توسعه پایدار محیط جغرافیایی
سال چهارم، شماره هفتم، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، (۱۲۹-۱۴۱)
نوع مقاله: پژوهشی

Sustainable Development of Geographical Environment
Vol. 4, No. 7, Fall & Winter 2023, (129-141)
Original Article: DOI: 10.52547/sdge.4.7. 129

تدوین استراتژی طراحی ساختمان‌های آموزشی براساس شرایط آب و هوایی شهر دزفول

ژاله نتاج انصار[1]، رضا برنا[*1]، جعفر مرشدی[1]
۱. گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
(دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۴ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۰۵)

چکیده
طراحی ساختمان بر پایه شرایط آب و هوایی، روشی است که به کاهش تقاضای انرژی ساختمان برای گرمایش و سرمایش کمک می‌کند و هدف آن استفاده از منابع انرژی طبیعی به منظور ایجاد آسایش بیشتر در ساختمان‌ها است. در این تحقیق به تدوین استراتژی طراحی ساختمان‌های آموزشی در شرایط اقلیمی شهر دزفول پرداخته شده است. از داده‌های اقلیمی ایستگاه دزفول در بازه زمانی ساعتی (۲۰۱۹-۱۹۸۶) در محیط نرم افزار مشاور اقلیم به روش استاندارد (اشری ۵۵) استفاده شده است. پس از دریافت داده‌ها، تجزیه و تحلیل طراحی مورد نیاز توسط نرم‌افزار مشاوره اقلیم براساس داده‌های آب و هوایی انجام شد. اهداف این استراتژی شامل کاهش اتلاف انرژی حرارتی ساختمان‌ها، کاهش اثرات باد بر اتلاف انرژی حرارتی ساختمان، تأمین تهویه فضاهای داخلی، بهره‌مندی از شرایط اقلیمی مناسب بیرون، بهره‌مندی از انرژی خورشیدی برای تقاضای گرمایش ساختمان و حفاظت ساختمان در برابر نور خورشید هستند. ساختمان‌های آموزشی شهر دزفول مورد بررسی میدانی قرار گرفت و ۹ استراتژی برای طراحی پایدار آنها تدوین شد. همچنین منطقه آسایش و مناطقی که در آن رعایت ضوابط آب و هوایی از جمله: سایه‌اندازی پنجره‌ها، جرم حرارتی بالا، سرمایش تبخیری، تهویه اجباری فن و گرمایش به اضافه رطوبت و از این قبیل، ضروری است، در تحلیل استراتژی‌ها می‌توان گفت: برای استفاده حداکثر از توانمندی‌های اقلیمی شهر دزفول در دوره فعالیت مدارس و پرهیز از شرایط نامطلوب مناسب‌ترین جهت‌گیری برای سازهای نورگیر و بازشوها جهت جنوب در رتبه اول و جهت‌های نزدیک به آن در رتبه دوم برای مدارس شهر دزفول توصیه می‌شود. برای مدارسی که قبلاً احداث شده و چاره‌ای به جز استفاده از این مدارس وجود ندارد. می توان با کاشت درخت در امتداد دیوارها و باز شوهای نامطلوب اثرات نامطلوب حاصل از تابش خورشید را به حداقل رساند.

واژه‌های کلیدی: آب و هوا، استراتژی، ساختمان، شهر، طراحی.

Development of Strategies for the Design of Educational Buildings Based on the Climate of Dezful

Nattag Ansar[1], J., Borna[1*], R., Morshedi[1], J.,
1. Department of Geography, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
Received: 15/03/2022 Accepted: 27/09/2022

Abstract
Design of buildings based on climate is a method that helps to reduce energy demand of buildings for heating and cooling, the objective of which is to use natural energy sources to create more comfort in buildings. In this study, the design strategy of educational buildings based on the climate of Dezful has been developed. The climate data of Dezful station has been used in the hourly time period (1986-2019) by Climate Consultant using ASHRAE Standard 55. After data collection, the required design analysis was done by Climate Consultant based on the climate data. The objectives of this strategy include reducing the loss of thermal energy of buildings, reducing the effects of wind on the loss of thermal energy of buildings, providing ventilation of indoor spaces, benefiting from suitable outdoor climate, benefiting from solar energy for heating demand of buildings and protecting of buildings from sunlight. The educational buildings in Dezful were investigated by field visits and 9 strategies were developed for their sustainable design in this city. Also, in the comfort zone and where it is necessary to comply with the climate such as window shading, high thermal mass, evaporative cooling, forced ventilation by fan and heating in addition to humidity, etc., for analysis of strategies, for the maximum use of the climatic capabilities of Dezful for school activities and avoidance of adverse climate, the most suitable orientation for light-reflecting structures and openings is the south first and second directions close to it for the schools of Dezful. In schools that have already been built and there is no other choice but to use these schools, by planting trees along the walls and undesired openings, the adverse effects of the sun's radiation were minimized.

Keywords: Climate, Strategy, Building, City, Design.

* نویسنده مسئول: E-mail: bornareza@yahoo.com / Orcid ID: 0000-0003-2918-8927

مقدمه

اصولاً انسان‌ها با توجه به شرایط فیزیولوژیکی در شرایط اقلیمی خاصی دارای آسایش زیستی هستند. این آسایش زیستی را برخی عناصر جوی مانند دما، رطوبت، تابش، باد و فشار تعیین می‌کنند. با این همه هیچ اقلیمی در تمام طول سال شرایط زیستی مناسب را برای زیست انسان فراهم نمی‌کند. در نتیجه در بهترین اقلیم‌ها نیز ماه‌ها یا فصولی از سال از شرایط مطلوب زیستی انسان خارج می‌شود. در مقابل در برخی اقلیم‌ها نیز فقط در تعداد ماه‌های محدودی از سال با شرایط زیستی انسان منطبق است. با وجود این که انسان‌ها در طول زمان در اثر زیست طولانی مدت در یک اقلیم خاص به تدریج خود را با شرایط اقلیمی محیط سازگار می‌کند. ولی گاهی شرایط اقلیمی از آستانه تحمل انسان خارج می‌شود. شهر دزفول به لحاظ آب و هوایی در یک محیط نسبتاً گرم و مرطوب قرار دارد. موقعیت جغرافیایی، توپوگرافی و سامانه‌های اقلیمی همجوار این شهر همانند پرفشار عربستان، کم فشار دمایی عربستان و کم فشار سودان و همچنین همجواری با برخی بیابان گرم و خشک شرایط اقلیمی خاصی را برای این شهر رقم زده است که در ماه‌های زیادی از سال دارای شرایط دمایی و رطوبتی نامطلوب برای زیست انسان می‌باشد. در این شرایط انسان‌ها تلاش می‌کنند با طراحی و ساخت سازه‌های مناسب این شرایط نامطلوب را برای ساکنان آن مطلوب و قابل تحمل نمایند. در این میان دانش‌آموزان با توجه به شرایط سنی و نوع فعالیت که در مدرسه انجام می‌دهند در مقابل شرایط اقلیمی واکنش‌های شدیدتری نسبت به بزرگسالان نشان می‌دهد. از طرفی وقتی شرایط مدرسه و کلاس‌های درس با شرایط زیستی مطلوب دانش‌آموزان سازگار نباشد، یادگیری مطلوبی حاصل نخواهد شد. هدف این تحقیق ارائه الگوها و استراتژی‌های مناسب برای طراحی و ساخت مدارسی است که بتواند بهترین شرایط زیستی را برای آسایش جسمی و روحی برای یادگیری مطلوب فراهم نماید.

