

بررسی انطباق معماری اتاق خارخانه‌ی قلعه‌مچی (دوره‌ی صفویه) با بادهای ۱۲۰ روزه در شهر باستانی حوض دار سیستان

نغمه بهبودی^I، زهره اویسی‌کیخا^{II}

شناسه‌ی دیجیتالی (DOI): 10.22084/nbsh.2020.20756.2067

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۴، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۰۹

(از ص ۱۸۷ تا ۲۰۵)

چکیده

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

اقلیم گرم و خشک و طاقت‌فرسای محیط طبیعی منطقه‌ی سیستان، باعث شده 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 قلعه‌مچی» 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، از نظر 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 مبتنی بر مطالعات اسنادی، کتابخانه‌ای و بررسی‌های میدانی در سطح شهر باستانی حوض دار سیستان و قلعه‌مچی است. برای شبیه‌سازی باد از نرم‌افزارهای تحلیلی دینامیک سیالات محاسبات (CFD) استفاده شده است. به سبب 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 دريچه و فضای داخلی اتاق خارخانه، دامنه‌ی عددی بین $4/e93+00$ تا $9/e87-01$ را دربر می‌گیرد و در هنگام مواجهه با درب خروجی (درب اتاق در جبهه‌ی جنوب‌غربی) بیشترین دامنه‌ی عددی بین $2/e96+00$ تا $1/e97+00$ را می‌پیماید؛ هم‌چنین «جهت جریان باد»، به محض ورود به اتاق خارخانه به‌طور مستقیم و کمی مایل به سمت 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 حوض دار، سیستان، قلعه‌مچی، خارخانه، باد، CFD.

مقدمه

منطقه‌ی سیستان در شرق ایران دارای ویژگی‌های خاص و منحصر به فردی است. این منطقه به دلیل طولانی بودن زمان وزش بادهای مختلف «به‌ویژه بادهای ۱۲۰ روزه» و تداوم این بادهای در طول سال، قدرت و سرعت قابل توجه به «سرزمین باد» معروف شده است؛ از این رو، با بسیاری از مناطق بادخیز ایران متفاوت است. بادهای ۱۲۰ روزه‌ی سیستان بیشتر از شمال و شمال غرب 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 طولانی بودن 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»^۱ یا به زبان محلی «خارخونه»، از جمله 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 آنجایی که 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 این اساس، 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 قلعه مچی»^۲ 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، قلعه مچی 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 قلعه مچی (دوره‌ی صفویه) با میزان سرعت متوسط این نوع بادهای در شرایط متعارف است. در این پژوهش از قوی‌ترین روش دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) برای تحلیل جریان وضعیت باد قلعه مچی استفاده شده است؛ بر این اساس مهم‌ترین، پرسش پژوهش این‌گونه مطرح می‌گردد: اتاق خارخانه‌ی قلعه مچی 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 مبتنی بر مطالعات اسنادی، کتابخانه‌ای و بررسی‌های میدانی (پیمایشی) در سطح شهر باستانی حوض‌دار سیستان و قلعه مچی است. برای این منظور، جهت طراحی سازه‌های معماری قلعه مچی از نرم‌افزار 3D Max استفاده شده است. جهت محاسبات دقیق و تحلیل عملیات شبیه‌سازی باد بر روی قلعه از روش و نرم‌افزارهای

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 فلونت» (Ansys Fluent) است که می‌تواند با تبدیل معادلات دیفرانسیل حاکم بر 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 قلعه مچی شامل: استقلال شبکه، شرایط مرزی، شبیه‌سازی جریان باد به وسیله‌ی نرم‌افزار انسیس فلونت انجام گرفته است. به منظور بررسی استقلال شبکه، از چهار «شبکه‌ی غیر سازمان یافته^۲» 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 به منظور 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 اکسل 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 بروی 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 محیط زیست 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

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 از جمله پیاده‌روها، ورودی‌ها، حیاط‌ها، زیرزمین‌ها، انبارها، ایوان‌ها، سقف‌ها و بادگیرها مورد بررسی قرار گرفته‌اند (Sahebzadeh, 2017: 24).

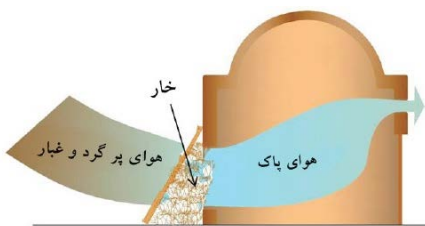
«معماریان» و همکاران (۱۳۹۶)، در پژوهشی با بررسی گونه‌های مختلف اتاق در مسکن بومی موجود در روستای قلعه‌ی نو سیستان، توانستند رفتار باد را در هر یک از گونه‌ها به لحاظ تهویه‌ی طبیعی مورد تحلیل و بررسی قرار دهند و در این راستا به کمک مدل‌سازی CFD وضعیت باد را در معماری این روستا شبیه‌سازی نموده‌اند (معماریان و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۱). «مولانایی» و «سلیمانی» (۱۳۹۵)، در مقاله‌ای با بررسی بر روی ساختار معماری بومی در منطقه‌ی سیستان، به بازشناسی 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 به عنوان 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 آل مظفر 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» به خوبی 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

