Journal of Sustainable Architecture and Environment
Vol 1, No 1, Spring 2023
https://sanad.iau.ir/journal/jsae

Research Paper

A Comparative Study of Determining the Rate of Receiving Solar Radiation on the Northern Facade of Qajar Period Schools in Shiraz (By the Law of Cosines and Solar Diagram Methods)

Hamed Ayali:* Assistant Professor, Department of Architecture, Islamic Azad University, Fasa Branch, Fasa, Iran

Received: 2023/04/06 **PP** 1- 18 **Accepted:** 2023/05/26

Abstract
This research explores the principles of Iranian architecture, specifically how it adapts to climatic conditions and maximizes solar energy intake beyond traditional sustainability principles. The focus is on studying the central courtyard of Qajar period schools in Shiraz and its relationship to solar radiation and shadow effects. The research aims to answer how solar radiation intake has influenced the orientation of these schools. The methodology involves evaluating case studies, conducting library research, and making field observations. Registered Qajar period schools are studied, critiqued, and analyzed using analytical, deductive, and classification approaches. The findings indicate that the most suitable orientation for Qajar period schools in Shiraz, in terms of solar radiation intake, is a 25-degree rotation relative to the north, specifically in the northern facade of the central courtyard.

Keywords: Orientation, Solar radiation, Qajar period schools, Central courtyard, Shiraz.

Citation: Ayali, H.(2023). **A Comparative Study of Determining the Rate of Receiving Solar Radiation on the Northern Facade of Qajar Period Schools in Shiraz (By the Law of Cosines and Solar Diagram Methods).** *Journal of Sustainable Architecture and Environment*, Vol 1, No 1, Shiraz, PP 1-18.

*. **Corresponding author:** Hamed Ayali, **Email:** hamed.ayali@iau.ac.ir, **Tel:** +989177106394

Extended Abstract

Introduction

There are different methods to review and develop a better understanding of built spaces and microclimate analysis of buildings is one of the powerful tools in this field. Building design using solar energy along with attention to local climatic characteristics and materials, not only can create comfort conditions in the artificial environment, but will also help reduce energy consumption. In terms of formation of human conditions from a climatic perspective, four elements of temperature, humidity, wind and radiation are influential; among these elements, temperature and humidity have a greater impact on human comfort. One of the principles that has been considered important for better and safer living is compliance with the prevailing climatic conditions in Iran. Therefore, paying attention to the environmental factors governing the building can be one of the most important and most effective design paths based on climatic conditions and ultimately lead to reduced energy consumption at many levels.

Methodology

The purpose of this research is to examine the central courtyards of Qajar period schools in Shiraz in terms of the amount of received solar energy radiation and shadow casting of the bodies on the amount of received radiation on the north facade of the building. The research method in this study is a combination of evaluating registered case studies available with the method of collecting information from library document studies and field observations. In this research, registered Qajar period schools were reviewed and then criticized and analyzed. Then with analytical, deductive and classified descriptions, the necessary rules were issued. This research aimed to answer the following questions: How much did the amount of received solar radiation affect the orientation of the registered Qajar period schools in Shiraz?

To study the bioclimatic conditions of Qajar period schools in Shiraz, statistics related to climatic factors related to a 50-year period (1956 to 2006) were first received from the Shiraz synoptic meteorological station and analyzed. The amount of radiation on the north facade of the central courtyard of schools was also determined using two computational methods of cosine Stevenson and solar path drawing.

Results and discussion

In relation to solar radiation, the orientation of the building should be such that it receives the maximum amount of energy in cold weather and the minimum amount of energy in hot weather on the main facade. Therefore, the first step in determining such an orientation is to determine the different periods of the year in terms of solar energy gain. Examining the diagrams related to the solar energy radiation received on vertical surfaces at latitude 29 degrees north indicates the maximum amount of radiation on the north façade. Given Shiraz's climatic needs calendar, the highest temperatures occur between 12 noon to 5 pm. Therefore, the hours of 12, 13, 14, 15, 16, 17 and 18 were considered as the basis for calculating the amount of solar energy radiation on the north facade. To prevent factors affecting the amount of solar energy radiation from increasing, their surfaces were considered without any opening, glass or decorations. Also, due to the variety of surfaces of the central courtyards, the effect of reflection from surrounding vertical surfaces was avoided. As mentioned, for the large number of calculations and readability of the diagrams, schools were divided into five categories of 25, 30, 35, 40 and 45 degrees of rotation relative to the north. Based on the methods of calculating the amounts of solar energy on the vertical walls of a building, the amount of solar radiation on the northeast and northwest facades of each research sample was calculated as the average radiation of the days of each month during the above hours using the cosine Stevenson method. Considering that the orientation of the building should be such that it receives maximum energy in cold weather and minimum energy in hot weather on the main facade, by examining the diagrams it was observed and thus determined that at 12 noon, the amount of solar radiation on the north facade at 45 degrees rotation is minimum in hot months and at 25 degrees rotation is maximum in cold months; but at 2 pm, at 25 degrees rotation it is minimum in hot months and maximum in cold months. Also, at 3, 4 and 5 pm, at 25 degrees rotation it will have minimum reception in hot months. Therefore, based on the calculations done in the computational method, the best courtyard angle of the sample was detected at 25 degrees rotation relative to the north based on the amount of solar radiation received on the north facade.

It is clear that the role of courtyard walls, compared to the floor, in increasing the building's heat gain is considerable. Therefore, the shadow cast on the walls will have a significant effect in reducing indoor temperatures. The amount of shadow cast by the walls around the central courtyard on the north facade was calculated. Then the ratio of the amount of radiation received on the north wall to the total area of that wall of the sample was calculated. Based on the findings, the similarity between the cosine Stevenson method diagrams was observed and the issued rulings were also re-emphasized as follows: that the north facade of the central courtyard with 25 degree rotation relative to the north has the least solar radiation absorption in hot months and the maximum absorption in cold months among the classifications.

Conclusion

In this research, by analyzing and examining case study samples, it was concluded that in the Qajar period schools of Shiraz, by examining the amount of solar radiation on the north facade of the central courtyard in case study samples, it was specified that 25 degrees of rotation relative to the north was recognized as the best angle. The amount of shadow casting at the beginning of each month was also examined and calculated. It was determined that the central courtyard with 25 degrees of rotation relative to the north was the best orientation of the central courtyard in Shiraz among the schools built during the Qajar period based on the amount of received solar radiation. It was also determined based on the diagrams that the more the central courtyard rotates relative to the north axis, the north wall of the central courtyard will receive more in summer.

فصلنامه معماری و محیط پایدار
دوره ۱، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲
https://sanad.iau.ir/journal/jsae

مقاله پژوهشی

بررسی تطبیقی تعیین میزان دریافت تابش انرژی خورشیدی در جبهه شمالی مدارس دوره قاجار شیراز (به روش قانون کسینوس و نقاله خورشیدی)

حامد عیالی[۱]: استادیار گروه معماری، دانشکده معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فسا، فسا، ایران

دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۱۷ صص ۱۸-۱ **پذیرش:** ۱۴۰۲/۰۳/۰۵

چکیده

در این پژوهش سعی بر آن است که نظام قانونمند مسلط بر معماری ایرانی که نمودی فاخر از انطباق کالبد بنا با شرایط اقلیمی و استفاده حداکثری از میزان دریافت انرژی خورشیدی ورای آنچه که به‌عنوان اصول پایداری در معماری سنتی مدارس ایران مطرح می‌شود، بیان گردد. هدف از این پژوهش، بررسی کالبدی حیاط مرکزی مدارس دوره قاجار شیراز باتوجه‌به میزان دریافت تابش انرژی خورشیدی و تأثیر سایه بر میزان تابش است. در این راستا این پژوهش به این سؤال پاسخ خواهد داد که: میزان دریافت تابش انرژی خورشیدی چه تأثیری بر جهت‌گیری مدارس ثبت شده دوره قاجار در شیراز داشته است؟ روش تحقیق در این پژوهش، ترکیبی از ارزیابی نمونه‌های موردی ثبت شده و موجود با شیوه جمع‌آوری اطلاعات از مطالعات اسناد کتابخانه‌ای و مشاهده‌های میدانی است. در این پژوهش مدارس ثبت شده دوره قاجار مورد بررسی قرار گرفته و سپس نقد و تجزیه‌وتحلیل گردیده‌اند. سپس با توصیف‌های تحلیلی، استنتاجی و طبقه‌بندی آن‌ها احکام لازم صادر گردید. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که مناسب‌ترین جهت‌گیری مدارس دوره قاجار شیراز از نظر دریافت میزان تابش انرژی خورشیدی در جبهه شمالی حیاط مرکزی مدارس، محدوده زاویه ۲۵ درجه چرخش نسبت به شمال است.

واژه‌های کلیدی: جهت‌گیری، تابش خورشیدی، مدارس دوره قاجار، حیاط مرکزی، شیراز.

استناد: عیالی، حامد. (۱۴۰۲). **بررسی تطبیقی تعیین میزان دریافت تابش انرژی خورشیدی در جبهه شمالی مدارس دوره قاجار شیراز (به روش قانون کسینوس و نقاله خورشیدی)**. فصلنامه معماری و محیط پایدار، سال ۱، شماره ۱، شیراز، صص ۱۸-۱

[۱]. **نویسنده مسئول:** حامد عیالی، **پست الکترونیکی:** hamed.ayali@iau.ac.ir ، **تلفن:** ۰۹۱۷۷۱۰۶۳۹۴

