

مقاله پژوهشی

تحلیل و مقایسه عملکرد جریان باد در آسباد منفرد سیستان و آسباد ساده خراسان با استفاده از نرم افزار ANSYS

حامد ابراهیمی^۱، مهدی مرتضوی^{۲*}، فریبا موسی پور نگاری^۳

۱- دانشجوی دکتری معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان

۲- دانشیار گروه باستان شناسی و پژوهشکده علوم باستان شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

۳- استادیار گروه باستان شناسی و پژوهشکده علوم باستان شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

(دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۵، پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۱۶)

چکیده

معماری ایران، با رمز و رازهای نهفته در آن، کلید پاسخ به نیازهای مردمانی است که انبوهی از ضعف‌ها و تهدیدهای اقلیمی و جغرافیایی را به صورت خردمندانه و به پشتوانه تجارب صدها و هزاران سال، به نقاط قوت و ایجاد فرصت‌های طلایی بدل کرده‌اند. آسباد از جمله مهم‌ترین این فرصت‌ها و سازه‌های معماری کویری ایران است. این کارخانه کوچک و به‌ظاهر ساده نمایانگر تلفیق هنر و دانش معماری صنعتی پیشینیان این سرزمین در بهره‌گیری به‌جا و شایسته از امکانات محلی و بومی است. آسبادها در نیمه جنوبی خراسان بزرگ و سیستان هر جا که باد از شدت مناسبی برخوردار باشد ساخته می‌شدند، با شناخت و مقایسه عملکرد این سازه‌ها و از سویی دیگر با توجه به نابودی منابع سوخت فسیلی، می‌توان از دانش ساخت آسبادها در ساختارهای امروز معماری جهت تولید انرژی بهره گرفت. باهدف شناخت عملکرد این سازه‌ها این پژوهش به بررسی عملکرد آسبادها در دو منطقه سیستان و خراسان پرداخته است و به بررسی این سوال می‌پردازد که کدامیک از آسبادهای خراسان و سیستان عملکرد مطلوب‌تری در به‌کارگیری از انرژی باد را نشان می‌دهد؟ برای این منظور از نرم‌افزار ANSYS ورژن ۱۹ برای مقایسه عملکرد این دو سازه بادی استفاده شده است و یافته‌ها و نتایج تحقیق نشان می‌دهد، آسباد سیستان به دلیل وجود دهانه وسیع‌تر و ورودی هوای مناسب‌تر عملکرد مطلوب‌تری را شکل می‌دهد.

کلید واژه‌ها: خراسان، سیستان، انرژی باد، آسباد، انسیس

۱-مقدمه

عوامل مؤثر بر معماری و شهرسازی ایران را می‌توان به گونه‌ای کلی در سه گروه مطرح کرد؛ اول مسائل جهانی، دوم عوامل اقتصادی و سوم عوامل محیط یا اقلیمی (حبیبی، ۱۳۸۶: ۴). اقلیم یکی از عوامل مؤثری است که تمامی ابعاد زندگی انسان را تحت تأثیر قرار داده است. فضاهای معماری هر منطقه، مرتبط و همگام با اقلیم و طبیعت پیرامونش به نحوی بازگوکننده روابط متقابل میان انسان و طبیعت است که در قامت یک اثر معماری خاص خود را جلوه گر می‌سازد. هر نوع خاص از اقلیم و شرایط جغرافیایی، توصیه‌های عملی خاصی را برای مواجهه با محیط مصنوع پیشنهاد می‌کند و همین عامل، معیاری هویت‌بخش و تفاوت آفرین در معماری بوده است (سرتیپی پور، ۱۳۸۸). آسبادهای از مهم‌ترین عناصر این تطابق بین انسان، معماری و محیط است. این سازه‌های بی‌نظیر با استفاده از دانش انسانی و معماری بی‌نظیر با بهره‌گیری از توانایی انرژی باد جهت تأمین نیازهای انسان ساخته شده‌اند. بدیهی است که آسبادهای در آنها در مناطقی می‌بینیم که بادخیز بوده و قدرت باد به حدی است که می‌تواند آسیاهای سنگین و عظیم را به چرخش در بیاورد.

قدیمی‌ترین سازه‌های بادی در جهان آسبادهای هستند که به دو دسته عمده آسبادهای ایرانی و اروپایی تقسیم می‌شوند، سازوکار هر دو دسته با کمی تفاوت در زمینه و تاریخ ابداع از آسیاب‌های تنورهای ایرانی و ویتروویوسی الهام گرفته شده است. در نمونه ایرانی، پروانه حول محور عمودی می‌چرخد و در نتیجه ساختار معماری بنا از تحمل وزن و محدودیت‌های شکلی پروانه رها می‌شود و می‌تواند کارکردهای متنوعی پیدا کند تا آنجا که شاید پویاترین فرم معماری ساختمان‌های صنعتی باستان متعلق به آسبادهای ایرانی باشد (کامیز مشتاق گوهری، ۱۳۹۲: ۲۰). این آسبادهای در نتیجه برخورد تمدن‌ها در جنگ‌های صلیبی به غرب رفته

و متناسب با ویژگی‌های اقلیمی آن دیار دچار تغییراتی شده که در نهایت با پدید آمدن گونه اروپایی آسبادهای که هم چون آسیاب ویتروویوسی دارای محور افقی هستند نسل جدیدی از آسیاب‌ها را پدید آورده است (خضری و ایمانی، ۱۳۸۸). آسبادهای در دو منطقه سیستان و خراسان به دلیل وجود بادهای با سرعت بالا و مداوم مورد استفاده قرار گرفته‌اند اما ساختار آسبادهای در این دو منطقه با یکدیگر متفاوت است و این تفاوت ساختاری به احتمال زیاد بر عملکرد آن‌ها تأثیر گذار است. شناخت و مقایسه این آسبادهای و دانش به دست آمده از این طریق، امکان بهره‌گیری از انرژی باد در معماری امروز که با کاهش منابع سوخت فسیلی به دنبال استفاده از انرژی‌های روز است را برآیند میسر می‌سازد. به همین علت در پژوهش پیش رو با استفاده از نرم‌افزار ANSYS به تحلیل عملکرد آسبادهای منفرد سیستان و آسبادهای خراسان پرداخته شده است. هدف اصلی تحقیق، بررسی و مقایسه عملکرد آسبادهای خراسان و سیستان است. روش تحقیق بر اساس نحوه کنترل از نوع آزمایشی و مورد پژوهشی بوده است و از نظر روش گردآوری داده‌ها به دو بخش تقسیم می‌گردد، ابتدا میدانی، که در طی آن مستندنگاری شواهد معماری آسبادهای صورت گرفته است و سپس غیر میدانی که براساس داده‌های آماری و تحلیل و شبیه‌سازی رایانه‌ای انجام شده است. پژوهش مورد نظر براساس هدف از نوع روش تحقیق کاربردی با هدف توسعه دانش خروجی از پژوهش بوده است و براساس ماهیت و روش از نوع موردی، تاریخی و تداومی است. موردی از این جهت که موردی از آسبادهای سیستان و نشتیفان انتخاب شده است، تاریخی به این دلیل که ساختارها به گذشته تعلق دارند و تداومی به علت کسب دانش‌های تحلیلی از این پژوهش و کاربردی آن در پژوهش‌های آتی است. روش جمع‌آوری اطلاعات بر اساس مطالعات

میدانی که از طریق روش مستندنگاری حاصل شده است و با بهره‌گیری از اطلاعات کتابخانه‌ای صورت پذیرفته است.

