



مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد نوزدهم، شماره دوم، ۱۳۹۱

<http://jwfst.gau.ac.ir>

ارزیابی هیدروژئوشیمیایی پساب‌های کارخانه زغال‌شویی وطنی برای مصارف کشاورزی

*مسلم آقائی‌کریق^۱، مصطفی رقیمی^۲، غلامحسین شمعانیان^۳ و محسن قلی‌پور^۴

^۱دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه زمین‌شناسی، دانشگاه گلستان، آستاد گروه زمین‌شناسی، دانشگاه گلستان،

^۲آستادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه گلستان، ^۳دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۸۹/۱/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۸/۲۵

چکیده

استفاده از پساب‌های معدنی و صنعتی می‌تواند در تامین بخشی از آب مورد نیاز کشاورزی مفید باشد. اما برای استفاده از پساب‌ها همواره باید نظارت دقیقی روی کیفیت آن‌ها صورت گیرد. به‌منظور شناخت کیفیت و قابلیت استفاده از پساب‌های کارخانه زغال‌شویی وطنی برای آبیاری، نمونه‌برداری از حوضچه‌ها و آب زیرزمینی در زمستان ۱۳۸۷ انجام شد. براساس رخساره هیدروژئوشیمیایی، نمودار پایپر تیپ پساب‌های مورد مطالعه و آب زیرزمینی به‌ترتیب از نوع Ca-SO_4 و Ca-HCO_3 است. نسبت جذبی سدیم (SAR) (رده S_1)، درصد سدیم، خطر منیزیم و خطر کلریدی به‌ترتیب کم‌تر از ۱۰، ۶۰، ۵۰ و ۲۰ درصد هستند. کربنات سدیم اضافی (RSC) با کم‌تر از ۱/۲۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر و نسبت کلی کم‌تر از یک برای نمونه‌های مورد مطالعه نشانگر کیفیت قابل قبول آن‌ها برای اهداف کشاورزی است. پساب‌های مورد مطالعه براساس نمودار آزمایشگاه شوری آمریکا در محدوده C_2S_1 قرار دارند که نسبت به آب زیرزمینی (چاه) (C_2S_1) دارای شوری بالایی هستند. پساب‌های مورد مطالعه بر روی نمودار ویلکاکس از نظر کیفیت شیمیایی در محدوده قابل‌قبولی برای آبیاری قرار می‌گیرند. مدل گیز نشان‌دهنده منشأ سنگی برای آنیون‌ها و کاتیون‌های موجود در آب‌های مورد مطالعه می‌باشد. شاخص کلروآلکالن مثبت آب‌ها، بیانگر تبادل سدیم و پتاسیم آب با کلسیم و منیزیم زغال‌سنگ و باطله‌های زغالی است. تمامی نمونه‌ها دارای شاخص تراوایی (PI) قابل‌قبولی برای آبیاری هستند.

واژه‌های کلیدی: هیدروژئوشیمیایی، پساب کارخانه زغال‌شویی، مصارف کشاورزی

*مسئول مکاتبه: aghaei.moslem@yahoo.com

مقدمه

در یک قرن گذشته رشد جمعیت، توسعه کشاورزی و پیشرفت‌های صنعتی از یک سو و افزایش آلودگی منابع آب به دلیل رشد جمعیت، توسعه صنعتی و استخراج معادن از سوی دیگر مشکلات اساسی در تامین آب مورد نیاز، پیش روی انسان امروزی گذاشته است که حل آن نیازمند مدیریت صحیح و استفاده بهینه از منابع آب است. در کشورهای پیشرفته تقاضای بیشتر آب‌های با کیفیت مطلوب برای مصارف شهری و صنعتی، ضرورت بهره‌گیری دوباره از پساب‌ها را ایجاب کرده است (آیزر و همکاران، ۱۹۸۹). در کشورهایی مانند چین، پاکستان، هند، اردن، ویتنام و سودان برای چند دهه است که از پساب‌ها برای آبیاری استفاده می‌شود (عبدل مونیم، ۱۹۸۵). کویت یک چهارم اراضی کشاورزی و مکزیک حدود ۲۵۰,۰۰۰ هکتار از مزارع خود را به وسیله پساب‌ها آبیاری می‌کنند (عبدل مونیم، ۱۹۸۵). در ایران سالانه حدود ۷۰ میلیون مترمکعب پساب برای آبیاری استفاده می‌شود (رادکلیف، ۲۰۰۴). بنابراین استفاده دوباره از پساب‌ها برای مصارف کشاورزی و آبیاری با رعایت استانداردها می‌تواند یکی از جنبه‌های مطلوب و مؤثر مدیریت آب باشد (دبلیو کیو پی ان، ۲۰۰۸)، که ضمن کاهش پساب‌ها در محیط، زمینه‌ساز رونق اقتصادی می‌شود. همچنین پساب‌ها دارای مواد مغذی مانند کربن آلی، نیتروژن، فسفات و پتاسیم هستند که می‌توانند نیازهای رشد گیاهان را برطرف نمایند (دبلیو کیو پی ان، ۲۰۰۸). از طرفی مواد غیرآلی و بیماری‌زای فراوانی که در پساب‌ها وجود دارد اثرات منفی بر محصول تولیدی و سلامتی مصرف‌کنندگان خواهد گذاشت (آسیک و همکاران، ۱۹۹۷). از این رو استفاده از پساب‌ها برای مصارف کشاورزی همواره باید در منطقه مناسب و حفاظت شده و بر طبق استانداردهای جهانی صورت پذیرد.

