



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی



بررسی فلزات سنگین نزولات جوی در حوضه آبخیز شهری بجنورد

حسن ایزانلو^{*}، کریم سلیمانی، کاکا شاهدی

گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

اطلاعات مقاله: چکیده

زمینه و هدف: با بررسی غلظت فلزات سنگین موجود در نزولات جوی، اطلاعات مهمی در مورد منابع آلاینده‌ها در اتمسفر فراهم می‌گردد. از این رو در این مطالعه با هدف کمک به مدیران شهری در کنترل آلودگی شهر بجنورد، اقدام به اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین سرب، روی و مس در نمونه‌های آب باران حوضه شهری بجنورد در دو فصل پاییز و بهار شد.

روش بررسی: این مطالعه به صورت توصیفی و تحلیل مقطعی انجام شد. برای اندازه‌گیری فلزات سنگین، تعداد ۲۴ نمونه آب باران تهیه گردید و با استفاده از دستگاه جذب اتمی، مقدار غلظت فلزات سنگین موجود در نمونه‌های باران اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: نتایج نشان از کلیایی بودن pH در حوضه شهری بجنورد دارد. همچنین غلظت فلزات سنگین موجود در آب باران نیز در مقایسه با استانداردهای جهانی WHO و EPA، دارای اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) و کمتر از مقدار استانداردها است. همچنین نتایج آزمون همبستگی پیرسون (Pearson correlation) حاکی از آن است که بیشترین همبستگی مثبت بین عنصر روی و مس در نمونه‌های باران پاییز و بهار به ترتیب برابر با ($r=0.733$) و ($r=0.190$) برقرار است. این همبستگی با استفاده از آنالیز خوشه‌ای به روش سلسله مراتبی مورد تایید قرار گرفت.

نتیجه‌گیری: پایین بودن مقادیر pH و از طرفی پایین بودن مقدار غلظت فلزات سنگین در مقایسه با استانداردهای جهانی، نشان از آلودگی پایین آب باران به فلزات سنگین است و خطری برای سلامتی مردم شهر وجود ندارد. غلظت عناصر سنگین در محدوده شهری حوضه‌های آبخیز شهری بیشتر از سایر سطوح حوضه بوده و بیشترین آلودگی مربوط به عنصر سرب در منطقه مسکونی و تجاری است که بیشترین ترافیک شهری در آن برقرار است. آلودگی فلزات سنگین در فصول مختلف نیز متغیر بوده و در نمونه‌های آب باران مربوط به فصل بهار بیشتر از پاییز است.

۹۶/۰۷/۲۲

تاریخ دریافت:

۹۶/۱۰/۱۱

تاریخ ویرایش:

۹۶/۱۰/۱۸

تاریخ پذیرش:

۹۶/۱۲/۱۶

تاریخ انتشار:

واژگان کلیدی: بجنورد، حوضه شهری، نزولات جوی، فلزات سنگین

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

ghhizanloo@gmail.com

مقدمه

امروزه تهیه اطلاعات تفصیلی و درک صحیح سامانه‌های آبخیز و نیز شرایط حاکم بر چرخه‌های هیدرولوژیکی از ضرورت‌های اجتناب‌ناپذیر برای مدیریت جامع و همه‌جانبه حوضه‌های آبخیز شهری محسوب می‌شود (۱). نزولات جوی یکی از مهمترین عوامل هیدرولوژیکی است. از طرفی نزولات جوی از قبیل برف و باران موثرترین راه زدایش آلاینده‌ها از اتمسفر است و به محققین در تشخیص سهم نسبی منابع مختلف آلاینده‌ها کمک فراوانی می‌کند (۲).

وجود ماشین‌آلات در شهرها، روغن‌ریزی‌ها، اصطکاک تایر اتومبیل‌ها با سطح خیابان‌ها، سطوح آسفالت و غیره (۳) و همچنین وجود معادن متروکه و فعال در اطراف شهرها، کارگاه‌های فرزکاری و تراشکاری و غیره از جمله منابع آلاینده‌های فلزات سنگین هستند (۴). این فلزات می‌تواند توسط باران در نواحی مختلف صنعتی، تجاری و مسکونی شهر، از سقف خانه‌ها، خیابان‌ها و سایر سطوح شسته شده (۳) و از طریق زهکش‌های مربوط به رواناب‌های سطحی به درون منابع آب زیرزمینی و آب شرب نفوذ کرده (۵) که در صورت تجاوز از حد مجاز می‌تواند باعث ایجاد مخاطراتی همچون مسمومیت‌ها و سرطان‌زایی و سایر بیماری‌ها در مصرف‌کنندگان شود (۶).

از مشکلات استراتژیک محیطی و انسانی شهر بجنورد می‌توان به هجوم ساخت و سازهای شهری، صنعتی، خدماتی و ارتباطی به اراضی زراعی، باغی و منابع طبیعی در طی دهه‌های ۶۰ و ۷۰ شمسی، گسترش کالبدی شهر و نابودی فیلتر زیست محیطی شهر، روند رو به تزاید بافت‌های فرسوده شهری، عدم کنترل ساخت و ساز در پیرامون شهر، گسست فضایی در کاربری‌های مسکونی، ضعف خودپالایی هوا، استقرار صنایع آلاینده و مزاحم همچون واحدهای سنگ‌شکن و آسفالت در بخش‌هایی از شهر، ازدحام ترافیک و تردد بی‌رویه وسایل نقلیه، کمبود فضای سبز شهری و نبود ابزارها و برنامه‌های مدرن مدیریت شهری اشاره داشت که منجر به بروز انواع آلودگی در نواحی مختلف شهر بجنورد شده است (۷). لذا به نظر می‌رسد با توجه به مورفولوژی کاسه مانند دشت بجنورد و نارسایی شبکه معابر و خیابان‌های

شهر و با توجه به آلاینده‌های موجود، نسبت به بررسی امکان آلوده بودن سیلاب شهری و نزولات جوی به آلاینده‌ها بالاخص مواد معلق، مواد فرار، مواد آلی، هیدروکربن‌ها و فلزات سنگین صورت گیرد.

