مقاله پژوهشی، صفحات ۲۳۲-۲۲۰

پایش زیستی تغییرات زمانی غلظت عناصر جزیی معلق در هوا با استفاده از تکنیک انتقال *گلسنگ*

یونس یعقوب‌زاده، عباس اسماعیلی ساری* و نادر بهرامی فر

ایران، نور، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، گروه محیط زیست

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۸

چکیده

امروزه مقرون به‌صرفه‌ترین و در دسترس‌ترین شیوه برای پایش آلاینده‌های هوا استفاده از پایشگرهای زیستی است. ازاین‌رو، این مطالعه به‌منظور پایش زیستی تغییرات زمانی غلظت فلزات سنگین معلق در هوا با استفاده از تکنیک انتقال *گلسنگ* انجام شد. بدین منظور، *گلسنگ*‌های جنس *Ramalina* از یک منطقه غیر آلوده (روستای تیرکن، شهرستان بابل) در جنگل‌های هیرکانی، به منطقه موردمطالعه در مجاورت جاده ترانزیتی در محدوده شهرستان نور منتقل شد. پس از طی سه دوره زمانی سه، شش و نه‌ماهه مواجهه با هوای آلوده، غلظت فلزات آلومینیم، آهن، روی، مس، سرب، نیکل، وانادیم، کروم، آرسنیک، سلنیوم، کادمیوم، مولیبدن وکبالت در نمونه‌های *گلسنگ* (هر دوره ۱۵ نمونه) توسط دستگاه ICP-MS تعیین شد. نتایج نشان داد، آلومینیم و کادمیوم در تمام دوره‌ها به ترتیب بیشترین و کمترین غلظت را در نمونه‌ها داشته‌اند (میانگین به ترتیب ۶۱۴/۰۶ و ۰/۱۸ میکروگرم برگرم). با افزایش مدت مواجهه غلظت فلزات نیز افزایش یافت و این افزایش برای دوره زمانی اول و سوم در تمام فلزات تفاوت معناداری را نشان داد ($p<۰/۰۵$). همچنین مشخص شد که با توجه به میانگین نرخ مواجهه کنترل (۳/۳۷) که بسیار فراتر از حد انباشت شدید (۱/۷۵) بوده است؛ *گلسنگ* انتخابی از توانایی قابل قبولی برای پایش زیستی تغییرات غلظت فلزات سنگین برخوردار می‌باشد. علاوه بر آن استفاده از نرخ مواجهه کنترل برای بررسی میزان تغییرات جایگزین بهتری نسبت به غلظت عناصر به‌تنهایی است.

واژه های کلیدی: پایش زیستی، عناصر جزیی ،*گلسنگ*، تکنیک انتقال، آلودگی هوا

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: esmaili@modares.ac.ir

مقدمه

مهم‌ترین نیاز بشربرای ادامه حیات، هوای سالم و پاکیزه است. کیفیت هوایی که دائماً تنفس می‌کنیم برای سلامتی ما بیشتر از آنچه که تصورمی‌کنیم اهمیت دارد. برآوردهای اخیر نشان داده است که ۹۲٪ از جمعیت جهان (شهری و روستایی) در مکان‌هایی زندگی می‌کنند که میزان آلودگی هوا بیش از حد مجاز تعیین شده سازمان جهانی بهداشت است (۲۱). این به معنای تولید آلاینده‌ها در مکان‌های آلوده نیست؛ به عبارت دیگر آلاینده‌ها می‌تواند در همان مکان تولید نشده باشد. حمل اتمسفری سریع‌ترین مکانسیم برای انتقال آلاینده‌های هوا از جمله فلزات سمی از منابع تولید به مناطق بسیار دور و حتی مناطق بکر و طبیعی می‌باشد (۲۱).

فلزات سمی همیشه از نظر سلامتی مورد توجه بوده‌اند. براساس مطالعات آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان، فلزات سمی به سه دسته طبقه‌بندی می‌شوند، گروه اول که سرطان‌زایی آنها برای بشر ثابت شده است، مانند کادمیوم، کروم، استرانسیم و نیکل. گروه دوم که احتمالاً سرطان‌زا هستند، مانند سرب و ترکیبات معدنی آن و در نهایت گروه

سوم که برای انسان غیر سرطان‌زا هستند، مانند ترکیبات آلی سرب و ترکیبات معدنی جیوه (۲۸).

درک علمی از رسوب جوی آلاینده‌ها همانند فلزات سمی به طور مداوم در حال تحول است. از این رو تقاضا برای تکنیک‌ها و ابزارهای نظارت بر کیفیت هوا در حال افزایش است (۹). استفاده از دستگاه‌های پایش و سنجش کیفیت هوا با توجه به استفاده از فناوری پیشرفته و هزینه‌های زیاد برای بخش اعظمی از جمعیت در معرض هوای آلوده جهان قابلیت استفاده ندارد؛ بنابراین، شاید در دسترس‌ترین راه باقی مانده برای این بخش از جمعیت استفاده از پایشگرهای زیستی (Biomonitors) است.

به‌طور کلی پایشگرهای زیستی ارگانیسم‌هایی هستند که می‌توانند برای تعیین کیفی اثرات آلاینده‌های تولید شده توسط انسان، مورد استفاده قرار گیرند. برای ارزیابی اثرات بیولوژیکی آلاینده‌ها یا اندازه‌گیری تغییرات سطوح جامعه یا جمعیت، عملکرد زیست محیطی، مورفولوژی، تغییر در فعالیت سیستم‌های آنزیمی و فعالیت‌های فتوسنتزی یا تنفس استفاده می‌شود (۹). از ویژگی‌های پایشگرهای زیستی می‌توان به توزیع جغرافیایی وسیع، در دسترس بودن در کل سال، امکان جمع‌آوری آسان بافت‌های کافی برای تجزیه و تحلیل، قابلیت تجمع آلاینده درغلظت‌های بالا بدون آنکه منجر به مرگ موجود شود، اشاره کرد (۸).

از تمام گونه‌های بیولوژیکی مورد استفاده در پایش زیستی، *گلسنگ*‌ها و خزه‌ها متداول‌ترین موارد هستند. ریخت‌شناسی *گلسنگ*‌ها و خزه‌ها در فصل‌های مختلف متفاوت نیست؛ بنابراین تجمع عناصر در آنها در طول سال رخ می‌دهد. همچنین، *گلسنگ*‌ها و خزه‌ها عمدتاً طول عمر قابل ملاحظه‌ای دارند که منجر به استفاده از آنها به عنوان آشکارسازهای بلند مدت رسوب جوی می‌شود (۲۹). با توجه به مطالعات انجام شده *گلسنگ*‌ها فاقد سیستم‌های ریشه، کوتیکول های محافظ و مکانیسم‌های تصفیه هستند. در نتیجه، هم مواد مغذی لازم و هم آلاینده‌ها و عناصر سمی می‌تواند از طریق کل سطح تال *گلسنگ* جذب شود و بعضی اوقات می‌توانند در مقادیری که بیش از نیازهای متابولیکی *گلسنگ* یا تحمل آن باشد، تجمع یابد. فلزات سنگین نیز ممکن است در *گلسنگ*‌ها تجمع داخل سلولی داشته باشند که این امر اثرات بزرگی در متابولیسم *گلسنگ* دارد (۲۰).

استفاده از *گلسنگ*‌ها به‌عنوان ابزاری برای کنترل کیفیت هوا قدمتی بیش از یک قرن دارد. شاید یکی از اولین مطالعات انجام شده با استفاده از تکنیک انتقال *گلسنگ*‌های بوته‌ای توسط کپی (Kauppi) صورت گرفته باشد (۱۶). علیرغم گذشت چند دهه هنوز این روش کارآمدی خود را از دست نداده است. برای نمونه پاولی و همکاران از روش انتقال *گلسنگ* برای مقایسه میزان تجمع زیستی فلزات سمی در داخل و خارج ساختمان مناطق شهری و روستایی و همچنین مناطق با میزان تراکم متفاوت جمعیتی و منابع تولید آلاینده‌ها استفاده نموده‌اند (۲۱).

