



Journal of Environmental Studies

Vol. 47, No. 3, Autumn 2021

Journal Homepage: www.Jes.ut.ac.ir

Print ISSN: 1025-8620 Online ISSN 2345-6922

Investigation of Bacteria Diversity Associated with Dust in Khuzestan Province

Document Type
Research Paper

Maryam Sorkheh¹, Hossein Mohammad Asgari^{1*}, Isaac zamani¹, Farshid Ghanbari²

Received
August 28, 2021

¹ Faculty of Marine Natural Resources, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran

Accepted
November 16, 2021

² Research Center for Environmental Contaminants (RCEC), Abadan University of Medical Sciences, Abadan, Iran

DOI: [10.22059/JES.2021.316192.1008107](https://doi.org/10.22059/JES.2021.316192.1008107)

Abstract

In recent years, dust storms have been increased health problems in Abadan and Khorramshahr. The purpose of this study was to investigate the origin of dust storms in Southwestern Iran from December 2018 to January 2020 using bio-aerosols and studied the effects of environmental parameters on bacterial concentrations by sampling soil of Hoor-Al-Azim and Shadegan wetlands as probable sources. A sampling of bio-aerosols and particulate matters was performed using Quick take30 sampler and environmental particle meter AEROCET531S, respectively. The images of the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) satellite and HYSPLIT model tracked the dust mass entering the air of Abadan and Khorramshahr. After the cultivation and isolation of bacteria from soil and air samples, their identification was conducted by the 16S rRNA gene sequencing method. Based on the results, *Bacillus zhangzhouensis*, *Bacillus aerius*, *Bacillus subtilis*, *Paenibacillus*, *Bacillus mojavensis*, *Lysinibacillus macrolides* were common bacteria identified in both the soil of Hoor-Al-Azim and Shadegan wetlands and the air of Abadan and Khorramshahr. Dust storms with domestic origins had more affect than foreign dust origin on bacteria concentration of Abadan and Khorramshahr. These results showed that dust storms could play an essential role in transmitting bacteria from their sources to remote locations. *Bacillus* bacteria (36genus) was known as the most common bacteria in Abadan and Khorramshahr air on dusty and non-dusty days due to their gram-positive (92%) and sporulating properties.

Keywords: wetland, Dust Storm, Bio-aerosol, PCR

* Corresponding Author:

Email: h.masgari@kmsu.ac.ir

Introduction

One of the phenomena that have caused air pollution in recent years and have had adverse environmental and health consequences is the dust storm. Iran is affected continuously by local dust systems due to its geographical location and location on arid and semi-arid belts. Most of Iran's dust activity comes from high-pressure intrusions from southern Iraq and northern Saudi Arabia. Drought, reduced rainfall, and relative humidity have caused to dry up some wetlands, lakes, and deserts in Iraq and Syria, which are strongly correlated with dust production areas. One of the essential functions of a wetland is to prevent dust storms. Vast volumes of dust from dry land and deserts carry biological agents at great distances. Dust storms increase the concentration of (PM_{2.5}, PM₁₀) and opportunistic pathogens on a large scale, thus affecting the population and downstream ecosystems of the dust stream and increasing a wide range of diseases. Bio-aerosols are airborne particles containing bacteria, fungi, viruses, protozoa, algae, plant pollen and microorganisms that originate from natural and artificial sources. Their natural source; Soil, lakes, oceans, animals, humans (sneezing, coughing, and other activities), are plants and dust particles that absorb bio-aerosol on their surfaces. Several artificial sources that originate from bio-aerosols include wastewater treatment, fermentation processes, and agricultural activities that disperse the soil. Studies in Iran on bio-aerosols have been primarily on indoor environments and based on morphological methods. Few studies in outdoor environments, mainly wetlands, have used molecular approaches to study bio-aerosols. Our studies, for the first time, using molecular techniques show the similarity between the bacteria in the soil of Hoor-Al-Azim and Shadegan wetlands with the bacteria in the air of Abadan and Khorramshahr. A variety of approaches for dust storm monitoring have been proposed and evaluated. Remote sensing, compared with other procedures, is becoming one of the most popular methods to detect dust storms at large scales due to its ability of efficient global coverage. Sensors installed on satellites detect different types of Earth's surface radiation that are effective in monitoring, and identifying the origin of dust, obtaining the required parameters for dust modeling and obtaining quantitative dust-related relationships such as optical depth particle size. Therefore, in this study, remote sensing was used to determine the source of dust. Also, the HYSPLIT model was used to identify the origin and trace the entry of dust into the air of Abadan and Khorramshahr.

Materials and Methods

Detection of Abadan and Khorramshahr Air Dust

In the present study, satellite information, Khuzestan Environment Department, and Abadan Meteorological Station were used to determine the dust days of Abadan and Khorramshahr. Daily Images of the Terra and Aqua satellites were downloaded from <http://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search> and reviewed with classic ENVI software and MCTK plugin used for pre-processing (geometric correction, radiometric, atmospheric) images.

Sampling stations and sample collection

Sampling of surface soil carried out in Hoor Al-Azim (31°33'44"N, 47°39'38"E) and Shadegan (30°38'58"N, 48°39'52"E) wetland randomly. The sampling sites were selected to measure airborne particulate matter, bacteria, moisture, temperature, and ultraviolet radiation under USEPA standards. According to these standards, the Abadan College of Medical Sciences (ACMS), Khorramshahr Fire Department (KFD), Khorramshahr Fisheries and Aquatic Office (KFAO), Farzanegan School Abadan (FSA) and Eight Station (ES) were selected as sampling sites for ten days.

Morphological and microscopic identification

Bacteria isolated from the surface soil of Hoor AL-Azim and Shadegan Wetlands were serially diluted. Samples collected from the air of the study area were incubated on the Nutrient agar medium for 24 to 72 h. Different colonies grew on the nutrient agar medium. Bacterial concentrations were also evaluated according to Colony (CFU/m³) and morphological characteristics. Gram staining was used for the microscopic study of the desired isolates.

DNA Extraction

The phenol/chloroform method was used as the DNA extraction method in this study.

Results and Discussion

Results of the MODIS Satellite Images

According to the data obtained from satellite information, the General Department of Environment of Khuzestan Province and Abadan Meteorological Station dates of 2019/5/8, 2019/5/19, and 2019/6/13 were identified as dusty days. The results of dust detection by MODIS image showed that the BTD (23-31) > 5.5 threshold had a high ability to detect dust, compared to other thresholds used. Therefore, the BTD index was capable of detecting dust, but varied from image to image due to differences in cloud properties, reflecting surface, changes in dust mass characteristics (height and mineral structure particle). The results of HYSPLIT model showed that the air masses originated from Syria and Iraq (on the day with the northern wind), Saudi Arabia (on the day with the southeastern wind), and Syria (on the day northwest wind). The results obtained from the present study showed that the images of MODIS satellite and HYSPLIT model can complement to each other and are very suitable to tracking the movement of dust mass entering the aquatic and terrestrial ecosystems and the bacteria transmitted with them.

Comparison of sampling stations

The results showed that the highest mean concentration 127.94 CFU/m³ of airborne bacteria was observed in (ACMS) station and lowest mean concentration 30.98 CFU/m³ of airborne bacteria was observed in (FSA) station. According to the result of ANOVA, there was a significant difference between the mean of stations (p-value <0.05). The significance level of ANOVA is less than 0.05 and indicates differences between groups. The results of T-test analysis showed that there was a significant difference between bacterial concentration in the (KFD) compared to the two (ES) and (ACMS) (p-value <0.05). The average (KFD) was significantly lower than the two groups of (ES) and (ACMS).

The mean bacterial density in (KFAO) was significantly lower than the average bacterial concentration in the two stations of (ES) and (ACMS) (p-value <0.05). The mean bacterial concentration in (FSA) was significantly lower than the average bacterial concentration in the Eight station (ES) and (ACMS) (P <0.05). In summary, the results showed that the mean bacterial concentration in the two (ACMS) and (ES) was no difference, but was significantly higher than the mean of the other three stations. Several factors contributed to the increase of bacterial concentration in the (ACMS) Abadan College of Medical Sciences. The occurrence of local dust at the sampling time may be the most critical factor in increasing bacterial concentration at the station. Also, the (ACMS) is one of the educational sites, and due to its proximity to Abadan International Airport, it resulted in increased bacterial concentration at the station compared to other stations. The most important causes of high bacterial concentration at (ES) are proximity to the passenger terminal, traffic and vehicle traffic, training centers, residential area, and lack of hygiene in a waste collection, which results in the high volume of waste along the streets. Due to the special conditions of (FSA) such as lack of crowded and traffic, low human activities due to the absence of students in the school

during the sampling period, low bacterial concentration was observed in this station compared to other sampling stations.

Comparison of non-dusty and dusty conditions of the study area

The results of the independent samples T-test showed that there was a significant difference between the concentration of bacteria in dusty and non-dusty air (p -value <0.05). The average bacterial concentration of dusty air is 91.89 CFU/m³, which is higher than the average non-dusty air of 43.36 CFU/m³, indicating the role and importance of dust in the transport of bacteria from the origin to distant site.

Investigation of correlation coefficient of bacterial concentration with environmental parameters and suspended particles

The results of Pearson test showed that between ultraviolet radiation and bacterial concentration in error level 0.05 was a significant negative correlation ($r = -0.637$, $p = 0.047$). This result means that the concentration of bacteria decreased with the increase of UV. Morphological and microscopic results showed that most of the bacteria pigmented, gram-positive and *bacilli*. The results of the colonies analysis showed that many of the bacteria isolated from the study area had bright and different color colonies (yellow, orange and pink) that were often immunize from UV radiation due to pigmentation and survived in the air.

Sequencing results

The results of phylogenetic tree drawing showed *Bacillus zhangzhouensis*, *Bacillus aerius*, *Bacillus subtilis*, *Paenibacillus*, *Bacillus mojavensis*, *Lysinibacillus macrolides* as common bacteria in the soil of Hoor AL-Azim, Shadegan Wetlands, Abadan and Khorramshahr air, therefore, these bacteria can be used as an indicator for dust origin in Abadan and Khorramshahr. According to the results of the present study, it can conclude that long-distance transfer of dust into the atmosphere is an efficient process for dispersing bacteria from the soil of Hoor-Al-Azim Wetland and Shadegan to the air in the study area.

