تاثیر باد و آفتاب در تعدیل شرایط گرمایی خانه‌های بوشهر

نمونه موردی: خانه گلشن

نیلوفر نیکقدم(نویسنده مسئول)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۰۳

چکیده

حاشیه جنوبی ایران دارای یکی از بحرانی‌ترین اقلیم‌های جهان و توجه به مولفه‌های اقلیمی در فرآیند طراحی خانه‌ها در این منطقه ضروری است. بکارگیری جریان هوا در کنار محافظت از گرما و تابش از موثرترین راهکارها در تعدیل شرایط گرمایی در مناطق گرم و مرطوب است. همچنین استفاده از تابش خورشید در ماه‌های سرد سال به تعدیل شرایط گرمایی خانه‌ها در زمستان کمک می‌کند. خانه‌های بومی عمدتاً براساس پاسخگویی به نیازهای اقلیمی ساخته شده‌اند و خانه‌های بومی بوشهر دارای الگویی برای استفاده از بادهای محلی و استفاده از مؤلفه تابش در زمستان است. این مقاله با کمک نرم‌افزار دیزاین بیلدر شرایط گرمایی را در این خانه بر اساس الگوی اقلیمی آن‌ها بررسی و به این سوال پاسخ می‌دهد که تابش و جریانات هوا تا چه حد در تعدیل شرایط گرمایی الگوهای اقلیمی ویژه این خانه موثرند. این مقاله دارای هدفی کاربردی و با روش تصویرسازی و شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر نسخه ۴,۲,۰,۰۴۵ و مدل آسایش حرارتی اشری ۵۵ و تحلیل اقلیمی با کمک نرم‌افزار کلایمیت کانسالتنت و مدل حرارتی تطبیقی انجام می‌شود. بکارگیری الگوی ویژه خانه‌های بوشهر در خانه گلشن توانسته است در ماه‌های بسیار گرم تا اندازه قابل توجهی و در ماه‌های نیمه‌گرم کاملا تعدیل کند. این الگو در ماه‌های سرد نیز شرایط گرمایی داخل خانه را کاملا تعدیل کرده و نیاز به دستگاه‌های گرمایشی را به صفر رسانده است. با بکارگیری این الگوها در خانه‌های امروز می‌توان در ماه‌های بسیار گرم بار دستگاه‌های مکانیکی را به اندازه قابل توجهی کم کرد و در ماه‌های نیمه گرم و سرد نیاز به دستگاه‌های مکانیکی را به صفر رساند. نتایج نشان داد مصالح دیوارها تا حد زیادی سبب گرم شدن فضاهای داخلی در طول شب‌های ماه‌های گرم می‌شود؛ لذا این الگوها را می‌توان با تغییر مصالح دیوارها به مصالح سبک‌تر بهبود بخشید.

واژه‌های کلیدی

جریان هوا، تابش، خانه‌های بومی، بوشهر، گرم و مرطوب، تعدیل حرارتی.

۱. استادیار دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران‌جنوب، n_nikghadam@azad.ac.ir

۱. مقدمه

در خانه‌های معاصر به ویژگی‌های اقلیمی و بستر محیطی توجهی نمی‌شود. این ساختمان‌های مشابه در اقلیم‌های گوناگون، با محیط خود هماهنگ نبوده و در تعدیل شرایط محیطی کمک نمی‌کنند. آمار نشان می‌دهد که در سال ۱۳۹۱ مصرف گاز طبیعی در ایران ۵,۸۲ برابر متوسط جهانی (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۲، ۱۱۷) و در همان سال ۴۵,۹۸٪ از کل مصرف گاز طبیعی در مصارف خانگی بوده است (همان، ۱۰۵). همچنین در سال ۱۳۹۱ سرانه کل مصرف نهایی انرژی در بخش خانگی در ایران ۱,۸ برابر متوسط جهانی ثبت شده است (همان، ۱۱۶). منطقه گرم و مرطوب ایران دارای یکی از بحرانی‌ترین اقلیم‌های جهان و لذا لحاظ کردن مولفه‌های اقلیمی در طراحی خانه‌ها در این منطقه ضروری است. اقلیم‌گرایی دیدگاهی بنیادی در طراحی خانه‌های بومی ایران بوده‌است (معماریان، ۱۳۸۶، ۱۹) و این خانه‌ها ارتباط معنی داری با مولفه‌های اقلیمی محل خود دارند (Tahbaz, 2008) از این‌رو بکارگیری الگوهایِ خانه‌های بومی در مناطق گرم و مرطوب ایران در طراحی مسکن معاصر این منطقه، می‌تواند سبب مصرف بهینه انرژی با توجه به ارتقاء سطح آسایش شود.

در مطالعات موجود، الگوهای اقلیمی همواره در رابطه با اقلیم کلان تعریف شده‌اند و در آن‌ها به اقلیم میانه و محلی به عنوان عوامل موثر در این الگوها پرداخته نشده است. بطور مثال سواحل شمالی خلیج فارس و دریای عمان با کلان اقلیم گرم و مرطوب یا حاره‌ای شناخته شده و راهکارهای اقلیمی یکسانی برای معماری در تمام این مناطق پیشنهاد شده است که مطالعات نشان می‌دهد در جزئیات کارآمد نیستند (نیکقدم، ۱۳۹۱، ۳۰۲). مطالعه بر جزئیات مولفه‌های اقلیم محلی، تاثیرگذاری آن‌ها را در الگوی خانه‌های بومی بخوبی نشان می‌دهد. در این مقاله خانه گلشن در بندر بوشهر در کلان اقلیم حاره‌ای و مستقر در حاشیه جنوبی ایران که دارای ایستگاه سینوپتیک هواشناسی است، به عنوان نمونه موردی انتخاب شد. این نوشتار بر آن است که با مطالعه الگوی بادهای محلی و جذب انرژی تابشی خورشید، تاثیر آن‌ها را بر ساختار یک نمونه خانه بومی در بوشهر سنجیده و به این پرسش پاسخ دهد که با توجه به الگوی اقلیمی این خانه، جریان هوا و تابش تا چه حد در تعدیل شرایط گرمایی داخل آن موثرند و چگونه می‌توان این الگوها را بهبود بخشید.

۲. روش انجام پژوهش

این پژوهش شامل سه گام اصلی است. در گام اول ابتدا بر اساس ادبیات موضوع پژوهش، شرایط و مشخصات ساختمان‌ها برای استفاده از تهویه طبیعی و تابش در اقلیم‌های گرم و مرطوب در چهار سطح ۱- طرح و شکل کلی ساختمان؛ ۲- تشکل اجزاء ساختمان؛ ۳- مشخصات اجزاء ساختمان و ۴- جزئیات ساختمان، استخراج و جمع‌بندی و سپس با ویژگی‌های خانه‌های بومی بوشهر در همان چهار لایه سنجیده شده‌اند. از تطابق این دو دسته؛ الگوهای اقلیمی خانه‌های بومی بندر بوشهر برای ایجاد تهویه طبیعی و تابش تبیین شده و بر اساس تطابق الگوها با مبانی نظری پژوهش؛ مقدمه لازم برای لزوم و انجام شبیه‌سازی خانه گلشن که واجد الگوهای اقلیمی مورد نظر هست، فراهم شده است.

گام دوم، مطالعه اقلیم محلی این بندر است که با کمک فایل اقلیمی ای-پی-دبلیو[1] بندر بوشهر مربوط به میانگین سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۸ هجری شمسی و نرم‌افزار کلایمت کانسالتنت نسخه ۵,۵ [2] و مدل آسایش گرمایی تطبیقی[3] که برای ساختمان‌های بدون دستگاه‌های مکانیکی و با در نظر گرفتن تهویه طبیعی تهیه شده است؛ انجام شد. سپس وضعیت اقلیمی بندر بوشهر از آمار ده ساله بررسی و ماه‌های مناسب برای بررسی از تطابق وضعیت دما و رطوبت نسبی انتخاب می‌شوند. ماه‌های انتخاب شده از لحاظ الگوی بادهای محلی از نظر سرعت، تواتر و دما در شب و روز، مطالعه و عوامل ایجاد کننده شرایط آسایش حرارتی در روز و شب معین می‌شوند.

گام سوم شبیه‌سازی در نسخه ۴,۲,۰,۰۵۴ برنامه دیزاین بیلدر و مدل حرارتی اشری ۵۵[4] ، با فایل اقلیمی بندر بوشهر و با خارج کردن تمام سیستم‌های مکانیکی و برقی از روند شبیه‌سازی است. خانه گلشن در این نرم‌افزار شبیه‌سازی و مناطق حرارتی مختلف اعم از بسته یا نیمه باز تعیین می‌شوند. باز یا بسته بودن منافذ در فضاهای بسته در ساعات مختلف ماه‌های مورد بررسی برنامه‌ریزی شدند. با برنامه ریزی منافذ در حالت‌های مختلف، شرایط حرارتی داخل ساختمان نسبت به شرایط دمای خارج در هر حالت سنجیده و میزان تاثیر پذیری شرایط دمای موثر داخل که حاصل ایجاد تهویه طبیعی و وابسته به شرایط بادهای محلی است، مشخص می‌شود. در ماه سرد منافذ بسته و شبیه‌سازی برای گرم شدن فضاهای مسکونی در ساعات سرد انجام می‌شود. با کمک نتایج حاصل از شبیه‌سازی خانه

گلشن و مطابقت آن‌ها با شرایط هوای خارج ساختمان و الگوی اقلیمی خانه، پرسش پژوهش پاسخ داده شده‌اند.

از آنجایی که خانه گلشن امروز به عنوان یک فضای عمومی در دست بهره‌برداری است؛ مقایسه نتایج اندازه‌گیری میدانی با نتایج این تحقیق ممکن نخواهد بود. مهمترین علت‌های این محدودیت عبارتند از اینکه میزان نفوذ هوا به ساختمان و خصوصا الگوی باز و بسته بودن پنجره‌ها که در این پژوهش به عنوان یکی از شرایط مهم تعدیل شرایط گرمایی به آن پرداخته شده است در استفاده امروز متفاوت است. مثلا در این تحقیق منافذ به شکلی برنامه ریزی شده اند که مطابق الگوی بادهای محلی؛ در روز بسته و در شب باز باشند. همچنین تعداد دفعات باز و بسته شدن منافذ در یک ساختمان عمومی نیز غیر قابل کنترل است. از طرف دیگر استفاده از سامانه‌های گرمایشی و سرمایشی در بهره‌برداری امروز این ساختمان مقایسه نتایج را غیر ممکن می‌سازد چرا که در شرایط مورد بررسی این تحقیق سامانه‌های گرمایشی و سرمایشی از فرایند شبیه‌سازی حذف شده‌اند تا مطالعه قابلیت‌های ساختمان و الگوهای طراحی و ساخت آن را به تنهایی نمایش دهد. به علت عدم امکان اعتبار سنجی با مطالعات میدانی نرم‌افزار دیزاین بیلدر برای این شبیه‌سازی انتخاب شد؛ زیرا این نرم‌افزار از پیشرفته‌ترین و معتبرترین نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی ساختمان است و اعتبار موتور شبیه‌سازی آن (انرژی پلاس) بر اساس BESTEST و اشری -۱۴ تایید شده است. این نرم‌افزار در مقایسه با اکوتکت که استفاده گسترده‌تری در شبیه‌سازی ساختمان دارد نتایج معتبرتر و با تفاوت کمتر نسبت به واقعیت نشان می‌دهد (زمردیان و تحصیلدوست، ۱۳۹۴، ۱۱۵-۱۳۲).

