Journal of
Arak University of Medical Sciences

February & March 2020. Vol 22. Issue 6

Research Paper

Quantitative and Qualitative Monitoring of Airborne Bacteria and Fungi and Their Relationship with Environmental Parameters in Two Selected Primary Schools

***Seyed Hamed Mirhoseini[1], Fatemeh Ariyan[2], Samaneh Mohammadi[2]**

1. Department of Environmental Health, School of Health, Arak University of Medical Sciences, Arak, Iran.
2. Student Research Committee, School of Health, Arak University of Medical Sciences, Arak, Iran.

Use your device to scan and read the article online

Citation: Mirhoseini SH, Ariyan F, Mohammadi S. [Quantitative and Qualitative Monitoring of Airborne Bacteria and Fungi and Their Relationship with Environmental Parameters in Two Selected Primary Schools (Persian)]. Journal of Arak University of Medical Sciences (JAMS). 2020; 22(6):242-251. https://doi.org/10.32598/JAMS.22.6.5931.1

https://doi.org/10.32598/JAMS.22.6.5931.1

CC BY NC

Article Info:
Received: 11 Sep 2019
Accepted: 16 Nov 2019
Available Online: 01 Feb 2020

Key words:
Bioaerosol, Primary school, Particulate Matter, Bacteria, Fungi

ABSTRACT

Background and Aim The assessment of indoor air quality and detection of its microbial pollutants in classrooms is very important because of the presence of children sensitive to these pollutants. The aim of this study was to determine the concentration and characterization of dominant species of biological aerosols and their relationship with environmental factors in two selected primary schools in Arak, Iran.

Methods & Materials This cross-sectional study was conducted at two primary schools in Arak, Iran in Fall 2018. Indoor air sampling was performed using single-stage Andersen microbial sampler (at flow rate of 28.3 liters/min) containing bacterial and fungal culture media. The effects of suspended Particulate Matter (PM) and environmental parameters (temperature and humidity) on the density of bioaerosols were evaluated.

Ethical Considerations This study with an ethics code of IR.ARAKMU.REC.1397.76 was approved by the Research Ethics Committee at Arak University of Medical Sciences.

Results The overall mean density of indoor bacteria and fungi was 448 cfu/m^3 and 394 cfu/m^3, while the mean density of outdoor bacteria and fungi was 210 cfu/m^3 and 127 cfu/m^3, respectively. There was a positive correlation between indoor density of airborne bacteria and suspected PM concentrations (PM 10 and PM 2.5), and between PM2.5 concentration and indoor fungal density (P<0.05). Penicillium (40%), Cladosporium (19%) and Aspergillus (16%) were dominant species of fungi, while Staphylococcus (42%), Micrococcus (28%), Bacillus (21%) were the dominant species of bacteria.

Conclusion The age and type of building and the density of students in a classroom are the main factors in increasing the concentration of bioaerosols.

Extended Abstract

Introduction

In recent years, exposure to bioaerosols has been of great importance due to its associated health problems. The World Health Organization has warned of the health implications of poor indoor air quality and incidence of infectious, respiratory and allergic diseases. The classroom is an environment where students spend most of their day. Inside the classroom, students are exposed to airborne physical, chemical, and microbial agents. The assessment of indoor air quality and detection of microbial pollutants in classrooms is very important because of the presence of children sensitive to these pollutants. The aim of this study was to determine the

* *Corresponding Author:*
Seyed Hamed Mirhoseini, PhD.
Address: Department of Environmental Health, School of Health, Arak University of Medical Sciences, Arak, Iran.
Tel: +98 (918) 3495575
E-mail: dr.mirhoseini@arakmu.ac.ir and hmirhossaini@gmail.com

concentration and characterization of dominant species of biological aerosols and their relationship with environmental factors in two selected primary schools in Arak, Iran.

Methods and Materials

This cross-sectional study was conducted at two primary schools in Arak, Iran in Fall 2018. Indoor air sampling was performed using single-stage Andersen microbial sampler (at flow rate of 28.3 liters.min) containing bacterial and fungal culture media. Indoor air sampling was carried out during regular class activity hours at a height of 1.5 m above ground level. At the same time, the effects of suspended Particulate Matter (PM) and environmental parameters (temperature and humidity) on the density of bioaerosols were evaluated. In order to determine the ratio of indoor to outdoor concentrations, sampling of school yard air was performed simultaneously as an outdoor sample. Bacterial media were incubated at 37 °C for 24-48 h, and plates of fungal samples were kept at ambient air for 5-7 days. The number of colonies was then counted and reported per CFU.m^3. Bacterial colonies were identified by biochemical tests and fungal colonies were identified through macroscopic morphological features and microscopic observations. Kruskal-Wallis test was used to compare the concentration of bioaerosols in different environments, and Spearman's rank correlation test was used to investigate the relationship between different parameters.

Results

The overall mean density of indoor bacteria and fungi was 448 cfu.m3 and 394 cfu.m^3, while the mean density of outdoor bacteria and fungi was 210 cfu.m^3 and 127 cfu.m^3, respectively. The highest and the lowest mean bacterial density belonged to the second floor classroom of School No. 2 (559±141 cfu.m^3) and the first floor classroom of School No. 1 (293±170 cfu.m^3), respectively. Moreover, the first floor classroom of School No. 1 (63±25 cfu.m^3) and the first floor classroom of School No. 2 (132±98 cfu.m^3) had the lowest and highest mean fungal density, respectively, in the air of different areas (Figure 1).

Statistical analysis showed that there was a significant difference between the indoor concentrations of airborne bacteria and fungi ($P<0.05$), but not between their outdoor concentrations ($P>0.05$). Mann-Whitney U test results showed that the mean concentrations of PM10 and $PM_{2.5}$ in outdoor air were significantly higher than in indoor air (Table 1). There was a positive correlation between indoor density of airborne bacteria and suspected PM concentrations (PM_{10} and $PM_{2.5}$), and between $PM_{2.5}$ concentration and indoor fungal density ($P<0.05$). Humidity and density of indoor airborne bacteria and fungi were directly correlated with each other, but no relationship between temperature and density of biological aerosols was reported (Table 2). Penicillium (40%), Cladosporium (19%) and Aspergillus (16%) were dominant species of fungi, while Staphylococcus (42%), Micrococcus (28%), Bacillus (21%) were the dominant species of bacteria.

