

## بررسی وضعیت آلودگی پساب ناشی از فرآوری سنگ آهن در مناطق بیابانی (بررسی موردی: منطقه بافق)

عبدالحسین رضائی پور باغدر<sup>۱\*</sup>، حسن وقار فرد<sup>۲</sup>، حمیدرضا عظیم زاده<sup>۳</sup>، حمید غلامی<sup>۴</sup>، یحیی اسماعیل پور<sup>۲</sup>

۱. دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشگاه هرمزگان
۲. عضو هیئت علمی دانشگاه هرمزگان
۳. عضو هیئت علمی دانشگاه یزد
- \* نویسنده مسئول: [Iranbaghedar@yahoo.com](mailto:Iranbaghedar@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۴/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۸/۲۲

### چکیده

آلودگی‌های محیط زیست به‌عنوان یکی عوامل بیابان‌زایی، از مهم‌ترین چالش‌های جوامع صنعتی و در حال توسعه می‌باشد. با توجه به وجود مکان‌های معدنی متعدد مهم‌ترین علت بیابان‌زایی توسعه صنعتی (تکنوژنیک) در منطقه بافق، آلودگی ناشی از صنایع و معادن است. پژوهش حاضر با هدف تعیین آلاینده‌های پساب ناشی از فرآوری سنگ آهن در منطقه بافق انجام گردیده است. ۱۶ نمونه طی سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۹۲ از پساب مذکور تهیه و ۱۸ متغیر در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. پس از انجام آزمون‌های مربوط به نرمال بودن داده‌ها و واریانس یکطرفه، شاخص‌های  $PI$ ،  $IPI$  و  $MCd$  برای داده‌های گردآوری شده تعیین شد. نتایج نشان داد ۲۷/۷٪ متغیرها بدون تغییر سالانه معنی‌دار و ۷۲/۳٪ متغیرها دارای نوسانات سالانه معنی‌دار می‌باشند. نتایج به دست آمده برای شاخص  $PI$  نشان داد ۶۶/۶٪ متغیرها در طبقه آلودگی کم و ۳۳/۴٪ متغیرها در طبقه آلودگی متوسط به بالا قرار دارند. نتایج به دست آمده برای شاخص  $IPI$  و  $MCd$  نشان داد که ۱۰۰ درصد نمونه‌ها در طبقه آلودگی پایین و خیلی پایین قرار دارند. بنابراین در مجموع پارامترهای نیترات ( $NO_3$ ) و سولفات ( $SO_4$ ) در طبقات آلودگی متوسط و بالا واقع شده و به‌عنوان متغیرهای اولیه آلاینده پساب ناشی از فرآوری شناخته شدند. با توجه به اینکه بوم‌نظام‌های (اکوسیستم) بیابانی حساس و شکننده می‌باشند، پیشنهاد می‌شود ضمن تعیین ارتباط غلظت متغیرهای آلاینده پساب فرآوری با رسوبات به جا مانده از آن برای بررسی کاهش آلاینده‌ها به روشی مناسب مانند گیاه‌پالایی اقدام شود. هم‌چنین به منظور درک بهتر فرایند بیابان‌زایی از شاخص‌های آلودگی زیست‌محیطی و نیترات و سولفات برای ارزیابی شدت بیابان‌زایی در حاشیه معدن‌های سنگ آهن مرکزی و منطقه بیابانی بافق بهره‌گیری شود.

واژگان کلیدی: بیابان‌زایی، آلودگی، پساب،  $PI$ ،  $IPI$ ،  $MCd$ .

## ■ مقدمه

موضوع مورد بررسی در این پژوهش، در پیوند با مساله آلودگی‌های محیط زیست به‌عنوان یکی از شاخص‌ها و معیارهای بیابان‌زایی است. بر اساس کنوانسیون بیابان‌زایی، تخریب سرزمین در مناطق خشک، نیمه‌خشک و خشک نیمه‌مرطوب در اثر عواملی مانند عوامل انسانی و عوامل طبیعی را بیابان‌زایی گویند. به عبارت دیگر هر جا عوامل پایه محیطی شامل آب، خاک و پوشش گیاهی دچار تزلزل و تخریب گردد، آنجا بیابان‌زایی اتفاق افتاده است (کنوانسیون مقابله با بیابان‌زایی، ۱۹۹۴).

عواملی که امروزه بیشتر موجب تشدید فرایند بیابان‌زایی و تخریب سرزمین می‌گردد عوامل انسانی است که می‌تواند نتیجه افزایش جمعیت و پیشرفت فن‌آوری (تکنولوژی) و استفاده نامناسب از منابع آب و خاک باشد. آلودگی‌های محیط زیست از جمله آلودگی آب به‌عنوان یکی از معیارها و شاخص‌های بیابان‌زایی، از مهم‌ترین چالش‌های جوامع صنعتی و در حال توسعه می‌باشد. فعالیت‌های انسانی به ویژه صنعتی با استحصال و مصرف آب همراه است، به‌طوری‌که موجب تولید پساب‌ها و پسماندها می‌شود که به احتمال با آلاینده‌هایی همراه خواهد بود و این آلاینده‌ها از راه‌های گوناگون وارد محیط زیست می‌شود. اعضای موجود در محیط پیرامون منابع آلاینده پس از دریافت آنها می‌توانند بخشی از آنها را طی فرآیندهای طبیعی پالایش نمایند، لیکن در صورتی که بوم‌نظام‌ها با مقدار آلاینده‌های بیش از توان پالایش طبیعی خود روبرو شوند از نظر شرایط تعادل زیست محیطی دچار بحران گردیده و بیابان‌زایی آغاز می‌شود (عنابستانی، ۱۳۹۰).

اثرات محیط زیستی فعالیت‌های بشری، مهم‌ترین مشکلی است که امروزه به‌طور فزاینده مورد بررسی و سنجش قرار می‌گیرد. امروزه با پیشرفت تکنولوژی، گسترش معادن و صنایع متعدد و رهاسازی فاضلاب‌ها و پساب‌های ناشی از آنها در طبیعت، احتمال تخریب خاک و منابع آبی افزایش پیدا کرده است. در صورتی که آلاینده‌های مذکور کنترل نگردد، پس از ورود به منابع آب و خاک وارد چرخه زیستی موجودات زنده شده و

تأثیرات شگرفی بر بوم‌نظام منطقه خواهد گذاشت. جهت جلوگیری از ورود این آلاینده‌ها به خاک و منابع آبی منطقه می‌بایست با روشی مناسب حذف گردد که آگاهی از وضعیت آلودگی از ضروریات این امر می‌باشد. آلودگی‌های آب و پساب و نقش صنایع متعدد در ایجاد آنها توسط پژوهشگران متعددی مورد مطالعه قرار گرفته است که برای بررسی پیوند این پژوهش با سایر پژوهش‌ها به برخی از آنها اشاره می‌گردد: ایاسه و همکاران (۱۳۹۲) وضعیت آلودگی رسوب رودخانه بشار از نظر برخی فلزات کمیاب را مورد بررسی قرار داده و نتیجه‌گیری کردند که مطابق شاخص آلودگی  $PI^1$  رسوبات کف رودخانه بشار از نظر عناصر سرب، کروم، نیکل، روی و مس دارای آلودگی متوسط و از نظر عنصر کادمیوم دارای آلودگی زیاد می‌باشد. همچنین از نظر شاخص تجمعی آلودگی  $IPI^2$  ۱۰۰ درصد داده‌ها در طبقه آلودگی متوسط و از نظر شاخص درجه آلودگی  $MCD^3$  بیش از نیمی از داده‌ها در طبقه آلودگی متوسط قرار می‌گیرند.