در ایران به استناد مقالات چاپ و منتشر شده در پایگاه‌های داده کشور، کارهای محدودی در این زمینه انجام شده است. بدین صورت که یک گونه به آزمایشگاه انتقال داده شد و در آنجا تحت تأثیر غلظت‌های مشخص از آلاینده خاص قرار داده شد و نتایج حاصل مورد بررسی قرار گرفت. آنچه این مطالعه را نسبت به مطالعات دیگر در زمینه پایش آلودگی هوا متمایز می‌نماید آن است که در مطالعه حاضر از شیوه انتقال *گلسنگ* برای پایش و اندازه‌گیری آلاینده‌ها در محیط غیر آزمایشگاهی وغیر کنترل شده استفاده شده است، ازسوی دیگر در مطالعات انجام شده تاکنون تنها روی یک عنصر یا ترکیب تمرکز داشته و تماماً در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی بوده است (۱ و ۲).

از آنجائیکه در منطقه مورد مطالعه علیرغم وجود منابع انتشار ثابت و متحرک آلودگی هیچ گونه پیشینه‌ای از حضور و یا عدم حضور فلزات سنگین بدلیل عدم وجود

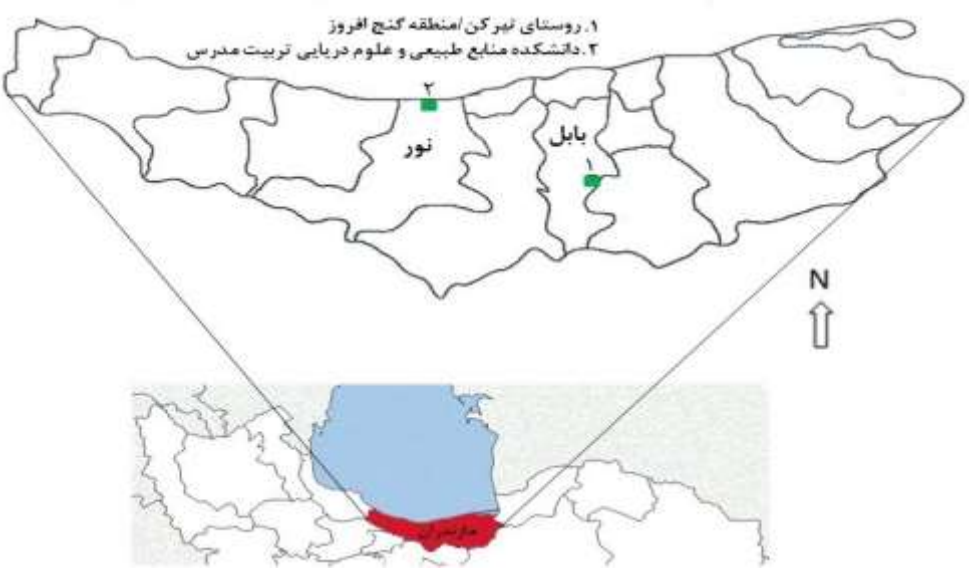
سیستم پایش و کنترل کیفیت هوا چه بصورت ایستگاه ثابت پایش یا حتی نمونه برداری‌های دوره‌ای وجود ندارد این مطالعه در مرحله اول به منظور پایش زیستی فلزات سنگین موجود در هوا با استفاده از *گلسنگ*‌های بوته‌ای انتقالی و همچنین بررسی توان *گلسنگ*‌های یاد شده در انباشت و ذخیره‌سازی فلزات بعنوان یک پایشگر زیستی برنامه ریزی شد. در مرحله دوم این پژوهش به دنبال بررسی تأثیر مدت مواجهه (تماس) بر روی تغییر غلظت فلزات سنگین در *گلسنگ*‌ها می‌باشد.

مواد و روشها

جنس مورد مطالعه: با توجه به اینکه گارتی و همکاران نشان دادند که جنس *Ramalina* شاخص مناسبی برای تجمع یون‌های فلزی می‌باشند (۱۱) و از آنجائیکه این جنس از *گلسنگ*‌ها در جنگل‌های هیرکانی ازحضور و فراوانی مناسبی برخوردار می‌باشد (۲۴)، در این مطالعه از آنها به عنوان زیست‌پایشگر فلزات سمی معلق در هوا، استفاده شده است. این جنس از *گلسنگ*‌های اپی‌فیت دارای تال بوته‌ای، به صورت درختچه‌های آویزان و یا با انشعابات کم و بیش مسطح (به ندرت در برش عرضی حلقوی)، تال دراز، پهن یا باریک، به طور معمول به نسبت سخت و توپر یا نزدیک به قاعده تال توخالی، سبز متمایل به زرد (زرد اوسنیک) تا خرمایی متمایل به زرد است. رویشگاه اعضاء این جنس روی انشعابات و شاخه‌های کوچک و تنه انواع مختلف درختان و درختچه‌ها و همچنین روی صخره‌های سیلیسیمی می‌باشد. (۳).

روش کار: در این مطالعه برای سنجش و اندازه‌گیری میزان و تجمع فلزات در محیط از روش انتقال *گلسنگ* استفاده شد (۱۱،۱۳،۱۹ و ۲۳). در این روش نمونه‌های *گلسنگ* از یک منطقه غیر آلوده و دور از منابع تولید آلاینده‌های هوا جمع‌آوری و به منطقه مورد مطالعه که معمولاً در مجاورت منابع آلاینده است انتقال داده شده با استفاده از کیسه *گلسنگ* (Lichen Bags) بر روی تکیه‌گاه مسقر گردید. سپس به نمونه‌ها فرصت تجمع آلاینده‌های هوا، داده می‌شود. پس از طی دوره زمانی مشخص (دوره‌های سه ماهه در سه فصل تابستان، پائیز، زمستان) نسبت به جمع‌آوری نمونه‌ها و سنجش فلزات تجمع یافته در نمونه‌ها با شیوه‌های متداول اقدام شد (۶،۱۵،۲۷،۳۰ و ۳۱).

محل نمونه‌برداری: به منظور تهیه نمونه‌های *گلسنگ* برای انتقال، روستای تیرکن واقع در جنگل‌های هیرکانی در منطقه گنج افروز شهرستان بابل به مختصات جغرافیایی "۴ ′۱۶ °۳۶ شمالی و "۱۸ ′۴۴ °۵۲ شرقی و ارتفاع بین ۷۲۰- ۳۸۰ متر از سطح دریا در فاصله حدود ۵۰ کیلومتری از جنوب شهرستان، به دلیل فراوانی گونه مورد مطالعه، به‌عنوان محل نمونه‌برداری انتخاب شد (شکل ۱). این ناحیه به‌دلیل وجود هفت آبشار به هفت آبشار نیز شهرت دارد. این منطقه، به دلیل پوشش جنگلی، رطوبت زیاد و دوری از مناطق صنعتی و جمعیتی، برای رشد و نمو *گلسنگ*‌های بوته‌ای که بیشتر محدود به مناطق غیر آلوده هستند، مناسب می‌باشد. علاوه بر این، منطقه با توجه به بررسی‌های میدانی، از تنوع و غنای گونه‌ای مناسبی از *گلسنگ*‌های اپی‌فیت بوته‌ای جهت تهیه مقدار مورد نیاز نمونه برای انتقال به سایت سنجش را دارا بود. نمونه‌های *گلسنگ* از روی شاخه‌ها و از بین خارهای درختان و از ارتفاع بیش از ۱ متر از سطح زمین جمع‌آوری شدند. نمونه‌های مورد نیاز دریک مسیر ۱/۴ کیلومتری جمع‌آوری شد، جایگاه‌های نمونه برداری بطور میانگین ۲۲۰ متر از یکدیگر فاصله داشته‌اند (حداقل ۱۲۴ و حداکثر ۳۲۱ متر). در این بین سعی شد که نمونه‌ها تا جای ممکن تنها از روی درختان مشابه جمع‌آوری شود تا از تأثیر عوامل جانبی تا جای ممکن پرهیز گردد. نمونه‌ها از روی شاخه‌های فرعی و بین خارهای درختان لیلکی جمع‌آوری شد (شکل ۲ آ). کلیه نمونه‌ها پس از شناسایی اولیه با استفاده از منابع موجود، برای تأیید نهایی مورد ارزیابی کارشناسان باغ گیاه‌شناسی نوشهر قرار گرفت.