Discussion

A review of past studies shows that a wide range of bioaerosol concentrations have been reported in the classrooms. Some of the studies are consistent with our study [12, 13]. A number of studies have reported higher levels of bioaerosol density. For example, in studies conducted in two girls' high schools of Eslamhshar county in Tehran [2], in 73 classrooms of 20 elementary schools located in Porto, Portugal in winter [10], and in primary schools in Gondar, Ethiopia [14], higher bioaerosol density were reported. Various factors such as: sampling season, environmental and climatic conditions, internal sources of bioaerosol production and differences in study design (sample size, sequence and duration of sampling) are the main reasons for the differences in

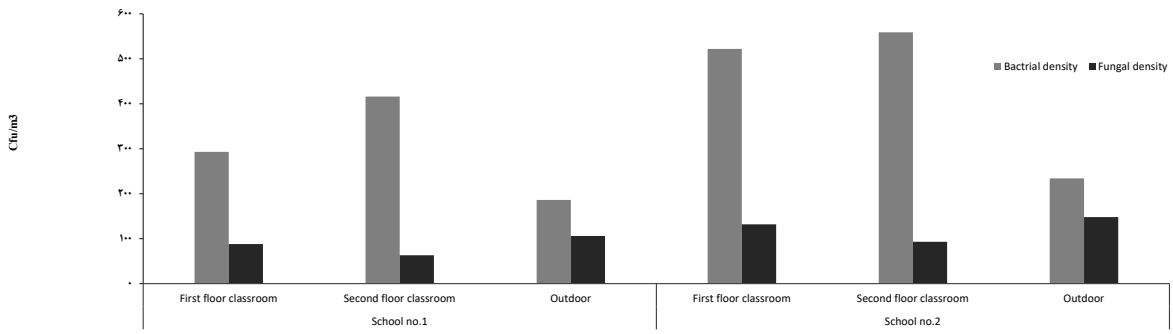


Figure 1. Comparing the mean density of bacteria and fungi (cfu/m3) in different air sampling sites

Table 1. Mean concentrations of PM10 and PM2.5 (µg/m3) and mean temperature and humidity of sampling sites

School	Sampling site	Temperature (C°1)	Humidity (%)	PM10	PM2.5
School No. 1	first floor classroom	20/0±1/8	2/34±0/2	47±21	28±14
	second floor classroom	21/0±6/7	35/1±6/2	36±11	19±8
	outdoor	18/4±0/6	4/36±1/8	84±22	47±10
School No. 2	first floor classroom	22/2±0/9	39/3±4/2	68± 26	38±18
	second floor classroom	21/6±0/5	40/2±9/9	75±31	44±29
	outdoor	19/20±0/4	32/0±8/8	77± 35	50±31

Journal of
Arak University of Medical Sciences

Table 2. Spearman rank correlation matrix for different study parameters

	Density of Bacteria	Density of Fungi	PM10	PM2.5	Temperature	Humidity
Density of bacteria	1					
Density of fungi	-0/008	1				
PM10	*0/282	*0/462	1			
PM2.5	*0/324	*0/301	*0/92	1		
Temperature	0/123	0/213	0/003	-0/048	1	
Humidity	*0/298	*0/363	0/002	-0/063	-0/016	1

*Significant at P<0.05.

Journal of
Arak University of Medical Sciences

the results between our study and other studies. In this study, the I.O ratios varied from 1.4 to 5.6 for bacterial aerosols and from 0.4 to 1.2 for fungal aerosols. The highest ratio for bacteria was found in School n. 2(2.4), indicating that the origin of airborne bacteria in the classroom was internal. The dominant bacterial and fungal species identified in this study are consistent with results obtained from indoor air isolates of school in other studies [4, 22, 23]. Staphylococcus as a natural flora of the skin and nose can cause a wide range of diseases and infections, especially in children. Corynebacterium is also known to be a contributing factor to nosocomial infections, especially in children [24]. The dominant fungal species reported in this study are the most important allergens that have detrimental effects on human health, especially children and students in the classroom [19].

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This study with an ethics code of IR.ARAKMU.REC.1397.76 was approved by the Research Ethics Committee at Arak University of Medical Sciences.

Funding

This study was extracted from a research proposal approved by Arak University of Medical Sciences (code: 3079). The authors would like to thank the Vice-Chancellor for Research and Student Research Committee of Arak University of Medical Sciences for their valuable spiritual and financial support.

Authors' contributions

All authors met the writing standards based on the recommendations of the International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE), and they had equal attribution in preparing the paper.

Conflicts of interest

The authors declare no conflict of interest.

پایش کمّی و کیفی باکتری‌ها و قارچ‌های منتقله توسط هوا و ارتباط آن‌ها با عوامل محیطی در دو مدرسه ابتدایی منتخب شهر اراک

*سید حامد میرحسینی[۱]، فاطمه آرین[۲]، سمانه محمدی[۲]

۱. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اراک، اراک، ایران.
۲. کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اراک، اراک، ایران.

اطلاعات مقاله:
تاریخ دریافت: ۳۰ شهریور ۱۳۹۸
تاریخ پذیرش: ۲۵ آبان ۱۳۹۸
تاریخ انتشار: ۱۲ بهمن ۱۳۹۸

چکیده

زمینه و هدف ارزیابی کیفیت هوای داخلی و تشخیص آلاینده‌های میکروبی آن در کلاس درس مدارس به دلیل حضور کودکان حساس به این آلاینده‌ها از اهمیت بسیار برخوردار است. این مطالعه با هدف تعیین غلظت و شناسایی گونه‌های غالب آئروسل‌های بیولوژیکی و ارتباط این عوامل با فاکتورهای محیطی در دو مدرسه منتخب شهر اراک انجام شده است.

مواد و روش‌ها این مطالعه مقطعی در دو مدرسه شهر اراک در پاییز سال ۱۳۹۷ انجام شد. نمونه‌برداری از هوا با استفاده از نمونه‌بردار میکروبی تک‌مرحله‌ای اندرسن (دبی ۲۸/۳ لیتر بر دقیقه) حاوی محیط کشت باکتری و قارچ انجام شد. اثر غلظت ذرات معلق (PM) و پارامترهای محیطی (دما و رطوبت) بر تراکم بیوآئروسل‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت.