بنابراین هدف از این تحقیق، بررسی چگونگی آلودگی رگبارها به ترکیبات خاص همچون فلزات سنگین روی، سرب و مس در فصول مختلف است که می‌تواند به مدیران شهر بجنورد در مدیریت شهری و بهینه‌سازی استراتژی‌های کنترلی آن کمک شایانی نماید.

امروزه محققین بسیاری بر روی مطالعات در زمینه آلودگی آب و نزولات جوی به فلزات سنگین تمرکز داشته‌اند (۸، ۹). Murphy و همکاران (۱۰) پایش فرایند دینامیکی ترسیب و زدایش فلزات سنگین روی، مس و سرب و مواد معلق کل، از سطوح نفوذناپذیر شهری از دیدگاه تاثیر آلاینده‌های جوی در رواناب‌های سطحی به‌عنوان تابعی از خصوصیات هواشناسی مطالعه کردند. آنها با استفاده از صفحات بتنی نفوذناپذیر در مدت ۱۱ ماه در نواحی صنعتی، مسکونی و سطوح پروازی هواپیمایی شهر کریسچاچ (Christchurch) نیوزیلند و با استفاده از مدل‌های رگرسیونی در شبیه‌سازی ترسیب آلاینده‌های جوی در رواناب‌های شهری در شرایط بارانی و خشک بیان داشتند که مقدار قابلیت ترسیب فلزات سنگین بستگی به تعداد روزهای خشک ماقبل دارد و قابلیت شستشوی فلزات سنگین مس و روی از سطوح نفوذناپذیر بستگی به مقدار بارندگی دارد درحالی‌که مقدار قابلیت شستشوی فلز سنگینی همچون سرب و مواد معلق، به شدت و مدت بارندگی بستگی دارد.

Kamani و همکاران (۲) با بررسی غلظت فلزات سنگین در نزولات جوی شهر تهران در ۵۳ نمونه نزولات با استفاده از دستگاه ICP-MS و تعیین منشاء فلزات سنگین با استفاده از روش تحلیل عاملی نشان دادند که آلاینده‌هایی نظیر آلومینیوم، آهن و کروم دارای منشأ طبیعی و آلاینده‌هایی نظیر روی، کادمیوم، نیکل، سرب و مس دارای منشأ غیرطبیعی هستند. Gallo و همکاران (۵) با کمی‌سازی تاثیر سیستم‌های زهکشی

بر مساحت آن افزوده شده است که منجر به تغییر کاربری اراضی در این محدوده و افزایش پتانسیل سیل خیزی آن شده است (۱۲).

ابنیه اصلی و مهم شهر همچون مجتمع‌های دانشگاهی و بیمارستان‌ها در بخش جنوبی شهر، عمارت مفخم و آیینه‌خانه در مرکز شهر، استادیوم ورزشی و فرودگاه بجنورد در شمال غرب محدوده شهر و همچنین شهرک‌های صنعتی در غرب شهر واقع شده‌اند. بیشترین میزان ترافیک در خیابان‌های طالقانی و امام خمینی و بلوار نیروگاه است که در جهت شرقی غربی گسترش یافته‌اند و از مرکز ثقل شهر عبور می‌کنند (۷).



شکل ۱- حوضه آبخیز شهری بجنورد

نمونه‌برداری و آنالیز آزمایشگاهی

در این مطالعه، برای ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی (۵، ۹) غلظت فلزات سنگین در بررسی کیفیت نزولات جوی، با دقت در نقشه جامع شهر و همچنین شرایط طبیعی حوضه و با بازدیدهای میدانی، محل‌های نمونه‌گیری (جدول ۱) به شکل تصادفی سیستماتیک مشخص و با دستگاه GPS ثبت گردید (۱۳). تعداد ۳ سایت نمونه‌گیری در نواحی مسکونی و تجاری مرکز شهر، مسکونی باز و بایر، و صنعتی در محدوده شهر بجنورد و ۳ سایت نمونه‌گیری در موقعیت مهم‌ترین رودخانه‌های حوضه آبخیز شهری و در بالادست شهر بجنورد به

شهری بر خصوصیات بیوشیمی و هیدروشیمی سیلاب شهری بالاخص در مناطق نیمه‌خشک شهری توکسان آریزونای آمریکا با نمونه‌برداری از نزولات سه واقعه رگباری و رواناب ۹ بازه کانالی ساخته شده از مصالح بتنی، علفی و گراولی بیان می‌کنند که غلظت آلودگی‌ها در کانال علفی به‌طور معنی‌داری دارای دامنه تغییر زیادی است و اوج غلظت آلودگی‌های بیوشیمیایی در میانه اوج سیلابی بوده درحالی‌که اوج غلظت آلودگی‌های هیدروشیمیایی بعد از اوج سیلاب است.

Mendez و همکاران (۱۱) اقدام به بررسی اثر مواد به‌کار رفته در بام ساختمان‌ها بر کیفیت آب جمع‌آوری شده ناشی از باران باریده بر سطح پشت بام‌ها در شرایط آزمایشگاهی کردند. مواد مورد بررسی شامل مواد متعارف آسفالت شینگل، گالوانیزه‌های فلزی، سفال بتنی و سقف‌سازی‌های جدید همچون سقف خنک و سقف سبز بود. پارامترهای مورد بررسی شامل فلزات سنگین آلومینیوم، آرسنیک، مس، آهن، سرب و روی بودند. توصیه به استفاده از سقف‌های فلزی، سفالی و خنک برای جمع‌آوری آب از نتایج مطالعه ذکر شده بود.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز شهری بجنورد (شکل ۱) در جنوب شهرستان بجنورد با مساحت $1238/7 \text{ km}^2$ و در داخل دشت ناودیسی بجنورد در محدوده زون کپه‌داغ در جهت شمال غرب - جنوب شرق امتداد یافته است. از مهم‌ترین رودخانه‌های این حوضه می‌توان به رودخانه فیروزه، درصوفیان و چناران اشاره داشت که عمده سیلاب‌های این حوضه از مسیر کال پسته و ملکش وارد محدوده شهری بجنورد می‌گردد (۱۲).