عنابستانی و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی با عنوان نقش واحدهای صنعتی در ایجاد آلاینده‌های زیست‌محیطی در محدوده تامین آب شهر سبزوار نتیجه گرفتند که مقدار آلودگی ناشی از بار ازت واحدهای صنعتی منطقه در سال ۱۳۸۷ برابر ۲۳ تن می‌باشد که واحدهای چرم‌سازی با حدود ۴۵ درصد بیشترین نقش را داشته‌اند.

نصیری (۱۳۸۷) تبیین آلودگی آب‌های زیرزمینی ناشی از استقرار نامناسب صنایع با استفاده از  $GIS^4$  و  $RS^5$  را مطالعه کرد و نتیجه گرفت اکثر واحدهای صنعتی موجود در سطح استان زنجان بر روی سفره‌های زیرزمینی قرار گرفته است که با تولید بیش از ۸۰۴۴ متر مکعب پساب صنعتی و با توجه به ویژگی نفوذپذیری خاک و سرعت نفوذ و حرکت سیالات، حجم زیادی از این پساب‌های تولید شده بدون تصفیه وارد محیط شده و موجب ایجاد آلودگی منابع آب زیرزمینی می‌شود.

<sup>۱</sup> شاخص آلودگی (Pollution Index)

<sup>۲</sup> شاخص تجمعی آلودگی

<sup>۳</sup> شاخص درجه آلودگی

<sup>۴</sup> سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (Geographic Information Systems)

<sup>۵</sup> سنجش از دور (Remote Sensing)

بیابان‌زایی توسعه صنعتی و شهری ناشی از صنایع و معادن می‌باشد. از جمله این صنایع، کارخانه فرآوری سنگ آهن با تولید سالیانه بالغ بر ۳ میلیون تن کنسانتره آهن می‌باشد که پساب حاصل از آن به بستر انباشت باطله انتقال می‌یابد و می‌تواند موجب آلودگی منابع آب و خاک منطقه را فراهم آورد. بنابراین انجام پژوهشی مبنی بر پاسخگویی به این پرسش که ویژگی‌های پساب کارخانه فرآوری سنگ آهن بافق چیست و با چه آلاینده‌هایی همراه می‌باشد، ضروری به نظر می‌رسد. لیکن پژوهش حاضر با هدف تعیین آلاینده‌های پساب ناشی از فرآوری سنگ آهن و همچنین شناسایی منابع بالقوه آلاینده آب و خاک منطقه برای بررسی امکان رفع آن‌ها با روش گیاه‌پالایی انجام گردیده است.

### ■ مواد و روش‌ها

#### محدوده مطالعاتی

معدن چغارت در ۱۲ کیلومتری شمال شرقی شهر بافق و در ۱۲۵ کیلومتری جنوب شرقی شهر یزد در حاشیه بیابان ایران مرکزی واقع شده که بیش از ۴۰ سال از شروع بهره‌برداری آن می‌گذرد. پس از عملیات حفاری، آتشیاری و استخراج در پیت معدن، سنگ‌های ارسالی به کارخانه در سه مرحله به وسیله سنگ‌شکن‌های فکی و مخروطی، درشت‌دانه و دو مخروطی ریزدانه خرد و سپس توسط سرندها به دو بعد ذرات آگلومره (حداکثر ۱۰ میلی‌متر) و کوره بلند (۱۰ الی ۲۵ میلی‌متر) با شرایط فنی توافق شده با ذوب آهن اصفهان در انبارهای ۳۵ هزار تنی به‌طور جداگانه انباشته و آماده حمل می‌شود. به‌منظور بهره‌برداری بهینه از سنگ‌های کم‌عیار استخراج شده از معدن چغارت و نیز معدن سه چاهون، احداث کارخانه فرآوری سنگ آهن از سال ۱۳۷۲ آغاز و در سال ۱۳۸۶ به بهره‌برداری رسید. کانسنگ‌های پرعیار و پرفسفر معدن چغارت و کم‌عیار معدن سه چاهون توسط سنگ شکن فکی تا ابعاد کوچکتر از ۳۰۰ میلی‌متر خرد شده و توسط نوار نقاله به انبار ذخیره و همگن‌سازی منتقل می‌گردد. مواد پس از برداشت از محوطه همگن‌سازی توسط نوار نقاله به آسیاب‌های نیمه‌خودشکن که شامل دو خط جداگانه چغارت و سه چاهون می‌باشد، منتقل می‌شود.

*Sartaj* و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی روند انتشار و تجمع فلزات سنگین در رسوبات تالاب انزلی در ۱۵ ایستگاه، شش ماه به صورت ماهیانه گزارش دادند که در بین فلزات، روی بیشترین مقدار را در رسوبات دارد و غلظت فلزات سنگین در رسوبات نقاط داخل تالاب نسبت به ایستگاه‌های دیگر کمتر است.

*Zhang* و همکاران (۲۰۱۱) به ارزیابی آلودگی فلزات سنگین ناشی از یک کارخانه ذوب آهن در رسوبات رودخانه شهری با استفاده از روش‌های مغناطیسی و ژئوزیست شیمیایی پرداختند. نتایج نشان داد که همزیستی ذرات مغناطیس و فلزات سنگین با ارتباط معنی‌داری بین آنها، این امکان را می‌دهد که از روش‌های مغناطیسی به عنوان یک ابزار برای ارزیابی فلزات سنگین در مناطق صنعتی توسط رواناب‌های سطحی استفاده شود.

*Alhajji* و همکاران (۲۰۱۱) غلظت فلزات کمیاب را در رودخانه ارونتس بررسی کردند. نتایج نشان داد که سرب و آرسنیک در سطوح طبیعی خود می‌باشند. در مقابل غلظت بالای از فلزات دیگر مثل کروم، مس، نیکل و روی در سایت‌های دیگر یافت شد که دلیل آن فعالیت‌های صنعتی و انسانی ذکر گردید.

*Rajaram & Ashutosh* (۲۰۰۸) در بررسی خود با عنوان آلودگی آب با پساب‌های صنعتی در هند معتقدند که هند به سوی وضع مقررات سختگیرانه‌تر نسبت به پساب‌های صنعتی برای کنترل آلودگی آب حرکت می‌کند و بیشتر تلاش‌های لازم برای کاهش خطر برای سلامت عموم مردم مربوط به آلاینده‌های سمی است که عمدتاً بی‌رنگ و بی‌بو هستند و انتظار می‌رود که به اکوسیستم‌ها وارد شوند.

