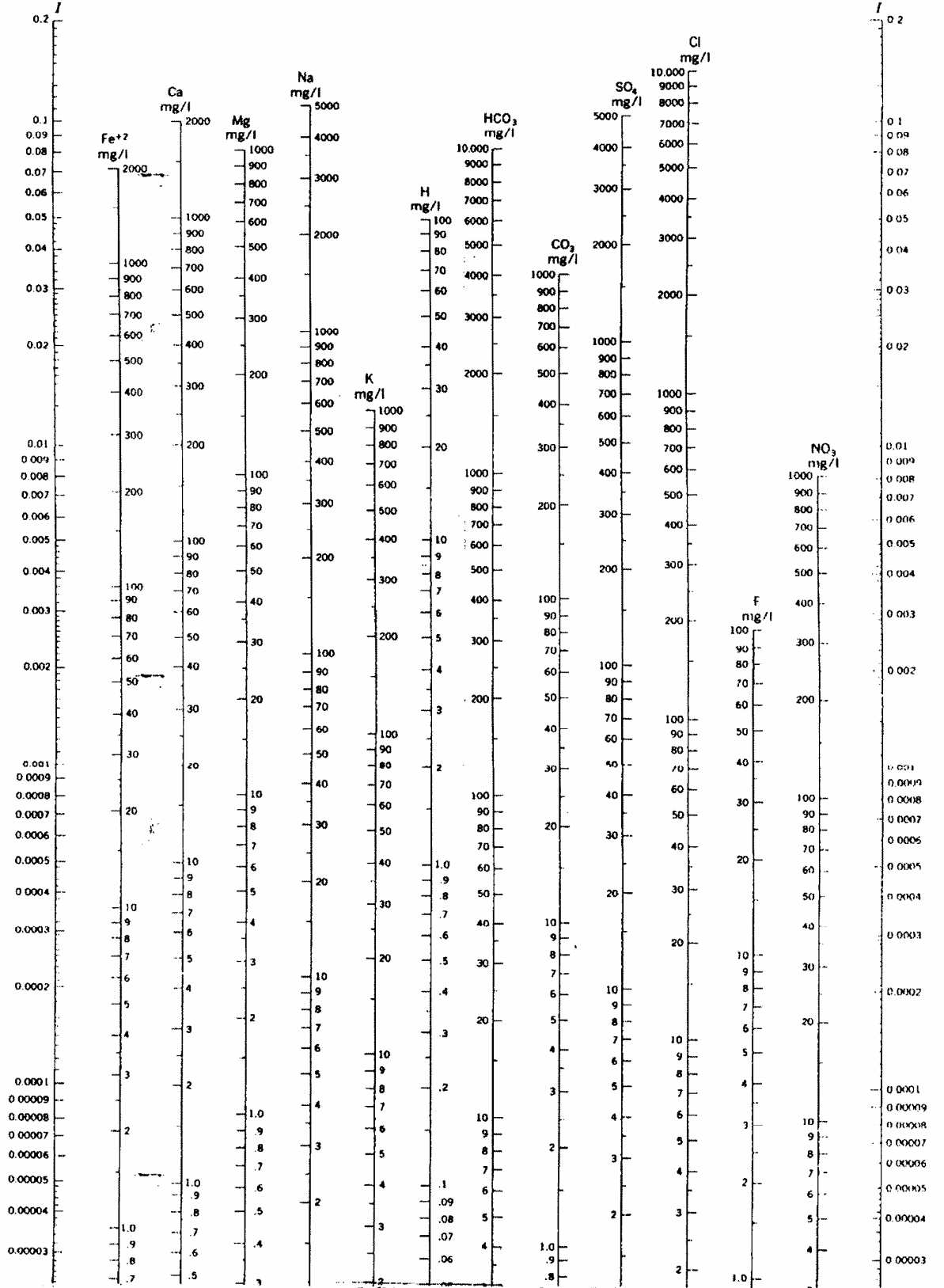
$$\frac{< \text{H}^+ > (\text{HCO}_3^{2-})}{(\text{HCO}_3^-)} = K_2''' = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} K_2 \quad (3)$$

$$(\text{CO}_3^{2-})(\text{Ca}^{++}) = K'C = \frac{KC}{\gamma_{\text{Ca}}\gamma_2} \quad (4)$$

$$< \text{H}^+ > < \text{OH}^- > = K_{\text{H}_2\text{O}} \quad (5)$$

نیروی یونی

نیروی یونی



شکل ۱۲- نمودار محاسبه نیروی یونی آب

$\delta$  فشار  $\text{CO}_2$  گازی هوا در تماس با آب  
 $\alpha$  ضریب حلالیت  $\text{H}_2\text{CO}_3$  در آب با نیروی یونی  $\mu$   
 ( ) غلظت مولی «مولار»  
 $\langle \rangle$  غلظت‌های فعال  
 که در این صورت روابط زیر را می‌توان نوشت :

$$(\text{HCO}_3^-)^2 (\text{Ca}^{++}) = (\text{H}_2\text{CO}_3) / \frac{K_2''}{K_1'' K'_0} = \frac{\alpha \delta}{22/4} / \frac{K_2''}{K_1'' K'_0}$$

روابط ۲، ۳ و ۴ را می‌توان به شکل معادله نوشت :

$$\frac{K_2''}{K_1'' K'_0} = \frac{K_2}{K_1 K'_0} \gamma_1^2 \gamma_{\text{Ca}}$$

که  $\gamma_1$  ضریب فعالیت  $\text{HCO}_3^-$  و  $\gamma_2$  ضریب فعالیت  $\text{CO}_3$  و  $\gamma_{\text{Ca}}$  ضریب فعالیت کلسیم در نظر گرفته شده و روابط بالا به صورت زیر درمی‌آید:

$$\langle r\text{HCO}_3^- \rangle = (\text{HCO}_3^-) \times 10^3$$

$$\langle r\text{Ca}^{++} \rangle = 2(\text{Ca}^{++}) \times 10^3$$

حال  $K_T$  در ریشه سوم محاسبه می‌شود.

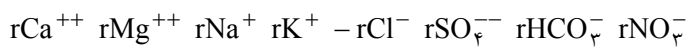
$$K_T = \sqrt[3]{(2\text{HCO}_3^-)^2 (2\text{Ca})} = \sqrt[3]{2(\text{H}_2\text{CO}_3) / \frac{K_2''}{K_1'' K'_0}} \times 10^3$$

$$K_T = \sqrt[3]{\frac{\alpha \gamma}{22/4} / \frac{K_2''}{K_1'' K'_0}} \times 10^3$$

در فرمول بالا  $K_T$ ، تابعی از تغییرات غلظت  $\text{CO}_2$  آزاد محلول در آب به صورت  $\text{H}_2\text{CO}_3$  و فشار  $\text{CO}_2$  در تماس با آب است.

• وسایل و داده‌های مورد نیاز :

- کاغذ نیمه لگاریتمی،
- خط‌کش،
- داده‌های مربوط به غلظت کاتیونها و آنیونهای زیر برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر :



- اندازه‌گیری درجه حرارت آب در محل  $\theta$ ، pH و محاسبه نیروی یونی آب

• محاسبه نیروی یونی آب  $\mu$ :

با داشتن غلظت کاتیونها و آنیونهای آب برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌توان نیروی یونی آب را با بکارگرفتن معادله زیر، و یا نمودار شکل ۱۲ محاسبه کرد:

$$\mu = 0.001 \left( \frac{rCl + rHCO_3 + rNO_3 + rNa + rK}{2} + rSO_4 + rCO_3 + rCa + rMg \right)$$

• روش کار:

یک برگ کاغذ نیمه لگاریتمی انتخاب نموده و روی محور Xها از چپ به راست به ترتیب و به فواصل مساوی  $rCa, rMg, r(Na + K), rCl, rSO_4, rHCO_3$  جدا شوند، آنگاه بر روی محور Yها با در نظرگرفتن غلظتهای آب مورد مطالعه هر مدول از پایین به بالا مساوی  $100 - 10 - 1 - 0.1$  جدا شود. حال کاتیونها و آنیونهای آب را بر روی کاغذ پیاده کرده و نقاط مربوط را به هم متصل تا منحنی نیمه لگاریتمی آب به دست آید.

روی نمودار نیمه لگاریتمی به فاصله  $\frac{1}{3}$  از  $rHCO_3^-$  و  $\frac{2}{3}$  از  $rCa^{++}$  نقطه مربوط به  $K_T$  تعیین و محور عمودی از آن گذرانده شود و اشل شماره ۳ که ارتباط  $K_T$  را با  $\mu$  نشان می‌دهد با توجه به مدولهای کاغذ و اشل بر روی محور  $K_T$  برده شود، بدین ترتیب که نقطه مبداء اشل با مبداء کاغذ منطبق شود. در غیر این صورت از این اشل استفاده نموده و محل حقیقی و تصحیح شده  $K_T$  را در ارتباط با  $\mu$  و دما تعیین و شیفت داده شود. سپس با خط مستقیم نقاط  $rCa^{++}$  و  $rHCO_3^-$  را به هم وصل کرده تا محور  $K_T$  را در نقطه  $K'_T$  قطع نماید. اگر از فرمول  $K_T$  لگاریتم گرفته شود خواهیم داشت:

$$\log K'_T = \frac{1}{3} \left[ 2 \log r' HCO_3^- + \log r' Ca^{++} \right]$$

و بنابراین:

$$K'_T = \sqrt[3]{(r' HCO_3^-)^2 (r' Ca^{++})}$$

در نتیجه محل  $K'_T$  بستگی تام به نیروی یونی آب  $\mu$  و دمای آن دارد. حال بر روی محور  $K_T$  سه حالت به شرح زیر پدید می‌آید:

- اگر نقاط  $K_T$  و  $K'_T$  بر هم منطبق گردند آب نسبت به کلسیم کربنات در حال اشباع است.
- چنانچه  $K'_T$  بالاتر از  $K_T$  قرار گیرد آب نسبت به کلسیم کربنات در حالت فوق اشباع است.
- در حالت سوم اگر  $K'_T$  پایین‌تر از  $K_T$  قرار گیرد آب توانایی حل و در برگیری مقادیر بیشتری از کلسیم کربنات سازند را دارد در این حالت آب زیر اشباع بوده و خاصیت خوردگی دارد.



- می‌توان درجه اشباع کلسیم کربنات آب را در ارتباط با pH تعیین نمود که در این روش pH آب با  $pH_{eq}$  (تعادل) که همان pH اشباع می‌باشد مقایسه می‌شود و در حقیقت این موضوع همان شاخص لانژیله (LI) یا شاخص اشباع (SI) می‌باشد.  $pH_{eq}$  از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$pH_{eq} = \log \frac{K'_c}{K_p} - \log (HCO_3^-) - \log (Ca^{++})$$

مطابق توضیحات قبل، نصف فاصله  $r'Ca^{++}$  و  $r'HCO_3^-$  آب مورد نظر روی منحنی نیمه لگاریتمی تعیین و محور عمود بر آن رسم شود. آنگاه اشل شماره ۴ که در آن  $pH_{eq}$  در رابطه با  $\mu$  مدرج گشته، پیاده شود. در این اشل مقدار  $\mu$  در پایین‌ترین خط اشل به صورت قطعاتی حساب شده، که هنگام حرکت تطبیقی به طرف بالا رانده می‌شود. pH آب با نیروی یونی  $\mu$  و دما بستگی دارد که از فرمول  $\Delta pH = 3/618 \sqrt{\mu}$  محاسبه می‌شود. جدول ۲ تغییرات مقادیر pH در رابطه با  $\mu$  و دما مرتب شده است.

جدول ۲- تغییرات  $\Delta pH$  در رابطه با نیروی یونی و دمای آب

$\mu$	$\Delta pH$	$\mu$	$\Delta pH$	$\theta$	$\Delta pH$	$\theta$	$\Delta pH$
۰/۰۰۱	۰/۱۲	۰/۰۱۴	۰/۴۴	۰°	۰/۵۰	۱۶°	۰/۱۸
۰/۰۰۲	۰/۱۶	۰/۰۱۵	۰/۴۵	۱°	۰/۴۸	۱۷°	۰/۱۶
۰/۰۰۳	۰/۲۰	۰/۰۱۶	۰/۴۷	۲°	۰/۴۶	۱۸°	۰/۱۴
۰/۰۰۴	۰/۲۳	۰/۰۱۷	۰/۴۸	۳°	۰/۴۴	۱۹°	۰/۱۲
۰/۰۰۵	۰/۲۶	۰/۰۱۸	۰/۴۹	۴°	۰/۴۲	۲۰°	۰/۱۰
۰/۰۰۶	۰/۲۸	۰/۰۱۹	۰/۵۱	۵°	۰/۴۰	۲۱°	۰/۰۸
۰/۰۰۷	۰/۳۱	۰/۰۲۰	۰/۵۲	۶°	۰/۳۸	۲۲°	۰/۰۶
۰/۰۰۸	۰/۳۳	۰/۰۲۱	۰/۵۳	۷°	۰/۳۶	۲۳°	۰/۰۴
۰/۰۰۹	۰/۳۵	۰/۰۲۲	۰/۵۵	۸°	۰/۳۴	۲۴°	۰/۰۲
۰/۰۱۰	۰/۳۷	۰/۰۲۳	۰/۵۶	۹°	۰/۳۲	۲۵°	۰/۰۰
۰/۰۱۱	۰/۳۹	۰/۰۲۴	۰/۵۷	۱۰°	۰/۳۰	۲۶°	-۰/۰۲
۰/۰۱۲	۰/۴۰	۰/۰۲۵	۰/۵۸	۱۱°	۰/۲۸	۲۷°	-۰/۰۴
۰/۰۱۳	۰/۴۲			۱۲°	۰/۲۶	۲۸°	-۰/۰۶
				۱۳°	۰/۲۴	۲۹°	-۰/۰۸
				۱۴°	۰/۲۲	۳۰°	-۰/۱۰
				۱۵°	۰/۲۰		

pH اشباع آب با نیروی یونی و دما تصحیح می‌گردد. حال خط مستقیمی نقاط  $r'Ca^{++}$  و  $r'HCO_3^-$  را به هم متصل کرده تا اشل  $pH_{eq}$  را در نقطه‌ای قطع کند این نقطه  $S'$  نامیده می‌شود که با pH آب مقایسه می‌شود. اگر  $S'$  پایین‌تر از pH آب قرار گیرد، آب خورنده بوده و برعکس، در شکل ۱۳ خط‌کش‌های مربوط به اشباع کلسیم کربنات در ارتباط با نیروی یونی و  $pH_{eq}$  بانضمام اشل حلالیت ژیبس آمده در شکل ۱۴ نمودار نیمه لگاریتمی شولر چند نمونه آب به‌مراه خط‌کش‌های مورد نظر ارائه شده و نیز در کاغذ لگاریتمی نمونه آب چشمه شماره یک آب اسک با داده‌های زیر از نظر درجه اشباع کلسیم کربنات مورد بررسی قرار گرفته است.