ملاحظات اخلاقی این مطالعه با کد اخلاق IR.ARAKMU.REC.1397.76 به تصویب کمیته اخلاق پژوهشی دانشگاه علوم‌پزشکی اراک رسیده است.

یافته‌ها میانگین کلی تراکم باکتری‌ها و قارچ‌ها در هوای داخل به ترتیب ۴۴۸ cfu / m^3 و ۹۴ cfu / m^3 بود. همچنین میانگین تراکم باکتری‌ها و قارچ‌ها در هوای آزاد به ترتیب برابر ۲۱۰ cfu / m^3 و ۱۲۷ cfu / m^3 بوده است. بین تراکم داخلی باکتری‌های منتقله توسط هوا و غلظت ذرات معلق (PM10 و PM2.5) ارتباط مستقیم وجود داشت. همچنین بین غلظت PM 2/5 و تراکم قارچ‌ها در داخل کلاس ارتباط مستقیم وجود داشت (P<۰/۰۵). پنی سیلیوم (۴۰ درصد)، کلادوسپوریدیوم (۱۹ درصد) و آسپرژیلوس (۱۶ درصد) گونه‌های غالب قارچ و استافیلوکوکوس (۴۲ درصد)، میکروکوکوس (۲۸ درصد)، باسیلوس (۲۱ درصد) از گونه‌های غالب باکتری بودند.

نتیجه‌گیری یافته‌ها نشان داد که قدمت و نوع ساختمان و تراکم دانش‌آموزان در کلاس درس از عوامل اصلی افزایش غلظت بیوآئروسل‌ها هستند.

کلیدواژه‌ها:
بیوآئروسل، مدرسه ابتدایی، PM 10، PM 2.5، باکتری، قارچ

مقدمه

قرارگرفتن در معرض ذرات موجود در هوا (PM) یکی از مهم‌ترین خطرات زیست‌محیطی است که مردم با آن روبه‌رو هستند. مطالعات اخیر در زمینه بار جهانی بیماری‌ها[۱]، قرارگرفتن در معرض ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون (PM 2.5) را در بین ۱۰ خطر منجر به کاهش امید به زندگی قرار داده است [۱]. به دلیل اینکه افراد بیشتر زمان خود را در محیط‌های داخلی سپری می‌کنند بیشترین تماس با ذرات معلق در این محیط‌ها رخ می‌دهد.

کلاس درس مدارس محیطی است که دانش‌آموزان بعد از منزل بیشترین زمان (حدود شش ساعت) را طی روز در آن سپری می‌کنند [۲]. از طرفی دانش‌آموزان به دلیل خصوصیات جسمی و روانی، نیاز متابولیکی بیشتر، عدم تکامل سیستم ایمنی و میزان تنفس بیشتر نسبت به بزرگسالان در برابر اثرات بهداشتی ناشی از کاهش کیفیت هوای داخل، بسیار آسیب‌پذیرتر هستند [۳]. بنابراین با توجه به پتانسیل اثرات منفی طولانی‌مدت بر تنفس و اثر بر عملکرد تشخیصی و بازدهی یادگیری، آلودگی هوای محیط‌های داخلی مدارس به عنوان یک نگرانی اصلی برای سلامت عمومی مطرح است. دانش‌آموزان در داخل کلاس با عوامل فیزیکی، شیمیایی و میکروبی منتقله توسط هوا مواجه هستند. انتقال هوابرد یکی از مسیرهای سرایت بیماری‌های

1. Global bureden of disease

* نویسنده مسئول:
سید حامد میرحسینی
نشانی: اراک، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اراک، گروه مهندسی بهداشت محیط.
تلفن: ۳۴۹۵۵۷۵ (۹۱۸) ۹۸+
پست الکترونیکی: dr.mirhoseini@arakmu.ac.ir; hmirhossaini@gmail.com

عفونی در دانش‌آموز محسوب می‌شود. نوع و تراکم بیوآئروسل‌ها در داخل کلاس با انتشار بیماری‌ها در دانش‌آموزان ارتباط دارد. بنابراین، کنترل تراکم و قابلیت زیست آن‌ها در هوای داخلی مدارس اهمیت بسزایی دارد [۲، ۴].

بر اساس مطالعات انجام‌شده، بیوآئروسل‌ها حدود ۲۴ درصد از کل ذرات اتمسفر و ۵ تا ۱۰ درصد از کل ذرات معلق هوا را تشکیل می‌دهند [۵]. باکتری‌ها، قارچ‌ها و ویروس‌ها از عوامل اصلی تشکیل‌دهنده بیوآئروسل‌ها هستند. تماس با بیوآئروسل‌ها با گستره وسیعی از اثرات بهداشتی در ارتباط است که شامل بیماری‌های واگیر، اثرات سمی حاد، آلرژی و سرطان می‌شود [۶].

آئروسل‌های بیولوژیکی می‌توانند ذرات جامد، مایع و ترکیبات آلی فرّار باشند. این ذرات دارای اندازه ۰/۳ تا ۱۰۰ میکرومتر هستند و ذرات کوچک‌تر از ۱۰ میکرومتر، بیشترین نگرانی را از نظر بهداشتی به خود اختصاص می‌دهند [۷، ۸].

افزایش عایق‌بندی ساختمان همراه با تهویه ضعیف، محیط‌هایی را با تماس بالا با بیوآئروسل‌ها ایجاد کرده است. مطالعات نشان داده است که بخش عمده‌ای از بیماری ساختمان (سندرم ساختمان بیمار) به این تماس‌ها مربوط می شود. ۵ تا ۳۴ درصد آلودگی هوای داخل ساختمان مربوط به آئروسل‌های بیولوژیکی است [۷].

استافیلوکک اورئوس مقاوم به متی‌سیلین، اسینتوباکتر، سودوموناس آئروژینوزا، منینگوکوکوس (عامل منینژیت)، استرپتوکوکوس (عامل ذات‌الریه) و لژیونلا از جمله مهم‌ترین عوامل آئروسل‌های باکتریایی محسوب می‌شوند [۲].