شکل ۱: محل‌های نمونه‌برداری و انتقال *گلسنگ*‌های مورد مطالعه؛ روستای تیرکن منطقه گنج افروز به عنوان محل نمونه‌برداری و محوطه دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی تربیت مدرس به عنوان محل انتقال می‌باشد.

شکل ۲: *گلسنگ*‌های جنس ***Ramalina*** درمنطقه نمونه‌برداری، انتقال به آزمایشگاه و محل استقرار

آماده‌سازی و استقرارنمونه‌ها در محل انتقال: پس از جمع‌آوری *گلسنگ*‌ها، کلیه نمونه‌ها به آزمایشگاه محیط‌زیست دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس انتقال داده شد. ابتدا نمونه‌ها از مواد خارجی همانند شاخ و برگ، پاک و پس از همگن‌سازی و توزین (شکل ۲ ب) در کیسه‌های توری پلی‌اتیلنی (۳۰) به ابعاد ۲۰×۳۰ سانتی‌متر، با اندازه چشمه ۲×۲ میلی‌متر قرارداده شد، هر کیسه *گلسنگ* حاوی ۳۰ گرم از تال تازه *گلسنگ*

بود (شکل ۲ ج) که هر کیسه به سه بخش ۱۰ گرمی مجزا تفکیک شد (شکل ۲ د). تفکیک نمونه‌ها به منظور جلوگیری از دستبرد جانوران و تأثیر منفی برداشت نمونه‌ها در دوره‌های زمانی بر روی باقی‌مانده نمونه‌ها و از دست نرفتن نمونه‌ها، صورت گرفت. سپس کلیه نمونه‌ها برای مواجهه به محوطه دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس شهرستان نورواقع در مجاورت جاده ترانزیتی شماره ۲۲ درمختصات جغرافیایی "۴۳/۴۱ '۳۴ °۳۶ شمالی و "۲۶/۴۴ '۰۲ °۵۲ شرقی و با ارتفاع متوسط ۸- متر از سطح دریا و در گوشه غربی پارک جنگلی نور واقع شده؛ انتقال داده شد. پوشش گیاهی منطقه شباهت کاملی با پوشش جنگل‌های جلگه‌ای هیرکانی داشته و تنها در سطح محدود عملیات توسعه‌ای در آن اتفاق افتاده است. در طی دوره مطالعه متوسط دمای ماهانه ۱۵/۵۷ درجه سانتی‌گراد متوسط بارش ماهانه ۱۶۶/۴ میلیمتر و متوسط سرعت باد ماهانه ۱/۹۸ متر بر ثانیه و جهت باد غالب آزیموت ۳۰۰ درجه بوده است. به‌منظور بررسی تأثیر فاصله از منبع انتشار بر غلظت و میزان انباشت فلزات، کیسه‌های *گلسنگ* پس از انتقال به محل انباشت، در سه ردیف فاصله‌ای ۱۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ متر از منبع انتشار قرار داده شدند. در هر گروه فاصله‌ای (از منبع انتشار)، پنج نمونه به‌صورت عرضی در کنار هم بر روی درختان مشابه (برای از بین بردن تأثیر pH پوست درخت) در ارتفاع حدود ۳ متری (جهت جلوگیری از مزاحمت احتمالی) روی تنه اصلی درختان با استفاده از نخ نایلونی ثابت شد (شکل ۲ ج و د؛ ۱۶). موقعیت تمام درختان با استفاده از GPS (Garmin eTrex H Handheld GPS Navigator) ثبت گردید. همچنین لازم بذکر است که در مرحله همگن سازی نمونه‌ها حدود ۲۰ گرم نمونه بطور تصادفی از میان نمونه‌های در حال آماده سازی برای استقرار انتخاب و بصورت جداگانه بسته بندی تا بعنوان نمونه کنترل (نشان دهنده وضعیت محل نمونه‌برداری) مورد استفاده قرار گیرد.

جمع‌آوری نمونه‌ها: کیسه‌های *گلسنگ* مستقر روی درختان، در فاصله زمانی اول تیر ماه ۱۳۹۵ تا پانزدهم فروردین ماه ۱۳۹۶ در معرض آلاینده‌ها قرار گرفتند و در سه دوره زمانی T_1: ۹۰، T_2: ۱۸۰ و T_3: ۲۷۰ روز (مطابق با تغییر فصول) جمع‌آوری شدند نمونه‌ها پس از جمع‌آوری در کیسه‌های نایلونی (زیپ‌پلاست) قرار گرفت و به آزمایشگاه منتقل شد. به منظور جلوگیری از هرگونه فعل و انفعال، پس از خشک کردن کلیه نمونه‌ها توسط دستگاه فریز درای (Freeze- dry(FD)) به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۰- درجه سانتی‌گراد تا زمان استخراج فلزات (عناصر) دردمای °۲۰- سانتی‌گراد نگهداری شد.

آنالیز شیمیایی: به منظور هضم اسیدی نمونه‌ها، ۱۵۰ میلی‌گرم از تال خشک و خرد شده هر نمونه *گلسنگ* توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم توزین و به بمب تفلونی منتقل شد. سپس ۷ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ ۶۹ درصد (HNO_3, Ultratrace pbb-trace analysis, Scharlau, Spain) به همراه ۳ میلی‌لیتر پراکسیدهیدروژن ۳۰ درصد (H_2O_2, Suprapur, Merck-KGaA, Germany) و ۰/۲ میلی‌لیتر اسید فلوریدریک ۴۰ درصد (HF, Analysis ISO.Reag.Ph Eur) به نمونه‌ها اضافه شد. ظروف حاوی نمونه در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت در آون قرار داده شد و سپس در دمای اتاق سرد شدند. محلول حاصل به بالن ژوژه ۵۰ میلی‌لیتری منتقل و سپس با آب دو بار تقطیر به حجم رسید (۱۴). در کلیه مراحل انجام کاریک نمونه به‌عنوان Blank درنظرگرفته شد که در آن به جای نمونه *گلسنگ*، از آب دو بار تقطیر استفاده شد. به منظور تعیین غلظت عناصر آلومینیم، آهن، روی، مس، سرب، نیکل، وانادیم، کروم، آرسنیک، سلنیوم، کادمیوم، مولیبدن، کبالت در نمونه‌های *گلسنگ* از روش AAOC، توسط دستگاه اسپکترومتر جرمی پلاسمای جفت شده القائی (ICP-MS; Agilent HP 4500، مجهز به نمونه‌بردار خودکار ASX-520) انجام شد. برای کنترل کیفی داده‌ها از ماده رفرنس مرجع (SRM) 1632 D Nist (Standarad

Reference Material) استفاده شده که میانگین درصد بازیابی عناصر ۱۰۰/۴۵ بوده است. در این مطالعه در هر دوره زمانی ۱۵ نمونه و در مجموع ۴۵ نمونه و همچنین ۲ نمونه بدون مواجهه بعنوان کنترل مورد اندازه‌گیری و سنجش قرار گرفته است.

آنالیزهای پایش زیستی و آماری

به منظور ارزیابی، مقایسه و تعیین روند تجمع عناصر با مدت زمان مواجهه توسط *گلسنگ* انتقالی، از شاخص نرخ مواجهه-کنترل (Exposed of Control ratio) (EC) استفاده شده (فرمول ۱؛ ۱۰). این شاخص (EC) از تقسیم غلظت عناصر در تال *گلسنگ* پس از مواجهه ($C_{exposed}$) بر غلظت عناصر قبل از مواجهه ($C_{unexposed}$) بدست می‌آید. مقیاس کیفی برای این شاخص در جدول ۱ بیان شده است.