$$\begin{array}{ll} rCa^{++} = 18/80 & rHCO_3^- = 20/60 \\ rMg^{++} = 4/65 & rSO_4^{--} = 2/12 \\ rNa^+ = 10/00 & rCl^- = 12/00 \\ rK^+ = 0/70 & \theta = 22^\circ \quad pH = 6/60 \end{array}$$

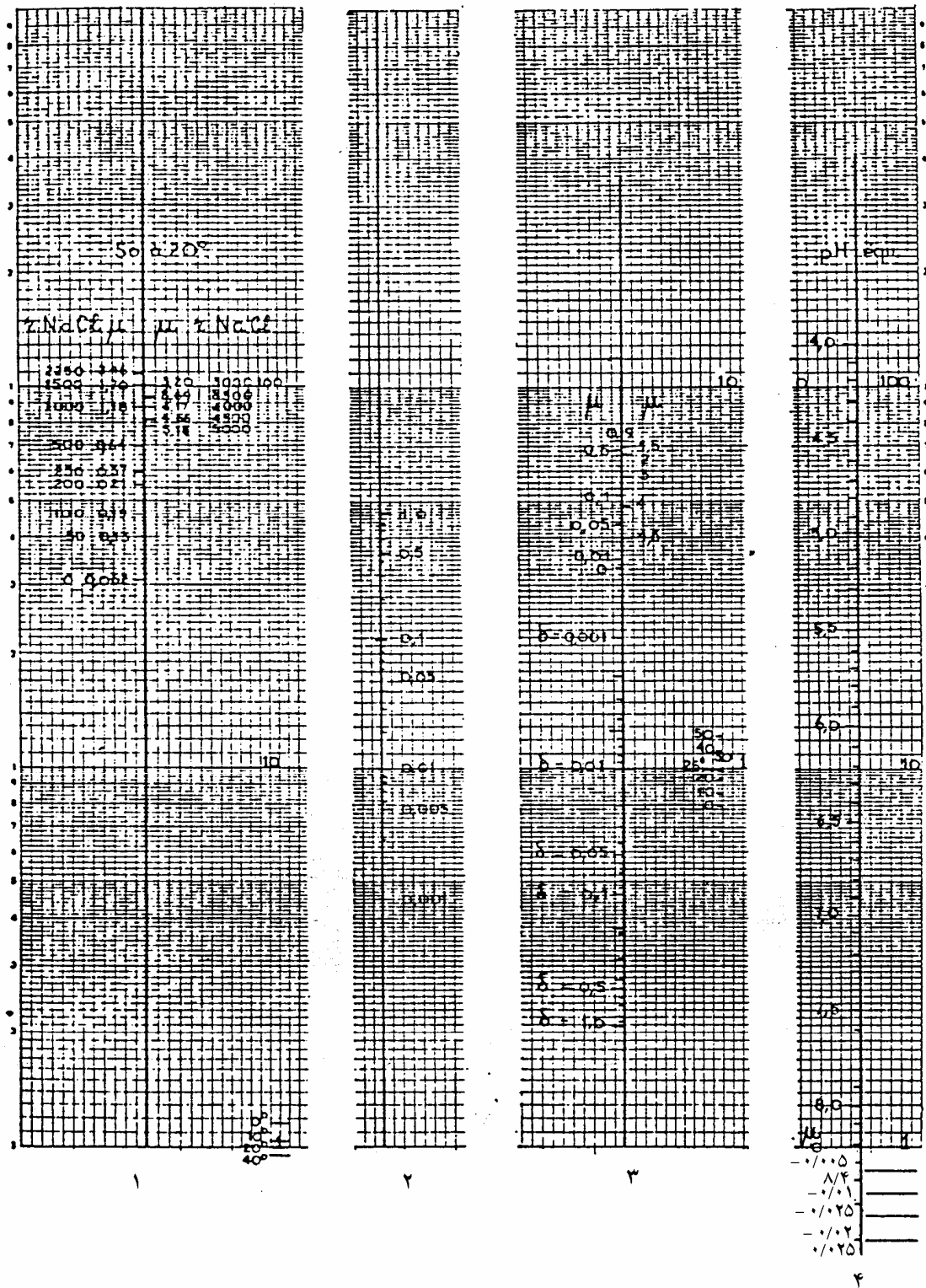
#### ۴-۵-۶ تحول ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی [2]

برای تعبیر و تفسیر صحیح نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی، باید عوامل اصلی تغییرات در ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی در مسیر جریان مورد بررسی قرار گیرند، این عوامل عبارتند از تبادل بازی<sup>۱</sup>، احیاء (کاهش) سولفات<sup>۲</sup> و افزایش شوری.

#### ۴-۵-۶-۱ تبادل بازی و عدم تعادل کلر - قلیا<sup>۳</sup>

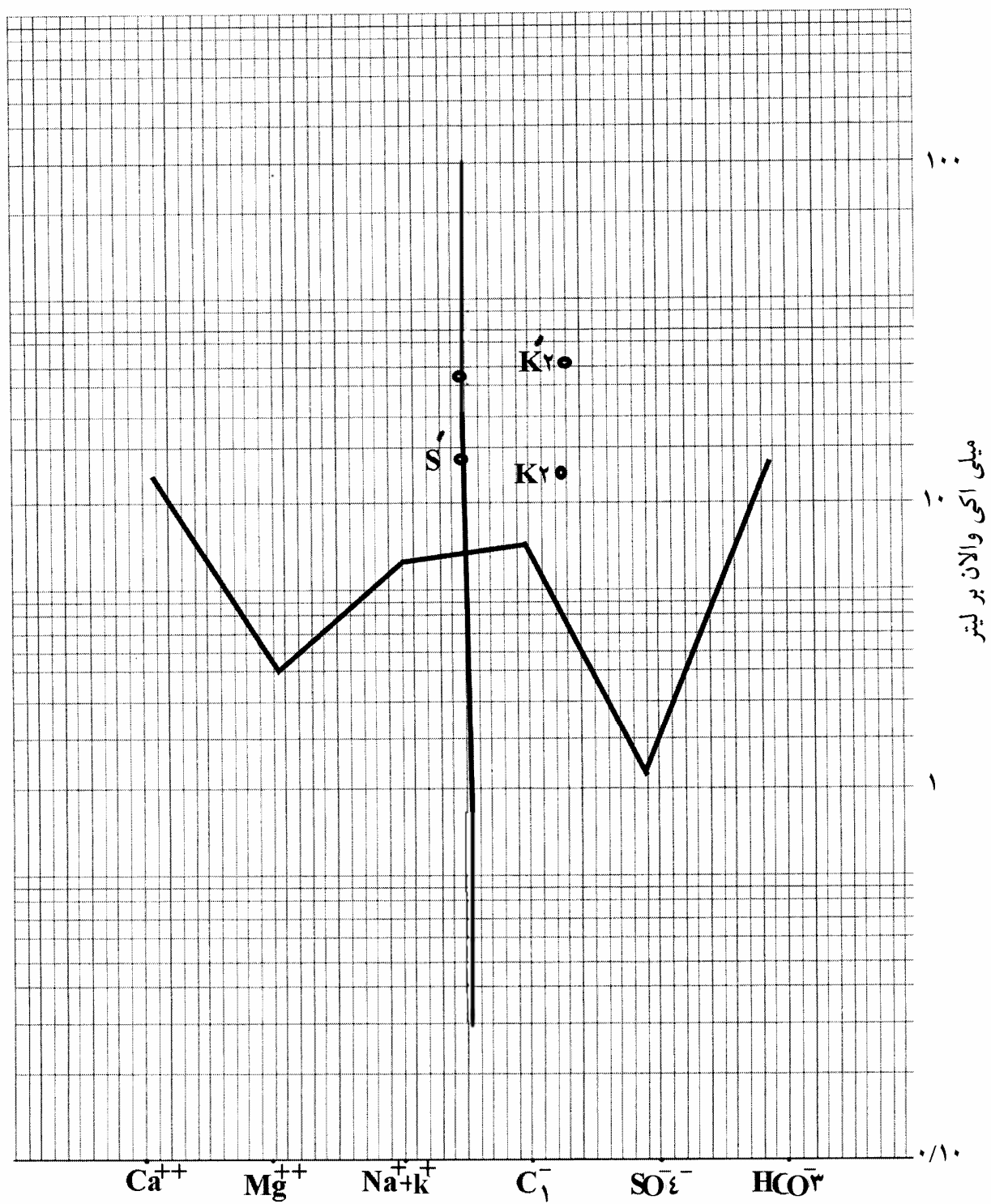
در زمین موادی وجود دارند که قادرند کاتیونهای را جذب و یا کاتیونهای خود را با کاتیونهای موجود در آب تعویض نمایند. از جمله این مواد سنگهای رسی، گلوکونیتها<sup>۴</sup>، ژئولیتها<sup>۵</sup> و مواد آلی هستند. در مواد معدنی رسی نظیر کائولینیتها<sup>۶</sup>، هالوسیتها<sup>۷</sup>، ایلیتها<sup>۸</sup>، کلرایتها<sup>۹</sup>، چون عمل تثبیت در سطح خارجی آنها صورت می‌گیرد دارای ظرفیت تبدالی ضعیف هستند. ولی این ظرفیت تبدالی در مونت موریلونیت<sup>۱۰</sup> و ورمیکولیت<sup>۱۱</sup> که پدیده جابه‌جایی به جای سطوح خارجی در قسمتهای درونی آنها رخ می‌دهد و با مواد معدنی رسی نامبرده متفاوت است، دارای اهمیت بسیار زیادی است.

- 
- 1 - Base Exchanges
  - 2 - Sulfate Reduction
  - 3 - Alkaline - Chloride Disequilibrium
  - 4 - Glauconite
  - 5 - Zeolitic Rocks
  - 6 - Kaolinites
  - 7 - Halloysites
  - 8 - Illites
  - 9 - Chlorites
  - 10 - Montmorillonite
  - 11 - Vermiculite



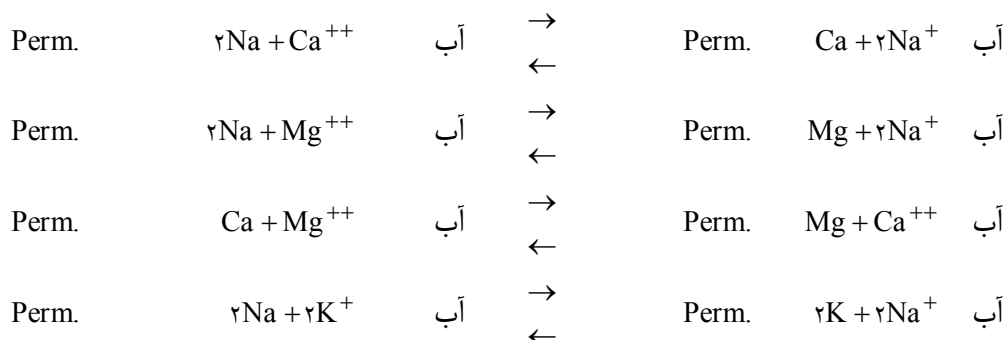
شکل ۱۳ - خط‌کشی‌های محاسباتی حالیت:

- ۱- خط‌کش محاسبه حالیت ژیبس با در نظر گرفتن دما و نیروی یونی
- ۲- خط‌کش محاسبه  $K_r$  در رابطه با فشار گاز  $CO_2$
- ۳- خط‌کش محاسبه  $K_r$  با در نظر گرفتن دما و نیروی یونی
- ۴- خط‌کش محاسبه pH اشباع



شکل ۱۴- نمودار نیمه لگاریتمی داده‌های کیفی چشمه آب اسک و ارزیابی pH و اشباع کلسیم کربنات آن

موادی را که قادر به تبادل بازی باشند پرموتولیت<sup>۱</sup> می‌نامند. تبادلات بین سنگها<sup>۲</sup> و آب به قرار زیر است:



تبادل بازی باعث می‌شود که نسبتهای موجود بین کاتیونهای آب به ویژه نسبتهای  $\frac{Na}{Ca}$ ,  $\frac{Na}{Mg}$ ,  $\frac{Mg}{Ca}$  و  $\frac{K}{Na}$  تغییر یابد.

برای تعیین میزان تبادل بازی می‌توان از نسبتهای زیر استفاده کرد.

$$i = r \frac{Cl - (Na + K)}{Cl}$$

وقتی که تبادل مابین سدیم و پتاسیم آب و منیزیم و کلسیم سنگها برقرار باشد، این نسبت مثبت خواهد بود.

$$i = r \frac{Cl - (Na + K)}{SO_4 + HCO_3 + CO_3 + NO_3}$$

زمانی که حالت قبلی معکوس باشد، در این صورت نسبت فوق منفی خواهد بود.

قبل از هر تبادل بازی ممکن است که یک رابطه عدم تعادلی بین کلرید و سدیم وجود داشته باشد. این عدم تعادل، یک عدم تعادل حقیقی است و باید به آن اهمیت داد و علت آن را به حساب آورد. در آبهایی که از سنگهای بلورین عبور می‌کنند، همواره سدیم آن بیشتر از کلرید بوده که در آب دریا برعکس می‌باشد. که نسبت فوق عدم تعادل کلرید - آلکان نامیده شده و با علامت مخفف شاخص (I.CI.AI) مشخص شود و تبادل بازی به صورت شاخص (I.e.b) نمایش داده شود. و تبادل بازی را تبادل کاتیونی هم می‌گویند. سنگهای رسی و مواد آلی قادر به جذب  $H^+$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  بوده و یا آنها را با کاتیونهای آب تعویض می‌کنند. هرچند در آبهایی که از بین سنگهای آذرین اسیدی عبور می‌کنند در اثر تجزیه فلدسپاتهای آلکان مقادیر زیادی سدیم وارد آب شده و شاخص (ICLAL) یا عدم تعادل کلرید - آلکان منفی می‌شود.

$$rCl < Na + K$$

و یا

#### ۴-۵-۶-۲ کاهش (احیاء) سولفات<sup>۳</sup>

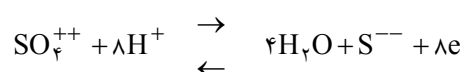
در برخی از آبها مشاهده می‌شود که مقدار سولفات موجود در آنها به طور غیرطبیعی کم یا حدود صفر<sup>۴</sup> است. این وضعیت ناهنجاری در آبهایی که از لایه‌های آبدار مشابه یا آب زیرزمینی می‌آیند، متفاوت می‌باشد برعکس، این آبها غالباً حاوی دی‌هیدروژن گوگرد "H<sub>2</sub>S" ، سولفورها، هیدروسولفیتها هستند. کمبود سولفات در این آبها نشان‌دهنده وجود مواد آلی و عناصر احیاءکننده در آنها است.

