

## ارزیابی کیفی منابع آب در بالادست حوضه آبریز آجی‌چای

دکتر فریبا کرمی<sup>۱</sup>

### چکیده

رودخانه‌ی آجی‌چای بزرگترین رود شرق دریاچه‌ی ارومیه است که سرشاخه‌های اصلی آن از کوه‌های سبلان، سهند و رشته‌کوه بزقوش سرچشمه می‌گیرند. علاوه بر آبراهه‌های اصلی، حوضه‌ی آبریز آجی‌چای دارای ذخایر غنی آب‌های زیرزمینی نیز می‌باشد. معمولاً کیفیت آب‌ها در تماس با سازندهای مارنی گچدار و نمکدار بخش‌های میانی حوضه، تغییر می‌یابد و به آب‌های شور و حتی خیلی شور تبدیل می‌شوند. هدف این مطالعه ارزیابی کیفیت منابع آب بالادست حوضه‌ی آبریز آجی‌چای از نظر مصارف کشاورزی می‌باشد که برای این منظور از نتایج تجزیه شیمیایی نمونه آب‌های سطحی و زیرزمینی، شاخص‌های کیفی شامل (TH, Cl, %Na, TDS, SAR, Ec) و دی‌گرام‌های کیفی (Piper, USSL) در خرداد ۱۳۸۷ استفاده شد. نقشه‌ها در محیط (GIS) ترسیم شدند.

نتیجه‌ی این پژوهش نشان می‌دهد که آب‌های شیرین به مقدار کم (حدود ۲ درصد) در آبخوان‌های پایکوه‌های سبلان وجود دارد و بیشتر آب‌های زیرزمینی منطقه از نظر کیفیت متوسط هستند. در حدود ۴۰ درصد آب‌های زیرزمینی منطقه را آب‌های شور و خیلی شور تشکیل می‌دهند. آب‌های سطحی هم که از ارتفاعات سبلان سرچشمه گرفته‌اند و در بالادست حوضه اندازه‌گیری شده‌اند از نظر کیفی شیرین هستند.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی کیفی آب، شاخص‌ها و نمودارهای کیفی، آبخوان‌های سبلان و بزقوش، حوضه‌ی آبریز آجی‌چای.

### مقدمه

کلیه‌ی آب‌ها دارای املاحی هستند که به‌صورت محلول در آن‌ها وجود دارند. مهمترین اجزای املاح در آب از کاتیون‌ها (شامل  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Al^{+++}$ ,  $Fe^{++}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ) و آنیون‌ها (شامل  $No_2^-$ ,  $So_4^{--}$ ,  $Cl^-$ ,  $Co_3^-$ ,  $Hco_3^-$ ) تشکیل شده‌اند. اما عملاً فقط بعضی از املاح به مقدار زیاد در آب وجود دارند که اغلب از سه کاتیون کلسیم، سدیم و منیزیم و چهار آنیون کلر، سولفات، کربنات و بی‌کربنات تشکیل می‌شوند (کردوانی، ۱۳۸۶: ۱۰). آب‌ها را بر اساس میزان یا نسبت این عناصر و املاح طبقه‌بندی می‌کنند. از این نظر، نوع

ترکیب نمکی و غلظت آنها در آب می‌تواند معیار مطمئنی برای ارزیابی کیفیت آب باشد. تعیین کیفیت آب برای انواع مصارف آن اعم از آبیاری، شرب، کاربری صنعتی، تولید نیرو و غیره بسیار حائز اهمیت است. تمامی فرآیندها و واکنش‌هایی که در چرخه‌ی هیدرولوژی عمل می‌کنند از لحظه‌ی تراکم آب در آتمسفر تا زمان آبدهی به صورت چشمه یا چاه در کیفیت آب نقش دارند (Ghosh and Sharma, 2006:426).

امروزه، کیفیت آب‌ها در سراسر جهان بویژه در کشورهای جهان سوم به وسیله‌ی فرآیندهای طبیعی و انسانی در حال کاهش است (Li and Zhang, 2008:3535). از یکسو ازدیاد جمعیت سبب شده روز به روز تقاضا به منابع آب شیرین افزایش یابد و از سوی دیگر به دلیل عدم دسترسی کافی و آسان به آب‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی به شدت مورد بهره‌برداری و استفاده قرار می‌گیرند. این افزایش بهره‌برداری از آبخوان‌ها علاوه بر افت سطح ایستابی آب زیرزمینی، کاهش کیفیت شیمیایی آب‌ها را نیز در پی دارد.

کارشناسان معتقدند انسان در قرن بیست و یکم با بحران کم‌آبی مواجه خواهد شد. از این رو سازمان ملل متحد برای مقابله با این بحران، سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۰۵ را به نام دهه‌ی آب نام‌گذاری کرده است. این بحران در مناطق خشک و نیمه‌خشک کره‌ی زمین به علت محدودیت منابع آب سطحی چشمگیرتر خواهد بود. کشور ایران نیز به علت موقعیت جغرافیایی خاص با مشکل کم‌آبی مواجه است.

رودخانه‌ی آجی‌چای بزرگترین رود شرق دریاچه ارومیه است که سرشاخه‌های اصلی آن از کوه‌های سبلان، سه‌سند و رشته‌کوه بزقوش سرچشمه می‌گیرند. در ارتباط با کیفیت شیمیایی منابع آب بالادست حوضه آجی‌چای، چنین به نظر می‌رسد که رودهایی مانند آغمیون‌چای و تاجیارچای که از ارتفاعات اطراف به سمت دشت جریان دارند قبل از رسیدن به مرکز دشت در سطح مخروط‌افکنه‌های بزرگ به شاخه‌های متعددی تقسیم می‌شوند و به مصرف آبیاری باغ‌ها و زمین‌های زراعی می‌رسند، علاوه بر آن، فرصت بیشتری برای تبخیر و نفوذ در زمین پیدا می‌کنند. ولی برخی رودها در مسیر حرکت خود به سمت دشت به دلیل تماس با رسوبات نئوژن که حاوی مارن‌های گچ‌دار و نمک‌دار هستند، تبادلات یونی انجام داده و کیفیت شیمیایی آنها تغییر می‌یابد. در ارزیابی کیفی آب آبیاری از برخی شاخص‌های کیفی استفاده می‌کنند. برای مثال شوری آب به وسیله‌ی شاخص‌های هدایت الکتریکی (Ec)، مواد جامد حل‌شده (TDS) و کلر (Cl) ارزیابی می‌شود.

*Archive of SID*

نسبت سدیم به دیگر کاتیون‌ها (SAR) و درصد سدیم (%Na) برای تعیین قلیائیت یا سدیک بودن آب به کار می‌رود. همچنین میزان کربنات کلسیم موجود در آب برای ارزیابی کیفی سختی (TH) آب مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ghosh and Sharma, 2006:432). در این مطالعه، برای شناخت وضعیت کیفی آب‌های بالادست حوضه آجی‌چای، برای اهداف آبیاری، شاخص‌های کیفی (شامل هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، مواد جامد حل شده، درصد سدیم، میزان کلر و غیره) مورد بررسی قرار گرفتند. برای رده‌بندی و تعیین تیپ آب‌ها از دیاگرام‌های کیفی (USSL و Piper) استفاده شد و نقشه کیفیت آب‌های زیرزمینی در محیط GIS ترسیم شد.