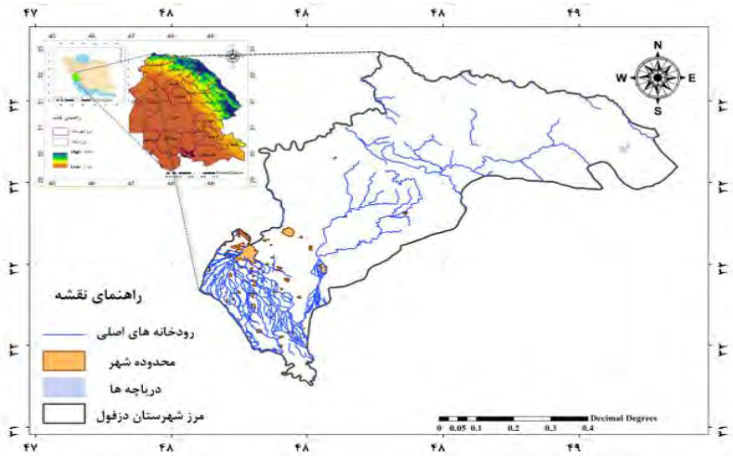
مبانی نظری و پیشینه

مصرف انرژی برای گرمایش، سرمایش و تهویه در ساختمان‌ها بیش از یک سوم مصرف انرژی جهانی و حدود ۴۰ درصد از کل انتشار CO_2 را تشکیل می‌دهد (Perez-Lombard et al., 2011). طبق مطالعات قبلی (Li et al., 2019; Ascione et al., 2016)، بهبود عملکرد ساختمان نقش کلیدی در کاهش مصرف انرژی دارد. آسایش حرارتی درک رضایت بخشی یک فرد از محیط حرارتی را توصیف می‌کند. یکی از جنبه‌های مهم کیفیت محیط داخلی و منبع اصلی مصرف انرژی در ساختمان‌ها و به خصوص مدارس، تأمین آسایش حرارتی است (Zhang et al., 2007). طراحی ساختمان با استفاده از انرژی خورشیدی به همراه توجه به متغیرهای اقلیمی و مصالح محلی ساختمان، نه تنها می‌تواند شرایط آسایش در محیط مصنوع را ایجاد کند، بلکه در کاهش مصرف انرژی نیز کمک خواهد کرد (تابان و همکاران، ۱۳۹۲). واضح است که سطح دمای داخلی بنا را می‌توان با استفاده از تکنیک‌های غیرفعال خورشیدی که بر جذب حرارتی بدنه‌های ساختمان مؤثرند، نظیر ایجاد سایه در بدنه‌های خارجی، استفاده از مصالح با ظرفیت حرارتی بالا و جهت‌گیری مناسب بهبود بخشید (تابان و همکاران، ۱۳۹۲). افزایش بیش از حد دما به‌واسطه تراکم بالا در کلاس‌ها و محدودیت‌هایی از جمله عدم امکان تغییر پوشش و موقعیت برای کنترل محیط، منجر به نارضایتی حرارتی و افت کارایی دانش آموزان می‌شود. ارزیابی آسایش حرارتی در فضاهای داخلی اقدامی ضروری بوده و می‌تواند اطلاعات مهمی برای طراحی ساختمان‌ها و در نتیجه سطح مناسبی از آسایش حرارتی را برای کاربران هم‌زمان با مصرف انرژی کمتر فراهم کند. مرور تحقیقات نشان داد که ارزیابی آسایش حرارتی در مدارس به ویژه پایه ابتدایی نسبت به ساختمان‌های اداری و مسکونی بسیار کمتر صورت گرفته است (زمردیان و همکاران، ۱۳۹۵).

نتایج تحقیقات حاکی از این است که دانش‌آموزان، ادراک حرارتی متفاوتی نسبت به بزرگسالان دارند و لذا اعلام می‌کنند که استانداردهای متداول آسایش حرارتی برای ارزیابی آسایش حرارتی کودکان مناسب نیست و مطالعات بیشتری در این حوزه لازم است (Teli et al., 2012; Mors et al., 2011; Liang et al., 2012). در سال‌های اخیر، بسیاری از مطالعات استدلال کرده‌اند که سطوح بالای نارضایتی حرارتی دانش‌آموزان در ساختمان‌های آموزشی و آسایش حرارتی دانش‌آموزان دقیقاً در الزامات استانداردهای آسایش حرارتی مربوطه منعکس نشده است (Mishra et al., 2017; Allab et al., 2017). عدم وجود استاندارد یا سند مرجع مرتبط با طراحی کلاس‌های درس مناسب به وضعیت فعلی کمک می‌کند (Singh et al., 2018). برخی از مطالعات نشان داده‌اند که فرصت کنترل یک محیط داخلی بر ادراک حرارتی ساکنان تأثیر می‌گذارد و آن‌ها را از نظر آسایش حرارتی پذیرای محیط آموزشی می‌کند (Humphreys et al., 2007). برخی از مطالعات مربوط به آسایش حرارتی نیز به سن و جنسیت (Indraganti and Rao, 2010; Karjalainen, 2012)، کیفیت هوای داخل ساختمان (Pereira et al., 2014)، استراتژی تهویه (Baranova et al., 2017; Zhang et al., 2007)، توجه کرده‌اند. دما و سیستم سایه خورشید (Wang et al., 2015; Tushar et al., 2017) و عملکرد تحصیلی (Hoque and Weli, 2016). این مطالعات عوامل مؤثر در آسایش حرارتی در ساختمان‌ها را برجسته کرده‌اند. از جمله مطالعات جدید می‌توان به کارهایی چون (Larriva et al., 2022) که تأثیر شرایط اقلیمی بر آسایش حرارتی ساکنان در خانه‌های سالمندان با تهویه طبیعی را بررسی کرد و پیشنهاد داده‌اند که هنگام تدوین استانداردهای آسایش حرارتی، رطوبت نسبی فضای باز باید در نظر گرفته شود را پیشنهاد داده است (Alghamdi et al., 2022). تأثیر پارامترهای طراحی ساختمان‌های معماری بر آسایش حرارتی و مصرف انرژی در ساختمان‌های آموزش عالی را مورد بررسی قرار دادند و نوع سقف و تنظیم دمای خنک کنندگی تأثیر قابل‌توجهی بر آسایش حرارتی و مصرف انرژی دارد (Gangrade and Sharma, 2022). تأثیر عوامل محیطی و استفاده از روش‌های تطبیقی را بر آسایش حرارتی ساکنان در ساختمان‌های آموزشی با تهویه طبیعی در آب و هوای گرم و خشک وادودارا مورد تجزیه و تحلیل قرار داده‌اند. و به نقش پنجره در تهویه مطلوب و ایجاد آسایش حرارتی اشاره نمودند. همان طور که ملاحظه شد در میان مطالعات انجام شده دو نقصان اساسی در ارتباط با منطقه مورد مطالعه وجود دارد. اولا در زمینه الگوی معماری و جهت گیری فضاهای آموزشی به لحاظ انطباق با ویژگی‌های اقلیمی منطقه مطالعات ویژه‌ای انجام نشده است. دوما روش و شاخص‌های مورد استفاده با شاخص و نرم افزاری که در این تحقیق استفاده خواهد شد کمتر مورد توجه بوده است. در این مطالعه سعی شده است ابتدا با مطالعه میدانی و بازدید از فضاهای آموزشی موجود در بخش‌های مختلف شهر ایده اولیه از وضع موجود و توجه به نقاط قوت و ضعف فضاهای موجود ایجاد شود. سپس براساس نتایج حاصل از نرم-افزار مشاور اقلیم مناسب‌ترین و مقبول‌ترین استراتژی برای بهینه‌سازی فضاهای موجود و فضاهای جدیدی که احداث خواهد شد، ارائه شود.

