Archive of SID

پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران
شماره ۲۴، دوره دهم، بهار ۱۳۹۹
P. ISSN: 2345-5225 & E. ISSN: 2345-5500

بررسی انطباق معماری اتاق خارخانه‌ی قلعه‌مَچی (دوره‌ی صفویه) با بادهای ۱۲۰ روزه در شهر باستانی حوض‌دار سیستان

نغمه بهبودی[I]، زهره اویسی‌کیخا[II]

شناسه‌ی دیجیتال (DOI): 10.22084/nbsh.2020.20756.2067
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۴، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۰۹
(از ص ۱۸۷ تا ۲۰۵)

چکیده

اقلیم گرم و خشک و طاقت‌فرسای محیط طبیعی منطقه‌ی سیستان، باعث‌شده است که مردم سیستان در طی ادوار مختلف تاریخی، تجربیات ارزشمندی در تطبیق با محیط ابداع نمایند؛ بنابراین اهمیت شناخت و استفاده از تجربیات تاریخی، مانند «خارخانه‌ی قلعه‌مَچی» به‌عنوان یکی از آثار باستانی دوره‌ی صفویه در انطباق با محیط ضرورت می‌یابد. از این‌رو، هدف پژوهش بررسی انطباق معماری اتاق خارخانه‌ی قلعه‌مچی با میزان متوسط سرعت بادهای ۱۲۰ روزه‌ی سیستان است. پرسش پژوهش حاضر این‌گونه مطرح می‌شود که، اتاق خارخانه‌ی قلعه‌مچی، ازنظر انطباق ساختمانی با جهت بادهای ۱۲۰ روزه‌ی سیستان و سرعت میانگین ۶/۵ متر بر ثانیه چگونه عمل می‌کرده است؟ روش پژوهش، توصیفی-تحلیلی و مبتنی‌بر مطالعات اسنادی، کتابخانه‌ای و بررسی‌های میدانی در سطح شهر باستانی حوض‌دار سیستان و قلعه‌مچی است. برای شبیه‌سازی باد از نرم‌افزارهای تحلیلی دینامیک سیالات محاسبات (CFD) استفاده شده است. به‌سبب پیچیدگی معماری، تولید حجم (توده) هندسی قلعه‌مچی در نرم‌افزارهای Ansys و 3D Max انجام گردید. تولید استقلال شبکه‌ی با نرم‌افزار ANSYS Meshing اجرا شد. از داده‌های هواشناسی و نرم‌افزار WRPLOT View برای شناخت پارامترهای باد استفاده گردید. نتایج شبیه‌سازی CFD نشان می‌دهد که «سرعت باد» در بخش دریچه و فضای داخلی اتاق خارخانه، دامنه‌ی عددی بین ۰۰+۴/e۹۳ تا ۰۱-۹/e۸۷ را دربر می‌گیرد و در هنگام مواجه با درب خروجی (درب اتاق در جبهه‌ی جنوب‌غربی) بیشترین دامنه‌ی عددی بین ۰۰+۲/e۹۶ تا ۰۰+۱/e۹۷ را می‌پیماید؛ هم‌چنین «جهت جریان باد»، به‌محض ورود به اتاق خارخانه به‌طور مستقیم و کمی مایل به‌سمت راست، به دیوار جنوبی برخورد می‌کند، جهت جریان باد در بخش ایوان شمالی حالت چرخشی پیدا می‌نماید که سبب گردش جریان هوا و تهویه‌ی مطبوع در اتاق خارخانه و ایوان شمالی می‌شود. خروجی‌های CFD و اطلاعات باستان‌شناسی، عملکرد و استفاده از بادهای ۱۲۰ روزه‌ی سیستان طی ماه‌های گرم سال در اتاق خارخانه‌ی قلعه‌مچی را تأیید می‌نمایند.

کلیدواژگان: شهر حوض‌دار، سیستان، قلعه‌مَچی، خارخانه، باد، CFD.

I. استادیار گروه باستان‌شناسی، دانشکده‌ی هنر و معماری، دانشگاه زابل، سیستان‌بلوچستان، ایران (نویسنده‌ی مسئول).
Behboodin@uoz.ac.ir
II. استادیار گروه معماری، دانشکده‌ی هنر و معماری، دانشگاه زابل، سیستان‌بلوچستان، ایران.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

منطقه‌ی سیستان در شرق ایران دارای ویژگی‌های خاص و منحصربه‌فردی است. این منطقه به دلیل طولانی بودن زمان وزش بادهای مختلف «به‌ویژه بادهای ۱۲۰ روزه» و تداوم این بادها در طول سال، قدرت و سرعت قابل‌توجه به «سرزمین باد» معروف شده است؛ از این‌رو، با بسیاری از مناطق بادخیز ایران متفاوت است. بادهای ۱۲۰ روزه‌ی سیستان بیشتر از شمال و شمال‌غرب می‌وزند و طی ماه‌های گرم سال از خرداد تا شهریور وجود دارند؛ از سوی دیگر، اقلیم این منطقه با حداکثر دمای سالانه‌ی بالای چهل درجه‌ی سانتی‌گراد و طولانی‌بودن فصل تابستان، سبب شده است، شرایط دشوار طبیعی ایجاد نماید که منجر به ابتکارات و خلاقیت‌های مردم درخصوص شناخت روند و مکانیسم جریان باد و روش‌های استفاده از آن در معماری شده است. در این ارتباط «خارخانه[1]» یا به زبان محلی «خارخونه»، ازجمله سازه‌های معماری هستند و به‌طور قابل‌تحسینی متناسب با شرایط محیطی و اقلیمی منطقه ساخته شده‌اند. ابتکار ساخت این نمونه معماری، نشانگر استفاده هوشمندانه‌ی آنان از طبیعت است. از آنجایی‌که ضرورت شناخت چگونگی جریان باد، عملکرد و انطباق خارخانه‌ها با بادهای ۱۲۰ روزه به باستان‌شناسان کمک می‌نماید تا در بررسی شرایط زندگی در مناطق گرم و خشک تحلیل علمی و متناسبی کشف و ارائه نمایند؛ بر این‌اساس، اهمیت استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های متناسب برای باستان‌شناسان برای تحلیل وضعیت باد در شرایط اقلیمی دشوار در معماری در یکی از نمونه‌های ارزشمند در این زمینه «اتاق خارخانه‌ی قلعه‌مَچی[2]» ضروری می‌یابد که به‌عنوان الگویی از معماری باستانی برای اصلاح معماری امروزی به‌کار رود. با توجه به متون تاریخی و آثار باقی‌مانده از معماری، سکه و سفالینه‌های سطحی مکشوف، قلعه‌مچی در دوره‌ی «صفویه» بنا گردیده است و اتاق خارخانه در ضلع شمالی، مجاور ایوان شمالی بزرگ‌ترین ایوان قلعه احداث شده است.

پرسش و فرضیه‌ی پژوهش: از آنجا که میزان متوسط سرعت بادهای ۱۲۰ روزه‌ی ثبت شده‌ی ایستگاه هواشناسی زابل در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور میانگین حدود ۶/۵ متر بر ثانیه است؛ بنابراین هدف پژوهش، بررسی انطباق اتاق خارخانه‌ی قلعه‌مچی (دوره‌ی صفویه) با میزان سرعت متوسط این نوع بادها در شرایط متعارف است. در این پژوهش از قوی‌ترین روش دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) برای تحلیل جریان وضعیت باد قلعه‌مَچی استفاده شده است؛ بر این‌اساس مهم‌ترین، پرسش پژوهش این‌گونه مطرح می‌گردد: اتاق خارخانه‌ی قلعه‌مَچی سیستان، از نظر انطباق ساختمانی با جهت بادهای ۱۲۰ روزه‌ی سیستان و سرعت میانگین ۶/۵ متر بر ثانیه چگونه عمل می‌کرده است؟

روش پژوهش: روش پژوهش در مقاله‌ی حاضر، توصیفی-تحلیلی و مبتنی‌بر مطالعات اسنادی، کتابخانه‌ای و بررسی‌های میدانی (پیمایشی) در سطح شهر باستانی حوض‌دار سیستان و قلعه‌مچی است. برای این‌منظور، جهت طراحی سازه‌های معماری قلعه‌مچی از نرم‌افزار 3D Max استفاده شده است. جهت محاسبات دقیق و تحلیل عملیات شبیه‌سازی باد برروی قلعه از روش و نرم‌افزارهای

www.SID.ir

دینامیک سیالات محاسباتی CFD بهره‌گیری شده است. در این روش نسبت به روش‌های آزمایشگاهی، محاسبات دقیق‌تر صورت می‌پذیرد. یکی از مهم‌ترین و قدرتمندترین نرم‌افزارهای تحلیلی دینامیک سیالات محاسباتی، «انسیس فلوئنت» (Ansys Fluent) است که می‌تواند با تبدیل معادلات دیفرانسیل حاکم‌بر سیالات به معادلات جبری، به تحلیل‌های دقیق جریانات سیالات، به‌ویژه میدان سرعت و فشار باد در انواع مختلف سازه‌های معماری نائل آید. مراحل پژوهش شبیه‌سازی سرعت و جریان جهت باد در فضای داخلی و خارجی قلعه‌مچی شامل: استقلال شبکه، شرایط مرزی، شبیه‌سازی جریان باد به‌وسیله‌ی نرم‌افزار انسیس فلوئنت انجام گرفته است. به‌منظور بررسی استقلال شبکه، از چهار «شبکه‌ی غیر سازمان یافته[۳]» با تعداد سلول‌های حدود ۰٫۵ میلیون، ۲ میلیون، ۸ میلیون استفاده شده است؛ هم‌چنین تولید شبکه با نرم‌افزار Ansys Meshing صورت گرفته است؛ هم‌چنین به‌منظور بررسی سرعت متوسط بادهای ۱۲۰ روزه‌ی سیستان از داده‌های هواشناسی موجود از سال‌های ۱۹۶۳ تا ۲۰۱۴ م. اخذ و محاسبات مورد نیاز جهت شبیه‌سازی و تحلیل باد به‌کار گرفته شده است. برای بهتر نشان دادن وضعیت بلندمدت پارامترهای اقلیمی، از داده‌های هواشناسی (سایت سازمان هواشناسی) و از نرم‌افزار مایکروسافت اِکسل برای «ساخت فایل هواشناسی استاندارد» و از نرم‌افزار WRPLOT View ver. 8 استفاده شده است؛ هم‌چنین، برای این‌که دید و منظر بهتری از وضعیت گلباد قابل ارائه باشد، خروجی (Export Options) به نرم‌افزار گوگل ارث پرو (Google Earth Pro) هدایت گردید، سپس وضعیت گلباد با مختصات دقیق برروی خروجی تصاویر ماهواره‌ای (View Image Satelate) مستقر شده است.