اقلیم منطقه که سازگاری زیادی با پدیده‌ی اقلیمی غالب منطقه، یعنی «باد» را دارد، توانسته‌اند پیشنهادهای 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 به خوبی با شرایط سخت اقلیمی تطبیق یافته و می‌تواند 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 توسعه یافته 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

به سبب 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 این که بتوان هوای گرم را به هوای مرطوب و معتدل تبدیل کرد از خانه‌هایی به نام «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 آن را دور تا دور خانه، بین شاخه‌ها قرار می‌دهند و به هنگام گرم شدن هوا به آن آب می‌پاشند که با وزیدن باد، هم چون کولر آبی، هوای داخل خانه‌ها را بسیار خنک می‌کند و این در سیستان متعارف است (کردوانی، ۱۳۸۲: ۱۴۵؛ خلف تبریزی، 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؛ علاوه بر منطقه‌ی بلوچستان، در سیستان هم نوعی از این خارخانه‌ها مشاهده می‌گردد. راویان ساختمان سنتی خارخانه‌های مذکور را به شرح پیش‌رو نوشته‌اند: خارخانه‌های سیستان به شکل اتاقی است با دو درب در مقابل یکدیگر که درب‌ها در جهت وزش باد قرار گرفته است، جهت وزش باد شمال شرقی-جنوب غربی است، ولی اهالی آن را شمالی-جنوبی می‌پندارند. درب شمالی (شمال شرقی) خارخانه، ابعادی حدود ۱/۵ در ۲/۵ متر را داراست که به جای درب، محل آن را با خشت و چوب و آجر به صورت



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

شطرنجی مشبک پرو خالی، به شکل ثابت می‌سازند تا هوا از سوراخ‌های مشبک آن عبور نماید. به فاصله‌ی کمی از محل مشبک مذکور، دربی مستطیل شکل به صورت 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، به هنگام 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 به سمت 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 به شکل هوای ملایم و خنک به داخل خارخانه وزیده؛ بدین ترتیب 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 بر روی خار و خاشاک ریخته شده و آن‌ها را مرطوب می‌نمایند (صفی‌نژاد، ۱۳۶۶: ۲۴۱-۲۳۹). «حیدری مکرر» 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 (حیدری مکرر و همکاران، ۱۳۸۰: ۱۵).

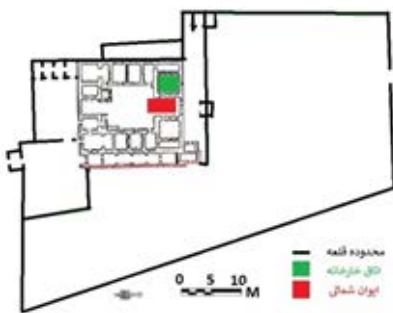
«جورج پیتر تیت» انگلیسی، صاحب منصب و کارشناس نقشه‌برداری، باستان‌شناس و مورخی مطلع بود، در سال‌های ۱۹۰۳ تا ۱۹۰۵ م.، خارخانه‌های سیستان را این‌گونه معرفی می‌نماید که در دیوارهای خانه‌های سیستانی، مشرف به جهت وزش باد، روزنه‌ای تعبیه گردیده و یک پوشال ضخیم ساخته شده از بوته‌های گز و خارستر، از بیرون روی 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 در نظر گرفته شده تا اثرات ناراحت‌کننده‌ی بادهای شمالی که در ماه‌های تابستان می‌وزند، تخفیف داده شود. در دیوار شمالی، چندین خارخانه در نظر گرفته شده که با بوته‌های خارستر پر خواهند شد. دو نفر مستخدم هم، استخدام خواهند گردید تا مرتب به خارها آب بپاشند. طرز کار خارخانه به این ترتیب است که باد از طریق مجاری مخصوص به روی 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

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 برایشان امکان داشته تا برای خنک نگه داشتن 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 این بار، درون خم یک در یا پنجره منظور می‌دارند و در صورتی که 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 روی هم انباشته و یک خارخونه به وجود می‌آورند. در مواقعی که وزش باد (به‌ویژه تابستان) جریان دارد، روی خارهای دیو 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 این اساس، 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.

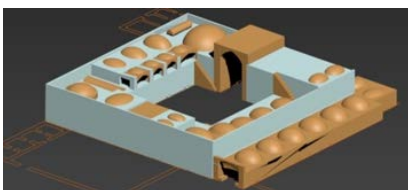
موقعیت جغرافیایی و قدمت تاریخی قلعه‌مچی در شهر باستانی حوض دار

«قلعه‌مچی» در ناحیه‌ی حوض دار 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 جنوب شرقی «حوض دار» قرار دارد (اریاب‌بیکس و همکاران، ۱۳۸۸: ۳۱). «حوض دار» در جنوب شرقی 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 قابل مشاهده است؛ هم‌چنین در شکل ۳، مدل سه‌بعدی قلعه‌مچی با نرم‌افزار 3D MAX نشان داده شده است.