مواد و روش‌ها

شهر دزفول مرکز دزفول در ۱۵۵ کیلومتری اهواز و در ۳۰۰ کیلومتری دریا و در ارتفاع ۱۴۳ متری از سطح آب‌های آزاد قرار دارد. از لحاظ وسعت دومین شهر بعد از اهواز در استان می‌باشد که از سمت شمال به استان لرستان و از سمت شرق به شهرستان مسجدسلیمان و استان چهارمحال بختیاری و از شمال غربی به شهرستان اندیمشک و از جنوب به شهرستان شوشتر و از سمت غرب به شهرستان شوش محدود می‌گردد. (شهرداری دزفول، ۱۳۹۹) (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت استان خوزستان شهر دزفول

(منبع: نگارندگان)

در این مطالعه از دو گروه داده استفاده شده است. ابتدا داده‌های مورد نیاز از سایت هواشناسی دریافت شد؛ و در مرحله بعد دوره آماری (۱۹۸۶-۲۰۱۹) انتخاب گردید. از اطلاعات بارش، دما، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، سرعت باد برای انتخاب شاخص‌ها و روش‌های مورد نیاز استفاده شد. در بخش بعدی از داده‌های سایت (EPW)[1] دپارتمان انرژی ایالات‌متحده آمریکا، استفاده شده است. هر فایل داده EPW دارای داده‌های اقلیمی ۸۷۶۰ ساعت در هر سال (بازه زمانی ۲۰ ساله) می‌باشد که داده‌ها توسط اقلیم‌شناسان در ماه‌های واقعی (از میانگین درازمدت) ثبت و تولید شده است (Ashwani, 2018; Murray et al., 2007). همچنین میانگین بالاترین و پایین‌ترین مقدار داده‌های اقلیمی نیز ثبت شده است تا در موارد لزوم از آن‌ها استفاده شود. در نهایت این داده‌ها توسط ابزار مشاوره اقلیم در طراحی و معماری شرایط مربوط به آسایش در هر ماه استخراج گردید. پس از ورود داده‌ها به نرم‌افزار مشاوره اقلیم خلاصه پارامترهای مربوط به ایستگاه دزفول نمایش داده می‌شود شکل ۲ نمایش داده‌های ورودی به نرم‌افزار می‌باشد. خروجی نرم‌افزار بررسی زمانی شرایط آسایش حرارتی قبل و تدابیر پیشنهادی لازم جهت طراحی ساختمان‌ها را مطرح می‌کند.

جدول ۱: پارامترهای اقلیمی در طراحی معماری داده‌های EPW

ردیف	پارامتر اقلیمی	مقدار	واحد اندازه‌گیری
۱	تابش افقی کل	میانگین ساعتی	Wh/sq. m
۲	تابش افقی کل	حداکثر مقدار ساعتی	Wh/sq. m
۳	تابش افقی کل	میانگین روزانه	Wh/sq. m
۴	جهت نرمال تابش	میانگین ساعتی	Wh/sq. m
۵	جهت نرمال تابش	حداکثر مقدار ساعتی	Wh/sq. m
۶	جهت نرمال تابش	میانگین روزانه	Wh/sq. m
۷	پخش تابش	میانگین ساعتی	Wh/sq. m
۸	پخش تابش	حداکثر مقدار ساعتی	Wh/sq. m
۹	پخش تابش	میانگین روزانه	Wh/sq. m
۱۰	درجه حرارت خشک	میانگین ماهانه	Degrees C
۱۱	درجه حرارت نقطه شبنم	میانگین ماهانه	Degrees C
۱۲	رطوبت نسبی	میانگین ماهانه	Percent
۱۳	جهت باد	میانگین ماهانه	Degrees C
۱۴	سرعت باد	میانگین ماهانه	m/s
۱۵	درجه حرارت عمق زمین	میانگین ماهانه	Degrees C

(منبع: انتظاری و همکاران، ۱۳۹۷)

WEATHER DATA SUMMARY

LOCATION: Dezful, -, -
Latitude/Longitude: 32.4° North, 48.383° East, **Time Zone from Greenwich** 3
Data Source: MN7 407950 WMO Station Number, **Elevation** 469 ft

MONTHLY MEANS	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
Global Horiz Radiation (Avg Hourly)	92	117	133	148	158	180	177	173	162	140	106	87	Btu/sq.ft
Direct Normal Radiation (Avg Hourly)	115	133	123	120	128	176	167	169	181	178	132	113	Btu/sq.ft
Diffuse Radiation (Avg Hourly)	40	46	55	67	65	48	52	50	42	37	40	37	Btu/sq.ft
Global Horiz Radiation (Max Hourly)	219	230	293	307	305	318	318	302	284	256	210	189	Btu/sq.ft
Direct Normal Radiation (Max Hourly)	294	263	273	252	245	263	269	253	276	281	270	296	Btu/sq.ft
Diffuse Radiation (Max Hourly)	97	119	135	156	161	82	91	80	90	71	103	95	Btu/sq.ft
Global Horiz Radiation (Avg Daily Total)	933	1272	1583	1909	2164	2543	2458	2285	1975	1565	1102	869	Btu/sq.ft
Direct Normal Radiation (Avg Daily Total)	1160	1444	1462	1544	1754	2489	2320	2226	2209	1993	1372	1121	Btu/sq.ft
Diffuse Radiation (Avg Daily Total)	415	500	660	860	903	688	731	671	522	422	414	375	Btu/sq.ft
Global Horiz Illumination (Avg Hourly)	2901	3678	4207	4700	5008	5699	5627	5550	5142	4455	3384	2780	footcandles
Direct Normal Illumination (Avg Hourly)	2936	3494	3326	3192	3345	4953	4649	4722	5096	4862	3501	2861	footcandles
Dry Bulb Temperature (Avg Monthly)	53	59	68	77	91	97	101	100	91	82	66	56	degrees F
Dew Point Temperature (Avg Monthly)	43	42	42	46	45	45	51	54	49	49	45	46	degrees F
Relative Humidity (Avg Monthly)	68	55	41	35	22	19	20	23	26	34	49	69	percent
Wind Direction (Monthly Mode)	310	320	300	300	50	350	290	340	290	320	320	340	degrees
Wind Speed (Avg Monthly)	4	4	5	5	6	7	7	6	4	3	4	4	mph
Ground Temperature (Avg Monthly of 1 Depths)	73	68	66	68	73	79	85	89	91	89	85	79	degrees F

شکل ۲: نمایش داده‌های ورودی به نرم‌افزار مشاوره اقلیم

(منبع: یافته‌های تحقیق)

یافته‌ها

با توجه به اشکال شماره ۳ و ۴ طول روز در ماه‌های مختلف سال براساس طلوع و غروب خورشید نشان داده شده است که براساس متغیرهای اقلیمی مختلف شرایط آسایش حرارتی در هر ساعت از روز را بیان می‌کند. براساس برآوردهای حاصل از دمای خشک شکل ۳ شرایط عدم آسایش حرارتی (قسمت‌های با رنگ قرمز و قرمز تیره) در ماه می تا اکتبر از ساعت ۸ صبح شروع و تا ساعت ۲۴ ادامه دارد. در این روز از سال ساعت ابتدایی صبح (۰ تا ۲) نیز شرایط عدم آسایش حاکم می‌باشد. دمای بیش از ۳۸ درجه سانتی‌گراد که ۱۰ درصد محدوده آسایش روز را در ماه‌های می تا سپتامبر از ساعت ۱۰ صبح تا ۲۲ شب به خود اختصاص داده است که این شرایط نیاز به سایه را در طراحی اقلیمی مطرح می‌کند.