1 - Permutolites  
2 - Rocks  
3 - Sulphate Reduction  
4 - Null

مواد آلی از باقیمانده‌های گیاهی یا باقیمانده‌های حاصل از اجساد تجزیه شده حیوانات، توربها<sup>۱</sup>، لیکنیتها<sup>۲</sup>، زغال سنگها<sup>۳</sup> و هیدروکربن‌ها نتیجه می‌شوند. احیاء سولفات، اغلب در حضور میکرواورگانیزمهای بی‌هوازی<sup>۴</sup> ویژه‌ای مانند «اسپورو ویبریو دسولفلیکان»<sup>۵</sup> که دارای انواع مختلفی هستند، صورت می‌پذیرد.

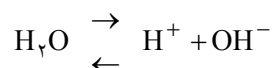
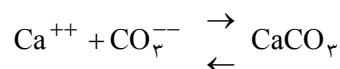
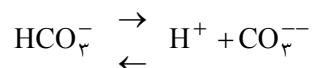
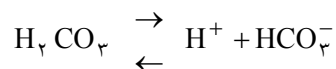
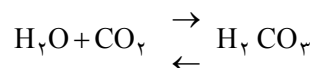
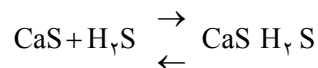
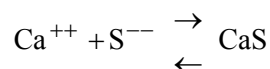
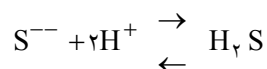
در برخی شرایط، احیاء سولفات صرفاً به طریق شیمیایی انجام می‌پذیرد و هنگامی که اکسیژن محلول در داخل آب صرف احیاء سولفات شده باشد، از واکنش فوق، انرژی حاصل می‌شود.

فرآیندهای اکسایش مواد آلی، پدیده‌های اکسایشی هستند که در آنها اکسیژن موجود در رادیکالهای اکسیژن‌دار، و به‌طور خاصی در یون سولفات مصرف می‌شود. در نتیجه این عمل یون سولفات به طور پی در پی به  $SO_3, SO_2, SO, S$  تبدیل و نتیجه زیر حاصل می‌شود:



در این مورد، روابط تعادلی زیر برقرار خواهد بود:

$$Eh = E_o + 0.075 \log \frac{\langle SO_4^{--} \rangle \langle H^+ \rangle}{\langle S^{--} \rangle} \quad \text{و} \quad E_o = 0.14 \text{ at } 25^\circ C$$



- 
- 1 - Peat
  - 2 - Lignites
  - 3 - Coals
  - 4 - Anaerobie
  - 5 - Sporovibrio Desulficans

این واکنش کاهش (احیایی) همراه با یک واکنش اکسایشی در مواد آلی موجود در داخل آب است و بدین صورت که آب بر  $\text{CO}_2$  اثر می‌کند و تولید یونهای  $\text{HCO}_3^-$  و  $\text{CO}_3^{2-}$  و تعداد زیادی یون  $\text{H}^+$  می‌کند و در نتیجه، کاهش سولفات‌ها از یک سو باعث افت مقدار سولفات و از سوی دیگر موجب ایجاد یونهای  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{S}$ ,  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$  و حتی مقداری  $\text{H}_2\text{S}$  می‌شود.

#### ۴-۵-۶-۳ افزایش شوری

افزایش شوری ممکن است در اثر تبخیر<sup>۱</sup>، تجزیه سنگها و انحلال<sup>۲</sup> باشد. افزایش شوری تبخیری بر اثر شرایط آب و هوایی حاصل می‌شود. تبخیر در حوضه‌های آبریز آب زیرزمینی هم صورت می‌پذیرد. بدین ترتیب که ابتدا باران در خاک نفوذ می‌کند و سپس در ناحیه تبخیری به اتمسفر برمی‌گردد. در آب و هوای مرطوب، تبخیر کمتر از نواحی خشک سبب افزایش شوری می‌شود.

عوامل اصلی افزایش شوری در اثر انحلال عبارتند از: درجه حرارت، فشار، سطح تماس، حجم آب، زمان تماس و شدت یا کمبود اشباع می‌باشد. یونهای اصلی موجود در آب عبارتند از  $\text{Ca}$  و  $\text{Mg}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{CO}_3$  بنابراین باید حلالیت آنها و حاصل ضرب حلالیت نمکهای حاصل از ترکیب این یونها را نیز به حساب آورد. در جدول ۳ حاصل ضرب حلالیت شماری از نمکهای عمده آب‌ارائه شده است.

#### جدول ۳- حاصل ضرب حلالیت شماری از نمکهای محلول در آب

نام ترکیب	مقادیر به گرم بر کیلوگرم آب	حاصل ضرب حلالیت
$\text{CaCO}_3$	۰/۰۱۳ at ۱۸ <sup>°C</sup>	$۰/۴۸ \times ۱۰^{-۸}$ at ۲۵ <sup>°C</sup>
$\text{CaSO}_4$	۲/۰۱۶ at ۱۸ <sup>°C</sup>	$۶/۱ \times ۱۰^{-۵}$ at ۱۸ <sup>°C</sup>
$\text{MgCO}_3$		$۱/۴ \times ۱۰^{-۴}$ at ۱۶ <sup>°C</sup>
$\text{NaHCO}_3$	۹۶ at ۲۰ <sup>°C</sup>	
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	۱۹۳ at ۲۰ <sup>°C</sup>	
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	۲۱۳ at ۲۰ <sup>°C</sup>	
$\text{NaCl}$	۲۶۳ at ۲۰ <sup>°C</sup>	
$\text{MgSO}_4$	۳۵۵ at ۲۰ <sup>°C</sup>	
$\text{MgCl}_2$	۵۴۶ at ۲۰ <sup>°C</sup>	
$\text{CaCl}_2$	۷۴۵ at ۲۰ <sup>°C</sup>	

1 - Evaporation  
2 - Dissolution

از سوی دیگر، نمکهای اصلی که در درون سازندها یافت شده و به مقدار زیادی در آب انحلال می‌یابند، عبارتند از :  
 $\text{NaCl}$  و  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaCO}_3$ . سایر نمکها فقط در مقادیر کم و یا کاملاً به طور استثنایی در برخی از سازندها وجود دارند. بنابراین در مرحله نخست، حلالیت نمکهای نامبرده موردنظر است. پس باید غلظت نمکهای موجود در آب موردنظر که در اثر انحلال یا تبخیر حاصل می‌شود، چندین بار به طور مکرر تخمین زده شود.

$\text{CaCO}_3$  دارای کمترین حلالیت بوده و به سرعت به اشباع می‌رسد. می‌توان انتظار داشت که  $\text{CaCO}_3$  به استثنای سازندهای سخت مانند سنگهای سیلیسی در سایر آبها در حد اشباع وجود داشته باشد. سنگهای بلور لایه، ماسه‌ای یا ماسه سنگهای خالص با بالارفتن شوری، درصد یونی آنها افزایش یافته در حالی که در سطح  $\text{HCO}_3^-$  تغییری حاصل نمی‌شود. هنگام افزایش شوری، حاصل ضرب غلظتهای  $(\text{Ca}) (\text{CO}_3)$  دخالت می‌کند و سبب کاهش  $\text{HCO}_3^-$  و افزایش  $\text{Ca}$  می‌شود، که در این مرحله افزایش غلظت  $\text{Ca}$  ناشی از انحلال  $\text{CaSO}_4$  بوده و مربوط به  $\text{CaCO}_3$  نیست.

اما با همان سرعتی که حاصل ضرب حلالیت یا اشباع  $\text{CaSO}_4$  افزایش می‌یابد، غلظت  $(\text{Ca})$  و  $(\text{SO}_4)$  نمی‌توانند افزایش یابند و فقط افزایش غلظت در اثر افزایش نیروی یونی محلول امکان‌پذیر می‌شود.

حلالیت  $\text{CaSO}_4$  در حضور سدیم کلرید آب افزایش می‌یابد. حلالیت  $\text{CaSO}_4$  در  $20^\circ\text{C}$  وقتی که غلظت سدیم کلرید صفر باشد،  $2/1$  گرم بر لیتر است و هنگامی که غلظت سدیم کلرید به  $146$  گرم برسد، حلالیت فوق تا  $7/2$  گرم بر لیتر افزایش می‌یابد. هنگامی که غلظت  $\text{NaCl}$  خیلی زیاد باشد حلالیت  $\text{CaSO}_4$  کاهش می‌یابد. با به پایان رسیدن حد اشباع  $\text{CaSO}_4$  فقط غلظت  $\text{NaCl}$  بالا می‌رود.

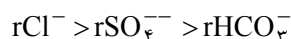
در مرحله اول تواتر یونی به شرح زیر است:



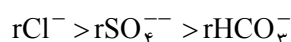
یا



در مرحله دوم تواتر یونی به صورت زیر باید باشد:



در مرحله سوم تواتر یونی زیر برقرار است :



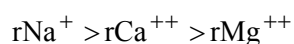


حد بین اولین و دومین مرحله حدود ۶۰ میلی‌اکی والان بر لیتر از کل غلظت و حد بین دومین و سومین مرحله در حدود ۲۹۰ میلی‌اکی والان بر لیتر است. به هر حال مابین ۱۸۰ میلی‌اکی والان بر لیتر تا ۲۹۰ میلی‌اکی والان بر لیتر باید مرحله سوم را داشته باشیم.

در شروع واکنشها، تواتر کاتیونی به شرح زیر است:



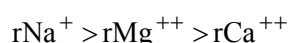
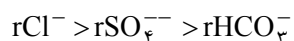
و به‌طور متوالی مراحل بعدی زیر مورد بررسی است:



مرحله پایانی :



هرگاه برحسب اتفاق به آبی با غلظت زیادتری برخورد شود علت افزایش غلظت یا به‌دلیل تبخیر یا در نتیجه پیش‌روی تدریجی و یا در اثر انحلال است. باید دانست که این آب کاملاً متفاوت بوده و در نزدیکی و کمی جلوتر، آبی با تواتر زیر به‌وجود می‌آید:



که مرحله فوق، مشابه مرحله آب دریا است.

#### ۴-۵-۶-۴ تحول ترکیب شیمیایی آب [2,6]

ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی بسیار پویا است و نباید آن را دارای ترکیب شیمیایی ایستا و ساکن در نظر گرفت. آب زیرزمینی تحت اثرات حاصل از پدیده‌هایی نظیر افزایش شوری، تبادل بازی و کاهش سولفات، است که این پدیده‌ها قادرند بخشی یا تمامی ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی را تغییر دهند. افزایش شوری اصولاً در اثر پدیده انحلال حاصل می‌شود.

افزایش شوری ناشی از تبخیر و اثرات آب و هوایی نیز می‌باشد. بدین صورت که تبخیر در زمین رخ می‌دهد و آب‌مابین دو بارندگی تغلیظ می‌شود. اگر آخرین بارندگی کاملاً کافی باشد، باعث می‌شود که آب تغلیظ شده به آب زیرزمینی تراوش کند. گرمای زیادتر و آب و هوای خشک‌تر از جمله عواملی هستند که باعث می‌شوند تا آب زیرزمینی شورتر شود. ولی افزایش شوری در اثر تبخیر در بسترهای عمیق، هنگام فرار گاز از آبهای زیرزمینی قابل ملاحظه می‌باشد. این موضوع به ویژه در آب موجود در برخی از سازندهای نفتی، که از آنها هیدروکربنها و کربن دی‌اکساید "CO<sub>۲</sub>" متصاعد می‌شود، رخ می‌دهد.

ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی بیشتر از همه در اثر افزایش شوری به کمک انحلال، تغییر می‌یابد. ولی این تغییر نمی‌تواند بالاتر از یک حد معین باشد. آنها به سوی یک تعادل فیزیکی - شیمیایی، با سنگهایی که در آن جریان دارند، میل می‌کنند. تعادل فوق نمی‌تواند برای یک مدت زمان طولانی برقرار باشد. این تعادل به نوع زمین و اختلاف غلظت موجود بین نمکهای آب و زمین بستگی دارد.

اگر سنگی که وزن مخصوص آن  $d$  بوده، و دارای  $n\%$  به صورت وزنی) سدیم کلرید، با تخلخل  $m$  باشد در نظر گرفته شود، با فرض اینکه تعادل ذکر شده برقرار باشد، در یک متر مکعب از سازند، می‌توان مقدار نمک سدیم کلرید موجود در یک لیتر از آب را به کمک رابطه زیر محاسبه کرد:

$$(1) \quad \frac{\text{نمک}}{\text{لیتر}} = 1000 \cdot d \cdot n \cdot (1 - m)$$

$d$  وزن مخصوص سنگ

$n$  درصد وزنی سدیم کلرید

$m$  تخلخل

در حجمهای مساوی سنگ مشابه هم، میزان غلظت آب یکسان است. فرمول بالا به شکل عددی به شرح زیر ذکر شده است:

هرگاه سازندی دارای مشخصات زیر باشد:

$$m = 0.20 \text{ تخلخل}$$

$$d = 2.65 \text{ وزن مخصوص سازند}$$

$$n = \frac{2}{1000} \text{ درصد وزنی سدیم کلرید}$$

به کمک رابطه ۱ می‌توان دریافت آبی که در تعادل با سازند فوق باشد حاوی  $240/4$  گرم بر لیتر NaCl است.

$$1000 \times 2.65 \times \frac{2}{1000} (1 - 0.20) = 424.0 \text{ g/l NaCl}$$

رسها اغلب دارای ۱ تا ۲ درصد وزنی سدیم کلرید هستند. هرگاه وزن مخصوص آنها  $2/2$  و دارای تخلخل  $0/4$  باشند به کمک محاسبه می‌توان دریافت که میزان NaCl در مورد آبی که در تعادل با سازندهای فوق است،  $13/2$  تا  $26/4$  گرم بر لیتر است:

$$n = 1 \text{ تا } 2\%$$

$$d = 2/2$$

$$m = 0/4$$

$$1000 \times 2/2 \times \frac{1}{1000} (1 - 0/4) = 13/2 \text{ g/l NaCl}$$

$$1000 \times 2/2 \times \frac{2}{1000} (1 - 0/4) = 26/4 \text{ g/l NaCl}$$

این نسبتها مربوط به بیرون زدگیهایی است که آبشویی می‌شود و در نتیجه آبهای عمیق زمینهایی که در مرحله آبشویی قرار نگرفته‌اند، قادر به حل نمکهای بیشتری بوده که شوری آب را افزایش می‌دهد.