*Wang* و همکاران (۲۰۰۸) اعتقدند که آلودگی آب ناشی از صنایع کوچک روستایی یک مشکل جدی در سراسر چین می‌باشد، در حالی که چین دارای یکی از سخت‌ترین قوانین حفاظت از محیط‌زیست در جهان است، اما اجرای این قوانین در مناطق روستایی موثر واقع نشده است.

نتایج پژوهش‌های محققان گویای این نکته است که با گسترش استخراج و بهره‌برداری از معادن و متعاقب آن استقرار صنایع فرآوری در کنار آن‌ها، احتمال آلودگی منابع آب و خاک افزایش پیدا کرده است. شهرستان بافق در منطقه خشک و بیابانی کشور قرار دارد و با توجه به وجود مکان‌های معدنی متعدد در آن مهم‌ترین علت

برای مقایسه غلظت آن‌ها در بین سال‌های مورد مطالعه از تجزیه واریانس یک‌طرفه استفاده شد (بی‌همتا و همکاران، ۱۳۸۷).

سپس با استفاده از شاخص آلودگی ( $PI$ ) مقدار آلودگی متغیرهای اندازه‌گیری شده، برآورد شد. از شاخص آلودگی ( $Pollution Index$ ) برای برآورد مقدار آلودگی در یک محیط ویژه بهره‌گیری می‌شود. این شاخص برای نمونه‌های آب گرفته شده در قالب نسبت غلظت عنصر مورد نظر ( $C_i$ ) در نمونه‌های آب به مقدار زمینه همان عنصر در منطقه ( $B_i$ ) مورد استفاده قرار می‌گیرد (رابطه ۱).

$$PI = \frac{C_i}{B_i} \quad (1)$$

بر اساس شاخص آلودگی، سه دسته آلودگی کم ( $PI \leq 1$ )، متوسط ( $1 < PI \leq 3$ )، و زیاد ( $PI \geq 3$ ) معرفی شده است. طبقه‌بندی فاکتور آلودگی  $PI$  در جدول ۱ آورده شده است (ایاسه و همکاران، ۱۳۹۲). در این پژوهش برای محاسبه شاخص آلودگی به جای مقدار زمینه از استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست استفاده گردید که مقادیر آن در جدول ۲ آورده شده است (شاعری و همکاران، ۱۳۹۱).

در ادامه برای تعیین تغییر آلودگی از دو شاخص  $IPI$  و  $MCd$  استفاده شد. سطح آلودگی با استفاده از رابطه ۲ که شاخص بار آلودگی است و توسط تاملینسون (۱۹۸۰) ارائه شده است، محاسبه شد. در این رابطه  $PI_i$  تا  $PI_n$  فاکتورهای آلودگی محاسبه شده برای اولین نمونه تا  $n$ امین نمونه اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.

$$IPI = \left( \prod_{i=1}^n PI_i \right)^{1/n} \quad (2)$$

هاکانسون (۱۹۸۰) شاخص دیگری با نام درجه آلودگی را ارائه کرد که در سال ۲۰۰۵ آبراهم آن را به شکل رابطه ۳ توسعه داد.

$$Mcd = \sum_{i=1}^n \frac{PI_i}{n} \quad (3)$$

طبقه‌بندی شاخص‌های  $IPI$  و  $MCd$  در جدول‌های ۳ و ۴ آمده است (ایاسه و همکاران، ۱۳۹۲).

مواد خروجی از مدار آسیاب با ابعاد کوچکتر از یک میلی‌متر برای پرعیارسازی به دستگاه‌های جدایش مغناطیسی هدایت می‌گردد. کنسانتره آهن تولیدی پس از آبیگری توسط فیلتر نواری به انبار کنسانتره انتقال می‌یابد. مواد باطله پس از طی فرایند همرفتی در تیکنر و استحصال بخشی از آب بازیافتی، از طریق ۴ دریچه در زیر تیکنر تخلیه و پس از طی مسافتی حدود ۵ کیلومتر که ۲ کیلومتر آن لوله‌گذاری شده است وارد سدهای باطله (لاگون) می‌شود. پساب ناشی از فرآوری سنگ آهن در بافق مخلوطی از باطله‌های معدنی و آب به حالت دوغاب می‌باشد که در اثر نیروی ثقل و به وسیله لوله به پائین دست کارخانه مذکور خارج از سایت فرآوری هدایت و در آنجا تجمع می‌یابد. به احتمال پساب مذکور با آلاینده‌هایی همراه است که علی‌رغم در نظر گرفتن اقدام‌های پیشگیرانه آغازی موجب آلودگی خاک و به دنبال آن منابع آب زیرزمینی می‌شود.

#### روش پژوهش

برای تعیین آلاینده‌های پساب ناشی از کارخانه فرآوری و بررسی مقدار و نحوه تغییر آلاینده‌ها، نمونه برداری از خروجی پساب از خردادماه سال ۱۳۸۹ تا اسفندماه سال ۱۳۹۲ به مدت ۴ سال انجام شد. نمونه‌ها با استفاده از بطری روتنر به مقدار ۰/۵ لیتر و در مجموع ۱۶ نمونه (حتی الامکان هر فصل یک نمونه) از پساب مورد نظر تهیه گردید. پس از اتیکت‌گذاری، نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و غلظت فلزات کمیاب شامل نقره ( $Ag$ )، آلومینیوم ( $Al$ )، آرسنیک ( $As$ )، بریلیوم ( $Be$ )، کادمیوم ( $Cd$ )، کبالت ( $Co$ )، کروم ( $Cr$ )، مس ( $Cu$ )، آهن ( $Fe$ )، منگنز ( $Mn$ )، مولیبدن ( $Mo$ )، سرب ( $Pb$ )، سلنیوم ( $Se$ ) و وانادیوم ( $V$ ) به روش جذب اتمی و همچنین غلظت متغیرهای نیتريت ( $NO_2$ )، نیترات ( $NO_3$ )، سولفات ( $SO_4$ ) و فسفات بر حسب فسفر ( $PO_4$ ) به روش اسپکتروفتومتری تعیین شد. داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزار  $Excel$  گروه‌بندی و آماده‌سازی شد و در گام بعد تابعیت داده‌ها از توزیع نرمال با استفاده از نرم افزار  $SPSS$  و آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. پس از حصول اطمینان از نرمال بودن داده‌های متغیرهای مورد مطالعه،

جدول ۱. تقسیم بندی کیفی فاکتور آلودگی  $PI$ 

مقادیر $PI$	تقسیم بندی فاکتور آلودگی
$PI \leq 1$	آلودگی کم
$1 < PI \leq 3$	آلودگی متوسط
$PI \geq 3$	آلودگی زیاد

جدول ۲. مقادیر عناصر مورد بررسی بر اساس استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست

$V$	$So_4$	$Se$	$Pb$	$Po_4$	$No_3$	$No_2$	$Mo$	$Mn$	$Fe$	$Cu$	$Cr$	$Co$	$Cd$	$Be$	$As$	$Al$	$Ag$	حد مجاز برای تخلیه به آبهای زیرزمینی (ppm)
۰/۱	۴۰۰	۰/۱	۱	۶	۱۰	۱۰	۰/۱	۱	۲	۱	۱	۱	۰/۱	۱	۰/۱	۵	۰/۱	