در مجموع از ۱۰۰ درصد وضعیت ۴۷ درصد در محدوده عدم آسایش قرار دارد و فقط ۱۲ درصد به دمای بین ۲۰ تا ۲۴ ساعت اختصاص دارد. براساس تجزیه و تحلیل رطوبت نسبی میزان آسایش (شکل ۴) در طول روز و ساعت ابتدایی و انتهای روز قبل از طلوع و غروب خورشید دارای بیشترین شرایط آسایش است و ماه‌های مارس تا اکتبر ساعت میانی روز به دلیل رطوبت ۲۰ تا ۴۰ درصد (حدود ۲۴ درصد) به همراه دمای بالا شرایط عدم آسایش و خشکی را نشان می‌دهد. بیشترین میزان رطوبت مربوط به ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، نوامبر و دسامبراست. شکل ۵ نمودار سایکرومتریک به نوعی مهم‌ترین خروجی نرم‌افزار مشاور اقلیم است. با توجه به این نمودار می‌توان تعیین کرد که شرایط آسایش در چه فصلی از سال به‌طور طبیعی در شهر دزفول ظاهر می‌شود؛ و اینکه چه زمانی سیستم‌های مکانیکی برای سرمایش و گرمایش مورد نیاز است. هر یک از بخش‌های نمودار در پاراگراف زیر توضیح داده شده است.

- منطقه راحتی: همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، شرایط آسایش به‌طور طبیعی حدود ۱۰/۴ درصد از سال (۹۰۸ ساعت) ظاهر می‌شود.
- آفتاب‌گیر پنجره: در این فاصله پنجره‌ها در معرض نور خورشید قرار می‌گیرند و باید سایه‌انداز شوند. مطابق

شکل ۵ نیاز به سایه‌اندازی پنجره‌ها در حدود ۲۷/۴ درصد یعنی ۲۴۰۳ ساعت در سال می‌باشد.

- جرم حرارتی بالا: این بخش از شکل ۶ شرایطی را نشان می‌دهد که با استفاده از جرم حرارتی بالا یا مواد با چگالی بالا می‌توان آسایش ساکنین را فراهم کرد. شامل ۶/۵ درصد یا ۵۶۶ ساعت در سال است.

- شستشو با جرم حرارتی بالا: برای شرایطی تعریف می‌شود که تهویه طبیعی به عنوان یک استراتژی خنک‌کننده علاوه بر استفاده از مواد با جرم حرارتی بالا برای فضاهای داخلی مفید باشد. همه فن‌های ساختمان کار می‌کنند و اجازه می‌دهند هوای خنک بیرون به داخل فضاهای داخلی نفوذ کند. این استراتژی حدود ۹/۴ درصد در سال مؤثر است.

- خنک‌کننده تبخیری مستقیم: در این شرایط آسایش سرنشین با خنک‌کننده تبخیری مستقیم قابل‌دستیابی است. شامل ۲۷/۲ درصد به عبارت دیگر ۲۳۸۶ ساعت از سال است.

- خنک‌کننده تبخیری دومرحله‌ای: در این شرایط ابتدا دما توسط مبدل حرارتی کاهش می‌یابد و سپس در مرحله بعد شرایط راحتی با تبخیر مستقیم اعمال می‌شود. خنک‌کننده شامل ۳۹/۱ درصد یعنی ۳۴۲۶ ساعت در سال است.

- خنک‌کننده تهویه طبیعی: این بخش بیانگر شرایطی است که در آن خنک‌سازی و رسیدن به منطقه آسایش با تهویه طبیعی امکان‌پذیر است. شامل ۷/۲ درصد یا ۶۲۷ ساعت در سال است.

- سرمایش تهویه اجباری با فن: همانند بند قبلی خنک‌سازی و رسیدن به منطقه آسایش با تهویه قابل‌دستیابی است، اما در این قسمت تهویه طبیعی کاملاً پاسخگو نیست، بنابراین تحریک هوا توسط فن‌های مکانیکی نیز موردنیاز است. شامل ۸/۲ درصد یعنی ۷۱۴ ساعت در سال است.

- افزایش حرارت داخلی: یک ساختمان همیشه دارای افزایش حرارت داخلی است؛ به عبارت دیگر نیاز به گرمایش ساختمان تا حدی می‌تواند توسط خود و عناصر داخلی مانند ساکنین، لامپ‌ها، تجهیزات الکتریکی و غیره تأمین شود. این فاصله زمانی را تعریف می‌کند که در آن یک ساختمان می‌تواند گرم شود و بدون نیاز به افزایش حرارت داخلی به آسایش برسد. سیستم‌های گرمایشی این شامل ۲۰/۷ درصد یا ۱۸۱۷ ساعت در سال است.

- جرم کم‌بهره مستقیم خورشیدی غیرفعال: این قسمت از نمودار وضعیتی را نشان می‌دهد که در آن آسایش ساکنین با استفاده از مواد کم جرم به‌عنوان خازن حرارتی در فرآیند بهره مستقیم خورشیدی غیرفعال قابل دستیابی است. این حالت که در دمای خشک حدود ۰ درجه سانتیگراد رخ می‌دهد و ۶/۱ درصد یعنی ۵۳۲ ساعت از سال را شامل می‌شود. - جرم زیاد افزایش مستقیم خورشیدی غیرفعال: مانند پاراگراف قبل، این بازه شرایطی را نشان می‌دهد که آسایش ساکنین با انرژی خورشیدی غیرفعال قابل‌دستیابی است؛ اما در این قسمت گرمایش ساختمان با انرژی غیرفعال متکی بر استفاده از مصالح با چگالی بالا به‌عنوان خازن حرارتی مورد نیاز است. این فاصله دمایی طبق انتظار شامل دمای کمتری نسبت به قسمت قبلی است؛ بنابراین در دمای کمتر از ۰ درجه سانتیگراد رخ می‌دهد و ۶/۷ درصد یعنی ۵۹۱ ساعت از سال را شامل می‌شود.

- حفاظت در برابر باد از فضاهای بیرونی: در این بخش از نمودار حفاظت از باد ساختمان توسط یک عنصر بیرونی مانند گیاهان برای دستیابی به شرایط آسایش موردنیاز است.

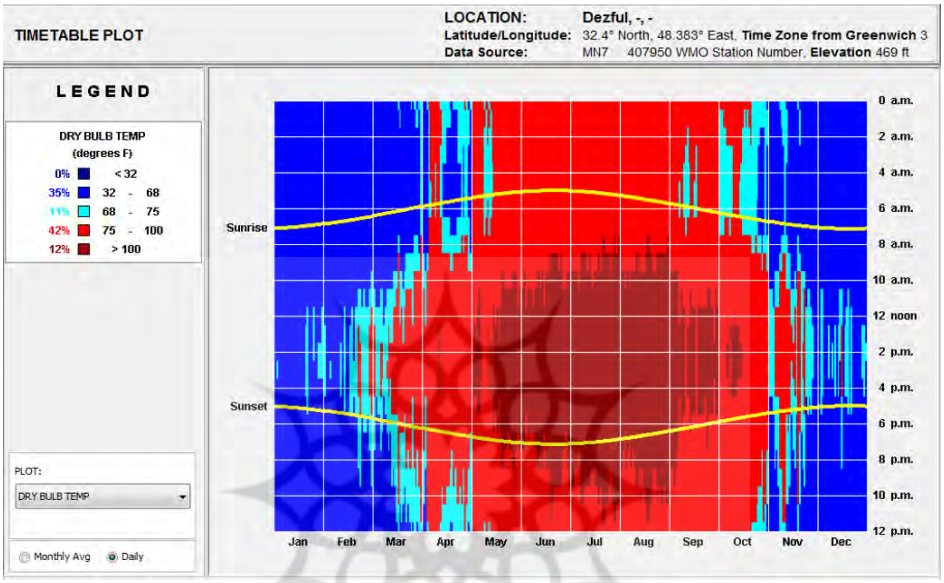
- فقط رطوبت: فراهم کردن شرایط آسایش فقط با رطوبت.