محدوده شهر بجنورد با مساحت $27/11 \text{ km}^2$ و با جمعیت حدود ۲۰۰ هزار نفری در نزدیکی خروجی حوضه آبخیز شهری بجنورد در موقعیت جغرافیایی $57^{\circ} 16' 46''$ تا $57^{\circ} 23' 14''$ طول شرقی و $37^{\circ} 26' 18''$ تا $37^{\circ} 29' 42''$ عرض شمالی واقع شده است. بافت شهری بجنورد در سال‌های مختلف دچار دگرگونی‌های زیادی شده و در طی مراحل توسعه ادواری خود

رگبار ۹۵/۱/۲۸ و ۹۵/۲/۳۱ مقادیر متوسط داده‌های بهار ۹۵ بدست آمد. با استفاده از نرم افزار آماری SPSS، توزیع نرمال داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) مورد بررسی قرار گرفت و داده‌های غیرنرمال به روش لگاریتم طبیعی و تبدیل سینوسی (۱۶)، نرمال شدند و در محاسبه‌های بعدی از تبدیل داده‌ها استفاده شد. در نهایت نتایج حاصله با استفاده از تجزیه و تحلیل همبستگی، برای بررسی چگونگی ارتباط فلزات با یکدیگر (۴، ۱۷) و تحلیل خوشه‌ای، برای تعیین منابع محتمل آلودگی به فلزات (۱۸)، مورد بررسی قرار گرفت. همچنین مقدار پارامترها و غلظت فلزات نمونه‌ها با حداکثر مقدار مجاز استانداردهای بین‌المللی سازمان بهداشت جهانی (WHO) و آژانس حفاظت محیط زیست (EPA) مقایسه گردید (۶).

$$\text{TDS}=0.64\text{EC} \quad (1)$$

که در آن: EC هدایت الکتریکی و TDS کل جامدات محلول است.

یافته‌ها

در جدول ۲ مقدار حداکثر مجاز پارامترهای فیزیکوشیمیایی و غلظت فلزات سنگین در استانداردهای جهانی WHO و EPA آمده است. در جدول ۳ نیز آمار توصیفی پارامترهای دمایی و فیزیکوشیمیایی pH، EC، TDS و Turbidity و همچنین آمار توصیفی غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های باران پاییز ۹۴ و بهار ۹۵ آمده است.

بحث

نتایج نشان می‌دهد که رنج تغییرات pH در فصل پاییز از ۷/۴ تا ۹/۱۱ و میانگین آن ۸/۲۲ است و بیان می‌کند که رنج pH در نمونه‌های باران این فصل، بازی است. همچنین رنج تغییرات pH در فصل بهار از ۸/۴۱ تا ۸/۹۳ و میانگین آن ۸/۶۲ است و بیان می‌کند که رنج pH در نمونه‌های باران این فصل نیز،

نام‌های رودخانه فیروزه در موقعیت روستای گریوان، رودخانه درصوفیان در موقعیت روستای پاقلعه و رودخانه چناران در موقعیت روستای نوده از رگبارهای بارشی در محل پشت بام ساختمان‌ها مشخص گردید. در نهایت، ۲۴ نمونه از آب باران در طی دو رگبار در دو فصل پاییز ۹۴ و بهار ۹۵، به روشی ساده و با استفاده از ظروف لگنی متحدالشکل (جنس پلی‌اتیلن) در ارتفاع مناسب با حداقل احتمال آلودگی، نمونه‌گیری لحظه‌ای انجام شد (۳، ۸، ۱۱).

لازم به ذکر است کلیه وسایل و ظروف نمونه‌برداری قبل از نمونه‌گیری و برای جلوگیری از آلودگی بیرونی، با اسید نیتریک ۱۰ درصد و سپس با آب مقطر شستشو شدند. نمونه‌های جمع‌آوری شده در بطری‌های پلاستیکی (PVC) ۲۰۰ mL داخل یخدان و در دمای کمتر از ۴°C، در فاصله زمانی کمتر از ۳ h به آزمایشگاه منتقل شدند. پارامترهای دمایی با استفاده از دماسنج در محل سایت‌های نمونه‌برداری و پارامترهای فیزیکوشیمیایی pH و EC (با استفاده از دستگاه مولتی‌متر) و پارامتر کدورت (Turbidity) (با استفاده از دستگاه کدورت‌سنج) در آزمایشگاه آب و فاضلاب شهری بجنورد اندازه‌گیری شده و TDS با استفاده از معادله ۱ بدست آمد. سپس نمونه‌ها با اسید نیتریک ۶۵ درصد به مقدار ۲ mL برای جلوگیری از ته‌نشینی فلزات سنگین (۱۴)، اسیدی (pH کمتر از ۲) شده و به آزمایشگاه‌های مشهد ارسال شدند. در نهایت غلظت فلزات سنگین (۱۵) سرب و روی در نزولات جوی با استفاده از دستگاه طیف‌سنجی جذب اتمی مدل SHIMADZO ساخت ژاپن به ترتیب به روش کوره گرافیت و شعله در محل آزمایشگاه آب و فاضلاب روستایی مشهد بر حسب ppb اندازه‌گیری شد و مقادیر فلز مس نیز با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل GBC ساخت استرالیا به روش کوره گرافیت در آزمایشگاه پارک علم و فن‌آوری مشهد بر حسب ppb اندازه‌گیری شد.

