جغرافیا و توسعه شماره ۲۵ زمستان ۱۳۹۰
وصول مقاله : ۱۳۸۹/۳/۴
تأیید نهایی : ۱۳۹۰/۳/۲۹
صفحات : ۵۸- ۳۹

# ارزیابی کیفی منابع آب در بالادست حوضه‌ی آبریز آجی‌چای

**دکتر فریبا کرمی**[۱]

## 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 دیاگرام‌های 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 $K^{+}$, $Na^{+}$, $Fe^{++}$, $Al^{+++}$, $Mg^{++}$, $Ca^{++}$ و غیره ) و آنیون‌ها (شامل $Hco3^{-}$, $Co3^{-}$, $Cl^{-}$, $So^{-}So4^{--}$, $No2^{-}$ و غیره) 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 آنیون‌کلر،سولفات،کربنات و بی‌کربنات تشکیل می‌شوند *(کردوانی، ۱۳۸۶: ۱۰)*. آب‌ها را بر اساس میزان یا نسبت این عناصر و املاح طیقه‌بندی می‌کنند. از این نظر، نوع

۱- دانشیار جغرافیا دانشگاه تبریز
fkarami@tabrizu.ac.ir

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 کیفیت‌آب نقش دارند *(Ghosh and Sharma,2006:426)*.

امروزه، کیفیت آب‌ها در سراسر جهان بویژه درکشورهای جهان سوم به وسیله‌ی فرآیندهای طبیعی و انسانی در حال کاهش است *(Li and Zhang, 2008:3535)*. از یکسو ازدیاد جمعیّت سبب شده روز به روز تقاضا به منابع آب شیرین افزایش یابد و از سویی 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 بیست‌ویکم با بحران کم‌آبی مواجه خواهد شد. از این‌رو 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 منابع‌آب 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، سهند و رشته‌کوه‌بزقوش سرچشمه می‌گیرند. در ارتباط با کیفیت شیمیایی منابع آب بالادست حوضه آجی‌چای، چنین به‌نظر می‌رسد که رودهایی مانند آغمیون‌چای و تاجیارچای که از ارتفاعات اطراف به سمت دشت جریان دارند قبل از رسیدن به مرکز دشت درسطح 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.

نسبت سدیم به دیگر کاتیون‌ها (SAR) و درصد سدیم (%Na) برای تعیین قلیاییت یا سدیک بودن آب به‌کار 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 (Piper وUSSL) 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 متغیّرهای 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)* به‌وسیله‌ی تحلیل‌های آماری به ارزیابی ویژگی‌های کیفی منابع آب حوضه‌ی مدیترانه پرداخت. Punapitukuul et al *(2005:149-163)* به بررسی شرایط هیدروژئومورفولوژی درکیفیت آب‌های زیرزمینی حوضه دریاچه Songkhla اقدام کردند. همچنین Lecomte et al *(2009: 195-202)* تأثیر متغیّرهای 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 چندمتغیّره مانند تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده کردند.