- فقط رطوبت‌زدایی: شرایط آسایش از نظر دما از قبل برای این بخش نمودار اعمال می‌شود، اما رطوبت هوا هنوز راحت‌تر است؛ بنابراین رطوبت‌زدایی یک ضرورت است. این شامل ۰/۳ درصد و ۲۳ ساعت در سال است.

- خنک کردن، در صورت نیاز رطوبت را اضافه کنید: این فاصله نمودار بیانگر شرایطی است که در آن هیچ یک از استراتژی‌های قبلی برای تأمین شرایط آسایش سرنشین کافی نیست. این شرایط به خنک‌سازی و مرطوب‌سازی هم‌زمان نیاز دارد. همان‌طور که در نمودار

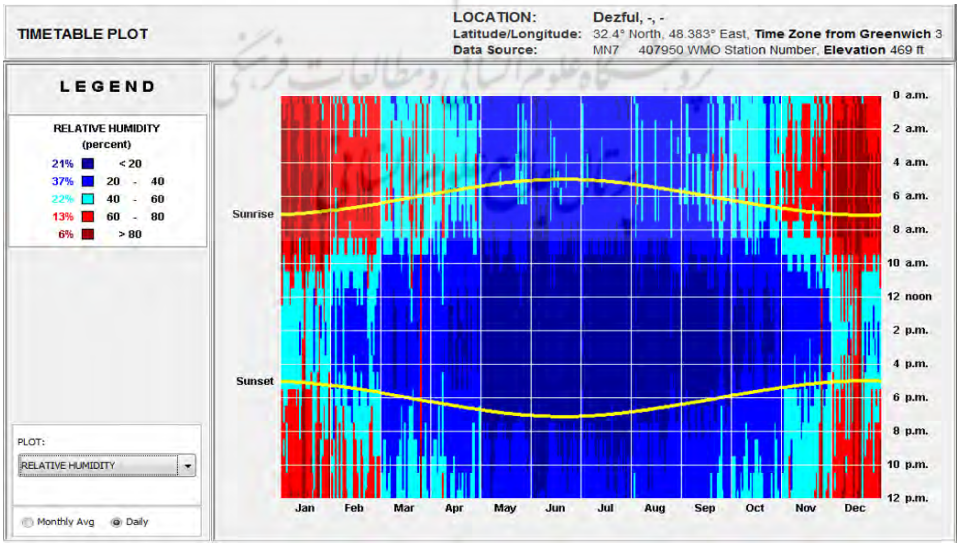
نشان داده شده است در دمای بالا رخ می‌دهد. شامل ۱۶/۸ درصد یا ۱۴۷۳ ساعت در سال است.

- گرمایش، اضافه کردن رطوبت در صورت نیاز: این بخش نمودار شرایطی را نشان می‌دهد که هیچ یک از استراتژی‌های قبلی برای گرم کردن و فراهم کردن شرایط آسایش سرنشین مفید به نظر نمی‌رسد. هم مرطوب کردن و هم افزایش دمای هوا با گرمایش مکانیکی سیستم‌ها به‌طور هم‌زمان موردنیاز است. همان‌طور که در نمودار نشان داده شده است در دماهای بسیار پایین رخ می‌دهد. این شرایط شامل کمترین مدت زمان سال با نرخ ۱۰/۴ درصد معادل ۹۰۷ ساعت است.



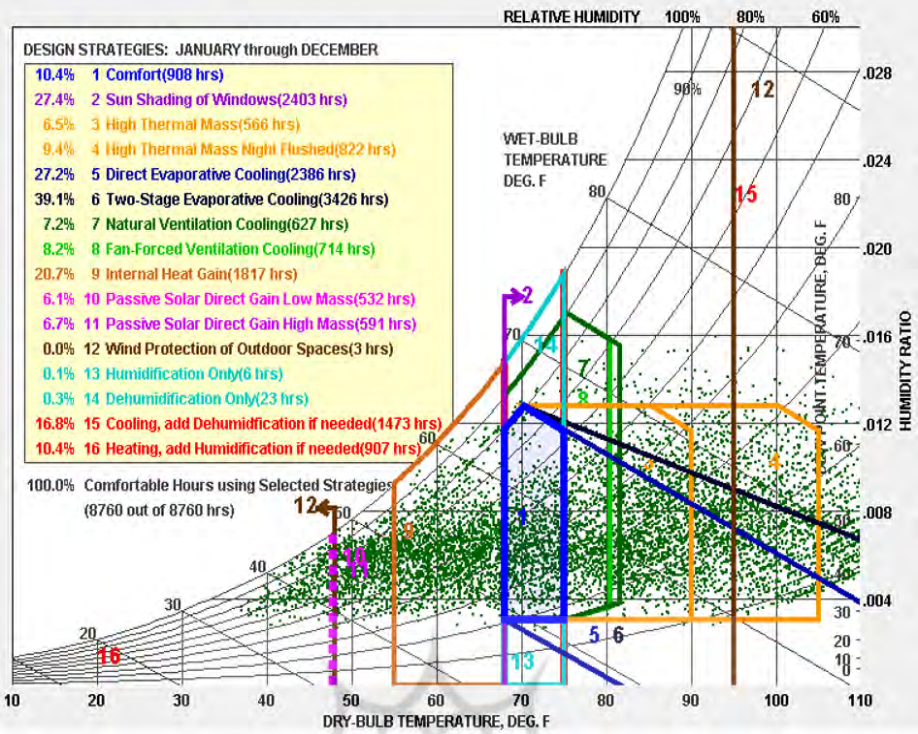
شکل ۳: بررسی زمانی شرایط آسایش حرارتی قبل و بعد از طلوع آفتاب در شهر دزفول

(منبع: یافته‌های تحقیق)



شکل ۴: بررسی زمانی شرایط آسایش حرارتی قبل و بعد از طلوع آفتاب در شهر دزفول

(منبع: یافته‌های تحقیق)



شکل ۵: نمودار سایکرومتریک شهر دزفول

(منبع: یافته‌های تحقیق)

استراتژی‌های مناسب معماری همساز با اقلیم با در نظر گرفتن خورشید، باد و نور

طراحی اقلیمی روشی در جهت رفع نیازهای گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها است که با جایگزین گردن انرژی‌های طبیعی منطقه‌ای به جای سوخت‌های فسیلی هدف عمده طراحی اقلیمی در اتخاذ بهترین شیوه استفاده از انرژی‌های یاد شده در برابر شرایط نامساعد جوی را برآورد می‌نماید (انتظاری و همکاران، ۱۳۹۷). همان‌طور که ملاحظه شد شهر دزفول در تعداد زیادی از ماه‌های سال به لحاظ شرایط اقلیمی و به خصوص شرایط دمایی در شرایط نامطلوب قرار دارد. در نتیجه برای گریز از شرایط نامطلوب فضای بیرونی باید به فضاهای محصور و قابل کنترل پناه ببرد. در نتیجه طراحی مساکن و فضاهایی که بتواند بیشترین بهره‌وری را از شرایط اقلیمی برای ایجاد آسایش درونی فراهم نموده و در عین حال از انتقال شرایط نامطلوب اقلیمی به درون سازه‌ها جلوگیری نماید در شهر دزفول بسیار ضرورت دارد. چرا که در فضاهای باز و فاقد سرپناه شرایط مطلوب زیستی فراهم نمی‌شود. با توجه به این که مدارس عموماً در ساعات روز مورد استفاده دانش‌آموزان قرار می‌گیرد و شرایط دمایی شهر دزفول در بیشتر ماه‌های سال در فضاهای باز محدود کننده شرایط آسایش اقلیمی و فعالیت‌های روزمره دانش‌آموزان است، با استفاده از سازه‌هایی که به نحو مطلوب طراحی شده و با کمترین هزینه فضاهای داخلی را برای آموزش و یادگیری آماده می‌سازد بسیار ضروری می‌باشد. به همین منظور در ادامه استراتژی‌های مناسب برای طراحی کلاس‌ها و بازشوها و جهت‌گیری ساختمان‌ها ارائه شده است.