پیشینه‌ی پژوهش

«توردال» و همکاران (۲۰۱۹) در مقاله‌ای با موضوع: «بررسی کاربرد عملی CFD برای تعیین بار باد در ساختمان‌ها»، ساخت شرایط مرزی جریان باد را به چهار روش اصلی تقسیم نموده و به مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی عددی و تجربی CFD پرداخته‌اند (Thordal et al., 2019: 155). «بایومی» (۲۰۱۸) پژوهشی درباره‌ی معماری نوبی (اتیوپی) و ساختمان‌های معاصر منطقه‌ی آسوان مصر انجام داد که هدف از این پژوهش، بررسی و تحلیل نحوه‌ی ساخت معماری نوبی با شرایط محیط‌زیست گرم و خشک منطقه بوده است؛ با توجه به پیشینه‌ی معماری، روش‌های پیشنهادی جهت ایجاد راحتی یا حد مطلوب آسایش ارائه نموده است (Bayoumi, 2018: 875). «حیدری» و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی با استفاده از قابلیت‌های CFD به بررسی عناصر معماری بومی و تهویه‌ی طبیعی در معماری منطقه‌ی سیستان پرداخته‌اند؛ ضمن آن در مقاله‌ی مذکور، چگونگی تهویه‌ی طبیعی و جهت‌گیری مناسب ۳۲ ساختمان در برابر بادهای غالب (۱۲۰ روزه‌ی سیستان) را شبیه‌سازی نموده‌اند (Heidari et al., 2017: 15). «پودینه» (۲۰۱۷) در پژوهشی، تأثیر شرایط آب‌وهوایی و جغرافیایی منطقه‌ی سیستان برای دستیابی به توسعه‌ی پایدار از طریق پتانسیل‌های اقلیمی موجود در شکل‌گیری معماری روستای قلعه‌نو

www.SID.ir

Archive of SID

پرداخته است (Poodineh, 2017: 2162). «صاحب زاده» و همکاران (۲۰۱۷) در مقاله‌ای بین معماری مناطق گرم و خشک و مناطق بادی گرم و خشک مقایسه‌ای انجام داده‌اند؛ در این پژوهش، جهت‌گیری عناصری معماری ازجمله پیاده‌روها، ورودی‌ها، حیاط‌ها، زیرزمین‌ها، انبارها، ایوان‌ها، سقف‌ها و بادگیرها مورد بررسی قرار گرفته‌اند (Sahebzadeh, 2017: 24).

«معماریان» و همکاران (۱۳۹۶)، در پژوهشی با بررسی گونه‌های مختلف اتاق در مسکن بومی موجود در روستای قلعه‌ی نو سیستان، توانستند رفتار باد را در هر یک از گونه‌ها به‌لحاظ تهویه‌ی طبیعی مورد تحلیل و بررسی قرار دهند و در این راستا به کمک مدل‌سازی CFD وضعیت باد را در معماری این روستا شبیه‌سازی نموده‌اند (معماریان و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۱). «مولانایی» و «سلیمانی» (۱۳۹۵)، در مقاله‌ای با بررسی برروی ساختار معماری بومی در منطقه‌ی سیستان، به بازشناسانی عناصر ساختاری معماری بومی در بحث اقلیم و نحوه‌ی استفاده از این عناصر پرداختند و نشان دادند که استفاده از عواملی نظیر «خارخانه‌ها» و نظایر آن راهکارهای اقلیمی بسیار مناسبی هستند که در طول قرن‌های متمادی به‌عنوان مؤلفه‌هایی از اصول معماری بومی این منطقه در جهت تقابل با اقلیم سخت آن و تسهیل شرایط زندگی بهره‌گیری شده است (مولانایی و سلیمانی، ۱۳۹۵: ۵۷). «زارعی» و «بهبودی» (۱۳۹۵)، در مقاله‌ای با «بررسی چگونگی طراحی و ساخت معماری بخش مرکزی سکونتگاه قلعه‌ای ورمال سیستان و تطبیق آن با بادهای ۱۲۰ روزه، با بهره‌گیری از شبیه‌سازی CFD» نشان دادند که معماری بخش مرکزی قلعه‌ی ورمال در جهت شمال و شمال‌غربی تطبیق مناسبی دارد و تمهیدات معماری دوره‌ی قاجار، در هنگام عبور باد با سرعت زیاد تقریباً از آسیب به معماری قلعه جلوگیری نموده است و ضمناً باعث تهویه‌ی طبیعی و خنک‌سازی مجموعه گردیده است (زارعی و بهبودی، ۱۳۹۵: ۹۴). «زارعی» و «میردهقان» (۱۳۹۵) درباره‌ی «نقش الگوی حیاط مرکزی در تعدیل شرایط سخت اقلیم گرم و خشک منطقه‌ی یزد» پژوهشی انجام دادند؛ در این پژوهش از شبیه‌سازی CFD جهت تحلیل وضعیت باد در دو خانه‌ی مربوط به دوره‌های آل‌مظفر و صفویه پرداخته‌اند (زارعی و میردهقان، ۱۳۹۵: ۵). «سرگزی» (۱۳۹۵)، در پژوهشی «شرایط مطلوب هوای داخل ساختمان‌ها را در منطقه‌ی سیستان» مورد تحلیل قرار داده است و راهکارهای طراحی ساختمان در هنگام مشکلات حرارتی (عدم آسایش) را ارائه نموده است و نشان می‌دهد «خارخانه‌ها» به‌خوبی توانسته‌اند، هوای داخل ساختمان‌ها را خنک سازند (سرگزی، ۱۳۹۵: ۲۴). «حیدری» (۱۳۹۴)، در رساله‌ی خود، با عنوان: «مطالعه و تحلیل شیوه‌های بومی استفاده از باد»، توانست به شناسایی و بررسی روش‌های استفاده از باد در مسکن بومی منطقه‌ی سیستان پرداخته و به کمک مدل‌سازی CFD با انتخاب گونه‌های متنوع اتاق‌ها از نظر نحوه‌ی تهویه‌ی طبیعی و تحلیل رفتار باد، با استفاده از روش شبیه‌سازی به تحلیل بپردازد؛ هم‌چنین «حیدری» و همکاران (۱۳۹۳)، در مقاله‌ای با «مطالعه و بررسی قابلیت‌های موجود در الگوهای معماری بومی روستایی منطقه‌ی سیستان»، با اصول و شاخص‌های متناسب با

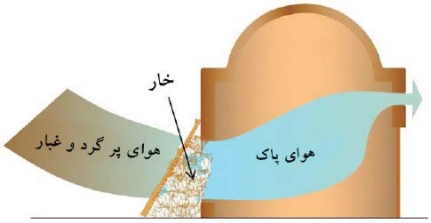
www.SID.ir

اقلیم منطقه که سازگاری زیادی با پدیده‌ی اقلیمی غالب منطقه، یعنی «باد» را دارد، توانسته‌اند پیشنهاداتی جهت افزایش کیفیت زندگی در روستاهای این منطقه ارائه نمایند (حیدری و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۰-۱). «سلیمانی» و «بذرافکن» (۱۳۹۲)، در پژوهشی با بررسی راهکارهای بومی استفاده شده در حوزه‌ی انرژی در منطقه‌ی سیستان به مطالعه‌ی «خارخانه‌ها» پرداختند، نتایج پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد که معماری بومی و سنتی به‌خوبی با شرایط سخت اقلیمی تطبیق‌یافته و می‌توانند در راهکارهای معماری پایدار امروزی مورد استفاده قرار گیرند (سلیمانی و بذرافکن، ۱۳۹۲: ۶-۱). «حیدری» و همکاران (۱۳۹۱)، با «بررسی معماری بومی منطقه‌ی سیستان»، نشان دادند که این معماری منبع ارزشمندی است که با استفاده از اصول و شاخص‌هایی متناسب با اقلیم منطقه توسعه‌یافته است (حیدری و همکاران، ۱۳۹۱: ۸-۱). تجربیات جهانی و ایرانی نشان می‌دهند؛ طی چند سال اخیر، برای شناخت بیشتر وضعیت تأثیرات باد بر معماری بومی و سنتی از روش‌ها و تکنیک‌های جدید همانند شبیه‌سازی CFD استفاده شده است.

پیشینه‌ی ساخت خارخانه‌ها در منطقه‌ی سیستان

به‌سبب وجود نعمت طبیعی باد از روزگاران قدیم تاکنون در منطقه‌ی سیستان و تداوم آن، استفاده از انرژی باد همواره مورد توجه قرار گرفته است (فرشاد، ۱۳۷۶: ۴۳۱). «مسعودی» در سده‌ی چهارم هجری قمری در مورد سرزمین سیستان می‌گوید: «سیستان دیار باد و ریگ است و همان شهر است که گویند باد آنجا آب را از چاه کشیده، باغ‌ها را سیراب کند و در همه‌ی دنیا شهری نیست که بیشتر از آنجا از باد سود برد و خدا داناتر است» (مسعودی، ۱۳۷۰: ۶۷۷). در سیستان برای این‌که بتوان هوای گرم را به هوای مرطوب و معتدل تبدیل کرد از خانه‌هایی به‌نام «خارخانه» استفاده می‌کنند (مولانایی و سلیمانی، ۱۳۹۵: ۶۳)، (شکل ۱). برای ساختن خارخانه‌ها از مواد گیاهی (شاخه‌ی درختان گز و نی باغی) و خارشتر استفاده می‌شود که آن‌را دور تا دور خانه، بین شاخه‌ها قرار می‌دهند و به‌هنگام گرم شدن هوا به آن آب می‌پاشند که با وزیدن باد، هم‌چون کولر آبی، هوای داخل خانه‌ها را بسیار خنک می‌کند و این در سیستان متعارف است (کردوانی، ۱۳۸۲: ۱۴۵؛ خلف‌تبریزی، ۱۳۶۱: ۸۰۳).