تیت حوض دار را چنین توصیف کرده است: «حوض دار 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



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



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

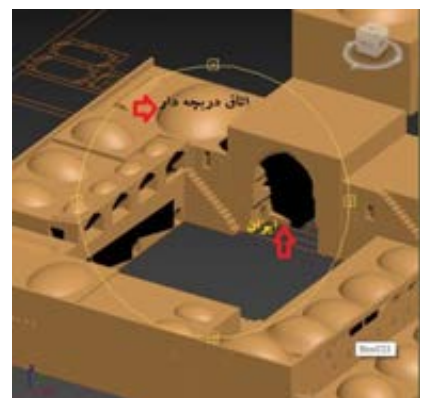
یا مسدود شدن آنها و حتی گاهی در ضمن جریان آب در آن‌ها، آب شهر را فراهم می‌کردند. در شمال قلعه، آثاری از دیوار باغ‌ها دیده می‌شود و در جنوب آن قبرستان موجود است و جلوتر از آن، شهر رستم است» (تیت، ۱۳۶۲: ۱۵۴). «حوض دار» را جایی دانسته‌اند که فرامرز پسر رستم در آنجا با بهرام، پسر اسفندیار جنگیده و بهرام 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 (ارباب بیگس و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۹). «کلنل چارلز ادوارد بیت» در سفرنامه خراسان و سیستان نوشته است: «حوض دار در زمانی ناحیه‌ای پر جمعیت بوده است. در یک میلی جنوب شرقی آن خرابه‌هایی قرار گرفته بود که «مچی» نام داشت. این‌ها باقی‌مانده‌های شهری بود که ساختمان‌هایش هنوز با سقف‌های گنبدی شکل برپا بود. در مورد این‌ها که چرا حوض خالی از سکنه شده، دلیل مستندی نیافتیم. تنها یک فرضیه بود که آن هم 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 به سمت شمال و به قلمرو سیستان مهاجرت می‌کنند» (بیت، ۱۳۶۵: ۸۸). با توجه به مطالعات انجام شده بر روی اشیاء به دست آمده از شهر باستانی حوض دار، می‌توان قدمتی حدود قرن ۶ و ۷ ه.ق. را برای آن در نظر گرفت؛ هم‌چنین شواهد نشان می‌دهد که قلعه مچی 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 خشک شده و قطع شده و بقایای درختان مختلف، از جمله نخل وجود دارد (ارباب بیگس و همکاران، ۱۳۸۸: ۳۱). قطعات سفال و از جمله سفال‌های بسیار جدید در سطح زمین پراکنده است. بنای قلعه مچی نباید چندان قدیمی و بیشتر از دوره‌ی «صفویه» باشد. در اینجا کتیبه‌ای از سال ۱۱۳۰ ه.ق. مربوط به «میرجعفرخان ولد... خان» دیده شده است (سیدسجادی، ۱۳۸۳: ۳۲). در بررسی سطحی و با توجه به کشف سکه‌ی مسی که بر روی 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 حوض دار که قلعه مچی یکی از آثار باستانی این شهر است، امروزه خرابه‌های آن قابل مشاهده، کاملاً متروک و فاقد سکونت است.

ویژگی‌های معماری قلعه مچی (بخش اتاق خارخانه و ایوان شمالی)

ساختمان قلعه مچی از نوع ساختمان‌های دو ایوانه است که جهت آن شمالی-جنوبی به طول و عرض ۳۸ در ۳۹ متر می‌باشد؛ به طور کلی، ساختمان آن تشکیل شده 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 علاوه بر اصطبل، سردر ورودی تأسیسات ساختمانی منفرد، حصار باغ، آب‌انبار و حیاط دیده می‌شود (کاوش، ۱۳۷۷: ۱۶۱). شکل ۴، اتاق خارخانه در مجاور



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



▲ شکل ۵. مدل سه‌بعدی قلعه مچی، موقعیت ایوان شمالی قلعه و اتاق دریچه دار (اتاق خارخانه) با نرم‌افزار 3D MAX (نگارندگان، ۱۳۹۸).

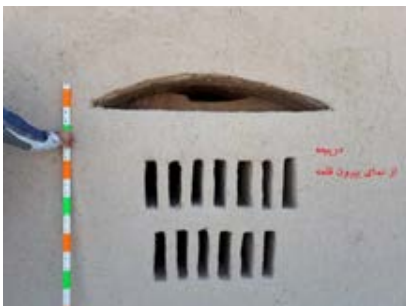
ایوان شمالی، بزرگ‌ترین ایوان قلعه را نشان می‌دهد؛ و شکل ۵، مدل سه‌بعدی قلعه مچی، موقعیت ایوان شمالی قلعه و اتاق دریاچه‌دار (اتاق خارخانه) مشاهده می‌شود.