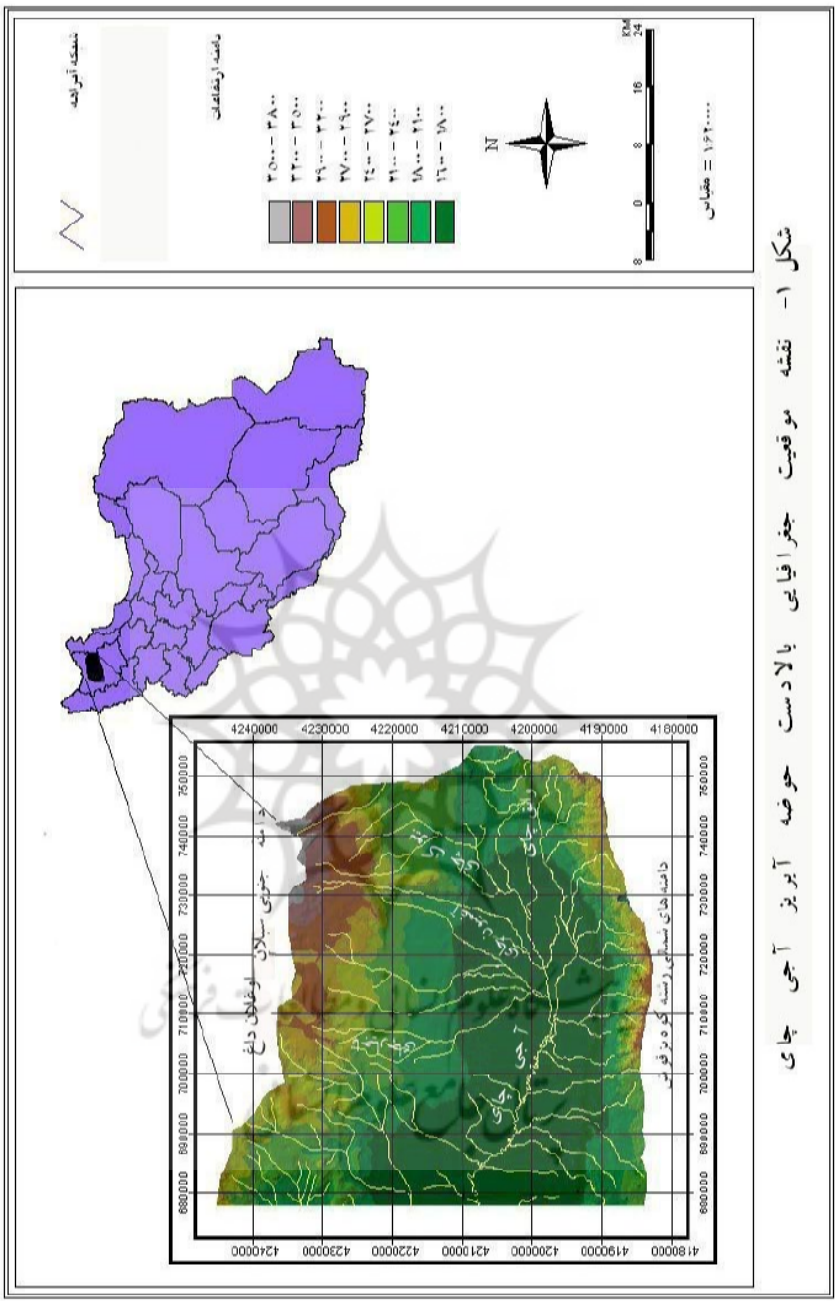
McNeil et al *(2005: 181-200)* هم با به‌کارگیری روش تحلیل خوشه‌ای به بررسی کیفیت آب رودخانه‌های کوئیزلند استرالیا پرداخته و انواع تیپ‌های مختلف آبی را مشخص کردند. در ایران نیز مطالعات زیادی در مورد منابع آب کشور صورت گرفته است. برای مثال، فیض‌نیا و همکاران *(۱۳۸۵: ۱۲۰-۱۱۱)* به بررسی نهشته‌های کواترنر 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 درجنوب و کوه سبلان درشمال حوضه است (شکل۱). 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 تغییریافته 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- ابرغان، 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 ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی بالادست حوضه آبریز آجی چای
مقیاس = ۱:۶۲۰۰۰۰
N
4240000
4230000
4220000
4210000
4200000
4190000
4180000
760000
750000
740000
730000
720000
710000
700000
690000
680000

**شکل ۲: مخروط‌افکنه‌های 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.

همچنین برای رده‌بندی و تعیین تیپ‌آب زیرزمینی، نتایج تجزیه شیمیایی نمونه آب زیرزمینی ۵۰ حلقه چاه عمیق و نیمه‌عمیق، شامل پارامترهای اندازه‌گیری شده مانند کاتیون‌ها (سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم)، آنیون‌ها (کربنات‌ها و بی‌کربنات‌ها، کلرید و سولفات) اصلی موجود در آب، قابلیت هدایت الکتریکی[1](Ec)، نسبت جذب سدیم[2] (SAR) و کل‌مواد جامد حل‌شده[3] (TDS) استفاده شدند.