۳. مشخصات خانه‌ها در اقلیم گرم و مرطوب

نوع ساختمان در طرح کلی و اجزاء ساختمان در مناطق مختلف باید متناسب با منطقه طراحی شوند (Al-Obaidi et.al., 2014, 283-233). در زیر خلاصه‌ای از راهکارهای ارائه شده توسط محققان در خصوص استفاده از جریان هوا در ساختمان‌های مناطق گرم و مرطوب در چهار سطح: الف- طرح و شکل کلی ساختمان؛ ب- تشکل اجزاء ساختمان؛ ج- مشخصات اجزاء ساختمان و د- جزئیات ساختمان؛ استخراج و جمع بندی شده‌اند.

الف- طرح کلی و شکل ساختمان: در مناطق گرم و مرطوب کاهش نفوذ گرما و کاهش دما با بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر به مشخصات فیزیکی ساختمان مرتبط است (Al-Obaidi et.al., 2014, 283-297). بهترین استقرار بنا در بالاترین قسمت شیب و قبل از بدنه آب در جهت وزش باد تابستان است (مفیدی شمیرانی، ۱۳۸۸). لازم است که به جهت وزش باد توجه و جهت‌گیری ساختمان و اتاق‌ها بر اساس آن (Givoni, 1998, 383) و پنجره به سمت باد غالب منطقه در تابستان باشد (Hyde, 2000, 29-32). استفاده از باد مفید منطقه در ارتفاع وزش آن (Salmon, 1999, 124) و استفاده از بادگیر در مناطق نزدیک به دریا در بهره‌وری از الگوی بادهای محلی تاثیر بسزایی دارد (کسمایی، ۱۳۸۲، ۹۴و۹۶). استفاده از سامانه‌های ایستا برای بکارگیری تابش در راستای ایجاد تهویه طبیعی می‌تواند مفید باشد (Givoni, 1998, 383).

طرح پلان برای حداکثر تهویه، طراحی (Hyde, 2000, 29-32) و طرح گسترده پلان (Givoni, 1998, 383) ساختار کشیده و کم عرض برای ایجاد حداکثر تهویه پیش‌بینی شود (راپاپورت، ۱۳۹۹، ۱۵۱-۱۵۵). تراکم کم ساختمان، ساختمان‌های یک لایه برای ایجاد کوران و انتقال فضاهای اصلی زندگی به طبقات بالاتر برای استفاده از جریان هوا؛ ایجاد تهویه در ساختمان را به بازدهی بیشتر می‌رساند (طاهباز، ۱۳۹۳، ۱۴۸و۱۵۰) و (طاهباز و جلیلیان، ۱۳۸۷، ۱۶۰).

ب- تشکل ساختمان: برای ایجاد جریان هوا از مابین فضاها، تشکل پراکنده (راپاپورت، ۱۳۹۹، ۱۵۱-۱۵۵) و توجه به تقسیمات فضاها برای ایجاد این امکان پیشنهاد می‌شود (Givoni, 1998, 383). تشکل باز بین فضاها، تماس کم و حداکثر سیرکولاسیون در داخل بنا، تهویه مابین فضاها را ممکن می‌کند (مفیدی شمیرانی، ۱۳۸۸). استفاده از حیاط مرکزی به همراه نور و تهویه تا عمق تمام فضاهای زندگی (Hyde, 2000, 29-32) و بالا بردن ساختمان از سطح زمین برای ایجاد تهویه در زیر ساختمان از راهکارهای مفید در این منطقه هستند (راپاپورت، ۱۳۹۹، ۱۵۱-۱۵۵).

ج- اجزاء ساختمان: در طراحی ایستای سرمایش مهم این است که تمام اجزاء اصلی ساختمان ورود گرما به ساختمان را محدود کرده و ساختمان را در برابر گرمای تابستان خنک نگه دارند (Taleb, 2014, 154-165). استفاده از سقف‌های بلند برای کاهش دما در سطح زمین و ایجاد جریان هوا (راپاپورت، ۱۳۹۹، ۱۵۱-۱۵۵)، بکارگیری فضاهای عملکردی نیمه باز مسقف در مناطقی که باد مناسبی می‌وزد به عنوان عناصر مهم الگوی خانه (Salmon, 1999, 124) و ایوان‌های بزرگ و وسیع و با سقف‌های بلند برای فعالیت در طی روز (طاهباز، ۱۳۹۳، ۱۴۸و۱۵۰) و

(طاهباز و جلیلیان، ۱۳۸۷، ۱۶۰) فضاهای ساختمان را برای ایجاد تهویه طبیعی مناسب می‌کنند.

د- جزئیات ساختمان: برای ایجاد امکان جریان هوا و هدایت آن به داخل خانه استفاده از مصالح متخلخل (راپاپورت، ۱۳۹۹، ۱۵۱-۱۵۵) و استفاده از نی و علف برای ساخت خانه‌ها مفید است. استفاده از بازشوها در دو جهت در طبقات بالا برای ایجاد کوران، پنجره‌ها و بازشوهای باریک و استفاده از شبکه‌های چوبی و یا آجری در مقابل پنجره‌های وسیع برای ایجاد کوران هوا و ایجاد سایه به طور همزمان از راهکارهای مرتبط با منافذ و جزئیات ساختمان است (طاهباز، ۱۳۹۳، ۱۴۸و۱۵۰) و (طاهباز و جلیلیان، ۱۳۸۷، ۱۶۰). با بهره گیری از جریان هوا با سرعت بیش از یک متر بر ثانیه و با استفاده از مصالح متناسب با اقلیم و سایه اندازی بر نما می‌توان دمای داخل فضا را نسبت به بیرون ۲-۳ درجه سانتیگراد کاهش داد (Liping, 2007, 224-233).

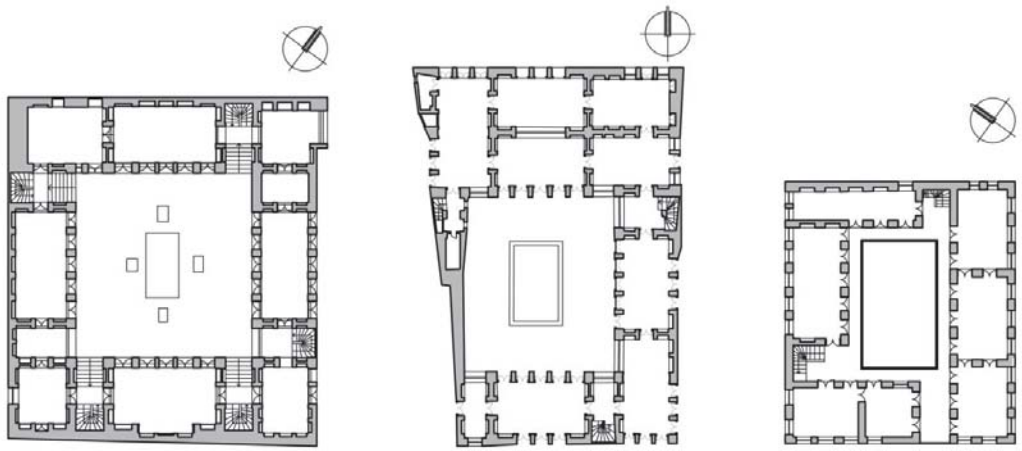
۳-۱- مشخصات خانه‌های بوشهر

الف- طرح و شکل کلی ساختمان

از نظرطرح کلی یک گونه در خانه‌های بوشهر دیده می‌شود. این گونه درونگراست و ساختمان در اطراف حیاط مرکزی شکل گرفته است و در آن‌ها به استفاده از وجوه مقابل یا کنار هم با توجه به حرکت خورشید در فصول مختلف سال و یا ساعات روز توجه شده است. این خانه‌ها عمدتا متراکم هستند ولی به واسطه وجود فضاهای نیمه باز مابین فضاهای بسته به تناوب، از نظر ماهیت گردش هوا به صورت گسترده عمل می‌کنند. خانه‌های بوشهر عمدتا مربع بوده و ارزش مساوی به چهار وجه اطراف حیاط داده شده است. به نظر می‌رسد علت این امر استفاده از باد غرب و شمال غربی در تابستان و با ایجاد ارتفاع بلند و ایجاد سایه در حیاط مرکزی‌های کوچک است و همچنین با استفاده از عناصر سایه انداز بر وجوه خارجی، مشکلات ناشی از تابش مستقیم آفتاب تا حدودی تعدیل شده‌اند (نیکقدم، ۱۳۹۱، ۲۳۸-۲۳۹و۲۸۶-۲۸۸) و (نیکقدم، ۱۳۹۴، ۷۷-۹۰) و (نیکقدم، ۱۳۹۲، ۵۴-۶۹).

ب- تشکل اجزاء ساختمان

فضاهای زیستی در چهار وجه حیاط و عمدتا به تساوی قرار دارند. در این خانه‌ها فضاهای زیستی نیمه باز در وجوه شمال شرقی، شمال غربی و جنوب غربی قرار دارند و فضاهای ارتباطی نیمه باز اغلب در میان فضاهای زیستی بسته و در چهار گوشه حیاط مستقر هستند. خانه‌های بوشهر عمدتا در سه یا چهار تراز شکل می‌گیرند و همه فاقد زیرزمین هستند. تراز همکف که در برخی از خانه‌ها تا نیمه یا کمتر درون خاک قرار گرفته و در برخی دیگر بر سطح زمین قرار دارد، معمولا برای فضاهای خدماتی استفاده می‌شود. در ترازهای بالاتر در چهار طرف حیاط فضاهای ارتباطی نیمه باز و پیرامون حیاط فضاهای ارتباطی نیمه باز و باز برای گردش وجود دارد. این خانه‌ها در تراز همکف به سمت حیاط و در سایر ترازها از هر دو جهت، به سمت حیاط و خارج از ساختمان منفذ دارند (نیکقدم، ۱۳۹۱، ۲۳۸-۲۳۹و۲۸۶-۲۸۸) و (نیکقدم، ۱۳۹۴، ۷۷-۹۰) و (نیکقدم، ۱۳۹۲، ۵۴-۶۹). تصویر ۱ پلان سه خانه را در بندر بوشهر در یک تراز بالاتر از همکف نشان می‌دهد.



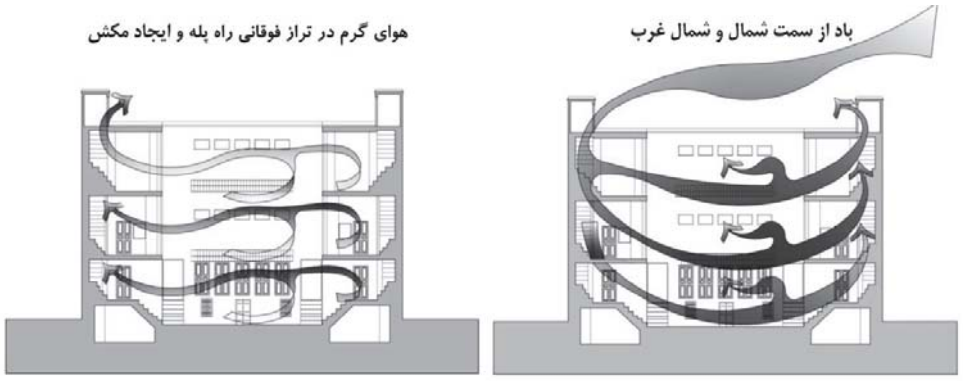
تصویر ۱. پلان تراز اول در سه خانه در بوشهر[۵]

ج- مشخصات اجزاء ساختمان

ترکیب غالب فضاهای باز و نیمه باز در این خانه‌ها به این صورت است که فضاهای نیمه باز زیستی و فضاهای ارتباطی نیمه باز مابین فضاهای بسته قرار می‌گیرند و در عین حال فضاهای ارتباطی نیمه باز و باز در مقابل فضاهای نیمه‌باز و بسته قرار می‌گیرند. در این خانه‌ها ارتباط فضاهای زیستی بسته به صورت مستقل بوده و در غالب مواقع از راهروهای نیمه باز و باز به اتاق‌ها به صورت مستقل دسترسی وجود دارد. برای رسیدن از حیاط تا اتاق یا فضای زیستی بسته باید از طریق فضاهای زیستی یا ارتباطی نیمه باز و باز عبور کرد. فضاهای زیستی نیمه باز در وجوه شمال شرقی، شمال غربی و جنوب غربی و فضاهای ارتباطی نیمه باز در چهار گوشه حیاط مستقر هستند.

