DOR: 20.1001.1.24234931.1398.6.1.4.4

سال ششم، شماره اول، تابستان ۱۳۹۸، ص۲۶ ص ۳۷

فصل‌نامه علمی – ترویجی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

jrenew.ir

مقاله

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۳/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۱۹

استفاده سامانه‌های ایستا و غیرفعال خورشیدی جهت ایجاد آسایش حرارتی در طرح معماری خانه‌های سنتی تبریز

محمدباقر ولی‌زاده اوغانی[۱*]، ناصر موحدی[۲]

۱- مدرس حق‌التدریس، مهندسی معماری، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تبریز.

۲- مدرس حق‌التدریس، مهندسی معماری، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تبریز.

*تبریز، ایران، کدپستی: ۵۱۶۹۶۴۹۷۴۳، valizadeh.mb@gmail.com

چکیده

در مناطق اقلیمی و شرایط آب و هوایی متفاوت در فصول مختلف سال، بشر را بر آن داشته تا با ارائه راه‌حل‌ها و شیوه‌های مختلف به دنبال آسایش حرارتی مطلوب برای خود باشد. از طرفی امروزه معضلات مربوط به سوخت‌های فسیلی و آلودگی‌های ناشی از آن، موجب تمایل مضاعف بشر به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و سامانه‌های ایستا جهت ایجاد آسایش حرارتی شده است. با کنکاشی در ساختار فضایی و کالبدی معماری خانه‌های سنتی می‌توان نمود راهکارهای متنوع را در بهره‌گیری از عناصر و الگوهای معماری، هم‌راستا با سامانه‌های گرمایش و سرمایش ایستا مشاهده کرد، که ضمن دست‌یابی به آسایش حرارتی پایدار در معماری، موجبات حرکت در راستای توسعه پایدار و صرفه‌جویی در منابع و انرژی نیز فراهم شده است. لذا مقاله حاضر در پی آن است که با بررسی ساختار فضایی-کالبدی معماری خانه‌های سنتی تبریز، نحوه تجلی و کاربرد سامانه‌های گرمایش و سرمایش ایستا جهت آسایش حرارتی در خانه‌های سنتی را تفسیر و تحلیل کند. روش تحقیق تحلیلی و توصیفی می‌باشد و برای گردآوری اطلاعات از ابزارهای کتابخانه‌ای و میدانی بهره گرفته شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد، معماران سنتی تبریز با توجه به اقلیم منطقه و با استفاده از سامانه‌های گرمایش و سرمایش ایستا و بهره‌گیری بهینه از انرژی‌های تجدیدپذیر، الگوها و راهکارهایی به کار بسته‌اند که موجب آسایش حرارتی ساکنان در فصول سرد و گرم سال شده است. اقلیم سرد تبریز، اهمیت بهره‌گیری از انرژی خورشید را دوچندان کرده است، از اینرو نحوه استقرار و جهت‌گیری خانه، ساخت پنجره‌های رو به آفتاب و استفاده از ظرفیت حرارتی خاک و مصالح در اولویت کار معماران بوده است.

کلیدواژگان: سامانه‌های ایستا، انرژی‌های تجدیدپذیر، آسایش حرارتی، معماری، خانه‌های سنتی تبریز.

Using Passive Solar Systems for Making Thermal Comfort in Architectural Designs of Traditional Houses of Tabriz

Mohammad Bagher Valizadeh Oqani[1*], Naser Movahedi[2]

۱. Department of Architecture, Technical & Vocatinal University. Tabriz, Iran.

۲. Department of Architecture, Technical & Vocatinal University. Tabriz, Iran.

* P.O.B. 5169649743, Tabriz, Iran. valizadeh.mb@gmail.com

Received: ?? June 2019 Accepted: ?? November 2018

Abstract

Climatic regions and different weather conditions in various seasons of a year, made humans present different solutions for creating the best thermal comfort they can achieve. On the other hand, today fossil fuels and their pollutions brought the problems which forced mankind to make use of renewable energies and passive thermal systems. With a research in spatial structure and the frame of traditional houses one can observe various solutions in using architectural elements and patterns in accordance with passive thermal and cooling; through which comfort stability in architecture will result in dormant development in saving the energies and resources. Thus, the present paper tries to study physical -spatial structure of the traditional architectural houses of Tabriz, and their application and usage in passive cooling and thermal systems in order to create thermal comfort in traditional houses is to be analyzed and interpreted. The research method is descriptive analysis and to attain information the tools of library and field survey are taken usage of. The results indicate that the traditional architects of Tabriz used passive thermal and cooling systems considering the climatic conditions of regions and using renewable energies attempted to apply some patterns and solutions which makes thermal comfort for the residents in the cold and warm seasons. The cold climate of Tabriz reinforces the importance of utilizing sun's energy, thus the house's place and direction, building sun-directed windows as well as using thermal capacity of the soil and materials was in priorities of the architects.

Keywords: Passive Solar Systems, Renewable Energies, Thermal Comfort, Architecture, Traditional Houses of Tabriz.

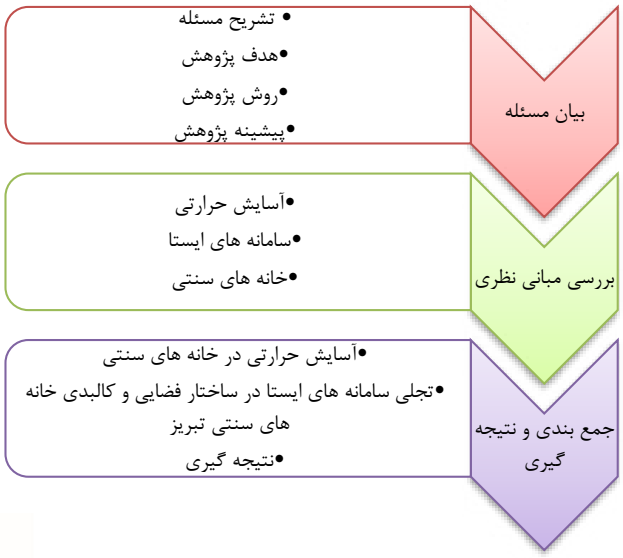
www.SID.ir

۱- مقدمه

انسان ها از گذشته های دور همواره در تلاش بوده‌اند تا بتوانند در جایی سکونت داشته باشند که آنها را از گزند شرایط آب و هوایی مصون نگه دارد. به عبارتی بشر از دیرباز در پی تأمین آسایش حداکثری برای خود بوده است و راهکارهای گوناگونی در جهت دست‌یابی به آسایش به کار بسته است. انسان سنتی برای فراهم کردن بهترین شرایط حرارتی برای خود و از طرفی صرفه‌جویی در منابع مورد استفاده جهت گرمایش، سرمایش و روشنایی در فضای زیستی خود، پیوسته در تلاش بوده است. گرایش به آسایش با بکارگیری الگوها، فرم‌ها و فضاهای ماندگار در معماری سنتی همراه بوده است. این در حالی است که بشر امروزی با صنعتی شدن جوامع شهری و معضلات بوجود آمده، به مرحله‌ای رسیده که نه فقط برای تامین شرایط آسایش، بلکه برای حفظ بقای خود و دیگر موجودات، ناگزیر در جهت کاهش اتلاف انرژی و آلودگی زیست‌محیطی، مبحثی به نام معماری پایدار را مطرح کرده است. بشر، امروزه برای حل معضلات و بحران‌های بوجود آمده به ایده‌پردازی و استفاده از روش‌های پایدار از جمله؛ سامانه‌های ایستا[۱]روی آورده است که با کاهش مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر و سوخت‌های فسیلی همراه است. سامانه‌های ایستا با بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر و منابع طبیعی، از عناصر خود ساختمان به عنوان راهکارهای طراحی در اقلیم‌های مختلف بهره می‌گیرند. استفاده از سامانه‌هایی مانند دیوار ترومب، فضای خورشیدی و ... برای گرمایش ایستا، و بهره‌گیری از سرمایش تابشی، سرمایش از طریق تهویه و ... برای سرمایش ایستا و همچنین راهکارهای متنوع برای روشنایی ایستا، از جمله روش‌هایی است که در سامانه-های ایستای امروزی استفاده می‌شوند[۱]. با افزایش مشکلات دنیای مدرن، سامانه‌های پایدار در اولویت سیاست‌های کشورهای توسعه یافته قرار گرفته است. کشورهای در حال توسعه مانند ایران نیز هم اکنون در پی اجرای این سیاست‌ها در جهت حل مشکلات مختلف فرهنگی، اجتماعی، زیست‌محیطی و با در نظر گرفتن پیامدهای اقتصادی هستند[۲]. مطابق داده‌های ترازنامه انرژی ایران، در سال ۱۳۹۰، سهم بخش ساختمان (خانگی، عمومی و تجاری) از کل مصرف نهایی انرژی در کشور، برابر ۳۶ درصد بوده است، که اهمیت این بخش را در مصرف انرژی در سطح کلان نشان می‌دهد[۳]. بکارگیری سامانه‌های ایستا و راهبردهای غیرفعال خورشیدی کمک قابل توجهی به کاهش مصرف انرژی می‌کند. بخش اعظم انرژی مصرفی در بخش ساختمان، صرف گرمایش و سرمایش و تأمین آسایش حرارتی می‌شود[۳]. تغییر و تحولات در مصالح و اصول ساخت و ساز در دوران معاصر علاوه بر اینکه باعث بحران‌های مختلف زیست محیطی شده است، امکان ایجاد آسایش حرارتی در بناها را نیز به علت عدم سازگاری با محیط با مشکل روبه‌رو کرده است. بناهای جدید برای تأمین آسایش حرارتی نیازمند صرف انرژی زیادی هستند، بنابرین در سال‌های اخیر استفاده از سامانه‌های ایستا جهت ایجاد آسایش حرارتی اهمیت دوچندان یافته است. استفاده از سامانه‌های ایستا در معماری قدمتی بسیار داشته است. معماران سنتی برای ایجاد آسایش در خانه‌های سنتی، عناصر و الگوهایی نظیر؛ بادگیر و شوادان و ...[۴] ابداع و بکار گرفته‌اند که با مفاهیم سامانه‌های ایستای امروزی قرابت زیادی دارند. بدون تردید بسیاری از این راهکارها قابلیت استفاده در معماری امروز را نیز دارند. استفاده از سامانه-های ایستا در معماری خانه‌های سنتی، ضمن دست‌یابی به آسایش حرارتی پایدار در خانه، موجبات حرکت در راستای توسعه پایدار و صرفه‌جویی در منابع را نیز فراهم کرده است.