«صفی‌نژاد»، خارخانه را نوعی مسکن معرفی می‌نماید که در منطقه‌ی بلوچستان با خار و خاشاک می‌سازند و با پاشیدن آب روی خارها و عبور بادهای گرم محلی از خارها، درون خارخانه دارای هوای مطبوعی می‌گردد؛ علاوه‌بر منطقه‌ی بلوچستان، در سیستان هم نوعی از این خارخانه‌ها مشاهده می‌گردد. راویان ساختمان سنتی خارخانه‌های مذکور را به‌شرح پیش‌رو نوشته‌اند: خارخانه‌های سیستان به‌شکل اتاقی است با دو درب در مقابل یکدیگر که درب‌ها در جهت وزش باد قرار گرفته است، جهت وزش باد شمال‌شرقی-جنوب‌غربی است، ولی اهالی آن‌را شمالی-جنوبی می‌پندارند. درب شمالی (شمال‌شرقی) خارخانه، ابعادی حدود ۱/۵ در ۲/۵ متر را داراست که به‌جای درب، محل آن‌را با خشت و چوب و آجر به‌صورت



▲ شکل ۱. نمای شماتیک، نمونه‌ای از خارخانه‌ها (مولانایی و سلیمانی، ۱۳۹۵: ۶۳).

www.SID.ir

Archive of SID

شطرنجی مشبک پر و خالی، به‌شکل ثابت می‌سازند تا هوا از سوراخ‌های مشبک آن عبور نماید. به‌فاصله‌ی کمی از محل مشبک مذکور، دربی مستطیل‌شکل به‌صورت ضربدر با چوب و طناب تعبیه نموده، سپس فاصله بین دو محل درب را با خار و خاشاک کافی و فشرده مسدود می‌نمایند. در بعضی از روستاها، چاهی به عمق حدود ۳ متر (و یا بیشتر) در کنار خارخانه حفر می‌نمایند تا به آب نزدیک دسترسی داشته باشند، به‌هنگام گرمی هوا اعضاء فعال خانوار توسط سطل و ریسمان (دلو) از داخل چاه، آب کشیده از بالای خارخانه روی خارها می‌ریزند و آن‌ها را خیس می‌نمایند و قطرات آب در لابه‌لای خار و خاشاک آهسته به‌سمت پایین می‌چکند و این ریزش‌ها و چکیدن‌ها با ریختن‌های پیاپی آب ادامه می‌یابد. در این حالت، بادهای گرد و غباردار در مسیر وزش خود از لابه‌لای خارهای مرطوب عبور نموده، گرد و غبار خود را از دست داده به‌شکل هوای ملایم و خنک به داخل خارخانه وزیده؛ بدین‌ترتیب هوای گرم و خشک، پر گرد و غبار پس از عبور از لابه‌لای خارهای خیس و نم‌دار به هوای خنک و تمیز تبدیل گردیده که با بوی خوش خارها همراه گردیده و بوی مخصوص خار را در فضای خارخانه می‌پراکند. گاهی صاحبان خارخانه منبع آبی در بام خارخانه قرار داده، توسط لوله مقدار آب مورد نیاز برروی خار و خاشاک ریخته شده و آن‌ها را مرطوب می‌نماید (صفی‌نژاد، ۱۳۶۶: ۲۴۱-۲۳۹). «حیدری‌مکرر» و همکاران، در مورد تمهیدات مردم سیستان در رهایی از شدت گرمای تابستان و استفاده از بادهای ۱۲۰ روزه، چنین آورده‌اند که سیستانی‌ها در خانه‌های خود از خارخانه استفاده می‌کرده‌اند که هم‌اینک نیز در برخی از مناطق، از آن استفاده می‌شود (حیدری‌مکرر و همکاران، ۱۳۸۰: ۱۵).

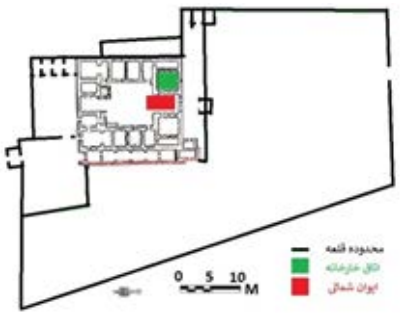
«جورج پیتر تیت» انگلیسی، صاحب منصب و کارشناس نقشه‌برداری، باستان‌شناس و مورخی مطلع بود، در سال‌های ۱۹۰۳ تا ۱۹۰۵ م.، خارخانه‌های سیستان را این‌گونه معرفی می‌نماید که در دیوارهای خانه‌های سیستانی، مشرف به جهت وزش باد، روزنه‌ای تعبیه گردیده و یک پوشال ضخیم ساخته شده از بوته‌های گز و خارشتر، از بیرون روی این روزنه نصب بود. با پاشیدن آب، هر چند وقت یک‌بار، این پوشال را خیس و مرطوب نگاه می‌داشتیم و در نتیجه وقتی باد می‌وزید و از روزنه‌ی مزبور وارد اتاق می‌شد، هوا را خنک می‌ساخت (احمدی، ۱۳۷۸: ۷۸۵). «هنری ساوج لندور» انگلیسی تبار، عضو انجمن سلطنتی جغرافیا و عضو مؤسس علوم باستان‌شناسی در سال‌های ۱۹۰۱ تا ۱۹۰۲ م. که در سیستان بوده است، چنین می‌نویسد: «عمارت جدید کنسولگری، در این ساختمان جدید، تمهیداتی درنظر گرفته شده تا اثرات ناراحت‌کننده‌ی بادهای شمالی که در ماه‌های تابستان می‌وزند، تخفیف داده شود. در دیوار شمالی، چندین خارخانه درنظر گرفته شده که با بوته‌های خارشتر پُر خواهند شد. دو نفر مستخدم هم، استخدام خواهند گردید تا مرتب به خارها آب بپاشند. طرز کار خارخانه به این‌ترتیب است که باد از طریق مجاری مخصوص به‌روی خارها هدایت می‌شود و باعث تبخیر آب می‌گردد. حرارت لازم برای تبخیر آب، عملاً از هوا گرفته می‌شود و در نتیجه بادی که از خارها عبور می‌کند، بسیار خنک‌تر گردیده و البته میزان رطوبت آن نیز بالا

www.SID.ir

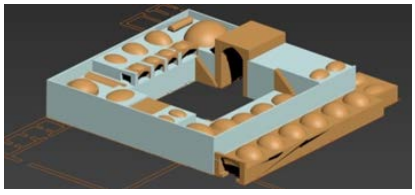
می‌رود. این باد مشابه با هوای خروجی از یک دستگاه سردکننده‌ی هوا، وارد اتاق گردیده و باعث خنک شدن آن می‌شود» (احمدی، ۱۳۷۸: ۶۱۸). اشراف و خوانین را می‌توان تنها قشرهایی نامید که بر ایشان امکان داشته تا برای خنک نگه‌داشتن اماکن مسکونی‌شان در ایام تابستان از روش ایجاد «خارخونه» استفاده کنند. در ساختمان‌های وسیع و تشریفاتی معروف به «چار دره» که گاهی روی تپه‌های طبیعی و یا مصنوعی ساخته می‌شوند و غالباً دورادور این‌گونه خانه‌ها را یک بالکن «دکونچه» ایجاد می‌نمایند. برای آن‌که بتوانند خارخونه ایجاد نمایند، از هر طرف آن یک ورودی به بزرگی «خم» یا «هال» (عملکرد آن شبیه کانال‌ها در کولر آبی امروزی) در نظر می‌گیرند؛ منتهی این‌بار، درون خم یک در یا پنجره منظور می‌دارند و در صورتی‌که تعبیه‌ی ورودی‌ها از چهار طرف میسر نباشد، در قسمت‌های شمالی و جنوبی ساختمان، «خم» منظور می‌شود. سپس گروه دهقانان سردار یا ملاک یاد شده، خارها را به محل ساختمان منتقل می‌کنند و در «خم» شمالی که معمولاً رو به طرف باد است روی‌هم انباشته و یک خارخونه به‌وجود می‌آورند. در مواقعی که وزش باد (به‌ویژه تابستان) جریان دارد، روی خارهای دپو شده آب می‌پاشند و سپس پنجره یا در ورودی را که پشت خارها قرار دارد باز می‌کنند، با حرکت آب در لابه‌لای خار، عبور باد خنک به داخل ساختمان هدایت می‌شود و فضا را سرد می‌کند (رخشانی، ۱۳۹۱: ۴۶)؛ بر این‌اساس، معماران سیستانی از گذشته‌ی دور با طراحی مناسب خارخانه‌ها، می‌توانسته‌اند از نیروی باد جهت تهویه‌ی هوا و خنک‌سازی در ایام گرم تابستان به‌طور شایسته بهره‌برداری نمایند.

موقعیت جغرافیایی و قدمت تاریخی قلعه‌مچی در شهر باستانی حوض‌دار

«قلعه‌مچی» در ناحیه‌ی حوض‌دار در ۶۰ کیلومتری جنوب‌غربی شهرستان زابل، حدفاصل شهرسوخته و تاسوکی و در سمت راست جاده‌ی زابل به زاهدان قرار گرفته است (خمر و همکاران، ۱۳۸۰: ۱۴). این قلعه و بناهای وابسته و نزدیک به آن، در سه کیلومتری جنوب‌شرقی «حوض‌دار» قرار دارد (ارباب‌بیکس و همکاران، ۱۳۸۸: ۳۱). «حوض‌دار» در جنوب‌شرقی دریاچه‌ی هامون و در جنوب‌غربی شهرسوخته واقع است (افشار سیستانی، ۱۳۶۹: ۶۴۲). این ناحیه در قرون یازدهم و دوازدهم هجری شمسی، رونق داشته و با تغییر مسیر رودخانه‌ی هیرمند متروک شده است که هم‌اینک نیز برخی از خرابه‌های آن در محل مشهود است (ابراهیم‌زاده، ۱۳۸۹: ۲۲۶). شکل ۲، نقشه‌ی قلعه‌مچی و موقعیت اتاق خارخانه (شبیه‌سازی پژوهش حاضر) و ایوان شمالی قابل‌مشاهده است؛ هم‌چنین در شکل ۳، مدل سه‌بعدی قلعه‌مچی با نرم‌افزار 3D MAX نشان داده شده است.



▲ شکل ۲. نقشه‌ی قلعه‌مچی، موقعیت اتاق خارخانه و ایوان شمالی (نگارندگان، ۱۳۹۸).



▲ شکل ۳. مدل سه‌بُعدی قلعه‌مچی با نرم‌افزار 3D MAX (نگارندگان، ۱۳۹۸).

تیت حوض‌دار را چنین توصیف کرده است: «حوض‌دار قلعه‌ای است که در داخل چهار دیواری آن قصبه‌ای نیز وجود دارد. در سمت شمال و جنوب دروازه‌ها وجود داشتند و دور تا دور آن، خندقی به عرض پنجاه فوت موجود بود، در سمت چپ دروازه‌ی شمالی، ساختمان بزرگی بود که از کاهگل درست شده و کاخ حکمران بوده است. در داخل خندق آثار دو یا سه چاه دیده می‌شد که در مواقع خشکیدن

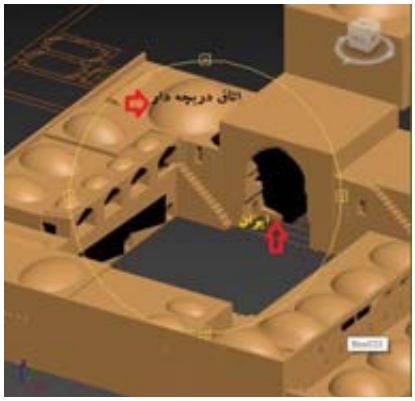
www.SID.ir

Archive of SID

یا مسدود شدن انهار و حتی گاهی در ضمن جریان آب در آن‌ها، آب شهر را فراهم می‌کردند. در شمال قلعه، آثاری از دیوار باغ‌ها دیده می‌شود و در جنوب آن قبرستان موجود است و جلوتر از آن، شهر رستم است» (تیت، ۱۳۶۲: ۱۵۴). «حوض‌دار» را جایی دانسته‌اند که فرامرز پسر رستم در آنجا با بهرام، پسر اسفندیار جنگیده و بهرام او را با نیزه سوراخ کرده است. دروازه‌ها، در سوی شمال و جنوب هستند و دور آن‌ها خندقی به پهنای ۱۵ متر وجود داشته است (ارباب‌بیکس و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۹).