**سابقه و پیشینه‌ی پژوهش**

در مورد منابع آب بویژه از نظر کیفیت آب‌ها، مطالعات زیادی انجام شده است. برخی محققان با استفاده از متغیرهای هیدروشیمی، کیفیت شیمیایی آب‌ها را مورد ارزیابی قرار دادند. برای مثال، Feth and Gibbs (1971:870-872) مکانیسم‌های کنترل‌کننده‌ی شیمی آب را با تأکید بر فرایند تبخیر مطالعه کردند. برخی نیز برای بررسی کیفیت منابع آب با استفاده از روش‌های آماری، شاخص‌های کیفی را توسعه دادند.

برای مثال Stigter et al (2006:578-591) برای مطالعه‌ی کیفیت آب زیرزمینی Protuguese از شاخص‌های (GWQ1) و (GWC1) استفاده کردند. Dixon (2005:17-38) در این زمینه مدل‌های فازی - عصبی را به کار برد. Liu et al (2003:77-89) نیز با استفاده از تحلیل عاملی به ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی در تایوان اقدام کرد.

Mencio and Mas-Pla (2008:355-366) به وسیله‌ی تحلیل‌های آماری به ارزیابی ویژگی‌های کیفی منابع آب حوضه‌ی مدیترانه پرداخت. Punapitukuul et al (2005:149-163) به بررسی شرایط هیدروژئومورفولوژی در کیفیت آب‌های زیرزمینی حوضه دریاچه Songkhla اقدام کردند. همچنین Lecomte et al (2009: 195-202) تأثیر متغیرهای ژئومورفولوژی را در شیمی آب رودخانه‌های کوهستانی آرژانتین بررسی کردند.

Li and Zangh (2008: 3535-3544) ژئوشیمی بالادست رودخانه هان‌چین را با هدف بررسی توزیع مکانی ترکیبات یونی عمده و عوامل مؤثر بر آن را مطالعه کردند. برای این منظور از روش‌های آماری چندمتغیره مانند تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده کردند.

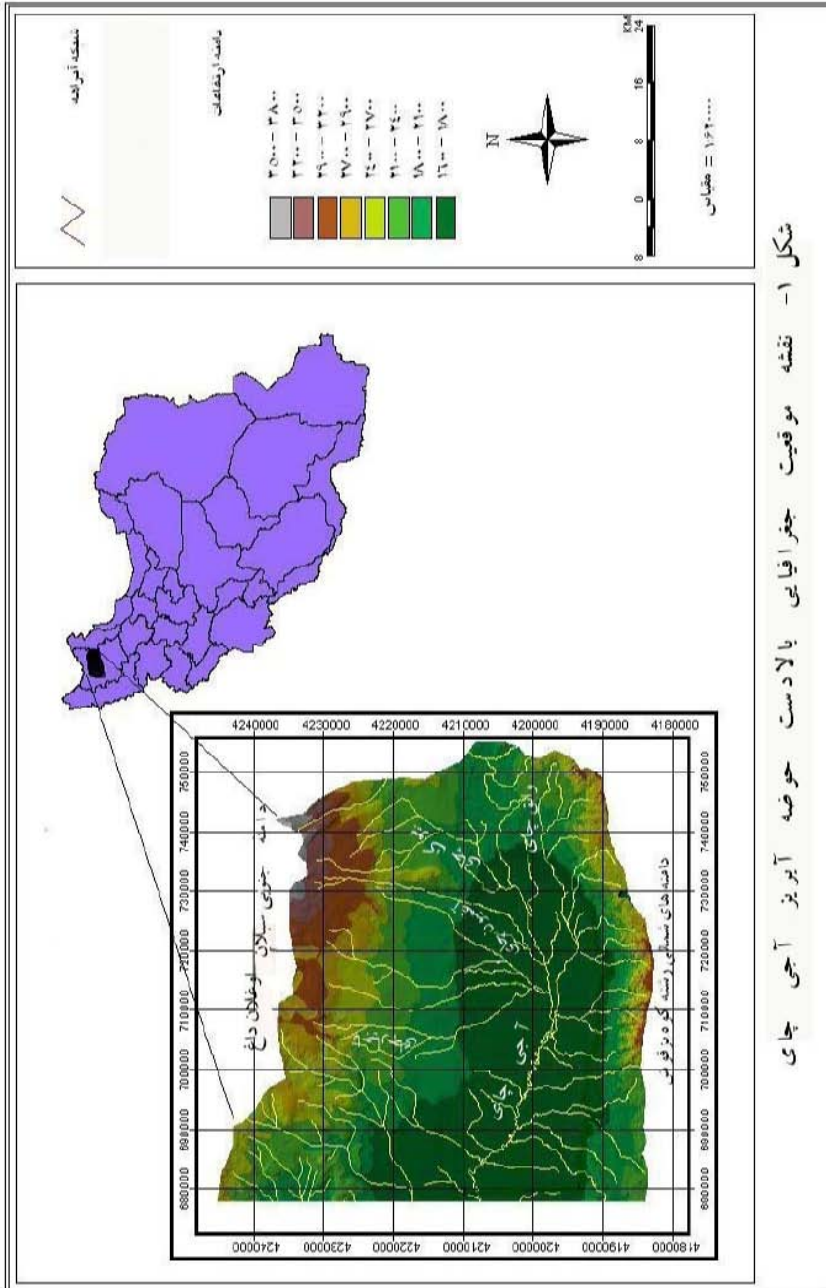
McNeil et al (2005: 181-200) هم با به کارگیری روش تحلیل خوشه‌ای به بررسی کیفیت آب رودخانه‌های کوئیزلند استرالیا پرداخته و انواع تیپ‌های مختلف آبی را مشخص کردند. در ایران نیز مطالعات زیادی در مورد منابع آب کشور صورت گرفته است. برای مثال، فیض‌نیا و همکاران (۱۳۸۵: ۱۲۰-۱۱۱) به بررسی نهشته‌های کوآترنر برای پهنه‌بندی اراضی مستعد آبخوان‌داری در کوه‌دشت لرستان اقدام نمود.

Ghayoumian et al (2007:374-364) با کمک تکنیک GIS نواحی مناسب برای تغذیه آب‌های زیرزمینی در جنوب ایران را شناسایی کردند. جهانبخش و کرمی نیز (۱۳۸۸) کیفیت آب‌های زیرزمینی پایین دست حوضه‌ی آبریز آجی‌چای را در ارتباط با وقوع خشکسالی مطالعه کردند.

### موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

رودخانه آجی‌چای بزرگترین حوضه‌ی رود شرق دریاچه ارومیه است. سرچشمه آن از کوه سهند و رشته‌کوه بزقوش در جنوب و کوه سبلان در شمال حوضه است (شکل ۱). طول شاخه‌ی اصلی آن تا دشت تبریز ۱۷۴ کیلومتر و از ابتدای دشت تا دریاچه‌ی ارومیه ۹۴ کیلومتر است. شیب آن در قسمت اول ۳ درصد و در دشت به ۱ درصد می‌رسد. آغمیون‌چای، تاجیارچای و وانق‌چای از آبراهه‌های اصلی این رودخانه هستند که از کوه سبلان و بزقوش سرچشمه می‌گیرند. قسمت اعظم حوضه‌ی آبریز آجی‌چای از تشکیلات نمکی و مارنی دوره‌ی میوسن تشکیل یافته است. به سبب جریان آب از این تشکیلات کیفیت آن تغییر یافته و املاح بیشتری را در داخل خود حمل می‌کند که باعث شوری آن می‌شود.