۲- روش تحقیق

روش تحقیق توصیفی و تحلیلی می‌باشد و با مرور، واکاوی و ترکیب سوابق مطالعاتی موجود در رابطه با موضوع مورد بررسی، انجام یافته است. برای گردآوری اطلاعات از ابزارهای کتابخانه‌ای و میدانی بهره گرفته شده است. بدین منظور پس از تشریح مسئله و مبانی نظری مرتبط با موضوع، نحوه ایجاد آسایش حرارتی در خانه‌های سنتی با اتکا به سامانه‌های ایستا و انرژی‌های تجدیدپذیر تحلیل و تفسیر شده است(شکل ۱).



شکل ۱ روند انجام پژوهش در راستای رسیدن به اهداف

۳- پیشینه تحقیق

تعیین محدوده آسایش حرارتی در اقلیم‌های متفاوت با مدل‌های مختلف از جمله مدل اولگی[۲]و مدل ترجونگ[۳]با تکیه بر مؤلفه‌های تأثیرگذار؛ دمای هوا، دمای تابشی، رطوبت، جریان هوا، نرخ فعالیت و نرخ لباس، موضوع پژوهش محققان بسیاری بوده است[۵،۶]. همچنین برخی محققین، پژوهش‌هایی در رابطه با بررسی سامانه‌های ایستا نظیر دیوار ترومب، فضای خورشیدی و بام آبی و ... و نقش آن‌ها در ایجاد شرایط حرارتی مناسب در معماری انجام داده-اند[۳،۷]. با بررسی الگوها، فرم‌ها و ساختار فضایی معماری سنتی، می‌توان شباهت‌هایی میان عناصر سنتی و سیستم‌های ایستای امروزی مشاهده کرد که هدف هر دو، آگاهانه یا ناآگاهانه، کاهش استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر و سوخت‌های فسیلی می‌باشد. از جمله پژوهش‌های انجام یافته در رابطه با بهره-گیری از سیستم‌های ایستا و انرژی‌های تجدیدپذیر در معماری سنتی می‌توان به پژوهش وکیلی‌نژاد و همکاران [۸]، اشاره کرد که به بررسی اصول سامانه‌های سرمایش ایستا در معماری سنتی پرداخته است. زندیه و پروردی‌نژاد [۹] در پژوهش خود، عناصر اقلیمی و پایدار به کار رفته در معماری سنتی را بررسی کرده‌اند. فولادی و همکاران [۱۰]، گنبدهای دو پوسته اقلیم کویری کاشان را از منظر حرارتی موضوع پژوهش خود قرار داده‌اند. رسولی‌لارمایی و شهبازی [۱۱]، در پژوهش خود، عملکرد بازشوهای دو پوسته ساختمان‌های نواحی

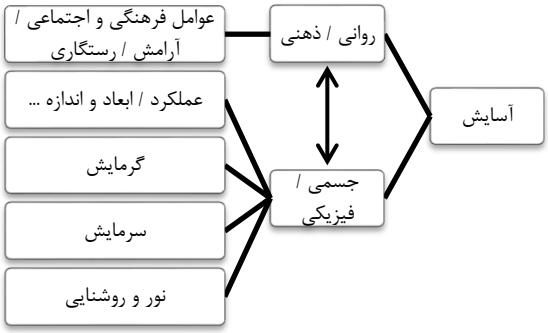
۱. Passive Solar Systems
۲. Olgyay
۳. Terjang

www.SID.ir

سردسیر تبریز را با انتخاب خانه قدکی و گنجه‌ای‌زاده به عنوان نمونه، مورد مطالعه قرار داده‌اند. ابراهیمی‌اصل و همکاران [۱۲]، در پژوهشی کارایی اقلیمی عنصر بالکن را بررسی کرده‌اند.

۴- آسایش حرارتی

آسایش حرارتی را می توان به سادگی احساس رضایت از محیط تعریف کرد، سطوح فعالیت، پوشاک و میکرو اقلیم ها (درجه حرارت هوا، رطوبت هوا، باد) از عوامل اصلی تأثیرگذار در آسایش حرارتی هستند[۱۳]. به عبارتی آسایش حرارتی شرایطی ذهنی است که احساس رضایت از شرایط حرارتی محیط را بیان می‌کند[۵]. در محاسبه آسایش یا عدم آسایش حرارتی انسان، شاخص‌های تئوری و تجربی زیادی دخیل هستند. آسایش حرارتی انسان نتیجه تعادل انرژی بین سطح بدن و محیط زیست است که بر فیزیولوژی، روانشناسی و رفتار انسان اثرگذار هستند[۱۴]. در کل، آسایش حرارتی، مجموعه شرایطی است که از نظر جسمی و روانی مناسب انسان است و انسان برای رسیدن به این شرایط از امکانات طبیعی و مصنوعی در دسترس خود، بهره می‌گیرد. برای ایجاد آسایش جسمی و ذهنی، بایستی فضای زیستی از لحاظ، عملکردی، ابعاد و اندازه، گرمایش، سرمایش و نور و روشنایی متعادل باشد و معماری به عنوان ظرف زندگی، باعث رستگاری و آرامش انسان شده و نیازهای معنوی وی را نیز تأمین کند. تأمین توامان نیازهای مادی و معنوی و ایجاد شرایط آسایش، نیازمند برآورده شدن همزمان عوامل فوق می‌باشد. تنش‌های مطلوب یا نامطلوب حرارتی می‌تواند بر جسم و روان انسان تأثیر مثبت یا منفی داشته باشد[۱۵](شکل ۲)



شکل ۲ برخی از مهمترین عوامل ایجاد آسایش در فضای معماری

۵- سامانه‌های ایستا

فراهم کردن گرمایش، سرمایش و نور و روشنایی جهت ایجاد شرایط آسایش منوط به صرف انرژی است و این انرژی از منابع مختلفی می‌تواند تأمین شود. امروزه بعضا به دلیل ضعف طراحی، درصد قابل ملاحظه‌ای از انرژی‌های اولیه صرف گرم کردن، خنک نمودن و نور رسانی ساختمان‌ها می‌گردد. لذا با توجه به محدود بودن منابع فسیلی و آلودگی‌های ناشی از استفاده این‌گونه منابع، جوامع اندیشمند را برآن داشته تا با توجه به اصول طراحی منطبق با اقلیم و بکارگیری منابع تجدیدپذیر، مصرف انرژی را در بناها کاهش دهند. برای این منظور، بهره‌گیری از سامانه‌های ایستا یا غیر فعال خورشیدی مورد توجه قرار گرفته است. در سامانه‌های ایستا، ساختمان طوری طراحی می‌شود که نیازهای گرمایشی و سرمایشی و نوررسانی در آن‌ها به صورت طبیعی و همساز با اقلیم تأمین می‌گردد و نیاز به فعالیت تجهیزات گرمایشی و سرمایشی به حداقل می‌رسد[۱۶]. استفاده از خورشید و سامانه‌های ایستا به عنوان منبع گرما چیز جدیدی نیست و هزاران سال بشر به صورت‌های مختلف از آن استفاده کرده است. اما آنچه که امروز مدنظر بوده استفاده سنتی از خورشید نیست و استفاده از عناصر خود بنا در ایجاد شرایط آسایش می‌باشد. در این مطالعه، استفاده از سامانه‌های ایستا در معماری سنتی مدنظر است و در ادامه به بررسی و تفسیر نحوه گرمایش، سرمایش و نوررسانی طبیعی در خانه‌های سنتی تبریز پرداخته شده است.

۶- استفاده از سامانه‌های ایستا جهت ایجاد آسایش حرارتی در طرح معماری خانه‌های سنتی تبریز

تبریز مرکز استان آذربایجان شرقی است. آب و هوای تبریز را می‌توان با زمستانی بسیار سرد و تابستانی گرم و خشک توصیف نمود. در جدول۱ ویژگی-های اقلیمی و جغرافیایی شهر تبریز بر اساس مطالعات اقلیمی کسمایی ارائه شده است.

جدول۱ ویژگی‌های اقلیمی و جغرافیایی شهر تبریز[۱۷].

شهر	شرایط اقلیمی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
تبریز	شدیدا سرد-معتدل	۴۶درجه و ۱۷ دقیقه	۳۸ درجه و ۵ دقیقه	۱۳۶۱

مطالعات نشان می‌دهد شهر تبریز به علت موقعیت خاص جغرافیایی و واقع شدن در اقلیم سرد، نسبت ساعات آسایش اقلیمی آن به ساعات عدم آسایش اقلیمی عددی بالغ بر ۱۷/۷ درصد است و این یعنی برای ایجاد اقلیمی متعادل با شرایط فیزیولوژیک انسان بایستی انرژی مصرف شود که علاوه بر هزینه‌های گزاف بحث‌های تخصصی دیگری می‌طلبد[۱۸]. شرایط آب و هوایی تبریز به گونه‌ای است که در برخی از ماه‌های سال برای دستیابی به آسایش حرارتی، علاوه بر تدابیر غیرفعال، تدابیر فعال گرمایشی نیز لازم است[۵]. در جدول۲ خلاصه‌ای از مشخصات اقلیمی ایستگاه سینوپتیک تبریز در دوره آماری ۲۱ ساله آمده است.