«کلنل چارلز ادوراد ییت» در سفرنامه خراسان و سیستان نوشته است: «حوض‌دار در زمانی ناحیه‌ای پر جمعیت بوده است. در یک میلی جنوب‌شرقی آن خرابه‌هایی قرار گرفته بود که «مچی» نام داشت. این‌ها باقی‌مانده‌های شهری بود که ساختمان‌هایش هنوز با سقف‌های گنبدی‌شکل برپا بود. در مورد این‌که چرا حوض خالی از سکنه شده، دلیل مستندی نیافتم. تنها یک فرضیه بود که آن‌هم نمی‌دانم تا چه حد درست باشد. می‌گفتند حدود یک قرن پیش، بعد از آن‌که این منطقه کانال آب‌رسانی خود را «یعنی نهر تاراکو» در اثر طغیان هامون از دست می‌دهد و خشک می‌گردد، سکنه‌ی آن نیز به ناچار به‌سمت شمال و به قلمرو سیستان مهاجرت می‌کنند» (ییت، ۱۳۶۵: ۸۸). با توجه به مطالعات انجام شده برروی اشیاء به‌دست آمده از شهر باستانی حوض‌دار، می‌توان قدمتی حدود قرن ۶ و ۷ هـ.ق. را برای آن درنظر گرفت؛ هم‌چنین شواهد نشان می‌دهد که قلعه‌مچی تا سده‌ی گذشته مسکونی بوده است. در اطراف قلعه، آثار آبراهه‌های فراوانی که زمانی آب مورد نیاز کشتزارهای موجود در محل را فراهم می‌آورده‌اند، دیده می‌شود. در بسیاری از نقاط آن هنوز تنه‌های قطور و خشک‌شده و قطع‌شده و بقایای درختان مختلف، ازجمله نخل وجود دارد (ارباب‌بیکس و همکاران، ۱۳۸۸: ۳۱). قطعات سفال و ازجمله سفال‌های بسیار جدید در سطح زمین پراکنده است. بنای قلعه‌مچی نباید چندان قدیمی و بیشتر از دوره‌ی «صفویه» باشد. در اینجا کتیبه‌ای از سال ۱۱۳۰ هـ.ق. مربوط به «میرجعفرخان ولد... خان» دیده شده است (سیدسجادی، ۱۳۸۳: ۳۲). در بررسی سطحی و با توجه به کشف سکه‌ی مسی که برروی سکه نام «بنده شاه ولایت عباس» نوشته شده است، تاریخ این قلعه می‌تواند مربوط به دوره‌ی صفویه باشد (کاوش، ۱۳۷۷: ۱۸۵). لازم به ذکر است، در حال حاضر، شهر باستانی حوض‌دار که قلعه‌مچی یکی از آثار باستانی این شهر است، امروزه خرابه‌های آن قابل مشاهده، کاملاً متروک و فاقد سکونت است.

▲ شکل ۴. A: اتاق خارخانه (اتاق دریچه‌دار)، B: ایوان شمالی، C: درب خروجی اتاق خارخانه در مجاور ایوان شمالی، دید از حیاط مرکزی قلعه‌مچی (نگارندگان، ۱۳۹۷).



▲ شکل ۵. مدل سه‌بُعدی قلعه‌مچی، موقعیت ایوان شمالی قلعه و اتاق دریچه‌دار (اتاق خارخانه) با نرم‌افزار 3D MAX (نگارندگان، ۱۳۹۸).

ویژگی‌های معماری قلعه‌مچی (بخش اتاق خارخانه و ایوان شمالی)

ساختمان قلعه‌مچی از نوع ساختمان‌های دو ایوانه است که جهت آن شمالی-جنوبی به طول و عرض ۳۸ در ۳۹ متر می‌باشد؛ به‌طور کلی، ساختمان آن تشکیل‌شده از یک حیاط مرکزی و دو ایوان در قسمت شمال و جنوب و اتاق‌ها و تالارهای بزرگ و کوچک اطراف حیاط که در بخش بالایی آن نیز ادامه پیدا می‌کند و در قسمت بیرون قلعه علاوه‌بر اصطبل، سردر ورودی تأسیسات ساختمانی منفرد، حصار باغ، آب‌انبار و حیاط دیده می‌شود (کاوش، ۱۳۷۷: ۱۶۱). شکل ۴، اتاق خارخانه در مجاور

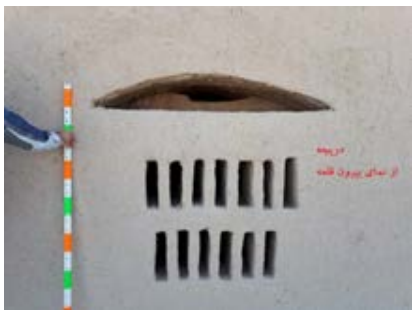
www.SID.ir

ایـوان شـمالی، بزرگ‌تریـن ایـوان قلعـه را نشـان می‌دهـد؛ و شـکل ۵، مـدل سـه‌بعدی قلعه‌مچـی، موقعیـت ایـوان شـمالی قلعـه و اتـاق دریچـه‌دار (اتـاق خارخانـه) مشـاهده می‌شـود.

در ضلـع شـمالی قلعـه، قرینه‌سـازی رعایـت شـده اسـت؛ به‌طوری‌کـه در دو طـرف ایـوان شـمالی بزرگ‌تریـن اتاق‌هـای قلعـه ساخته شـده و در مجـاورت آن‌هـا نیـز (گوشـه) اتاق‌هـای مکعـب، مسـتطیل بـا طـاق بیضـوی دیـده می‌شـود کـه هـر کـدام از آن‌هـا پنجره‌ای رو به شـمال و ورودی‌هایـی به اتاق‌های ضلع جنوبی دارنـد. اتاق‌ها از طرح سـاده‌ای برخوردارنـد و نـور کمـی از پنجره‌هـا بـه داخـل اتـاق هدایـت می‌شـود؛ از ایـن‌رو تـا حـدودی تاریـک و بسـیار خنـک می‌باشـند. اتـاق مجـاور ایـوان شـمالی کـه بزرگ‌تریـن و مرتفع‌تریـن قسـمت قلعـه اسـت و گنبـد آن بـرروی چهـار فیلپـوش قـرار دارد، به‌نظـر می‌رسـد از اهمیـت خاصـی برخـوردار بـوده؛ زیـرا بـه تعـداد زیـادی طاقچـه و طاق‌نمـا در داخـل آن سـاخته شـده اسـت و یـک ورودی بـه ایـوان شـمالی دارد و در ضلـع شـمالی آن نزدیـک کـف، پنجره‌ای وجـود دارد کـه احتمالاً کاربـرد خارخانـه را داشـته اسـت (کاوش، ۱۳۷۷: ۱۶۶). شـکل ۶، موقعیـت دریچـه‌ی خارخانـه، از نمـای بیـرون قلعه‌مچـی و در شـکل ۷، دریچـه بـا کاربـرد خارخانـه در ضلـع شـمالی قلعـه قابل‌مشـاهده اسـت.

◄شکل ۶. موقعیت دریچه‌ی خارخانه، از نمای بیرون قلعه‌مچی (نگارندگان، ۱۳۹۷).

محوطه‌ی مقابل قلعه‌مچی، واقع‌در شمال بنا که با توجه به نوشته‌ها در گذشته باغ سرسبزی بوده است و به‌دلیل خشک‌سالی و کوچ انسان‌ها به بیابانی لم‌یزرع تبدیل شده است. وجود باغ در قسمت شمالی بنا با توجه به‌جهت وزش باد که از شمال‌غرب می‌وزد و این‌که این بادها غالباً سرعت زیادی دارند و همراه با گرد و غبار می‌باشند، موجب گردیده تا بتوانند به‌عنوان سدی محکم در برابر این بادها عمل نماید و این بادها کمتر وارد بنا شوند (سندگل، ۱۳۸۴: ۴۷-۴۱). با توجه به مطالب ذکر شده در بالا، اتاق خارخانه‌ی قلعه‌مچی یکی از بزرگ‌ترین اتاق‌های قلعه است که درست در ضلع شمالی و قرینه‌ی یکی از اتاق‌ها در مجاور ایوان شمالی، بزرگ‌ترین ایوان قلعه قرار گرفته است. لازم به ذکر است که اتاق قرینه‌ی اتاق خارخانه، فاقد دریچه است و عملکرد خارخانه نداشته است و فقط درب ورودی اتاق خارخانه به ایوان شمالی باز می‌شود.



▲شکل ۷. قلعه‌مچی، دریچه با کاربرد خارخانه (نگارندگان، ۱۳۹۷).

www.SID.ir

Archive of SID

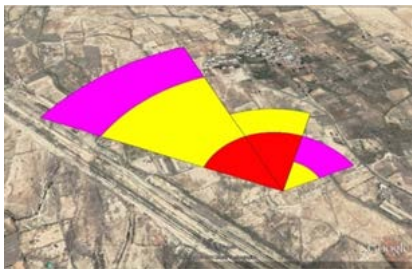
یافته‌های پژوهش

جهت و سرعت جریان باد در شهر باستانی حوض‌دار (قلعه‌مچی)

در پژوهش حاضر با توجه به آمار هواشناسی (اقلیمی) منطقه‌ی سیستان از ۱۹۶۳ تا ۲۰۱۴ م.، از داده‌های هواشناسی بلندمدت (سال، ماه، روز و ساعت) استفاده شده است؛ بر این‌اساس، وضعیت بلندمدت پارامترهای اقلیمی می‌تواند وضعیت اقلیمی جهت و سرعت باد را نشان‌دهند و مؤید شرایط نسبی اقلیمی باشند که مطابق اصول آب‌وهواشناسی و نظر متخصصان[۴] تفاوت چشمگیری با دوره‌ی صفویه ندارند.

از نرم‌افزار مایکروسافت اِکسل برای «ساخت فایل هواشناسی استاندارد» و برای تنظیمات داده‌های باد براساس سال، ماه، روز، ساعت، جهت، سرعت و تعداد استفاده شده است. مشخصات مختصات شناسه‌ی ایستگاه هواشناسی زابل در نرم‌افزار WRPLOT View وارد شد؛ هم‌چنین فایل ویژه‌ی نرم‌افزار WRPLOT View با پسوند Sam ساخته شد، با بارگذاری فایل پسوند Sam گزینه‌های مختلفی از وضعیت باد، فراوانی‌ها، داده‌های جدولی، گلباد، نمودار و... قابل ارائه گردیدند؛ برای این‌که دید و منظر بهتری از وضعیت گلباد قابل مشاهده باشد، خروجی Export Options به نرم‌افزار «گوگل ارث پرو» هدایت گردید، سپس وضعیت گلباد با مختصات دقیق برروی خروجی تصاویر ماهواره‌ای مستقر شد. نمونه‌ای از گلباد جهت بادهای ۱۲۰ روزه‌ی سیستان به‌وسیله نرم‌افزار WRPLOT View و گوگل ارث پرو در شکل ۸، قابل مشاهده است. لازم به ذکر است خروجی‌های زیادی از نرم‌افزار مذکور در طی ساعت‌های شبانه و روز، هفتگی، ماهانه، سالانه و... تولید می‌شوند که به‌سبب تعداد و حجم زیاد فقط یک نمونه‌ی خروجی گلباد برای نشان‌دادن جهت بیشترین بادهای ۱۲۰ روزه‌ی سیستان، در این مقاله ارائه شده است.

