Journal of Health and Safety at Work 2025; 15(3): 687-723

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Investigating Thermal Comfort and Ventilation in Schools: A Systematic Review

Fatemeh Paridokht[1], Akram Tabrizi[2], Yaser Khorshidi behzadi[3,4], Somayeh Farhang Dehghan[5,6*]

[1]Student Research Committee, Department of Occupational Health and Safety Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[2]Student Research Committee, Department of Occupational Health and Safety Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[3]Department of Occupational Health and Safety Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[4]Abadan University of Medical Sciences, Abadan, Iran
[5]Environmental and Occupational Hazards Control Research Center, Research Institute for Health Sciences and Environment, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[6]School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Received: 23/11/2024 Accepted: 30/8/2025

ABSTRACT

Introduction: Students play a key role in shaping the future of any society and spend a significant amount of time in educational environments. Creating an optimal learning environment requires close attention to factors affecting student well-being, particularly thermal comfort and indoor air quality. This study aims to systematically review the existing literature on thermal comfort and ventilation systems in schools.

Material and Methods: This systematic review was conducted based on the Cochrane methodology, involving a comprehensive search of three major databases — Scopus, Web of Science, and PubMed — for articles published between 2020 and 2024. The inclusion criteria encompassed peer-reviewed, conference, and review articles published in English that included the keywords "thermal comfort," "ventilation," and "school" in their title, abstract, or keywords. Studies focusing on preschools, universities, or other non-primary/secondary educational settings, as well as those conducted during the COVID-19 pandemic, were excluded.

Results: A total of 42 articles were selected after a rigorous screening process. The highest number of publications was reported in 2023. Key findings included: Most studies focused on elementary and secondary schools. The majority of research was conducted during the summer season, which may limit generalizability across seasons. There was considerable variation in CO_2 levels, with some exceeding recommended standards. In simulation studies, DesignBuilder and EnergyPlus were the most frequently used software tools. Additionally, results showed that: Indoor air quality and thermal comfort are significantly influenced by the type of ventilation system. Schools using natural ventilation often experienced higher CO_2 concentrations and lower thermal comfort than recommended. Implementation of Demand-Controlled Ventilation (DCV) has shown promise in improving indoor air quality and reducing pollutant levels.

Conclusion: This paper can contribute to the improvement of educational space design, enhancement of student learning, and promotion of indoor environmental health. It also provides insights into the latest methods for measuring and simulating thermal comfort and indoor air quality. For more practical outcomes, long-term studies with larger sample sizes across different seasons and times of day are needed. Combining computer simulations with real-world measurements can support cost-effective and optimized design of educational spaces. Future research should focus on standardizing temperature, humidity, CO_2 levels, and selecting the most appropriate ventilation strategies for classrooms.

Keywords: *Thermal comfort, Ventilation, CO2, Indoor air quality, Schools, Classrooms*

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Paridokht F., Tabrizi A., khorshidi Behzadi Y., Farhang Dehghan S. Investigating Thermal Comfort and Ventilation in Schools: A Systematic Review. J Health Saf Work. 2025; 15(3): 687-723.

* Corresponding Author Email: *somayeh.farhang@sbmu.ac.ir*

Copyright © 2025 The Authors.
Published by Tehran University of Medical Sciences

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

1. INTRODUCTION

Schools are considered critical indoor spaces due to their significant impact on the health and comfort of their occupants . Students spend over 70% of their day on school-related activities. According to the resolutions of the Supreme Council of Education in Iran, elementary school students in the first, second, and sixth grades attend school for 25 hours per week (5 hours daily), while for students in the third, fourth, and fifth grades the attendance is 26 hours weekly (5 hours and 20 minutes daily). High school students are required to attend for a minimum of 6 hours and a maximum of 8 hours per day .These schedules are notably different in private educational institutions.

Poor indoor air quality and thermal discomfort can lead to reduced concentration, increased fatigue, and long-term health issues, negatively impacting both students and educators .Extended school hours and high student density present significant challenges in maintaining a safe and comfortable classroom environment. Children are particularly vulnerable as they tend to passively adapt to their surroundings and may not effectively communicate dissatisfaction with indoor conditions Achieving thermal comfort for students is a substantial challenge for educational institutions. Factors such as environmental conditions, seasonal variations, heating systems, gender, and clothing insulation significantly influence students' thermal comfort.

The primary objectives of this study are as follows:

1. To review recent research and identify limitations and challenges in evaluating thermal comfort in educational institutions.
2. To explore the relationship between thermal comfort and ventilation.
3. To assess simulation methodologies for analyzing thermal comfort and ventilation in schools.

And also to provide recommendations for improving thermal comfort in schools and guiding future research initiatives.

2. MATERIAL AND METHODS

This systematic review adhered to the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) guidelines to ensure a comprehensive and unbiased selection of studies. A thorough search of peer-reviewed articles was conducted across major databases, including PubMed, Scopus, and Web of Science. The keywords employed in the search strategy were "thermal comfort," "ventilation," and "schools." Articles published between 2020 and 2024 that focused on primary and secondary schools were included. Studies related to other types of buildings, such as kindergartens or universities, were excluded. Additionally, articles focusing solely on temporary ventilation measures introduced during the COVID-19 pandemic were omitted to avoid skewed results. Only articles written in English were considered. All original research articles, review papers, and conference proceedings were eligible for inclusion.

For an article to be included in the review, the selected keywords had to appear in the title, keywords, or abstract. The selection process involved the independent review of search results by the authors, followed by the screening of eligible articles for full-text review. Non-research articles such as author notes, editorials, popular texts, letters to the editor, and articles published in languages other than English were excluded.

A total of 290 studies were initially identified through the search process. After removing duplicates and excluding non-relevant studies based on titles and abstracts, 50 articles were selected for full-text screening. Following further evaluation against the inclusion and exclusion criteria, 42 studies were ultimately included in the analysis.

The quality of the review articles was assessed using the Joanna Briggs Institute (JBI) tool, while the quality of cross-sectional articles was evaluated using the Critical Appraisal Skills Program (CASP) tool. Quality assessments were independently conducted by the authors using the JBI and CASP checklists, and the results were averaged for each article. Based on this qualitative assessment, all reviewed cross-sectional and review articles were deemed to be of exceptionally high quality.

The study analyzed 42 articles, comprising 4 review articles and 38 original and conference papers. Of these, 25 studies included experimental measurements, 8 involved both simulation studies and experimental measurements, 4 focused solely on simulation studies, 1 utilized machine learning methods, and 4 were review studies. Additionally, 13 of the original articles were conference papers (Fig.1).

3. RESULTS AND DISCUSSION

The evaluation highlighted several critical

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

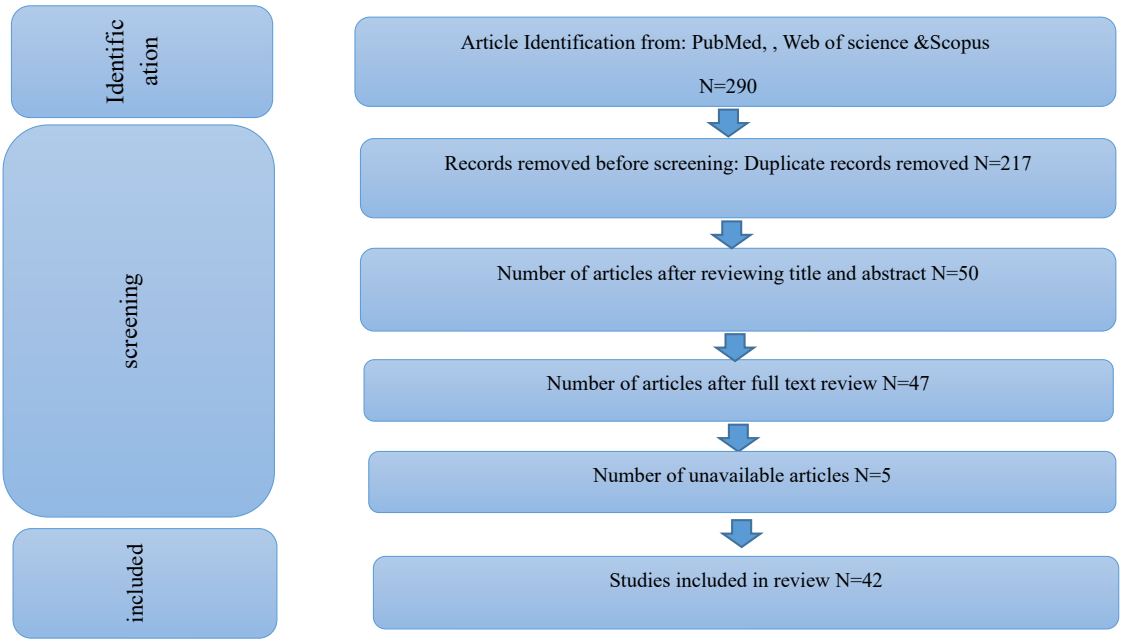


Fig. 1: The process of selecting and screening articles

concerns regarding thermal comfort and ventilation in educational institutions, particularly in naturally ventilated buildings.

Thermal Comfort of Students

Indoor thermal conditions are influenced by multiple factors, including season, occupancy, ventilation type, and heating systems. Regarding thermal comfort, many classrooms, particularly in schools located in warmer climates, experienced temperatures exceeding the recommended comfort range of 22–26°C during summer months. While natural ventilation systems are energy-efficient, they often struggle to maintain both air quality and thermal comfort, which can lead to discomfort for students. This review revealed that most schools rely on natural ventilation. However, mechanical ventilation systems, though more adaptable to varying climatic conditions—such as changes in outdoor temperature, wind speed, and direction—offer a more reliable solution for ensuring high indoor air quality on a consistent basis. Nevertheless, mechanical systems also face challenges such as humidity control issues.

Furthermore, several studies found that even schools equipped with mechanical ventilation systems frequently fail to achieve optimal indoor air quality due to poorly designed systems, inadequate maintenance, or a lack of proper adjustment of ventilation settings. Interestingly, in temperate climates, thermal comfort can often be achieved without mechanical ventilation, particularly during spring and winter.

Another critical observation was related to seasonal variation in ventilation effectiveness. In colder climates, many schools reduced ventilation rates during winter to conserve heat, leading to the accumulation of indoor air pollutants, including CO. This highlights the need for balanced strategies that maintain both energy efficiency and air quality throughout the year.

Carbon Dioxide and Cognitive Performance of Students

Analyzing the study results reveals that two key factors of thermal comfort and ventilation, significantly impact student learning. Temperature plays a crucial role in children's performance, with elevated temperatures leading to decreased concentration. Students tend to prefer classroom temperatures lower than the thermally neutral level that is typically preferred by adults. In tropical climates, cross ventilation helps maintain thermal comfort while keeping CO2 concentrations below 1000 ppm. Furthermore, CO2 levels below 900 ppm are shown to reduce negative effects on cognitive function, supporting better academic performance

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

The Role of Simulation in Optimizing School Mechanical Ventilation Systems and Minimizing Energy Usage

Multiple studies suggest that simulation, despite its minor inaccuracies, is an exceptionally efficient and cost-effective method for modeling and analyzing environmental settings. The findings of the current study indicate that DesignBuilder software, the predominant tool in this field, allows for the creation and evaluation of various models by manipulating different factors, thus helping identify the most optimal design approach. Despite some minor inaccuracies, these simulations are highly generalizable and reliable.

Numerous software applications have been developed for building simulation. DesignBuilder, along with EnergyPlus—one of the most well-known programs that simulates energy and thermal performance in buildings—was used as the environmental analysis tool for building design and simulation. It is a powerful simulation software that provides a three-dimensional graphical interface for EnergyPlus, which is used to model overall building energy consumption, climatic conditions, and thermal loads.

4. CONCLUSIONS

This systematic review highlights the importance of proper ventilation and thermal comfort in promoting students' health and academic performance. While natural ventilation systems are widely used due to their low energy consumption, they often fall short of providing adequate air quality and thermal comfort, especially during periods of high occupancy or extreme weather conditions. The findings emphasize the need for further research to evaluate the long-term impacts of poor indoor environmental quality on students and to assess ventilation system performance across different seasons.

Comprehensive measurements and simulations should be conducted year-round, with carbon dioxide concentrations monitored during all hours that students are present. These assessments should account for various conditions, including season, time, occupancy, whether ventilation systems are active, and the type of ventilation employed.

Policymakers and school administrators should prioritize improving indoor air quality and maintaining thermal comfort in educational facilities, as these factors are closely tied to student well-being and academic success. Implementing hybrid ventilation systems or upgrading existing ones may be necessary to address the challenges identified in this review. Additionally, fostering increased awareness and providing training on the proper use and maintenance of ventilation systems are essential for ensuring their optimal performance.

5. ACKNOWLEDGMENT

This study is related to the project NO 1403/54223 From Student Research Committee, Shahid Beheshti University of Medical Sciences,Tehran,Iran.

We also appreciate the "Student Research Committee" and "Research & Technology Chancellor" in Shahid Beheshti University of Medical Sciences for their financial support of this study.

6. ETHICAL CODE

This article has been approved by the Student Research Committee and Research & Technology Chancellor in Shahid Beheshti University of Medical Sciences under the ethics code IR.SBMU.RETECH.REC.1403.742.

7. FUNDING

Student Research Committee and Research & Technology Chancellor in Shahid Beheshti University of Medical Sciences.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

فصلنامه بهداشت و ایمنی کار جلد ۱۵/ شماره ۳/ پاییز ۱۴۰۴ صفحات ۶۸۷-۷۲۳

بررسی آسایش‌حرارتی و تهویه در مدارس: یک مطالعه مروری نظام‌مند

فاطمه پری دخت[۱]، اکرم تبریزی[۲]، یاسر خورشیدی بهزادی[۳و۴]، سمیه فرهنگ دهقان[۵و۶*]

[۱]کمیته تحقیقات دانشجویی ،گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

[۲]کمیته تحقیقات دانشجویی ،گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار ، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

[۳]گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

[۴]دانشگاه علوم پزشکی آبان، ابادان، ایران

[۵]مرکز تحقیقات کنترل عوامل زیان آور محیط و کار، پژوهشکده علوم بهداشتی و محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

[۶]دانشکده بهداشت وایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۹/۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۸

چکیده

مقدمه: دانش‌آموزان نقش کلیدی در شکل‌دهی به آینده هر جامعه‌ای ایفا می‌کنند و زمان قابل توجهی را در محیط‌های آموزشی سپری می‌کنند. ایجاد فضایی یادگیری مطلوب مستلزم توجه دقیق به عوامل مؤثر بر رفاه آنها، به‌ویژه آسایش حرارتی و کیفیت هوای داخلی است. این مطالعه با هدف مرور منظم و نظام‌مند ادبیات موجود پیرامون آسایش حرارتی و سیستم‌های تهویه در مدارس انجام شده است.

روش کار: این مطالعه مروری نظام‌مند بر اساس معیارهای استاندارد الگوی کوکرین صورت گرفت. داده‌ها از طریق جستجو در سه پایگاه داده معتبر Web of Science، Scopus و PubMed از سال ۲۰۲۰ تا دسامبر ۲۰۲۴ جمع‌آوری شدند. مقالاتی که به‌صورت اصیل، مروری یا کنفرانسی و به زبان انگلیسی منتشر شده بودند و دارای کلمات کلیدی «آسایش حرارتی»، «تهویه» و «مدرسه» در عنوان، چکیده یا کلمات کلیدی بودند، وارد مطالعه شدند. مقالات مربوط به صرفا دوران کووید-۱۹ و مربوط به مدارس پیش‌دبستانی، دانشگاه‌ها و ساختمان‌های آموزشی غیر مشابه از محدوده مطالعه خارج شدند.

یافته ها: در مجموع، ۴۲ مقاله پس از غربالگری دقیق وارد مطالعه شدند. بیشترین تعداد مقالات در سال ۲۰۲۳ منتشر شده بودند. نتایج نشان داد که بیشتر مطالعات به بررسی مدارس ابتدایی و متوسطه پرداخته‌اند. فصل تابستان بیشترین مطالعات را به خود اختصاص داده است که می‌تواند به عنوان یک محدودیت تعمیم‌پذیری در نظر گرفته شود. غلظت CO_2 در کلاس‌های مورد مطالعه دارای تنوع قابل توجهی بوده و در برخی موارد از حد استاندارد بالاتر بوده است. در بخش شبیه‌سازی، نرم‌افزارهای Design-Builder و EnergyPlus پرکاربردترین ابزارها بوده‌اند. همچنین، نتایج نشان دادند که کیفیت هوای داخلی و آسایش حرارتی تحت تأثیر مستقیم نوع سیستم تهویه قرار دارند. در مدارس با تهویه طبیعی ، غلظت CO_2 بالاتر از مقادیر پیشنهادی و آسایش حرارتی پایین‌تری نسبت به استانداردها گزارش شده است. استفاده از سیستم‌های تهویه کنترل‌شده با تقاضا (DCV) می‌تواند به بهبود کیفیت هوای داخلی و کاهش غلظت آلاینده‌ها کمک کند.

نتیجه گیری: مقاله حاضر می‌تواند در بهبود طراحی فضاهای آموزشی ، افزایش یادگیری دانش‌آموزان و ارتقای سلامت محیط داخلی کلاس‌ها مفید باشد. همچنین، اطلاعاتی درباره جدیدترین روش‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی آسایش حرارتی و کیفیت هوای داخلی ارائه می‌دهد. برای دستیابی به نتایج کاربردی‌تر، مطالعات بلندمدت با حجم نمونه بزرگ‌تر در تمام فصول سال و ساعات مختلف شبانه‌روز ضروری است. همچنین، ترکیب روش‌های شبیه‌سازی کامپیوتری با اندازه‌گیری‌های واقعی می‌تواند در طراحی بهینه و کم‌هزینه فضاهای آموزشی کمک کند. پژوهش‌های آینده باید بر استانداردسازی دما، رطوبت، CO_2 و انتخاب مناسب‌ترین سیستم‌های تهویه در کلاس‌های درس تمرکز کنند.

کلمات کلیدی: *آسایش‌حرارتی، تهویه، CO_2، کیفیت هوای داخل، مدارس، کلاس‌های درس*

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: somayeh.farhang@sbmu.ac.ir

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

مقدمه

مدارس به دلیل نقش مهمی که بر سلامت و آسایش افراد حاضر در آن دارند به عنوان یکی از مهم‌ترین محیط‌های سرپوشیده محسوب می‌شوند (۱). دانش‌آموزان تقریباً ۷۰٪ از روز را در کلاس‌های درس می‌گذرانند (۲). به طوری که طبق مصوبات شورای عالی آموزش‌وپرورش ایران دانش‌آموزان ابتدایی پایه اول و دوم و ششم ۲۵ ساعت در هفته (۵ساعت در روز) پایه‌های سوم، چهارم و پنجم ۲۶ ساعت در هفته (۵ساعت و بیست دقیقه در روز) و دانش‌آموزان مقطع متوسطه حداقل۶ ساعت و حداکثر ۸ ساعت در روز باید در مدرسه حضور داشته باشند (۳). البته این ساعت در مدارس غیر انتفاعی متفاوت است.

کیفیت هوای داخل ساختمان و آسایش‌حرارتی عناصر اولیه‌ای هستند که بر سلامت، رفاه و بهره‌وری دانش‌آموزان تأثیر می‌گذارند (۴). چنانچه کیفیت هوای داخل ضعیف و آسایش‌حرارتی ناکافی باشد می‌تواند منجر به چندین اثر منفی از جمله از دست دادن تمرکز، کاهش عملکرد شناختی، سردرد، خستگی، آلرژی و افزایش خطر عفونت‌های موجود در هوا شود (۵, ۶). تحقیقات نشان‌می‌دهند که آسایش‌حرارتی به طور قابل توجهی بر عملکرد تحصیلی، یادگیری و کارایی مطالعه دانش‌آموزان تأثیر می‌گذارد (۷-۹). شرایط حرارتی غیرقابل قبول، ناشی از دمای بیش از حد بالا یا پایین، منجر به حواس پرتی و کاهش تمرکز، کاهش عملکرد در ارزیابی‌های یادگیری، مانع از توانایی دانش‌آموزان برای تکمیل تکالیف و مانع پیشرفت مطالعه می‌شود (۹, ۱۰). در نتیجه، نظارت بر دمای داخلی، رطوبت نسبی و سطوح CO_2 به یک عمل توصیه شده برای اطمینان از محیط داخلی امن برای دانش‌آموزان تبدیل شده است (۱۱).