مقدّمه

امر آموزش، یکی از نیازهای حیات نوع بشریت بوده که بشر، با ایجاد فضاهای آموزشی آن را برطرف می‌نماید. مسئله‌ای بااهمیت بسیار، تا بدان‌جا که مروزه یک مورخ دقیق و روشن‌بین تنها از مطالعه در این فضاها، می‌تواند تصویر روشنی از تمدن تاریخ گذشتگان یک ملت را پیش چشم خویش مجسم کند (Hosseini Alamdari et al., 2016: 53). یکی از بناهای مهم معماری دوره اسلامی ایران، مدارس علوم دینی هستند که با شکل‌گیری نظامیه‌ها در دوره سلجوقی آغاز و با فراز و نشیب‌هایی تا دوره قاجار نیز ادامه یافت که اوج توجه به احداث مدرسه‌ها در اوایل دوره قاجار و تا زمان تأسیس مدرسه دارالفنون است (Bemanian et al., 1392: 15). در واقع، مدرسه در زمان پیشین به‌عنوان نهادی برای حوزه علمیه به کار می‌رفت؛ مکانی که اغلب در نزدیکی یا ضمیمه شده به مسجد که در آن علوم اسلامی، حدیث، تفسیر و فقه آموزش داده می‌شد. این نهاد با آهنگی طبیعی به‌آرامی رشد کرده و احتمالاً با تغییری عمده در سبک تدریس متداول گردید (Hillenbrand, 1380: 173). از طرفی دیگر، شیوه‌های مختلفی برای بررسی و ایجاد درکی بهتر از فضاهای ساخته شده وجود دارد و بررسی خرد اقلیمی بناها یکی از ابزارهای توانا در این زمینه است. طراحی ساختمان با استفاده از انرژی خورشیدی به همراه توجه به خصوصیات اقلیمی و مصالح محلی ساختمان، نه‌تنها می‌تواند شرایط آسایش در محیط مصنوع را ایجاد کند، بلکه در کاهش مصرف انرژی نیز کمک خواهد کرد (Yaglou, 1972: 251). شکل یا فرم بنا در نگرش اقلیمی تابعی از عناصر آب‌وهوایی است. شکل و خواص گوناگون آن (اندازه، تناسب و نسبت‌های آن)، رنگ و سطوح هرکدام تحت‌تأثیر دما، تابش، باد و رطوبت قرار می‌گیرند. البته شاید بتوان گفت که بیشترین تأثیر را تابش آفتاب و بارندگی بر سطوح دارد (Memarian, 2014: 37). در شرایط شکل‌گیری شرایط انسان از دیدگاه آب‌وهوایی، چهارعنصر دما، رطوبت، باد و تابش نقش دارند؛ در بین این عناصر، دما و رطوبت اثر بیشتری بر آسایش بشر می‌گذارند. به همین دلیل بیشتر مدل‌های سنجش انسان بر این دو عنصر استوار است (Alijani, 1994: 45). معماران سنتی در گذشته راه‌حل‌های منطقی برای آسایش و سلامت انسان پیشنهاد نموده‌اند. یکی از اصولی که برای ادامه زندگی بهتر و ایمن‌تر مورد توجه قرار گرفته است، تطابق با شرایط اقلیمی جاری در کشور ایران بوده است (Zare et al., 2013: 50). ازاین‌رو توجه به عوامل محیطی حاکم بر بنا می‌تواند از مهم‌ترین و درعین‌حال کاراترین مسیرهای طراحی بر اساس شرایط اقلیمی بوده و در نهایت منجر به کاهش مصرف انرژی در بسیاری از سطوح گردد. این پژوهش با درنظرگرفتن یکی از مهم‌ترین عوامل اقلیمی، یعنی میزان تابش نور خورشید و بررسی آن در مدارس دوره قاجار در شیراز تلاش دارد تا الگوی تعریف شده و تعیین جهت بهینه حیاط مرکزی این مدارس را بر اساس میزان دریافت تابش انرژی خورشیدی تعیین نماید.

پیشینه و مبانی نظری تحقیق

در میان پژوهش‌های گوناگون انجام شده در زمینه مدارس می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: دسته‌ای از مطالعات، مدارس را در حوزه معماری اسلامی مورد بررسی قرار داده‌اند؛ دسته‌ای دیگر از مطالعات به تاریخ تحولات مدارس ایران طی دوره‌های گوناگون پرداخته شده است؛ دسته‌ای دیگر، به شکل ویژه به بررسی مدارس پرداخته‌اند؛ گروهی دیگر از مطالعات ارتباط میان بخش‌هایی از مدارس را مورد بررسی قرار داده‌اند و برخی نیز به گونه‌شناسی مدارس و بررسی معماری یا اجزای یک یا چند مدرسه پرداخته‌اند (Alghehmand et al., 2015: 6). بااین‌حال مورد پایداری و به‌خصوص میزان انرژی دریافتی تابش انرژی خورشیدی در مدارس پرداخته نشده است.

در میان پژوهش‌های مختلف انجام پذیرفته در زمینه آسایش و پایداری می‌توان به‌اختصار به موارد زیر اشاره کرد: اولگی[1](۱۹۶۳) جدولی به نام جدول بیوکلیماتیک پیشنهاد نمود که در آن، حدود آسایش انسان در رابطه با تغییرات دو عنصر آب‌وهوایی، مثل آفتاب و باد که در محدوده منطقه آسایش ایجاد می‌نمایند، نشان داده می‌شود. اوک[2](۱۹۹۸) اصول طراحی خیابان و سایبان باتوجه‌به عوامل اقلیمی و تابش بیان می‌دارد. کیفا[3](۲۰۰۴) به‌منظور تهیه اطلاعات کلی و مناسب برای استفاده از انرژی غیرفعال خورشیدی در برنامه‌ریزی‌های شهری و طراحی ساختمان، با استفاده از جدول ماهانی دوره ۲۵ساله عناصر اقلیمی را برای شهر نیکوزیا در قبرس مورد تحلیل قرار داد و استراتژی‌های پیش‌طراحی را محاسبه و ارائه کرده است. در ایران، طاووسی (۱۳۸۱) در مقاله‌ای به بررسی ویژگی‌های تابش خورشید، ارتفاع یا زاویه تابش، سمت و جهت تابش خورشید، زاویه ساعتی و محاسبه طول سایه در شهر اصفهان پرداخته است. هدف از این پژوهش، بررسی تابش زمستانی خورشید در شهر اصفهان است تا بر اساس آن بتوان راهکارهای مناسب جهت ایجاد آسایش راحت و ارزان بدون مصرف انرژی را در ساختمان فراهم کرد و باتوجه‌به چگونگی تابش مکان‌یابی صحیح کاربری‌ها را مشخص کرده است. بنتلی[4]و همکاران (۱۳۸۲) در کتاب محیط‌های

[1] Olgyay
[2] Oke
[3] Keifa
[4] Bentley

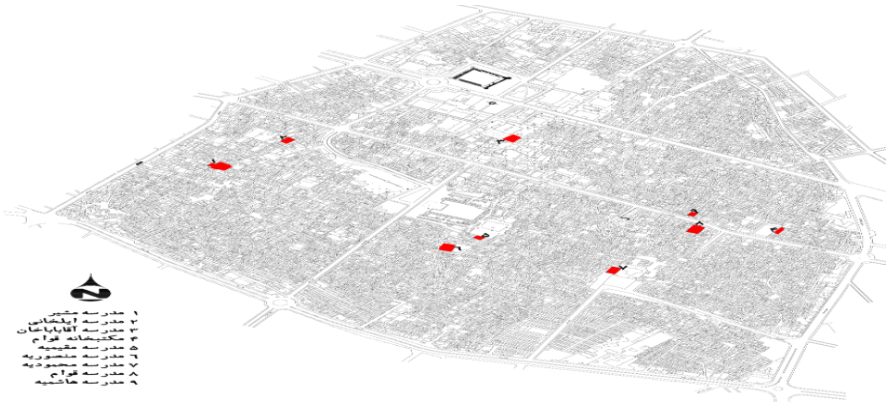
پاسخده، در فصل چهارم با عنوان خرد اقلیم، شیوه‌ای برای تحلیل تأثیر متقابل شهر و اقلیم ارائه داده‌اند و بر دو عنصر اقلیمی تابش و باد تأکید شده است. سلیقه (۱۳۸۳) باتوجه‌به نیروهای زوال‌ناپذیر چون آفتاب و باد و استفاده از آنها در بهبود شرایط حرارتی و چگونگی تابش آفتاب در منطقه چابهار به جهت‌گیری مناسب ساختمان دست‌یافته است. کمالی و مرادی (۱۳۸۵) در زمینه تابش خورشید به‌ویژه بررسی داده‌های ایستگاه‌های تابش‌سنجی مطالبی مطرح نموده است. او در اثر خود درباره اصول تابش خورشید، روابط هندسی زمین، روش‌ها و ابزارهای اندازه‌گیری تابش و برآورد تابش خورشید با استفاده از سایر متغیرهای هواشناسی و کاربرد انرژی خورشید در زمینه‌های مختلف و مهم‌تر برآورد تابش بر روی سطوح شیب‌دار در ایران پرداخته است. وی تابش خورشید را مهم‌ترین متغیر هواشناسی و منشأ انرژی برای تمامی تحولات در جو و سطح زمین دانسته است. کسمایی (۱۳۸۴) به محاسبه مقدار انرژی خورشیدی بر سطوح قائم به روش تجربی پرداخته است و نتیجه عملی تحقیقات خود را برای شهرهای بزرگ ایران به شکل نمودار مقدار دریافت انرژی خورشیدی در ماه‌های مختلف سال جمع‌بندی کرده است. نیلسن[1](۱۳۸۵) به جهت‌گیری ساختمان در رابطه با تابش آفتاب اشاراتی دارد. وی پیشنهادهایی عملی و کاربردی در طراحی اقلیمی برای کاهش مصرف انرژی و استفاده از انرژی‌های پاک در اقلیم مختلف ارائه نموده است. بهادری‌نژاد و یعقوبی (۱۳۸۵) مصرف انرژی و اثرات زیست‌محیطی آن و انرژی موردنیاز ساختمان، شرح داده است. روحی‌زاده (۱۳۸۷) به بررسی انرژی خورشیدی و گرمایش و سرمایش ساختمان پرداخته است و راهکارهای برای استفاده حداکثری از انرژی‌های پاک ارائه کرده است. رازجویان (۱۳۷۴) به طراحی ساختمان باتوجه‌به موقعیت خورشید و محاسبه موقعیت آن از طریق نمودار تشریح کرده است و پیشنهادهای عملی جهت طراحی بنای مناسب در محیط‌های جغرافیایی گوناگون باتوجه‌به تابش آفتاب و باد ارائه کرده است. طاووسی (۱۳۹۰) بار دیگر به مطالعه انرژی خورشید و محاسبه تابش با استفاده از استریوگراف پرداخته است. کاربرد انرژی تابشی خورشید در کشاورزی و معماری و شهرسازی و چشم‌انداز فناوری استفاده از انرژی خورشید در برنامه‌ریزی محیطی بخش دیگری از این آثار ایشان است. واتسون و لبز[2](۱۳۹۰) درباره اصول نظری و اجرایی کاربرد انرژی در ساختمان و محاسبه مقدار انرژی خورشیدی بر دیوار قائم به روش تجربی مفصل شرح داده است. اخترکاوان (۱۳۹۰) تأثیر تابش خورشیدی بر معماری و منطقه آسایش و روش‌های کسب انرژی از خورشید مباحثی عنوان نموده است. حسین‌آبادی و همکاران (۱۳۹۱) نیز به محاسبه تجربی مقدار انرژی خورشیدی تابیده شده بر سطوح قائم برای شهر سبزوار پرداخته و جهت‌گیری مناسب ساختمان باتوجه‌به تابش آفتاب برای شهر مزبور را شرح داده است. وی بهترین جهت برای استفاده حداکثری از تابش آفتاب در دوره سرد سال را جهت جنوب غربی دانسته است. سلکی و همکاران (۱۳۹۱) به جهت‌گیری ساختمان در رابطه با تابش آفتاب برای شهر سقز از طریق محاسبات تجربی دست‌یافته است. او نیز جهت جنوب غرب را برای استفاده بیشتر از انرژی خورشید برای شهر سقز مناسب دانسته است. خسروی و همکاران (۱۳۹۲) نیز به محاسبه میزان تابش کل رسیده به سطح افق با استفاده از پارامترهای اقلیمی و پهنه‌بندی آن در گستره استان آذربایجان شرقی پرداخته است. نتایج اخذ شده نشان داده کمترین میزان تابش مربوط به ماه ژانویه و بیشترین میزان آن مربوط به ماه ژوئن و توزیع تابش سالانه استان از جنوب غربی به شمال و شمال شرقی روند کاهشی نشان می‌دهد.

