Journal of Sustainable Architecture and Environment
Vol 2, No 5, Spring 2024
https://sanad.iau.ir/journal/jsae
ISSN (Online): 2981-0892

Research Paper

Recognizing the Evolutionary Process of Using Daylight in Schools With Improving Users Performance Approach

Romina Khalilzadeh Aghdami: Department of Art and Architecture, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
Seyed Majid Mofidi Shemirani*: Assistant Professor, Iran University of Science and Technology, School of Architecture and Environmental Design, Tehran, Iran
Mansoureh Tahbaz: Associate Professor, Shahid Beheshti University, School of Architecture, Tehran, Iran

Received: 2024/04/07 **PP** 15- 30 **Accepted:** 2024/07/29

Abstract
Learning and education are important parts of every person's life. Schools play the most important role in societies regarding the education of the next generation. Using daylight in designing schools has attracted the attention of designers over the years, and besides improving the efficiency of students, it affects their physical and mental health. Due to performing visual activities in the classroom, it requires qualitative light and providing quantity alone is not effective. Centuries ago, researchers have conducted studies related to the daylight using in schools, and the investigation of this trend indicates daylight using in educational environments. Considering the occurrence of energy crisis in the world and the need to use energy as a factor for growth, development and exercise of the countries power, the use of renewable energy is an undeniable necessity. Daylight using is a factor for participation in reducing energy consumption, and providing environmental comfort requires investigating the factors affecting the quality of received daylight. In order to provide environmental comfort and prevent disturbing glare, it is necessary to design the windows according to the space in order to achieve the criteria of daylight desirability, including the uniformity and useful daylight illuminance. The purpose of this study is to investigate the evolutionary process of using daylight in schools in order to recognize the effects of events in these changes. For this purpose, changes have been investigated with positivist philosophy based on empirical sciences and with inductive reasoning approach. Finally, the development of daylight in schools is affected by the three principles of growth and development of technology, the energy debate, as well as the development of educational theories, and the need to use the appropriate algorithm to use the potential of solar energy in schools with the aim of achieving visual comfort and energy efficiency is proven.

Keywords: Daylight, School, Performance Improvement, Environmental Comfort, Energy Efficiency

Citation: Khalilzadeh Aghdami, R., Mofidi Shemirani, S. M., & Tahbaz, M. (2024). **Recognizing the Evolutionary Process of Using Daylight in Schools With Improving Users Performance Approach,** *Journal of Sustainable Architecture and Environment*, 2 (5), 15-30.

*. **Corresponding author:** Seyed Majid Mofidi Shemirani, **Email:** S_m_mofidi@iust.ac.ir, **Tel:** +98 9125116488

Extended Abstract

Introduction

Utilization of daylight is a factor for participation in reducing energy consumption, and providing visual comfort requires investigating the factors affecting the quality of received daylight. Visual comfort is affected by the static and dynamic criteria of daylight, and in order to prevent glare that disturbs comfort, lack of uniformity and useful daylight illuminance as daylight criteria, as well as increasing the thermal load on the building, the windows should be designed according to Design the space. Learning and education are important parts of every person's life. Every person spends many years of his life in schools. These buildings play the most important role in societies in the field of education of the future generation. Several factors influence the improvement of classroom quality and student performance. In order to improve students' performance, it is important to examine the physical variables of the classroom structure due to the visual nature of the activities in this environment. The design of the class, from dimensions and proportions to materials and the amount of light reception and sound reflection, should be studied so that students study in an environment away from visual and auditory problems. Considering that a large part of the learning process happens through seeing, the quantity and quality of received daylight is very important. Studies show that the use of daylight in the design of schools has been the focus of designers over the years, and in addition to improving the efficiency of students in the academic process, it has an impact on their physical and mental health. Since centuries ago, researchers have conducted studies related to the use of daylight in schools, and the investigation of this trend shows the importance of using daylight in the educational environment.

Methodology

The methods chosen to answer questions and problems are different according to the type of situation. The current research has a positivist philosophy and is based on experimental sciences. The approach of the research is inductive reasoning, and based on observation and investigation of the evolutionary process of using daylight and the effects of events in these changes, inferences are made about them. This article is of a practical type because it seeks to develop practical knowledge in the field of daylight in educational spaces and provide visual comfort and energy efficiency. It is a longitudinal survey to investigate the use of daylight and the improvement of environmental conditions. The data in this article is qualitative and the research method and data collection is based on extensive library studies.

Results and discussion

Excessive use of daylight leads to glare and visual discomfort in the space, as well as thermal load on the building. Examining the evolution of using daylight shows that, over time, daylight in schools is sometimes completely removed according to the current knowledge and the needs of the user, and sometimes the educational space is moved to the open environment to make maximum use of natural light. Is. The development of daylight in schools can be imagined as a pendulum movement back and forth, from small windows to the demand for larger windows, from windowless classrooms to passive solar schools, and this path continues according to the advancement of technology and the development of societies. It is always changing to achieve the best environmental conditions for the user. Considering the occurrence of energy crisis in the world and the need to use energy as a factor for the growth, development and exercise of the power of countries, the use of renewable energy is an undeniable necessity. Considering the high potential of solar energy in Iran, the use of solar energy can be a suitable solution to provide the required lighting for the classroom without wasting energy. In addition to historical issues, examining this trend requires attention to influential factors. The energy crisis as well as the improvement of spatial quality have been two influencing factors on the changes in the use of daylight during these years. The learning space is an environment for the education of the future generation, in addition, it should be focused on the education process as well as the control of the physical and mental health of the students. Therefore, providing visual comfort as well as energy efficiency are two serious elements in the discussion of daylight that must be evaluated.

Conclusion

The purpose of this study is to investigate the evolutionary process of using daylight in schools in order to recognize the effects of events in these changes. For this purpose, changes have been investigated with positivist philosophy based on empirical sciences and with inductive reasoning approach. Finally, the development of daylight in schools affected by the three principles of growth and development of technology, energy discussion and the development of educational theories was evaluated and the need to use the appropriate algorithm to use the potential of solar energy in schools with the aim of achieving visual comfort and benefit Energy is proven. The importance of learning environments due to the presence of students as the future generation, focusing on their educational process and also paying attention to the control of the physical and mental health of students are among the things that are important regardless of providing the amount of daylight in educational spaces. It is located and shows the need to provide visual comfort in this space. It is hoped that the architects will examine the previous mistakes and that the changes in philosophy and technological progress will show the continuous improvement of daylight development, not just a cycle to return to the current situation. In addition, in recent years, most of the research on daylight has shifted from carrying out specific visual activities to understanding the qualitative aspects of light, although previous studies on the qualitative and psychological effects of lighting are very scattered and lack a common plan to guide researchers. Achieving optimal daylight, visual comfort, and energy efficiency is something that can be achieved according to the path taken by the use of daylight.

References

1. Aghahosseini, A., Bogdanov, D., Ghorbani, N., et al. (2018). Analysis of 100% renewable energy for Iran in 2030: integrating solar PV, wind energy and storage. International Journal of Environmental Science and Technology, 15, 17–36. https://doi.org/10.1007/s13762-017-1373-4
2. Al-Obaidi, K. M., Munaaim, M. A. C., Ismail, M. A., & Rahman, A. M. A. (2017). Designing an integrated daylighting system for deep-plan spaces in Malaysian low-rise buildings. Solar Energy, 149, 85-101.
3. ANSI IESNA- RP-3-13. (2014). American National Standard Practice on Lighting for Education Facilities. Illuminating Engineering Society of North America, p. 30.
4. Atre, U. V. (2003). Effect of daylighting on energy consumption and daylight quality in an existing elementary school (Unpublished master's thesis). Texas A & M University, College Station, TX.
5. Baker, L. (2012). A history of school design and its indoor environmental standards, 1900 to today. National Clearinghouse for Educational Facilities. New York.
6. Baker, N., & Steemers, K. (2002). Daylight design of buildings: A handbook for architects and engineers. James & James, London, UK.
7. Booth, R. (2008, July 21). £35bn revamp will produce generation of mediocre schools. The Guardian. https://www.theguardian.com/politics/2008/jul/21/education.secondaryschools
8. Boubakri, M. (2018). Natural lighting: Design strategies for buildings with an architectural and health perspective (M. Zahhtab, Trans.). Tamer Publications. Tehran. [In Persian]
9. Boubekri, M. (2014). Daylighting design: Planning strategies and best practice solutions. Birkhauser, Boston.
10. BS 8206-2: 2008. Lighting for Buildings-Part 2: Code of Practice for Daylighting.
11. BS EN 12665:2011. Light and lighting: Basic terms and criteria for specifying lighting requirements.
12. Building Research Institute. (1959). Building illumination: The effect of new lighting levels. National Academy of Sciences, National Research Council.
13. Byrd, H. (2012). Post-occupancy evaluation of green buildings: The measured impact of over-glazing. Architectural Science Review, 55(3), 206-212.
14. Castaldi, B. (1969). Creative planning of educational facilities. Chicago, IL: Rand McNally & Co. https://archive.org/details/creativeplanning0000unse_e3m2/page/n9/mode/2up
15. Choi, H., Hong, S., Choi, A., & Sung, M. (2016). Toward the accuracy of prediction for energy savings potential and system

performance using the daylight responsive dimming system. Energy and Buildings, 133(Supplement C), 271-280.

16. CHPS (The Collaborative for High Performance Schools). (2002). Best practices manual daylighting. Sacramento: CHPS.

17. Code for Interior Lighting. (1977). Chartered Institution of Building Services. London: Chartered Institution of Building Services Engineers.

18. Code for Interior Lighting. (1984). Chartered Institution of Building Services Engineers, London, UK.

19. Derek, P. (1997). Lighting historic buildings. Butterworth-Heinemann, Boston.

20. Derek, P. (2004). Daylighting: Natural light in architecture (1st ed.). Architectural Press, Oxford, UK.

21. Doulos, L. T., Tsangrassoulis, A., Kontaxis, P. A., Kontadakis, A., & Topalis, F. V. (2017). Harvesting daylight with LED or T5 fluorescent lamps? The role of dimming. Energy and Buildings, 140, 336–347. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.013

22. Dubois, M. C. (2001). Impact of solar shading devices on daylight quality: Measurements in experimental office rooms. Lund University, Sweden.

23. Dubois, M. C., & Blomsterberg, A. (2011). Energy saving potential and strategies for electric lighting in future North European low-energy office buildings: A literature review. Energy and Buildings, 43(10), 2572-2582.

24. Dubois, M. C., Bisegna, F., Gentile, N., Knoop, M., Matusiak, B., Osterhaus, W., & Tetri, E. (2015). Retrofitting the electric lighting and daylighting systems to reduce energy in buildings: A literature review. Energy Research Journal, 6, 25-41.

25. Fiaschi, D., Bandinelli, R., & Conti, S. (2012). A case study for energy issues of public buildings and utilities in a small municipality: Investigation of possible improvements and integration with renewables. Applied Energy, 97, 101-114.

26. Gago, E. J., Muneer, T., Knez, M., & Koster, H. (2015). Natural light controls and guides in buildings: Energy saving for electrical lighting, reduction of cooling load. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41, 1-13.

27. Galasiu, A. D., & Veitch, J. A. (2006). Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylit offices: A literature review. Energy and Buildings, 38, 728-742. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.001

28. Gelfand, L., & Freed, E. C. (2010). Sustainable school architecture: Design for elementary and secondary schools (1st ed.). Wiley.

29. Ghosh, A., & Norton, B. (2018). Advances in switchable and highly insulating autonomous (self-powered) glazing systems for adaptive low energy buildings. Renewable Energy, 126, 1003–1031.

30. Gregg, A. (1995). Daylighting performance and design. Van Nostrand Reinhold.

31. Haase, M., & Grynning, S. (2017). Optimized façade design: Energy efficiency, comfort, and daylight in the early design phase. Energy Procedia, 132, 484-489.

32. Hamlin, A. D. F. (Ed.). (1910). Modern school houses: Being a series of authoritative articles on planning, sanitation, heating, and ventilation (Vol. 1). Swetland Publishing Co.

33. Hamon, R. L. (1948). Needed research in the school-plant field. Review of Educational Research, 18(1), 5-12.

34. Hee, W. J., Alghoul, M. A., Bakhtyar, B., Elayeb, O., Shameri, M. A., Alrubaih, M. S., & Sopian, K. (2015). The role of window glazing on daylighting and energy saving in buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 42, 323-343.