فضاهای زیستی در خانه‌های بوشهر درجهت بدنه حیاط کشیده شده و کم عمق می‌باشند تا امکان ایجاد تهویه بهتر را در آن‌ها فراهم کنند. این فضاها به جز جزئیات چوبی شناشیل‌ها و راهروهای کم عمق پیرامون حیاط در مقابل تابش آفتاب عمق و حائلی درست نمی‌کنند. برخی از این خانه‌ها در نزدیکی دریا ایوان‌های وسیعی در ترازهای مختلف در وجوه رو به سمت دریا دارند. این ترکیب فضاهای نیمه باز، مانند سامانه‌ای جریان نسیم وزنده را از شمال غربی دریافت کرده و از طریق راهروهای نیمه باز به طبقات هدایت میکند و از طریق راهروهای نیمه باز پیرامون حیاط در اطراف حیاط می‌چرخانند. منافذ اتاق‌ها که به سمت خارج از ساختمان هستند این سامانه را تقویت می‌کنند. ترکیب غالب فضاهای باز و نیمه باز در این خانه‌ها و نحوه ارتباط آن‌ها با فضاهای زیستی سبب ایجاد جریان هوا در داخل فضاهای بسته زیستی و به همین صورت در حیاط مرکزی می‌شود. در راهروهای نیمه باز پدیده دودکش خورشیدی ایجاد شده و هوای گرم از محیط خانه مکش و خارج می‌کند (نیکقدم، ۱۳۹۱، ۲۳۸-۲۳۹و۲۸۶-۲۸۸) و (نیکقدم، ۱۳۹۴، ۷۷-۹۰) و (نیکقدم، ۱۳۹۲، ۵۴-۶۹).

تصویر ۲ عملکرد تهویه طبیعی را در برش تیپ از خانه‌های بوشهر در زمانی که باد می‌وزد و در زمانی که تابش خورشید سبب تهویه محیط داخل خانه می‌شود نشان می‌دهد. مطابق تئوری در زمان وزش باد، جریان مثبت هوا با عبور از منافذ خارجی ترازهای بالایی درون فضاهای باز مجموعه نفوذ کرده و از طریق فضاهای ارتباطی عمودی نیمه باز به طبقات راه یافته و فضاها را تهویه می‌کند. در حالتی که هوا ساکن باشد، هوای گرم شده درون فضاهای ارتباطی عمودی که تمایل به حرکت به طرف بالا دارد با ایجاد فشار منفی در طبقات سبب تهویه فضاهای داخلی می‌شود.



تصویر ۲. سامانه تهویه طبیعی در خانه‌های بوشهر (ماخذ: نگارنده)

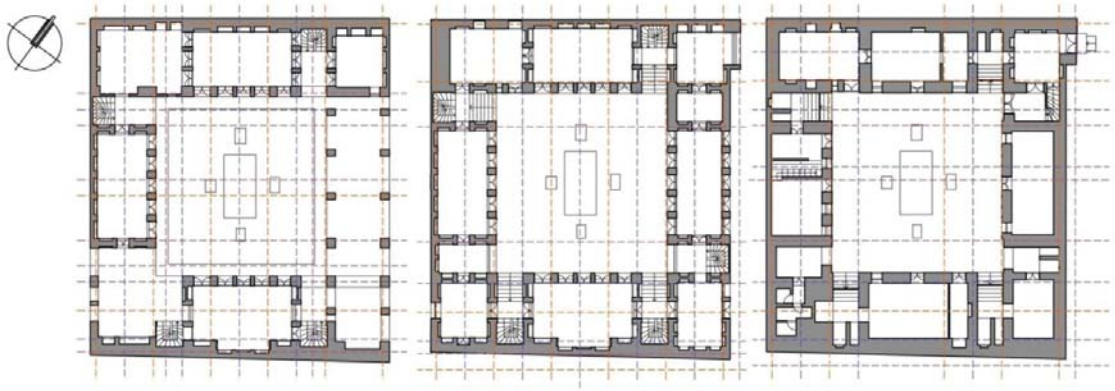
د- جزئیات ساختمان

مصالح این خانه‌ها از سنگ‌های متخلخل دریایی در دیوار و چوب و نی و حصیر در پوشش بام است تا با ظرفیت حرارتی کمی که دارند گرمای روز را تا شب‌های گرم این بندر در خود ذخیره نکنند. در طبقات بالاتر از همکف بازشوها به سمت حیاط و خارج از آن باد مفید منطقه را به درون فضاهای زیستی و حیاط داخلی هدایت می‌کنند. این بازشوها با شناشیل‌ها یا شبکه‌های چوبی پوشیده شده‌اند تا ضمن فراهم کردن جریان هوا سایه بیشتری را برای فضاهای زیستی فراهم کنند (نیکقدم، ۱۳۹۱، ۲۳۸-۲۳۹و۲۸۶-۲۸۸) و (نیکقدم، ۱۳۹۴، ۷۷-۹۰) و (نیکقدم، ۱۳۹۲، ۵۴-۶۹).

۳-۲- خانه گلشن

الف- طرح کلی و شکل ساختمان: خانه گلشن درونگراست و اجزاء ساختمان در چهار طرف حیاط قرار

گرفته است. این خانه دارای یک حیاط است. ترکیب و طرح کلی خانه به شکل متراکم اما به علت قرارگیری فضاهای باز و نیمه باز مابین فضاهای بسته و همچنین تک لایه‌ای بودن فضاهای بسته ماهیتاً از بابت تهویه طبیعی مانند ساختمان‌های گسترده عمل می‌کند. پلان ترازهای مختلف این خانه در تصویر ۳ دیده می‌شود. این خانه زیرزمین و بادگیر ندارد و تناسبات کلی حیاط آن ۱ در ۱,۱۶ و کشیدگی آن در جهت بدنه دریاست. تصویر ۴ مشخصات کلی این خانه را از جمله شکل کلی، تناسبات حیاط، جهت قرارگیری و محل قرارگیری فضاهای بسته، نیمه باز، باز و ارتباطی و خدماتی را در جهات چهارگانه حیاط نشان می‌دهد.



تصویر ۳. پلان ترازهای همکف، اول و دوم خانه گلشن[۶]

خانه	شکل کلی	حیاط	جهت شمال	کشیدگی فضاهای زیستی	بادگیر	فضاهای بسته زیستی	فضاهای باز و نیمه باز زیستی	فضاهای ارتباطی	فضاهای جانبی	ورودی	زیرزمین	تراز آخر
گلشن		۱ به ۱,۱۶	۴۵ درجه	در جهت بدنه حیاط	ندارد			نیمه باز، چهار جهت و پیرامون حیاط			ندارد	

تصویر ۴. مشخصات کلی خانه گلشن (ماخذ: نگارنده)

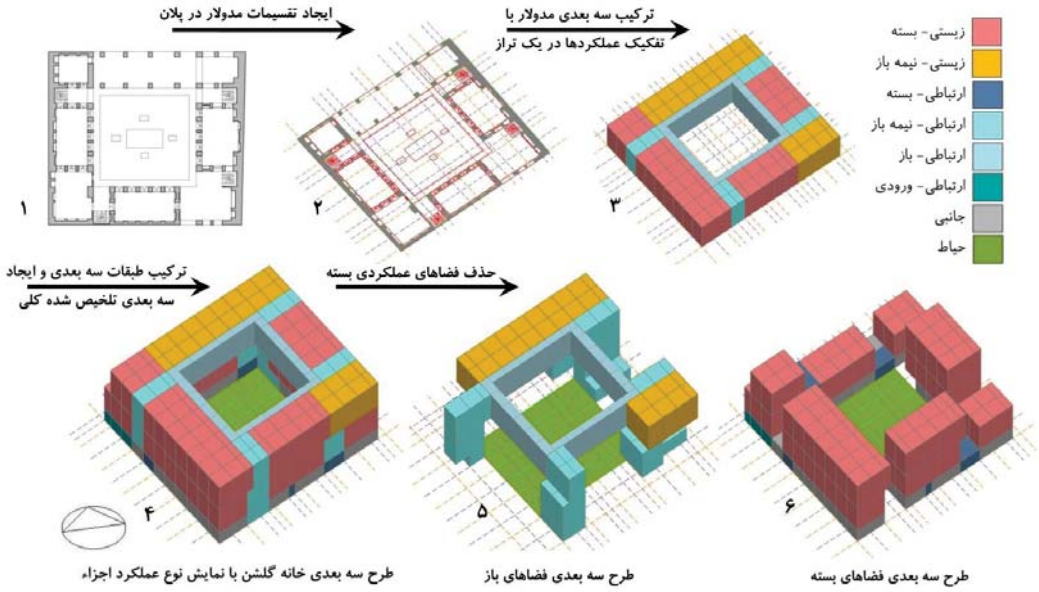
ب- تشکل اجزاء ساختمان

فضاهای عملکردی در خانه گلشن در سه تراز همکف، اول و دوم استقرار یافته و فضاهای زیستی در چهار جبهه اطراف حیاط واقع شده‌اند. فضاهای ارتباطی نیمه باز میان فضاهای بسته و چهار طرف حیاط در سه تراز منطبق بر هم قرار گرفته‌اند. فضاهای خدماتی عمدتا در تراز همکف قرار دارند. تراز آخر ساختمان در وجوه شمال غربی و جنوب شرقی و جنوب غربی گسترده شده و ورودی خانه از داخل ساختمان و از جبهه شمال شرقی است.

ج- مشخصات اجزاء ساختمان

برای رسیدن از حیاط تا فضاهای زیستی بسته باید از فضاهای ارتباطی نیمه باز عبور کرد؛ این راهروهای نیمه باز در تراز آخر به راهروهای باز می‌رسند و ازطریق فضاهای باز و نیمه باز زیستی به فضاهای زیستی بسته دسترسی وجود دارد. قرارگیری و دسترسی به اتاق‌ها به صورت مستقل است. قرارگیری فضاهای زیستی نیمه باز در ترازهای مختلف به سمت دریا و برای استفاده از نسیم دریاست. این فضاها عمدتا در وجوه شمال شرقی و جنوب غربی قرار دارند.

این خانه تمام ویژگی‌های اساسی تیپ خانه‌های بوشهر را داراست. تصویر ۵ طرح سه بعدی خانه گلشن را با نمایش فضاهای بسته، نیمه باز و باز و به تفکیک زیستی، ارتباطی و جانبی نشان می‌دهد. مدولار و خلاصه کردن تصاویر به منظور دستیابی به سه هدف اصلی انجام می‌شود: حذف زوائد موجود و تمرکز بر ویژگی‌های مورد نظر تحقیق، حذف پوشش بیرونی و مشخص شدن عملکردهای درونی و دستیابی به فضاهای نیمه باز درونی، آشکار شدن ویژگی‌های هر فضا مانند تناسبات، جهت و شکل. این تصویر روش تصویرسازی و تلخیص نقشه‌های سه بعدی خانه‌ها را نشان می‌دهد. در این تصویر تشکل و تناسبات فضاهای بسته، نیمه باز و باز مشاهده می‌شود که موارد فوق الذکر را به وضوح نمایش می‌دهد.