Conclusions

The results of this study showed that *Baciillus zhangzhouensis* isolates (T1, T9, T12, T28, A19, A26, A42), *Bacillus aerius* (T16, T7, T1, T1, A21), *Bacillus subtilis* (A 3, A6, A28, A35, A37, A41, T5, T14), *Paenibacillus* (T26, T27, A5), *Basillus mojavensis* (A33, T19), *Lysinibacillus macrolides* (A36, T15) are Common bacteria in wetlands soil and Abadan and Khorramshahr air. Airborne bacteria have doubled during dust days compared to non-dust days, which showed the role and importance of dust storms in transmission of bacteria from areas farther away from the source area. Also, domestic dust sources played a more effective role in increasing bacterial concentration than foreign dust sources. Because many bacteria cannot withstand harsh weather conditions and ultraviolet radiation during long distances, they lose their ability to survive. Despite the harmful effects of ultraviolet radiation, gram-positive bacteria, especially sporadic bacteria such as *bacilli*, which have been identified as the dominant sex in this study, can tolerate ultraviolet radiation and transmission during dust storms of domestic and foreign origin.

بررسی تنوع باکتری‌های همراه ریزگردها در استان خوزستان

مریم صرخه^۱، حسین محمد عسگری^{۲*}، اسحاق زمانی^۳، فرشید قنبری^۴

- ۱ کارشناس ارشد محیط‌زیست دریا، دانشکده منابع طبیعی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران
۲ استادیار دانشکده منابع طبیعی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران
۳ استادیار دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران
۴ استادیار مرکز تحقیقات آلاینده‌های محیطی، دانشگاه علوم پزشکی آبادان، آبادان، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۸/۲۵

تاریخ وصول مقاله: ۱۴۰۰/۶/۶

چکیده

در سال‌های اخیر افزایش طوفان‌های گردوغبار باعث نگرانی‌هایی در خصوص مشکلات بهداشتی شهرستان‌های آبادان و خرمشهر شده است. این پژوهش باهدف منشاء‌یابی طوفان گردوغبار جنوب غربی ایران در سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸ با استفاده از بیوائروسل (باکتری) و تأثیر پارامترهای محیطی بر غلظت باکتری‌ها با نمونه‌برداری از خاک تالاب هورالعظیم، شادگان به‌عنوان منشاء احتمال انجام گرفت. نمونه‌برداری از بیوائروسل‌ها و ذرات معلق به ترتیب با استفاده از دستگاه نمونه‌برداری Quick take30 و ذرات سنج محیطی AEROCET531S انجام گردید. برای ردیابی مسیر توده گردوغبار واردشده به هوای شهرستان آبادان و خرمشهر از تصاویر ماهواره مادیس و مدل‌های اسپلینت استفاده شد. پس از کشت و جداسازی باکتری‌ها از نمونه‌های خاک و هوا شناسایی آن‌ها با استفاده از روش تعیین توالی ژن RNA ریبوزومی 16 سوودبرگ انجام شد. نتایج به‌دست‌آمده از تعیین توالی نشان داد ایزوله‌های ژانگروئوسیس، باسیلوس ائریوس، باسیلوس سوتیلیس، پنی باسیلوس، باسیلوس موژاونسیس، لیزینی باسیلوس ماکرولیدس به‌عنوان باکتری‌های مشترک در خاک تالاب هورالعظیم، شادگان و هوای آبادان و خرمشهر شناسایی شدند. طوفان‌های گردوغبار با منشاء داخلی در مقایسه با گردوغبار خارجی تأثیر بیشتری در تراکم باکتری‌های هوای آبادان و خرمشهر داشتند. این نتایج نشان می‌دهد طوفان‌های گردوغبار می‌توانند در انتقال باکتری‌ها از منبع خود به نقاط دوردست نقش مهمی داشته باشند. باکتری‌های باسیلوس (۳۶جنس) به دلیل گرم مثبت بودن (۹۱٪) و خاصیت اسپورزایی به‌عنوان شایع‌ترین باکتری در هوای آبادان و خرمشهر در روزهای گردوغباری و غیر گردوغباری شناخته شدند.

کلید واژه

تالاب، طوفان گردوغبار، بیوائروسل، PCR

سرآغاز

نامطلوبی بر جا گذاشته است، طوفان گردوغبار است (Li et al., 2006). کشور ایران با توجه به موقعیت جغرافیایی و قرار گرفتن بر روی کمربندهای خشک و نیمه‌خشک به‌طور مداوم تحت تأثیر سیستم‌های گردوغبار محلی قرار می‌گیرد (Pargar et al., 2018; Shahsavani et al., 2012). اغلب فعالیت‌های گردوغبار ایران از نفوذ سیستم‌های فشار بالا از

به حضور یک یا چند آلاینده در هوا مانند غبار، فیوم، گاز، بو، دود و بخار در غلظت و مدت‌زمانی که به انسان، گیاه یا حیوانات صدمه بزند آلودگی هوا می‌گویند (WHO, 2008). یکی از پدیده‌هایی که در طی سال‌های اخیر منجر به آلودگی هوا شده و پیامدهای زیست‌محیطی و بهداشتی

Email: h.masgari@kmsu.ac.ir

DOI: 10.22059/JES.2021.316192.1008107

DOR: 20.1001.1.10258620.1400.47.3.5.5

*نویسنده مسئول:

تحمل کنند (Soleimani et al., 2013). علاوه بر تأثیر پارامترهای محیطی بر تراکم باکتری‌های هوابرد منبع ذرات معلق، طول مدت وقایع گردوغبار و فاصله از منابع تولید گردوغبار از عوامل مؤثر بر میزان بیوآئروسول‌ها می‌باشد. آئروسول‌های حاصل از گردوغبار می‌توانند به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر تشکیل ابر، ویژگی‌های ابر و میزان نزولات جوی اثر بگذارند و منجر به تغییراتی در چرخه‌ی آب‌وهوا شوند. ذرات گردوغبار می‌توانند با افزایش تعداد ذرات و ایجاد قطرات کوچک‌تر مانع از نزولات جوی شوند و یا ممکن است با افزایش نقطه انجماد قطرات ابر نسبت به دمای پیش‌بینی‌شده برای تشکیل آن‌ها منجر به افزایش نزولات جوی شوند (Griffin et al., 2001; Shao et al., 2011; Schepanski et al., 2018; Maki et al., 2018; Mu et al., 2020). نتایج مطالعات Rosenfeld و همکاران (۲۰۰۱) نشان می‌دهد گردوغبار ساهارا از طریق ایجاد ابرهایی با هسته‌های متراکم، اندازه‌های کوچک و با پیوستگی کم منجر به کاهش نزولات جوی، افزایش خشک‌سالی، انتشار گردوغبار و در نتیجه بیابان‌زایی می‌شود. در مقابل، ذرات گردوغبار به‌عنوان هسته‌های یخی در ابر می‌توانند باعث ایجاد تغییراتی در خصوصیات تابشی و فیزیکی ابر، گرمای نهان و در نهایت منجر به افزایش نزولات جوی شوند (Sassen et al., 2003). ویژگی‌های متعدد مانند موقعیت جغرافیایی، قرارگیری در مسیرهای اصلی ورود سیستم‌های جوی، نزدیکی به کانون‌های گردوغبار خارجی، هم‌جواری با تالاب‌های خشک‌شده هورالعظیم و شادگان باعث شده که آبادان و خرمشهر مورد مطالعاتی مناسبی جهت بررسی طوفان‌های گردوغباری باشند. مطالعات ما برای اولین بار با استفاده از روش‌های میکروسکوپی و مولکولی و باهدف تعیین درصد تشابه باکتری‌های خاک تالاب‌های هورالعظیم و شادگان با باکتری‌های هوای آبادان و خرمشهر و تأثیر پارامترهای محیطی بر تراکم باکتری‌ها انجام شد. سنجنده‌های نصب شده بر روی ماهواره‌ها، انواع مختلف تابش سطح زمین را

جنوب عراق و شمال عربستان سعودی حاصل می‌شود (Soleimani et al., 2016; Ghosh, 2005). خشک‌سالی، کاهش بارندگی و رطوبت نسبی Sissakian و همکاران (۲۰۱۳) سبب خشک شدن برخی تالاب‌ها، دریاچه‌ها و بیابان‌های کشورهای عراق و سوریه گردیده که با مناطق تولید گردوغبار هم‌بستگی شدیدی دارند (Keramat et al., 2011). یکی از کارکردهای مهم تالاب جلوگیری از طوفان گردوغبار است (Ghermandi et al., 2008). حجم عظیمی از گردوغبار ناشی از خشکی زمین و بیابان‌ها عوامل بیولوژیکی Soleimani و همکاران (۲۰۱۳) و Maki و همکاران (۲۰۱۸) پاتوزن‌های فرصت‌طلب و ذرات $(PM^{1/2.5}, PM^{10})$ را در فاصله‌های خیلی زیادی همراه خود حمل می‌کنند که در نتیجه بر جمعیت و اکوسیستم‌های پایین‌دست جریان گردوغبار تأثیر می‌گذارند Griffin و همکاران (۲۰۰۷) و باعث افزایش طیف وسیعی از بیماری‌ها و مرگ‌ومیر می‌گردند (Mirhoseini et al., 2016). بیوآئروسول‌ها ذرات منتقل از طریق هوا مانند باکتری، قارچ، ویروس، تک‌یاخته‌ای‌ها، جلبک‌ها، گرده‌های گیاهی و میکروارگانیسم‌ها می‌باشند Lu و همکاران (۲۰۱۸) و Maki و همکاران (۲۰۱۸) که از منابع طبیعی و منابع مصنوعی منشأ می‌گیرند (Tolabi et al., 2019; Zhai et al., 2018). منبع طبیعی آن‌ها؛ خاک، دریاچه‌ها، اقیانوس‌ها، حیوانات، انسان‌ها (عطسه، سرفه و سایر فعالیت‌ها) گیاهان و ذرات گردوغبار که عمل جذب بیوآئروسول روی سطوح آن‌ها رخ می‌دهد، می‌باشند. تعدادی از منابع مصنوعی که منشأ بیوآئروسول‌ها هستند عبارت‌اند از تصفیه فاضلاب، فرایندهای تخمیری و فعالیت‌های کشاورزی که باعث پراکنده کردن خاک می‌شوند (Tolabi et al., 2019). استرس‌های جوی موجود در اتمسفر از جمله شدت نور، دما، اشعه ماوراءبنفش و کمبود رطوبت عمدتاً محیط مناسبی برای رشد میکروبی نیست Zhen و همکاران (۲۰۱۷) اما بعضی از گونه‌های باکتریایی از جمله باسیل‌ها می‌توانند از طریق تشکیل اسپور شرایط نامساعد محیطی را

ایستگاه‌های نمونه‌برداری و جمع‌آوری نمونه

نمونه‌برداری از خاک سطحی تالاب هورالعظیم به مختصات جغرافیایی E (31°33'44", N47°39'38") و تالاب شادگان (30°38'58" N, 48°39'52" E) به صورت کاملاً تصادفی انجام گرفت. انتخاب محل نمونه‌برداری جهت سنجش ذرات معلق هوا، باکتری‌ها، رطوبت، دما و اشعه ماوراءبنفش با رعایت استانداردهای محیط‌زیست آمریکا^۲ انجام شد (EPA, 1998). با توجه به این استانداردها، دانشکده علوم پزشکی آبادان، ایستگاه آتش‌نشانی خرمشهر، اداره شیلات خرمشهر، مدرسه فرزندگان و ایستگاه هشت آبادان به‌عنوان مکان‌های نمونه‌برداری به مدت ۱۰ روز انتخاب شدند (شکل ۲). نمونه‌برداری از هوا برای تشخیص حضور باکتری‌ها توسط نمونه‌بردار میکروبی هوا (Quick Take30) در فاصله ۲-۱/۵ متر از سطح زمین صورت گرفت. نمونه‌برداری فعال در زمان‌های مختلف برای روزهای عادی و گردوغباری و یک نمونه غیرفعال که در روزهای عادی به مدت ۲۰ دقیقه و برای روزهای گردوغباری به مدت ۵ دقیقه و میزان جریان نمونه‌برداری ۲۸/۳ L/min بود (ندافی و همکاران، ۱۳۸۷). جهت سنجش غلظت ذرات معلق PM₁، PM_{2/5}، PM₄، PM₇ و PM₁₀ از دستگاه غلظت سنج ذرات AEROCET 531S ساخت کشور سوئد استفاده شد و پارامترهای محیطی دما، رطوبت از طریق نرم‌افزار Air Visual قرائت و ثبت شد. شاخص UV با استفاده از دستگاه EC1 UV.A اندازه‌گیری شد.