ساعت طولانی حضور در کلاس و تراکم بالای دانش‌آموزان چالش‌های مهمی را در حفظ محیط کلاسی امن و راحت ایجاد می‌کند. کودکان در مقایسه با بزرگسالان آسیب پذیرتر هستند، زیرا آنها تمایل دارند به طور منفعلانه با محیط اطراف خود سازگار شوند و اغلب نارضایتی خود را از شرایط هوای داخل ابراز نمی‌کنند (۱۲). دستیابی به آسایش‌حرارتی برای دانش‌آموزان یک چالش مهم برای مدارس است. عواملی مانند آب و هوا، فصل، سیستم‌های گرمایشی، جنسیت و عایق لباس همگی بر آسایش‌حرارتی دانش‌آموزان تأثیر می‌گذارند (۱۳).

تحقیقات نشان‌داده است که کیفیت تهویه در ساختمان‌ها را می‌توان با اندازه‌گیری سطح دی اکسیدکربن داخل ساختمان ارزیابی کرد. نوع تهویه به کار رفته بر روی دما، رطوبت و سرعت هوا در یک اتاق تأثیر می‌گذارد. علاوه بر این، نرخ تهویه بر سطح دی اکسیدکربن و در نتیجه بر کیفیت کلی هوا تأثیر می‌گذارد. استانداردهای مربوطه، مانند ASHRAE 62.1 (۱۴) و EN 16798-1 (۱۵)، حداقل نرخ تغییر هوا را در ساعت مشخص می‌کنند. نرخ تغییر هوا در کلاس‌ها معمولاً با اندازه‌گیری سطوح CO_2 تخمین زده می‌شود که به عنوان یک شاخص جایگزین جهت ارزیابی کیفیت هوای داخلی (IAQ[1]) در ساختمان‌های آموزشی عمل می‌کند (۱۶). غلظت بالای CO_2 در کلاس‌های درس نشان دهنده تهویه ناکافی است که یک مسئله رایج در بسیاری از مدارس می‌باشد (۱۷).سطوح بالای CO_2 می‌تواند بهره وری و عملکرد تحصیلی، حضور و بازده مطالعه دانش‌آموزان را کاهش دهد و خطرات سلامتی را برای دانش‌آموزان ایجاد کند (۱۸, ۱۹). برای یک محیط داخلی سالم، سطوح CO_2 باید بین ppm ۳۸۰ تا ppm۱۵۰۰ باشد، همانطور که توسط آژانس تامین مالی آموزش و مهارت[2] گزارش شده است، این مقدار برای ساکنانی که احساس ناراحتی نمی‌کنند قابل قبول است. در ساختمان‌های سبز این مقدار باید کمتر از ppm ۱۰۰۰باشد. غلظت بیش از ppm ۲۰۰۰۰۰ می‌تواند بسیار خطرناک باشد و ممکن است منجر به مرگ شود (۴). در این سناریو، سیستم‌های تهویه برای حفظ سطح CO_2 در محدوده قابل قبول در طول ساعات کلاس ضروری است. مطالعات متعددی که در کلاس‌های دارای تهویه مطبوع و تهویه طبیعی انجام شده است، سطوح

1. Indoor air quality
2. Education and Skills Funding Agency (ESFA)

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

بالایی از نارضایتی دانش‌آموزان را در مورد شرایط حرارتی معمول کلاس‌ها گزارش کرده‌اند. این روند نه تنها در کشورهای در حال توسعه بلکه در کشورهای توسعه یافته نیز قابل توجه است. اگر مصرف انرژی نگران کننده نباشد، تهویه مداوم در طول روز و شب یکی‌دیگر از روش‌های کارا برای خنک کردن غیرفعال فضاهای آموزشی است (۲۰). هم آسایش‌حرارتی و هم کیفیت هوای داخلی به طور قابل توجهی تحت تأثیر تهویه قرار می‌گیرند، زیرا به حذف آلاینده‌های فضای داخل و تامین هوای تازه کمک می‌کند و در نتیجه کیفیت هوای داخل را افزایش می‌دهد (۲۱, ۲۲).

با توجه به موارد ذکر شده در بالا، تحقیقات جهانی که به پارامترهای هوای داخل ساختمان می‌پردازند، بینش‌های ارزشمندی را به دست می‌دهند که می‌تواند برای مهندسان در سراسرجهان مفید باشد. یافته‌های حاصل از مطالعات تجربی، تحقیقات میدانی، بررسی‌ها و شبیه‌سازی‌ها، مسیرهای جدیدی را برای طراحان، از جمله معماران و سازندگان فراهم می‌کند. تا به امروز، مقالات مروری متعددی منتشر شده است، اما بیشتر آنها بر یک یا دو جنبه مربوط به آسایش‌حرارتی، کیفیت هوای داخل، یا مصرف انرژی در ساختمان‌های با کاربری متفاوت تمرکز دارند. این مطالعه با بررسی تعامل بین آسایش‌حرارتی و تهویه به طور خاص در مدارس، بینش‌هایی را برای تحقیقات آینده ارائه خواهد کرد و شکاف‌ها و توصیه‌های تحقیقاتی را برجسته می‌کند. از آنجا که تاکنون مطالعه‌ای در این زمینه که هر سه پایگاه داده Scopus، Web of Sience و PubMed را بطور جامع در نظر بگیرد، یافت نشد، لذا در این مطالعه بر آن شدیم تا برای این هدف هر سه پایگاه اطلاعاتی را طی سال‌های ۲۰۲۰ تا دسامبر ۲۰۲۴ بررسی کنیم. اهداف خاص این مطالعه عبارتند از: (۱) تحلیل مطالعات اخیر به منظور شناسایی محدودیت‌ها و چالش‌ها در ارزیابی آسایش‌حرارتی در مدارس (۲) بررسی تعاملات بین آسایش‌حرارتی و تهویه، (۳) بررسی روش‌های شبیه‌سازی مطالعه آسایش‌حرارتی و تهویه در مدارس و (۴) ارائه توصیه‌هایی برای بهبود آسایش‌حرارتی در مدارس و هدایت مطالعات آینده. این مطالعه رابطه بین آسایش‌حرارتی، تهویه و استراتژی‌های کنترل بهینه برای اهداف مذکور را مورد بحث قرار خواهد داد. در نهایت، پیشنهادهایی جهت تحقیقات آینده و محدودیت‌های مطالعات ارائه خواهد شد.

روش کار

مطالعه مروری نظام‌مند(Systematic Review) نوعی مطالعه پژوهشی است که به صورت دقیق و منظم، تمام مطالعات مرتبط با یک پرسش پژوهشی مشخص را جمع‌آوری، ارزیابی و ترکیب می‌کند. این نوع مطالعه، روشی سیستماتیک و قابل تکرار برای یافتن بهترین شواهد موجود در مورد یک موضوع خاص است. این نوع بررسی مروری مناسب برای مرور تحقیقات و پیگیری توسعه در یک دوره زمانی انتخاب شده است.

این مطالعه مطابق الگوی کوکرین(Cochrane) که یکی از مهم‌ترین و معتبرترین الگوهای موجود برای انجام مطالعات مروری نظام‌مند است، انجام شد. این الگو بر مبنای مجموعه‌ای از مراحل دقیق و سیستماتیک طراحی شده است که هدف آن جمع‌آوری، ارزیابی و تحلیل اطلاعات از مطالعات مختلف به منظور ارائه یک نتیجه‌گیری معتبر و قابل اعتماد است.

مراحل پژوهش مطابق الگوی کوکرین

هدف این مطالعه مروری نظام‌مند به دنبال پاسخ به پنج سوال تحقیق در زمینه آسایش‌حرارتی و تهویه در مدارس است:

۱. چه تحقیقی در زمینه آسایش‌حرارتی و تهویه در مدارس انجام شده است؟

۲. در سال‌های اخیر از چه روش‌های شبیه‌سازی استفاده شده است؟

۳. غلظت CO_2 در مقالاتی که کیفیت هوای داخل را سنجیده اند چگونه است؟

۴. چه روش‌های تحقیقی در سال‌های اخیر استفاده شده است؟

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

۵. تعاملات بین آسایش‌حرارتی، کیفیت هوا و تهویه در مدارس چیست؟

روش جستجو

۱. پایگاه‌های داده: سه پایگاه داده Web of Science، PubMed و Scopus برای جستجو مقالات مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۲. محدوده زمانی: این مطالعه به مقالات منتشر شده در پنج سال اخیر (۲۰۲۰ تا دسامبر ۲۰۲۴) محدود می‌شود.

۳. کلمات کلیدی: کلمات کلیدی زیر در عنوان، چکیده و کلمات کلیدی مقالات مورد جستجو قرار می‌گیرند:

آسایش‌حرارتی: Thermal comfort، تهویه: Ventilation، مدارس: Schools، مطالعه مروری نظام‌مند: Systematic review، سلامتی: Health، آموزش: Education، کیفیت هوا: Air quality، بهره‌وری انرژی: Energy efficiency، طراحی مدارس: School design، استانداردهای ساختمان: Building standards، دی اکسید کربن: Carbon dioxide، یادگیری: Learning

۴. جستجوی Blind:سه نفر به صورت Blind بدون اطلاع از هدف مطالعه جستجو را در پایگاه‌های داده انجام می‌دهند.

۵. معیارهای ورود و خروج

معیار ورود: نوع ساختمان: مدارس ابتدایی و متوسطه، زبان مقاله: انگلیسی، دسترسی به متن کامل مقاله و مقالات اصیل، مقالات مروری و مقالات کنفرانسی

معیار خروج: دانشگاه‌ها، مهد کودک‌ها و سایر فضاهای آموزشی و مقالاتی که کلمات کلیدی «آسایش‌حرارتی» و «تهویه» و «مدرسه» را در عنوان، مجموعه کلمات کلیدی، یا چکیده‌های آنها نداشته باشند. علاوه بر این، مقالاتی که صرفاً شرایط دمایی، تهویه و آسایش حرارتی را در ارتباط با ویروس کووید-۱۹ بررسی کرده‌اند، در این مطالعه وارد نشده‌اند؛ زیرا شرایط این بیماری به عنوان یک وضعیت خاص و موقتی در نظر گرفته شده است.

۶. استخراج اطلاعات:

۱. انتخاب مقالات: پس از مشخص شدن مقالات اصلی، دو نفر به صورت جداگانه اطلاعات مورد نیاز را از مقالات استخراج می‌کنند.

۲. مقایسه داده‌ها: داده‌های استخراجی توسط دو نفر باهم مقایسه می‌شوند و موارد اختلاف با بحث و دخالت نفر سوم، حل و فصل می‌شود.

۷. روش‌های حصول اطمینان از نتایج جستجو:

استفاده از گزینه‌های "Related articles"، " cited by" در گوگل اسکالر، "Similar articles"، "ResearchGate" و بررسی رفرنس‌های مقالات مرتبط.

۸. ارزیابی کیفیت مطالعات

مطالعات مروری: جهت سنجش کیفیت مطالعات از چک لیست موسسه جوآنا بریگز (JBI: Joanna Briggs Institute)استفاده شد. نتایج ارزیابی کیفیت در جدول تکمیلی شماره۱ نشان‌داده شده است. چک لیست JBI برای مطالعات مروری، مورد شاهدی ومقطعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر اساس چک لیست JBI، نمره کل بیش از ۸۰ درصد به عنوان کیفیت بالا، نمره بین ۶۰ تا ۸۰ درصد به عنوان کیفیت متوسط و نمره کمتر از ۶۰ درصد به عنوان کیفیت پایین تعریف می‌شود (۲۳).

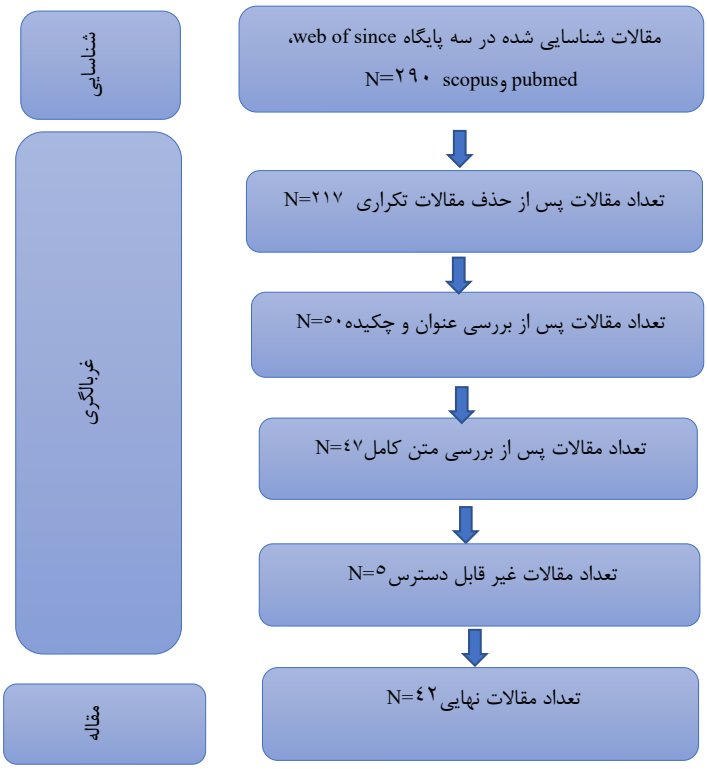
مطالعات مقطعی: جهت سنجش کیفیت مطالعات مقطعی از چک لیست برنامه مهارت‌های ارزیابی حیاتی Critical appraisal Skills Programme: CASP استفاده گردید. این چک لیست شامل ۱۲ سوال است (۲۴).

بر اساس ارزیابی کیفی انجام شده با استفاده از چک‌لیست‌های JBI وCASP ، کلیه مقالات مروری و مقطعی مورد بررسی، از کیفیت بسیار بالایی تشخیص داده‌شدند (جداول تکمیلی شماره ۱ و ۲).

یافته ها

در مرحله اول، جستجوی جامع در پایگاه‌های اطلاعاتی PubMed، Web of Science و Scopus انجام شد که منجر به شناسایی ۲۱۷ مقاله گردید. با اعمال معیارهای انتخاب دقیق مبتنی بر عنوان، کلمات کلیدی، چکیده و محتوای مقالات، تعداد 175 مقاله حذف شد. در نهایت۴۲ مقاله

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]



شکل ۱: فرایند انتخاب و غربالگری مقالات

وارد مطالعه شد. این مقالات شامل ترکیبی از مقالات علمی، کنفرانسی و مروری بودند که عمدتاً در مدارس ابتدایی و متوسطه صورت گرفته‌اند (نمودار تکمیلی شماره۱). بیشترین مطالعات در سال ۲۰۲۳ صورت گرفته است (نمودارتکمیلی شماره۲). محققان در این مطالعات از طیف وسیعی از روش‌های پژوهشی مانند اندازه‌گیری‌های میدانی، شبیه‌سازی‌های کامپیوتری، نظرسنجی و ترکیبی از این روش‌ها استفاده کرده‌اند (نمودار تکمیلی شماره۳). سیزده مطالعه از مجموع مطالعات مورد بررسی، از مدل‌سازی‌های کامپیوتری برای شبیه‌سازی شرایط محیطی استفاده کرده‌اند. علاوه براین، نمودار تکمیلی شماره ۴مطالعات بر حسب فصل به تفکیک نشان می‌دهد بیشترین مطالعات در فصل تابستان انجام شده است. اکثر مطالعات مورد بررسی، بر روی سیستم‌های تهویه طبیعی در مدارس متمرکز بوده‌اند.

این مطالعه شامل چهار بخش است که بخش اول شامل مطالعات مروری، بخش دوم مطالعات شبیه سازی،بخش سوم مطالعات تجربی و بخش چهارم مطالعات تجربی با آلاینده های ذره ای و فرار. توضیحات کامل و جداول بعلت محدودیت در بخش تکمیلی مقاله آورده شده است

مروری بر مقالات مروری در طی در بازه زمانی ۲۰۲۰ تا دسامبر ۲۰۲۴

در طی ۵ سال اخیر (از سال ۲۰۲۰ تا دسامبر ۲۰۲۴) چهار مطالعه مروری در بازه‌های زمانی مختلف و با پایگاه ها و شیوه های متفاوت انجام شده است که نتایج آن به شرح زیر آورده شد همچنین در جدول تکمیلی شماره ۳ تمام جزییات مقاله ذکر گردید. نتایج یک مطالعه مروری نظامند نشان داده است که وجود رنگ‌ها و تصاویر جذاب، مبلمان ارگونومیک و آکوستیک، راحتی‌حرارتی، تهویه و نور طبیعی کافی به عنوان ویژگی‌های مهمی هستند که طراحان مدارس باید به آن توجه کنند. همچنین فضای

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

جدول ۱: خلاصه یافته‌های آثار بررسی شده در زمینه آسایش‌حرارتی و تهویه در ساختمان‌های مدارس

عنوان/سال	نوع تهویه	تعداد نمونه	محدودیت	کشور	فصل و آب وهوا	یافته /نتیجه
تأثیر طراحی مدرسه بر پاسخ های کاربران: یک بررسی سیستماتیک (۲۰۰۸-۲۰۱۷) / ۲۰۲۰	متفاوت	۶۸ مقاله	ارائه نشده است	-	متفاوت	محیط دوستانه (رنگ‌ها، مبلمان ارگونومیک و غیره) و همچنین راحتی صوتی، حرارتی و نور طبیعی برای رفاه و بهره‌وری کاربران اهمیت دارد. میزان تهویه‌ی هوا نیز بر عملکرد دانش‌آموزان تأثیر می‌گذارد. تحقیقات آینده باید بر متغیرهای فردی، از جمله سن، جنسیت، نیازهای خاص و تعامل یا همزیستی متغیرهای مختلف، تأکید داشته باشد تا .پیچیدگی‌های این پدیده‌ها به خوبی درک شود(۲۵)
روش‌های جایگزین خنک سازی ساختمان مدرسه غیرفعال به منظور حفظ آسایش‌حرارتی در تابستان/۲۰۲۱	چهار نوع: تهویه مکانیکی، تهویه اجباری در شب، خنک کننده طبیعی شبانه، طبیعی در طول روز و شب	۱مدرسه ۱مدل دیجیتال	نتایج برای تابستان معتبر است	بودزوو ، لهست ان	تابستان/ارا ئه نشده است	نقش تهویه مکانیکی و امکان تهویه شبانه در کاهش ناراحتی مورد بررسی قرار گرفت. پیشنهاد استفاده از روش «اندازه گیری تجمعی گرمای بیش از حد» برای تخمین ساعت‌های عدم آسایش شده است(26).
بررسی آسایش‌حرارتی تابستانی و بهبودهای حرارتی غیرفعال در ساختمان‌های مدارس نپال با تهویه طبیعی/۲۰۲۳	طبیعی	۱ مدرسه در کاتماندو و دو مدرسه در دهادینگ	تمرکز فقط بر روی فصل تابستان بوده است.	کاتما ندو ، نپال	تابستان /امعتدل	نتایج مطالعات میدانی نشان داد که دمای داخلی کره‌ای و دمای هوای بیرونی با هم مرتبط بودند و دانش‌آموزان محیط را گرم‌تر احساس کردند و ترجیح دادند محیط خنک‌تری داشته باشند تایج شبیه‌سازی نشان داد که دمای عملیاتی به کمتر از ۲۷ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت و حداکثر کاهش دما ۳.۳ درجه سانتی‌گراد بود که این مقدار در محدوده آسایش حرارتی مورد نیاز در ساعات مدرسه قرار دارد..(۲۷)
در مورد پتانسیل سیستم تهویه کنترل شده با تقاضا برای بهبود کیفیت هوای داخلی و شرایط حرارتی در کلاس‌های درس مدارس استرالیا/۲۰۲۱	مکانیکی	۱ مدرسه، ۲ کلاس درس مجاور. نظرسنجی	مطالعات بیشتر در کلاس‌های درس مدارس استرالیا باید با نمونه بزرگ تری از مدارس با ساختمان‌های مختلف انجام شود. مطالعات آتی باید اختلافات بین مواجهه مدارس و کلاس‌های درس را که در این مطالعه آزمایش نشده‌اند، مشخص کند.	سیدن ی، استرا لیا	زمستان و بهار/نیمه گرمسیری مرطوب	مطالعات نظرسنجی و اندازه‌گیری‌های کیفیت هوای داخلی (IAQ) تأثیر دمای داخل و غلظت CO_2 را بر میزان خستگی دانش‌آموزان تأیید می‌کنند. یک هفته طول می کشد تا دانش‌آموزان خود را با تغییر ناگهانی متوسط دمای بیرون تطابق دهند(۱).
بررسی کیفیت محیط داخلی کلاس‌های درس مدارس هند/۲۰۲۱	طبیعی	۳۷ مقاله	ارائه نشده است	هند	متفاوت	بررسی سیستماتیک پارامترهای کیفیت محیط داخلی (IEQ) مربوط به تحقیقات انجام شده در کلاس‌های درس مدارس هند. نیاز به یک روش تست استاندارد می‌باشد. IEQ در مدارس هند(۲۸)