جدول ۳. تقسیم بندی کیفی شاخص تجمعی  $IPI$ 

مقادیر $IPI$	تقسیم بندی کیفی شاخص تجمعی آلودگی
$IPI \leq 1$	آلودگی کم
$1 < IPI \leq 2$	آلودگی متوسط
$IPI \geq 2$	آلودگی زیاد

جدول ۴. تقسیم بندی کیفی شاخص درجه آلودگی اصلاح شده  $MCd$ 

مقدار $MCd$	تقسیم بندی کیفی شاخص درجه آلودگی اصلاح شده
$MCd \leq 1/5$	درجه خیلی پایین
$1/5 \leq MCd < 2$	درجه پایین
$2 \leq MCd < 4$	درجه متوسط
$4 \leq MCd < 8$	درجه بالا
$8 \leq MCd < 16$	درجه خیلی بالا
$16 \leq MCd < 32$	درجه شدید
$MCd \geq 32$	درجه خیلی شدید

## نتایج

تجزیه واریانس یک طرفه نشان می دهد که آزمون  $F$  برای متغیرهای نقره، آرسنیک، کبالت، کروم، مس و منگنز در سطح ۰/۰۵ و متغیرهای آلومینیوم، بریلیوم، سلنیوم و سولفات در سطح ۰/۰۱ معنی دار می باشد. در نتیجه فرض  $H_0$  که بیان کننده این است که میانگین تمامی صفات با هم مساوی هستند به دلیل اینکه حداقل بین یک صفت از میانگین ها اختلاف وجود دارد رد می شود و سال های اندازه گیری حداقل در یک صفت میانگین متغیرها با یکدیگر اختلاف دارند.

بررسی نرمال بودن داده ها با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف برای کلیه متغیرهای مورد مطالعه نشان داد که تمامی متغیرها در سطح اطمینان ۰/۰۵ نرمال می باشد. پس از حصول اطمینان از نرمال بودن داده ها، برای مقایسه میانگین متغیرهای اندازه گیری شده در سال های ۸۹-۹۲ در پساب کارخانه فرآوری سنگ آهن در بافق از تجزیه واریانس یک طرفه استفاده گردید که نتایج آن در جدول ۵ آمده است. نتایج حاصل از

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس میانگین متغیرهای اندازه‌گیری شده در پساب فرآوری طی سال‌های ۹۲-۸۹

متغیر	منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	Sig.
Ag	بین گروه‌ها	۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۴/۰۰۶	* ۰/۰۳۴
	درون گروه‌ها	۱۲	۰/۰۰۳	۰/۰		
	مجموع	۱۵	۰/۰۰۶			
Al	بین گروه‌ها	۳	۰/۲۳۶	۰/۰۷۹	۸/۱۳۲	** ۰/۰۰۳
	درون گروه‌ها	۱۲	۰/۱۱۶	۰/۰۱۰		
	مجموع	۱۵	۰/۳۵۲			
As	بین گروه‌ها	۳	۰/۴۹۲	۰/۱۶۴	۴/۱۳۶	* ۰/۰۳۱
	درون گروه‌ها	۱۲	۰/۴۷۶	۰/۰۴۰		
	مجموع	۱۵	۰/۹۶۸			
Be	بین گروه‌ها	۳	۰/۰	۰/۰	۹/۶۰۷	** ۰/۰۰۲
	درون گروه‌ها	۱۲	۰/۰	۰/۰		
	مجموع	۱۵	۰/۰			
Cd	بین گروه‌ها	۳	۰/۰	۰/۰	۱/۰۹۵	۰/۳۸۹
	درون گروه‌ها	۱۲	۰/۰۰۲	۰/۰		
	مجموع	۱۵	۰/۰۰۲			
Co	بین گروه‌ها	۳	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳	۴/۵۹۷	* ۰/۰۲۳
	درون گروه‌ها	۱۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱		
	مجموع	۱۵	۰/۰۱۶			
Cr	بین گروه‌ها	۳	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳	۵/۸۰۹	* ۰/۰۱۱
	درون گروه‌ها	۱۲	۰/۰۰۵	۰/۰		
	مجموع	۱۵	۰/۰۱۳			
Cu	بین گروه‌ها	۳	۰/۰۵۵	۰/۰۱۸	۵/۱۷۸	* ۰/۰۱۶
	درون گروه‌ها	۱۲	۰/۰۴۲	۰/۰۰۴		
	مجموع	۱۵	۰/۰۹۷			
Fe	بین گروه‌ها	۳	۱/۷۷۳	۰/۵۹۱	۱/۶۹۱	۰/۲۲۲
	درون گروه‌ها	۱۲	۴/۱۹۴	۰/۳۴۹		
	مجموع	۱۵	۵/۹۶۷			
Mn	بین گروه‌ها	۳	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳	۴/۲۸۸	* ۰/۰۲۸
	درون گروه‌ها	۱۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱		
	مجموع	۱۵	۰/۰۱۵			
Mo	بین گروه‌ها	۳	۰/۰۱۱	۰/۰۰۴	۳/۳۵۸	۰/۰۵۵
	درون گروه‌ها	۱۲	۰/۰۱۳	۰/۰۰۱		
	مجموع	۱۵	۰/۰۲۴			
No2	بین گروه‌ها	۳	۷۴/۷۷۷	۲۴/۹۲۶	۱/۱۶۵	۰/۳۶۴
	درون گروه‌ها	۱۲	۲۵۶/۸۵۱	۲۱/۴۰۴		
	مجموع	۱۵	۳۳۱/۶۲۸			
No3	بین گروه‌ها	۳	۱۴۵۳۳/۳۲۹	۴۸۴۴/۴۴۳	۲/۷۳۱	۰/۰۹۰
	درون گروه‌ها	۱۲	۲۱۲۸۳/۵۱۱	۱۷۷۳/۶۲۶		
	مجموع	۱۵	۳۵۸۱۶/۸۴۰			
Po4	بین گروه‌ها	۳	۳/۶۳۹	۱/۲۱۳	۲/۰۲۱	۰/۱۶۵
	درون گروه‌ها	۱۲	۷/۲۰۳	۰/۶۰		
	مجموع	۱۵	۱۰/۸۴۲			
Pb	بین گروه‌ها	۳	۰/۰۲۵	۰/۰۰۸	۱/۱۰۵	۰/۳۸۵
	درون گروه‌ها	۱۲	۰/۰۸۹	۰/۰۰۷		
	مجموع	۱۵	۰/۱۱۴			
Se	بین گروه‌ها	۳	۰/۷۸۰	۰/۲۶۰	۵/۹۱۶	** ۰/۰۱۰
	درون گروه‌ها	۱۲	۰/۵۲۸	۰/۰۴۴		
	مجموع	۱۵	۱/۳۰۸			
So4	بین گروه‌ها	۳	۱۶۳۰۱۴۲/۱۴۹	۵۴۳۳۸۰/۷۱۶	۸/۲۳۸	** ۰/۰۰۳
	درون گروه‌ها	۱۲	۷۹۱۴۹۲/۱۲۸	۶۵۹۵۷/۶۷۷		
	مجموع	۱۵	۲۴۲۱۶۳۴/۲۷۶			
V	بین گروه‌ها	۳	۰/۰۰۱	۰/۰	۲/۴۲۰	۰/۱۱۷
	درون گروه‌ها	۱۲	۰/۰۰۱	۰/۰		
	مجموع	۱۵	۰/۰۰۲			