تصویر ۵. طرح مدولار خانه گلشن (ماخذ: نگارنده)

۴. مطالعات اقلیمی

بوشهر در کلان اقلیم حاره‌ای و از نظر اقلیم میانه در منطقه نیمه حاره‌ای و نیمه خشک قرار دارد (نیکقدم و مفیدی شمیرانی، ۱۳۹۰). این شهر در عرض جغرافیایی ۲۸ درجه شمالی و ارتفاع آن از دریا ۱۹٫۶ متر است. مطالعه اقلیم محلی نشان می‌دهد که در این شهر درجه حرارت در تابستان و زمستان به نسبت سایر شهرها و بنادر حاشیه شمالی خلیج فارس و دریای عمان تفاوت زیادی دارند. بیشترین درجه حرارت گزارش شده بین سال‌های ۲۰۰ تا ۲۰۰۹ در مرداد و شهریور تا ۳۹ درجه سانتیگراد و کمترین آن در دی و بهمن تا ۹ درجه سانتیگراد می‌رسد. رطوبت نسبی در تابستان و زمستان زیاد و اختلاف درجه حرارت در شب و روز کم است. در بوشهر بارش سالانه در ماه‌های زمستان به مقدار کم وجود داشته و در ماه‌های تابستان باران نمی بارد.[۷] میانگین رطوبت نسبی در بندر بوشهر در تمام ماه‌های سال بین ۶۰٪ تا ۷۰٪ است.

٤-۱- دما و رطوبت نسبی

نمودار دمای خشک بندر بوشهر نشان می‌دهد که میانگین بالاترین دما در بازه زمانی از ۱۰ تیر تا ۹ شهریور و برابر ۳۶ درجه سانتیگراد است. با پیش فرض رطوبت نسبی ثابت ۵۰٪ توسط نرم‌افزار کلایمت کانسالتنت و مدل آسایش تطبیقی[۸]؛ از ۱۱ دی تا ۹ اسفند در روز و شب نیاز به گرمایش است و از ۱۰ آبان تا ۱۰ دی و از ۱۱ اسفند تا ۱۱ فروردین در شب‌ها نیاز به گرمایش بوده و در روزهای این ماه‌ها شرایط آسایش برقرار است. در شب‌ها و روزها از ۱۰ تیر تا ۹ شهریور نیاز به سرمایش و در شب‌های بقیه ماه‌های سال آسایش برقرار و روزهایشان هوا گرم است. نمودار محدوده دمایی در تصویر ۶ وضعیت دما را در ماه‌های سال در این بندر نشان می‌دهد. با مدل آسایش تطبیقی، نوار خاکستری شرایط آسایش است با این فرض که رطوبت نسبی در تمام مواقع در این بندر ۵۰٪ است. بنابراین با توجه به میانگین رطوبت نسبی در بندر بوشهر که بطور متوسط بین ۶۰٪ تا ۷۰٪ است؛ لذا احساس گرما با توجه به بالاتر بودن رطوبت نسبی در ماه‌های گرم سال از آنچه ذکر شد سخت‌تر خواهد بود. مطالعات نشان می‌دهد مردم در مناطق گرم و مرطوب دامنه آسایش حرارتی بزرگتری نسبت به آنچه در مدل اشری ۵۵ در نظر گرفته شده دارند؛ لذا این پژوهش برای مقایسه‌های مرتبط با آسایش حرارتی از مدل آسایش تطبیقی استفاده کرده است (Abiodun, 2014, 1-18).

تصویر ۶. نمودار دما در مقایسه با شرایط آسایش با مدل آسایش تطبیقی (ماخذ: نگارنده، از نرم‌افزار کلایمیت کانسالتنت)

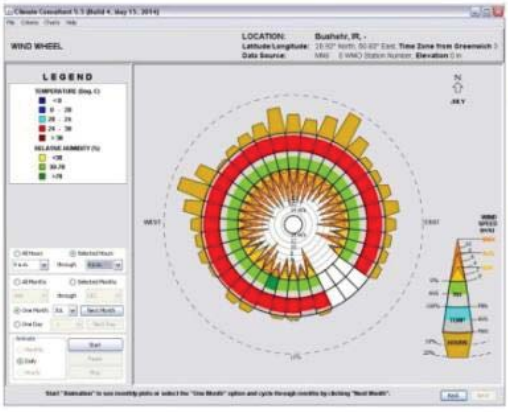
تقویم گرمایی نشان می‌دهد که در حدود ۲۷٪ از سال و در شب ها، دما بین صفر تا ۲۰ درجه سانتیگراد و نیاز به گرمایش است و در ۵۶٪ از اوقات سال دما بین ۲۴ تا ۳۸ درجه سانتی گراد و در ۱۵٪ اوقات شرایط آسایش برقرار است.[۹] با توجه به موضوع این پژوهش، برای ادامه سه ماه شامل از ۱۰ تیر تا ۹ مرداد در گرمترین شرایط، از ۹ مهر تا ۹ آبان در شرایط معتدل و از ۱۱ دی تا ۱۱ بهمن در شرایط سرد انتخاب تا تاثیر باد و تابش در الگوی اقلیمی خانه مورد بررسی در تعدیل شرایط محیطی در این سه حالت سنجیده شوند.

٤-۲- جریان هوا و شرایط آسایش

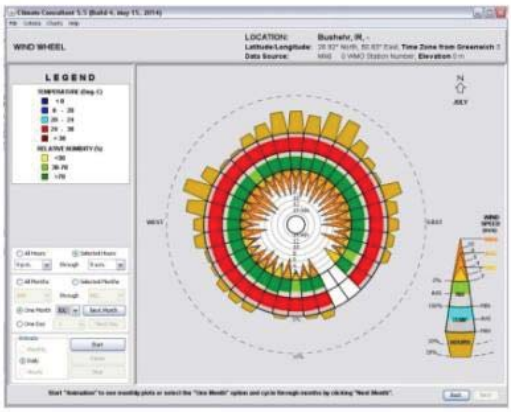
نمودار گلباد بندر بوشهر از ۱۰ تیر تا ۹ مرداد نشان می‌دهد در روزها و شب ها، بهترین باد از بابت سرعت و تواتر از شمال، شمال غربی با زاویه ۳۰ درجه نسبت به محور شمال و از شمال شرقی با زاویه ۱۵ درجه نسبت به محور شمال می‌وزند. این جریانات هوا در روز دمایی حدود ۳۷ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی بین ۳۰٪ تا ۷۰٪ و در شب‌ها دمایی کمتر از ۳۸ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی بیش از ۷۰٪ دارند. در روزها و شب‌ها از ۹ مهر تا ۹ آبان بهترین باد از بابت سرعت و تواتر از شمال و شمال غربی با زاویه ۱۵ درجه از محور شمال و شرق می‌وزد. این جریانات هوا در روزها دمایی کمتر از ۳۷ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی بین ۳۰٪ تا ۷۰٪ و در شب‌ها دمایی کمتر از ۳۵ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی بیش از ۷۰٪ دارند. تصویر ۷ وضعیت الگوهای بادهای بوشهر را در بازه زمانی از ۱۰ تیر تا ۹ مرداد و از ۹ مهر تا ۹ آبان و در روز و شب نمایش می‌دهد. منظور از روز از ساعات ۹ تا ۱۹ و در شب باقی ساعات است. این بازه بر اساس وضعیت دما و رطوبت بادها و مقایسه آن در بهینه سازی وضعیت گرمایی خانه گلشن با کمک نرم‌افزار دیزاین بیلدر در بهینه‌ترین حالت خود انتخاب شده اند.

٤-۳- نیازهای حرارتی

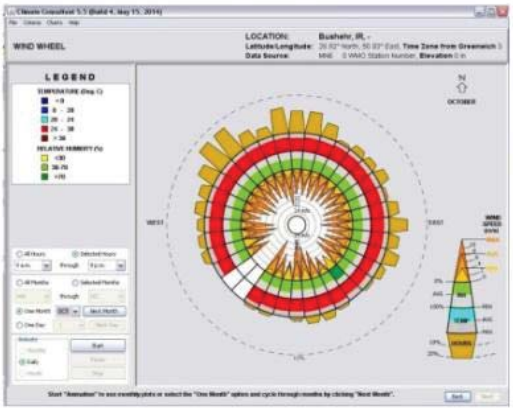
نیازهای حرارتی بندر بوشهر بر اساس مدل اشری۵۵ و مدل آسایش تطبیقی که با کمک جدول سایکرومتریک نرم‌افزار کلایمیت کانسالتنت[۱۰] تهیه شده در جدول ۱ خلاصه شده است. به طور کلی از این جدول می‌توان چنین استنباط کرد که در بازه زمانی از ۱۰ تیر تا ۹ مرداد و از ۹ مهر تا ۹ آبان تهویه طبیعی شرایط را بهبود بخشیده ولی نمی‌تواند کلا شرایط آسایش گرمایی را فراهم کند. این جدول همچنین نشان می‌دهد در روز و شب از ۱۱ دی تا ۱۱ بهمن می‌توان با کمک گرمای خورشید تا حدود زیادی شرایط آسایش حرارتی را بهبود بخشید.



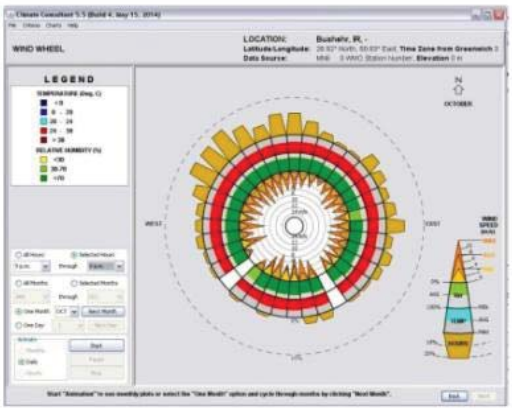
روز از ۱۰ تیر تا ۹ مرداد



شب از ۱۰ تیر تا ۹ مرداد



روز از ۹ مهر تا ۹ آبان



شب از ۹ مهر تا ۹ آبان

تصویر ۷. وضعیت الگوی بادهای محلی در روز و شب در بازه زمانی از ۱۰ تیر تا ۹ مرداد و از ۹ مهر تا ۹ آبان
(ماخذ: نگارنده، از نرم‌افزار کلایمیت کانسالتنت)

جدول ۱: نیازهای گرمایی بندر بوشهر (ماخذ: نگارنده)

اوقات سال		از ۱۱ دی تا ۱۱ بهمن		از ۹ مهر تا ۹ آبان		از ۱۰ تیر تا ۹ مرداد	
اوقات روز – روز از ۹ تا ۲۱ – شب از ۲۱ تا ۹		روز	شب	روز	شب	روز	شب
نیاز های گرمایی بر اساس مدل اشری ۵۵ به ٪	آسایش	۱۵،۶	۰،۷	۰	۳،۵	۰	۰
	گرمایی: استفاده از گرمای خورشید در روز	۷۸،۷	۸۰،۶	---	---	---	---
	گرمایی: سامانه ایستا بر اساس جرم حرارتی بالا	۲	---	---	---	---	---
	گرمایی: گرمایش مکانیکی	۳،۷	۱۸،۶	---	---	---	---
	سرمایی: نیاز به سایه	---	---	۴۸،۹	---	۶۱	---
	سرمایی: رطوبت زدایی	---	---	---	---	---	---
	سرمایش و رطوبت زدایی مکانیکی	---	---	۹۸،۸	---	۱۰۰	۹۸،۸
	جمع میزان پاسخگویی	۹۸	۱۰۰	۹۸،۵	۹۸،۳	۱۰۰	۹۸،۸
نیاز به تهویه طبیعی بر اساس مدل آسایش تطبیقی اشری ۵۵ به ٪		---	---	۱۱،۱	۷۹،۲	۰،۵	۱۴،۹

۵. یافته‌ها و بحث

۵-۱- داده ها

نمودارهای دما و رطوبت بدست آمده بر اساس مدلسازی خانه گلشن و برنامه ریزی منافذ آن در زمان‌های مختلف برای سه ماه مورد بررسی استخراج شد. به منظور تسهیل مطالعه، داده‌های نمودارهای دما و رطوبت نسبی در جدول جمع‌بندی شده است.

