Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

CC BY

Research Article
Vol. 37, No. 2, May-June 2023, p. 219-235

Spatial Monitoring of Wind Erosion and Some Heavy Metals in Suspended Load of Tabas City

H. Emami[1]*, M. Memarzadeh[2]

Received: 19-09-2022
Revised: 28-02-2023
Accepted: 06-03-2023
Available Online: 06-03-2023

How to cite this article:
Emami, H., & Memarzadeh, M. (2023). Spatial monitoring of wind erosion and some heavy metals in suspended load of Tabas city. *Journal of Water and Soil*, *37*(2), 219-235. (In Persian with English abstract). http://doi.org/10.22067/jsw.2023.78876.1204

Introduction

Wind Erosion is the natural process of transportation and deposition of soil by wind. It is a common phenomenon occurred mostly in dry, sandy soils or anywhere the soil is loose, dry, and finely granulated. Heavy metals are found in the environment and soils may become contaminated by accumulation of heavy metals through emissions from the rapidly expanding industrial areas, mine tailings, disposal of high metal wastes, leaded gasoline and paints, land application of fertilizers, animal manures, sewage sludge, pesticides, wastewater irrigation, coal combustion residues, spillage of petrochemicals, and atmospheric deposition. Soils are the major sink for heavy metals released into the environment by the aforementioned anthropogenic activities and their total concentration in soils persists for a long time after their introduction. The heavy metal contamination of soil and its potential risks to humans and the ecosystem is a significant concern. Windy deposition, which is the process of heavy metals being transported by erosive winds and deposited onto soil, is one of the sources of heavy metal contamination. Due to the geographical situation and climatic conditions such as arid soil, erosive winds are blown in periods of year in Tabas. Since wind are erosion is severe in this area, huge amounts of wind deposition accompanied with erosive winds entered into this town. Heavy metals through the windy deposition are suspended, translated and finally deposited in residential regions, which can create some problems for human health. Therefore, the knowledge of wind erosion and the human risk of these deposits is essential. The aim of this research was to determine the rate of wind erosion and the concentration of some heavy metals in these deposits.

Materials and Methods

For this purpose, the rate of suspended load was measured monthly from February 2021 to January 2022. Based on previous information from the erosive winds and storms, suspended depositions were gathered in some directions (north, northwest, northeast, west and southwest) of the Tabas entrance. In addition, the suspended load in the city center of Tabas was also measured. The cumulative load of suspended depositions was measured monthly and the concentration of some heavy metals such as manganese (Mn), iron (Fe), cupper (Cu), and zinc (Zn) were measured in these suspended particles. Soil digestion was made by Aqua regia (nitric acid and chloridric acid; ratio of 3:1), and after then atomic absorption was used to measure the total concentration of above heavy metals.

Results and Discussion

The results indicate that Tabas experiences significant wind deposition of suspended loads, with the highest rates entering from the northeast direction and the lowest rates from the southwest direction. This pattern aligns with the wind rose of Tabas, which illustrates the prevailing wind directions in the region. Additionally, substantial suspended loads are observed in the northwest and north directions. The variations in suspended load discharge reveal that the maximum discharge occurs in the city center of Tabas during the months of June and July 2021. This corresponds to the arid climate conditions of these months, where plant growth is limited, soil cohesion is low, and loose soil particles on the surface are susceptible to wind forces. As a result, these loose particles are

1 and 2- Professor and Former M.Sc. Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: hemami@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/jsw.2023.78876.1204

easily detached by the wind, contributing to the high levels of suspended load. Regarding the spatial variation of heavy metals in suspended particles, the cumulative concentrations of Mn, Fe, Cu, and Zn are found to be higher in the west, northwest, north, and west directions, respectively. This suggests that these heavy metals are transported and deposited in specific areas within Tabas due to the prevailing wind patterns. In terms of temporal variation, the highest concentrations of Mn and Fe in suspended particles are observed in April 2021, predominantly in the northeast and west directions, respectively. On the other hand, the highest concentrations of Cu and Zn are found in May 2021, with the southwest and northeast directions being the primary deposition areas for each metal, respectively. These findings highlight the spatial and temporal dynamics of suspended load and heavy metal deposition in Tabas, emphasizing the influence of wind patterns and climatic conditions on these processes. Understanding these variations is crucial for assessing the potential risks associated with heavy metal contamination and implementing appropriate mitigation measures in the region.

Conclusion

The results of this research showed that most contents of the suspended load are entered from the northeast direction into Tabas. In addition, the spatial variation of heavy metals indicated that the concentrations of studied heavy metals (Mn, Fe, Cu, and Zn) in suspended particles, especially in the western, northwestern, and northern in spring, are very high and they can cause carcinogenic effects on human life. Therefore, the management practices should be mostly made in these directions to control or reduce soil erosion and reduce its damage effects.

Keywords: Heavy metals, Suspended load, Wind erosion

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۷، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۴۰۲، ص. ۲۳۵-۲۱۹

پایش زمانی رسوبات بادی و بعضی از عناصر سنگین در رسوبات معلق شهرستان طبس

حجت امامی[1*]- مهسا معمارزاده[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۶/۲۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۵

چکیده

ذرات گردوغبار یکی از راه‌های بسیار مهم ورود عناصر سنگین به خاک می‌باشند. رسوبات دانه ریز نقش مهمی در انتقال آلودگی هوا به دلیل وجود فلزات سنگین و آفت کش‌ها را دارا می‌باشند.به دلیل خشکی و وجود بادهای فرساینده در شهر طبس و زیاد بودن شدت فرسایش بادی در این منطقه، حجم زیادی از رسوبات بادی همراه با این بادهای فرساینده وارد این شهر می‌شوند. بنابراین فلزات سنگین از طریق ذرات گرد وغبار در هوا به صورت معلق در آمده و همراه با باد به مناطق مسکونی و شهری منتقل شده و سبب به وجود آمدن خطراتی برای سلامتی انسان شوند. با توجه به اطلاعاتی که از گذشته در مورد جهت طوفان‌ها و بادهای فرساینده وجود داشت سه تله رسوب‌گیر در هر یک از مبادی ورودی شهرستان طبس (در جهت‌های شمال، شمال غرب، شمال شرق، غرب و جنوب غرب) نصب شد. علاوه بر این یک تله رسوب گیر هم در مرکز این شهرستان تعبیه و مقدار رسوبات معلق در ماهای مختلف سال جمع‌آوری شد. تا میزان گرد و غبار وارد شده به شهرستان از بهمن سال ۱۳۹۹ تا دی ماه ۱۴۰۰ اندازه‌گیری شود. در رسوبات بادی، غلظت بعضی از فلزات سنگین مختلف شامل منگنز، آهن، مس و روی پس از عصاره‌گیری با محلول تیزاب سلطانی (اسید نیتریک و اسید کلریدریک به نسبت ۳ به ۱) توسط دستگاه جذب اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج به دست آمده بیشترین و کمترین مقدار رسوبات بادی به ترتیب از جهت شمال شرق و جنوب غرب به میزان ۸۵/۵۶ و ۲۹/۳۰ گرم بر متر مربع در ماه وارد شهر طبس شده است. با مقایسه گلباد و مقدار رسوبات بادی، می‌توان گفت تطابق نسبی بین رسوبات بادی با گلباد این شهرستان وجود دارد. تغییرات ماهانه دبی رسوبات نیز نشان داد که بیشترین مقدار رسوبات بادی در شهریور ۱۴۰۰ از جهت شمال غرب (۱۲۵ گرم بر متر مربع در ماه) وارد شهر طبس شده است. به طور کلی مقدار عناصر سنگین وارد شده به شهر طبس از طریق رسوبات معلق به صورت Fe > Mn > Zn > Cu بود. مجموع منگنز وارد شده به شهر طبس (۷۵۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در سال) در جهت غرب بیشترین مقدار است. تغییرات زمانی عنصر منگنز نشان داد، در بازه زمانی فروردین تا خرداد ۱۴۰۰ به طور قابل توجهی بیشتر از سایر ماه‌های سال است. مجموع آهن وارد شده به شهر طبس در مدت یک سال در جهت شمال غرب بیشترین مقدار است. تغییرات زمانی غلظت عناصر سنگین نشان داد که بیشترین مقدار این عناصر در رسوبات بادی در فرودین ۱۴۰۰ در جهت غرب (برای آهن) و شمال غرب (برای منگنز) مشاهده شد. همچنین بیشترین مقدار مس (۹۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و روی (۶۶۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در رسوبات بادی نیز در جهت‌های شمال شرقی و جنوب غربی در فرودین ۱۴۰۰ دیده شد. با توجه به گلباد سالانه شهر طبس، سرعت وزش باد در محدوده شمال غرب تا شمال شرق بسیار شدید است که با وزش باد و فرسایش بادی و احتمالا به دلیل سازندهای زمین شناسی و فعالیت‌های انسانی مثل معدن زغال‌سنگ در منطقه، عناصری مثل آهن، منگنز، مس و روی از طریق رسوبات بادی وارد شهر طبس شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: بار معلق، عناصر سنگین، فرسایش بادی

مقدمه

یکی از معضلات زیست محیطی در واحدهای منطقه‌ای و بین المللی، طوفان‌های گرد و غباری است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان رخ می‌دهد که حجم بسیار زیادی از ذرات ریز معلق

۱ و ۲- به‌ترتیب استاد و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: hemami@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/jsw.2023.78876.1204

را با خود حمل می‌کنند. به منظور حفاظت و ارزیابی تاثیرات آن‌ها بر سلامت جامعه، شناخت خصوصیات شیمیایی، منشا ورودی این رسوبات و عناصر موجود در این ذرات مهم می‌باشد. ذرات گردوغبار یکی از راه های بسیار مهم ورود عناصر سنگین به خاک می‌باشند. رسوبات دانه ریز نقش مهمی در انتقال آلودگی هوا را دارند و به دلیل این‌که حاوی انواع آلودگی‌ها به ویژه فلزات سنگین و آفت کش‌ها بوده و قادر به انتقال آن‌ها به مناطق دور دست می‌باشند. فلزات سنگین به دلیل تهدیداتی که می‌تواند متوجه سلامت انسان کنند بسیار مهم هستند. آلودگی ذرات گرد و غبار به فلزات سنگین به علت سمیت، تجزیه ناپذیری و تجمع پذیری این ترکیبات و عناصر یک مشکل جدی تلقی شده است (Moradi and Mirzaei, 2017). فلزات سنگین از قبیل سرب، روی، مس، کادمیم، آرسنیک و کروم به دلیل دارا بودن خاصیت سمی و تجمع زیستی از جمله مهم‌ترین و جدی‌ترین آلودگی‌های تهدید کننده محیط زیست ما هستند (Chen *et al.*, 2015). افزایش غلظت این فلزات اثرات منفی بسیار زیادی بر سلامت انسان دارد که عمدتا از طریق هضم، تنفس و جذب پوستی صورت می‌گیرد.