ایران کشوری پهناور، با زمین‌های کشاورزی فراوان همواره به دلیل تقاضای آب، بارش کم، تبخیر بالا و توزیع جزئی و موقتی بارندگی با کمبود آب مواجه بوده است. براساس گزارش سازمان ملل، ایران به‌عنوان هفدهمین کشور پرجمعیت دنیا شناخته شده است و تا سال ۲۰۵۰ کشورمان جزو ۱۰ کشور اول پرجمعیت جهان خواهد بود (صفوی، ۱۹۹۹). از طرفی کاهش ۱۳۰۰۰ مترمکعبی در میزان سرانه آب تجدیدپذیر کشور در سال ۱۳۸۲ همگی نشان‌دهنده بحران کمبود آب در ایران است. بنابراین به‌علت افزایش دائمی تقاضا برای آب و کاربرد ناپایدار منابع آب موجود، استفاده از پساب‌های صنعتی و خانگی به‌عنوان یک منبع تامین‌کننده آب کشاورزی می‌تواند راه‌گشا باشد. این مهم نه فقط در مناطق خشک بلکه مناطق مرطوب را نیز شامل می‌شود. این در حالی است که وجود منابع معدنی متنوع در مناطق مختلف کشور، توسعه کارخانه‌های فرآوری را به‌دنبال داشته است. کارخانه‌های

زغال‌شویی یکی از مهم‌ترین کارخانه‌های فرآوری مواد معدنی‌اند، که در بیش‌تر نواحی زغال‌خیز ایران تأسیس شده‌اند. کارخانه‌های زغال‌شویی تامین‌کننده زغال‌سنگ‌های مورد نیاز کارخانه‌های ذوب‌آهن هستند، که سالیانه باعث تولید حجم عظیمی از پساب‌ها می‌شوند که می‌تواند اثرات زیست‌محیطی فراوانی را به بار آورد. برای مثال کارخانه زغال‌شویی زیرآب سالانه حدود ۷۰۰,۰۰۰ مترمکعب پساب تولید می‌کند (رضایی و همکاران، ۲۰۰۱). بنابراین ضروری به‌نظر می‌رسد که برای این حجم عظیم پساب‌های تولید شده، تدبیر مناسبی اندیشیده شود، که یکی از راه‌های مصرف این پساب‌ها، استفاده از آن‌ها در کشاورزی و آبیاری باغ‌ها است، مشروط به این‌که موجب صدمه به کیفیت اراضی نشود و طبق استانداردهای جهانی و ملی با کنترل دقیق صورت گیرد.

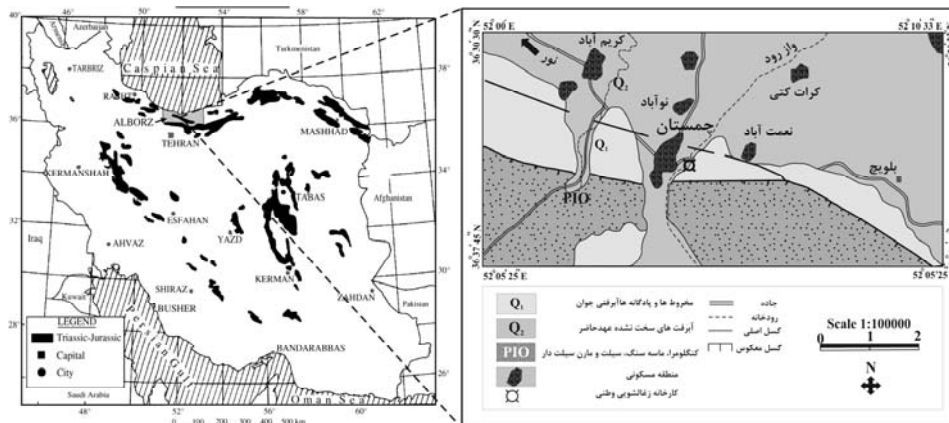
هدف از این پژوهش، بررسی کیفیت شیمیایی پساب‌های به‌دست آمده از کارخانه زغال‌شویی وطنی برای مصارف کشاورزی و آبیاری باغ‌ها در مجاورت کارخانه، در راستای استفاده بهینه از منابع آب و حفظ محیط زیست می‌باشد.

مواد و روش‌ها

موقعیت کارخانه زغال‌شویی وطنی: کارخانه زغال‌شویی وطنی با موقعیت جغرافیایی ۵۲ درجه و ۷ دقیقه و ۴۱ ثانیه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۲۹ ثانیه و ۳۸ ثانیه عرض شمالی یکی از کارخانه‌های زغال‌شویی در منطقه زغالی البرز مرکزی واقع در استان مازندران است. میزان آب مصرفی کارخانه زغال‌شویی وطنی روزانه ۱۴-۷ هزار لیتر می‌باشد. آب تامین‌کننده سیستم زغال‌شویی، آب زیرزمینی (چاه) است که پس از خروج از سیستم زغال‌شویی به سپتیک‌ها و سپس به حوضچه‌های ترسیب منتقل می‌شود و برای مصارف کشاورزی و آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۱). این کارخانه تنها کارخانه زغال‌شویی در ایران است که از پساب‌های به‌دست آمده از زغال‌شویی در کشاورزی و آبیاری باغ‌ها استفاده می‌کند.

روش‌ها: به‌منظور بررسی ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی پساب‌های کارخانه زغال‌شویی وطنی و مقایسه آن با آب‌های زیرزمینی، نمونه‌برداری از پساب‌های موجود در سپتیک‌ها و حوضچه‌های ترسیب در زمستان ۱۳۸۷ انجام گرفت. نمونه‌ها برای ارزیابی میزان اسیدیته (pH)، قابلیت هدایت الکتریکی (EC)، مجموع مواد محلول جامد (TDS)^۱، سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و آنیون‌های بی‌کربنات (HCO₃⁻)، سولفات (SO₄^{-۲}) و کلرید (Cl⁻) به آزمایشگاه آب و فاضلاب شهری گرگان ارسال شد.

1- Total Dissolved Solids (Salts)



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی محل کارخانه زغال‌شویی وطنی و نقشه پراگندگی مناطق زغال‌دار در ایران.

برای ارزیابی خطر سدیم در نمونه‌های مورد مطالعه شاخص‌های نسبت جذبی سدیم (SAR)^۱ و درصد سدیم محاسبه شده است (الشمیری و همکاران، ۲۰۰۵). این نسبت‌ها طبق رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه می‌شود (گوپتا و همکاران، ۲۰۰۸). در این رابطه‌ها غلظت تمامی یون‌ها بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر بیان شده است.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{[Ca^{2+} + Mg^{2+}] / 2}} \quad (1)$$

$$\% Na = \left[\frac{(Na^+ + K^+) \times 100}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+)} \right] \quad (2)$$

مجموع سختی کربناته (سختی موقت) و سختی غیرکربناته (سختی دائم) با عنوان سختی کل نامیده می‌شود. در این بررسی، سختی کل با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شده و سختی کربناتی و غیرکربناته با استفاده از نرم‌افزار (AqQA (Version 1) محاسبه گردید.

$$TH = (Ca^{2+} + Mg^{2+}) meq / 1 \times 50 \quad (3)$$

سختی بر حسب میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم محاسبه می‌شود.