شناسایی مورفولوژی و میکروسکوپی

باکتری‌های جداسازی شده از خاک تالاب هورالعظیم و شادگان با رقیق‌سازی سریالی و نمونه‌های جمع‌آوری شده از هوای منطقه مورد مطالعه بر روی محیط کشت نوترینت آگار به مدت ۲۴ تا ۷۲ ساعت برای رشد و ظهور کلنی در انکوباتور با دمای ۳۴±۲ درجه سلسیوس قرار گرفتند. کلنی‌های متفاوت رشد کرده بر روی محیط کشت نوترینت

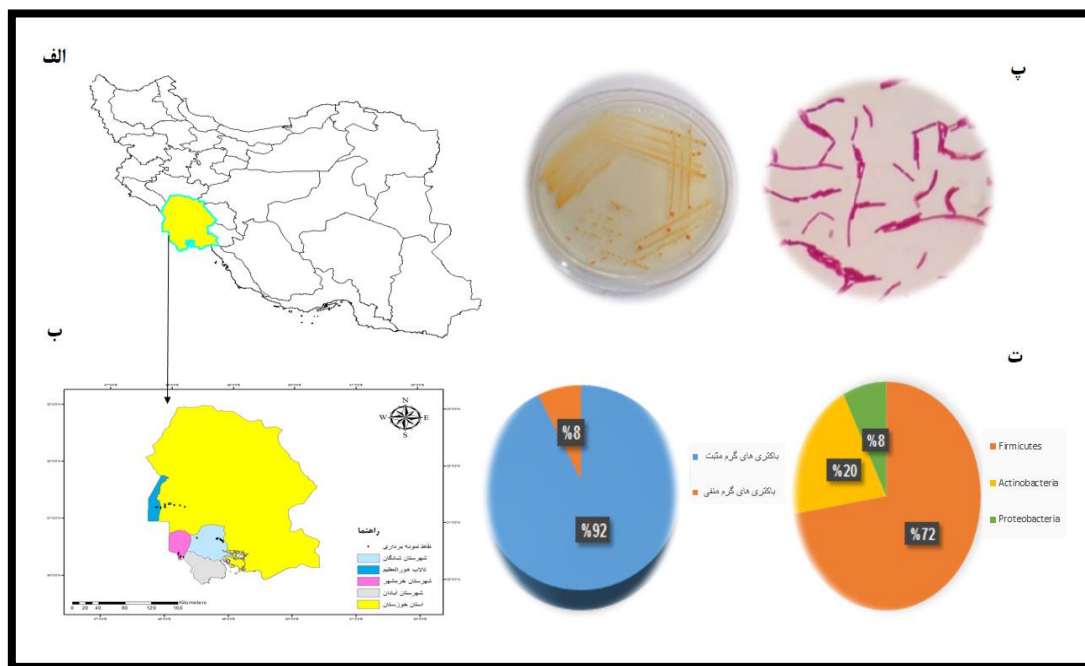
شناسایی می‌کنند که به ما در پایش گردوغبار، شناسایی منشأ آن‌ها، به دست آوردن پارامترهای مورد نیاز برای مدل‌سازی گردوغبار و به دست آوردن روابط کمی مرتبط با گردوغبار کمک می‌کنند (Yue et al., 2017). بنابراین، در این مطالعه برای تعیین منشأ گردوغبار از سنجش‌ازدور و مدل HYSPLIT استفاده شده است.

مواد و روش**بارز سازی و شناسایی منشأ گردوغبار هوای آبادان و خرمشهر**

سنجنده مادیس بر روی دو ماهواره آکوا ۲ و ترا ۳ نصب شده و دارای حساسیت رادیومتریکی بالا (۱۲ بیتی) بوده و در ۳۶ باند طیفی در محدوده ۰/۴-۱۴ میکرومتر و با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ تصویربرداری می‌کند. در پژوهش حاضر، جهت مشخص کردن روزهای گردوغباری هوای شهرآبادان و خرمشهر از اطلاعات ماهواره‌ای، اداره کل محیط‌زیست استان خوزستان و ایستگاه هواشناسی آبادان استفاده شد. تصاویر روز ماهواره ترا و آکوا از سایت بی‌نام (۲۰۰۸) دانلود و با نرم‌افزار ENVI کلاسیک بررسی و برای پیش‌پردازش (تصحیح هندسی، رادیومتریکی، اتمسفری) تصاویر از افزونه MCTK^۱ استفاده شد. بارز سازی پدیده گردوغبار با استفاده از الگوریتم BTDA^۵، باندهای مرئی ۴،۳،۱ و باندهای مادون‌قرمز حرارتی ۲۰،۲۳،۳۱،۳۲ صورت گرفت و مناسب‌ترین آستانه برای تشخیص گردوغبار در هر تصویر انتخاب شد. برای نمایش بهتر گردوغبار از تصاویر مادیس ضبط شده در تاریخ ۲۹ اردیبهشت سال ۱۳۹۸ (۲۰۱۹/۵/۱۹) استفاده شد. همچنین، از مدل HYSPLIT^۶ و سایت هواشناسی ایران به ترتیب برای شناسایی منشأ و ردیابی مسیر ورود گردوغبار در سه سطح ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری ۷۲ ساعت قبل از وقوع طوفان Anonymous (۲۰۲۰) <https://www.ready.noaa.gov> و جهت باد وارد شده به هوای آبادان و خرمشهر استفاده شد (بی‌نام، ۱۳۹۸).

میکروسکوپی جدایی‌های موردنظر استفاده شد (شکل ۱.ا).
 (پ).

آگار برحسب واحد تشکیل کلنی بر مترمکعب^۸ (CFU/m³) شمارش و از نظر ویژگی‌های مورفولوژی موردبررسی قرار گرفتند. همچنین، از رنگ‌آمیزی گرم جهت مطالعه



شکل ۱. الف: موقعیت استان خوزستان در ایران. ب: موقعیت مکانی ایستگاه‌های مورد مطالعه استان خوزستان. پ: خالص‌سازی و تصویر میکروسکوپی باسیلوس. ت: فراوانی باکتری‌های گرم منفی، گرم مثبت و شاخه‌های جداشده از نمونه‌های خاک و هوا. (منبع: نویسندگان)

صورت توده سلولی رسوب‌کرده و محلول رویی که

حاوی محیط کشت بود، دور ریخته شد.

۲. توده سلولی رسوب‌کرده با ۴۰۰ میکرولیتر بافر STE به

مدت ۲ دقیقه و با دور ۸۰۰۰ rpm سانتریفیوژ شدند.

۳. پس از سانتریفیوژ و خارج کردن محلول رویی یکبار

دیگر توده سلولی با بافر STE به مدت ۲ دقیقه و با دور

۸۰۰۰ rpm سانتریفیوژ شد.

۴. ۲۰۰ میکرولیتر بافر TE به میکروتیوپ حاوی توده

سلولی اضافه می‌کنیم.

۵. ۱۰ میکرولیتر محلول لیزوزیم به سوسپانسیون سلولی

افزوده و به مدت ۱ دقیقه ورتکس^{۱۱} و در دمای ۳۷

درجه سلسیوس به مدت ۱ ساعت انکوبه گردید.

۶. ۱۰۰ میکرولیتر فنل اشیاء شده با (PH:۸)TRIS به

میکروتیوپ اضافه گردید و به مدت ۶۰ ثانیه جهت لیز

استخراج DNA

استخراج DNA باکتری‌های هوای آبادان، خرمشهر، خاک

تالاب و شادگان طبق روش فنل کلروفرم انجام گرفت (Cheng and Jiang, 2005). در ابتدا با حفظ شرایط

استریل، هر باکتری به‌وسیله لوپ درون لوله‌ی حاوی محیط

کشت LB^۹ به حجم ۵ میلی‌لیتر کشت داده شد. سپس

لوله‌های آزمایش به مدت ۳ روز در دمای ۳۰ درجه

سلسیوس انکوبه و بر روی شیکر^{۱۰} قرار داده شدند. پس از

گذشت ۳ روز که باکتری‌ها به رشد کافی رسیدند، در شرایط

کاملاً استریل ۱ میلی‌لیتر از محیط کشت تلقیح شده به

میکروتیوپ‌های ۱/۵ میکرولیتری استریل منتقل شدند. مراحل

استخراج DNA طبق پروتکل به‌صورت زیر انجام گرفت.

۱. میکروتیوپ‌ها با دور ۸۰۰۰ rpm و به مدت ۲ دقیقه

سانتریفیوژ شدند. پس از سانتریفیوژ، باکتری‌ها به

درجه سلسیوس به مدت ۳ دقیقه، ۳۰ چرخه تکثیر DNA با شرایط واسرشت در ۹۶ درجه سلسیوس به مدت ۲۰ ثانیه، مرحله اتصال در ۶۰ درجه سلسیوس و تکثیر اولیه با دمای ۷۲ درجه سلسیوس به مدت ۳۰ ثانیه و در نهایت مرحله تکثیر نهایی در ۷۲ درجه سلسیوس به مدت ۲ دقیقه انجام گرفت. پس از اتمام واکنش ۳ میکرو لیتر از محصول PCR بر روی ژل آگارز ۱/۵ درصد تحت تأثیر ولتاژ ۹۰ به مدت ۵۰ دقیقه الکتروفورز گردید. شکل ۸. محصولات PCR جهت تعیین توالی به شرکت فرا پژوه فرستاده شدند. در ادامه، کروماتوگرام توالی‌ها در نرم‌افزار Chromas بررسی و تعدادی از توالی‌های مشابه توالی جدایه موردنظر با استفاده از نرم‌افزار BLAST از بانک ژن NCBI^{۱۵} استخراج گردید تا برای رسم درخت فیلوژنتیک مورد استفاده قرار گیرد. درخت فیلوژنی با استفاده از نرم‌افزار MAGA رسم شد.

