

# تجزیه و تحلیل ویژگی‌های ژئوشیمیایی رسوبات غبار ریزشی شهر سبزوار با استفاده از تله رسوب‌گیر MDCO

آرش امینی<sup>(۱)</sup> و بهنام شفیعی بافتی<sup>۲</sup>

۱. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان

۲. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۳

## چکیده

گرد و غبار یکی از پدیده‌های جوی است و آثار و پیامدهای زیست‌محیطی نامطلوبی برجای می‌گذارد. برای بررسی غبار ریزشی شهر سبزوار، در سال ۱۳۹۰ و در انتهای چهار فصل، نمونه‌ها در ایستگاه‌های شانزده‌گانه‌ی منتخب در پشت‌بام منازل مسکونی یا ساختمان‌های اداری و بر مبنای جهت‌های جغرافیایی اصلی و فرعی جمع‌آوری شده و با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن شدند. اکسیدهای اصلی و عناصر فرعی ریزگردها با استفاده از روش جذب اتمی و طیف‌سنجی پلاسمای جفت شده القایی برای مطالعات ژئوشیمیایی با توجه به حجم غبار جمع شده و اهمیت نمونه‌ها، مشخص و اندازه‌گیری شدند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که بیشترین حجم غبار ریزشی در سبزوار مربوط به فصل بهار است در حالی که غلظت و تراکم اغلب عناصر آلاینده در فصل پاییز بیشتر است. از نظر آلودگی، عناصر کادمیوم و روی با قرار گرفتن در پهنه آلودگی شدید و ضریب آلودگی بسیار بالا و قابل توجه در غبار ریزشی شهر سبزوار، در درجه اول اهمیت قرار دارند. عناصر کروم و نیکل با قرار گرفتن در پهنه آلودگی متوسط و ضریب آلودگی قابل توجه در درجه بعدی اهمیت هستند. در شرایط فعلی، آلودگی عناصر آلاینده مانند مس، سرب و آرسنیک در ریزگردهای شهر سبزوار بحرانی و نگران‌کننده نیست.

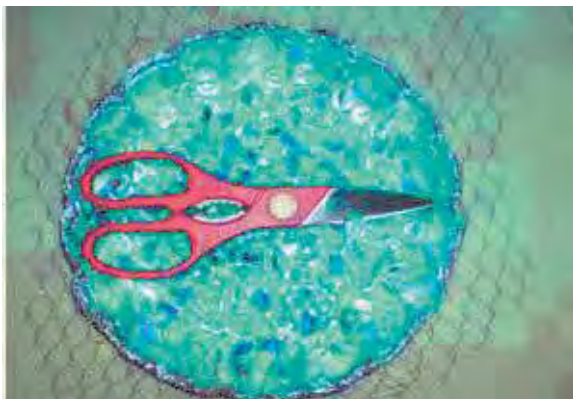
**واژه‌های کلیدی:** آلودگی عناصر سنگین، رسوب‌گیر تیل‌های، ژئوشیمی، سبزوار، غبار ریزشی.

## مقدمه

توسط عظیم‌زاده و همکاران (۱۳۸۹) در شهر یزد ارائه شد و بعد از آن نتایج استفاده از رسوب‌گیر تیل‌های حداقل در هفت شهر مختلف ایران از جمله بهبهان توسط اکبری و همکاران (۱۳۹۱)، در شهر ایلام توسط صدریان و همکاران (۱۳۹۲)، در شهر کرمان توسط جعفری و خادمی (۱۳۹۳)، در شهر اهواز توسط کریمیان و همکاران (۱۳۹۵)، در شهر قم توسط ترنج زو و همکاران (۱۳۹۶) و در شهر تهران توسط ارسلانی

برای اندازه‌گیری غبار ریزشی استفاده از رسوب‌گیر تیل‌های (MDCO) از سال ۱۹۷۵ میلادی در دنیا و از سال ۲۰۱۰ میلادی در ایران در دستور کار قرار دارد. استفاده از این رسوب‌گیر برای جمع‌آوری غبار ریزشی به عوامل مختلفی نظیر اندازه و شکل تیل‌ها، سرعت باد و اندازه ذرات وابسته است (Gossen and Offer, 2000). برای اولین بار در ایران نتایج استفاده از رسوب‌گیر تیل‌های

انجام گرفت.



شکل ۱. آماده‌سازی رسوب‌گیر تیل‌ای برای نمونه‌برداری از غبار ریزشی



شکل ۲. غبار ریزشی جمع شده در پایان یک دوره نمونه‌برداری پس از تخلیه تیل‌ها از ظروف پلاستیکی

۲. در مرحله دوم نصب رسوب‌گیر تیل‌ای در ۱۶ نقطه از شهر سبزوار بر مبنای شاخص‌ها و استانداردهای مورد نظر انجام گرفت. توضیح اینکه آرایش ایستگاه‌ها در یک حلقه داخلی و خارجی فرضی براساس هشت جهت جغرافیایی اصلی توجه شد (شکل ۳).

در انتخاب ایستگاه‌ها علاوه بر جهت‌های جغرافیایی، مکان‌های دولتی و غیردولتی مطمئن که کمترین احتمال جابجایی رسوب‌گیر را در طی دوره نمونه‌برداری داشتند، انتخاب شد.

۳. اندازه‌گیری اکسیدهای اصلی، عناصر فرعی ریزگردها با استفاده از روش جذب اتمی و طیف‌سنجی پلاسمای جفت‌شده القایی ۱ در آزمایشگاه‌های شرکت ملی مس و زرآما

۴. تعیین میزان آستانه بیماری‌زایی گرد و غبار با توجه

و همکاران (۱۳۹۹) مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. در این تحلیل‌ها تمرکز اصلی تحقیقات بیشتر بر حجم گرد و غبار ریزشی جمع‌آوری شده در دوره‌های زمانی مختلف و مکان‌های مختلف در شهرهای منتخب می‌باشد و کمتر به خصوصیات ژئوشیمیایی ۲ تاثیر عناصر آلاینده در گرد ۲ غبار پرداخته شده است.

شهر سبزوار از سالیان دور در معرض گرد و غبار است. ایستگاه حارث‌آباد در هشت کیلومتری جنوب شهر سبزوار به‌عنوان یکی از اولین ایستگاه‌های تحقیقات جنگلی و تثبیت شن‌های روان کشور در دهه ۱۳۴۰ برای مدیریت و کنترل گرد و غبار احداث و بهره‌برداری شد. بررسی باد حاصل از تحلیل گلبادهای ایستگاه سینوپتیک سبزوار (امینی، ۱۳۹۴) نشان می‌دهد در یک دوره طولانی آماري بادهای شرقی و شمال شرقی در تمام چهار فصل بیشترین فراوانی را داشته و در تابستان و بهار سال ۱۳۹۰ که طرح در آن انجام شده بادهای با جهت ۸۰ تا ۹۰ درجه بیشترین تعداد روزهای باد غالب را تشکیل می‌دهند درحالی‌که در پاییز و زمستان از تعداد روزهای بادهای غالب کاسته شده است.