نمونه‌های آب زیرزمینی در آزمایشگاه‌های سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی آزمایش‌شده و به‌وسیله‌ی سازمان مدیریت منابع آمار در اختیار پژوهشگران قرار می‌گیرد. برای تعیین کیفیت آب‌ها هم از نمودارهای کیفی Piper و Ussl استفاده شد. قبل از تجزیه و تحلیل داده‌ها، با استفاده از رابطه توازن غلظت یونی (رابطه۱)، صحت آزمایش‌های تجزیه شیمیایی آب‌ها تأیید شدند.(رابطه ۱) $B_1 >$ ۵ نقص در روند آزمایش‌ها، $B_1 <$ ۱۰ غیرعادی و $B_1 <$ ۵ مطلوب بوده و ترجیح داده می‌شود.

رابطه ۱:

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

در مورد نتایج تجزیه شیمیایی آب‌های منطقه در سال‌های مورد مطالعه میزان $B_1$ کمتر از ۵ می‌باشد.

## شاخص‌های کیفی

برای شناخت وضعیت کیفی منابع آب از شاخص‌های کیفی آب استفاده می‌کنند *(ولایتی، ۱۳۸۷: ۲۰۸)* که عبارتند از:

### شاخص قابلیت هدایت الکتریکی (Ec)

میزان قابلیت هدایت الکتریکی،نشان‌دهنده‌ی میزان مجموع نمک‌های محلول است. به عبارت دیگر، درجه شوری آب را از روی هدایت الکتریکی مخصوص آن برحسب سانتی‌متر به واحد میلی‌موس و یا میکروموس محاسبه می‌کنند *(کردوانی، a ۱۳۸۶: ۴)*. آب‌ها را از نظر هدایت الکتریکی یا درجه شوری (برای آبیاری در کشاورزی) به پنج گروه تقسیم می‌کنند (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 قلیاییت آب‌ها را به پنج گروه تقسیم می‌کنند (جدول ۱).

**جدول ۱: طبقه‌بندی آب آبیاری بر اساس شاخص‌های Ec ،SAR, Cl و Na%**

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

*(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 درآب 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 (جدول۲).

**جدول۲: طبقه‌بندی آب براساس مواد جامد حل شده در آب**

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

*(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)

$$TH= Ca (Caco3 /Ca) + Mg (Caco3 / Mg)$$

رابطه۳) $$TH= 2.5 Ca + 4.1 Mg$$

**جدول۳: 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 Ec و SAR، 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 دوشاخصEC و SAR**

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

*مأخذ: کردوانی، a 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 ۱۳۸۷جدول (۵) ارایه شده است. مطابق این جدول، مقادیر (Ec) آب‌زیرزمینی در آبخوان‌های پایکوه‌های سبلان نشان می‌دهد که در حدود ۴/۷۶ درصد نمونه آب‌ها از نظر کیفیت شیمیایی برای مصارف آبیاری عالی هستند. بیش‌از ۷۱درصد نمونه‌آب‌ها در سفره‌های آب زیرزمینی این منطقه از کیفیت خوبی برخوردارند و حدود ۲۳/۸۱ درصد بقیه نیز به لحاظ کیفی،متوسط می‌باشند.به این‌ترتیب،در آکیفرهای متعلق به‌کوهستان سبلان،آب زیرزمینی که از نظر کیفیت برای مصارف کشاورزی بد و یا خیلی‌بد 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 محدوده اسبفروشان 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 <۱۰۰۰۰) و آب شور (لب شور)[1] 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) هستندو 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 اسبفروشان هریس | درصد آبخوان‌های محدوده بافتان- ابرغان | 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<۱۰ از کیفیت عالی برخوردار هستند (جدول۷). 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 | درصدآبخوان‌های محدوده اسبفروشان هریس | درصدآبخوان‌های محدوده بافتان- ابرغان | درصدرودخانه آغمیون‌چای | درصدرودخانه تاجیارچای |
|---|---|---|---|---|---|---|
| <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) ارایه شده است. طبق نتایج این جدول آب زیرزمینی که درصد سدیم آن برای مصارف آبیاری در حد خیلی بد باشد (۸۰<Na %) در منطقه وجود ندارد. فقط ۴/۵۵درصد آب سفره‌های‌زیرزمینی 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 بامیزان 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 | درصدآبخوان‌های محدوده اسبفروشان - هریس | درصدآبخوان‌های محدوده بافتان- ابرغان | درصدرودخانه آغمیون‌چای | درصدرودخانه تاجیارچای |
|---|---|---|---|---|---|---|
| <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) ارایه شده است. در سفره‌های زیرزمینی سبلان و بزقوش، مقدار کم کلر(Cl<۴ میلی‌اکی‌والان در لیتر) سبب شده است که ۱۰۰ درصد آب‌ها در آکیفرهای پایکوه‌های سبلان و محدوده اسبفروشان- 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 ۷-۴ میلی اکی‌والان 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، ۱۸/۲درصد 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 | درصدآبخوان‌های محدوده اسبفروشان- هریس | درصد آبخوان‌های محدوده بافتان- ابرغان | درصدرودخانه آغمیون‌چای | درصدرودخانه 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 | خیلی‌بد | - | - | ۱۸/۱ | - | - |