منطقه‌ی مورد مطالعه، بر اساس منابع تغذیه آب زیرزمینی به سه منطقه تقسیم می‌شود. منطقه‌ی اول به آبخوان‌های پایکوه‌های جنوبی کوهستان سبلان تعلق دارد. منطقه‌ی اسبفروشان-هریس، سفره‌های آب زیرزمینی پایکوه‌های شمالی رشته‌کوه بزقوش را شامل می‌شود (شکل ۲) و محدوده بافتان-ابراغان، آکیفرهای غرب منطقه را دربرمی‌گیرد. به‌طور عمده نیاز آبی مصارف کشاورزی در منطقه از منابع آب‌های سطحی و تخلیه آب‌های زیرزمینی (چشمه و قنات و بهره‌برداری از چاه‌ها) تأمین می‌شود (شکل ۳).





شکل ۲: مخروط افکنه‌های آبخوان‌های محدوده‌ی اسبفروشان - هریس (۱۳۸۰)  
مأخذ: نگارنده



شکل ۳: ظهور چشمه در ارتفاعات دره آغمیون (۱۳۸۸)  
مأخذ: نگارنده

### مواد و روش‌ها

برای دستیابی به هدف مطالعه از نتایج تجزیه شیمیایی نمونه آب‌های سطحی رودخانه آغمیون‌چای و تاجیارچای (ایستگاه‌های سهزاب، میرکوه) در خردادماه ۱۳۸۷ استفاده شد.

*Archive of SID*

همچنین برای رده بندی و تعیین تیپ آب زیرزمینی، نتایج تجزیه شیمیایی نمونه آب زیرزمینی ۵۰ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق، شامل پارامترهای اندازه گیری شده مانند کاتیون ها (سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم)، آنیون ها (کربنات ها و بی کربنات ها، کلرید و سولفات) اصلی موجود در آب، قابلیت هدایت الکتریکی<sup>۱</sup> (Ec)، نسبت جذب سدیم<sup>۲</sup> (SAR) و کل مواد جامد حل شده<sup>۳</sup> (TDS) استفاده شدند.

نمونه های آب زیرزمینی در آزمایشگاه های سازمان آب منطقه ای استان آذربایجان شرقی آزمایش شده و به وسیله ی سازمان مدیریت منابع آمار در اختیار پژوهشگران قرار می گیرد. برای تعیین کیفیت آب ها هم از نمودارهای کیفی Piper و Ussl استفاده شد. قبل از تجزیه و تحلیل داده ها، با استفاده از رابطه توازن غلظت یونی (رابطه ۱)، صحت آزمایش های تجزیه شیمیایی آب ها تأیید شدند. (رابطه ۱)  $B_1 > 5$  نقص در روند آزمایش ها،  $B_1 > 10$  غیرعادی و  $B_1 < 5$  مطلوب بوده و ترجیح داده می شود.

رابطه ۱:

$$B_1 = \frac{[\Sigma(\text{cations}) - \Sigma(\text{Anions})]}{\Sigma(\text{Cations} + \text{Anions})} \times 100$$

در مورد نتایج تجزیه شیمیایی آب های منطقه در سال های مورد مطالعه میزان  $B_1$  کمتر از ۵ می باشد.

### شاخص های کیفی

برای شناخت وضعیت کیفی منابع آب از شاخص های کیفی آب استفاده می کنند (ولایتی، ۱۳۸۷: ۲۰۸) که عبارتند از:

### شاخص قابلیت هدایت الکتریکی (Ec)

میزان قابلیت هدایت الکتریکی، نشان دهنده ی میزان مجموع نمک های محلول است. به عبارت دیگر، درجه شوری آب را از روی هدایت الکتریکی مخصوص آن بر حسب سانتی متر به واحد میلی موس و یا میکروموس محاسبه می کنند (کردوانی، ۱۳۸۶: ۴). آب ها را از نظر هدایت الکتریکی یا درجه شوری (برای آبیاری در کشاورزی) به پنج گروه تقسیم می کنند (جدول ۱).

- 
- 1-Electrical Conduction
  - 2-Sodium Adsorption Ratio
  - 3-Total Dissolved Solides

## شاخص نسبت جذب سدیم (SAR)

شاخص دیگری که برای سنجش کیفیت آب به کار می‌رود، شاخص نسبت جذب سدیم است که در آن نسبت کاتیون‌های محلول در آب یعنی Ca، Mg و Na و گاهی K با یکدیگر مورد توجه قرار می‌گیرد. از نظر نسبت جذب سدیم میزان قلیائیت آب‌ها را به پنج گروه تقسیم می‌کنند (جدول ۱).

جدول ۱: طبقه‌بندی آب آبیاری بر اساس شاخص‌های SAR، EC، Cl و Na%

درصد سدیم آب	غلظت کلر (میلی اکی‌والان در لیتر)	نسبت جذب سدیم	هدایت الکتریکی (میکروموس بر سانتیمتر)	نوع کیفیت آب
<۲۰	<۴	-	<۲۵۰	عالی
۲۰-۴۰	۴-۷	<۱۰	۲۵۰-۷۵۰	خوب
۴۰-۶۰	۷-۱۲	۱۰-۱۸	۷۵۰-۲۲۵۰	متوسط
۶۰-۸۰	۱۲-۲۰	۱۸-۲۶	۲۲۵۰-۴۰۰۰	بد
>۸۰	>۲۰	>۲۶	>۴۰۰۰	خیلی بد

(Ghosh and Sharma, 2006: 433)

## شاخص باقیمانده خشک مواد جامد (TDS)

یکی دیگر از شاخص‌های اندازه‌گیری غلظت کل املاح موجود در آب‌ها، میزان باقیمانده خشک مواد جامد موجود در آب است (ولایتی، ۱۳۸۷: ۲۳۲). طبق تعریف، آب زیرزمینی شور به آبی اطلاق می‌شود که مواد جامد آن در هر لیتر بیش از ۱۰۰۰ میلی‌گرم باشد (Todd, 1980: 310). از نظر مجموع مواد جامد حل شده، آب‌ها را در چهار گروه طبقه‌بندی می‌کنند (جدول ۲).

جدول ۲: طبقه‌بندی آب براساس مواد جامد حل شده در آب

مجموع مواد جامد حل شده (میلی‌گرم در لیتر)	نوع کیفیت آب
۰-۱۰۰۰	شیرین
۱۰۰۰-۱۰۰۰۰	لب شور
۱۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰	شور
>۱۰۰۰۰۰	بدمزه و تلخ

(Todd, 1980 : 304)



## شاخص سختی آب (TH)

سختی آب به فراوانی یون‌های قلیایی آب بستگی دارند و به وسیله‌ی رابطه (۲) محاسبه می‌شود. TH برحسب میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری می‌شود. رابطه (۲) می‌تواند به رابطه (۳) تغییر یابد. سختی آب معمولاً براساس جدول (۳) طبقه‌بندی می‌شود.