جدول ۲ مشخصات اقلیمی ایستگاه سینوپتیک تبریز در دوره آماری ۲۱ ساله[۱۹]

پارامتر	میانگین رطوبت نسبی	میانگین تبخیر- تعرق	میانگین ساعات آفتابی	میانگین کمینه دما	میانگین بیشینه دما	میانگین سرعت باد
مقدار	۵۲ درصد	۵/۵ mm	۸	۷/۶ درجه	۱۲/۶۶ درجه	۳ متر بر ثانیه

با مطالعه معماری سنتی تبریز این نکته حاصل می‌شود که خانه‌های سنتی براساس اقلیم بومی منطقه و استفاده حداکثری از انرژی‌های طبیعی جهت مقابله با گرما در تابستان و سرمای آزاردهنده زمستان طراحی شده‌اند. این در حالی است که در بناهای امروزی تبریز با استفاده بیش از حد از انرژی‌های فسیلی جهت گرمایش در اقلیم سرد، از این امر مهم غافل شده‌اند[۲۰]. در جدول۳ برخی از مهمترین ویژگی‌های معماری اقلیمی تبریز گردآوری شده است.

www.SID.ir

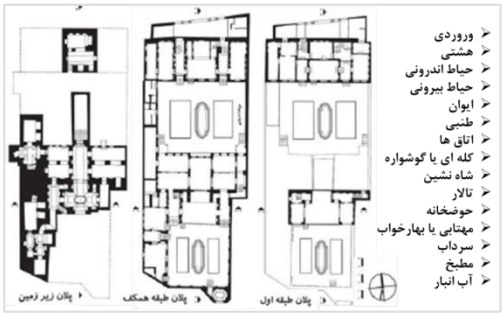
جدول ۳ برخی از مهمترین ویژگی‌های معماری اقلیمی تبریز، مأخذ: بر اساس پردازش اطلاعات از نگارنده؛ بر گرفته از [۲۱،۲۲، ۲۳، ۲۴].

اصول	توضیحات و ویژگی‌ها	کارکرد طراحی در فصول گرم و سرد
فرم کالبدی بنا	- ساختمان با شکل کشیده و با نمای جنوبی بزرگتر و نمای شرقی – غربی کوچکتر	- بهره‌گیری بهینه از انرژی خورشید توسط نمای جنوبی و کاهش تبادل حرارتی از نمای شرقی و غربی.
	- توجه به درونگرایی با پلان فشرده و سطح جانبی کم. - حجم کلی بنا نزدیک به مکعب.	- کاهش تبادل حرارتی با بیرون، گرمایش در زمستان، سرمایش در تابستان - جذب انرژی خورشید در طول روز و ایجاد فضای داخلی گرم در هنگام غروب
	- استفاده از سقف‌های شیبدار با شیب زیاد یا مسطح	- بام مسطح برای نگهداری برف و ایجاد لایه عایق حرارتی. - سقف شیب‌دار دو لایه به عنوان عایق حرارتی و در دماهای پایین می‌توان از سقف شیبدار برای آب شدن سریع برف استفاده کرد.
	- چرخش پلان و نمای ساختمان نسبت به باد سرد.	- محافظت ساختمان در برابر باد سرد و نامطلوب
	- استفاده از زیرزمین، قرارگیری بخشی از بنا در زیرزمین.	- کاهش تبادل حرارتی با بیرون، استفاده از گرمای زمین در فصل سرد
	- استفاده از بازشوهای بزرگ (پنجره آفتابی) دارای سایبان در جبهه جنوبی بنا	- جذب حداکثر تابش نور خورشید در زمستان و تابش حداقلی آن در تابستان
ساماندهی پلان	- استفاده از پلان فشرده و کشیده در جهت محور شرقی – غربی.	- نفوذ آفتاب زمستانی تا عمق فضا و کاهش تبادل حرارتی.
	- استفاده از گلخانه‌های متصل به فضای داخلی در نمای جنوبی ساختمان.	- تعدیل شرایط حرارتی فضاهای داخلی در فصل‌های گرم و سرد سال.
	- قرارگیری فضاهای گرمازا در مرکز پلان، فضاهای اصلی و بزرگ در شمال حیاط و فضاهای کم‌اهمیت مثل انبارها در جبهه سرد یا جبهه غربی پلان.	- گرمایش در فصل سرد و سرمایش در فصول گرم سال، دریافت تابش مستقیم خورشید در فصل سرد
	- استفاده از اتاق‌ها و فضاهای کوچک با ارتفاع کم در پلان	- کاهش حجم اتاق، کاهش سطح چداره‌های خارجی نسبت به حجم بنا. - گرم کردن فضاهای داخلی در فصول سرد
	- ایجاد هشتی یا دهلیز به عنوان فضای واسطه.	- جلوگیری از ارتباط مستقیم هوای داخل و خارج (عایق حرارتی).
جهت ا...ة...	- تعیین جهت استقرار ساختمان با توجه به دو عنصر اقلیمی تابش آفتاب و وزش بادهای زمستانی - با توجه با مطب فوق بهترین جهت استقرار بنا؛ جهت شرقی – غربی.	- بهره‌برداری بهینه از گرمای خورشید. - کاهش سایه‌اندازی - محافظت در برابر بادهای سرد زمستانی.
چیدمان	- چیدمان بناها به صورت فشرده در کنار هم (به صورت متناوب و نه ردیفی پشت سر هم).	- ایجاد کمترین سطح تبادل حرارتی.
	- به حداقل رساندن شبکه دسترسی‌ها در بین فضاها.	- کاهش اتلاف حرارت
	- قرارگیری حیاط و فضاهای باز در جنوب و شرق بنا.	- جلوگیری از نفوذ باد مزاحم و استفاده از نور خورشید.
	- جلوگیری از موازی شدن معابر با جهت وزش باد.	- جلوگیری از کانالیزه شدن باد.
	- احداث ساختمان‌های جندطبقه	- کاهش سطح پشت بام و جلوگیری از اتلاف حرارت در زمستان و کسب حرارت در تابستان.
جهت‌گیری و تناسبات	- انحراف بنا ۱۲/۵ درجه به سمت جنوب شرقی تا ۱۲/۵ درجه به سمت جنوب غربی. - استفاده از رون راسته (جهت شمال شرقی به جنوب غربی). - تناسبات پلان بهتر است به گونه‌ای باشد که ضلع جنوبی با تناسبات ۱/۱ یا ۱/۳ بزرگتر از اضلاع شرقی و غربی باشد. - ساخت حیاط‌های مربع یا مستطیل	- جذب میزان بیشتری از انرژی تابشی خورشید در زمستان
	- قرارگیری زمستان‌نشین در سمت جنوب و تابستان‌نشین در شمال	- قرارگیری بخش شمال در سایه و بخش جنوبی در معرض تابش آفتاب.
مصالح	- استفاده از دیوارهای نسبتا قطور.	- کاهش تبادل حرارتی و منبع ذخیره حرارت.
	- مصالح با ظرفیت حرارتی بالا (خشت، آجر و چوب)	- حایل بین گرمای خورشید و فضای داخل و مانع گرمایش ناگهانی فضا. - ذخیره حرارت در زمستان و طول روز و انتقال آن به داخل در هنگام شب.
	- کرسی‌چینی با مصالح سنگی	- جهت جلوگیری از نفوذ رطوبت
تهویه	- پرهیز از تهویه هوا تا حد امکان در فصول سرد به علت برودت هوا. - نیاز کم به تهویه هوا در دوره‌ی کوتاهی از تابستان.	- تعدیل هوا و جلوگیری از خروج حرارت داخل به خارج.
	- جهت‌گیری خیابان‌ها به سوی بادهای مطلوب.	- عامل مهمی در تهویه شهر.
	- عرض متوسط شریان‌ها و بافت نیمه‌فشرده شهر.	- ایجاد تهویه طبیعی - کنترل وزش با زمستانی

www.SID.ir

پژوهش گیاهی	- استفاده از درختان سوزنی برگ و همیشه سبز در جبهه شمال غربی تا جنوب شرقی.	- به عنوان بادشکن در بنا برای مقابله با باد سرد.
	- استفاده از درختان پهن‌برگ و برگ‌ریز در جبهه جنوب و شرق و غرب.	- بهره‌گیری از باد تابستانی و نور خورشید در زمستان
	- استفاده از آب‌نما رو به جنوب و سمت باد گرم.	- برودت تبخیری

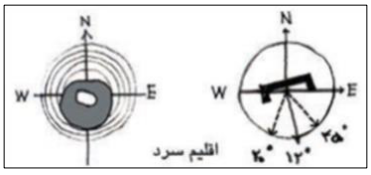
نمونه‌های مورد مطالعه در این پژوهش خانه‌های تاریخی تبریز می‌باشد که اکثرا متعلق به دوره قاجار و پهلوی می‌باشند. چرا که به علت زلزله مهیب سال ۱۱۹۳ق مربوط به اواخر زندیه و اوایل دوره قاجار شهر کاملا با خاک یکسان گردید[۲۵]. این خانه‌ها دارای حیاط یا حیاط مرکزی با بافتی درونگرا هستند و سازمان فضایی آن‌ها شامل فضای باز، نیمه‌باز و بسته می‌باشد که همان الگوی اتاق، ایوان و حیاط است(شکل۳). در خانه‌های مربوط به اوایل دوره قاجار از الگوی حیاط‌دار درونگرای ایرانی تبعیت شده است، ولی به نظر می‌رسد با نزدیک شدن به دوران متأخرتر، خانه‌های حیاط‌دار و با یک جبهه (شمالی) استفاده شده است[۲۵]. با این حال، شکل‌گیری خانه‌ها به صورتی بوده که با بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر و سامانه‌های ایستای خورشیدی، شرایط آسایش ساکنان را فراهم ساخته است. طراحی اقلیمی و بهره‌گیری از گرمایش و سرمایش ایستا موجب آسایش حرارتی در خانه‌های سنتی شده است. گرمایش ایستا بر پایه استفاده از انرژی حرارتی خورشید و سرمایش ایستا بر پایه استفاده از جا به جایی هوا و کاهنده‌های گرمایی مختلف استوار هستند[۸]. خانه‌های سنتی تبریز با به کارگیری الگوهای اقلیمی بومی و استفاده از انرژی‌های پاک مانند انرژی خورشیدی و تهویه طبیعی، برای گرمایش و سرمایش طبیعی خانه بهره برده و در نتیجه علاوه بر ایجاد محیط متعادل اقلیمی، مصرف سوخت‌های فسیلی را محدود نموده است. «در اقلیم سرد، کاهش بار گرمایش از نظر اقتصادی و امنیت تأمین انرژی و کاهش آلودگی زیست‌محیطی در اولویت قرار می‌گیرد»[۳]. در این راستا برای نیل به آسایش حرارتی مطلوب، در برخی از ماه‌های سرد سال از تدابیر فعال نیز برای گرمایش فضای معماری بهره می‌گیرد. لذا به منظور سهولت در گرمایش در مناطق سرد از فضاهای بزرگ اجتناب می‌شود و برای گرم کردن فضاها از راهکارها و الگوهای معماری مختلف جهت بهره‌گیری از انرژی‌های طبیعی استفاده می‌شود و در صورت نیاز گرمایشی زیاد به کرسی[۱]پناه می‌برند[۲۶]، که تدبیری فعال برای گرمایش فضا است. استفاده از شومینه یا آتشدان‌ها راه‌حلی دیگر جهت گرمایش فضاها در اقلیم سرد تبریز است. با وجود آب و هوای سرد در اقلیم‌های سرد مانند تبریز، تابستان‌های گرمی نیز دارند و ایجاد سرمایش در فصول گرم از چالش‌های اقلیمی دیگر مناطق سرد است. در ادامه، راهکارهای مورد توجه ساکنان و معماران سنتی تبریز، جهت بهره‌گیری از سامانه‌های گرمایش و سرمایش ایستا و مقابله با عوامل اقلیمی در راستای آسایش و آرامش ساکنان ارائه شده است.