اثر نوسانات سطح آب زیرزمینی در تغییر ترکیب شیمیایی آب در طول مسیر و زمان، در اثر انحلال مقادیر بیشتری از نمکها، غلظت کلی مواد معدنی افزایش می‌یابد. به‌طور طبیعی، افزایش در مقدار کل معدنی شدن نیز متناسب با ازدیاد طول مسیر حرکت آبهای زیرزمینی خواهد بود. این افزایش بستگی مستقیم به زمان طی شده، کم‌شدن سرعت و کوچک‌شدن خلل و فرج نیز دارد. به‌دلیل اینکه در اثر این عوامل تماس سازند و آب بیشتر خواهد شد، اثر آب و سازند بسیار گسترده است.

از این رو نسبت  $\frac{rSO_4}{rCl}$  در محل تغذیه تا خروجی دشت کاهش پیدا می‌کند. به‌دلیل اینکه سرعت انحلال در ارتباط مستقیم با پایین‌بودن اشباع است، کلریدها سریعتر از سولفاتهای قلیایی حل می‌شوند.

هرگاه لایه آبداری سولفاتی باشد و کلرید آن نسبتاً کم باشد، به علت کاهش کلر و افزایش سولفات، نسبت  $\frac{rSO_4}{rCl}$  بالا می‌رود و عکس نتیجه بالا به‌دست می‌آید. ولی به‌طور کلی شوری آب در طول مسیر لایه آبدار افزایش می‌یابد و  $SO_4$  زود، به حالت اشباع می‌رسد و بعد از این مرحله دوباره  $\frac{rSO_4}{rCl}$  کاهش می‌یابد.

نسبت  $\frac{rMg}{rCa}$  در قسمت خروجی از دشت تمایل به کاهش دارد. در اولین مرحله افزایش کلسیم از طریق انحلال  $CaCO_3$  به اشباع می‌رسند. در مرحله بعدی تا خروج از دشت،  $CaSO_4$  با سرعت کمتری از  $MgSO_4$  و  $MgCl_2$  شروع به حل شدن می‌کند، همواره  $r\frac{Mg}{Ca}$  کاهش می‌یابد.

شاخص عدم تعادل کلر و آلکالن (i.e.b) نیز از محدوده تغذیه لایه‌های آبدار به طرف خروجی دشت تغییر می‌یابد که این شاخص در پایانه‌های ورودی مثبت و تدریجاً به طرف انتهای دشت از میزان آن کاسته شده و عدد منفی را به‌دست می‌دهد. هرچند در موارد خاصی، که غلظت کلرید خیلی زیاد بوده و معمولاً از ۵۰۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر تجاوز کند، شاخص تعادل یون، مجدداً مثبت می‌شود. شدت این پدیده‌ها متناسب با زمان و سطح تماس آب با سازند است. به عبارت دیگر شدت این تبادل نه تنها به طول مسیر آب، بلکه به کمی سرعت آب و دامنه تأثیرات آب و سازند و زمان تماس آب با سازند بستگی دارد. چنانچه مواد آلی موجود باشد، باعث احیای سولفات و در نتیجه کاهش غلظت سولفات می‌شود.

لایه‌های آبدار، معمولاً در گستره جریان خود همگن نیستند چون آب زیرزمینی در حین جریان، به مواد مختلف برخورد می‌کنند و بعضی از عناصر این مواد را در خود حل می‌کنند و در نتیجه ترکیب شیمیایی آب، تغییر می‌کند.

بالاخره، در مواردی که حرکت آب زیرزمینی که در خطوط «کانالی» شکل صورت می‌پذیرد و به ندرت در کل لایه آبدار فعال است، جریان آب زیرزمینی دارای خصوصیات ویژه خود بوده و بنابراین ارزیابی مخلوطی از آبهای تشکیل‌دهنده مخزن لایه آبدار از نقطه نظر همگن بودن غیر ممکن است.

چنانچه سطح ایستابی آب (در انتهای دشت) به ۱ تا ۲ متری سطح زمین برسد، در این حالت، به‌ویژه در مناطق خشک، افزایش شوری در اثر تبخیر حاصل می‌شود. حرکات عمودی آب، به طور متغیری عمل می‌کند و در اثر بالارفتن آب در لوله‌های موئین از نفوذ آب کاسته می‌شود. باقیمانده خشک افزایش یافته و در نتیجه نسبت  $\frac{rSO_4}{rCl}$  کاهش و  $\frac{rMg}{rCa}$  افزایش می‌یابد، بنابراین  $CaCO_3$  و  $CaSO_4$  به فوق اشباع رسیده و رسوب می‌کند.

با تهیه و انطباق نقشه‌های هم  $T.D.S^1$ ، و هم کلرید<sup>۲</sup> و منحنی نسبت‌های هم  $\frac{rSO_4}{rCl}$ ،  $\frac{rMg}{rCa}$ ،  $\frac{Cl-Na}{Cl}$  می‌توان تصویر دقیقی از تحول ترکیب شیمیایی و عوامل تأثیر گذارنده بر روی این تغییر را به‌دست آورده و سیمای هیدروژئوشیمیایی محدوده مطالعاتی را روشن کرد.

همانطور که ذکر شد، افزایش شوری آب زیرزمینی به دو پدیده عمده انحلال<sup>۳</sup> و تبخیر<sup>۴</sup> در طول جریان بستگی داشته که در هر دو حالت افزایش یون کلر، ناشی از انحلال یون کلر در اثر انحلال مواد معدنی است. در طول مسیر، با افزایش شوری ناشی از انحلال، سرعت آن متناسب با اشباع یون کلر در آب است و افزایش غلظت یون کلرید خود تابعی از مسافت پیموده شده است. در معادله (۱) غلظت یون کلر با علامت (C) و مسافت پیموده شده توسط آب با علامت (X) نشان داده شده است که می‌توان آن را به صورت یک معادله «نمایی»<sup>۵</sup> نوشت. که در این صورت منحنی «اسیمپتوتیک»<sup>۶</sup> با غلظت ماکزیمم کلرید به‌دست می‌آید و از نقاط تغذیه به سمت خروجی، منحنی‌های هم‌کلرید از هم فاصله می‌گیرند.

$$\frac{dc}{dt} = a(c_m - c) \quad (1)$$

a فاکتور محلول املاح سازندی

c غلظت یون کلرید

$c_m$  غلظت ماکزیمم یون کلرید ممکن

dc تغییرات غلظت یون کلرید

dt تغییرات زمان

هرگاه سرعت آب مطابق رابطه ۲ ثابت باشد:

$$V = \frac{dx}{dt} \quad (2)$$

1 - Equal Concentration

2 - Isochlores

3 - Dissolution

4 - Evaporation

5 - Exponential

6 - Asymptotic

با استفاده از رابطه ۲ و روابط ریاضی زیر، رابطه ۱ به رابطه ۳ تبدیل می‌شود:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} \cdot \frac{dc}{dt} &= a(c_m - c) \\ V \cdot \frac{dc}{dx} &= a(c_m - c) \\ \frac{dc}{c_m - c} &= \frac{a}{v} dx \end{aligned} \quad (3)$$

با حل معادله دیفرانسیل ۳ و قراردادن حدود تغییرات X و C خواهیم داشت :

$$\log \frac{c_m - c}{c_m - c_0} = -\frac{a}{v}(x - x_0) \quad (4)$$

در حالت دوم که افزایش شوری در اثر پدیده تبخیر صورت می‌پذیرد شکل منحنی (C) تابعی از (X) برعکس حالت قبلی خواهد بود و در نتیجه منحنی‌های هم کلرید از نقاط تغذیه به سمت خروجی دشت به هم نزدیک‌تر می‌شوند. هرگاه آب زیرزمینی با آبدهی ویژه  $q_0$  و ضخامت H و جبهه F در نظر گرفته شود، عبارت است از مقدار آب کاسته شده در اثر تبخیر به ازای هر متر مربع ضخامت بر هر ثانیه و P عبارت از مقدار آب افزوده به آب زیرزمینی است. در اثر ریزشهای جوی به آب زیرزمینی معمولاً شوری آب کاهش می‌یابد ولی همواره عامل تبخیر هنگامی که  $e - p > 0$  باشد مؤثرتر از بارندگی است و دائماً شوری آب افزایش می‌یابد.

بنابراین می‌توان در مورد تغییرات آبدهی در فاصله X رابطه ۶ را برقرار کرد:

$$\begin{aligned} dq &= -(e - p) F dx \\ q &= q_0 - (e - p) F x \end{aligned} \quad (5)$$

یا در نقطه X داریم که :

$$q = -KhF \frac{dh}{dx} \quad (6)$$

با تلفیق معادله‌های ۵ و ۶ رابطه ۷ حاصل می‌شود:

$$\begin{aligned} q dq &= K(e - p) F^2 h dh \\ q^2 &= q_0^2 - 2k(e - p) F^2 (H^2 - h^2) \end{aligned} \quad (7)$$

با تلفیق معادله‌های ۵ و ۷ رابطه ۸ را می‌توان داشت :

$$(e-p)X^r - r q_0 \frac{X}{F} + K(H^r - h^r) = \dots \quad (8)$$

که شکلی از سطح پیزومتری را به دست می‌دهد.

اگر  $C_1, C_2, C_3, \dots$  غلظت در نقاط  $X_1, X_2, X_3, \dots$  باشد.

$$c_0 q_0 = c_1 q_1 = c_2 q_2 = c_3 q_3 = \dots = b$$

که  $b$  ثابت طول آبخوان است.

$$C = \frac{b}{q_0 - (e-p)x_0 FX}$$

$$X_1 = \frac{q_0}{(e-p)F} (1 - C_0 / C_1)$$

$$X = \frac{q_0}{(e-p)F}$$

#### ۴-۵-۷ مسافت طی شده (dx) و تأثیر آن بر ترکیب شیمیایی آب (dc) [3]

کیفیت آب نه تنها تحت تأثیر پدیده‌های فیزیکی و شیمیایی است بلکه با طبیعت سنگ‌شناسی لایه‌های آبدار و نیز شرایط هیدروژئولوژیکی تغییر می‌کند.

بررسی این تغییرات و قوانین مربوطه حاکم بر آنها و نیز مسافت طی شده به وسیله آب، که تغییر آن به (dx) نمایش داده می‌شود، بخش مهمی از بررسی‌های ژئوشیمی آبهای زیرزمینی را تشکیل می‌دهد.

تحت عنوان اثر شرایط هیدروژئولوژیکی، تأثیر آب بر روی سازند و یا برعکس، و نیز فاکتورهای مؤثر بر تغییر ترکیب شیمیایی آب به وسیله خاک‌هایی که لایه‌های آبدار را دربرمی‌گیرد، بررسی می‌شود که این خاک نیز در اثر فرسایش و خردشدگی سازندهای ناحیه تولید می‌شوند.

#### ۴-۵-۷-۱ تعیین مسافت طی شده آب در تغییر ترکیب شیمیایی (dx)

• وسایل مورد نیاز :

۱- نقشه هم‌کلرید محدوده مطالعاتی

۲- داده‌های مربوط به ریزش باران و تبخیر و آبدهی اولیه لایه آبدار

املاح آب زیرزمینی تحت دو پدیده عمده تبخیر و حل مواد معدنی سازندها و خاکها افزایش می‌یابد. قسمت عمده از آب باران که عامل تبخیر بر روی آن تأثیر نموده، بر پهنه زمین جاری و در خاک نفوذ کرده و خود را به سطح آب زیرزمینی رسانده و غلظت آن افزایش می‌یابد.

وقتی که آب زیرزمینی در طی مسیر خود از سنگها عبور کند، تغییراتی بر روی ترکیب شیمیایی آن حاصل می‌شود که شدت آن نسبت به پدیده‌های تبخیر و انحلال کمتر است. عامل مسافت بر روی تغییر ترکیب شیمیایی، با افزایش طول مسیر و زمان تماس سازند و آب در سیستم، بویژه در لایه‌های آبداری که در معرض آبشویی شدیدی قرار نگرفته باشند، افزایش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد.

در جدول ۴ ترکیب شیمیایی آب در تماس با سنگهای مختلف برحسب میلی‌گرم بر لیتر درج شده است. ترکیب شیمیایی آب در تماس با سنگهای زیر ممکن است، بسیار مختلف و متغیر باشد. این تغییرات بستگی به شرایط هیدرولیکی و آب و هوایی نیز دارد.

جدول ۴- ترکیب شیمیایی آب در سنگها

Fe	HCO <sub>۳</sub>	SO <sub>۴</sub>	Cl	K	Na	Mg	Ca	T.D.S	نوع سنگ
۰/۱	۲۴	۴	۱/۷	۰	۱۸	۲	۷	۸۳	گرانیت
۰/۰۱	۱۰۹	۲/۶	۵/۰	۳	۱۱	۸/۹	۱۵	۱۶۵	بازالت
۰	۳۵۵	۱۰۱	۷۲	۰	۳۴	۲۵	۱۳۲	۵۴۰	سازندهای آهکی
۰	۱۰۰	۲۷	۱۱	۰	۸	۴/۳	۴۴	۲۱۰	سنگ آهک
۰	۱۴۷	۵۸	۹۰	۰	۲۹	۴۶	۶۸	۴۴۰	سنگهای دولومیتی
۰	۵۰۴	۲۸۲	۹۳۶	۰	۳۹۴	۱۳۸	۲۳۵	۲/۲۳۶	شیستها
۰/۲	۶۳	۲۶	۲۳۰	۰	۵	۳/۴	۴۱	۱۸۹	ماسه سنگها
۰	۱۵۰	۱/۸۸۷	۹۸	۰	۷۲	۱۲۶	۶۱۳	۲/۸۸۱	سنگهای تبخیری
۷	۲۰۰	۱۶	۲۰	۰	۱۳	۸	۷	۴۷۲	سازندهای زغال سنگی
									(لینیت)

به‌ویژه در لایه آبهای زیرزمینی تحت فشار<sup>۱</sup> که حرکت آب بر روی سازند کند و مدت زمان تماس با سازند طولانی می‌باشد. و نیز در سازندهایی که کمی در معرض آبخویی قرار گرفته‌اند، ممکن است افزایش کلی در مقدار املاح محلول حاصل شود که در نتیجه تغییرات بعدی در ترکیب شیمیایی آب به شرح زیر به‌وجود می‌آید:

$\text{HCO}_3^-$  ثابت باقیمانده و در همان حال  $\text{SO}_4$  و  $\text{Cl}$  افزایش می‌یابد، در حالی که نسبت  $\frac{r\text{SO}_4}{r\text{Cl}}$  یکنواخت است. وقتی که مقدار کل غلظت به حد معینی برسد، نسبت  $\frac{r\text{SO}_4}{r\text{Cl}}$  کاهش و به همراه آن نسبت  $\frac{r\text{Mg}}{r\text{Ca}}$  افزایش می‌یابد. در نهایت تواتر یونی به صورت زیر درمی‌آید:

$$r\text{Cl} > r\text{SO}_4 > r\text{HCO}_3 \\ r\text{Na} > r\text{Mg} > r\text{Cl}$$

با این امکان که، در بالاترین غلظت، نسبت  $\frac{(r\text{Ca} + r\text{Mg})}{(r\text{SO}_4 + r\text{HCO}_3)}$  بزرگتر از واحد خواهد شد، این تغییرات را می‌توان با ترسیم نقشه‌های هم T.D.S، هم کلرید، هم  $\frac{r\text{SO}_4}{r\text{Cl}}$  و هم  $\frac{r\text{Mg}}{r\text{Ca}}$  و غیره دنبال کرد که در میان نقشه‌های بالا فقط نقشه‌های هم کلرید را می‌توان برای ارزیابی جریان آب مورد استفاده قرار داد، چون فقط این جزء از ترکیب شیمیایی آب است که واکنش قابل ملاحظه‌ای در رابطه با سازند از خود نشان نمی‌دهد. پراکندگی منحنی‌های هم کلرید بر روی نقشه‌های هم کلرید، کم و بیش از معادله زیر تبعیت می‌کند<sup>۲</sup>. (شکل ۱۵- الف).

$$X = \frac{v}{a(c_m + b)} \log_e \left[ \frac{c_m - c_o}{c_o + b} \cdot \frac{c + b}{c_m - b} \right] \quad (۱)$$

$c$  و  $c_o$  غلظت در فواصل  $x$  و  $x_o$ .