تحلیل‌های آماری

از میانگین داده‌های دو رگبار ۹۴/۷/۲۵ و ۹۴/۸/۹ مقادیر متوسط داده‌های پاییز ۹۴ بدست آمد و از میانگین داده‌های دو

جدول ۱- مختصات جغرافیایی (UTM) سایت‌های نمونه‌گیری باران

ایستگاه	نمونه	موقعیت نمونه‌گیری	کد نمونه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	باران پشت بام در منطقه رودخانه فیروزه	روستای گریوان	RG	۵۲۰۸۳۹	۴۱۲۸۵۲۴
۲	باران پشت بام در منطقه رودخانه درصوفیان	روستای پاقلعه	RP	۵۲۹۲۳۳	۴۱۳۸۱۳۹
۳	باران پشت بام در منطقه رودخانه چناران	روستای نوده	RN	۵۵۲۶۲۹	۴۱۳۵۳۸۶
۴	باران پشت بام در ناحیه صنعتی	خیابان هجرت	RA	۵۲۷۶۱۲	۴۱۴۷۹۳۰
۵	باران پشت بام در ناحیه مسکونی و تجاری	میدان فردوسی	RB	۵۲۸۵۲۸	۴۱۴۷۴۳۶
۶	باران پشت بام در فضای مسکونی و باز و بایر	خیابان پردیس	RC	۵۳۰۷۲۲	۴۱۴۶۵۷۵

جدول ۲- مقدار حداکثر مجاز پارامترهای فیزیکی-شیمیایی و غلظت فلزات سنگین

پارامتر	Turbidity (NTU)	TDS (mg/L)	pH	EC (μs/cm)	Cu ((μg/L)ppb)	Zn ((μg/L)ppb)	Pb ((μg/L)ppb)	حداکثر مجاز در آب
استاندارد WHO ۲۰۱۱	۵	۵۰۰	۶/۵-۸/۵	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۳۰۰۰	۱۰	
استاندارد EPA ۲۰۰۹	۵	۵۰۰	۶/۵-۸/۵	۱۰۰۰	۱۳۰۰	۵۰۰۰	۱۵	

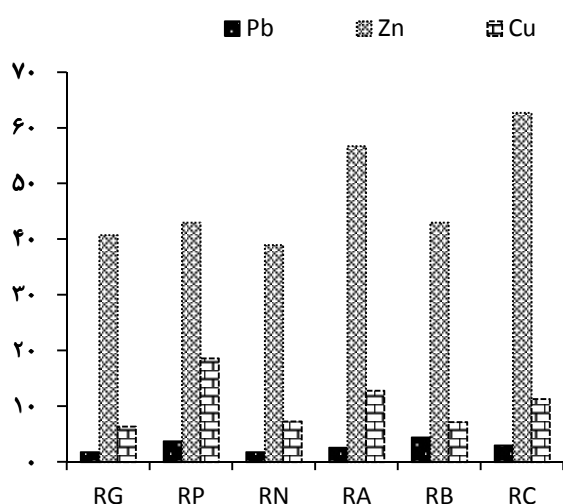
جدول ۳- آمار توصیفی پارامترهای دمایی، فیزیکی-شیمیایی و غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های باران

زمان نمونه‌گیری	پارامتر	چولگی	انحراف معیار	میانه	میانگین	حداکثر	حداقل	تعداد
پاییز ۹۴	Temp(°C)	-۰/۴۲	۱/۴۷	۸	۷/۶۷	۹/۵	۵/۵	۶
	pH	۰/۲۲	۰/۵۸	۸/۱۹	۸/۲۲	۹/۱۱	۷/۴	۶
	EC (μs/cm)	۲/۳۱	۸۶/۵۱	۳۹/۰۵	۶۸/۷۹	۲۴۳/۱۱	۱۷/۳۱	۶
	Turbidity (NTU)	۲/۴۵	۴۱۲/۹۲	۸/۹۱	۱۷۷/۱۴	۱۰۱۹/۹۵	۴/۳۹	۶
	TDS (mg/L)	۲/۳۱	۵۵/۳۷	۲۵	۴۴/۰۳	۱۵۵/۶	۱۱/۰۸	۶
	Pb (ppb)	-۰/۲۸	۰/۵۷	۲/۷۵	۲/۶۲	۳/۳۳	۱/۹۵	۶
	Zn (ppb)	۱/۲۴	۳/۷۳	۴۳/۷۵	۴۵/۰۸	۵۱/۵	۴۲	۶
	Cu (ppb)	۰/۶۴	۶/۳۱	۷/۹	۹/۷۶	۱۹	۲/۵	۶
بهار ۹۵	Temp (°C)	-۱/۸۴	۱/۴۷	۱۴/۵	۱۴/۳۳	۱۵/۵	۱۱/۵	۶
	pH	۰/۸۳	۰/۱۹	۸/۵۹	۸/۶۲	۸/۹۳	۸/۴۱	۶
	EC (μs/cm)	۱/۹۸	۷۳/۱۱	۷۲/۰۹	۸۶/۸۹	۲۲۹/۷۶	۲۴/۵۹	۶
	Turbidity (NTU)	۰/۱۰	۴/۱۱	۱۲/۲۶	۱۲/۴۶	۱۷/۴۵	۷/۹۸	۶
	TDS (mg/L)	۱/۹۸	۴۶/۷۹	۴۶/۱۴	۵۵/۶۱	۱۴۷/۰۵	۱۵/۷۴	۶
	Pb (ppb)	۰/۶۱۹	۱/۶۹	۲/۶۸	۳/۱۶	۵/۵	۱/۵۶	۶
	Zn (ppb)	۱/۳۱	۱۸/۱۹	۴۱/۷۵	۵۰	۸۱/۵	۳۴/۵	۶
	Cu (ppb)	۲/۴۵	۱۱/۴۳	۶/۷۷	۱۱/۴۷	۳۴/۸	۶/۵۷	۶