شکل ۳ نمونه‌ای از پلان و کارکردهای مختلف خانه سنتی در تبریز؛ خانه مجتهدی[۲۷].

۱-۶- استقرار و جهت‌گیری خانه

نحوه استقرار و جهت‌گیری، یکی از مهمترین اصول ساخت و سازمان‌دهی فضایی خانه‌های سنتی جهت استفاده از منابع و انرژهای طبیعی است. جهت-گیری و استقرار مناسب اجزای ساختمانی، علاوه بر اینکه ساکنان را از سرمای زمستان و گرمای تابستان محفوظ می‌دارد، از ورود بادهای نامناسب نیز جلوگیری می‌کند. جهت‌گیری بناها در تبریز بر اساس تابش خورشید و عموما رو به جنوب با درجاتی انحراف به دو سمت شرقی و غربی معین گردیده است(شکل۴)، به گونه‌ای که از نور خورشید به عنوان مفیدترین منبع انرژی بهترین بهره را ببرد و فضاهای اصلی مانند اتاق‌های نشیمن و طنبی رو به جنوب قرار گیرند. این نوع جهت‌گیری حدودا همسو با قبله و وزش باد غالب در تبریز می‌باشد، که از سمت شمال شرق و شرق به سمت غرب می‌باشد و در زمستان نامناسب و سرد است. این جهت‌گیری همان رون راسته است که در راستای شمال شرقی-جنوب غربی جهت‌یابی شده است[۲۸]. بافت شهری متراکم و بناهای متصل به هم باعث کاهش تبادل حرارتی، گرمایش در زمستان، سرمایش و تهویه در تابستان و عدم نفوذ بادهای مزاحم به داخل خانه‌ها می‌شود. ایجاد احجام مکعب شکل، فشرده و متراکم بودن بناها و ایجاد دیوارهای مشترک باعث کاهش سطح بیرونی بنا و کاهش اتلاف حرارتی خانه شده است. این در حالی است که نمای جنوبی خانه بدون هیچ مزاحمتی در مجاور حیاط شکل گرفته و تابش آفتاب را جذب می‌کند(شکل۵و۶) لازم به ذکر است این نوع همنشینی، ساماندهی، جهت‌گیری‌ها و ارتفاع بناها در بافت به شکلی بوده که هیچگونه سایه‌اندازی و مزاحمت و محدودیتی در دریافت باد مطلوب و تابش نور برای بناها وجود نداشته است[۲۹].



شکل ۴ جهت‌گیری ساختمان در اقلیم سرد[۲۱].

[۱] . کرسی یا تنور و آتشدان یا شومینه در اقلیم سرد و زمستان‌ها برای گرمایش خانه استفاده می‌شد. کرسی منقل کوچک یا چاله‌ای در زمین است که سوخت آن زغال و خاکستر یا فضولات حیوانی بود و چارچوب مسقفی روی آن بود و بر روی آن لحاف سنگین و جاجیمی که خوب پنبه‌دوزی شده است قرار داشت. در پشت سرشان بقچه‌های لباس یا پشتی برای تکیه دادن قرار داشت.

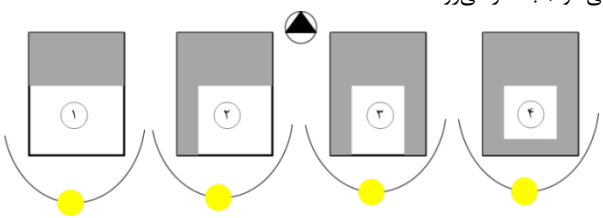
www.SID.ir

شکل ۵ نحوه استقرار بافت متراکم و ابنیه متصل بهم جهت کاهش تبادل حرارتی در بافت سنتی تبریز[۲۷].

شکل ۶ جهت‌گیری بر اساس تابش آفتاب در الگوی کلی خانه مجتهدی تبریز[۲۷].

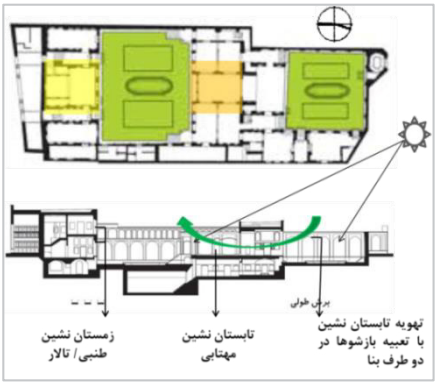
۲-۶- فرم کلی خانه و ساماندهی پلان

فرم کلی و ساماندهی پلان خانه‌های سنتی تبریز جهت مقابله با سرما و دریافت بهینه تابش خورشید و کاهش تبادل حرارتی به صورت فشرده و با شکل کشیده، با نمای جنوبی بزرگتر و نمای شرقی – غربی کوچکتر شکل یافته است. جبهه شمال به علت مسائل اقلیمی، نورگیری مناسب و استفاده از آفتاب در فصل-های سرد سال، در تمامی خانه‌ها مورد توجه بوده است. در این جبهه، فضاهای اصلی زندگی از جمله طنبی‌ها و کله‌ای‌ها قرار گرفته است. جبهه غرب، نظر به اینکه پشت به آفتاب نامناسب غرب دارد در درجه دوم اهمیت است به گونه‌ای که در صورت چند جبهه‌ای بودن خانه‌ها، جبهه غربی اولویت دارد. این جبهه بیشتر مخصوص فضاهایی چون سردابه‌ها و انباری‌ها بوده که کم‌تر مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند. جبهه شرقی، از آنجایی که در معرض نور نامناسب غرب است، در خانه‌هایی که دو جبهه‌ای هستند مورد استفاده قرار نگرفته‌است؛ اما در خانه‌هایی که در سه جبهه ساخته شده، از جبهه شرقی استفاده شده است[۲۵]. جبهه شرقی بنا به علت عدم تابش نور در ساعات زیادی از روز می‌تواند در تابستان به عنوان یک فضای خنک مورد استفاده قرار گیرد(شکل۷) سامان‌دهی پلان خانه‌های سنتی تبریز به گونه‌ای است که عمق فضاهای واقع در جبهه‌های جنوبی و شمالی زیاد و عمق فضاهای شرقی و غربی کم است. فضاهای غربی برای دوره‌ها و یا نواحی بسیار سرد و استفاده از حداکثر تهویه در بعد از ظهر (در حالی که از نور مستقیم جلوگیری می‌شود) به کار می‌رود[۲۳].



شکل ۷ الگوی کلی اولویت استقرار بنا در سایت بر اساس دریافت تابش خورشید در خانه‌های سنتی تبریز.

در خانه مجتهدی تبریز، که الگوی معماری درونگرا و حیاط‌های اندرونی و بیرونی دارد، چیدمان فضاها اطراف حیاط متناسب با اقلیم و در راستای گرمایش و سرمایش ایستا شکل گرفته است. جبهه شمالی خانه زمستان نشین می‌باشد و مهمترین فضای خانه یعنی طنبی و گوشواره‌ها که عمق و مساحت بیشتری دارند در این جبهه قرار دارند و بواسطه پنجره‌های رو به جنوب، گرمایش آن توسط تابش انرژی خورشیدی تأمین می‌شود. جبهه جنوبی نیز به صورت تابستان‌نشین است و محل استقرار مهتابی[۱] یا بهارخواب خانه است. نکته قابل توجه در بسیاری از اتاق‌های تابستان‌نشین، این است که در جبهه‌های مختلف آن پنجره‌ها و بازشوهای کامل یا نیم‌درها و چنددری‌ها قرار گرفته‌اند و مانند یک بادگیر عمل کرده و به تهویه آن کمک می‌کند[۳۰]. اهمیت و نقش تابش آفتاب در زمستان و جریان هوا در تابستان موجب شکل‌گیری نوعی مهاجرت فصلی درون خانه‌های سنتی و محوطه آن می‌شود[۳۱] و این چنین در زمستان برای بهره‌گیری از گرمای خورشید در جبهه شمالی خانه مستقر می‌شوند و در تابستان به جبهه جنوبی و یا زیرزمین خانه‌ها که خنک و در سایه است، پناه می‌برند. ارتفاع و ابعاد اتاق‌ها در طرح معماری خانه‌های سنتی تبریز کوچک است که این ویژگی در کنار استفاده از مصالح مناسب با ظرفیت حرارتی بالا در جداره‌ها و توجه به تعداد و ابعاد بازشوها و پنجره‌ها، در اکثر مواقع سال موجب ارتقای آسایش حرارتی است. ابعاد و ارتفاع اتاق شاهنشین در مقایسه با دیگر اتاق‌ها بزرگ است که سطح شیشه‌خور بزرگ(ارسی) به سمت جنوب در آن می‌تواند موجب دریافت تابش آفتاب و ایجاد گرمایش در فصول سرد شود. در تابستان و فصول گرم نیز بازوشوهای بزرگ پنجره ارسی می‌تواند بالا برده شده و به یک فضای نیمه باز خنک تبدیل شود. فضاهای زیرزمینی نظیر سرداب با ارتفاع کم و پنجره‌های کوچک، به دلیل تبادل حرارتی کم با بیرون قابل استفاده در شب‌های سرد و گرم می‌باشد. استفاده از مصالح با ظرفیت حراتی بالا در ساخت خانه نظیر؛ خشت و آجر و نماهای کاهگلی موجب ذخیره گرما در روز و انتقال آن به داخل در شب می‌شود.(شکل۸)



[۱]. مهتابی فضایی بدون سقفی است که بالاتر از سطح حیاط است. دیوارهای این فضا نماسازی می‌شود و به این ترتیب به ایوانی شباهت پیدا می‌کند که سقف آن را برداشته‌اند. این فضا معمولا از سه طرف بسته و از جهت چهارم به فضای باز مشرف است. در خانه مجتهدی مهتابی علاوه بر اینکه رو به حیاط اندرونی است، از طرف دیگر به وسیله ارسی به شاهنشین و طنبی و شکم دریده باز شده است.

www.SID.ir

شکل ۸ ساماندهی فرم و پلان خانه مجتهدی بر اساس دریافت بهینه تابش و تهویه طبیعی[۲۷].