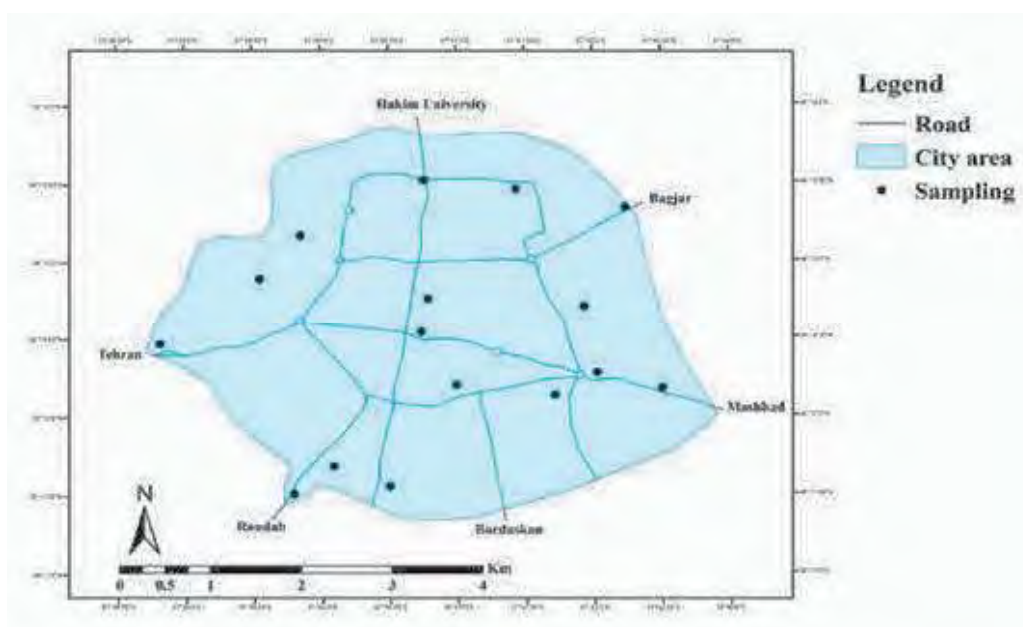
هدف از این تحقیق تعیین حجم غبار ریزشی شهر سبزوار در فصول مختلف و تشخیص آلودگی عناصر مختلف آلاینده موجود در غبار ریزشی و تعیین گستره و ضریب آلودگی این عناصر می‌باشد.

## روش مطالعه

برای بررسی کمی ۲ کیفی غبار ریزشی شهر سبزوار، مراحل انجام کار در بخش‌های مجزا به شرح زیر می‌باشند:

۱. در مرحله اول برای آماده‌سازی نمونه‌گیر از یک ظرف پلاستیکی استفاده شد و روی آن یک روکش آلومینیومی کشیده شد، بر روی روکش آلومینیومی دو ردیف تیله قرار گرفت و در روی تیله‌ها یک توری سیمی (فنس مرغی) برای محافظت تیله‌ها از عملکرد مخرب احتمالی پرندگان یا گربه‌ها تعبیه گرفته شد (شکل ۱). در مرحله بعد، جمع‌آوری نمونه‌ها (شکل ۲) و وزن کردن غبار بارشی به مدت یک سال و در پایان هر فصل (۳۱ خرداد و شهریور و ۳۰ آذر و اسفند) با ترازوی دقت ۰/۰۰۱ گرم

1. (Inductively Coupled Plasma) ICP



شکل ۳. آرایش ایستگاه‌های شانزده‌گانه در شهر سبزوار

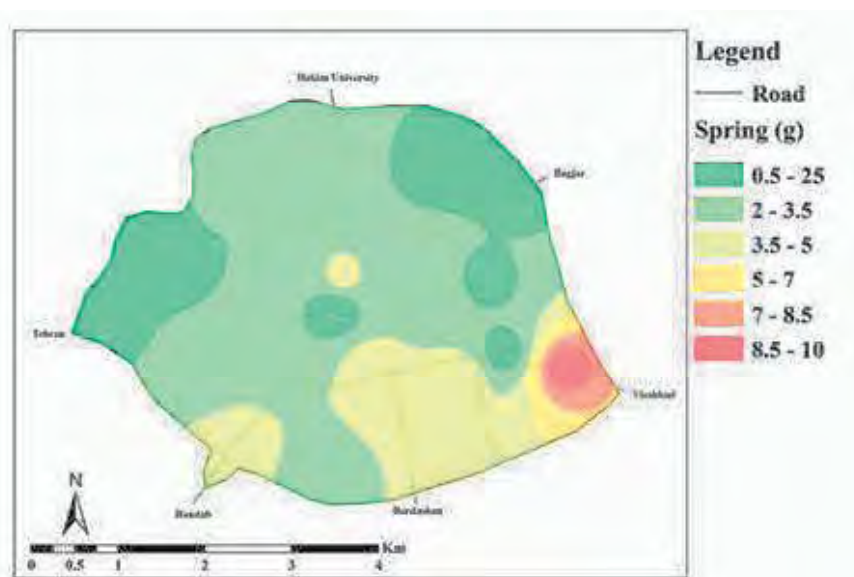
**توزیع مکانی ریزگردها**  
 توزیع مکانی ریزگردها در فصول مختلف با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS انجام گرفت و مشخص شد تراکم ریزگردها در تمامی فصول در بخش جنوب‌شرقی شهر سبزوار (خیابان جهاد کشاورزی) بیشتر است (شکل‌های ۴ تا ۷). الگوهای توزیع بهار و تابستان بسیار شبیه یکدیگر هستند، با این تفاوت که میزان غبار ریزشی در بهار نسبت به تابستان بیشتر می‌باشد.

به حجم و ترکیب عناصر مضر موجود در ریزگردهای شهر سبزوار و تعیین گستره و ضریب آلودگی و شناسایی مناطق بحرانی

۵. ترسیم نقشه‌های مورد نیاز و جمع‌بندی نهایی

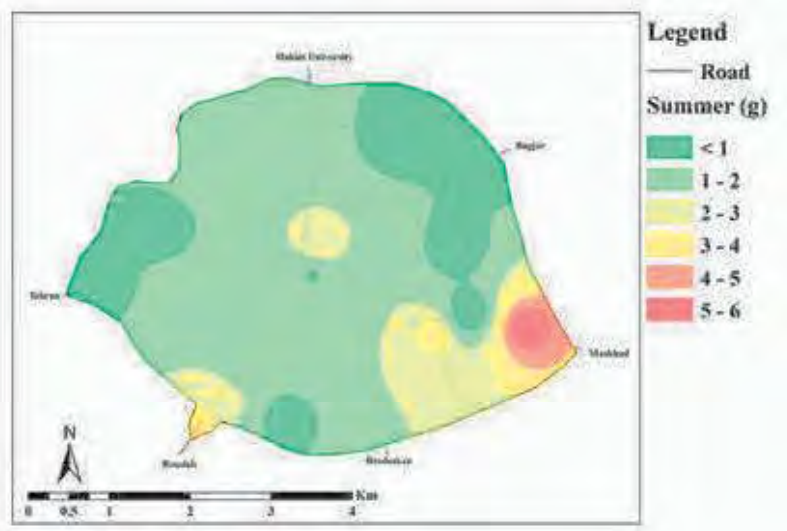
### بحث

پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم نقشه‌های مورد نیاز نتایج مشخص زیر به دست آمد:

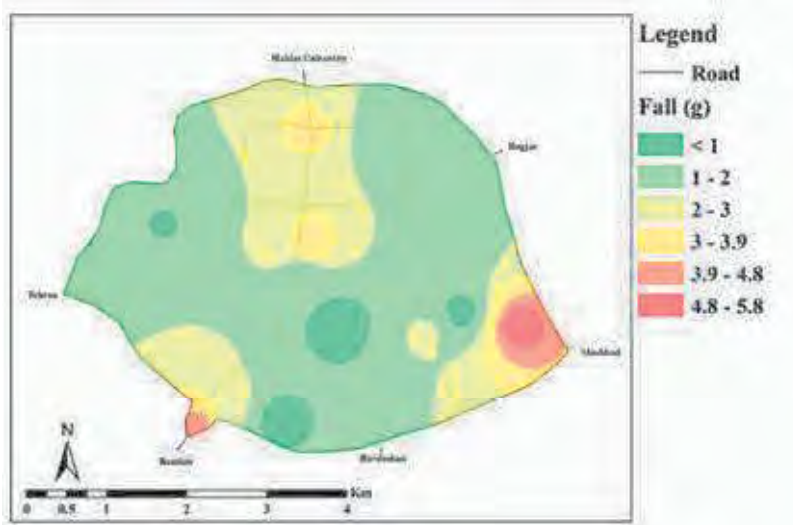


شکل ۴. تجمع و پراکنش ریزگردها در فصل بهار سال ۱۳۹۰

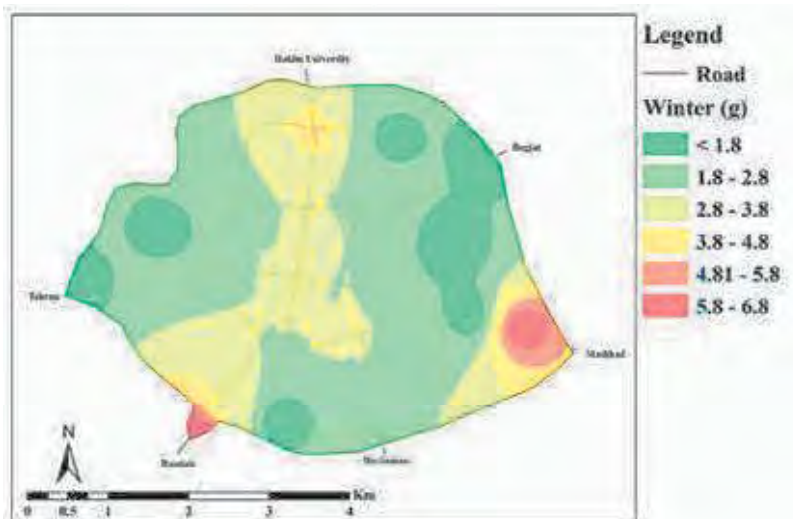
تجزیه و تحلیل ویژگی‌های ژئوشیمیایی رسوبات غبار ریزشی شهر سبزوار...



شکل ۵. تجمع و پراکنش ریزگردها در فصل تابستان سال ۱۳۹۰



شکل ۶. تجمع و پراکنش ریزگردها در فصل پاییز سال ۱۳۹۰



شکل ۷. تجمع و پراکنش ریزگردها در فصل زمستان سال ۱۳۹۰

درصد تا ۱۰/۱۰ درصد با میانگین ۷/۶۳ درصد، میزان CaO از ۱۰/۸۲ درصد تا ۱۴/۹۷ درصد با میانگین ۱۲/۵۹ درصد، میزان  $TiO_2$  از ۰/۳۸ درصد تا ۰/۸۸ درصد با میانگین ۰/۷۱ درصد، میزان  $P_2O_5$  از ۰/۱۷ درصد تا ۰/۲۹ درصد با میانگین ۰/۲۲ درصد، میزان MgO از ۶/۳۳ درصد تا ۸/۷۴ درصد با میانگین ۷/۸۲ درصد و میزان  $K_2O$  از ۱/۷۷ درصد تا درصد با میانگین ۱/۵۷ درصد در نوسان می‌باشند.

**توزیع اکسیدهای اصلی در ریزگردهای شهری سبزوار**  
برای بررسی ژئوشیمیایی ریزگردهای شهر سبزوار، تعداد ۱۳ نمونه از اکسیدهای اصلی در ایستگاه‌های منتخب مورد آنالیز قرار گرفتند (جدول ۱). نتایج به دست آمده نشان دادند که میزان  $SiO_2$  از ۴۴/۵۴ درصد تا ۵۲/۳ درصد با میانگین ۴۹/۰۳ درصد، میزان  $Al_2O_3$  از ۱۰/۳۴ درصد تا ۱۳/۲۱ درصد با میانگین ۱۱/۶۷ درصد، میزان  $Fe_2O_3$  از ۵/۱۳

جدول ۱. آنالیز اکسیدهای اصلی در ایستگاه‌های منتخب نمونه‌برداری در فصل‌های مختلف

MEASURING UNIT		%	%	%	%	%	%	%	%	%
SAMPLE NO.	SAMPLE NAME	$Al_2O_3$	$K_2O$	MgO	$SO_3$	$P_2O_5$	$SiO_2$	$TiO_2$	CaO	$Fe_2O_3$
۱	B ۷ M	۱۲/۶۱	۱/۸۳	۷/۴۶	۰/۵۵	۰/۲۹	۴۹/۸۸	۰/۸۱	۱۴/۹۷	۹/۲۵
۲	Z ۲ M	۱۰/۵۹	۱/۶۷	۷/۹۲	۱/۴۵	۰/۲۲	۴۵/۶۱	۰/۸۸	۱۳/۹۳	۸/۲۴
۳	P ۱۱ C	۱۲/۵۳	۱/۷۹	۸/۷۰	۰/۶۸	۰/۲۵	۵۲/۳۷	۰/۸۲	۱۲/۷۰	۸/۹۳
۴	Z ۵ M	۱۳/۰۱	۱/۷۱	۸/۶۹	۱/۰۰	۰/۲۸	۴۹/۹۹	۰/۸۲	۱۲/۲۹	۹/۳۷
۵	Z ۱۳ C	۱۲/۱۰	۱/۶۷	۸/۶۰	۱/۰۸	۰/۳۰	۴۸/۵۲	۰/۷۵	۱۲/۳۹	۱۰/۱۰
۶	B ۳ M	۱۳/۲۱	۱/۷۹	۷/۷۳	۰/۵۸	۰/۲۸	۵۱/۲۲	۰/۸۱	۱۳/۳۱	۸/۷۸
۷	B ۱۱ C	۱۲/۱۳	۱/۸۵	۷/۹۸	۰/۵۵	۰/۲۵	۵۰/۰۳	۰/۸۵	۱۳/۷۰	۸/۶۳
۸	Z ۸ M	۱۱/۲۰	۱/۱۲	۸/۲۳	۰/۴۸	۰/۱۷	۴۴/۵۴	۰/۶۶	۱۰/۸۲	۶/۱۴
۹	T ۱۱ C	۱۰/۴۶	۱/۲۶	۶/۳۳	۰/۵۰	۰/۱۶	۴۷/۰۴	۰/۶۵	۱۱/۵۶	۵/۱۳
۱۰	B ۱۲ C	۱۱/۱۴	۱/۲۷	۶/۷۰	۰/۱۸	۰/۱۷	۴۵/۳۳	۰/۷۰	۱۲/۰۳	۵/۴۷
۱۱	Z ۱۱ C	۱۱/۰۹	۱/۳۰	۸/۷۴	۰/۴۰	۰/۱۷	۵۲/۴۰	۰/۶۴	۱۱/۹۰	۶/۵۵
۱۲	T ۱۵ C	۱۰/۳۴	۱/۴۲	۶/۹۵	۱/۶۶	۰/۱۹	۴۹/۴۴	۰/۳۸	۱۱/۸۵	۵/۸۷
۱۳	Z ۷ M	۱۱/۳۴	۱/۷۷	۷/۵۹	۱/۲۰	۰/۲۰	۵۱/۰۵	۰/۴۲	۱۲/۲۰	۶/۷۷
میانگین		۱۱/۶۷	۱/۵۷	۷/۸۲	۰/۷۹	۰/۲۲	۴۹/۰۳	۰/۷۱	۱۲/۵۹	۷/۶۳

کودکان می‌باشند.