داده‌های معماری و اطلاعات میدانی آسباد ساده منفرد نشیمن	داده‌های معماری و اطلاعات میدانی آسباد قلعه مچی سیستان
بررسی اطلاعات معماری	
شبیه‌سازی سه بعدی آسباد ساده منفرد نشیمن در نرم افزار ANSYS	شبیه‌سازی سه بعدی آسباد شماره ۲ قلعه مچی سیستان در نرم افزار ANSYS
شبیه‌سازی جریان باد در جبهه رو به باد آسباد ساده منفرد نشیمن در نرم افزار ANSYS	شبیه‌سازی جریان باد در جبهه رو به باد آسباد شماره ۲ قلعه مچی سیستان در نرم افزار ANSYS
بررسی داده‌ها و نتایج خروجی جریان باد آسباد نشیمن	بررسی داده‌ها و نتایج خروجی جریان باد آسباد شماره ۲ قلعه مچی سیستان
ارائه آیت‌های تأثیرگذار در مقایسه عملکرد آسبادها در مقابل انرژی باد	
تحلیل آیت‌های تأثیرگذار با توجه به نتایج شبیه‌سازی در عملکرد آسبادها در مقابل انرژی باد	
بررسی نتایج و ارائه راهکار	

نمودار ۱- مکانیزم نتیجه‌گیری و ساختار تحقیق (مأخذ: نگارندگان)

۲- پرسش‌های پژوهش

سوال اصلی پژوهش این است که کدامیک از آسبادهای خراسان و سیستان عملکرد مطلوب‌تری را در مقابل انرژی باد از خود نشان می‌دهد؟ و دلایل آن چیست؟

۳- پیشینه تحقیق

از قدیمی‌ترین پژوهش‌های معاصر در خصوص آسباد، مقاله‌ای است از بقراط نادری که به معرفی اجزای کالبدی و مکانیکی آسبادهای خواف، نحوه کارکرد آن‌ها و چگونگی تهیه سنگ آسیا می‌پردازد. این مقاله اساس بسیاری از پژوهش‌های آتی معماری در مورد آسبادهاست (نادری، ۱۳۵۶: ۷۵-۸۵). افشار سیستانی در صفحات نخستین کتاب بزرگان سیستان به معرفی شرایط اقلیمی و بادهای منطقه سیستان پرداخته و ضمن اشاره به بازه زمانی وزش و سرعت بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، به کاربرد این باد در آسبادها اشاره کرده و تصویری

در پژوهش پیش‌رو، ابتدا با استفاده از منابع کتابخانه‌ای و داده‌های میدانی اطلاعات نظری و شواهد معماری آسباد شماره ۲ قلعه مچی در منطقه سیستان و آسباد نشیمن در خراسان رضوی مورد بررسی قرار گرفته و اطلاعات مورد نیاز گردآوری شده است. سپس مدل‌های سه بعدی مطابق با ابعاد بدست آمده از این دو مدل آسباد در نرم افزار ANSYS ساخته شده و جریان باد در این دو مدل با استفاده از نرم افزار ANSYS و داده‌های اقلیمی این دو منطقه شبیه‌سازی و مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج خروجی تحلیل و با استفاده از آیت‌های تأثیرگذار جهت مقایسه دو آسباد ذکر شده با استفاده از نرم افزار SPSS به مقایسه داده‌های این دو مدل آسباد پرداخته شده و در انتها در نتیجه‌گیری تحقیق خروجی یافته‌ها بررسی و سوالات پژوهش پاسخ داده شده و اطلاعاتی که می‌توان در پژوهش‌های آتی مورد استفاده قرار گرفته شود ارائه گردیده است.

از آسبادهای سیستان ارائه نموده است (سیستانی، ۱۳۶۷: ۲۰) (Shepherd, 1990: 6-10).

احراری رود در کتاب خواف در گذر تاریخ به شرح کامل نحوه کارکرد آسبادهای خواف، اجزا و ضرب‌المثل‌های مرتبط با آن پرداخته است (احراری، ۱۳۸۳: ۲۸). قهرمانی و بهادری نیز ضمن بررسی اجزای کالبدی آسبادهای نشتیفان خواف و نحوه کارکرد آسبادهای، در جدولی کامل، تمامی قطعات مکانیکی آسبادهای نشتیفان را معرفی می‌کنند (قهرمانی و بهادی، ۱۳۹۲: ۶۴-۵۱). مشایخی ضمن گونه‌شناسی آسبادهای سیستان بزرگ، به سه دسته آسباد ساده، حلقوی و آسباد دالانی اشاره کرده و در یک تصویر شماتیک، اثرات باد را در سه مدل به تصویر کشیده‌اند (مشایخی، ۱۳۹۲: ۵۳).

گاش^۳ در کتاب نیروگاه‌های بادی، تاریخ توسعه آسیاهای بادی را شرح داده و آسیاهای بادی ایرانی را افغانستانی نامیده و در تأیید سخن خود، همان تصویر آسباد در کتاب بزرگان سیستان را نیز ارائه کرده است (Gasch, 2012: 15). زایاتس^۴ در بررسی سابقه آسیاهای بادی، به آسبادهای ایرانی در سیستان اشاره کرده و کاربردهای متعدد آن را ذکر می‌کند، سپس به شرح تصویر ارزشمند آسبادهای اولیه می‌پردازد که در کتاب دمشقی ارائه شده است. در حوزه علوم مهندسی، مطالعات و آزمایش‌های متعدد و بسیاری در خصوص نحوه طراحی انواع توربین‌های بادی و به کارگیری از نیروی باد در ایران و سایر کشورهای جهان انجام شده است که این مطالعات ارتباطی به تجارب معماری آسبادها ندارد. از آنجا که پژوهش حاضر به تبیین تجارب معماری ایران و ضرورت بهره‌گیری از این تجارب می‌پردازد لذا در این مجال، به اندک مطالعاتی پرداخته که اشاره‌ای گاه مختصر یا مفصل به آسبادها در زمینه علوم، مهندسی شده است (Zayats, 2015: 690-700).

مولر^۵، جنش^۶ و استودارت^۷، ضمن اشاره به آسبادهای سیستان و خراسان به عنوان آسیای محور عمودی، محاسباتی را در خصوص انرژی حاصل از آسبادهای سیستان ارائه می‌کنند و در نهایت پیشنهاد استفاده از توربین بادی محور عمودی را در برج‌ها و ساختمان‌های بلندمرتبه ارائه می‌کنند (Muller & Jentsch and Stoddart, 2009: 1407-1412).

۴- یافته‌های تحقیق

۴-۱- واژه‌شناسی

آسیا، کارافزاری برای آرد کردن گندم، جو و دانه‌های گیاهی است. واژه آسیاب، از دو بخش «آس» و «آب» تشکیل شده است. جزء «آس» در این کلمه در گویش‌های کهن ایرانی به معنی «سنگ» بوده است. المعجم این واژه را در کتابش چنین تعریف شده است:

«آسیاب اصلش آسْ آبْ بوده است، یاء در افزوده‌اند و به کثرت استعمال بآء طرح کرده و آسیا می‌گویند.» (شمس قیس رازی، ۱۳۳۸: ۳۰۵).