$c_m$  حداکثر غلظت ممکن

$v$  سرعت آب

$a$  فاکتور انحلال نمک از سازند

$b$  عدد ثابتی است که ممکن است صفر باشد.

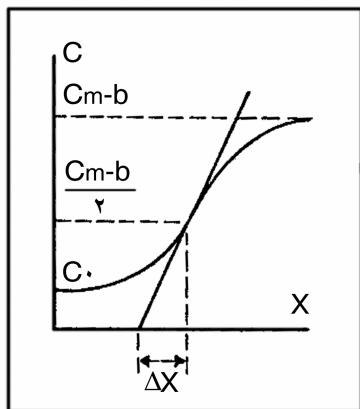
1 - Confined

2 - (M.Schoeller 1964)

\* برای به‌دست آوردن نقطه عطف در معادله ۱، باید ابتدا معادله را برحسب  $c$  مرتب نمود و سپس دو بار از معادله نسبت به  $x$  مشتق گرفت تا نقطه عطف معادله ۱ تعیین شود.



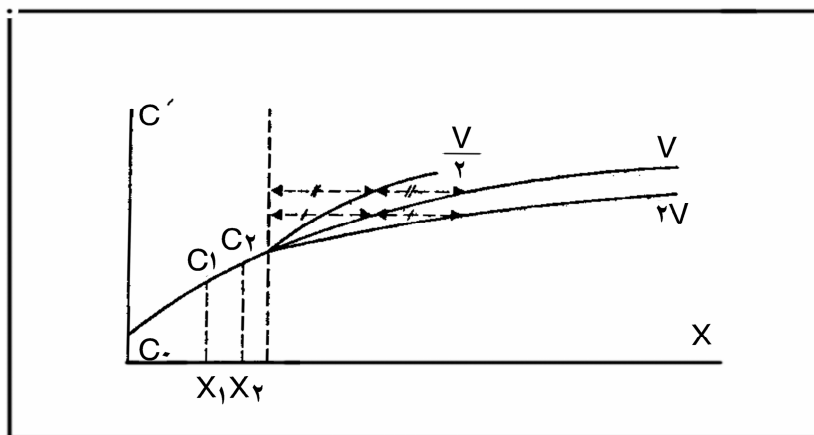
در بخش اول منحنی  $C = f(x)$  (شکل ۱۵-الف)، افزایش  $\frac{dc}{dx}$  مربوط به قسمتهای ورودی لایه آبدار است که آبشویی در آن قابل ملاحظه است. ولی در بخش دوم منحنی، به طرف خروجی دشت که آبشویی لایه آبدار به حداقل می‌رسد، کاهش می‌یابد. نقطه عطف منحنی\* در  $\frac{c_m - b}{2}$  است.



شکل ۱۵-الف : منحنی غلظت (c) بر حسب مسافت طی شده (x) در نتیجه انحلال حاصل شده است. نقطه عطف منحنی در  $\frac{c_m - b}{2}$  است.

در لایه‌های آبداری که هنوز در معرض آبشویی قرار نگرفته است منحنی ساده‌تر خواهد شد شکل ۱۵-ب :

$$x = \frac{v}{a} \log_e \frac{c_m - c_0}{c_m - c} \quad (2)$$



شکل ۱۵-ب : منحنی غلظت نمک در آب (c) در اثر انحلال (تحت تأثیر سرعت)

پدیده‌های مشابهی را در آبخوانهای آزاد، که با افزایش غلظت بین نواحی گرادیان بالا و پایین همراه است، یافت می‌شوند. هنگامیکه آبخوان آزاد در طول مسیر حرکتی طولانی مورد تغذیه قرار گیرد و سازندها نیز در معرض آبشویی باشند، نمک بیشتری از سازند وارد محلول آب شده و معادله زیر را خواهیم داشت:

$$c = \frac{c_o Q_o + p C_p x}{Q_o + (p - e) x} \quad (3)$$

که در این معادله :

$c$  و  $c_o$  غلظت یون کلرید آب زیرزمینی در فواصل  $x$  و  $x_o$ .

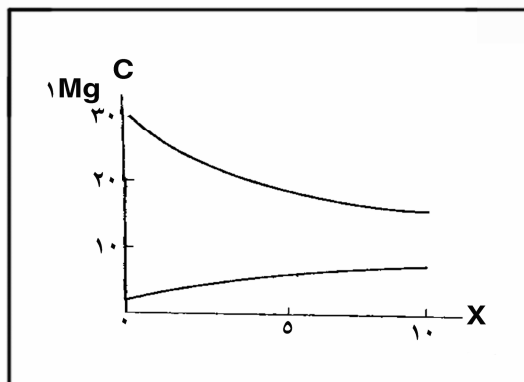
$c_o$  آبدهی اولیه آب زیرزمینی

$p$  مقدار ریزشهای جوی

$e$  مقدار آب تبخیر شده

$c_p$  غلظت یون کلر در آب باران

غلظت یون کلر آب زیرزمینی آزاد در حین حرکت به سمت خروجی ممکن است، افزایش یابد (منحنی ۲ شکل ۱۵-ج). چنانچه این غلظت ثابت یا کاهش یابد،  $c_i$  (منحنی ۱ شکل ۱۵ ج) ممکن است کوچکتر، بزرگتر یا مساوی با  $c_o$  باشد (که این موارد به غلظت املاح آب نفوذی از سطح زمین بستگی دارد).



شکل ۱۵-ج : اثر تبخیر بر روی غلظت نمک در آبخوانهای آزاد در نواحی پرباران

$$Q = 0.05 \text{ l/s}$$

$$p - e = 250 \text{ mm / year} = 8 \times 10^{-6} \text{ l/s}$$

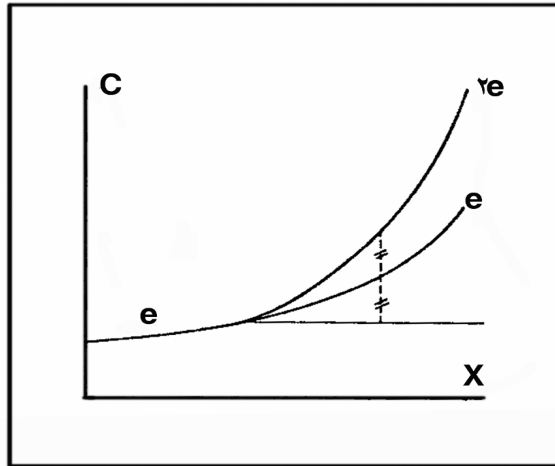
در منحنی ۱  $\Rightarrow c_o = 30 \text{ mg/l}$  و  $c_i = 5 \text{ mg/l}$

در منحنی ۲  $\Rightarrow c_o = 2 \text{ mg/l}$  و  $c_i = 10 \text{ mg/l}$

مقدار  $c_i$  به کمک معادله زیر به دست می‌آید:

$$c_i = \left(\frac{p}{p - e}\right) c_p \quad (4)$$

هنگامی که سطح ایستابی یک آبخوان به سطح زمین نزدیک می‌شود، پدیده تبخیر باعث کاهش مقدارزیادی از آب، به ویژه در مناطق خشک و گرم می‌شود. در نتیجه مقدار غلظت نمک بالا رفته و هرچه به طرف خروجی دشت نزدیک شویم مقدار املاح افزایش بیشتری می‌یابد. در سرزمینهای خشک و گرم که  $e$  بزرگتر از  $p$  است (یعنی  $e - p > 0$ )، در این صورت شیب منحنی  $c = f(x)$ ، در جهت خروجی افزایش می‌یابد. شکل ۱۵-د.



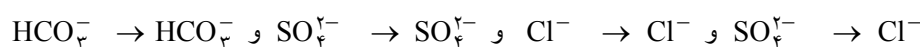
شکل ۱۵-د: اثر تبخیر بر روی غلظت نمک در آبخوانهای آزاد در نواحی خشک و گرم

#### ۴-۵-۷-۲ تغییر ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی در رابطه با عمق

حرکت آب زیرزمینی در لایه‌های عمیق به مراتب آهسته‌تر است و جابه‌جایی آنها با آبهای دیگر مشکل‌تر خواهد بود (به ویژه با آبهای نفوذی از سطح زمین). در لایه‌های عمیق آبهای زیرزمینی ترکیب شیمیایی، نفوذپذیری<sup>۲</sup> و شیبهای پتانسیومتریکی با هم برابر می‌شوند و سازندهای عمیق، کمتر در معرض آبشویی قرار دارند و مدت زمان تماس آنها با آب زیرزمینی عمیق، طولانی است. در نتیجه غلظت نمکهای محلول در آب با ازدیاد عمق افزایش می‌یابد. در آبهای زیرزمینی عمیق اثر تبخیر کمتر بوده و آبهای از دست رفته ناچیز است و پدیده تبخیر در این فرآیند تأثیر زیادی ندارد. برای آب زیرزمینی، طبیعی است که

۱-  $c_i$ : غلظت نمک در هر فاصله‌ای با آبدهی  $Q_0 = 0$

ترکیب شیمیایی در تیپ بی کربناتی در عمق کم به تیپ کلریدی در عمق زیاد تغییر پیدا نماید، تغییر ترکیب شیمیایی نسبت به عمق از تواتر یونی زیر تبعیت می کند:



تغییرات ترکیب شیمیایی تواتر یونی بالا نشان دهنده تغییر ترکیب شیمیایی در اثر افزایش شوری است. این تواتر نشان دهنده یک لایه عمودی بوده که ممکن است همیشه به این صورت نباشد. اما به هر حال این تواتر افزایش غلظت تدریجی آب زیرزمینی را نشان می دهد. لایه آبداری با قابلیت نفوذ خوب از جریان میان لایه های خوبی برخوردار بوده و در این حالت آب موجود در این لایه آبدار، دارای شوری کمتری از لایه آبدار بالاتر است و معمولاً تغییرات تواتر یونی  $\text{SO}_4^{2-}$  و  $\text{HCO}_3^-$ ، در زیر تواتر یونی،  $\text{Cl}^-$  و  $\text{SO}_4^{2-}$ ، قرار داشته که این حالت بیشتر در نواحی خشک مشهود است. در این نواحی هر مقدار آب شیرین به نزدیکترین لایه آب زیرزمینی از سطح زمین اضافه شود، باز هم به دلیل اینکه تأثیر پدیده تبخیر شدید است، شوری آن زیاد است.

#### ۴-۵-۱ گروه بندی آبها

در این باره گروه بندیهای متعددی ارائه شده که مناسب ترین آنها گروه بندی شولر است. عوامل اصلی که برای گروه بندی تیپهای مختلف شیمیایی استفاده شده بر حسب درجه اهمیت به شرح زیر است:

#### ۴-۵-۱-۱ بر حسب غلظت کلریدها:

۱- آبهای کلریدی نرمال<sup>۱</sup>:

در این آبها یون کلر کوچکتر از ۱۰ میلی اکی والان بر لیتر است، اکثر آبهای زیرزمینی دارای یون کلر کمتر از ۱۰ میلی اکی والان بر لیتر هستند.

۲- آبهای کلریدی ضعیف<sup>۲</sup>:

میزان یون کلر در این آبها بین ۱۵ تا ۴۰ میلی اکی والان بر لیتر است.

۳- آبهای کلریدی متوسط<sup>۳</sup>:

میزان یون کلر در این آبها بین ۴۰ تا ۱۴۰ میلی اکی والان بر لیتر تعیین شده است. حد بالای میزان کلرید در آب شرب میلی اکی والان بر لیتر است.

۴- آبهای کلریدی قوی<sup>۴</sup>:

میزان یون کلر در این آبها بین ۱۴۰ تا ۴۲۰ میلی اکی والان بر لیتر است.

1 - Des eaux chloruree's normales

2 - Des eaux oligochloruree's

3 - Des eaux chloruree's moyennes

4 - Des eaux chloruree's fortes

۵- آبهای کلریدی دریایی<sup>۱</sup>:

میزان یون کلر در این آبها بین ۴۲۰ تا ۷۰۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر تعیین شده است. آب دریا دارای یون کلر متغیری معادل ۱۴۰ تا ۵۶۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر خواهد بود (کیفیت آب دریا و خروجی آبخوانهای نزدیک به دریا یا کویر است).

۶- آبهای به شدت کلریدی<sup>۲</sup>

آبهایی هستند که یون کلر در آنها از ۷۰۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بیشتر و به حد اشباع رسیده باشد.

#### ۴-۵-۱-۲ برحسب غلظت سولفاتی

۱- آبهای سولفاتی نرمال<sup>۳</sup>:

میزان یون سولفات در این آبها کمتر از ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بوده و به آبهای زیرزمینی نرمال ارتباط پیدا می‌کند.