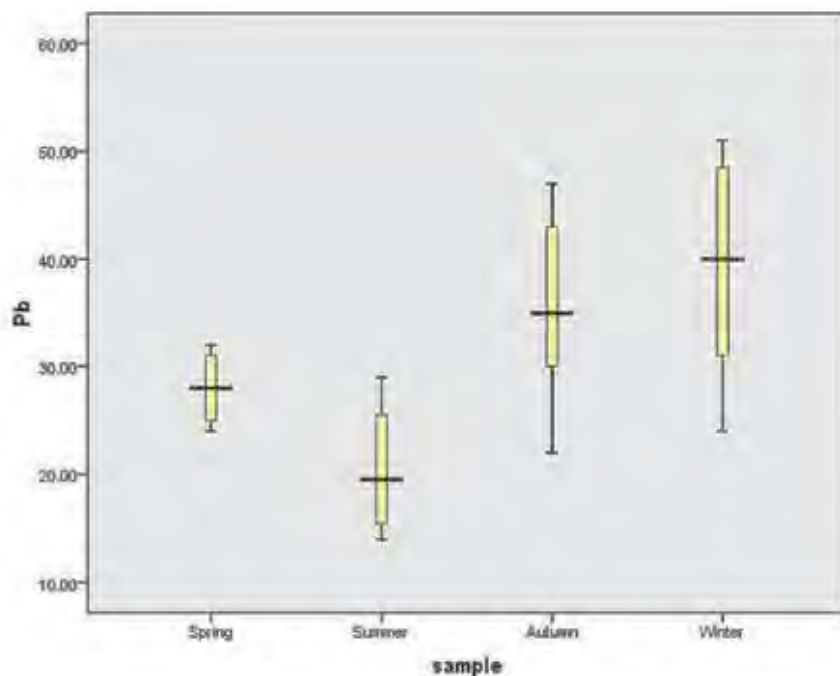
### الگوی A

این الگو برای پراکنش عنصر سمی و آلاینده سرب مورد استفاده قرار گرفت و پس از رسم نقشه‌های هم‌سرب شهر مشخص شد، تراکم توزیع سرب در بخش‌های شرقی و جنوب‌شرقی شهر سبزوار بیشتر است. همچنین مشخص شد، تراکم سرب در ماه‌های پاییز و زمستان از ماه‌های دیگر بالاتر است (شکل‌های ۸ و ۹).

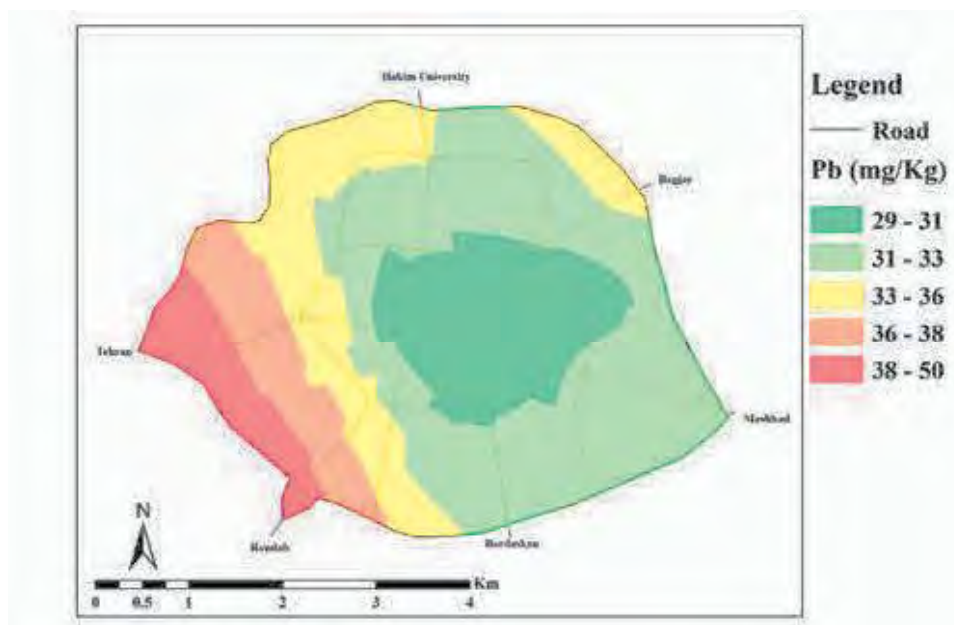
پراکندگی سرب در بخش شرقی و جنوب‌شرقی شهر سبزوار بی‌ارتباط با تردد وسایل نقلیه سنگین و سبک و قرارگیری ترمینال مسافری شهر سبزوار در این نواحی نمی‌باشد.

### تجزیه و تحلیل عناصر آلاینده در ریزگردهای سبزوار

تعداد ۲۲ نمونه از کل نمونه ریزگردهای مورد مطالعه برای تشخیص عناصر فرعی مختلف با هدف بررسی آلاینده‌های جوی پهنه مورد مطالعه انتخاب شدند تا با استفاده از نتایج به دست آمده بتوان تجزیه و تحلیل‌های لازم زیست‌محیطی را انجام داد. در این راستا غلظت عناصر آلوده‌کننده محیط شامل سرب-مس و آرسنیک-نیکل و کادمیوم و کروم در سه الگوی مشخص A و B و C طبقه‌بندی شد (امینی، ۱۳۹۴). فلزات سنگین در بافت‌های چربی و اعضای بدن تجمع می‌یابند و می‌توانند بر دستگاه عصبی مرکزی اثر بگذارند یا عاملی برای دیگر بیماری‌ها باشند. از اثرات شایع مسمومیت با فلزات سنگین، اثر بر مغز و اختلال رشد در



شکل ۸. پراکندگی میزان سرب برحسب (ppm) در غبار ریزشی شهر سبزوار در فصل‌های مختلف سال

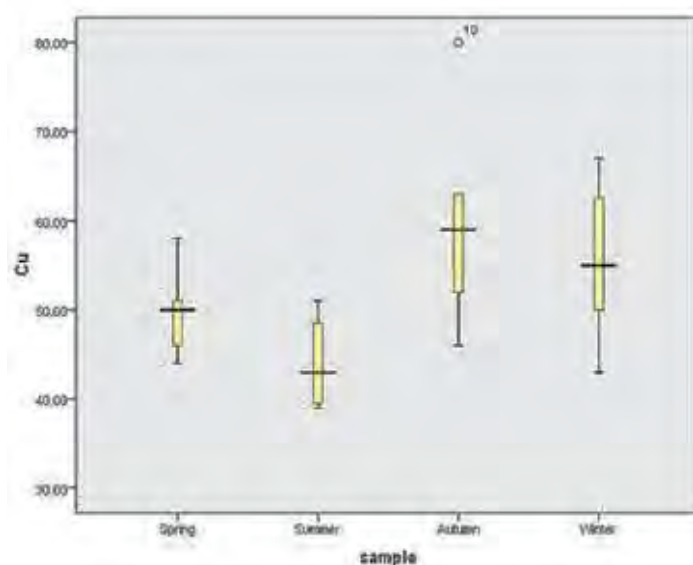


شکل ۹. توزیع مکانی سرب در غبار ریزشی شهر سبزوار

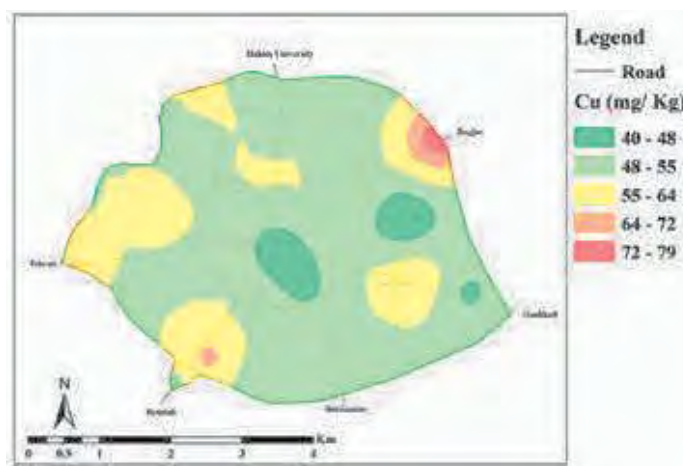
### الگوی B

علاوه بر این مورد توزیع مس در فصل‌های پاییز و زمستان در مقایسه با فصل‌های دیگر بیشتر است، در حالی که آرسنیک در فصل پاییز بیشترین فراوانی را نسبت به فصل‌های دیگر نشان می‌دهد (شکل‌های ۱۰ و ۱۲).