در فرهنگ معین نیز ذیل واژه آس آمده است:

«دو سنگ گرد و مسطح بر هم نهاده و سنگ زیرین در میان میلی آهنین و جز آن از سوراخ میان سنگ زیرین در گذشته و سنگ فوقانی به قوت دست آدمی یا ستور یا باد یا آب یا برق یا بخار چرخد و حبوب و جز آن را خرد کند و آرد سازد.» (معین، ۱۳۶۲).

واژه «آس» نخست به معنی آسیای آب شهرت گرفته، سپس در ترکیب با کلمات آب، باد، دست، ستور و چرخ، برای تسمیه و تخصیص گونه‌های مختلف آسیا، استعمال شده است. همچنین معادل واژه‌های عربی «رحالید»، «جاحله» و «طاحونه»^۸ نیز به فارسی، کلمات مرکب دست آسیا، چرخ آسیا یا آسیای چرخ و آسیای آب است. آسیاب بادی یا آسیای بادی که به آسباد مشهور شده، گونه‌ای آسیاب است که نیروی جنبشی آن از راه باد فراهم

می‌گردد (زهره خضری و دکتر نادیه ایمانی، ۱۳۸۸).

آن جا آسیاهای بادی برای آرد کردن گندم ساخته‌اند.» (ابن حوقل، ۱۳۴۵).

قزوینی جغرافیدان سده بعد (۶۸۲ هجری) در شرح خود درباره سیستان می‌نویسد: «در آن جا هرگز باد آرام نمی‌گیرد و با توجه به آن آسیاهایی ساخته شده است که تمام خرد کردن ذرت با آن چرخ‌ها انجام می‌گیرد. آن جا سرزمین گرمی است و چرخ‌هایی دارد که با باد کار می‌کند.» در کتاب تاریخ سیستان که مؤلف آن مشخص نیست نیز در این خصوص آمده است: «اما آن چه که در ذات سیستان موجود است که در سایر شهرها نیست ... دیگر آسیا چرخ کنند تا باد بچرخاند و آرد کند و دیگر شهرها مقدر باید و یا آسیاها با آب یا با دست آسیا کنند و هم از این چرخ‌ها ساخته‌اند تا آب کشد از چاه به باغ‌ها و به زمین که از آن کشت کنند چه اگر آب تنگ باشد همچنین بسیار منفعت از باد گیرند.» (ناشناس، ۱۳۸۷). در واقع از میان بادهای سیستان، بادهای ۱۲۰ روزه از معروفترین آنها است که همان گونه از نام آن پیداست ۱۲۰ روز ادامه دارد و این تداوم به همراه سرعت دو ویژگی خاص این باد شده است (Mortazavi, 2009).

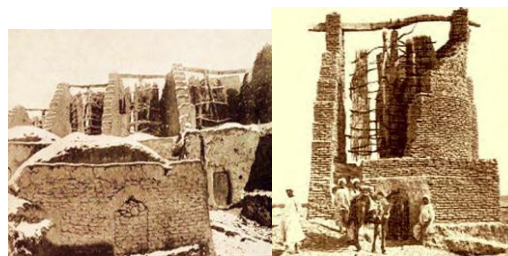
در اواخر قرن نوزدهم و اواخر قرن بیستم نیز آسبادهای برخی از مناطق توسط جهانگردان شمارش شده است. ظاهراً تمام این آسیاها در منطقه‌ای بین ایران و افغانستان جمع شده‌اند. چرا که در این منطقه یک گذرگاه بادخیز وجود دارد که از شمال به جنوب و به عرض تقریبی صد کیلومتر از این نقطه می‌گذرد. فردیناند، سیزده آسیای بادی را که در غوریان (افغانستان، در غرب هرات) واقع‌اند، وصف می‌کند. آسیاهایی که در فراه مشاهده کرده بود هنوز در حال کار بوده‌اند؛ وی هم چنین اعلام می‌کند در زابل (سیستان) سه آسیای بادی از کارافتاده هست (تصویر ۱) (رستگار و آزاد، ۱۳۹۴).

۴-۲- تاریخچه و خاستگاه آسبادها

روزگار بهره‌گیری از نیروی باد روشن نیست. اما به گواهی همه محققان داخلی و خارجی، ایرانیان اولین ملتی بودند که باد را مهار کرده و از آن به عنوان محرکه آسیاب و چرخ چاه، بهره گرفتند. در کتاب شهرهای ایران روزگار پارتیان و ساسانیان، از شهرهای بزرگ و قصباتی که در آن روزگار دارای آسیا بوده و قوانینی مدون جهت استفاده از آسیا، دستمزد آسیابان و مال‌الاجاره آسیا وجود داشته، از سیستان نام‌برده شده است. نخستین مأخذی که در آن از آسیای بادی یادشده یک کتاب قدیمی هندی به نام «آرتاس کانتیلیاد» است که ساخت آن را در ۱۴۰۰ پیش از میلاد یعنی ۳۴۰۰ سال پیش می‌داند و در آن به بالا بردن آب نیز اشاره شده است (فرشاد، ۱۳۸۹).

از اوایل دوره اسلامی به بعد، در منابع و نوشته‌های موجود با صراحت درباره آسیای بادی که برای خرد کردن دانه‌ها و بالا بردن آب به کار می‌رفته، بحث شده است و خاستگاه آن را سیستان بیان کرده‌اند. در تاریخ مسعودی (در حدود ۳۴۴ هجری) آمده است: «سگستان (سیستان) دیار باد است و همان شهری‌ست که گویند باد آن‌جا آسیاها را می‌گرداند و آب را از چاه کشیده باغ‌ها را سیراب کند و در همه دنیا شهری نیست که بیشتر از آن‌جا از باد سود برد و خدا داناتر است.» یکی از جغرافی دانان هم عصر او به نام اصطخری (حدود ۳۴۰ هجری) این موضوع را تأیید کرده و می‌گوید: «در آن جا (سیستان) بادهای قوی می‌وزند به طوری که به سبب آن چرخ‌هایی که با باد می‌چرخند ساخته شده است.» ابن حوقل نیز در کتاب خود به نام صورة الارض چنین می‌نویسد: «در سیستان بادهای سخت مداوم می‌وزد و به همین سبب در

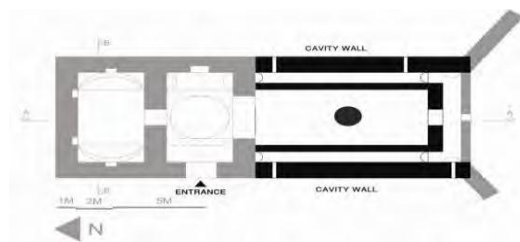
الف- آسبادهای منفرد: مشخصه اصلی این آسبادهای این است که به صورت منفرد سازمان‌دهی شده‌اند و در این آسبادهای ورودی به فضای هشتی و این فضا به دو فضای مقابل هم یعنی آس‌خانه و انبار هدایت می‌شود. پوشش اصلی این آسبادهای از پوشش‌های منحنی است که پوشش بسیار مقاوم در برابر بادهای ۱۲۰ روزه سیستان است. آسباد قلعه مچی سیستان نمونه‌ای از این آسبادهای است که در دو طبقه ساخته شده و در طبقه فوقانی بازوی آسباد به محور مرکزی با ۸ تا ۱۲ پره به آن متصل است و قسمت فوقانی این محور متصل به دیواره‌های آسباد است و با وزش باد از طریق شکاف‌های تعبیه شده در دیوار پره‌ها به گردش در می‌آیند (رستگار و آزاد، ۱۳۹۴) (تصویر ۲).