فرمول ۱ $EC = C_{exposed} / C_{unexposed}$

جدول ۱: مقیاس کیفی برای نسبت مواجهه- کنترل فلزات (Frati و همکاران، ۲۰۰۵)

مقیاس کیفی	نرخ مواجهه - کنترل
کاهش شدید	۰ - ۰/۲۵
کاهش	۰/۲۵ – ۰/۷۵
نرمال طبیعی	۰/۷۵ – ۱/۲۵
انباشت	۱/۲۵ – ۱/۷۵
انباشت شدید	>۱/۷۵

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد. ابتدا تابعیت داده‌ها ازتوزیع نرمال با آزمون کولموگروف اسمیرنف مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه داده‌های مربوط به کلیه گروه‌ها از توزیع نرمال تبعیت کردند، برای مقایسه میانگین غلظت فلزات در دوره‌های زمانی (مدت مواجهه) از آنالیز واریانس یکطرفه و برای تعیین گروه‌های متفاوت از آزمون‌های (تعقیبی) توکی (برای داده‌ها با واریانس همگن) و آزمون دانت تی ۳ (برای داده‌ها با واریانس ناهمگن) استفاده شد. همچنین برای بررسی همبستگی بین فلزات از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد.

نتایج

میانگین و انحراف معیار غلظت عناصر (بر حسب میکروگرم بر گرم) آلومینیم، آهن، روی، مس، سرب، نیکل، وانادیم، کروم، آرسنیک، سلنیوم، کادمیوم، مولیبدن، کبالت که عمدتاً عناصر ناشی از ترافیک هستند در جدول ۱ نشان داده شده است. بیشترین و کمترین غلظت عناصر در دوره‌های مطالعه به ترتیب مربوط به آلومینیم (۱۸۵۶/۸ میکروگرم بر گرم) در دوره زمانی T_3 و کادمیوم (۰/۰۸۷ میکروگرم بر گرم) در دوره زمانی T_1 بود. همچنین نتایج به‌دست‌آمده با توجه به دوره‌های مواجهه (فصول) نشان داد، در هر سه دوره زمانی مواجهه آلومینیم دارای بیشترین میانگین غلظت به ترتیب ۳۸۶/۱۸، ۵۹۵/۸۲، ۸۶۰/۱۵ (میکروگرم بر گرم) بوده است و کمترین میانگین غلظت برای کادمیوم به ترتیب ۰/۱۳، ۰/۱۹، ۰/۲۳ (میکروگرم بر گرم) به ثبت رسیده است. به جز غلظت فلزات کروم، آرسنیک و مولیبدن که بین تمام دوره‌های زمانی T_1، T_2 و T_3 اختلاف معناداری وجود داشت ($p <$ ۰/۰۵)، این اختلاف در غلظت سایر فلزات بین دوره‌های مطالعه T_1 و T_2، T_1 و T_3 مشاهده شد ($p <$ ۰/۰۵)؛ اما غلظت آلومینیوم تنها بین دوره‌های زمانی T_1 و T_3 دارای اختلاف معنادار بود ($p <$ ۰/۰۵). علاوه‌براین، غلظت کلیه عناصر با افزایش زمان از T_1 به T_3 دارای افزایش بود (جدول ۲).

نتایج محاسبات نرخ مواجهه- کنترل برای فلزات نشان داد، کوچک‌ترین نرخ برای سلنیوم (۰/۶۹) و بزرگ‌ترین نرخ برای سرب (۱۳/۵۷) مشاهده شد. همچنین به‌طور متوسط این نرخ برای مس (۴/۸۴) در بزرگ‌ترین مقدار و برای سلنیوم (۲/۳۷) در کمترین مقدار قرار داشته است. بررسی جداگانه هریک از دوره‌های زمانی سه‌گانه نشان داد برای دوره زمانی ۹۰ روزه (تابستان) بیشترین مقدار و بزرگ‌ترین میانگین برای فلز مس (به ترتیب ۶/۳۵ و ۳/۸۷) بود، در حالی که کوچک‌ترین مقدارو همچنین کوچک‌ترین میانگین به سلنیوم (به ترتیب ۰/۶۹ و ۱/۷۲) اختصاص داشت.

جدول ۲: میانگین غلظت و انحراف معیار عناصر جزیی (میکروگرم بر گرم) به تفکیک دوره‌های زمانی مراحله (T_1: ۹۰، T_2: ۱۸۰ و T_3: ۲۷۰ روز)

دوره	آماره	گلوستیوم*	وانادیم*	کروم*	آهن*	کبالت*	نیکل*	مس*	روی**	آرسنیک*	سلنیوم*	مولیبدن*	کادمیوم**	سرب*
T_1	میانگین	۳۸۶/۲^{a}	۲/۶۳^{a}	۱/۷۹^{a}	۳۳۳/۸^{a}	۰/۴۵^{a}	۴/۰۵^{a}	۲۶/۹۲	۷۴/۸۹^{a}	۰/۸۲^{a}	۰/۴۱^{a}	۰/۱۵^{a}	۰/۱۳^{a}	۷/۶^{a}
	انحراف معیار	۱۱۱/۳	۰/۶۷	۰/۴۷	۸۱/۱۴	۰/۰۸	۱	۱۳/۴۳	۳۲/۱۰	۰/۲۱	۰/۱۴	۰/۰۴	۰/۰۳	۱/۹۲
	حداکثر	۵۵۰/۶	۴/۰۵	۲/۷/۱	۴۷۷/۸۷	۰/۵۸	۵/۶۱	۴۴/۱۲	۱۱۹/۶۴	۱/۱۶	۰/۶۷	۰/۲۳	۰/۲	۱۱/۱۴
	حداقل	۲۲۶/۷۸	۱/۶	۱/۱۴	۲۱۴/۳۹	۰/۳۱	۲/۵	۷/۸۹	۲۷/۸۹	۰/۵۳	۰/۱۶	۰/۱۱	۰/۰۹	۴/۶۷
T_2	میانگین	۵۹۵/۸^{ab}	۳/۷^{b}	۲/۸۳^{b}	۵۰۲/۳^{b}	۰/۶۷^{b}	۵/۹۵^{b}	۳۷/۵۹	۱۱۳/۲^{b}	۱/۲۳^{b}	۰/۵۹^{b}	۰/۲۳^{b}	۰/۱۹^{b}	۱۱/۱۷^{b}
	انحراف معیار	۲۹۳	۱/۰۶	۰/۷۳	۱۷۸/۷	۰/۱۹	۱/۶۹	۱۵/۸۵	۳۴/۸۸	۰/۳۵	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۰۴	۲/۹۳
	حداکثر	۱۰۵۳	۵/۱	۳/۹۶	۷۳۵/۴	۱/۰۴	۸/۷۹	۶۱/۷۱	۱۶۲/۳۷	۱/۶۸	۰/۸۲	۰/۳	۰/۲۸	۱۵/۷
	حداقل	۲۰۶/۴۴	۱/۵۸	۱/۷/۱	۲۴۹/۲۵	۰/۴	۲/۱	۸/۰۳	۴۲/۱۹	۰/۷/۱	۰/۴۱	۰/۱۳	۰/۱۳	۵/۵۸
T_3	میانگین	۸۶۰/۲^{b}	۵/۱۲^{bc}	۳/۸۴^{c}	۷۰۷/۷^{bc}	۰/۹^{bc}	۶/۹۸^{bc}	۳۶/۳۲	۱۲۴^{bc}	۱/۲۳^{c}	۰/۵۹^{bc}	۰/۳۵^{c}	۰/۲۳^{bc}	۱۱/۱۷^{bc}
	انحراف معیار	۴۴۹/۱	۲/۰۳	۱/۲۴	۳۰۳/۲	۰/۳۲	۲/۳۸	۲۰/۹۲	۵۳/۷۵	۰/۶۳	۰/۲۵	۰/۱۶	۰/۰۷	۹/۶۸
	حداکثر	۱۸۵۶	۱۰/۵۵	۷	۱۴۲۵/۵۸	۱/۷/۱	۱۱/۷۷	۷۰	۲۰۰/۹۲	۳/۲۹	۱/۲۲	۰/۷/۷	۰/۴۳	۴۶/۴۱
	حداقل	۳۵۱/۱۶	۲/۵۸	۲/۳۳	۳۵۱/۱۷	۰/۴۶	۳/۱۳	۸/۸۱	۳۸/۵۹	۱	۰/۳۹	۰/۱۶	۰/۱۴	۶/۳۵

* آزمون ANOVA و تست تعقیبی Dunnett T3؛ **آزمون ANOVA و تست تعقیبی Tukey؛ حروف مقاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ می‌باشد.