35. Heidari, S. (2012). Architecture and lighting (2nd ed.). University of Tehran Press. Tehran. [In Persian]

36. Heidari, S. (2018). Introduction to research methods in architecture with an analytical perspective on architectural thesis writing. Fekr-e Novo Publications. Tehran. [In Persian]

37. Heidari, S., & Jahani Noogh, M. (2014). Thermal comfort in architecture: The first step in energy consumption savings. University of Tehran Press. [In Persian]

38. Heschong, L. (2002). Daylighting and human performance. ASHRAE Journal, 44, 65-67.

39. Hobday, R. (2016). Myopia and daylight in schools: A neglected aspect of public health?

Perspectives in Public Health, 136(1), 50-55. https://doi.org/10.1177/1757913915576679

40. Hosseinpourian, S. (2011). The role of children in shaping environmental spaces. Architecture and Culture Journal, 46, 40-46. [In Persian]

41. Illuminating Engineering Society of North America. (2000). IESNA lighting handbook (9th ed.). IESNA.

42. Illuminating Engineering Society. (2012). LM-83-12: Approved method: IES spatial daylight autonomy (sDA) and annual sunlight exposure (ASE). https://www.techstreet.com/standards/ies-lm-83-12?product_id=1853773

43. International Energy Agency. (2010). Daylighting in buildings. AECOM.

44. Jahangir, M. H., & Rashidi, R. (2022). Optimizing energy consumption in an educational building using physical scenarios. Urban and Regional Planning, 1(1), 73-88. https://doi.org/10.22034/jprd.2022.15046 [In Persian]

45. Jakubiec, J. A., & Reinhart, C. F. (2012). The 'adaptive zone': A concept for assessing discomfort glare throughout daylit spaces. Lighting Research & Technology, 44(2), 149-170. https://doi.org/10.1177/1477153511420097

46. Knoop, M., Stefani, O., Bueno, B., Matusiak, B., et al. (2020). Daylight: What makes the difference? Lighting Research & Technology, 52, 423–442.

47. Kuller, R., & Lindsten, C. (1992). Health and behavior of children in classrooms with and without windows. Journal of Environmental Psychology, 12(4), 305-317. https://doi.org/10.1016/S0272-4944(05)80079-9

48. Lechner, N. (2014). Heating, cooling, lighting: Sustainable design methods for architects (4th ed.). John Wiley & Sons.

49. Leslie, R. P., Raghavan, R., & Howlett, O. (2005). The potential of simplified concepts for daylight harvesting. Lighting Research & Technology, 37(1), 21-38.

50. Mahdavinia, M. J., Tahbaz, M., & Dolatabadi, M. (2016). Optimization of proportions and use of light-reflecting materials in classroom architecture. Journal of Fine Arts – Architecture and Urban Planning, 21(2), 81-92. [In Persian]

51. Mardaljevic, J. (1995). Validation of a lighting simulation program under real sky conditions. Lighting Research & Technology, 27(4), 181-188. https://doi.org/10.1177/14771535950270040701

52. Mardaljevic, J. (2001). The BRE-IDMP dataset: A new benchmark for the validation of illuminance prediction techniques. Lighting Research & Technology, 33(2), 117-134. https://doi.org/10.1177/13657828010330020 9

53. Mardaljevic, J. (2021). The implementation of natural lighting for human health from a planning perspective. Lighting Research & Technology, 53(5), 489-513. https://doi.org/10.1177/14771535211022145

54. Marks, J. (2009). A history of educational facilities laboratories (EFL). National Clearinghouse for Educational Facilities, Funded by the U.S. Department of Education.

55. Mayhoub, M. S. (2014). Innovative daylighting systems' challenges: A critical study. Energy and Buildings, 80, 394-405. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.04.019

56. McGuffey, C. (1982). Facilities. In H. J. Walberg (Ed.), Improving educational standards and productivity. McCutchan Publishing.

57. Meresi, A. (2016). Evaluating daylight performance of light shelves combined with external blinds in south-facing classrooms in Athens, Greece. Energy and Buildings, 116, 190-205. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.01.009

58. Nabil, A. and Mardaljevic, J. (2005). Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. Lighting Research & Technology, 37(1): 41-59.

59. NCSC (Ed.). (1964). NCSC Guide for Planning School Plants. National Council on Schoolhouse Construction.

60. Office of Electricity and Energy Affairs, Department of Planning and Macro-Economics of Electricity and Energy. (2022). Energy balance sheet for 2020. Ministry of Energy. [In Persian]

61. Office of Planning and Economics, Department of Information Technology and

Statistics. (2019). Monthly report on the statistics of the water and electricity industry. Ministry of Energy. [In Persian]

62. Osterhaus, W. K. E. (1993). Office lighting: a review of 80 years of standards and recommendations. In Proceedings of the 1993 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Toronto. New York, NY: IEEE.

63. Pandharipande, A., and Newsham, G. R. (2018). Lighting controls: Evolution and revolution. Lighting Research & Technology, 50, 115-128.

64. Ponmalar, V., and Ramesh, B. (2014). Energy Efficient Building Design and Estimation of Energy Savings From Daylighting in Chennai. Energy Engineering, 111(4), 59-80.

65. Rea, M. S. (2012). The Trotter Paterson Lecture 2012: Whatever Happened to Visual Performance? Lighting Research & Technology, 44(2), 95-108. https://doi.org/10.1177/1477153512441163

66. Rea, M. S. (Ed.). (2000). The IESNA lighting handbook: reference & application (9th ed.). New York, NY: Illuminating Engineering Society of North America.

67. Reinhart, C. F., and Herkel, S. (2000). The simulation of annual daylight illuminance distributions – a state-of-the-art comparison of six RADIANCE-based methods. Energy and Buildings, 32(2), 167-187. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00042-6

68. Reinhart, C. F., Mardaljevic, J., and Rogers, Z. (2006). Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. LEUKOS, 3(1), 7-31. https://doi.org/10.1582/LEUKOS.2006.03.01.001

69. Reinhart, C., and Walkenhorst, O. (2001). Dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a full-scale test office with outer venetian blinds. Energy and Buildings, 33(7), 683-697.

70. Robson, E. R. (1972). School architecture. Leicester University Press.

71. Russell, S. (2012). The architecture of light: A textbook of procedures and practices for the architect, interior designer, and lighting designer (2nd ed.). Walnut, CA: Conceptnine.

72. Shen, E., Hu, J., and Patel, M. (2014). Energy and visual comfort analysis of lighting and daylight control strategies. Building and Environment, 78, 155-170.

73. Simson, R., Fadejev, J., Kurnitski, J., Kesti, J., and Lautso, P. (2016). Assessment of Retrofit Measures for Industrial Halls: Energy Efficiency and Renovation Budget Estimation. Energy Procedia, 96, 124-133.

74. Taylor, A., and Enggass, K. (2008). Linking Architecture and Education: Sustainable Design of Learning Environments. University of New Mexico Press.

75. Tregenza, P., and Mardaljevic, J. (2018). Daylighting buildings: Standards and the needs of the designer. Lighting Research & Technology, 50(1), 63-79. https://doi.org/10.1177/1477153517740611

76. Ward, G. J. (1991). RADIANCE Visual Comfort Calculation. Rapport interne, LESO, EPFL.

77. Weinstein, C. S. (1979). The Physical Environment of the School: A Review of the Research. Review of Educational Research, 49(4), 577-610. https://doi.org/10.3102/00346543049004577

78. Wienold, J. (2007). Dynamic simulation of blind control strategies for visual comfort and energy balance analysis. International Building Performance Simulation Association, 1197-1204.

79. Wong, I. L. (2017). A review of daylighting design and implementation in buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 74, 959-968. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.061

80. Wu, W., and Ng, E. (2003). A Review of the Development of Daylighting in Schools. Lighting Research & Technology, 32(2), 111-125.

فصلنامه معماری و محیط پایدار
دوره ۲، شماره ۵، بهار ۱۴۰۳
https://sanad.iau.ir/journal/jsae
شاپا الکترونیکی: ۰۸۹۲-۲۹۸۱

مقاله پژوهشی

بازشناسی سیر تحولی بهره‌گیری از نور روز در مدارس به منظور بهبود عملکرد کاربران فضا

رومینا خلیل‌زاده اقدمی: دانشجوی دکتری تخصصی، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
سید مجید مفیدی شمیرانی[۱]: عضو هیات دانشگاه علم و صنعت ایران، گروه معماری و شهرسازی، تهران، ایران
منصوره طاهباز: دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

دریافت:۱۴۰۳/۰۲/۰۸صص ۳۰-۱۵ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۵

چکیده

یادگیری و آموزش بخش مهمی از زندگی هر فرد است. محیط‌های یادگیری با توجه به تربیت نسل بعدی بیشترین نقش را در جوامع بر عهده دارند. استفاده از نور روز در طراحی مدارس در طول سال‌ها مورد توجه طراحان بوده و علاوه بر بهبود کارایی دانش‌آموزان بر سلامت جسمی و روانی آن‌ها تاثیرگذار است. باتوجه به انجام فعالیت‌های بصری در کلاس، این محیط نیازمند نور روز با کیفیت است و تامین کمیت به تنهایی موثر واقع نمی‌شود. از قرن‌های پیش محققان در ارتباط با بهره‌گیری از نور روز در مدارس مطالعاتی را انجام داده‌اند که بررسی این روند نشان دهنده تاکید بر لزوم بهره‌گیری از نور روز در فضای آموزشی است. باتوجه به وقوع بحران انرژی در دنیا و لزوم بهره‌گیری از انرژی به عنوان عاملی جهت رشد، توسعه و اعمال قدرت کشورها، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر ضرورتی قابل انکار است. بهره‌گیری از نور روز عاملی برای مشارکت در تقلیل مصرف انرژی است و تامین آسایش محیطی نیازمند بررسی عوامل تاثیرگذار بر کیفیت نور روز دریافتی است. به منظور تامین آسایش محیطی و جلوگیری از بروز خیرگی مخل آسایش، نیاز است شاکله بندی پنجره‌ها متناسب با فضا طراحی شود تا به معیارهای مطلوبیت نور روز از جمله یکنواختی و روشنایی مفید نور روز دست یافت. بررسی سیر تحولی بهره‌گیری از نور روز در مدارس به منظور بازشناسی تاثیرات وقایع در این تغییرات هدف پژوهش حاضر است. به همین منظور با فلسفه اثبات گرایانه بر پایه علوم تجربی و با رویکرد استدلال استقرایی به بررسی تغییرات پرداخته شده‌است. نهایتا توسعه نور روز در مدارس متاثر از سه اصل رشد و پیشرفت فناوری، بحث انرژی و همچنین پیشرفت نظریه‌های آموزشی ارزیابی شده و لزوم بهره‌گیری از الگوریتم مناسب جهت استفاده از پتانسیل انرژی خورشیدی در مدارس با هدف دستیابی به آسایش بصری و بهره‌وری انرژی به اثبات می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: نور روز، مدرسه، بهبود عملکرد، آسایش محیطی، بهره‌وری انرژی

استناد: خلیل زاده اقدمی، رومینا؛ مفیدی شمیرانی، سید مجید و طاهباز، منصوره (۱۴۰۳). **بازشناسی سیر تحولی بهره‌گیری از نور روز در مدارس به منظور بهبود عملکرد کاربران فضا،** *فصلنامه معماری و محیط پایدار*، ۲(۵)، ۱۵-۳۰.

[۱] **نویسنده مسئول:** سید مجید مفیدی شمیرانی، **پست الکترونیکی:** S_m_mofidi@iust.ac.ir، **تلفن:** ۰۹۱۲۵۱۱۶۴۸۸

مقدّمه

در دهه‌های اخیر، بحث بحران انرژی و آسیب‌های زیست محیطی و ژئوپلیتیکی سوخت‌های فسیلی، منجر به افزایش بهره‌وری انرژی و بهبود کیفیت روشنایی در طراحی بناها شده‌است. با وجود پیشرفت‌های گسترده در بحث روشنایی، همچنان نور روز از کیفیت و ارزش بالاتری به لحاظ تامین آسایش بصری و همچنین بهبود شرایط فیزیکی و روانی کاربران برخوردار است. نور روز علاوه بر اثرات روانی و فیزیولوژیکی در حوزه سلامت کاربران، سبب صرفه‌جویی قابل توجهی در انرژی ساختمان می‌شود (Galasiu & Veitch, 2006: 730). در ایران براساس آمار سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و انرژی برق (ساتبا) ۲۰ درصد از انرژی الکتریکی مصرفی مربوط به روشنایی است .که درصورت بهره گیری از نور روز می‌توان این مقدار را ۲۰ درصد و در شرایط خاص تا ۶۰ درصد کاهش داد (Doulos & et al., 2017: 339)

باوجودیکه بهره‌گیری سطح وسیعی از نورگذر در فضاها ممکن است مصرف انرژی روشنایی را کاهش دهد، اما به منظور جلوگیری از بروز خیرگی مخل آسایش و یا عدم یکنواختی و همچنین افزایش احتمالی بار حرارتی وارد بر ساختمان، باید شاکله بندی پنجره‌ها به صورت دقیق و متناسب با فضا طراحی شوند. بنابراین یکی از اصلی‌ترین وظایف تیم‌های طراحی ایجاد تعادل میان پدیده‌های متضاد، در راستای دستیابی به آسایش بصری و حرارتی است. به این ترتیب تامین روشنایی روز کافی همراه با یکنواختی، باید در مراحل طراحی برطرف شود. نور روز را می‌توان به روش‌های مختلفی به فضای داخلی هدایت کرد. برخی از این روش‌های فقط به تامین روشنایی در نزدیک‌ترین فاصله با عنصر می‌پردازند و برخی می‌توانند به کمک انعکاس‌های پیاپی نور روز را به عمق فضا هدایت کنند. توزیع نور روز به صورت طبیعی در فضاهای عمیق یکنواخت نبوده و بدون نور مصنوعی به ویژه در مناطق با فاصله از پنجره، به اندازه کافی روشن نمی‌شود. به همین منظور باید از سیستم های خورشیدی که وظیفه اصلی آن‌ها هدایت بخش قابل توجهی از شار نوری به سمت سقف به منظور ایجاد انعکاس است استفاده شود تا ضمن توزیع متعادل‌تر نور روز، منجر به کاهش خیرگی در نزدیکی پنجره‌ها شود (Mayhoub, 2014: 397).