آزمون‌های آماری

از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای بررسی نرمال بودن داده‌ها استفاده شد. از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار برای مقایسه تراکم باکتری‌ها بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری، independent samples T test برای مقایسه تراکم باکتری‌ها در شرایط عادی و گردوغباری و همچنین، برای بررسی همبستگی بین تراکم باکتری‌ها با پارامترهای هواشناسی و ذرات معلق از آزمون پیرسون استفاده شد برای رسم نمودار و انجام آزمون‌های آماری به ترتیب از اکسل نسخه ۲۰۱۶ و SPSS نسخه ۲۵ استفاده کردیم.

نتایج

نتایج تصاویر ماهواره‌ای مادیس

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از اطلاعات ماهواره‌ای، اداره کل محیط‌زیست استان خوزستان و ایستگاه هواشناسی آبادان تاریخ‌های ۱۳۹۸/۲/۱۸، ۱۳۹۸/۲/۲۹، ۱۳۹۸/۳/۲۳ به‌عنوان روزهای گردوغباری شناسایی شدند. برای نمایش گردوغبار از تصاویر مادیس ضبط شده در تاریخ ۲۹

شدن سلول‌ها و رتکس و در ادامه ساترفیوژ در دمای ۴ درجه سلسیوس و به مدت ۵ دقیقه در دور ۱۳۰۰۰ انجام گرفت. در نهایت ۱۶۰ میکرو لیتر از محلول رویی (حاوی اسید نوکلئیک) به میکروتیوپ جدید منتقل شد. ۷. ۴۰ میکرو لیتر محلول TE و ۱۰۰ میکرو لیتر کلروفورم به محلول رویی حاصل از مرحله‌ی قبل افزوده و به مدت ۵ دقیقه با دور ۱۳۰۰۰ در دمای ۴ درجه سلسیوس ساترفیوژ شد. محلول رویی حاوی DNA به میکروتیوپ جدید منتقل گردید.

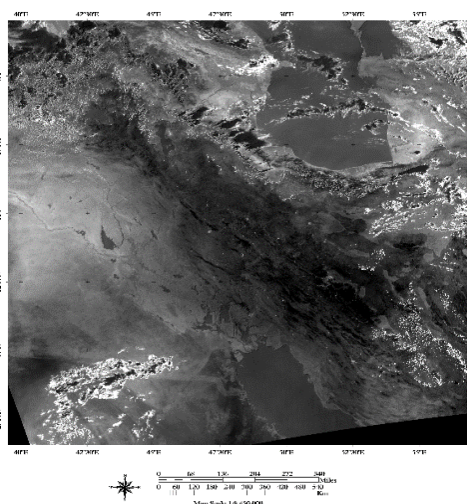
۸. تمام کارهای انجام‌شده در مرحله ۷ را تکرار می‌کنیم.
۹. ۴۰ میکرو لیتر محلول TE به محلول رویی حاصل از مرحله قبل افزوده و به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۳۷ درجه سلسیوس انکوبه گردید. بعد از خارج کردن میکروتیوپ از انکوباتور ۱۰۰ میکرو لیتر کلروفورم به آن افزوده و به آرامی تکان داده شد. سپس در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت ۵ دقیقه با دور ۱۳۰۰۰ ساترفیوژ شد.
۱۰. ۱۶۰ میکرو لیتر از محلول رویی به میکروتیوپ جدید منتقل شد.
۱۱. DNA استخراج‌شده در فریزر منفی ۲۰ درجه سلسیوس نگهداری شد.

واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز ۱۲

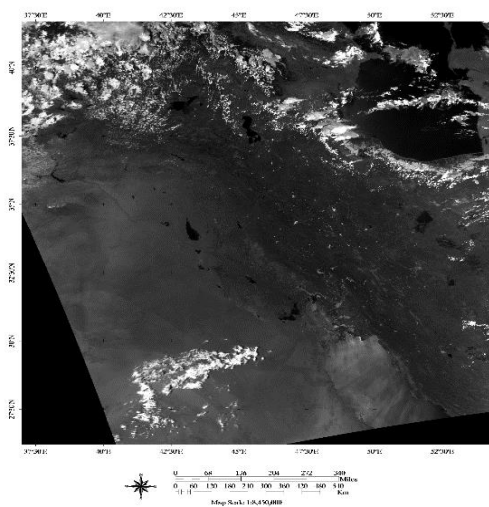
برای تکثیر ژن 16S rRNA از پرایمرهای عمومی پیشرو^{۱۳} 5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3' و پیرو^{۱۴} 3'-GGTTACCTGTTACGACTT-5'، 1492R: 5'-TTACCGCGGCKGCTGGCAC-3' استفاده گردید. این پرایمرها به ترتیب قادر به تکثیر قطعه ۱۵۰۰ و ۵۰۰ جفت بازی در ژن 16S rRNA می‌باشند. واکنش PCR با حجم نهایی ۲۵ میکرو لیتر (۸/۵ میکرو لیتر آب تزریقی، ۱ میکرو لیتر از هر پرایمر، ۲ میکرو لیتر DNA استخراجی و ۱۲/۵ میکرو لیتر مسترمیکس) انجام گرفت. برنامه PCR شامل مراحل زیر است: واسرشت سازی اولیه در دمای ۹۶

روی تصاویر سنجنده ماديس نشان داد که آستانه‌ی $BTD > 5/5$ (۲۳-۳۱) نسبت به ساير آستانه‌های استفاده‌شده توانایی بالای در بارز سازی گردوغبار داشت (شکل ۲).

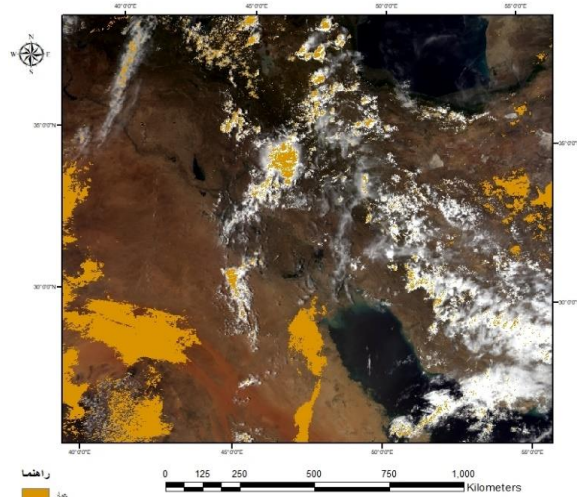
اردیبهشت سال ۱۳۹۸ استفاده شد. محل وقوع گردوغبار کشور عربستان سعودی بوده که کشور ایران و سوریه را تحت تأثیر قرار داده است. نتایج بارز سازی گردوغبار بر



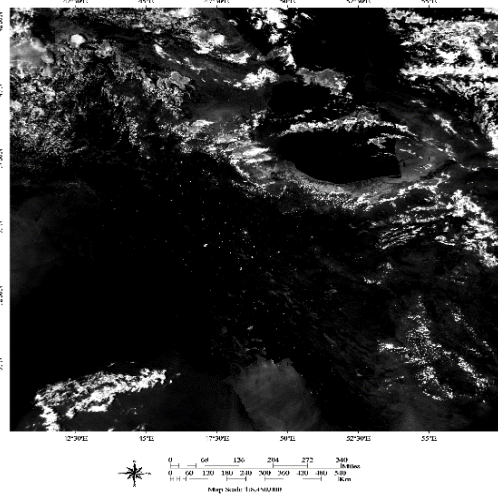
ب: شاخص $BTD(31-32)$



ت: شاخص $BTD(20-31)$



الف: ماسک گرد و غبار



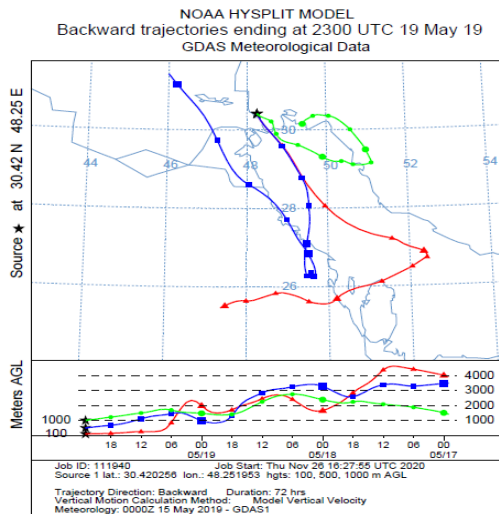
پ: $BTD > 5,5$ (۲۳-۳۱)

شکل ۲. نمونه‌ی از بارز سازی گردوغبار ۱۳۹۸
(منبع: یافته‌های تحقیق)

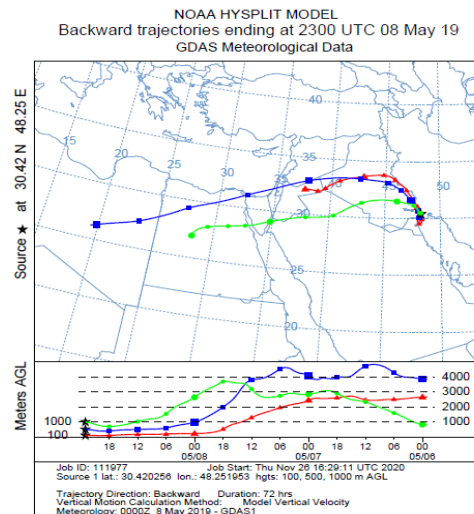
هوای جنوب شرقی بوده و توده‌ها با ۵۰۰ متر ارتفاع از عربستان سعودی و سایر توده‌های هوایی با دو سطح ارتفاع از برخی مناطق ساحلی خلیج فارس نشأت گرفته‌اند (شکل ۳ ب). در تاریخ ۲۳ خرداد ۱۳۹۸ جهت توده‌های هوا در سه سطح شمال غربی بوده همه توده‌های هوا با سه سطح ارتفاع از سوریه سرچشمه می‌گیرند (شکل ۳ پ).