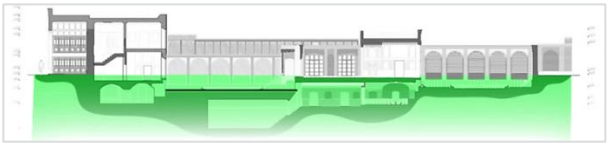
در مناطق سرد سازماندهی پلان باید به گونه‌ای باشد که ورودی ساختمان از بادها و هوای سرد زمستان در امان باشد. یکی از راهکارهای اقلیمی برای آسایش حرارتی در خانه‌های سنتی تبریز، ایجاد پیش‌ورودی یا دهلیز و دالان در اتصال فضاهای باز به فضای بسته است که به صورت حائل حرارتی عمل می‌کند و از انتقال و نفوذ باد سرد به داخل و خروج گرما به خارج بنا جلوگیری می‌کند. ساختار دهلیز عموما به گونه‌ای است که درب‌های آن در امتداد و رو به روی هم نیستند و این خاصیت حائل بودن آن را تقویت می‌کند.(شکل۹)

شکل ۹ دهلیز و دالان در خانه مجتهدی؛ حایل حرارتی برای جلوگیری از نفوذ بادهای سرد زمستان[۲۷].

۳-۶- قرار گرفتن در دل خاک

قرار دادن بخش‌هایی از بنا در دل خاک، یکی از راهکارهای کاهش تباد ل حرارتی از طریق جداره‌ها است. زیرا تغییرات دما در داخل زمین کندتر از سطح زمین، صورت می‌گیرد؛ از طرف دیگر، برای استفاده از خاصیت برودت زمین، باید بنا را متصل به زمین احداث کرد. ساخت ساختمان در داخل خاک می‌تواند کمک زیادی به تأمین آسایش حرارتی در اقلیم سرد داشته باشد. هوای داخل زمین در مواقع گرم، خنکتر و در مواقع سرد، گرمتر از سطح زمین است، این امر موجب خنکتر بودن فضای زیرزمین در تابستان و گرمتر بودن آن در زمستان، نسبت به فضاهای ساخته شده در روی زمین می‌شود[۲۲]. این سامانه در زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم مناسب است.

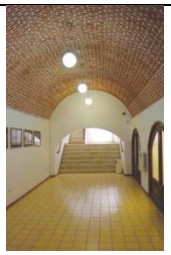
بالا بودن زمان تأخیر انتقال حرارت خاک باعث می‌شود، دمای زمین گرمتر از دمای هوا در زمستان و خنک‌تر در تابستان باشد و نوسانات دمای داخلی بنای زیر خاک کم باشد[۱۶]. استفاده از زیر زمین و قرارگیری بخشی از بنا داخل خاک، از تدابیر اقلیمی معماران سنتی تبریز هست که نمود آن در اغلب خانه-های سنتی تبریز قابل مشاهده است.(شکل۱۰)



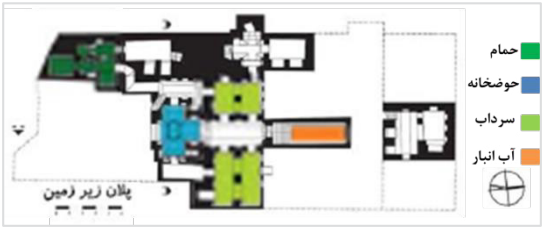
شکل ۱۰ قرارگیری قسمت عمده‌ای از بنا در دل خاک؛ مقطع خانه مجتهدی تبریز[۲۷].

در طبقه زیر زمین اغلب خانه‌های سنتی تبریز، فضاهای پراهمیتی همچون؛ حوضخانه، حمام، سرداب و آب‌انبارها قرار گرفته‌اند. سرمایش ایستا از طریق توده زمین از عوامل اصلی ایجاد فضاهای زیرزمینی بوده است اما عوامل عوامل متعدد دیگری نیز در ایجاد فضاهای زیرزمینی در مقیاس‌های مختلف موثر هستند. در اقلیم‌های سرد مانند تبریز در برخی خانه‌ها که بدون تابستان-نشین هستند از فضاهایی مانند حوضخانه و سرداب که در زیرزمین و در زیر فضای زمستان‌نشین قرار دارند، استفاده می‌شود[۳۲]. این فضاها به عنوان یک فضای خنک، جهت نشستن و استراحت و همچنین در حکم یخچال خانه عمل کرده و جهت انبار و نگهداری برخی مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. سقف این فضا حدود یک متر از سطح حیاط بالاتر بوده و روشنائی و تهویه آن از طریق طریق پنجره‌های بالای دیوار و یا نورگیرهای سقفی تأمین می‌شده است. در معدود خانه‌ها برخی از فضاهای فوق یا اصلا وجود ندارند یا اینکه از محور اصلی بنا و فضای زیرزمین خارج شده و در طبقه همکف و اضلاع دیگر بنا قرار گرفته‌اند. در جدول۴ ویژگی‌ها و کارکردهای فضاهای زیر زمینی خانه-های سنتی تبریز تشریح شده است.

جدول ۴ ویژگی‌ها و کارکردهای فضاهای زیرزمینی در خانه‌های سنتی.

	سرداب	حمام	حوضخانه	آب‌انبار
ویژگی و کارکردها	فضای استراحت و استفاده به عنوان تابستان‌نشین/ استفاده به عنوان یخچال خانه و نگهداری اغذیه و مواد در حال فساد شدن/ گرمایش و سرمایش از طریق جرم حرارتی زمین و همنشینی با حوضخانه/ سرمایش و تهویه از طریق پنجره و نورگیرها ...	به علت بزرگ بودن و گستردگی فضاهای حمام‌های قدیمی در اندک خانه‌ها شاهد آن هستیم/ کارکرد چند عملکردی(عمومی و خصوصی)/ گرمایش و سرمایش از طریق جرم حرارتی زمین، آب و تن حمام / سرمایش و تهویه از طریق پنجره و نورگیرها ...	از فضاهای اصلی و مهم خانه/ عموما واقع در امتداد اصلی بنا و در جبهه شمالی و زیرزمین/ فضای خنک کننده جهت استراحت و نشستن/ فضایی جهت نگهداری گوشت و غلات/ ایجاد گرمایش و سرمایش از طریق جرم حرارتی زمین و حوض آب داخل آن / سرمایش و تهویه از طریق پنجره و نورگیرها ...	حضور کم آب‌انبار در خانه‌ها به علت دسترسی راحت به آب در اقلیم سرد/ ذخیره آب/ قرارگیری در زیر زمین و پایین‌ترین سطح تراز ساختمان/ ایجاد گرمایش و سرمایش از طریق جرم حرارتی زمین و آب داخل آن ...
تصویر مرتبط	 **شکل ۱۱** سرداب خانه سلماسی تبریز.	**شکل ۱۲** سربینه حمام خانه سرخه-ای تبریز.	**شکل ۱۳** حوضخانه خانه مجتهدی تبریز.	**شکل ۱۴** نمایی از آب‌انبار خانه مجتهدی تبریز.

www.SID.ir



شکل ۱۵ استقرار فضاهای زیر زمینی در خانه مجتهدی تبریز[۲۷]

۴-۶- دیوار، بام و بازشوها

دیوارها و بام‌ها با جذب غیر مستقیم[۱] و پنجره‌ها با جذب مستقیم[۲] به گرمایش و سرمایش فضاهای خانه کمک می‌کنند. دیوارها و بام‌های ساختمان به عنوان واسطه اصلی بین فضای درون و بیرون، نقش قابل توجهی در کاهش بارهای سرمایشی و گرمایشی و آسایش حرارتی ساکنان دارد و می‌توانند سبب صرفه جویی در مصرف انرژی شوند. در معماری آجر، خشت و کاه‌گل برای ساخت دیوار استفاده شده که ظرفیت حرارتی[۳] بالایی دارند[۳۳]، و می‌توانند به عنوان حایلی بین نور خورشید و فضای داخل عمل کرده و در روزهای زمستان حرارت خورشید را در خود ذخیره کنند و هنگام شب این گرما را به فضای داخل پس دهند. در تابستان نیز حرارت ایجاد شده توسط دیوارها و بام‌ها جذب شده و مانع افزایش ناگهانی دمای داخل می‌شوند. کند کردن تبادل گرما و یا ذخیره حرارت طی روز و آزاد کردن آن در طول شب، موجب ایجاد شرایط مطلوب حرارتی و کاهش مصرف انرژی به ویژه در زمستان می‌شود. اغلب بناهای سنتی تبریز سازه‌ای مرکب دارند و در طبقه زیر زمین و همکف غالبا از سنگ و آجر و خشت ساخته شده و طبقه دوم آن‌ها اسکلت چوبی است[۳۴]. علاوه بر جنس دیوارها، جنس مصالح دیوارهای داخلی، اندازه و مکان پنجره و جنس شیشه از عوامل تأثیرگذار در میزان نور روز در یک ساختمان است[۳۵]. در خانه‌های سنتی تبریز چوب، خشت، کاه‌گل و آجر به عنوان پرکاربردترین مصالح هستند که به سبب ظرفیت حرارتی زیادشان، باعث کاهش تبادل حراتی فضای داخلی با محیط خارجی می‌گردد. در جدول۵ جنس مصالح، ضخامت، سطح نما و بازشوها و شاخص‌های انرژی برخی از خانه‌های سنتی تبریز ارائه شده است.