در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور، شدیدترین و بیشترین بادها جریان دارد و میزان متوسط سرعت بادهای ۱۲۰ روزه‌ی ثبت شده‌ی ایستگاه هواشناسی زابل طی این فصول، در جهت شمال و شمال‌غربی به‌ترتیب ۶/۵ و ۹ متر بر ثانیه به‌دست آمده است (سلیقه، ۱۳۸۲: ۱۱۴). جدول ۱، نمونه‌ای از وضعیت داده‌های هواشناسی از ماه‌های ژانویه تا دسامبر طی سال‌های ۱۹۶۳ تا ۲۰۱۴ م. را نشان می‌دهد.



▲ شکل ۸. نمونه‌ای از گلباد جهت بادهای ۱۲۰ روزه‌ی سیستان به‌وسیله‌ی نرم‌افزار WRPLOT View و گوگل ارث پرو (نگارندگان، ۱۳۹۸).

جدول ۱. بیشترین میانگین سرعت باد، طی سال‌های ۱۹۶۳ تا ۲۰۱۴ م.[۵] (سازمان هواشناسی کشور و محاسبات)، (زارعی و بهبودی، ۱۳۹۵: ۱۰۱). ◄

ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۵	۵	۵	۵	۸	۹	۱۷	۱۱	۷	۶	۵	۴

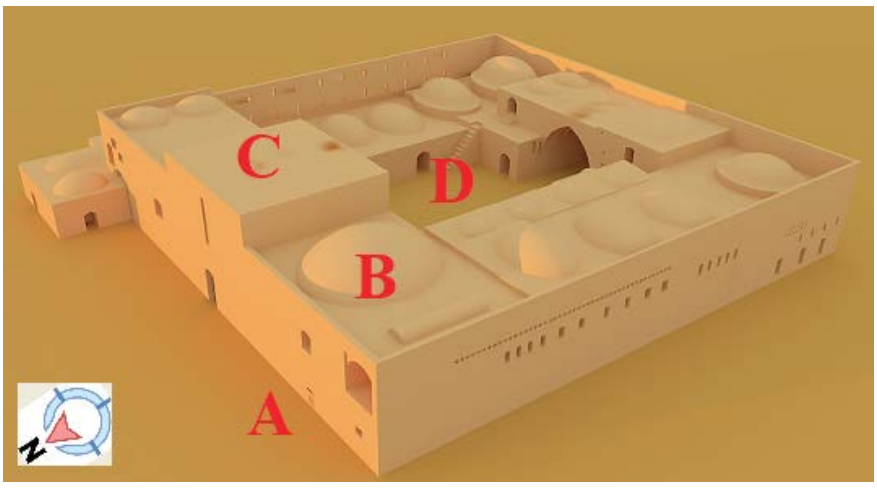
با توجه به داده‌های هواشناسی با شروع بادهای غالب (بادهای ۱۲۰ روزه‌ی سیستان) در ماه‌های (می تا سپتامبر) که طبق نظر پژوهشگران اقلیم‌شناس ازجمله «محمد سلیقه» (۱۳۸۲)، میانگین این بادها تعیین‌شده است؛ به‌سبب گستردگی حجم عملیات شبیه‌سازی و تنوع سناریوهای خروجی، میانگین باد با سرعت ۶/۵ متر بر ثانیه برروی دریچه‌ی اتاق خارخانه‌ی قلعه‌مچی، با نرم‌افزار انسیس فلوئنت اجرا گردید. لازم به ذکر است، در هنگام وزش بادهای ۱۲۰ روزه‌ی سیستان با بیشترین سرعت حدود ۱۲۰ کیلومتر در ساعت، این بادها کارآیی مطلوب برروی اتاق خارخانه‌ی قلعه‌مچی ندارند؛ به‌نحوی که در هنگام وزش این نوع بادهای شدید

www.SID.ir

ساکنین قلعه مجبور به بستن دریچه‌ی خارخانه می‌شدند؛ از سوی دیگر، توپوگرافی (پستی و بلندی) سطح منطقه‌ی سیستان در دید کلی یکنواخت و دشت‌مانند با شیب کم است، به‌طوری‌که ایستگاه هواشناسی فرودگاه زابل ۴۸۹ متر و ایستگاه هواشناسی زهک ۴۹۶ متر از سطح دریا ارتفاع دارند و ارتفاع شهر باستانی حوض‌دار و مطالعه‌ی موردی مقاله‌ی حاضر، قلعه‌مچی حدود ۴۸۴ متر است. از این‌رو، این وضعیت در انجام عملیات شبیه‌سازی، تطبیق عوامل علمی مدنظر قرار گرفته است؛ در اینجا اشاره‌ای به برخی از روش‌های محاسباتی روابط ریاضی می‌گردد، هرچند انجام این عملیات با روش‌های سنتی و محاسباتی دستی (ماشین حساب و...) مشکل و زمان‌بر است؛ از این‌رو، از نرم‌افزار شبیه‌سازی انسیس فلوئنت با قدرت محاسباتی و دقت بالا برای شبیه‌سازی وضعیت باد در اتاق خارخانه‌ی قلعه‌مچی استفاده گردیده است. نکته‌ی مهم این است که محاسبه‌ی روابط ریاضی جریان باد و انجام محاسبات آن‌قدر طولانی و گسترده است که ضروری می‌نماید تا از نرم‌افزارهای محاسباتی انسیس فلوئنت استفاده شود. تحلیل عددی در نرم‌افزار انسیس فلوئنت از حَل‌گر Pressure Based و برای مدل ویسکوزیته از مدل K-e Standard استفاده شده است. «کوپلینگ» معادلات سرعت و فشار با الگوریتم Couple انجام شده است. در مقطع ورودی باد با سرعت ۶/۵ متر بر ثانیه (m/s) وارد می‌شود و تمامی معادلات مومنتوم و انرژی توربولانس و سایر موارد مرتبط با گسسته‌سازی مکانی مرتبه‌ی ۲ بالادست حل می‌شوند.

استخراج حجم (توده‌ی هندسی) قلعه‌مچی

قبل از انجام عملیات شبیه‌سازی CFD، لازم است براساس داده‌ها و اطلاعات واقعی و برداشت‌های میدانی، حجم (توده‌ی) هندسی قلعه‌مچی استخراج شود؛ این عملیات با دقت بالا، نخست در نرم‌افزار 3D Max انجام گردید (شکل ۹)، سپس با تبدیل فرمت وارد نرم‌افزار انسیس فلوئنت شده است؛ به‌سبب قوسی بودن معماری و پیچیدگی‌های هندسی، فرآیند مراحل عملیات تولید حجم (توده) و اصلاحات هندسی معماری قلعه‌مچی در نرم‌افزار Ansys Fluent صورت‌پذیرفته است (شکل ۱۰).



◄ شکل ۹. A: دریچه‌ی اتاق خارخانه، B: اتاق خارخانه، C: ایوان شمالی و D: حیاط مرکزی قلعه‌مچی با نرم‌افزار 3D MAX (نگارندگان، ۱۳۹۸).

www.SID.ir

Archive of SID

در مرحله‌ی بعدی شبیه‌سازی جهت و سرعت باد برای مهیاسازی اجرای محاسبات، عملیات استقلال از شبکه (مش‌بندی) انجام گردید.

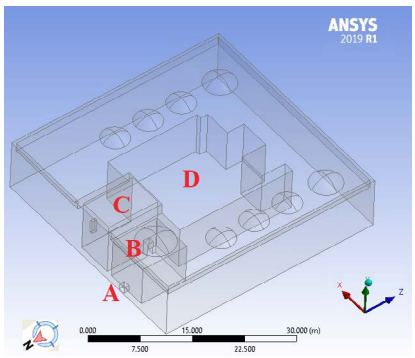
نتایج شبیه‌سازی CFD وضعیت جهت و سرعت باد در اتاق خارخانه‌ی قلعه مچی

براساس موارد مطرح‌شده‌ی بالا و تعیین جهت بادهای ۱۲۰ روزه، سناریوهای مختلفی در ادامه انجام و ارائه می‌گردد؛ بر این‌اساس، در این قسمت فقط خلاصه‌ای از نتایج فرآیند عملیات CFD نشان داده می‌شود؛ ضمن آن، ضلع شمالی قلعه که سطح برخورد بادهای ۱۲۰ روزه می‌باشد، بیشتر مدنظر قرار گرفته است. این بخش شامل یک اتاق بزرگ با عملکرد خارخانه است و دارای یک دریچه برای ورود جریان باد و یک درب خروجی منتهی به ایوان شمالی، برای خروج جریان باد می‌باشد. برای فرآیند عملیات محاسباتی با استفاده از نرم‌افزار انسیس فلوئنت و برای تولید و انجام استقلال شبکه با نرم‌افزار Ansys Meshing شبیه‌سازی انجام شده است. نمونه‌ی شبکه‌ی ۰/۵ میلیون سلولی قلعه‌مچی در شکل ۱۱، به‌صورت دوبُعدی و سه‌بُعدی با نرم‌افزار Ansys Meshing نشان داده شده است.

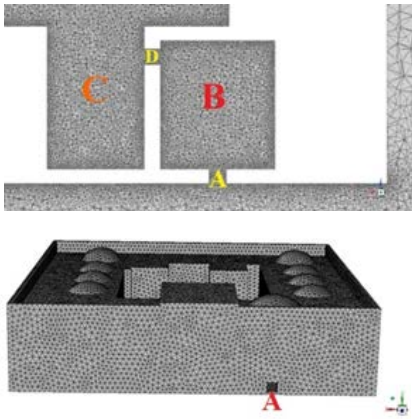
لازم به ذکر است، انجام عملیات مش‌بندی Ansys Meshing و انتخاب نوع مش می‌بایست با دقت خیلی بالا و به‌صورت علمی انجام پذیرد؛ چنانچه مش‌بندی و انتخاب نوع مش به‌خوبی انجام نپذیرد، نتایج شبیه‌سازی با خطا مواجه خواهد شد؛ از این‌رو، انجام عملیات مش‌بندی و انتخاب نوع مش، وقت و زمان زیادی از حجم عملیات CFD را به خود اختصاص می‌دهد. بعد از انجام عملیات مش‌بندی بستر انجام عملیات شبیه‌سازی CFD مهیا می‌گردد، براساس اهداف پژوهش انجام انواع سناریوها امکان‌پذیر است و خروجی‌های متعددی قابل اجرا و ارائه می‌شوند؛ اما براساس هدف و پرسش پژوهش، در این مقاله فقط برخی از خروجی‌ها که اولویت نخست و در راستای اصل پژوهش هستند، ارائه شده است. بعد از مش‌بندی برای بررسی استقلال از شبکه، با استفاده از نرم‌افزار انسیس فلوئنت کانتورهای میانگین سرعت برروی دریچه مشخص گردید (شکل ۱۲)؛ نتایج خروجی این عملیات در جدول ۲ قابل مشاهده است.