هر فردی در حالت عادی در هر متر مکعب حدود ۰/۰۰۱۰ گرم از رسوبات ریزگرد با میانگین ۱۷ بار تنفس در هر دقیقه و ۱۰ ساعت فعالیت، وارد ریه‌های خود می‌کند در حالی‌که در زمان طوفان‌های گرد وغبار به طور میانگین ۶/۶۲۴۰ گرم رسوبات گرد و غبار وارد ریه می‌شود (Griffin, 2007). سازمان جهانی بهداشت یک سری استانداردهایی را مطابق با اتحادیه اروپا برای میزان فلزات سنگین در ذرات هوا تعریف کرده است که برای سرب، آرسنیک، نیکل، کادمیم به ترتیب ۵۰۰، ۶ ، ۲۰ و ۵ نانو گرم بر متر مکعب می‌باشد (Moreno *et al.*, 2006). طبق استاندارد سازمان بهداشت جهانی در صورتی که غلظت فلزات سنگین اهن، روی و مس در خاک به ترتیب به ۲۰۰۰، ۱۲۰ و ۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم برسد باعث آلودگی شدید خاک به این عناصر می‌شود (MacDonald *et al.*, 2000). در اهواز مطالعات مختلفی بر روی خصوصیات شیمیایی رسوبات انجام شده است که در یکی از این پژوهش‌ها میزان عناصر سنگین، آنیون‌ها و کاتیون‌ها طی طوفان‌های گرد و غبار مورد سنجش قرار گرفت و عناصری از جمله مولیبدن، کروم و مس دارای بیشترین غلظت بودند (Naimabadi *et al.*, 2016).

مرادی و میرزایی (Moradi and Mirzaei, 2017) به بررسی سطح آلودگی و تغییرات مکانی فلزات سنگین در رسوبات پرداختند و نشان دادند که غلظت فلزات سرب، مس، آهن و روی در رسوبات در اندازه ریز بیشتر از غلظت زمینه است که منشا فلزات سرب، روی و مس انسان‌زاد و عناصر آهن و کادمیم نیز تا حدودی تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی قرار گرفته است در حالی‌که عناصر نیکل و کروم منشا طبیعی دارند. ارزیابی خطر سلامت انسان در رسوبات ریزدانه در معرض عناصر سنگین از سه مسیر اصلی بلع، تماس پوستی و استنشاق برای دو گروه سنی مورد بررسی قرار می‌گیرد. مطالعات انجام شده بر روی رسوبات در اندازه ریز نشان می‌دهد که برای همه عناصر سنگین به ترتیب مسیر بلع، تماس پوستی و تنفس بیشترین و کمترین میزان خطر سرطان زایی (HQ) بوده است. نتایج قنواتی (Ghanavati, 2018) نشان می‌دهد میزان HQ در راه‌های ورود بلع و تنفس برای کودکان بیشتر از گروه سنی بزرگسالان است. برای گروه سنی بزرگسالان مسیر جذب پوستی بیشتر از گروه سنی کودکان بوده است که این موضوع توسط وی و همکاران (Wei *et al.*, 2015) و لی و همکاران (Li *et al.*, 2008) تایید شده است.

با توجه به اینکه فرسایش بادی در مناطق خشک با بادهای فرساینده باعث انتقال ذرات ریز به صورت معلق به مناطق شهری می شود و این ذرات ممکن است حاوی عناصر سنگین باشند و از طریق استنشاق و یا تماس پوستی باعث به خطر افتادن سلامتی انسان شود، ضرورت دارد از مقدار رسوبات بادی معلق و عناصر سمی موجود در آن‌ها آگاهی پیدا کرد. به همین علت این پژوهش با هدف بررسی نرخ رسوب ذرات معلق در مبادی شهر طبس در بعضی از جهات جغرافیایی که حاوی بادهای فرساینده هستند انجام شد. همچنین غلظت بعضی از عناصر سنگین در این رسوبات در مدت یک سال به صورت ماهانه مرود پایش قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه شهرستان طبس می‌باشد. شهرستان طبس در ۵۶ درجه و ۵۵ دقیه طول جغرافیایی و در ۳۳درجه و ۳۵ دقیقه عرض جغرافیایی از شمال به کاشمر و دشت کویر و شاهرود و از جنوب به کویر لوت و کرمان و از مشرق به فردوس و بیرجند و از سمت غرب به خور بیابانک در استان اصفهان محدود است (شکل ۱). این شهرستان با ۵۴۶۰ کیلومتر مربع به عنوان بزرگترین شهرستان ایران شناخته می شود و دارای آب و هوای بیابانی خشک و گرم است که تابستان‌های آن بسیار گرم و دارای زمستان‌های نسبتاً سرد می‌باشد به‌گونه‌ای که در بررسی آمار بلند مدت موجود برای این شهر درجه حرارت حداکثری مطلق معادل ۱۵+ درجه و حداقل مطلق ۹- درجهٔ سانتی‌گراد ثبت شده است؛ همچنین ماندگاری گرما در فصل گرما در این شهر به‌گونه‌ای است که گاهی در اوج گرما برای روزهای متوالی بیش از ۱۲ ساعت در شبانه‌روز درجهٔ حرارت هوا بالای ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد می‌باشد. ریزش نزولات جوی در این شهر بسیار کم و بیشتر ماه‌های سال خشک و بدون باران است؛ به‌گونه‌ای که متوسط بارندگی سالیانهٔ آن چیزی حدود ۸۰ میلی‌متر بوده که این مقدار نیز دارای پراکندگی وسیع در زمان بارش می‌باشد به‌طوری‌که گاه ممکن است مقدار بارندگی یک سال معادل یا کمتر از باران نازل شده در طول یک ماه سال دیگر باشد. تبخیر یکی از عوامل مهم در مناطق خشک می‌باشد که به‌علت خشکی و گرمی هوا و آفتاب سوزان، وزش باد و دیگر عوامل مؤثر در این منطقه میزان

تبخیر و تعرق سالیانه از مجموع آب حاصله از بارندگی بسیار بیشتر است که بیشترین مقدار تبخیر در تابستان و در گرمترین ماه‌ها صورت می‌گیرد چون علاوه بر بالا بودن دما و شدت تشعشع خورشید وزش باد در تابستان‌های این منطقه مزید بر علت گشته و در بالا بودن میزان تبخیر کمک می‌کند

از نظر زمین‌شناسی بلوک طبس از جمله مناطقی است که روند تکاملی پالئوزوئیک آن با مناطق مجاور همخوانی ندارد. تکاپوهای آتشفشانی مافیک و حدواسط، هرچند ناچیز، از ویژگی‌های پالئوزوئیک طبس است و از این نظر بلوک طبس را می‌توان با کوه‌های البرز مقایسه نمود. کانی‌سازی سرب، روی و مس در سنگ‌های پرمین تریاس و ژوراسیک البرز در بوک طبس نیز عمومیت دارد (Aghanabati, 2004). وضعیت گیاه‌شناسی طبس به گونه‌ای است که بیشترین گونه متعلق به تیره Chenopodiaceae با ۲۵ گونه می‌باشد و سایر گونه‌ها از قبیل Asteraceae با ۱۹ گونه، Gramineae با ۱۶ گونه، Fabaceae با ۱۴ گونه، Lamiaceae با ۱۱ گونه، Brassicaceae با ۱۰ گونه، به ترتیب در مراتب بعدی قرار گرفته‌اند (Fathi, 2014).

جهت نصب تله‌های رسوب گیر اطلاعات مربوط به سرعت و جهت بادهای غالب منطقه از ایستگاه‌های هواشناسی شهرستان طبس تهیه شد. با توجه به این‌که بادهای غالب شهرستان طبس از سمت شمال غرب تا شمال شرق می‌وزند به منظور نمونه‌برداری و جمع‌آوری ذرات گرد و غبار سه تله رسوب‌گیر در هر کدام از جهت‌های جغرافیایی که بادهای فرساینده وجود داشت یعنی در جهت‌های شمال شرق تا جنوب غرب نصب شدند تا ذرات معلق در هوا وارد آن‌ها شوند. علاوه بر این یک تله رسوب‌گیر هم در مرکز شهرستان نصب شده است تا میزان گرد و غبار وارد شده به شهرستان نیز اندازه‌گیری شود (شکل ۲). جمع‌آوری رسوبات، به صورت ماهانه به مدت یک سال از بهمن۱۳۹۹ تا دی ۱۴۰۰ انجام شد. برای محاسبه مقدار ذرات گرد و غبار در واحد سطح، وزن ذرات گرد و غبار جمع‌آوری شده اندازه‌گیری و بر سطح دهانه ورودی تله‌های رسوب‌گیر تقسیم شد و به صورت گرم در متر مربع در ماه گزارش شد و در نهایت نمونه‌های جمع‌آوری شده برای اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین و پارامترهای دیگر به آزمایشگاه منتقل و غلظت فلزات سنگین شامل منگنز، آهن، مس و روی اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در رسوبات معلق، مقدار ۳ گرم از خاک وزن شد و به آن ۲۸ میلی‌لیتر محلول تیزاب سلطانی[1] که مخلوط ۳ به ۱ اسید نیتریک و اسید کلریدریک می‌باشد، افزوده شد. در ادامه نمونه‌ها به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه حرارت داده و پس از سرد شدن با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شدند. سپس حجم نهایی به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد (Dakiky *et al.*, 2002) و غلظت فلزات فوق توسط دستگاه جذب اتمی قرائت شد. به منظور بررسی تاثیر جهت جغرافیایی و زمان بر مقدار رسوبات و غلظت عناصر سنگین، مقایسه آماری بین تیمارها بر اساس طرح کاملا تصادفی در سطح احتمال پنج درصد در نرم‌افزار MSTATC انجام شد.

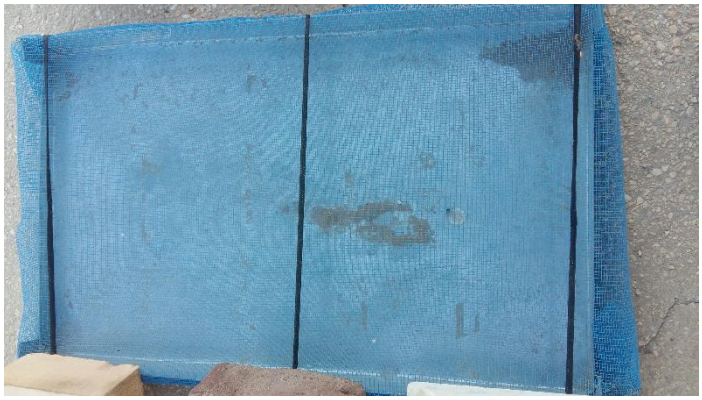
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقشه شهرستان طبس در ایران

(نقاط سبز رنگ نشان دهنده‌ی محل نصب تله‌های رسوب‌گیری می‌باشند).