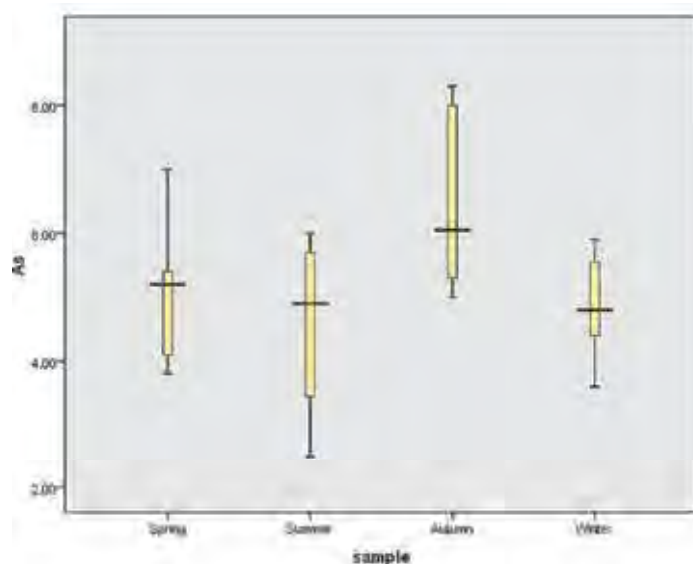
این الگو برای توزیع فلزات سنگین مس و آرسنیک در شهر سبزوار قابل ارائه می‌باشد. بدین صورت که در هر دو مورد، تراکم و توزیع این فلزات سنگین در بخش‌های شمال شرقی شهر از بقیه مناطق بیشتر می‌باشد (شکل‌های ۱۱ و ۱۳).



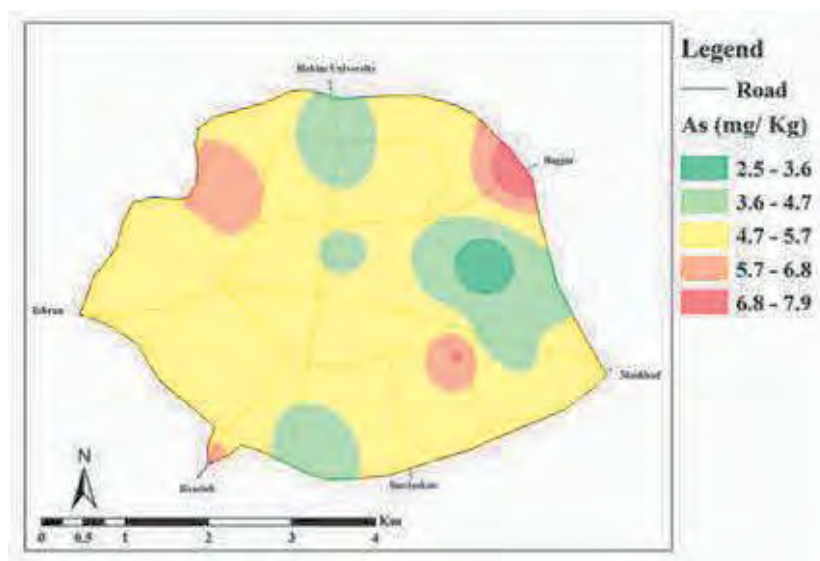
شکل ۱۰. پراکندگی میزان مس برحسب (ppm) در غبار ریزشی شهر سبزوار در فصل‌های مختلف سال



شکل ۱۱. توزیع مکانی مس در غبار ریزشی شهر سبزوار



شکل ۱۲. پراکندگی میزان آرسنیک برحسب (ppm) در غبار ریزشی شهر سبزوار در فصل‌های مختلف سال



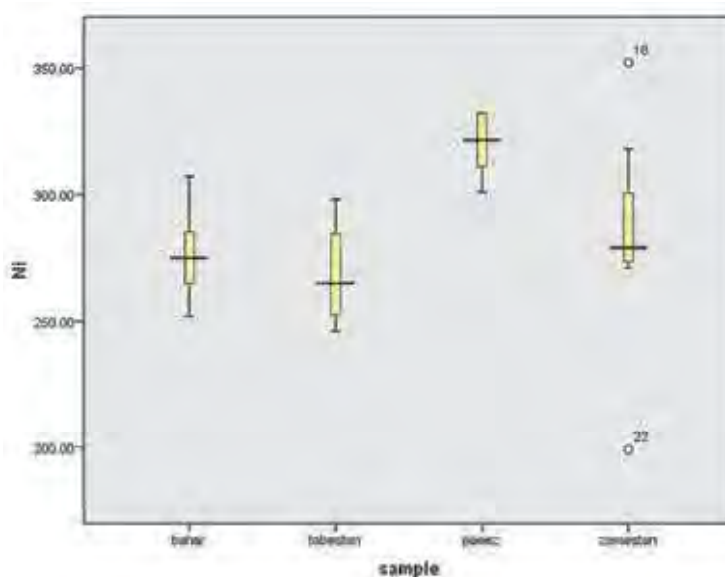
شکل ۱۳. توزیع مکانی آرسنیک در غبار ریزشی شهر سبزوار

### الگوی C

حاصل از این پهنه‌ها می‌تواند به راحتی به بخش شمالی شهر سبزوار انتقال یابد.

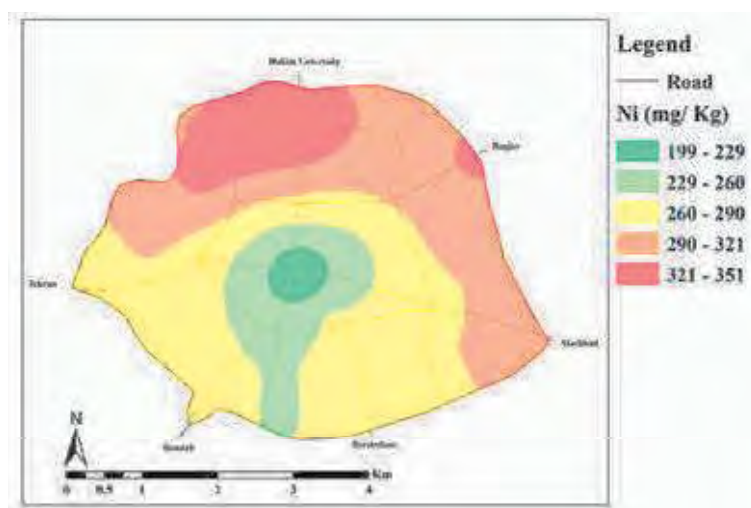
توزیع فصلی این عناصر بر مبنای نمودار جعبه‌ای (شکل‌های ۱۴، ۱۶ و ۱۸) نشان می‌دهد، میزان نیکل و کادمیوم در فصل پاییز نسبت به فصل‌های دیگر به صورت قابل ملاحظه‌ای بالاتر است. این در حالی است که پراکندگی کروم در فصل‌های مختلف با یکدیگر تفاوت زیادی ندارند و بیشترین میزان پراکندگی ثبت شده مربوط به فصل تابستان می‌باشد.