انجام عملیات شبیه‌سازی جریان باد با سرعت میانگین ۶/۵ متر بر ثانیه (m/s)، تأثیرات وضعیت‌های سرعت و جهت بادهای ۱۲۰ روزه را یک‌بار با «فرضیه‌ی باز بودن دریچه‌ی خارخانه و درب اتاق» و بار دیگر با «فرضیه‌ی بستن دریچه‌ی خارخانه و درب اتاق» در فضای بیرونی و درونی اتاق خارخانه مورد بررسی و تحلیل قرار داده است. جدول ۳، بررسی تفاوت میان توزیع جریان بادهای ۱۲۰ روزه در هندسه‌ی دریچه‌ی اتاق خارخانه به‌صورت باز و بسته، با بررسی کانتورها نشان می‌دهد.

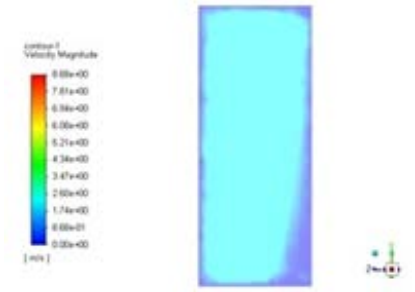
با توجه به زاویه‌ی ورودی دریچه‌ی اتاق خارخانه، برای بهره‌گیری از بادهای ۱۲۰ روزه که از جهت شمال و شمال‌غربی می‌وزند، به‌گونه‌ای طراحی شده است که به‌راحتی باد را به فضای داخلی اتاق خارخانه هدایت می‌کرده است. نتایج



▲ شکل ۱۰. A: دریچه‌ی اتاق خارخانه، B: اتاق خارخانه، C: ایوان شمالی و D: حیاط مرکزی قلعه‌مچی با نرم‌افزار Ansys (نگارندگان، ۱۳۹۸).



▲ شکل ۱۱. نمونه‌ی خروجی استقلال شبکه ۰/۵ میلیون سلولی قلعه‌مچی با نرم‌افزار Ansys Meshing به‌صورت دوبُعدی و سه‌بُعدی A: دریچه‌ی اتاق خارخانه (ورودی باد)، B: اتاق خارخانه، C: ایوان شمالی و D: خروجی باد به ایوان شمالی (نگارندگان، ۱۳۹۸).



▲ شکل ۱۲. کانتور میانگین سرعت برروی دریچه (نگارندگان، ۱۳۹۸).

www.SID.ir

Archive of SID

تعداد مش	سرعت میانگین دریچه‌ی داخلی اتاق خارخانه	درصد تفاوت سرعت
۵۸۷۲۳۰ سلول	۲/۵۲۱	
۲۶۹۹۹۶۴ سلول	۲/۴۷۳	٪۱/۹
۷۹۱۲۰۵۴ سلول	۲/۴۶۲	٪۰/۴

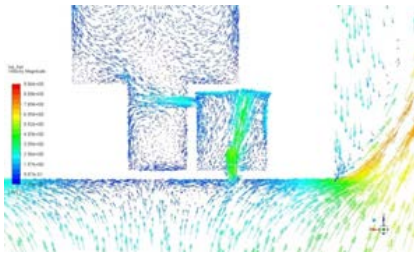
◄ جدول ۲. سرعت میانگین و درصد تفاوت سرعت دریچه‌ی داخلی اتاق خارخانه (نگارندگان، ۱۳۹۸).

وضعیت‌ها	دریچه‌ی اتاق خارخانه به‌صورت باز	دریچه‌ی اتاق خارخانه به‌صورت بسته
تعداد شبکه	۲۶۹۹۹۶۴	۲۶۵۹۹۸۶
میانگین سرعت خروجی، جریان باد از طریق دریچه‌ی اتاق خارخانه	۲/۴۷۳ m/s	۲/۵۶۲ m/s
میانگین سرعت ورودی، جریان باد از طریق دریچه‌ی اتاق خارخانه	۵/۶۴۰۱۵۶ m/s	۵/۷۸۱۰۴۸ m/s

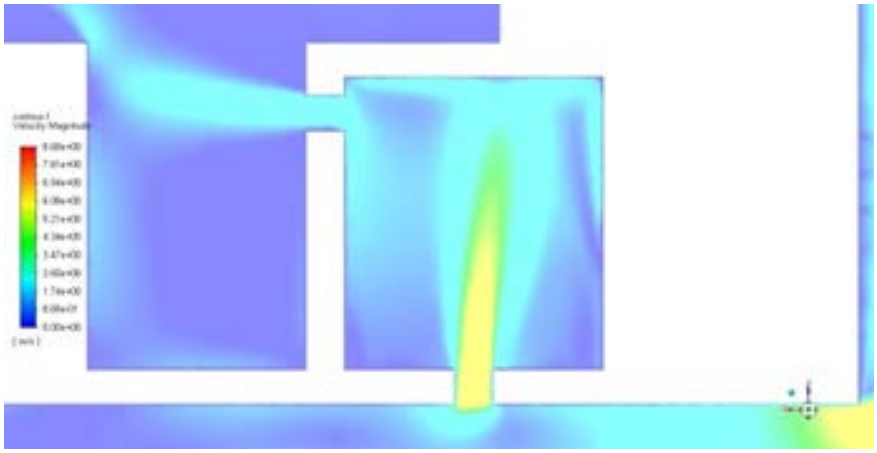
◄ جدول ۳. بررسی کانتورها دریچه‌ی اتاق خارخانه به‌صورت باز و بسته (نگارندگان، ۱۳۹۸).

شبیه‌سازی CFD در بخشی از محدوده‌ی شمالی قلعه‌مچی شکل ۱۳، «جریان سرعت باد»، دامنه‌های عددی با بیشترین دامنه‌ی ۹/e۸۶+۰۰ (قرمز تیره) تا کمترین دامنه‌ی عددی ۱/e۱۶-۰۳ (آبی تیره) را نشان می‌دهد؛ هم‌چنین سرعت باد در بخش دریچه و فضای داخلی اتاق خارخانه، دامنه‌های عددی بین ۳/e۹۵+۰۰ (سبز تیره) تا ۵/e۹۲+۰۰ (سبز روشن) را دربر می‌گیرد. از آنجا که در فضای داخلی و در روبه‌روی جریان مستقیم باد، دیوار انتهای اتاق خارخانه (در جنوب) وجود دارد؛ از این رو، بعد از برخورد باد به دیوار، جریان باد به‌سمت بخش غربی یا درب اتاق خارخانه متمایل شده است و از آن‌طریق جریان باد به ایوان شمالی وارد می‌شود؛ بر این‌اساس، سرعت جریان باد تغییر نموده است، به‌نحوی که دامنه‌ی عددی بین ۴/e۹۳+۰۰ (رنگ سبز) تا ۹/e۸۷-۰۱ (رنگ آبی) را می‌پیماید؛ و در هنگام مواجه با درب خروجی جریان باد (درب اتاق) بیشترین دامنه‌ی عددی بین ۲/e۹۶+۰۰ (آبی روشن) تا ۱/e۹۷+۰۰ (رنگ آبی) را نشان می‌دهد.

هم‌چنین نتایج شبیه‌سازی CFD «جهت جریان باد» شکل ۱۳، نشان می‌دهد؛ به‌محض ورود باد به اتاق خارخانه به‌طور مستقیم و کمی مایل به‌سمت راست، به دیوار جنوبی برخورد می‌نماید؛ بعد از برخورد و تلاطم‌های جانبی، به‌سبب وجود



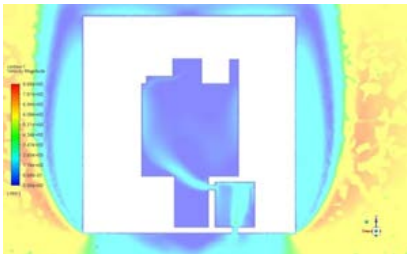
▲ شکل ۱۳. خطوط سرعت و جهت جریان باد، ورود از طریق دریچه به اتاق خارخانه‌ی قلعه‌مچی و خروج از اتاق خارخانه به ایوان شمالی (در راستای دریچه‌ی ورودی از اتاق خارخانه به ایوان)، (نگارندگان، ۱۳۹۸).



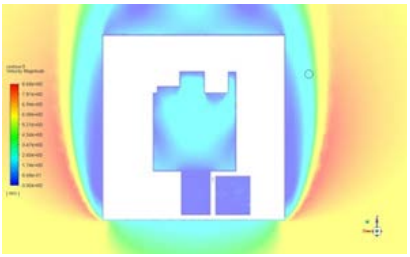
◄ شکل ۱۴. کانتورهای جریان باد، در ورود به اتاق خارخانه‌ی قلعه‌مچی و خروج از اتاق خارخانه به ایوان شمالی (در راستای دریچه‌ی ورودی از اتاق خارخانه به ایوان)، (نگارندگان، ۱۳۹۸).

www.SID.ir

Archive of SID



▲ شکل ۱۵. شبیه‌سازی CFD کانتورهای جریان باد در ورود به اتاق خارخانه‌ی قلعه‌مچی و خروجی از اتاق خارخانه به ایوان شمالی (نگارندگان، ۱۳۹۸).