برای سرب در نواحی مسکونی و تجاری ($RB=4/41$)، برای فلز روی در نواحی فضای مسکونی باز و بایر ($RC=62/75$) و برای مس در موقعیت روستای پاقلعه ($RP=18/65$) بود (نمودار ۱). مقدار میانگین غلظت بر حسب ppb برای سرب و روی در موقعیت روستای نوده به ترتیب ($RN=1/75$) و ($RN=39/00$) و برای مس در موقعیت روستای گریوان ($RG=6/41$) بود (نمودار ۱). بیشترین مقدار سرب مربوط به روستای پاقلعه و کمترین مقدار آن مربوط به روستای نوده بود. در نهایت پس از بررسی همگنی واریانس عناصر با استفاده از آزمون لون ($Leven$) (۲۰) و همگن بودن داده‌ها برای عناصر سرب، روی و مس با انجام آزمون پارامتریک تحلیل واریانس ($ANOVA$) مشخص گردید (۲۱، ۶) که اختلاف میانگین سرب، روی و مس در نمونه‌ها ($P>0/05$) معنی‌دار نیست. از نظر زمانی مقدار میانگین غلظت فلزات سنگین در فصل بهار بیشتر از فصل پاییز است (جدول ۳).

تحلیل همبستگی

نتایج حاصل از تحلیل ضرایب همبستگی غلظت فلزات سنگین سرب، روی و مس با استفاده از روش پیرسون ($Pearson$) در جدول ۵ در نمونه‌های باران پاییز ۹۴ و بهار ۹۵ آمده است. همبستگی بالا به معنی ورود مشترک آلاینده از یک



نمودار ۱- میانگین غلظت فلزات سنگین حاصل از ۴ رگبار بر حسب ppb در ایستگاه‌های اندازه‌گیری

بازی است. pH بازی بیانگر آن است که آلودگی نزولات جوی بجنورد، کمتر تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی است. نتایج مذکور متفاوت از نتایج Kamani و همکاران (۲) در خصوص شهر تهران است که pH اسیدی در نمونه‌های باران داشتند. این در حالی است که در مطالعات Wetangula و همکار (۱۹)، بیش از ۲۴ درصد نمونه‌های آب باران دارای pH بازی بودند.

همچنین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در مقایسه با استانداردهای جهانی WHO و EPA (جدول ۲) با استفاده از آزمون تی تست (One sample T test) مورد مقایسه قرار گرفته است (۹، ۶) و نتایج آن در جدول ۴ آمده است. نتایج مقایسه با استانداردهای جهانی (جدول ۴) نشان می‌دهد که پارامترهای EC در فصل پاییز با مقدار میانگین ۶۸/۷۹ (جدول ۳) و Turbidity در فصل بهار با مقدار میانگین ۱۲/۴۶ (جدول ۳) در مقایسه با استانداردهای جهانی WHO و EPA دارای اختلاف معنی‌داری است ($P<0/05$) و نشان از پایین بودن مقدار میانگین EC و بالا بودن مقدار میانگین Turbidity در مقایسه با استانداردهای جهانی است. نتایج در خصوص TDS نشان از عدم وجود اختلاف معنی‌داری ($P>0/05$) در هر دو فصل پاییز و بهار دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که غلظت عناصر سنگین سرب، روی و مس موجود در آب باران نیز در هر دو فصل پاییز و بهار در مقایسه با استانداردهای جهانی دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0/05$) و کمتر از مقدار استانداردها است. نتایج اخیر با نتایج تحقیق Wetangula و همکار (۱۹) در خصوص نمونه‌های آب باران همخوانی دارد. نتایج این مطالعه در مورد سرب با تحقیق Alidadi و همکاران (۶) در خصوص آب آشامیدنی مشهد همخوانی ندارد و مقدار غلظت سرب بیشتر از حد استاندارد بوده است و دلیل آن فرسودگی لوله‌های انتقال آب بیان شده است. از طرفی مقادیر کمتر از حد استاندارد فلزات سنگین آب باران در این مطالعه با بالا بودن pH، نشان از ارتباط معکوس این دو پارامتر است. این رابطه معکوس در نتایج Alidadi و همکاران (۶)، Fakhri و همکاران (۱۴)، Kamani و همکاران (۲) آمده است. مقدار میانگین غلظت بر حسب ppb

جدول ۴- مقایسه پارامترها و غلظت عناصر با استانداردهای جهانی WHO و EPA با استفاده از آزمون One sample T test

استاندارد								پارامتر/عناصر	زمان نمونه برداری
EPA				WHO					
آماره t	df	سطح معنی داری	اختلاف میانگین	آماره t	df	سطح معنی داری	اختلاف میانگین		
-۸/۰۸۴	۵	۰/۰۰۰	-۳/۱۳۱۹۶	-۸/۰۸۴	۵	۰/۰۰۰	-۳/۱۳۱۹۶	(µs/cm) EC	پاییز ۹۴
-۱/۳۱۲	۵	۰/۲۴۷	-۰/۴۱۹۸۲	-۱/۳۱۲	۵	۰/۲۴۷	-۰/۴۱۹۸۲	(NTU)Turbidity	
-۲/۹۱۳	۵	۰/۳۳	-۰/۹۵۷۳۷	-۲/۹۱۳	۵	۰/۳۳	-۰/۹۵۷۳۷	(mg/L)TDS	
-۵۳/۵۰۰	۵	۰/۰۰۰	-۱۲/۳۸۱۶۷	-۳۱/۸۹	۵	۰/۰۰۰	-۷/۳۸۱۶۷	(ppb)Pb	
-۳۲۵۰/۵	۵	۰/۰۰۰	-۴۹۵۴/۹۲	-۱۹۳۸/۴	۵	۰/۰۰۰	-۲۹۵۴/۹۲	(ppb)Zn	
-۵۰۰/۸۹	۵	۰/۰۰۰	-۱۲۹۰/۲۴۲	-۷۷۲/۶۵	۵	۰/۰۰۰	-۱۹۹۰/۲۴	(ppb)Cu	
۲/۳۹۰	۵	۰/۰۶۲	۰/۵۶۰۴۱	۲/۳۹۰	۵	۰/۰۶۲	۰/۵۶۰۴۱	(µs/cm) EC	بهار ۹۵
۴/۴۵۰	۵	۰/۰۰۷	۷/۴۵۸۳۳	۴/۴۵۰	۵	۰/۰۰۷	۷/۴۵۸۳۳	(NTU)Turbidity	
-۰/۱۷۵	۵	۰/۸۶۸	-۰/۰۲۴۷۱	-۰/۱۷۵	۵	۰/۸۶۸	-۰/۰۲۴۷۱	(mg/L)TDS	
-۱۷/۱۹۷	۵	۰/۰۰۰	-۱۱/۸۴۲۵۰	-۹/۹۳۷	۵	۰/۰۰۰	-۶/۸۴۲۵۰	(ppb)Pb	
-۶۶۶/۴۵	۵	۰/۰۰۰	-۴۹۵۰/۰۰	-۳۹۷/۱۷۷	۵	۰/۰۰۰	-۲۹۵۰/۰۰	(ppb)Zn	
۶/۸۳۸	۵	۰/۰۰۱	۱/۰۰۱۵۵	۴/۷۸۳	۵	۰/۰۰۵	۰/۷۰۰۵۵	(ppb)Cu	