Figure 1- Geographical position and map of Tabas in Iran

(Green points show the position of sediment traps)

1- *Aqua regia*



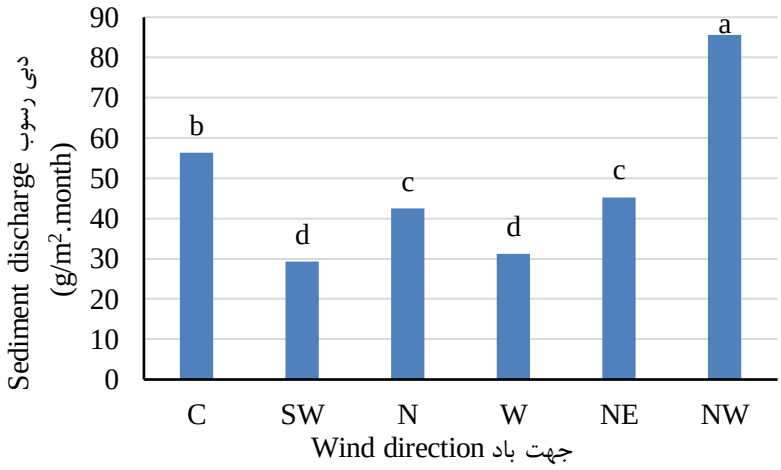
شکل ۲- نمونه رسوب‌گیر مخزنی برای جمع‌آوری ذرات معلق

Figure 2- Sediment trap sampler for collecting suspended particles

نتایج و بحث

میانگین دبی رسوبات بادی از بهمن ۱۳۹۹ تا دی ۱۴۰۰

با توجه به اطلاعاتی که از گذشته در مورد جهت طوفان‌ها وبادهای فرساینده وجود داشت (شکل ۴) تله‌های رسوب‌گیر در مبادی ورودی شهرستان طبس (در جهت‌های شمال، شمال غرب، غرب و جنوب غرب) از بهمن ماه ۱۳۹۹ نصب شده است. علاوه بر این یک تله رسوب گیر هم در مرکز این شهرستان نصب شد تا میزان گرد و غبار وارد شده به شهرستان نیز اندازه‌گیری شود، که نتایج آن در شکل ۳ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده بیشترین مقدار رسوبات بادی از جهت شمال غرب (۸۵/۶۶ گرم بر متر مربع) وارد شده به شهر طبس که به طور معنی‌داری بیشتر از سایر جهات است. کمترین مقدار رسوبات بادی نیز مربوط به جهت‌های جنوب غرب و غرب (به ترتیب ۲۹/۳ و ۳۱/۱۸ گرم بر متر مربع) است که به طور معنی‌داری کمتر از سایر جهات جغرافیایی می‌باشند ولی با یکدیگر تفاوت معنی‌درای ندارند ($p < 0.05$). همچنین، پس از جهت شمال غرب، مقدار رسوبات ورودی به طبس از جهت‌های شمال شرق و شمال قابل توجه است که به طور معنی‌داری بیشتر از جهت‌های جنوب غرب و غرب است. با مقایسه گلباد و مقدار رسوبات بادی، می‌توان گفت تطابق نسبی بین رسوبات بادی با گلباد این شهرستان وجود دارد (شکل ۴). البته تفاوت‌های جزئی در این زمینه دیده می‌شود؛ به طوری که با این‌که بیشترین سرعت باد در جهت شمال دیده می‌شود، اما مقدار رسوبات در این جهت جغرافیایی کمتر از جهت شمال غرب است که علت آن ممکن است ناشی از تفاوت در فرسایش‌پذیری خاک و پوشش گیاهی در این دو جهت باشد.

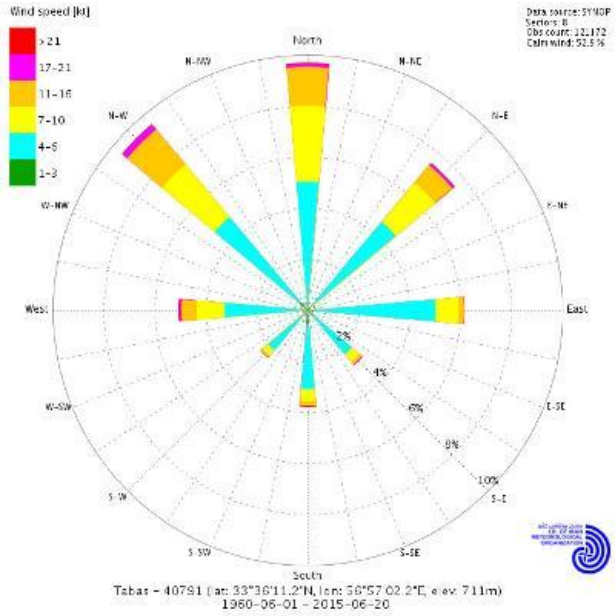


شکل ۳- میانگین دبی رسوبات بادی در جهت‌های جغرافیایی باد غالب و مرکز شهر طبس

(SW: جنوب غرب، W: غرب، NW: شمال غرب، N: شمال و C: مرکز شهر).

Figure 3- The average discharge of wind sediments in the prevailing wind directions and the center of Tabas city

(SW: Southwest, W: West; NW: Northwest, N: North, C: City center).



شکل ٤- گل باد سالانه ایستگاه سینوپتیک طبس

Figure 4- The annual wind Rose of Tabas synoptic station

همچنین با این‌که شدت وزش باد در جهت شمالی بیشتر است، اما چون وزش باد در جهت جنوب وجود دارد، بنابراین مقدار رسوبات بادی کمتر از جهت‌های شمال شرقی و شمال غرب است. علاوه‌براین مقدار رسوبات بادی در مرکز شهر هم قابل توجه می‌باشد و از آن‌جا که رسوبات از محدوده شمال غرب تا شمال شرق وارد شهر می‌شوند و مطابق گلباد شهرستان در جهت مخالف آن وزش باد دیده نمی‌شود بنابراین با وجود این‌که تاسیسات شهری و ساختمانی می‌توانند باعث رسوب ذرات معلق شوند اما بخشی از آن هم از این جهات وارد شهر شده و به همین علت مقدار رسوبات بادی در مرکز شهر زیاد می‌باشد.

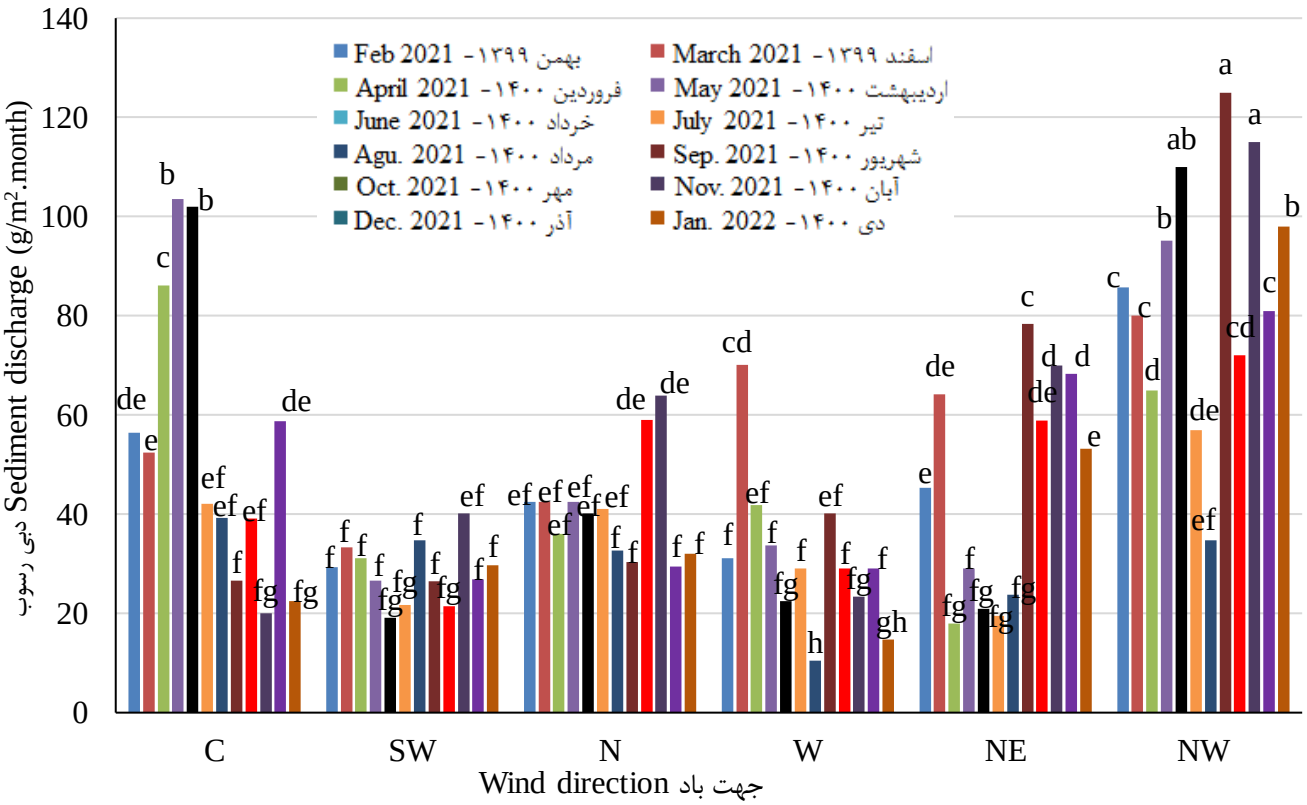
تغییرات ماهانه دبی رسوبات بادی

تغییرات ماهانه دبی رسوبات نیز نشان داد (شکل ۵) که بیشترین مقدار رسوبات بادی در شهریور و آبان ۱۴۰۰ از جهت شمال غرب وارد شهر طبس شده است و به طور معنی‌داری بیشتر از سایر ماه‌های سال در تمامی جهات جغرافیایی است که با توجه به خشکی هوا در این ماه‌ها دور از انتظار نیست. برآیند نرخ رسوبات بادی در مرکز شهر نشان می‌دهد با گرم شدن هوا از فروردین تا خرداد ۱۴۰۰ به طور معنی‌داری نسبت به سایر ماه‌های سال افزایش یافته و روند صعودی داشته و بیشترین مقدار در این ماه‌ها وارد مرکز شهر شده‌اند. نکته‌ای که باید در مورد رسوبات جمع‌آوری شده در مرکز شهر مورد توجه قرار گیرد این است که مقدار رسوبات در این نقطه برآیند تمام جهات جغرافیایی است و ممکن است رسوباتی که از یک جهت وارد می‌شود دوباره با وزش باد از جهت مخالف به مرکز شهر منتقل نشود و با برخورد با تاسیسات ساختمانی قبل از رسیدن به مرکز شهر رسوب نماید. با این حال همان گونه که در شکل ۵ مشاهده می شود در بیشتر ماه‌های سال (بهمن تا خرداد) مقدار رسوبات وارد شده به مرکز شهر بیشترین مقدار است. همچنین در بازه زمانی تیر تا دی، در آذر ماه مقدار رسوبات در مرکز شهر افزایش نشان یافته است که احتمالا به دلیل عوض شدن جهت وزش باد و انتقال رسوبات از جهت‌های غرب، شمال غرب و جنوب شرق می‌باشد. در بین جهت‌های غالب وزش باد که رسوبات بادی در آن جهت‌ها اندازه‌گیری شده است بیشترین مقدار رسوبات از جهت شمال غرب و کمترین مقدار رسوبات بادی نیز در بیشتر ماه‌های سال از جهت‌های غرب و جنوب غرب وارد شهر طبس شده است، زیرا در بیشتر ماه‌های سال، باد غالب از جهت شمال غرب شهر طبس می‌وزد و شدت وزش باد در جهت جنوب غربی نیز در بیشتر ماه‌های سال بسیار کم است (شکل ۴). همچنین با اینکه در جهت غربی هم شدت وزش باد در بیشتر ماه‌های سال نسبتا زیاد است اما وزش باد از سمت مقابل یعنی جهت شرق (با شدت کمتر) نیز وجود دارد و در نتیجه اثر بادهای جهت غربی را تا حدودی خنثی نموده و باعث می‌شوند که رسوبات کمتری از جهت غرب وارد شهر شوند. به طور کلی مقدار رسوبات در شمال غرب در بیشتر ماه‌های سال قابل توجه است که همان طور که اشاره شد به دلیل وزش شدیدترین بادها از این جهت جغرافیایی می‌باشد. در جهت شمال غرب مقدار فرسایش بادی به جز مرداد که به طور معنی‌داری کمتر از سایر ماه‌های سال است، در سایر ماه‌ها بالاست. همچنین در جهت شمال شرقی نیز مقدار فرسایش بادی در بازه زمانی فروردین تا مرداد ۱۴۰۰ به طور معنی داری کمتر از سایر ماه‌های سال

است و مقدرا رسوبات بادی در سایر ماه‌های سال تفاوت معنی‌داری بوجود ندارد. علاوه‌براین در جهت‌های غربی، جنوب غربی و شمالی، مقدار رسوبات تفاوتی معنی‌داری در بیشتر ماه‌های سال با یکدیگر ندارند که با گلباد همخوانی دارد، زیرا سرعت باد در این جهات جغرافیایی در بیشتر ماه‌های سال مشابه است و از جهت‌های مخالف آن‌ها یعنی جهت شرقی و جنوبی هم سرعت وزش باد کم است. به همین علت هم میزان رسوبات در این دو جهت کم و تقریبا مشابه است که به دلیل سرعت کم باد و همچنین وجود باد با سرعت تقریبا مشابه در طول سال می باشد.