در دوره زمانی ۱۸۰ روزه (پاییز) همانند دوره قبل بیشترین مقدار نرخ و بزرگ‌ترین میانگین به فلز مس (به ترتیب ۸/۸۸ و ۵/۴۱) اختصاص داشت و کوچک‌ترین میانگین برای سلنیوم (۲/۴۶) و کمترین نرخ برای نیکل (۱/۱۳) بود؛ اما در دوره ۲۷۰ روزه (زمستان) بزرگ‌ترین و کوچکترین میانگین به ترتیب مربوط به مولیبدن (۵/۷۶) و سلنیوم (۲/۹۳) بود. در این دوره کمترین‌ترین و بیشترین نرخ به ترتیب مربوط به مس (۱/۲۷) و سرب (۱۳/۵۷) بود (جدول ۳).

میانگین نرخ مواجهه – کنترل هریک از فلزات در جدول ۳ به تفکیک دوره‌های سه‌گانه نشان داده شده است. به‌جز یک مورد مشاهده می‌شود که با افزایش مدت تماس نرخ مواجهه – کنترل افزایش داشته است و تنها در فاصله دوره دوم و سوم زمانی برای فلز مس یک کاهش مشاهده شد. در جدول ۳ مقیاس کیفی برای نرخ مواجهه به کنترل بیان شده از طرف فارتی و همکاران (۱۰) به جهت مقایسه با مطالعه حاضر بیان شده است. با بررسی مقیاس کمی یاد شده می‌توان مشاهده نمود که در حالت کلی تمام فلزات این مطالعه در مقیاس انباشت شدید قرار داشته‌اند.

جدول ۳: نرخ مواجهه – کنترل فلزات سنگین (عناصر جزئی) برای دوره زمانی مورد مطالعه در نمونه‌های *گلسنگ*

دوره	آماره	آلومینیوم	وانادیم	کروم	آهن	کبالت	نیکل	مس	روی	آرسنیک	سلنیوم	مولیبدن	کادمیوم	سرب
T_1	میانگین	۲/۱۸	۲/۰۲	۱/۷۳	۲/۰۳	۲/۱۳	۲/۱۹	۳/۸۷	۳/۲۳	۱/۹۵	۱/۷۲	۲/۴۲	۲/۲۲	۲/۲۲
	انحراف معیار	۰/۶۳	۰/۵۱	۰/۴۶	۰/۴۹	۰/۴۰	۰/۵۴	۱/۹۳	۱/۳۹	۰/۵۰	۰/۶۰	۰/۶۲	۰/۵۹	۰/۵۶
	حداقل	۱/۲۸	۱/۲۳	۱/۰۹	۱/۳۰	۱/۴۸	۱/۳۵	۱/۱۳	۱/۲۰	۱/۲۵	۰/۶۹	۱/۷۸	۱/۴۴	۱/۳۷
	حداکثر	۳/۱۱	۳/۱۱	۲/۶۱	۲/۹۰	۲/۷۷	۳/۰۳	۶/۳۵	۵/۱۷	۲/۷۶	۲/۷۷	۳/۷۶	۳/۳۵	۳/۲۶
T_2	میانگین	۳/۳۷	۲/۸۵	۲/۷۲	۳/۰۵	۳/۱۸	۳/۲۲	۵/۴۱	۴/۸۹	۲/۹۳	۲/۴۶	۳/۷۵	۳/۲۴	۳/۲۷
	انحراف معیار	۱/۶۶	۰/۸۲	۰/۷۰	۱/۰۹	۰/۹۲	۰/۹۱	۲/۲۸	۱/۵۱	۰/۸۳	۰/۴۶	۰/۸۸	۰/۶۶	۰/۸۶
	حداقل	۱/۱۷	۱/۴۲	۱/۶۵	۱/۵۱	۱/۹۰	۱/۱۳	۱/۱۵	۱/۸۲	۱/۷۰	۱/۷۱	۲/۲۴	۲/۲۳	۱/۶۳
	حداکثر	۵/۹۶	۳/۹۲	۳/۸۱	۴/۴۷	۴/۹۶	۴/۷۵	۸/۸۸	۷/۰۱	۴/۰۰	۳/۴۱	۴/۹۵	۴/۶۱	۴/۵۹
T_3	میانگین	۴/۸۷	۳/۹۴	۳/۶۹	۴/۳۰	۴/۲۶	۳/۷۷	۵/۲۳	۵/۳۵	۴/۱۹	۲/۹۳	۵/۸۶	۳/۹۰	۴/۷۳
	انحراف معیار	۲/۵۴	۱/۵۶	۱/۲۰	۱/۸۴	۱/۵۲	۱/۲۹	۳/۰۱	۲/۳۲	۱/۵۰	۱/۰۶	۲/۶۶	۱/۲۳	۲/۸۲
	حداقل	۱/۹۹	۲/۱۹	۲/۲۴	۲/۱۳	۲/۲۱	۱/۶۹	۱/۲۷	۱/۶۷	۲/۳۸	۱/۶۲	۲/۶۳	۲/۳۰	۱/۸۶
	حداکثر	۱۰/۵۰	۸/۱۲	۶/۷۳	۸/۶۶	۸/۱۳	۶/۳۶	۱۰/۰۷	۸/۶۸	۷/۸۴	۵/۰۸	۱۲/۸۵	۷/۱۳	۱۳/۵۷

نتایج آزمون همبستگی پیرسون نشان داد، مس تنها با نیکل دارای ارتباط معنادار شدیدی است ($p <$ ۰/۰۱) و بین سایر فلزات با این عنصر هیچ‌گونه ارتباط آماری مشاهده نشد (جدول ۴). فلز روی به جز آلومینیوم و وانادیم با سایر عناصر دارای ارتباط معناداری بود ($p <$ ۰/۰۵) که در برخی موراد این ارتباط شدید بود؛ اما آرسنیک و سلنیوم به جز با مس، با سایر عناصر دارای ارتباط آماری شدیدی بودند ($p <$ ۰/۰۱). در رابطه با سایر عناصر نیز ارتباط معنادار شدیدی بین آنها مشاهده شد ($p <$ ۰/۰۱ ؛ جدول ۴).

بحث

از آنجائیکه نرخ مواجهه – کنترل نشان دهنده میزان جذب و انباشت عناصر در شرایط موجود (انتقال) بوده و اثر انباشت و مواجهه نمونه در زمان گذشته را تا حدود زیادی بی اثر می نماید، این شاخص برای سنجش و پایش تجمع عناصرمورد استفاده قرار گرفت. میزان این نرخ برای دوره‌های مطالعه دارای میانگین ۳/۳۷ با انحراف استاندارد ۱/۷۷ بوده است، با توجه به مقیاس تفسیری (کیفی) پنجگانه فارتی و همکاران (۱۰) (جدول ۱) انباشت شدید عناصر در نمونه‌های انتقالی *گلسنگ* مشاهده شد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که *گلسنگ*‌های جنس *Ramilina* بعنوان یک زیست انباشتگر مناسب برای پایش زیستی فلزات سنگین (عناصر جزئی) موجود در هوا می‌باشد.