در ضلع شمالی قلعه، قرینه‌سازی رعایت شده است؛ به طوری که در دو طرف ایوان شمالی بزرگ‌ترین اتاق‌های قلعه ساخته شده و در مجاورت آن‌ها نیز (گوشه) اتاق‌های مکعب، مستطیل با طاق بیضوی دیده می‌شود که هر کدام از آن‌ها پنجره‌ای رو به شمال و ورودی‌هایی به اتاق‌های ضلع جنوبی دارند. اتاق‌ها از طرح ساده‌ای برخوردارند و نور کمی از پنجره‌ها به داخل اتاق هدایت می‌شود؛ از این رو تا حدودی تاریک و بسیار خنک می‌باشند. اتاق مجاور ایوان شمالی که بزرگ‌ترین و مرتفع‌ترین قسمت قلعه است و گنبد آن بر روی چهار فیلیپوش قرار دارد، به نظر می‌رسد از اهمیت خاصی برخوردار بوده؛ زیرا به تعداد زیادی طاقچه و طاق نما در داخل آن ساخته شده است و یک ورودی به ایوان شمالی دارد و در ضلع شمالی آن نزدیک کف، پنجره‌ای وجود دارد که احتمالاً کاربرد خارخانه را داشته است (کاوش، ۱۳۷۷: ۱۶۶). شکل ۶، موقعیت دریاچه‌ی خارخانه، از نمای بیرون قلعه مچی و در شکل ۷، دریاچه با کاربرد خارخانه در ضلع شمالی قلعه قابل مشاهده است.



► شکل ۶. موقعیت دریاچه‌ی خارخانه، از نمای بیرون قلعه مچی (نگارندگان، ۱۳۹۷).

محوطه‌ی مقابل قلعه مچی، واقع در شمال بنا که با توجه به نوشته‌ها در گذشته باغ سرسبزی بوده است و به دلیل خشک‌سالی و کوچ انسان‌ها به بیابانی لم‌یزرع تبدیل شده است. وجود باغ در قسمت شمالی بنا با توجه به جهت وزش باد که از شمال غرب می‌وزد و این‌که این بادها غالباً سرعت زیادی دارند و همراه با گرد و غبار می‌باشند، موجب گردیده تا بتواند به عنوان 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 قلعه مچی 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 دریاچه است و عملکرد خارخانه نداشته است و فقط درب ورودی اتاق خارخانه به ایوان شمالی باز می‌شود.



▲ شکل ۷. قلعه مچی، دریاچه با کاربرد خارخانه (نگارندگان، ۱۳۹۷).

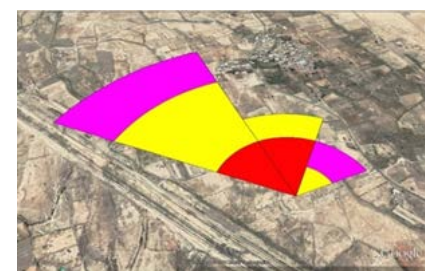
یافته‌های پژوهش

جهت و سرعت جریان باد در شهر باستانی حوض دار (قلعه مچی)

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 این اساس، وضعیت بلندمدت پارامترهای اقلیمی می‌تواند وضعیت اقلیمی جهت و سرعت باد را نشان دهند و مؤید شرایط نسبی اقلیمی باشند که مطابق اصول آب‌وهواشناسی و نظر متخصصان^۴ تفاوت چشمگیری با دوره‌ی صفویه ندارند.

از نرم‌افزار مایکروسافت اکسل برای «ساخت فایل هواشناسی استاندارد» و برای تنظیمات داده‌های باد بر اساس 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 بر روی خروجی تصاویر ماهواره‌ای مستقر شد. نمونه‌ای از گلباد جهت بادهای ۱۲۰ روزه‌ی سیستان به وسیله 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 به سبب تعداد و حجم زیاد فقط یک نمونه‌ی خروجی گلباد برای نشان دادن جهت بیشترین بادهای ۱۲۰ روزه‌ی سیستان، در این مقاله ارائه شده است.

در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور، شدیدترین و بیشترین بادهای جریان دارد و میزان متوسط سرعت بادهای ۱۲۰ روزه‌ی ثبت شده‌ی ایستگاه هواشناسی زابل طی این فصول، در جهت شمال و شمال غربی به ترتیب ۶/۵ و ۹ متر بر ثانیه به دست 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 به وسیله نرم‌افزار WRPLOT View و گوگل ارث پرو (نگارنگان، ۱۳۹۸).