1- Sodium Adsorption Ratio

خطر منیزیم^۱ (الشمیری و همکاران، ۲۰۰۵) و خطر کلریدی^۲ (عبدل مونیم، ۱۹۸۵) با استفاده از رابطه‌های ۴ و ۵ محاسبه شد. غلظت تمامی یون‌ها در این رابطه‌ها بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر بیان شده است.

$$\text{خطر منیزیم} = \frac{[Mg^{2+}]}{([Ca^{2+}] \times [Mg^{2+}]) \times 100} \quad (4)$$

$$\text{پتانسیل کلریدی} = \frac{(Cl^- + NO_3^-)}{(CO_3^{2-} + HCO_3^- + SO_4^{2-} + Cl^- + NO_3^-) \times 100} \quad (5)$$

به‌علاوه برای ارزیابی خطر کربنات و بی‌کربنات از شاخص سدیم کربنات باقی‌مانده (RSC) که براساس رابطه ۶ محاسبه می‌شود، استفاده شده است. غلظت تمامی یون‌ها در این معادله بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر بیان می‌شود.

$$RSC = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad (6)$$

در ادامه به‌منظور ارزیابی بهینه بودن پساب‌ها برای مصارف آبیاری، از شاخص تراوایی (PI)^۳ (دونین، ۱۹۶۴) استفاده شد. این شاخص طبق رابطه ۷ محاسبه و غلظت تمامی یون‌ها در آن بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر بیان شده است.

$$PI = \frac{Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+} \times 100 \quad (7)$$

همچنین برای ارزیابی تبادل یونی صورت گرفته بین آب و محیط سنگی در طی زغال‌شویی از شاخص‌های کلروآلکالن^۴ استفاده شده است (شولر، ۱۹۶۷) (رابطه‌های ۸ و ۹).

$$CAI - I = \frac{[Cl^- - (Na^+ + K^+)]}{Cl^-} \quad (8)$$

$$CAI - II = \frac{[Cl^- - (Na^+ + K^+)]}{(SO_4^{2-} + HCO_3^- + CO_3^{2-} + NO_3^-)} \quad (9)$$

-
- 1- Magnesium Hazard
 - 2- Chloride Potential
 - 3- Permeability Index
 - 4- Chloroalkaline Indices

در ادامه از نسبت کلی^۱ (کلی، ۱۹۶۳) برای ارزیابی نسبت سدیم به کلسیم و منیزیم پساب‌ها استفاده شده است این نسبت اساس رابطه ۱۰ محاسبه و غلظت عناصر در آن بر حسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر بیان می‌شود.

$$KR = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \quad (10)$$

در این پژوهش از مدل گیبز (گیبز، ۱۹۷۰) برای تعیین منشأ آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی نمونه‌های مورد مطالعه استفاده شده است. رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی پساب‌های کارخانه زغال‌شویی توسط نمودار پایپر (هیم، ۱۹۸۹) و ویلکاکس (ویلکاکس، ۱۹۴۸) و با استفاده از نرم‌افزار Aquachem 4.0 و AqQA (Version 1) و تعیین شده است.

نتایج و بحث

در جدول ۱ نتایج پارامترهای هیدروشیمی و شاخص‌های شیمیایی پساب‌های کارخانه زغال‌شویی وطنی به همراه استانداردهای کیفیت شیمیایی منابع آب، برای مصارف کشاورزی و آبیاری (آیرز و همکاران (۱۹۸۹)، کریس (۱۹۷۴) و تاکاشی (۱۹۹۴) ارائه شده است. براساس داده‌های به‌دست آمده از این جدول، مجموع مواد محلول جامد (TDS)، آب زیرزمینی قبل از وارد شدن در چرخه زغال‌شویی ۴۱۸ میلی‌گرم بر لیتر است که در طی زغال‌شویی به‌دلیل شست و شوی نمک‌های موجود در زغال‌سنگ ۱۰۸ میلی‌گرم بر لیتر افزایش و به‌طور میانگین به ۵۲۶ میلی‌گرم بر لیتر می‌رسد که در مقایسه با استانداردهای کیفیت شیمیایی آب (جدول ۱)، هیچ محدودیتی روی کیفیت آب برای مصارف آبیاری به‌وجود نمی‌آورد. همچنین فعل و انفعالات رخ داده بین آب و زغال‌سنگ در طی مراحل زغال‌شویی منجر به افزایش سختی کل در پساب‌ها شده است. به‌طوری‌که سختی کل پساب‌های موجود در سبتیک‌ها و حوضچه‌های ترسیب نسبت به آب مصرفی اولیه افزایش یافته است این مقدار از ۴۱۸-۳۳۱ میلی‌گرم بر لیتر در تغییر بوده است. براساس مقیاس سختی هیم (۱۹۸۵) تمامی نمونه‌های مورد مطالعه در رده آب‌های خیلی سخت قرار می‌گیرند (جدول ۱). از بین دو سختی کربناته و غیرکربناته، سختی غیرکربناته در پساب‌ها نسبت به آب تامین‌کننده کارخانه زغال‌شویی افزایش و سختی کربناته کاهش یافته است. افزایش سختی غیرکربناته در پساب‌های موجود در

1- Kelly's Ratio

سپتیک‌ها و حوضچه‌های ترسیب به افزایش غلظت یون سولفات در آن‌ها مربوط می‌شود. حضور کانی‌های سولفیدی به‌ویژه پیریت در زغال‌سنگ احتمالاً مهم‌ترین منبع افزایش‌دهنده غلظت یون سولفات در پساب‌های مورد مطالعه است.