تصویر ۱- آسبادهای طبس در ادوار قدیم، مأخذ: رستگار و آزاد، ۱۳۹۴

۴-۳- گونه شناسی آسبادهای ۴-۳-۱- انواع آسبادهای بر اساس سازمان‌دهی پلان

بر اساس بررسی‌های صورت گرفته بر روی آسبادهای منطقه سیستان و خراسان، تفاوت‌هایی در سازمان‌دهی پلان معماری آن‌ها دیده می‌شود. بنابراین بر اساس مطالعات تطبیقی، آسبادهای ایران را می‌توان به آسبادهای منفرد و خطی تقسیم نمود:



تصویر ۲- نمونه‌ای آسبادهای منفرد، آس باد قلعه مچی، سیستان و بلوچستان، منطقه حوض دار، مأخذ: رستگار و آزاد، ۱۳۹۴



محل قرارگیری آسبادهای در حقیقت محلی است که کشاورزان در آنجا پس از بازدی محصول جمع می‌شوند و اجتماع کوچکی را برای دادوستد و فروش گندم و آرد به وجود می‌آورند و هم این که یک چنین دیواره خطی طولانی برای شهر محافظی خوب در برابر بادهای آزاردهنده و شدید بوده است. آسبادهای ساخته شده در شهرهای خراسان از این نمونه‌اند. این آسبادهای دو طبقه هستند که طبقه اول آس‌خانه و طبقه دوم پرخانه است (همان، ۱۳۹۴) (تصویر ۳).

ب- آسبادهای خطی: طرح پلان این آسبادهای کوچک تر از آسبادهای منفرد است و به صورت مجزا ساخته نمی‌شود، به عبارت دیگر تمامی آسیاهای یک روستا در یک محل و در کنار هم با یک طول و عرض و ارتفاع و یک سیستم خطی ساخته می‌شوند. نخست به خاطر این که بادهای قوی چون باد ۱۲۰ روزه سیستان تواند آن را منهدم سازد و این که هر کدام به عنوان پشت‌بند دیگری محسوب و مقاومت آسباد در مقابل باد بیشتر می‌شد و به خاطر این که مرکزیت داشته باشند؛ چرا که



تصویر ۳- نمونه‌ای از آسبادهای خطی (نشتیفان در خراسان شمالی)، مأخذ: غلامی، ۱۳۹۳

بنابراین این گونه آسبادها در نزدیکی این نقطه در کنار هم شکل می‌گیرند و اهالی نیز طبق یک قانون نانوشته در قسمت جلوی این بناها که ورودی باد به آنهاست چیزی نمی‌سازند تا آسبادها با حداکثر توان کار کنند. در نتیجه مجموعه‌هایی از این آسبادها در کنار هم دیده می‌شوند که منظر و خط آسمان شاخصی ایجاد می‌کنند. آسبادهایی که امروزه در نشتیفان و خان شرف موجودند اخیر مورد مرمت قرار گرفته‌اند و تخمین زده می‌شود که قدمت آنها به دوران صفوی برسد. این آسبادها بازمانده‌های گروه بزرگی از آسبادهایی هستند که در تمام روستاهای شرق سیستان و خراسان امروزی گسترش یافتند (رستگار و آزاد، ۱۳۹۴) (تصویر ۴).



تصویر ۴- آسبادهای خوان شرف نهبندان، خراسان جنوبی، مأخذ: رستگار و آزاد، ۱۳۹۴

۴-۳-۲- انواع آسبادها بر اساس سیر تکامل

الف- آسبادهای ساده اولیه: آسبادهای اولیه مانند آسبادهای روستای نشتیفان یا قلعه مچی زابل یا آسبادهای خان شرف نزدیک نهبندان از یک ساختمان دو طبقه تشکیل شده‌اند که با مصالح خشت خام در دو طبقه با پلان ساده مربعی شکل طراحی شده‌اند. از آن جایی که این ساختمان‌های ساده، توان کارکردی کمی دارند و علاوه بر این امکان ساخت آنها برای عموم کشاورزان به‌سادگی میسر است، هر یک از آنها متعلق به یک خانواده است و یک بنای عمومی محسوب نمی‌شوند. در یک منطقه معمولاً یک نقطه مناسب‌ترین محل برای احداث آسباد بوده است،

بالایی محل پروانه آسباد و طبقه زیرین محل قرار گرفتن سنگ آسیاست؛ اما مجرای ورود باد به صورت دالانی سرگشاده درآمده که با یک دهانه بزرگ با پره‌های جانبی شروع می‌شود که این قسمت نقش جمع‌آوری باد را به عهده دارد، سپس باد از دو یا سه شکاف که در یک طرف دیواره این دهانه قرار دارد وارد بخش داخلی می‌شود که در

ب- آسبادهای دالانی: کامل‌ترین و زیباترین نوع آسبادهایی که امروزه در سیستان موجودند آسبادهایی هستند که به صورت منفرد و بسیار بزرگ‌تر از آسبادهای ساده با آجرکاری زیبا طراحی و ساخته شده‌اند. به گفته کارشناسان، سیستانی‌ها حتی قبل از اسلام این هنر را داشته‌اند. این آسبادها نیز از دو طبقه تشکیل شده‌اند که طبقه

کند. بخش میانی که دهلیز ورودی نام دارد از یک چهارطاقی تشکیل شده که به بیرون راه دارد و همچنین ارتباط دو اتاق دیگر از این فضا صورت می‌گیرد. بخش سوم نیز انبار موقت غله در آسباد است، به دلیل مقیاس بزرگ تر آسباد مقدار غله بیشتری در آن آرد می‌شده و نیاز به محلی برای نگهداری آن‌ها بوده است (رستگار و آزاد، ۱۳۹۴) (تصویر ۵).



تصویر ۵- آسبادهای دوقلو و قلعه رستم (سیستان و بلوچستان، منطقه حوض دار)، مأخذ: رستگار و آزاد، ۱۳۹۴

آن جا پره‌ها قرار دارند. به بیان دیگر شکاف تا جلو پره باد را هدایت می‌کند. این بخش از دالان از داخل به شکل طبقه زیرین از سه بخش تشکیل شده و بخش زیر پره‌ها طبعاً به اتاق سنگ آسیا تعلق دارد. یک راهرو با طاقچه‌هایی در اطراف این اتاق قرار دارد که به دلیل ایجاد مقاومت بالا برای سازه این سقف ایجاد شده تا رانش نیروی دینامیکی که از محور آسباد به این سقف وارد می‌شود را کنترل

مزیت‌های چنین آسبادهایی است. البته در این حالت کنترل و تنظیم سرعت آسیا که سرعت باد تعیین کننده آن است، دشوار است.
ب- آسیا با محور افقی: در این آسیاب‌ها، پره‌ها در صفحه‌های عمودی و حول یک محور افقی دوران می‌کنند. انتهای دیگر این محور به یک دنده چوبی متصل است، این دنده به دنده دیگری متصل است که روی محور عمودی که سنگ آسیا به آن متصل است، سوار است. نسبت دنده به گونه‌ای انتخاب می‌شود که سرعت مورد نظر را برای آسیا ایجاد نماید (رستگار و آزاد، ۱۳۹۴).