۲- آبهای سولفاتی ضعیف<sup>۴</sup>:

در این آبها یون سولفات از ۶ تا ۲۴ میلی‌اکی‌والان بر لیتر تغییر می‌کند.

۳- آبهای سولفاتی<sup>۵</sup>:

تغییرات یون سولفات در این آبها بین ۲۴ تا ۵۸ میلی‌اکی‌والان بر لیتر است. حد بالای میزان یون سولفات در آبهای شیرین دائمی معادل ۲۴ میلی‌اکی‌والان بر لیتر تعیین شده است.

۴- آبهای به شدت سولفاتی<sup>۶</sup>

میزان یون سولفات در این آبها بیش از ۵۸ میلی‌اکی‌والان بر لیتر است. میزان آن در آبهای زیرزمینی از ۱۴۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر تجاوز نمی‌کند. در حالی که در آب دریا معادل ۵۸ میلی‌اکی‌والان بر لیتر است در رابطه با آبهای سولفاتی، تیپ‌های زیر را می‌توان مشخص کرد:

- آبهای سولفاتی زیر اشباع که (rCa) (rSO<sub>۴</sub>) کوچکتر از ۷۰ است.

- آبهای سولفاتی نزدیک به حالت اشباع که (rCa) (rSO<sub>۴</sub>) بزرگتر از ۷۰ است.

علاوه بر طبقه‌بندیهای فوق برای آبهای سولفاتی دو حالت زیر را نیز می‌توان مشخص کرد:

$$rSO_4 > rCa$$

$$rSO_4 < rCa$$

#### ۴-۵-۱-۳ برحسب غلظت کربناتی و بی‌کربناتی

یونهای HCO<sub>۳</sub><sup>-</sup> و CO<sub>۳</sub><sup>-</sup> آب را می‌توان به صورتهای زیر مشخص کرد. این تقسیم‌بندی برای مناطق خشک در نظر گرفته شده است.

- 1 - Des eaux chlorothalassiques
- 2 - Des eaux hyperchlorure'es
- 3 - Des eaux sulfatee's normales
- 4 - Des eaux oligosulfatee's
- 5 - Des eaux sulfatee's
- 6 - Des eaux hypersulfatee's

۱- آبهای کم کربناتی<sup>۱</sup>:

در این آبها میزان کربنات و بیکربنات مساوی ۲ میلی اکی والان بر لیتر است. اما در حقیقت در اینجا یونهای مذکور وجود ندارد بلکه:

$$Kr = (rHCO_3 + rCO_3)^2 (rCa)$$

که این نسبت حاکی از وجود گازکربنیک همراه با کلسیم کربنات است. مقدار زیادی از کلسیم برای جایگزینی به کار برده شده و در نتیجه سبب کاهش مقدار یون  $HCO_3$  شده است. در این حالت اشباع شدگی از آهک به وجود می آید.

۲- آبهای کربناتی نرمال<sup>۲</sup>:

در این آبها  $rHCO_3 + rCO_3$  بین ۲ تا ۷ میلی اکی والان بر لیتر بوده که معمولاً به مربوط به آبهای زیرزمینی نرمال است.

۳- آبهای به شدت کربناتی<sup>۳</sup>:

در این آبها باید میزان  $rHCO_3 + rCO_3$  مساوی یا بیش از ۷ میلی اکی والان بر لیتر باشد.

#### ۴-۱-۵-۴ شاخص عدم تعادل کلروآلکالن<sup>۴</sup>: (شاخص بازی)

نتایج بررسیهای به عمل آمده برای حالتی مختلف آب، به صورت خلاصه زیر میزان عدم تعادل را مشخص می کند.

$$rCl > rNa \quad \text{یا} \quad (rCO_3 + rSO_4 < rMg + rCa) \quad (1)$$

اگر i.e.b مثبت باشد.

$$a) rCa > rCO_3$$

$$rCa > rSO_4 = rCO_3$$

$$rCa = rSO_4 + rCO_3$$

$$\beta) rCa < rSO_4 + rCO_3$$

$$ab) rCa = rCO_3$$

$$b) rCa < rCO_3$$

$$(rNa + rMg < rCl)$$

$$(rNa + rMg = rCl)$$

$$(rSO_4 + rCl > rNa + rMg > rCl)$$

$$(rNa + rMg = rSO_4 + rCl)$$

$$(rNa + rMg > rCl + rSO_4)$$

$$rCl = rNa \quad \text{یا} \quad (rCO_3 + rSO_4) = rMg + rCa \quad (2)$$

اگر i.e.b مساوی صفر باشد.

$$a) rCa > rCO_3$$

$$ab) rCa = rCO_3$$

$$b) rCa < rCO_3$$

$$(rMg < rSO_4)$$

$$(rMg = rSO_4)$$

$$(rMg > rSO_4)$$

1 - Des eaux hypocarbonatee's

2 - Des eaux sulfatee's

3 - Des eaux hypercarbonatee's

4 - Chloro - alcalin

$$rCl < rNa - 3 \text{ یا } (rCO_3 + rSO_4 > rMg + rCa)$$

اگر i.e.b منفی باشد.

$$a) rCa > rCO_3 \text{ (یا } rNa < rCl + rSO_4 \text{ یا } rNa + rMg < rCl + rSO_4)$$

$$ab) rCa = rCO_3 \text{ (} rNa + rMg = rCl + rSO_4)$$

$$b) rCa < rCO_3 \text{ (} rNa + rMg > rCl + rSO_4)$$

$$rCO_3 < rMg + rCa \text{ (} rNa < rCl + rSO_4)$$

$$rCO_3 = rCa + rMg \text{ (} rNa = rCl + rSO_4)$$

$$\beta) (rCO_3 > rCa + rMg) \text{ (} rNa > rCl + rSO_4)$$

#### ۵-۱-۵-۴ طبقه بندی آنیونی و کاتیونی آبها

رده بندی دیگری به صورت زیر می توان تنظیم کرد که ابتدا آنیونها و پس از آن کاتیونها به ترتیب اولویت، طبقه بندی می شوند:

$$rCl > rSO_4 > rCO_3$$

$$rCl > rCO_3 > rSO_4$$

$$rSO_4 > rCl > rCO_3$$

$$rSO_4 > rCO_3 > rCl$$

$$rCO_3 > rCl > rSO_4$$

$$rCO_3 > rSO_4 > rCl$$

و برای هریک از آنها :

$$rNa > rMg > rCa$$

$$rNa > rCa > rMg$$

$$rMg > rNa > rCa$$

$$rMg > rCa > rNa$$

$$rCa > rNa > rMg$$

$$rCa > rMg > rNa$$

به این ترتیب، ۳۶ ترکیب مختلف قابل ملاحظه است.

در مقایسه بین آبهای مختلف، بیان غلظت عناصر شیمیایی فقط به درصد مجموع بر حسب میلی گرم بر لیتر یا حتی میلی اکی والان بر لیتر اکتفا نشود، بلکه لازم است، از گزارشهای نسبتهای معرف مانند

$$rA = rHCO_3 + rCO_3 \text{ و مقادیر مطلق مانند } rMg/rCa, \frac{rCl - rNa}{rSO_4 + rHCO_3 + rNO_3}, \frac{rCl - rNa}{rCl}, \frac{rCa + rMg}{rNa} \text{ rso}_4 / rcl$$

نسبتهای حاصل ضرب حلالیت که شامل حد اشباع یا نزدیک به اشباع مانند  $[Ca] [A] [Ca] [SO_4]$  نیز می باشد، استفاده کرد.

#### ۴-۵-۱-۶ طبقه‌بندی آبها به روش سولین<sup>۱</sup>

آبها را از نظر کیفی می‌توان به چهار تیپ زیر تقسیم کرد:

- آبهای سدیم سولفاتی که در آن:  $r \frac{Na - Cl}{SO_4} < 1$
- آبهای سدیم بیکربناتی که در آن:  $r \frac{Na - Cl}{SO_4} > 1$
- آبهای منیزیم کلریدی که در آن:  $r \frac{Cl - Na}{Mg} < 1$
- آبهای کلسیم کلریدی که در آن:  $r \frac{Cl - Na}{Mg} > 1$

در هر یک از تیپهای فوق با توجه به آنیونها می‌توان سه گروه بشرح زیر مشخص کرد:

- آبهای بیکربناتی
- آبهای سولفاتی
- آبهای کلریدی

و هریک از گروهها به چند طبقه بشرح زیر تقسیم می‌شود:

- طبقه A<sub>۲</sub> - از نظر میزان قلیابیت در درجه دوم اهمیت هستند.
- طبقه S<sub>۲</sub> - از نظر میزان شوری در درجه دوم اهمیت هستند.
- طبقه S<sub>۱</sub> - از نظر میزان شوری در درجه اول اهمیت هستند.
- طبقه S<sub>۳</sub> - از نظر میزان شوری در درجه سوم اهمیت هستند.
- طبقه A<sub>۱</sub> - از نظر میزان قلیابیت در درجه اول اهمیت هستند.
- طبقه A<sub>۳</sub> - از نظر میزان قلیابیت در درجه سوم اهمیت هستند.

اما باید توجه داشت که تمام طبقات فوق نمی‌تواند در تمام گروه‌ها حضور داشته باشد.

#### ۴-۵-۱-۷ ارزیابی آبهای کشاورزی

به‌طور کلی، شایستگی آب در مصارف کشاورزی با املاح موجود در خاک و نوع گیاه ارزیابی می‌شود. املاح آب، ممکن است برای رشد گیاهان مضر باشد و اختلالاتی در فرایندهای اسمزی و واکنشهای متابولیک ایجاد کرده و با تعویض کاتیونهای کلسیم یا منیزیم خاک با سدیم آب، ساختار فیزیکی خاک تغییر یافته و آن را سخت می‌کند. در این روند، تهویه و هواگیری خاک، ضعیف شده و آب به ریشه گیاه نمی‌رسد و یونهای سدیم در اطراف ریشه جمع می‌شود.

در سامانه‌های کشاورزی مدرن، زهکشهای سطحی و زیرزمینی از عوامل بسیار مهم هستند و در رشد گیاهان و دور کردن سدیم از اطراف ریشه و افزایش نفوذپذیری خاک بسیار مؤثر است. دوره زهکشی با بیلان نمک کنترل می‌شود.

در جدول ۵ کیفیت آب کشاورزی توسط ویلکوکس گروه‌بندی شده است.



## جدول ۵- گروه‌بندی کیفیت آب از نظر کشاورزی

حساسیت نسبت به بر برحسب میلی‌گرم بر لیتر			EC×۱.۶ در ۲۵ درجه سانتیگراد	SAR	درصد سدیم	نوع آب
محصول مقاوم	محصول نیمه مقاوم	محصول حساس				
< ۱/۰۰	< ۰/۶۷	< ۰/۳۸	< ۲۵۰	< ۱۰	< ۲۰	عالی
۱/۰۰ - ۲/۰۰	۰/۶۷ - ۱/۳۳	۰/۳۸ - ۰/۶۷	۲۵۰ - ۷۵۰	۱۰ - ۱۸	۲۰ - ۴۰	خوب
۲ - ۳	۱/۳۳ - ۲/۰۰	۰/۶۷ - ۱/۰۰	۷۵۰ - ۲۰۰۰	۱۸ - ۲۶	۴۰ - ۶۰	مجاز
۳/۰۰ - ۳/۷۵	۲/۰۰ - ۲/۵	۱/۰۰ - ۱/۲۵	۲۰۰۰ - ۳۰۰۰	> ۲۶	۶۰ - ۸۰	مشکوک
> ۳/۷۵	> ۲/۵	> ۱/۲۵	> ۳۰۰۰		> ۸۰	نامناسب

درصد سدیم و نسبت جذب سدیم از روابط زیر که کاتیونها برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر می‌باشد قابل محاسبه است.

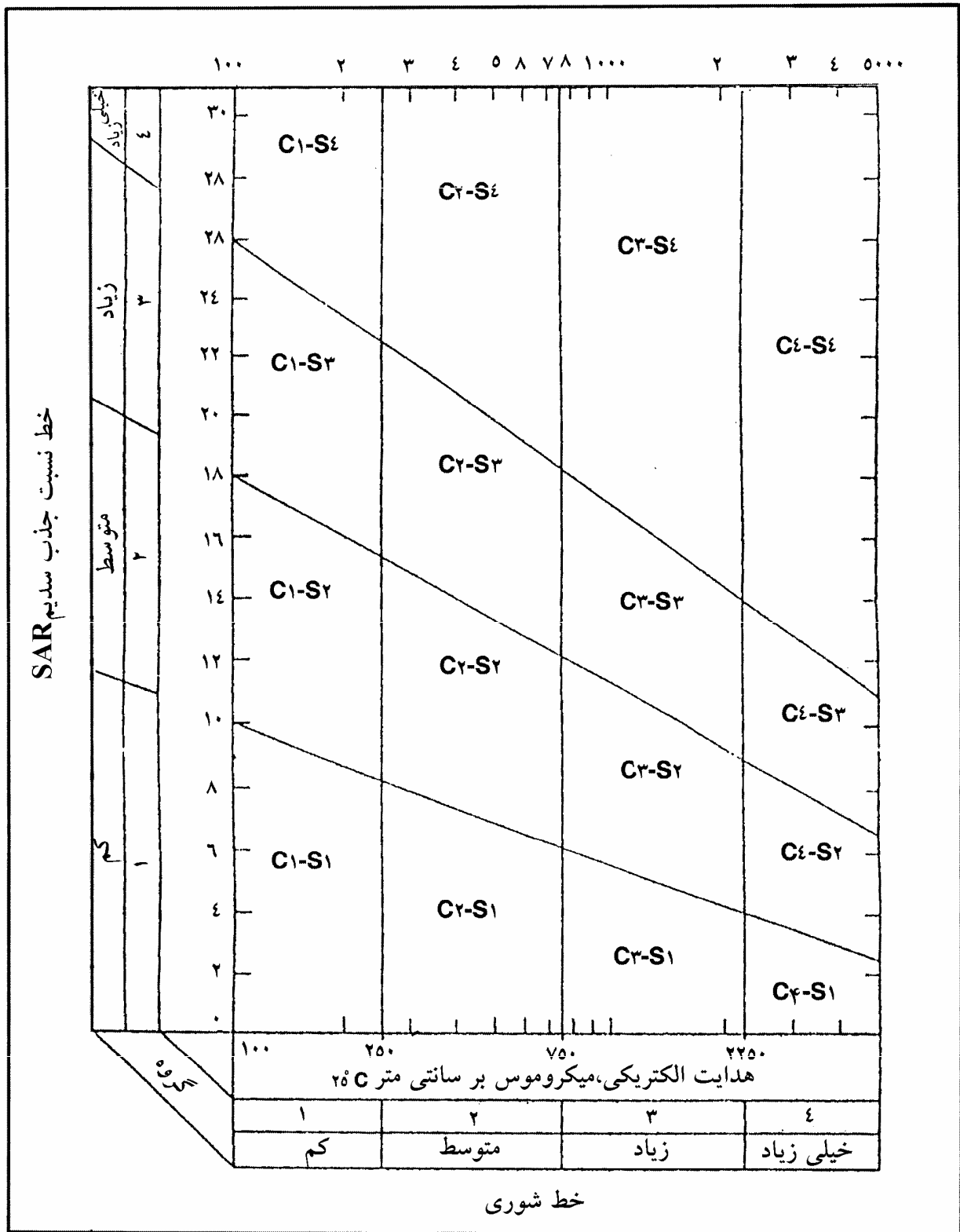
$$\%Na = \frac{(Na + K) \times 100}{Ca + Mg + Na + K} \quad SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

برای گروه‌بندی آبها از نظر آبیاری نمودارهایی براساس هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم و درصد سدیم طراحی و عرضه شده است شکلهای ۱۶ و ۱۷.