استفاده از نور روز در طراحی مدارس، در طول سال‌ها مورد توجه طراحان بوده‌است (Wu & Ng, 2003: 114). نور روز علاوه بر تاثیر مثبت بر عملکرد دانش‌آموزان و ارتقا شرایط زیستی سالم، سبب کاهش مصرف انرژی نیز می‌شود (Kuller & Lindsten, 1992: 307). سال‌های زیادی است که انرژی مصرفی در تمام جهان از منابع فسیلی تامین می‌شود. اما با توجه به پایان پذیر بودن این منابع و همچنین اثرات مخرب زیست محیطی آن‌ها که به واسطه‌ی سوختن این منابع ایجاد می‌شود، ضرورت صرفه‌جویی در مصرف انرژی و جایگزینی انرژی‌های تجدید پذیر جهت همراهی با محیط زیست و کاهش آلودگی وجود دارد. بنابراین استفاده از نور روز در مدارس یک گزینه بسیار مهم و بین‌المللی است (Meresi, 2016: 195). در طول تاریخ مطالعات و تغییرات بسیار در طراحی سیستم‌های روشنایی ساختمان‌ها انجام شده تا ضمن تامین بهترین نور روز برای کاربران و توزیع یکنواخت آن در سطح فضا، منجر به کاهش مصرف انرژی الکتریکی برای روشنایی شود (Wong, 2017: 961). هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی سیر تحولی بهره‌گیری از نور روز در مدارس و ارائه الگوریتم مناسب جهت تامین آسایش بصری و بهره‌وری انرژی ضمن تامین نور روز مورد نیاز در فضای آموزشی است.

مواد و روش تحقیق

روش‌هایی که برای پاسخ به سوالات و معضلات انتخاب می‌شوند متناسب با نوع شرایط متفاوت است. پژوهش حاضر دارای فلسفه اثبات گرایانه بوده و برپایه علوم تجربی استوار است. رویکرد پژوهش استدلال استقرایی است و برمبنای مشاهده و بررسی سیر تحولی بهره‌گیری از نور روز و تاثیرات وقایع در این تغییرات، استنباط درباره آن‌ها انجام می‌شود. این مقاله از آن جهت که به دنبال توسعه دانش کاربردی در زمینه نور روز در فضاهای آموزشی و تامین آسایش بصری و بهره‌وری انرژی است، از نوع کاربردی بوده و با توجه به اینکه داده‌ها در طول زمان گردآوری شده‌اند تا ارتباط میان بهره‌گیری از نور روز و بهبود شرایط محیطی بررسی شود، از نوع پیمایشی طولی است. داده‌ها در این مقاله از نوع کیفی بوده و روش تحقیق و گردآوری داده‌ها براساس مطالعات گسترده کتابخانه‌ای انجام گرفته‌است.

سیر بهره‌گیری از نور روز در فضای آموزشی

نورخورشید ترکیبی از نور پراکنده‌ی آسمان و نور خورشید و نور بازتاب شده از سطوح است (Baker & Steemers, 2002). و نورپردازی روز، نیازمند طراحی نورگذرها در راستای هدایت نور روز به داخل فضا است. استفاده از نور روز برای تامین روشنایی مطلوب در فضاهای داخلی زندگی، به زمان غارنشینی انسان‌های ماقبل تاریخ بر می‌گردد (Derek, 2004). پس از آن، هزاران سال قبل، نور طبیعی در خاورمیانه به صورت متداول استفاده می‌شد. یونانی‌ها و رومی‌ها هم حیاط را وارد ساختمان کردند تا نور طبیعی را به فضاهای داخلی ساختمان بیاورند و به این ترتیب علاوه بر تاکید روی فرم‌های مجسمه‌وار، رشد گیاهان نیز تقویت شود. از آنجا که تمام این تمدن‌ها در اقلیم گرم و خشک واقع

شده‌بود، مردم ترجیح دادند که زمان بیشتری را در فضای خنک‌تر داخل بگذرانند، و این بدان معنا بود که میزان نور روز باید بدون کاهش آسایش محیطی، افزایش می‌یافت. در دهه ۱۷۰۰، شهرها در بیشتر تمدن‌های غربی، با مرور زمان شلوغ و متراکم‌تر شدند و محله‌های کلیمی و غیربهداشتی شکل گرفتند. در این زمان خیابان‌ها باریک‌تر و ساختمان‌ها بلندتر شدند و به این ترتیب نور روز بسیار کمی می‌توانست به داخل ساختمان نفوذ کند (Boubekri, 2014) و بهره‌گیری از نور روز برای روشنایی به مرور کاهش یافت.

از طرفی تا قرن نوزدهم، بیشتر مدارس به جای آنکه در یک ساختمان مستقل باشند، در خانه‌ها شکل می‌گرفتند و یا بخشی از ردیف خانه‌ها بودند. سپس مدارس از ساختمان‌های یک طبقه به ساختمان‌های چند طبقه تبدیل شدند که می‌توانستند پنجره‌های گسترده‌ای برای ورود نور روز داشته باشند. قبل از دهه ۱۹۵۰، معماران بر این باور بودند که نورپردازی یک عنصر اساسی طراحی ساختمان مدرسه است. در سال ۱۸۷۴، رابسون (Robson, 1972) به عنوان یک معمار مدرسه ساز پیشنهاد کرد که در طراحی کلاس درس باید سلامت و راحتی در نظر گرفته شود تا بتوان آموزش موثری به دانش‌آموزان ارائه کرد. رابسون بیان کرد که استفاده از نور روز در کلاس درس بسیار مهم است و اینکه پنجره‌ها در مدرسه هرگز نباید در جهت جنوب و یا جنوب غربی قرار بگیرند زیرا این جهت‌ها سبب خیرگی بیشتر می‌شود و در نتیجه آزار دانش‌آموزان می‌شود (Robson, 1972). او پیشنهاد داد برای رسیدن به بهترین موقعیت پنجره و یکنواخت‌ترین نور دریافتی، باید پنجره‌ها در سمت شمال قرار گیرند. او همچنین تاکید کرد که طراحان باید در نظر داشته باشند که نور شدید خورشید در فصل تابستان باعث افزایش خیرگی برای معلم‌ها و دانش‌آموزان می‌شود(Robson, 1972).

در نیمه دوم قرن نوزدهم، بسیاری از مدارس نورگذرهای جنوبی را حذف کرده و از نورپردازی شمالی استفاده کردند. تا از خیرگی در ضلع جنوبی و غربی ساختمان جلوگیری کنند (Russell, 2012). در یک قرن قبل، مردم معتقد بودند که افزایش نور روز می‌تواند مانع از نزدیک بینی شود. بنابراین مدارس با پنجره‌های وسیع ساخته شدند تا از پیشرفت نزدیک بینی کودکان جلوگیری شود. این تفکر تا دهه ۱۹۶۰ ادامه یافت (Hobday, 2015: 52). متاسفانه طراحی مدارس دیگر امکان بهره‌برداری نور کافی از سمت شمال را نمی‌دادند و این موضوع منجر به افزایش استفاده از چراغ‌های فلورسنت شد، مخصوصا زمانی که این فناوری در دهه ۱۹۲۰ افزایش یافت. تا دهه ۱۹۳۰، زمانیکه فناوری نورپردازی فلورسنت به صورت گسترده‌ای استفاده می‌شد، این موضوع سبب ایجاد مانع مهمی در جنبش ایجاد نور روز در طراحی ساختمان مدارس شد (Boubekri, 2014). با توجه به هزینه‌های پایین آن، نورپردازی فلورسنت بعد از جنگ جهانی دوم حتی ارزش بالاتری هم یافت و بناهای بدون پنجره‌ی دیگری ساخته شد. با ظهور برق ارزان قیمت و گستردگی استفاده از روشنایی فلورسنت در دهه ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰، ایالت ها شروع به کنار گذاشتن حداقل روشنایی طبیعی روز در ساختمان‌ها کردند (Heschong, 2002: 65). پس از این دوره زمانی، مجددا استفاده از نور روز طبیعی در طراحی ساختمان مدارس مورد توجه قرار گرفت، زیرا حضور نور روز می‌توانست نیاز به ابزارهای وابسته به برق مثل لامپ های فلورسنت را کاهش دهد (Hobday, 2015: 53). واضح است که بهسازی مدارس بدون پنجره بعد از بحران انرژی، برای ایجاد محیط های یادگیری جذاب‌تر و با عملکرد بهتر بسیار دشوار است (Gelfand & Freed, 2010). ساختمان‌های بدون پنجره علاوه بر اینکه جذاب نیستند، سبب بی‌نظمی در داخل ساختمان نیز می‌شوند، زیرا راهی برای ارتباط با محیط بیرون ندارند. مراکز خرید بزرگ و بدون پنجره‌ای که در دهه‌ی ۱۹۶۰ ساخته شدند در ارتباط با این موضوع بسیار بدنام بودند (Derek, 1997). بنابراین با شروع دهه ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰، استفاده از نور روز در طراحی و به طور خاص در بهبود کنترل روشنایی در ساختمان مدارس مجددا بررسی شد (Lechner, 2014) و معماران استفاده از سایه‌بان‌ها، لامپ‌های LED، سنسورهای روشنایی، لوله‌های نوری، لامپ‌های مهتابی و نورهای هیبریدی را مطرح کردند. توجه به سنسورهای نوری در ساختمان‌های تجاری ایالات متحده آمریکا به دلیل افزایش تقاضا در طراحی ساختمان‌های پایدار و همچنین تاثیر آن بر نمودار برق کشور، افزایش یافت (Leslie et al., 2005: 25).

ساخت مدارسی برای آینده (BSF)[1]

مطالعات گروه هیشانگ به اهمیت طراحی شاکله و محل قرارگیری پنجره‌ها در طراحی اشاره کرد. با این وجود حداقل بریتانیا مطالعات خام گروه هیشانگ را به عنوان گواهی بر افزایش فاکتور نور روز در کلاس‌های درس بدون توجه به حدبالایی آن تفسیر کرد و در ضوابط طراحی بر به حداکثر رساندن استفاده از نور روز به منظور بهبود عملکرد دانش‌آموزان اشاره شد (Tregenza, Mardaljevic, 2018: 70). در گزارش سال ۲۰۰۸ روزنامه گاردین موج اول مدارسی که با برنامه "ساخت مدارس برای آینده" (BSF) براساس نتایج خام مطالعات گروه هیشانگ تکمیل شد، توسط هیئت معماری و محیط ساخته شده (CABE[2]) به شدت مورد انتقاد قرار گرفت (Booth, 2008). از جمله مشکلاتی که در بررسی ۴۰ طرح پیشنهادی مدارس انگلستان مطرح شد، پوشش سطح وسیعی از کلاس‌های درس توسط شیشه بود که سبب غیرقابل

[1] Building Schools for the Future (BSF)
[2] Commission for Architecture and the Built Environment

تحمل شدن گرمای محیط و عدم آسایش می‌شود (Tregenza, Mardaljevic, 2018: 71) که شامل وجود فضاهایی با درجه حرارت بالا در حیاط‌های خلوت، محدوده‌های باز پر سر و صدا که تدریس را دشوار کرده و کلاس‌هایی که بسیار تاریک‌اند یا در بعدازظهرهای آفتابی مستعد گرمازدگی هستند می‌شود (Booth, 2008).

به دلیل تکیه بر فاکتور نور روز به عنوان تنها معیار بررسی عملکرد روشنایی طبیعی، اغلب نور روز مطلوب به معنای فاکتور نور روز بالاتر تلقی می‌شود. بنابراین در حالیکه به نظر می‌رسد اهمیت نور روز در ساختمان‌ها به ویژه کلاس‌های درس سبب حصول شناخت گسترده‌ای می‌گردد، لزوما منجر به فضاهایی با طراحی مطلوب نمی‌شود. انجمن سرمایه گذاری آموزشی انگلستان[۱](EFA) در سال ۲۰۱۳ تصمیم گرفت مدلسازی نور روز مبتنی بر آب و هوا[۲](CBDM) را به صورت اجباری برای برنامه ساخت مدارس اولویت‌دار[۳](PSBP) و جایگزین "مدارسی برای آینده" معرفی کند تا به این ترتیب شکست‌های مشهود بسیاری از طرح‌های این نوع مدارس پاسخ داده شود. استفاده از (CBDM) برای ارزیابی طراحی، سهم نور خوشید را در ارزیابی کلی نور روز به طور اجتناب ناپذیری افزایش می‌دهد (Tregenza, Mardaljevic, 2018, 72).