نتایج مدل HYSPLIT

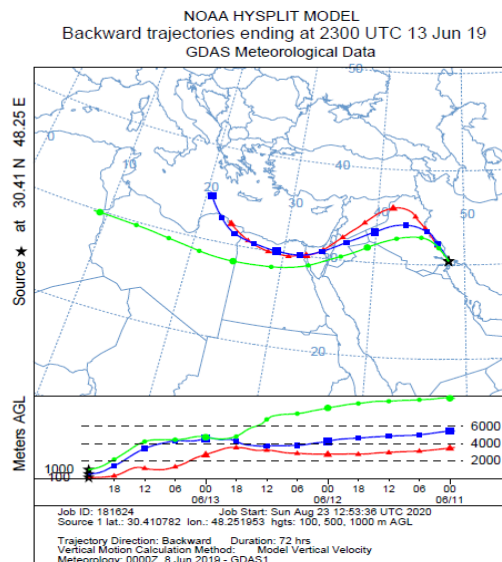
شکل (۳) مسیرهای برگشتی توده‌های هوایی که به هوای آبادان و خرمشهر می‌رسند را نشان می‌دهد. جهت توده‌ها برای تاریخ ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۸ ابتدا شمال و شمال شرقی که از کشور سوریه و عراق نشأت گرفته‌اند (شکل ۳ الف) و در تاریخ ۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۸ جهت توده



ب: خروجی مدل برای طوفان ۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۸



الف: خروجی مدل برای طوفان ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۸

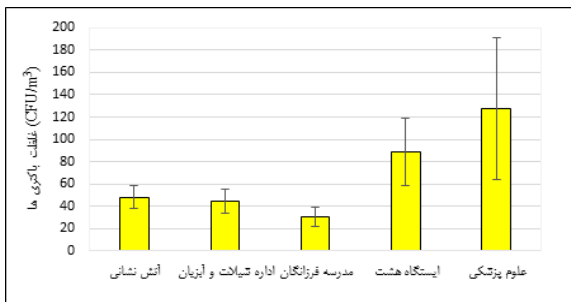


ب: خروجی مدل برای طوفان ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۸

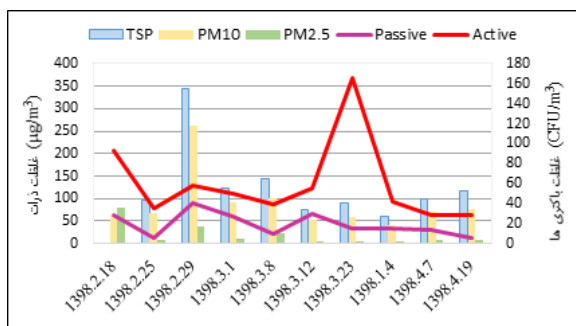
شکل ۳. خروجی مدل HYSPLIT و مسیر رو به عقب حرکت توده‌هوا برای شهرستان آبادان و خرمشهر (منبع <https://www.ready.noaa.gov>)

تحلیل واریانس کمتر از ۰/۰۵ است و نشان‌دهنده تفاوت بین گروه‌ها است. نتایج بررسی زوجی میانگین‌ها نشان داد که بین میزان تراکم باکتری‌ها ایستگاه آتش‌نشانی در مقایسه با دو ایستگاه هشت و علوم پزشکی تفاوت وجود دارد ($p < 0.05$). میانگین ایستگاه آتش‌نشانی به‌طور معنی‌داری کمتر از دو گروه ایستگاه هشت و علوم پزشکی است. میانگین تراکم باکتری‌ها اداره شیلات و آبزیان به‌طور

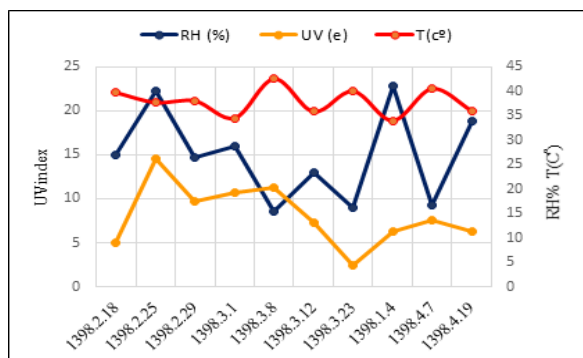
مقایسه‌ی تراکم باکتری‌ها در ایستگاه‌های نمونه‌برداری بررسی میانگین‌ها نشان داد ایستگاه علوم پزشکی با میانگین $127/94 \text{ CFU/m}^3$ و ایستگاه هشت با میانگین $88/47 \text{ CFU/m}^3$ بالاترین و مدرسه فرزنانگان با میانگین $30/98 \text{ CFU/m}^3$ پایین‌ترین را داشت. با توجه به نتیجه آزمون تحلیل واریانس تفاوت معنی‌داری بین میانگین ایستگاه‌ها وجود دارد ($p < 0.05$). سطح معنی‌دار آزمون



شکل ۴. میانگین و خطای استاندارد غلظت باکتری‌ها CFU/m³ بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری (منبع: یافته‌های تحقیق)



شکل ۵. میانگین تعداد کلنی باکتری‌ها به تفکیک روش‌های نمونه‌برداری (منبع: یافته‌های تحقیق)



شکل ۶. روند تغییرات پارامترهای محیطی (دما T، رطوبت نسبی RH و شاخص UV) بر اساس تاریخ نمونه‌برداری (منبع: یافته‌های تحقیق)

وجود داشت. این بدین معنی است که با افزایش اشعه ماوراءبنفش تراکم باکتری‌ها کاهش یافت. همچنین، بین ذرات معلق و تراکم باکتری‌ها رابطه معناداری $P > 0.05$ مشاهده نشد.

معنی‌داری کمتر از میانگین تراکم باکتری در مقایسه با دو ایستگاه هشت و علوم پزشکی است ($p < 0.05$). میانگین تراکم باکتری در مدرسه فرزندان به‌طور معنی‌داری کمتر از میانگین تراکم باکتری در دو ایستگاه هشت و علوم پزشکی است ($p < 0.05$). به‌طور خلاصه نتایج نشان داد که میانگین تراکم باکتری‌ها در دو ایستگاه علوم پزشکی و ایستگاه هشت باهم تفاوتی ندارد اما به‌طور معنی‌داری از میانگین سه ایستگاه دیگر بالاتر است. شکل ۴.

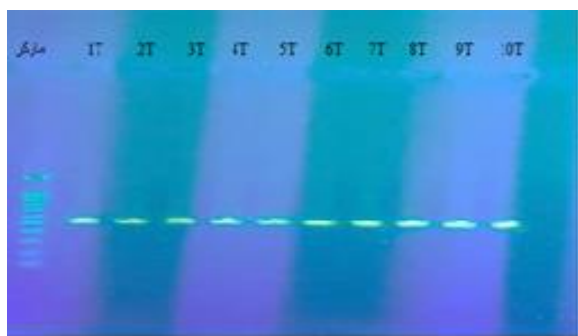
مقایسه تراکم باکتری‌ها در شرایط عادی و گردوغباری هوای منطقه مورد مطالعه

نتایج آزمون independent samples T test نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین میزان تراکم باکتری‌ها در هوای گردوغباری و هوای عادی ($p < 0.05$) وجود داشت. میانگین تراکم باکتری هوای گردوغباری برابر با $91/89 \text{ CFU/m}^3$ که در مقایسه با میانگین هوای عادی با مقدار $43/36 \text{ CFU/m}^3$ بالاتر است. با توجه به نتایج بررسی‌شده میانگین تعداد کلنی باکتری‌ها در هر مترمکعب در تاریخ ۱۳۹۸/۲/۱۸، ۱۳۹۸/۲/۲۹ و ۱۳۹۸/۳/۲۳ به ترتیب در روش‌های نمونه‌برداری فعال ۹۳/۵۳، ۵۸/۲۰، ۱۶۶/۳۰ و غیرفعال ۶۲، ۹۰ و ۳۲ بالاتر بودند (شکل ۵). میانگین غلظت ذرات معلق (میکروگرم بر مترمکعب) بر اساس تاریخ نمونه‌برداری نشان داد، تاریخ ۱۳۹۸/۲/۲۹ دارای میانگین بالاتری نسبت به سایر روزهای نمونه‌برداری است (شکل ۵). میانگین پارامترهای محیطی (دما، اشعه ماوراءبنفش و رطوبت) نشان داد اشعه ماوراءبنفش در تاریخ ۱۳۹۸/۳/۲۳ نسبت به روزهای دیگر کمتر بود (شکل ۶).

بررسی ضریب همبستگی تراکم باکتری‌ها با پارامترهای محیطی و ذرات معلق

نتایج حاصل از آزمون پیرسون نشان داد در سطح خطای ۰/۰۵ درصد بین اشعه ماوراءبنفش با تراکم باکتری‌ها هم‌بستگی منفی و معنادار ($r = -0.637$ $p = 0.047$) وجود

۴۲A)، *Bacillus aerius* (۱۷T، ۱۶T، ۲۰T، ۲۱A)،
Bacillus subtilis (A ۳، ۶A، ۲۸A، ۳۵A، ۳۷A، ۴۱A،
 ۵T، ۱۴T)، *Paenibacillus* (۲۶T، ۲۷T، ۵A)،
Lysinibacillus macrolides (۳۳A، ۱۹T)،
 (۱۵T، ۳۶A) دارای بیشترین درصد شباهت با یکدیگر بودند
 (شکل ۸).



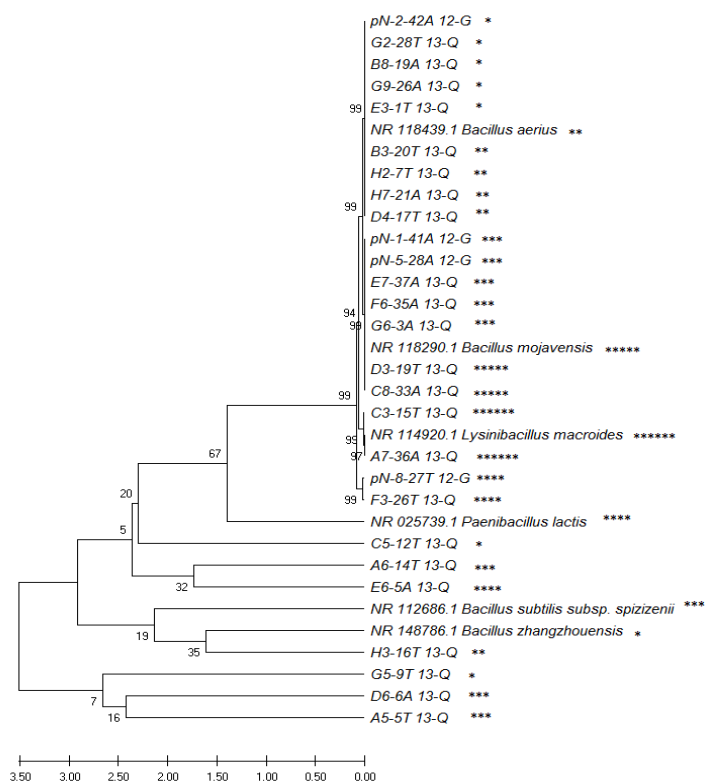
شکل ۷. الکتروفورز محصولات واکنش زنجیره‌ای
 پلی‌مراز بر روی ژل ۱/۵ درصد
 (منبع: یافته‌های تحقیق)

نتایج مورفولوژی و میکروسکوپی

نتایج مورفولوژی و میکروسکوپی باکتری‌های تالاب
 هورالعظیم، شادگان، هوای آبادان و خرمشهر نشان داد که
 بیشتر باکتری‌ها دارای رنگ‌دانه، گرم مثبت و باسیل بودند
 (شکل ۱پ).