میانگین غلظت فلزات سنگین در رسوبات بادی از بهمن ۱۳۹۹ تا دی ۱۴۰۰

تغییرات غلظت منگنز در رسوبات بادی در شکل ۶ نشان داده شده است، که مجموع منگنز وارد شده به شهر طبس در مدت یک سال در جهت غرب و شمال غرب بیشترین مقدار است که با هم تفاوت معنی داری ندارند ولی تفاوت آن‌ها با سایر جهات معنی‌دار است. به طور کلی مقدار منگنز دارای روند غرب > شمال غرب > جنوب غرب > شمال شرق > شمال است. با توجه به مقدار بالای منگنز در رسوبات در همه جهت‌های مورد بررسی و ورود آن‌ها به شهرستان طبس مقدار این عنصر در مرکز شهر بسیار زیاد است و تاثیر مخرب این عنصر بر سلامت انسان، ضرورت کنترل فرسایش بادی بیش از پیش احساس می‌شود. در شکل ۷ تغییرات زمانی عنصر منگنز نشان داده شده است، که بر این اساس روند منگنز در رسوبات همه‌ی جهت‌ها تقریبا مشابه است و در بازه زمانی فروردین تا خرداد ۱۴۰۰ به طور قابل توجهی بیشتر از سایر ماه‌های سال است و بر اساس مقایسه‌ی میانگین‌ها مقدرا رسوبات بادی در تمام جهات جغرافیایی در ماه‌های فروردین تا خرداد به طور معنی داری بیشتر از سایر ماه‌های سال است و بین سایر ماه‌های سال هم تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند ($p < 0.05$)، به طوری که مقدار منگنز در جهت شمال غرب در فروردین ۱۴۰۰ بیشترین مقدار است و از بهمن ۱۳۹۹ تا فروردین ۱۴۰۰ مقدار منگنز موجود در رسوبات بادی روند افزایشی و پس از آن تا دی ۱۴۰۰ روند کاهشی دارد.



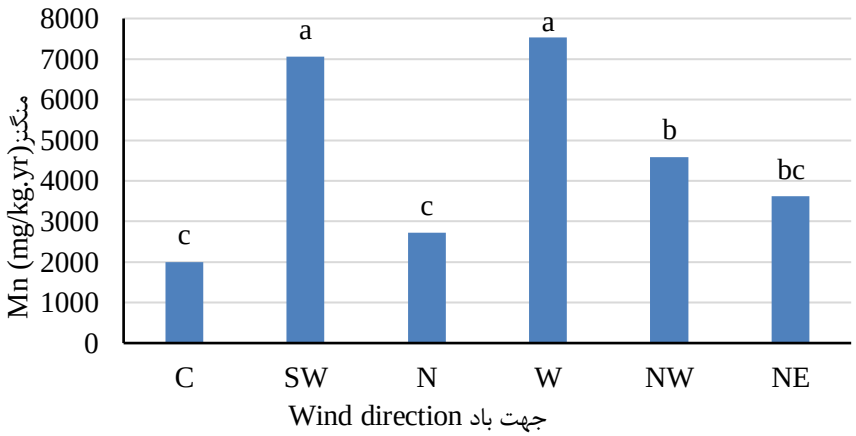
شکل ۵- تغییرات زمانی دبی رسوبات معلق در جهت‌های جغرافیایی باد غالب و مرکز شهر طبس

(SW: جنوب غرب، W: غرب، NW: شمال غرب، N: شمال و C: مرکز شهر)

Figure 5- Temporal changes of wind sediment discharge in the prevailing wind directions and the center of Tabas city

(SW: Southwest, W: West; NW: Northwest, N: North, C: City center)

در جهت شمال غرب بیشترین مقدار منگنز در رسوبات در فروردین و خرداد ۱۴۰۰ دیده می‌شود که دارای تفاوت قابل توجه و معنی‌داری با سایر ماه‌ها است و از بهمن ۱۳۹۹ تا خرداد ۱۴۰۰ دارای روند تقریبا افزایشی است و پس از آن تا دی ۱۴۰۰ روند کاهشی دارد. در جهت شمال بیشترین مقدار منگنز در اردیبهشت و خرداد ۱۴۰۰ دیده می‌شود که دارای تفاوت معنی‌داری با سایر ماه‌های سال است و از اسفند تا اردیبهشت مقدار آن افزایش یافته و پس از آن تا دی ۱۴۰۰ به شدت کاهش یافته است ولی تفاوت آن‌ها معنی‌دار نیست. در جهت غرب بیشترین مقدار منگنز به ترتیب در اردیبهشت، فروردین و خرداد دیده می‌شود که مقدار رسوبات بادی در این ماه‌ها به طور معنی‌داری بیشتر از سایر ماه‌های سال است، البته تفاوت فروردین و اردیبهشت معنی‌دار نیست. در این جهت جغرافیایی نیز از بهمن ۱۳۹۹ تا اردیبهشت ۱۴۰۰ مقدار منگنز روند افزایشی دارد و پس از آن تا دی ۱۴۰۰ روند کاهشی دارد؛ به‌طوری که بازه زمانی تیر تا دی ۱۴۰۰ و همچنین بهمن و اسفند ۱۳۹۹ مقدار منگنز در رسوبات بادی بسیار کم است و تفاوت آن‌ها معنی‌دار نیست. در جهت شمال شرق، مقدار منگنز از اسفند ۱۳۹۹ تا اردیبهشت ۱۴۰۰ افزایش یافته و در اردیبهشت به بیشترین مقدار خود رسیده است که تفاوت آن با سایر ماه‌های سال معنی‌دار است، پس از آن تا دی ۱۴۰۰ به شدت کاهش یافته است و در بیشتر ماه‌های سال تفاوت آن‌ها معنی‌دار نیست. همچنین در مرکز شهر، مقدار منگنز در بازه زمانی اسفند ۱۳۹۹ تا خرداد ۱۴۰۰ بیشتر از سایر ماه‌های سال است، ولی در بیشتر ماه‌های سال، مقدار رسوبات بادی تفاوت معنی‌داری ندارند. با توجه به نتایج مقدار منگنز عمدتا در بازه زمانی اسفند تا اواخر فصل بهار روند افزایشی دارد که مقدار رسوبات بادی در مرکز شهر هم تقریبا دارای چنین روندی است، ولی در تمام جهات جغرافیایی ممکن است به دلیل فعالیت‌های انسانی در این بازه زمانی باشد که باعث افزایش مقدار منگنز در رسوبات بادی شده است. با وجود مقادیر زیاد منگنز در رسوبات بادی حد آستانه سمیت یا آلودگی آن در منابع مثل سازمان بهداشت جهانی یا سازمان محیط زیست گزارش نشده است و به نظر می‌رسد توجه به این عنصر و ارائه حد سمیت برای آن ضروری باشد. بر اساس نتایج غلظت منگنز در جهت غرب و جنوب غرب بیشتر از سایر جهات است که به نظر می‌رسد ناشی از فعالیت‌های انسان‌زاد و به ویژه معدن پرورده طبس در جنوب غرب این شهرستان است، زیرا رجب‌زاده و همکاران (Rajabzadeh *et al.*, 2015) با مطالعه ژئوشیمی زغال‌سنگ این معدن دریافتند به جز کادمیوم، لیتیم و روی غلظت سایر عناصر فرعی در آن بالاست، بنابراین غلظت منگنز در رسوبات بادی جهات غرب و به‌ویژه جنوب غرب بیشترین مقدار است. همچنین یزدی (Yazdi, 2005; Yazdi, 2004) با آنالیز شیمیایی زغال‌سنگ معدن مزینو واقع در ۸۵ کیلومتری غرب طبس دریافت مقدار عناصر گوگرد، سیلسیم، آلومینیوم، آهن، منگنز، نیکل، بریلیم، آرسنیک، سرب، کروم، وانادیوم و کبالت بیشتر از حد معمول در زغال سنگ‌ها است که منگنز موجود در آن می‌تواند از طریق رسوبات بادی وارد شهر طبس شود.

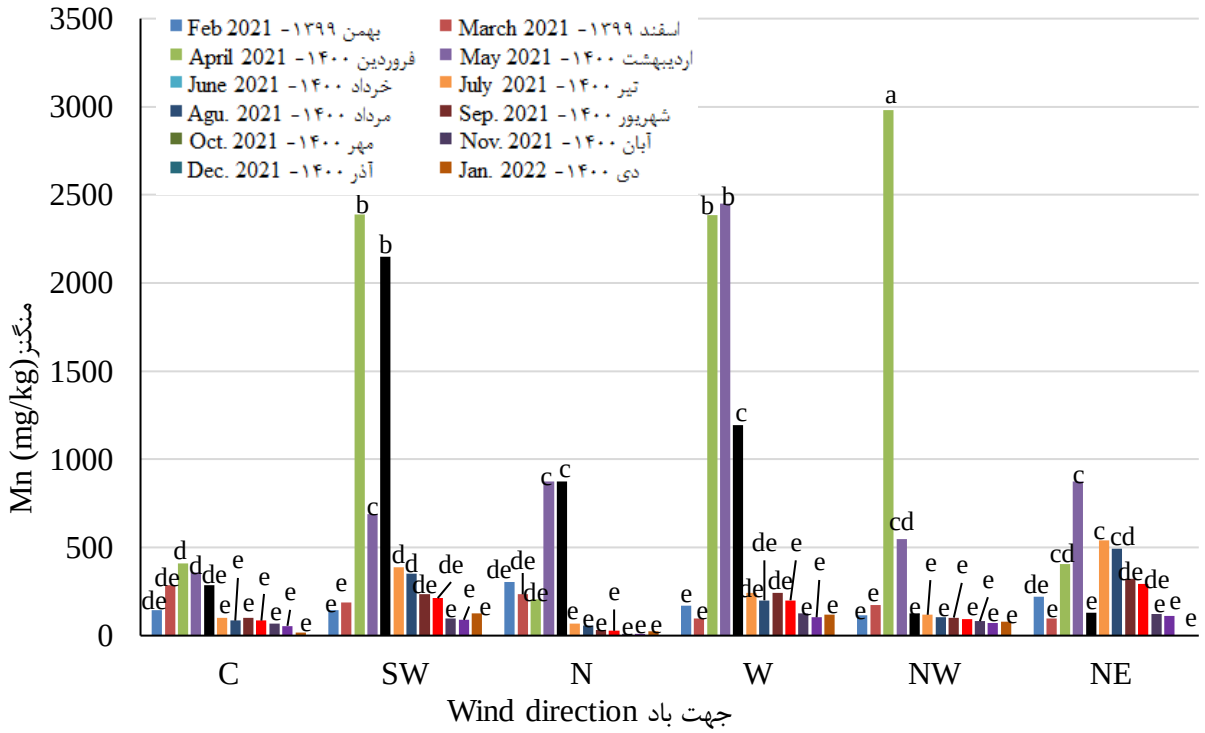


شکل ٦- مقدار منگنز در رسوبات بادی در جهت‌های جغرافیایی باد غالب و مرکز شهر طبس

(SW: جنوب غرب، W: غرب، NW: شمال غرب، N: شمال و C: مرکز شهر)