\* وجود اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۵، \*\* وجود اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۱

سال ۸۹ برابر ۰/۰۳۴ می‌باشد. از لحاظ متغیر آلومینیوم سال ۸۹ به تنهایی در یک گروه، سال‌های ۹۰ و ۹۲ در گروه دیگر و نیز سال‌های ۹۱ و ۹۲ در یک گروه قرار می‌گیرند. بیشترین میانگین برای آلومینیوم ۰/۳۴ مربوط به سال ۹۰ می‌باشد. در مورد آرسنیک سال‌های ۸۹، ۹۰ و ۹۱ در یک گروه و سال‌های ۸۹، ۹۰ و ۹۲ در گروه دیگر قرار می‌گیرند. برای متغیر برلیوم بین سال‌های ۸۹ و ۹۰ با سال‌های ۹۱ و ۹۲ اختلاف معنی‌دار وجود دارد. بیشترین مقدار میانگین برلیوم ۰/۰۰۸ مربوط به سال ۸۹ می‌باشد. از لحاظ کبالت سال‌های ۸۹، ۹۰ و ۹۲ در یک گروه و سال‌های ۹۱ و ۹۲ در گروه دیگر قرار می‌گیرند. در مورد کروم سال‌های ۸۹ و ۹۱ در یک گروه، سال‌های ۹۱ و ۹۲ در گروه دیگر و نیز سال‌های ۹۰ و ۹۲ در یک گروه جداگانه قرار می‌گیرند.

در مرحله بعد برای جدا کردن گروه‌های مختلف و بررسی اینکه کدام یک از سال‌ها مشابه بوده و یا به عبارتی دیگر اینکه چه صفاتی در سال‌های اندازه‌گیری مشترک یا متفاوت می‌باشد از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد که نتایج آن در جدول ۶ آمده است. مطابق این نتایج در چهار سال اندازه‌گیری متغیرهای کادمیوم، آهن، نیتريت، فسفات بر حسب فسفر و سرب در یک گروه قرار گرفته و میانگین آن‌ها با همدیگر تفاوتی ندارد. لیکن همانگونه که جدول ۶ نشان می‌دهد برای متغیر نقره بین سال‌های ۹۰، ۹۱ و ۹۲ با سال ۸۹ اختلاف معنی‌دار وجود دارد. به عبارت دیگر گروه‌بندی انجام شده نشان می‌دهد از لحاظ نقره سال‌های ۹۰، ۹۱ و ۹۲ در یک گروه و سال ۸۹ به تنهایی در گروه دیگر قرار می‌گیرد. برای متغیر نقره بیشترین میانگین مربوط به

جدول ۶. دسته‌بندی میانگین متغیرهای اندازه‌گیری شده در پساب فرآوری طی سال‌های ۹۲-۸۹ بر اساس آزمون دانکن

سال اندازه‌گیری				متغیر اندازه‌گیری شده
۹۲	۹۱	۹۰	۸۹	(ppm)
۰/۰۵۶ b	۰/۰۲۱ a	۰/۰۲۷ a	۰/۰۳۴ ab	Ag
۰/۲۰۷ bc	۰/۱۳ ab	۰/۳۴ c	۰/۰۰۵ a	Al
۰/۵۹ b	۰/۱۰۱ a	۰/۳۲ ab	۰/۳۲ ab	As
۰/۰۰۲۲ b	۰/۰۰۲۳ b	۰/۰۰۷ a	۰/۰۰۸ a	Be
۰/۰۱۹ a	۰/۰۲۸ a	۰/۰۳۲ a	۰/۰۳۲ a	Cd
۰/۰۴۳ ab	۰/۰۲۴ a	۰/۰۷۲ b	۰/۰۸۱ b	Co
۰/۰۴۷ bc	۰/۰۱۸ ab	۰/۰۶۱ c	۰/۰۰۵ a	Cr
۰/۱۵۷ b	۰/۰۳۰ a	۰/۰۴۱ a	۰/۰۰۵ a	Cu
۰/۴۰۱ a	۰/۲۸۶ a	۱/۱۱۷ a	۰/۸۲۵ a	Fe
۰/۰۶۶ b	۰/۰۳۵ ab	۰/۰۳۴ ab	۰/۰۰۴ a	Mn
۰/۰۶۳ b	۰/۰۳۵ ab	۰/۰۷۳ b	۰/۰۰۵ a	Mo
۱/۷۲ a	۶/۶۱ a	۷/۲۵ a	۵/۹۴ a	No2
۴/۶۳ a	۱/۲۴ b	۸/۷۶ ab	۵/۷۶ ab	No3
۰/۲۱۵ a	۰/۱۵۴ a	۰/۸۵۱ a	۱/۱۳ a	Po4
۰/۱۹ a	۰/۱۵ a	۰/۱ a	۰/۱ a	Pb
۰/۵۷ b	۰/۴ b	۰/۹۱ a	۰/۹۱ a	Se
۲/۹۵ a	۹/۵۳ b	۸/۲۴ b	۲/۲۲ a	So4
۰/۰۴۰ b	۰/۰۲۳ a	۰/۰۳۴ ab	۰/۰۳۴ ab	V

حروف متفاوت بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار و حروف یکسان بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.

مگنیز سال‌های ۸۹، ۹۰ و ۹۱ در یک گروه و سال‌های ۹۰، ۹۱ و ۹۲ در گروه دیگر قرار می‌گیرند. در مورد متغیر مولیبدن سال‌های ۸۹ و ۹۱ در یک گروه و سال‌های ۹۰ و

برای متغیر مس بین سال‌های ۸۹، ۹۰ و ۹۱ با سال ۹۲ اختلاف معنی‌دار وجود داشته و بیشترین مقدار میانگین مربوط به سال ۹۲ و برابر ۰/۱۵۷ می‌باشد. از نظر

۸۹، ۹۰ و ۹۱ در یک دسته‌بندی و سال‌های ۸۹، ۹۰ و ۹۲ در دسته‌بندی دیگری قرار می‌گیرند. سپس با استفاده از شاخص آلودگی (*PI*) و بر پایه استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست مقدار آلودگی متغیرهای اندازه‌گیری شده در پساب کارخانه فرآوری سنگ آهن در منطقه بیابانی بافق برآورد شد که نتایج آن در جدول ۷ آمده است.