دین اسلام بر دانش‌اندوزی تأکید فراوانی دارد. با ورود اسلام به ایران، شکوفایی دانش افزایش یافته و مراکز علمی و آموزشی بسیاری پدید آمد که در آغاز، ادامه همان سنت تشکیل حلقه‌های بحث و درس بودند. اما سرانجام به توجه به شمار فراوان طلاب، تقابل میان کارکرد مذهبی و آموزشی مسجد و مشکلات ناشی از آن و همچنین گاهی به دلیل ورود علوم عقلی که با محیط مسجد ناسازگار بود، بنایی مستقل برای آموزش در نظر گرفته می‌شود و فضای مدرسه در معماری اسلامی شکل می‌گیرد (Sultanzadeh, 1985: 92). در کشورهای اسلامی و به‌خصوص در ایران، بعد از مسجد، مهم‌ترین بنای عمومی از ساختمان‌های درون‌شهری مدرسه است (پیرنیا، ۱۳۸۷: ۹۱). از طرف دیگر، ساختمان مدرسه در کشور ما پیشینه زیادی دارد. نخستین دانشگاه در جهان به معنی امروزین آن، دانشگاه جندی‌شاپور در ایران بوده است. در گذشته فضاهای آموزشی در ایران به دو گونه مکتب‌خانه و مدرسه بوده است؛ مکتب‌خانه که جایگاه ویژه‌ای نداشته و بیشتر در یک خانه، بالاخانه، سر کوچه و یا خانه خود مدرس برگزار می‌شده و مقدمات الفبا، قرآن و خواندن آموزش داده می‌شده است. مدرسه که در دو سطح برگزار می‌شده است: یکی سطح مقدمات (دوره فقه) شامل صرف و نحو و ادبیات فارسی و دوم سطح خارج که تنها دروس مذهبی آموزش داده نمی‌شده؛ بلکه درس‌هایی مانند فلسفه و حکمت، ریاضی و علم موسیقی یا صوت‌شناسی که بخشی از فیزیک بوده نیز تدریس می‌شده است که اکنون تدریس این علوم در مدارس علمیه رایج نیست (Memarian, 2008: 342). ساختار این مدارس، مدرسه – حجره است. وجود فضاهای چندمنظوره در مقیاس‌های مختلف و به‌صورت بسته، نیمه‌باز و باز از ویژگی‌های بارز مدارس این دوره است. اجزای این‌گونه مدارس شامل حجره، مدرس، ایوان، گنبدخانه، کتابخانه و حیاط بوده که نحوه قرار گرفتن این اجزا، اغلب در چهار جهت پیرامون حیاط است. استراحت،

[1] Nielsen

[2] Watson & Labs

زندگی و تحصیل در این مدارس هم‌زمان به وقوع می‌پیوندد که این امر خود نشان از کارکرد و بخش اقامتی مدارس این دوره دارد که خود نشان از استفاده این فضاها در تمام ساعات روز و طول سال است. حیاط قلب ارتباطی مجموعه است و ارتباطات از طریق حیاط، ایوان و ایوانچه‌ها انجام می‌گرفته است (Alghehmand et al., 2015: 15). در واقع بارزترین خصوصیت کالبدی مدارس همانند مساجد در دشت‌های فلات، وجود حیاط مرکزی است (GHobadian, 2012: 250). فضای درونی مدرسه‌ها به‌گونه‌ای بوده که آرامش داشته و دنج باشد تا طلاب به آسودگی به درس خود برسند (Alghehmand et al., 2015: 344).



شکل ۱- مکان قرارگیری و پخشایش نمونه‌های مطالعاتی در محدوده بافت قدیم شیراز (مأخذ: اداره میراث فرهنگی استان فارس)

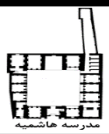
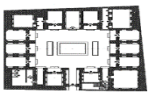
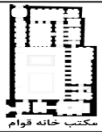
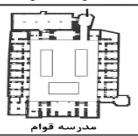
با این حال معماری مدارس دوره قاجار از الگوی چندان مشخصی ناشی از آشفتگی در تعداد ایوان‌ها پیروی نکرده و در برخی از نمونه‌ها بر اثر تلفیق عملکرد مدرسه با عملکردی دیگر در قالب یک بنا، باعث شد تا تنوع فضایی مدارس دوره قاجار نسبت به دوره‌های قبلی باشد به‌طوری‌که در کنار فضاهای اصلی، فضاهای خدماتی شکل گیرد که هرچند باعث کاهش تعداد حجره‌ها گشت؛ اما باتوجه‌به محدودیت زمین بناها و تغییراتی که در برخی الگوهای متداول و پایدار موجود معماری به وجود آمد باعث نوعی نوآوری و پیچیدگی در طراحی فضا و ترکیبات حجمی گشت (بمانیان و همکاران، ۱۳۹۲: ۲۷).

جدول ۱- گونه‌بندی مدارس دوره قاجار شیراز از نظر کاربری

گونه‌بندی	کاربری	نام مدارس
گونه اول	مستقل	مدرسه هاشمیه، مدرسه منصوریه، مکتب‌خانه قوام
گونه دوم	مشترک	مدرسه قوام (حسینیه)، مدرسه مشیر (حسینیه)
گونه سوم	مجاورت	مدرسه محمودیه، مدرسه مقیمیه، مدرسه ایلخانی، مدرسه آقاباباخان

مأخذ: نگارنده

جدول ۲- دسته‌بندی پلان نمونه‌های مطالعاتی

۴۵	۴۰	۳۵	۳۰	۲۵
مدرسه ایلخانی	مدرسه آقاباباخان	مدرسه مشیر	 مدرسه هاشمیه	مدرسه منصوریه
 مدرسه مقیمیه			 مکتب خانه قوام	مدرسه محمودیه
				 مدرسه قوام

مأخذ: اداره میراث فرهنگی استان فارس و ترسیم مجدد نگارنده

از سویی دیگر، تجربیات معماری بومی در پهنه جهان و به‌ویژه ایران، تأییدی بر اندیشه فرم‌زایی ملاحظات اقلیمی در معماری است (طاووسی و همکار، ۱۳۸۹: ۱۲۶). الگوی حیاط مرکزی در معماری گذشته و امروز کشورهای مختلف در جهت تأمین آسایش حرارتی و کاهش مصرف انرژی مورد استفاده قرار گرفته است. حیاط افزون بر ایجاد وحدت رویه بین عناصر، نوعی ارتباط پیمایشی بین آن‌ها ایجاد می‌کند (معماریان، ۱۳۷۳: ۱۵). عوامل تأثیرگذار بر استفاده از چنین الگویی در جهت تعدیل شرایط اقلیمی در معماری را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد: تأمین نور طبیعی برای فضاهای پیرامونی در طول روز؛ ایجاد تهویه و محافظت در برابر گردوغبار؛ ایجاد محرمیت برای ساکنین؛ ایجاد خرده اقلیمی در درون فضای زیستی جهت آسایش در محیط بیرونی؛ گرم‌شدن حیاط در طول روز و ایجاد امکان استفاده از تهویه هواکشی جهت افت حرارت جداره‌های پیرامونی؛ سردشدن حیاط در شب از طریق تابش به آسمان صاف و ایجاد امکان تهویه عبوری جهت پایین آوردن میانگین دمای روزانه داخل (تابان و همکاران، ۱۳۹۲: ۴۵).

جدول ۳- مشخصات ساختاری نمونه‌های مطالعاتی

دسته بندی	نام بنا	اجزای مدسره							جهت گیری زمین	جهت گیری حیاط	پلان	تعداد طبقات	تعداد حیاط	نحوه قرارگیری عناصر کارکردی-فضایی	عملکرد	ارتباط و دسترسی ها	درون گرایی/ برون گرایی	مساحت				حیاط مرکزی			زاویه سمت جبهه شمالی
		حجره	مدارس	حیاط	کتابخانه	شبستان	مسجد	حسینیه	مقبره									کل	باز	نیمه باز	بسته	طول	عرض	ارتفاع	
۲۵	مدرسه منصوریه	●	●	●	●	-	-	-	●	NE-SW	NE-SW	نامتقارن	۱	۲		مدرسه	از طریق صحن	درون گرا	۱۰۵۸	۴۹۵	۱۳۶	۴۲۷	۲۲.۸۲	۱۷.۱۴	۶.۳۵	-۲۲
	مدرسه محمودیه	●	●	●	-	-	-	-	-	NE-SW	NE-SW	متقارن	۱	۱		مدرسه	از طریق صحن	درون گرا	۱۲۳۴	۳۷۲	۸۳	۷۷۹	۲۳.۲۸	۱۶.۰۶	۵.۴۰	-۲۶
	مدرسه قوام	●	●	●	-	-	-	●	-	NE-SW	NE-SW	متقارن	۱.۵	۱		مدرسه-حسینیه	از طریق صحن و راهرو	درون گرا	۹۸۰	۳۱۰	۴۵	۶۲۵	۲۱.۷۲	۱۴.۵۶	۷.۲۰	-۲۳
۳۰	مدرسه هاشمیه	●	●	●	-	-	-	-	-	NE-SW	NE-SW	متقارن	۱.۵	۱		مدرسه	از طریق صحن	درون گرا	۲۲۷۲	۷۲۵	۱۲۲	۱۴۲۵	۲۸.۵۰	۲۵.۳۰	۶.۶۰	-۲۹
	مکتب خانه قوام	-	●	●	-	-	-	-	-	NE-SW	NE-SW	نامتقارن	۲	۱		مدرسه	از طریق صحن و راهرو	درون گرا	۶۳۵	۱۸۵	۰	۴۵۰	۱۸.۰۴	۱۰.۲۴	۹.۷۰	-۳۰
۳۵	مدرسه مشیر	-	-	●	-	-	-	●	-	NW-SE	NW-SE	نامتقارن	۲	۱		مدرسه-حسینیه	از طریق صحن و راهرو	درون گرا	۸۹۲	۳۳۵	۳۷	۵۲۰	۲۳.۱۶	۱۴.۴۸	۵.۱۸	-۳۳
۴۰	مدرسه آقاباباخان	●	●	●	●	-	-	-	-	NE-SW	NE-SW	متقارن	۱.۵	۱		مدرسه	از طریق صحن	درون گرا	۱۳۸۹	۵۱۰	۹۷	۷۸۲	۲۷.۰۰	۱۹.۰۰	۵.۴۰	-۴۰
۴۵	مدرسه ایلخانی	-	-	●	-	-	-	-	-	NE-SW	NE-SW	نامتقارن	۲	۱		مدرسه	از طریق صحن و راهرو	درون گرا	۸۱۱	۳۹۵	۰	۴۱۶	۲۷.۷۰	۱۴.۲۵	۵.۴۵	-۴۴
	مدرسه مقیمیه	●	●	●	-	-	-	-	-	NW-SE	NW-SE	متقارن	۱.۵	۱		مدرسه	از طریق صحن	درون گرا	۳۱۸۰	۸۰۴	۱۶۰	۲۲۱۶	۴۶.۴۶	۳۰.۴۰	۹.۲۴	-۴۵