جدول ۲ نشان می‌دهد که در روز پانزدهم از سه ماه مورد نظر در سه تراز خانه گلشن بازه افزایش یا کاهش دما از چه ساعتی تا چه ساعتی است. این جدول همچنین بیشترین افزایش و کمترین کاهش دما را با رطوبت نسبی همزمان با آن در زمانی که دمای خارج از خانه در روز مورد نظر بیشینه یا کمینه است نشان می‌دهد. بررسی نمودارها نشان داد ساعت بیشینه دما ۱۴ و ساعت کمینه دما ۵ است. همچنین در ستون آخر نمایش داده شده که در روزهای مورد نظر حداکثر و حداقل دما در داخل این خانه در هر تراز چند درجه سانتیگراد بوده است که قابل مقایسه با حداکثر دما در خارج از بنا است.

جدول ۲: شرایط گرمایی در داخل خانه گلشن در ۲۵ تیر، ۲۵ آبان و ۲۶ دی (ماخذ: نگارنده)

کاهش دما در ۲۵ تیر ماه در داخل بنا	بازه زمانی کاهش دما	حداکثر دما		دمای داخل بنا °c	حداکثر کاهش دما °c	رطوبت نسبی	حداکثر و حداقل دما در داخل بنا °c
		دما °c	ساعت				
بلوک ۱ در تراز همکف	۸:۳۰ الی ۲۱	۴۳,۲	۱۴	۳۶,۶	۶,۶	٪۲۵	۳۴,۹ تا ۳۷,۲
بلوک ۲ در تراز ۲,۵۰ +	۹ الی ۱۹			۳۸,۳	۴,۹	٪۲۳	۳۵,۴ تا ۳۸,۴
بلوک ۳ در تراز ۷,۶۵ +	۱۰ الی ۱۷			۳۹,۸	۳,۴	٪۲۱	۳۶,۲ تا ۴۱,۶

کاهش دما در ۲۵ مهر ماه در داخل بنا	بازه زمانی کاهش دما	حداکثر دما		دمای داخل بنا °c	حداکثر کاهش دما °c	رطوبت نسبی	حداکثر و حداقل دما در داخل بنا °c
		دما °c	ساعت				
بلوک ۱ در تراز همکف	۸ الی ۲۱:۳۰	۳۸,۹	۱۴	۳۰,۷	۸,۲	٪۳۱	۲۸,۸ تا ۳۰,۸
بلوک ۲ در تراز ۲,۵۰ +	۸:۳۰ الی ۲۰			۳۲,۳	۶,۶	٪۲۸	۳۰ تا ۳۲,۶
بلوک ۳ در تراز ۷,۶۵ +	۹ الی ۱۹			۳۳,۸	۵,۱	٪۲۶	۲۹,۸ تا ۳۴,۸

افزایش دما در ۲۶ دی ماه در داخل بنا	بازه زمانی افزایش دما	حداقل دما		دمای داخل بنا °c	حداکثر افزایش دما °c	رطوبت نسبی	حداکثر و حداقل دما در داخل بنا °c
		دما °c	ساعت				
بلوک ۱ در تراز همکف	۹:۳۰ الی ۱۹	۱۴,۹	۵	۲۱	۶,۱	٪۵۳	۲۱ تا ۲۱,۳
بلوک ۲ در تراز ۲,۵۰ +	۱۷:۳۰ الی ۱۱			۲۲,۹	۸	٪۴۸	۲۲ تا ۲۳,۶
بلوک ۳ در تراز ۷,۶۵ +	تقریبا تمام روز			۲۴	۹,۱	٪۴۴	۲۴,۱ تا ۲۵,۸

اطلاعات موجود در جدول ۲ نشان می‌دهد در ۲۵ تیرماه درحالی که دمای بیرون از ساختمان در ساعت ۱۴ برابر ۴۳,۲ درجه سانتیگراد است دمای داخل ساختمان در تراز همکف ۶,۶ درجه، دمای تراز اول ۴,۹ درجه و دمای تراز دوم ۳,۴ درجه سانتیگراد تعدیل شده و رطوبت نسبی در طبقات بین ٪۳۴,۹ تا ٪۴۱,۶ است. در این ماه در تراز همکف حدود ۱۱ ساعت، در تراز اول ۱۰ ساعت و در تراز دوم ۷ ساعت در میانه روز دما کمتر از دمای بیرون از ساختمان است و بیشترین کاهش دما در ساعت ۱۴ برابر ۶,۶ درجه سانتیگراد در تراز همکف است.

جدول ۲ نشان می‌دهد در ۲۵ مهرماه درحالی که دمای بیرون از ساختمان در ساعت ۱۴ برابر ۳۸,۹ درجه سانتیگراد است دمای داخل ساختمان در تراز همکف ۸,۲ درجه، دمای تراز اول ۶,۶ درجه و دمای تراز دوم ۵,۱ درجه سانتیگراد تعدیل شده و رطوبت نسبی در طبقات بین ۲۸,۸ تا ۳۴,۸ است. در این ماه در تراز همکف حدود ۱۳ ساعت، در تراز اول ۱۲ ساعت و در تراز دوم ۱۰ ساعت در میانه روز، دما کمتر از دمای بیرون از ساختمان بوده و بیشترین کاهش دما در ساعت ۱۴ برابر ۸,۲ درجه سانتیگراد در تراز همکف است.

جدول ۲ نشان می‌دهد در ۲۶ دی ماه درحالی که دمای بیرون از ساختمان در ساعت ۵ صبح برابر ۱۴,۹ درجه سانتیگراد است، دمای داخل ساختمان در تراز همکف ۶,۱ درجه، دمای تراز اول ۸ درجه و دمای تراز دوم ۹,۱ درجه سانتیگراد تعدیل شده و رطوبت نسبی در طبقات بین ٪۲۱ تا ٪۲۵,۸ است. در این ماه در تراز همکف حدود ۱۴ ساعت، در تراز اول ۱۸ ساعت و در تراز دوم در تمام روز دما بیشتر

از دمای بیرون از ساختمان است و بیشترین افزایش دما در ساعت ۵ صبح برابر ۹٫۱ درجه سانتیگراد در تراز دوم است.

داده‌های ذکر شده در جدول ۲ و توضیحات پس از آن مربوط به کل هر تراز شامل فضاهای بسته و نیمه باز می‌شود. به منظور پیشگیری از تفصیل بیش از اندازه مقاله داده‌های خرد مربوط به تک فضاهای بسته و نیمه باز به تفکیک حذف شده‌اند. آنچه روشن است تعدیل دما و طوبت نسبی در فضاهای بسته همواره بیش از فضاهای نیمه باز بوده است. در ادامه به خلاصه‌ای از داده‌های تک فضاهای بسته و نیمه باز اشاره می‌شود.

نتایج نشان می‌دهد که در ۲۵ تیرماه بیشترین مقدار کاهش دما در فضاهای بسته در بلوک همکف ۷ درجه سانتیگراد است. بیشترین میزان کاهش دما در فضاهای نیمه باز در بلوک همکف و برابر ۴٫۵ درجه سانتیگراد بین ساعات ۸:۳۰ تا ۲۰ در راه پله گوشه جنوبی و ۵ درجه سانتیگراد بین ساعات ۸ تا ۲۰:۳۰ در راه پله گوشه شمالی است.

همچنین داده‌ها نشان می‌دهد که در ۲۵ مهر ماه بیشترین مقدار کاهش دما در فضاهای بسته در بلوک همکف ۸٫۵ درجه سانتیگراد است. بیشترین میزان کاهش دما در فضاهای نیمه باز در بلوک همکف و برابر ۷ درجه سانتیگراد بین ساعات ۸ تا ۲۱ در راه پله گوشه شرقی و در راه پله گوشه غربی است.

همچنین داده‌ها نشان می‌دهد که در ۲۶ دی ماه افزایش دما در بلوک دوم در فضاهای بسته رو به غرب تقریبا در تمام ساعات مشاهده می‌شود در فضاهای رو به شرق نیز حداقل از ۱۸ تا ۱۱ روز بعد افزایش دما وجود دارد. بیشترین مقدار افزایش دما در بلوک دوم ۱۱ درجه سانتیگراد است.

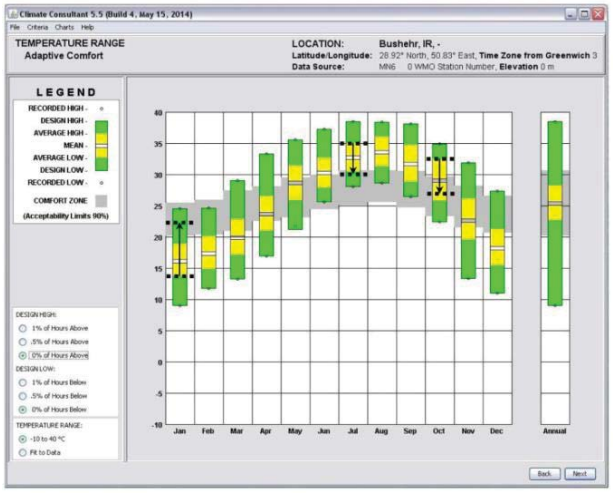
در مقایسه؛ میزان تعدیل دما در فضاهای بسته و نیمه باز نشان می‌دهد که فضاهای نیمه باز بیش از اینکه خود فضای مناسبی را در روزهای ماه‌های گرم فراهم کنند از به علت قرارگیری مابین فضاهای بسته از طریق کاهش رطوبت در بدنه‌های آن‌ها شرایط را برای سکونت در وضعیت مناسب‌تری قرار می‌دهند.

۵-۲- تحلیل و بحث

با توجه به الگوی اقلیمی خانه گلشن و در نظر گرفتن شرایط ورودی شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر و با کمک برنامه‌ریزی باز و بسته کردن پنجره‌ها در طول شبانه‌روز در ماه‌های گرم، بطوری که بین ساعات ۱۹ تا ۹ باز و در بقیه ساعات بسته باشند و با توجه به تابش خورشید به فضاهای بسته و نیمه باز خانه در ماه‌های سرد با توجه به الگوی اقلیمی آن، داده‌های بدست آمده به شرح زیر تحلیل شد.