تدبیر ۱ (استراتژی ۵۸): طراحی ایستا (غیرفعال)

رویکردی در طراحی ساختمان که از راهکارهای معماری به منظور به حداقل رساندن مصرف انرژی و بهبود آسایش حرارتی بهره‌مند می‌گردد. فرم ساختمان و عملکرد حرارتی عناصر ساختمانی مانند معماری، سازه‌ای، پوسته‌ای و تأسیسات مکانیکی غیرفعال به‌منظور تعاملی مناسب با ریز اقلیم محلی، با دقت مورد

ارزیابی و بهینه‌سازی واقع می‌شوند. چشم‌انداز و هدف غایی طراحی غیرفعال حذف کلیه الزامات سامانه‌های مکانیکی فعال (پویا) و مصرف انرژی مبتنی بر سوخت فسیلی و در نهایت تأمین آسایش ساکنان می‌باشد؛ بنابراین برای آسایش بیشتر نحوه ایجاد بنا باید به گونه‌ای باشد که از گرمای بیش از حد تابستان جلوگیری کند و در زمستان برای بهره‌برداری از انرژی خورشیدی مناسب باشد. ساختار سیستم‌های خورشیدی غیرفعال به گونه‌ای است که در آن‌ها ساختمان و قسمت‌های مختلف آن مانندِ پنجره‌ها، دیوارها، بام و غیره به گونه‌ای طراحی می‌شوند که حداکثر انرژی تابشی خورشیدی قابل دریافت باشد.

تدبیر ۲ (استراتژی ۱۱): استفاده از خانه‌های کوچک و مقاوم جهت گرمایش

با استفاده از این استراتژی و با استفاده از نمودار بیوکلیماتیک می‌توان واکنش‌های اقلیمی مناسب در یک اقلیم خاص را که باعث ایجاد آسایش حرارتی می‌گردد را پیشنهاد داد. در این اقلیم استفاده از گرمای حاصل از چراغ‌ها، افراد و تجهیزات در ساختمان به میزان قابل‌توجهی نیازهای گرمایشی را کاهش می‌دهد.

تدبیر ۳ (استراتژی ۱۹): کارایی تماس با خاک

برای استفاده بیشتر از انرژی خورشید باید اکثر پنجره‌ها در سمت جنوب ساختمان طراحی شوند تا در زمستان بیشترین نور خورشید به داخل ساختمان وارد شود و در تابستان با استفاده از سایه‌بان سبب خنک شدن ساختمان گردد. این استراتژی برای مدارس شهر دزفول توصیه می‌گردد. با وجود این که شهر دزفول شهر گرمی است، ولی با توجه به این که در سه تا چهار ماه از سال در ماه‌های آذر تا اسفند در اوایل صبح دمای هوا زیر حد آسایش زیستی است این جهت طراحی با دریافت تابش آفتاب فضاهای داخلی را مطلوب خواهد کرد. در ایام تابستان عملاً مدارس تعطیل بوده و گرمای اضافی حاصل از تابش مزاحمتی برای دانش‌آموزان نخواهد داشت.

تدبیر ۴ (استراتژی ۲۰): تقویم سایه

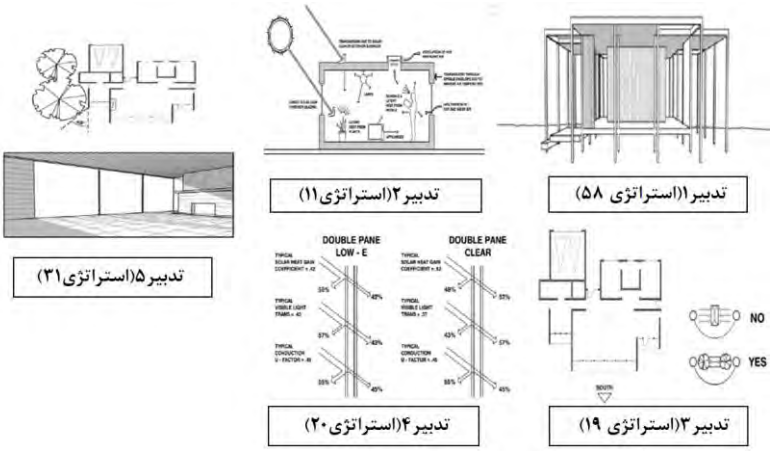
استفاده از پوشش دوجداره در قسمت‌های غرب، شرق و شمال ساختمان پیشنهاد می‌شود؛ اما در بخش‌های جنوبی به دلیل دریافت انرژی بیشتری از تابش خورشیدی نیازی به استفاده از پوشش‌های دوجداره نیست. در برخی از مدارس فعلی که در امتداد غربی – شرقی احداث شده‌اند این استراتژی برای کاهش اثرات نامطلوب تابش در ایام بعد از ظهر برای دانش‌آموزان نوبت بعد از ظهر توصیه می‌شود.

تدبیر ۵ (استراتژی ۳۱): جهت و ابعاد الگوهای متعادل برای طبقات

در راستای یکپارچه‌سازی دسترسی به نور خورشید و سایه (گرمایش، سرمایش و روشنایی) سازمان‌دهی پلان طبقات در شهر دزفول باید به‌گونه‌ای باشد که خورشید در زمستان توانایی نفوذ به فضاهای مورد استفاده روزانه را داشته باشد و پلان‌ها با جهت‌گیری خورشید هماهنگ باشند. همان‌طور که در تدبیر سه نیز اشاره شد استفاده از جهت جنوبی برای دریافت نور کافی در ایام فعالیت مدرسه بسیار مناسب است.

تدبیر ۶ (استراتژی ۱۶): استفاده از درختان

درختان (نه مخروطی یا برگ‌ریز) را نباید در مقابل پنجره‌های خورشیدی غیرفعال کاشت، اما بیش از ۴۵ درجه از هر گوشه مناسب هستند. با توجه به این که در تعداد زیادی از مدارس جهت‌گیری مناسبی رعایت نشده است. این مدارس دارای بازشوه‌هایی به سمت غرب یا شرق دارند، که سبب انتقال نور خورشید به خصوص در بعد از ظهرها به داخل کلاس‌ها هستند. این در حالی است که به دلیل گرمی بالای هوا داخل کلاس‌ها خود فراتر از حد آسایش دانش‌آموزان است. ورود این اشعه به داخل کلاس شرایط را بدتر می‌کند. حال که امکان جابجایی جهت‌گیری مدارس این چنینی وجود ندارد می‌توان با کاشت درختان مناسب از ورود تابش تا حدود زیادی کاست.



شکل ۶: تدابیر ۱-۵ طراحی اقلیمی شهر دزفول براساس خروجی نرم‌افزار مشاور اقلیم

(منبع: یافته‌های تحقیق)

تدبیر ۷ (استراتژی ۴۰): سطوح داخلی با جرم زیاد

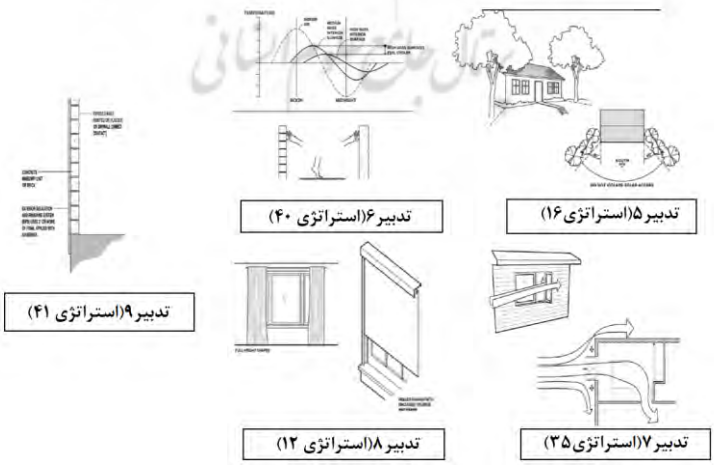
سطوح داخلی با جرم زیاد (کاشی، تخته‌سنگ، آجر یا خشتی) در روزهای گرم به‌طور طبیعی خنک می‌شوند و می‌توانند نوسانات دمایی روز به شب را کاهش دهند. با توجه به شرایط اقلیمی شهر دزفول این مصالح توصیه می‌شود.