مأخذ: نگارنده

جهت استقرار ساختمان یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در ایجاد آسایش حرارتی ساختمان است. به‌منظور دستیابی به اهداف طراحی اقلیمی، جهت استقرار ساختمان باید باتوجه‌به تأثیرات دو عنصر اقلیمی تابش آفتاب و وزش باد تأمین گردد (حسین‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۰۷). همچنین تابش مهم‌ترین عاملی است که آب‌وهوای اقلیم را کنترل می‌کند؛ زیرا علت غایی کل تغییرات و حرکات جو است. اقلیم هر مکانی متشکل از اکتساب یا اتلاف گرما به‌صورت تابش است (Lamb, 1972: 6).

مواد و روش تحقیق

ازآنجاکه تابش خورشیدی یکی از مهم‌ترین عناصری است که بر بسیاری از فرایندهای زیستی و از جمله معماری تأثیرگذار است و از سوی دیگر باتوجه‌به تطبیق‌پذیری جهت ساختمان با شرایط اقلیمی جاری در هر منطقه، پژوهش حاضر بر روی تأثیرپذیری تابش خورشید بر کالبد حیاط مرکزی در مدارس تمرکز کرده است. هدف از این پژوهش بررسی حیاط مرکزی مدارس دوره قاجار شیراز باتوجه‌به میزان دریافت تابش انرژی خورشیدی و سایه‌اندازی بدنه‌ها بر میزان دریافت تابش در جبهه شمالی بنا است. روش تحقیق در این پژوهش، ترکیبی از ارزیابی نمونه‌های موردی ثبت شده و موجود با شیوه جمع‌آوری اطلاعات از مطالعات اسناد کتابخانه‌ای و مشاهده‌های میدانی است. در این پژوهش مدارس ثبت شده دوره قاجار مورد بررسی قرار گرفته و سپس نقد و تجزیه‌وتحلیل گردیده‌اند. سپس با توصیف‌های تحلیلی، استنتاجی و طبقه‌بندی آن‌ها احکام لازم صادر گردید. این پژوهش پاسخگویی به پرسش‌های زیر را هدف قرار داده است:

میزان دریافت تابش انرژی خورشیدی چه تأثیری بر جهت‌گیری مدارس ثبت شده دوره قاجار در شیراز داشته است؟

برای مطالعه شرایط زیست‌اقلیمی مدارس دوره قاجار در شیراز، ابتدا آمار مربوط به فاکتورهای اقلیمی مربوط به یک دوره ۵۰ساله (۱۳۳۵ تا ۱۳۸۴ خورشیدی) از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک شیراز دریافت و مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. همچنین میزان انرژی تابیده شده بر جبهه شمالی حیاط مرکزی مدارس به دو روش محاسباتی کسینوس استیونسون و ترسیمی نقاله خورشیدی تعیین گردید.

الف - روش محاسباتی قانون کسینوس:

شدت تابش خورشیدی دریافت شده توسط هر سطح به‌وسیله قانون کسینوس نیز محاسبه می‌شود. اگر شدت پرتو مستقیم و زاویه تلاقی Θ شعاع خورشیدی بر روی سطح داده شده باشد، داریم:

$$I_s = I_n \cos \Theta \qquad (۱)$$

در رابطه فوق I_s معرف شدت تابش بر روی سطح، I_n معرف شدت تابش خورشیدی بر روی سطح عمود بر پرتو خورشیدی و Θ زاویه تلاقی میان‌پرتوی خورشید و خط عمود بر یک سطح عمودی (دیوار) است که به‌وسیله معادله کسینوس کروی معین می‌شود:

$$\text{Cos } \Theta = \text{Cos } \alpha \ \text{Cos } (\gamma - \gamma') \quad (۲)$$

که در رابطه فوق، α زاویه تابش (ارتفاع خورشید)، γ زاویه جهت تابش (زاویه آزیموت) در مسیر گردش عقربه‌های ساعت، از طرف شمال و بر حسب درجه اندازه‌گیری می‌شود و γ' زاویه جهت دیوار که در مسیر عقربه‌های ساعت، از طرف شمال و بر حسب درجه اندازه‌گیری می‌شود (واتسون و همکار، ۱۳۸۵: ۴۴). در رابطه فوق همچنین مقدار I_n، شدت تابش خورشید بر روی سطح عمود بر پرتوی خورشید باتوجه‌به فرمول ذیل محاسبه می‌گردد:

$$I_n = I_{sc} \exp (- B / \text{Cos } \theta_z) \quad (۳)$$

این رابطه شبیه رابطه تابش طیفی (تک موجی) به کار می‌رود و در آن θ_z زاویه سمت‌الرأس (زاویه ورود تابش بر سطح افق) و I_{sc} ثابت خورشیدی در توده هوا و B ضریب خاموشی اتمسفری بر تابش فرضی طیفی است؛ بنابراین ضریب عبور تابش مستقیم به هنگام عبور از اتمسفر (τ) برابر است با (بهادری‌نژاد و همکار، ۱۳۸۵: ۲۲۲):

$$\tau = \exp (- B / \text{Cos } \theta_z) \quad (۴)$$

به کمک بعضی از روش‌ها می‌توان مقادیر ضریب خاموشی اتمسفری و یا ضریب عبور تابش مستقیم به هنگام عبور از اتمسفر را محاسبه کرد. هاتل روشی ساده جهت برآورد میزان تابش مستقیم انرژی خورشیدی بر روی زمین در روزهایی با آسمان صاف ارائه کرده است. او با درنظرگرفتن زاویه سمت‌الرأس و ارتفاع از سطح دریا، برای مناطقی با چهار نوع آب‌وهوای مختلف، ضریب عبور تابش مستقیم به هنگام عبور از اتمسفر را با رابطه زیر نشان داده است:

$$\tau = a + b \exp (- c / \text{Cos } \theta_z) \quad (۵)$$

اعداد ثابت a، b و c در مکان‌هایی با ارتفاع کمتر از ۲/۵ کیلومتر و اتمسفر استاندارد با قابلیت دیدی برابر ۲۳ کیلومتر قابل‌محاسبه خواهد بود:

$$a = 0.4237 - 0.00821 (6 - A)^2 \quad (۶)$$

$$b = 0.5055 - 0.005958 (6.5 - A)^2 \quad (۷)$$

$$c = 0.2711 - 0.01858 (2.5 - A)^2 \quad (۸)$$

که در آن‌ها A معرف ارتفاع مشاهده کننده از سطح دریا برحسب کیلومتر است. برای اینکه بتوان شرایط مختلف آب‌وهوایی را در نظر گرفت، ضرایب تصحیح به‌صورت جدول ۱ پیشنهاد شده است (Sen, 2008: 71):

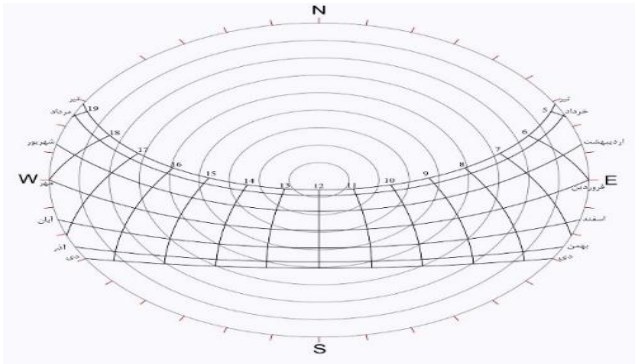
جدول ۴- ضرایب تصحیح اعداد ثابت در محاسبه میزان تابش مستقیم با آسمان صاف (مأخذ: Sen, 2008)

آب‌وهوای گرمسیری	۰/۹۵	۰/۹۸	۱/۰۲
آب‌وهوای با تابستان طولانی	۰/۹۷	۰/۹۹	۱/۰۲
آب‌وهوای با تابستان سرد	۰/۹۹	۰/۹۹	۱/۰۱
آب‌وهوای با زمستان طولانی	۱/۰۳	۱/۰۱	۱/۰۰

ب- روش نموداری نقاله محاسب انرژی خورشیدی:

استفاده از گرمای خورشید به روش غیرفعال شامل دو مرحله است؛ مرحله اول کنترل تابش مستقیم خورشید متناسب با نیازهای آسایش گرمایی در ایام سردوگرم یعنی کنترل سایه و آفتاب است. مرحله دوم کنترل شدت تابش خورشید بر ساختمان است. به‌عبارت‌دیگر، باید بتوان با کنترل زاویه تابش اشعه خورشید به پوسته ساختمان، پتانسیل دریافت تابش در ایام گرم و سرد را متناسب با نیازهای آسایش گرمایی انسان کنترل کرد (طاهباز، ۱۳۹۲: ۸۰). وضعیت‌های خورشید، به‌ازای هر مقدار از تشعشعات دریافتی سطح مزبور، نقاله محاسب انرژی خورشیدی نامیده می‌شود که به همراه نمودار حرکت خورشید برای این منظور مورداستفاده قرار می‌گیرد (مازریا، ۱۳۸۵: ۳۱۳). در این روش ابتدا باید نیاز

به سایه مکان مورد مطالعه را به کمک تقویم نیاز سایه و آفتاب تشخیص داد. بدین صورت که پس از تهیه تقویم نیاز سایه و آفتاب مکان مورد مطالعه، محدوده منطقه نیاز به سایه را به نمودار مسیرحرکت خورشید همان محل منتقل می‌کنیم. این عمل به‌سهولت قابل انجام است؛ چرا که نمودار مسیرحرکت خورشید و تقویم نیاز سایه و آفتاب، هر دو صفحات مختصاتی هستند که از دو محور ساعت و روز تشکیل شده‌اند. لیکن محورهای مختصات نیاز سایه و آفتاب مستقیم و متعلق به یک موقع از سال، ولی محورهای نمودار مسیر حرکت خورشید منحنی و متعلق به دو موقع از سال خواهد بود. می‌توان این اختلافات را نادیده گرفت و به‌ازای هر نقطه از تقویم نیاز سایه و آفتاب، نقطه نظیر آن را بر روی نمودار مسیرحرکت خورشید پیدا کرد (رازجویان ۱۳۷۴، ۱۸۳).