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

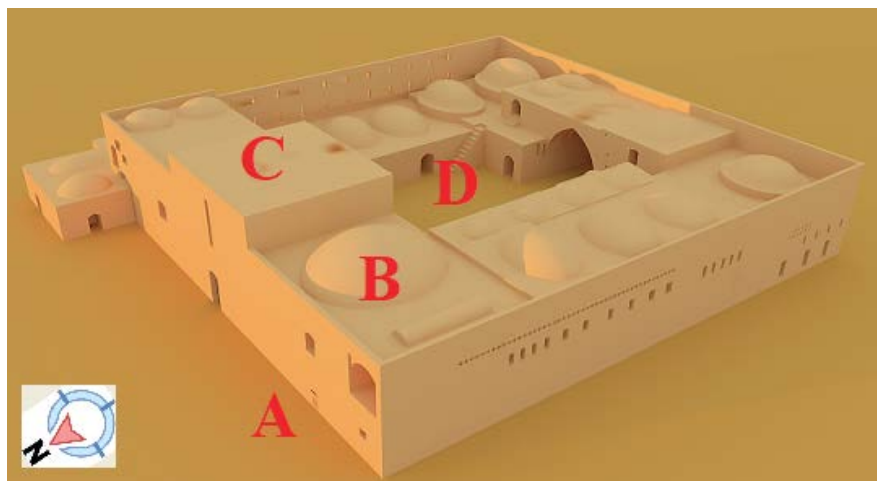
جدول ۱. بیشترین میانگین سرعت باد، طی سال‌های ۱۹۶۳ تا ۲۰۱۴ م. (سازمان هواشناسی کشور و محاسبات)، (زارعی و بهبودی، ۱۳۹۵: ۱۰۱).

با توجه به داده‌های هواشناسی با شروع بادهای غالب (بادهای ۱۲۰ روزه‌ی سیستان) در ماه‌های (می تا سپتامبر) که طبق نظر پژوهشگران اقلیم‌شناس از جمله «محمد سلیقه» (۱۳۸۲)، میانگین این بادهای تعیین شده است؛ به سبب گستردگی حجم عملیات شبیه‌سازی و تنوع سناریوهای خروجی، میانگین باد با سرعت ۶/۵ متر بر ثانیه بر روی دریچه‌ی اتاق خارخانه‌ی قلعه مچی، با نرم‌افزار انسیس فلونت اجرا گردید. لازم به ذکر است، در هنگام وزش بادهای ۱۲۰ روزه‌ی سیستان با بیشترین سرعت حدود ۱۲۰ کیلومتر در ساعت، این بادهای کارآیی مطلوب بر روی اتاق خارخانه‌ی قلعه مچی ندارند؛ به نحوی که در هنگام وزش این نوع بادهای شدید

ساکنین قلعه مجبور به بستن دریچه‌ی خارخانه می‌شدند؛ از سوی دیگر، توپوگرافی (پستی و بلندی) سطح منطقه‌ی سیستان در دید کلی یکنواخت و دشت مانند با شیب کم است، به طوری که ایستگاه هواشناسی فرودگاه زابل ۴۸۹ متر و ایستگاه هواشناسی زهک ۴۹۶ متر از سطح دریا ارتفاع دارند و ارتفاع شهر باستانی حوض دار و مطالعه‌ی موردی مقاله‌ی حاضر، قلعه‌مچی حدود ۴۸۴ متر است. از این رو، 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 این رو، از نرم‌افزار شبیه‌سازی انسیس فلونت 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 آن قدر طولانی و گسترده است که ضروری می‌نماید تا از نرم‌افزارهای محاسباتی انسیس فلونت استفاده شود. تحلیل عددی در نرم‌افزار انسیس فلونت از حل گر Pressure Based و برای مدل ویسکوزیته از مدل K-ε 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 فلونت شده است؛ به سبب قوسی بودن معماری و پیچیدگی‌های هندسی، فرآیند مراحل عملیات تولید حجم (توده) و اصلاحات هندسی معماری قلعه‌مچی در نرم‌افزار Ansys Fluent صورت پذیرفته 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).

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

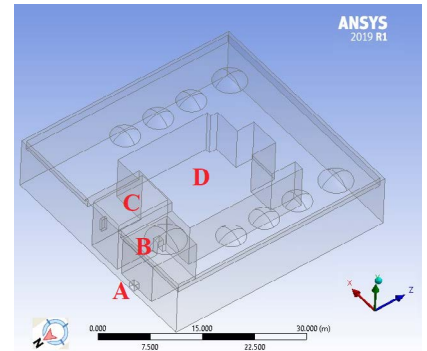
نتایج شبیه‌سازی CFD وضعیت جهت و سرعت باد در اتاق خارخانه‌ی قلعه مچی

براساس موارد مطرح‌شده‌ی بالا و تعیین جهت بادهای ۱۲۰ روزه، سناریوهای مختلفی در ادامه انجام و ارائه می‌گردد؛ براین اساس، 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 Ansys Meshing شبیه‌سازی انجام شده است. نمونه‌ی شبکه‌ی ۵/۰ میلیون سلولی قلعه مچی در شکل ۱۱، به صورت دو بُعدی و سه بُعدی با نرم‌افزار Ansys Meshing نشان داده شده است.