مایکوتوکسین‌ها و اندوتوکسین‌های تولیدشده به وسیله قارچ‌ها و باکتری‌ها باعث ایجاد بیماری ایمونوتوکسیک و موجب تورم آلوئول‌های ریه می‌شود. فقدان کیفیت مطلوب هوا در محیط‌های داخلی مدارس، می‌تواند عواقبی همچون افزایش احتمال ابتلا به اثرات بلندمدت و کوتاه‌مدت بهداشتی در دانش‌آموزان و معلمان، تأثیر بر سطح یادگیری دانش‌آموزان، کاهش سطح آسایش و توجه معلمان و کارکنان به دلیل ناراحتی و غیبت دانش‌آموزان به علت بیماری را به همراه داشته باشد [۹].

میزان تهویه ساختمان مدارس، تعداد دانش‌آموزان وکیفیت هوای اطراف مدارس برخی از اصلی‌ترین عوامل تأثیرگذار برکیفیت هوای داخل ساختمان هستند که بر سلامت دانش‌آموزان و به طور غیرمستقیم بر میزان یادگیری و بهره‌وری دانش‌آموزان اثرگذار هستند [۱۰].

بنابراین این مطالعه با هدف تعیین تراکم و نوع آئروسل‌های بیولوژیکی و ارزیابی ارتباط فاکتورهای محیطی (PM 10 و PM 2.5، دما و رطوبت) با غلظت آئروسل‌های بیولوژیکی در دو مدرسه منتخب شهر اراک انجام شده است.

مواد و روش‌ها

مکان نمونه‌برداری

این پژوهش توصیفی مقطعی در دو مدرسه ابتدایی نوساز و قدیمی شهر اراک در پاییز سال ۱۳۹۷ انجام شده است. مشخصات مربوط به این مدارس مورد مطالعه در جدول شماره ۱ آورده شده است. کلان‌شهر صنعتی اراک در ایران با جمعیتی بالغ بر ۵۰۰ هزار نفر به واسطه توسعه صنعتی و تراکم کارخانجات متنوع همراه با افزایش ترافیک به عنوان یکی از شهرهای آلوده در کشور شناخته می‌شود.

روش نمونه‌برداری و تشخیص بیوآئروسل‌ها

نمونه‌برداری فعال از هوای داخل دو کلاس منتخب در هر مدرسه و طی ساعات فعالیت معمول کلاسی دانش‌آموزان (ساعت ۱۰-۱۲) انجام شد. به جهت تعیین نسبت غلظت‌های محیط داخلی به فضای آزاد، به طور همزمان نمونه‌برداری از هوای حیاط مدرسه به عنوان نمونه هوای آزاد صورت گرفت. درمجموع تعداد ۹۶ نمونه از هوا با استفاده از نمونه‌بردار تک‌مرحله‌ای اندرسون (نمونه‌بردار SKC ساخت آمریکا) به روش برخورد مستقیم با پلیت حاوی محیط کشت و در ارتفاع ثابت ۱/۵ متر از سطح زمین برداشت شد. دبی نمونه‌برداری ۲۸/۳ لیتر بر دقیقه در مدت زمان پنج دقیقه تنظیم شد. قبل از نمونه‌برداری، دبی پمپ با استفاده از یک روتامتر، کالیبره و ضدعفونی تجهیزات مربوط به نمونه‌برداری با استفاده از الکل ۷۰ درصد انجام می‌شد. در این مطالعه از محیط کشت TSA[2] حاوی نیستاتین (غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) برای کشت باکتری‌ها و محیط کشت MEA[3] حاوی آنتی‌بیوتیک کلرامفنیکل (غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) برای کشت قارچ‌ها استفاده شد.

پلیت‌های مربوط به باکتری در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴-۴۸ ساعت انکوبه شدند و پلیت‌های قارچ در دمای هوای آزمایشگاه (۲۵ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۵-۷ روز قرار داده شدند. سپس تعداد کلنی‌ها شمارش و به صورت واحد CFU در مترمکعب هوا گزارش شدند. تشخیص کلنی‌های باکتری با استفاده از تست‌های بیوشیمیایی و تشخیص کلنی‌های قارچ از طریق ویژگی‌های مرفولوژی ماکروسکوپی و مشاهدات میکروسکوپی صورت گرفت [۱۱].

اندازه‌گیری پارامترهای محیطی

در طول مدت نمونه‌برداری از هوا، هم‌زمان پارامترهای محیطی شامل دما، رطوبت و غلظت ذرات معلق (PM_{10} و $PM_{2.5}$) مورد

2. Tryptic Soy Agar
3. Malt Extract Agar

سنجش قرار گرفت. دما و رطوبت با استفاده دستگاه پرتابل TES-۱۳۶۰ ساخت تایوان و غلظت ذرات معلق با استفاده از دستگاه Dust track TSI Model 8520 ساخت آمریکا تعیین شدند. قبل از نمونه‌برداری، دستگاه توسط کالیبراتور زیرو فیلتر مختص دستگاه کالیبره شد. غلظت ذرات بر حسب واحد میلی‌گرم بر مترمکعب گزارش شد.

تحلیل داده‌ها

آنالیز نتایج با استفاده از نسخه ۲۰ نرم‌افزار SPSS نسخه شماره انجام شد. آزمون کولموگروف اسمیرنوف جهت تعیین نرمال بودن داده‌ها و آزمون‌های کروسکال والیس جهت مقایسه غلظت بیوآئروسل‌ها در محیط‌های مختلف استفاده شد. همچنین آنالیز رتبه‌ای اسپیرمن جهت بررسی ارتباط بین پارامترهای مختلف مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌ها

غلظت آئروسل‌های بیولوژیکی در محل‌های مختلف نمونه‌برداری

در این مطالعه غلظت‌های داخلی باکتری‌های هوابرد در محل‌های نمونه‌برداری بین ۹۴ cfu / m^3 تا ۱۰۵۶ cfu / m^3 و قارچ‌های هوابرد بین ۵ cfu/m^3 تا ۲۵۰ cfu/m^3 متغیر بود. تصویر شماره ۱ میانگین کلی غلظت باکتری‌ها و قارچ‌ها را بر حسب cfu/m^3 در هوای داخل مدارس و هوای آزاد نشان می‌دهد. با توجه به تصویر شماره ۱ بیشترین و کمترین تراکم باکتری‌ها به ترتیب مربوط به کلاس طبقه دوم مدرسه شماره ۲ (۱۴۱±۵۵۹ cfu / m^3) و کلاس طبقه اول مدرسه شماره ۱ (۱۷۰±۲۹۳ cfu / m^3) است. همچنین کلاس‌های طبقه اول مدرسه ۱ (۲۵±۶۳ cfu / m^3) و کلاس طبقه اول مدرسه ۲ (۹۸±۱۳۲ cfu / m^3) به ترتیب کمترین و بیشترین دانسیته قارچی را در هوای محل‌های مختلف نمونه‌برداری داشتند.