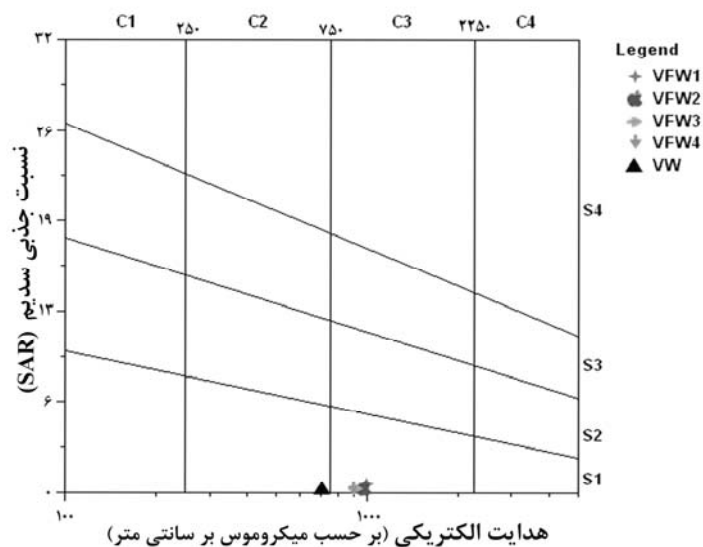
آزمایشگاه شوری آمریکا براساس میزان نسبت جذبی سدیم (SAR)، آب آبیاری را به ۴ رده، نسبت جذبی سدیم کم‌تر (S_1) (کم‌تر از ۱۰)، متوسط (S_2) (۱۸-۱۰)، زیاد (S_3) (۲۶-۱۸) و خیلی‌زیاد (S_4) (بالای ۲۶) طبقه‌بندی کرده است (شولر، ۱۹۶۷). براساس نتایج جدول ۱ نسبت جذبی سدیم همگی نمونه‌های مورد مطالعه به کم‌تر از ۱۰ می‌رسد که در رده پایین (S_1) قرار می‌گیرند. آب‌های این رده برای آبیاری همه خاک‌ها قابل استفاده است، بدون این‌که خطری از نظر افزایش سدیم تبدلی خاک محتمل باشد (آیز و همکاران، ۱۹۸۹). برای ارزیابی مؤثر نفوذپذیری آب در خاک، بر آورد ارتباط بین نسبت جذبی سدیم (SAR) و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) آب مفید است. نمودار آزمایشگاه شوری آمریکا این ارتباط را به‌خوبی نشان می‌دهد (شکل ۲). براساس نتایج به‌دست آمده از این نمودار آب زیرزمینی (چاه) در منطقه مورد مطالعه در ناحیه C_2S_1 (شوری متوسط و نسبت جذب سدیم پایین) و نمونه‌های مربوط به پساب‌ها در ناحیه C_3S_1 (شوری بالا و نسبت جذبی سدیم پایین) قرار گرفته است. بر این اساس آب مصرفی اولیه (آب زیرزمینی) از نوع آب‌های خوب برای مصارف کشاورزی هستند. در حالی‌که آب‌های مربوط به حوضچه‌ها در صورتی‌که خاک‌های کشاورزی از نظر بافت سبک باشند (بیش از ۸۰ درصد شن) برای آبیاری قابل استفاده‌اند. درصد سدیم شاخص دیگری است که کاربرد وسیعی در ارزیابی کیفیت آب آبیاری دارد (تاکاشی، ۱۹۹۴). سدیم اضافی در ترکیب با کربنات منجر به تشکیل خاک‌های قلیایی می‌شود در حالی‌که در ترکیب با Cl^- خاک‌های شور را به‌وجود می‌آورد که هیچ‌یک از این خاک‌ها برای رشد گیاه مناسب نیستند (سوبا، ۲۰۰۶). اگر مقادیر درصد سدیم برای نمونه آبی بیش‌تر از ۶۰ درصد شود برای مصارف کشاورزی مناسب نیست. ولی اگر این مقدار به کم‌تر از ۶۰ درصد برسد برای مصارف کشاورزی قابل استفاده است. بر این اساس درصد سدیم تمامی نمونه‌های مورد مطالعه کم‌تر از ۶۰ درصد است. از این نظر پساب‌های کارخانه زغال‌شویی برای مصارف کشاورزی قابل استفاده می‌باشند. ویلکاکس (۱۹۴۸) با ترسیم درصد سدیم در مقابل EC نموداری را برای ارزیابی کیفی آب‌ها برای مصارف کشاورزی ارائه کرده است (شکل ۳). نمودار ویلکاکس، ۴ نوع آب با کیفیت عالی تا خوب، خوب تا مجاز، مجاز تا مشکوک، مشکوک تا نامطلوب و کاملاً نامطلوب را از هم تفکیک می‌کند. براساس این نمودار کیفیت پساب‌های مورد مطالعه در محدوده خوب تا قابل‌قبول قرار می‌گیرند که تغییرات کم‌تری را از آب زیرزمینی که در منطقه عالی تا خوب واقع شده، پیدا کرده است.

جدول ۱- مقایسه پارامترهای هیدروژوشیمیایی و شاخص‌های کیفیت شیمیایی رسوبات‌های کارخانه زغال‌سویی وطن با رده‌بندی استاندارد کیفیت آب در مصارف کشاورزی و آبیاری (آیزو و همکاران، ۱۹۸۹؛ کریس، ۱۹۷۴؛ تاکاشی، ۱۹۹۴).