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

ادامه جدول ۱: خلاصه یافته‌های آثار بررسی شده در زمینه آسایش‌حرارتی و تهویه در ساختمان‌های مدارس

عنوان/سال	نوع تهویه	تعداد نمونه	محدودیت	کشور	فصل و آب وهوا	یافته /نتیجه
مسائل ساختمانی:تغییر پذیری فضایی در پیشبینی اسایش حرارتی مبتنی بر یادگیری ماشین در زمستان/۲۰۲۲	طبیعی	۵ مدرسه، ۱۴ کلاس درس، ۵۱۲ دانش آموز	فقط یک ماه آزمایش میدانی گام‌های بعدی شامل گسترش دامنه این کار به آزمایش‌های میدانی در تابستان در مدارس بیشتر، به‌کارگیری مجموعه گسترده‌تری از الگوریتم‌های ML شامل مدل‌های یادگیری عمیق و ارزیابی عملکرد پیش‌بینی در زمینه‌های فرامحلی مانند کلاس‌های درس است.	دهراد ون، هندوستان	زمستان/ارائه نشده است	تجزیه و تحلیل مقایسه ای تنوع فضایی در عملکرد مدل یادگیری ماشین برای کودکان (اندازه‌گیری در محل) و بزرگسالان (پایگاه داده-ASHRAE II)(29).
کیفیت هوا و محیط دمایی کلاس‌های مدرسه ابتدایی با ساختارهای پایدار در شمال شانشی، چین: یک مطالعه عددی/۲۰۲۲	لوله های تهویه زیرزمینی و راهروهای دو طرفه	۱ کلاس درس معمولی و مدل عددی	ارائه نشده است	استان شانشی، چین	اندازه گیری میدانی در زمستان و شبیه‌سازی برای همه فصول	راهروهای دو طرفه، کانال‌های تهویه زیرزمینی و پنجره‌هایی با نسبت ارتفاع/عرض ۱ می‌توانند سازه‌های ساختمانی با انرژی کارآمد و قابل سکونت را برای کلاس‌های مدرسه ابتدایی در شمال منطقه Shaanxi چین فراهم کنند(۳۰).
CO_2 دمای هوا و غلظت در کلاس‌های درس با تهویه طبیعی در آب و هوای گرم و مرطوب گرمسیری/۲۰۲۰	تهویه عبوری طبیعی	۱ کلاس درس	ارائه نشده است	مدان هلوتی ا، اندونزی	آوریل (تابستان)/ گرم و مرطوب استوایی	علیرغم گرمای بیش از حد در کلاس (دمای هوای داخلی بین ۳۰/۵ تا ۳۴/۵ درجه سانتی‌گراد بود)، میانگین غلظت CO_2 زیر ۱۰۰۰ ppm (حداکثر مقدار: ۶۳۷ ppm باقی ماند(31))
استراتژی‌های عملیات تهویه مطبوع برای راحتی و کیفیت هوای داخل در مدارس ابتدایی تایوان/۲۰۲۳	تهویه طبیعی، تهویه مکانیکی تهویه مطبوع	۱ کلاس از ساختمان مدرسه; ۲۹ دانش آموز و ۱ معلم	ارائه نشده است	تایوان	ارائه نشده است	در ارتباط با طرح نصب سیستم‌های تهویه مطبوع در تمام مدارس یوان، تایوان، نویسندگان مطالعات شبیه‌سازی را در مورد استراتژی‌های مختلف کنترل تهویه مطبوع برای دستیابی به میانگین هدف غلظت CO_2هشت ساعته در کلاس‌های درس انجام دادند. راهبرد بهینه شناسایی شده، کارکرد تهویه مطبوع در طول روز مدرسه همراه با یک سیستم تهویه مکانیکی بود که نرخ تبادل هوای تازه ۵ لیتر در ثانیه را برای هر نفر در اتاق فراهم می‌کرد(۳۲)
مدل‌سازی عملکرد مدارس انگلستان با شبیه‌سازی ساختمان و تحلیل تصمیم چند معیاره/۲۰۲۲	تهویه طبیعی	۱۱۱ ترکیب مختلف مدارس با تهویه طبیعی، از ۵ دوره ساخت مختلف، در ۱۳ منطقه جغرافیایی.	ارائه نشده است	انگلستان	ارائه نشده است	روشی به نام موتور داده محور برای مدل‌های کهن الگوی مدارس (DREAMS) بر اساس چارچوب مدل‌سازی سهام EnergyPlus توسعه داده شده است که انواع مختلف کلاس‌های درس را مدل‌سازی می‌کند و نه تنها معیارهای کیفیت محیط داخلی، بلکه دستاوردهای تحصیلی، سلامت و هزینه های بهداشت و درمان را نیز مورد نظر قرار می‌دهد(۳۳).
کیفیت هوای داخلی و سلامت در مدارس: بررسی انتقادی برای تهیه نقشه راه برای محیط مدرسه آینده ۲۰۲۲/	مختلف	۳۰۴ انتشارات	نیاز زیادی به مطالعات جامع‌تر با حجم نمونه بزرگ‌تر، از جمله مطالعات کوهورت آینده‌نگر، با مشخص‌سازی استراتژی‌هایی برای ارتقای کیفیت محیطی مدرسه داخلی در مواجهه با سلامت محیطی، نتایج سلامت و تندرستی دانش‌آموزان، رضایت از داخل و عملکرد شناختی وجود دارد.	-	-	مروری جامع از تحقیقات ۵۰ سال گذشته در مورد کیفیت هوای داخل سالن در کلاس‌های درس در بیش از ۴۰ کشور.(۶)

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

ادامه جدول ۱: خلاصه یافته‌های آثار بررسی شده در زمینه آسایش‌حرارتی و تهویه در ساختمان‌های مدارس

عنوان/سال	نوع تهویه	تعداد نمونه	محدودیت	کشور	فصل و آب وهوا	یافته /نتیجه
شرایط داخلی در ساختمان‌های آموزشی: مورد مدارس بولزانو/۲۰۲۰	سیستم گرمایشی و تهویه طبیعی	۵ مدرسه دولتی	ارائه نشده است.	شهر بولزانو در شمال ایتالیا.	تمام فصول/-آب و هوا در بولزانو نیمه قاره ای (با زمستان های سرد و تابستان های گرم	کیفیت هوای داخل در طول دوره گرمایش برای مدارس ابتدایی اغلب رضایت بخش نبود. تقریبا تمام مدارس دارای شرایط حرارتی رضایت بخشی بودند. کیفیت هوا پس از دوره گرمایش تمایل به بهبود دارد که ممکن است نشان دهنده افزایش سرعت تهویه طبیعی ساختمان ها باشد. مقادیر غلظت CO_2 در تمام مدارس پس از پایان دوره گرمایش نشان‌می‌دهد که حتی فقط با اتخاذ استراتژی‌های خوب باز کردن پنجره/درب، فضایی برای بهبود IAQ وجود دارد(۳۴).
مطالعه میدانی بر روی آسایش‌حرارتی تطبیقی در کلاس‌های ابتدایی اسپانیا در طول فصل تابستان/۲۰۲۳	تهویه مطبوع و free-running	۱ ساختمان مدرسه ۲ کلاس درس FR با فن و ۱ کلاس درس حالت ترکیبی با سیستم گرمایش، تهویه مطبوع	مقاله بر فصل تابستان تمرکز داشت. با در نظر گرفتن فصل زمستان و هم چنین گسترش محدوده سنی شرکت کنندگان، انجام مطالعات بیشتری مورد نیاز است.	سویل در جنوب غربی اسپانیا .	تابستان/ غالب آب و هوای مدیترانه. تابستان های گرم و آفتابی	اکثر دانش‌آموزان در دماهای خنثی احساس راحتی می‌کنند و تغییر دما را ترجیح نمی‌دهند. شاخص PMV نتوانسته است به‌خوبی احساس واقعی حرارتی کودکان را پیش‌بینی کند. همچنین، همبستگی منفی بین احساس گرمایی و آرای ترجیحی حرارتی وجود دارد که نشان‌دهنده تمایل کودکان به خنکی در اقلیم گرم است. کودکان نسبت به بزرگسالان دماهای معین را بهتر تحمل می‌کنند و استفاده از تهویه طبیعی (مانند باز کردن پنجره‌ها) نسبت به فن‌ها ترجیح داده شده است(۳۵).
کیفیت محیطی در شصت کلاس مدرسه ابتدایی و متوسطه در لندن/۲۰۲۴	تهویه طبیعی تهویه مکانیکی تهویه طبیعی و مکانیکی	شصت کلاس درس در ۸ مدرسه ابتدایی و ۲ مدرسه متوسطه	ارائه نشده است.	لندن	تمام فصول/ارائه نشده است.	تهویه دوگانه[1] به‌طور قابل توجهی سطوح آلاینده‌ها و CO_2 را کاهش داد. حضور دانش آموزان در کلاس‌ها تأثیر زیادی بر غلظت CO_2 و PM_{10} دارد. بهبود تهویه در این کلاس‌ها می‌تواند شرایط بهتری برای کودکان فراهم کند(۳۶).
بررسی میدانی در مورد آسایش‌حرارتی تطبیقی در ساختمان‌های مدرسه در منطقه آب و هوایی معتدل نپال/۲۰۲۰	تهویه طبیعی	۲۴ کلاس درس از ۸ ساختمان مدرسه دو مدرسه خصوصی (۱۹۸ دانش آموز) و شش مدرسه دولتی (۶۲۰ دانش آموز) بود	این مطالعه به تنهایی تمام اطلاعات لازم در مورد آسایش‌حرارتی در ساختمان مدارس را پوشش نمی‌دهد. مطالعات میدانی بیشتری باید در فصول دیگر انجام شود تا آسایش‌حرارتی در ساختمان‌های مدارس نپال بهتر درک شود.	نپال	پاییز/ متعادل	اکثر دانش‌آموزان در فصل پاییز در شرایط طبیعی سرپوشیده احساس راحتی می‌کنند(۳۷).
ارزیابی جهت گیری در مورد تهویه طبیعی موثر برای راحتی‌حرارتی در کلاس‌های مدرسه	تهویه طبیعی	۶۰ کلاس در ۲۰ مدرسه	مطالعات بیشتر مورد نیاز است زیرا داده های اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی ممکن است به دلیل تأثیرات توپوگرافی محلی، پوشش گیاهی و سایر عوامل ساخته دست	شهر ستان انوگو،	تابستان و زمستان/ استوایی	جهت‌گیری کلاس‌ها با ضریب تهویه طبیعی مؤثر همبستگی دارد. جهت‌گیری ساختمان‌ها و نسبت بازشوهای پنجره خروجی به ورودی تأثیر مثبت بر کارایی تهویه طبیعی دارد. پیشنهاد می شود

[1] Dual ventilation

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

ادامه جدول ۱: خلاصه یافته‌های آثار بررسی شده در زمینه آسایش‌حرارتی و تهویه در ساختمان‌های مدارس

عنوان/سال	نوع تهویه	تعداد نمونه	محدودیت	کشور	فصل و آب وهوا	یافته /نتیجه
ابتدایی در شهر انوگو نیجریه/۲۰۲۲			بشر یا طبیعی، چیز زیادی در مورد شرایط میکرو اقلیمی محلی نشان ندهد.	نیجریه		ساختمان‌ها در محور شمال-جنوب و با زاویه‌ای بین ۰ تا ۳۰ درجه نسبت به بادهای غالب جهت‌گیری شوند(۳۸).
ارزیابی جامع کیفیت هوای داخلی و آسایش‌حرارتی در ساختمان‌های آموزشی در اقلیم مدیترانه/۲۰۲۳	تهویه طبیعی	۳۲ کلاس درس از ۹ مدرسه ابتدایی و ۷ مدرسه متوسطه	ارائه نشده است	کاتالونیا، اسپانیا	تابستان، پاییز و زمستان/ مدیترانه ای	فصل، حضور افراد، تهویه و گرمایش بر شرایط حرارتی داخلی تأثیر دارند.. در تابستان، دستیابی به IAQ مطلوب و آسایش‌حرارتی دشوار است، در حالی که بهار و زمستان شرایط بهتری ارائه می‌دهند(۱۳).
کیفیت هوای داخلی و آسایش‌حرارتی دی اکسید کربن در کلاس‌های درس مدارس ابتدایی استان میسان عراق/۲۰۲۳	تنها پنج مدرسه دارای تهویه مطبوع و رویکرد تهویه در تمام کلاس ها تهویه طبیعی	۲۶مدرسه (۲۲ مدرسه دولتی و ۴ مدرسه خصوصی)- از هر مدرسه سه کلاس	ارائه نشده است.	استان میسان در جنوب عراق	زمستان و بهار، پاییز/ گرم و خشک	اکثر کلاس ها به دلیل تهویه ضعیف، سطح CO_2 بالایی داشتند. ویژگی های ساختمان کلاس و مدرسه بر کیفیت هوای داخلی موثر است(۳۹).
مطالعه آسایش‌حرارتی برای کلاس درس در مدارس شهری و روستایی در سلنگور/۲۰۲۰	ارائه نشده است	۲ مدرسه در منطقه شهری، ۲ مدرسه در روستا	اندازه گیری ها از ۱۰ تا ۲۲ ژانویه ۲۰۱۹ انجام شد	سلانگور، مالزی	تابستان/ ارائه نشده است	اندازه‌گیری میدانی و بررسی پرسشنامه نشان‌داد که مناطق شهری افزایش سریع دما را تجربه کردند، در حالی که مناطق روستایی پایدار باقی ماندند. نتایج نظرسنجی تأیید کرد که هم دانش‌آموزان و هم معلمان وقتی دمای داخل خیلی بالا بود، کاهش تمرکز را تجربه کردند(40).
تأثیر بازشوهای دیوار بر تهویه طبیعی مؤثر برای آسایش‌حرارتی در کلاس‌های درس مدارس ابتدایی در کلانشهر انوگو، نیجریه/۲۰۲۱	تهویه طبیعی	۶۰ مدرسه ابتدایی از هر ساختمان، یک کلاس و در مجموع ۶۰ کلاس درس	مطالعات بیشتر مورد نیاز است زیرا داده های اقلیمی ایستگاه های هواشناسی ممکن است به دلیل تأثیرات توپوگرافی محلی، پوشش گیاهی و سایر عوامل ساخته دست بشر یا طبیعی، چیز زیادی در مورد شرایط میکرو اقلیمی محلی نشان ندهد.	کلان شهر انوگو، نیجریه	تابستان و زمستان/ استوایی	اندازه و موقعیت بازشوهای دیوار تأثیر مثبت و معناداری بر راندمان تهویه طبیعی و به تبع آسایش‌حرارتی کلاس ها داشت(۴۱).
ارزیابی شرایط آسایش داخل ساختمان در ساختمان‌های آموزشی با توجه به استانداردهای آسایش سازگار در مناطق آب و هوایی اروپا/۲۰۲۰	تهویه طبیعی	مدل انرژی ساختمان کلاس درس استاندارد. مدل ساختمان Modulo" Didactic "o.	این مطالعه فقط برای بزرگسالان است. بر اساس پیمایش هدایت شده در آزمایشگاه ها بدون در نظر گرفتن شرایط واقعی است	مناطق آب و هوایی اروپا (ایتالیا ، یونان، بریتانیا)	زمستان/ نواحی آب و هوایی مختلف	یک شبیه‌سازی پویا برای ارزیابی عملکرد حرارتی ساختمان‌های مدرسه و بررسی احتمالات برای بهبود آنها در چندین مکان نماینده در سراسر اروپا انجام شد. نشان‌داده شد که آسایش‌حرارتی در ساختمان‌های آموزشی در طول تابستان می‌تواند در مناطق معتدل بدون استفاده از سیستم‌های مکانیکی به دست آید. علاوه بر این، اطلاع رسانی به کاربران در مورد نظارت و مدیریت ساختمان برای اطمینان از شرایط آسایش‌حرارتی در فضاها بسیار مهم است(۴۲).

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

ادامه جدول ۱: خلاصه یافته‌های آثار بررسی شده در زمینه آسایش‌حرارتی و تهویه در ساختمان‌های مدارس

عنوان/سال	نوع تهویه	تعداد نمونه	محدودیت	کشور	فصل و آب وهوا	یافته /نتیجه
عوامل زیربنایی مؤثر بر کیفیت هوای کلاس، آسایش‌حرارتی و تهویه در ۳۰ کلاس درس از مدارس ابتدایی در لندن/۲۰۲۳	تهویه دوگانه، تهویه طبیعی و تهویه مکانیکی	(دو دبیرستان شهری و سه مدرسه ابتدایی) در مجموع پنج مدرسه و ۳۰ کلاس درس	ارائه نشده است.	لندن انگلستان	زمستان/ ارائه نشده است	تهویه دوگانه تأثیر معناداری در کاهش PM_{10} داشت و انواع تهویه بر غلظت CO_2 و PM_{10} تأثیرگذار بودند. نوع کف بر PM_{10} تأثیر دارد، اما بر غلظت CO_2 تأثیر ندارد(۴۳)
ارتباط نامطلوب کیفیت هوای داخل کلاس‌ها و شرایط آسایش‌حرارتی در غیبت دانش‌آموزان مربوط به بیماری بین فصول گرمایشی و غیرگرمایی - یک مطالعه آزمایشی/۲۰۲۱	تهویه مطبوع	۲۱ مدرسه ۸۵ کلاس ۴۳ کلاس پایه سوم و ۴۲ کلاس پایه پنجم	مطالعه فقط شامل کلاس‌های درس در سطح ابتدایی بود. داده های غیبت ارائه شده توسط مدرسه بسیار محدود بود.	مناطق غرب میانه ایالات متحده	زمستان و تابستان/ سرد	حتی سطح کمی از غلظت CO_2 و $PM_{2/5}$ می‌تواند به طور قابل توجهی بر سلامت دانش‌آموزان تأثیر بگذارد.(۴۴).
ارزیابی تهویه برای راحتی‌حرارتی در دو نوع کلاس درس در کلاس‌های متوسطه مالزی/۲۰۲۳	تهویه طبیعی	دو مدرسه. هر مدرسه یک کلاس شامل ۶۷ نفر(دانش اموز+۳ معلم)	مطالعه فقط با پوشش مختصر چیدمان و طراحی مدرسه بر تهویه کلاس درس متمرکز بود، مطالعات آینده می‌تواند سایر فضاهای مدرسه مانند امکانات و حیاط ها را پوشش دهد.	مالزی	ارائه نشده است	بر تمرکز بر طراحی کلاس‌های آینده در چیدمان راهروهای تک بار و بهبود تهویه طبیعی برای آسایش‌حرارتی بالاتر(۴۵)
کیفیت هوای داخلی درک شده در مدارس ابتدایی با تهویه طبیعی در انگلستان: تأثیر متغیرهای محیطی و احساس حرارتی/۲۰۲۰	تهویه طبیعی و مطبوع	۲۹ کلاس درس در هشت مدرسه ابتدایی	ارائه نشده است.	میدلندز غربی انگلستان	تمام فصول/ متعدل	ادارک دانش‌آموزان وابسته به دمای عملیاتی و سطح CO_2 است. توصیه می‌کند که استانداردها باید تأثیر هر دو سطح دما و CO_2 را بر کیفیت هوای دخلی (IAQ) درک شده در نظر بگیرند.(۱۲)
تأثیر طراحی نما بر آسایش‌حرارتی و بصری در کلاس درس ابتدایی/۲۰۲۲	تهویه طبیعی	۲ کلاس درس	اندازه‌گیری‌های میدانی برای دمای اتاق در بازه زمانی ۰۷:۰۰ تا ۱۶:۰۰ WIB در روز چهارشنبه، ۲ ژوئن ۲۰۲۱ انجام شد.	اندونزی (سمارنگ)	۲ ژوئن (تابستان)/ گرم و خشک	بازشوها در نماها و پشتیبانی از تهویه مکانیکی برای اطمینان از آسایش‌حرارتی مطابق با استاندارد ملی اندونزی ضروری است(۴۶).
آسایش‌حرارتی دانش‌آموزان در مدارس متوسطه با تهویه طبیعی در حومه منطقه زمستانی گرم تابستانی، چین/۲۰۲۴	تهویه طبیعی	۴۵۰نفر ۸ کلاس	این مطالعه تنها با دانش‌آموزان مقطع متوسطه انجام شد. به جز راحتی‌حرارتی سایر پارامترهای محیط داخلی مورد بررسی قرار نگرفته است	هنگ یانگ (چین)	تمام فصول/ نیمه گرمسیری مرطوب	درصد آسایش‌حرارتی در تابستان و زمستان بسیار پایین بود همچنین استنباط شد که مردم نمی‌توانند آسایش را از طریق سازگاری حفظ کنند، زیرا دمای داخل از حد بالای آسایش در تابستان و از حد پایین آسایش در زمستان فراتر رفته است(۴۷)