رابطه (۲)

$$TH = Ca (CaCO_3 / Ca) + Mg (CaCO_3 / Mg)$$

$$TH = 2.5 Ca + 4.1 Mg$$

رابطه (۳)

جدول ۳: طبقه‌بندی سختی آب

نوع آب	سختی آب (میلی‌گرم در لیتر)
سبک	۰-۷۵
سختی متوسط	۷۵-۱۵۰
سخت	۱۵۰-۳۰۰
خیلی سخت	>۳۰۰

(Bouwer 1987: 282)

به منظور ارزیابی آب از نظر طبقه‌بندی کیفی و بر اساس شاخص‌های قابلیت هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم برای مصارف کشاورزی از نمودار پیشنهادی آزمایشگاه اصلاح اراضی شور وزارت کشاورزی آمریکا (دیاگرام USSL) استفاده شد (Todd: 1980: 311). با دخالت دادن این دو شاخص SAR و EC، ۱۶ گروه آب تشخیص داده می‌شود. ۱۶ گروه آب، از نظر کیفیت شیمیایی آب در چهار طبقه قرار می‌گیرند (جدول ۴).

جدول ۴: طبقه‌بندی کیفیت آب براساس دو شاخص SAR و EC

گروه آب	نوع کیفیت آب
C1S1	شیرین
C2S1-C2S2- C1S2-	متوسط
C3S3- C3S2- C3S1- C2S3- C1S3	شور
C4S1- C4S2- C4S3- C4S4- C3S4- C2S4- C1S4	خیلی شور

مأخذ: کردوانی، ۱۳۸۶: ۱۴

## بحث

## رده‌بندی کیفی آب با استفاده از شاخص هدایت الکتریکی (Ec)

میزان شاخص (Ec) آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی بالادست حوضه‌ی آبریز آجی‌چای در خردادماه ۱۳۸۷ جدول (۵) ارائه شده است. مطابق این جدول، مقادیر (Ec) آب‌های زیرزمینی در آبخوان‌های پایکوه‌های سبلان نشان می‌دهد که در حدود ۴/۷۶ درصد نمونه آب‌ها از نظر کیفیت شیمیایی برای مصارف آبیاری عالی هستند. بیش از ۷۱ درصد نمونه آب‌ها در سفره‌های آب زیرزمینی این منطقه از کیفیت خوبی برخوردارند و حدود ۲۳/۸۱ درصد بقیه نیز به لحاظ کیفی، متوسط می‌باشند. به این ترتیب، در آکیفرهای متعلق به کوهستان سبلان، آب زیرزمینی که از نظر کیفیت برای مصارف کشاورزی بد و یا خیلی بد باشد وجود ندارد (جدول ۵).

مقادیر Ec نمونه‌ی آب آبخوان‌های شمالی بزقوش در خردادماه ۱۳۸۷ نشان می‌دهند که ۱۰۰ درصد آب سفره‌های زیرزمینی این منطقه برای امور زراعی خوب هستند. از نظر مقادیر هدایت الکتریکی، وضعیت غرب منطقه نسبت به نواحی دیگر متفاوت است. بطوری‌که در آبخوان‌های بافتان- ابرغان، هیچ یک از نمونه آب‌ها کیفیت عالی ندارند. بیش از ۵۴ درصد نمونه آب‌های زیرزمینی غرب دشت، کیفیت متوسطی دارند. در این بخش، میزان آب‌های زیرزمینی که بر اساس شاخص Ec برای مصارف زراعی بد و خیلی بد هستند به ترتیب ۲۷/۲۶ درصد و ۹/۱ می‌باشند (جدول ۵). از نظر شاخص Ec نمونه آب رودخانه‌های آغمیون‌چای و تاجیارچای هم در رده عالی قرار دارند.

جدول ۵: رده‌بندی کیفی نمونه‌های آب منطقه بر اساس شاخص (Ec) در خرداد ماه ۱۳۸۷

مقادیر (Ec) (میکروموس بر سانتیمتر)	کیفیت آب	درصد آبخوان‌های سبلان	درصد آبخوان‌های محدود اسبغروشان هریس	درصد آبخوان‌های محدوده بافتان- ابرغان	درصد رودخانه آغمیون‌چای	درصد رودخانه تاجیارچای
< ۲۵۰	عالی	۴/۷۶	-	-	۱۰۰	۱۰۰
۲۵۰-۷۵۰	خوب	۷۱/۴۳	۱۰۰	۹/۱	-	-
۷۵۰-۲۲۵۰	متوسط	۲۳/۸۱	-	۵۴/۵۴	-	-
۲۲۵۰-۴۰۰۰	بد	-	-	۲۷/۲۶	-	-
> ۴۰۰۰	خیلی بد	-	-	۹/۱	-	-

مأخذ: نگارنده

## رده‌بندی کیفی آب با استفاده از شاخص مواد جامد حل شده (TDS)

در نمونه‌های برداشت شده از منطقه در خرداد ۱۳۸۷، مقادیر شاخص TDS پایین‌تر از ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر هستند و براساس آن آب‌ها به دو گروه آب شیرین ( $TDS < 10000$ ) و آب شور (لب شور)<sup>۱</sup> تقسیم می‌شوند، بطوری‌که ۱۰۰ درصد آب سفره‌های زیرزمینی دامنه‌های سبلان و دامنه شمالی بزقوش دارای آب شیرین هستند (جدول ۶). در غرب منطقه در حدود ۴۵/۴۵ درصد آب‌های زیرزمینی از نظر شاخص (TDS) آب‌های شور (لب شور) هستند و بیش از ۵۴ درصد باقیمانده را آب‌های شیرین تشکیل می‌دهند. آب‌های سطحی منطقه‌ی مورد مطالعه نیز در رده‌ی آب‌های شیرین قرار دارند.

جدول ۶: رده‌بندی کیفی نمونه‌های آب منطقه براساس شاخص (TDS) در خرداد ماه ۱۳۸۷

مقادیر TDS (میلی‌گرم در لیتر)	کیفیت آب	درصد آبخوان‌های سبلان	درصد آبخوان‌های محدوده اسفروشان هریس	درصد آبخوان‌های محدوده بافتان- ابرعان	درصد رودخانه آغمیون‌چای	درصد رودخانه تاجیارچای
۰-۱۰۰۰	شیرین	۱۰۰	۱۰۰	۵۴/۵۵	۱۰۰	۱۰۰
۱۰۰۰-۱۰۰۰۰	لب شور	-	-	۴۵/۴۵	-	-
۱۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰	شور	-	-	-	-	-
>۱۰۰۰۰۰	بدمزه‌وتلخ	-	-	-	-	-

مأخذ: نگارنده

رده‌بندی کیفی آب منطقه از نظر شاخص نسبت جذب سدیم (SAR) بر اساس شاخص (SAR)، آب‌های زیرزمینی منطقه با مقادیر  $SAR < 10$  از کیفیت عالی برخوردار هستند (جدول ۷). حداکثر مقدار شاخص (SAR) در غرب منطقه دیده می‌شود. این مقدار در چرلو ۵/۳۱ و در بهرمان ۴/۶۸ می‌باشد. در شیره‌چین (دامنه سبلان به طرف مرکز دشت) نیز میزان شاخص ۴/۲۹ به‌دست آمده است. آغمیون‌چای و تاجیارچای نیز به‌دلیل میزان بسیار پایین نسبت جذب سدیم در رده‌ی عالی قرار می‌گیرند.

۱- علی‌رغم اینکه TDS نمونه‌ها در محدوده آب شور قرار نمی‌گیرند ولی به جای عبارت آب لب شور از واژه شورکه به صورت یک اصطلاح کلی درآمده است استفاده می‌کنند.