۴-۴- ساختار معماری آسبادها

انصاری دمشقی، قدیمی‌ترین تصویر را از ساختار آسیاب‌های بادی منطقه سیستان ترسیم کرده است. با توجه به این تصویر می‌توان پی برد که ساختار آسیاب بادی ارائه شده با آنچه امروز دیده می‌شود مطابقت ندارد و در حقیقت ساختار اصلی، برعکس آن چیزی است که امروزه وجود دارد. پره‌های آسیاب بادی در آن زمان و احتمالاً پیش از آن، در

طرح ساختمان این آسبادها بسیار سازمان یافته تر از انواع ساده آن است. شکل منظم و سازه منسجم آن‌ها نشان دهنده تکامل یافتن آن‌ها در طول قرن‌هاست. ایجاد دیواری دو جداره در اتاق زیر محور آسباد به جهت پدید آوردن تکیه گاهی برای طاق زیر پره‌های آسباد، تدبیری بوده که معمار برای کنترل رانش طاق ایجاد کرده است و همچنین ارتباط این بخش با بخش ورودی را با چهارطاقی زیبایی فراهم نموده است (همان، ۱۳۹۴).

۴-۳-۳- انواع آسبادها براساس نحوه قرارگیری محور اصلی دوران

آسیاب‌های بادی از نظر نوع قرار گرفتن محور اصلی دوران به دو نوع تقسیم می‌شوند:

الف- آسیا با محور عمودی: این نوع آسیاب‌ها که پره‌های آن در یک صفحه افقی حول محور عمودی دوران می‌کنند حداقل از قرن پنجم میلادی در ناحیه سیستان ساخته و استفاده شده‌اند. در این آسبادها سنگ آسیا مستقیماً به محور دوران که معمولاً از چوب ساخته شده متصل است که یکی از

بنای آسباد از ساده‌ترین مصالح شامل خشت و گل و چوب ساخته شده و ساختمان آن از دو طبقه اصلی تشکیل شده است. طبقه همکف که سالن اصلی آسباد به حساب می‌آید، محل قرار گرفتن سنگ بزرگ و مدور آسیاب است و کار اصلی آسیاب غلات در اینجا انجام می‌شود. از این طبقه به عنوان انبار غلات هم استفاده می‌شود. در طبقه دوم که همان پشت‌بام آسباد محسوب می‌شود پره‌ها و تیرک‌های متصل به آن قرار گرفته است پره‌های آسیاب از چوب ساخته شده است و سبک است تا به راحتی حرکت کرده و بتواند سنگ بزرگ طبقه زیرین را به حرکت درآورد؛ در مناطق گرمسیری تر جنس پره‌ها متفاوت است (رستگار و آزاد، ۱۳۹۴) (تصویر ۶).

قسمت پایین و سنگ آسیا در قسمت بالا قرار داشته و مدلی از آسیای آبی بوده که توربین آن به جای آب از باد بهره می‌گرفته است. آسیاها به‌طور عمده بر فراز بلندی (تپه) قرار داشته‌اند، معمولاً آسیاهای هر روستا در یک محل، در کنار یکدیگر و به‌طور ردیف با یک طول و عرض و ارتفاع و یک شکل ساخته می‌شدند. برای این نحوه ساخت دو دلیل ذکر شده است: نخست، قرار گرفتن آسیا در یک سطح وسیع، یکپارچه و مقاوم شدن آن‌ها؛ دوم آنکه، مرکزیت داشتن برای دادوستد گندم و آرد. شایان ذکر است شروع وزش باد ۱۲۰ روزه با برداشت محصول گندم منطقه همراه بوده است. سکنه، تمام گندم مصرفی خود را به نوبت به آسیا آورده و آرد می‌کردند (همان، ۱۳۹۴).



تصویر ۶- ساختمان و اجزای تشکیل‌دهنده آسباد، مأخذ: رستگار و آزاد، ۱۳۹۴

مشابه یکدیگر باشند و تنها ارزیابی بر اساس ساختار کالبدی هر کدام از آسبادها و نوع عملکرد سطوح خارجی مواجه با جریان باد در آسبادها صورت پذیرفته است. شبیه‌سازی آسبادها در نرم‌افزار انسیس ورژن ۱۹ انجام گرفته است.

۵-۱- عملکرد آسباد منفرد سیستان

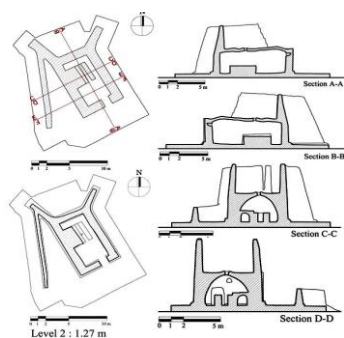
آسبادهای سیستان در محدوده شهر زابل به صورت منفرد و گاه دوتایی در دشت‌های وسیع، خارج از فضای مسکونی و پیرامون قلعه‌های تاریخی ساخته شده‌اند. ساختمان آسبادها دارای دو طبقه است که طبقه فوقانی، پرخانه یعنی محل قرارگیری پره‌ها در قسمت بام و طبقه همکف، آس‌خانه یا محل قرارگیری سنگ آسیا، نام دارد (تصویر ۷). مصالح اصلی ساخت آسباد، خشت و گل است.

۵- تحلیل و شبیه‌سازی

همان‌طور که بیان شد؛ هدف اصلی پژوهش، بررسی عملکرد آسبادها در دو منطقه سیستان و خراسان است، به همین منظور دو نمونه آسباد شامل:

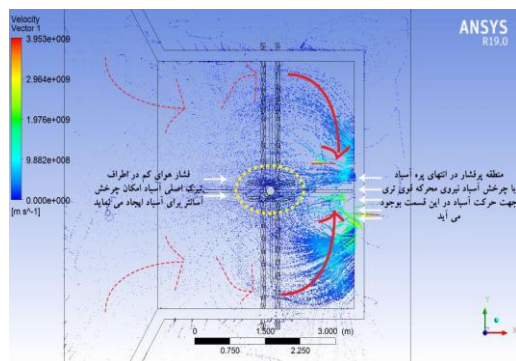
آسباد شماره ۲ قلعه مچی سیستان با ابعاد، ۵ متر عرض و طول ۱۰ متر و ارتفاعی ۵ متر و آسباد منفرد ساده نشتیفان در خراسان رضوی با ابعاد ۳٫۵ متر عرض، ۵ متر طول و ارتفاع ۳ متر با بهره‌گیری از ساختار مش‌بندی مدلسازی شده است، ابعاد استفاده شده بر طبق مستندنگاری که تصاویر آن ارائه شده صورت پذیرفته است. محدوده شبیه‌سازی مدل‌ها شامل قسمت پرخانه و سطح در مواجهه با جریان باد آسباد، است. در شبیه‌سازی فرض بر آن بوده است که مصالح و سازه‌های هر دو مدل آسباد

گردشگری استان سیستان و بلوچستان صورت پذیرفته است.