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

ادامه جدول ۱: خلاصه یافته‌های آثار بررسی شده در زمینه آسایش‌حرارتی و تهویه در ساختمان‌های مدارس

عنوان/سال	نوع تهویه	تعداد نمونه	محدودیت	کشور	فصل و آب وهوا	یافته /نتیجه
بهینه سازی تهویه مکانیکی برای کیفیت هوای داخلی و آسایش‌حرارتی در یک ساختمان مدرسه مدیترانه‌ای/۲۰۲۴	تهویه طبیعی	۲۴ کلاس ۱مدرسه	محدودیت قابل توجه آزمایش، بسته بودن پنجره‌های خارجی به دلیل نگرانی های امنیتی بود که به طور بالقوه اثر پاکسازی شبانه را کاهش می داد	مالت	تابستان و زمستان/ مدیترانه ای دارای آب و هوای مدیترانه‌ای گرم تابستانی بر اساس طبقه‌بندی آب و هوای Köppen-Geiger با زمستان‌ها ی بارانی بسیار ملایم و تابستان‌ها ی خشک و گرم تا گرم است	تهویه طبیعی در زمستان می‌تواند آستانه IAQ را برای کلاس‌های درس در شرایط فضای باز مطلوب به دست آورد، اما منجر به اتلاف انرژی غیرقابل کنترل و بیش از حد می‌شود. پاکسازی شبانه می‌تواند حتی در شرایط گرم‌تر مانند مالت، در کاهش آلاینده‌های موجود در هوا و تسهیل ورود هوای تازه موثر باشد(۴۸).
بررسی سطوح آسایش‌حرارتی و کاربرد استاندارد-ASHRAE ۵۵مطالعه موردی کلاس‌های درس آزاد در ابوجا، نیجریه/۲۰۲۴	تهویه طبیعی	۴ مدرسه متوسطه ۱۴۴۸ دانش آموز از ۴۱ کلاس	. محدودیت قابل توجه آزمایش، بسته بودن پنجره‌های خارجی به دلیل نگرانی های امنیتی بود که به طور بالقوه اثر پاکسازی شبانه را کاهش می داد	ابوجا	پاییز/ گرم و خشک	هیچ یک از شرایط حرارتی کلاس‌های درس مورد مطالعه، محدوده راحتی استاندارد ۵۵ -ASHRAEرا برآورده نمی‌کند، با این حال، ۴۴ درصد از دانش‌آموزان احساس راحتی می‌کردند(۴۹).
دستاوردهای اخیر در تحقیق در مورد آسایش‌حرارتی و تهویه از جنبه فراهم کردن شرایط مناسب برای افراد در انواع مختلف ساختمان ها - بررسی نیمه سیستماتیک/۲۰۲۳	متفاوت	۱۸مقاله	این مطالعه ۴ نوع ساختمان را در نظر گرفته است که برای ساختمان‌های مربوط به مدارس محدودیتی ارائه نشده است.	مختلف	-	بررسی ۱۸ مطالعه اصیل و مروری در مورد آسایش‌حرارتی و تهویه در مدارس(۵۰).
سطوح غلظت دی اکسید کربن و راحتی‌حرارتی در کلاس‌های دبستان: آنچه دانش‌آموزان و معلمان انجام می‌دهند/۲۰۲۳	تهویه طبیعی	شش کلاس درس و دو فضای مشترک را در دو مدرسه	این یک مطالعه در مقیاس نسبتا کوچک بود. تنوع ساختمان‌های مدارس با سبک‌های مختلف معماری و ویژگی‌های طراحی در ولز و بریتانیا به طور گسترده‌تر وجود ندارد. تعداد نسبتا کمی از کودکان و معلمان در نظرسنجی‌ها وارد شدند. امکان ثبت با دقت بالا زمان فعالیت‌های مدرسه و	ولز جنوبی (ایتال) (یا	تمام فصول/ معتدل	غلظت CO_2 بسیار بالاتر از محدوده پذیرفته شده در طول زمستان و بهار به دلیل تهویه طبیعی کمتر ثبت شده است. از نظر آسایش‌حرارتی، ناراحتی در زمستان به دلیل سرد بودن کلاس‌ها گزارش شد(۵۱).

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

ادامه جدول ۱: خلاصه یافته‌های آثار بررسی شده در زمینه آسایش‌حرارتی و تهویه در ساختمان‌های مدارس

عنوان/سال	نوع تهویه	تعداد نمونه	محدودیت	کشور	فصل و آب وهوا	یافته /نتیجه
		تقریبا ۹۰ دانش آموز در هر مدرسه	تعداد دانش‌آموزان در هر فعالیت وجود نداشت. اگرچه یک برنامه روزانه کلی برای هر کلاس وجود دارد، اما در اتاق‌های مختلف مدارس فعالیت‌هایی وجود دارد و تعداد دانش‌آموزان در طول سال تحصیلی به دلیل غیبت‌های بیمار یا تقسیم شدن گروه‌ها برای فعالیت‌های مختلف متفاوت است. پارامترهای محیطی) غلظت CO_2 ، دما و رطوبت نسبی (تحت تأثیر حضور افراد قرار می‌گیرند.			
تأثیر سرعت هوا بر راحتی‌حرارتی و عملکرد دانش‌آموزان در کلاس‌های درس با تهویه طبیعی در اقلیم گرمسیری/۲۰۲۳	تهویه طبیعی	۱ مدرسه ۱ کلاس ۱۲ دانش اموز	ارائه نشده است	سگم نت. مالزی	تابستان/اس توایی	محیط‌های گرم‌تر و فقدان حرکت هوا از عوامل کاهش عملکرد دانش‌آموزان بودند. رابطه بین عملکرد یادگیری و سرعت هوا به طور قابل توجهی خطی بود، با افزایش عملکرد یادگیری با توجه به افزایش سرعت هوا، دانش‌آموز زمانی که بدنشان «کمی خنک» می‌شد عملکرد خوبی داشتند(۵۲)
تأثیر جهت‌گیری و طراحی نما بر آسایش‌حرارتی کلاس درس دبستان نسیما/۲۰۲۴	تهویه مطبوع	۸ کلاس درس یک مدرسه	ارائه نشده است	سمار نگ اندون زی	۲۰ می (تابستان)/ارائه نشده است	بسیاری از کلاس‌های درس در دو طبقه ۲ و ۳ مطابق با استاندارد Mom-Weisebron نیستند حرکت هوا در اتاق باید افزایش یابد. برای این کار می‌توان از یک پنکه استفاده کرد تا دمای موثر اتاق طبق استانداردهای Mom-Wiesebron در معیارهای راحتی بهینه قرار گیرد. اگر استفاده از فن نتواند دمای موثر را کاهش دهد تا طبق استانداردهای Mom-Weiseborn به عنوان راحتی بهینه طبقه بندی شود، باید از فن یا تهویه مطبوع استفاده شود.(۵۳)
شبیه‌سازی IAQ و راحتی‌حرارتی یک کلاس درس در استراتژی‌های مختلف تهویه/۲۰۲۳	تهویه طبیعی	یک کلاس	ارائه نشده است.	ارئه نشده است	داده‌های دما و سرعت باد در ماه فبوریه (سردترین ماه) جمع آوری شدند/ ارئه نشده است	نتایج مدل‌سازی نشان‌داد که کلاس درس با تهویه طبیعی سازمان نیافته و در حالت‌های مختلف عملکرد پنجره، آسایش‌حرارتی ناراحت‌کننده‌ای را ارائه می‌دهد.(۵۴)
مدل‌های آسایش‌حرارتی و درک کاربران در ساختمان‌های مدارس آزاد منطقه شرق مدیترانه/۲۰۲۰	تهویه طبیعی	۱۱۴ ساختمان آموزشی	تغییر در تعداد دانش‌آموزان حاضر در کلاس‌ها و عدم حضور بدون وقفه به دلیل اینکه دانش‌آموزان در طول روز به سایر کلاس‌های آزمایشگاهی یا تربیت بدنی رفت و آمد می‌کنند، ممکن است بر داده‌های .ثبت‌شده وضعیت داخلی تأثیر بگذارد	قبرس	تابستان و زمستان/ مدیترانه ای	در طول تابستان، تهویه متقاطع، چه در روز و چه در شب، کارآمدترین و عملیاتی ترین راه برای خنک کردن غیرفعال محل‌های آموزشی است. علاوه بر این، نتایج نظرسنجی ذهنی نشان‌می‌دهد که اکثر دانش‌آموزان در هر دو فصل زمستان و تابستان احساس راحتی می‌کنند و تحمل حرارتی بالایی دارند(۲۰).

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

ادامه جدول ۱: خلاصه یافته‌های آثار بررسی شده در زمینه آسایش‌حرارتی و تهویه در ساختمان‌های مدارس

عنوان/سال	نوع تهویه	تعداد نمونه	محدودیت	کشور	فصل و آب وهوا	یافته /نتیجه
تهویه طبیعی برای بهبود عملکرد حرارتی مدارس در امارات/۲۰۲۰	تهویه طبیعی	۵۰ کلاس درس، ۱۰ آزمایشگاه، ۴۵۰ دانش آموز		دبی، امارات	تابستان/ارا ئه نشده است	تهویه طبیعی به دلیل دمای بالای هوای بیرون و باد کم در تابستان برای حفظ آسایش‌حرارتی داخلی و برآوردن نیاز انرژی خنک کننده کافی نیست.(۵۵)
تجزیه و تحلیل طولانی مدت کیفیت هوای داخلی و آسایش‌حرارتی در یک مدرسه دولتی/۲۰۲۳	تهویه طبیعی	۲ کلاس درس	ارائه نشده است	بخار ست	زمستان، بهار و تابستان/ معتدل قاره ای	تهویه در کلاس‌های درس برای دستیابی به سطح رضایت بخشی از آسایش‌حرارتی و کیفیت هوای داخل الزامی است و حتی تهویه طبیعی از طریق باز شدن پنجره‌ها ابزاری ساده و موثر برای کاهش غلظت آلاینده‌ها در فضاهای داخلی است(۵۶).
بهبود شرایط آسایش‌حرارتی در ساختمان‌های آموزشی K-۱۲ در آب و هوای گرم و مرطوب: مطالعه موردی در کوکوتا، کلمبی/۲۰۲۱	تهویه طبیعی	۴۰کلاس درس	ارائه نشده است	کوکوتا کلمبیا	نوامبرپاییز ۱۳ / گرم و مرطوب	نتایج شبیه‌سازی بیانگر آن است که در ۷۹ درصد از مواقع شرایط حرارتی خارج از محدوده قابل قبول در طول سال است و مشخص کرد که دانش‌آموزان دماهای کمی خنک‌تر را ترجیح می‌دهند(۵۷)
تجزیه و تحلیل عددی دو سیستم تهویه مطبوع برای آسایش‌حرارتی در کلاس‌های درس مدارس در عمان: سیستم‌های اسپلیت Stratum در مقابل dx/۲۰۲۲	تهویه مطبوع	یک کلاس درس	ارائه نشده است.	عمان	ارائه نشده است/گرم و خشک بیابانی	ACکلاسیک با فن می‌تواند مقادیر PMV بهتری داشته باشد اما خطر زهکشی را افزایش می‌دهد. سیستم stratum می‌تواند آسایش‌حرارتی را با دمای هوای نسبتاً بالا فراهم کند(۵۸).
آسایش‌حرارتی تطبیقی و پتانسیل صرفه‌جویی در انرژی در ساختمان مدرسه با تهویه طبیعی در نپال/۲۰۲۱	تهویه طبیعی	۲۴۶ دانش آموز ۳ مدرسه/۷کل اس درس	ارائه نشده است.	نپال	تابستان/مع تدل	دمای آسایش در بعد از ظهر بیشتر از صبح یا ظهر بودکه این ممکن است به سازگاری حرارتی دانش‌آموزان در زمان‌های مختلف روز مرتبط باشد. دمای راحتی به حرکت هوا و دمای عملیاتی مربوط می‌شود(۵۹).
تجزیه و تحلیل راحتی‌حرارتی در هر دو کلاس درس با تهویه طبیعی و تهویه مطبوع در آب و هوای گرم و مرطوب ۲۰۲۰/	تهویه طبیعی و تهویه مطبوع	۱۲۳ دانش آموز از مدارس دارای تهویه طبیعی و ۲۲۹ دانش آموز از مدارس تهویه مطبوع ۲۰ کلاس درس	ارائه نشده است.	برزیل	زمستان/گ رم و مرطوب	بین PMV و آرای واقعی کودکان در اتاق‌های دارای تهویه مطبوع تفاوت وجود دارد. در نهایت نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که سیستم تهویه مطبوع مورد استفاده برای کاهش ناراحتی گرما باعث ناراحتی سرما می‌شود و ناراحتی گرما را به طور کامل حذف نمی‌کند.(۶۰)

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

ادامه جدول ۱: خلاصه یافته‌های آثار بررسی شده در زمینه آسایش‌حرارتی و تهویه در ساختمان‌های مدارس

عنوان/سال	نوع تهویه	تعداد نمونه	محدودیت	کشور	فصل و آب وهوا	یافته /نتیجه
ارزیابی محیط داخلی کلاس درس از طریق تحلیل معماری برای طراحی مدارس کارآمد /۲۰۲۰	تهویه طبیعی	۹ مدرسه، ۲۷ کلاس درس، ۵۸۳ دانش آموز مقطع ابتدایی	ارائه نشده است.	اسپانیا (گالی سیا)	ارائه نشده است.	تجزیه و تحلیل پیش آگهی نتایج عددی دانش‌آموزان همبستگی مستقیم آنها را با تهویه، اندازه اتاق، نماها و دلبستگی به مکان تأیید کرد. همچنین تأیید شد که انطباق مقیاس iPEP در مدرسه ابتدایی دقیق و قابل اعتماد است(۶۱).

یادگیری دلپذیر، گرم و انعطاف‌پذیر نیز در تأثیرگذاری بر رفاه دانش‌آموزان و هم در افزایش نمرات تحصیلی آن‌ها نقش برجسته‌ای دارند (۲۵). همچنین یک مطالعه مروری در کشور هند که بر روی آسایش‌حرارتی در مدارس انجام شده است نتایج نشان داده است که مطالعات مربوط به پارامترهای IEQ[1] در مدارس هند پراکنده، ناکافی، پیچیده و بدون ساختار منسجم هستند. همچنین در هند تا به امروز هیچ روش ثابتی برای ارزیابی شرایط محیطی داخلی کلاس‌های درس در ساختمان‌های مدرسه وجود ندارد (۲۸). در یک پژوهش، مروری جامع از ۵۰ سال گذشته تحقیقات کیفیت هوای کلاس درس را برای بررسی، بحث و درک تعامل بین کیفیت هوای کلاس و عملکرد، راحتی و سلامت دانش‌آموزان ارائه کرده است در این مقاله مروری کیفیت هوای مدارس را در ۴۰ کشور در سراسر جهان مورد بررسی قرار داده اند. نتایج نشان‌داد مدارس جدید باید به نوع خاصی از سیستم تهویه موثر برای دستیابی به کیفیت هوای خوب و محافظت در برابر مواجهه با ذرات معلق در هوا و VOCs نیاز داشته باشد تهویه کنترل شده با تقاضا، همراه با یک سیستم توزیع هوای کارآمد، می‌تواند مصرف انرژی مورد نیاز برای تهویه مکانیکی را کاهش دهد و در عین حال که سلامت و رفاه کودکان در مدارس را تضمین می‌کند بیشترین صرفه جویی را به همراه داشته باشد. نتیجه کلی این مطالعه در مورد آسایش‌حرارتی این است که دانش‌آموزان مدرسه تمایل دارند در آب و هوای سرپوشیده که عموماً خنک‌تر از محیط‌هایی مانند دفاتر که بزرگسالان از نظر حرارتی احساس خنثی می‌کنند، احساس راحتی می‌کنند. همچنین نتایج مطالعه مشخص کرد که کاهش کیفیت هوای کلاس منجر به کاهش عملکرد شناختی دانش‌آموزان می‌شود و در نتیجه پیامدهای منفی برای یادگیری پیشرونده و افزایش مرخصی استعلاجی کوتاه‌مدت ایجاد می‌کند. کودکان همچنین محیط خنک‌تر را برای یادگیری موثر ترجیح می‌دهند (۶). نتایج یک مطالعه مروری با عنوان دستاوردهای اخیر در مورد آسایش‌حرارتی و تهویه از نظر فراهم کردن شرایط مناسب برای افراد در انواع مختلف ساختمان ها - بررسی نیمه سیستماتیک ۵ نوع ساختمان شامل اتریوم‌ها، بیمارستان‌ها، مدارس، اتاق‌های خواب و دفاتر اداری نشان داد که کودکان در تعیین اولویت حرارتی و سطح آسایش‌حرارتی خود مشکل دارند اما می‌توانند احساسات حرارتی خود را ارزیابی کنند. همچنین رابطه مستقیمی بین تهویه، ابعاد کلاس، منظره پنجره و دلبستگی دانش‌آموز به مکان حضور در کلاس و عملکرد او وجود دارد (۵۰).

مرور بر مقالات شبیه‌سازی در زمینه آسایش‌حرارتی و تهویه در بازه زمانی ۲۰۲۰ تا دسامبر ۲۰۲۴

طبق بررسی به عمل آمده از ۳۸ مقاله اصیل و کنفرانسی، ۱۲ مطالعه با استفاده از روش‌های شبیه‌سازی و یک مطالعه با استفاده از روش یادگیری ماشینی در زمینه آسایش‌حرارتی و تهویه در مدارس مطالعاتی را انجام داده اند. جدول تکمیلی شماره ۴ نشان‌دهنده انواع روش‌های شبیه سازی به کار گرفته شده می‌باشد. همچنین، نتایج

1. Indoor Environmental Quality

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

نمودار ۱: خلاصه ای از مطالعات تجربی

مطالعات شبیه سازی به تفکیک نیز آورده شده است. از بین این ۱۳ مطالعه تنها ۳ مطالعه دقت یا خطا را بیان نموده بودند که در مطالعه Lala و همکاران میزان دقت پیشبینی یادگیری ماشینی ۷۱ درصد (۲۹)، یک مطالعه دیگر اختلاف بین مقدار واقعی و شبیه سازی را ۳/۲ درصد (۳۲) و در مطالعه shrestha و rijal میانگین درصد خطا ۲/۸درصد (۲۷) بود. همچنین طبق بررسی انجام شده در زمینه شبیه سازی نرم افزارهایDesignBuilder به همراه EnergyPlus بیشتر مورد استفاده قرار گرفته بودند. توضیحات بیشتر و نتایج مطالعات به همراه روش

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

استفاده در جدول تکمیلی شماره۴ قرار گرفته است.

سنجش آسایش‌حرارتی و تهویه: مروری بر مطالعات تجربی

اندازه گیری ذرات و مواد آلی فرار جهت سنجش کیفیت هوا

در چهار مقاله آلاینده های ذره ای و مواد آلی فرار مورد سنجش قرار گرفته اند که نتایج آن به شرح زیر است و توضیحات تکمیلی در خصوص آلاینده ها و نحوه ی اندازه گیری آنها در جدول تکمیلی شماره ۶ آورده شده است.