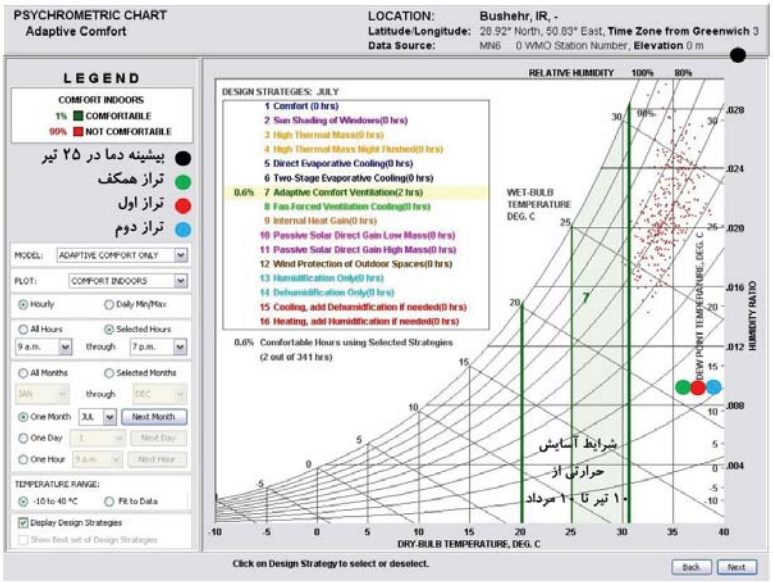
نتایج نشان داد که جریان هوا در ساعات شب در داخل ساختمان سبب می‌شود که رطوبت هوا در ساعات روز در داخل خانه نسبت به بیرون کاهش قابل توجهی را نشان دهد؛ همچنین ترازهای بالایی نسبت به پائینی رطوبت نسبی کمتری دارند؛ با این حال فضاهای خانه در تراز همکف کاهش دمای بیشتری را نشان می‌دهند. این مطلب حاکی از آن است که نقش سایه اندازی و لایه‌های مختلف پیاپی فضاهای بسته بر روی هم در ایجاد کاهش دما بسیار موثر بوده است و انرژی جذب شده از طریق تابش مستقیم آفتاب در ترازهای بالایی، کاهش دمای کمتری را در پی دارد. تفاوت مقدار کاهش دما در ۲۵ تیر ماه در تراز دوم نسبت به تراز همکف حدود ۳ درجه سانتیگراد است در حالی که در تراز دوم نسبت به همکف در برخی فضاها تا ۷٪ کاهش رطوبت نسبی دیده می‌شود. این مقادیر در ۲۵ مهر ۳ درجه سانتیگراد در برابر ۶٪ رطوبت نسبی است.

در مجموع فضاهای بسته در وجوه مختلف چهارگانه این خانه اختلاف قابل توجهی را در مقدار کاهش یا افزایش دما و بازه زمانی آن نشان نمی‌دهند؛ ولی می‌توان تفاوت اندکی را مشاهده کرد. تصویر ۸ بیشترین کاهش و افزایش دما را بر نمودار محدوده دما بر اساس مدل آسایش تطبیقی در ماه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. در روزها در ۲۵ تیر ماه در برخی فضاهای بسته تا حدود ۷ درجه سانتیگراد کاهش دما اتفاق می‌افتد؛ این مقدار کاهش می‌تواند در فضاهای مذکور بر اساس مدل فوق‌الذکر شرایط را تا حدود بالایی به آسایش نزدیک کند. در ۲۵ مهر ماه نیز کاهش دما تا ۸٫۵ درجه سانتیگراد در برخی فضاهای بسته در تراز همکف و در سایر فضاها بین ۵-۸ درجه سانتیگراد می‌تواند اغلب فضاها را از نظر گرمایی به شرایط آسایش برساند. مقدار افزایش دما در برخی فضاهای بسته در تراز دوم در ۲۶ دی ماه برابر ۱۱ درجه سانتیگراد است. این افزایش دما می‌تواند فضاها را در حالی که شرایط بیرون ساختمان در تمام ساعات این ماه زیر شرایط آسایش است؛ کاملا در شرایط آسایش قرار دهد. باید توجه داشت که محدوده شرایط آسایش مشخص شده بر نمودار ۹ با فرض رطوبت نسبی ۵۰٪ در محیط است و لذا در بندر بوشهر با رطوبت بالای ۶۰٪ در تمام ماه‌های سال، در ماه‌های گرم نتایج تا حدودی متفاوت خواهد بود.

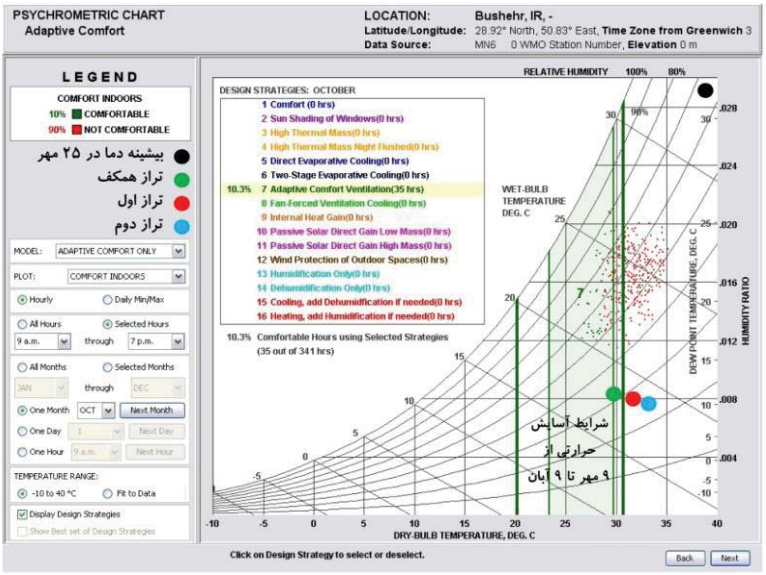


تصویر ۹. نمایش میزان بیشترین کاهش دما در سه ماه مورد بررسی (ماخذ: نگارنده، از نرم‌افزار کلایمیت کانسالتنت)

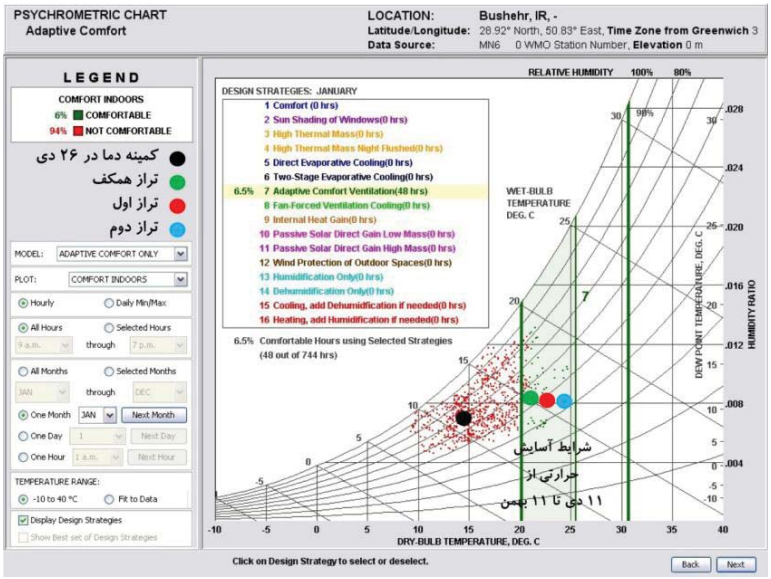
تصاویر ۱۰ و ۱۱ وضعیت دما و رطوبت نسبی را در گرمترین ساعت روز یعنی ساعت ۱۴، در ترازهای سه گانه خانه گلشن در ۲۵ تیر و ۲۵ مهر بر نمودار سایکرومتریک بوشهر با مدل آسایش تطبیقی نمایش می‌دهد. دایره سیاه رنگ شرایط گرمایی و رطوبتی بیرون از ساختمان و دایره‌های رنگی شرایط گرمایی و رطوبتی ترازهای مختلف را بر اساس راهنمای نمودار نمایش می‌دهند. این نمودارها نشان می‌دهند که در ۲۵ تیرماه ماه در هر سه تراز، فضاهای مورد نظر از بابت شرایط حرارتی و رطوبتی به شرایط آسایش نزدیکتر شده‌اند و در ۲۵ مهر تمام فضاها در هر سه تراز از نظر شرایط حرارتی و رطوبتی به شرایط آسایش بسیار نزدیک و در تراز همکف در شرایط آسایش قرار گرفته‌اند. تصویر ۱۲ وضعیت دما و رطوبت نسبی سه تراز خانه گلشن را در سردترین ساعت روز یعنی ساعت ۵ صبح، در ۲۶ دی ماه بر نمودار سایکرومتریک بوشهر با مدل آسایش تطبیقی نمایش می‌دهد. این نمودار نشان می‌دهد که در ۲۵ دی شرایط حرارتی و رطوبتی در هر سه تراز در سردترین حالت روز در شرایط آسایش قرار گرفته و لذا ساختمان نیاز به گرمایش مکانیکی ندارد.



تصویر ۱۰. وضعیت گرمترین ساعت روز در بیرون از ساختمان و در بهترین فضا از هر تراز در همان ساعت در تیر (ماخذ: نگارنده، از نرم‌افزار کلایمیت کانسالتنت)



تصویر ۱۱. وضعیت گرمترین ساعت روز در بیرون از ساختمان و در بهترین فضا از هر تراز در همان ساعت در مهر
(ماخذ: نگارنده، از نرم‌افزار کلایمیت کانسالتنت)

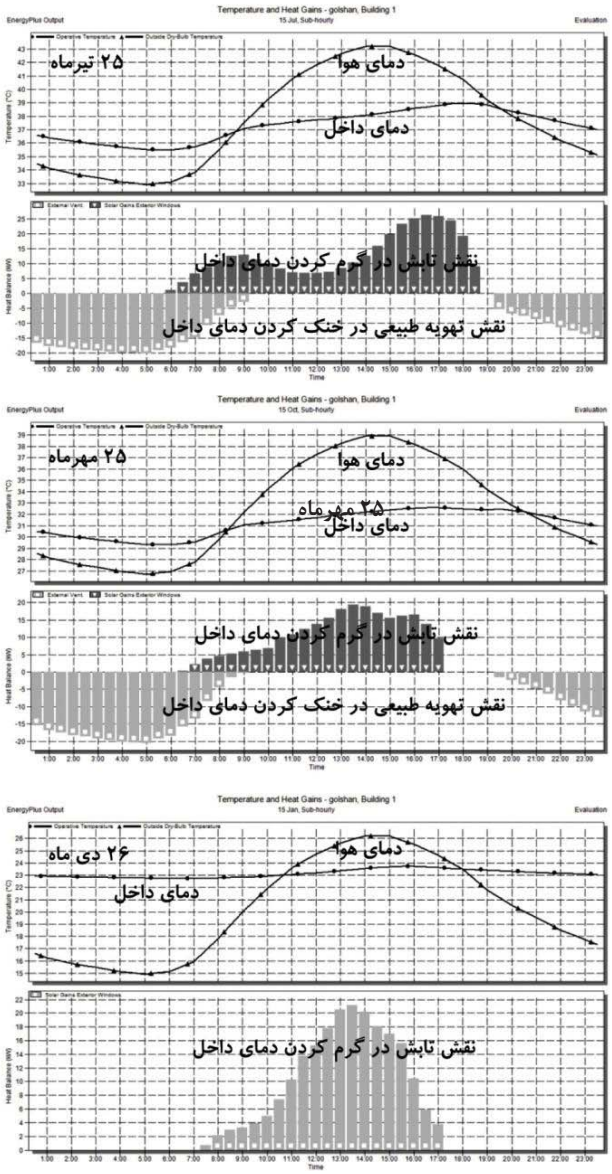


تصویر ۱۲. وضعیت سردترین ساعت شب در بیرون از ساختمان و در بهترین فضا از هر تراز در همان ساعت در دی
(ماخذ: نگارنده، از نرم‌افزار کلایمیت کانسالتنت)

نمودار دمای داخل ساختمان در مقایسه با بیرون از آن و تاثیر تهویه طبیعی و تابش در تعدیل شرایط حرارتی در مجموع سه تراز خانه گلشن در تصویر ۱۳ نمایش داده شده‌اند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که در شب‌های ۲۵ تیر و ۲۵ مهر ماه، دمای هوا در فضاهای بسته همواره بیشتر از دمای هوای خارج است و بهتر است از فضاهای نیمه باز در ساعات شب برای زندگی استفاده کرد. اما تهویه طبیعی که از ساعت ۱۹ تا ۹ صبح بر قرار است، در طول ساعات روز دما و رطوبت داخل ساختمان را تعدیل می‌کند. بیشترین میزان کاهش دما در ساعت ۱۴ است که در این ساعت دمای خارج از خانه در بیشترین حد خود است. در ۲۵ تیر ماه بیشترین میزان انرژی دریافت شده از تابش در ساعات صبح و عصر و در ۲۵ مهر ماه بیشترین میزان آن در ساعات اولیه بعد از ظهر است. این تفاوت به علت زاویه تابش خورشید در دو ماه مورد بررسی است.