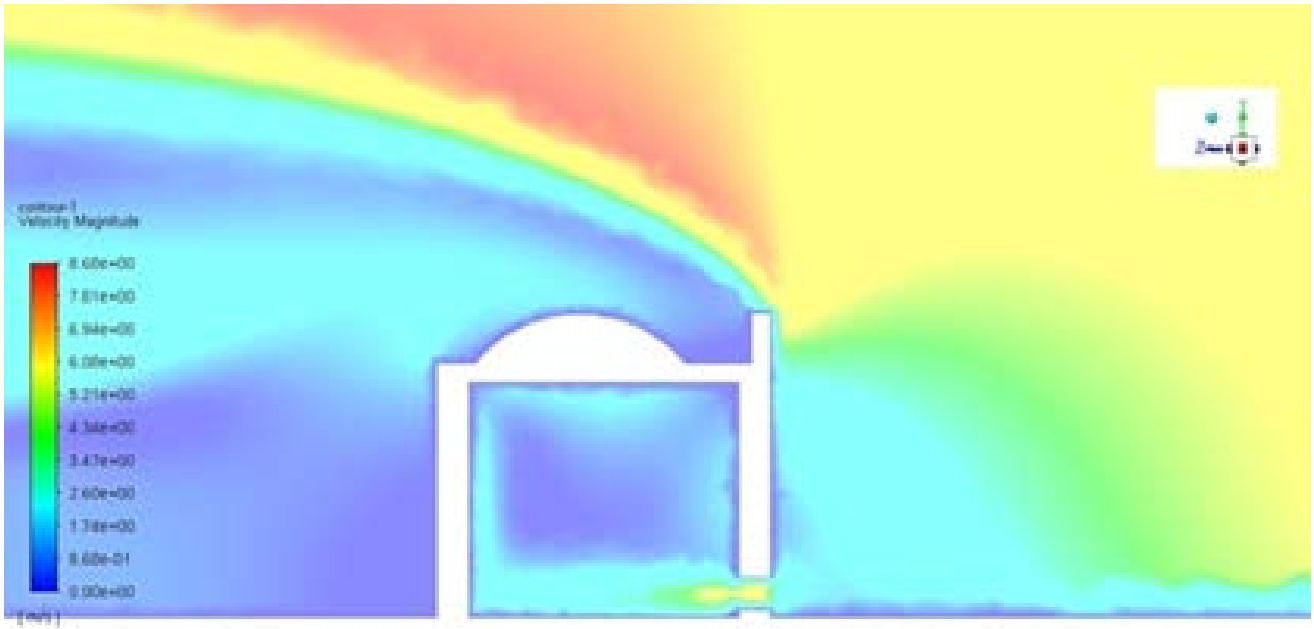


▲ شکل ۱۶. شبیه‌سازی CFD کانتورهای جریان باد با فرضیه بسته بودن دریچه‌ی خارخانه و درب اتاق خارخانه‌ی قلعه‌مچی (نگارندگان، ۱۳۹۸).

درب اتاق خارخانه در بخش جنوب‌غربی، جریان باد راه خروج را به‌سمت ایوان شمالی قلعه‌مچی پیدا نموده است، سپس از طریق ایوان شمالی، وارد حیاط مرکزی قلعه‌مچی می‌شود. لازم به ذکر است، جهت جریان باد در بخش ایوان شمالی حالت چرخشی پیدا کرده است که سبب گردش جریان هوا و تهویه‌ی مطبوع در اتاق خارخانه و ایوان شمالی می‌شود. عملیات شبیه‌سازی در شکل ۱۴، با مشاهده‌ی کانتورهای جریان باد این وضعیت را بیشتر نمایان ساخته است.

به‌منظور شناخت بیشتر وضعیت سرعت و جهت باد در اتاق خارخانه‌ی قلعه‌مچی، یک‌بار با «باز نمودن دریچه‌ی خارخانه و درب خروجی به ایوان شمالی» (شکل ۱۵)، و یک‌بار با «بستن دریچه‌ی خارخانه و درب خروجی به ایوان شمالی» (شکل ۱۶) وضعیت‌ها شبیه‌سازی شدند که در شکل‌ها قابل‌مشاهده هستند.

پس از انجام عملیات شبیه‌سازی CFD، در فضای درونی اتاق خارخانه و با «فرضیه‌ی باز و بسته بودن دریچه‌ی خارخانه و درب اتاق به ایوان شمالی قلعه‌مچی»، در مرحله‌ی بعدی از فضای بیرونی بخش شمالی قلعه (سطح برخورد باد از بیرون به ضلع شمالی قلعه)، عملیات شبیه‌سازی CFD جریان باد برروی اتاق خارخانه و دریچه، انجام و اجرا شد. این نمونه‌ی شبیه‌سازی هم‌چنان‌که در شکل ۱۷، قابل‌مشاهده است، کانتورهای جریان سرعت باد در بخش ورود به دریچه‌ی خارخانه ۶/e۰۸+۰۰ (رنگ زرد) و لبه‌ی دیوار رخ‌بام وضعیت‌ها بهتر قابل‌تأمل و تحلیل می‌نماید.



▲ شکل ۱۷. نمونه‌ی خروجی شبیه‌سازی جریان باد برروی اتاق خارخانه و دریچه از فضای بیرونی، ضلع شمالی قلعه‌مچی با نرم‌افزار Ansys Fluent (نگارندگان، ۱۳۹۸).

بیشترین کانتورهای جریان سرعت باد، هنگام «ورود به دریچه‌ی خارخانه» با دامنه‌ی عددی ۶/e۰۸+۰۰ (رنگ زرد) قابل مشاهده است. در پشت‌بام هرچه ارتفاع افزایش پیدا می‌کند، براساس قوانین و گرادیان باد (روابط و معادلات ریاضی) کانتورهای جریان سرعت باد دامنه‌ی عددی ۶/e۹۴+۰۰ (رنگ زرد مایل به قرمز)،

www.SID.ir

بیشتر از اتاق خارخانه را نشان می‌دهد. قابل‌توجه است که در مقابل دریچه‌ی ورودی خارخانه، ابتدای ورود باد به دریچه از بیرون به درون اتاق خارخانه پس از طی مسافت حدود ۱۵۰ سانتی‌متر سرعتی حدود ۶/e۰۸+۰۰ (رنگ زرد) را طی می‌نماید و بعد از جریان در درون اتاق خارخانه‌ی قلعه، روند آرامی را پیدا می‌کند که سرعتی در حدود ۴/e۳۴+۰۰ (رنگ سبز) را در درون اتاق خارخانه دارا است؛ سپس روند جریان باد، در داخل اتاق خارخانه تا انتها و برخورد به دیوار مقابل (دیوار جنوبی) سرعتی در حدود ۲/e۶۰+۰۰ (آبی روشن) را می‌پیماید.

نتیجه‌گیری

تجربیات باستان‌شناسان دنیا، به‌ویژه در دهه‌ی اخیر نشان می‌دهد، پژوهشگران مرتبط با علوم باستانی برای شناخت و تحلیل بهتر تأثیرات باد، دما و...، از شبیه‌سازی CFD استفاده می‌نمایند. پژوهش‌های جهانی بیشتر متمرکز بر کشف نمونه‌های باستانی و استخراج تجربیات گذشتگان است که برای الهام‌گرفتن از الگوهای معمارهای سنتی و بومی متناسب با شرایط محیطی مناطق گرم و خشک و در راستای ایجاد راحتی فضای زندگی از قابلیت CFD بهره‌برداری می‌نمایند.

تجربیات پژوهشگران ایرانی نشان می‌دهند، شبیه‌سازی CFD از نمونه‌های معماری باستانی، جهت تحلیل وضعیت جریان باد، در شناخت بهتر پیشینه‌ی تاریخی معماری بومی و سنتی ایران کمک زیادی می‌نماید؛ برای نمونه «خارخانه‌ها» راهکارهای ابداعی مناسبی بوده است که در طی ادوار تاریخی توانسته‌اند بخش عمده‌ای از مشکلات اقلیمی (گرمای طاقت‌فرسا و خشک) را برطرف سازند و به‌عنوان الگو و منبع ارزشمند، برای اصلاح معماری امروزی به‌کار روند. نتایج پژوهش حاضر، شبیه‌سازی CFD با میانگین سرعت باد ۶/۵ متر بر ثانیه، در بخشی از محدوده‌ی ضلع شمالی قلعه‌مچی، سرعت و جهت باد را در بخش دریچه و فضای داخلی اتاق خارخانه نشان می‌دهد. از آنجا که در فضای داخلی و در روبه‌روی جریان مستقیم باد، دیوار انتهای اتاق خارخانه (در جنوب) وجود دارد؛ از این‌رو، بعد از برخورد باد به دیوار، جریان باد به‌سمت بخش غربی یا درب اتاق خارخانه متمایل شده است و از آن‌طریق جریان باد به ایوان شمالی وارد می‌شود؛ بر این‌اساس، سرعت و جهت جریان باد تغییر نموده است. هم‌چنین نتایج شبیه‌سازی CFD «جهت جریان باد» نشان می‌دهد، به‌محض ورود باد به اتاق خارخانه به‌طور مستقیم و کمی مایل به سمت راست، به دیوار جنوبی برخورد می‌نماید، بعد از برخورد و تلاطم‌های جانبی، به‌سبب وجود درب اتاق خارخانه در بخش جنوب‌غربی، جریان باد راه خروج را به‌سمت ایوان شمالی قلعه‌مچی پیدا نموده است؛ سپس از طریق ایوان شمالی، وارد حیاط مرکزی قلعه‌مچی می‌شود. لازم به ذکر است، جهت جریان باد در بخش ایوان شمالی حالت چرخشی پیدا کرده است که سبب گردش جریان هوا و تهویه‌ی مطبوع در اتاق خارخانه و ایوان شمالی می‌شود.

براساس نتایج و خروجی‌های مختلف عملیات شبیه‌سازی CFD و اطلاعات باستان‌شناسی، شناخت چگونگی عملکرد اتاق خارخانه‌ی قلعه‌مچی و انطباق

www.SID.ir

Archive of SID

معماری آن با جهت شمال و شمال‌غربی و سرعت حدود میانگین ۶/۵ متر برثانیه بادهای ۱۲۰ روزه‌ی سیستان طی ماه‌های گرم سال، در دوره‌ی صفویه تأیید می‌شود؛ البته این نکته‌ی قابل‌توجه است که در پژوهش حاضر، تلاش‌شده است با رویکرد باستان‌شناسی و براساس وضعیت داده‌های اقلیمی و پیشینه‌ی پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، کلّیت وجود جریان باد در اتاق خارخانه‌ی دوره‌ی صفوی قلعه‌مچی در شرایط متعارف با سرعت میانگین ۶/۵ متر برثانیه شبیه‌سازی گردد و وضعیت خروجی‌ها، وجود جریان باد را به‌طور متعارف تأیید می‌نماید. پژوهش حاضر، اولین پژوهش باستان‌شناسی در زمینه‌ی تأثیر باد در معماری این قلعه است و برای تعیین دامنه‌های نوسان اثرات بیشترین و کمترین باد مطلوب و مؤثر در ضلع شمالی قلعه‌مچی به پژوهش‌های دیگر نیاز هست و بیشتر در حوزه‌ی علوم دیگر قرار می‌گیرد.

سپاسگزاری

از همکاری و راهنمایی آقای دکتر اکبر کیانی برای نرم‌افزار WRPLOT View و گوگل ارث پرو، تشکر و قدردانی می‌شود.

پی‌نوشت

۱. «خارخانه»ها در مناطق کویری مورد استفاده قرار می‌گرفته است و نام‌هایی چون «احتکن» (در بلوچستان)، «یخ‌دکن» (در کرمان) و در بندرعباس «آدوربند» گفته می‌شود (سلیمانی و بذرافکن، ۱۳۹۲: ۵).

۲. Machi، «مچ» در زبان محلی به‌معنی «درخت خرما» بوده است، چون در تمام منطقه نخلستان‌های فراوان و وسیعی وجود داشته است؛ از این‌رو، این قلعه به این‌نام شهرت پیدا کرده است (ارباب‌بیکس و همکاران، ۱۳۸۸: ۳۱).

۳. «شبکه‌ی غیرسازمان یافته» Unstructure Grid.