تدبیر ۸ (استراتژی ۳۵): جهت‌گیری پنجره‌ها یا روشنایی طبیعی

استفاده از جهت‌گیری مناسب برای پنجره‌ها و بازشوها علاوه بر این که نور کافی را برای ساختمان فراهم می‌کند بلکه با انتقال تابش به درون فضاهای داخلی گرمای لازم را برای گرم کردن فضاها فراهم می‌کند. جهت جنوبی و جهت‌های نزدیک به آن در این شهر برای دریافت نور کافی توصیه می‌شود.

تدبیر ۹ (استراتژی ۱۲): عایق‌گذاری جهت صرفه‌جویی در اتلاف انرژی

بیشترین اتلاف انرژی گرمایی در خانه از طریق پنجره‌ها صورت می‌گیرد. یکی از بهترین راه‌های مقابله با اتلاف گرما، استفاده از پنجره‌های دوجداره است. استفاده از پنجره دوجداره علاوه بر این که باعث حذف مقدار زیادی از صداهای بیرون که به تمرکز دانش‌آموزان را به هم می‌زند، سبب می‌شود در تمام طول روز از نور کافی خورشید استفاده کرد و نیاز به استفاده از پرده‌های ضخیم نیست.



شکل ۷: تدابیر۵-۹ طراحی اقلیمی شهر دزفول براساس خروجی نرم‌افزار مشاور اقلیم

(منبع: یافته‌های تحقیق)

بحث و نتیجه‌گیری

تضاد بین معماری و آب و هوا، منجر به افزایش مصرف انرژی سرمایش و گرمایش ساختمان می‌شود و این موضوع پیامدهای منفی اقتصادی و زیست‌محیطی دارد؛ بنابراین شناخت شرایط اقلیمی هر سکونتگاه و تعیین استاندارد برای فضاها با توجه به اقلیم هر منطقه ضروری است. طراحی ساختمان‌های با کارایی بالا بر استفاده دقیق و تجزیه و تحلیل اقلیمی متکی است. با توجه به اهمیت نکات ذکر شده در این مقاله از نرم‌افزار مشاور اقلیم برای کشف ایده‌های طراحی اقلیمی در ساختمان‌های آموزشی دزفول استفاده شده است.

۱- از لحاظ دمای ظهر گاهی در ۷ ماه از سال دمای هوا بالاتر از ۳۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. ماه‌های آوریل تا اکتبر (فروردین تا مهرماه) چنین شرایطی را دارند. در دو ماه مارس و نوامبر نیز دمای ظهر گاهی همچنان بالای ۳۰ درجه سانتی‌گراد است که همچنان برای زیست و فعالیت محدود کننده است. به این ترتیب فقط در سه ماه سال دمای ظهر گاهی برای انسان مطلوب است. ماه‌های دسامبر تا فوریه چنین شرایطی دارند. با توجه به این که در ماه‌های گرم سال مدارس مورد استفاده قرار نمی‌گیرند و در ماه‌های آوریل و می و همچنین ماه اکتبر دمای صبحگاهی هنوز مزاحمتی برای آسایش دانش‌آموزان ایجاد نمی‌کند. لذا همچنان جهت جنوب و جهت‌های نزدیک به آن برای طراحی بازشوها توصیه می‌شود.

۲- از لحاظ دمای صبحگاهی ماه‌های ژوئن، جولای، اگوست و تا حدودی سپتامبر در شرایط مطلوبیت دمایی قرار دارند. سایر ماه‌ها در شرایط سرد تا خنک قرار دارند. بانبر این جهت جنوبی برای دریافت تابش مستقیم اشعه‌های خورشید برای گرمایش داخل کلاس‌ها مناسب است.

۳- باد غالب شهر دزفول غربی و باد شمال غربی باد نایب غالب این شهر است. بادهای شمال شرقی کمترین تعداد بادهای این شهر را شامل می‌شود. توجه به این که باز شوها به سمت جنوب است. نیازی به انتقال باد به درون فضاها نیست.

۴- از لحاظ رطوبت نسبی ماه ژانویه بالاترین رطوبت نسبی را دارد. سپس این مقدار روند نزولی پیدا کرده و در ماه‌های ژوئن و جولای به پایین‌ترین مقدار خود می‌رسد، سپس سیر صعودی پیدا می‌کند. بالاترین رطوبت نسبی در ماه ژانویه ۷۱/۴۸ درصد و در ماه ژوئن به ۲۶/۸ درصد ثبت شده است. با توجه به شرایط دمایی شهر دزفول که به خصوص در ایام ظهر دمای هوا در ماهای ابتدایی و انتهایی شروع و پایان فعالیت مدارس بالای حد آسایش دانش‌آموزان قرار دارد، رطوبت بالای هوا می‌تواند شرایط را نامطلوب کند. در نتیجه رطوبت پایین برای ایجاد آسایش زیستی بسیار مطلوب است. روش‌ها شامل کاهش تلفات حرارتی ساختمان‌ها، کاهش اثرات بادبر تلفات حرارتی ساختمان، تأمین تهویه فضاهای داخلی، بهره‌مندی از شرایط آب‌وهوایی مناسب بیرون، بهره‌مندی از انرژی خورشیدی برای تقاضای گرمایش ساختمان و حفاظت ساختمان در برابر نور خورشید است. تشعشعات نامطلوب و جلوگیری از افزایش رطوبت هوا و ۱۷ استراتژی برای این شهر تدوین شد. در این تحقیق استراتژی‌های کم اثر حذف شده و استراتژی‌های مؤثرتر تبین شد. در یک جمع‌بندی کلی از تحلیل استراتژی‌ها می‌توان گفت برای استفاده حداکثر از توانمندی‌های اقلیمی شهر دزفول در دوره فعالیت مدارس و پرهیز از شرایط نامطلوب اقلیمی مناسب‌ترین جهت‌گیری برای سازهای نورگیر و بازشوها جهت جنوب در رتبه اول و جهت‌های نزدیک به آن در رتبه دوم برای مدارس شهر دزفول توصیه می‌گردد. برای مدارسی که قبلاً احداث شده و چاره‌ای به جز استفاده از این مدارس نیست با کاشت درخت در امتداد دیوارها و باز شوها، می‌توان اثرات نامطلوب حاصل از تابش خورشید را به حداقل رساند. نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج (Raeissi and Taheri, 1999) همسو است و همچنین با نتایج حاصل از مطالعه (Akande, 2010) که در زمینه استراتژی طراحی اقلیمی در آب و هوای گرم و خشک نیجریه است تطابق دارد. درمقایسه با مطالعه (Liu and Wang, 2019) در شهر وایدونگ از نرم‌افزار مشاور اقلیمی استفاده کردند که در این پژوهش هم استفاده شده و کارایی این نرم افزار در تدوین

استراتژی‌ها مفید بوده است. مدیری و همکاران، ۱۳۹۱ برروی بهترین جهت استقرار ساختمان براساس تابش در شهر گرگان معتقد بودند که جهت جنوبی و جنوب غربی بهترین دریافت تابش را دارد که در پژوهش حاضر مدارس تازه تأسیس جهت‌گیری جنوب بیشتر رعایت شده است که در این بخش نیز با مطالعه لشکری و محمدی، ۱۳۹۴ همخوانی دارد.