۹۲ در گروه‌بندی جداگانه قرار می‌گیرند. از لحاظ نیترات سال‌های ۸۹، ۹۰ و ۹۲ در یک گروه و سال‌های ۸۹، ۹۰ و ۹۱ در گروه دیگر قرار دارند. در مورد متغیر سولفات بین سال‌های ۸۹ و ۹۰ با سال‌های ۹۱ و ۹۲ اختلاف معنی‌دار وجود دارد. بیشترین مقدار میانگین سولفات ۰/۹۱ مربوط به سال‌های ۸۹ و ۹۰ می‌باشد. از لحاظ سولفات سال‌های ۸۹ و ۹۲ در یک گروه و سال‌های ۹۱ و ۹۲ در گروه جداگانه‌ای قرار می‌گیرند. برای پارامتر وانادیوم سال‌های

جدول ۷. مقادیر شاخص *PI* برای نمونه‌های پساب فرآوری سنگ آهن

<i>Fe</i>	<i>Cu</i>	<i>Cr</i>	<i>Co</i>	<i>Cd</i>	<i>Be</i>	<i>As</i>	<i>Al</i>	<i>Ag</i>	نوبت اندازه گیری
۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۸۱	۰/۳۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۰۲	۰/۳۴	خرداد ۸۹
۰/۶۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۸۱	۰/۳۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۰۲	۰/۳۴	شهریور ۸۹
۰/۵۵	۰/۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۸۱	۰/۳۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۲	۰/۳۴	آذر ۸۹
۰/۴۵	۰/۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۸۱	۰/۳۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۲	۰/۳۴	اسفند ۸۹
۰/۶۷	۰/۰۴۱	۰/۰۵	۰/۰۸۱	۰/۳۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳۲	۰/۰۶۸	۰/۳۴	خرداد ۹۰
۰/۰۳	۰/۰۴۱	۰/۰۵	۰/۰۸۱	۰/۳۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳۲	۰/۰۶۸	۰/۳۴	شهریور ۹۰
۰/۳۳۵	۰/۰۴۱	۰/۰۵	۰/۰۴۷۸	۰/۳۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳۲	۰/۰۶۸	۰/۰۷	آذر ۹۰
۱/۲	۰/۰۴۱	۰/۰۹۷	۰/۰۸۱	۰/۳۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳۲	۰/۰۶۸	۰/۳۴	اسفند ۹۰
۰/۱۰۳	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۲۸	۰/۱۷	خرداد ۹۱
۰/۱۴	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۵	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۱۷	شهریور ۹۱
۰/۰۳	۰/۰۴۱	۰/۰۵	۰/۰۸۱	۰/۳۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳۲	۰/۰۶۸	۰/۳۴	آذر ۹۱
۰/۳	۰/۰۸	۰/۰۱۵	۰/۰۰۵	۰/۳	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۱۷	اسفند ۹۱
۰/۱۱۵	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۱۷	خرداد ۹۲
۰/۲۲۷	۰/۱۵	۰/۰۶۱	۰/۰۶	۰/۲۵	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۷۶	۰/۰۵۶	۰/۷	شهریور ۹۲
۰/۲۳۰	۰/۲۴	۰/۰۶۱	۰/۰۵	۰/۲۵	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۸۲	۰/۰۵	۰/۶۹	آذر ۹۲
۰/۲۳۰	۰/۲۴	۰/۰۶۱	۰/۰۶	۰/۲۵	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۷۶	۰/۰۵۶	۰/۷	اسفند ۹۲
<i>V</i>	<i>So4</i>	<i>Se</i>	<i>Pb</i>	<i>Po4</i>	<i>No3</i>	<i>No2</i>	<i>Mo</i>	<i>Mn</i>	نوبت اندازه گیری
۰/۳۴	۰/۹۵	۰/۰۰۹۱	۰/۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۸۴	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۰۱۱	خرداد ۸۹
۰/۳۴	۰/۴۷۵	۰/۰۰۹۱	۰/۱	۰/۴۵	۰/۰۹۲	۰/۱۲	۰/۰۱	۰/۰۰۵	شهریور ۸۹
۰/۳۴	۰/۴	۰/۰۰۹۱	۰/۱	۰/۱۳۲	۱۱/۱۷۶	۱/۱۲	۰/۱	۰/۰۰۱	آذر ۸۹
۰/۳۴	۰/۴	۰/۰۰۹۱	۰/۱	۰/۲۹۱۵	۱۱/۷۰۴	۱/۰۵۶	۰/۱	۰/۰۰۱	اسفند ۸۹
۰/۳۴	۳/۲۳۳۷	۰/۰۰۹۱	۰/۱	۰/۳۸۵	۷/۲۴۱	۰/۶۰۱	۰/۹۵	۰/۰۲۹	خرداد ۹۰
۰/۳۴	۲/۰۵۴۲	۰/۰۰۹۱	۰/۱	۰/۰۷۹۷	۱۴/۸	۱/۴۴۴	۰/۹۸	۰/۰۵۱۸	شهریور ۹۰
۰/۳۴	۲/۱۴۴۵	۰/۰۰۹۱	۰/۱	۰/۰۸۷۷	۸/۲۹	۱/۴۰۵	۰/۱۲	۰/۰۲۹	آذر ۹۰
۰/۳۴	۰/۸۱۲۸	۰/۰۰۹۱	۰/۱	۰/۰۱۵	۴/۷۳	۰/۴۵	۰/۸۹	۰/۰۲۹	اسفند ۹۰
۰/۲	۲/۹۱۵۸	۰/۰۰۲۳	۰/۱۴	۰/۰۰۵	۱۱/۷۱	۰/۴۵	۰/۱۵	۰/۰۸۷	خرداد ۹۱
۰/۲	۳/۰۷۶۵	۰/۰۰۲۳	۰/۲۴	۰/۰۰۵	۱۴/۶۹	۰/۴۹	۰/۱۵	۰/۰۰۱	شهریور ۹۱
۰/۳۴	۲/۰۵۴۲	۰/۰۰۹۱	۰/۱	۰/۰۷۹۷	۱۴/۸	۱/۴۴۴	۰/۹۷	۰/۰۵۱۸	آذر ۹۱
۰/۲	۱/۴۸۶۸	۰/۰۰۲۳	۰/۱۴	۰/۰۱۳۲	۸/۳۴۳	۰/۲۶	۰/۱۵	۰/۰۰۱	اسفند ۹۱
۰/۲	۰/۹۰۶۶	۰/۰۰۲۳	۰/۱۴	۰/۰۴۱۷	۴/۹۵۲	۰/۰۱۹	۰/۱۵	۰/۰۹	خرداد ۹۲
۰/۵۶	۰/۹۰۸۴	۰/۰۰۷۵	۰/۱۷	۰/۰۳۵۵	۴/۵۱	۰/۲۲۶	۰/۷۹	۰/۰۸	شهریور ۹۲
۰/۳۴	۰/۶۳۴۳	۰/۰۰۵۵	۰/۰۴	۰/۰۳۶۷	۴/۶۸۴	۰/۲۳۱	۰/۸	۰/۰۴۸	آذر ۹۲
۰/۵۲	۰/۵۰۹۸	۰/۰۰۷۵	۰/۴۲	۰/۰۳	۴/۳۸۴	۰/۲۱۳	۰/۷۹	۰/۰۴۸	اسفند ۹۲



درصد در طبقه آلودگی کم و ۸۷/۵ درصد داده‌ها در طبقه آلودگی زیاد واقع می‌گردند. در نهایت برای متغیر سولفات ( $SO_4$ ) ۵۶/۲۵ درصد داده‌ها در طبقه آلودگی کم، ۳۱/۲۵ درصد در طبقه متوسط و ۱۲/۵ درصد داده‌ها در طبقه آلودگی زیاد واقع می‌گردند.