جدول۵ جنس مصالح، ضخامت، سطح نما و بازشوها و شاخص‌های انرژی برخی از خانه‌های سنتی تبریز[۲۰]

خانه	مساحت نما (مترمربع)	مساحت بازشو (مترمربع)	درصد بازشوها	ضخامت دیوار (متر)	جنس و مقاومت حرارتی دیوار (w/m^2c)	ضریب انتقال حرارتی دیوار (w/m^2c)	قاب پنجره و ضریب انتقال حرارت (w/m^2c)	درصد سایه
خانه قدکی	۱۶۴/۷۲	۶۰/۳۹	۳۶درصد	/۵	خشتی- /۶۳	۱/۵۸	چوبی- ۵	۱۳درصد
خانه بهنام	۲۴۱/۶۴	۷۷/۳۴	۳۲درصد	/۵	خشتی- /۶۳	۱/۵۸	چوبی- ۵	۹درصد
خانه گنجه-ای‌زاده	۱۹۵/۲۶	۵۳/۷	۲۷درصد	/۵	خشتی- /۶۳	۱/۵۸	چوبی- ۵	۱۴درصد
خانه اردوبادی	۱۰۴/۱	۲۱/۹۵	۲۱درصد	/۵	خشتی- /۶۳	۱/۵۸	چوبی- ۵	۸درصد
خانه شربت-اوغلی	۱۰۸/۴۲	۲۲/۸	۲۱درسد	/۸۵	خشتی- /۹۲	۱/۰۸	چوبی- ۵	۱۴درصد

وجود ساختمان‌های چوبی که سال‌ها پیش ساخته شده‌اند و هنوز قابل استفاده-اند، بیان‌گر این واقعیت است که چنانکه چوب در شرایط مناسبی استفاده شود، عمر مفید آن بیشتر از مصالح بنایی است. چوب با مقاومت زیاد و عایق حرارتی خوبی است و انتقال حرارتی آن خیلی کم است[۳۶]. چوب تجدیدپذیر، قابل استفاده در تولید انرژی و سوخت، سبک و اتصالات اجرایی نسبتا ساده و محکمی را بوجود می‌آورد و برای مناطق زلزله‌خیز مصالح مناسبی است[۳۶].(شکل۱۶) پوشش بام خانه ها در اقلیم سرد عمدتاً مسطح و تیر پوش است، در مناطقی که بام‌ها تیر پوش هستند بدون دست انداز اجرا می شوند تا امکان بیشتر تابش خورشید فراهم آید. اگر هدف استفاده از برف به عنوان عایق حرارتی باشد بام مسطح می تواند راهکار مناسبی باشد و چنانچه سقف شیبدار انتخاب شود هوای ساکن موجود در لایه خارجی بام و لایه داخلی (سقف کاذب) می‌تواند بصورت عایق حرارتی بین فضای داخل و خارج بنا عمل کند[۲۶].

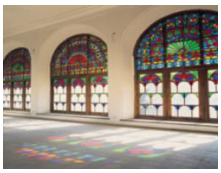
جنس و رنگ نماهای ساختمانی از دیگر فاکتورهای تأثیرگذار در جذب یا دفع انرژی خورشیدی می‌باشد. در مناطق سرد سعی بر آن است که سطح خارجی بناها به رنگ تیره و از جنسی باشد که جذب بالایی دارد. خانه‌های سنتی تبریز عموما دارای ازاره سنگی و با نماهای آجری به رنگ تیره هستند و انرژی خورشیدی را جذب می‌کنند. مطالعات نشان می‌دهد، پوسته بناهای دوره قاجاریه و اوایل دوره پهلوی اول تبریز اتلاف حرارتی کمی دارند و با اقلیم منطقه همساز هستند[۲۰].

۱. Direct Gain
۲. Indirect Gain
۳. مصالح با ظرفیت حرارتی زیاد، هنگامی که در معرض حرارت قرار می‌گیرند حرارت بیشتری در مقایسه با سایر مصالح در خود ذخیره می‌کنند و هنگامی که منبع حرارت حذف می‌شود گرمای ذخیره شده در خود را به سرعت کمتری آزاد می‌کنند... برای اطلاع بیشتر از طرفیت حرارتی مصالح و ویژگی‌های عملکردی آن، ر.ک: [۳۳].

www.SID.ir

جذب مستقیم حرارت تابش آفتاب بوسیله پنجره‌های رو به جنوب که به نام پنجره‌های خورشیدی نامیده می‌شود[۱۶]، رایج‌ترین راه دسترسی به گرمایش خورشیدی است. پنجره‌ها و بازشوهای موجود در ساختمان یکی از عناصر اصلی سرمایش و تهویه فضای داخل بناهای سنتی نیز است. بنابرین جهت قرارگیری، ترتیب و نظم بازشوها روی نقشه ساختمان عامل تعیین کننده در تهویه، سرمایش، گرمایش و جذب نور دارد. همچنین لازم است برای کنترل نور روز در شرایط مختلف مساحت، ارتفاع و شکل پنجره‌ها به طور دقیق طراحی شوند[۳۷]. در خانه‌های سنتی تبریز استفاده از پنجره‌های ارسی در نمای جنوبی عمومیت دارد و این به منظور استفاده بیشتر از نور جنوب می‌باشد.(شکل۱۷) ارتفاع تاج پنجره‌ها در نمای جنوبی خانه‌ها بیشتر است تا عمق نفوذ نور به داخل افزایش یابد[۳۸]. پنجره‌های بزرگ با شیشه‌های کوچک رنگی روی قاب‌های چوبی می‌تواند به عنوان تابش‌بند در کاهش شدت تشعشع آفتاب به داخل بنا مفید باشد. اغلب پنجره‌های چوبی در برخی از خانه‌های سنتی تبریز به صورت مضاعف اجرا شده‌اند که با عملکرد گلخانه‌ای به گرمایش فضا کمک می‌کند و از انتقال سرما به داخل و گرمای داخل خانه به بیرون جلوگیری می‌کند.(شکل۱۸) نورگیرهای سقفی از راه‌های دیگر بهره‌مندی و استفاده از نور خورشید و تهویه فضاهای خانه است. نورگیر سقفی در زمستان می‌تواند به عنوان فضای گلخانه‌ای عمل کرده و در گرمایش فضا مفید باشد و در تابستان‌ها نیز می‌تواند به تهویه فضاها کمک کند.

شکل ۱۶ نمایی از خانه کلانتری تبریز؛ مصالح به کار رفته در بنا[۲۵].



شکل ۱۷ ارسی رو به جنوب در طنبی خانه قدکی تبریز[۲۵].

شکل ۱۸ ساخت پنجره مضاعف در خانه بهبودی تبریز.

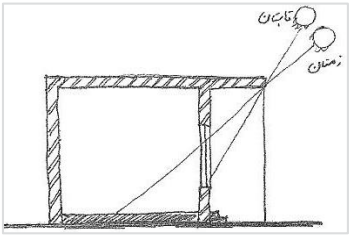
۵-۶- ایوان و سایبان

ایوان فضایی پرسایه است که با استفاده از تهویه مستقیم و ایجاد کوران، به دلیل ایجاد مناطق با فشارهای هوایی متفاوت به واسطه فضاهای خالی و پر (ایوان و فضاهای مجاورش) سبب کاهش دما می‌شود. علاوه بر این در ایوان‌های مرتفع، تهویه دودکشی نیز در سرمایش فضا موثر است[۸]. تفاوت زاویه تابش آفتاب در زمستان و تابستان، این امکان را می‌دهد که از تابش آفتاب در تابستان جلوگیری کرد در حالی که در زمستان از آن استفاده شود.(شکل۱۹) بنابرین وجود ایوان و سایبان تناقضی با طراحی اقلیمی و استفاده از گرمای خورشید در اقلیم سرد ندارد. عمق ایوان در خانه‌های سنتی تبریز نسبتا زیاد است که معمولا در امتداد دو طبقه ارتفاع دارند و مانع نفوذ نور زمستانی به داخل بنا نمی‌شوند(جدول۶). این ایوان‌ها کاربرد نشیمن ندارند و وجود آن در خانه‌های سنتی باعث ایجاد سایه بر روی دیوارها و پنجره‌های رو به آفتاب می‌شود و به سرمایش فضاها در تابستان کمک می‌کند.(شکل۲۰)

جدول۶ عمق حدودی ایوان جنوبی در برخی از خانه‌های سنتی تبریز

خانه	خانه بهنام	خانه قدکی	خانه گنجه‌ای	خانه سعادت
عمق ایوان	۲/۳۰متر	۳/۲۰متر	۳/۳۵متر	۱/۹۰متر

ایوان علاوه بر ضلع شمالی بناها در دیگر جبهه‌ها و علی‌الخصوص جبهه جنوبی نیز ساخته می‌شود. معمولا این ضلع خانه‌ها دارای ایوان‌های نیمه‌باز هستند و در معرض نور خورشید قرار نمی‌گیرند و در سایه کامل هستند و در فصول گرم سال استفاده می‌شوند. ایوان‌ها در زمستان نیز از ریزش برف و باران به درب و پنجره‌های چوبی جلوگیری می‌کند.(شکل۲۱)



شکل ۱۹ تغییر زاویه تابش آفتاب؛ ایجاد سرمایش بنا بوسیله سایبان و ایجاد سایه به سبب جلوگیری از نفوذ آفتاب به داخل بنا.

شکل۲۰ ایوان رفیع در خانه گنجه‌ای زاده؛ سایه در تابستان، نفوذ نور زمستان.

شکل ۲۱ ایوان جبهه شمالی خانه امیر نظام؛ محافظ نما و پنجره‌های چوبی از گزند باران.