نتایج آزمون آماری نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین غلظت‌های داخلی باکتری‌ها و قارچ‌های هوابرد وجود دارد (P<۰/۰۵). از طرفی بین غلظت باکتری‌ها و قارچ‌ها در هوای آزاد اختلاف معناداری مشاهده نشد (P>۰/۰۵).

جدول ۱. مشخصات مربوط مدارس موردمطالعه

نام مدرسه	قدمت ساخت	محل نمونه‌برداری	تعداد دانش‌آموزان	مساحت (m^2)	نوع سیستم تهویه
مدرسه۱	۲	کلاس طبقه اول	۳۱	۵۰	هواساز مرکزی
		کلاس طبقه دوم	۲۸	۵۶	هواساز مرکزی
مدرسه ۲	۱۵	کلاس طبقه اول	۴۰	۳۲	تهویه طبیعی
		کلاس طبقه دوم	۴۲	۳۰	تهویه طبیعی

پارامترهای محیطی دما، رطوبت و غلظت ذرات معلق (PM 10 و PM 2/5)

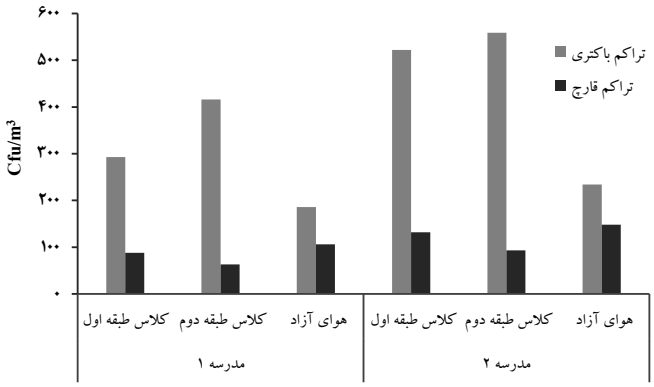
میانگین کلی غلظت ذرات معلق (PM 10 و PM 2.5) و پارامترهای دما و رطوبت در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. نتایج آزمون من ویتنی نشان داد که میانگین غلظت PM 10 و PM 2.5 در هوای آزاد به طور معناداری بیشتر از میانگین غلظت‌های متناظر این ذرات در هوای داخل ساختمان بود (جدول شماره ۲). بیشترین و کمترین غلظت ذرات معلق هوای داخل به ترتیب مربوط به کلاس طبقه دوم (۷۵ µg / m^3) و طبقه اول (۲۶ µg / m^3) مدرسه شماره ۲ بود. میانگین دما و رطوبت در هوای داخل کلاس به ترتیب ۲۱/۸ درجه سانتی‌گراد و ۳۷/۳ درصد بود (جدول شماره ۲).

ارتباط بین ذرات معلق و پارامترهای محیطی با غلظت آئروسل‌های بیولوژیکی

جدول شماره ۳ ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن را بین فاکتورهای محیطی مختلف و غلظت آئروسل‌های بیولوژیکی نشان می‌دهد. آنالیز همبستگی اسپیرمن نشان داد که بین تراکم باکتری‌های هوابرد و ذرات معلق PM 10 و PM 2.5 ارتباط مستقیم وجود داشت (P<۰/۰۵). همچنین بین غلظت ذرات معلق PM 2.5 و تراکم قارچ‌ها در داخل کلاس ارتباط مستقیم وجود داشت (P<۰/۰۵). از طرفی بین رطوبت و تراکم داخلی باکتری‌ها و قارچ‌های هوابرد ارتباط مستقیم وجود داشت، در حالی که بین دما و تراکم آئروسل‌های بیولوژیکی ارتباطی مشاهده نشد (جدول شماره ۳).

شناسایی گونه‌های غالب باکتری و قارچ در هوای داخلی کلاس‌ها

در بین گونه‌های قارچ شناسایی‌شده پنی سیلیوم (۴۰ درصد)، کلادوسپوریدیوم (۱۹ درصد) و آسپرژیلوس (۱۶ درصد) گونه‌های غالب بودند. سایر گونه‌های شناسایی‌شده مربوط به رایزوپوس، استمفیلیوم، تریکودرما و آلترناریا بودند. آنالیز آئروسل‌های باکتریایی نشان داد که همه گونه‌های مورد بررسی گرم مثبت



تصویر ۱. مقایسه میانگین تراکم باکتری‌ها و قارچ‌ها (cfu/m^3) در هوای محل‌های مختلف نمونه‌برداری

بودند و گونه‌های غالب مربوط به استافیلوکوکوس (۴۲ درصد)، میکروکوکوس (۲۸ درصد)، باسیلوس (۲۱ درصد) و کورینه باکتریوم (۶ درصد) بودند.