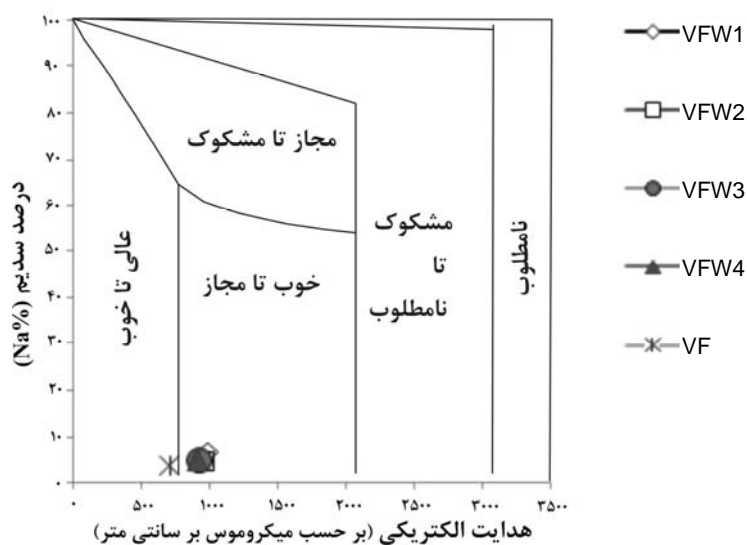
شدید	جرمی تا متوسط		درجه محدودیت در مصرف (بر اساس استانداردهای مختلف)	حوضچه ترسیب اولیه		حوضچه ترسیب ثانویه		آب زیرزمینی		محل نمونه برداری
	۴/۵-۵/۵	۷/۵-۸/۵		(VEW _۱)	(VEW _۲)	(VEW _۱)	(VEW _۲)	(VW)	(VW)	
کمتر از ۴/۵	۵/۵-۷/۵	۷/۶	۷/۷۲	۷/۷۱	۷/۶	۷/۶	۷/۵۵	۷/۵۵	pH	
بزرگ‌تر از ۸/۵	-	۵/۴	۵/۱۰	۵/۵	۵/۵	۵/۱۸	۵/۱۸	۵/۱۸	TDS (میلی گرم بر لیتر)	
بزرگ‌تر از ۲۰۰۰	۴۵۰-۲۰۰۰	۱۰۰	۸۰	۱۰۰	۱۰۴	۲۲۰/۸	۲۲۰/۸	۲۲۰/۸	کلسیم (میلی گرم بر لیتر)	
-	۴۰-۲۸۰	۳۶	۴۲/۲	۳۸/۴	۳۸/۴	۱۱/۵	۱۱/۵	۱۱/۵	منیزیم (میلی گرم بر لیتر)	
بیش‌تر از ۱۰۰	-	۱۱	۹/۲	۹/۴	۲۵/۴	۱/۱۵	۱/۱۵	۱/۱۵	سدیم (میلی گرم بر لیتر)	
۱۸۰	۷۱-۱۸۰	۱/۱	۰/۹۴	۰/۹۴	۲/۵۴	۳۴۰	۳۴۰	۳۴۰	پتاسیم (میلی گرم بر لیتر)	
۱۲-۶۰	۸-۴۰	۱۸۰	۱۶۰	۱۶۰	۱۸۰	۲۸۰	۲۸۰	۲۸۰	بی‌کربنات (میلی گرم بر لیتر)	
بیش‌تر از ۵۰۰	۹۰-۵۰۰	۳۰	۳۰	۲۸۰	۲۸۰	۴۰	۳۳/۴	۳۳/۴	سولفات (میلی گرم بر لیتر)	
۱۴۴-۷۲۰	۹۶-۴۸۰	۴۱	۴۰	۴۰	۴۰	۳۳/۴	۳۳/۴	کلراید (میلی گرم بر لیتر)		
بیش‌تر از ۳۵۰	۱۴۰-۳۵۰	۳۹/۸۷	۳۷/۸۴	۴۰/۸۵	۴۱/۸۵	۴۱/۸۵	۴۱/۸۵	۴۱/۸۵	سختی کل	
-	-	۳۹/۸۷	۳۷/۸۴	۴۰/۸۵	۴۱/۸۵	۴۱/۸۵	۴۱/۸۵	۴۱/۸۵	آب سبک	
-	-	۳۹/۸۷	۳۷/۸۴	۴۰/۸۵	۴۱/۸۵	۴۱/۸۵	۴۱/۸۵	۴۱/۸۵	آب به نسبت سخت	
-	-	۳۹/۸۷	۳۷/۸۴	۴۰/۸۵	۴۱/۸۵	۴۱/۸۵	۴۱/۸۵	۴۱/۸۵	آب سخت	
-	-	۳۹/۸۷	۳۷/۸۴	۴۰/۸۵	۴۱/۸۵	۴۱/۸۵	۴۱/۸۵	۴۱/۸۵	آب خیلی سخت	

ادامہ جدول ۱ -

شدید	جزئی تا متوسط	مہج	درجہ محدودیت در مصرف (براساس استانداردهای مختلف)	حوضچه ترسیب ثانویه (VFW _۲)	حوضچه ترسیب اولیه (VFW _۱)	حوضچه ثانویه (VFW _۳)	سپتیک ثانویه (VFW _۴)	سپتیک اولیه (VFW _۱)	آب زیرزمینی (VW) (چاه)	محل نمونه برداری
-	-	-	۲۹۵/۸	۲۳	۲۳	۲۳	۲۳	۲۹۵/۷	۳۳۱/۴	سختی کربناتہ (میلی گرم بر لیتر)
-	-	-	۱۰۲/۸	۱۱۵/۴	۱۱۵/۴	۱۵۵/۶	۱۵۵/۶	۱۲۲/۷	۰	سختی غیر کربناتہ
بیش تر از ۳۶	۱۸-۳۶	کمتر از ۱۰	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۴۲	۰/۴۲	۰/۲۱	SAR (میلی اکی ولان)
بیش تر از ۶۰	-	کمتر از ۶۰	۶۰/۳	۵/۲۸	۵/۰۱	۵/۰۱	۱۲/۲	۱۲/۲	۷/۴۲	درصد سدیم
-	-	-	۰/۷۲	۰/۷۶	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۱	۰/۱	۰/۵۱	شاخص کلروآکالان (CAH)
-	-	-	۱/۴	۱/۳	۱/۲	۱/۲	۱	۰/۹۵	۰/۹۵	شاخص کلروآکالان (CAH)
کمتر از ۲۵	۲۵-۷۵	بزرگتر از ۷۵	۳۸/۳	۴۴/۲	۳۸/۴۳	۳۸/۴۳	۳۸/۴۵	۵۲/۱	۵۲/۱	شاخص تراوی
بزرگتر از ۵۰	-	کمتر از ۵۰	۲۰	۲۵	۲۰	۲۰	۱۹/۲	۲۰/۸	۲۰/۸	خطر منیزیم
بزرگتر از ۲۰	-	کمتر از ۲۰	۱۳	۱۲/۳۲	۱۱/۸	۱۱/۸	۱۱/۴	۱۲/۴۴	۱۲/۴۴	بائسیل کلریدی
بزرگتر از ۲/۵	۱/۲۵-۲/۵	کمتر از ۱/۲۵	-۵	-۴/۹	-۵/۵	-۵/۵	-۵/۴	-۷/۳	-۷/۳	سدیم کربنات باقی مانده (میلی اکی ولان بر لیتر)



شکل ۲- طبقه‌بندی پساب‌ها و آب زیرزمینی کارخانه زغال‌شویی وطنی با استفاده از نمودار آزمایشگاه شوری آمریکا.



شکل ۳- طبقه‌بندی پساب‌ها و آب زیرزمینی کارخانه زغال‌شویی وطنی با استفاده از نمودار ویلکاکس (ویلکاکس، ۱۹۴۸).