ساخت مدارس با کمک مدل‌سازی نور روز مبتنی بر آب و هوا (CBDM)

در اواخر دهه ۱۹۹۰، کریستوف رینهارت و مردالجویک[۴]به طور مستقل به دنبال تحقیق و توسعه موضوعی بودند که به عنوان مدل‌سازی نور روز مبتنی بر آب و هوا (CBDM) شناخته شد. این نوع مدلسازی ابتدا در جامعه پژوهشی و همچنین برخی از متخصصان دوراندیش پذیرفته و مورد توجه قرار گرفت. CBDM درواقع پیش‌بینی هر کمیت نوری از جمله روشنایی و درخشندگی است که با استفاده از شرایط واقعی خورشید و آسمان براساس داده‌های آب و هوایی استاندارد محاسبه شده (Mardaljevic, 2001: 120; Reinhart, Herkel, 2000). به دلیل نتایج قابل قبول حاصل از مطالعات اعتبارسنجی، سیستم شبیه‌سازی Radiance و در نهایت CBDM به پذیرش گسترده‌ای دست یافتند. در اواسط دهه ۱۹۹۰ مطالعات اعتبارسنجی برای هر روش پیش‌بینی نور روز با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده توسط موسسه تحقیقاتی ساختمان[۵](BRE) به عنوان بخشی از برنامه بین‌المللی اندازه‌گیری نور روز[۶](IDMP) انجام می‌شد (Mardaljevic, 1995: 182; Mardaljevic, 2001: 120).

پس از تاکید انجمن سرمایه گذاری آموزشی انگلستان در سال ۲۰۱۳ بر بکارگیری مدلسازی نور روز مبتنی بر آب و هوا برای برنامه ساخت مدارس اولویت دار (PSBP)، به منظور دستیابی به روشنایی مفید نور روز باید ضوابط خاصی در طرح‌های ارائه شده لحاظ شد. درواقع از نیم قرن پیش و پس از معرفی فاکتور نور روز، این موضوع اولین پیشرفت مهم در بحث نور روز است. در ایالات متحده آمریکا، CBDM تایید شده توسط انجمن مهندسی روشنایی آمریکای شمالی[۷]، در آخرین نسخه مدیریت در طراحی انرژی و محیط[۸]وجود دارد که بسیار بحث برانگیز بوده و منتقدان بسیاری دارد.[۹]این نوع مدلسازی علاوه بر پیش‌بینی معیارهای سالانه روشنایی نور روز، با شبیه‌سازی درخشندگی میدان دید کاربران فضا امکان محاسبه میزان خیرگی و عدم آسایش بصری را فراهم می‌کند (Wienold, 2007:1201).

در ۲۰ سال گذشته CBDM در پروژه‌ها و مطالعات متعددی برای ارزیابی مشکلات طولانی مدت و جدید نور روز استفاده شده‌است. در حال حاضر استفاده از این روش مدل‌سازی در میان طراحان نور روز و مهندسین مشاور رایج است، در حالیکه جامعه دانشگاهی همچنان به دنبال گسترش دامنه کاربرد و مهم‌تر از همه، اعتبار سنجی پیش‌بینی فرمول‌های مختلف CBDM است (Mardaljevic, 2021).

مدارس نوظهور قرن بیست و یک

با رایج شدن سیستم‌های فناوری اطلاعات مرتبط با ساختمان جهش بزرگی در طراحی مدارس اتفاق خواهد افتاد. با افزایش قیمت انرژی به نظر می‌رسد در آینده نظارت بیشتری بر مصرف انرژی خواهد شد به گونه‌ای که در نهایت منجر به بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها و آسایش محیطی شود. با این حال، موضوعی که باید به آن توجه داشت این است که فناوری‌های جدید اغلب به بهبود شرایط و برطرف شدن مشکلات کمک می‌کند و در عین حال مشکلات جدید ایجاد می‌کند. در چنین شرایطی یک جامعه طراحی متفکر، باز و صادق با حلقه‌های بازخورد

[1] UK Education Funding Agency (EFA)
[2] Climate-Base Daylight Modeling (CBDM)
[3] Priority Schools Building Programme (PSBP)
[4] C., Reinhart & J., Merdaljevic
[5] Building Research Establishment (BRE)
[6] International Daylight Measurement Programme (IDMP)
[7] Illuminating Engineering Society of North America (IESNA)
[8] Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)
[9] John Mardaljevic, “Climate-based daylight modelling and its discontents”.

قوی، به منظور یادگیری آنچه برای محیط‌های آموزشی مناسب باشد بسیار مهم است. یکی از راه‌های اطمینان از حرکت به سمت الگوی طراحی متکی بر چرخه‌ی بازتاب و بازخورد صادقانه، اجرای استانداردهای دقیق در طراحی و بهره‌برداری مدرسه است به نحوی که مبتنی بر سنجش عملکرد ساختمان و ارزیابی آن پس از اشغال فضا باشد. به عنوان مثال، موفقیت ایده ساختمان‌های صفر انرژی[1](ZEB) مستلزم طراحی بنایی است که انرژی مصرفی آن، کم‌تر از انرژی تولید شده در طول یک سال باشد. این موضوع مستلزم وجود سامانه‌های جدید با فناوری پیشرفته نیست، بلکه نیازمند پیگیری مداوم و آموزش به کاربران فضا است. بعلاوه، بررسی مداوم به منظور اطمینان از عملکرد صحیح سامانه مهم است. با دستیابی به این هدف فقط تا پایان ساخت و ساز ساختمان انجام نمی‌شود و با توجه به عملکردی بودن آن مسیر دشواری است. کمیته استاندارد ASHRAE برای دهه‌های آینده اهداف مشابهی را تعیین کرده و تلاش‌های اولیه برای ساختمان‌های صفر انرژی که شامل مدارس می‌شود، نشان دهنده قابل دستیابی بودن این اهداف است. با توجه به تغییر اقلیم جهانی ضرورت تحقیق اهداف منجر به کاهش مصرف انرژی قابل درک است (Baker, 2012: 24). اروپا، استرالیا و تعداد معدودی از کشورهای توسعه یافته در دهه‌های اخیر، پیشرفت چشمگیری در تحقق چشم‌اندازهای مترقی برای ساختمان مدارس قرن بیست و یکم داشته‌اند که در گزارش مدارس پایدار[2]وزارت آموزش و مهارت بریتانیا قابل مشاهده است.

انجمن مهندسی روشنایی آمریکای شمالی[3](IESNA) در دهه ۱۹۸۰، ۵۰ فوت کندل (۵۳۸ لوکس) را برای فعالیت‌های عادی کلاس و ۱۰۰ فوت کندل (۱۰۷۶ لوکس) را برای آموزش روی تخته سیاه پیشنهاد می‌دهد. علاوه بر این انجمن مهندسی روشنایی آمریکا وجود حداقل یک پنجره را در فضای آموزشی برای دستیابی به کیفیت مناسب یک محیط آموزشی پیشنهاد می‌دهد. نسخه جدید ویرایش نهم کتاب راهنمای روشنایی انجمن مهندسی روشنایی آمریکا (IESNA)، همچنان بر اهمیت وجود نور روز در مدارس تاکید می‌کند (Rea, 2000: 874). این نسخه از کتاب راهنمای روشنایی با حرکت از کمیت به سمت کیفیت در نورپردازی حرفه‌ای، سطح نور را برای فعالیت‌های بصری و خاص پیشنهاد نمی‌کند و فقط فاکتورهای مهمی را که ممکن است بر کیفیت نور در ساختمان مدارس تاثیر بگذارد به عنوان جایگزین ذکر کرده است. در «جدول ۱» سیر بهره‌گیری از نور روز در مدارس آمریکا از ۱۹۱۸ تا ۲۰۰۲ ارائه شده است. بررسی این روند نشان دهنده حرکت دائمی طراحان متناسب با شرایط اجتماعی و فرهنگی مسلط بر جامعه است. تقابل جدی میان مدارس فضای باز و مدارس بدون پنجره در طول ۴۰ سال بر میزان تاثیر پذیری از شرایط و وقایع حاکم را به اثبات می‌رساند.

بررسی این سیر علاوه بر مسائل تاریخی نیازمند توجه به عوامل تاثیرگذار و تاثیر پذیر است. بحران انرژی و همچنین بهبود کیفیت فضایی دو عامل تاثیر گذار بر روند تغییرات بهره‌گیری از نور روز در طول این سال‌ها بوده‌اند. فضای یادگیری محیطی است برای تربیت نسل آینده، بعلاوه باید بر فرآیند آموزش و همچنین کنترل سلامت جسمی و روحی دانش‌آموزان نیز متمرکز باشد. بنابراین تامین آسایش بصری و همچنین بهره‌وری انرژی دو عنصر جدی در بحث نور روز است که باید مورد ارزیابی قرار گیرند.

جدول ۱- سیر بهره‌گیری از نور روز در مدارس آمریکا

دوره زمانی	ویژگی‌های طراحی مدارس و روشنایی کلاس‌های درس
۱۹۱۸	براساس استاندارد IES، حداقل نور مصنوعی مورد نیاز در کلاس باید ۳/۵ الی ۶ فوت کندل برای فعالیت‌های عادی باشد. (Osterhaus, 1993)
قبل از ۱۹۳۰	مساحت پنجره ۴۰ تا ۵۰ درصد کل مساحت دیوار ضلع بلند کلاس باشد و در کل $\frac{1}{4}$ مساحت کف کلاس باشد.
	پنجره باید ۶ اینچ از سقف فاصله داشته باشد و فاصله آستانه از کف نباید بیش از ۳ الی ۳/۵ فوت باشد. (Hamlin, 1910)
اواخر دهه ۱۹۳۰	لامپ‌های فلوئورسنت اختراع شدند.
۱۹۳۰- ۱۹۴۰	مدارس فضای باز ظهور کردند و تاکید بر هوای آزاد، نور و فعالیت در فضای باز بود.
دهه‌های ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰	هزینه کم لامپ‌های فلوئور سنت سبب گسترش استفاده از آن‌ها شد.
دهه ۱۹۵۰	هامون در مطالعه‌ای که در سال ۱۹۴۸ انجام داد برخی موضوعات اساسی را مطرح کرد که نیاز به تحقیقات بنیادی دارد: ۱. تعداد و محل طراحی بازشوها به عنوان منبع دریافت نور روز تحت شرایط مختلف آب و هوایی. ۲. سایه‌بان برای کاهش خیرگی حاصل از تابش منبع نور (Hamon, 1948) اهمیت نکاتی که هامون ذکر کرده بود، نوع نگرش را از کمیت نور روز به کیفیت و توجه به آسایش بصری با توجه به بحث خیرگی و سطوح فضا تغییر داد.

[1] Zero Energy Buildings (ZEB)
[2] Sustainable Schools
[3] The Illumination Engineering Society of North America (IESNA)