این الگو در مورد عناصر و فلزات سنگین نیکل، کادمیوم و کروم در شهر سبزوار قابل مشاهده است (شکل‌های ۱۵، ۱۷ و ۱۹). بر اساس این الگو تمرکز این فلزات سنگین در کمربند شمالی شهر، بالا و قابل توجه می‌باشد. بالا بودن میزان پراکنش این عناصر در غبار ریزشی شهر را می‌توان به گسترش نهشته‌های افیولیتی کمربند شمال سبزوار نسبت داد. در برخی پهنه‌های این گستره معدن کرومیت برای استخراج کروم نیز وجود دارد و نیکل و کادمیوم هم در مجموعه‌های افیولیتی پراکندگی بالایی دارند. بنابراین غبار

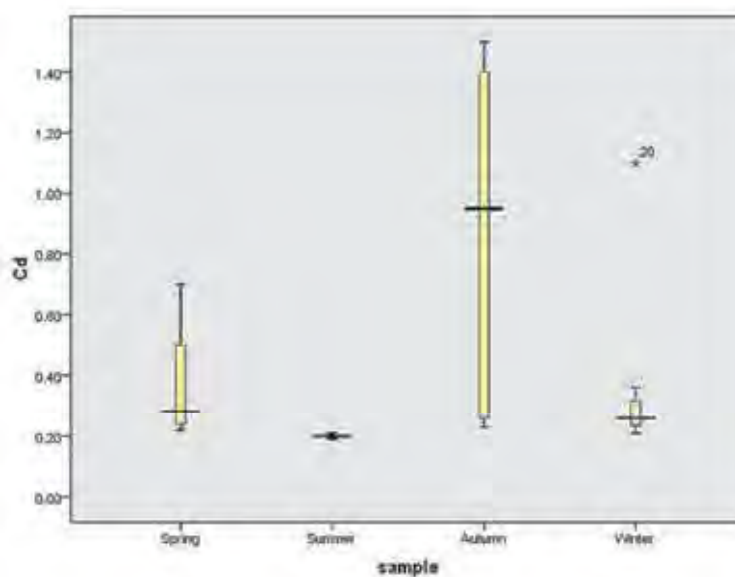


شکل ۱۴. پراکندگی میزان نیکل برحسب (ppm) در غبار ریزشی شهر سبزوار در فصل‌های مختلف سال

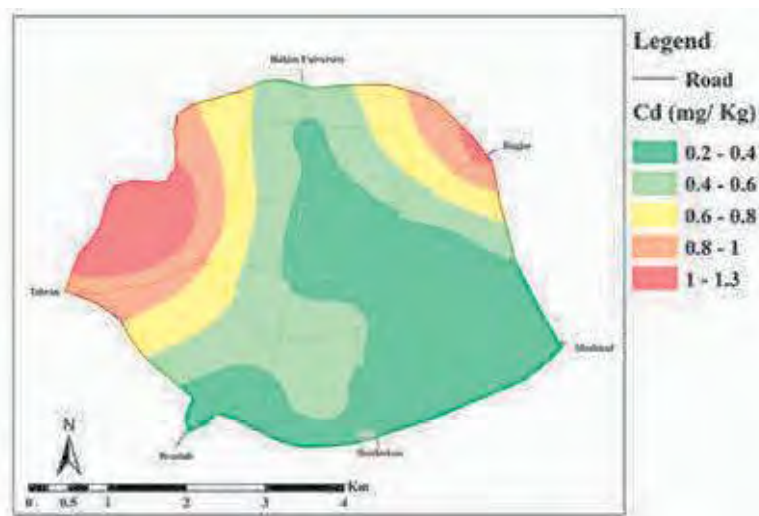




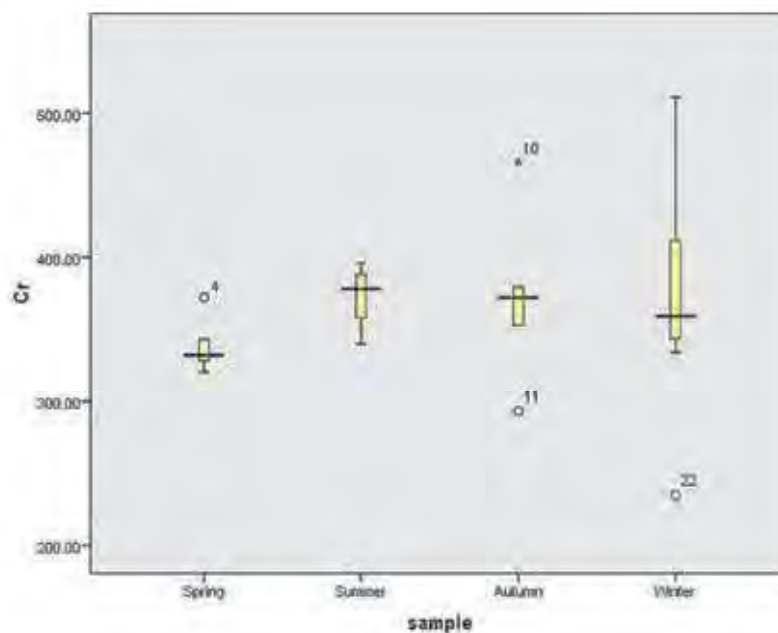
شکل ۱۵. توزیع مکانی نیکل در غبار ریزشی شهر سبزوار



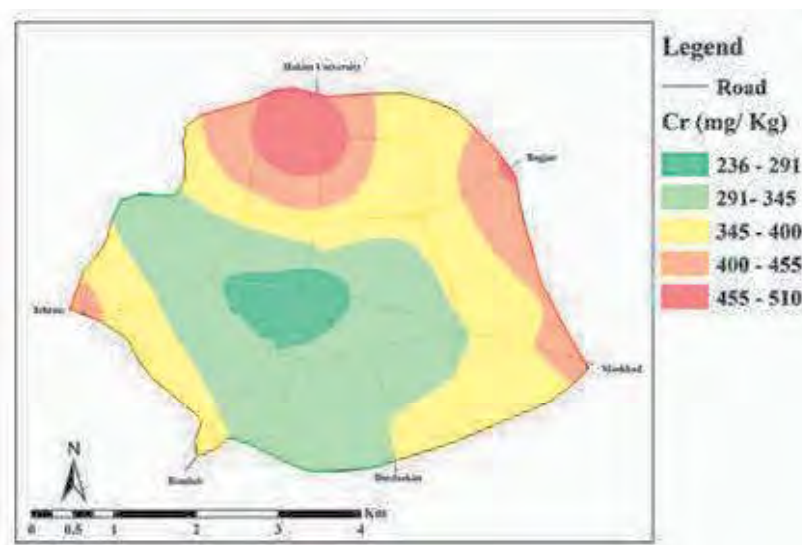
شکل ۱۶. پراکندگی میزان کادمیوم برحسب (ppm) در غبار ریزشی شهر سبزوار در فصول مختلف سال



شکل ۱۷. توزیع مکانی کادمیوم در غبار ریزشی شهر سبزوار



شکل ۱۸. پراکندگی میزان کروم برحسب (ppm) در غبار ریزشی شهر سبزوار در فصول مختلف سال



شکل ۱۹. توزیع مکانی کروم در غبار ریزشی شهر سبزوار

### محاسبه شاخص‌های زمین‌شیمیایی

تغییرات زمین‌شناختی هر پهنه، به نوسان زیاد غلظت عناصر در رسوبات و سایر مواد هوازده سطحی منجر می‌شوند. علاوه بر این تفاوت‌های شیمیایی در بین گونه‌های گیاهی و جانوری، بیانگر رشد و تغذیه آنها در پهنه‌های با سازندهای زمین‌شناسی متفاوت می‌باشند. در مطالعات ژئوشیمیایی، شاخص‌های مختلفی برای پایش و ارزیابی میزان آلودگی ریزگردها وجود دارد که در این

در گذشته برای تفسیرهای زیست‌محیطی تعیین عیار زمینه زمین‌شیمیایی طبیعی، از غلظت میانگین عناصر مختلف در پوسته زمین (کلارک) استفاده می‌شود، اما به دلیل تغییرات زیاد غلظت عناصر در سنگ‌های تشکیل‌دهنده پوسته زمین، این غلظت‌ها باید با احتیاط و همراه با در نظر داشتن عوامل زمین‌شناختی طبیعی منطقه در پژوهش‌های زمین‌شیمی زیست‌محیطی استفاده شوند.

عنصر n است. مولر از ترکیب شیل میانگین به عنوان زمینه زمین شیمیایی استفاده کرده است. ضریب ۱/۵ نیز برای به حداقل رساندن تاثیر احتمالی غلظت فلز در ترکیب زمینه زمین شیمیایی (به عبارت دیگر برای بهنجار کردن غلظت‌ها در نمونه‌های آلوده، نسبت به غلظت‌ها در ترکیب شیل میانگین) که ناشی از تغییرات سنگ‌شناختی در رسوبات می‌باشد و نیز حذف اثرات انسان زاد بسیار کوچک استفاده می‌شود. مولر، درجه آلودگی عناصر آلاینده را بر اساس افزایش مقدار عددی ضریب زمین‌انباشت به هفت رده تقسیم کرد (جدول ۲).