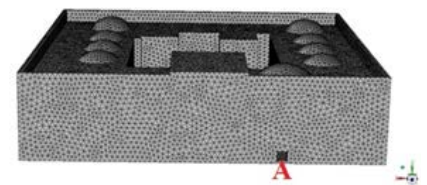
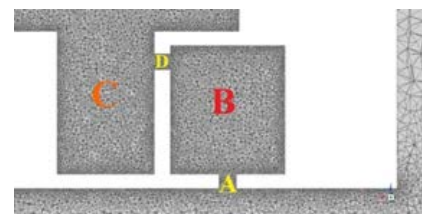
لازم به ذکر است، انجام عملیات مش‌بندی Ansys Meshing و انتخاب نوع مش می‌بایست با دقت خیلی بالا و به صورت علمی انجام پذیرد؛ چنانچه مش‌بندی و انتخاب نوع مش به خوبی انجام نپذیرد، نتایج شبیه‌سازی با خطا مواجه خواهد شد؛ از این رو، انجام عملیات مش‌بندی و انتخاب نوع مش، وقت و زمان زیادی از حجم عملیات CFD را به خود اختصاص می‌دهد. بعد از انجام عملیات مش‌بندی بستر انجام عملیات شبیه‌سازی CFD مهیا می‌گردد، براساس اهداف پژوهش انجام انواع سناریوها امکان پذیر 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 Ansys Meshing کانتورهای میانگین سرعت بر روی 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 یک بار 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 به صورت باز و بسته، با بررسی کانتورها نشان می‌دهد.

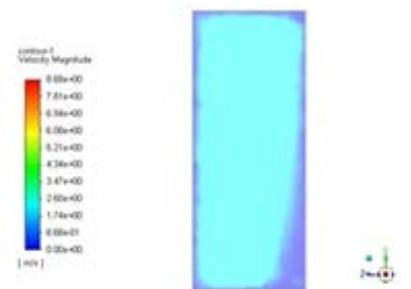
با توجه به زاویه‌ی ورودی دریچه‌ی اتاق خارخانه، برای بهره‌گیری از بادهای ۱۲۰ روزه که از جهت شمال و شمال غربی می‌وزند، به‌گونه‌ای طراحی شده است که به راحتی باد را به فضای داخلی اتاق خارخانه هدایت می‌کرده است. نتایج



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



▲ شکل ۱۱. نمونه‌ی خروجی استقلال شبکه ۵/۰ میلیون سلولی قلعه مچی با نرم‌افزار Ansys Meshing به صورت دو بُعدی و سه بُعدی: A: دریچه‌ی اتاق خارخانه (ورودی باد)، B: اتاق خارخانه، C: ایوان شمالی و D: خروجی باد به ایوان شمالی (نگارندگان، ۱۳۹۸).



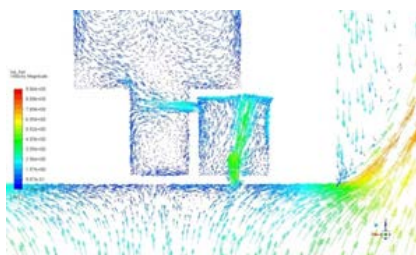
▲ شکل ۱۲. کانتور میانگین سرعت بر روی دریچه (نگارندگان، ۱۳۹۸).

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

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 ۳. بررسی کانتورها دریچه‌ی اتاق خارخانه به صورت باز و بسته (نگارندگان، ۱۳۹۸).

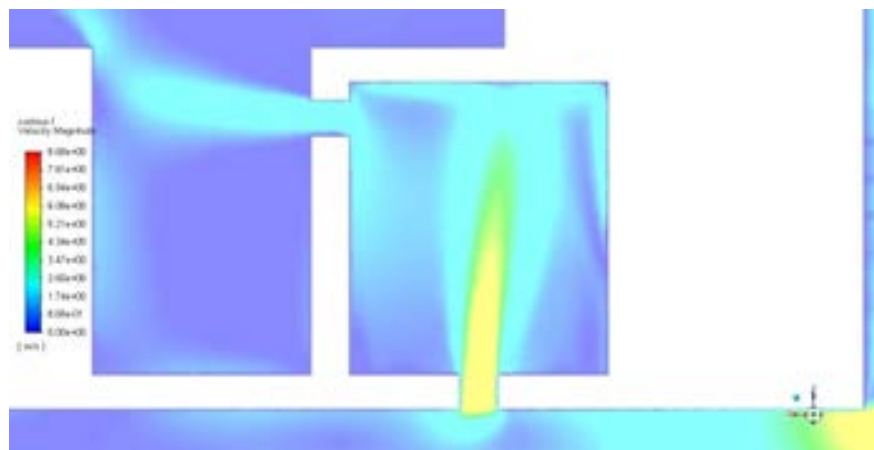
وضعیت‌ها	دریچه‌ی اتاق خارخانه به صورت باز	دریچه‌ی اتاق خارخانه به صورت بسته
تعداد شبکه	۲۶۹۹۹۶۴	۲۶۵۹۹۸۶
میانگین سرعت خروجی، جریان باد از طریق دریچه‌ی اتاق خارخانه	۲/۴۷۳ m/s	۲/۵۶۲ m/s
میانگین سرعت ورودی، جریان باد از طریق دریچه‌ی اتاق خارخانه	۵/۶۴۰۱۵۶ m/s	۵/۷۸۱۰۴۸ m/s



▲ 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).