دوره زمانی	ویژگی‌های طراحی مدارس و روشنایی کلاس‌های درس
۱۹۵۹	محققان انجمن مهندسی روشنایی (IES) از یک روش آزمایشی به نام "ارزیابی وظایف بصری" برای تعیین مجموعه‌ای از استانداردهای سطح نور استفاده کردند.
	سطح نور کلاس از ۳۰ به ۷۰ فوت کندل افزایش یافت. (Building research institute, 1959)
اواخر ۱۹۶۰	صنعت ارتباط بهتری با نور مصنوعی برقرار کرد.
۱۹۶۹	تاکید از نور روز به نور مصنوعی تغییر کرد (Castaldi, 1969, 194) شورای ملی ساخت مدرسه[2](NCSC) از این روند حمایت و اشاره کرد: نور روز منعکس شده از آسمان، پنجره‌ها و دیوارهای روشن ساختمان‌های مجاور، رایج‌ترین منابع نور هستند که تعادل روشنایی توصیه شده در این راهنما را برهم می‌زنند (NCSC, 1969, 131).
اوایل دهه ۱۹۷۰	واینستین[3]بیان کرد، کلاس‌های بدون پنجره هیچ تاثیر منفی قابل تشخیصی بر یادگیری دانش‌آموزان ندارند (Weinstein, 1979).
دهه ۱۹۷۰	آزمایشگاه امکانات آموزشی[4](EFL) از تاثیرگذارترین گزینه‌ها در زمینه نظریه پردازی و ساخت مدرسه در دهه ۱۹۷۰ بود که توسط بنیاد فورد، از سال ۱۹۵۸ تا ۱۹۷۷ تامین مالی می‌شد. این گروه "مدارس پلان باز" را ترویج دادند (Marks, 2009).
	جنبش حفظ انرژی در این دوره شکل گرفت.
	کلاس‌های پدون پنجره محبوبیت یافت که از نظر واینستین یک نوآوری در معماری است. عوامل موثر در گسترش این نوع کلاس ها، رهایی از گرمای بیش از حد، خیرگی و حواس پرتی و همچنین افزایش فضای قابل استفاده روی دیوارها و انعطاف پذیری فضا برای چیدمان متنوع است (Weinstein, 1979).
	مک گافی[5]در مطالعات خود بیان کرد، کلاس بدون پنجره تاثیری در عملکرد دانش‌آموزان ندارد. این موضوع نشان دهنده اهمیت تکرار و آزمایش مجدد یافته‌های پژوهشی است (Mc Guffey, 1982).
دهه ۱۹۸۰	کاهش سرمایه گذاری در تسهیلات و نوسازی مدارس به منظور بهبود شرایط مطابق با استانداردهای اولیه.
	انجمن مهندسی روشنایی آمریکای شمالی (IESNA) ۵۰ فوت کندل (۵۳۸ لوکس) را برای فعالیت‌های عادی کلاس و ۱۰۰ فوت کندل (۱۰۷۶ لوکس) را برای آموزش روی تخته سیاه پیشنهاد می‌دهد. وجود حداقل یک پنجره در کلاس برای دستیابی به کیفیت مناسب لازم است (Rea, 2000).
دهه ۱۹۹۰	ظهور جنبش ساختمان‌های سبز و ساختمان‌های با بازدهی بالا
	کریستوف رینهارت و مردالجویک و ترگنزا بر روی مدلسازی نور روز مبتنی بر آب و هوا (CBDM) کار می‌کردند.
۱۹۹۲	تولید هورمون کورتیزول در دانش‌آموزان و دریافت نور روز همبستگی مثبت دارند (Kuller and Lindsten, 1992).
	مطالعاتی درباره نور روز گروه هیشانگ انجام گرفت و نشان داد مدارس با بازدهی انرژی بالا می‌توانند بر یادگیری دانش‌آموزان تاثیر مثبت داشته باشند.
۱۹۹۸	سازمان رتبه‌بندی ساختمان‌های سبز (LEED) راه اندازی شد.
دهه ۲۰۰۰	در اوایل این دهه جنبش جدید رشد خوبی داشت و یکی از مهم‌ترین تاثیرات بر ساخت مدارس و بناها را داشت (Taylor, 2008).
	روشنایی مورد نیاز برای کلاس درس طبق راهنمای طراحی انرژی پیشرفته[6](ASHRAE) که توسط IESNA پشتیبانی می‌شود، ۳۰ تا ۷۰ فوت کندل و براساس دستورالعمل IESNA ۵۰ تا ۱۰۰ فوت کندل پیشنهاد می‌شود (Wu & Ng, 2003).
۲۰۰۲	مطالعات به شکل‌گیری استاندارد ANSI 12.60 کمک کرد. این استاندارد توسط انجمن آکوستیک آمریکا نوشته شده‌بود.

بهره‌وری انرژی و آسایش بصری در مدارس

نور روز و بهره‌وری انرژی

تحریم نفتی و بحران انرژی سال ۱۹۷۳ انسان‌ها را به سمت استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و صرفه‌جویی در مصرف سوخت‌های فسیلی هدایت کرد. معماری خورشیدی راه حلی بود که در اواخر دهه ۱۹۷۰، بویژه در جنوب غربی آمریکا گسترش پیدار کرد. استفاده جهانی از تمام منابع انرژی تا سال ۲۰۳۰ درحال افزایش است، سوخت‌های فسیلی بیشتر انرژی مصرفی را تامین می‌کنند، ولی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر درحال افزایش است (بوبکری، ۱۳۹۷). رسیدن به توسعه پایدار یکی از اهداف کشورمان ایران است. در این بین مصرف انرژی از مهم‌ترین موارد تاثیرگذار بر این موضوع بشمار می‌رود. به همین دلیل مصرف انرژی در ساختمان‌ها، که اکثرا از سوخت‌های فسیلی و یا برق استفاده می‌کنند بسیار مورد توجه است. استفاده از نور طبیعی یکی از مواردی است که بر میزان انرژی الکتریکی تاثیر می‌گذارد و سیستم‌های روشنایی یکی از مهم‌ترین مصرف کنندگان انرژی الکتریکی به حساب می‌آیند. کمبود منابع و رشد سریع میزان مصرف انرژی الکتریکی در

[1] Visual task evaluator
[2] National Council on Schoolhouse Construction (NCSC)
[3] Weinstein
[4] Educational Facilities Laboratory (EFL)
[5] Mc Guffey
[6] The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)

کشور، سبب تمرکز بیشتر بر مصرف انرژی و دستیابی به روش‌هایی شده که ضمن حفظ کارایی، امکان صرفه‌جویی در مصرف انرژی الکتریکی را فراهم کند.

روشنایی طبیعی روز، نوری رایگان، همراه با توزیع طیف برق ۳۲۰ تا ۲۶۰۰ نانومتر به صورت مداوم به ارائه می‌دهد که پیامدهایی برای گرمایش، سرمایش و میزان تقاضای انرژی روشنایی یک ساختمان دارد (Dubois et al., 2015: 326). نوروز به صورت مستقیم سبب کاهش انرژی مورد نیاز برای روشنایی اتاق می‌شود. اینکه این نور تا چه اندازه می‌تواند جایگزین میزان استفاده از روشنایی الکتریکی شود، با طراحی، مکان، هدف و نوع استفاده از فضای داخل ساختمان ارتباط دارد. نمی‌توان نقش تاثیرگذار نور روز بر شکل گیری فرم ساختمان‌ها به لحاظ جهت‌گیری، توجه به سایه‌اندازی و ویژگی‌های ساختاری آن، فضای داخلی و آسایش محیطی کاربران نادیده گرفت. بنابراین نور روز یک آغاز طبیعی است (Derek, 2004).

در حال حاضر تامین روشنایی و نورپردازی داخلی فضاها به صورت گسترده‌ای از طریق نورپردازی مصنوعی انجام می‌شود، از این رو با توجه به گستردگی و سهولت دسترسی به نور مصنوعی در تمام ساعات شبانه روز، مصرف انرژی به صورت بی‌رویه‌ای افزایش یافته است که زندگی بشر را تهدید می‌کند. با وجود در دسترس بودن نور مصنوعی و امکان استفاده از آن در لحظه، نمی‌توان این موضوع را که تولید آن تا چه اندازه هزینه بر است نادیده گرفت و باید برای بهره‌گیری از نور روز به جای نور مصنوعی برنامه‌ریزی کرد. اولین راه‌حلی که برای افزایش بهره گیری از نور روز به نظر می‌رسد، افزایش سطح نورگذرها به منظور دریافت حداکثر نور روز ممکن است. باید توجه کرد که افزایش سطح نورگذرها بدون مطالعه و بررسی، می‌تواند منجر به افزایش بار حرارتی خورشید و افزایش مصرف انرژی و همچنین بروز خیرگی و کاهش آسایش بصری کاربران شود. با طراحی صحیح سطوح شفاف نورگذر از نظر مکان، جهت‌گیری، اندازه و مصالح مورد استفاده، می‌توان میزان نور روز دریافتی را به حداکثر رساند. در صورت بهره‌گیری از نورگیرهای سقفی و یا پنجره‌های دیواری، باید احتمال نیاز به سایبان و یا سطوح بازتابنده را به منظور کاهش و یا حذف خیرگی مخل آسایش مورد بررسی قرار داد (Al-Obaidi, 2017: 87; Byrd, 2012: 208). یک فضای آموزشی در اولین و آخرین ساعات اشغال فضا و در طول فصل زمستان (در نیمکره شمالی) نور کمی دریافت می‌کند که در صورت بهره‌برداری موثر، می‌تواند کافی باشد. از طرف دیگر در صورت استفاده بیش از اندازه از نور روز در زمان ظهر و در تابستان، می‌تواند منجر به بروز خیرگی، مختل شدن دید و دریافت گرمای خورشیدی ناخواسته شود (Byrd, 2012: 208). به منظور به دست آوردن روشنایی مطلوب و به حداقل رساندن مصرف انرژی در مورد دوم، بررسی و کنترل طراحی صحیح تناسبات عناصر مختلف مانند فضای داخلی، چیدمان بخش های مختلف نما، پنجره‌ها و سایبان‌ها را بسیار مهم می‌کند (Haase & Grynning, 2017: 485). نور مصنوعی تا ۴۰ درصد از کل مصرف را به خود اختصاص می‌دهد، بنابراین پتانسیل زیادی برای صرفه جویی در مصرف انرژی با استفاده از نور روز به عنوان منبع روشنایی داخلی ایجاد می‌کند (Gago et al., 2015, 4; Ponmalar & Ramesh, 2014: 60). مطالعات نشان داده که ۴۰٪ کاهش در مصرف انرژی روشنایی سبب ۱۷٪ کاهش در مصرف انرژی اولیه می‌شود (Knoop et al., 2020, 424).

در ساختمان‌های کارای امروزی بهره‌گیری از لامپ‌های کم مصرف، استفاده از نور روز و کنترل میزان روشنایی مورد نیاز مبتنی بر تقاضای کاربران، در حال تبدیل شدن به یک روش معمول است (Pandharipande & Newsham, 2018; Dubois & Blomsterberg, 2011). بسیاری از مطالعات انجام شده براساس شبیه‌سازی و همچنین بررسی‌های میدانی برای انواع مختلف ساختمان، تاثیر مثبت بهره‌گیری از نور روز و کنترل روشنایی بر میزان مصرف انرژی برای تامین روشنایی را نشان می‌دهد (Wong, 2017, 961; Simson et al., 2016, 125; Choi et al., 2016, 125). براساس مطالعات انجام شده توسط لی و لام در سال ۲۰۰۱، برنامه روشنایی مناسب در ارتباط با تغییرات نور روز می‌تواند منجر به ۵۰ درصد صرفه‌جویی در روشنایی الکتریکی در ساختمان شود. در حالی‌که کاهش بهره‌گیری از روشنایی مصنوعی در ساختمان از طریق تئوری‌های نور روز، نیاز به برق را کاهش می‌دهد، بارهای گرمایشی و سرمایشی و کل مصرف انرژی ساختمان را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد (Hee et al., 2015: 324).

ایران به دلیل نزدیکی به خط استوا و تنوع آب و هوایی بالا، در بهترین شرایط برای دریافت تابش خورشیدی قرار دارد و به طور متوسط حدود ۲۸۰ روز آفتابی دارد. در سال ۲۰۲۰ تنها ۹۰۰ مگاوات (حدود ۴۸۰ نیروگاه خورشیدی و ۴۲۰ مگاوات نیروگاه خورشیدی خانگی) از برق مورد نیاز ایران از انرژی خورشیدی تامین شد که این میزان در مقایسه با میانگین جهانی بسیار پایین است. همچنین در سال ۲۰۲۱، ۴۵۰ مگاوات برق خورشیدی تولید شد که کمتر از ۱ درصد ظرفیت بود (ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۹، ۱۴۰۱) و این میزان تولیدی در مقایسه با کشورهای همسایه بسیار ناچیز است. ایران به طور متوسط سالانه ۲۲۰۰–۱۹۰۰ کیلووات ساعت تابش خورشیدی در هر متر مربع دارد و ۹۰ درصد مساحت کشور، خورشید کافی برای تولید انرژی خورشیدی در ۳۰۰ روز در سال دارد. براساس مطالعات انجام شده در سال‌های اخیر، استقلال انرژی در ایران بدون بهره‌گیری از سوخت‌های فسیلی، تا سال ۲۰۳۰ یک گزینه قابل دستیابی است (Aghahosseini et al., 2018: 20). به گفته مهدی زارع استاد پژوهشگاه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ایران پتانسیل افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در ترکیب انرژی خود

را از حدود یک درصد در سال ۲۰۱۸ به ۱۶ درصد تا سال ۲۰۳۰ دارد. ایران توانایی تولید ۴٫۵ تا ۵٫۵ کیلووات–ساعت در هر مترمربع در روز انرژی خورشیدی دارد. باتوجه به توانمندی انرژی خورشیدی در کشورمان، فرصت مناسبی برای گسترش بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر در سال‌های آینده با یک برنامه ریزی بلند مدت وجود دارد.

آسایش بصری در مدارس

کودکان به عنوان حساس‌ترین گروه سنی جامعه باید فضایی در راستای پرورش و رشد استعدادها و خلاقیت‌شان را تجربه کنند (حسین پوریان، ۱۳۹۰، ۴۲). یادگیری تنها یک نتیجه نبوده و نیازمند طی یک فرآیند در فضایی است که امکان ادراک و تعقل را برای دانش‌آموزان فراهم آورد. کیفیت روشنایی در فضاهای آموزشی در واقع تجمیع کننده‌ی نیازهای انسان، معماری، اقتصاد و محیط (مهدوی نژاد، طاهباز و دولت آبادی، ۱۳۹۵، ۸۳) و تامین کننده آسایش بصری است. در استاندارد اروپا (BS EN 12665, 2011) آسایش بصری به عنوان شرایط ذهنی و درونی که توسط محیط بصری برای شخص ایجاد شده است تعریف می‌شود. آسایش بصری به عواملی همچون: فیزیولوژی چشم انسان، کمیت‌های فیزیکی توصیف کننده میزان نور و توزیع آن در فضا و همچنین انتشار طیف منبع نور بستگی دارد. با ارزیابی مجموعه‌ای از عوامل که ارتباط میان نیازهای کاربران و نور محیط را تنظیم می‌کند، این موضوع مورد بررسی قرار می‌گیرد. این عوامل شامل میزان نور دریافتی، یکنواختی نور دریافتی، کیفیت نور در دریافت رنگ‌های مختلف و پیش بینی خطر خیرگی برای کاربران فضا می‌شود (BS EN 12665, 2011). در این میان، توزیع یکنواخت روشنایی خصوصا در مکان‌هایی مانند محیط‌های آموزشی و کلاس‌های درس که غالبا فعالیت بصری در آن‌ها انجام می‌گیرد، از اهداف نورپردازی محسوب می‌شود.