جدول ۵- ضریب همبستگی پیرسون (Pearson) غلظت

فلزات سنگین (ppb)

عناصر	فصل		
	Pb	Zn	Cu
Pb	۱		
Zn	۰/۵۹۵	۱	
Cu	۰/۴۲۳	۰/۷۳۳	۱
Pb	۱		
Zn	-۰/۰۶۷	۱	
Cu	-۰/۶۴۸	۰/۱۹۰	۱

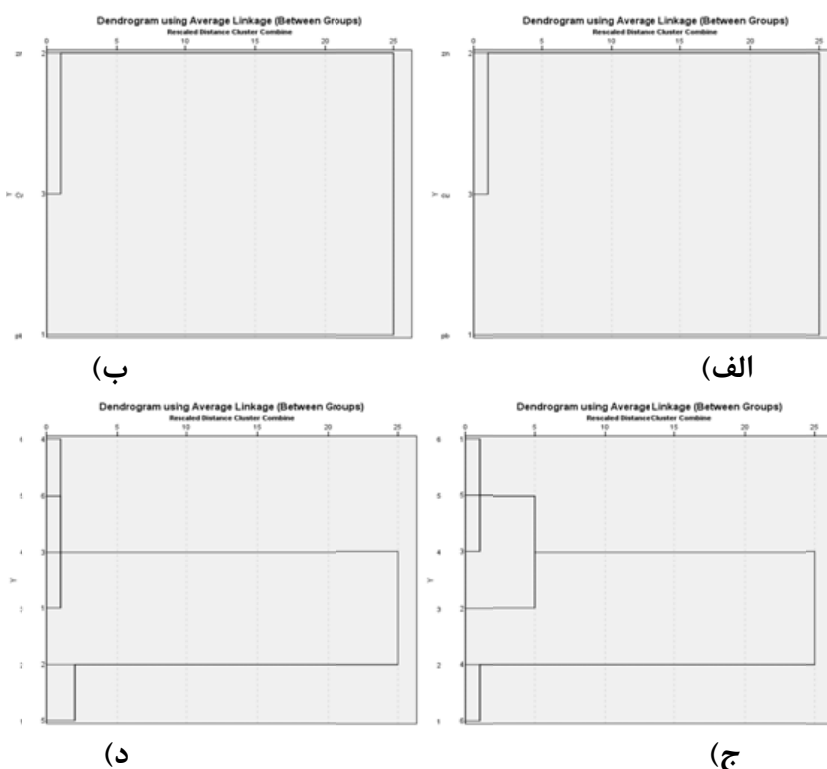
تحلیل خوشه‌ای

تجزیه و تحلیل خوشه‌ای یکی از مهمترین روش‌ها جهت طبقه‌بندی منابع آلودگی فلزات سنگین است (۱۸). در این تحقیق، از آنالیز خوشه‌ای به روش سلسله مراتبی استفاده شد (۲۲). دندروگرام آنالیز خوشه‌ای غلظت فلزات سنگین نشان

منبع مشترک، وابستگی متقابل و رفتار یکسان در طول حمل و نقل است. مقادیر نزدیک به صفر بیانگر عدم ارتباط بین دو متغیر است و مقادیر منفی نشان دهنده ارتباط معکوس بین آنها است. نتایج حاکی از آن است که بیشترین همبستگی مثبت بین عنصر روی و مس ($r=0/733$)، همبستگی مثبت سرب و روی ($r=0/595$) و سرب و مس ($r=0/423$) در نمونه‌های باران پاییز ۹۴ وجود دارد و نشان از منبع مشترک آلودگی است؛ این در حالی است که در فصل بهار ۹۵، همبستگی مثبت بین عنصر روی و مس ($r=0/190$) برقرار است و همبستگی منفی بین عنصر سرب و مس ($r=-0/648$) و سرب و روی ($r=-0/067$) برقرار است و نشان از رابطه معکوس عناصر در این فصل است. رابطه منفی بین عنصر سرب و روی در تحقیق Wetangula و همکار (۱۹) نیز در ردیابی فلزات آب باران در منطقه (Menengai) از کشور کنیا با استفاده از روش پیرسون (Pearson) با همبستگی ($r=-0/25$) وجود داشت.