## جدول ۷: رده‌بندی کیفی نمونه‌های آب منطقه براساس شاخص (SAR) در خرداد ماه ۱۳۸۷

مقادیر (SAR)	کیفیت آب	درصد آبخوان‌های محدوده سبلان	درصد آبخوان‌های محدوده اسفروشان هریس	درصد آبخوان‌های محدوده بافتان- ابرغان	درصد رودخانه آغمیون چای	درصد رودخانه تاجیار چای
<۱۰	عالی	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱۰-۱۸	خوب	-	-	-	-	-
۱۸-۲۶	متوسط	-	-	-	-	-
>۲۶	بد	-	-	-	-	-

مأخذ: نگارنده

## رده‌بندی کیفی آب منطقه از نظر شاخص درصد سدیم آب (Na%)

مقادیر درصد سدیم موجود در آب‌های منطقه که در خردادماه ۱۳۸۷ اندازه‌گیری شده در جدول (۸) ارائه شده است. طبق نتایج این جدول آب زیرزمینی که درصد سدیم آن برای مصارف آبیاری در حد خیلی بد باشد ( $\text{Na} > ۸۰\%$ ) در منطقه وجود ندارد. فقط ۴/۵۵ درصد آب سفره‌های زیرزمینی پایکوه‌های سبلان کیفیت بد و نامناسب دارند. بیشترین میزان آب‌های باکیفیت عالی (۳۶/۳۶ درصد) متعلق به آکیفرهای سبلان می‌باشد. نیمی (۵۰ درصد) از آب‌های زیرزمینی شمال منطقه هم از کیفیت خوب برخوردارند و ۹/۱ درصد آب‌ها از نظر درصد سدیم، کیفیت متوسطی دارند. در غرب منطقه هم به دلیل بالا بودن مقادیر درصد سدیم، آب‌های با کیفیت عالی کمتر از ۱۰ درصد هستند. از نظر میزان درصد سدیم، ۷۲/۷ درصد آبخوان‌های بافتان- ابرغان را آب‌های با کیفیت خوب تشکیل می‌دهند. سهم آب‌های با کیفیت متوسط در غرب منطقه فقط ۱۸/۲ درصد می‌باشد. رودخانه آغمیون- چای با میزان ۲۳/۷۳ درصد سدیم در رده آب‌های با کیفیت خوب قرار می‌گیرد و رودخانه تاجیار نیز با ۱۸/۷۵ درصد سدیم دارای کیفیت عالی می‌باشد (جدول ۸).

## جدول ۸: رده‌بندی کیفی نمونه‌های آب منطقه براساس شاخص (Na%) در خرداد ماه ۱۳۸۷

مقادیر (Na%)	کیفیت آب	درصد آبخوان‌های محدوده سبلان	درصد آبخوان‌های محدوده اسفروشان - هریس	درصد آبخوان‌های محدوده بافتان- ابرغان	درصد رودخانه آغمیون چای	درصد رودخانه تاجیار چای
<۲۰	عالی	۳۶/۳۵	۲۸/۵۸	۹/۱	-	۱۰۰
۲۰-۴۰	خوب	۵۰	۵۷/۱۴	۷۲/۷	۱۰۰	-
۴۰-۶۰	متوسط	۹/۱	۱۴/۲۸	۱۸/۲	-	-
۶۰-۸۰	بد	۴/۵۵	-	-	-	-
>۸۰	خیلی بد	-	-	-	-	-

مأخذ: نگارنده

## رده‌بندی کیفی نمونه‌های آب منطقه بر پایه‌ی غلظت کلر (Cl)

میزان کلر موجود در نمونه آب‌های زیرزمینی منطقه که در خرداد ۱۳۸۷ اندازه‌گیری شده در جدول (۹) ارائه شده است. در سفره‌های زیرزمینی سبلان و بزقوش، مقدار کم کلر ( $Cl < 4$ ) میلی‌اکی‌والان در لیتر) سبب شده است که ۱۰۰ درصد آب‌ها در آکیفرهای پایکوه‌های سبلان و محدوده اسفروشان- هریس از نظر وجود املاح کلر برای مصارف آبیاری عالی باشند. برخلاف سایر نواحی، در غرب منطقه میزان آب‌های زیرزمینی که مقادیر کلر آنها ناچیز باشد در حدود ۹/۱ درصد است. اکثر آب‌های زیرزمینی این بخش از منطقه (۳۶/۳۸ درصد) دارای کلری در حد ۴-۷ میلی‌اکی‌والان می‌باشد که از نظر مصارف آبیاری کیفیت خوب دارند. در آبخوان‌های محدوده‌ی بافتان- ابرغان با افزایش میزان کلر موجود در آب‌های زیرزمینی، از کیفیت شیمیایی آب‌ها برای مصارف آبیاری کاسته می‌شود، بطوری‌که در حدود ۱۸/۲ از این آب‌ها از نظر کیفی متوسط هستند، ۱۸/۲ درصد به دلیل کیفیت نامناسب و شور بودن، خطرناک برای مصارف زراعی تشخیص داده شده‌اند و ۱۸/۱ به علت کیفیت خیلی بد و شوری بالا، عملاً غیرقابل استفاده می‌باشند. آب‌های سطحی نیز از نظر وجود املاح کلر برای مصارف آبیاری عالی می‌باشند.

جدول ۹: رده‌بندی کیفی نمونه‌های آب منطقه بر اساس کلر (Cl) در خردادماه ۱۳۸۷

مقادیر (Cl) (میلی اکی- والان در لیتر)	کیفیت آب	درصد آبخوان‌های محدوده سبلان	درصد آبخوان‌های محدوده اسفروشان- هریس	درصد آبخوان‌های محدوده بافتان- ابرغان	درصد رودخانه آغمیون‌چای	درصد رودخانه تاجیارچای
<۴	عالی	۱۰۰	۱۰۰	۹/۱	۱۰۰	۱۰۰
۴-۷	خوب	-	-	۳۶/۳۶	-	-
۷-۱۲	متوسط	-	-	۱۸/۲	-	-
۱۲-۲۰	بد	-	-	۱۸/۲	-	-
>۲۰	خیلی بد	-	-	۱۸/۱	-	-

مأخذ: نگارنده

## رده‌بندی کیفی نمونه‌های آب منطقه براساس درجه سختی (TH)

جدول (۱۰) میزان سختی نمونه آب‌های منطقه را ارائه می‌دهد. مطابق این جدول، آب زیرزمینی که بر اساس شاخص سختی، سبک باشد در کل منطقه وجود ندارد، ولی آب رودخانه‌های آغمیون‌چای و تاجیارچای با مقادیر کم  $CaCO_3$  در رده آب‌های سبک قرار دارند.

در آبخوان‌های سبلان در حدود ۴۲/۸۶ درصد آب‌های زیرزمینی دارای سختی متوسط (۷۵-۱۵۰) هستند. آب‌های سخت، ۲۸/۵۷ درصد آب‌های زیرزمینی این منطقه را تشکیل می‌دهند و میزان آب‌های بسیار سخت ۲۸/۵۷ درصد می‌باشند. ۷۱/۴۳ درصد سفره‌های آب زیرزمینی بزقوش را آب‌های با سختی متوسط شامل می‌شوند. اما در غرب منطقه، حدود ۱۸/۲ درصد آب‌های زیرزمینی سخت هستند و ۸۱/۸ درصد آب‌های سفره‌های زیرزمینی بافتان- ابرغان را آب‌های بسیار سخت تشکیل می‌دهند. برای مثال، میزان (TH) در قزلگچی به ۱۲۸۰، چرلو ۶۵۷، بهرمان ۵۵۰ و در ابرغان ۵۲۱، میلی‌گرم در لیتر می‌رسد.