این موضوع که وجود خورشید بخش بسیار مهمی از زندگی انسان بر روی زمین است یک امر بدیهی است ولی با این وجود گرایشی وجود دارد که فقط از آن استفاده شود چون یک منبع نامتناهی و رایگان روشنایی است که همیشه وجود دارد (Derek, 1964). بهره‌گیری از نور روز فرآیند کامل و تمام عیاری در طراحی ساختمان‌ها برای رسیدن به بالاترین حد بهره‌برداری از نور طبیعی است. این فرآیند همه‌ی موارد زیر را دربر می‌گیرد:

- استقرار بنا، یعنی جهت بنا به منظور استفاده‌ی بهینه از نور آفتاب.
- توده ساز بنا، یعنی استقرار سطوح بهینه ساختمان به سمت خورشید.
- طراحی پنجره‌بندی برای ایجاد امکان ورود نور مناسب به بنا متناسب با فصول و آب و هوا و حرکت روزانه‌ی زمین به دور خورشید.
- سایه بازی نمای بنا و پنجره‌بندی‌ها برای محافظت از بنا در برابر تشعشعات خورشیدی ناخواسته.
- افزودن ابزارهای سایه‌ساز مناسب مانند کرکره و پرده برای ایجاد امکان کنترل نور طبیعی توسط ساکنین بنا.
- طراحی کنترل کننده‌های نورپردازی الکتریکی با هدف تحقق صرفه‌جویی تمام و کمال در مصرف انرژی در هنگام استفاده از نور طبیعی (Dubois, 2001).

روشنایی بیش از اندازه توسط لامپ‌ها و روشنایی الکتریکی، تاثیرات نامطلوبی بر شرایط روحی و جسمی دارد که بر توان یادگیری دانش آموزان نیز تاثیر گذار است. تحقیقات نشان داده قدرت یادگیری دانش‌آموزانی که در کلاس‌های با روشنایی طبیعی تحصیل کرده‌اند بهبود یافته است (Atre, 2003). استفاده از نور روز در ساختمان به دو دلیل صورت می‌گیرد، اول تامین آسایش بصری که به دنبال آن بهبود عملکرد و سلامت کاربران رخ می‌دهد، دوم صرفه‌جویی در مصرف انرژی که منجر به بهره‌وری انرژی خواهد شد. توجه به این نکته حائز اهمیت است که تامین روشنایی به تنهایی نمی‌تواند معیاری برای کارایی سازوکار بکار رفته باشد، بلکه عوامل دیگری نیز باید در نظر گرفته شود. نیازهای روشنایی به نوع کاربری وابسته است، با این وجود سه عامل در تامین نور روز مطلوب باید در نظر گرفته شوند: کیفیت نور، کمیت روشنایی و توزیع مناسب نور که این عوامل را براساس استاندارد IEA (IEA, 2010) و CHPS (CHPS, 2002) می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

– توزیع یکنواخت نور روز – نبود خیرگی و چشم زدگی– کاهش مصرف انرژی – توجیه اقتصادی– مسائل ایمنی و امنیتی– هزینه پایین نگهداری– داشتن دید به مناظر بیرون

توزیع یکنواخت نور روز و جلوگیری از بروز خیرگی مخل آسایش و چشم زدگی سبب ایجاد آسایش بصری می‌شود. آسایش بصری از ویژگی های مهم در طراحی محیط‌های کار و زندگی محسوب شده و معیاری برای سنجش کیفیت روشنایی است. آسایش بصری بیان کننده درصدی از افراد و یا کاربران فضای معماری است که در رابطه شدت خیرگی در یک محیط معماری احساس آسایش می‌کنند (Ward, 1991). بعلاوه هرگونه استفاده بهره‌گیری کنترل نشده و بیش از حد استاندارد نور، همچون فقدان روشنایی محیطی، آلودگی نور است. سطوحی که روشنایی بیش از ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ لوکس بازتاب می‌کنند سبب خیرگی می‌شوند. سطح روشنایی میزان کیفیت بینایی را تعریف می‌کند. در استاندارد اروپا (BS EN 12665, 2011) آسایش بصری به عنوان شرایط ذهنی و درونی که توسط محیط بصری برای شخص ایجاد شده است تعریف می

شود. آسایش بصری به عواملی همچون: الف. فیزیولوژی چشم انسان، ب. کمیت‌های فیزیکی توصیف کننده میزان نور و توزیع آن در فضا، پ. انتشار طیف منبع نور بستگی دارد. با ارزیابی مجموعه‌ای از عوامل که ارتباط میان نیازهای کاربران و نور محیط را تنظیم می‌کنند، این موضوع مورد بررسی قرار می‌گیرد. این عوامل شامل: الف. میزان نور دریافتی، ب. یکنواختی نور دریافتی، پ. کیفیت نور در دریافت رنگ‌های مختلف، ت. پیش بینی خطر خیرگی برای کاربران فضا (BS EN 12665, 2011).

بنابراین نورگیری طبیعی در ساختمان نیازمند بررسی‌های اساسی و بنیادین است و درصورت در نظر نگرفتن هریک از اصول، طراحی نورگیری طبیعی بنا با مشکل روبرو خواهد شد. نور روز از عالی ترین چشمه‌های نور برای نورپردازی فضاهای داخلی به خصوص محیط‌هایی که فعالیت های دقیق بصری در آن جریان دارد، مانند فضاهای آموزشی و یا کتابخانه‌ها و همچنین فضاهای عمومی مانند فرودگاه‌ها و فضاهای فرهنگی یا تجاری است و علاوه بر تامین حس آرامشی که در استفاده کننده ایجاد می‌کند بازدهی بیشتری نیز در عملکرد افراد برجای گذاشته و سبب بهره‌وری انرژی می‌شود.

بهره‌وری انرژی در مدارس

بهینه سازی مصرف انرژی در بهبود کیفیت فضای داخلی ساختمان و آسایش محیطی دانش‌آموزان در مدرسه تاثیر گذار است، اما نمی‌توان از تاثیر آن بر هزینه‌ها نیز چشم پوشی کرد. بررسی مصرف انرژی، بهترین روش برای صرفه‌جویی و بهینه‌سازی مصرف انرژی است (Fiaschi, Bandinelli & Conti, 2012: 104). از آنجا که سیستم روشنایی یک ساختمان معمولاً بیش از ۳۰٪ کل انرژی مصرف شده در یک ساختمان را شامل می‌شود، و این مقدار در ایران برابر با ۲۰ درصد از برق تولیدی است یکی از راهکارهای کاهش مصرف انرژی، استفاده از نور طبیعی خورشید است که منجر به بهبود عملکرد دانش‌آموزان نیز می‌شود. با طراحی اصولی نورگذرها می‌توان میزان مصرف انرژی را تا حد قابل قبولی کاهش داد. در صورت طراحی شاکله نورگذرها متناسب با کاربری فضا و شرایط اقلیمی در جهت بهره‌گیری مناسب از نور روز به عنوان یکی از منابع گسترده انرژی‌های تجدیدپذیر، می‌توان به بهره‌وری انرژی دست یافت. با پیشرفت تکنولوژی و انجام مطالعات گسترده در زمینه انرژی، روش‌های بهره‌وری انرژی نیز به روزتر می‌شود. شکل و جهت‌گیری بنا، همسایگی‌ها، ساختگاه طراحی، شرایط آب و هوایی، کاربری فضا و مدت زمان استفاده از آن توسط کاربر، سن ساختمان و تعمیر و نگهداری از آن موارد تاثیرگذار بر عملکرد مصرف انرژی در ساختمان‌اند (جهانگیر و رشیدی، ۱۴۰۱: ۷۱).

کاهش میزان انرژی مصرفی برای نورپردازی ساختمان، باعث کاهش میزان گرمای تولید شده توسط منابع روشنایی الکتریکی و همچنین سبب کاهش بار برودتی ساختمان می‌شود (Boubekri, 2014). بر اساس اعلام وزارت انرژی آمریکا[1] و EIA، بیش از ۱۵% برق تولید شده در کشور آمریکا مربوط به روشنایی الکتریکی در ساختمان‌ها است. بر اساس اطلاعات سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا) در سال ۹۷، ۳۰٪ مصرف انرژی برق در حوزه خانگی مربوط به سیستم‌های روشنایی است که این مقدار در مقایسه با میانگین ۱۸درصدی جهان بسیار بالاتر است و استفاده از نور طبیعی منجر به صرفه‌جویی قابل توجهی در انرژی می‌شود. قانون سیاست‌گذاری انرژی در سال ۲۰۰۵، زمان بهره‌گیری از نور روز (DST)[2] را به مدت سه هفته در بهار و یک هفته در پاییز افزایش داد تا با بهره‌گیری بیشتر از روشنایی طبیعی که توسط DST ایجاد شده، میزان بهره‌وری انرژی نیز افزایش یابد (Murray, 2011). مدارس می‌توانند با کمک شیوه‌های طراحی، بیشترین استفاده را از نور روز در طول زمان‌های بهره‌گیری از مدرسه را داشته باشند.

ارزیابی عملکرد نور روز

معیارهای نور روز مبتنی بر شدت روشنایی، نزدیک به یک قرن است که برای ارزیابی عملکرد نور روز در فضاهای داخلی استفاده می‌شود می توان نمونه‌های ابتدایی را همچون فاکتور نوروز[3] و یا حداقل شدت روشنایی[4] سطح کار در شرایط آسمان صاف[5] در زمان طراحی محاسبه کرد، بعلاوه اگر شرایط موجود به آسمان اصلی شباهت داشته باشد، امکان اندازه‌گیری به صورت مستقیم در فضای واقعی وجود دارد. اخیرا استانداردهای ساختمان و سیستم‌های رتبه‌بندی ساختمان‌های سبز، به سمت معیارهای تابش نور روز بر پایه آب و هوا[6] حرکت کرده است که نمونه‌هایی از آن عبارت است از استقلال نوروز (Reinhart & Walkenhorst, 2001: 684) که از طریق انجمن مهندسی روشنایی آمریکای

[1] Department of Energy (DOE)
[2] Daylight Savings Time (DST)
[3] Daylight Factor
[4] Illuminance
[5] Clear Sky
[6] (CBDM) Climate- Based Daylighting Metrics

شمالی[1]اندازه‌گیری روشنایی شده و همچنین شدت روشنایی نور روز مفید، ارتقا می‌یابد (Nabil & Mardaljevic, 2005). معیارهای تابش نور روز بر پایه آب و هوا (CBDM)، توزیع‌های روشنایی را که در همه شرایط آسمان در ساعات منظم اشغال فضا مشاهده می‌شود، در نظر می‌گیرد. باتوجه به اینکه هرگونه تلاش برای اندازه‌گیری مستقیم معیار تابش نور بر پایه آب و هوا، نیاز به یک سال بررسی کامل دارد. این معیارها باید واقع‌بینانه و با استفاده از یک موتور شبیه سازی مانند دیزاین بیلدر در ارتباط با انرژی و کلایمت استودیو در ارتباط با نور روز تعیین شوند.

در حال حاضر از مدل‌سازی‌های ساختمانی به صورت گسترده‌ای در طراحی نور روز استفاده می‌شود. اگر یک مدل‌سازی، به اندازه کافی به فضای واقعی شبیه باشد و در شرایط آسمان مشابه مورد آزمایش قرار گیرد، نتایج حاصل با نتایج فضای واقعی ساختمان یکسان خواهد بود (Gregg, 1995). این مدل سازی‌ها متناسب با نیاز و دقت کار در مقیاس‌های متفاوتی طراحی و ساخته می‌شوند. به کمک شبیه‌سازی و با بهره‌گیری از شاخص‌ها، امکان بررسی میزان روشنایی و بهره‌وری انرژی بر اساس نور روز دریافتی فراهم شده است. مطلوبیت روشنایی در کلاس‌های درس زمانی برقرار می‌شود که هم نیازهای بصری دانش آموزان تامین شود و هم به لحاظ اقتصادی شرایط مناسبی فراهم شده باشد. هدف از بهره‌وری انرژی در مدارس نیز تامین روشنایی با کیفیت در کلاس‌ها به همراه کاهش انرژی روشنایی است.

نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

بدیهی است که تا به امروز، نور روز بهترین منبع روشنایی در ساختمان مدارس بوده و طراحی ساختمان‌های آموزشی در مقایسه با طراحی سایر کاربری‌های ساختمانی، فاقد تأثیرات تجاری است. بعلاوه تغییر دائمی نور خورشید در طول روز، سبب آرامش بصری و ارتباط با چشم اندازی در حال تغییر می‌شود، همه دلایل خوبی برای استفاده از روشنایی طبیعی در مدارس است. بر اساس بررسی‌های انجام شده سه عامل عمده بر توسعه نوروز در مدارس تاثیر می‌گذارند:

۱. رشد و پیشرفت فناوری در جوامع مختلف منجر به تکامل بهره‌گیری از نور روز در مدارس می‌شود. همگام با توسعه علم ساختمان، استفاده از نور روز نیز پیشرفت‌هایی داشته است، از جمله بهره‌گیری از رف نوری به عنوان یکی از انواع نوگذرها که امکان افزایش عمق نفوذ همراه با کاهش خیرگی را در فضا فراهم می‌آورد، و یا لوله‌های نوری که به کمک انعکاس‌های پیاپی امکان استفاده از نور روز در عمق فضا را فراهم می‌آورد. در دهه‌های گذشته نیز پیشرفت‌ها در صنعت ساختمان سازی جنبش‌های همچون جنبش مدارسی برای آینده (BSF) مدارس باز را در اوایل قرن بیستم به وجود آورد. با پیشرفت علم در ارتباط با بحث نور، بهره‌گیری از ابزارهای پیشرفته اندازه‌گیری و شبیه‌سازی نور روز علاوه بر کمک به درک درست از شرایط نور روز در فضای داخلی، امکان پیش‌بینی توزیع نور روز با دقت بسیار خوبی را فراهم می‌آورد. به کمک شبیه‌سازی نور روز می‌توان میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی در صورت طراحی اصولی و شاکله‌بندی نورگذرها متناسب با فضا و کاربری آن را ارزیابی کرد.

۲. انرژی عامل اعمال قدرت حکومت‌ها برای توسعه است. با توجه به بحران انرژی و همچنین افزایش تقاضای انرژی به سبب رشد نسبی جمعیت و فعالیت‌های صنعتی در جهان تقاضای انرژی افزایش یافته و این موضوع نیاز به توجه هرچه بیشتر به بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر را به اثبات می‌رساند. بررسی سیر تحولی بهره‌گیری از نور روز در دوره‌های مختلف نشان می‌دهد در دهه ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ به سبب ارزان بودن انرژی الکتریکی، مدارس بدون پنجره ساخته شدند. این موضوع علاوه بر بحث انرژی، اثرات جبران ناپذیری بر سلامت جسمی و روحی کاربران خواهد داشت. بحران نفت در دهه ۱۹۷۰ مردم را متوجه اهمیت کاهش مصرف انرژی کرد و مدارس غیر فعال خورشیدی بوجود آمدند. امروزه بنیان و تفکر سبز مربوط به ساختمان‌های مدارس، بر معیارهای طبیعی و زیست محیطی به منظور تامین آسایش بصری دانش آموزان تاکید دارد.

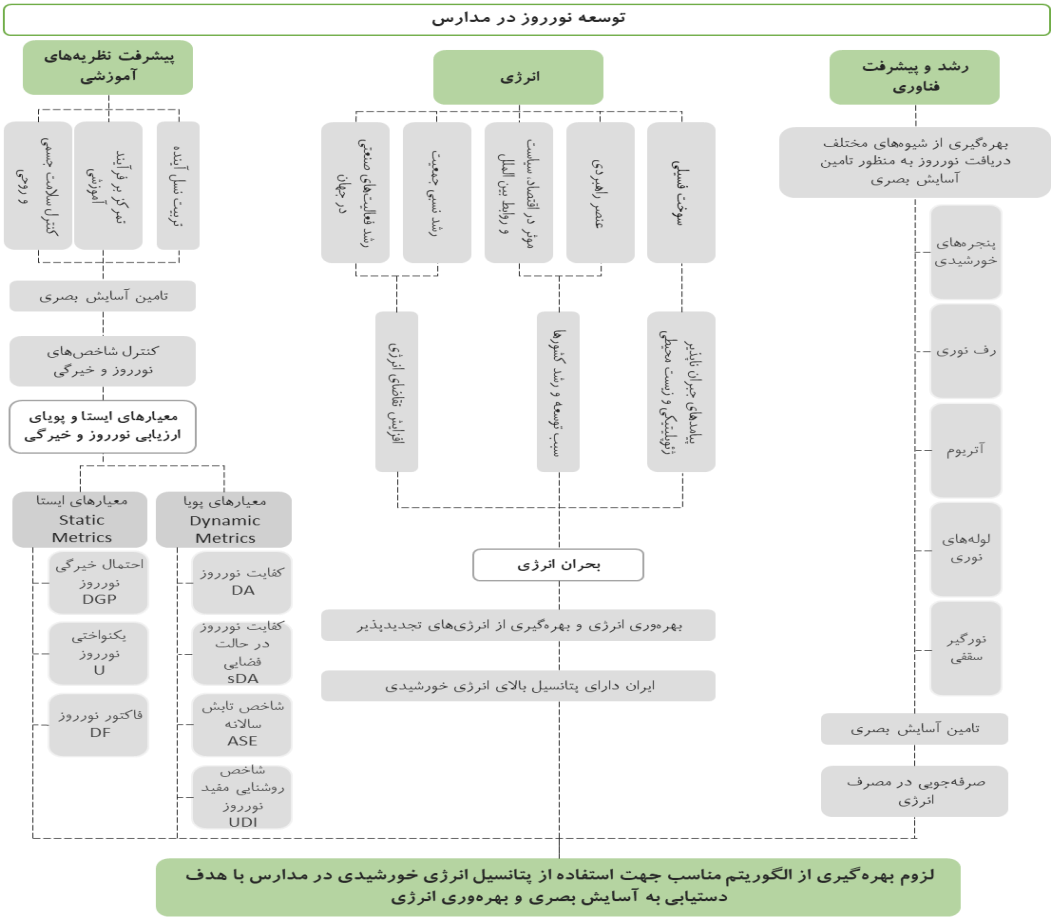
۳. توسعه نور روز در مدارس و پیشرفت نظریه‌های آموزشی در قرن بیستم به صورت موازی با هم حرکت می‌کنند. به عنوان مثال، به نظر می رسد در طول دهه ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ مفهوم آموزش مترقی، با تاکید بر پیش‌ساختگی و انعطاف‌پذیری متناسب با جنبش معماری مدرن باشد و به این ترتیب به شما اجازه می‌دهد تا حد ممکن سطح شیشه در کلاس‌ها افزایش یابد. در قرن بیست و یکم، آموزش با کیفیت نیازمند یک مدرسه چند منظوره و در ارتباط با محیط زیست با بالاترین کیفیت است.

توسعه نور روز در مدارس را می‌توان به صورت نوسان یک آونگ به جلو و عقب تصور کرد، از پنجره‌های کوچک به تقاضای بزرگتر بودن پنجره‌ها، از کلاس‌های بدون پنجره تا مدارس غیرفعال خورشیدی. این بررسی نشان می‌دهد که سه عامل بالا، سبب پیشرفت نور روز در مدارس شده و در آینده نیز بر این موضوع تاثیر گذار خواهند بود. در نهایت با مشاهده پیشرفت‌های نور روز در مدارس در قرن ۱۹ و ۲۰،

[1] (IESNA) Illuminating Engineering Socity of North America

روندهای اخیر توسعه آن پیش‌بینی می‌شود. براساس تحقیقات انجام شده، توسعه فناوری، تغییر نظریه‌های آموزشی و قدرت تحول اجتماعی، سیاسی و اقتصادی به صورت قابل توجهی به توسعه روشنایی در مدارس کمک می‌کند. به نظر می‌رسد که این موارد در آینده نیز تغییرات مشابهی را ایجاد خواهند کرد. تغییر در مقررات و ضوابط سال‌های اخیر سبب حرکت از کمیت به کیفیت نور هم در مباحث تحقیقاتی و هم عملی شده است. به طور کلی ما درک درستی از کیفیت نور روز در مدارس و ارتباط میان کیفیت و کمیت آن نداریم و نیازمند تحقیقات گسترده تر است. بررسی اصول و ضوابط مرتبط با نور روز در ایران نیازمند به‌روزرسانی و حرکت دانش بنیان به سوی اهداف کشور است که پیشنهاد می‌شود موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و همچنین سازمان نوسازی و توسعه و تجهیز مدارس با به‌روزرسانی آئین‌نامه و ضوابط موجود گامی موثر در جهت بهبود کیفیت و کمیت روشنایی در مدارس بردارند و علاوه بر افزایش کارایی دانش‌آموزان، میزان مصرف انرژی نیز کاهش یابد.

تصویر ۱ دیاگرام تبیین لزوم بهره‌گیری از نور روز در مدارس را ارائه می‌دهد. براساس این دیاگرام توسعه نور روز در مدارس وابسته به سه اصل رشد و پیشرفت فناوری، بحث انرژی و همچنین پیشرفت نظریه‌های آموزشی است. بر این اساس با استفاده از شیوه‌های نوین دریافت نور روز می‌توان ضمن تامین روشنایی روز لازم برای فضا، سبب افزایش عمق نفوذ نور روز، بهبود یکنواختی و همچنین کاهش خیرگی مخل آسایش شده و به این ترتیب با توجه به تامین نور لازم توسط روشنایی طبیعی خورشید، میزان مصرف انرژی الکتریکی برای مصرف روشنایی را کاهش داد. توجه به بحث انرژی نیز بیانگر اهمیت کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی است. انرژی عامل اعمال قدرت حکومت‌ها برای توسعه است و به عنوان عنصری راهبردی و موثر در اقتصاد، سیاست و روابط بین‌الملل سبب توسعه و رشد کشورها می‌شود. از طرف دیگر با توجه به رشد نسبی جمعیت و همچنین رشد فعالیت‌های صنعتی در جهان، تقاضای انرژی افزایش یافته و در صورت بهره‌گیری از سوخت‌های فسیلی، با اثرات مخرب زیست محیطی و ژئوپلیتیکی مواجه خواهیم شد که غیرقابل جبران هستند. بنابراین با وقوع بحران انرژی در دنیا، بهره وری انرژی و بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر بسیار مهم است. باتوجه به اینکه ایران دارای پتانسیل بالای انرژی خورشیدی است و براساس آمار موسسه منابع جهانی رتبه ۱۶ در پتانسیل انرژی خورشیدی در جهان را داراست، لزوم بهره‌گیری از این انرژی در دسترس و رایگان بیش از پیش به اثبات می‌رسد.



تصویر ۱- دیاگرام تبیین لزوم بهره‌گیری از نور روز در مدارس

سومین عامل موثر در توسعه نور روز مدارس، پیشرفت نظریه‌های آموزشی در گذر زمان است. اهمیت محیط‌های یادگیری به واسطه حضور دانش‌آموزان به عنوان نسل آینده، تمرکز بر فرآیند آموزشی آن‌ها و همچنین توجه به کنترل سلامت جسمی و روحی دانش‌آموزان از جمله مواردی است که فارغ از تامین کمیت نور روز در فضاهای آموزشی مورد توجه قرار گرفته و لزوم تامین آسایش بصری در این فضا را نشان می‌دهد. امید است معماران اشتباهات قبلی را بررسی کرده و تغییراتی که در فلسفه و پیشرفت فناوری وجود دارد، نشان دهنده بهبود دائمی توسعه نور روز باشد، نه فقط چرخه‌ای برای بازگشت به شرایط فعلی. علاوه بر این، در سال‌های اخیر بیشتر تحقیقات در مورد نور روز از انجام فعالیت‌های بصری خاص به درک جنبه‌های کیفی نور منتقل شده است، اگرچه مطالعات قبلی درباره تاثیرات کیفی و روانشناختی نورپردازی بسیار پراکنده و فاقد برنامه مشترک برای راهنمایی محققان است اما دستیابی به نور روز مطلوب، آسایش بصری و بهره‌وری انرژی با توجه به مسیری که سیر بهره‌گیری از نور روز طی کرده، امری دست یافتنی است.

منابع

۱. بوبکری، محمد. (۱۳۹۷). روشنایی طبیعی،استراتژی‌های طراحی ساختمان با رویکرد معماری و سلامتی. مترجم: محمدحسن زهتاب. انتشارات تامر. تهران.

۲. جهانگیر, محمد حسین, رشیدی, ریحانه. (۱۴۰۱). بهینه سازی مصرف انرژی در یک ساختمان آموزشی با کمک سناریوهای فیزیکی. برنامه ریزی شهری و توسعه منطقه‌ای، ۱ (۱)، ۷۳- ۸۸.

۳. حسین پوریان، سمانه. (۱۳۹۰). نقش کودک در شکل گیری فضاهای محیطی. نشریه معماری و فرهنگ، شماره ۴۶: ۴۶-۴۰.