نتایج تعیین توالی

نتایج الکتروفورز DNA استخراج‌شده بر روی ژل ۱/۵
 درصد وجود کیفیت قابل قبول DNA جهت استفاده در
 واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز را تأیید نمود (شکل ۷). توالی
 ژن ۱۶S rRNA برای شناسایی دقیق باکتری‌ها و نشان دادن
 روابط تاکسونومیک بین آن‌ها کاربرد زیادی دارد. نتایج
 به‌دست‌آمده از رسم درخت فیلوژنی نشان داد شاخه‌های
Firmicutes، *Proteobacteria*، *Actinobacteria*
 فراوان‌ترین (شکل ۸ت) و جنس‌های *Bacillus*
zhangzhouensis (۱T، ۹T، ۱۲T، ۲۸T، ۱۹A، ۲۶A،



شکل ۸. درخت فیلوژنی ایزوله‌های مشترک در خاک تالاب هورالعظیم، شادگان و هوای آبادان و خرمشهر
 بر اساس توالی ژن 16S rRNA (منبع: یافته‌های تحقیق)

بحث و نتیجه‌گیری

طوفان‌های گردوغبار یکی از رویدادهای طبیعی است که به‌طور گسترده در سرتاسر جهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک رخ می‌دهد. به دلیل گسترش اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک در ۸۴ درصد از مساحت استان خوزستان و هم‌جواری با بیابان‌های شمال عربستان، شرق سوریه و جنوب عراق سبب شده تا به کانون وقوع گردوغبار در کشور تبدیل شود. همچنین، آبادان و خرمشهر به دلیل داشتن منابع نفتی، گازی و هم‌جواری با کشورهای عراق، عربستان سعودی و کویت از شهرستان‌های آلوده استان خوزستان محسوب می‌شدند. در این مطالعه از ترکیب رنگ حقیقی به‌عنوان اولین گام برای نمایش گردوغبار در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. نتایج نشان داد ترکیب رنگ حقیقی قادر به نمایش توده گردوغبار به رنگ قهوه‌ای بر اکوسیستم‌های آبی و خشکی است (شکل ۲ الف). ولی به دلیل ضعف باندهای مرئی در شناسایی توده گردوغبار بر سطوح روشن و به‌خصوص مناطق بیابانی از باندهای مادون‌قرمز حرارتی برای بارز سازی و شناسایی توده گردوغبار استفاده شد. نتایج مطالعه حاضر نشان داد جایی که ضخامت توده گردوغبار کم است (۳۱-۳۲) BTD بیشتر تحت تأثیر امواج حرارتی سطح زمین قرار دارد بنابراین، اگر هم توده ابری و هم توده گردوغبار تراکم داشته باشند امکان تشخیص گردوغبار وجود داشت؛ اما اگر توده گردوغبار نازک و تراکم نداشته باشد به دلیل عدم نفوذ باندهای مادون‌قرمز حرارتی در ابر شناسایی دقیق دشوار می‌شود و اگر توده گردوغبار متراکم و توده ابر پراکنده باشد تفکیک از طریق آستانه ساده و آسان هست (شکل ۲ ب). اختلاف دمای روشنایی (۳۱-۲۰) BTD، (۳۱-۲۳) BTD تشخیص بهتری در اکوسیستم‌های آبی اما تمایز ضعیف‌تری بین ابر و گردوغبار داشتند (شکل ۲ پ، ت)؛ بنابراین، شاخص BTD در بارز سازی گردوغبار توانایی بالایی داشت اما از تصویر به تصویر دیگر به دلیل تفاوت در ویژگی‌های ابر، انعکاس سطحی تغییرات ویژگی‌های

توده گردوغبار (ارتفاع و ساختار معدنی ذرات) متغیر است. نتایج مطالعات Mei و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد اختلاف دمای روشنایی باند ۲۰ بسیار بالا است که در اثر ترکیب شدن با باند ۳۱ مادون‌قرمز حرارتی قابلیت بالایی در شناسایی گردوغبار دارد. نتایج مطالعات Zhang و همکاران (۲۰۱۶) آن‌ها نشان داد سنجنده مادیس را به‌عنوان ابزاری مناسب برای ارائه اطلاعات مناطق منبع گردوغبار و الگوریتم اختلاف دمای روشنایی توانایی بالایی در بارز سازی گردوغبار بر روی آب را دارد ولی بارز سازی گردوغبار بر روی زمین به دلیل پوشش ابر و بازتاب سطح به‌خوبی صورت نگرفته است که با نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه مطابقت دارد. نتایج حاصل از این مطالعه را نمی‌توان به‌کل منطقه تعمیم داد، زیرا هر منطقه شرایط آب و هوایی خاص خود را دارد. پیشنهاد می‌شود از روش‌های دیگری برای بارز سازی گردوغبار استفاده شود. چون احتمال ورود گردوغبار از منشأهای متفاوت به کشور وجود دارد. بنابراین، با تغییر کانی‌های تشکیل‌دهنده گردوغبار این حد آستانه تغییر می‌کند. در نتیجه هر چه غلظت و تراکم لایه گردوغبار بیشتر، وجود ابر و زمین‌های شنی در منطقه مورد مطالعه کمتر، تشخیص گردوغبار بهتر انجام خواهد شد. همچنین سنجنده مادیس با توجه به پوشش گسترده، تناوب برداشت اطلاعات و قدرت تفکیک طیفی بالا از توانایی بالایی در شناسایی و بارز سازی گردوغبار برخوردار است. نتایج به‌دست‌آمده از تصاویر مادیس و مدل HYSPLIT برای روزهای گردوغباری نشان داد شهرستان‌های آبادان و خرمشهر تحت تأثیر گردوغبارهای با منشأ خارجی و داخلی می‌باشند و توده‌های گردوغبار ابتدا از کشورهای اردن، سوریه، عراق و عربستان سعودی منشأ می‌گیرند ولی با توجه به موقعیت جغرافیایی و قرار گرفتن در مسیر حرکت توده‌های گردوغباری و جهت باد غالب در منطقه مورد مطالعه منجر به فعال کردن کانون‌های داخلی می‌شود. جهت توده‌ها به آبادان و خرمشهر در تاریخ ۱۳۹۸/۲/۱۸ به‌طور متناوب از شمال به شمال شرقی

به‌عنوان روزهای گردوغباری مشخص شدند. نتایج به‌دست‌آمده از آمار توصیفی و آزمون گروه‌های مستقل نشان دادند تراکم باکتری‌های هوابرد برحسب (تعداد کلنی در مترمکعب) در روزهای گردوغباری $91/89 \text{CFU}/\text{m}^3$ در مقایسه با روزهای عادی $43/36 \text{CFU}/\text{m}^3$ دو برابر و به‌طور معنی‌داری ($P < 0/05$) افزایش یافته است؛ که نقش و اهمیت گردوغبار در حمل‌ونقل باکتری‌ها از منطقه منشاء به نقاط دوردست را نشان داد. نتایج مطالعات (Griffin et al., 2012; Hara et al., 2001) نشان داد تعداد میکروارگانیسم‌های هوابرد در روزهای گردوغباری دو تا سه برابر نسبت به‌روزهای عادی بیشتر است صحت نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه را تأیید کرد. میکروارگانیسم‌های هوابرد می‌توانند در همه‌جا پراکنده شوند لیکن تراکم آن‌ها در مکان‌ها و موقعیت‌های مختلف باهم متفاوت است (Mu et al., 2020). منابع محلی، تردد، ترافیک بالا موجود در منطقه و فعالیت‌های انسانی از عوامل مهم و تأثیرگذار بر فراوانی و شکل‌گیری جوامع باکتریایی بودند (Zhang et al., 2020). عوامل متعددی در بالا بردن تراکم باکتری‌ها در دانشکده علوم پزشکی نقش داشتند. وقوع گردوغبار محلی در زمان نمونه‌برداری می‌تواند از مهم‌ترین عامل بالا بردن تراکم باکتری‌ها در این ایستگاه باشد. همچنین، دانشکده علوم پزشکی آبادان جز مکان‌های آموزشی است و به علت نزدیک بودن به فرودگاه بین‌المللی آبادان منجر به افزایش تراکم باکتری‌ها در ایستگاه مذکور در مقایسه با دیگر ایستگاه‌ها شد. از مهم‌ترین عوامل بالا بودن تراکم باکتری‌ها در ایستگاه ۸ آبادان می‌توان به نزدیک بودن به ترمینال مسافری، ترافیک و تردد وسایل نقلیه، وجود مراکز آموزشی، مسکونی بودن منطقه و عدم رعایت اصول بهداشتی در جمع‌آوری زباله که منجر به حجم زیاد زباله در کنار خیابان‌ها، ایجاد بوی نامطبوع، تجمع سگ‌های ولگرد و حشرات موذی شده بود اشاره کرد. با توجه به شرایط خاص مدرسه فرزنانگان از قبیل عدم شلوغی و رفت‌وآمد، پایین بودن فعالیت‌های انسانی به دلیل عدم حضور دانش

تغییر جهت پیدا کرده است؛ بنابراین جهت باد شمال و شمال شرقی به ترتیب با ورود گردوغبار از سوی تالاب هورالعظیم و شادگان که جزء کانون‌های داخلی محسوب می‌شدند، منجر به گردوغبار محلی همراه با بادهای نسبتاً شدیدی در تاریخ مذکور شد (شکل ۳ الف). جهت توده‌هوا در تاریخ ۱۳۹۸/۲/۲۹ جنوب شرقی بود. توده گردوغباری واردشده از کشور عربستان سعودی و عبور از آب‌های خلیج فارس به مدت ۹ ساعت در هوای شهرستان‌های آبادان و خرمشهر تداوم داشت. همچنین، منابع گردوغبار در مناطق امیدیه و ماهشهر در جهت وزش بادهای جنوب شرقی قرار دارند و این بادهای می‌توانند از منابع گردوغبار امیدیه و ماهشهر را به منطقه مورد مطالعه وارد کنند (شکل ۳ ب). توده گردوغباری در تاریخ ۱۳۹۸/۳/۲۳ از کشور سوریه و عراق منشاء گرفته و جهت باد، شمال غربی بوده که از بادهای غالب در منطقه هستند و توده‌هایی هوا قبل از رسیدن به منطقه مورد مطالعه از تالاب‌های هورالعظیم و شادگان عبور کرده و شرایط را برای فعال کردن کانون‌های داخلی و خارجی و ورود گردوغبار از سمت تالاب به شهرستان‌های آبادان و خرمشهر فراهم می‌کنند. این توده گردوغباری به مدت ۴ ساعت در هوای شهرستان‌های ذکرشده مستقرشده بود (شکل ۳ پ). بنابراین، تصاویر ماهواره مادیس و مدل HYSPLIT به‌عنوان مکمل یکدیگر بوده و برای ردیابی حرکت توده گردوغبار و افزایش درک فرآیندهای دخیل در انتشار، انتقال، رسوب‌گذاری و توزیع جغرافیایی گردوغبار وارد شده به اکوسیستم‌های آبی و خشکی و باکتری‌های منتقل‌شده همراه آن‌ها بسیار مناسب هستند.