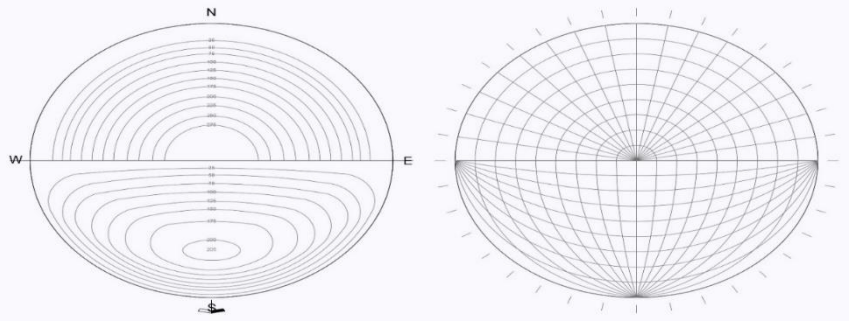
شکل ۲- نمودار مسیر حرکت خورشید در عرض جغرافیایی ۲۹ درجه شمالی (مأخذ: کسمایی، ۱۳۸۵)

وقتی جسم کدری در مقابل چشم ناظر به‌گونه‌ای قرار گرفته باشد که بخشی از نیم‌کره آسمان از نظر او مخفی بماند، بدیهی است که خورشید هم به هنگام عبور از این بخش از نظر ناظر مخفی خواهد ماند؛ چنانچه گویی صورت خود را پشت یک نقاب از نظر ناظر مخفی می‌کند و مادام که چهره خورشید در پشت نقاب باشد، ناظر هم در سایه قرار خواهد داشت. باتوجه‌به این مطلب اگر تصویر قسمت مخفی نیمکره آسمان را روی صفحه افق با استفاده از روش نمودار مسیر حرکت خورشید تهیه کنیم، در اصطلاح نقاب سایه جسم کدر را ترسیم کرده‌ایم. نقاب سایه بر اساس اصولی است که عبارت‌اند از:

اصل ۱: نقاب سایه خط مستقیم، خطی منحنی است.

اصل ۲: نقاب سایه خط قائم، خطی مستقیم است (رازجویان، ۱۳۷۴: ۱۸۷).

به‌منظور استفاده از امکانات طبیعی در جلوگیری از گرم‌شدن تابستان و افزایش گرمای زمستان و همچنین استفاده از نور طبیعی، دیوار مورد نظر بایستی به نحوی باشد که در زمستان بازتاب کمتر و در تابستان بازتاب بیشتری داشته باشد یا با تعبیه سایه‌بان از ورود گرمای بیشتر در تابستان جلوگیری کرد. برای این منظور تطبیق نقاله محاسب انرژی تابشی خورشید، بر روی نمودار مسیر حرکت خورشید در مدار آن شهر انجام می‌گیرد (کسمایی، ۱۳۸۴: ۳۰).

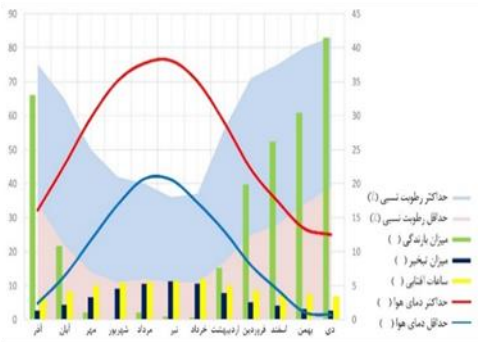


شکل ۳- نقاله سایه‌یاب (ماخذ: رازجویان، ۱۳۷۴)

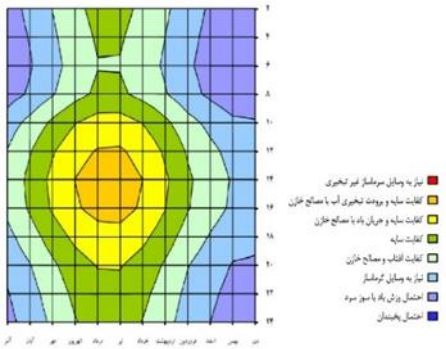
شکل ۴- نمودارنقاله محاسبه انرژی خورشیدی، انرژی تابیده بر روی سطوح افقی و قائم $BTU/h/ft^2$ (ماخذ: کسمایی، ۱۳۸۵)

محدوده مورد مطالعه

شیراز با طول جغرافیایی ۵۲ و ۳۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۲ دقیقه در جنوب غربی ایران، در مرکز استان فارس واقع شده است و از سطح دریاهای آزاد ۱۴۹۱ متر ارتفاع دارد. باتوجه‌به موقعیت جغرافیایی شیراز، نقاط هم اقلیم با شیراز بیشتر قسمت‌های جلگه‌ای که یا در نزدیکی کوهستان‌ها قرار دارند و یا مجاور با کویر هستند، واقع گشته است. میزان حداقل و حداکثر دمای متوسط هوا، حداقل و حداکثر رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، تبخیر و باران در شکل ۵ نمایش داده شده است. همچنین در شکل ۶ تقویم نیاز اقلیمی شیراز ارائه شده است. با بررسی تقویم نیاز اقلیمی چنین حاصل می‌شود که باتوجه‌به دمای بالای هوا، نیاز به سایه به‌عنوان ابزاری جهت ایجاد آسایش وجود دارد.



شکل ۵- نمودار اطلاعات آب‌وهوایی شهر شیراز (ماخذ: سازمان هواشناسی کشور و ترسیم نگارندگان)



شکل ۶- نمودار تقویم نیاز اقلیمی شهر شیراز (ماخذ: نگارندگان)

در راستای هدف تحقیق، از میان ۱۰ مورد از نمونه‌های ثبت شده در آثار ملی و باارزش معماری مدارس دوره قاجار در شیراز، ۹ مورد که شامل مدارس آقاباباخان، ایلخانی، قوام، محمودیه، مشیر، مقیمیه، منصوریه، هاشمیه و مکتب‌خانه قوام می‌شود (مدرسه حیات به دلیل تخریب گسترده و از بین رفتن بیشتر بخش‌های آن از نمونه‌ها حذف گردید)، جهت تعیین زاویه بهینه جهت‌گیری حیاط مرکزی در این اقلیم بر اساس زاویه و جهت حیاط مرکزی این مدارس نسبت به جهات جغرافیایی انتخاب شد. باتوجه‌به محاسبات بسیار زیاد و همچنین جهت خوانایی نمودارها، مدارس بر اساس میزان چرخش نسبت به شمال به پنج دسته ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه تقسیم‌بندی گردید.

بحث و ارائه یافته‌ها

میزان تابش انرژی خورشیدی در جبهه شمالی با روش محاسباتی کسینوس استیونسون

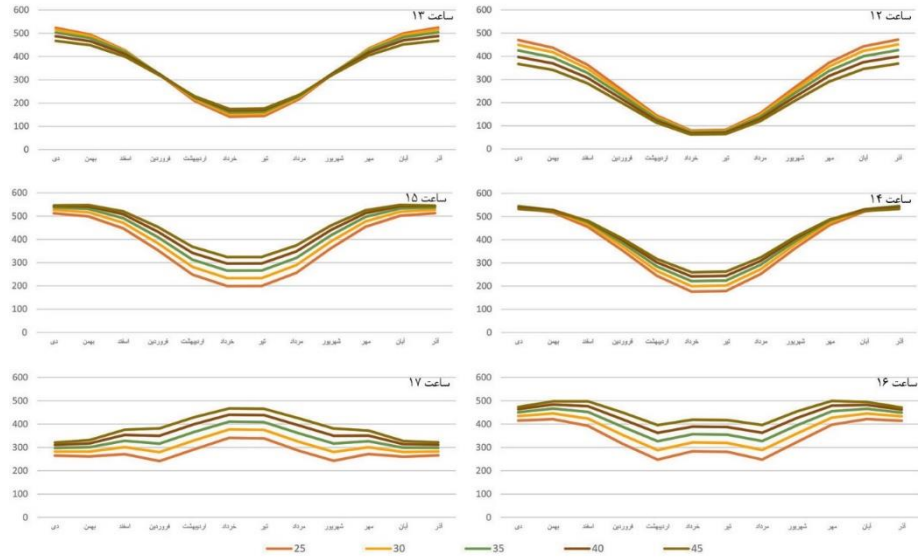
در رابطه با تابش خورشید، جهت ساختمان باید به‌گونه‌ای باشد که در مواقع سرد بیشترین میزان انرژی و در مواقع گرم کمترین میزان انرژی به نمای اصلی بتابد؛ بنابراین اولین مرحله، در تعیین چنین جهتی، تعیین مواقع مختلف سال از نظر کسب انرژی خورشیدی است (کسمایی، ۱۳۸۴: ۱۳۷). بررسی نمودارهای مربوط به انرژی خورشیدی تابش یافته بر سطوح قائم در عرض جغرافیایی ۲۹ درجه شمالی بیانگر بیشترین میزان تابش بر جبهه شمالی است (کسمایی، ۱۳۸۴: ۱۹۵).