مقدار یون کلرید در آب مصرفی کشاورزی نباید به بیش‌تر از ۴ میلی‌اکی‌والان بر لیتر (۱۴۰ میلی‌گرم بر لیتر) برسد زیرا غلظت بالای یون کلرید در آب آبیاری به سوختن برگ و سمیت ریشه گیاهان خواهد انجامید (الشمیری و همکاران، ۲۰۰۵). پتانسیل کلریدی شاخص مناسب دیگری برای ارزیابی خطر کلریدی است. میزان این شاخص برای آب آبیاری نباید به فراتر از ۲۰ درصد برسد (عبدل‌مونیم، ۱۹۸۵). پتانسیل کلریدی برای نمونه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. براساس داده‌های این جدول میزان کلرید و به‌ویژه پتانسیل کلریدی نمونه‌های مورد مطالعه کم‌تر از مقدار استاندارد است، این مقدار برای مصارف کشاورزی قابل قبول هستند.

غلظت بالای کربنات و بی‌کربنات در آب با حذف کلسیم و منیزیم از مجموعه رس خاک باعث تشکیل خاک‌های قلیایی می‌شود. سدیم کربنات باقی‌مانده (RSC) شاخصی برای ارزیابی خطر کربنات و بی‌کربنات در خاک است (الشمیری و همکاران، ۲۰۰۵). براساس پیشنهاد آزمایشگاه شوری آمریکا، سدیم کربنات باقی‌مانده بالاتر از ۲/۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر برای مصارف آبیاری مناسب نیست. در حالی‌که مقادیر بین ۲/۵-۱/۲۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در نقطه بحرانی و مشکوک قرار گرفته و فقط زمانی‌که شاخص RSC به کم‌تر از ۱/۲۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر برسد قابل استفاده در مصارف آبیاری خواهد بود. شاخص سدیم کربنات باقی‌مانده تمامی نمونه‌ها مورد مطالعه کم‌تر از ۱/۲۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر است. بنابراین براساس استاندارد تعریف شده محدودیتی در استفاده از این پساب‌ها برای مصارف کشاورزی وجود ندارد (جدول ۱).

نفوذپذیری خاک در طی آبیاری طولانی‌مدت به‌وسیله آب‌های شامل بی‌کربنات، منیزیم، کلسیم و سدیم تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد (جاناردهانا، ۲۰۰۷). دونین (۱۹۶۴) به‌منظور ارزیابی بهینه بودن آب برای مصارف آبیاری شاخص تراوایی (PI) را ارائه کرد. بر طبق این شاخص آب‌ها به کلاس I (نفوذپذیری بالای ۷۵ درصد)، کلاس II (نفوذپذیری ۲۵-۷۵ درصد) و کلاس III (نفوذپذیری کم‌تر از ۲۵ درصد) تقسیم می‌شود. آب‌های موجود در دو کلاس اول با بیش‌ترین میزان نفوذپذیری، برای مصارف کشاورزی مناسب‌اند. براساس نتایج ارائه شده در جدول ۱ شاخص تراوایی تمامی نمونه‌ها در کلاس دوم (۲۵-۷۵ درصد) قرار می‌گیرد، این امر بیانگر نفوذپذیری بالای پساب‌های کارخانه زغال‌شویی بوده و باعث افزایش برخه آب‌شویی و کاهش اثرات شوری پساب بر خاک خواهد شد.

استفاده از پساب‌های صنعتی برای مصارف کشاورزی مستلزم شناخت تغییرات به‌وجود آمده در شیمی آب مصرفی اولیه است. کاربرد شاخص کلروآلکانل، تبادل یونی صورت گرفته بین آب و محیط

سنگی اطراف در طی فرآوری مواد معدنی را به‌خوبی نشان می‌دهد. براساس نتایج ارائه شده در جدول ۱ شاخص کلروآلکالن محاسبه شده برای نمونه‌های مورد مطالعه مقادیری مثبت را نشان داد این امر بیانگر نوعی واکنش تبادل بازی یا کلروآلکالن تعادلی بین آب و محیط سنگی است که در آن سدیم و پتاسیم آب مصرفی اولیه، با کلسیم و منیزیم موجود در زغال‌سنگ تبادل می‌یابد. بر طبق نتایج به‌دست آمده، میزان شاخص کلروآلکالن از آب مصرفی اولیه کارخانه زغال‌شویی (آب زیرزمینی) به طرف حوضچه پساب‌ها افزایش یافته است این امر به حضور کانی‌های کربناته مانند کلسیت و دولومیت در زغال‌سنگ مربوط می‌شود که یون‌های کلسیم و منیزیم را به‌راحتی وارد فاز مایع کرده است. این امر منجر به افزایش سختی نمونه‌های مورد مطالعه شده است.

براساس نتایج به‌دست آمده از نسبت کلی، پساب‌های مورد مطالعه برای مصارف کشاورزی قابل استفاده هستند (جدول ۱). نسبت کلی (کلی، ۱۹۴۰) بیش‌تر از یک بیانگر غلظت بالای سدیم در آب بوده و برای مصارف کشاورزی مناسب نیست. این نسبت برای آب‌های مورد مطالعه از ۰/۱۳-۰/۰۵ در تغییر است.

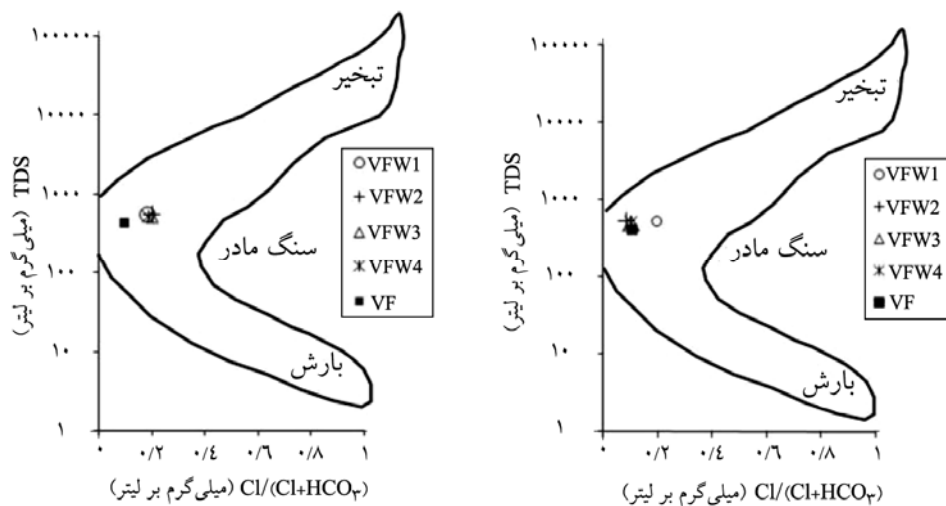
یون‌های کلسیم و منیزیم در ارتباط با تجمع و تردی خاک هستند اما حضور آن‌ها برای تغذیه گیاه امری ضروری است. تمرکزهای بالای کلسیم و منیزیم در آب آبیاری باعث افزایش pH خاک می‌شود. در نتیجه دسترسی به فسفر کاهش پیدا می‌کند. مقادیر کلسیم بالاتر از ۱۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر (۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) آب آبیاری برای مصارف کشاورزی مناسب نمی‌باشد و غلظت ۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر (۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر) منجر به کاهش جذب فسفر و افزایش پوسته بندی در لوله‌های آبیاری خواهد شد (الشمیری و همکاران، ۲۰۰۵). بنابراین مقایسه مقادیر کلسیم و منیزیم نمونه‌های مورد مطالعه با استانداردهای کیفیت شیمیایی آب (جدول ۱) نشانگر مناسب بودن پساب‌های کارخانه زغال‌شویی برای مصارف کشاورزی است.