بحث

به دلیل حضور کودکان پایش آئروسل‌های باکتریایی و قارچی در ارزیابی کیفیت هوای داخلی مدارس از اهمیت بسزایی برخوردار است. نتایج این پژوهش نشان داد که میانگین کلی تراکم باکتری‌ها و قارچ‌ها در هوای داخل به ترتیب ۴۴۸ cfu / m^3 و ۹۴ cfu / m^3 بود. همچنین میانگین تراکم باکتری‌ها و قارچ‌ها در هوای آزاد به ترتیب برابر ۲۱۰ cfu / m^3 و ۱۲۷ cfu / m^3 بود. مرور مطالعات گذشته نشان می‌دهد که دامنه وسیعی از غلظت‌های بیوآئروسل‌ها در کلاس درس مدارس گزارش شده است که برخی از داده‌ها با نتایج حاصل از این کار همخوانی دارد [۱۲، ۱۳]. تعدادی از گزارشات مقادیر بالاتری از تراکم

جدول ۲. میانگین غلظت ذرات معلق (PM_{10} و $PM_{2.5}$) بر حسب µg/m^3 و پارامترهای دما و رطوبت در محل‌های نمونه‌برداری

نام مدرسه	محل نمونه‌برداری	دما (°C)	رطوبت (٪)	PM_{10}	$PM_{2.5}$
مدرسه ۱	کلاس طبقه اول	۲۰/۰±۱/۸	۲/۳۴/±۰/۲	۴۷±۲۱	۲۸±۱۴
	کلاس طبقه دوم	۲۱/۰±۶/۷	۳۵/۱±۶/۲	۳۶±۱۱	۱۹±۸
	هوای آزاد	۱۸/۴ ۰±/۶	۴/۳۶±۱/۸	۸۴±۲۲	۴۷±۱۰
مدرسه ۲	کلاس طبقه اول	۲۲/۲ ۰±/۹	۳۹/۳±۴/۲	۲۶ ۶۸±	۳۸±۱۸
	کلاس طبقه دوم	۲۱/۶ ۰±/۵	۴۰/۲±۹/۹	۷۵±۳۱	۴۴±۲۹
	هوای آزاد	۱۹/۲ ۰±/۴	۳۲/۰±۸/۸	۳۵ ۷۷±	۵۰±۳۱

جدول ۳. ماتریس ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن بین پارامترهای مختلف

	تراکم باکتری	تراکم قارچ	PM_{10}	$PM_{2.5}$	دما	رطوبت
تراکم باکتری	۱					
تراکم قارچ	-۰/۰۰۸	۱				
PM 10	۰/۲۸۲*	۰/۴۶۲*	۱			
PM 2.5	۰/۳۲۴*	۰/۳۰۱*	۰/۹۲*	۱		
دما	۰/۱۲۳	۰/۲۱۳	۰/۰۰۳	-۰/۰۴۸	۱	
رطوبت	۰/۲۹۸*	۰/۳۶۳*	۰/۰۰۲	-۰/۰۶۳	-۰/۰۱۶	۱

*سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵

بیوآئروسل‌ها را گزارش کرده‌اند. برای مثال در مطالعه انجام‌شده در دو دبیرستان دخترانه شهرستان اسلامشهر تهران [۲]، در ۷۳ کلاس درس ۲۰ مدرسه ابتدایی واقع در شهر پورتو پرتغال در فصل زمستان [۱۰] و در ارزیابی تراکم بیوآئروسل‌های داخلی مدارس ابتدای شهر گوندار اتیوپی [۱۴] این مقادیر به مراتب بالاتر بوده‌اند.

فاکتورهای مختلف مانند فصل نمونه‌برداری، شرایط محیطی و آب وهوایی، منابع داخلی تولید بیوآئروسل‌ها و تفاوت در طراحی مطالعات (حجم نمونه، توالی و مدت‌زمان نمونه‌برداری) از دلایل اصلی اختلاف نتایج محسوب می‌شوند. مقایسه نتایج تراکم آئروسل‌ها در دو مدرسه مورد بررسی نشان داد که غلظت باکتری‌ها و قارچ‌های هوابرد در کلاس‌های مدرسه ۲ به طور معنی‌داری بالاتر از مدرسه ۱ است (P<۰/۰۵). مدرسه شماره ۲ دارای ساختمانی با قدمت بیشتر، تراکم بالاتر دانش‌آموزان در کلاس و دارای تهویه طبیعی بوده (جدول شماره ۱) که می‌توانند دلایل خوبی برای افزایش تراکم بیوآئروسل‌ها در فضای داخلی کلاس باشند. اثر این عوامل بر غلظت بیوآئروسل‌ها در هوای داخلی توسط مطالعات دیگر ثابت شده و مورد تأکید قرار گرفته است [۱۵، ۱۶].

این تحقیق نشان داد که غلظت باکتری‌ها در مقایسه با قارچ‌ها در همه محل‌های نمونه‌برداری بالاتر بود که با نتایج ارائه‌شده توسط فریدی و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی غلظت بیوآئروسل‌ها در محیط‌های داخلی مختلف تطابق دارد [۱۱]. شرایط آب و هوایی مانند پایین‌بودن دما و رطوبت می‌تواند از دلایل اصلی پایین‌بودن غلظت قارچ‌ها در مقابل باکتری‌ها باشد. با توجه به اینکه حداکثر حد مجاز پیشنهادی ارائه‌شده برای باکتری‌ها و قارچ‌ها در هوای دخل برابر ۵۰۰ CFU / m^3 و ۱۵۰ CFU / m^3 است [۱۱]، غلظت‌های باکتری در هوای داخلی مدرسه ۲ فراتر از حد مجاز پیشنهادی بود. هرچند که غلظت قارچ‌های هوابرد پایین‌تر از این مقدار بود. مقایسه غلظت بیوآئروسل‌ها در هوای داخل و فضای آزاد (I / O) می‌تواند به عنوان یک پارامتر باارزش برای تشخیص منشأ بیرونی یا داخلی بیوآئروسل‌ها مورد استفاده قرار گیرد. اگر نسبت I / O بالاتر از یک باشد، می‌توان نتیجه گرفت که منشأ بیوآئروسل‌ها در محل نمونه‌برداری داخلی است. این نسبت در مطالعه ما برای آئروسل‌های باکتریایی بین ۵/۶ تا ۱/۴ و برای آئروسل‌های قارچی بین ۱/۲ تا ۰/۴ متغیر بود.

بالاترین نسبت برای باکتری‌ها در مدرسه ۲، به دست آمد (۲/۴) که نشان‌دهنده این است که منشأ باکتری‌های هوابرد در کلاس‌های درس این مدرسه، داخلی است. در پژوهش انجام‌شده در مدارس ابتدایی لهستان این نسبت بین ۵/۹ تا ۸/۹۵ در فصول مختلف گزارش شده است [۱۷]. همچنین در مطالعه‌ای در شهر آنکارا در ترکیه این نسبت در کلاس‌های درس مدارس بین ۰/۷۳-۷۷ متغیر بوده است [۵]. آزمون آماری نشان داد که بین میانگین غلظت قارچ‌ها در محیط داخل و هوای آزاد تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (P>۰/۰۵). از مقایسه تراکم آئروسل‌های قارچی در این تحقیق با سایر مطالعات مشابه [۱۸، ۱۹] می‌توان نتیجه گرفت که میزان آلودگی قارچی در فضای داخلی این مدارس در طی دوره نمونه‌برداری بالا نیست.