یک مطالعه در مدارس مقطع دبیرستان در سیدنی با استفاده از روش میدانی در طول سال تحصیلی ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ انجام شده است. نتایج عملکرد یک سیستم تهویه کنترل‌شده مبتنی بر تقاضا[1] (DCV) نشان داد که قبل از استفاده از DCV، سطح CO_2 در دو کلاس درس با حداکثر غلظت تقریبی ۲۴۱۸ ppm در طول فصل سرد مشابه هم بود. DCV اوج غلظت CO_2 را به ۱۳۳۵ ppm کاهش داد، در حالی که CO_2 در کلاس‌های بدون DCV در اواسط فصل به ۲۹۸۱ ppm افزایش یافت. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل ترکیبات آلی فرار (VOCs) موجود در نمونه‌های هوا، بهبود کیفیت هوا را در کلاس درس با DCV نشان‌می‌داد. نتایج بیانگر آن است که دمای داخل و غلظت CO_2 بر احساس خستگی دانش‌آموزان موثر است (۱). همچنین شصت کلاس درس از ده مدرسه ابتدایی و متوسطه لندن به منظور بررسی ذرات معلق(PM) ، دی‌اکسید کربن(CO_2) و آسایش حرارتی مورد مطالعه قرار گرفتند. سطح CO_2 بین۴۶۴ ppm تا ۲۱۱۵ متغیر و میانگین آن ۸۰۹ ± ۲۸۳ پی‌پی‌ام بود. میانگین سطح CO_2 برای کودکان کوچک‌تر (پیش دبستانی و سال اول) تقریبا ۱۹۰ درصد بیشتر از کودکان بزرگ‌تر (سال هشتم و نهم) بود. تهویه دوگانه به‌طور قابل توجهی سطوح آلاینده‌ها و CO_2 را کاهش داد. غلظت های پایین PM_{10} همزمان با غلظت پایین CO_2 در کلاس‌های درس در تمام مدارس بود. در مواردی که کاهش تعداد دانش‌آموزان در کلاس‌های درس امکان پذیر نیست، بهبود تهویه در کلاس‌های با تجمع بالای افراد می‌تواند شرایط بهتری را برای کودکان فراهم کند، زیرا سطح PM_{10} و CO_2 در زمان حضور تعداد افراد زیاد به ترتیب حدود ۲۳۰ و ۱۴۰ درصد بیشتر از دوره خالی بود (۳۶). در یک پژوهش دیگر در مدارس ابتدایی لندن غلظت ذرات معلق (PM)، CO_2 و آسایش‌حرارتی (رطوبت نسبی و دما) و تأثیر پارامترهای (تهویه، حجم کلاس درس، موقعیت طبقه، نوع کف و کاربری) بر غلظت CO_2 و PM همراه با دمای هوا و رطوبت نسبی مورد بررسی قرار گرفت. غلظت CO_2 در کلاس بین ppm ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ در طول زمان حضور متغیر بود. تهویه و نوع کف بیشترین تأثیر را بر $PM_{2.5}$/ PM_{10} داشتند. میانگین دمای هوا در ۱۲ کلاس از ۳۰ کلاس بین ۲۱ تا ۲۳ درجه سانتی‌گراد ثبت شد اما در بقیه ۱۸ کلاس درس بیش از ۲۳ درجه سانتی‌گراد بود. یافته‌ها نشان داد انواع تهویه بیشترین تأثیر را بر غلظت PM_{10} و CO_2 دارند و به ویژه تهویه دوگانه تأثیر آشکاری در کاهش CO_2 و PM_{10} دارد. نوع کف بر PM_{10} تأثیر دارد، اما بر سطوح CO_2 تأثیر ندارد. انواع تهویه و حجم کلاس درس از عوامل مهمی هستند که ACH[2] را در مدرسه تحت تأثیر قرار می‌دهند (۴۳). علاوه براین، یک مطالعه در ایالت متحده نشان‌داد در طول فصل غیر گرمایش، افزایش ۳ درصدی غیبت ناشی از بیماری با افزایش ۱,۰۰۰,۰۰۰ ذره در لیتر هوا با قطر کمتر از ۲/۵میکرومتر همراه است. در طول فصل گرمایش، افزایش ۳ درصدی غیبت ناشی از بیماری با افزایش ۱۰۰ پی پی ام غلظت متوسط CO_2 اتاق برآورد شد. این نتایج نشان‌می‌دهد که عوامل IAQ و شرایط حرارتی می‌توانند با غیبت ناشی از بیماری بین فصول گرمایشی و غیر گرمایشی ارتباط متفاوتی داشته باشند (۴۴).

بحث

اهمیت کیفیت محیط آموزشی و آسایش‌حرارتی در مدارس

مدرسه، محیطی است که در آن آموزش و پرورش به شیوه‌ای صحیح و مناسب صورت می‌گیرد و شرایط

1. Demand-Controlled Ventilation (DCV) System

2. Air Changes per Hour

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

فیزیکی و روانی مطلوبی برای رشد همه جانبه دانش‌آموزان فراهم می‌کند. همچنین به علت سن کم آنها، داشتن محیط سالم و بهداشتی اثر مهمی بر تامین سلامت آنها دارد (۶۲). مطالعات انجام شده نشان‌می‌دهد که وضعیت ایمنی و بهداشتی در حدود ۷۰ درصد از مدارس مطلوب ارزیابی نشده است. این یافته‌ها حاکی از آن است که بسیاری از دانش‌آموزان در محیط‌های آموزشی نامناسب مشغول به تحصیل هستند. علاوه بر این، تحقیقات انجام شده در ایالات متحده آمریکا نشان‌می‌دهد که محیط فیزیکی مدارس می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر سلامت روان دانش‌آموزان داشته باشد، به‌طوری که حدود ۴۳ درصد از مشکلات روحی و روانی کودکان به محیط مدرسه مرتبط است. همچنین، مطالعات دیگر حاکی از ارتباط مستقیم بین ویژگی‌های فیزیکی محیط مدرسه و رفتارهای دانش‌آموزان است (۶۳).

استانداردهای جهانی برای مدارس، محیطی سالم و آرام را مدنظر قرار می‌دهند که شامل هوای پاک، رنگ‌های آرامش‌بخش، عدم آلودگی صوتی، نور مناسب و سیستم تهویه مطبوع باشد (۶۴). اگرچه بیشتر مطالعات آسایش‌حرارتی به ساختمان‌های اداری و تجاری اختصاص یافته است، اما اهمیت تأمین آسایش‌حرارتی در مدارس به دلیل تراکم بالای جمعیت دانش‌آموزی و تأثیر مستقیم آن بر عملکرد تحصیلی، بسیار چشم‌گیرتر است. ساختمان‌های آموزشی با تراکم جمعیتی ۳ تا ۴ برابر بیشتر از ساختمان‌های مسکونی و تجاری، نیازمند توجه ویژه به شرایط حرارتی مناسب هستند (۴۹, ۶۵).

کیفیت هوای داخلی بر سلامت و عملکرد دانش‌آموزان

از آنجایی که تراکم جمعیت در مکان‌های آموزشی بیشتر از اماکن مسکونی و اداری است، اهمیت پارامترهای IEQ[1] در این مکان‌ها چندین برابر می‌شود. مطالعات نشان داده‌اند که علاوه بر مشکلات سلامتی و کاهش راحتی‌حرارتی، تمرکز و عملکرد دانش‌آموزان و معلمان نیز در ارتباط با پارامترهای ضعیفIEQ کاهش می‌یابد (۶۶). سلامت، عملکرد تحصیلی و رفاه عمومی دانش‌آموزان و کارکنان به‌طور منفی تحت تأثیر کیفیت پایین هوای داخلی (IAQ) در مدارس قرار دارد. مشکلات تنفسی، آلرژی و آسم با کیفیت پایین IAQ مرتبط است (67). مطالعات پژوهشی نشان‌می‌دهند که سطح بالایی از رضایت از نظر آسایش‌حرارتی و کیفیت هوای داخلی (IAQ)توسط کاربران در ساختمان‌های با تهویه طبیعی نسبت به کاربران در ساختمان‌های دارای تهویه مکانیکی مشاهده می‌شود (۵۵). همچنین نتایج یک مطالعه نشان‌داده است که بازکردن پنجره برای ۵ دقیقه منجر به بهبود کیفیت هوای داخل می‌شود. در واقع با افزایش سرعت جریان هوا، کیفت هوای داخل افزایش می‌یابد (۳۰) در همین راستا مطالعات دیگر جهت بهبود IAQ ، باز کردن درب و پنجره‌ها و استفاده از سیستم تهویه مکانیکی را توصیه کرده‌اند (۳۴, ۳۶). علاوه بر این، با نصب هواکش در پنجره‌ها، توزیع یکنواخت دانش‌آموزان در کلاس‌ها و افزایش فضای سبز داخل مدارس، می‌توان به بهبود سیستم تهویه طبیعی و کیفیت هوای کلاس‌ها کمک کرد (۳۹).

متاسفانه، مطالعات کمی غلظت ذرات (۶, ۳۶, ۴۴) و مواد آلی فرار (۱, ۴۴) را نیز در کلاس‌های درس مورد بررسی قرار داده‌اند. آلاینده‌های VOC یکی از آلاینده‌های هوای داخلی هستند که باعث ایجاد مشکلات جدی برای سلامتی کودکان و بزرگسالان می‌شوند. از سوی دیگر، بسیاری از مدارس آلودگی ذرات معلق را به عنوان منبع اصلی آلودگی هوای داخل شناسایی کرده‌اند. علاوه بر این، پنی سیلیوم، کلادوسپوریوم، آسپرژیلوس و آلترناریا شایع‌ترین قارچ‌هایی بودند که در محیط‌های سرپوشیده مدارس یافت شدند و شیوع آنها بسته به آب و هوا و مکان، خواه روستایی یا شهری متفاوت است (۶).

ارتباط بین دما و دی‌اکسیدکربن با عملکرد شناختی دانش‌آموزان

در این پژوهش، نتایج اندازه‌گیری غلظت دی‌اکسید کربن در پانزده مطالعه، شامل مطالعات تجربی و

1. Indoor environmental quality

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

شبیه‌سازی‌های عددی، گردآوری و در جدول۵ ارائه شده است (جدول تکمیلی شماره ۵). بررسی نتایج مطالعات نشان‌داد که دو عامل آسایش‌حرارتی و تهویه می‌تواند بر یادگیری دانش‌آموزان موثر باشد. دما عامل بسیار مهمی است که بر عملکرد کودکان تأثیر می‌گذارد، دمای بالا باعث از دست دادن تمرکز می‌شود. دانش‌آموزان ترجیح می‌دهند دمای کلاس سردتر از دمایی باشد که بزرگسالان آن را از نظر حرارتی خنثی می‌دانند. در آب و هوای گرمسیری، تهویه متقاطع[1] امکان بهبود آسایش‌حرارتی و حفظ سطح غلظت CO_2 زیر ۱۰۰۰ ppm را فراهم می‌کند، غلظت CO_2 زیر ppm ۹۰۰ از تأثیر منفی بر توانایی یادگیری جلوگیری می‌کند (۵۰). همچنین، در یک مطالعه رابطه بین عملکرد یادگیری و سرعت هوا به طور قابل توجهی خطی بود، به طوری که با افزایش سرعت هوا یادگیری افزایش پیدا می‌کند (۵۲). بسیاری از مطالعات غلظت آلاینده‌های بالاتر را در مدارس نسبت به ساختمان‌های مسکونی و تجاری گزارش کرده‌اند، با این حال، ارتباط دقیق بین سطوح CO_2 و سایر آلاینده‌ها با توانایی یادگیری و عملکرد دانش‌آموزان باید بیشتر مورد بررسی قرارگیرد (۶).

تأثیر عوامل مختلف بر تغییرات غلظت دی‌اکسیدکربن در محیط‌های آموزشی

مطالعه حاضر نشان‌داد که میزان دی‌اکسیدکربن در محیط‌های مطالعه شده به عوامل متعددی از جمله فصل ، تعداد افراد حاضر در فضا و زمان اندازه‌گیری وابسته است. کمترین میزان CO_2 در فصل پاییز مشاهده شده که نشان‌دهنده تأثیر فصل بر این پارامتر است که علت آن را می‌توان باز بودن درب ها و پنجره ها ودما مناسب‌تر هوا در این فصل دانست (۵۱). در همین راستا در یک مطالعه دیگر دیده شد که بالاترین عملکرد یادگیری برآورد شده در پاییز و کمترین در تابستان بود (۴۷). زیرا غلظت CO_2 می‌تواند بر روی خستگی دانش‌آموزان تاثیر بگزارد (۱). همچنین میزان فعالیت و تعداد افرادی که در کلاس حضور دارند می‌تواند در میزان غلظت CO_2 تفاوت ایجاد کنند به طوری که در یک پژوهش نویسندگان بیان کردند هنگامی که منبع اصلی آلودگی داخل محیط (افراد) حضور ندارند و پنجره‌ها باز باشند غلظت دی اکسید کربن در عرض۲ ساعت کاهش می‌یابد (۵۶). زیرا هنگامی که دانش‌آموزان برنامه کلاسی خود را شروع می‌کنند غلظت CO_2 تا ppm ۳۶۰۰ بالا می رود (۵۶). همچنین در پژوهش دیگر نتایج بیانگر آن است که سطح CO_2 در زمان استراحت ناهار و در پایان روز مدرسه کاهش می یابد (۵۱). تحقیقات نشان داده‌اند که در مقایسه با باز و بسته کردن دستی پنجره‌ها و درها، استفاده از سیستم‌های تهویه مکانیکی و پنجره‌های خودکار به طور مؤثرتری منجر به کاهش سطح دی‌اکسیدکربن می‌شود (۶۸, ۶۹).

عوامل مؤثر بر آسایش‌حرارتی دانش‌آموزان

نتایج مطالعات درباره آسایش‌حرارتی دانش‌آموزان بسیار متنوع بوده است (۳۲, ۴۸, ۵۴) . این تنوع می‌تواند به دلیل تفاوت در عوامل موثر بر آسایش‌حرارتی باشد. دمای کلاسی که دانش‌آموزان آن را راحت می‌دانند به عوامل زیادی بستگی دارد، از جمله، شرایط آب و هوایی و مواجهه قبلی آنها با تهویه مطبوع (۶). همچنین، عوامل مختلفی مانند فصل، حضور افراد، تهویه و گرمایش بر شرایط حرارتی داخلی تأثیر دارند (۱۳). به عنوان مثال، مطالعات نشان داده‌اند که در مناطق معتدل، امکان ایجاد شرایط آسایش‌حرارتی بدون نیاز به تهویه مکانیکی وجود دارد و همچنین دستیابی به این شرایط در فصول بهار و زمستان آسان‌تر است (۱۳, ۳۳).

نتایج یک مطالعه بیانگر آن است که دمای آسایش دانش‌آموزان در مدارس خصوصی کمتر از مدارس دولتی بود و دانش‌آموزان دختر دمای آسایش بالاتری نسبت به دانش‌آموزان پسر داشتند. دانش‌آموزانی که دمای آسایش آنها فراتر از حد مجاز دمایی تجویز شده توسط ASHRAE[2] بود، تمایل به سازگاری با محیط حرارتی داخلی خود را نشان دادند (۳۷). در یک مطالعه دیگر

1. cross-ventilation

2. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

نتایج حاکی از آن است که دانش‌آموزان دختر نسبت به دماهای سردتر حساس‌تر بودند (۱۳). مطالعات نشان داده‌اند که دانش‌آموزان می‌توانند به تغییرات دمای محیط کلاس سازگار شوند. به عنوان مثال، یک مطالعه نشان داده است که دانش‌آموزان می‌توانند ظرف یک هفته، خود را با یک تغییر قابل توجه در دمای بیرون تطابق دهند (۱). مطالعه‌ای نشان‌داده است که دانش‌آموزان در طول روز احساس آسایش‌حرارتی بیشتری پیدا می‌کنند. به عبارت دیگر، آنها در ساعات بعد از ظهر نسبت به صبح و ظهر احساس راحتی بیشتری دارند. این پدیده نشان‌دهنده سازگاری بدن دانش‌آموزان با محیط است (۶۰) در همین حال، نتایج یک مطالعه حاکی از آن است که سازگاری رفتاری با رابطه بین عایق لباس، سرعت هوا و دمای عملیات تعیین شده است. همچنین استنباط کرده‌اند که مردم نمی‌توانند آسایش‌حرارتی را از طریق سازگاری حفظ کنند (۴۸). نتایج یک پژوهش دیگر نشان‌داد که اکثر دانش‌آموزان در فصل پاییز در شرایط یک محیط حرارتی طبیعی سرپوشیده در مدارس سازگار شده و احساس راحتی می‌کنند (۳۷).

نقش شبیه‌سازی در بهینه‌سازی سیستم‌های تهویه مکانیکی مدارس و کاهش مصرف انرژی

با پیشرفت روزافزون علوم مهندسی و معماری، ضرورت استفاده از روش‌های نوین برای تأمین آسایش‌حرارتی در فضاهای آموزشی بیش از پیش احساس می‌شود. در حالی که تهویه طبیعی به عنوان یک روش سنتی برای تأمین هوای تازه در ساختمان‌ها شناخته شده است، با توجه به افزایش جمعیت دانش‌آموزی، آلودگی هوا و نیاز به کنترل دقیق شرایط محیطی، استفاده از سیستم‌های تهویه مکانیکی در مدارس نیز امری ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا، استفاده از ابزارهای شبیه‌سازی رایانه‌ای می‌تواند نقش بسیار مهمی در طراحی و ارزیابی سیستم‌های تهویه مکانیکی در مدارس ایفا کند. این ابزارها امکان بررسی دقیق عملکرد سیستم‌های مختلف تهویه، پیش‌بینی شرایط محیطی در فضاهای مختلف مدرسه و ارزیابی تأثیر عوامل مختلف بر آسایش‌حرارتی دانش‌آموزان را فراهم می‌آورند. با استفاده از شبیه‌سازی می‌توان بهینه‌ترین طراحی را برای سیستم تهویه هر مدرسه انتخاب کرد و در نتیجه، هزینه‌های انرژی را کاهش داده و آسایش دانش‌آموزان را افزایش داد. با این حال، لازم به ذکر است که نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها همیشه با شرایط واقعی مطابقت کامل ندارند. بنابراین، برای اطمینان از عملکرد صحیح سیستم‌های تهویه، انجام اندازه‌گیری‌های میدانی و پایش مستمر شرایط محیطی در مدارس ضروری است.

مطالعات متعدد (جدول تکمیلی شماره ۴) نشان داده‌اند که شبیه‌سازی، با وجود خطای اندک، روشی بسیار کارآمد و مقرون‌به‌صرفه برای مدل‌سازی و تحلیل محیط‌ها است. نتایج مطالعه حاضر نشان داد نرم‌افزار DesignBuilder به همراه EnergyPlus به عنوان پرکاربردترین ابزار در این حوزه، امکان ایجاد و ارزیابی انواع مدل‌ها را با تغییر پارامترهای مختلف فراهم کرده است و بدین ترتیب، بهینه‌ترین حالت را برای اجرای طرح‌ها مشخص می‌نماید. این یک نرم‌افزار قدرتمند شبیه‌سازی ساختمان است که یک رابط گرافیکی سه بعدی (3D) [1] برای EnergyPlus فراهم می‌کند که برای مدل‌سازی مصرف انرژی کل ساختمان، شرایط آب و هوایی و بارهای حرارتی استفاده می شود (۲۷). علاوه براین، با توجه به خطای کم آنها می‌توان بیان نمود که قابلیت تعمیم پذیری بالایی دارند (۲۷, ۲۹, ۳۲).

محدودیت‌های مطالعات قبلی در زمینه کیفیت هوای مدارس

هر چند همه مطالعات محدودیت تحقیقاتشان را بیان نکرده بودند اما مطالعاتی که محدودیت را بیان کردند در جدول شماره ۱ به طور خلاصه آورده شد که می‌تواند بینش‌هایی برای جهت‌گیری‌های تحقیقاتی آینده نشان دهد. بسیاری از مطالعات تنها به یک دوره

1. Three-Dimensional (3D)

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

زمانی کوتاه یا یک فصل خاص از سال محدود شده‌اند. این امر باعث می‌شود که نتایج حاصل از این مطالعات قابل تعمیم به سایر فصول یا شرایط محیطی نباشد. کمتر مطالعاتی بودند که هر چهار فصل را در نظر گرفته باشند (۵۱) یا بیشتر از یک فصل را مورد بررسی قرار داده باشند (۲۰, ۴۴, ۴۷) که آن‌ها نیز مقطعی بودند. در بسیاری از پژوهش‌ها، پارامترهای مهمی مانند غلظت دی‌اکسیدکربن اندازه‌گیری نشده است، در حالی که این گاز شاخص مهمی برای ارزیابی کیفیت هوا و میزان تهویه محسوب می‌شود (۶). سن شرکت‌کنندگان به عنوان یک عامل مهم در ارزیابی آسایش‌حرارتی و تأثیر کیفیت هوا بر سلامت، در بسیاری از مطالعات در نظر گرفته نشده است، در حالی که سن می‌تواند به طور قابل توجهی بر پاسخ‌های نظرسنجی تأثیر بگذارد و اغلب پژوهش‌ها تنها به مقطع تحصیلی بسنده کرده‌اند. یک مطالعه مروری در این زمینه بیان کرده است که مطالعات کمی میزان مصرف انرژی را بر اساس دسته انرژی، از جمله انرژی حرارتی و انرژی الکتریکی ارائه داده‌اند، بینش محدودی وجود دارد که نمایه‌های دقیق مصرف انرژی برای گرمایش، تهویه و سایر سیستم‌های خدمات ساختمانی در ساختمان‌های مدرسه را نشان‌می‌دهد (۶). بسیاری از مقالات علاوه بر اندازه‌گیری میدانی از شبیه‌سازی استفاده کرده‌اند اما در مورد تعمیم پذیری و میزان دقت و خطا اشاره‌ای نکرده‌اند ، بهتر است در مطالعات آینده میزان دقت ،خطا و تعمیم پذیری بیان شود.