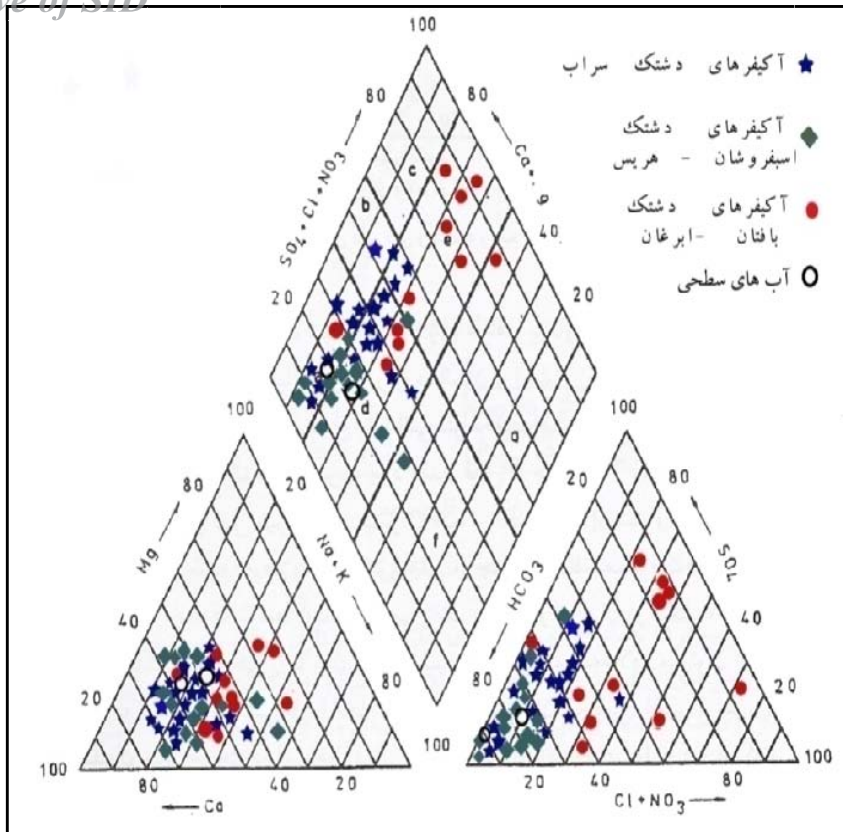
جدول ۱۰: رده‌بندی کیفی نمونه‌های آب منطقه براساس شاخص (TH) در خرداد ماه ۱۳۸۷

مقادیر (TH) (میلی‌گرم-در لیتر)	کیفیت آب	درصد آبخوان‌های سبلان	درصد آبخوان‌های محدوده اسبفروشان-هریس	درصد آبخوان‌های محدوده بافتان- ابرغان	درصد رودخانه آغمیون چای	درصد رودخانه تاجیار چای
<۷۵	سبک	-	-	-	۱۰۰	۱۰۰
۷۵-۱۵۰	سختی متوسط	۴۲/۸۶	۷۱/۴۳	-	-	-
۱۵۰-۳۰۰	سخت	۲۸/۵۷	۲۸/۵۷	۱۸/۲	-	-
>۳۰۰	بسیار سخت	۲۸/۵۷	-	۸۱/۸	-	-

نمودار پایپر منابع آب منطقه در خرداد ۱۳۸۷.

شکل (۴) نمونه آب‌های منطقه را در خردادماه ۱۳۸۷ به‌وسیله‌ی نمودار پایپر نشان می‌دهد. در آکیفرهای منطقه سبلان، آب‌های با تیپ کربناته (۹۰ درصد) غلبه دارند. تمام نمونه آب‌های این آبخوان در محل آب‌های شیرین دیاگرام پایپر (d و b, a) قرار می‌گیرند. فقط ۱۰ درصد از آب‌های زیرزمینی در این منطقه از نوع کربناته سولفات است که به منطقه آب‌های شور (c و e) نزدیک می‌شوند. تیپ آب سفره‌های زیرزمینی محدوده اسبفروشان-هریس نیز اغلب (۹۲/۸۵) کربناته می‌باشند.

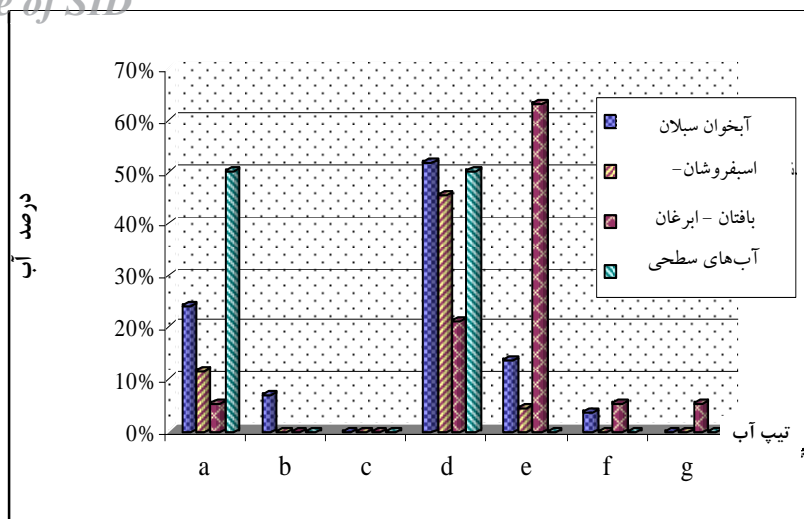
بر اساس شکل (۴) بیشتر نمونه آب‌های زیرزمینی پایکوه‌های بزقوش در منطقه آب‌های شیرین نمودار پایپر (d و a) قرار می‌گیرند. در محدوده‌ی بافتان- ابرغان با وجودی که ۳۶/۳۷ درصد نمونه آب‌ها از نوع کربناته می‌باشند و در منطقه آب‌های شیرین قرار می‌گیرند، اما از آنجایی که ۵۴/۵۵ درصد نمونه آب‌ها در منطقه (e) قرار گرفته‌اند، از نوع سولفات می‌باشند. ۹/۱ درصد بقیه هم آب‌های کلروره هستند که در منطقه (g) دیده می‌شود.



شکل ۴: نمایش تجزیه شیمیایی نمونه‌های آب آبخوان‌ها و آب‌های سطحی منطقه در دیاگرام پایپر (خردادماه ۱۳۸۷) تیپ آب‌ها در مناطق مختلف نمودار شامل منطقه (a) کربناته (b) کربناته  $\pm$  سولفات (c) سولفات (d) کربناته (e) سولفات (f) کربناته (g) سولفات  $\pm$  کلروه

مأخذ: نگارنده

در مجموع ۶۳/۶۵ درصد آب‌های این منطقه در محدوده‌ی آب‌های شور و سخت (g) و آب‌های شور (e) دیاگرام قرار می‌گیرند. به این ترتیب، در کل منطقه آب‌های زیرزمینی کربناته که در مناطق (a, b, f, d) قرار دارند با ۸۰/۴۳ درصد بیشترین میزان را به خود اختصاص داده‌اند. آب‌های از نوع سولفات ۱۷/۳۹ درصد آب‌های زیرزمینی منطقه را تشکیل می‌دهند و ۲/۱۷ درصد آب‌های زیرزمینی منطقه‌ی مورد مطالعه نیز از نوع کلروه می‌باشند (شکل ۵). نمونه آب‌های سطحی که مربوط به رودخانه‌های آغمیون‌چای و تاجیارچای می‌باشند نیز در محل آب‌های شیرین دیاگرام پایپر (a و d) قرار می‌گیرند که از نوع کربناته هستند (شکل ۴).