مقاله پژوهشی، صفحات ۲۳۲-۲۲۰

جدول ۴ ضرایب همبستگی پیرسون برای فلزات در نمونه *گلسنگ* جنس *Ramalina*

	آلومینیوم	وانادیوم	کروم	آهن	کبالت	نیکل	مس	روی	آرسنیک	سلنیوم	مولیبدن	کادمیوم	سرب
آلومینیوم	۱												
وانادیوم	۰/۹۳۲**	۱											
کروم	۰/۹۰۷**	۰/۹۵۷**	۱										
آهن	۰/۹۴۵**	۰/۹۵۵**	۰/۹۷۳**	۱									
کبالت	۰/۹۳۳**	۰/۹۴۳**	۰/۹۷۳**	۰/۹۸۱**	۱								
نیکل	۰/۶۳۱**	۰/۶۵۸**	۰/۷۳۲**	۰/۶۸۲**	۰/۷۵۲**	۱							
مس	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	۰/۷۲۶**	۱						
روی	n.s	n.s	۰/۳۶۸*	۰/۲۹۷*	۰/۴۰۴**	۰/۸۲۷**	۰/۹۴۲**	۱					
آرسنیک	۰/۹۵۰**	۰/۹۳۳**	۰/۹۳۷**	۰/۹۳۷**	۰/۹۴۴**	۰/۷۲۱**	n.s	۰/۳۸۵**	۱				
سلنیوم	۰/۷۷۹**	۰/۸۰۹**	۰/۷۹۰**	۰/۷۷۳**	۰/۷۶۹**	۰/۶۳۲**	n.s	۰/۳۳۲*	۰/۸۲۶**	۱			
مولیبدن	۰/۷۰۳**	۰/۶۵۶**	۰/۷۳۴**	۰/۷۱۵**	۰/۷۵۲**	۰/۷۶۶**	۰/۴۴۲**	۰/۶۲۹**	۰/۸۱۷**	۰/۷۱۲**	۱		
کادمیوم	۰/۶۷۷**	۰/۷۱۴**	۰/۷۷۴**	۰/۷۲۴**	۰/۷۶۴**	۰/۸۳۴**	۰/۵۵۷**	۰/۷۱۷**	۰/۷۷۶**	۰/۷۰۱**	۰/۷۴۶**	۱	
سرب	۰/۵۱۵**	۰/۴۴۵**	۰/۵۳۳**	۰/۵۰۴**	۰/۵۷۵**	۰/۷۰۶**	۰/۵۵۳**	۰/۶۸۶**	۰/۶۵۱**	۰/۵۹۰**	۰/۸۸۷**	۰/۶۶۰**	۱

* معناداری در سطح ۰/۰۵؛ ** معناداری در سطح ۰/۰۱؛ n.s: عدم وجود ارتباط معنادار

درصد فراوانی هر یک از مقیاس‌های تفسیری پنجگانه در مطالعه حاضر به این صورت بوده است؛ ٪۰= فقدان شدید، ٪۰/۱۷ = فقدان، ٪۱/۸۸ = طبیعی، ٪۱۲/۶۵= انباشت، ٪۸۵/۳۰ = انباشت شدید بود. با توجه به اینکه بیش از ۸۵ درصد داده‌ها میزان انباشت شدید را نشان دادند، پس می‌توان نتیجه گرفت جنس انتخابی توان ذاتی لازم و قابل قبول برای پایش زیستی نواحی مشابه به لحاظ شرایط اقلیمی را دارا می‌باشد.

همچنین مقایسه و تعیین روند تجمع عناصر با مدت زمان مواجهه توسط *گلسنگ* انتقالی با استفاده از نرخ مواجهه – کنترل، نشان داد که با افزایش مدت تماس (مواجهه) میزان انباشت عناصر افزایش یافته است. نتایج این تحقیق مشابه با مطالعات گارتی وهمکاران (۱۲)، فارتی و همکاران (۱۰)، سوربو و همکاران (۲۶)، اباس و همکاران (۴)، کونتردو و همکاران (۷) بود. علاوه بر آن برای تمام فلزات اندازه‌گیری شده یک روند صعودی تقریباً خطی مشاهده شد، تنها فلز مس در فاصله دوره زمانی دوم (T_2) و سوم (T_3) کاهش مختصر در میزان نرخ مواجهه-کنترل داشته است، هرچند این تفاوت به لحاظ آماری معنادار نبوده است ($p>۰/۰۵$). جذب عناصر توسط تال *گلسنگ* به چندین فاکتور اکولوژیکی از جمله ماهیت عنصر، ویژگی‌های ریخت‌شناسی و پارامترهای محیطی بستگی دارد (۱۰). تغییر شرایط آب و هوایی می‌تواند به شدت بر پدیده تجمع زیستی تأثیر گذارده و باعث ایجاد الگوهای مختلف تجمع و توزیع مجدد عناصر گردد (۲۶). در این بین ویژگی‌های بین‌گونه‌ای نیز نقش مهمی در میزان انباشت، جذب و دفع عناصر دارد (۱۷ و ۱۸). شایدمیزان غلظت بالای آلومینیم در نمونه های کنترل و انتقالی منشاء در همین ویژگی ذاتی گونه مورد بررسی داشته باشد! از سوی دیگر بین عناصر (کاتیون‌های دو ظرفیتی) مانندکادمیوم، کروم، سرب، روی برای جذب رفتاررقابتی وجود دارد. شواهد نشان داد که این رقابت می‌تواند منجر به آن شود که در مطالعات پایش زیستی سطوح اندازه‌گیری شده برخی عناصر پایین‌تر از سطوح واقعی آن در محیط باشد، مشخص شده است مکانسیم تبادل یونی در جذب کاتیون‌ها درخزه و *گلسنگ*‌ها نقش قابل توجه‌ای دارند (۲۱).

همچنین مقایسه یافته‌های این تحقیق با یافته‌های پتروا و همکاران (۲۲) که به شیوه مشابه و با استفاده از فاکتور انباشت نسبی RAF (Relative Accumulation Factor)(این فاکتور مشابه با نرخ مواجهه-کنترل بوده بطوری که پتروا شیوه محاسبه را بصورت رابطه غلظت پس از مواجهه تقسیم بر غلظت قبل از مواجهه بیان می‌کند) در ناحیه‌ای از بلغارستان با منابع انتشار آلاینده‌های جوی همچون نیروگاه برق حرارتی (سوخت فسیلی)، کارخانه شیشه سازی و لوازم آرایشی، خیابان‌های اصلی پر تردد و میزان تراکم بالا جمعیت انسانی بوده است، نشان دهنده وضعیت به مراتب قابل تأمل تر ناحیه مورد مطالعه با توجه به منابع تولید آلاینده محدودتر، تراکم جمعیتی کمتر و ترافیک سبکتر از ناحیه بررسی شده توسط پتروا وهمکاران بوده است. در نتیجه نیاز به بررسی‌های بیشتر و همه جانبه در مناطق شهری، روستای، صنعتی وحتی مناطق دور افتاده نوارسواحل دریای خزر یک ضرورت غیرقابل اجتناب است.

جدول ۵: مقایسه شاخص نرخ مواجهه-کنترل عناصر مورد مطالعه در دوره‌های مختلف با سایر مطالعات

عناصر	پتروا و	مطالعه حاضر		
	مدت مواجهه	مدت مواجهه (روز)		
	۱۵۰	۹۰	۱۸۰	۲۷۰
آلومینیم	۱/۷۴	۲/۱۸	۳/۳۷	۴/۸۷
آرسنیک	-۰/۲۷۵	۱/۹۵	۲/۹۳	۴/۱۹
کادمیوم	-۰/۴۱	۲/۲۲	۳/۲۴	۳/۹۰
کروم	۱/۲۹	۱/۷۳	۲/۷۲	۳/۶۹
کبالت	۱/۴۰	۲/۱۳	۳/۱۸	۴/۲۶
مس	۲/۳۳	۳/۸۷	۵/۴۱	۵/۲۳
سلنیوم	اندازه‌گیری	۱/۷۲	۲/۴۶	۲/۹۳
آهن	۱/۲۰	۲/۰۳	۳/۰۵	۴/۳۰
نیکل	۱/۲۹	۲/۱۹	۳/۲۲	۳/۷۷
سرب	۱/۱۶	۲/۲۲	۳/۲۷	۴/۷۳
وانادیم	۱/۰۷	۲/۰۲	۲/۸۵	۳/۹۴
روی	۲/۹۲	۳/۲۳	۴/۸۹	۵/۳۵
مولیبدن	اندازه‌گیری	۲/۴۲	۳/۷۵	۵/۸۶