۴. برای اطلاعات بیشتر در زمینه‌ی مدت‌زمان دیده‌بانی لازم برای تهیه‌ی میانگین عناصر اقلیمی و تطبیق و تعمیم داده‌های و اطلاعات هواشناسی به منابع ذیل می‌توان مراجعه نمود.

- کاویانی، محمدرضا؛ و علیجانی، بهلول، ۱۳۷۱، مبانی آب‌وهواشناسی، تهران: سازمان سمت، صفحه‌های ۲۱ و ۳۹۲.

- Landsberg, H. E. & Jocobs W. C., 1951, *Applied Climatology* (in: Compendium of Meteorology), Bostony, Mass

۵. از آنجا که برداشت آمار هواشناسی براساس الگوی سازمان هواشناسی جهانی است و تبدیل ماه‌ها به ماه‌های شمسی باعث ایجاد خطا می‌گردد، بنابراین آمار به میلادی قید شده است.

کتابنامه

- ابراهیم‌زاده، عیسی، ۱۳۸۹، سیستان، خاستگاه مدنیت و شهرنشینی در شرق ایران. تهران: ناشر سازمان اسناد و کتابخانه ملی جمهوری اسلامی ایران، چاپ اول.

- احمدی، حسن، ۱۳۷۸، جغرافیای تاریخی سیستان، سفر با سفرنامه‌ها. جلد دوم، تهران: ناشر مؤلف، چاپ اول.

- اداره هواشناسی زابل، ۱۳۹۰، «گزارشات سالنامه‌های آمار هواشناسی» (سال‌های مختلف).

- ارباب‌بیکس، شیرین؛ افتخاری‌مقدم، حمیدرضا؛ و عابدینی، محمد، ۱۳۸۸، نیم‌نگاهی به دارالولایه سیستان و دانشگاه زابل. زابل: انتشارات روابط عمومی دانشگاه زابل، چاپ اول.

www.SID.ir

- افشار سیستانی، ایرج، ۱۳۶۹، سیستان نامه. جلد اول، تهران: نشر مرغ آمین، چاپ اول.
- تیت، جی. پی.، ۱۳۶۲، سیستان تاریخ حدود و ثغور جغرافیایی-آثار باستانی و ذکر ساکنین آن. به‌اهتمام: رئیس‌الذاکرین غلامعلی، مشهد: چاپخانه‌ی سعید، انتشارات اداره حفظ و احیای میراث‌فرهنگی اداره کل ارشاد اسلامی سیستان و بلوچستان، چاپ اول.
- حیدری‌مکرر، حمید؛ میرلطفی، محمودرضا؛ غلامعلی، خمر؛ و بزی، خدارحم، ۱۳۸۰، سیستان خاستگاه آسیاهای بادی در جهان. چاپ روابط عمومی دانشگاه زابل، چاپ اول.
- حیدری، ابوالفضل، ۱۳۹۴، «تحلیل شیوه‌های بومی استفاده از باد در جهت اصلاح معماری مسکن روستایی». رساله جهت دریافت درجه دکترای رشته معماری، اساتید راهنما: اصغر محمدمرادی و غلامحسین معماریان، دانشکده‌ی معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران.
- حیدری، ابوالفضل؛ حیدری، علی؛ و ادیب، آرش، ۱۳۹۱، «شناخت اثر باد بر کالبد روستاهای بومی دشت سیستان و بکارگیری آن در مسکن روستایی امروز، مؤثر در ارتقاء کیفیت شرایط زیست». اولین همایش ملی بیابان، تهران: مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان دانشگاه تهران، صص: ۱-۷.
- حیدری، ابوالفضل؛ معماریان، غلامحسین؛ محمدمرادی، اصغر؛ و حسینعلی‌پور، سید مصطفی، ۱۳۹۳، «بررسی امکان‌پذیری شیوه‌های بومی استفاده از باد در جهت بهبود هویت در معماری مسکن روستایی امروز سیستان». نهمین سمپوزیوم پیشرفت-های علوم و تکنولوژی و همایش ملی معماری، شهرسازی و توسعه پایدار، با محوریت خوانش هویت ایرانی-اسلامی در معماری و شهرسازی، مشهد: ۲۹ آبان، صص: ۱-۱۰.
- خلف‌تبریزی، بن محمدحسین، ۱۳۶۱، برهان قاطع. به‌اهتمام: معین محمد، جلد دوم، تهران: انتشارات امیرکبیر، چاپ چهارم.
- خمر، غلامعلی؛ میرلطفی، محمودرضا؛ بزی، خدارحم؛ و حیدری‌مکرر، حمید ۱۳۸۰، جاذبه‌های توریستی و سیاحتی سیستان. ناشر: روابط عمومی دانشگاه زابل، چاپ اول.
- رخشانی، بدیل، ۱۳۹۱، سیستان. جلد اول، تهران: ناشر افروز، چاپ اول.
- زارعی، محمدابراهیم؛ و میردهقان، سید فضل‌اله، ۱۳۹۵، «نقش الگوی حیاط مرکزی در تعدیل شرایط سخت اقلیم گرم و خشک منطقه یزد». فصلنامه‌ی مطالعات شهر ایرانی اسلامی، شماره‌ی ۲۳، صص: ۵-۱۸.
- زارعی، محمدابراهیم؛ و بهبودی، نغمه، ۱۳۹۵، «بررسی سرعت و فشار حرکت باد در بخش مرکزی سکونتگاه قلعه‌ای ورمال سیستان با بهره‌گیری از شبیه‌سازی CFD». فصلنامه‌ی پژوهش‌های معماری اسلامی، شماره‌ی دهم، سال چهارم، بهار، صص: ۹۴-۱۱۰.
- سرگزی، محمدعلی، ۱۳۹۵، «تأثیر محدوده آسایش حرارتی بر طراحی معماری

www.SID.ir

Archive of SID

منطقه‌ی سیستان». مجله‌ی جغرافیا و آمایش شهری-منطقه‌ای، شماره‌ی ۱۹، صص: ۱۷-۲۶.

- سلیقه، محمد، ۱۳۸۲، «توجه به باد در ساخت کالبد فیزیکی شهر زابل». مجله‌ی جغرافیا و توسعه، شماره‌ی ۲، پاییز و زمستان، صص: ۱۰۹-۱۲۱.

- سلیمانی، سارا؛ و بذرافکن، نسیم، ۱۳۹۲، «پایداری شهرها در اقلیم گرم و خشک سیستان». اولین همایش بین‌المللی و چهارمین همایش ملی عمران شهری، دانشکده‌ی فنی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، ۱۳- ۱۴ و ۱۵ اسفندماه، صص: ۱-۶.

- سندگل، محمدرضا، ۱۳۸۴، پژوهشی-تحقیقاتی آسیب‌شناسی مستندنگاری قلعه (عمارت) مچی سیستان. معاونت حفظ و احیاء، اداره کل میراث‌فرهنگی و گردشگری سیستان و بلوچستان.

- سید سجادی، سیدمنصور، ۱۳۸۳، راهنمای مختصر آثار باستانی سیستان. زاهدان: ناشر سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان سیستان و بلوچستان، چاپ اول.

- صفی‌نژاد، جواد، ۱۳۶۶، مبانی جغرافیای انسانی با اشاراتی به جغرافیای انسانی ایران. تهران: انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.

- فرشاد، مهدی، ۱۳۷۶، تاریخ مهندسی در ایران. به‌کوشش: سید محمد رئیسی، تهران: انتشارات بلخ، چاپ سوم.

- کاوش، حسینعلی، ۱۳۷۷، «شناسایی و معرفی آثار دوران اسلامی سیستان». استاد راهنما: سوسن بیانی، پایان‌نامه جهت دریافت درجه‌ی کارشناسی‌ارشد رشته‌ی باستان‌شناسی، دانشکده‌ی ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه تهران.

- کردوانی، پرویز، ۱۳۸۲، «نگاهی به نقش عوامل طبیعی (اقلیم، کوه، دشت و دریا) در زندگی اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی مردم در برخی مناطق ایران». نشریه‌ی نامه پژوهش فرهنگی، سال ۸، دوره‌ی جدید، شماره‌ی ۸، صص: ۱۲۷-۱۵۸.

- مسعودی، ابوالحسن علی بن حسین، ۱۳۷۰، مروج الذهب. ترجمه‌ی ابوالقاسم پاینده، جلد اول و دوم، تهران: شرکت انتشارات علمی و فرهنگی، چاپ چهارم.

- معماریان، غلامحسین؛ محمدمرادی، اصغر؛ حسینعلی‌پور، سیدمصطفی؛ حیدری، ابوالفضل؛ و دودی، سعیده، ۱۳۹۶، «تحلیل رفتار باد در تهویه طبیعی مسکن بومی روستای قلعه‌نوی سیستان به کمک CFD». نشریه‌ی مسکن و محیط روستا، شماره‌ی ۱۵۷، بهار، صص: ۲۱-۳۶.

- مولایی، صلاح‌الدین؛ و سلیمانی، سارا، ۱۳۹۵، «عناصر با ارزش معماری بومی منطقه سیستان بر مبنای مؤلفه‌های اقلیمی معماری پایدار». مجله‌ی علمی-پژوهشی پژوهشکده هنر، معماری و شهرسازی باغ نظر، سال ۱۳، شماره‌ی ۴۱، مهر و آبان، صص: ۵۷-۶۶.

- ییت، چارلز ادوارد، ۱۳۶۵، سفرنامه خراسان و سیستان. ترجمه‌ی قدرت‌الله روشنی‌زعفرانلو و مهرداد رهبری، تهران: انتشارات یزدان، چاپ اول.

- Bayoumi, O. A. M., 2018, "Nubian Vernacular architecture & contemporary Aswan buildings' enhancement". *Alexandria Engineering*

www.SID.ir

Journal, No. 57, Pp. 875–883.

- Heidari, A.; Sahebzadeh, S. & Dalvand, Z., 2017, "Natural Ventilation in Vernacular Architecture of Sistan, Iran; Classification and CFD Study of Compound Rooms". *Sustainability Journal*, No. 9, Pp. 1-19.

- Poodineh, H., 2017, "Principles of Sustainable Architecture in Sistan Architecture (Case Study: Ghale Nov Village)". *International Journal of Applied Engineering,* Vol. 12, NO 10, Pp. 2162-2170.

- Sahebzadeh, S.; Heidari, A.; Kamelnia, H. & Baghbani, A., 2017, "Sustainability Features of Iran's Vernacular Architecture: A Comparative Study between the Architecture of Hot–Arid and Hot–Arid–Windy Regions". *Sustainability Journal,* No, 9, Pp. 1-28, doi:10.3390.

- Thordal, M. S., Bennetsen, J. C.; Holger, H. & Koss, H., 2019, "Review for practical application of CFD for the determination of wind load on high-rise buildings". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 186, Pp. 155-168.

- Software Google Earth Pro, 2019

- www.webLakes.com (Software WRPLOT View™, Version 8.0, 2019)

- www.irimo.ir (داده‌های سایت سازمان هواشناسی، ۱۳۹۸)

www.SID.ir