در مرحله بعد برای تعیین تغییر آلودگی و تکمیل روند شناسایی متغیرهای آلاینده پساب کارخانه فرآوری سنگ آهن در منطقه بیابانی بافق از شاخص‌های *IPI* و *MCd* بر اساس استانداردهای سازمان حفاظت محیط‌زیست استفاده گردید که نتایج آن در جدول ۸ آمده است.

مطابق جدول ۷ مقدار فاکتور آلودگی (*PI*) برای متغیرهای نقره (*Ag*)، آرسنیک (*As*)، آلومینیوم (*Al*)، بریلیوم (*Be*)، کادمیوم (*Cd*)، کبالت (*Co*)، کروم (*Cr*)، مس (*Cu*)، منگنز (*Mn*)، مولیبدن (*Mo*)، فسفات بر حسب فسفر ( $PO_4$ )، سرب (*Pb*)، سلنیوم (*Se*) و وانادیوم (*V*) نشان می‌دهد که ۱۰۰ درصد نمونه‌ها در طبقه آلودگی کم قرار دارند. در مورد آهن (*Fe*) ۹۳/۷۵ درصد داده‌ها در طبقه آلودگی کم و ۶/۲۵ درصد در طبقه آلودگی متوسط قرار دارند. در مورد متغیر نیتريت ( $NO_2$ ) ۶۸/۷۵ درصد داده‌ها در طبقه آلودگی کم و ۳۱/۲۵ درصد در طبقه آلودگی متوسط قرار می‌گیرند. برای متغیر نیترات ( $NO_3$ ) ۱۲/۵

جدول ۸. مقادیر شاخص‌های *IPI* و *MCd* برای نمونه‌های پساب فرآوری سنگ آهن

<i>MCd</i>	<i>IPI</i>	نوبت اندازه گیری
۰/۱۲۹	۰/۰۱۴	خرداد ۸۹
۰/۱۶۷	۰/۰۳۱	شهریور ۸۹
۰/۸۱۶	۰/۰۶۵	آذر ۸۹
۰/۸۴۵	۰/۰۶۷	اسفند ۸۹
۰/۸۰۳	۰/۱۴۴	خرداد ۹۰
۱/۱۵۵	۰/۱۲۴	شهریور ۹۰
۰/۶۹۲	۰/۰۹۹	آذر ۹۰
۰/۵۲۹	۰/۱۱۶	اسفند ۹۰
۰/۸۸۸	۰/۰۲۵	خرداد ۹۱
۱/۰۹۸	۰/۰۳۰	شهریور ۹۱
۱/۱۵۴	۰/۱۲۴	آذر ۹۱
۰/۶۳۷	۰/۰۳۸	اسفند ۹۱
۰/۳۷۸	۰/۰۲۵	خرداد ۹۲
۰/۴۸۹	۰/۱۲۳	شهریور ۹۲
۰/۴۶۶	۰/۱۰۳	آذر ۹۲
۰/۴۷۳	۰/۱۲۲	اسفند ۹۲

#### ■ بحث و نتیجه گیری

مطابق نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، طی چهار سال اندازه‌گیری در پساب کارخانه فرآوری سنگ آهن در منطقه بیابانی بافق (۱۳۹۲-۱۳۸۹) متغیرهای کادمیوم، آهن، نیتريت، فسفات بر حسب فسفر و سرب در یک گروه قرار گرفته و میانگین آن‌ها با همدیگر تفاوتی ندارد.

مطابق جدول ۸ مقادیر شاخص تجمعی *IPI* نشان می‌دهد که ۱۰۰ درصد نمونه‌ها در طبقه آلودگی پایین قرار دارند. همچنین نتایج مندرج در جدول ۸ بیان می‌کند که از نظر شاخص *MCd* نیز ۱۰۰ درصد نمونه‌ها درجه خیلی پایین آلودگی را از خود نشان می‌دهند.

مدت این آب‌ها به بروز سرطان می‌انجامد (گیتی، ۱۳۹۰). منشأ سولفات می‌تواند ماهیت سنگ خوراک کارخانه فرآوری باشد که از اعماق زمین استخراج می‌گردد. بخشی از سنگ آهن استخراج شده گوگردی است و از طرفی انواع فلزات سنگین نیز به شکل‌های مختلف می‌تواند همراه سنگ استخراجی وارد سیکل فرآوری گردد. منشأ نیترات موجود در پساب فرآوری مواد منفجره مصرفی در فرآیند استخراج سنگ از معدن است این مواد شامل نیترات آمونیوم به اضافه گازوئیل است که با نام‌های امولایت و آمو شناخته می‌شود.

با عنایت به اینکه بوم‌نظام‌های بیابانی حساس و شکننده بوده و در مقابل کوچک‌ترین تغییرات محیطی واکنش نشان می‌دهند، در صورتی که آلاینده‌های پساب فرآوری سنگ آهن در منطقه بیابانی بافق کنترل نشده و به دنبال آن روند بیابان‌زایی تکنوژنیک مهار نگردد، پس از ورود به منابع آب و خاک، وارد چرخه زیستی موجودات زنده شده و علاوه بر بروز مشکلات زیست محیطی متعدد، تاثیرات شگرفی بر بوم‌نظام منطقه خواهد گذاشت.

در مجموع نتایج این پژوهش حاکی از این است که روند بیابان‌زایی در منطقه بافق تشدید شده است. لذا برای کنترل بیابان‌زایی حاصل از توسعه شهری و صنعتی و جلوگیری از ورود آلاینده‌ها به خاک و منابع آبی منطقه، می‌بایست با روشی مناسب حذف گردد. یافته‌های این پژوهش ضمن شناسایی منابع بالقوه آلاینده آب و خاک منطقه، راهگشای پژوهش‌های آینده برای بررسی امکان رفع آن‌ها با روش گیاه‌پالایی می‌باشد. لیکن پیشنهاد می‌گردد تغییر غلظت متغیرهای نیترات و سولفات در رسوبات برجای مانده از ته‌نشینی پساب (که تحت عنوان پسماند تلقی می‌گردد) بررسی و ارتباط غلظت این آلاینده‌ها بین پساب و رسوبات به جا مانده بررسی شود.

علاوه بر این پیشنهاد می‌گردد شدت بیابان‌زایی در حاشیه سنگ آهن مرکزی و منطقه بیابانی بافق با استفاده از مدل‌های مرسوم و با در نظر گرفتن معیار آلودگی زیست‌محیطی و شاخص‌های نیترات و سولفات تعیین شود.

در مورد سایر متغیرها بین سال‌های اندازه‌گیری اختلاف معنی‌دار وجود دارد به نحوی که متغیرهای آلومینیوم، کروم و مولیبدن نوسانات سالیانه بالایی داشته و متغیرهای نقره، آرسنیک، بریلیوم، کبالت، مس، منگنز، نیترات، سلنیوم، سولفات و وانادیوم نیز طی سال‌های اندازه‌گیری دچار نوسان شده و در گروه‌بندی متفاوت قرار می‌گیرند.