مطابق نمودار نمایش داده شده در تصویر ۱۳، بیشترین انرژی جذب شده در اثر تابش در ۲۶ دی ماه در ساعت ۱۴ است و در شب‌های ۲۶ دی ماه با کمک سامانه ایستای خورشیدی با الگوی جذب مستقیم می‌توان در سردترین اوقات شب دما را در تمام فضاهای موجود در خانه به شرایط

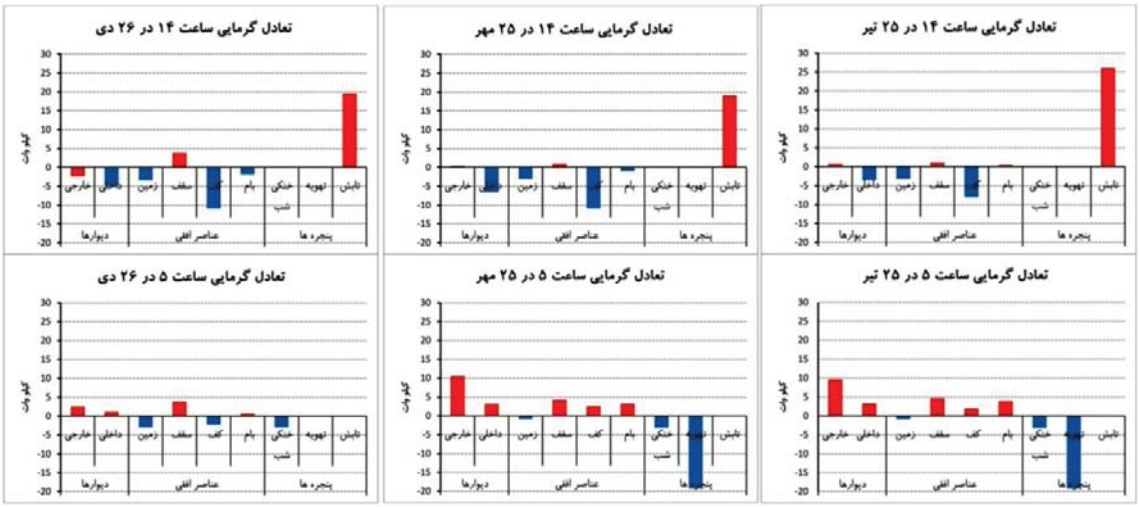
آسایش بر اساس مدل آسایش تطبیقی رساند. لذا با اینکه در بوشهر حدودا ۲ تا ۳ ماه سرد وجود دارد، در این خانه نیازی به دستگاه‌های حرارتی نیست. نمودار دما در تصویر ۱۳ نشان می‌دهد در خانه گلشن در تمام ساعات روز ۲۶ دی ماه دما ثابت و در حد شرایط آسایش است.



تصویر ۱۳. نمودار برآورد وضعیت دما و نقش تابش و تهویه طبیعی در تعدیل شرایط گرمایی در تراز‌های مختلف خانه گلشن (ماخذ: نگارنده، از نرم‌افزار دیزاین بیلدر)

نمودارهای نمایش داده شده در تصویر ۱۴ نقش هر یک از اجزا عمودی ساختمان شامل دیوارهای داخلی و خارجی، اجزا افقی ساختمان شامل بام، کف ها، سقف‌ها و زمین و نهایتا نقش منافذ را در انتقال خنکی شب، تهویه و تابش نشان می‌دهند. این نمودارها نشان می‌دهد در خانه گلشن بیشترین انرژی گرمایی و سرمایی ایجاد شده موثر در تعادل شرایط گرمایی از طریق تابش و تهویه طبیعی است و مصالح دیوارها و سقف نقش کمتری دارند. در تیر ماه و آبان ماه پس از تابش، عناصر عمودی بیشترین تاثیر را در گرمایش فضاهای داخلی دارند این تاثیر عمدتا مربوط به گرمای ذخیره شده در روز و منتشر شده از طریق دیوارها در شب می‌شود. عناصر افقی عمدتاً در خنک کردن فضاها موثرترند و خنکی آن‌ها در شب سبب خنک شدن فضا در طول روز می‌شود. همچنین خنکی شب نیز عامل قابل توجهی در تعدیل شرایط محیطی محسوب می‌شود. نمودار نمایش داده شده در تصویر ۸ نشان می‌دهد که مطابق داده‌ها در این شهر ساعات قبل از طلوع

آفتاب در برخی ماه‌های گرم نزدیک به شرایط آسایش بر اساس مدل آسایش تطبیقی و فرض رطوبت ۵۰٪ هستند؛ بنابراین این خنکی می‌تواند بخشی از خنکی این خانه‌ها را در طول روز فراهم کند. خنکی شب که از طریق منافذ وارد و جذب عناصر عمودی و افقی خانه می‌شود در نمودار ۱۴ قابل مشاهده است.



تصویر ۱۴. نمودار نقش مصالح، تهویه و منافذ در تعدیل شرایط گرمایی درترازهای مختلف خانه گلشن
(ماخذ: نگارنده، داده‌ها از نرم‌افزار دیزاین بیلدر)

۵-۳- جمع بندی

چارچوب نظری برگرفته از نظرات محققین بر این مهم تاکید دارد که الگوهای خانه‌های مناطق گرم و مرطوب برای تعدیل گرما و رطوبت بالا از ایجاد حداکثر سایه و استفاده از تهویه طبیعی و جهت گیری مناسب به سمت دریا بهره می‌گیرند. الگوی خانه‌های بوشهر در طرح و شکل کلی، تشکل اجزا، مشخصات اجزا و جزئیات ساختمانی با ویژگی‌های مورد نظر محققین مطابقت دارد. الگوی خانه گلشن نیز در طرح و شکل کلی، تشکل اجزا، مشخصات اجزا و جزئیات ساختمانی با ساختار اقلیمی خانه‌های بوشهر هماهنگی دارد و می‌تواند نمونه قابل قبولی برای بررسی عملکرد حرارتی و رطوبتی خانه‌های بومی در بوشهر باشد.

بر اساس مدل اشری ۵۵ در ماه‌های گرم بوشهر با تمهیدات ساختمانی ایستا نمی‌توان به شرایط آسایش رسید اما با تهویه طبیعی می‌توان شرایط حرارتی را تا حدودی تعدیل کرد. بر اساس داده‌های اقلیمی بوشهر، در این شهر چهار ماه، میانگین دمای روزانه پائین‌تر از شرایط آسایش است. در دو ماه از این ۴ ماه میانگین حداکثر دمای روزانه نزدیک شرایط آسایش و در یکی زیر آن است. بر اساس مدل اشری ۵۵ در این مدت می‌توان بیش از ۸۰٪ از گرمایش مورد نیاز خانه‌ها را با کمک گرمایش خورشیدی تامین کرد.

نتایج شبیه‌سازی نشان داد که در تیر ماه دمای داخل خانه تا ۶٫۶ درجه سانتیگراد و در برخی فضاهای بسته تا ۷ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی تا ۲۶٪ تعدیل می‌شود. نمایش این نتایج بر جدول سایکرومتریک با مدل آسایش تطبیقی نشان داد که در هر سه تراز خانه گلشن شرایط آسایش تا حدودی بهینه شده است. همچنین نتایج شبیه‌سازی نشان داد که در مهر ماه دمای داخل خانه تا ۸٫۲ درجه سانتیگراد و در برخی فضاهای بسته تا ۸٫۵ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی تا ۳۱٪ تعدیل می‌شود. نمایش این نتایج بر جدول سایکرومتریک با مدل آسایش تطبیقی نشان داد که در هر سه تراز خانه گلشن شرایط به شرایط آسایش بسیار نزدیک شده است و در تراز همکف در شرایط آسایش قرار گرفته است.

نتایج شبیه‌سازی نشان داد که در دی ماه دمای داخل خانه تا ۹٫۱ درجه سانتیگراد و در برخی فضاهای بسته تا ۱۱ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۴۴٪ تعدیل می‌شود. نمایش این نتایج بر جدول سایکرومتریک با مدل آسایش تطبیقی نشان داد که در هر سه تراز خانه گلشن در شرایط آسایش قرار گرفته است. در مجموع نتایج حاصل از شبیه‌سازی خانه گلشن با نرم‌افزار دیزاین بیلدر و انتقال نتایج بر جدول سایکرومتریک با مدل آسایش تطبیقی، نتایج رضایت بخش‌تری را نسبت به نتایج عمومی حاصل از مطالعه داده‌های اقلیمی بوشهر با مدل اشری ۵۵ نشان داد.

نتایج شبیه‌سازی نشان داد که تهویه طبیعی و تابش بیشترین تاثیر را در تعدیل شرایط محیطی دارند و میزان تاثیر آن‌ها در تیرماه و آبان ماه به هم نزدیک است. یعنی به همان نسبت که تابش سبب گرم شدن محیط در گرم‌ترین ساعت روز می‌شود تهویه طبیعی می‌تواند به همان نسبت در سردترین ساعات روز محیط داخلی را سرد و شرایط را تعدیل کند. اختلاف تاثیر تابش در ساعت ۱۴ و تهویه در ساعت ۵ در مهر ماه بسیار اندک و حدود ۰٫۲۵- کیلو وات و در تیر ماه بیشتر است یعنی ۶٫۸+ کیلو وات است.

زمان تاخیر عناصر عمودی ساختمان که از جنس سنگ‌های مرجانی دریایی و ملات ساروج و ملات گچ هستند پس از تابش بیشترین تاثیر را در گرمایش ساختمان در شب دارد. نتایج نشان می‌دهد که در تیر ماه و در مهر ماه بهره‌گیری از عامل تهویه طبیعی در ساعات شب سبب تعدیل شرایط محیط یعنی پایین آمدن دما و رطوبت در طول ساعات روز می‌شود و گرم شدن عناصر عمودی ساختمانی در طول روز در اثر تابش، سبب ایجاد گرما در فضاهای بسته در طول ساعات شب می‌شود و لذا دمای داخل ساختمان در طول ساعات شب از دمای بیرون بالاتر است.

نتایج حاکی از این مطلب است که اگر چه سنگ‌های دریایی سبک که در جداره‌های عمودی ساختمان‌های بوشهر استفاده شده‌اند از مصالحی چون آجر و خشت و سنگ‌های معمول ظرفیت حرارتی کمتر و ظریب انتقال بیشتری دارند؛ ولی همچنان به عنوان یک ذخیره حرارتی، گرما را در خود ذخیره و به ساعات شب انتقال می‌دهند. همین خاصیت سنگ‌ها نیز سبب می‌شود که فضای داخلی ساختمان بتواند از خنکی شب و تفاوت اندک دما در ساعات روز و شب، در ساعات روز تا حدودی بهره ببرد. پوشش بام ساختمان که از جنس چوب، حصیر و ملات گچ است به علت ظرفیت حرارتی بسیار کمی که دارد؛ تاثیر بسیار اندکی در گرمایش در ساعات شب دارد (حداکثر ۳٫۸۵+ کیلو وات در شب‌های تیرماه).