است که دندروگرام فصل پاییز از دو شاخه اصلی تشکیل شده است و سایت‌های نمونه‌گیری ۴ و ۶ در یک شاخه قرار گرفته است و سایت‌های نمونه‌گیری ۱، ۲، ۳ و ۵ در شاخه مجزای دیگری است (نمودار ۲-ج). از طرفی نتایج نشان می‌دهد که دندروگرام فصل بهار نیز از دو شاخه تشکیل شده است و سایت‌های نمونه‌گیری ۲ و ۵ در یک شاخه بوده و سایر سایت‌ها شامل ۱، ۳، ۴ و ۶ در شاخه دیگر قرار دارند (نمودار ۲-د). لذا می‌توان بیان کرد که ایستگاه‌هایی که در یک شاخه قرار گرفته‌اند دارای عملکرد مشابه بوده‌اند. سایت‌های ۱ تا ۶ بیانگر ایستگاه‌های اندازه‌گیری با کدهای RB, RA, RN, RP, RG و RC هستند. در خصوص وجود یک استثنا از آلودگی بالای نمونه‌های باران در نواحی خارج از محدوده شهری و در موقعیت روستای پاقلعه (RP) به فلزات سنگین، به‌ویژه آلودگی به مس به نظر می‌رسد با توجه به اینکه روستای پاقلعه در فاصله کمی

می‌دهد که در فصل پاییز ۹۴، عناصر روی و مس دارای رابطه مثبتی هستند (نمودار ۲-الف). همچنین در فصل بهار ۹۵ نیز، عناصر روی و مس دارای رابطه مثبتی هستند (نمودار ۲-ب). لازم به ذکر است نتایج تحلیل خوشه‌ای با نتایج ضریب همبستگی پیرسون (Pearson) مطابقت دارد و نشان می‌دهد که عناصر دارای رابطه نزدیکتر، دارای عوامل کنترلی یکسانی هستند و منابع محتمل آلودگی مشترکی دارند. این در حالی است که در مطالعات Kamani و همکاران (۲) به‌منظور بررسی منابع محتمل آلودگی فلزات سنگین با استفاده از روش تحلیل عاملی (FA) به این نتیجه رسیدند که فلزات سرب، روی و مس در یک مولفه قرار گرفته و منشأ آلودگی انسانی و غیر طبیعی دارند. همچنین آنالیز خوشه‌ای سلسله‌مراتبی انجام شده برای ایستگاه‌های اندازه‌گیری مورد اشاره در جدول ۱، حاکی از آن



نمودار ۲- دندروگرام آنالیز خوشه‌ای غلظت فلزات در نمونه‌های باران فصل پاییز (الف) و فصل بهار (ب) و آنالیز خوشه‌ای ایستگاه‌های اندازه‌گیری مربوط به غلظت فلزات نمونه‌های باران فصل پاییز (ج) و فصل بهار (د)

سرب در منطقه مسکونی و تجاری RB است که بیشترین ترافیک شهری در آن برقرار بوده و احتمالاً بیشترین تولید سرب ناشی از تردد بالای اتومبیل‌ها در این منطقه است. آلودگی فلزات سنگین در فصول مختلف نیز متغیر بوده و در نمونه‌های باران مربوط به فصل بهار بیشتر از پاییز است. این مسئله ممکن است ناشی از وجود سفرهای نوروزی و بهاری در مقایسه با فصل پاییز باشد که تردد بالای خودروها در مسیر استان‌های شمالی به مشهد مقدس و بالعکس که از داخل محدوده شهر بجنورد عبور می‌کنند، در فصل بهار بیشتر است.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از پایان‌نامه با عنوان "تغییرات کیفیت رواناب و مقدار فلزات سنگین در حوضه شهری بجنورد" در مقطع دکتری در سال ۱۳۹۶ است که با حمایت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شده است. بدینوسیله از زحمات و حمایت مسئولین و کارشناسان آزمایشگاه‌های آبفای شهری بجنورد، آبفای روستایی و پارک علم و فن آوری مشهد که در مراحل این مطالعه ما را یاری کردند تقدیر و تشکر می‌شود.

منابع

1. Kiani Harchegani M, Sadeghi SHR. Comparative analysis of heavy metals Pollutant in urban and natural watersheds. Proceedings of the 7th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering; 2011 Apr 28; Isfahan, Iran (in Persian).
2. Kamani H, Hoseini M, Safari G, Mahvi A, Zarei H. Factors affecting the concentrations of heavy metals in precipitation of Tehran using factor analysis

از شهر و در شرق محدوده شهری قرار گرفته است و جهت وزش باد نیز از غرب به شرق است؛ لذا آلودگی آن، متأثر از آلودگی هوای محدوده شهری بجنورد است. این امر با توجه به تحلیل خوشه‌ای انجام گرفته (نمودار ۲) مورد تایید قرار می‌گیرد که سایت ۲ (روستای پاقلعه) در کنار سایت ۵ (میدان فردوسی در منطقه مسکونی و تجاری) در یک شاخه قرار گرفته است و دارای عملکرد مشابهی است.

نتیجه‌گیری

رنج تغییرات اسیدیته در نمونه‌های آب باران حوضه شهری بجنورد در هر دو فصل پاییز و بهار نشان از pH بازی است و از طرفی پایین بودن مقدار غلظت فلزات سنگین در مقایسه با استانداردهای جهانی WHO و EPA، نشان از آلودگی پایین آب باران به فلزات سنگین است و خطری برای سلامتی مردم شهر بجنورد وجود ندارد.

مقادیر فلزات سنگین در محدوده شهری و در ایستگاه‌های RA، RB و RC بیشتر از سایر سطوح حوضه (ایستگاه‌های RG، RP و RN) بوده و روند رو به کاهش مقدار غلظت فلزات از فرایند $Zn > Cu > Pb$ پیروی می‌کند. بیشترین آلودگی به

- method. Iranian Journal of Health and Environment. 2016;8(4):401-10 (in Persian).
3. Brown JN, Peake BM. Sources of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban storm water runoff. Science of the Total Environment. 2006;359(1-3):145-55.
 4. Navarro M, Pérez-Sirvent C, Martínez-Sánchez M, Vidal J, Tovar P, Bech J. Abandoned mine sites as a source of contamination by heavy metals: A case