Figure 6- The amount of manganese in wind deposits in the prevailing wind directions and the center of Tabas city

(SW: Southwest, W: West; NW: Northwest, N: North, C: City center)



شکل ۷- تغییرات زمانی منگنز در رسوبات معلق در جهت‌های جغرافیایی باد غالب و مرکز شهر طبس

(SW: جنوب غرب، W: غرب، NW: شمال غرب، N: شمال و C: مرکز شهر)

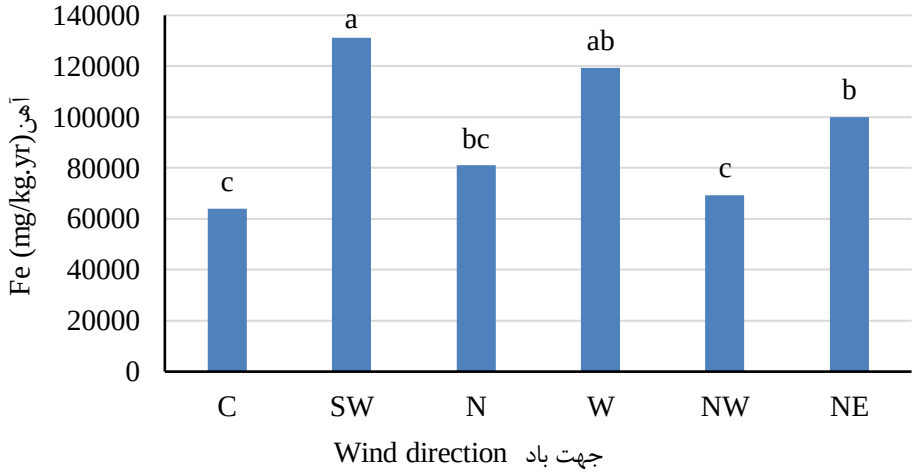
Figure 7- Temporal changes of manganese in suspended load in the prevailing wind directions and the center of Tabas city

(SW: Southwest, W: West; NW: Northwest, N: North, C: City center)

آهن

تغییرات غلظت آهن در رسوبات بادی در شکل ۸ نشان داده شده است که بر اساس آن، مجموع آهن وارد شده به شهر طبس در مدت یک سال در جهت جنوب غرب بیشترین مقدار است و به جز جهت غرب تفاوت معنی‌داری با سایر جهات جغرافیایی دارد ($p < 0.05$) و به طور کلی مقدار آهن دارای روند جنوب غرب > غرب > شمال شرق > شمال > شمال غرب است و به طور کلی مقدار آهن در رسوبات همه جهات بسیار بالاست؛ به‌طوری که مقدار تجمعی آهن در مدت یک سال (شکل ۸) در مرکز شهر و مبادی ورودی تمام جهات جغرافیایی بیش از آستانه متوسط آلودگی (۳۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) طبق استاندارد سازمان بهداشت جهانی (جدول ۱) است. در شکل ۹ تغییرات زمانی عنصر آهن نشان داده شده است، که بر این اساس بیشترین مقدار آهن در رسوبات بادی در فرودین ۱۴۰۰ در جهت غرب و در تیر ۱۴۰۰ در جهت جنوب غرب مشاهده می‌شود که تفاوت معنی‌داری با سایر ماه‌های سال در جهت‌های جغرافیایی مختلف دارند. همچنین روند آهن در رسوبات همه‌ی جهت‌ها و مرکز شهر طبس تقریبا مشابه است و در بازه زمانی بهمن ۱۳۹۹ تا خرداد ۱۴۰۰ به طور معنی‌داری بیشتر از سایر ماه‌های سال است، البته روند افزایش غلظت آهن در رسوبات بادی در جهت جنوب غربی تا تیر ۱۴۰۰ ادامه دارد؛ به طوری که بیشترین مقدار آهن در جهت‌های جنوب غرب، شمال، غرب، شمال غرب، شمال شرق و مرکز شهر به ترتیب در ماه‌های تیر، اردیبهشت، فرودین، فرودین، اردیبهشت و اردیبهشت ۱۴۰۰دیده می‌شود. در واقع به دلیل وجود آهن زیاد در خاک‌های منطقه از یک سو و وزش بادهای فرساینده از سوی دیگر باعث شده است آهن هم از نواحی نزدیک و هم نواحی دور همراه با رسوبات بادی منتقل شود و مشابه سایر عناصر با تغییر پوشش گیاهی و ضریب زبری و همچنین خشکی خاک، مقدار آهن موجود در رسوبات در بعضی ماه‌های گرم سال بیشتر شده است. با توجه به وجود معدن زغال سنگ پرورده واقع در ۷۵ کیلومتری جنوب غرب طبس ممکن است بخشی از آهن موجود در رسوبات معلق ناشی از فعالیت‌های معدن کاوی باشد زیرا پیریت یکی از کانی‌های موجود در زغال سنگ طبس است که در دو مرحله از زغال‌سنگ این معدن حذف می‌شود (Abdollahi and Shahbazi, 2005) و از آنجا که پیریت حاوی آهن است به نظر می‌رسد بخشی از آهن حذف شده از زغال سنگ در هنگام حذف پیریت از طریق رسوبات بادی به ویژه در جهت غرب وارد این شهر شده باشند. همچنین یزدی (Yazdi, 2005; Yazdi, 2004) با آنالیز شیمیایی زغال‌سنگ معدن مزینو واقع در ۸۵ کیلومتری غرب طبس دریافت مقدار عناصر گوگرد، سیلسیم، آلومینیوم، آهن، منگنز، نیکل، بریلیم، آرسنیک، سرب، کروم، وانادیوم و کبالت بیشتر از حد

معمول در زغال سنگ‌ها است که آهن موجود در آن می‌تواند از طریق رسوبات بادی وارد شهر طبس شود. همچنین رجب‌زاده و همکاران (Rajabzadeh *et al.*, 2015) با مطالعه ژئوشیمی زغال‌سنگ معدن پرورده طبس دریافتند کانی‌های ایلیت، کائولینیت، پیریت، سین‌ژنتیک، کلیست و کوارتز فروان‌ترین کانی‌های زغال‌سنگ این معدن هستند، که برخی از این کانی‌ها به ویژه پیریت سرشار از آهن هستند و عامل افزایش غلظت آهن در رسوبات بادی در جهت جنوب غربی طبس می باشد. با مقایسه نتایج این پژوهش (شکل ۹) با استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۳۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، جدول ۱) نشان می‌دهد که در بسیاری از ماه‌های سال مقدار آهن موجود در رسوبات فراتر از حد استاندارد است. به عنوان مثال مقدار آهن در مرکز شهر و جهت‌های شمال و شمال غرب در بازه زمانی بهمن تا خرداد فراتر از حد آلودگی متوسط و حتی شدید می‌باشد. در جهت جنوب غرب به غیر از آبان و دی ۱۴۰۰که آلودگی آهن در حد کم تا متوسط است در بقیه ماه‌ها مقدار آهن فراتر از حد آلودگی متوسط و حتی شدید است. در جهت غرب نیز مقدار آهن در تمامی ماه‌ها بیشتر از حد آلودگی متوسط و حتی شدید می‌باشد. به نظر می‌رسد از اسفند تا خرداد که سرعت وزش باد در جهت‌های شمال غرب و غرب بیشتر است و همزمان به تدریجی بر شدت خشکی افزوده می‌شود، مقدار آهن در رسوبات بادی به‌ویژه در جهت شمال غرب بیشتر شده است. با اینکه پدیده خشکی در ماه‌های تابستان هم وجود دارد اما در بازه تیر تا آذر ماه جهت وزش باد در جهت جنوب شرق هم بیشتر شده و احتمالا مقدرا رسوبات ورودی از سمت شمال غرب و در نتیجه مقدار آهن کاهش یافته است. در جهت شمال شرق نیز به غیر از دی ۱۴۰۰ در بقیه ماه‌ها مقدار آهن فراتر از حد آلودگی متوسط و حتی شدید است.



شکل ۸- مقدار آهن در رسوبات معلق در جهت‌های جغرافیایی باد غالب و مرکز شهر طبس

(SW: جنوب غرب، W: غرب، NW: شمال غرب، N: شمال و C: مرکز شهر)

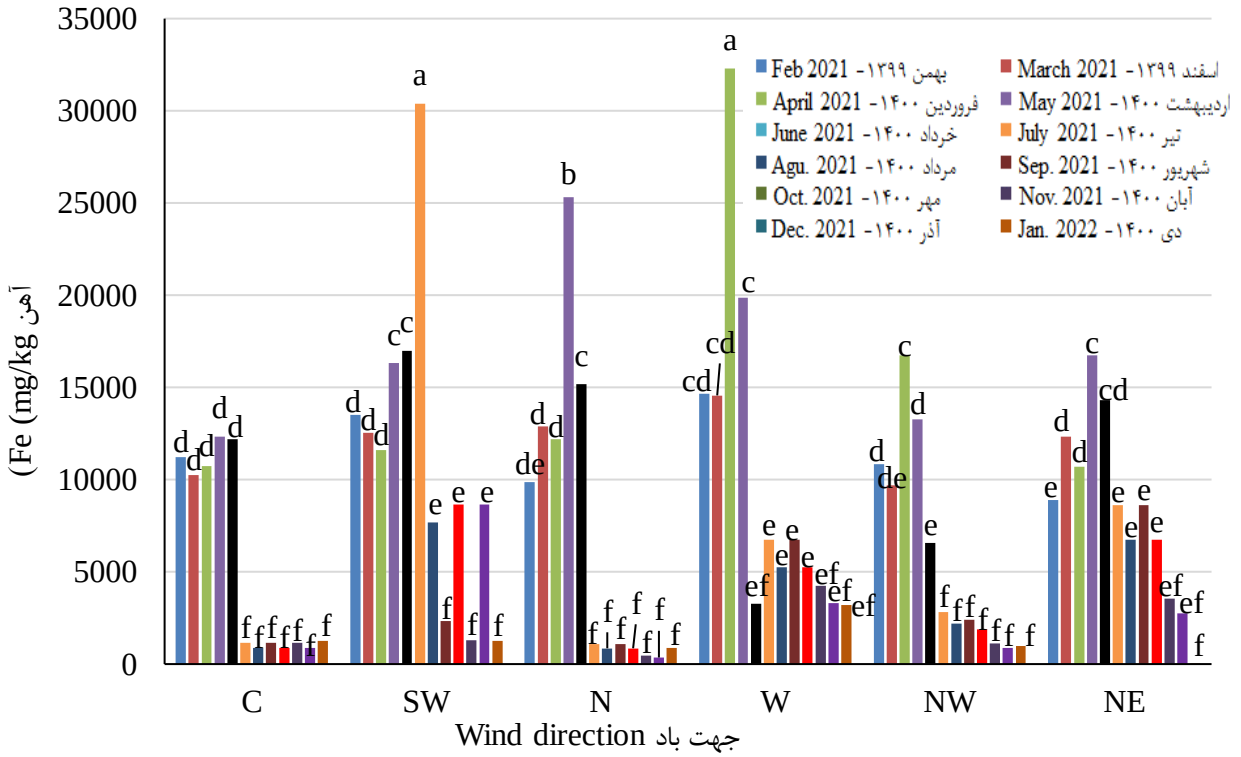
Figure 8- The amount of iron in wind deposits in the prevailing wind directions and the center of Tabas city