باد به‌عنوان یکی از عناصر مهم و تأثیرگذار در طبیعت است؛ که در پراکندگی باکتری‌ها از منابع زمینی و اقیانوسی، غلبه کردن بر موانع جغرافیایی و طی کردن مسافت‌های طولانی از منطقه منبع خود از مهم‌ترین عملکردهای باد است (Serrano Silva et al., 2018). ۳ روز از ۱۰ روز نمونه‌برداری از هوای شهرستان آبادان و خرمشهر را

آموزان در مدرسه در دوره نمونه‌برداری منجر به پایین بودن تراکم باکتری‌ها در این ایستگاه در مقایسه با سایر ایستگاه‌های نمونه‌برداری شد؛ زیرا ارتباط مستقیمی بین فعالیت‌های انسانی، تراکم وسایل نقلیه و تراکم جمعیت با افزایش ذرات گردوغبار و دود در هوا وجود داشت که باعث چسبیدن باکتری‌ها به آن‌ها می‌شد و متقابلاً غلظت آن‌ها در هوا افزایش پیدا می‌کرد (شکل ۴). مطالعات مشابهی که در خارج از کشور و ایران انجام شده است نشان داد که مراکزی که فعالیت‌های بیشتری در آن‌ها صورت گرفته محتوی آلاینده‌های بیولوژیک بیشتری بودند. نتایج مطالعات Zhou و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد هم‌بستگی مثبتی بین تنوع میکروبی و تراکم جمعیت در منطقه شهری وجود داشت به طوری که ایستگاه راه‌آهن به دلیل تردد و ترافیک سنگین از تنوع باکتریایی بالاتری در مقایسه با مکان‌های دیگر نمونه‌برداری برخوردار بود. باکتری‌های که با طوفان‌های گردوغبار مسافت‌های طولانی را طی کردند قادر به تحمل شرایط سخت محیطی و استرس‌های جوی (کمبود مواد مغذی، اشعه ماوراءبنفش) بودند. طبق آزمون پیرسون بین تراکم باکتری‌های هوای شهرستان‌های آبادان و خرمشهر و اشعه ماوراءبنفش ارتباط معکوس $r = -0/637$ و معنی‌داری وجود دارد. اشعه ماوراءبنفش به خاطر خاصیت گندزدایی به‌عنوان عامل مؤثر در کاهش غلظت باکتری‌ها محسوب می‌شد؛ اما نتایج به‌دست آمده از بررسی کلونی‌ها نشان داد که بسیاری از باکتری‌های جداسازی شده از منطقه مورد مطالعه دارای کلونی‌های رنگی روشن و متفاوت (زرد، نارنجی و صورتی) بودند که این باکتری‌ها به دلیل داشتن رنگ‌دانه اغلب از اشعه ماوراءبنفش مصون ماندند و بقاء خود را در هوا حفظ کردند. نتایج بررسی میکروسکوپی و تعیین توالی و شناسایی، بالا بودن تعداد باکتری‌های گرم مثبت ۹۲ درصد در مقایسه با باکتری‌های گرم منفی ۸ درصد را ثابت کرد. (شکل ۱۱). باکتری‌های گرم منفی در مقایسه با باکتری‌های گرم مثبت به دلیل داشتن دیواره‌ی سلولی حساس‌تر و عدم اسپورزایی قادر به

تحمل شرایط سخت محیطی نبودند و سریع‌تر توانایی زنده ماندن خود را از دست دادند. درحالی‌که گروه‌هایی از باکتری‌های گرم مثبت به دلیل دارا بودن اسپور مقاومت بالاتری در برابر شرایط سخت محیطی عوامل استرس‌زا مانند و اشعه ماوراءبنفش، خشک شدن و آلاینده‌های شیمیایی از خود نشان دادند و در نمونه‌های هوای گرم شهرآبادان و خرمشهر باکتری‌های گرم مثبت بیشتر غالب بودند. نتایج مطالعات Maki و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد باکتری‌های تشکیل‌دهنده آندسپور مانند اعضای خانواده باسیلاسه به دلیل مقاومت در برابر اشعه UV می‌توانند بقای خود را برای حمل‌ونقل از راه دور در جو طی حوادث گردوغبار آسیایی حفظ کنند. طبق آزمون پیرسون بین غلظت ذرات معلق و تراکم باکتری‌های هوا برده رابطه‌ی معناداری $P > 0/05$ وجود ندارد. تراکم باکتری‌ها در گردوغبارهایی با منشاء داخلی در تاریخ‌های ۱۳۹۸/۲/۱۸، ۱۳۹۸/۳/۲۳ در مقایسه با روز گردوغباری ۱۳۹۸/۲/۲۹ بالاتر بودند. با توجه به این‌که گردوغبار با منشاء خارجی وارد شده به منطقه طی دوره مطالعه عمدتاً از بیابان‌های خشک عربستان سعودی (که به دلیل خشکی، گرما و تابش مداوم پرتو فرابنفش خورشید فاقد اجتماعات زنده از جمله باکتری‌ها هستند) منشاء گرفته‌اند؛ بنابراین تعداد باکتری‌ها در این طوفان‌های گردوغباری بسیار کمتر از تعداد باکتری‌های موجود در گردوغبار داخلی منشاء گرفته از تالاب‌های خشک می‌باشد. که نقش و اهمیت کانون‌های داخلی در افزایش تراکم باکتری‌های هوای آبادان و خرمشهر را نشان داد. ولی غلظت ذرات معلق در گردوغبار با منشاء خارجی در تاریخ ۱۳۹۸/۲/۲۹ در مقایسه با دو تاریخ دیگر بالاتر بود؛ بنابراین، نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد گردوغبار داخلی و خارجی هر دو نقش قابل‌توجهی در افزایش تراکم باکتری‌ها در هوای شهرستان آبادان و خرمشهر داشتند ولی تراکم باکتری‌ها در گردوغبار خارجی در مقایسه با گردوغبار داخلی کمتر است. اغلب این کانون‌های داخلی که امروزه عامل گردوغبار در استان

غذایی به دلیل دارا بودن اسپور مقاوم بودند؛ و این یکی از دلایل بالا بودن میزان باسیلوس در شرایط عادی و گردوغباری نسبت به سایر باکتری‌ها بود. برخی از باکتری‌ها اسپور تشکیل ندادند ولی اندازه سلول خود را کاهش دادند تا بتوانند شرایط سخت محیطی را تحمل کنند. با توجه به نتایج به‌دست آمده از تعیین توالی باکتری‌های *Koucria oceani*، *Enterobacter hormaechei*، *Gordonia hongkongensis* به عنوان باکتری‌های فرصت‌طلب در هوای آبادان و خرمشهر همچنین باکتری *Bacillus megaterium* به‌عنوان پاتوژن گیاهی در هوای آبادان و خرمشهر شناسایی شدند. انتقال دوربرد گردوغبار در جو یک فرایند کارآمد برای پراکندگی باکتری‌ها از خاک تالاب هورالعظیم و شادگان به هوای منطقه مورد مطالعه است و به مهاجرت جهانی سلول‌های باکتریایی و ژن‌های آن‌ها کمک می‌کند. همچنین، بر اکوسیستم‌ها، سلامت انسان، بهره‌وری کشاورزی و آب‌وهوا در مناطق بادگیر تأثیر قابل‌توجهی می‌گذارد. با توجه به افزایش بار میکروبی ذرات در شرایط گردوغباری و خطر بهداشتی این ذرات توجه مسئولین مربوطه به مهار و جلوگیری از وقوع این پدیده لازم و ضروری است.

پیشنهادات

- در راستای تحقیق هر چه سریع‌تر اهداف توسعه پایدار منطقه‌ای پیشنهادهایی ارائه می‌گردد:
۱. بررسی میزان تأثیر افزایش غلظت بیوائروسل بر بیماری‌های قلبی-عروقی و تنفسی
 ۲. بررسی جنبه‌های شیمیایی و رادیواکتیو گردوغبار
 ۳. استفاده از محیط کشت‌های متفاوت برای نمونه‌برداری به‌منظور جداسازی باکتری‌های مختلف و کسب اطلاعات جامع‌تر در مورد جمعیت‌های میکروبی
 ۴. استفاده از دستگاه‌های نمونه‌برداری ذرات بیولوژیکی با قطرهای متفاوت در حد ذرات قابل استنشاق
 ۵. بررسی تأثیر آلاینده‌های گازی بر تراکم باکتری‌ها

خوزستان شناخته‌شده‌اند دریاچه و تالاب‌های بودند که در اثر فعالیت‌های انسانی و عوامل طبیعی امروزه به کانون گردوغبار تبدیل شده‌اند و نقش مهمی در انتشار گردوغبار و باکتری به هوای آبادان و خرمشهر داشتند.