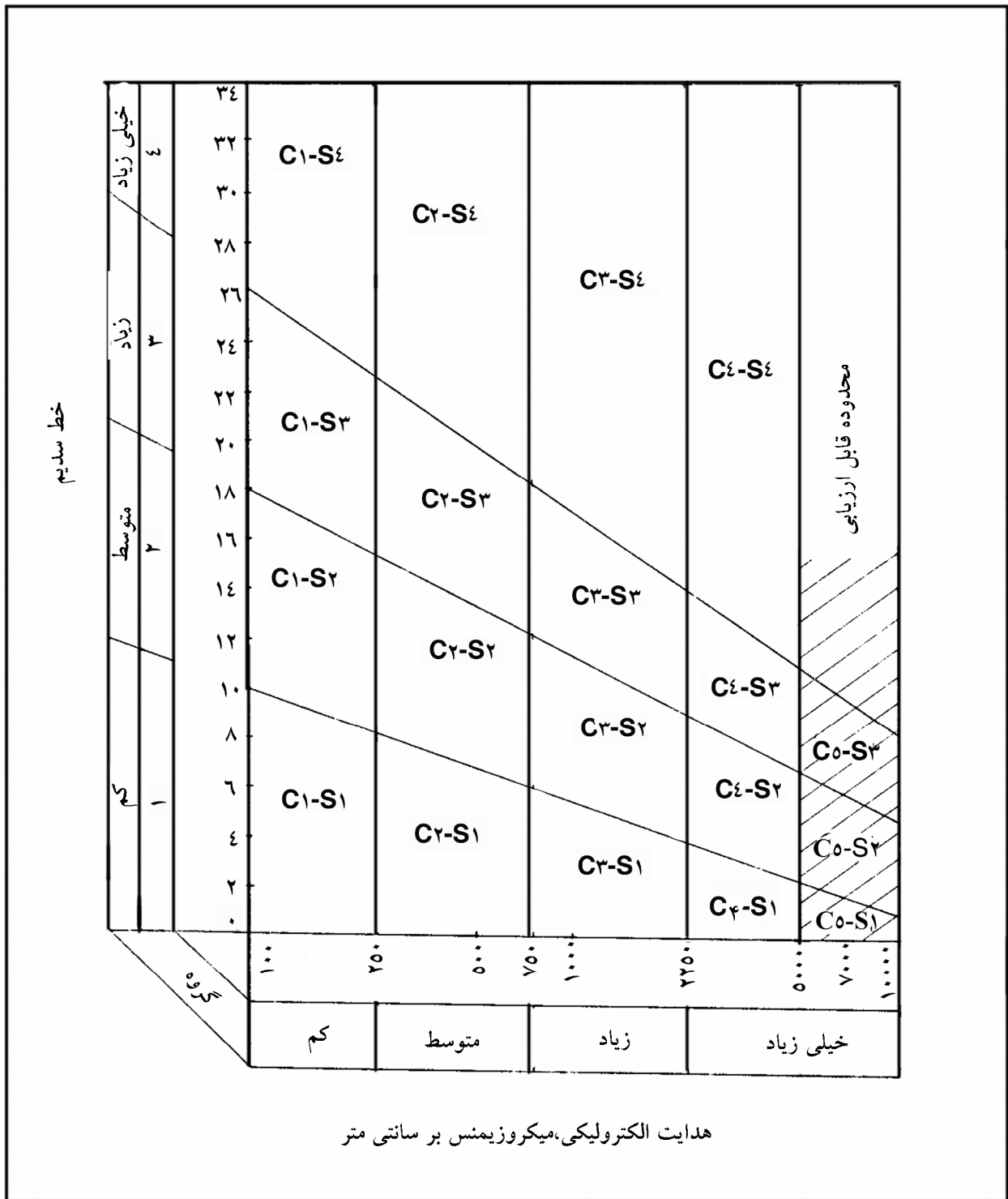
### ۴-۱-۱-۵ گروه‌بندی آبها در مصارف شرب

یونهای اصلی آب، و برخی از عناصر کمیاب، مانند آهن، منگنز، کبالت، روی و غیره برای ادامه حیات انسان نقش و اهمیت زیادی دارند. براین اساس، استاندارد آبهای مشروب ارائه شده است.

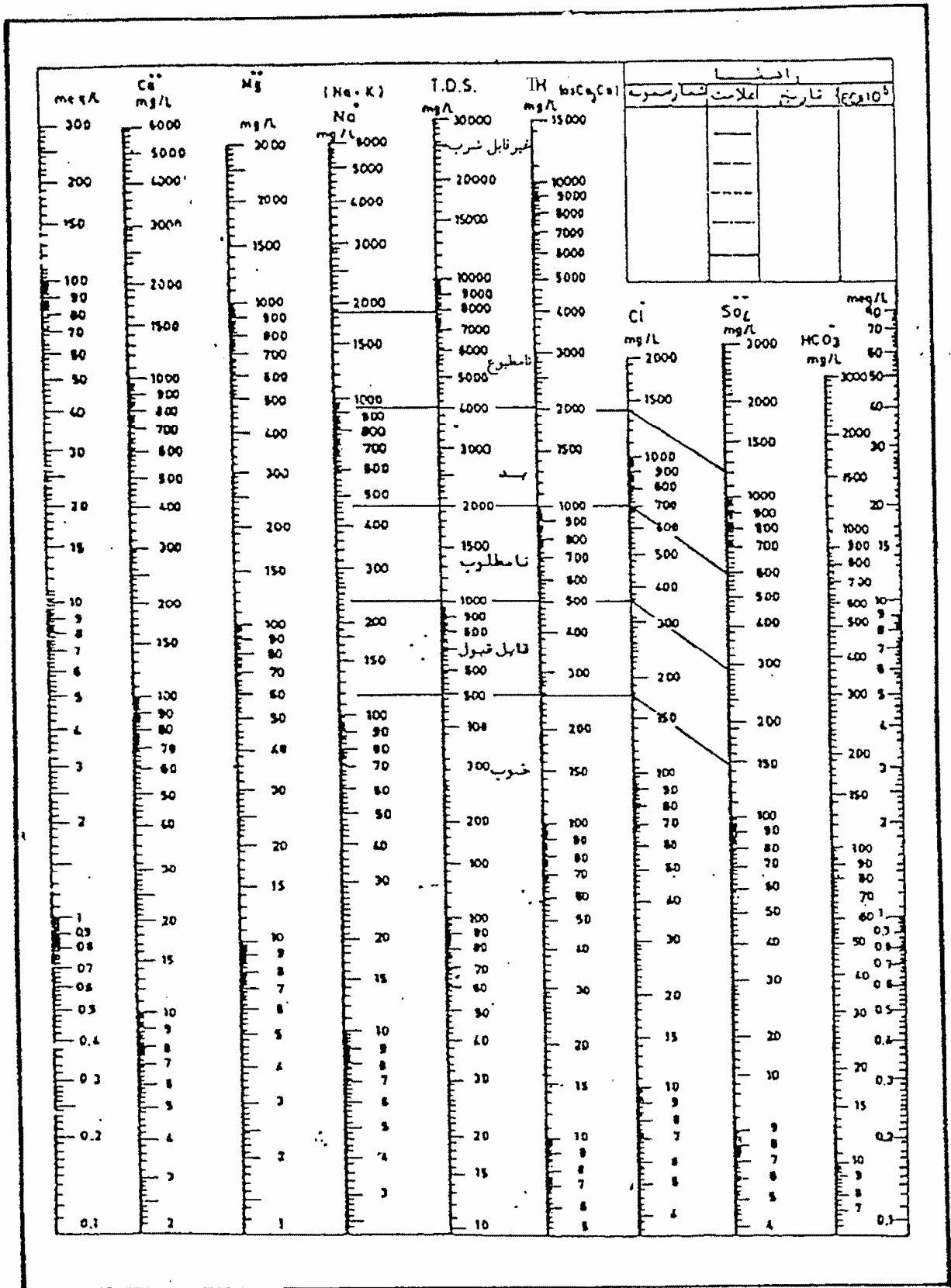
نمودار شولر با داده‌های استاندارد و مواد غیرآلاینده طراحی شده و از پایین به بالا به شش ناحیه برحسب مرغوبیت منابع آب تقسیم‌بندی است (شکل ۱۸).



شکل ۱۶- نمودار گروه‌بندی آبها در مصارف آبیاری



شکل ۱۷- نمودار گروه‌بندی آبها از نظر آبیاری با آبهای شور

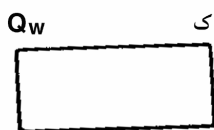


شکل ۱۸- نمودار لگاریتمی برای گروه‌بندی منابع آب در مصارف شرب

#### ۴-۵-۹ نقشه‌های کیفی منابع آب

روی کلیه نقشه‌های کیفیت منابع آب باید حرف فارسی «ک» و حروف لاتین ( $Q_w$ ) مطابق فرم نوشته شود.

- مشخصات کلی نقشه‌ها



در کلیه نقشه‌ها محل برداشت نمونه به صورت یک دایره (O) نشان داده می‌شود.

شماره منبع در بالای محل نمونه‌برداری نوشته می‌شود.

ارقام مربوط به املاح اندازه‌گیری شده که نقشه به منظور نشان‌دادن تغییرات آن رسم شده به صورت عدد صحیح در زیر

محل نمونه‌برداری نوشته می‌شود، غیر از نقشه S.A.R که ارقام آن تا یک رقم اعشار باید نوشته می‌شود.

منحنی‌های نمایش تغییرات املاح در کلیه نقشه‌های هیدروژئوشیمی به رنگ نارنجی و در صورتی که نقشه رنگی نباشد به

صورت خطوط پر سیاه ترسیم می‌شود.

منحنی‌های فرضی در کلیه نقشه‌ها با علامت خطچین نشان داده می‌شود.

کلیه نقشه‌ها برای آبخوان سطحی و آبخوانهای عمیق به‌طور جداگانه تهیه می‌شود.

حد بالاتر (ماکزیمم) هریک از املاح که نقشه به منظور نشان‌دادن تغییرات آن رسم شده با علائم (۸) مشخص می‌شود.

نقشه‌های هدایت الکتریکی آبهای زیرزمینی

$Q_w - 1$

ک - ۱

میزان هدایت الکتریکی برحسب میکروزیمنس بر سانتیمتر، در ۲۵ درجه سانتیگراد و با علامت اختصاری  $E.C \times 10^6$  در

۲۵ درجه سانتی‌گراد خواهد بود.

نقشه کلرید آب زیرزمینی

$Q_w - 2$

ک - ۲

نقشه دمای آب زیرزمینی

$Q_w - 3$

ک - ۳

نقشه T.D.S آب زیرزمینی

$Q_w - 4$

ک - ۴

میزان باقیمانده خشک برحسب میلی‌گرم بر لیتر (mg/L) و در ۱۸۰ درجه سانتیگراد و با علامت اختصاری T.D.S در  $180^{\circ}C$

نقشه سختی کل آب زیرزمینی

$Q_w - 5$

ک - ۵

TH برحسب میلی‌گرم بر لیتر کلسیم کربنات ( $CaCO_3$ )

نقشه S.A.R آب زیرزمینی

$Q_w - 6$

ک - ۶

با علامت اختصاری S.A.R<sup>1</sup> نشان داده می‌شود.

نقشه‌های گروه‌بندی آب زیرزمینی از نظر آبیاری

ک-۷  $Q_w - 7$

گروه‌بندی با علامت (C) یا هدایت الکتریکی<sup>۲</sup> میکروموس یا میکروزیمنس بر سانتیمتر در ۲۵ درجه سانتیگراد ( $EC \times 10^6$  در  $25^\circ C$ ) و S یا خط قلبایی شدن<sup>۳</sup> خواهد بود.

نقشه گروه‌بندی آب زیرزمینی از نظر شرب

ک-۸  $Q_w - 8$

نقشه تیپ آب زیرزمینی

ک-۹  $Q_w - 9$

تقسیم‌بندی نقشه تیپ آب برمبنای مقایسه اولویت یونها به میلی‌اکی‌والان بر لیتر و یا استفاده از نمودار نیمه لگاریتمی شولر خواهد بود.