تحقیق از دو شاخص عمده ضریب زمین‌انباشت<sup>۱</sup> و ضریب آلودگی<sup>۲</sup> استفاده می‌شود.

### ضریب زمین‌انباشت

ضریب زمین‌انباشت اولین بار توسط مولر (Muller, 1969) برای تعیین و توصیف آلودگی فلز در رسوبات ارائه و سپس توسط پژوهشگران دیگر، تصحیحاتی روی آن اعمال شد. این ضریب از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$I_{geo} = \log_2 [Cn/1.5 Bn]$$

در این رابطه (Cn) غلظت عنصر تجزیه شده (n) در نمونه‌های مورد مطالعه و (Bn) غلظت زمینه زمین شیمیایی

جدول ۲. رده بندی مولر بر مبنای مقدار ضریب زمین‌انباشت (I<sub>geo</sub>) در غبار ریزشی سبزوار

رد	گستره	وضعیت آلودگی	عناصر در منطقه مورد مطالعه
۰	$I_{geo} \leq 0$	عملاً غیر آلوده	P-Cu-As
۱	$0 < I_{geo} < 1$	غیر آلوده تا آلودگی متوسط	Pb
۲	$1 < I_{geo} < 2$	آلودگی متوسط	Ni-Cr
۳	$2 < I_{geo} \leq 3$	آلودگی متوسط تا شدید	Cd
۴	$3 < I_{geo} < 4$	آلودگی شدید	Cd-Zn
۵	$4 < I_{geo} < 5$	آلودگی شدید تا بی‌نهایت آلوده	---
۶	$I_{geo} \geq 5$	بی‌نهایت آلوده	---

### ضریب آلودگی

هاکنسون (Hakanson, 1980) بر اساس غلظت هشت آلاینده شامل هفت عنصر بالقوه سمی As، Zn، Pb، Hg، Cr، Cu، Cd و آلاینده آلی PCB، برای هر آلاینده یک ضریب آلودگی را ارائه کرد. در محاسبه این ضریب‌ها لازم است از غلظت آلاینده مورد نظر در حداقل پنج نمونه رسوب سطحی میانگین آن محاسبه شود. ضریب آلودگی هاکنسون از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Cf = Cn / \text{mean } Bn + \text{one S.D.}$$

در این رابطه (Cn) غلظت عنصر تجزیه شده (n) در نمونه‌های رسوب و (mean Bn) میانگین غلظت زمینه زمین شیمیایی عنصر n است. منظور از one S.D، مجموع انحراف معیار و میانگین می‌باشد.

بر طبق نظر اسن و همکاران (Esen, et al., 2010) می‌توان ضریب آلودگی را به صورت زیر محاسبه کرد:

$$CF = Cs/Cb$$

که Cs غلظت عنصر مورد نظر در رسوب و Cb غلظت طبیعی همان عنصر است. ضریب آلودگی، غنی‌شدگی فلز در رسوب را نشان می‌دهد. با استفاده از ضریب آلودگی می‌توان نمودارهای افزودگی-کاهیدگی را رسم و وضعیت غنی‌شدگی فلزات در نمونه‌های رسوب را مشخص کرد.

بر اساس طبقه‌بندی هاکنسون (Hakanson, 1980) برای Cf چهار گروه یا رده تعیین شد که گستره ضریب آلودگی عناصر در غبار ریزشی شهر سبزوار در جدول ۳ ارائه شده است.<sup>۱</sup>

جدول ۳. ضریب آلودگی در غبار ریزشی شهر سبزوار

مقدار	ضریب آلودگی ریزگردها	عناصر در منطقه مطالعه
$Cf < 1$	ضریب آلودگی پایین	Cu-As
$1 \leq Cf < 3$	ضریب آلودگی متوسط	Pb-Cu
$3 \leq Cf < 6$	ضریب آلودگی قابل توجه	Ni-Cr-Cd
$Cf \geq 6$	ضریب آلودگی بسیار بالا	Zn

1. Geoaccumulation Index (I<sub>geo</sub>)

2. Contamination factor (Cf)

نیکل، کادمیوم و کروم با نوار افیولیتی شمال شهر سبزوار به‌روش و همکاران (۱۳۹۵) هم در بررسی آلودگی فلزات سنگین در غبار ترافیکی شهر مشهد معتقد ۱۲ کروم در گرد و غبارهای ترافیکی نقش مهمی نداشته و به نظر می‌رسد نیکل و کروم بیشتر از منشا طبیعی و سرب و روی عمدتاً از منشا انسانی حاصل شده است که با نتایج تحقیق صورت گرفته در غبار خیابانی شهر سبزوار مطابقت دارد. در دهه گذشته با وجود اندازه‌گیری مستمر ویژگی‌های ژئوشیمیایی و غلظت فلزات سنگین موجود در غبار ریزشی بیش از ده شهر مهم ایران در زمان‌ها و مکان‌های متفاوت، جدی‌تر شدن بحران زیست‌محیطی ریزگردها، ضرورت مطالعات و تحقیقات بیشتر را به صورت تطبیقی اجتناب‌ناپذیر ساخته است.

### نتیجه‌گیری

پس از تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده از ایستگاه‌های شانزده‌گانه غبار ریزشی در شهر سبزوار در طی فصل‌های مختلف سال ۱۳۹۰، نتایج مشخص زیر را می‌توان مطرح کرد:

- در مقام مقایسه بیشترین حجم غبار ریزشی مربوط به فصل بهار و کمترین حجم غبار ریزشی مربوط به فصل پاییز است.
- ایستگاه نمونه‌برداری خیابان جهاد کشاورزی در جنوب شرقی سبزوار، در تمامی چهار فصل نمونه‌برداری بیشترین حجم غبار دریافتی را دارد.
- تجمع بیشتر غبار ریزشی در بخش‌های جنوب شرقی و شرقی شهر سبزوار با نتایج گلبادهای نوزده‌ساله (سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۸) شهر کاملاً منطبق است.
- از نظر ژئوشیمیایی در فصول پاییز و زمستان میزان آلاینده‌های فلزات سنگین غبار ریزشی شهر سبزوار نسبت به فصول دیگر بیشتر می‌باشد.
- آلودگی عناصر کادمیوم و روی با قرار گرفتن در گستره آلودگی شدید و ضریب آلودگی بسیار بالا و قابل توجه در غبار ریزشی شهر سبزوار در درجه اول اهمیت قرار دارند.
- عناصر کروم و نیکل با قرار گرفتن در پهنه آلودگی

جلیلیان (۱۳۹۶) در بررسی ریزگردها و غبار شهر اهواز معتقد است فلزات و شبه فلزاتی که چگالی بالای چهار دارند به‌طور مستقیم در کاهش کیفیت هوا مشکلات زیست‌محیطی موثرند و غلظت آنها تابع منشا ریزگردها و عوامل غیرطبیعی است. به عقیده محمودی و خادمی (۱۳۹۳) نرخ بالای فرونشست فلزات سنگین در غبار شهر اصفهان در دوره زمانی آبان-آذر به دلیل استفاده از وسایل گرمایشی و وقوع پدیده وارونگی دمایی است. ارسال و همکاران (۱۳۹۹) در شهر تهران ادویل و همکاران (Adewale et al., 2020) در شهر موسوگوبو واقع در جنوب غربی نیجریه نیز بالا بودن نرخ فرونشست فلزات سنگین غبار ریزشی در فصل زمستان نسبت به بهار را به این عوامل نسبت دادند. این مورد را می‌توان دلیلی برای افزایش غلظت مس، آرسنیک، نیکل و کروم در غبار ریزشی فصل پاییز شهر سبزوار و افزایش میزان سرب و کروم در غبار ریزشی پاییز و زمستان این شهر دانست. از سوی دیگر بالا بودن غلظت سرب در غبار حیات مدرسه ابد طلب در مجاورت بازار سید اسماعیل تهران نسبت به سایر مدارس منتخب (مولایی و اسماعیلی ساری، ۱۳۹۹) به بار ترافیکی بالا و تراکم جمعیت نسبت داده شده و با نتایج تحقیقات جعفری و خادمی (۱۳۹۳) در شهر کرمان که پراکنش بالای سرب، روی و مس را در غبار ریزشی شهر کرمان را منطبق بر منابع صنعتی و ترافیکی دانسته همخوانی داشته است.