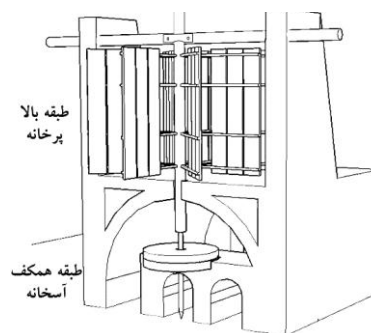
تصویر ۸- نقشه‌های مستندنگاری آسباد شماره ۲ قلعه مچی. مأخذ: سازمان میراث فرهنگی سیستان و بلوچستان، ۱۳۸۹

این حجم بالای فشار هوا را می‌توان در تصویر ۱۰ مشاهده نمود. با چرخش آسباد و جریان هوا در اطراف دیوارهای دو طرف، تداوم حرکت آسباد به راحتی صورت می‌پذیرد و فشار هوای انتهایی به این چرخش کمک می‌نماید. در تصویر ۱۱ توده‌های ورود جریان هوا به محیط آسباد و طریقه حرکت این جریان را می‌توان مشاهده کرد و همین‌طور ساختار سه بعدی این جریان در محیط آسباد در تصویر ۱۲ قابل مشاهده است.



تصویر ۹- جریان باد در داخل آسباد شماره ۲ قلعه مچی سیستان، مأخذ: نگارنده

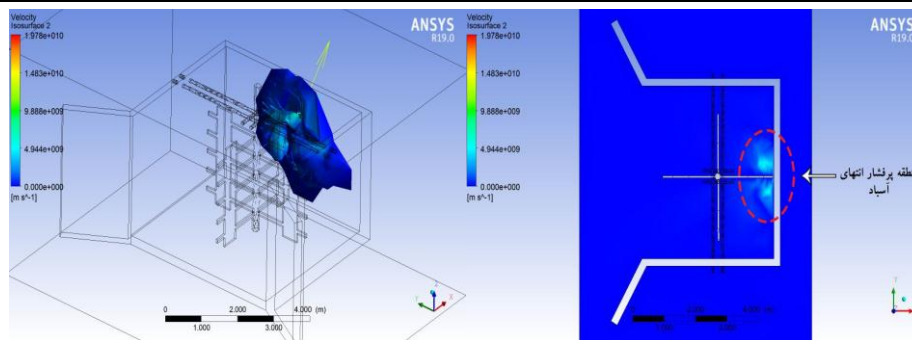
شبهه‌سازی آسباد قلعه مچی شماره ۲ بر طبق تصویر ۸ برگرفته شده از اسناد سازمان میراث فرهنگی و



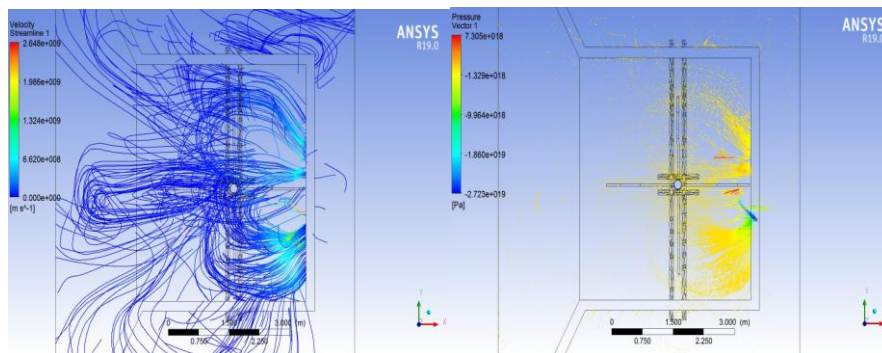
تصویر ۷- ساختار کنونی آسبادهای سیستان، مأخذ: غلامی، کاویان و رضازاده، ۱۳۹۴

کاهگل در فرآیند شبهه‌سازی به عنوان مصالح اصلی آسباد انتخاب شده است و سرعت باد جهت شبهه‌سازی براساس اطلاعات هواشناسی ۶۰ متر بر ثانیه تعریف شده است. ورودی باد از دهانه باز و بین دیوارهای پخ‌دار آسباد به فضای داخلی بین پره‌ها وارد شده است. نتایج شبهه‌سازی نشان می‌دهد به علت وجود دهانه وسیع و کانال ورود جریان باد و استفاده از دیوارهای پخ‌دار بیرونی، جریان باد از دو سمت به طرف دیوارهای دو طرف روبروی یکدیگر حرکت کرده و سپس در پره‌های مجاور دیوار انتهایی آسباد فشار هوای باد به میزان بالایی می‌رسد.

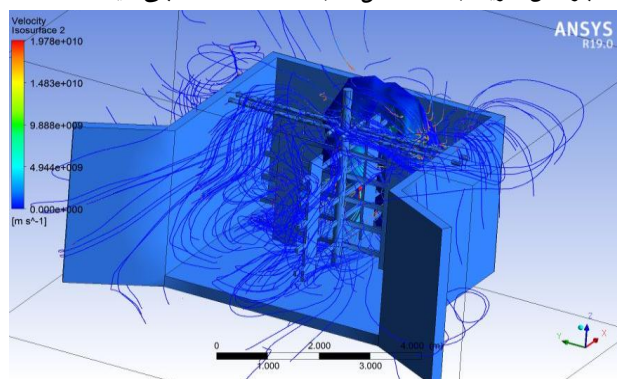
همان‌طور که در تصویر ۹ مشاهده می‌شود، این حجم از هوا در اطراف دیوارهای مجاور و در اطراف پره‌ها باعث حرکت آسان این آسباد می‌شده است و با ادامه جریان باد و حجم فشار هوا در انتهای بال عقبی امکان مداومت و تداوم این حرکت افزایش می‌یافته است. علاوه بر این موارد، میزان فشار هوا در اطراف تیرک اصلی آسباد پایین است که این مورد به حرکت آسان‌تر آسباد کمک می‌نماید.



تصویر ۱۰- منطقه پرفشار انتهای آسباد شماره ۲ قلعه مچی سیستان، مأخذ: نگارنده



تصویر ۱۱- چرخش جریان باد در داخل آسباد شماره ۲ قلعه مچی سیستان، مأخذ: نگارنده



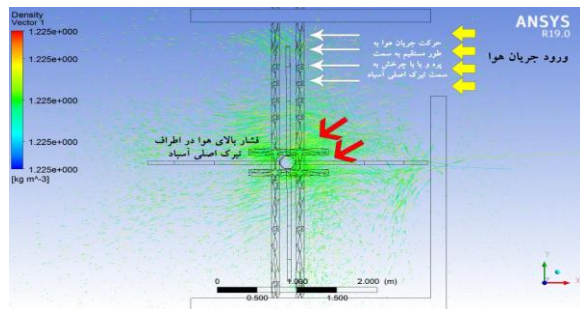
تصویر ۱۲- محیط سه بعدی و جریان باد در داخل آسباد شماره ۲ قلعه مچی سیستان، مأخذ: نگارنده

این نقطه در کنار هم شکل می‌گیرند و اهالی نیز طبق یک قانون نانوشته در قسمت جلوی این بناها که ورودی باد به آنهاست چیزی نمی‌سازند تا آسبادها با حداکثر توان کار کنند. در نتیجه مجموعه‌هایی از این آسبادها معمولاً در کنار هم دیده می‌شوند که منظر و خط آسمان شاخصی ایجاد می‌کنند. هر آسباد از دو اشکوب که دو فضای اصلی آن را شامل می‌شوند، تشکیل شده است. اشکوب زیرین، عبارت است از اتاق آسیا یا آس‌خانه و اشکوب دوم، پرخانه یا فضای پشت بام