جدول ۵- میزان ساعات و درصد آفتابی، طول روز، زاویه انحراف در شیراز

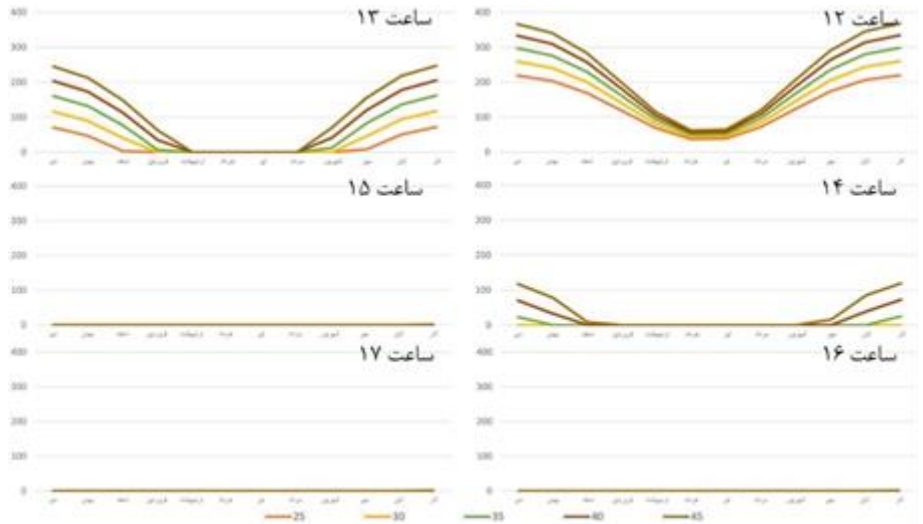
	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
ساعات آفتابی	۲۰۱.۰۰	۲۱۹.۰۰	۲۲۰.۴۰	۲۶۳.۵۰	۳۰۶.۹۰	۳۶۵.۸۰	۳۵۰.۳۰	۳۴۱.۰۰	۳۳۱.۷۰	۲۹۴.۰۰	۲۴۳.۰۰	۲۰۴.۰۰
طول روز	۳۰۳.۰۶	۳۱۲.۵۶	۳۲۳.۰۲	۳۷۲.۰۰	۴۰۰.۴۳	۴۲۲.۶۹	۴۳۰.۸۴	۴۲۰.۷۴	۳۹۷.۴۰	۳۶۰.۰۰	۳۳۰.۴۳	۳۱۰.۱۹
درصد آفتابی	٪۶۶.۳۲	٪۷۰.۰۷	٪۶۸.۲۳	٪۷۰.۸۳	٪۷۶.۶۴	٪۸۶.۵۴	٪۸۱.۳۱	٪۸۱.۰۵	٪۸۳.۴۷	٪۸۱.۶۷	٪۷۳.۵۴	٪۶۵.۷۷
شماره روز	۲۷۷	۳۰۷	۳۳۷	۱	۳۲	۶۳	۹۴	۱۲۵	۱۵۶	۱۸۷	۲۱۷	۲۴۷
زاویه انحراف	-۲۳.۴۵	-۱۹.۹۳	-۱۱.۲۳	۰.۰۰	۱۱.۹۳	۲۰.۵۴	۲۳.۴۵	۱۹.۸۲	۱۰.۶۹	۰.۰۰	-۱۲.۷۹	-۲۰.۸۲
مقدار ساعت نسبی آفتاب	۶.۷	۷.۳	۷.۶	۸.۵	۹.۹	۱۱.۸	۱۱.۳	۱۱	۱۰.۷	۹.۸	۸.۱	۶.۸

مأخذ: سازمان هواشناسی کشور و محاسبات نگارنده

باتوجه به تقویم نیاز اقلیمی شیراز (شکل ۵)، بیشترین دما را بین ساعات ۱۲ تا ۱۷ اتفاق می‌افتد، ازاین‌رو رأس ساعت‌های ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۷ مبنای محاسبه میزان تابش انرژی خورشیدی در نظر گرفته شد. جهت جلوگیری از افزایش فاکتورهای تأثیرگذار بر میزان تابش انرژی خورشیدی، سطح آنها بدون هرگونه بازشو، شیشه و تزیینات در نظر گرفته شد. همچنین باتوجه‌به تنوع سطوح حیاط‌های مرکزی، از تأثیر بازتابش از سطوح قائم اطراف پرهیز گردید. همان‌طور که ذکر شد، باتوجه‌به محاسبات بسیار زیاد و همچنین جهت خوانایی نمودارها، مدارس بر اساس میزان چرخش نسبت به شمال به پنج دسته ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه تقسیم‌بندی گردید.



شکل ۷- تابش انرژی خورشیدی در جبهه شمال شرقی نمونه‌های مطالعاتی در ساعات ۱۲ تا ۱۷ به روش کسینوس استیونسن (مأخذ: نگارنده)

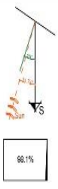
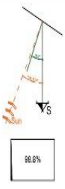
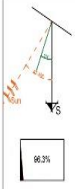
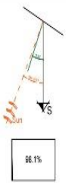


شکل ۸- تابش انرژی خورشیدی در جبهه شمال غربی نمونه‌های مطالعاتی در ساعات ۱۲ تا ۱۷ به روش کسینوس استیونسن (مأخذ: نگارنده)

بر اساس روش‌های محاسبه مقادیر انرژی خورشیدی بر روی دیوارهای قائم یک ساختمان، میزان تابش انرژی خورشیدی در جبهه شمال شرقی و شمال غربی هر کدام از نمونه‌های پژوهش در میانگین میزان تابش روزهای هر ماه در ساعات فوق به روش کسینوس استیونسن محاسبه گردید که در شکل ۷ و ۸ ارائه شده است. با عنایت به اینکه جهت ساختمان باید به‌گونه‌ای باشد که در مواقع سرد بیشترین میزان انرژی و در مواقع گرم کمترین میزان انرژی به نمای اصلی بتابد، با بررسی نمودارها مشاهده شد و چنین مشخص گردید که در ساعت ۱۲،

میزان تابش انرژی خورشیدی در جبهه شمالی در زاویه ۴۵ درجه در ماه‌های گرم کمترین و در زاویه ۲۵ درجه در ماه‌های سرد بیشترین دریافت را دارد؛ اما در ساعت ۱۴، در زاویه ۲۵ درجه در ماه‌های گرم کمترین و در ماه‌های سرد بیشترین دریافت را دارد. همچنین در ساعات ۱۵، ۱۶ و ۱۷، در زاویه ۲۵ درجه در ماه‌های گرم کمترین دریافت را خواهد داشت؛ بنابراین باتوجه‌به محاسبات انجام شده در روش محاسباتی، بهترین زاویه حیاط مرکزی نمونه‌ها در زاویه ۲۵، درجه چرخش نسبت به شمال بر اساس میزان تابش انرژی خورشیدی در جبهه شمالی تشخیص داده شد. آشکار است که نقش جداره‌های حیاط، نسبت به کف آن، جهت افزایش باز حرارتی ساختمان، قابل ملاحظه است؛ بنابراین سایه ایجاد شده بر روی دیوارها، اثر قابل توجهی بر کاهش دمای فضاهای داخلی خواهد داشت (Li, 2005: 1818). میزان سایه‌ای که دیوارهای اطراف حیاط مرکزی بر روی جبهه شمالی ایجاد می‌کنند محاسبه گردید.

جدول ۶- نحوه ترسیم و محاسبه سایه بر روی میانگین تناسب عرض به ارتفاع حیاط مرکزی مدارس

۲۵°	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
13												

ماخذ: نگارنده

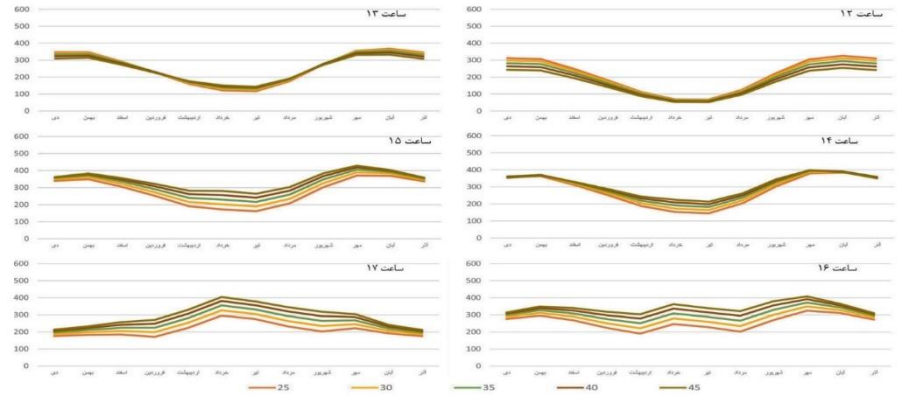
باتوجه‌به اینکه میانگین تناسب بین عرض به ارتفاع این بناها که ۱ به ۲/۲ است، لذا شکل و میزان سایه و آفتاب بر روی جبهه شمالی در ساعات مدنظر روزهای ابتدای هر ماه بر اساس زاویه تابش، زاویه سمت‌الرأس (زاویه ورود تابش بر سطح افق) و میزان چرخش جدار نسبت به شمال مشخص و ترسیم گردید که نمونه ترسیم میزان سایه و آفتاب در ساعت ۱۳ ابتدای هر ماه با زاویه چرخش ۲۵ درجه نسبت به شمال در جدول ۶ ارائه شده است. سپس نسبت میزان دریافت تابش در جدار شمالی به مساحت کل آن جدار نمونه محاسبه گردید که نمونه از این محاسبه برای زاویه چرخش ۲۵ درجه نسبت به شمال در جدول شماره ۷ مشخص شده است.