این اطلاعات می‌تواند به عنوان یک منبع ارزشمند برای متخصصان بهداشت حرفه‌ای و معماران مورد استفاده قرار گیرد تا محیط‌های آموزشی مانند مدارس و دانشگاه‌ها را به مکانی سالم‌تر برای دانش‌آموزان و دانشجویان تبدیل کنند.

محدودیت‌ها و مزایا

از جمله مهم‌ترین محدودیت‌های مطالعه حاضر عدم دسترسی به نسخه کامل بعضی از مقالات بود. از دیگر محدودیت‌های مطالعه فعلی این است که صرفا پایگاه‌های مهم در نظر گرفته شده‌اند و مطالعات با زبان فارسی نیز در این پایگاه‌ها وجود نداشتند. علاوه بر این مهد کودک‌ها و دانشگاه‌ها در نظر گرفته نشده‌اند. همچنین مهم‌ترین مزیت مقاله حاضر بررسی موضوع (بررسی آسایش‌حرارتی و تهویه در مدارس: یک مطالعه مروری نظام‌مند) در سال های ۲۰۲۰ تا دسامبر ۲۰۲۴ در سه پایگاه مهم scopus، web of since و pubmed بود که آخرین دستاوردها را در اختیار محققین قرار می‌دهد. در مطالعه حاضر محدودیت سایر مطالعات، فصول اندازه گیری تجربی و همچنین انواع مطالعات اعم از مروری، اصیل و کنفرانسی در نظر گرفته است و پیشنهاداتی جهت بهبود شرایط آسایش‌حرارتی و تهویه در مدارس توصیه نموده است. به طور کلی، یافته‌های این مطالعه می‌تواند به طراحی، بهره‌برداری و نگهداری کلاس‌های درس با تهویه طبیعی در آب و هواهای مختلف کمک کند و منجربه بهبود آسایش‌حرارتی و عملکرد یادگیری در بین دانش‌آموزان شود. همچنین مطالعه حاضر تنها به مطالعات اصیل نپرداخته است بلکه مقالات کنفرانسی (۱۳مورد) و مطالعات موردی (۴مورد) را نیز مورد مطالعه قرار داده است.

نتیجه گیری

در تحلیل مطالعات اخیر به منظور شناسایی محدودیت‌ها و چالش‌ها در ارزیابی آسایش‌حرارتی در مدارس، نتایج نشان‌داد که اکثر مطالعات به یک فصل خاص محدود شده‌اند و این امر می‌تواند به عدم تعمیم‌پذیری نتایج منجر شود. همچنین، بسیاری از مطالعات به پارامترهای مهمی مانند غلظت دی‌اکسید کربن نپرداخته‌اند، در حالی که این پارامتر به عنوان یک شاخص کلیدی برای ارزیابی کیفیت هوای داخلی و آسایش‌حرارتی شناخته می‌شود. این محدودیت‌ها نیاز به تحقیقات جامع‌تر و چندفصلی را نشان‌می‌دهد. به علاوه، تنوع در روش‌های تحقیق و عدم تطابق بین نتایج نیز از چالش‌های اصلی در این حوزه است. همچنین نتایج نشان‌می‌دهد که آسایش‌حرارتی و کیفیت هوای داخلی

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

تحت تأثیر سیستم‌های تهویه هستند. به‌ویژه در مدارس با تهویه طبیعی، غلظت CO_2 بالاتر از استانداردهای توصیه‌شده و آسایش‌حرارتی پایین‌تر مشاهده شده است. این تعاملات نشان‌می‌دهد که بهبود طراحی سیستم‌های تهویه و استفاده از روش‌های تهویه مکانیکی می‌تواند به بهبود شرایط آموزشی کمک کند. یکی دیگر از یافته‌های مهم این پژوهش، تأثیر آسایش‌حرارتی بر عملکرد تحصیلی دانش‌آموزان است. نتایج نشان می‌دهند که اکثر مطالعات، بین دمای محیط و یادگیری دانش‌آموزان ارتباط مشاهده کرده‌اند و کاهش دما را با بهبود عملکرد تحصیلی مرتبط دانسته‌اند. به عبارت دیگر، دانش‌آموزان عموماً محیط‌های خنک‌تر را برای یادگیری ترجیح می‌دهند. در بررسی روش‌های شبیه‌سازی مطالعه آسایش‌حرارتی و تهویه در مدارس نتایج نشان داد از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مانند DesignBuilder و EnergyPlus در مطالعات مختلف استفاده شده است که این ابزارها می‌توانند به بهینه‌سازی سیستم‌های تهویه و ارزیابی شرایط محیطی کمک کنند. شبیه‌سازی‌ها به کاهش مصرف انرژی و بهبود آسایش‌حرارتی منجر می‌شوند و می‌توانند به عنوان ابزاری مؤثر در طراحی مدارس مورد استفاده قرار گیرند. با این حال، محدودیت‌هایی در داده‌های موجود و روش‌های تحقیقاتی وجود دارد که نیاز به توجه بیشتری دارد. پیشنهاد می‌شود که مدارس به سمت استفاده از سیستم‌های تهویه مکانیکی و بهبود طراحی‌های معماری که به تهویه طبیعی کمک می‌کند، حرکت کنند. همچنین، پایش مداوم شرایط محیطی و آموزش به معلمان و دانش‌آموزان در مورد اهمیت کیفیت هوای داخلی می‌تواند به بهبود شرایط آموزشی کمک کند. در نهایت، با توجه به محدودیت‌های موجود در مطالعات قبلی، پیشنهاد می‌شود که به‌طور مستمر کیفیت هوای داخلی و آسایش‌حرارتی در مدارس پایش شود و برنامه‌های بهبود محیط‌های آموزشی به‌طور جدی مورد توجه قرارگیرد.

پیشنهاد برای مطالعات آتی

• به منظور دستیابی به نتایج جامع‌تر، ضروری است مطالعات طولی با حجم نمونه بزرگتر در طول تمامی فصول سال و در بازه‌های زمانی مختلف شبانه‌روز به صورت مستمر انجام پذیرد.

• تلفیق روش‌های شبیه‌سازی عددی با اندازه‌گیری‌های میدانی در شرایط مختلف بهره‌برداری از سیستم‌های تهویه، جانمایی، نوع و دبی جریان هوا و سایر پارامترهای مرتبط، امکان طراحی بهینه‌ترین سیستم تهویه با کمترین هزینه و مصرف انرژی و بالاترین بازدهی را فراهم می‌آورد.

• پژوهش‌های آتی باید بر تدوین راهکارها و مداخلاتی برای ارتقای کیفیت محیط‌های آموزشی متمرکز شوند که شامل استفاده از سیستم‌های تهویه با دبی مناسب، استانداردسازی پارامترهای دمایی، رطوبت و غلظت دی‌اکسید کربن در کلاس‌های درس می‌باشد.

• پایش دوره‌ای (سالانه یا فصلی) غلظت دی‌اکسید کربن، ارزیابی آسایش‌حرارتی دانش‌آموزان، نوسازی زیرساخت‌های قدیمی و به‌کارگیری ترکیبی سیستم‌های تهویه مختلف در فضاهای آموزشی، از جمله اقدامات پیشنهادی برای بهبود شرایط محیطی کلاس‌های درس می‌باشد.

• تعیین دقیق موقعیت مکانی مدارس از نظر مجاورت با صنایع یا خیابان‌های پرتردد، در تحلیل نتایج مطالعات حائز اهمیت است.

• علاوه بر دی‌اکسید کربن، اندازه‌گیری غلظت سایر آلاینده‌های هوا در مطالعات آتی توصیه می‌شود.

• پیشنهاد می‌شود یک تحلیل هزینه-فایده جامع بر روی سیستم‌های مختلف تهویه مکانیکی انجام شود تا بهینه ترین گزینه از نظر هزینه‌های اولیه، هزینه‌های عملیاتی و تأثیرات زیست‌محیطی انتخاب گردد.

• توصیه می‌شود در مطالعات آتی، تأثیر سن ساختمان بر آسایش‌حرارتی و کیفیت هوای داخلی به عنوان یک عامل کلیدی مورد بررسی قرار گیرد.

• یکی از راه‌های کم هزینه جهت بهبود کیفیت هوا کاشت درخت می‌باشد که توصیه می‌گردد در مدارس درختان بیشتری کاشته شود.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

• پیشنهاد می‌گردد مطالعات مروری بیشتری بر روی مقاطع تحصیلی متفاوت مانند مهد کودک‌ها و دانشگاه‌ها انجام گردد.

• جهت طراحی ساختمان‌ها از استراتژی‌های ساده‌ای مانند استفاده از مصالح با ظرفیت حرارتی بالا، طراحی مناسب بازشوها و استفاده از سیستم‌های تهویه طبیعی استفاده نمود. همچنین افزایش سایز پنجره‌ها به تهویه طبیعی کمک می‌کند

• از پرده‌های ضخیم جهت جلوگیری از ورود مستقیم نور خورشید به کلاس‌ها در فصل تابستان می‌توان استفاده کرد.

• به منظور بهبود کیفیت هوای کلاس‌ها، پیشنهاد می‌شود شب‌ها که کلاس های درس خالی هستند، سیستم‌های تهویه یا پنجره‌ها برای باز شوند تا هوای تازه به محیط وارد شود.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله حاضر، هیچ گونه تضاد منافعی ندارند.

شایان ذکر است در طراحی برخی از تصاویر در فایل پیوست، از ابزار arcmap بهره گرفته شده است.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل طرح مصوب شورای پژوهشی کمیته تحقیقات و فناوری دانشجویی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی به شماره ثبت ۵۴۲۲۲/ص/۱۴۰۳ می باشد. از کمیته تحقیقات و فناوری دانشجویی، و معاونت تحقیقات و فن آوری دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی برای حمایت مالی از این مطالعه قدردانی می شود. (کد اخلاق IR.SBMU.RETECH.REC.1403.742).

REFERENCES

1. Haddad S, Synnefa A, Marcos MÁP, Paolini R, Delrue S, Prasad D, et al. On the potential of demand-controlled ventilation system to enhance indoor air quality and thermal condition in Australian school classrooms. Energy Build. 2021;238:110838.
2. Mohamed S, Rodrigues L, Omer S, Calautit J. Overheating and indoor air quality in primary schools in the UK. Energy Build. 2021;250:111291.
3. Riahi Nejad H, Razaghi H, Navid M, Ahmad A. The set of approvals of the Supreme Council of Education. Tehran: Saads Publication; 2018. p. 447. [Persian]
4. Jia LR, Han J, Chen X, Li QY, Lee CC, Fung YH. Interaction between thermal comfort, indoor air quality and ventilation energy consumption of educational buildings: A comprehensive review. Buildings. 2021;11(12):591.
5. Tran VV, Park D, Lee YC. Indoor air pollution, related human diseases, and recent trends in the control and improvement of indoor air quality. Int J Environ Res Public Health. 2020;17(8):2927.
6. Sadrizadeh S, Yao R, Yuan F, Awbi H, Bahnfleth W, Bi Y, et al. Indoor air quality and health in schools: A critical review for developing the roadmap for the future school environment. J Build Eng. 2022;57:104908.
7. Mendell MJ, Heath GA. Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. Indoor Air. 2005;15(1):27-52.
8. Liu P, Alonso MJ, Mathisen HM, Halfvardsson A, Simonson CJ. Understanding the role of moisture recovery in indoor humidity: an analytical study for a Norwegian single-family house during heating season. Build Environ. 2023;229:109940.
9. Wargocki P, Wyon DP. The effects of moderately raised classroom temperatures and classroom ventilation rate on the performance of schoolwork by children (RP-1257). HVACR Res. 2007;13(2):193-220.
10. Kükrer E, Eskin N. Effect of design and operational strategies on thermal comfort and productivity in a multipurpose school building. J Build Eng. 2021;44:102697.
11. Bain-Reguis N, Smith A, Martin CH, Currie J. Indoor CO2 and thermal conditions in Twenty Scottish Primary School Classrooms with different Ventilation Systems during the COVID-19 pandemic. Pollutants.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

2022;2(2):180-204.
12. Korsavi SS, Montazami A, Mumovic D. Perceived indoor air quality in naturally ventilated primary schools in the UK: Impact of environmental variables and thermal sensation. Indoor Air. 2021;31(2):480-501.
13. Miao S, Gangolells M, Tejedor B. A comprehensive assessment of indoor air quality and thermal comfort in educational buildings in the Mediterranean climate. Indoor Air. 2023;2023:6649829.
14. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Ventilation for acceptable indoor air quality. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2001.
15. European Committee for Standardization. EN 16798-1:2019. Energy performance of buildings - Ventilation for buildings - Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. 2019.
16. Ding E, Zhang D, Bluyssen PM. Ventilation regimes of school classrooms against airborne transmission of infectious respiratory droplets: a review. Build Environ. 2022;207:108484.
17. Turanjanin V, Vučićević B, Jovanović M, Mirkov N, Lazović I. Indoor CO2 measurements in Serbian schools and ventilation rate calculation. Energy. 2014;77:290-6.
18. Korsavi SS, Montazami A, Mumovic D. Indoor air quality (IAQ) in naturally-ventilated primary schools in the UK: Occupant-related factors. Build Environ. 2020;180:106992.
19. Shendell DG, Prill R, Fisk WJ, Apte MG, Blake D, Faulkner D. Associations between classroom CO2 concentrations and student attendance in Washington and Idaho. Indoor Air. 2004;14(5):333-41.
20. Heracleous C, Michael A. Thermal comfort models and perception of users in free-running school buildings of East-Mediterranean region. Energy Build. 2020;215:109912.
21. Ma N, Aviv D, Guo H, Braham WW. Measuring the right factors: A review of variables and models for thermal comfort and indoor air quality. Renew Sustain Energy Rev. 2021;135:110436.
22. Vassella CC, Koch J, Henzi A, Jordan A, Waeber R, Iannaccone R, et al. From spontaneous to strategic natural window ventilation: Improving indoor air quality in Swiss schools. Int J Hyg Environ Health. 2021;234:113746.
23. Mirzakhani Araghi N, Pashazadeh Azari Z, Alizadeh Zarei M, Akbarzadeh Baghban A, Saei S, Yousefi Nodeh HR, et al. The Relationship Between Sensory Processing Patterns and Participation in Childhood Leisure and Play Activities: A Systematic Review and Meta-analysis. Iran Rehabil J. 2023;21(1):17-38.
24. Varela Kellesarian S, Ros Malignaggi V, Feng C, Javed F. Association between obstructive sleep apnea and erectile dysfunction: A systematic review and meta-analysis. Int J Impot Res. 2018;30(3):129-40.
25. Manca S, Cerina V, Tobia V, Sacchi S, Fornara F. The effect of school design on users' responses: a systematic review (2008-2017). Sustainability. 2020;12(8):3453.
26. Dudzińska A, Kisilewicz T. Alternative ways of cooling a passive school building in order to maintain thermal comfort in summer. Energies. 2020;14(1):70.
27. Shrestha M, Rijal HB. Investigation on summer thermal comfort and passive thermal improvements in naturally ventilated Nepalese school buildings. Energies. 2023;16(3):1251.
28. Kapoor NR, Kumar A, Alam T, Kumar A, Kulkarni KS, Blecich P. A review on indoor environment quality of Indian school classrooms. Sustainability. 2021;13(21):11855.
29. Lala B, Kala SM, Rastogi A, Dahiya K, Yamaguchi H, Hagishima A, editors. Building matters: Spatial variability in machine learning based thermal comfort prediction in winters. 2022 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP); 2022.
30. Lan K, Chen Y. Air Quality and Thermal Environment of Primary School Classrooms with Sustainable Structures in Northern Shaanxi, China: A Numerical Study. Sustainability. 2022;14(19):12039.
31. Talarosha B, Satwiko P, Aulia DN, editors. Air temperature and CO2 concentration in naturally ventilated classrooms in hot and humid tropical climate. IOP Conf Ser Earth Environ Sci. 2020;409(1):012023.
32. Chang LY, Chang TB. Air Conditioning Operation Strategies for Comfort and Indoor Air Quality in Taiwan's Elementary Schools. Energies. 2023;16(5):2493.
33. Grassie D, Karakas F, Schwartz Y, Dong J, Milner J, Chalabi Z, et al., editors. Modelling UK school performance by coupling building simulation and multi-criteria decision analysis. 17th International Conference

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

of the International Society of Indoor Air Quality & Climate; 2022.

34. Dugaria S, Pernigotto G, Gasparella A. Indoor Conditions in Educational Buildings: the Case of Bolzano Schools. Proceedings of IAQ 2020: Indoor Environmental Quality Performance Approaches. 2020;1:232-9.
35. Aparicio-Ruiz P, Barbadilla-Martin E, Guadix J, Munuzuri J. A field study on adaptive thermal comfort in Spanish primary classrooms during summer season. Build Environ. 2021;203:108089.
36. Kumar P, Hama S, Abbass RA, Abhijith K, Tiwari A, Grassie D, et al. Environmental quality in sixty primary and secondary school classrooms in London. J Build Eng. 2024;91:109549.
37. Shrestha M, Rijal H, Kayo G, Shukuya M. A field investigation on adaptive thermal comfort in school buildings in the temperate climatic region of Nepal. Build Environ. 2021;190:107523.
38. Mba EJ, Sam-amobi CG, Okeke FO. An Assessment of Orientation on Effective Natural Ventilation for Thermal Comfort in Primary School Classrooms in Enugu City, Nigeria. Eur J Sustain Dev. 2022;11(2):114-29.
39. Ahmed HS, Azeez NM. Indoor Carbon Dioxide Air Quality and Thermal Comfort in Primary School Classrooms of Maisan Province, Iraq. EnvironmentAsia. 2023;16(3):95-106.
40. Mazlan AN, Saad S, Yahya K, Haron Z, Hasbollah DZA, Kasiman EH, et al., editors. Thermal comfort study for classroom in urban and rural schools in Selangor. IOP Conf Ser Mater Sci Eng. 2020;849(1):012049.
41. Mba EJ, Okeke FO, Okoye U. Effects of wall openings on effective natural ventilation for thermal comfort in classrooms of primary schools in Enugu Metropolis, Nigeria. JP J Heat Mass Transf. 2021;22(2):269-304.
42. Tagliabue LC, Accardo D, Kontoleon KJ, Ciribini ALC, editors. Indoor comfort conditions assessment in educational buildings with respect to adaptive comfort standards in European climate zones. IOP Conf Ser Earth Environ Sci. 2020;410(1):012066.
43. Hama S, Kumar P, Tiwari A, Wang Y, Linden PF. The underpinning factors affecting the classroom air quality, thermal comfort and ventilation in 30 classrooms of primary schools in London. Environ Res. 2023;236:116863.
44. Deng S, Zou B, Lau J. The adverse associations of classrooms' indoor air quality and thermal comfort conditions on students' illness related absenteeism between heating and non-heating seasons-A pilot study. Int J Environ Res Public Health. 2021;18(4):1500.
45. Faraj L, Zaky Bin Ja'afar MF, Shari Z. Evaluating Ventilation for Thermal Comfort in Two Classrooms Types in Malaysian Secondary Classrooms. Int J Sustain Dev Plan. 2023;18(7):2207-15.
46. Suradhuhita P, Setyowati E, Prianto E, editors. Influence of a facade design on thermal and visual comfort in an elementary school classroom. IOP Conf Ser Earth Environ Sci. 2022;1007(1):012004.
47. Wu Z, Wagner A. Thermal comfort of students in naturally ventilated secondary schools in countryside of hot summer cold winter zone, China. Energy Build. 2024;305:113891.
48. Rizzo K, Camilleri M, Gatt D, Yousif C. Optimising Mechanical Ventilation for Indoor Air Quality and Thermal Comfort in a Mediterranean School Building. Sustainability. 2024;16(2):766.
49. Mustapha TD, Hassan AS, Khozaei F, Onubi HO. Examining thermal comfort levels and ASHRAE Standard-55 applicability: A case study of free-running classrooms in Abuja, Nigeria. Indoor Built Environ. 2024;33(1):8-22.
50. Ratajczak K, Amanowicz Ł, Pałaszyńska K, Pawlak F, Sinacka J. Recent Achievements in Research on Thermal Comfort and Ventilation in the Aspect of Providing People with Appropriate Conditions in Different Types of Buildings-Semi-Systematic Review. Energies. 2023;16(17):6254.
51. Zapata-Lancaster MG, Ionas M, Toyinbo O, Smith TA. Carbon Dioxide Concentration Levels and Thermal Comfort in Primary School Classrooms: What Pupils and Teachers Do. Sustainability. 2023;15(6):4803.
52. Nor Azli MNA, Hariri A, Chong ZY, Khasri MA, Muhamad Damanhuri AA, Syazwan Mustafa MS, et al., editors. Influence of Air Velocity on Thermal Comfort and Performance of Students in Naturally Ventilated Classrooms in Tropical Climate. E3S Web Conf. 2023;396:01074.
53. Suradhuhita P, Setyowati E. The effect of orientation and façade design on thermal comfort in Nasima elementary school classroom. AIP Conf Proc. 2024;2710(1):020005.
54. Zemitis J, Borodinecs A, Sidenko N, Zajacs A, editors.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

Simulation of IAQ and thermal comfort of a classroom at various ventilation strategies. E3S Web Conf. 2023;396:01073.