به سبب الگوی ویژه تک لایه‌ای و وجود منافذ در دو جبهه مقابل هم در فضاهای بسته، این فضاها در وجوه مختلف چهارگانه این خانه، اختلاف قابل توجهی را در مقدار کاهش یا افزایش دما و بازه زمانی آن نشان نمی‌دهند. زیرا بطور مثال یک فضای بسته هم وجه رو به شمال و هم وجه رو به جنوب دارد که منافذ آن‌ها در برخی از یک جهت و در برخی دیگر از دو جهت است.

نتایج نشان می‌دهد که در ماه‌های تیر و مهر، تراز همکف شرایط دمایی متعادل‌تری دارد و این تعادل بیشتر ناشی از خنکی زمین است که سبب تعدیل شرایط گرمایی می‌شود. اگر چه در این تراز رطوبت نسبی از ترازهای اول و دوم بیشتر است ولی انطباق نتایج بر جدول سایکرومتریک نشان داد که در عمل این تفاوت در شرایط آسایش فضاهای داخلی تاثیر چندانی ندارد. اما مطلبی که واضح است این است که بهره‌گیری از بادهای محلی و خصوصا باد از دریا به ساحل در طول ساعات شب بصورت همزمان، سبب می‌شود در فضاهای تراز دوم احساس شرایط مطلوب آسایش بیشتر وجود داشته باشد.

۶. نتیجه گیری

خانه گلشن نمونه‌ای منطبق با الگوهای اقلیمی خانه‌های بوشهر و در طرح و شکل کلی، تشکل و مشخصات اجزا و جزئیات، همساز با اقلیم است. این الگو با ایجاد سایه حداکثر و جلوگیری از تابش و همچنین بهره گیری مناسب از تهویه طبیعی و جهت گیری به سمت دریا، توانسته است در ماه‌های بسیار گرم تا اندازه قابل توجهی شرایط گرمایی داخل خانه را تعدیل و در ماه‌های نیمه‌گرم کاملا تعدیل کند. همچنین این الگو در ماه‌های سرد نیز شرایط گرمایی داخل خانه را کاملا تعدیل کرده است. برنامه باز و بسته نگاه داشتن منافذ با توجه به الگوهای بادهای محلی تغییر محسوسی در تعدیل شرایط گرمایی دارد. این تهویه طبیعی می‌تواند در ماه‌های گرم، گرمای ناشی از تابش خورشید را در طول روز تعدیل و در ماه‌های نیمه گرم تقریبا به صفر برساند.

با بکارگیری این الگوها در خانه‌های امروز می‌توان در ماه‌های بسیار گرم بار دستگاه‌های مکانیکی را به اندازه قابل توجهی کم کرد و در ماه‌های نیمه گرم و ماه‌های سرد نیاز به دستگاه‌های مکانیکی را به صفر رساند. نتایج نشان داد خنکی زمین در خنک کردن فضای داخلی تراز همکف بسیار موثر است لذا می‌توان با استفاده از تهویه مکانیکی مانند پنکه‌های سقفی فضاهای بسته تراز همکف را در ماه‌های گرم به شرایط مطلوبی رساند. همچنین نتایج نشان داد مصالح دیوارها تا حد زیادی به گرم شدن فضاهای داخلی در طول شب‌های ماه‌های گرم کمک می‌کنند؛ لذا این الگوها را می‌توان با تغییر مصالح دیوارها به مصالح سبک‌تر با ظرفیت حرارتی کم‌تر و ظریب هدایت بالاتر بهبود بخشید و در شب‌های ماه‌های گرم نیز قابل بهره‌برداری ساخت. بهینه سازی مصالح دیوارها در الگوهای بومی بوشهر برای زندگی امروز و تاثیر آن در بهبود شرایط آسایش در شب و همچنین میزان بهره‌وری از تهویه طبیعی ساعات شب برای تعدیل شرایط محیطی روز، می‌تواند موضوع تحقیق بعدی قرار گیرد.

پی‌نوشت

1. EPW

۲. فایل‌ای پی دبلیو بندر بوشهر از طریق آدرس زیر تهیه شده است

3. http://www.enef.co/download/weather-file.html
4. Climate Consultant 5.5
5. Adaptive Comfort Model
6. ASHRAE 55 (ASHRAE: American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)

۷. استاندارد اشری ۵۵ مدل حرارتی بر اساس دمای خشک، لباس، فعالیت بدنی، سرعت باد، رطوبت و متوسط دمای تابش است. در این مدل فرض بر این است که در داخل بنا متوسط دمای تابشی نزدیک به دمای خشک باشد. محدوده آسایش حرارتی با کمک مدل پی ام وی (Predict Mean Vote) محاسبه می‌شود. در محیط مسکونی مردم با کمک لباس، خود را با فصل سازگار می‌کنند و بنابراین محدوده آسایش بزرگتری نسبت به ساختمان‌های دارای سامانه‌های مرکزی گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع دارند.

۸. مدارک اصلی نقشه‌های خانه‌های بوشهر از اداره کل میراث فرهنگی استان بوشهر تهیه و توسط نگارنده مجددا ترسیم و بازبینی شده است.

۹. مدارک اصلی نقشه‌های خانه گلشن بوشهر از اداره کل میراث فرهنگی استان بوشهر تهیه و توسط نگارنده مجددا ترسیم و بازبینی شده است.

۱۰. اطلاعات مربوط به این بخش از سایت سازمان هواشناسی کشور و فایل‌ای پی دبلیو بوشهر مربوط به سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ اقتباس و توسط نگارنده پردازش شده است.

11. Adaptive Comfort Model

۱۲. در فضاهایی که بطور طبیعی تهویه می‌شوند و ساکنان می‌توانند پنجره‌ها را باز و بسته کنند، عکس العمل حرارتی آن‌ها تا حدودی به وضعیت اقلیمی بیرون ساختمان بستگی دارد و لذا محدوده آسایش حرارتی بزرگتری نسبت به ساکنان ساختمان‌های دارای سیستم‌های مرکزی گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع دارند. این مدل فرض می‌کند ساکنان لباس خود را با شرایط حرارتی تنظیم کرده اند و بدون تحرک هستند. در این مدل سامانه‌های مکانیکی سرمایشی و گرمایشی در محاسبات نظر گرفته نمی شوند.

۱۳. اطلاعات این بخش از تقویم دمای گرفته شده از نرم‌افزار کلایمیت کانسالتنت با آمار ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۸ شمسی استخراج شده است.

۱۴. اطلاعات این بخش از مدل آسایش تطبیقی بر جدول سایکرومتریک از نرم‌افزار کلایمیت کانسالتنت با آمار ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۸ شمسی استخراج شده است

15. Air Change Rate (ac/h)
16. Infiltration
17. Max Air Flow Rate (m3/s-m)

فهرست منابع

- دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی (۱۳۹۲). تراز نامه انرژی سال ۱۳۹۲، وزارت نیرو، معاونت امور برق و انرژی، تهران.
- راپاپورت، آموس (۱۳۸۸). انسان شناسی مسکن، ترجمه خسرو افضلیان، حرفه: هنرمند، تهران.
- زمردیان، زهراسادات؛ محمد تحصیلدوست (۱۳۹۴). اعتبارسنجی نرم‌افزارهای شبیه‌سازی ساختمان: با رویکرد تجربی و مقایسه ای، نشریه انرژی در ساختمان، دوره ۱۸، شماره ۴، صص. ۱۱۵-۱۳۲.
- طاهباز، منصوره و شهربانو جلیلیان (۱۳۸۷). اصول طراحی همساز با اقلیم در ایران با رویکرد به معماری مسجد، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
- طاهباز، منصوره (۱۳۹۲). دانش اقلیمی، طراحی معماری، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
- کسمایی، مرتضی (۱۳۸۲). اقلیم و معماری، انتشارات خاک، اصفهان.
- مفیدی شمیرانی، سید مجید (۱۳۸۸). جزوه منتشر نشده درس اقلیم و معماری دوره دکتری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران.
- معماریان، غلامحسین (۱۳۸۶). سیری در مبانی نظری معماری، انتشارات سروش دانش، تهران.
- نیکقدم، نیلوفر (۱۳۹۱). الگوهای اقلیمی برای فضاهای عملکردی مسکن در اقلیم گرم و مرطوب ایران، رساله دکتری منتشر نشده، به راهنمایی آقای دکتر سید مجید مفیدی شمیرانی و مشاوره خانم دکتر منصوره طاهباز، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران.
- نیکقدم، نیلوفر (۱۳۹۲). الگوی فضاهای نیمه باز خانه‌های بومی دزفول، بوشهر و بندرلنگه در ارتباط با مولفه‌های اقلیم محلی، هنرهای زیبا، معماری و شهرسازی، دوره ۱۸، شماره ۳، ۵۴-۶۹. قابل دسترسی در: https://jfaup.ut.ac.ir/article_51319_4713.html, July.6.2015, 2 PM.
- نیکقدم، نیلوفر (۱۳۹۴). استخراج الگوهای اقلیمی فضاهای عملکردی در خانه‌های بومی بندر بوشهر با بکارگیری نظریه داده بنیاد، باغ نظر، سال ۱۲، شماره ۳۲، ۷۷-۹۰، الف. قابل دسترسی در http://fa.journals.sid.ir/ViewPaper.aspx?id=23910, March. 16. 2016, 11:00 PM.
- نیکقدم، نیلوفر، سید مجید مفیدی شمیرانی و منصوره طاهباز، ۱۳۹۴، مقایسه تحلیلی پهنه بندی اقلیمی مناطق جنوبی ایارن با روش کوپن تراورتا و معیارهای آسایش گیونی، آرمانشهر، سال هشتم، شماره ۱۵، ب. قابل دسترسی در: www.armashahrmedia.com, April. 6. 2016, 8:30 AM.
- Abiodun Olanipekun Emmanuel (2014). Thermal Comfort and Occupant Behaviour in a Naturally Ventilated Hostel in Warm-Humid Climate of Ile-Ife, Nigeria: Field Study Report During Hot Season, Global Journal of Human-Social Science, Vol. 14, Issue 4, Version 1.0, pp. 1-18.

Accessible in: https://globaljournals.org/GJHSS_Volume14/1-Thermal-Comfort-and-Occupant.pdf, March. 17, 2016, 2:30 PM.

- Al-Obaidi KM, et.al (2014). Passive cooling techniques through reflective and radiative roofs in tropical houses in Southeast Asia: A literature review, Frontiers of Architectural Research, Vol. 3, Issue 3, September 2014, pp. 283–297.
  Accessible in: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095263514000399, March. 17. 2016, 2:30 PM.
- Givoni, Baruch (1998). Climate Consideration in Building and Urban Design, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Hyde, Richard (2000). Climate Responsive Design: a Study of Buildings in Moderate and Hot Humid Climates, Taylor & Francis.
- Liping Wang, et.al (2007). Applying natural ventilation for thermal comfort in residential buildings in singapore, Architectural Science Review, Vol. 50, No. 3, pp. 224-233. Accessible in:
  http://sydney.edu.au/architecture/documents/publications/ASR/Applying%20Natural%20Ventilation%20for%20Thermal%20Comfort%20in%20Residential%20Buildings%20in%20Singapore.pdf, March. 17. 2016, 2:30 PM.
- Salmon Cleveland (1999). Architectural Design for Tropical Regions, John Wiley & Sons, New York.
- Tahbaz M, et.al (2008). Challenge of Vernacular Architecture and Modern Life Style – Case Study in Iran. Dublin: 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture. Accessible in: http://plea-rch.org/ARCHIVE/2008/content/papers/poster/PLEA_FinalPaper_ref_138.pdf, July.8.2015, 10 AM.
- Taleb HM (2014). Using passive cooling strategies to improve thermal performance and reduce energy consumption of residential buildings in U.A.E. buildings, Frontiers of Architectural Research, Vol. 3, Issue 2, pp. 154-165.
  Accessible in: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S209526351400003X, March. 17. 2016, 2:30 PM.