جدول ۷- نسبت میزان دریافت تابش در جدار شمالی به مساحت کل آن جدار نمونه با زاویه ۲۵ درجه چرخش نسبت به شمال

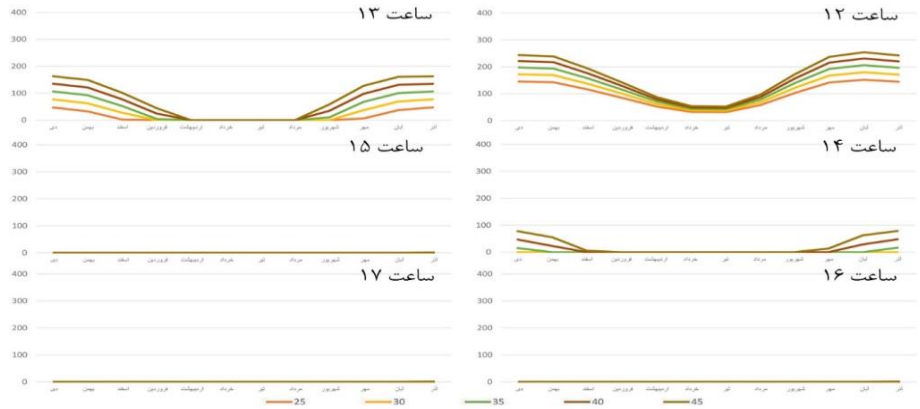
	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
۱۲	۸۶.۰۰٪	۸۶.۰۰٪	۹۰.۵۰٪	۹۴.۰۰٪	۹۶.۵۰٪	۹۸.۰۰٪	۹۸.۵۰٪	۹۸.۰۰٪	۹۶.۰۰٪	۹۴.۰۰٪	۹۰.۰۰٪	۸۷.۰۰٪
۱۳	۹۵.۰۰٪	۹۶.۰۰٪	۹۸.۵۰٪	۹۹.۰۰٪	۹۷.۰۰٪	۹۵.۵۰٪	۹۵.۰۰٪	۹۶.۰۰٪	۹۷.۵۰٪	۹۸.۵۰٪	۹۸.۰۰٪	۹۵.۵۰٪
۱۴	۹۴.۵۰٪	۹۳.۵۰٪	۹۲.۰۰٪	۹۰.۵۰٪	۸۹.۵۰٪	۸۹.۰۰٪	۸۸.۵۰٪	۸۹.۰۰٪	۹۰.۰۰٪	۹۰.۵۰٪	۹۲.۵۰٪	۹۴.۰۰٪
۱۵	۷۹.۰۰٪	۷۹.۰۰٪	۷۹.۵۰٪	۷۹.۵۰٪	۸۰.۰۰٪	۸۰.۰۰٪	۸۰.۰۰٪	۸۰.۰۰٪	۸۰.۰۰٪	۷۹.۵۰٪	۷۹.۵۰٪	۷۹.۰۰٪
۱۶	۵۲.۰۰٪	۵۱.۰۰٪	۵۵.۰۰٪	۶۰.۵۰٪	۶۴.۵۰٪	۶۷.۰۰٪	۶۷.۵۰٪	۶۶.۵۰٪	۶۵.۰۰٪	۶۰.۵۰٪	۵۴.۵۰٪	۵۱.۰۰٪
۱۷	۲۱.۰۰٪	۲۴.۰۰٪	۳۰.۵۰٪	۳۷.۵۰٪	۴۴.۵۰٪	۴۷.۰۰٪	۴۸.۵۰٪	۴۷.۰۰٪	۴۳.۵۰٪	۳۷.۵۰٪	۲۷.۵۰٪	۲۳.۵۰٪

مأخذ: نگارنده

باتوجه‌به شکل ۷ و ۹ و همچنین ۸ و ۱۰ نیز شباهت بین نمودارهای روش کسینوس استیونسن مشاهده شد و احکام صادره بند ۳ یافته‌های تحقیق نیز مورد تأکید دوباره قرار گرفت بدین صوت که جبهه شمالی حیاط مرکزی با زاویه ۲۵ درجه چرخش نسبت به شمال در ماه‌های گرم، کمترین میزان جذب تابش انرژی خورشیدی و در ماه‌های سرد، بیشترین میزان جذب تابش انرژی خورشیدی را از میان دسته‌بندی‌ها کسب کرد.



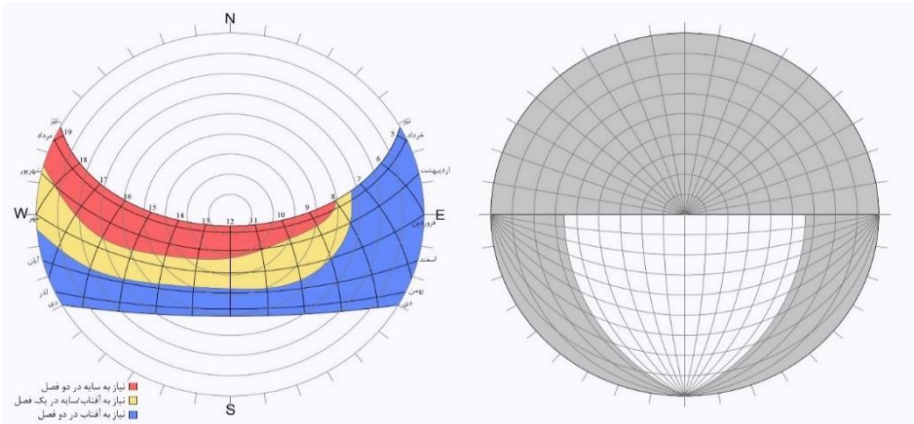
شکل ۹- تابش انرژی خورشیدی و سایه در جبهه شمال شرقی نمونه‌های مطالعاتی در ساعات ۱۲ تا ۱۷ به روش کسینوس استیونسن (مأخذ: نگارنده)



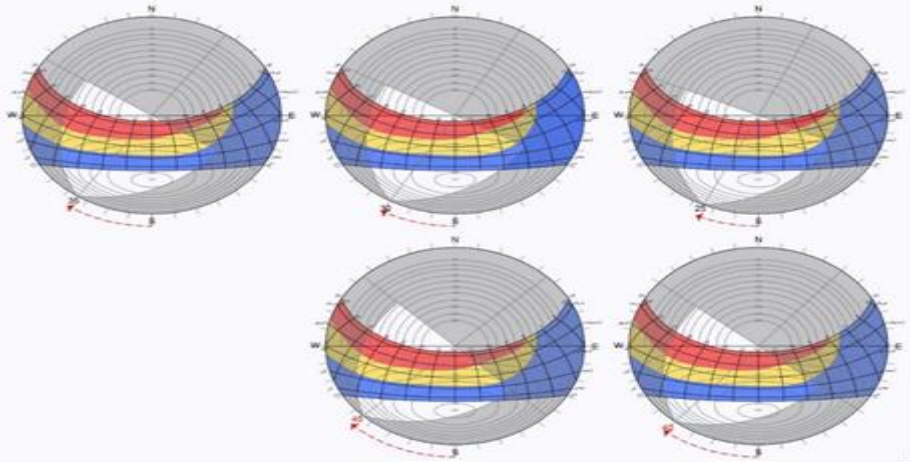
شکل ۱۰- تابش انرژی خورشیدی در جبهه شمال غربی نمونه‌های مطالعاتی در ساعات ۱۲ تا ۱۷ به روش کسینوس استیونسن (مأخذ: نگارنده)

ب - میزان تابش انرژی خورشیدی در جبهه شمالی با روش نموداری نقاله محاسب انرژی خورشیدی:ابتدا نمودار مسیر حرکت خورشید نزدیک‌ترین عرض جغرافیایی به شهر شیراز انتخاب نموده و سپس مواقع نیاز به سایه و آفتاب را از نمودار تقویم نیاز اقلیمی شهر شیراز (شکل ۲) بر روی نمودار مسیر حرکت خورشید انتخابی انتقال داده شد.

شکل ۱۱- نقاب سایه مربع ۱×۱ متر بر روی جداره شمالی نمونه (ماخذ: نگارنده)

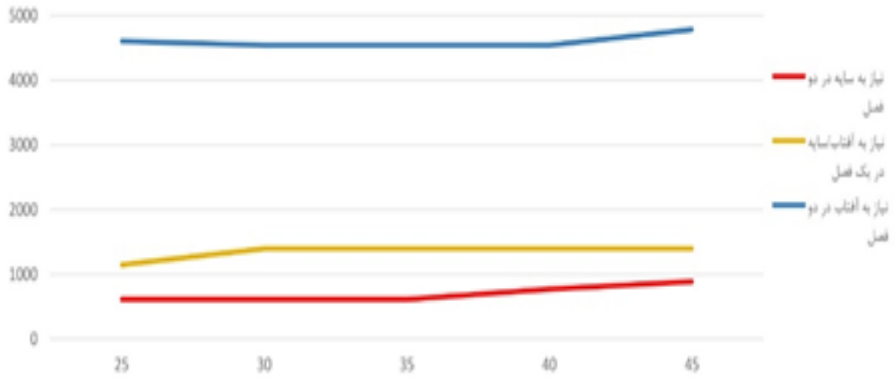


شکل ۱۲- نمودار مواقع نیاز سایه و آفتاب بر روی مسیر حرکت خورشید در شهر شیراز (ماخذ: نگارنده)

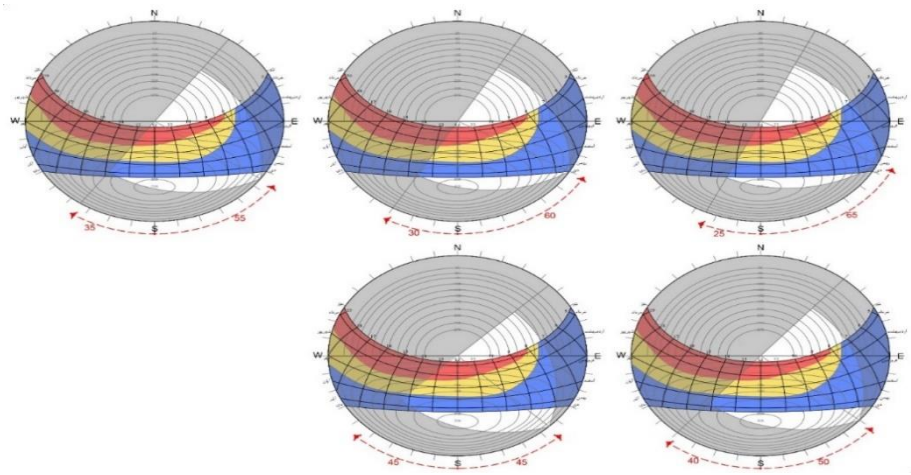


شکل ۱۳- تطبیق نقاب سایه مربع ۱×۱ متر بر روی جداره شمال شرقی نمونه با زوایای مختلف بر نمودار مواقع نیاز سایه و آفتاب بر روی مسیر حرکت خورشید در شهر شیراز (مأخذ: نگارنده)