55. Aldawoud A, Salameh T, editors. Natural ventilation to improve the thermal performance of schools in UAE. 2020 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET); 2020.
56. Catalina T, Damian A, Vartires A, Niță M, Racovițeanu V, editors. Long-term analysis of indoor air quality and thermal comfort in a public school. IOP Conf Ser Earth Environ Sci. 2023;1185(1):012005.
57. Guerrero D, Ge H, Lee B, editors. Improving thermal comfort conditions in K-12 educational buildings in hot and humid climate: a case study in Cucuta, Colombia. J Phys Conf Ser. 2021;2069(1):012093.
58. Khan HM, Al-Saadi S, Al-Hashim A, Al-Khatri H, editors. Numerical Analysis of Two Air Conditioning Systems for Thermal Comfort in School Classrooms in Oman: Stratum Versus DX Split Systems. International Conference on Building Energy and Environment; 2022.
59. Shrestha M, Rijal H, editors. Adaptive Thermal Comfort and Energy Saving Potential in Naturally Ventilated School Building in Nepal. IOP Conf Ser Earth Environ Sci. 2021;812(1):012066.
60. Souza J, Nogueira B, Lima A, Leder S, editors. Thermal Comfort Analysis in Both Naturally Ventilated and Air-Conditioned Classrooms in a Warm and Humid Climate. IOP Conf Ser Earth Environ Sci. 2020;588(3):032053.
61. López-Chao V, Amado Lorenzo A, Saorín JL, De La Torre-Cantero J, Melián-Díaz D. Classroom indoor environment assessment through architectural analysis for the design of efficient schools. Sustainability. 2020;12(5):2020.
62. Asadi-ghalhari M, Mahdinia M, Mohebi S, Hokmabadi R, Gharedaghi E. Assessing of some physical factors affecting the health and performance of elementary School students in Qom Province. Occup Med Q J. 2015;7(2):1-10.
63. Feizollah M, Fatemeh N, Mehdi M, Heshmatollah N. Environmental health and safety in elementary schools: A case study in Ilam city, Iran. J Basic Res Med Sci. 2014;1(4):50-8.
64. Geravandi S, Dastoorpour M, Goudarzi G, Karimi F, Mohammadi MJ. A Survey Study on Safety and Environmental Health Condition of Andika City Schools. Jundishapur Sci Med J. 2021;20(4):312-23.
65. Chithra V, Nagendra SS. Indoor air quality investigations in a naturally ventilated school building located close to an urban roadway in Chennai, India. Build Environ. 2012;54:159-67.
66. Golbabaei F, SheikhMozafari MJ, Biganeh J, Shekaftik SO. Teachers' Health Status About Air Quality (Temperature, Relative Humidity, and Ventilation) in Educational Centers: A Systematic Review. J Health Saf Work. 2023;13(3):266-95.
67. Catalina T, Damian A, Vartires A, Dima A, Vasile V, editors. Decentralized Ventilation System in Classrooms-Analysis on the Indoor Air Quality and Energy Consumption. 2023 11th International Conference on ENERGY and ENVIRONMENT (CIEM); 2023.
68. Heebøll A, Wargocki P, Toftum J. Window and door opening behavior, carbon dioxide concentration, temperature, and energy use during the heating season in classrooms with different ventilation retrofits-ASHRAE RP1624. Sci Technol Built Environ. 2018;24(6):626-37.
69. Cai C, Sun Z, Weschler L, Li T, Xu W, Zhang Y. Indoor air quality in schools in Beijing: Field tests, problems and recommendations. Build Environ. 2021;205:108179.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

پیوست

جدول ۱ : نتایج ارزیابی کیفیت مقالات مروری با چک لیست JBI

ردیف	نویسنده	سوال ۱	سوال ۲	سوال ۳	سوال ۴	سوال ۵	سوال ۶	سوال ۷	سوال ۸	امتیاز
۱	Manca, Sara et al.(۱)	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۱۰۰
۲	Kapoor, Nishant Raj et al.(2)	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۱۰۰
۳	Sadrizadeh, Sasan et al.(3)	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۱۰۰
۴	Ratajczak, K. et al.(4)	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۱۰۰

جدول۲ : نتایج ارزیابی کیفیت مقالات مقطعی با چک لیست CASP

رفرنس مقالات	سوال۱	سوال۲	سوال۳	سوال۴	سوال۵	سوال۶	سوال۷	سوال۸	سوال۹	سوال۱۰	سوال۱۱	سوال۱۲	امتیاز
(۵)	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۱۰۰
(۶)	بله	بله	بله	بله	واضح نیست	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۹۱/۶۷
(۷)	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۱۰۰
(۸)	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۱۰۰
(۹)	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۱۰۰
(۱۰)	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۱۰۰
(۱۱)	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۱۰۰
(۱۲)	بله	بله	بله	بله	واضح نیست	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۹۱/۶۷
(۱۳)	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۱۰۰
(۱۴)	بله	بله	بله	بله	واضح نیست	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۹۱/۶۷
(۱۵)	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۱۰۰
(۱۶)	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۱۰۰
(۱۷)	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۱۰۰
(۱۸)	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۱۰۰
(۱۹)	بله	بله	بله	بله	واضح نیست	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۹۱/۶۷
(۲۰)	بله	بله	بله	بله	واضح نیست	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۹۱/۶۷
(۲۱)	بله	بله	بله	بله	واضح نیست	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۹۱/۶۷
(۲۲)	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۱۰۰
(۲۳)	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۱۰۰
(۲۴)	بله	بله	بله	بله	واضح نیست	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۹۱/۶۷
(۲۵)	بله	بله	بله	بله	واضح نیست	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۹۱/۶۷
(۲۶)	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۱۰۰
(۲۷)	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۱۰۰
(۲۸)	بله	بله	بله	بله	واضح نیست	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۹۱/۶۷
(۲۹)	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۱۰۰
(۳۰)	بله	بله	بله	بله	واضح نیست	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۹۱/۶۷
(۳۱)	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۱۰۰
(۳۲)	بله	بله	بله	بله	خیر	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۹۱/۶۷
(۳۳)	بله	بله	بله	بله	خیر	خیر	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۸۳/۳۳
(۳۴)	بله	بله	بله	بله	واضح نیست	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۹۱/۶۷
(۳۵)	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۱۰۰
(۳۶)	بله	بله	بله	بله	واضح نیست	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۹۱/۶۷
(۳۷)	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۱۰۰
(۳۸)	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۱۰۰
(۳۹)	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۱۰۰
(۴۰)	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۱۰۰
(۴۱)	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۱۰۰
(۴۲)	بله	بله	بله	بله	واضح نیست	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	٪۹۱/۶۷

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

جدول۳: خلاصه ای ازمقالات مروری

نوع مطالعه	سال های مورد بررسی	پایگاه ها	کشور	تعداد مطالعات	یافته اصلی
مروری نظام مند	۲۰۱۸-۲۰۰۸	EBSCOhost	-	۶۸	از عوامل تاثیر گذار بر یادگیری دانش‌آموزان راحتی‌حرارتی است(۱).
سیستماتیک و متا آنالیز	۲۰۲۱-۲۰۰۶	Web of since- scopus و موتور جست‌وجو google schoolar	هند	۳۷	در هند تا به امروز هیچ روش ثابتی برای ارزیابی شرایط محیطی داخلی کلاس‌های درس در ساختمان‌های مدرسه وجود ندارد(۲).
بررسی انتقادی	۲۰۲۲-۱۹۷۰	Web of Science, Scopus, Science Direct, and SAGE journals	-	۳۰۴	کاهش کیفیت هوای کلاس باعث کاهش عملکرد شناختی دانش‌آموزان می‌شود(۳).
نیمه سیستماتیک	۲۰۲۰-۲۰۲۳	scopus	-	۱۸	بین عملکرد دانش‌آموزان و تهویه ارتباط مستقیم دیده شد. کودکان می‌توانند احساسات حرارتی خود را ارزیابی کنند(۴).

جدول۴: خلاصه‌ای از روش‌های شبیه‌سازی مورد استفاده در مقالات منتشر شده

ردیف	عنوان مقاله	روش استفاده	یافته حاصل از شبیه سازی/تعمیم پذیری نتایج
۱	مسائل ساختمانی: تنوع فضایی در پیش‌بینی آسایش‌حرارتی مبتنی بر یادگیری ماشین در زمستان(۶).	Machine Learning	مدلسازی پیش بینی آسایش حرارتی انجام و تجزیه و تحلیل مقایسه ای تنوع فضایی در عملکرد مدل برای کودکان و بزرگسالان و تاثیر محیط ساختمان بر روی آسایش حرارتی بررسی شد. قابلیت تعمیم مدل به محیط های مختلف مطلوب است.
۲	کیفیت هوا و محیط حرارتی کلاس‌های مدرسه ابتدایی با ساختارهای پایدار در شمال شانشی، چین: یک مطالعه عددی(۷).	شبیه‌سازی عددی-نرم‌افزار Finite Element	توزیع فضایی غلظت جرم CO_2 در کلاس به خوبی با نتایج پایش مطابقت داشت. نتایج نشان‌داد هرچه سرعت جریان هوای ورودی در کلاس بیشتر باشد، کیفیت هوای داخل در صورت تهویه طبیعی سریعتر بهبود می‌یابد. وجود لوله تهویه زیرزمینی باعث تضعیف کیفیت هوا در هنگام باز شدن پنجره در اتاق شده و هرچه نسبت عرض به ارتفاع بیشتر باشد، کیفیت هوای داخل کلاس با باز شدن پنجره سریع تر بهبود می‌یابد. مدل عددی برای بررسی تأثیر راهروها، لوله های تهویه، پنجره ها، و فضای کلاس بر روی کیفیت کلاس و دما موثر است.
۳	استراتژی‌های عملیات تهویه مطبوع برای راحتی و کیفیت هوای داخل در مدارس ابتدایی تایوان(۸).	شبیه‌سازی عددی- برنامه نویسی با نرم‌افزار پایتون	استراتژی بهینه، بهره‌برداری از تهویه مطبوع در طول روز مدرسه با کمک یک سیستم تهویه مکانیکی است که تبادل هوای تازه را در سطح ۵ لیتر در ثانیه برای هر نفر در اتاق تضمین کند.
۴	ارزیابی شرایط آسایش داخل ساختمان در ساختمان‌های آموزشی با توجه به استانداردهای آسایش سازگار در مناطق آب و هوایی اروپا(۹).	شبیه‌سازی با نرم‌افزار EnergyPlus طراحی سه بعدی با Comsol Multiphysics	شبیه سازی حرارتی دینامیکی در سه سطح (پوشش، کلاس درس، ساختمان مدرسه) به منظور ارزیابی موجودی ساختمان مدرسه و بررسی احتمالات بهبود انجام شده است. آسایش‌حرارتی در ساختمان‌های آموزشی در تابستان در برخی مناطق با اقلیم معتدل بدون استفاده از سیستم‌های مکانیکی قابل دستیابی است. در آب و هوای معتدل، مؤثرترین راهبرد شامل کنترل اینرسی حرارتی با در نظر گرفتن عملکردهای زمستانی و تابستانی است.
۵	مدل‌سازی عملکرد مدارس انگلستان با شبیه‌سازی ساختمان و تحلیل تصمیم چند معیاره(۱۰).	شبیه‌سازی با نرم‌افزار EnergyPlus	سن ساختمان بر نرخ عملکرد یادگیری تاثیرگذار بوده و ممکن است این تاثیر در مناطق گرم‌تر قوی‌تر باشد. همچنین، نتایج شبیه‌سازی ساختمان نیاز به تنظیم اثربخشی تهویه طبیعی را به منظور جلوگیری از تهویه مکانیکی با انرژی بالاتر با محلول‌های تصفیه هوا نشان‌داد.
۶	بهینه سازی تهویه مکانیکی برای کیفیت هوای داخلی و آسایش‌حرارتی در یک ساختمان مدرسه مدیترانه ای (۱۱).	شبیه‌سازی با DesignBuilder (استفاده از CFDو energy plus)	با استفاده از راهرو به عنوان فضای خورشیدی، گرمای انباشته شده در آنجا می‌تواند به کلاس‌های درس منتقل شود و به طور بالقوه در هزینه های گرمایش در فصل زمستان صرفه جویی شود. پاکسازی شبانه می‌تواند حتی در شرایط گرم‌تر ، در کاهش آلاینده‌های موجود در هوا و تسهیل ورود هوای تازه موثر باشد. رویکرد گرمایش فضای خورشیدی می‌تواند یک استراتژی موثر برای انتقال هوای گرم از راهروها به کلاس‌ها در طول فصل زمستان باشد.
۷	بهبود شرایط آسایش‌حرارتی در ساختمان‌های آموزشی K-12 در آب و هوای گرم و مرطوب: مطالعه موردی در کوکوتا، کلمبیا(۱۲).	شبیه‌سازی با DesignBuilder	در ۷۹ درصد از مواقع شرایط حرارتی خارج از محدوده قابل قبول در طول سال است و مشخص کرد که دانش‌آموزان دماهای کمی خنک‌تر را ترجیح می‌دهند. کلاس درس نوع استاندارد با محدوده‌های آسایش حرارتی ASHRAE 55-2017 مطابقت داشت. میزان اشغال و تهویه طبیعی تأثیر قابل توجهی بر دمای داخلی و رطوبت نسبی و در نتیجه آسایش حرارتی دارد. استراتژی‌های طراحی غیرفعال در بهینه‌سازی طراحی ساختمان مدرسه برای برآوردن الزامات ASHARE-55 پیشنهاد شده‌اند.
۸	تجزیه و تحلیل عددی دو سیستم تهویه مطبوع برای آسایش‌حرارتی در کلاس‌های درس مدارس در عمان: سیستم‌های اسپلیت Stratum در مقابل DX (۱۳).	شبیه‌سازی عددی با STAR COM یکی از نرم‌افزار های CFD	سیستم تهویه لایه‌ای در مقایسه با سیستم‌های تهویه مطبوع معمولی در دمای هوای نسبتاً بالاتر، آسایش حرارتی بهتری را به دست آورد. نتایج نشان داد که سیستم لایه ممکن است به مصرف انرژی کمتری نسبت به سیستم خنک کننده سنتی نیاز داشته باشد. جریان متناوب کلاسیک با فن می تواند مقادیر PMV بهتری داشته باشد اما خطر زهکشی را افزایش می دهد. سیستم لایه می تواند آسایش حرارتی را با دمای هوای نسبتاً بالا فراهم کند. پژوهشگران توصیه کردند که بهتر است در تحقیقات آینده تأثیر نرخ جریان بر عملکرد موارد لایه‌ای با دمای عرضه هوا و همچنین رابطه بین حالت تهویه و آسایش‌حرارتی محلی در کلاس درس و روش‌های بهبود آن بررسی شود.
۹	شبیه‌سازی IAQ و راحتی‌حرارتی یک کلاس درس در استراتژی‌های مختلف تهویه(۱۴).	CFD برنامه FlowEFDو SolidWorks CAD	کلاس درس با تهویه طبیعی سازمان نیافته و در حالت‌های مختلف عملکرد پنجره، آسایش‌حرارتی ناراحت‌کننده‌ای را ارائه می‌دهد. همه شاخص‌های آسایش‌حرارتی و اثربخشی تهویه به‌دست‌آمده نشان‌دادند که تهویه طبیعی در دمای هوای بیرون و سرعت باد فرضی به طور قابل‌توجهی شرایط آسایش داخل کلاس را کاهش می‌دهد. نویسندگان توصیه کردند در صورت امکان تهویه مکانیکی نصب شود. در کارهای آینده، سناریوهای بیشتری با دمای هوای بیرون و سرعت باد متفاوت باید شبیه سازی شود تا ببینیم آیا ترکیبات پارامترهای هوای بیرون وجود دارد که تهویه طبیعی در آنها مجاز است یا خیر.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

ادامه **جدول۴:** خلاصه‌ای از روش‌های شبیه‌سازی مورد استفاده در مقالات منتشر شده

ردیف	عنوان مقاله	روش استفاده	یافته حاصل از شبیه سازی/تعمیم پذیری نتایج
۱۰	تهویه طبیعی جهت بهبود عملکرد حرارتی مدارس در امارات(۱۵).	نرم‌افزار ANSYS Fluent و Design Builder به همراه الگوریتم EnergyPlus	تهویه طبیعی به دلیل دمای بالای هوای بیرون و شرایط باد کم در تابستان نمی‌تواند به عنوان یک سیستم انفرادی برای برآوردن نیاز انرژی خنک‌کننده استفاده شود. از سوی دیگر، می توان از آن به عنوان یک سیستم ثانویه استفاده کرد که پتانسیل قابل توجهی را برای بهبود سطوح آسایش داخلی در ساختمان ها ارائه می دهد. انتخاب مناسب اندازه، مکان و جهت پنجره ها می تواند به طور قابل توجهی بر عملکرد انرژی ساختمان و میزان صرفه جویی در انرژی تأثیر بگذارد. سیستم های تهویه یک طرفه با سرعت باد متوسط تا زیاد موثر هستند.
۱۱	روش‌های جایگزین خنک سازی ساختمان مدرسه غیرفعال به منظور حفظ آسایش‌حرارتی در تابستان(۱۶).	شبیه‌سازی با نرم‌افزار Design Builder	تهویه مکانیکی فشرده شبانه همراه با اینرسی حرارتی بالای سازه ساختمان، بدون مبدل حرارتی زمین یا پمپ حرارتی، امکان کاهش قابل توجه ناراحتی‌حرارتی در فضای داخلی را فراهم می‌کند. شرایط در کلاس مدرسه معیارهای راحتی تطبیقی موجود در استاندارد PN-EN 16798-1: 2019-06 را برآورده کرد. تجزیه و تحلیل های انجام شده در این مقاله امکان کنار گذاشتن سیستم خنک کننده مکانیکی ساختمان با استفاده از سیستم ترکیبی(تهویه مکانیکی و طبیعی)را تأیید می‌کند.
۱۲	ارزیابی تهویه برای راحتی‌حرارتی در دو نوع کلاس درس در کلاس‌های متوسطه مالزی(۱۷).	شبیه‌سازی با نرم‌افزار Design Builder	سیستم راهرو تک بار به دلیل کاهش دما و افزایش جریان هوا، در مقایسه با مدل دو بار، آسایش‌حرارتی بیشتری را در طول سال برای دانش‌آموزان و معلمان فراهم می‌کند. طراحی راهروی تک بار در مجموع دمای پایین‌تری نسبت به طرح راهروی دو بار در هنگام استفاده در یک محیط داشت. همچنین از شبیه‌سازی باد مشخص شد که طراحی خطی، حرکت باد بین بلوک‌ها را بیشتر از حیاط افزایش می‌دهد. مطالعات آینده می تواند سایر فضاهای مدرسه را پوشش دهد.
۱۳	بررسی آسایش‌حرارتی تابستانی و بهبودهای حرارتی غیرفعال در ساختمان‌های مدارس نپال با تهویه طبیعی(۵).	شبیه‌سازی با نرم‌افزار Design Builder	دمای عملیاتی به دلیل تأثیر طراحی یکپارچه، که در محدوده راحت مورد نیاز در طول ساعات مدرسه است، به زیر ۲۷ درجه سانتیگراد با حداکثر کاهش ۳.۳ درجه سانتیگراد کاهش یافت. این مطالعه به طراحی بهتر ساختمان‌های مدارس نپال با در نظر گرفتن استراتژی‌های طراحی غیرفعال در طول طراحی معماری کمک می‌کند تا کلاس‌ها از نظر حرارتی راحت‌تر شوند.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