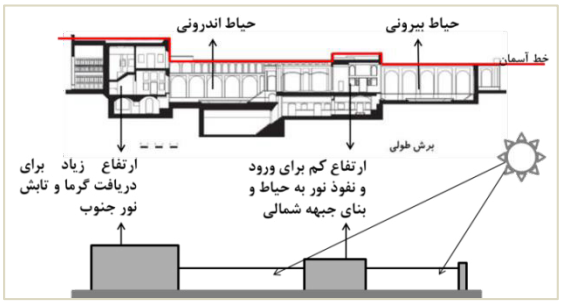
۶-۶- حیاط

استفاده از حیاط مرکزی الگوی بسیار کهنی در ساخت و ساز خانه‌های سنتی ایران بوده است. شکل‌گیری این الگو با وجود تأثیرپذیری از عوامل فرهنگی و اجتماعی، معلول شرایط محیط طبیعی و عوامل اقلیمی مناطق مختلف بوده است. میزان تابش خورشید در سطوح مختلف حیاط، بر عملکرد حرارتی ساختمان مؤثر است و سبب بالا رفتن دمای سطوح و دمای هوای اطراف آنها می‌شود که تأثیر بسیاری بر عملکرد حرارتی حیاط و در نتیجه فضاهای سکونتی اطراف آن دارد. به همین علت جهت حیاط باید دارای ابعاد مناسب باشد، تا در مواقع نیاز به تابش، سایه بیش از اندازه و در مواقع نیاز به سایه، با تابش بیش از اندازه نداشته باشد. تأمین آسایش حرارتی و تعدیل شرایط اقلیمی را در الگوی حیاط مرکزی می‌توان اینگونه بیان کرد: تأمین نور طبیعی برای فضاهای پیرامونی در طول روز. ایجاد تهویه و محافظت در برابر گرد و غبار. ایجاد محرمیت برای ساکنین. ایجاد خرده‌اقلیمی‌ها در درون فضای زیستی جهت آسایش در محیط بیرونی. گرم شدن حیاط در طول روز و ایجاد امکان استفاده از تهویه. هواکشی جهت افت حرارتی جداره‌های پیرامونی. سرد

www.SID.ir

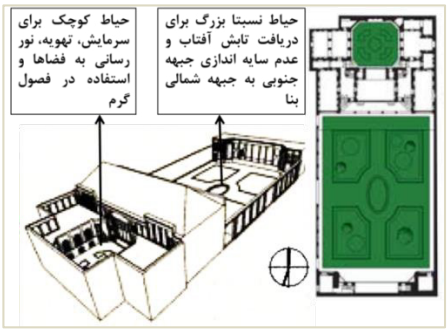
شدن حیاط در شب از طریق تابش به آسمان صاف و ایجاد امکان تهویه عبوری جهت پایین آوردن میانگین دمای روزانه فضای داخل[۳۹].

وسعت فضای باز نسبت به فضای بسته می‌تواند موجب دریافت نور کافی شود. در خانه‌های سنتی فضاهای باز و بسته به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که کلیه فضاهای اصلی در ارتباط با آسمان باشند و از تابش نور خورشید بهره‌مند شوند[۳۸]. محل حیاط‌های اندرونی و بیرونی خانه‌های سنتی تبریز، مناسب و ابعاد آن متناسب بوده و بناهای جبهه جنوبی حیاط، ارتفاع کمتری دارند، بنابرین خورشید هم در تابستان و هم زمستان در قسمت عمده حیاط و بناهای



شکل۲۲ ساماندهی مناسب خط آسمان و حیاط‌های خانه مجتهدی بر اساس دریافت بهینه تابش آفتاب[۲۷].

جبهه شمالی نفوذ می‌کند و باعث گرمایش خانه در فصل سرد می‌شود.(شکل۲۲) در برخی خانه‌ها نیز حیاط کوچک با ویژگی اقلیمی مناطق گرم و خشک دیده می‌شود که علاوه بر وظیفه نوررسانی(پاسیو) به فضاهای اطراف، به عنوان فضای خنک و پرسایه جهت سرمایش و استفاده در فصول گرم کاربرد دارد که نمونه آن را می‌توان در خانه بهنام، خانه بلورچیان و خانه سرخه‌ای تبریز ملاحظه کرد.(شکل۲۳) خانه درونگرا و حیاط‌دار علاوه بر اینکه باعث نفوذ نور به داخل بنا و گرمایش آن از طریق تابش انرژی خورشیدی در زمستان می‌شود، در عین حال به سبب محصوریت آن، به عنوان تله سرمایی عمل کرده و به سایه‌اندازی، تهویه و تلطیف هوا و سرمایش بنا در تابستان کمک می‌کند[۸].



شکل۲۳ حیاط‌های متنوع(اندرونی و بیرونی) جهت گرمایش و سرمایش در خانه بهنام تبریز[۲۷].

پوشش سطوح نقش مؤثری در نحوه توزیع گرما در فضای حیاط دارد. حیاط‌ها به واسطه امکانی که برای ساخت باغچه‌ها و سطوح آب و کاشت گیاهان بوجود می‌آورند، می‌توانند در تأمین رطوبت نسبی و کاهش دمای هوا تأثیر عمده‌ای داشته باشند. افزایش سطوح سبز و نفوذپذیر در حیاط، دست‌یابی به شرایط آسایش را ساده‌تر خواهد کرد[۶]. فضای سبز و سطوح آب در حیاط اهمیت زیادی در تنظیم شرایط محیطی در فصول گرم دارد. حوض آب در حیاط خانه‌های سنتی به دلیل؛ آبیاری باغچه‌ها، سنت شست و شو، بالا بردن جذابیت‌های بصری افزایش رطوبت هوا و کمک به رطوبت تبخیری در جهت خنکی و تلطیف هوا در خرداقلیم‌های اطراف بنا بسیار تأثیرگذار است[۴۰]. پوشش گیاهی و درختان با کاهش تابش مستقیم خورشید و سایه‌اندازی به حیاط و نماهای بنا، و همچنین با ایجاد برودت ناشی از تبخیر آب موجود در برگ درختان و کاهش دما تأثیر قابل‌توجهی در ایجاد آسایش حرارتی دارد.(شکل۲۴)

شکل۲۴ سرمایش ایستا با ایجاد حوض آب و فضای سبز در حیاط خانه قدکی.

۷- نتیجه‌گیری

بخش ساختمان در مصرف انرژی کشورها سهم قابل توجهی دارد. چراکه فراهم کردن آسایش حرارتی مطلوب و گرمایش و سرمایش متعادل در بنا منوط به صرف انرژی است. قسمت اعظم این انرژی مصرفی از سوخت‌های فسیلی و تجدیدناپذیر تأمین می‌شود. بر این اساس طی دهه‌های اخیر صرفه‌جویی در مصرف انرژی و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به یک چالش مهم تبدیل شده است. در این راستا معماران و طراحان به ساخت بناهایی روی آورده‌اند که در آن‌ها از انرژی‌های تجدیدپذیر بهره برده می‌شود. سامانه‌های ایستا و غیرفعال خورشیدی یکی از کارامدترین روش‌های تأمین نیاز حرارتی ساختمان بدون استفاده از سوخت‌های فسیلی است. معماران سنتی همواره با اصول ابداعی خویش که راهکارهایی نوآورانه در عصر خویش بوده، بهترین و مناسب‌ترین شیوه‌های تطبیق با اقلیم و راهکارهای گرمایش و سرمایشی را جهت فراهم کردن آسایش حرارتی مطلوب در خانه‌های سنتی مطرح کرده‌اند. لذا با توجه به اهمیت طراحی غیرفعال ساختمان‌ها و بهره‌گیری از سامانه‌های گرمایش و سرمایش ایستا برای کاهش مصرف انرژی‌های سرمایش و گرمایشی ساختمان‌ها در رویکردهای نوین، شناخت اهمیت و نحوه کارکرد الگوهای معماری خانه‌های بومی در جهت تطابق با اقلیم و کاهش مصرف انرژی و تلاش در راستای احیای چنین الگوهایی در معماری ضروری است.

در این پژوهش تلاش گردید تا اصول گرمایش و سرمایش ایستا در خانه‌های سنتی تبریز تحلیل و تفسیر گردد. به دلیل شرایط خاص جغرافیایی و اقلیم سرد شهر تبریز، اولویت معماران سنتی تبریز ابداع راهکارها و الگوهایی بوده است که سرمای نفوذی به خانه را به حداقل برساند و بهترین بهره را از گرمایش نور خورشید در فصول سرد ببرد. برای این منظور به ایجاد پنجره‌های رو به جنوب، قرار دادن فضاهای اصلی در جبهه نورگیر، قرار دادن بخشی از بنا در دل خاک، استفاده از مصالح با ظرفیت حرارتی زیاد و ذخیره حرارت در آن و غیره روی‌آورده است. در صورت نیاز گرمایشی زیاد در ماه‌های سرد سال به ساخت و استفاده از کرسی و بعدها آتشدان یا شومینه پناه برده‌اند. نکته قابل توجه در نحوه گرمایش و سوخت کرسی و شومینه، استفاده از سوخت‌هایی در راستای سامانه‌های ایستا است، چراکه سوخت آن‌ها، زغال و چوب خشک و یا فضولات حیوانی بوده است. شهر تبریز با وجود واقع شدن در اقلیم سرد و

www.SID.ir

خشک، تابستان‌های نسبتا گرمی دارد و این نشان‌گر نیاز خانه‌ها به سرمایش و تهویه است. معماران سنتی با ارائه راهکارها و الگوهایی نظیر؛ حیاط‌های محصور پرسایه، فضای سبز و حوض آب، فضاهای زیرزمینی، ایوان و سایبان، تابستان-نشین‌ها و غیره، با کاهش دما و جریان باد به سرمایش ایستای خانه کمک کرده‌اند.

۸- مراجع

[۱] ل. نربرت، *گرمایش، سرمایش، روشنایی: رویکردهای طراحی برای معماران*. ترجمه: محمدعلی کی‌نژاد و رحمان آذری، تبریز: دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ۱۳۸۵.

[۲] ا.کشتکارقلاتی.، م. انصاری، و س. نازی‌دیزجی ، توسعه سامانه بام سبز بر اساس معیارهای توسعه پایدار در ایران. *نشریه هویت شهر*، سال چهارم، شماره ۶، ۱۳۸۹.