درخت فیلوژنی شاخه‌های *Actinobacteria*، *Proteobacteria*، *Firmicutes* و جنس‌های *Bacillus*، *zhangzhouensis* (۲۸T، ۱۲T، ۹T، ۱T)، *Bacillus aerius* (۲۱A، ۲۰T، ۱۶T، ۱۷T، ۷T)، *subtilis* (۱۴T، ۵T، ۴۱A، ۳۷A، ۳۵A، ۲۸A، ۶A، ۳A)، *Paenibacillus* (۲۶T، ۲۷T، ۵A)، *Lysinibacillus macrolides* (۱۹T، ۳۳A) به‌عنوان فراوان‌ترین باکتری‌های مشترک در خاک تالاب هورالعظیم، شادگان، هوای شهرستان آبادان و خرمشهر شناسایی شدند؛ بنابراین، می‌توان از این باکتری‌ها به‌عنوان شاخصی جهت منشاء‌یابی گردوغبار شهرستان آبادان و خرمشهر استفاده کرد (شکل ۸). *Actinobacteria* در محیط‌های مانند دریاچه‌های فوق شور، چشمه‌های آب گرم و خاک‌های خشک زندگی می‌کنند. نتایج مطالعات Park و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد باوجود این‌که منبع گردوغبار در پکن چین و ازوگا ژاپن یکسان است ولی تعداد باکتری جداسازی شده از هوای پکن به دلیل نزدیک بودن به منبع گردوغبار بیشتر از ازوگا بود. بیشتر باکتری‌های مشاهده‌شده در پکن از خانواده و راسته *Actinobacteria*، *Bacilli*، *Acidobacteria* بودند. نتایج مطالعات مولکولی (Maki et al., 2014; Yoo et al., 2019) نشان دادند راسته‌های *Cyanobacteria*، *Proteobacteria*، *Firmicutes* در نمونه‌های روزهای گردوغباری نسبت به نمونه‌های روزهای غیر گردوغباری فراوانی قابل‌توجهی دارند. در این مطالعه جنس باسیلوس به‌عنوان جنس غالب شناسایی شد. باسیلوس‌ها در مسافت‌های زیادی از منبع گردوغبار نسبت به سایر باکتری‌ها دیده شده‌اند. بسیاری از باکتری‌ها در اثر اشعه خورشیدی از بین رفتند اما باسیلوس‌ها نسبت به اشعه خورشید، خشکی و فقدان مواد

2. Aqua
3. Terra
4. Modis Conversion Toolkit
5. Brightness Temperature Difference (BTD)
6. Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory
7. Environmental Protection Agency
8. Forming Units per cubic meter
9. Luria Broth
10. Shaker
11. Vortex
12. Polymerase Chain Reaction
13. Forward
14. Reverse
15. National Center for Biotechnology Information

۶. مقایسه تأثیر پارامترهای هواشناسی و آلاینده‌های گازی بر تراکم باکتری‌ها
۷. استفاده از مدل‌های هواشناسی WRF و تصاویر ماهواره برای مشخص کردن منبع گردوغبار

تقدیر و تشکر

نویسندگان تشکر و قدردانی خود را از مسئولین و کارشناسان محترم دانشکده علوم پزشکی آبادان، اداره کل محیط‌زیست استان خوزستان و ایستگاه هواشناسی آبادان که در اجرای این تحقیق همکاری نمودند اعلام می‌نمایند.

یادداشت‌ها

1. Particulate matter

فهرست منابع

بی‌نام، (۱۳۹۸). سازمان هواشناسی ایران، www.irimo.ir.

ندافی، ک؛ رضایی، س، نبی زاده، ر، یونسین، م، جباری، ح. (۱۳۸۷). بررسی دانسیته باکتری های هوا برد در هوای داخل بیمارستان مرکز طبی کودکان تهران. *مجله سلامت و محیط، فصلنامه علمی و پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، دوره (۲) زمستان ۱۳۸۷، صص ۷۵-۸۰*

Anonymous, (2008). Ladsweb.modaps.eosdis.nass.gov/search.

Anonymous, (2020). www.ready.noaa.gov.

Cheng, H.R. & Jiang, N. (2005). Extremely rapid extraction of DNA from bacteria and yeasts. *Biotechnology letters*, 28(1), pp.55-59.

Environmental Protection Agency. (1998). SLAMS/ NAMS/ PAMS network review guidance. Office of Air Quality Planning and standards Research. Report No: 454/R-98-003.

Ghosh, J. (2005). *Bioaerosols generated from biosolids applied farm fields in Wood County, Ohio* (Doctoral dissertation, Bowling Green State University).

Griffin, D. W., Garrison, V. H., Herman, J. R., & Shinn, E. A. (2001). African desert dust in the Caribbean atmosphere: microbiology and public health. *Aerobiologia*, 17(3), 203-213.

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.

Ghermandi, A., Van den Bergh, J. C., Brander, L. M., De Groot, H. L., & Nunes, P. A. (2008). The economic value of wetland conservation and creation: A meta-analysis. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1273002>.

Hara, K., & Zhang, D. (2012). Bacterial abundance and viability in long-range transported dust. *Atmospheric Environment*, 47, 20-25.

Keramat, A., Marivani, B., & Samsami, M. (2011). Climatic change, drought and dust crisis in Iran. *International Journal of Geological and Environmental Engineering*, 5(9), 472-475.

- Lu, R., Li, Y., Li, W., Xie, Z., Fan, C., Liu, P., & Deng, S. (2018). Bacterial community structure in atmospheric particulate matters of different sizes during the haze days in Xi'an, China. *Science of the Total Environment*, 637, 244-252.
- Mei, D., Xiushan, L., Lin, S., & Ping, W. A. N. G. (2008). A dust-storm process dynamic monitoring with multi-temporal MODIS data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 965-970.
- Mirhoseini, S. H., Nikaen, M., Satoh, K., & Makimur, K. (2016). Assessment of airborne particles in indoor environments: Applicability of particle counting for prediction of bioaerosol concentrations. *Aerosol and Air Quality Research*, 16(8), 1903-1910.
- Maki, T., Puspitasari, F., Hara, K., Yamada, M., Kobayashi, F., Hasegawa, H., & Iwasaka, Y. (2014). Variations in the structure of airborne bacterial communities in a downwind area during an Asian dust (Kosa) event. *Science of the total environment*, 488, 75-84.
- Maki, T., Furumoto, S., Asahi, Y., Lee, K. C., Watanabe, K., Aoki, K., & Iwasaka, Y. (2018). Long-range-transported bioaerosols captured in snow cover on Mount Tateyama, Japan: impacts of Asian-dust events on airborne bacterial dynamics relating to ice-nucleation activities. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18(11), 8155-8171.
- Mu, F., Li, Y., Lu, R., Qi, Y., Xie, W., & Bai, W. (2020). Source identification of airborne bacteria in the mountainous area and the urban areas. *Atmospheric Research*, 231, 104676.
- Park, J., Li, P. F., Ichijo, T., Nasu, M., & Yamaguchi, N. (2018). Effects of Asian dust events on atmospheric bacterial communities at different distances downwind of the source region. *Journal of Environmental Sciences*, 72, 133-139.
- Pargar, F., Biet Saeed, K., Ebadi, A., Ghobadian, S., & Adineh, M. (2018). Assessment of the preparedness of all ahwaz medical centers in the face of the crisis in 2017. *Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences*, 5(1), 161-168
- Rosenfeld, D., Rudich, Y., & Lahav, R. (2001). Desert dust suppressing precipitation: A possible desertification feedback loop. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(11), 5975-5980.
- Sassen, K., DeMott, P. J., Prospero, J. M., & Poellot, M. R. (2003). Saharan dust storms and indirect aerosol effects on clouds: CRYSTAL-FACE results. *Geophysical Research Letters*, 30(12).
- Shao, Y., Wyrwoll, K. H., Chappell, A., Huang, J., Lin, Z., McTainsh, G. H., & Yoon, S. (2011). Dust cycle: An emerging core theme in Earth system science. *Aeolian Research*, 2(4), 181-204.
- Shahsavani, A., Naddafi, K., Haghhighifard, N. J., Mesdaghinia, A., Yunesian, M., Nabizadeh, R., & Goudarzi, G. (2012). The evaluation of PM10, PM2.5, and PM1 concentrations during the Middle Eastern Dust (MED) events in Ahvaz, Iran, from april through september 2010. *Journal of arid environments*, 77, 72-83.
- Soleimani, Z., Goudarzi, G., Naddafi, K., Sadeghinejad, B., Latifi, S. M., Parhizgari, N., & Shahsavani, A. (2013). Determination of culturable indoor airborne fungi during normal and dust event days in Ahvaz, Iran. *Aerobiologia*, 29(2), 279-290.
- Soleimani, Z., Goudarzi, G., Sorooshian, A., Marzouni, M. B., & Maleki, H. (2016). Impact of Middle Eastern dust storms on indoor and outdoor composition of bioaerosol. *Atmospheric environment*, 138, 135-143.
- Sissakian, V., Al-Ansari, N., & Knutsson, S. (2013). Sand and dust storm events in Iraq. *Journal of Natural Science*, 5(10), 1084-1094.
- Serrano-Silva, N., & Calderon-Ezquerro, M. C. (2018). Metagenomic survey of bacterial diversity in the atmosphere of Mexico City using different sampling methods. *Environmental Pollution*, 235, 20-29.

- Schepanski, K. (2018). Transport of mineral dust and its impact on climate. *Geosciences*, 8(5), 151.
- Tolabi, Z., Alimohammadi, M., Hassanvand, M. S., Nabizadeh, R., Soleimani, H., & Zarei, A. (2019). The investigation of type and concentration of bio-aerosols in the air of surgical rooms: A case study in Shariati hospital, Karaj. *MethodsX*, 6, 641-650.
- WHO. (2008). Air quality guidelines for Europe. World Health Organization Regional Office for Europe.
- Li, Y., Huang, G. H., Veawab, A., Nie, X., & Liu, L. (2006). Two-stage fuzzy-stochastic robust programming: a hybrid model for regional air quality management. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56(8), 1070-1082.
- Yoo, K., Han, I., Ko, K. S., Lee, T. K., Yoo, H., Khan, M. I., & Park, J. (2019). Bacillus-dominant airborne bacterial communities identified during Asian dust events. *Microbial ecology*, 78(3), 677-687.
- Yue, H., He, C., Zhao, Y., Ma, Q., & Zhang, Q. (2017). The brightness temperature adjusted dust index: An improved approach to detect dust storms using MODIS imagery. *International journal of applied earth observation and geo information*, 57, 166-176.
- Zhang, S., Li, G., Tian, L., Guo, Q., & Pan, X. (2016). Short-term exposure to air pollution and morbidity of COPD and asthma in East Asian area: A systematic review and meta-analysis. *Environmental research*, 148, 15-23.
- Zhang, Y., Wu, D., Kong, Q., Li, A., Li, Y., Geng, S., & Chen, P. (2020). Exposure level and distribution of airborne bacteria and fungi in an urban utility tunnel: A case study. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 96, 103215.
- Zhou, H., Wang, X., Li, Z., Kuang, Y., Mao, D., & Luo, Y. (2018). Occurrence and distribution of urban dust-associated bacterial antibiotic resistance in Northern China. *Environmental Science & Technology Letters*, 5(2), 50-55.
- Zhai, Y., Li, X., Wang, T., Wang, B., Li, C., & Zeng, G. (2018). A review on airborne microorganisms in particulate matters: composition, characteristics and influence factors. *Environment international*, 113, 74-90.