(SW: Southwest, W: West; NW: Northwest, N: North, C: City center)

جدول ۱- استاندارد سازمان بهداشت جهانی برای فلزات سنگین خاک (mg/kg) نقل از (MacDonald *et al.*, 2000)

Table 1- World health organization standard for soil heavy metal (mg/kg; MacDonald *et al.*, 2000)

فلزات سنگین Heavy metals	آلودگی کم Low pollution	آلودگی متوسط Medium pollution	آلودگی زیاد High pollution
آهن Fe	2000	3000	-
نیکل Ni	23	36	49
مس Cu	35	-	-
روی Zn	120	290	460
سرب Pb	36	83	130



شکل ۹- تغییرات زمانی آهن در رسوبات معلق در بازه زمانی بهمن ۱۳۹۹ تا آذر ۱۴۰۰ در جهت‌های جغرافیایی باد غالب و مرکز شهر طبس

(SW: جنوب غرب، W: غرب، NW: شمال غرب، N: شمال و C: مرکز شهر)

Figure 9- Temporal changes of iron in suspended load in the prevailing wind directions and the center of Tabas city

(SW: Southwest, W: West; NW: Northwest, N: North, C: City center)

مس

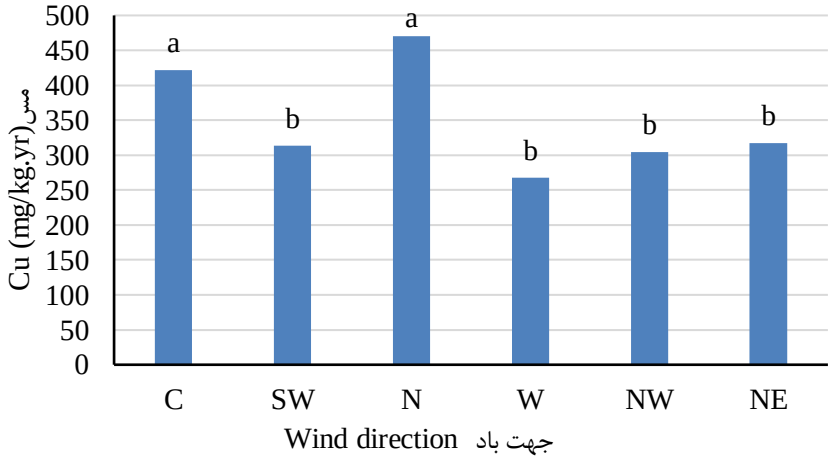
تغییرات غلظت مس در رسوبات بادی در شکل ۱۰ نشان داده شده است، که بر خلاف سایر عناصر، مجموع مس وارد شده به شهر طبس درمدت یک سال در جهت شمال بیشترین مقدار است و روند آن نیز با سایر عناصر متفاوت است؛ به طوری که مقدار مس دارای روند شمال > شمال شرق ≈ جنوب غرب ≈ شمال غرب > غرب است. بر اساس نتایج مقایسه‌ی میانگین‌ها، به جز جهت شمال که مقدار مس به طور معنی‌داری بیشتر از سایر جهات جغرافیایی است، بقیه جهت‌های جغرافیایی تفاوت معنی‌دار با یکدیگر ندارند و می‌توان گفت مقدار مس در خاک‌های نواحی شمالی بیشتر است و احتمالا به دلیل انتقال از جهت شمال شرق به سمت مخالف یعنی جنوب غرب انتقال این عنصر هنگام وزش باد از جهت مخالف (جنوب غرب) نیز زیاد شده است. به طور کلی، رسوبات وارد شده به طبس حاوی مقادیر نسبتا بالایی از مس هستند؛ به‌طوری که مقدار تجمعی عنصر مس در مدت یک سال (شکل ۱۰) بیانگر این موضوع می‌باشد که در مرکز شهر و مبادی ورودی تمام جهات جغرافیایی مقدار تجمعی مس بیشتر از آستانه آلودگی کم (۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) طبق استاندارد سازمان بهداست جهانی (جدول ۱) است. همچنین در جهت شمال و مرکز شهر مقدار تجمعی عنصر مس به بیش از ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم رسیده است که طبق استاندارد سازمان محیط زیست ایران برای مناطق مسکونی (https://www.doe.ir/portal/file/?977240/soil-standard-1.pdf) بیشتر از آستانه آلودگی است و در درازمدت مقدار آن بیشتر از این این هم خواهد بود و در نتیجه در درازمدت خطر این فلزات زیاد است.

در شکل ۱۱ تغییرات زمانی عنصر مس نشان داده شده است، که بر این اساس روند مس در رسوبات همه‌ی جهت‌ها تقریبا مشابه است و در همه جهت‌ها کمترین مقدار مس در اردیبهشت ۱۴۰۰ دیده می شود، ولی تفاوت آن با بیشتر ماه‌های سال معنی‌دار نیست. البته در جهت شمال شرق کمترین مقدار مس در دی ۱۴۰۰ و در جهت غرب در فروردین و اردیبهشت ۱۴۰۰ مشاهده می‌شود. بیشترین مقدار مس در رسوبات بادی نیز در جهت‌های شمال شرقی، شمالی و جنوب غربی در فرودین ۱۴۰۰، در جهت غرب در اسفند ۱۳۹۹ و در جهت شمال غرب نیز در دی ۱۴۰۰ دیده می‌شود که تفاوت آن‌ها با سایر ماهای سال معنی‌دار است. همچنین در همه‌ی جهت‌های جغرافیایی به جز اردیبهشت، در بازه زمانی بهمن ۱۳۹۹ تا خرداد ۱۴۰۰ مقدار مس در رسوبات بادی زیاد است و در بازه زمانی خرداد تا دی ۱۴۰۰ روند کاهش

غیرمعنی‌دار مقدار مس در این رسوبات دیده می‌شود، که چنین روندی در مرکز شهر هم قابل مشاهده است. البته بیشترین مقدار مس در رسوبات بادی مرکز شهر در خرداد ماه دیده می‌شود. علاوه‌بر این در مجموع مقدار مسی که از طریق رسوبات چه در مرکز شهر و چه در جهت‌های جغرافیایی مورد بررسی زیاد است. وزش بادهای فرساینده باعث شده است مس همراه با رسوبات بادی منتقل شود و مشابه سایر عناصر باتغییر پوشش گیاهی و ضریب زبری و همچنین خشکی خاک، مقدار مس موجود در رسوبات در بعضی ماه‌های گرم سال بیشتر شده است. با مقایسه نتایج این پژوهش (شکل ۱۱) با استانداردهای مختلف نشان می‌دهد که در بعضی از ماه‌های سال مقدار مس موجود در رسوبات فراتر از حد استاندارد است. به عنوان مثال مقدار مس در مرکز شهر در خرداد ۱۴۰۰ (۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم)، در جهت جنوب غرب در فروردین ۱۴۰۰ (۷۷/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم)، در جهت شمال در اسفند ۱۴۰۰ (۷۸/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) و فروردین ۱۴۰۰ (۸۷/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم)، در جهت غرب در اسفند ۱۳۹۹ (۶۸/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) و در جهت شمال شرق در فروردین ۱۴۰۰ (۹۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیشتر از استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۶۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) در حد آلودگی محیط زیست می‌باشد. مس عموما در نزدیکی معادن، مکان‌های صنعتی و محل دفن زباله‌ها یافت می‌شود. از طرف دیگر تشکیلات زمین‌شناسی نیز حاوی این عناصر سنگین هستند که می‌توانند از طریق فرسایش بادی همراه با ذرات معلق در هوا وراد مناطق شهری شوند و از راه استنشاق، تماس پوستی و یا بلع وارد بدن انسان شده و سبب عوارض مختلفی در انسان شوند، زیرا برخی از این فلزات سنگین مانند کادمیوم و روی عناصر غیرضروی و سرطان‌زا هستند. برخی فلزات سنگین دیگر مانند نیکل، روی و مس برای رشد بدن ضروری هستند و عناصر ضروری کم‌مصرف به شمار می‌روند، اما در غلظت‌های زیاد اثرات سمی دارند (Li *et al.*, 2013). حافظ دربانی و همکاران (Hafez Darbani *et al.*, 2012) مطاعاتی با بررسی زمین‌شناسی و ژئوشیمی جنوب شرق طبس عنوان کردند که شرق ایران به دلیل رویداد فرورانش در زمان‌های گذشته و به دنبال آن وجود حجم عظیم ماگماتیسم، پتانسیل بسیار مناسبی برای تشکیل کانی‌های مختلف به‌ویژه کانسارهای مس پروفیری دارد. بنابراین به نظر می‌رسد دلیل وجود مس در رسوبات باید نیز ناشی از فرآیندهای زمین شناسی در این منطقه باشد.

روی

تغییرات غلظت روی در رسوبات بادی در شکل ۱۲ نشان داده شده است، که مجموع روی وارد شده به شهر طبس در مدت یک سال در جهت غربی بیشترین مقدار است که تفاوت آن فقط با جهت‌های شمال و شمال شرق معنی‌دار است و سایر جهات جغرافیایی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. روند عنصر روی در رسوبات بادی نیز به صورت غرب > جنوب غرب ≈ شمال غرب > شمال > شمال شرق است که بر این اساس می‌توان گفت مقدار مس در خاکهای نواحی غربی بیشتر است. البته در مجموع رسوبات وارد شده به طبس حاوی مقادیر نسبتا بالایی از روی هستند؛ به‌طوری که مقدار تجمعی آن در مدت یک سال (شکل ۱۲) در مرکز شهر و مبادی ورودی تمام جهات جغرافیایی بیش از آستانه شدید آلودگی (۴۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) طبق استاندارد سازمان بهداشت جهانی (جدول ۱) است.