شکل ۵: درصد انواع آب‌های منابع آب بالادست آبی‌چای براساس نمودار پایپر در خرداد ۱۳۸۷  
مأخذ: نگارنده

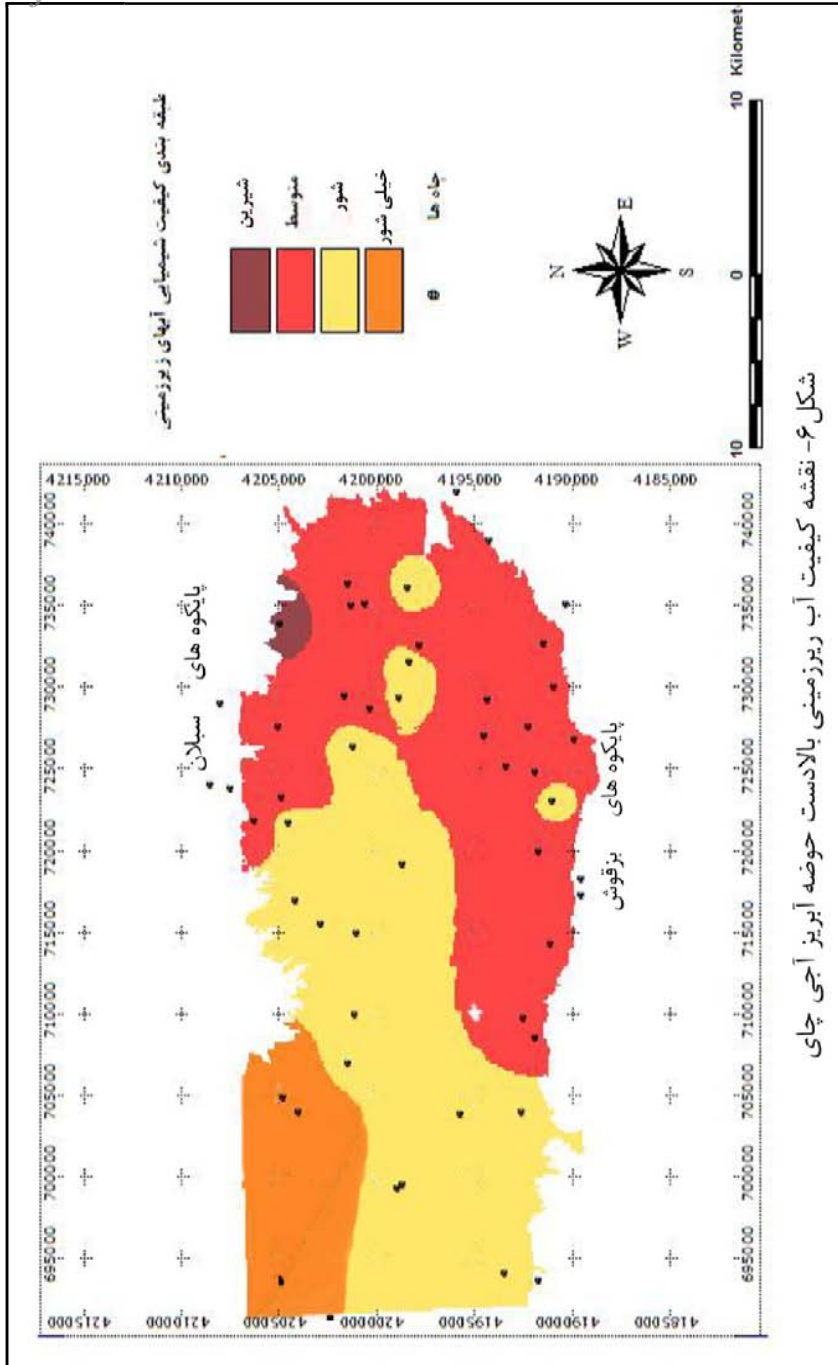
تعیین کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی منطقه با استفاده از دیگرام USSL طبق نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های آب منطقه در خردادماه ۱۳۸۷ و بر اساس طبقه‌بندی دیگرام USSL در کل منطقه کیفیت ۵۸/۵۶ درصد نمونه آب‌ها با در نظر گرفتن دو شاخص Ec و SAR متوسط است (جدول ۱۱). آب‌های شور ۲۷/۷۱ درصد و آب‌های خیلی شور ۱۲/۱۲ درصد آب‌های زیرزمینی منطقه را تشکیل می‌دهند. ۱/۵۸ درصد بقیه نیز به آب‌های زیرزمینی شیرین اختصاص دارد (شکل ۶).

جدول ۱۱: نتایج نمودار USSL آب‌های زیرزمینی منطقه در خردادماه ۱۳۸۷

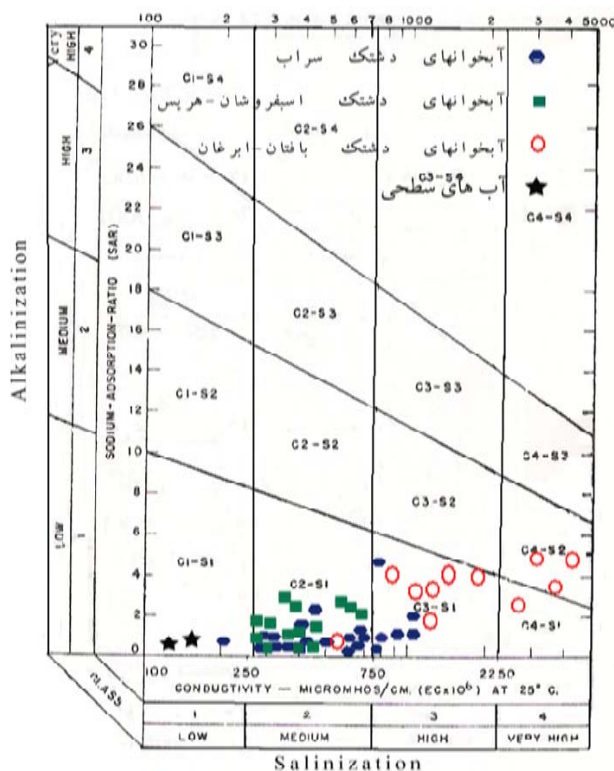
درصد متوسط کل منطقه	درصد آبخوان‌های محدودی بافتان- ابرغان	درصد آبخوان‌های محدودی اسفروشان- هریس	درصد آبخوان‌های سیلان	گروه آب	کیفیت آب
۱/۵۸	-	-	۴/۷۶	C1S1	شیرین
۵۸/۵۶	۹/۰۴	۱۰۰	۶۶/۶۶	C2S1-C2S2- C1S2	متوسط
۲۷/۷۱	۵۴/۵۷	-	۲۸/۵۷	C3S3- C3S2- C3S1- C2S3- C1S3	شور
۱۲/۱۲	۳۶/۳۸	-	-	C4S1- C4S2- C4S3- C4S4- C3S4- C2S4- C1S4	خیلی شور