همچنین نتایج این پژوهش در تعیین مقدار فاکتور آلودگی ( $PI$ ) برای متغیرهای نقره، آرسنیک، آلومینیوم، بریلیوم، کادمیوم، کبالت، کروم، مس، منگنز، مولیبدن، فسفات بر حسب فسفر، سرب، سلنیوم و وانادیوم نشان می‌دهد که ۱۰۰ درصد نمونه‌ها در طبقه آلودگی کم قرار دارند. در مورد متغیرهای آهن، نیتريت، نیترات و سولفات تعدادی از نمونه‌ها در طبقات متوسط و بالای آلودگی قرار گرفته و برآوردی از آلاینده‌گی عناصر مزبور را در پساب کارخانه فرآوری به دست می‌دهند. سایر پژوهشگران نظیر ایاسه و همکاران (۱۳۹۲) و الحاجی و همکاران (۲۰۱۱) به نتایج مشابهی دست یافتند.

یافته‌های این پژوهش در گام نهایی روشن می‌سازد که مطابق شاخص تجمعی  $IPI$  ۱۰۰ درصد داده‌ها در طبقه آلودگی پایین قرار گرفته و مطابق شاخص درجه آلودگی  $MCd$  نیز ۱۰۰ درصد نمونه‌ها درجات خیلی پایینی از آلودگی را دارا می‌باشند.

بنابراین در مجموع متغیرهای نیترات ( $NO_3$ ) و سولفات ( $SO_4$ ) به‌عنوان آلاینده‌های پساب کارخانه فرآوری سنگ آهن در منطقه بیابانی بافق شناخته می‌شوند. پژوهشگرانی نظیر ایاسه و همکاران (۱۳۹۲)، الحاجی و همکاران (۲۰۱۱)، سرتاج و همکاران (۲۰۱۲) و ژانگ و همکاران (۲۰۱۱) به نتایج مشابهی در این خصوص دست یافته و برخی از متغیرها را به‌عنوان متغیرهای آلاینده تلقی نمودند.

نیترات و سولفات در فهرست آلاینده‌های پساب کارخانه فرآوری سنگ آهن بافق قرار دارند. در بین آلاینده‌های مختلف آب، ظاهراً هیچ کدام مانند نیتروژن بی‌خطر نیستند. با این همه مصرف آب‌های آلوده به نیترات زیاد، نه تنها سلامت کودکان را به مخاطره می‌اندازد، بلکه مستند به پژوهش‌های متعدد، مصرف دراز

## ■ منابع

۱. ایاسه، ک. عظیمزاده، ح. ستوده. ا. و پورشیرزاد، ع. (۱۳۹۲). بررسی وضعیت آلودگی رسوب رودخانه بشار از نظر برخی فلزات کمیاب، پایان نامه، کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد.
۲. بی‌همتا، م و زارع‌چاهوکی، م. (۱۳۸۷). اصول آمار در علوم منابع طبیعی. انتشارات دانشگاه تهران، ۳۰۰ ص.
۳. شاعری، ع و رحمتی، ع. (۱۳۹۱). قوانین، مقررات، ضوابط و استانداردهای محیط زیست انسانی. انتشارات حک تهران، ۳۴۰ ص.
۴. عنابستانی، ع و قربانی، م. (۱۳۹۰). نقش واحدهای صنعتی در ایجاد آلاینده‌های زیست محیطی. *مجله آمایش سرزمین*، سال سوم، شماره ۴: ۲۳-۴۳.
۵. کنوانسیون مقابله با بیابانزایی. (۱۹۹۴).
۶. گیتی، ع. (۱۳۹۰). بیابان بیابان‌زایی و بیابان‌زدایی. انتشارات علم کشاورزی ایران، ۷۰۰ ص.
۷. نصیری، ا. (۱۳۸۷). تبیین آلودگی آب‌های زیرزمینی ناشی از استقرار نامناسب صنایع با استفاده از GIS و RS. *فصلنامه چشم‌انداز جغرافیایی*، سال سوم، شماره ۷: ۱۹۳-۱۷۷.
8. Alhajji, E., and Ismail I.M. (2011). Trace elements concentration in sediments of Orontes River using PIXE technique. *Global NEST Journal, Volum11 (1): 1818-1824.*
9. Rajaram, T., & Ashutosh, D. (2008). Water pollution by industrial effluents in India: Discharge scenarios and case for participatoryecosystem specific local regulation. *Journal of Futures, Number 40: pp 56-69.*
10. Sartaj, M., Fathollah, i F., & Filizaedh Y. (2012). An Investigation of the evolution of distribution and accumulation of heavy metals in Anzali wetland's sediments. *Iranian Journal of Natural Resources, Number 58(3): 623-634.*
11. Wang, M., Webber, M., Finlayson, B., & Barnett, J. (2008). Rural industries and water pollution in China. *Journal of Environmental Management, Number 86: 648-659.*
12. Zhang, C., Qiao, Q., piper, J., & Huang, J. (2011). Assessment of Heavy Metal Pollution from a Fe-smelting factory urban river sediments using environmental, Magnetic and Geochemical Methods. *Journal of Environmental Pollution, Number 3: 3057- 3070.*

## ***Study of Pollution of Waste Water Caused By Iron Ore Processing In Desert Areas (Case Study: Bafgh Area)***

***A. Rezaeipour Baghdar\*<sup>1</sup>, H. Vagarfard<sup>2</sup>, H.R. Azimzadeh<sup>3</sup>, H. Gholami<sup>2</sup>, Y. Esmailpour<sup>2</sup>***

*1- Ph.D. Student, Hormozgan University, Iran*

*2- Faculty member, Hormozgan University, Iran*

*3- Faculty member, Yazd University, Iran*

*\* Corresponding author, E-mail: Iranbaghdar@yahoo.com*

***Received: 13/11/2015***

***Accepted: 21/7/2014***

### ***Abstract***

*Environmental pollution as technologic desertification factor is the most important challenging issue in industrialized and developing societies. Due to the presence of several mineral sites in Bafgh, the most important reason of desertification is pollution caused by industries and mines. This study aims to determine the emissions effluent from processing iron ore in the Bafgh region. Totally, 16 samples of effluent were taken over the period 2008- 2013, and 18 parameters were measured in the laboratory. After testing the related data normality and variance analysis, index of PI, IPI and MCd were determined for the collected data. The results showed that 27.7% of the parameters are without non-significant year changing while 72.3% of the parameters have significant annual changes. The results for the PI index showed that 66.6% of the parameters show less contamination level and 33.4% of the parameters are at moderate to high contamination level. According to the results obtained for the IPI and MCd index, Nitrate (NO<sub>3</sub>) and Sulfate (SO<sub>4</sub>) classified at the moderate and high levels of pollution and determined as the contaminants of effluent from processing. Considering desert ecosystems are sensitive and fragile, it is suggested to determine the concentration of pollutants in the wastewater processing parameters with deposited sediments to study the feasibility of removing contaminants by phytoremediation. It might be useful to determine desertification intensity in Central Iron Ore Company marginal and desert regions in Bafgh with the conventional models and taking into account the environmental pollution, Nitrate and Sulfate indices.*

***Keywords:*** Desertification, Pollution, Waste water, PI, IPI, MCd