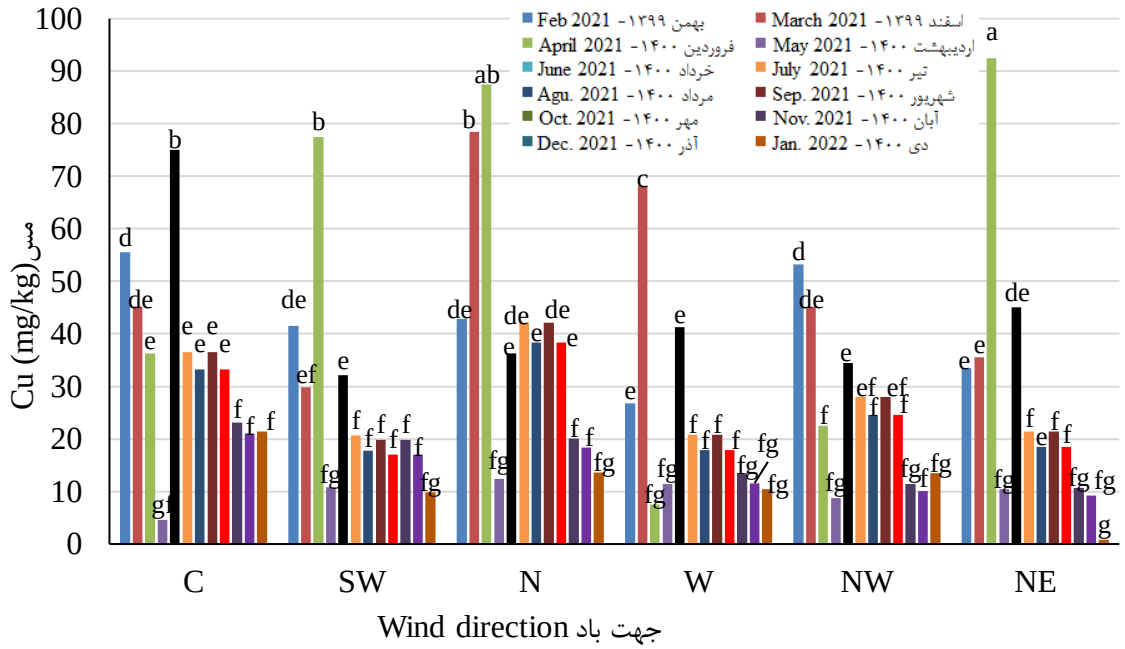


شکل ۱۰- مقدار مس در رسوبات معلق در جهت‌های جغرافیایی باد غالب و مرکز شهر طبس

(SW: جنوب غرب، W: غرب، NW: شمال غرب، N: شمال و C: مرکز شهر)

Figure 10- The amount of cupper in wind deposits in the prevailing wind directions and the center of Tabas city

(SW: Southwest, W: West; NW: Northwest, N: North, C: City center)



شکل ۱۱- تغییرات زمانی مس در رسوبات معلق در بازه زمانی بهمن ۱۳۹۹ تا آذر ۱۴۰۰ در جهت‌های جغرافیایی باد غالب و مرکز شهر طبس

(SW: جنوب غرب، W: غرب، NW: شمال غرب، N: شمال و C: مرکز شهر)

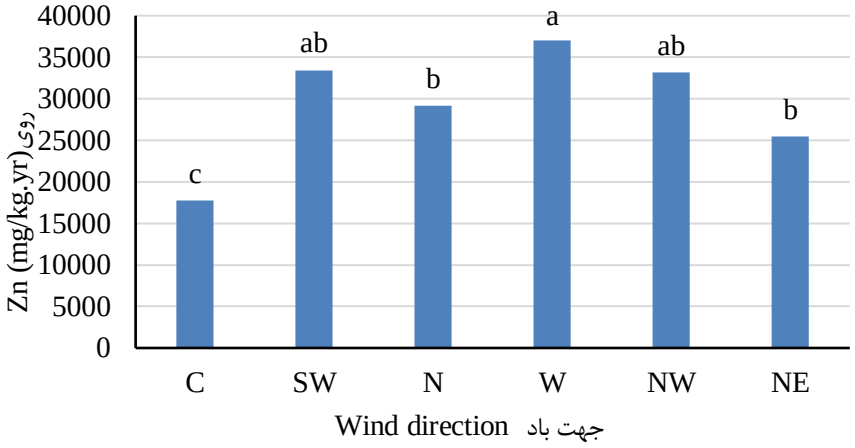
Figure 11- Temporal changes of cupper in suspended load in the prevailing wind directions and the center of Tabas city

(SW: Southwest, W: West; NW: Northwest, N: North, C: City center)

همچنین مقدار تجمعی روی در مدت یک سال، در مرکز شهر و مبادی ورودی تمام جهات جغرافیایی طبق استاندارد سازمان محیط زیست ایران برای مناطق مسکونی (https://www.doe.ir/portal/file/?977240/soil-standard-1.pdf) بیشتر از آستانه آلودگی (۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) است. روند غلظت روی تا حدود زیادی شبیه به منگنز است و به نظر می‌رسد که علت زیاد بودن غلظت این دو عنصر در جهت‌های غرب و جنوب غرب احتمالا یکسان است که با پژوهش های قبلی هم همخوانی دارد. به عنوان مثال رجب‌زاده و همکاران (Rajabzadeh *et al.*, 2015) با مطالعه ژئوشیمی زغال‌سنگ معدن پرورده طبس در جنوب غرب این شهرستان دریافتند به جز کادمیوم، لیتیم و روی غلظت سایر عناصر فرعی در آن بالاست، که احتمالا منجر به افزایش غلظت روی در رسوبات بادی جهات غرب و جنوب غرب شده است.

در شکل ۱۳ تغییرات زمانی عنصر روی نشان داده شده است، که بر این اساس در جهت جنوب غرب کمترین و بیشترین مقدار روی به ترتیب در اردیبهشت ۱۴۰۰ و اسفند ۱۳۹۹ دیده می‌شود و غلظت این عنصر روند مشخصی در این جهت جغرافیایی در طول سال ندارد؛ به طوری که غلظت عنصر روی از اسفند ۱۳۹۹ تا اردیبهشت ۱۴۰۰ روند کاهشی معنی‌دار داشته، در خرداد ۱۴۰۰ غلظت آن افزایش یافته و پس از آن تا مهر ۱۴۰۰ غلظت آن به صورت غیرمعنی‌داری کاهش یافته است، دوباره در آبان ۱۴۰۰ به طور معنی‌داری افزایش یافته و پس از آن تا دی ۱۴۰۰ روند کاهشی معنی‌داری دارد. در جهت شمالی نیز بیشترین و کمترین مقدار روی به ترتیب در اسفند ۱۳۹۹ و آذر ۱۴۰۰دیده می‌شود که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر دارند. از اسفند ۱۳۹۹ تا دی ۱۴۰۰ تقریبا روند کاهش عنصر روی در رسوبات بادی دیده می‌شود، ولی تفاوت آن‌ها از اردیبهشت تا آذر معنی‌دار نیست. در جهت غربی با آنکه از بهمن ۱۳۹۹ تا تیر ۱۴۰۰ مقدار عنصر روی در رسوبات بادی تقریبا روند افزایشی و معنی‌داری دارد اما پس از آن روند منظمی دیده نمی شود، به‌طوری که در ماه‌های تیر، شهریور و آبان ۱۴۰۰ بیشترین و در دی ۱۴۰۰ نیز کمترین مقدار عنصر روی در رسوبات بادی وجود دارد که غلظت روی در سوبات بادی این ماه با تمامی ماه‌های سال به جز بهمن ۱۳۹۹ معنی‌دار است. در جهت شمال غرب بیشترین مقدار عنصر روی در فرودین ۱۴۰۰ و اسفند ۱۳۹۹ مشاهدهد می‌شود و دارای تفاوت معنی‌درای با تمامی ماه‌های سال در تمامی جهات جغرافیایی دارند. کمترین مقدار آن نیز در دی ۱۴۰۰ دیده می‌شود. در این جهت جغرافیایی از فرودین تا شهریور ۱۴۰۰روند کاهشی و معنی‌دار مقدار عنصر روی در رسوبات بادی قابل مشاهده است واز شهریور تا آذر به مقدار جزیی افزایش و در دی دوباره به طور غیر معنی‌داری کاهش یافته است. در جهت شمال شرقی، مشابه با جهت جنوب غربی بیشترین و کمترین مقدار عنصر روی در اسفند ۱۳۹۹ و اردیبهشت ۱۴۰۰ وجود دارد که دارای تفاوت معنی‌داری با یکدیگر و همچنین با سایر ماه‌های سال هستند. در این جهت جغرافیایی نیز روند مشخصی از نظر مقدار

روی در رسوبات بادی قابل مشاهده نیست، به‌طوری که فقط در بازه زمانی اسفند ۱۳۹۹ تا اردیبهشت ۱۴۰۰ روند کاهشی و معنی‌دار در مقدار عنصر روی دیده می‌شود، اما پس از آن روند مشخصی و معنی‌داری وجود ندارد.

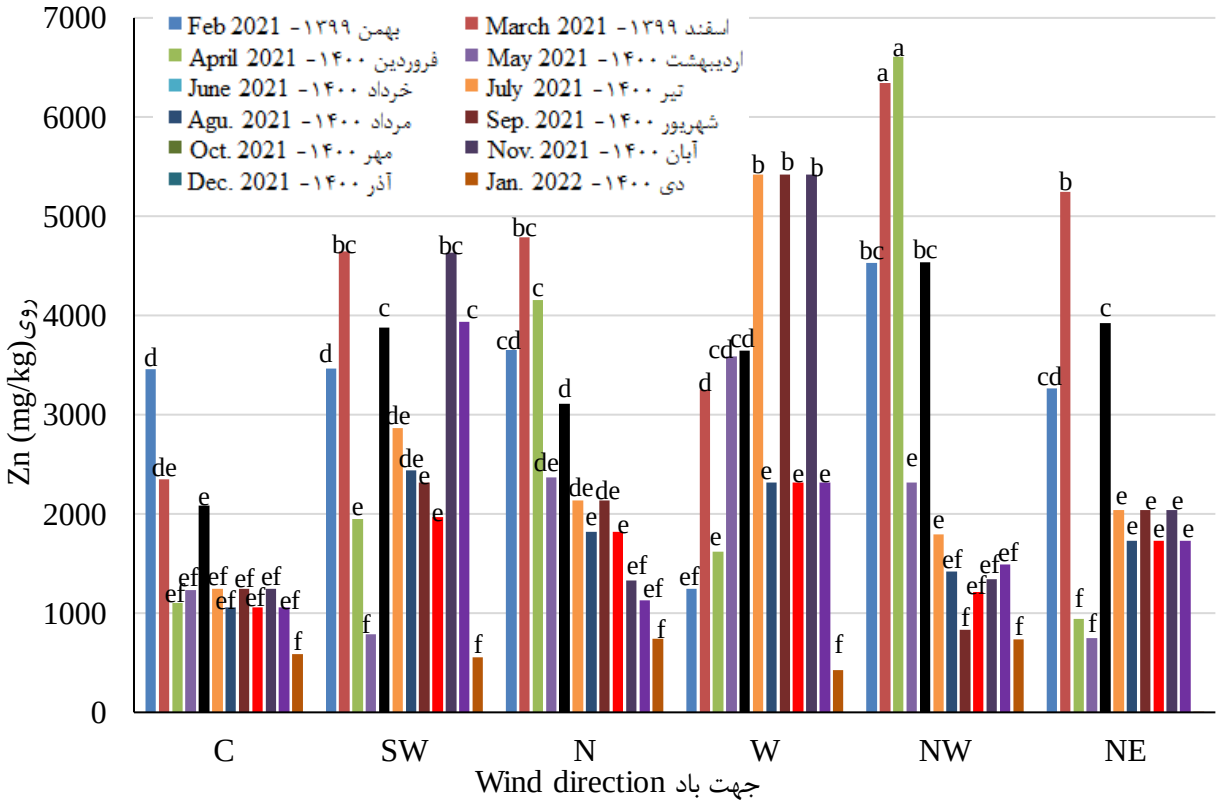


شکل ۱۲- مقدار تجمعی روی در رسوبات معلق در بازه زمانی بهمن ۱۳۹۹ تا آذر ۱۴۰۰ در جهت‌های جغرافیایی باد غالب و مرکز شهر طبس

(SW: جنوب غرب، W: غرب، NW: شمال غرب، N: شمال و C: مرکز شهر)

Figure 12- The amount of zinc in wind deposits in the prevailing wind directions and the center of Tabas city

(SW: Southwest, W: West; NW: Northwest, N: North, C: City center)



شکل ۱۳- تغییرات زمانی روی در رسوبات معلق در بازه زمانی بهمن ۱۳۹۹ تا آذر ۱۴۰۰ در جهت‌های جغرافیایی باد غالب و مرکز شهر طبس

(SW: جنوب غرب، W: غرب، NW: شمال غرب، N: شمال و C: مرکز شهر)

Figure 13- Temporal changes of zinc in suspended load in the prevailing wind directions and the center of Tabas city

(SW: Southwest, W: West; NW: Northwest, N: North, C: City center)

در مرکز شهر هم بیشترین مقدار روی در رسوبات بادی به ترتیب در ماه‌های بهمن و اسفند ۱۳۹۹ و خرداد ۱۴۰۰ دیده می‌شود که فقط این دو ماه دارای تفاوت معنی‌داری با یکدیگر می‌باشند و در سایر ماه‌ها مقدار روی تقریبا مشابه است و در مجموع مقدار روی که از طریق رسوبات به مرکز شهر وارد می‌شود زیاد است. وزش بادهای فرساینده باعث شده است روی همراه با رسوبات بادی منتقل شود و مشابه سایر عناصر با تغییر پوشش گیاهی و ضریب زبری و همچنین خشکی خاک، مقدار روی موجود در رسوبات در بعضی ماه‌های گرم سال بیشتر شده است.