شبیه‌سازی CFD در بخشی از محدوده‌ی شمالی قلعه‌مچی شکل ۱۳، «جریان سرعت باد»، دامنه‌های عددی با بیشترین دامنه‌ی $۹/۵۸۶+۰۰$ (قرمز تیره) تا کمترین دامنه‌ی عددی $۱/۵۱۶-۰۳$ (آبی تیره) را نشان می‌دهد؛ هم‌چنین سرعت باد در بخش دریچه و فضای داخلی اتاق خارخانه، دامنه‌های عددی بین $۳/۵۹۵+۰۰$ (سبز تیره) تا $۵/۵۹۲+۰۰$ (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 به سمت بخش غربی یا درب اتاق خارخانه متمایل شده است و از آن طریق جریان باد به ایوان شمالی وارد می‌شود؛ بر این اساس، سرعت جریان باد تغییر نموده است، به نحوی که دامنه‌ی عددی بین $۴/۵۹۳+۰۰$ (رنگ سبز) تا $۹/۵۸۷-۰۱$ (رنگ آبی) را می‌پیماید؛ و در هنگام مواجهه با درب خروجی جریان باد (درب اتاق) بیشترین دامنه‌ی عددی بین $۲/۵۹۶+۰۰$ (آبی روشن) تا $۱/۵۹۷+۰۰$ (رنگ آبی) را نشان می‌دهد.

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



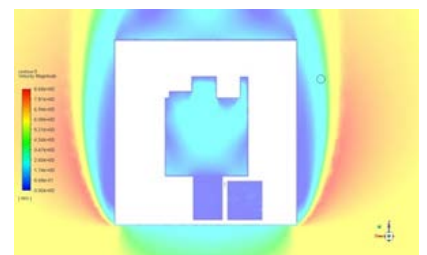
► شکل ۱۴. کانتورهای جریان باد، در ورود به اتاق خارخانه‌ی قلعه‌مچی و خروج از اتاق خارخانه به ایوان شمالی (در راستای دریچه‌ی ورودی از اتاق خارخانه به ایوان)، (نگارندگان، ۱۳۹۸).

درب اتاق خارخانه در بخش جنوب‌غربی، جریان باد راه خروج را به سمت 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.



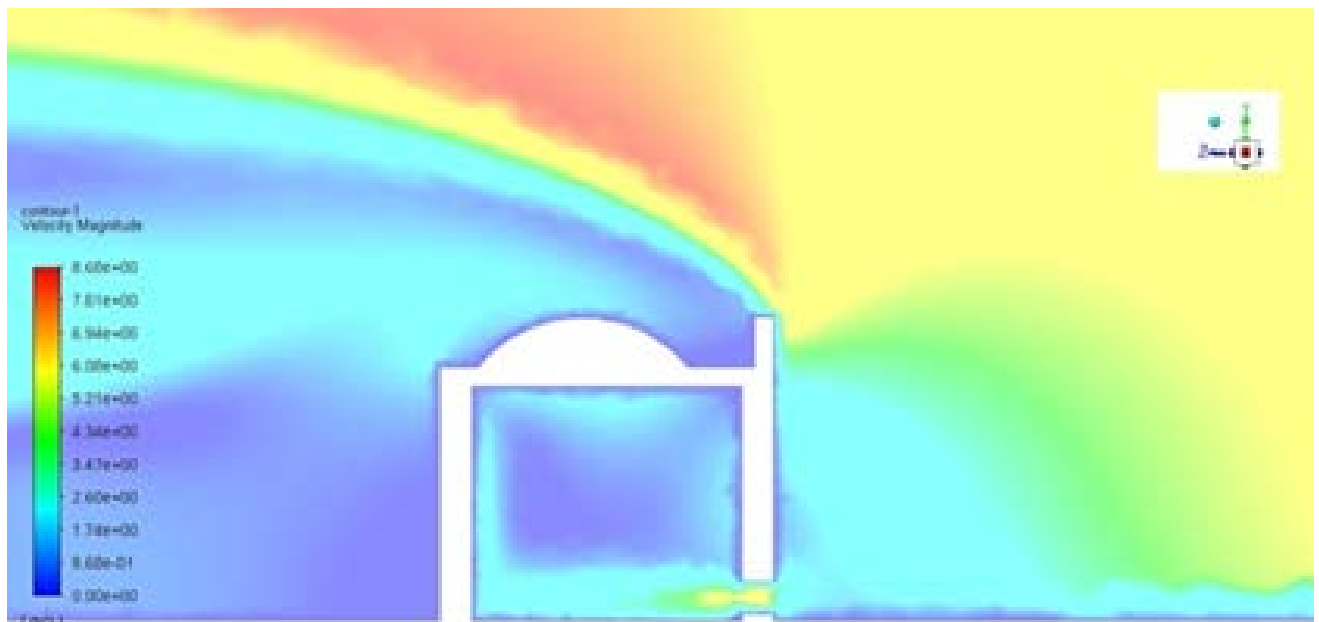
▲ شکل ۱۵. شبیه‌سازی CFD کانتورهای جریان باد در ورود به اتاق خارخانه‌ی قلعه‌مچی و خروجی از اتاق خارخانه به ایوان شمالی (نگارندگان، ۱۳۹۸).