از سوی دیگر نتایج تحقیقات ترونوسکا و سویتلیک (Trojnowska and Swietlik, 2020) نیز نشان می‌دهد بالا بودن میزان ضریب زمین انباشت سرب و روی و مس در غبار خیابانی شهر رادم در مرکز لهستان مرتبط با فعالیت ترافیکی هستند و برای شهر سبزوار هم پراکنش بالای سرب در غبار ریزشی گستره ترمینال مسافربری سبزوار و ورودی جاده تهران-سبزوار با بار ترافیکی بالا نشان‌دهنده منشا انسانی سرب می‌باشد. عبداللهی و همکاران (۱۳۹۵) ضمن اشاره به بیشتر بودن میانگین غلظت سرب در غبار ریزشی شهر یزد و بهبهان، مواد افزودنی به سوخت خودروها را اصلی‌ترین عامل افزایش غلظت سرب در ایستگاه‌های پرتراфик شهری زاهدان دانسته‌اند. در خصوص انطباق تراکم

چهارمین کنفرانس بین‌المللی برنامه‌ریزی و مدیریت، ۲ و ۳ خرداد ۱۳۹۶.

- جعفری، ف. و خادمی، ح.، ۱۳۹۳. ارزیابی نرخ فرونشست غبار اتمسفری در نقاط مختلف شهر کرمان. فصلنامه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۷۰، ۲۰۷-۲۱۶.

- جلیلیان، ع. ح.، ۱۳۹۶. رسوب‌شناسی و زمین‌شناسی رسوبی ریزگردها در کلان شهر اهواز، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۱۱، ۴۱، ۷۹-۹۳.

- صدریان، م. ر.، محمدخان، ش.، مشهدی، ن.، دشتکیان، ک. و علوی پناه، س. ک.، ۱۳۹۲. پهنه‌بندی غبار ریزشی شهر ایلام، سومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان گرد و غبار، ۲۵ تا ۲۶ دی ماه ۱۳۹۲.

- عبداللهی، س.، عظیم زاده، ح.، مصلح‌آرانی، ا. و اخنصافی، م. ر.، ۱۳۹۵. بررسی غلظت سرب در غبار ریزشی شهر زاهدان، مقالات پنجمین همایش سراسری محیط‌زیست، انرژی و پدافند زیستی.

- عظیم‌زاده، ح. ر.، منتظر قائم، م.، ترابی میرزایی، ف. و تجمیلیان، م.، ۱۳۸۹. اندازه‌گیری غبار غبار ریزشی شهر یزد با استفاده از تله رسوب‌گیر MDCO در دوره سه ماهه تابستان ۱۳۸۹. مقالات دومین همایش فرسایش بادی و طوفان‌های گرد و غبار، دانشگاه یزد.

- کریمیان، ۱۳، لندی، ا.، حجتی، س. و واحدیان، ج.، ۱۳۹۵. بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و کانی‌شناسی گردو غبار در شهر اهواز، فصلنامه تحقیقات آب و خاک ایران، ۱: ۱۵۹-۱۷۳.

- محمودی، ز. و خادمی، ح.، ۱۳۹۳. غلظت برخی فلزات سنگین و گرد و غبار اتمسفری اصفهان و برخی شهرهای مجاور، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۶۷، ۲۴۳ تا ۲۵۵.

- مولایی، ز. و اسماعیلی ساری، ع.، ۱۳۹۹. ارزیابی ریسک اکولوژیک آلاینده‌های سرب و کادمیوم در گرد و غبار حیات مدارس مناطق منتخب شهر تهران، علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۲۲، ۷، ۴۰۵ تا ۴۱۳.

- Adewale, M. T., Johnson, O.M., Adewole, M.G. and Fatayi, O., 2020. Pollution and health risk assessment of road dust from Osogbo metropolis, Osun state, Southwestern Nigeria. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 26; 5, 1254-1269.

متوسط و ضریب آلودگی قابل توجه در درجه بعدی اهمیت هستند.

- نیکل می‌تواند موجب ناراحتی‌های پوستی و سرطان‌های تنفسی شده و کرم شش ظرفیتی ریزگردهای سبزواری می‌تواند برای چشم، پوست و همچنین بافت‌های مخاطی مضر باشد.

- آلودگی عناصر سنگینی مانند مس، سرب و آرسنیک در شرایط فعلی در ریزگردهای شهر سبزواری بحرانی و نگران‌کننده نیست.

## سیاسگزاری

این مقاله بر اساس نتایج طرح تحقیقاتی داخلی شماره ۹۲/۷۱/۲۰۸۱۷ دانشگاه گلستان انجام شده و بدین‌وسیله از حمایت دانشگاه گلستان به‌خصوص معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه برای در اختیار قرار دادن منابع مالی تحقیقاتی تشکر و قدردانی می‌شود.

## منابع

- ارسالانی، ف.، علیجانی، ب. ف.، اکبری، م. و محمدخان، ش.، ۱۳۹۹. بررسی عناصر سنگین (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb) موجود در غبار ریزشی شهر تهران، پژوهش‌های دانش زمین، ۱۱، ۴۴، ۱۵-۳۶.

- اکبری، ع.، عظیم‌زاده، ح. ر.، اختصاصی، م. ر. و برهان‌دیانی، س.، ۱۳۹۱. اندازه‌گیری نرخ غبار ریزشی بر شهر بهبهان (مطالعه موردی: بهار ۱۳۹۱). اولین همایش ملی حفاظت و برنامه‌ریزی محیط‌زیست.

- امینی، آ.، ۱۳۹۴. اندازه‌گیری غبار ریزشی شهر سبزواری با استفاده از تله رسوب‌گیر MDCO و بررسی ویژگی‌های رسوب‌شناسی و ژئوشیمیایی رسوبات، طرح تحقیقاتی شماره ۹۲/۷۱/۲۰۸۱۷ دانشگاه گلستان. ۱۱۴.

- بهروش، ف.، محمودی قرایی، م. ح.، قاسم‌زاده، ف. و عوض‌مقدم، س.، ۱۳۹۴. بررسی آلودگی فلزات سنگین و در غبارهای ترافیکی شهر مشهد و تعیین منشأ آن با استفاده از روش استخراج ترکیبی، مجله علوم زمین، ۲۴، ۹۵، ۱۴۱-۱۵۰.

- ترنج‌زر، ح.، مددی، م. ح. و حیدرزاده، م.، ۱۳۹۶. اندازه‌گیری ریزگردها و غبار ریزشی با استفاده از تله رسوب‌گیر در دوره سه ماهه (مطالعه موردی شهر قم).

- Esen, E., Kucuksezgin, F. and Uluturhan, E., 2010. Assessment of trace metal pollution in surface sediments of Nemrut Bay, Aegean Sea. *Environmental Monitoring and Assessment*, 160, 257-266.
- Gossen, D. and Offer, Z., 2000. Wind tunnel and field Calibration of six eolian dust samplers, *Eolian Environment*. 34: 1043-1057.
- Hakanson, L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Res*, 14:975-1001.
- Muller, G., 1969. Index of Geo-Accumulation in Sediments of the Rhine River. *GeoJournal*, 2, 108-118.
- Trojanowska, M. and Swietlik, R., 2020. Investigations of the chemical distribution of heavy metals in street dust and its impact on risk assessment for human health, case study of Radom (Poland). *Human and Ecological risk Assessment: An International Journal*, 26:7, 1907-1926.