[۳] ن. ابوالحسنی.، ب. محمدکاری، و ر. فیاض، بهسازی حرارتی جدار ساختمان‌های موجود در اقلیم سرد در ایران با بهره‌گیری از ویژگی‌های دیوار ترومب، *دوفصلنامه مطالعات معماری ایران*، شماره ۸، ۱۳۹۴.

[4] F. Mehdizadeh Seraj. Using Natural Resources for Ventilation: Teh Applicatcn of Bodgirs in Preservation. *APT Bulletin*. Vol. 4, NO. 4, pp: 39-46. 2008.

[۵] ش. حیدری، و ش. غفاری‌جباری، تعیین محدودهٔ زمانی آسایش حرارتی برای شهر تبریز. *مهندسی مکانیک مدرس*، دوره ده، شماره ۴، ۱۳۸۹.

[۶] ر. رضازاده، و ع. آقاجان‌بیگلو، الگوی پیشنهادی برای توده‌گذاری در قطعات مسکونی ردیفی؛ بررسی تطبیقی دو الگوی توده‌گذاری در بلوک‌های مسکونی با معیار آسایش حرارتی. *دو فصلنامه دانشگاه هنر، نامه معماری و شهرسازی*، شماره۷، ۱۳۹۰.

[۷] ز. قیابکلو-ب، دیوار جدید گرمایش و سرمایش طبیعی. *مجله صفه*، دوره۲۱، شماره ۵۵، ۱۳۹۰.

[۸] ر. وکیلی‌نژاد.، ف. مهدیزاده‌سراج، و م. مفیدی‌شمیرانی، اصول سامانه‌های سرمایش ایستا در عناصر معماری سنتی ایران. *نشریه علمی -پژوهشی انجمن علمی معماری و شهرسازی ایران*، شماره ۵، ۱۳۹۲

[۹] م. زندیه، و س. پروردی‌نژاد، توسعه پایدار و مفاهیم آن در معماری مسکونی ایران. *فصلنامه مسکن و محیط روستا*، سال بیست و نهم، شماره ۱۳۰، ۱۳۸۹.

[۱۰] و. فولادی.، م. طاهباز، و ح. ماجدی، گنبد دو پوسته از منظر عملکرد حرارتی در اقلیم کویری کاشان. *نشریه پژوهش‌های معماری اسلامی*، سال چهارم، شماره ۲، ۱۳۹۵.

[۱۱] م. رسولی‌لارمایی.، ی. شهبازی. بررسی عملکرد بازشوهای دوپوسته در ساختمان-های سنتی نواحی سردسیری ایران؛ نمونه موردی: خانه قدکی و خانه گنجه‌ای‌زاده در تبریز. *نشریه علمی-پژوهشی انجمن علمی معماری و شهرسازی ایران*. شماره۹، ۱۳۹۴.

[۱۲] ح. ابراهیمی‌اصل.، ر. کلانتر. و ا. حاجی‌ولیلی. عنصر بالکن و کارایی اقلیمی آن در ساختمان‌های مسکونی شهر تبریز بر اساس ضوابط ارائه شده مقررات ملی ساختمان. نشریه *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، دوره نوزده، شماره۲، ۱۳۹۶.

[۱۳] ر. منشی‌زاده، و همکاران، آسایش حرارتی و تاثیر ارتفاع ساختمان‌ها بر خرد اقلیم فضاهای شهری نمونه موردی خیابان شهرداری تهران(حدفاصل میدان تجریش تا میدان قدس). *فصلنامه آمایش محیط*، شماره ۲۰، ۱۳۹۲.

[۱۴] غ. فلاح‌قالهری.، ف. میوانه، و ف. شاکری، ارزیابی آسایش حرارتی انسان با استفاده از شاخص جهانی اقلیم حرارتی، مطالعه موردی: استان کردستان. *مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه ی علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران*، شماره ۳، ۱۳۹۴.

[۱۵] م. بور.، پ. موسل، و م. سکوآرز. *ساختمان‌های سبز؛ راهنمای معماران پایدار*. ترجمه: مهدی اخترکاوان، سلوا فلاحی و مونا محتاج. تهران: انتشارات کلهر، ۱۳۹۴.

[۱۶] ز. قیابکلو-الف، *مبانی فیزیک ساختمان۲(تنظیم شرایط محیطی)*. چاپ دوم، تهران: انتشارات جهاد دانشگاهی. ۱۳۹۰.

[۱۷] م. کسمایی. *پهنه‌بندی اقلیمی ایران؛ مسکن و محیط‌های مسکونی*. تهران: انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۷۲.

[۱۸] ی. قویدل‌رحیمی، و م. احمدی، محمود، برآورد و تحلیل زمانی آسایش اقلیمی شهر تبریز. *نشریه جغرافیا و توسعه*، شماره ۳، ۱۳۹۲.

[۱۹] م. حامی‌کوچه‌باغی و همکاران. محاسبه تبخیر-تعرق مرجع بر مبنای تحلیل آماری دمای هوا (مطالعه موردی: منطقه تبریز). *نشریه دانش آب و خاک*. جلد۲۶. شماره۴/۲، ۱۳۹۵.

[۲۰] م. سینگری، و س. عبدلی ناصر، مقایسه تطبیقی پوسته‌های بیرونی بناهای مسکونی در بافت سنتی و مدرن شهر تبریز با رویکرد پایداری. *نشریه مطالعات شهر ایرانی اسلامی*، شماره ۷، ۱۳۹۱.

[۲۱] م. کسمایی، مرتضی. *اقلیم و معماری*. تهران: نشر خاک. ۱۳۸۴.

[۲۲] م. طاهباز، و ش. جلیلیان، *اصول طراحی معماری همساز با اقلیم در ایران با رویکرد به معماری مسجد*، تهران: انتشارات دانشگاه شهید بهشتی. ۱۳۸۷.

[۲۳] ش. شقاقی، و م مفیدی. رابطه توسعه پایدار و طراحی اقلیمی بناهای منطقه سرد و خشک(مورد مطالعاتی تبریز). *نشریه علوم و تکنولوژی محیط زیست*. شماره۳، ۱۳۸۷

[۲۴] م. کسمایی. *پهنه‌بندی و راهنمای طراحی اقلیمی استان آذربایجان شرقی*. اصفهان: نشرخاک، ۱۳۸۴.

[۲۵] م. کی‌نژاد، و م. شیرازی. *خانه‌های قدیمی تبریز*. جلد اول، مؤسسه تألیف، ترجمه و نشر آثار هنری«متن»، دانشگاه هنر اسلامی تبریز. ۱۳۸۹.

[۲۶] و. قبادیان، *بررسی اقلیمی ابنیه سنتی ایران*. تهران: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران. ۱۳۸۷.

[۲۷] سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری تبریز. *اطلاعات ارائه شده به نگارنده*. ۱۳۹۴.

[۲۸] م. حمزه‌نژاد.، م. ربانی، و ط. ترابی، نقش باد در سلامت انسان در طب اسلامی و تأثیر آن در مکان‌یابی و ساختار شهرهای سنتی ایران. *فصلنامه علمی پژوهشی نقش جهان*، شماره ۱-۵، ۱۳۹۴.

[۲۹] م. ولی‌زاده‌اوغانی، و ا. ولی‌زاده‌اوغانی، اخلاق همسایه‌داری و حقوق همسایگی در نظام معماری و شهرسازی اسلامی ایران. *نشریه مهندسی فرهنگی*، شماره ۸۶، ۱۳۹۴.

[۳۰] ا. رنجبر.، م. پورجعفر، و ک. خلیجی، خلاقیت‌های طراحی اقلیمی متناسب با باد در بافت قدیم بوشهر. *نشریه باغ نظر*، سال هفتم، شماره ۱۳، ۱۳۸۹.

[۳۱] ح. سلطان‌زاده. نقش جغرافیا در شکل‌گیری انواع حیاط در خانه‌های سنتی ایران. *پژوهش‌های جغرافیای انسانی*، شماره ۷۵: ۱۳۹۰.

[۳۲] غ. معماریان، *آشنایی با معماری مسکونی ایرانی گونه‌شناسی درونگرا*. تهران: انتشارات سروش دانش. ۱۳۸۷.

[۳۳] ش. محمد. مطالعه رفتار حرارتی مصالح رایج در ساخت دیوار؛ مطالعه موردی: ساختمان‌های مسکونی شهر تهران. *نشریه هنرهای زیبا*، دوره۱۸، شماره ۱، ۱۳۹۲.

[۳۴] م. کبیرصابر، رهیافت‌های معماری سنتی تبریز برای ساخت و ساز ایمن پس از زلزله؛ مطالعه موردی: کاربست کلاف‌های چوبی در معماری خانه‌های قاجاری. *نامه معماری و شهرسازی(دانشگاه هنر)*. شماره ۱۱، ۱۳۹۲.

[35] CIBSE. *Daylighting and window design*. London: Author. 1999.

[۳۶] س. ویسه، و همکاران. ارائه روش‌های مناسب در استفاده از مصالح بوم‌آورد. *فصلنامه مسکن و محیط روستا*، شماره ۱۲۶، ۱۳۸۸.

[۳۷] ا. احدی و همکاران. طراحی صحیح پنجره‌ها به منظور دستیابی به میزان نور مناسب در خانه‌های آپارتمانی شهر تهران. نشریه *هویت شهر*. شماره۲۵، ۱۳۹۵.

[۳۸] م. طاهباز، و همکاران. تأثیر طراحی معماری در بازی نور طبیعی در خانه‌های سنتی. *نشریه معماری و شهرسازی آرمانشهر*، شماره ۱۵، ۱۳۹۴.

[۳۹] م. تابان، و همکاران. تعیین الگوی بهینه حیاط مرکزی در مسکن سنتی دزفول با تکیه بر تحلیل سایه دریافتی سطوح مختلف حیاط. *نشریه باغ نظر*، سال دهم، شماره ۲۷، ۱۳۹۲

www.SID.ir

[۴۰] ن. افشاری‌بصیر، ف. حبیب، و م. مفیدی‌شمیرانی، نقش عناصر طبیعت در خانه-های بومی یزد. *نشریه مدیریت شهری*، شماره ۴۶، ۱۳۹۶.

www.SID.ir