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



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

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 بر روی اتاق خارخانه و دریچه، انجام و اجرا شد. این نمونه‌ی شبیه‌سازی هم‌چنان‌که در شکل ۱۷، قابل مشاهده است، کانتورهای جریان سرعت باد در بخش ورود به دریچه‌ی خارخانه ۶/۵۰۸+۰۰ (رنگ زرد) و لبه‌ی دیوار رخ‌بام وضعیت‌ها بهتر قابل تأمل و تحلیل می‌نماید.



بیشترین کانتورهای جریان سرعت باد، هنگام «ورود به دریچه‌ی خارخانه» با دامنه‌ی عددی ۶/۵۰۸+۰۰ (رنگ زرد) قابل مشاهده است. در پشت بام هرچه ارتفاع افزایش پیدا می‌کند، براساس قوانین و گرادیان باد (روابط و معادلات ریاضی) کانتورهای جریان سرعت باد دامنه‌ی عددی ۶/۵۹۴+۰۰ (رنگ زرد مایل به قرمز)،

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

بیشتر از اتاق خارخانه را نشان می‌دهد. قابل توجه است که در مقابل دریچه‌ی ورودی خارخانه، ابتدای ورود باد به دریچه از بیرون به درون اتاق خارخانه پس از طی مسافت حدود ۱۵۰ سانتی متر سرعتی حدود $6/e0.8+00$ (رنگ زرد) را طی می‌نماید و بعد از جریان در درون اتاق خارخانه‌ی قلعه، روند آرامی را پیدا می‌کند که سرعتی در حدود $4/e3.4+00$ (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 $2/e6.0+00$ (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 $6/5$ 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 به سمت بخش غربی یا درب اتاق خارخانه متمایل شده است و از آن طریق جریان باد به ایوان شمالی وارد می‌شود؛ بر این اساس، سرعت و جهت جریان باد تغییر نموده است. هم‌چنین نتایج شبیه‌سازی CFD «جهت جریان باد» نشان می‌دهد، به محض ورود باد به اتاق خارخانه به‌طور مستقیم و کمی مایل به سمت راست، به دیوار جنوبی برخورد می‌نماید، بعد از برخورد و تلاطم‌های جانبی، به سبب وجود درب اتاق خارخانه در بخش جنوب‌غربی، جریان باد راه خروج را به سمت 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

معماری آن با جهت شمال و شمال غربی و سرعت حدود میانگین ۶/۵ متر برثانیه بادهای ۱۲۰ روزه‌ی سیستان طی ماه‌های گرم سال، در دوره‌ی صفویه تأیید می‌شود؛ البته این نکته‌ی قابل توجه است که در پژوهش حاضر، تلاش شده است با رویکرد باستان‌شناسی و براساس وضعیت داده‌های اقلیمی و پیشینه‌ی پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، کلیت وجود جریان باد در اتاق خارخانه‌ی دوره‌ی صفوی قلعه مچی 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 قلعه مچی 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 «اچکن» (در بلوچستان)، «بخ‌دکن» (در کرمان) و در بندرعباس «آدوریند» گفته می‌شود (سلیمانی و بذرافکن، ۱۳۹۲: ۵).
۲. Machi، «مچ» در زبان محلی به معنی «درخت خرما» بوده است، چون در تمام منطقه نخلستان‌های فراوان و وسیعی وجود داشته است؛ از این‌رو، این قلعه به این نام شهرت پیدا کرده است (ارباب‌بیکس و همکاران، ۱۳۸۸: ۳۱).
۳. «شبکه‌ی غیرسازمان یافته» Unstructure Grid.
۴. برای اطلاعات بیشتر در زمینه‌ی مدت زمان 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 آب‌هواشناسی، تهران: سازمان سمت، صفحه‌های ۲۱ و ۳۹۲.
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.

- 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. به اهتمام: رئیس‌الذکرین غلامعلی، مشهد: چاپخانه‌ی سعید، انتشارات اداره حفظ و احیای میراث فرهنگی اداره کل ارشاد اسلامی سیستان و بلوچستان، چاپ اول.
- حیدری مکرر، 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 دکترا در رشته معماری، اساتید راهنما: اصغر محمدمرادی و غلامحسین معاریان، 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؛ معاریان، غلامحسین؛ محمدمرادی، اصغر؛ و حسینعلی پور، 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.
- خلف تبریزی، بن محمدحسین، ۱۳۶۱، برهان قاطع. به اهتمام: معین محمد، جلد دوم، تهران: انتشارات امیرکبیر، چاپ چهارم.
- خمر، غلامعلی؛ میرلطفی، محمودرضا؛ بزی، خدارحم؛ و حیدری مکرر، 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

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 سنجند، 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 میراث فرهنگی 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 کارشناسی ارشد 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؛ حسینعلی پور، 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.

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

- بییت، 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*

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)

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