این مطالعه نشان داد که میزان غلظت آلومینیم برای تمام دوره‌های زمانی دارای بیشترین مقدار بوده است که این خود می‌تواند از دو علت ناشی شود. اول آنکه آلومینیم به لحاظ فراوانی در پوسته زمین سومین عنصر شناخته شده می‌باشد (۳۲)؛ از طرف دیگر میزان این عنصر در نمونه‌های کنترل نیز در بالاترین سطح قرار داشته است. با توجه به عدم وجود منابع قابل توجه و مشخص انتشار این عنصر در منطقه مورد مطالعه بنظر می‌رسد آلومینیم مشاهده شده دارای منشاء زمین شناسی باشد. البته تئوری دیگری نیز مطرح می باشد که گونه مورد مطالعه بطور ذاتی تمایل به جذب فعال آلومینیم داشته و غلظت اندازه‌گیری شده در نمونه ها متفاوت از موجودی جوی آلومینیم است ، مشابه جنس *Xanthoria* که بیشتر در مناطقی مشاهده می شود که موجودی ترکیبات ازته در جو از فراوانی بیشتری برخوردارهست. از سوی دیگر توجه به نرخ مواجهه – کنترل مشخص می‌نماید که میانگین نرخ مواجهه- کنترل برای آلومینیم (۳/۴۷) در محدود میانگین کلی نرخ مواجهه-کنترل (۳/۳۷) قرار دارد. این یافته تفاوت قابل ملاحظه بین آلومینیم و بسیاری از عناصر بررسی شده را در انباشت علیرغم تفاوت غلظت قابل ملاحظه را تائید نمی‌کند. همچنین کادمیوم در بین عناصر پایین‌ترین غلظت را در خلال دوره مطالعه بخود اختصاص داده است؛ این وضعیت متأثر از فراوانی پایین این عنصر در پوسته زمین (رتبه ۶۴ و متوسط فراوانی آن با توجه به منابع مختلف تولید در حدود ۰/۱۵ میکروگرم برگرم بر آورد شده) است (education.JLab.org) و از سوی دیگر بررسی نرخ مواجهه-کنترل برای کادمیوم نشان داده با توجه به وجود منابع تولید بسیار محدود آن در منطقه همچون سوزاندن باقیمانده کشاورزی که با استفاده از کود فسفات پرورش یافته‌اند و سوختن زغال و زغال سنگ که در محدوده میانگین کلی نرخ مواجهه-کنترل (۳/۱۲) قرار دارد.

یافته‌های این پژوهش یک شرایط ویژه برای عنصر مولیبدن را نشان داد. مولیبدن تنها عنصری بود که در تمام داده‌ها برای تمام دوره‌های زمانی دارای نرخ مواجهه-کنترل بزرگ‌تر از ۱/۷۵ (انباشت شدید) بوده است. همچنین

بالاترین متوسط نرخ مواجهه-کنترل درخلال دوره سوم (T_3) مطالعه (۵/۸۶) را داشته است. از سوی دیگر در خلال فصل زمستان (T_3) در سه نمونه از پانزده نمونه اندازه‌گیری شده دارای نرخ مواجهه-کنترل بسیار فراتر از بقیه عناصر بود، با توجه به جانمایی و محل استقرار نمونه‌های سه‌گانه یاد شده بدلیل وجود منابع بالقوه محلی تولید آلاینده ۱) ورودی منطقه (دانشکده) محل توقف وسایل نقلیه برای انجام عملیات کنترل خروج و ورود وثبت ساعت کارکنان،۲) در مجاورت مسیر اصلی دسترسی و تردد وسایل نقلیه به درون منطقه مطالعه (دانشکده)،۳) محوطه پارکینگ اقامتگاه‌هاومحدوده آزمایشگاه مرکزی و همچنین برخی از فعالیتهای خدماتی در نقاط یاد شده مانند آتش زدن شاخه‌های شکسته بجای مانده از پدیده‌های طبیعی (بادهای شدید و طغیان رودخانه) در خلال دوره سوم بررسی (T_3) اختلاف مشاهده شده را به خوبی توجیه می‌کند، هر چند غلظت مشاهده این فلزدر بیشترین مقدار خود برابر ۰/۷۷ میکروگرم برگرم بوده است. از آنجائیکه عمده منبع انتشار مولیبدن از طریق کودهای شیمیایی و سوختن نفت و زغال سنگ است (۵)، وجود هردو منبع انتشار آن در منطقه مطالعه و مشابهت وضعیت نرخ مواجهه-کنترل عنصر سرب برای همان سه نمونه و از طرفی بیشترین همبستگی مثبت معنی دار ($p < ۰/۰۱$) بین سرب و مولبیدن ($r=۰/۸۸۷^{**}$) تأیید می‌کند که این تغییرات در میزان نرخ مواجهه-کنترل با احتمال بیشتری در ارتباط با وسایل نقلیه می‌باشد؛ اما بغیر از دو عنصر یاد شده در بالا حداکثر میزان نرخ مواجهه-کنترل در خلال دوره T_3 مطالعه برای عناصر (آلومینیوم، وانادیوم، کروم، آهن، کبالت، نیکل، آرسنیک، سلنیوم، کادمیوم) در نقطه شماره ۲ در مجاورت مسیر ورودی ۹۵٪ از وسایل نقلیه به درون ناحیه مورد بررسی بوده است. آنچه در این بین قابل تأمل است توان مناسب *گلسنگ*‌ها در نشان دادن شدت آلودگی حتی در مقیاس کوچک و نقطه‌ای است. علیرغم نظر شوکالا و همکاران که معتقد بود که *گلسنگ*‌های برگی تجمع دهندگان بهتری در مقایسه با انواع بوته‌ای هستند (۲۵). در تمام نقاط سه‌گانه یاد شده حضور منابع آلاینده نسبت به بقیه محل‌های استقرار کاملاً مشهود است.

این مطالعه نشان داد که جنس ***Ramalina*** بدلیل توان بالا در انباشت فلزات می‌تواند بعنوان ابزاری مناسب برای پایش زیستی کیفیت هوا برای فلزات سنگین به شیوه انتقال مورد استفاده قرار گیرد، بنظر می‌رسد پایش زیستی کیفیت هوا از طریق تکنیک انتقال به همراه بهره گیری از *گلسنگ*‌های ساکن در مناطق شهری، روستایی، صنعتی و ... جایگزین مناسب و مقرون به صرفه‌ای برای روشهای اندازه گیری متکی به ابزار و ادوات گران قیمت و با تکنولوژی بالا پایش آلودگی باشد. مزیت این نوع ازاندازه‌گیری در آن است که با یک هزینه به نسبت اندک می‌توان اطلاعات ارزشمندی از شرایط حاکم بر آلودگی هوا به دست آورد تا مدیران منطقه‌ای را در تصمیم‌گیری‌ها یاری نماید.

منابع

۱. خانی. م، سخاوت جو. م.ص، خراسانی. ن، شهاب پور. گ،۱۳۹۴، بررسی تغییرات بیواندیکاتور *گلسنگ* ***Lecanora muralis*** در مواجهه با غلظت‌های مختلف آلاینده دی‌اکسیدگوگرد، علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره ۱۷، شماره ۳(مسلسل ۶۶)،۸۷-۹۵.

۲. خانی. م، واعظی. م، قنادی. ا، عبدی. ا،۱۳۹۱، پایش زیستی آلاینده‌های هوا (ازن و دی‌اکسید نیتروژن) با استفاده از *گلسنگ* ***Lecanora muralis*** ، محیط زیست طبیعی ایران، دوره ۶، شماره ۲، ۱۶۱-۱۵۳

۳. معصومی. علی اصغر و دیگران. (۱۳۸۸). مقدمه‌ای بر*گلسنگ*‌های ایران. تهران: موسسه تحقیقات‌جنگلها و مراتع کشور.

4. Abas, A., A. A., Alyub.K. (2019). Analysis of heavy metal concentration using transplanted lichen Usnea

misaminensis at kota kinabalu, sabah (Malaysia). Applied Ecology and Environmental Research, 18(1), 1175-1185.