خطر منیزیم شاخصی دیگری برای ارزیابی اثرات منیزیم است. آبی که خطر منیزیم آن کم‌تر از ۵۰ درصد باشد برای مصارف کشاورزی ایمن و مناسب خواهد بود (ایزات، ۱۹۹۹). بر این اساس تمامی نمونه‌های مطالعه شده درصد خطر منیزیم کم‌تر از ۵۰ درصد را دارند (جدول ۱). بنابراین این پساب‌ها برای مصارف کشاورزی قابل استفاده هستند.

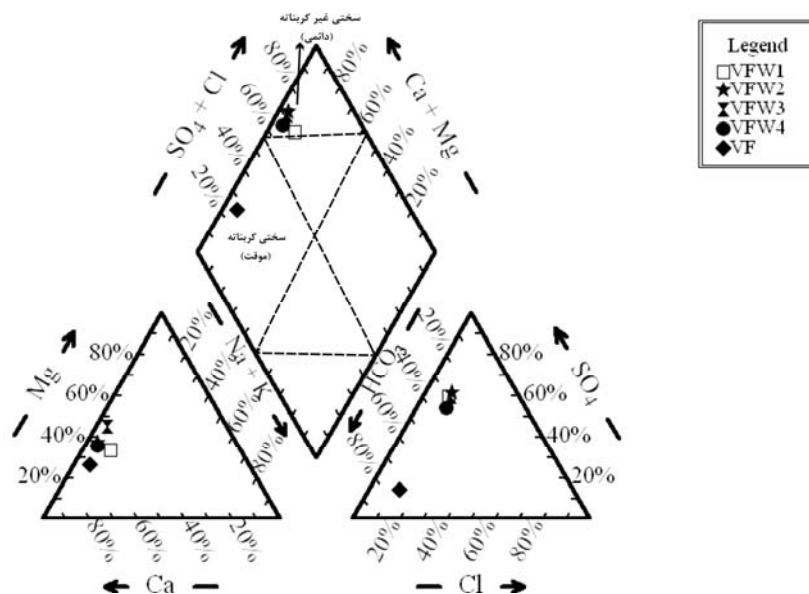
براساس نتایج به‌دست آمده از مدل گیبز (گیبز، ۱۹۷۰) پساب‌های کارخانه زغال‌شویی در محدوده سنگ مادری قرار می‌گیرند. این امر نشانگر منشأ سنگ‌شناسی برای اجزای شیمیایی آب است و نقش

سنگ مادر را به‌عنوان منشأ اصلی آنیون‌ها و کاتیون‌ها نشان می‌دهد (شکل ۴). حضور سنگ‌های کربناته (کلسیت و دولومیت) در زغال سنگ منشأ اصلی کلسیم، منیزیم و بی‌کربناته در پساب‌ها مورد مطالعه است. همچنین اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی به‌ویژه پیریت موجود در زغال‌سنگ منبع اصلی افزایش‌دهنده سولفات در پساب‌های مورد مطالعه نسبت به آب مصرفی اولیه می‌باشد. سدیم و پتاسیم هم از کانی‌های رسی موجود در زغال‌سنگ وارد آب می‌شوند.

به‌منظور تعیین رخساره هیدروژئوشیمی آب از نمودار پایپر (هیم، ۱۹۸۹) استفاده شد. این نمودار تصویر روشنی از اجزای هیدروژئوشیمی آب و ارتباط بین پارامترهای هیدروژئوشیمی ارائه می‌دهد. براساس نتایج به‌دست آمده از این نمودار، آب زیرزمینی (چاه) قبل از وارد شدن در سیستم زغال‌شویی از نوع $Ca^{2+}-Mg^{2+}-HCO_3^-$ است که پس از خروج از سیستم زغال‌شویی به نوع $Ca^{2+}+Mg^{2+}+SO_4^{2-}+HCO_3^-$ تغییر می‌یابد. (شکل ۵). همچنین براساس نتایج به‌دست آمده از این نمودار آب زیرزمینی (چاه) در ناحیه که دارای سختی کربناته است قرار دارد. در حالی‌که در پساب‌های به‌دست آمده از زغال‌شویی سختی غالب از نوع غیرکربناته (دابی) است که مربوط به افزایش غلظت یون سولفات در پساب‌ها می‌باشد.



شکل ۴- نمودارهای گیبز (گیبز، ۱۹۷۰) پساب‌های به‌دست آمده از کارخانه زغال‌شویی وطنی.



شکل ۵- نمودار پایپر (هیم، ۱۹۸۹) پساب‌های کارخانه زغال‌شویی وطنی و آب زیرزمینی (چاه).