نقشه رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی آبهای زیرزمینی

ک-۱۰  $Q_w - 10$

نقشه pH آب زیرزمینی

ک-۱۱  $Q_w - 11$

نقشه سولفات آب زیرزمینی

ک-۱۲  $Q_w - 12$

نقشه نسبت  $r \frac{SO_4}{Cl}$  آب زیرزمینی

ک-۱۳  $Q_w - 13$

نقشه نسبت  $r \frac{Mg}{Ca}$  آب زیرزمینی

ک-۱۴  $Q_w - 14$

نقشه تبادل بازی و عدم تعادل کلرو آلکان آب زیرزمینی

---

1 - Sodium adsorption ratio  
2 - Conductivity  
3 - Sodium (Alkali) hazard

Q<sub>w</sub> - ۱۵

ک- ۱۵

نقشه  $r \frac{Na}{Cl}$  آب زیرزمینی

Q<sub>w</sub> - ۱۶

ک- ۱۶

نقشه  $r \frac{Na}{Ca + Mg}$  آب زیرزمینی

Q<sub>w</sub> - ۱۷

ک- ۱۷

نقشه  $r \frac{Na}{Ca}$  آب زیرزمینی

Q<sub>w</sub> - ۱۸

ک- ۱۸

نقشه  $r \frac{Na}{Mg}$  آب زیرزمینی

Q<sub>w</sub> - ۱۹

ک- ۱۹

نقشه آب زیرزمینی از نظر آلودگی به میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا

Q<sub>w</sub> - ۲۰

ک- ۲۰

نقشه آب زیرزمینی از نظر آلودگی نیتراتها

Q<sub>w</sub> - ۲۱

ک- ۲۱

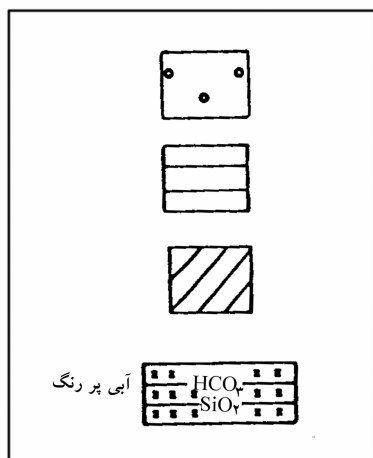
نقشه آب زیرزمینی از نظر آلودگی به شوینده‌ها

Q<sub>w</sub> - ۲۲

ک- ۲۲

#### ۴-۵-۹-۱ نشانده‌های خطی و رنگی مربوط به کیفیت آب

#### ۴-۵-۹-۱-۱ تیپ آب زیرزمینی:



• تیپ آب بیکربناتی (رنگ آبی یا دواپر توخالی)

• تیپ آب سولفاتی (رنگ زرد یا هاشور افقی)

• تیپ آب کلریدی (رنگ سبز یا هاشور مورب)

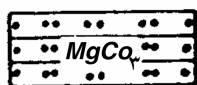
• آبهای بیکربناتی سیلیس‌دار (آبی پررنگ و یا هاشور افقی و

(علامت x)



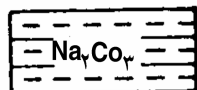
آبی کمرنگ

- آبهای کلسیم کربناتی (آبی کمرنگ و یا هاشور افقی و دواير توپير)



آبی بنفش

- آبهای منیزیم کربناتی (رنگ آبی بنفش یا دواير توپير)



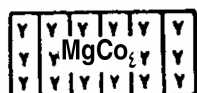
آبی تیره

- آبهای سدیم کربناتی (آبی تیره و یا هاشور افقی و خطوط منقطع)



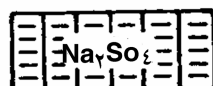
زرد کمرنگ

- آبهای کلسیم سولفاتی (زرد کمرنگ و یا هاشور عمودی و علائم ۸)



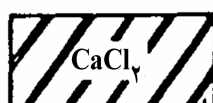
زرد پرتقالی

- آبهای منیزیم سولفاتی (رنگ پرتقالی و یا هاشور عمودی و علامت y)



زرد مایل به قهوه ای

- آبهای سدیم سولفاتی (رنگ زرد مایل به قهوه‌ای و یا هاشور عمودی و خطوط منقطع)



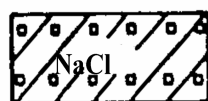
ترکیبی از سبز و قهوه ای

- آبهای کلسیم کلریدی (رنگ ترکیبی از سبز و قهوه‌ای و یا هاشور مورب دوتایی در جهت راست به چپ)



سبز آبی

- آبهای منیزیم کلریدی (رنگ سبز آبی و یا هاشور مورب دوتایی در جهت چپ به راست)



سبز کمرنگ

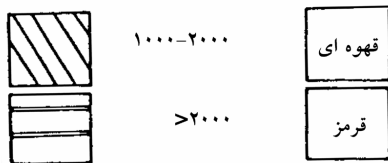
- آبهای سدیم کلریدی (رنگ سبز پررنگ و یا هاشور مورب و علامت « »)

#### ۴-۵-۹-۱-۲ نشانه‌های مربوط به نقشه سختی کل آب (T.H)

	< ۲۰۰	آبی
	۲۰۰-۳۰۰	سبز
	۳۰۰-۵۰۰	زرد
	۵۰۰-۱۰۰۰	نارنجی

- سختی کمتر از ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کمتر کلسیم کربنات
- سختی از ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کلسیم کربنات
- سختی از ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کلسیم کربنات
- سختی از ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کلسیم کربنات



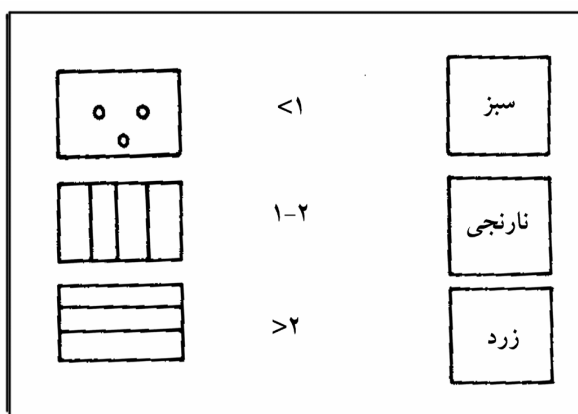


- سختی از ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی گرم بر لیتر کلسیم کربنات
- سختی بیش از ۲۰۰۰ میلی گرم بر لیتر کلسیم کربنات

۴-۵-۹-۱-۳ نشانه‌های مربوط به نقشه نسبت  $rMg/rCa$ :

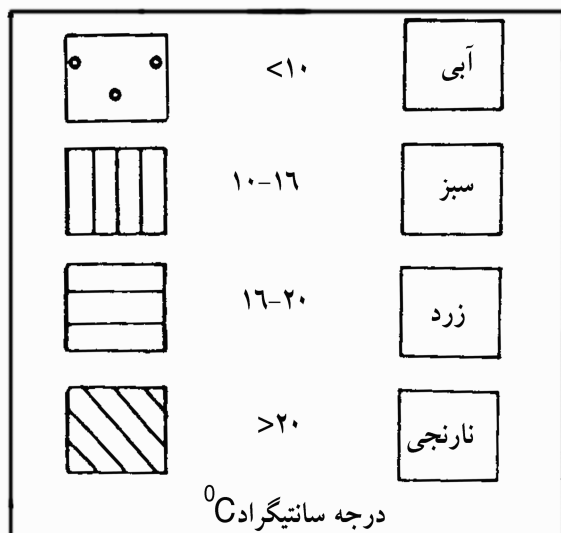
- $rMg/rCa$  کمتر از ۰/۵
- $rMg/rCa$  بین ۰/۵ تا ۱
- $rMg/rCa$  بزرگتر از ۱

۴-۵-۹-۱-۴ نشانه‌های مربوط به نقشه نسبت  $rSO_4/rCl$ :




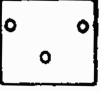




- $rSO_4/rCl$  کمتر از ۱
- $rSO_4/rCl$  بین ۱ تا ۲
- $rSO_4/rCl$  بزرگتر از ۲

۴-۵-۹-۱-۵ نشانه‌های مربوط به نقشه دما:



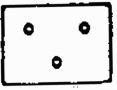

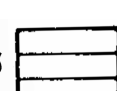

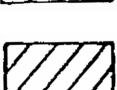
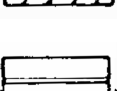
- دما کمتر از ۱۰ درجه سانتیگراد (درجه سلسیوس)
- دما ۱۰ - ۱۶ درجه سانتیگراد
- دما ۱۶ - ۲۰ درجه سانتیگراد
- دما بیش از ۲۰ درجه سانتیگراد

۴-۵-۹-۱-۶ نشانه‌های مربوط به نقشه به نقشه pH:

	<7	قرمز
	7-7/5	آبی
	7/5-8	سبز
	8-8/5	زرد
	8/5-9	نارنجی
	>9	قهوه ای



- pH کمتر از 7
- pH از 7/5 - 7
- pH از 8 - 7/5
- pH از 8/5 - 8
- pH از 9 - 8/5
- pH بیشتر از 9

۴-۵-۹-۱-۷ نشانه‌های مربوط به نقشه گروه‌بندی آب در مصارف شرب (براساس نمودار شولر):

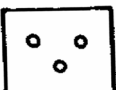


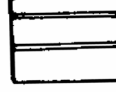
خوب		۱	آبی
قابل قبول		۲	سبز
نامطلوب		۳	زرد
نامناسب		۴	نارنجی
کاملاً نامطلوب		۵	قهوه ای
غیر قابل شرب		۶	قرمز

- خوب
- قابل قبول
- نامطلوب
- بد
- نامطبوع
- غیر قابل شرب

۴-۵-۹-۱-۱ نشاندهای خطی مربوط به نقشه آلودگی از نظر آلودگیهای میکروارگانیسمهای بیماری‌زا (از نظر شرب):

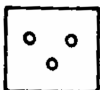

	آبی پاک	پاک
	قرمز آلوده	آلوده

۴-۵-۹-۱-۹ نشاندهای خطی مربوط به نقشه گروه‌بندی آب از نظر آلودگیهای پاک‌کننده (از نظر شرب):


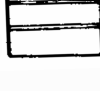
	< ۰/۱	سبز	کمتر از ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر
	۰/۱-۰/۲	نارنجی	۰/۱ - ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر
	۰/۲-۰/۵	قهوه‌ای	۰/۲ - ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر
	> ۰/۵	قرمز	بیشتر از ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر

Mg/l A.B.S یا L.A.S

۴-۵-۹-۱-۱۰ نشاندهای مربوط به نقشه گروه‌بندی آب از نظر آلودگی نترات بر حسب نیتروژن (از نظر شرب):

	< ۱	آبی	کمتر از ۱ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن
	۱-۱۰	سبز	از ۱ تا ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن

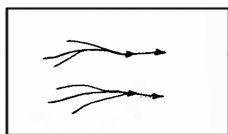
  

	۱۰-۲۰	قرمز کم‌رنگ	از ۱۰ تا ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن
	> ۲۰	قرمز پررنگ	بیشتر از ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن

Mg/l Nor -N

#### ۴-۵-۹-۱-۱۱ نشانه‌های عمومی نقشه‌های کیفیت آب:

- رودخانه‌ها با هدایت الکتریکی کمتر از ۵۰۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر به رنگ آبی پررنگ

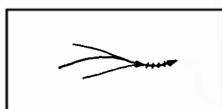


- رودخانه‌ها با هدایت الکتریکی از ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر به رنگ آبی کم‌رنگ

- رودخانه‌ها با هدایت الکتریکی از ۱۰۰۰ تا ۲۵۰۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر به رنگ زرد

- رودخانه‌ها با هدایت الکتریکی از ۲۵۰۰ تا ۵۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر به رنگ نارنجی

- رودخانه‌ها با هدایت الکتریکی بیش از ۵۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر به رنگ بنفش



- رودخانه‌های آلوده به فاضلاب به رنگ سیاه

- چون رودخانه‌ها در نقشه‌های هیدروژئولوژی نیز به رنگ آبی می‌باشد رنگ مربوط به تقسیمات کیفیت به صورت نواری

در کنار رنگ آبی آورده می‌شود.

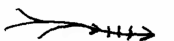
- در صورت رنگی نبودن نقشه از نشانه‌های زیر استفاده می‌شود:



• رودخانه‌های با هدایت الکتریکی کمتر از ۵۰۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر



• رودخانه‌های با هدایت الکتریکی کمتر از ۵۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر



• رودخانه‌های آلوده به فاضلاب



• رودخانه دارای آب معدنی



• حد آبهای زیرزمینی شور و شیرین در یک سفره



• خطوط هم شوری آب زیرزمینی (زائده در جهت شوری است)

• منحنی تداخل آب زیرزمینی شیرین و شور برحسب متر زیر سطح دریا

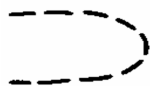
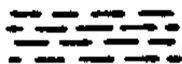


• ناحیه نفوذ آب دریا



• حد شورشدگی آبهای کم عمق ساحلی (حد معدنی شدن آبهای کم عمق ساحلی)

- منطقه آب زیرزمینی معدنی شده ساحلی
- گسترش آب معدنی شده روی آب زیرزمینی شیرین
- حدود منطقه تبخیری
- دریاچه با آب شور یا لب شور
- دریاچه آب شور فصلی
- حدود سازندهای شور و تبخیری
- پلایا با آبهای فصلی (زمینهای پست) خط ساحلی نقطه چین آبی و باند داخلی به رنگ نارنجی و در صورت رنگی نبودن نقشه خط ساحلی نقطه‌چین و خط داخلی سیاه و پر
- چشمه‌های معدنی سرد و شیرین
- چشمه‌های معدنی گرم
- چشمه‌های معدنی  $\text{CO}_2$  دار
- چشمه‌های معدنی  $\text{H}_2\text{S}$  دار (Fe)
- چشمه‌های مستغرق
- دسته چشمه‌های گرم ژئوترمال (محدوده)



$\text{CO}_2$



$\text{H}_2\text{S}$



- 1- Hem, John.D., 1989 "Study and Interpretation of the chemical characteristics of Natural Water" U.S Geological Survey Water - Supply paper 2254
- 2- Schoeller H., 1962" Les eaux Souterraines" Masson & Cte, Editeurs - 120 Boulevard 2-Saint - Germain - Paris (VIe)
- 3- R.H Braun, A.A. Konoplyostsev j.Ineson, V.S Konuoleurky, 1983 "Groundwater Studies" Unesco.
- 4- 1997' Hydrogeoly Journal" Volum 5, No.1 the Official Journal of the International4-Hydrogeologists Ass.
- 5- "Water Quality Surveys" 1988Unesco - WHO
- 6- Schoeller M., 1964" La Concentration des eaux Souterraines en chlore" Extrait du6-Bulletin du B.R.G.M - No.2
- 7- 1993' Water Quality International" IAWQ.

In the Name of God  
Islamic Republic of Iran  
Ministry of Energy  
Iran Water Resources Management CO.  
Deputy of Research  
Office of Standard and Technical Criteria

# *Guide for Qualitative Evaluations of Water Resources*

## این نشریه

با عنوان «راهنمای ارزیابی کیفی منابع آب» ارائه شده است. در مقدمه به اهمیت بررسی و ارزیابی کیفی منابع آب با تأکید به سرزمینهای خشک و نیمه خشک اشاره گشته است. در متن استاندارد عوامل زمین‌شناسی، آب و هوایی، زمان و مکان، ساختار حوضه‌های آبریز، پارامترهای هیدرودینامیکی که سبب تغییر و تحول کیفیت می‌گردند بررسی و قوانین حاکم بر آنها برآورد شده است برای تعبیر و تفسیر نتایج ویژگیهای شیمیایی آبها، روشهای آماری، نمودارهای کیفی، نقشه‌های هیدروژئوشیمیایی و نشانه‌های استاندارد ذکر و در انتها گروه‌بندی و کاربری آنها در مصارف گوناگون بیان گردیده است.