- study in a semi-arid zone. *Journal of Geochemical Exploration*. 2008;96(2-3):183-93.
5. Gallo EL, Lohse KA, Brooks PD, McIntosh JC, Meixner T, McLain JE. Quantifying the effects of stream channels on storm water quality in a semi-arid urban environment. *Journal of Hydrology*. 2012;470:98-110.
 6. Alidadi H, Peiravi R, Dehghan AA, Vahedian M, Moalemzade Haghghi H, Amini A. Survey of heavy metals concentration in Mashhad drinking water in 2011. *Razi Journal of Medical Sciences*. 2014;20(116):27-34 (in Persian).
 7. Kazemian GR, Mirmiran H, Isaaci J, saghafi M. Comprehensive development plan of Bojnourd City. Tehran: Naghsh e Jahan-Pars Consultants; 2010 Apr (in Persian).
 8. Soller J, Stephenson J, Olivieri K, Downing J, Olivieri AW. Evaluation of seasonal scale first flush pollutant loading and implications for urban runoff management. *Journal of Environmental Management*. 2005;76(4):309-18.
 9. Salem ZB, Capelli N, Laffray X, Elise G, Ayadi H, Aleya L. Seasonal variation of heavy metals in water, sediment and roach tissues in a landfill draining system pond (Etueffont, France). *Ecological Engineering*. 2014;69:25-37.
 10. Murphy LU, Cochrane TA, O'Sullivan A. Build-up and wash-off dynamics of atmospherically derived Cu, Pb, Zn and TSS in storm water runoff as a function of meteorological characteristics. *Science of the Total Environment*. 2015;508:206-13.
 11. Mendez CB, Klenzendorf JB, Afshar BR, Simmons MT, Barrett ME, Kinney KA, et al. The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. *Water Research*. 2011;45(5):2049-59.
 12. Izanloo H, Solaimani K. Investigating the impact of urban periodic development on urban flood generation capacity (Case study: Bojnourd City of North Khorasan Province). *Proceedings of the 1st National Conference on the Role of Urban Planning and Design on Urban Flood*; 2014 Sep 11; Amol, Iran (in Persian).
 13. Biasioli M, Barberis R, Ajmone-Marsan F. The influence of a large city on some soil properties and metals content. *Science of the Total Environment*. 2006;356(1-3):154-64.
 14. Fakhri S, Asghari Moghadam A, Barzegar R, Kazemian N, Najib M. Investigating the origin of some heavy metals in groundwater of Marand Plain using multivariate statistical methods. *Water and Soil Science*. 2015;26(2/2):237-53 (in Persian).
 15. Franz C, Makeshin F, Weiß H, Lorz C. Sediments in urban river basins: Identification of sediment sources within the Lago Paranoá catchment, Brasilia DF, Brazil—using the fingerprint approach. *Science of the Total Environment*. 2014;466:513-23.
 16. Nazeri Tahrudi M, Khalili K, Abbaszade Afshar M, Nazeri Tahrudi Z. Compared to The normal mechanism becomes the normal monthly rainfall data from different regions of Iran. *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology)*. 2014;28(2):365-72 (in Persian).
 17. Sabouhi M, Nejadkoorki F, Azimzadeh H, Taleshi A. Heavy metal pollution in the floor dust of Yazd Battery Repairing workshops in 2014. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2016;9(1):127-38 (in Persian).
 18. Micó C, Recatalá L, Peris M, Sánchez J. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere*. 2006;65(5):863-72.
 19. Wetangula GN, Wamalwa HM. Trace elements in rainfall collected around Menengai Area Kenya. *Proceedings of World Geothermal Congress*; 2015 Apr 19-25; Melbourne, Australia.
 20. Sobhani Lari S. Parametric and nonparametric statistical trends of variance analysis in urban studies (Case Study of Lar City). *Journal of Geography and Environmental Studies*. 2009;1(1):70-112 (in Persian).
 21. Mirzaei M, solgi E. Evaluation of heavy metals concentration (cadmium, copper, manganese, nickel, lead and zinc) in sediments of Zayandeh-

- rood River. Journal of Research in Environmental Health. 2016;1(4):251-65 (in Persian).
22. Rastmanesh F, Zarasvandi AR, Moslem M. Evaluation of heavy metal pollution in surface sediments of Karun River in Ahvaz City. Journal of Advanced Applied Geology. 2015;17:11-22 (in Persian).



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



Assessment of rainfall heavy metals in the Bojnourd urban watershed

H Izanloo*, K Solaimani, K Shahedi

Watershed Group, Department of Natural Resources, University of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 14 October 2017
Revised: 1 January 2018
Accepted: 8 January 2018
Published: 7 March 2018

Key words: Bojnourd, Urban watershed, Rainfall, Heavy metals

*Corresponding Author:

hghizanloo@gmail.com

ABSTRACT

Background and Objective: Important information can be obtained about the sources of pollutants in the atmosphere by studying the concentration of heavy metals in atmospheric precipitation.. Therefore, in this study concentrations of Pb, Zn and Cu were measured in samples of urban watershed of Bojnourd in autumn and spring seasons to help urban managers to control pollution in Bojnourd area.

Materials and Methods: This study was a descriptive and cross-sectional research. 24 samples of rain water were collected to measure heavy metals. The amount of heavy metals in the samples was measured using atomic absorption.

Results: Results showed that the pH was alkali in the Bojnourd urban watershed. Concentrations of Pb, Zn and Cu in rainwater in both autumn and spring were compared to international standards of WHO and EPA. The difference was significant ($P < 0.05$) and was less than the standards values. Also, the results of the Pearson correlation test showed that the highest positive correlation was between zinc ($r = 0.733$) and copper ($r = 0.190$) in the samples of autumn and spring. This correlation was approved using hierarchical cluster analysis method.

Conclusion: The low levels of pH and low concentrations of heavy metals in comparison with global standards indicated low rainwater pollution to heavy metals. Thus, there is no a health threat to the people of the city. The concentration of heavy metals in the metropolitan area of urban watersheds had been higher than other basin levels and the most dominant contaminant was lead in the residential and commercial areas with the highest urban traffic. The pollution to heavy metals varied in different seasons and the value was higher in spring rainwater samples than the autumn ones.