مأخذ: نگارنده





در خردادماه ۱۳۸۷ در آبخوان سبلان، ۶۶/۶۶ درصد آب‌ها کیفیت متوسط و ۲۸/۵۷ درصد کیفیت شور دارند. در آبخوان‌های این دشتک آب خیلی شور وجود ندارد، ولی ۴/۷۶ درصد آب‌های زیرزمینی با مقادیر مناسب Ec و SAR به لحاظ کیفی برای مصارف آبیاری شیرین هستند. تمامی (۱۰۰ درصد) سفره‌های آب زیرزمینی. محدوده اسفروشان-هریس، را آب‌های با کیفیت متوسط تشکیل می‌دهند. محدوده‌ی بافتان-ابرغان وضعیت متفاوتی نسبت به دو منطقه دیگر دارد، بطوری‌که میزان آب‌های زیرزمینی شور در این قسمت دشت (۵۴/۵۷ درصد) بیشتر از سایر نواحی است. در ضمن آب‌های خیلی شور این دشتک هم ۳۶/۳۸ درصد می‌باشد. درحالی‌که مقدار آب‌های با کیفیت متوسط فقط ۹/۰۴ درصد آب‌های سفره‌های زیرزمینی این محدوده را دربرمی‌گیرد. مطابق شکل (۷) به دلیل مقادیر کم Ec و SAR نمونه آب‌های سطحی، آب رودخانه‌های آغمیون‌چای و تاجیارچای در محل ایستگاه‌های سهزاب و تاجیار با قرارگیری در طبقه‌ی ۱ (CIS1) به لحاظ کیفی برای مصارف آبیاری شیرین هستند.



شکل ۷: نمودار USSSL برای طبقه‌بندی نمونه آب‌های بالادست آبی‌چای در خردادماه ۱۳۸۷

مأخذ: نگارنده

## نتیجه

بر اساس این پژوهش، منابع آب بالادست حوضه آبی‌چای در بالادست از نظر مصارف آبیاری از کیفیت عالی و خوب برخوردار هستند. به تدریج در مسیر به دلیل تماس با رسوبات نئوژن که در بخش‌های میانی حوضه قرار دارند، کیفیت آب تغییر پیدا می‌کند. شاخص‌های کیفی این تغییر کیفیت آب‌ها را در محدوده بافتان- ابرغان که در انتهای غربی منطقه مورد مطالعه قرار دارد، بیشتر نشان می‌دهند.

در مجموع می‌توان چنین نتیجه گرفت که اغلب آب‌های زیرزمینی آبخوان‌های پایکوه‌های سبلان دارای کیفیت متوسطی هستند. صرفاً در این دشتک منطقه آب شیرین وجود دارد، اما میزان آب‌های شور بیشتر از شیرین می‌باشد. تمامی آب‌های زیرزمینی آبخوان‌های محدوده اسفروشان- هریس در پایکوه‌های بزقوش از نظر کیفیت متوسط هستند. در غرب منطقه مطالعاتی که برونزد سازندهای مارنی گچ‌دار و نمک‌دار بیشتر می‌باشد و آب‌های زیرزمینی مسیر طولانی را طی کرده‌اند، بنابراین اغلب آب‌های زیرزمینی منطقه بافتان- ابرغان از نظر کیفی شور و خیلی شور هستند. آب‌های سطحی هم که در بالادست حوضه و در دامنه‌های سبلان اندازه‌گیری شده از نظر کیفی شیرین هستند. تغییر کیفیت منابع آب با طی مسیر و برخورد با سازندهای مارنی گچ‌دار و نمک‌دار باید در مدیریت منابع آب و بهره‌برداری بهینه از آنها مورد توجه مدیران و برنامه‌ریزان قرار گیرد.

## منابع

- ۱- الیاس‌آذر، خسرو (۱۳۸۱). اصلاح خاک‌های شور و سدیمی، جهاد دانشگاهی آذربایجان غربی.
- ۲- جهانبخش، سعید و فریبا کرمی (۱۳۸۸). بررسی تأثیر وقوع خشکسالی در منابع آب زیرزمینی دشت تبریز، گزارش طرح تحقیقاتی دانشگاه تبریز.
- ۳- زارعیان‌چهرمی، مجتبی؛ روح‌ا... تقی‌زاده؛ شهلا محمودی و احمدحیدری (۱۳۸۶). ارزیابی روش‌های زمین آماری جهت پیش‌بینی پراکنش مکانی شوری آب‌های زیرزمینی (دشت یزد- اردکان)، مجموعه مقالات چهارمین همایش علوم مهندسی آبخیزداری، ۱-۲ اسفند دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه تهران.
- ۴- فیض‌نیا، سادات؛ هوشنگ محمدیان، هوشنگ غلامرضا زهتابیان و فرید ثابت (۱۳۸۵). بررسی نهشته‌های کواترن به منظور پهنه‌بندی اراضی مستعد آبخوانداری با استفاده از کنترل هرزآب (کوه‌دشت لرستان). بیان، شماره ۱.

- ۵- کردوانی، پرویز (a ۱۳۸۶). منابع و مسایل آب در ایران، جلد دوم. انتشارات دانشگاه تهران.
- ۶- کردوانی، پرویز (b ۱۳۸۶). ژئوهیدرولوژی، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۷- ولایتی، سعداله (۱۳۸۷). هیدروژئولوژی سازندهای نرموسخت، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
- 8- Bouwer, H (1987). Groundwater Hydrology. McGraw-Hill, Inc.
- 9- Feth, J, H, Gibbs, R. J (1971). Mechanisms controlling world water chemistry: Evaporation process, Science 172.
- 10- Ghyoumina, J. Mohseni Saravi, M. Feiznia, S. Nouri, B and Malekian, A (2007). Application of GIS techniques to determine areas most suitable for artificial groundwater recharge in Southern Iran. Journal of Asian Earth Sciences, Vol. 30 (2).
- 11- Ghosh, N. G., Sharma, K. D (2006). Groundwater Modeling and Management. Capital publishing Company.
- 12- Gibbs, R. J (1970). Mechanisms controlling world water chemistry. Science 170.
- 13- Lecomte, K. L, Garcia, M. G, Formica, S. M, Depetris. P. J (2009). Influence of geomorphological variables on mountains stream water chemistry (Sierras Pampeanas, Cordoba, Argentina. Geomorphology 110.
- 14- Li, S, Zhang, Q (2008). Geochemistry of the upper Han River basin, China. Applied Geochemistry 23.
- 15- Liu, Ch., Lin, K.H, Kou, Y.M (2003). Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan. The Science of the Total Environment 313.
- 16- McNeil, V.H., Cox, M.E., Preda, M (2005). Assessment of chemical water types and their spatial variation using multi-stage cluster analysis, Queensland, Australia. Journal of Hydrology 310.
- 17- Mencia, A, Mas-Pla. J (2008). Assessment by multivariate analysis of groundwater surface water interactions in urbanized Mediterranean stream. Journal of Hydrology 352.
- 18- Panapitukul, N. Pengnoo, A. Siritwong, C. Chatupote, W (2005). Hydrogeomorphological controls on groundwater quality: Thailand. Water, Air and Soil Pollution, Vol. 5.
- 19- Todd, D.K (1980). Groundwater Hydrology. John Wiley and Sons