*مأخذ: نگارنده*

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

جدول (۱۰) میزان سختی نمونه آب‌های منطقه را ارایه 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 Caco3 در رده آب‌های سبک قرار دارند.

در آبخوان‌های سبلان در حدود ۴۲/۸۶ درصد آب‌های زیرزمینی دارای سختی متوسط (Caco3= ۷۵-۱۵۰) هستند. آب‌های سخت، ۲۸/۵۷ درصد آب‌های زیرزمینی این‌منطقه را تشکیل می‌دهند و میزان آب‌های بسیار سخت ۲۸/۵۷درصد می‌باشند. ۷۱/۴۳درصد 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.

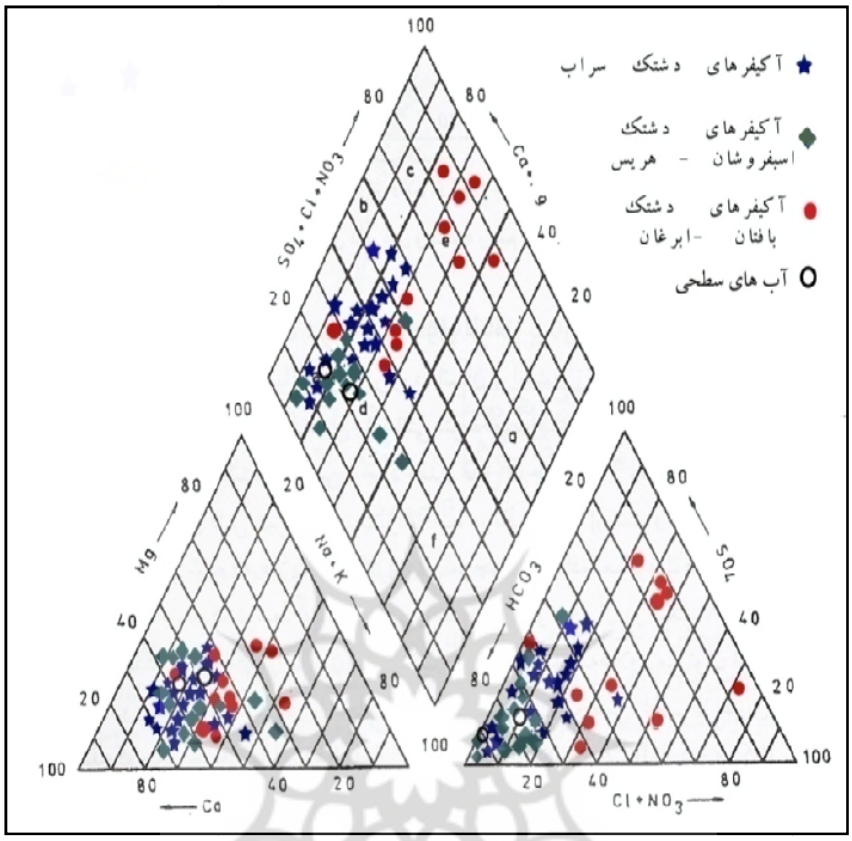
**جدول ۱۰: رده‌بندی کیفی نمونه‌های آب منطقه براساس شاخص (TH) در خرداد ماه ۱۳۸۷**