۴. حیدری، شاهین. (۱۳۹۱). معماری و روشنایی. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ دوم. تهران.

۵. حیدری، شاهین، جهانی نوق، مجید. (۱۳۹۳). سازگاری حرارتی در معماری نخستین قدم در صرفه‌جویی مصرف انرژی. انتشارات دانشگاه تهران.

۶. حیدری، شاهین. (۱۳۹۷). درآمدی بر روش تحقیق در معماری با نگرشی تحلیلی بر پایان‌نامه نویسی معماری. انتشارات کتاب فکرنو، تهران.
۷. معاونت امور برق و انرژی دفتر برنامه ریزی و اقتصاد کلان برق و انرژی. (۱۴۰۱). ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۹. وزارت نیرو.
۸. معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی دفتر فناوری اطلاعات و آمار. (۱۳۹۸). گزارش ماهانه آمار صنعت آب و برق. وزارت نیرو.
۹. مهدوی نژاد، محمدجواد؛ طاهباز، منصوره؛ دولت آبادی، مهناز. (۱۳۹۵). بهینه‌سازی تناسبات و نحوه‌ی استفاده از رف نور در معماری کلاس‌های آموزشی. نشریه هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی. ۲۱(۲)، ۸۱-۹۲.
10. Aghahosseini, A., Bogdanov, D., Ghorbani, N., et al. (2018). Analysis of 100% renewable energy for Iran in 2030: integrating solar PV, wind energy and storage. International Journal of Environmental Science and Technology, 15, 17–36. https://doi.org/10.1007/s13762-017-1373-4
11. Al-Obaidi, K. M., Munaaim, M. A. C., Ismail, M. A., & Rahman, A. M. A. (2017). Designing an integrated daylighting system for deep-plan spaces in Malaysian low-rise buildings. Solar Energy, 149, 85-101.
12. ANSI IESNA- RP-3-13. (2014). American National Standard Practice on Lighting for Education Facilities. Illuminating Engineering Society of North America, p. 30.
13. Atre, U. V. (2003). Effect of daylighting on energy consumption and daylight quality in an existing elementary school (Unpublished master's thesis). Texas A & M University, College Station, TX.
14. Baker, L. (2012). A history of school design and its indoor environmental standards, 1900 to today. National Clearinghouse for Educational Facilities. New York.
15. Baker, N., & Steemers, K. (2002). Daylight design of buildings: A handbook for architects and engineers. James & James, London, UK.
16. Booth, R. (2008, July 21). £35bn revamp will produce generation of mediocre schools. The Guardian. https://www.theguardian.com/politics/2008/jul/21/education.secondaryschools
17. Boubekri, M. (2014). Daylighting design: Planning strategies and best practice solutions. Birkhauser, Boston.
18. BS 8206-2: 2008. Lighting for Buildings- Part 2: Code of Practice for Daylighting.
19. BS EN 12665:2011. Light and lighting: Basic terms and criteria for specifying lighting requirements.
20. Building Research Institute. (1959). Building illumination: The effect of new lighting levels. National Academy of Sciences, National Research Council.
21. Byrd, H. (2012). Post-occupancy evaluation of green buildings: The measured impact of over-glazing. Architectural Science Review, 55(3), 206-212.
22. Castaldi, B. (1969). Creative planning of educational facilities. Chicago, IL: Rand McNally & Co. https://archive.org/details/creativeplanning0000unse_e3m2/page/n9/mode/2up
23. Choi, H., Hong, S., Choi, A., & Sung, M. (2016). Toward the accuracy of prediction for energy savings potential and system performance using the daylight responsive dimming system. Energy and Buildings, 133(Supplement C), 271-280.
24. CHPS (The Collaborative for High Performance Schools). (2002). Best practices manual daylighting. Sacramento: CHPS.
25. Code for Interior Lighting. (1977). Chartered Institution of Building Services. London: Chartered Institution of Building Services Engineers.
26. Code for Interior Lighting. (1984). Chartered Institution of Building Services Engineers, London, UK.
27. Derek, P. (1997). Lighting historic buildings. Butterworth-Heinemann, Boston.
28. Derek, P. (2004). Daylighting: Natural light in architecture (1st ed.). Architectural Press, Oxford, UK.
29. Doulos, L. T., Tsangrassoulis, A., Kontaxis, P. A., Kontadakis, A., & Topalis, F. V. (2017). Harvesting daylight with LED or T5 fluorescent lamps? The role of dimming. Energy and Buildings, 140, 336–347. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.013
30. Dubois, M. C. (2001). Impact of solar shading devices on daylight quality: Measurements in experimental office rooms. Lund University, Sweden.
31. Dubois, M. C., & Blomsterberg, A. (2011). Energy saving potential and strategies for electric lighting in future North European low-energy office buildings: A literature review. Energy and Buildings, 43(10), 2572-2582.

32. Dubois, M. C., Bisegna, F., Gentile, N., Knoop, M., Matusiak, B., Osterhaus, W., & Tetri, E. (2015). Retrofitting the electric lighting and daylighting systems to reduce energy in buildings: A literature review. Energy Research Journal, 6, 25-41.
33. Fiaschi, D., Bandinelli, R., & Conti, S. (2012). A case study for energy issues of public buildings and utilities in a small municipality: Investigation of possible improvements and integration with renewables. Applied Energy, 97, 101-114.
34. Gago, E. J., Muneer, T., Knez, M., & Koster, H. (2015). Natural light controls and guides in buildings: Energy saving for electrical lighting, reduction of cooling load. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41, 1-13.
35. Galasiu, A. D., & Veitch, J. A. (2006). Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylit offices: A literature review. Energy and Buildings, 38, 728-742. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.001
36. Gelfand, L., & Freed, E. C. (2010). Sustainable school architecture: Design for elementary and secondary schools (1st ed.). Wiley.
37. Ghosh, A., & Norton, B. (2018). Advances in switchable and highly insulating autonomous (self-powered) glazing systems for adaptive low energy buildings. Renewable Energy, 126, 1003–1031.
38. Gregg, A. (1995). Daylighting performance and design. Van Nostrand Reinhold.
39. Haase, M., & Grynning, S. (2017). Optimized façade design: Energy efficiency, comfort, and daylight in the early design phase. Energy Procedia, 132, 484-489.
40. Hamlin, A. D. F. (Ed.). (1910). Modern school houses: Being a series of authoritative articles on planning, sanitation, heating, and ventilation (Vol. 1). Swetland Publishing Co.
41. Hamon, R. L. (1948). Needed research in the school-plant field. Review of Educational Research, 18(1), 5-12.
42. Hee, W. J., Alghoul, M. A., Bakhtyar, B., Elayeb, O., Shameri, M. A., Alrubaih, M. S., & Sopian, K. (2015). The role of window glazing on daylighting and energy saving in buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 42, 323-343.
43. Heschong, L. (2002). Daylighting and human performance. ASHRAE Journal, 44, 65-67.
44. Hobday, R. (2016). Myopia and daylight in schools: A neglected aspect of public health? Perspectives in Public Health, 136(1), 50-55. https://doi.org/10.1177/1757913915576679
45. Illuminating Engineering Society of North America. (2000). IESNA lighting handbook (9th ed.). IESNA.
46. Illuminating Engineering Society. (2012). LM-83-12: Approved method: IES spatial daylight autonomy (sDA) and annual sunlight exposure (ASE). https://www.techstreet.com/standards/ies-lm-83-12?product_id=1853773
47. International Energy Agency. (2010). Daylighting in buildings. AECOM.
48. Jakubiec, J. A., & Reinhart, C. F. (2012). The 'adaptive zone': A concept for assessing discomfort glare throughout daylit spaces. Lighting Research & Technology, 44(2), 149-170. https://doi.org/10.1177/1477153511420097
49. Knoop, M., Stefani, O., Bueno, B., Matusiak, B., et al. (2020). Daylight: What makes the difference? Lighting Research & Technology, 52, 423–442.
50. Kuller, R., & Lindsten, C. (1992). Health and behavior of children in classrooms with and without windows. Journal of Environmental Psychology, 12(4), 305-317. https://doi.org/10.1016/S0272-4944(05)80079-9
51. Lechner, N. (2014). Heating, cooling, lighting: Sustainable design methods for architects (4th ed.). John Wiley & Sons.
52. Leslie, R. P., Raghavan, R., & Howlett, O. (2005). The potential of simplified concepts for daylight harvesting. Lighting Research & Technology, 37(1), 21-38.
53. Mardaljevic, J. (1995). Validation of a lighting simulation program under real sky conditions. Lighting Research & Technology, 27(4), 181-188. https://doi.org/10.1177/14771535950270040701
54. Mardaljevic, J. (2001). The BRE-IDMP dataset: A new benchmark for the validation of illuminance prediction techniques. Lighting Research & Technology, 33(2), 117-134. https://doi.org/10.1177/136578280103300209

55. Mardaljevic, J. (2021). The implementation of natural lighting for human health from a planning perspective. Lighting Research & Technology, 53(5), 489-513. https://doi.org/10.1177/14771535211022145
56. Marks, J. (2009). A history of educational facilities laboratories (EFL). National Clearinghouse for Educational Facilities, Funded by the U.S. Department of Education.
57. Mayhoub, M. S. (2014). Innovative daylighting systems' challenges: A critical study. Energy and Buildings, 80, 394-405. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.04.019
58. McGuffey, C. (1982). Facilities. In H. J. Walberg (Ed.), Improving educational standards and productivity. McCutchan Publishing.
59. Meresi, A. (2016). Evaluating daylight performance of light shelves combined with external blinds in south-facing classrooms in Athens, Greece. Energy and Buildings, 116, 190-205. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.01.009
60. Nabil, A. and Mardaljevic, J. (2005). Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings." Lighting Research & Technology, 37(1): 41-59.
61. NCSC (Ed.). (1964). NCSC Guide for Planning School Plants. National Council on Schoolhouse Construction.
62. Osterhaus, W. K. E. (1993). Office lighting: a review of 80 years of standards and recommendations." In Proceedings of the 1993 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Toronto. New York, NY: IEEE.
63. Pandharipande, A., and Newsham, G. R. (2018). Lighting controls: Evolution and revolution." Lighting Research & Technology, 50, 115-128.
64. Ponmalar, V., and Ramesh, B. (2014). Energy Efficient Building Design and Estimation of Energy Savings From Daylighting in Chennai." Energy Engineering, 111(4), 59-80.
65. Rea, M. S. (2012). The Trotter Paterson Lecture 2012: Whatever Happened to Visual Performance?" Lighting Research & Technology, 44(2), 95-108. https://doi.org/10.1177/1477153512441163
66. Rea, M. S. (Ed.). (2000). The IESNA lighting handbook: reference & application (9th ed.). New York, NY: Illuminating Engineering Society of North America.
67. Reinhart, C. F., and Herkel, S. (2000). The simulation of annual daylight illuminance distributions – a state-of-the-art comparison of six RADIANCE-based methods." Energy and Buildings, 32(2), 167-187. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00042-6
68. Reinhart, C. F., Mardaljevic, J., and Rogers, Z. (2006). Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design." LEUKOS, 3(1), 7-31. https://doi.org/10.1582/LEUKOS.2006.03.01.001
69. Reinhart, C., and Walkenhorst, O. (2001). Dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a full-scale test office with outer venetian blinds." Energy and Buildings, 33(7), 683-697.
70. Robson, E. R. (1972). School architecture. Leicester University Press.
71. Russell, S. (2012). The architecture of light: A textbook of procedures and practices for the architect, interior designer, and lighting designer (2nd ed.). Walnut, CA: Conceptnine.
72. Shen, E., Hu, J., and Patel, M. (2014). Energy and visual comfort analysis of lighting and daylight control strategies." Building and Environment, 78, 155-170.
73. Simson, R., Fadejev, J., Kurnitski, J., Kesti, J., and Lautso, P. (2016). Assessment of Retrofit Measures for Industrial Halls: Energy Efficiency and Renovation Budget Estimation." Energy Procedia, 96, 124-133.
74. Taylor, A., and Enggass, K. (2008). Linking Architecture and Education: Sustainable Design of Learning Environments. University of New Mexico Press.
75. Tregenza, P., and Mardaljevic, J. (2018). Daylighting buildings: Standards and the needs of the designer." Lighting Research & Technology, 50(1), 63-79. https://doi.org/10.1177/1477153517740611
76. Ward, G. J. (1991). RADIANCE Visual Comfort Calculation." Rapport interne, LESO, EPFL.
77. Weinstein, C. S. (1979). The Physical Environment of the School: A Review of the Research." Review of Educational Research, 49(4), 577-610. https://doi.org/10.3102/00346543049004577
78. Wienold, J. (2007). Dynamic simulation of blind control strategies for visual comfort and energy balance analysis." International Building Performance Simulation Association, 1197-1204.

79. Wong, I. L. (2017). A review of daylighting design and implementation in buildings.” Renewable and Sustainable Energy Reviews, 74, 959-968. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.061
80. Wu, W., and Ng, E. (2003). A Review of the Development of Daylighting in Schools.” Lighting Research & Technology, 32(2), 111-125.