پی نوشت

1- Energy Plus Weather

منابع

- انتظاری، ع.ر.، میوانه، ف. و خزاعی نژاد، ف.، ۱۳۹۹. خورشید، باد و نور (استراتژی‌های طراحی در معماری همساز با اقلیم) مطالعه موردی: شهر یزد، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۰(۵۶)، ۲۲۳-۲۴۰.
http://jgs. khu.ac.ir/article-1-3026fa. html

- لشکری، ح. و محمدی، ز.، ۱۳۹۴. تحلیل رابطه جهت و زاویه تابش خورشید و جهت‌گیری دیوار در انتقال انرژی گرمایی به داخل ساختمان در شهرهای گرمسیری (مطالعه موردی شهر لار)، نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی، ۷(۲)، ۱-۲۰.
http://geography. journals. iau-garmsar.ac.ir/article_664561. html

- مدیری، م.، ذهاب ناظوری، س.، علی بخشی، ز.، افشارمنش، ح. و عباسی، م.، ۱۳۹۱. بررسی جهت مناسب استقرار ساختمان‌ها براساس تابش آفتاب و جهت باد مطالعه موردی: شهرگرگان، جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، ۲، ۱۴۱-۱۵۶.
https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper. aspx?ID=173878

- Alghamdi, S., Tang, W., Kanjanabootra, S. and Alterman, D., 2022. Effect of Architectural Building Design Parameters on Thermal Comfort and Energy Consumption in Higher Education Buildings, Buildings, 12(3), 329.
https://doi.org/10.3390/buildings12030329.

- Allab, Y., Pellegrino, M., Guo, X., Nefzaoui, E. and Kindinis, A., 2017. Energy and comfort assessment in educational building: Case study in a rr ecch yyyyyyyyyymmmuu,,, eee ryy nnd Buildings, 143, 202-219.
https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.028

- Ascione, F., Bianco, N., Böttcher, O., Kaltenbrunner, R. and Vanoli, G.P., 2016. Net zero-energy buildings in Germany: Design, model calibration and lessons learned from a case-study in Berlin, Energy and Buildings, 133, 688-710.
https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.028

- Ashwani, K., 2018. Climate Consultant: A Software for Designing Energy Efficient Building, International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET), 2321-9653.
https://docplayer.net/140037813

- Baranova, D., Sovetnikov, D., Semashkina, D. and Borodinecs, A., 2017. Correlation of energy efficiency and thermal comfort depending on the ventilation strategy, Procedia Engineering, 205, 503-510.
https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.403

- Gangrade, S. and Sharma, A., 2022. Study of thermal comfort in naturally ventilated educational buildings of hot and dry climate-A case study of Vadodara, Gujarat, India. International, Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development, 122-146.
https://doi.org/10.3390/buildings5030917

- Hoque, S. and Weil, B., 2016. The relationship between comfort perceptions and academic performance in university classroom buildings, Journal of Green Building, 11(1), 108-117.
https://doi.org/10.3390/buildings12030329
http://ijaup. iust.ac.ir/browse. php?a_id=152&sid=1&slc_lang=en&ftxt=1
https://doi.org/10.22712/susb. 20220010

- Humphreys, M.A., 1977. A Study of the Thermal Comfort of Primary School Children in summer, Building and Environment, 12, 231 239.
https://doi.org/10.1016/0360-1323(77)90025-7

- Indraganti, M. and Rao, K.D., 2010. Effect of age, gender, economic group and tenure on thermal comfort: A field study in residential buildings in hot and dry climate with seasonal variations, Energy and buildings, 42(3), 273-281.
https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.09.003

- Karjalainen, S., 2012. Thermal comfort and gender: a literature review, Indoor air, 22(2), 96-109.
https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2011.00747.x
- Larriva, M.T.B., Mendes, A.S. and Forcada, N., 2022. The effect of climatic conditions on aaaaaa aaaa thermal comfort in naturally ventilated nursing homes, Building and Environment, 214, 108930.
https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108930
- Li, J., Yu, Z. J., Haghighat, F. and Zhang, G., 2019. Development and improvement of occupant behavior models towards realistic building performance simulation: A review, Sustainable Cities and Society, 50, 101685.
https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101685
- Liang, H.H., Lin, T.P. and Hwang, R.L., 2012. kkkkigg ccc ssssss s Trrr mll pppppppn ddd Building Thermal Performance in Naturally Ventilated School Buildings, Applied Energy, 94, 355-363.
https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.02.004
- Mishra, A.K., Derks, M.T.H., Kooi, L., Loomans, M.G.L.C. and Kort, H.S.M., 2017. Analysing thermal comfort perception of students through the class hour, during heating season, in a university classroom, Building and Environment, 125, 464-474.
https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.09.016
- Mors, S.T., Hensen, J.L.M., Loomans, M.G.L.C. and Boerstra, A.C., 2011. Adaptive Thermal Comfort in Primary School Classrooms: Creating and Validating PMV-Based Comfort Charts, Building and Environment, 46(12), 2454-2461.
https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.05.025
- Pereira, L.D., Raimondo, D., Corgnati, S.P. and da Silva, M.G., 2014. Assessment of indoor air quality and thermal comfort in Portuguese secondary classrooms: Methodology and results, Building and environment, 81, 69-80.
https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.06.008
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., Coronel, J.F. and Maestre, I.R., 2011. A review of HVAC systems requirements in building energy regulations, Energy and buildings, 43(2-3), 255-268.
https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.10.025
- Singh, M.K., Ooka, R. and Rijal, H.B., 2018. Thermal comfort in Classrooms: A critical review, In Proceedings of the 10th Windsor Conference—Rethinking Comfort, Windsor, UK, 12-15.
https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.05.388
- Telia, D., Jentschb, M.F. and James, A.B.P., 2012. Naturally Ventilated Classrooms: An Assessment of Existing Comfort Models for Predicting the Thermal Sensation and Preference of Primary School Children, Energy and Buildings, 53, 166-182.
https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.06.022
- Tushar, W., Wang, T., Lan, L., Xu, Y., Withanage, C., Yuen, C. and Wood, K.L., 2017. Policy design for controlling set-point temperature of ACs in shared spaces of buildings, Energy and Buildings, 134, 105-114.
https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.10.027
- Wang, Y., Kuckelkorn, J., Zhao, F.Y., Liu, D., Kirschbaum, A. and Zhang, J.L., 2015. Evaluation on classroom thermal comfort and energy performance of passive school building yy iiii mzzgggCCCC Cntod tttt em,,, llll gggg and Environment, 89, 86-106.
https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.023
- Zhang, G., Zheng, C., Yang, W., Zhang, Q. and Moschandreas, D.J., 2007. Thermal comfort investigation of naturally ventilated classrooms in a subtropical region, Indoor and Built Environment, 16(2), 148-158.
DOI: 10.1177/1420326X06076792
- Zhang, G., Zheng, C., Yang, W., Zhang, Q. and Moschandreas, D.J., 2007. Thermal Comfort Investigation of Naturally Ventilated Classrooms in a Subtropical Region, Indoor and Built Environment, 16(2), 148-158.
- Zomorodian, Z.S. and Nasrollahi, F., 2013. Architectural design optimization of school buildings for reduction of energy demand in hot and dry climates of Iran, International Journal of Architectural Engineering and Urban Planning, 23(1, 2), 41-50. http://ijaup.iust.ac.ir/article-1-152-en.html