| مقادیر (TH) (میلی‌گرم- درلیتر) | کیفیت آب | درصد آبخوان‌های سبلان | درصد آبخوان‌های محدوده اسبفروشان- هریس | درصدآبخوان‌های محدوده بافتان- ابرغان | درصدرودخانه آغمیون‌چای | درصدرودخانه تاجیارچای |
|---|---|---|---|---|---|---|
| <۷۵ | سبک | - | - | - | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| ۷۵-۱۵۰ | سختی‌متوسط | ۴۲/۸۶ | ۷۱/۴۳ | - | - | - |
| ۱۵۰-۳۰۰ | سخت | ۲۸/۵۷ | ۲۸/۵۷ | ۱۸/۲ | - | - |
| >۳۰۰ | بسیارسخت | 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 (۹۰درصد) غلبه دارند. تمام نمونه آب‌های این آبخوان در محل آب‌های شیرین دیاگرام پایپر (a، b و d) قرارمی‌گیرند. فقط ۱۰درصد از آب‌های زیرزمینی در این منطقه از نوع کربناته سولفاته است که به منطقه آب‌های شور (cوe) نزدیک می‌شوند. تیپ آب سفره‌های زیرزمینی محدوده اسبفروشان- هریس نیز اغلب (۹۲/۸۵) کربناته می‌باشند.

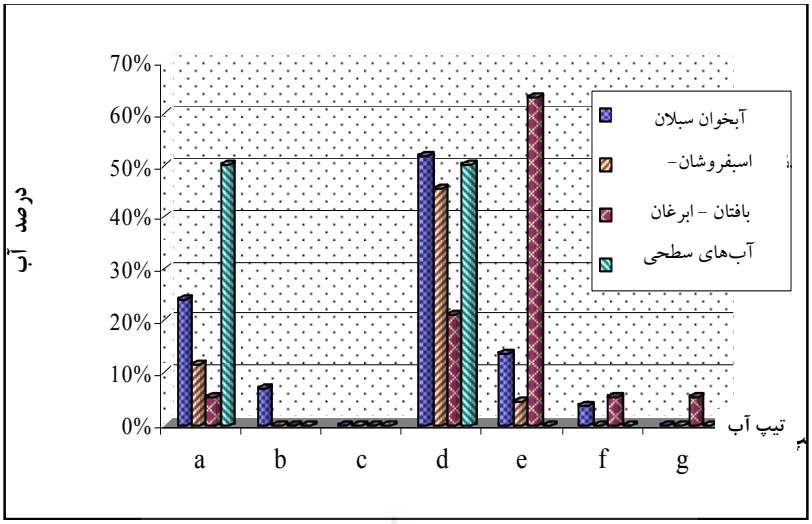
بر اساس شکل (۴) بیشتر نمونه آب‌های زیرزمینی پایکوه‌های بزقوش در منطقه آب‌های شیرین نمودار پایپر (aوd) قرار می‌گیرند. در محدوده‌ی بافتان- ابرغان با وجودی که ۳۶/۳۷ درصد نمونه آب‌ها از نوع کربناته می‌باشند و درمنطقه آب‌های شیرین قرار می‌گیرند، اما از آنجایی‌که ۵۴/۵۵درصد نمونه آب‌ها در منطقه (e) قرار گرفته‌اند،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




**شکل۴: 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 – سولفاته (c) سولفاته (d) کربناته (e) سولفاته (f) کربناته (g) سولفاته – کلروره

*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 و d) قرار دارند با ۸۰/۴۳درصد بیشترین میزان را به‌خود اختصاص داده‌اند. آب‌های از نوع سولفاته ۱۷/۳۹ درصد آب‌های زیرزمینی منطقه را تشکیل می‌دهند و ۲/۱۷ درصد آب‌های زیرزمینی منطقه‌ی مورد مطالعه نیز از نوع کلروره 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)*.