5. Adriano, D. (2001). Trace Elements in Terrestrial Environments Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals. Springer New York
6. Basile, A., Sorbo, S., Aprile, G., Conte B, & Castaldo Cobianchi, R. (2008). Comparison of the heavy metal bioaccumulation capacity of an epiphytic moss and an epiphytic lichen. Environmental Pollution, 151(2), 401-407.
7. Contardo T, V. A. S. K., Giordani P, Loppi.S. (2020). Disentangling sources of trace element air pollution in complex urban areas by lichen biomonitoring. A case study in Milan (Italy). Chemosphere, 256.
8. Conti, M. E., & Cecchetti, G. (2001). Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment — a review. Environmental Pollution, 114(3), 471-492.
9. Conti, M. E., & Tudino, M. B. (2016). Lichens as Biomonitors of Heavy-Metal Pollution (Vol. 73): Elsevier Ltd.
10. Frati, L ,.Brunialti, G., & Loppi, S. (2005). Problems Related to Lichen Transplants to Monitor Trace Element Deposition in Repeated Surveys: A Case Study from Central Italy. Journal of Atmospheric Chemistry, 52(3), 221-230.
11. Garty ,J., Weissman, L., Cohen, Y., Karnieli, A., & Orlovsky, L. (2001). Transplanted Lichens in and around the Mount Carmel National Park and the Haifa Bay Industrial Region in Israel: Physiological and Chemical Responses. Environmental Research, 85(2), 159-176.
12. Garty, J., Tomer, S., Levin, T., & Lehr, H. (2003). Lichens as biomonitors around a coal-fired power station in Israel. 91, 186-198.
13. Garty, J., Weissman, L., Tamir, O., Beer, S., Cohen, Y., Karnieli, A., & Orlovsky, L. (2000). Comparison of five physiological parameters to assess the vitality of the lichen *Ramalina* lacera exposed to air pollution. Physiologia Plantarum, 109(4), 410-418.
14. Guidotti, M., Stella, D., Dominici, C., Blasi, G., Owczarek, M., Vitali, M., & Protano, C. (2009). Monitoring of Traffic-Related Pollution in a Province of Central Italy with Transplanted Lichen Pseudovernia furfuracea. Bull Environ Contam Toxicol, 83(6), 852-858.
15. Guttova, A., Lackovicova, A., Pisut, I., & Pisut, P. (2011). Decrease in air pollution load in urban environment of Bratislava (Slovakia) inferred from accumulation of metal elements in lichens. Environ Monit Assess, 182(1-4), 361-373.
16. Kauppi.M. (1976). Fruticose Lichen Transplant Technique for Air Pollution Experiments. Flora 165, 407-414.
17. Lindqvist, L. (1993). Individual and Interspecific Variation in Metal Concentrations in Five Species of Bumblebees (Hymenoptera: Apidae). Environmental Entomology, 22(6), 1355-1357.
18. Markert, B. F., K. (2000). *Trace Elements Their Distribution and Effects in the Environment*.
19. Mikhailova, I. (2002). Transplanted Lichens for Bioaccumulation Studies. In P. Nimis, C. Scheidegger & P. Wolseley (Eds.), Monitoring with Lichens — Monitoring Lichens (Vol. 7, pp. 301-304): Springer Netherlands.
20. Osyczka, P. R., Kaja. (2019). Ecotoxicology and Environmental Safety Integrity of lichen cell membranes as an indicator of heavy-metal pollution levels in soil. Ecotoxicol Environ Saf, 174 (October 2018), 26-34.
21. Paoli, L., Facvkovcova, (2019). Bioaccumulation of Heavy Metals and Photosynthetic Performance in Lichen Transplants Exposed Indoors and Outdoors in Public and Private Environments. plants, 8(125).
22. Petrova. S.P, Y. L. D., Velcheva. I.G. (2015). Lichen-bags as a Biomonitoring Technique in an Urban AreaApplied Ecology and Environmental Research, 13(4), 915-923.
23. Protano, C., Guidotti, M., Owczarek, M., Fantozzi, L., Blasi, G., & Vitali, M. (2014). Polycyclic aromatic hydrocarbons and metals in transplanted lichen (Pseudovernia furfuracea) at sites adjacent to a solid-waste landfill in central Italy. Arch Environ Contam Toxicol, 66(4), 471-481.
24. Seaward, M. R. D., Sipman, H. J. M., Schultz, M., Maassoumi, A. A., Haji Moniri Anbaran, M., & Sohrabi, M. (2004). A preliminary lichen checklist for Iran. Willdenowia - Annals of the Botanic Garden and Botanical Museum Berlin-Dahlem, 34(2), 543-576.
25. Shukla, V., Upreti, D. K., Patel, D. K., & Yunus, M. (2013). Lichens reveal air PAH fractionation in the Himalaya. Environmental Chemistry Letters, 11(1). 19-23.
26. Sorbo, S., Aprile, G., Strumia, S., Castaldo Cobianchi, R., Leone, A., & Basile, A. (2008). Trace element accumulation in Pseudevernia furfuracea (L.) Zopf exposed in Italy's so called Triangle of Death. Science of The Total Environment, 407(1), 647-654.
27. Spagnuolo, V., Zampella, M., Giordano, S., & Adamo, P. (2011). Cytological stress and element uptake in moss and lichen exposed in bags in urban area. Ecotoxicol Environ Saf, 74(5), 1434-1443.
28. Suvarapu, L. N., & Baek, S. O. (2017. Determination of heavy metals in the ambient atmosphere:A review. Toxicology and Industrial Health, 33(1), 79-96.
29. Szczepaniak, K. B., M. (2003). Aspects of the biomonitoring studies using mosses and lichens as indicators of metal pollution. Environmental Research, 93(3), 221-230.
30. Tretiach, M., Adamo, P., Bargagli, R., Baruffo, L., Carletti, L., Crisafulli, P., Pittao, E. (2007). Lichen and moss bags as monitoring devices in urban areas. Part I:

influence of exposure on sample vitality. Environmental Pollution, 146(2), 380-391.

31. Vingiani, S., Adamo, P., & Giordano, S. (2004). Sulphur, nitrogen and carbon content of Sphagnum capillifolium and Pseudevernia furfuracea exposed in bags in the Naples urban area. Environmental Pollution, 129(1), 145-158.

32. Yaroshevsky.A.A. (2006). Abundances of Chemical Elements in the Earth's Crust. Geochemistry International, 44(1), 48-55.

Bio-monitoring of temporal changes in the concentration of trace elements suspended in the air using lichen transplant technique.

Younes Yaghobzadeh, Abbas Esmaili–Sari*, Nader Bahramifar

Dept. of Environment, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, I.R. of Iran

Abstract

These days, the most cost-effective and accessible way to monitor air pollutants is the use of bio-monitors. Therefore, this study was conducted to biologically monitor temporal changes in the concentration of heavy metals suspended in the air using the lichen transplant technique. For this purpose, lichens of the genus *Ramalina* were applied. It was transferred from an uncontaminated area (Tirkan village, Babol city) in Hyrcanian forests to the study area near the transit road in Noor city. After three periods of three, six, and nine months of exposure, concentrations of Aluminum, Iron, Zinc, Copper, Lead, Nickel, Vanadium, Chromium, Arsenic, Selenium, Cadmium, Molybdenum, Cobalt in lichen samples (۱۵samples per period) was determined by ICP-MS device. The results showed that Aluminum and Cadmium had the highest and lowest concentrations in all periods, respectively (mean614.06and 0.18 µg / g, respectively). With increasing exposure time, the concentration of metals also increased and this increase showed a significant difference in all metals for the first and Three periods ($p < 0.05$). It was also found that due to the average exposure of control rate (3.37) which was much higher than the severe accumulation limit (1.75), the selected lichen has an acceptable ability to biologically monitor changes in heavy metal concentrations. In addition, using an exposure of control rate to evaluate the rate of change is a better alternative than the evaluation of the concentration of trace elements alone.

Keywords: Bio-monitoringTrace Elements, Lichen, Transplant technique, Air Pollution