جدول۵: خلاصه‌ای از غلظت co_2 اندازه‌گیری شده در مقالات منتشر شده

ردیف	نوع مطالعه	غلظت co_2 بر حسب ppm	استاندارد
۱	مطالعات شبیه سازی و تجربی	**غلظت در شبیه‌سازی:** ۴۰۰ ppm: **غلظت در اندازه‌گیری:** ساعت ۸ صبح: ۲۹۹-۳۴۶ ppm ساعت ۱۰ صبح:۴۳۵-۶۳۲ ppm ساعت ۱۱:۳۰ ظهر ۵۷۷ -۴۹۸ ppm ساعت۱۵ ظهر ۶۷۶ -۴۳۶ ppm ساعت۱۷ عصر ۶۷۵ -۴۱۵ ppm (۷)	-
۲		**غلظت در شبیه‌سازی:** ۷۸۷ ppm **غلظت در اندازه‌گیری:** ۴۵۹ - ۶۱۶(8) ppm	استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست تایوان Taiwan EPA: ۱۰۰۰ ppm
۳		**غلظت در شبیه‌سازی:**415ppm **غلظت در اندازه‌گیری:** ندارد(۱۰).	**استاندارد** BB101: baseline + 800 ppm
۴		**غلظت در شبیه‌سازی:** ۸۰۰ppm **غلظت در اندازه‌گیری:** در کلاس درس (۰۸:۰۰) ۴۸۵ ppm در راهروهای کلاس مجاور بین ۵۷۰ ppm تا ۵۹۰ (۱۱)	استاندارد EN 16798-1: ۱۰۰۰ppm
۵	مطالعات تجربی	غلظت ماکسیموم co_2 در کلاس‌های درس قبل از نصب سیستم تهویه ۲۴۱۸ppm DCV در فصل سرد سال بود با نصب تهویه این مقدار به ۱۳۳۵ PPM رسید همچنین غلظت CO_2 قبل از نصب تهویه در اواسط فصل سرد به ۲۹۸۱ ppm می رسید(۳۹).	۱۰۰۰ppm، اسم سازمان ذکر نشده است.
۶		ساعت ۱۱ ظهر(۳۰۰۰ ppm) بیش از۶ برابر غلظت در ساعت شروع کلاس(۵۱۵ ppm) است. حداکثر غلظت CO_2 طی ۵ روز ۲۰۰۰ ppm تا ۳۰۰۰ است(۱۹).	استاندارد SR EN 16798-۱/NA: ۱۰۰۰ppm
۷		سطوح CO_2 بین ۵۰۰ ppm تا ۱۵۰۰ در اکثر ساعات اشغال کلاس‌های درس تحت نظارت باقی ماند(۲۸).	دستورالعمل دولت ولز (Welsh Government CO_2 Guidance): - co2 : green light بین ۴۰۰ تا ۸۰۰ ppm - co2 : amber light بین ۸۰۰ تا ۱۵۰۰ ppm - co2 : red light بیش از ۱۵۰۰ ppm
۸		غلظت متوسط دی اکسید کربن بالاتر از۹۵۰۰ ppm و حتی در مواردی بیش از۱۷۵۰ ppm (۳۱).	استاندارد EN 16798-۱:۲۰۱۹: Category I: حداکثر ۹۵۰ ppm Category II: تا ۱۲۰۰ ppm CategoryIII: تا ۱۷۵۰ ppm Category IV: بالاتر از ۱۷۵۰ ppm
۹		غلظت CO_2 در کلاس از ۴۶۴ ppm تا ۲۱۱۵ متغیر بود، با میانگین ۸۰۹ ± ۲۸۳ ppm که کمتر از آستانه توصیه شده(۱۰۰۰ ppm) بود(۴۰).	۱۰۰۰ppm ، سازمان ذکر نشده است

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

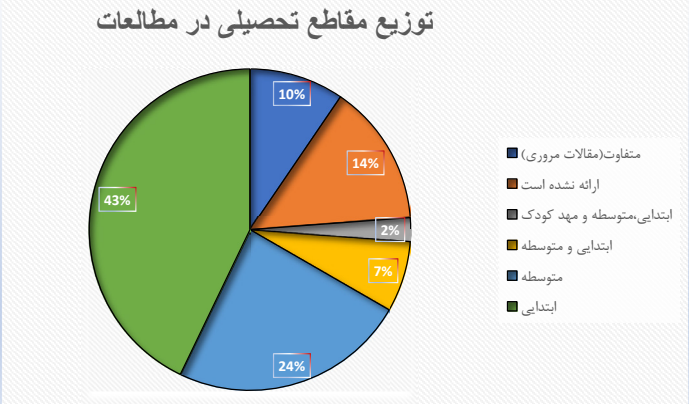
ادامه جدول۵: خلاصه‌ای از غلظت co_2 اندازه‌گیری شده در مقالات منتشر شده

ردیف	نوع مطالعه	غلظت co_2 بر حسب ppm	استاندارد
۱۰		میانگین غلظت CO_2 در محیط داخلی در تابستان ۵۹۳ پی پی ام بود که سطح ایمن مورد نیاز (۷۰۰ ppm) توسط IDAEA را برآورده می‌کرد. در بهار، مقدار ۷۷۴ ppm بود و به حداقل سطح مورد نیاز IAQ قابل قبول IDA2 (۹۲۰ppm) مشخص شده توسط استاندارد RITE مقررات ملی دست یافت. در مقابل، میانگین غلظت CO_2 در محیط داخلی در زمستان به۱۱۹۴ ppmرسید که نشان دهنده پتانسیل IAQ ضعیف در کلاس‌های درس است(۳۵).	استاندارد EN 16798-1 برای کلاس درس: Category I: حداکثر ۵۵۰ ppm بیشتر از غلظت co2 در هوای بیرون.
۱۱		غلظت CO_2 در حدود ۵۱۶ ppm تا ۳۴۷۷ ppm بود(۳۶).	استاندارد ASHRAE 62.1 برای کلاس درس: ۱۱۰۰ PPM.
۱۲		غلظت CO_2 در کلاس بین ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ ppm در طول اشغال متغیر بود. و میانگین(۳۶۵±۹۹۵) بود (۴۱).	۱۰۰۰ ppm، سازمان ذکر نشده است.
۱۳		میانگین CO_2، ۱۰۳۵ ppm بود(۴۲).	-
۱۴		میانگین CO_2 در فصل غیر گرمایشی ۱۱۸۰ ppm و در فصل گرمایشی ۱۳۱۰ ppm(۳۸).	استاندارد ASHRAE 62 و دسته‌بندی Category II از استاندارد EN ۱۳۷۷۹:۲۰۰۷: ۱۰۰۰ ppm
۱۵		میانگین غلظت co_2داخل کلاس برابر ۶۰۲-۶۳۷ ppm و میانگین غلظت co_2 در فضای بازppm ۴۹۸-۵۲۰ بود(۲۰).	استاندارد برای سلامتppm ۱۰۰۰ و استاندارد برای محیط باز ppm

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

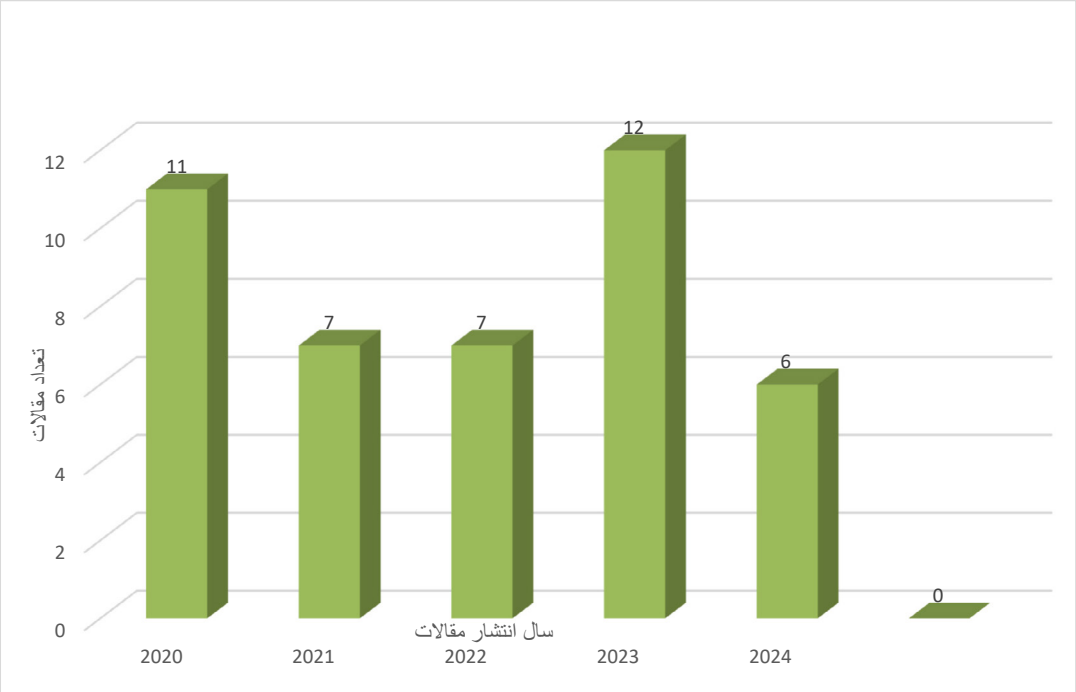
جدول۶ : خلاصه‌ای از غلظت آلاینده‌های ذره‌ای و مواد آلی فرار در مطالعات

ردیف	آلاینده	روش اندازه گیری	غلظت	یافته
۱	PM_{10} $PM_{2.5}$ Formaldehyde	مانیتور کیفیت هوا قابل حمل Aeroqual	میانگین غلظت‌های $PM_{۲/۵}$ و PM_{10} در روز اول به ترتیب ۲ ± ۷ و ۶ ± ۱۶ میکرومتر بر متر مکعب و در روز دوم به ترتیب ۱ ± ۶ و ۷ ± ۲۶ میکرومتر بر متر مکعب بود. میانگین غلظت فرمالدئید بین ۰/۱ تا ۰/۱۴ پی پی ام بود.	دستگاه تهویه هوا علاوه بر این، تجزیه ترکیبات آلی فرار (VOCs)از نمونه‌های هوا نشان دهنده بهبود کیفیت هوا در کلاس درسی با DCV بود.
۲	PM_{10} $PM_{2.5}$ PM_1	مانیتورهای آئروسل نوری (OPC-N3 ، Alphasense)	میانگین غلظت‌های PM_1، $PM_{۲/۵}$ و PM_{10} به‌ترتیب ۲ ± ۵، ۲ ± ۱۰ و ۲۰ ± ۲۹میکروگرم بر متر مکعب بود.	سطوح CO_2 و PM_{10} با افزایش سطوح اشغال در همه کلاس‌های درس بررسی شده افزایش یافت. در مقایسه با تهویه طبیعی، تهویه دوگانه سطوح PM_{10} و $PM_{۲/۵}$ را به طور قابل توجهی کاهش داد (به ترتیب ۳۰٪ و ۲۸٪) و برای PM_1 کمتر (۲۰٪). غلظت های پایین PM_{10} همزمان با غلظت پایین CO_2 در کلاس‌های درس در تمام مدارس بود. در مواردی که کاهش تعداد دانش‌آموزان در کلاس‌های درس امکان پذیر نیست، بهبود تهویه در کلاس‌های با اشغال بالا می‌تواند شرایط بهتری را برای کودکان فراهم کند، زیرا سطح PM_{10} و CO_2 در زمان های اشغال بالا به ترتیب حدود ۲۳۰ و ۱۴۰ درصد بیشتر از دوره خالی بود (۴۰)
۳	PM_{10} $PM_{2.5}$ PM_1	شمارنده ذرات نوری Alphasense OPC-N3	میانگین PM_{10} (۱۵ ± ۲۳ میکروگرم بر گرم)، $PM_{۲/۵}$ (۴ ± ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب) و PM_1 (۳ ± ۶ میکروگرم بر مترمکعب) در زمان اشغال بود.	نمودار تراکم نیز تأیید کرد که اشغال با غلظت CO_2 و PM_{10} در ساعات کاری مدرسه رابطه مثبت دارد. استفاده از تهویه دوگانه (مکانیکی و طبیعی) میانگین مواجهه با PM_{10}، $PM_{۲/۵}$ و PM_1 در کلاس را به ترتیب تا ۵۰٪، ۴۰٪ و ۳۳٪ در مقایسه با تهویه طبیعی (پنجره) کاهش داد. PM_{10}در کلاس‌های درس با کف چوبی و وینیل در مقایسه با فرش بالاتر بود(۴۱).
۴	PM (count/L)$_{۲/۵}$ و $PM_{2/5}$(µg /m3فرمالدهید ppb)	شمارنده ذرات نوری مانیتور فرمالدئید با استفاده از فناوری فوتومتری	در فصل گرما: PN $_{2/5}$: ۲۹۱۴۷ $PM_{2/5}$: ۳/۹۵ HCHO: ۵/۰۸ در فصل غیر گرما: PN $_{2/5}$: ۳۱۶۵۱ $PM_{2/5}$: ۴/۳۶ HCHO: ۷/۸	ذرات ریز معلق ($PM_{2/5}$) در فصل‌های سرد سال، ارتباط مستقیمی با غیبت دانش‌آموزان به دلیل بیماری داشتند. اما وقتی به جای تعداد، وزن کلی این ذرات ($PM_{2/5}$) بررسی شد، ارتباط بین این وزن و غیبت دانش‌آموزان کمی ضعیف‌تر بود(۴۲).

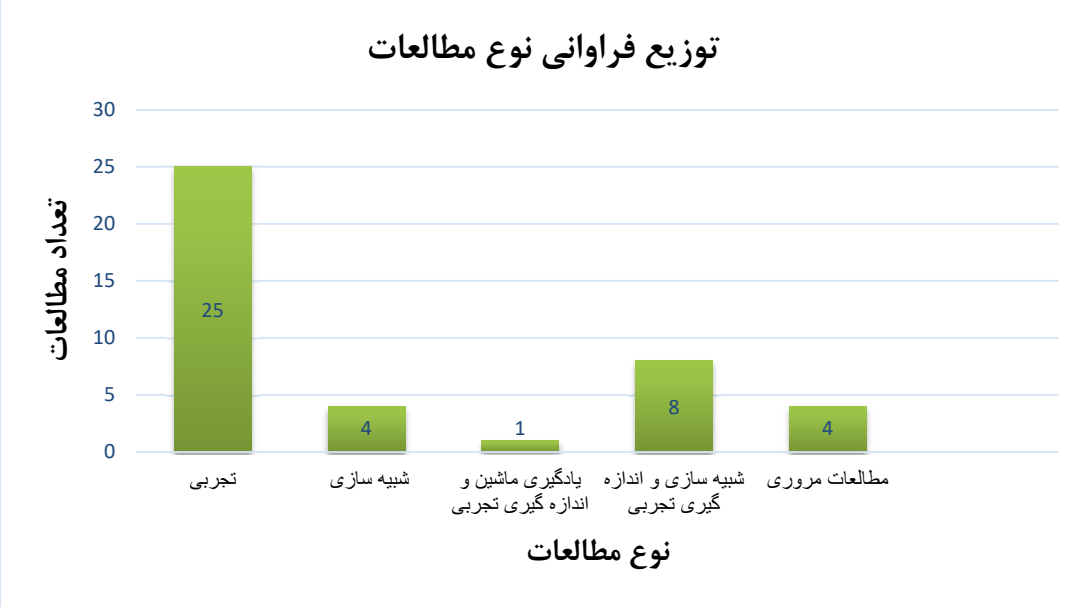


نمودار۱: توزیع فراوانی مقاطع تحصیلی دانش‌آموزان در ۵ سال اخیر (۲۰۲۰-۲۰۲۴)

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]

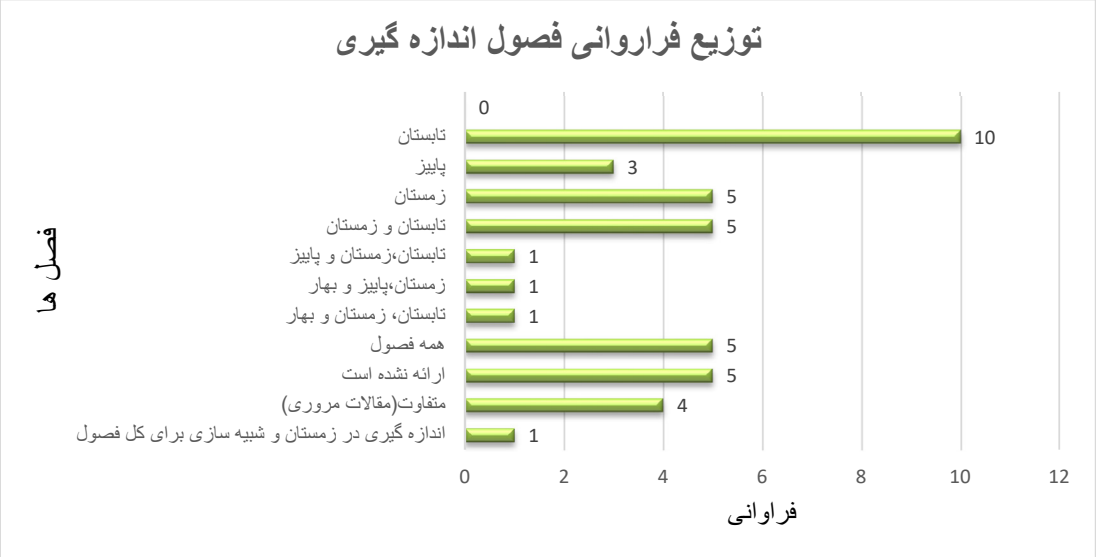


نمودار ۲: توزیع زمانی مقالات منتشر شده (۲۰۲۴-۲۰۲۰)

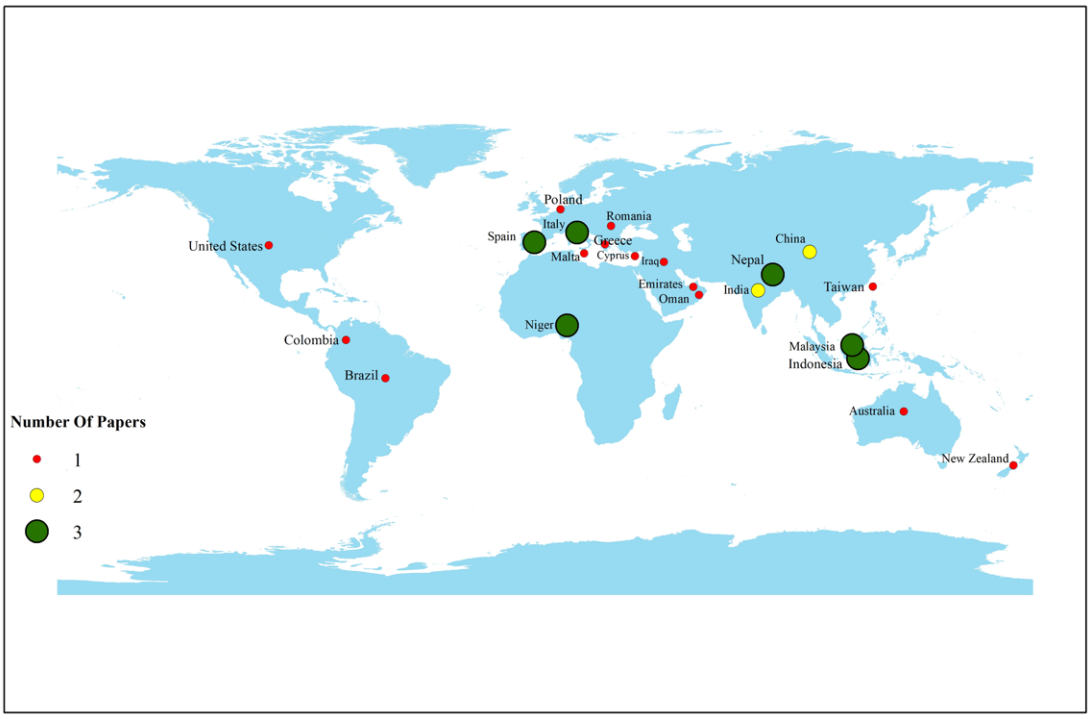


نمودار ۳: توزیع فراوانی نوع مطالعات در سال‌های ۲۰۲۴- ۲۰۲۰

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]



نمودار۴: توزیع فراوانی مقالات منتشر شده به تفکیک فصول در نظر گرفته در سال های ۲۰۲۴-۲۰۲۰



شکل۲: نقشه جهانی تولید علمی: توزیع جغرافیایی مقالات علمی (۲۰۲۰-۲۰۲۴)

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2026-03-22]