۲-۵- عملکرد آسباد ساده خراسان

آسباد نشتیفان از یک ساختمان دو طبقه تشکیل شده‌اند که با مصالح خشت خام در دو طبقه با پلان ساده مربعی شکل طراحی شده‌اند. از آنجایی که این ساختمان‌های ساده توان کارکردی کمی دارند و علاوه بر این امکان ساخت آنها برای عموم کشاورزان به سادگی میسر است، هر یک از آنها متعلق به یک خانواده است و یک بنای عمومی محسوب نمی‌شوند. از طرف دیگر در یک منطقه معمولاً یک نقطه مناسب‌ترین محل برای احداث آسباد است بنابراین این گونه آسبادها در نزدیکی

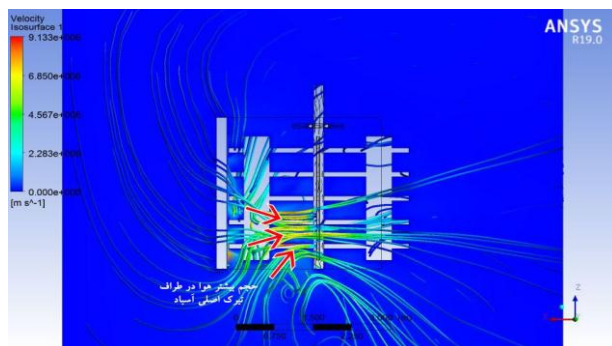
تیرک اصلی آسباد حرکت می‌کند که نتیجه آن فشار هوای بالا در اطراف تیرک آسباد است.



تصویر ۱۵- جریان باد در داخل آسباد ساده خراسان، مأخذ: نگارنده

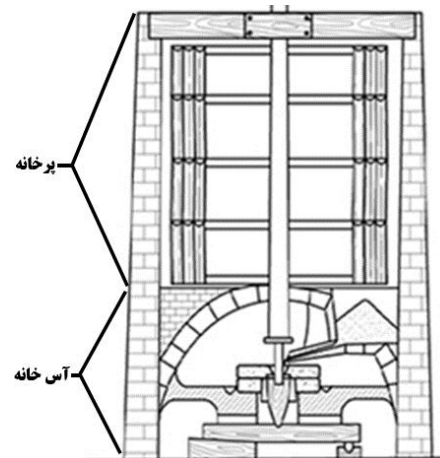
این حجم هوا در اطراف تیرک اصلی آسباد در کاهش سرعت آسباد تأثیر گذار است، اما نبود دیوار روپرو در مسیر جریان باد باعث می‌گردد از حبس هوا در محیط آسباد جلوگیری به عمل آید و مسیر برای ورود جریان تازه باد امکان‌پذیر گردد. حجم هوای فشرده در اطراف تیرک آسباد مانع حرکت روان آن می‌گردد و به همین دلیل تعدد آسبادهای ساده را به صورت خطی در یک مکان برای استفاده بیشتر از جریان باد را شاهد هستیم. همان‌طور که در تصویر ۱۶ مشاهده می‌کنید بیش‌ترین میزان فشار هوا را در اطراف تیرک اصلی و در قسمت پایین این محور است.

در تصویر ۱۷ توده‌های ورود جریان هوا به محیط آسباد و طریقه حرکت این جریان را می‌توانید مشاهده کنید و همین‌طور ساختار سه بعدی این جریان در محیط آسباد در تصویر ۱۸ قابل مشاهده است.

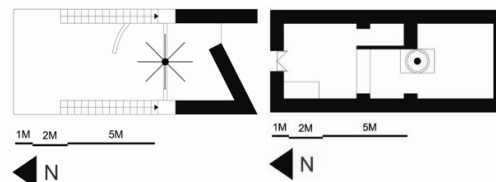


تصویر ۱۶- فشار هوا در اطراف تیرک اصلی آسباد ساده خراسان، مأخذ: نگارنده

آس‌خانه است که پره‌های آسباد در آنجا قرار می‌گیرند (تصویر ۱۳).



تصویر ۱۳- بخش‌های اصلی آسباد نشتیفان، مأخذ: نگارنده



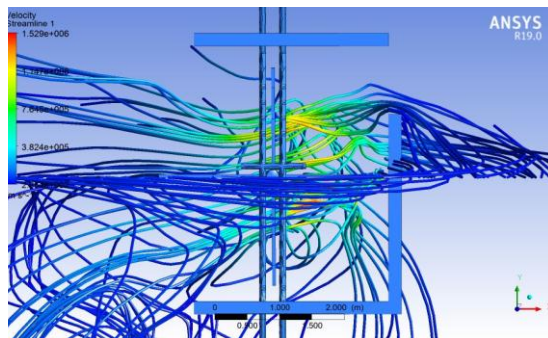
تصویر ۱۴- نقشه‌های مستندنگاری آسباد نشتیفان. مأخذ: سازمان میراث فرهنگی و گردشگری استان خراسان رضوی

شبه‌سازی آسباد نشتیفان بر طبق تصویر ۱۴، برگرفته شده از اسناد سازمان میراث فرهنگی و گردشگری استان خراسان رضوی صورت پذیرفته است.

به منظور تحلیل عملکرد آسباد خراسان، مصالح کاهگل و سرعت باد ۳۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است. بر طبق اطلاعاتی که از آسبادهای خراسان به دست آورده‌ایم ورود جریان باد از فاصله خالی بین دیوار انتهایی در مجاورت دیوار سمت راست انجام می‌شده است. بنابراین در فرآیند تحلیل، همین ساختار مورد نظر قرار گرفته شده است. بر طبق خروجی‌های تحلیل و تصویر ۱۵، جریان باد بعد از ورود از دهانه مشخص شده دو مسیر را در پیش می‌گیرد، یک جریان مستقیم به پره‌های جلویی آسباد وارد گردیده و باعث حرکت پره‌های آسباد می‌شود. جریان بعدی به سمت

بعد از بررسی شبیه‌سازی انرژی باد در دو آسباد به فاکتورهای تعیین ارزیابی کیفیت عملکردی دو آسباد در مقابل انرژی باد، براساس رتبه بندی نامطلوب، مطلوب، عالی، بسیار عالی پاسخ داده شد. نتایج این بررسی در جدول شماره ۱ قابل مشاهده است.

با بررسی و تحلیل فاکتورها بیان شده در دو آسباد مشخص گردید آسباد شماره ۲ قلعه مچی سیستان عملکرد مناسب تری در مقابل انرژی باد دارد.