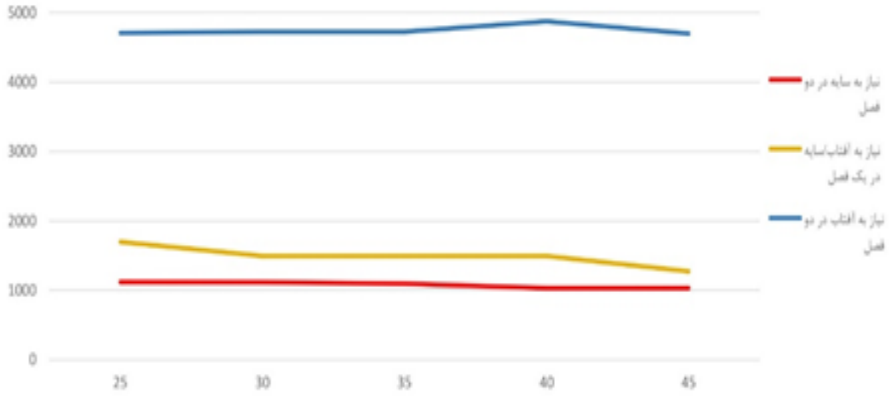
با توجه به دسته‌بندی‌های انجام شده (در مورد مدارس بر اساس چرخش نسبت به شمال) و همچنین میانگین تناسب بین ارتفاع به عرض این بناها که ۱ به ۲/۲ بوده است، مربعی به عرض و ارتفاع ۱ متر در مرکز عرضی و ارتفاعی جداره شمالی قرار گرفت و نقاب سایه آنها ترسیم گردید. سپس نقاب سایه با توجه به زاویه چرخش جدار هر دسته‌بندی نسبت به شمال بر روی نمودار مسیر حرکت خورشید قرار گرفت و جذب تابش در محدوده نیاز به سایه در دو فصل، نیاز به سایه در یک فصل و نیاز به آفتاب در دو فصل مشخص گردید. نمودار حاصل با نمودار نقاله محاسب انرژی خورشیدی قرار گرفت و بر اساس آن میزان انرژی حرارتی کل روز در ابتدای هر ماه مشخص گردید. مجموع میزان انرژی جذب شده کل روز در ابتدای هر ماه هر دسته‌بندی در شکل‌های ۱۴ و ۱۶ آورده شده است. با توجه دسته‌بندی‌های انجام شده و میزان چرخش ۵ درجه‌ای هر دسته نسبت به یکدیگر، میزان انرژی جذب شده در محدوده نیاز به سایه در دو فصل و نیاز به آفتاب بسیار به هم نزدیک بوده و در مجموع اختلاف بسیار کمی دارند. اما در محدوده نیاز به آفتاب / سایه در یک فصل، میزان دریافت جذب انرژی تابشی خورشید در حیاط مرکزی با زاویه ۲۵ درجه چرخش نسبت به شمال نسبت به دسته‌بندی‌های دیگر بیشتر است.



شکل ۱۴- مجموع میزان انرژی جذب شده کل روز در جبهه شمال شرقی در ابتدای هر ماه به روش نقاله محاسب انرژی خورشیدی (مأخذ: نگارندگان)



شکل ۱۵- تطبیق نقاب سایه مربع ۱×۱ متر بر روی جداره شمال غربی نمونه با زوایای مختلف بر نمودار مواقع نیاز سایه و آفتاب بر روی مسیر حرکت خورشید در شهر شیراز (مأخذ: نگارندگان)



شکل ۱۶- مجموع میزان انرژی جذب شده کل روز در جبهه شمال غربی در ابتدای هر ماه به روش نقاله محاسب انرژی خورشیدی (مأخذ: نگارندگان)

نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها

مدارس سنتی ایرانی از هویت و ساختار منحصر به فردی برخوردار بوده‌اند. نحوه چیدمان فضایی در این مدارس به‌گونه‌ای بوده است که بیشترین میزان یادگیری و امکان ایجاد تمرکز بر پایه ساختار حیاط مرکزی فراهم می‌کرده است. در پژوهش حاضر، از تحلیل و بررسی نمونه‌های مطالعاتی، چنین حاصل شد که در مدارس دوره قاجار شیراز، حیاط مرکزی به فرم مربع یا مستطیل شکل گرفته و هرچه طول افزایش یافته تقریباً به همان نسبت عرض نیز افزایش یافته که این نسبت در بیشتر موارد دارای نسبت ۱ به ۱ تا ۱/۵ و میانگین تناسب بین عرض به ارتفاع این بناها که ۱ به ۲/۲ بوده است. همچنین از بررسی میزان تابش انرژی خورشیدی در جبهه شمالی حیاط مرکزی در نمونه‌های مطالعاتی مشخص گردید زاویه ۲۵ درجه چرخش نسبت به شمال بهترین زاویه شناخته شد. همچنین میزان سایه‌اندازی در ابتدای هر ماه مورد بررسی و محاسبه قرار گرفت و مشخص گردید حیاط مرکزی با زاویه ۲۵ درجه چرخش نسبت به شمال بهترین جهت حیاط مرکزی در شیراز در میان مدارس ساخته شده در دوره قاجار بر اساس میزان دریافت تابش انرژی خورشیدی شناخته شد. نیز باتوجه‌به نمودارها معین گردید هرچه حیاط مرکزی چرخش بیشتری نسبت به محور شمالی داشته باشد، جداره شمالی حیاط مرکزی در تابستان دریافت بیشتری را خواهد داشت. پیشنهاد می‌گردد این پژوهش در مورد سایر کاربری‌ها و همچنین سایر شهرها به‌خصوص شهرهای نزدیک به اقلیم شیراز مورد بررسی قرار گیرد.

References

1. Afsar, K. (1974). The history of ancient texture of Shiraz. Atharmelli series of publications. [in Persian]
2. Akhtar Kavan, M., Siddique, M., Akhtar Kavan, H., & Siddique, H. (2011). Setting conditions compatible with Iran's environment and climate (climate, architecture and energy). Kalhor Publications. [in Persian]
3. Alijani, B. (1994). A new approach in the application of meteorology in the management of resources and development of the country: the role of weather in housing design. Geographical Research Journal, 45-61. [in Persian]
4. Bahadrinejad, M., Yagoubi, M. (2006). Natural ventilation and cooling in traditional Iranian buildings. University Publication Center. [in Persian]
5. Bemanian, M. R., Momeni, K., Sultanzadeh, H. (2012). A comparative study of the architectural design features of mosque-schools of the Qajar period and schools of the Safavid period. Arman Shahr Architecture and Urbanism, 11, 15-34. [in Persian]
6. Bentley, Y., Alcock, A., Morin, P., McGlynn, S., Smith, G. (2003). Responsive environments: a guidebook for designers (translated by M. Behzad Far). Publications of Iran University of Science and Technology. [in Persian]
7. Duffie, JA, Beckman, WA, 1991, Solar engineering of thermal processes, Wiley, New York.
8. Eley, Charles, 1998, Passive solar design strategies: guidelines for home building, San Francisco, California, Passive Solar Industries Council, National Renewable Energy Laboratory.
9. Ghobadian, V. (2012). Climatic survey of Iran's traditional buildings (8th edition). Tehran University Publications.
10. Givoni, B., 1989, Climate and Architecture, John Willy, USA.
11. Hossein-Abadi, S., Lashkari, H., Salmani-Moghadam, M. (2011). Climatic design of residential buildings in Sabzevar city with emphasis on building orientation and canopy depth. Journal of Geography and Development, 10(27), 103-116. [in Persian]
12. Hosseini Alamdari, A., Mousavi, S. E., Karamati Sheikh-ul-Islami, H., Saadatmand, M. (2016). Typology of mosque-schools in Iran based on the method of access. Bagh Nazar Quarterly, 53, 53-62. [in Persian]
13. Kasmai, M. (2005). Climate and architecture. Soil publications. [in Persian]
14. Keifa, Rabah, 2004, Development of energy-efficient passive solar building design in Nicosia Cyprus, Department of physics, Eastern Mediterranean University, Gazimagusa, North Cyprus, Via Mersinlo, Turkey.
15. Li, D. H. W., Lam, J. C., Wong, S. L., 2005, Daylight and its effect on peak-load determine energy.
16. Mazeria, E. (2006). Passive Solar Architecture (Translation: B. Aghazadeh). Courier of literature. [in Persian]
17. Memarian, G. (1994). Iranian residential architecture: introverted typology. University of Science and Industry. [in Persian]
18. Memarian, G. (2005). Siri in the theoretical foundations of architecture. Soroush Danesh Publications. [in Persian]
19. Memarian, G. (2008). Persian architecture. Soroush Danesh Publications. [in Persian]
20. Moderi, M., Zahab Nazouri, S., Ali Bakhshi, Z., Afsharmanesh, H., Abbasi, M. (2011). Investigating the appropriate direction of building placement based on sunlight and wind direction (case study: Gorgan city). Regional Geography and Planning Quarterly, 2(2), 141-156. [in Persian]
21. Mozhak, S., Salehi, S., Mozafar, F. (2016). A comparative study of the architecture and content of Iranian schools from the traditional to the modern period. Bagh Nazar Quarterly, 49, 5-18.
22. Nielsen, H. (2006). Natural ventilation: a guide to climate design in hot regions (Translation: M. Ahmadinejad). Soil Distribution. [in Persian]
23. Oke, 1988, Street design and urban canopy layer climate, Energy and Buildings, Volume 11, Issue 1.
24. Olgyay, Victor, 1963, Design with climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism, Princeton University Press, Princeton.
25. Pirnia, M. K. (2008). Getting to know the Islamic architecture of Iran. Soroush Danesh. [in Persian]

26. Razjovian, M. (1995). Comfort in the shelter of climate compatible architecture. Publications of Shahid Beheshti University. [in Persian]
27. Rouhizadeh, A. R. (2009). Setting the environmental conditions of the building. Age of Exploration. [in Persian]
28. Sen, Zekai, 2008, Solar energy fundamentals and modeling techniques: atmosphere, environment, climate change and renewable energy, Springer.
29. Sultanzadeh, H. (1985). The history of Iranian schools from ancient times to the establishment of Dar al-Funun. the look. [in Persian]
30. Taban, M., Pourjafar, M. R., Bamanian, M. R., Heydari, S. (2012). Determining the optimal pattern of the central courtyard in Dezful Setni housing by relying on the analysis of the received shade of different levels of the courtyard. Bagh Nazar Magazine, 10(27), 39-48. [in Persian]
31. Tahbaz, M. (2007). Outdoor shade design. Fine Arts Journal, 27-38.
32. Tahbaz, M. (2012). Climatic knowledge of architectural design. Publications of Shahid Beheshti University. [in Persian]
33. Tavousi, T., Abdulahi, A. (2010). Evaluation of temperature comfort indicators and architecture compatible with Ravansar climate. Journal of Geography and Planning, 15(32), 125-150. [in Persian]
34. Watson, D., & Labs, K. (2006). Climate design: Theoretical and practical principles of energy use in buildings (8th edition, translated by V. Qabadian & M. F. Mahdavi). Tehran University Publications. [in Persian]
35. Yaglou, CP., 1927, The comfort zone for man, Journal of industrial Hygiene, pp. 9-251.
36. Zare, L., et al. (2006). The relationship between nature and the central courtyard (looking at Iranian-Kashan housing architecture). Hoyt Shahr Journal, 6(12), 49-60. [in Persian]