تحقیقات مختلفی در ایران در زمینه آلودگی رسوبات به عناصر سنگین انجام شده است که نتایج برخی از آنها نشان دهنده روند نسبتا مشابه با این پژوهش است. به عنوان مثال سیاحتی اردکانی و همکاران (Siyahati Ardakani *et al.*, 2018) با اندازه گیری غلظت فلزات سنگین در شمال غرب اردکان دریافتند که روی و کادمیوم به ترتیب دارای بیشترین و کمترین غلظت بودند و ترتیب آنها به صورت روی> وانادیم> نیکل> کروم> سرب > آرسنیک > مولیبدن > کادمیوم بود. بر اساس نتایج آنها خاک منطقه از نظر آلودگی به فلزات سنگین در کلاس بالای آلودگی قرار نداشت، ولی با توجه به افزایش غلظت بعضی از فلزات سنگین مثل سرب، وانادیوم و روی در خاک سطحی حاشیه صنایع گندله سازی و فولاد نتیجه گرفتند که این صنایع بر روند آلودگی خاک تاثیر گذاشته‌اند. سلگی و عبداللهی (Solgi and Abdollahi, 2022) با بررسی میزان آلایندگی فلزات سنگین سرب، روی، مس و کادمیوم در رسوبات اتمسفری شهر زاهدان نشان دادند سرب (۲۷۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) و کادمیوم (۲۰/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیشترین دارای بیشترین و کمترین غلظت در رسوبات بودند. البته غلظت هر دو عنصر سرب و کادمیوم بیشتر از حد استاندارد است، به طوری که کادمیوم در کلاس آلودگی بسیار بالا و سرب در کلاس آلودگی بالا قرار دارد. همچنین ترتیب فلزات سنگین مورد بررسی به صورت سرب> مس > روی > کادمیوم بود، به طوری که این پژوهش غلظت بالای سرب و مس به فعالیت‌انسانی از جمله ترافیک، استهلاک عایق ترمز، احتراق مواد نفتی و تعداد زیاد کارگاه‌های تعمیر خودرو نسبت داده شد. در حالی که در در منطقه طبس غلظت روی بیشتر از مس بود که احتمالا به دلیل سازندهای زمین شناسی و فعالیت‌های معدنی و ناخالصی‌های موجود در معدن زغال‌سنگ طبس باعث افزایش غلظت بعضی از عناصر مثل منگنز، آهن و روی در رسوبات بادی شده است. میرباقری و همکاران (Mirbagheri *et al.*, 2019) با بررسی میزان آلودگی خاک و رسوبات دشت شهرکرد به فلزات سنگین گزارش نمودند که روند آلودگی فلزات سنگین مورد بررسی به صورت روی > نیکل > سرب > کادمیوم بود، که زیاد بودن مقدار روی مشابه با نتایج این پژوهش است.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به دست آمده بیشترین و کمترین مقدار رسوبات بادی وارد شده به شهر طبس به ترتیب از جهت شمال غرب و غرب میزان ۸۵/۶۶ و ۲۹/۳ گرم بر متر مربع است. تغییرات زمانی دبی رسوبات نیز نشان داد که بیشترین مقدار رسوبات بادی در شهریور، آبان و خرداد ۱۴۰۰ از جهت شمال غرب وارد شهر طبس شده است. مقدار فلزات سنگین در رسوبات بادی نشان داد مجموع منگنز و روی وارد شده به شهر طبس در مدت یک سال در جهت غرب، آهن در جهت جنوب غرب و مس در جهت شمال بیشترین مقدار است که زیاد بودن غلظت آهن، منگنز و روی در جهت‌های جنوب غرب و غرب احتمالا ناشی از فعالیت معدنی زغال‌سنگ پرورده در جنوب غرب طبس است. همچنین تغییرات زمانی عنصر منگنز نشان داد که روند منگنز در رسوبات همه‌ی جهت‌ها تقریبا مشابه است و در بازه زمانی فروردین تا خرداد ۱۴۰۰ به طور قابل توجهی بیشتر از سایر ماه‌های سال است. همچنین تغییرات زمانی عنصر آهن نشان داد که بیشترین مقدار آهن در رسوبات بادی در فرودین ۱۴۰۰ در جهت غرب و در تیر ۱۴۰۰ در جهت جنوب غرب مشاهده شد. بیشترین مقدار مس در رسوبات بادی نیز در فرودین ۱۴۰۰، از جهت شمال شرقی وارد شهر طبس شده است. تغییرات زمانی عنصر روی نشان داد که در جهت جنوب غرب کمترین و بیشترین مقدار روی به ترتیب در اردیبهشت ۱۴۰۰ و اسفند ۱۳۹۹ دیده می‌شود. به طور کلی مقادیر آهن، منگنز، مس و روی در رسوبات بادی همه جهات بسیار بالاست؛ به‌طوری که مقدار تجمعی آن‌ها در مدت یک سال در مرکز شهر و مبادی ورودی تمام جهات جغرافیایی بیش از آستانه آلودگی طبق استاندارد سازمان بهداشت جهانی است. بنابراین اقدامات حفاظتی برای کنترل فرسایش بادی و خطرات ناشی از آلودگی این رسوبات به عناصر سنگین در این شهرستان ضروری می‌باشد.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور از محل طرح پژوهشی با کد ۹۸۰۱۷۵۲۴ انجام شده است. بدینوسیله از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور به دلیل همکاری و حمایت مادی و معنوی تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1. Abdollahi, M., & Shahbazi, B. (2005). Removal of pyrite from Tabas coal (Mezino 2) by reverse flotation method. 25th Earth Sciences Meeting. Tehran-Iran. https://civilica.com/doc/94124
2. Aghanabati, S.A. (2004). *Geology of Iran*. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran Press. Pp. 586. (In Persian)
3. Chen, H., Teng, Y., Lu, S., Wang, Y., & Wang, J. (2015). Contamination features and health risk of soil heavy metals in China. *The Science of Total Environment*, 512-513, 143-153. http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.025.
4. Dakiky, M., & Khamis, M. (2002). Selective adsorption of chromium (VI) in industrial wastewater using low cost abundantly available adsorbents. *Advanced in Environmental Research*, *6*, 533-540. https://doi.org/10.1016/S1093-0191(01)00079-X
5. Fathi, T. (2014). *Study of ethnobotany of Tabas region.* M.Sc. Thesis. Payame Noor University branch of Mazandaran. (In Persian)
6. Ghanavati, N. (2018). Human health risk assessment of heavy metals in street dust in Abadan. *Iranian Journal of Health and Environment*, *11*(1), 63-74. (In Persian with English abstract)
7. Griffin, D.W. (2007). Atmospheric movement of microorganisms in clouds of desert dust and implications for human health. *Clinical Microbiology Reviews*, *20*(3), 459-477. https://doi.org/10.1128/CMR.00039-06
8. Hafez Darbani, M., Karimpour, M.H., Malekzadeh Shafaroodi, A., Mazloomi Bajestani, A.R. (2012). Geology, alteration, mineralization and geochemistry of Gazu prospect area, southeast of Tabas. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, *20*(4),713-726. (In Persian)
9. Li, J., Okin, G.S., Alvarez, L., & Epstein, H. (2008). Effects of wind erosion on the spatial heterogeneity of soil nutrients in two desert grassland communities. *Biogeochemistry*, *88*(1), 73-88. http://doi.org/10.1007/s10533-008-9195-6.
10. MacDonald, D.D., Ingersoll, C.G., & Berger, T. (2000). Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, *39*(1), 20-31. http://doi.org/10.1007/s002440010075.
11. Mirbagheri, S., Naderi, M., Salehi, M.H., & Mohammadi, J. (2019). Study of soils and aeolians pollution to heavy metals in Shahrekord plain. *Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, *23*(3), 327-339. (In Persian with English abstract)
12. Moradi, Q., & Mirzaei, R. (2017). Spatial variability analysis of heavy metals in street dusts of Kashan City. *Iranian Journal of Health and Environment*, *9*(4), 443-456.
13. Moreno, T., Querol, X., Alastuey, A., Viana, M., Salvador, P., De la Campa, A.S., & Gibbons, W. (2006). Variations in atmospheric PM trace metal content in Spanish towns: illustrating the chemical complexity of the inorganic urban aerosol cocktail. *Atmospheric Environment*, *40*(35), 6791-6803. http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.05.074.
14. Naimabadi, A., Ghadiri, A., Idani, E., Babaei, A.A., Alavi, N., Shirmardi, M., & Goudarzi, G. (2016). Chemical composition of PM10 and its in vitro toxicological impacts on lung cells during the Middle Eastern Dust (MED) storms in Ahvaz, Iran. *Environmental Pollution*, *211*, 316-324. http://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.01.006.
15. Siyahati Ardakani, Gh.R., Mirsanjari, M., Azimzadeh, H.R., & Solgi, E. (2018). The environmental assessment of some heavy metals in surface soil around pelletizing industries and Ardakan steel. *Iranian Journal of Health and Environment 11*(3): 449-64. (In Persian with English abstract)
16. Rajabzadeh, M.A., Ghorbani, Z., Jalalifard, M., & Mohammadzadeh, M. (2015). Geochemistry and assessment of toxic elements recovery in Parvadeh coal mine, Tabas. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, *96*, 177-188. (In Persian with English abstract)
17. Solgi, E., & Abdollahi, S. (2022). Investigation of heavy metals contamination in atmospheric deposition of Zahedan city by using pollution indices. *Journal of Natural Environmental Hazards*, *11*(32), 73-86. (In Persian with English abstract)
18. Wei, X., Gao, B., Wang, P., Zhou, H., & Lu, J. (2015). Pollution characteristics and health risk Assessment of heavy metals in street dusts from different functional areas in Beijing, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 112, 186-192. http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.11.005.
19. Yazdi, M. (2004). *Geochemical properties of coals in the Mazino deposit, Tabas coalfield, Iran*, 32nd international Geological Congress. Florence, Italy, Part2, pp.881. (In Persian with English abstract)
20. Yazdi, M. (2005). *Geological properties of coals in the Mazino deposit, Tabas coalfield, Iran.* International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Regions. Turkey, IESCA-2005, pp.173. (In Persian)