با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول شماره ۲، میانگین غلظت ذرات معلق PM 10 و PM 2.5 اندازه‌گیری‌شده در این تحقیق بسیار پایین‌تر از نتایج گزارش‌شده از کلاس‌های درس شش مدرسه ابتدایی در ساری [۲۰] و دو دبیرستان در اسلامشهر تهران است [۲].

میانگین غلظت‌های PM_{10} و $PM_{2.5}$ در فضای آزاد مدرسه ۱، به طور معناداری بالاتر از غلظت‌های داخلی است (P<۰/۰۵). هر چند آزمون آماری در مدرسه ۲، تفاوت آماری معناداری را بین غلظت‌های ذرات معلق در داخل و فضای آزاد نشان نداد (P>۰/۰۵). مدارس مورد بررسی در این تحقیق در مجاورت خیابان‌های پرترافیک بوده و از این جهت بخش عمده‌ای از غلظت‌های ذرات معلق در فضای داخلی ناشی از تردد خودروهاست.

آنالیز همبستگی اسپیرمن نشان داد که بین تراکم بیوآئروسل‌ها و $PM_{2.5}$ ارتباط مستقیم وجود دارد (P<۰/۰۵) (جدول شماره ۳). هوسپودسکی[4] و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه غلظت‌های باکتری و قارچ‌های منتقله توسط هوا در شش کلاس درس به این نتیجه رسیدند که بین غلظت باکتری‌ها و قارچ‌ها با غلظت ذرات معلق ارتباط معنی‌داری وجود ندارد [۲۱].

آنالیز همبستگی اسپرمن ارتباط ضعیفی را بین غلظت باکتری‌ها و قارچ‌ها با رطوبت نسبی نشان می‌دهد (جدول شماره ۳). هر چند که بین دما و تراکم آئروسل‌های بیولوژیکی ارتباطی مشاهده نشد؛ از آنجا که این مطالعه در یک فصل انجام شده است علت اصلی آن را می‌توان به تغییرات دمایی و رطوبت نسبی ناچیز در مدت نمونه‌برداری نسبت داد.

گونه‌های غالب باکتریایی و قارچ شناسایی‌شده در این پژوهش با نتایج به‌دست‌آمده از ایزوله‌های مربوط به هوای داخل مدارس سایر مطالعات همخوانی دارد [۴، ۲۲، ۲۳].

باکتری استافیلوکوکوس به عنوان فلور طبیعی پوست و بینی می‌تواند طیف گسترده‌ای از بیماری‌ها و عفونت‌ها را به‌ویژه در کودکان ایجاد کند. همچنین کورینه باکتریوم به عنوان یکی از عوامل ایجاد عفونت‌های بیمارستانی به‌خصوص در کودکان شناخته شده است [۲۴]. گونه‌های قارچ غالب در این تحقیق، از مهم‌ترین عوامل آلرژن محسوب می‌شوند که اثرات زیان‌آوری بر سلامت انسان به‌ویژه کودکان و دانش‌آموزان در کلاس درس دارند [۱۹].

4. Hospodsky

نتیجه‌گیری

درمجموع نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که قدمت و نوع ساختمان و تراکم دانش‌آموزان در کلاس درس از عوامل اصلی افزایش غلظت بیوآئروسل‌ها در هوای داخل کلاس‌های درس هستند. از نظر کیفی آئروسل‌های بیولوژیکی شناسایی‌شده در فضای بسته کلاس‌های درس مدارس موردبررسی، پتانسیل ایجاد خطرات مرتبط با سلامت را برای دانش‌آموزان در این محیط‌ها دارند. منابع داخلی به عنوان منشأ اصلی آئروسل‌های باکتریایی در کلاس درس شناخته شده‌اند؛ هرچند بر اساس یافته‌ها، منشأ قارچ‌های هوابرد در این تحقیق مربوط به فضای آزاد است. پیشنهاد می‌شود که در پژوهشی دیگر اثر سایر آلاینده‌ها همچون ترکیبات آلی فرّار مورد ارزیابی قرار گیرد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این مطالعه با کد اخلاق IR.ARAKMU.REC.1397.76 به تصویب کمیته اخلاق پژوهشی دانشگاه علوم‌پزشکی اراک رسیده است.

حامی مالی

این مقاله حاصل بخشی از طرح پژوهشی مصوب در معاونت پژوهشی و کمیته تحقیقات دانشجویی دانشگاه علوم پزشکی اراک بوده است. و با حمایت مالی این معاونت انجام شد.

مشارکت‌نویسندگان

تمامی نویسندگان در نگارش این مقاله به یک اندازه مشارکت داشتند.

تعارض منافع

نویسندگان تصریح می‌کنند که هیچ‌گونه تضاد منافعی برای پژوهش حاضر وجود ندارد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از طرح پژوهشی مصوب با شماره ۳۰۷۹ در دانشگاه علوم‌پزشکی اراک است. نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند که حمایت‌های مادی و معنوی معاونت پژوهشی وکمیته تحقیقات دانشجویی دانشگاه علوم‌پزشکی اراک قدردانی کنند.

References

[1] Morawska L, Ayoko GA, Bae GN, Buonanno G, Chao CYH, Clifford S, et al. Airborne particles in indoor environment of homes, schools, offices and aged care facilities: The main routes of exposure. Environ Int. 2017; 108:75-83. [DOI:10.1016/j.envint.2017.07.025] [PMID]

[2] Kashi G. [Investigation of the bio-aerosols concentration from high schools indoor air in Islamshahr county in 1392-3 (Persian)]. J Saf Promot Inj Prev. 2015; 3(1):57-66.