**شکل۵: درصد انواع آب‌های منابع آب بالادست آجی‌چای براساس نمودار پایپر در خرداد ۱۳۸۷**

*مأخذ : نگارنده*

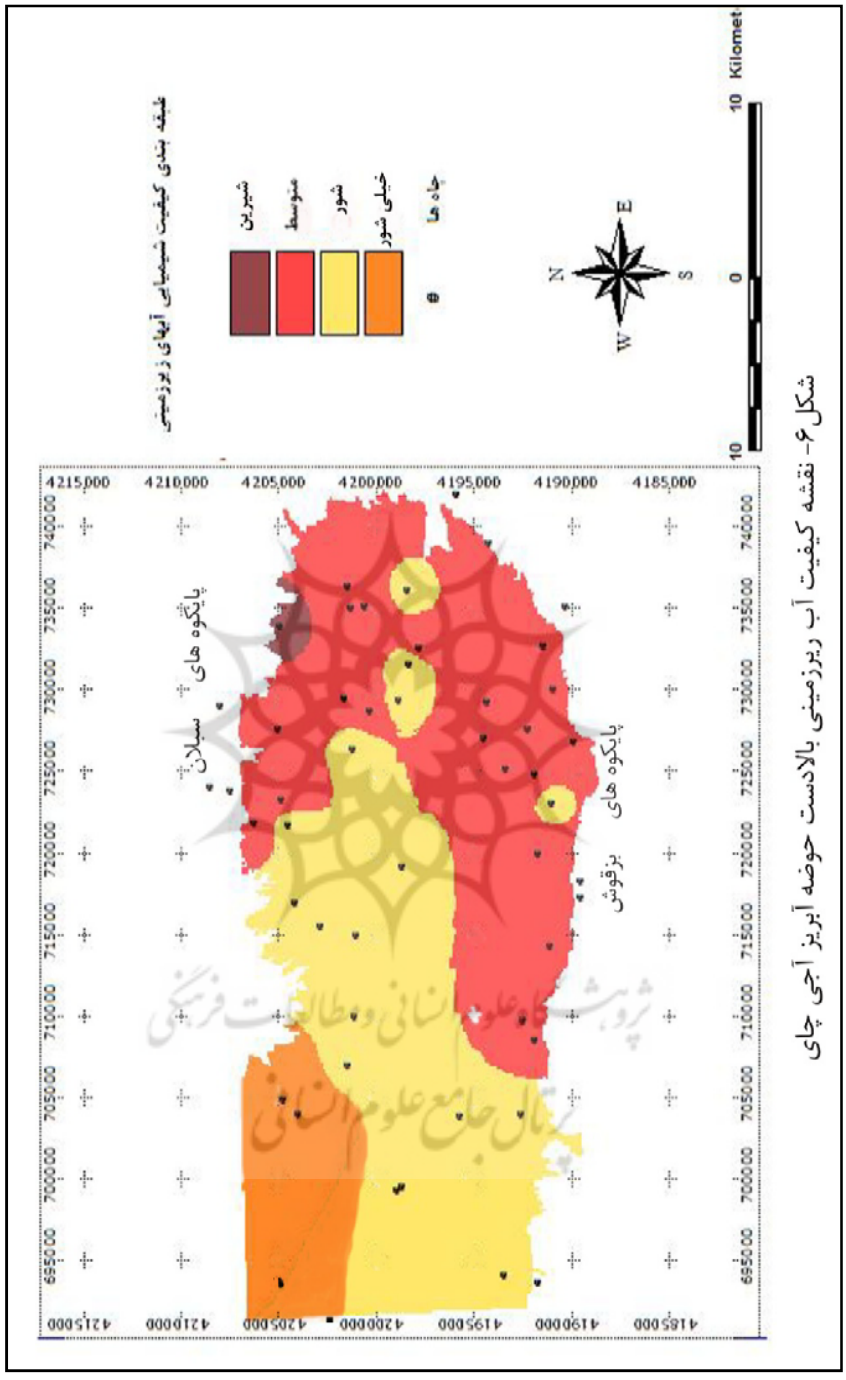
## تعیین کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی منطقه با استفاده از دیاگرام USSL

طبق نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های آب منطقه در خردادماه ۱۳۸۷ و بر اساس طبقه‌بندی دیاگرام USSL درکل 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**