نتیجه‌گیری

مقایسه داده‌های کیفی پساب‌های کارخانه زغال‌شویی وطنی و آب زیرزمینی (چاه) با استانداردهای کیفیت شیمیایی، نشانگر قابل استفاده بودن این پساب‌ها برای مصارف آبیاری است. براساس طبقه‌بندی آزمایشگاه شوری آمریکا، نمونه‌های مربوط به آب زیرزمینی و پساب‌های کارخانه زغال‌شویی دارای نسبت سدیم قابل جذب پایینی هستند. در حالی که شوری و سختی بالایی نسبت به آب زیرزمینی دارند و بیش‌تر برای آبیاری خاک‌های سبک مناسب هستند. میزان کربنات سدیم اضافی (RSC)، مقادیر کلسیم و منیزیم، محتوای کلریدی و پتانسیل کلریدی، شاخص تراوایی و شاخص کلروآلکالن نمونه‌های مورد مطالعه بیانگر قابل استفاده بودن پساب‌ها برای مصارف کشاورزی است. براساس مدل گیبز منشأ شیمی آب در تمام نمونه‌های مورد مطالعه متأثر از سنگ‌شناسی منطقه است. همچنین طبق نتایج به‌دست آمده از رخساره‌های هیدروشیمیایی در نمودار پایپر، تیپ آب زیرزمینی (چاه) و پساب‌های مطالعه شده به‌ترتیب از نوع $Ca^{2+}+HCO_3^-$ و $Ca^{2+}+SO_4^{2-}$ می‌باشد. به‌دلیل افزایش شوری در طی زغال‌شویی پیشنهاد می‌شود از پساب‌های مورد مطالعه برای اراضی که از زه‌کش مناسب برخوردار هستند و یا در آبیاری گیاهان مقاوم به شوری استفاده شود.

منابع

1. Abdul-Moneim, B. 1985. Protected Irrigation, Kuwait University, 143p.
2. Al-Shammiri, M., Al-Saffar, A., Bohamad, S., and Ahmed, M. 2005. Waste water quality and reuse in irrigation in Kuwait using microfiltration technology in treatment. *J. Desalination*. 185: 213-225.
3. Asik, S., Avci, M., and Balci, A. 1997. Atik Sularin Sulamada Kullanim Stratejieri.
4. Ayers, R.S., and West-cot, D.W. 1989. Water Quality for Agriculture. Food and Agriculture (FAO).
5. Crites, R.W. 1974. Irrigation with wastewater in Bakersfield, California. Report by Metcalf and Eddy Inc. palo Alto, California.
6. Doneen, L.D. 1964. Notes on Water Quality in Agriculture. Published in Water Science and Engineering, University California, Davis, 48p.
7. Ezat, A. 1999. Raia and Sarf, Kuwait foundation for the advancement of science. 76p.
8. Gibbs, R.J. 1970. Mechanisms controlling world water chemistry. *Science*, 17: 1088-1090.
9. Gupta, S., Mahato, A., Roy, P., and Datta, K. 2008. Geochemistry of ground water Burdwan District, West Bengal, India. *Environ. Geol.* 53: 1271-1282.
10. Hem, J.D. 1989. Study and interpretation of the chemical characteristic of natural water. *U.S. Geol. Surv. Water Supp.* 1: 363-473.
11. Hem, J.D. 1985. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, 3rd ed. *U.S. Geo. Surv. Water Supp.* 2254: 263.
12. Janardhana-Raju, N. 2007. Hydrogeochemical parameters for assessment of ground water quality in the upper Gunjanaeru River basin. Cuddapah District Andhra Pradesh, South India. *Environ. Geol.* 52: 1067-1074.
13. Kelly, W.P. 1963. Use of Saline Irrigation Water. *Soil Sci.* 95: 4. 355-391.
14. Radcliffe, J.C. 2004. Water recycling in Australia. *Aust. Acad. of Technol. Sci and Eng.* Parkville, Australia. 251p.
15. Rezai, B., and Mehrdadi, N. 2001. Studies and investigations on reducing the environmental effects of the waste from Zirab coal-washing factory. *J. Enviro.* 25: 23-28. (In Persian)
16. Safavi, H.R. 1999. Integrated management of water in municipal environments. *J. Water and Sew.* 28: 12-20. (In Persian)
17. Schoeller, H. 1967. Qualitative evaluation of groundwater resources. P 44-52. In: Method and techniques of groundwater investigation and development, water Research, Series 33, UNESCO.
18. Subba-Rao, N. 2006. Seasonal variation of groundwater quality in a part of Guntur district, Andhra Pradesh, India. *Environ. Geol.* 49: 413-429.
19. Takashi, A. 1994. Irrigation with treated sewage effluents, *Adv. Series in Agric. Sci.* 22p.
20. Wilcox, LV. 1948. The quality of water for irrigation use. US Department or Agricultural Technical Bulletin 1962, Washington, 19p.
21. WQPN. 2008. Irrigation with nutrient-rich waste water. Series-22 Department of water Government of Western Australia. 20p.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 19(2), 2012
<http://jwfst.gau.ac.ir>

Hydrogeochemistry evaluation of wastewater of coal washing factory of Vatani for agricultural usage

***M. Aghaei-Kerigh¹, M. Raghimi², Gh. Shamanian³ and M. Gholipour⁴**

¹M.Sc. Graduated, Dept. of Geology, Golestan University, ²Professor, Dept. of Geology, Golestan University, ³Assistant Prof., Dept. of Geology, Golestan University,

⁴M.Sc. Graduated, Dept. of Geology, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 2010/04/13; Accepted: 2011/11/16

Abstract

Wastewater can be used effectively in irrigation to provide some portion of the water required for agriculture purposes. But for using of the wastewater, the accurate monitoring on their quality should be done. In order to know the quality and suitability of waste water of coal cleaning factory of Vatani for irrigation purpose, the sampling from wastewater ponds and groundwater have been done during winter 2009. According to the hydrochemistry facies of Piper diagram, the wastewater and groundwater types in the studied area belongs to Ca-SO₄ type and Ca-HCO₃ type respectively. Sodium absorption ratio (SAR) (class S₁), sodium percent (%Na), magnesium hazards and chloride potential are less than 10%, 60%, 50% and 20% respectively. The residual sodium carbonate (RSC) (1.25 meq/l) and Kelly's ratio (1) for all the studied samples. Indicate that they meet acceptable quality for agricultural purposes. Wastewater studies are based on U.S. Laboratory's Salinity diagram, is in the range C₃S₁ in respect to ground water (C₂S₁) and shows high salinity. Wastewater studied samples on the Wilcox's diagram lies in the area of permissible waters for irrigation. The Gibb's model shows that anions and cations of all the type of waters are of lithological origin. The positive chloroalkaline index of waters indicates that base-exchange reaction occurred between Na⁺ and K⁺ of the groundwater with Ca²⁺ and Mg²⁺ of coal and coal tailings. The permeability index (PI) of all samples are permissible for irrigation.

Keywords: Hydrogeochemistry, Wastewater of coal washing factory, Agricultural usage

* Corresponding Author; Email: aghaei.moslem@yahoo.com