[3] Majd E, McCormack M, Davis M, Curriero F, Berman J, Connolly F, et al. Indoor air quality in inner-city schools and its associations with building characteristics and environmental factors. Environ Res. 2019; 170:83-91. [DOI:10.1016/j.envres.2018.12.012] [PMID]

[4] Brągoszewska E, Mainka A, Pastuszka JS, Lizończyk K, Desta YG. Assessment of bacterial aerosol in a preschool, primary school and high school in Poland. Atmosphere. 2018; 9:87. [DOI:10.3390/atmos9030087]

[5] Mentese S, Rad AY, Arısoy M, Güllü G. Seasonal and spatial variations of bioaerosols in indoor urban environments, Ankara, Turkey. Indoor Built Environ. 2012; 21:797-810. [DOI:10.1177/1420326X11425965]

[6] Mirhoseini SH, Nikaeen M, Satoh K, Makimura K. Assessment of airborne particles in indoor environments: Applicability of particle counting for prediction of bioaerosol concentrations. Aerosol Air Qual Res. 2016; 16:1903-10. [DOI:10.4209/aaqr.2015.08.0528]

[7] Mirhoseini SH, Nikaeen M, Hatamzadeh M, Hassanzadeh A. Assessment of bioaerosol concentration in the indoor environments. Health Syst Res Summer. 2014; 10(2):376-85.

[8] Mirhoseini SH, Nikaeen M, Shamsizadeh Z, Khanahmad H. Hospital air: A potential route for transmission of infections caused by β-lactam-resistant bacteria. Am J Infect Control. 2016; 44:898-904. [DOI:10.1016/j.ajic.2016.01.041] [PMID]

[9] Ehrampoosh MH, ZareSakhvidi MJ, Mehrparvar AH, Soltanianzadeh Z, Gamshidi S, Taherzade S. Evaluating suspended particles concentration of the inside and outside air of the classroom and its influencing factors in middle schools and high schools of yazd. Tolooebehdasht. 2015; 14:11-22.

[10] Madureira J, Paciência I, Pereira C, Teixeira JP, Fernandes E de O. Indoor air quality in Portuguese schools: Levels and sources of pollutants. Indoor Air. 2016; 26:526-37. [DOI:10.1111/ina.12237] [PMID]

[11] Faridi S, Hassanvand MS, Naddafi K, Yunesian M, Nabizadeh R, Sowlat MH, et al. Indoor/outdoor relationships of bioaerosol concentrations in a retirement home and a school dormitory. Environ Sci Pollut Res. 2015; 22:8190-8200. [DOI:10.1007/s11356-014-3944-y] [PMID]

[12] Alves C, Duarte M, Ferreira M, Alves A, Almeida A, Cunha Â. Air quality in a school with dampness and mould problems. Air Qual Atmosphere Health. 2016; 9:107-115. [DOI:10.1007/s11869-015-0319-6]

[13] Mentese S, Tasdibi D. Airborne bacteria levels in indoor urban environments: The influence of season and prevalence of Sick Building Syndrome (SBS). Indoor Built Environ. 2016; 25:563-580. [DOI:10.1177/1420326X14562454]

[14] Andualem Z, Gizaw Z, Bogale L, Dagne H. Indoor bacterial load and its correlation to physical indoor air quality parameters in public primary schools. Multidiscip Respir Med. 2019; 14:2. [DOI:10.1186/s40248-018-0167-y] [PMID] [PMCID]

[15] Madureira J, Paciência I, Rufo JC, Pereira C, Teixeira JP, de Oliveira Fernandes E. Assessment and determinants of airborne bacterial and fungal concentrations in different indoor environments: Homes, child day-care centres, primary schools and elderly care centres. Atmos Environ. 2015; 109:139-46. [DOI:10.1016/j.atmosenv.2015.03.026]

[16] Mentese S, Arisoy M, Rad AY, Güllü G. Bacteria and fungi levels in various indoor and outdoor environments in Ankara, Turkey. Clean-Soil Air Water. 2009; 37:487-93. [DOI:10.1002/clen.200800220]

[17] Canha N, Almeida SM, do Carmo Freitas M, Wolterbeek HT. Assessment of bioaerosols in urban and rural primary schools using passive and active sampling methodologies. Arch Environ Prot. 2015; 41:11-22. [DOI:10.1515/aep-2015-0034]

[18] Cavaleiro Rufo J, Madureira J, Paciência I, Aguiar L, Pereira C, Silva D, et al. Indoor fungal diversity in primary schools may differently influence allergic sensitization and asthma in children. Pediatr Allergy Immunol. 2017; 28:332-9. [DOI:10.1111/pai.12704] [PMID]

[19] Salonen H, Duchaine C, Mazaheri M, Clifford S, Morawska L. Airborne culturable fungi in naturally ventilated primary school environments in a subtropical climate. Atmos Environ. 2015; 106:412-8. [DOI:10.1016/j.atmosenv.2014.07.052]

[20] Mohammadyan M, Alizadeh-Larimi A, Etemadinejad S, Latif MT, Heibati B, Yetilmezsoy K, et al. Particulate air pollution at schools: Indoor-outdoor relationship and determinants of indoor concentrations. Aerosol Air Qual Res. 2017; 17:857-64. [DOI:10.4209/aaqr.2016.03.0128]

[21] Hospodsky D, Yamamoto N, Nazaroff WW, Miller D, Gorthala S, Peccia J. Characterizing airborne fungal and bacterial concentrations and emission rates in six occupied children's classrooms. Indoor Air. 2015; 25:641-52. [DOI:10.1111/ina.12172] [PMID]

[22] Deng W, Chai Y, Lin H, So WW, Ho KWK, Tsui AKY, et al. Distribution of bacteria in inhalable particles and its implications for health risks in kindergarten children in Hong Kong. Atmos Environ. 2016; 128:268-75. [DOI:10.1016/j.atmosenv.2016.01.017]

[23] Aydogdu H, Asan A, Otkun MT, Ture M. Monitoring of fungi and bacteria in the indoor air of primary schools in Edirne city, Turkey. Indoor Built Environ. 2005; 14:411-25. [DOI:10.1177/1420326X05057539]

[24] Mirhoseini SH, Nikaeen M, Shamsizadeh Z, Aali R. [Prevalence and molecular identification of antibiotic resistant airborne bacteria at intensive care units (Persian)]. Koomesh. 2018; 20:772-8.