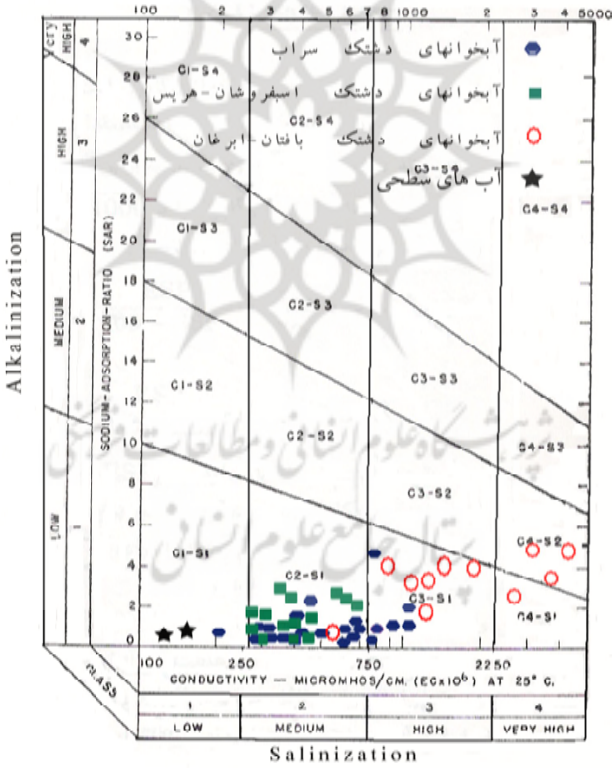
| کیفیت آب | گروه آب | درصد آبخوان‌های سبلان | درصد آبخوان‌های محدوده‌ی اسبفروشان- هریس | درصدآبخوان‌های محدوده‌ی بافتان- ابرغان | درصد متوسط کل منطقه |
|---|---|---|---|---|---|
| شیرین | C1S1 | ۴/۷۶ | - | - | ۱/۵۸ |
| متوسط | C2S1-C2S2- C1S2 | ۶۶/۶۶ | ۱۰۰ | ۹/۰۴ | ۵۸/۵۶ |
| شور | C3S3- C3S2- C3S1-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

*مأخذ: نگارنده*




شکل ۶- نقشه کیفیت آب زیرزمینی بالادست حوضه آبریز آجی چای

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 اسبفروشان- 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 خیلی‌شور این دشتک هم ۳۶/۳۸درصد 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 (C1S1) به لحاظ کیفی برای مصارف آبیاری شیرین هستند.




**شکل ۷: نمودار USSL برای طبقه‌بندی نمونه آب‌های بالادست آجی‌چای در خردادماه ۱۳۸۷**

*مأخذ : نگارنده*

## نتیجه

بر اساس این پژوهش، منابع آب بالادست حوضه آجی‌چای 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 اسبفروشان- 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 خیلی‌شور 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 آذربایجان‌غربی.

۲- جهانبخش، سعید و فریبا کرمی (۱۳۸۸). بررسی تأثیر وقوع خشکسالی در منابع آب زیرزمینی دشت تبریز، گزارش طرح تحقیقاتی دانشگاه تبریز.

۳- زارعیان‌جهرمی،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، ۲-۱ اسفند دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه تهران.

۴- فیض‌نیا، سادات؛ هوشنگ محمدیان، هوشنگ غلامرضا زهتابیان و فرید ثابت (۱۳۸۵). بررسی نهشته‌های کواترنر به منظور پهنه‌بندی اراضی مستعد آبخوانداری با استفاده از کنترل هرزآب (کوهدشت لرستان). بیابان، 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, Scince 172.
10- Ghyoumina, J. Mohseni Saravi,M. Feiznia,S. Nouri,B and Malekian, A (2007). Application of GIS techniques to determine areas most suitabale 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 contorlling world water chemistry. Scince 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 theri spatial variation using multi-stage cluster analysis, Queensland, Australia. Journal of Hydrology 310.
17- Mencio, A, Mas-Pla. J (2008). Assessment by maltivariate analysis of groundwater surface water interactions in urbanized Mediterranean stream. Journal of Hydrology 352.
18- Panapitukul,N.Pengnoo.A.Siriwong,C.Chatupote,W(2005).ydrogeomophological controls on groundwater quality: Thailand. Water, Air and Soil Pollution, Vol. 5.
19- Tood,D.K(1980).GroundwaterHydrology.John wiely and Sons