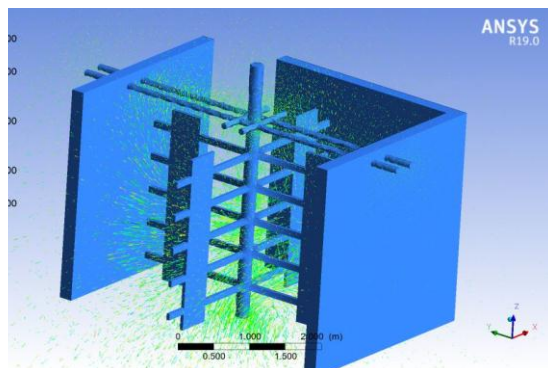


تصویر ۱۷- چرخش جریان باد در داخل آسباد منفرد نشتیفان، مأخذ: نگارنده

۶- نتیجه‌گیری

سیستان و خراسان دیار بادها هستند؛ شاخصه‌های اقلیمی این مناطق، در پیدایش آسبادها به عنوان بارزترین نماد معماری بومی منطقه نقش انکارناپذیری داشته‌اند. با تحلیل عملکرد آسبادهای ساده منفرد نشتیفان و آسباد شماره ۲ قلعه مچی سیستان مشخص گردید:

در آسباد منفرد نشتیفان که دارای یک کانال ورود باد بوده و فاقد باله‌های هدایت کننده باد است، سرعت جریان در کانال ورودی، قدرت باد بر روی پره‌ها و در نتیجه تعداد دور پره‌ها در مقایسه با آسباد شماره ۲ قلعه مچی بسیار پایین تر است. نتایج شبیه‌سازی نرم افزاری، بیانگر آن است که در آسباد شماره ۲ قلعه مچی سیستان، معماران با افزودن باله‌های هدایت کننده باد، باعث شده‌اند گردابه‌های جریان باد در مقایسه با آسباد منفرد نشتیفان کاهش یابد و همگرایی باد بیشتر شود. سرعت جریان باد در کانال ورودی و بر روی پره‌ها، نسبت به سرعت جریان آزاد باد، افزایش می‌یابد در نتیجه قدرت آسباد ارتقای قابل توجهی می‌یابد؛ به گونه‌ای که با افزایش سرعت باد، میزان بهره‌وری از انرژی باد به مراتب بیشتر می‌شود. نتیجه این شبیه‌سازی نشان می‌دهد که معماران ایرانی با طراحی باله‌های عریض و زاویه‌دار، در کنار درباد اصلی، توانسته‌اند باد را به خوبی بر روی پره‌های آسباد متمرکز کنند و علاوه بر تضمین کارکرد بهینه آسباد در



تصویر ۱۸- محیط سه بعدی آسباد منفرد نشتیفان، مأخذ: نگارنده

۳-۵- فاکتورهای تأثیرگذار عملکرد آسباد

به منظور بررسی بهترین عملکرد در بین دو آسباد شماره ۲ قلعه مچی سیستان و نشتیفان ۵ فاکتور مشخص گردید و این موارد در تحلیل و شبیه‌سازی مورد ارزیابی قرار گرفتند. فاکتورهای ارزیابی شامل:

- ۱- عملکرد کانال ورودی جریان باد جهت پخش آن بر روی پره‌ها و ایجاد گره هوایی اطراف پره‌ها
- ۲- تمرکز و جهت‌دهی مناسب جریان باد در دهانه ورودی جریان باد
- ۳- عملکرد مطلوب در فشارهای بالای جریان باد
- ۴- سرعت مناسب و بهبود عملکرد پره‌ها جهت کاربری مناسب آسباد
- ۵- هماهنگی ساختار کالبدی آسباد با اقلیم منطقه

نوسانات بادهای ۱۲۰ روزه، موجب ارتقای قابل توجه قدرت آسباد و راندمان آن شوند. آسبادها تا سال‌های نزدیک به امروز هم مورد استفاده قرار می‌گرفته است. اما آسبادها بر اثر گذشت زمان و تغییر شیوه زندگی انسان‌ها، در گسست میان سنت و مدرنیته در حال از بین رفتن

هستند و امروزه تنها تعداد اندکی از آن‌ها در بخش‌هایی از خراسان و سیستان باقی مانده است. تحلیل عملکرد این آسبادها در استفاده از دانش این سازه‌های بی‌نظیر در چهارچوب معماری امروز می‌تواند راهگشای بسیاری از تصمیمات در حوزه انرژی باشد.

جدول ۱- بررسی فاکتورهای ارزیابی عملکرد آسبادها در مقابل انرژی باد، مأخذ: نگارندگان

ردیف	فاکتور ارزیابی	نوع آسباد	عملکرد	توضیحات
۱	عملکرد کانال ورودی جریان باد جهت پخش آن بر روی پره‌ها و ایجاد گردابه‌های جریان هوا اطراف پره‌ها	قلعه	بسیار عالی	همان‌طور که در نتایج شبیه‌سازی مشخص هست توزیع باد بر روی پره‌ها و ایجاد گردابه‌های جریان هوا اطراف پره‌ها با استفاده از باله اضافه در قسمت رو به باد به خوبی انجام شده است.
		مچی	نامطلوب	به دلیل نبود عنصر هدایت‌کننده جریان باد بر روی پره‌ها، پخش جریان باد بر روی پره‌ها دارای عملکرد مناسبی نیست و گردابه جریان باد اطراف میله آسباد تشکیل می‌شود.
۲	تمرکز و جهت‌دهی مناسب جریان باد در دهانه ورودی جریان باد	قلعه	بسیار عالی	استفاده از باله اضافه در جبهه رو به باد باعث تمرکز و جهت‌دهی مناسب باد در دهانه ورودی آسباد شده است.
		مچی	نامطلوب	مسطح بودن بدنه رو به باد و تنها بهره‌گیری از درپچه باز شو آسباد جهت توزیع باد، باعث شده تمرکز مناسبی برای جهت‌دهی جریان باد در دهانه ورودی آسباد شکل نگیرد.
۳	عملکرد مطلوب در فشارهای بالای جریان باد	قلعه	بسیار عالی	معماران سازنده آسبادهای سیستان با اشراف به وجود بادهای ۱۲۰ روزه با سرعت بالا و مخرب در منطقه سیستان، ابعاد آسباد سیستان را به گونه طراحی نموده‌اند که فشار بالای باد را بتواند تحمل نماید.
		مچی	مطلوب	ضعف آسبادها به دلیل ابعاد کوچک، بهره‌گیری از انرژی باد در فشارهای بالا را نامطلوب ساخته و این مورد باعث تخریب این آسبادها به مرور زمان شده است و باعث رواج ساخت آسبادهای خطی مجاور جهت تحکیم سازه‌ای و کیفیت بهره‌گیری از انرژی باد گردیده است.
۴	سرعت مناسب و بهبود عملکرد پره‌ها جهت کاربری مناسب آسباد	قلعه	بسیار عالی	همان‌طور که در نتایج شبیه‌سازی مشخص است وجود باله اضافه در جبهه رو به باد باعث بهبود عملکرد آسباد و افزایش سرعت در پره‌ها گردیده است.
		مچی	مطلوب	مسطح بودن سطح بادگیر در جبهه رو به باد و نبود عناصر جهت‌دهنده به باد باعث شده جریان باد بر روی سطح پره‌ها متمرکز نشده و عملکرد مناسب و سرعت خوبی را در آسباد شاهد نباشیم.
۵	هماهنگی ساختار کالبدی آسباد با اقلیم منطقه	قلعه	بسیار عالی	در آسبادهای سیستان با بزرگ نمودن ابعاد سازه و همین‌طور استفاده از باله‌های خارجی رو به باد سعی شده هماهنگی ساختار کالبدی آسباد با اقلیم منطقه صورت پذیرد.
		مچی	مطلوب	تعدد در ساختارهای آسباد در این مناطق به صورت خطی در یک فضا هدفی بوده که سازندگان آسباد به منظور تطابق با اقلیم منطقه و بهره‌گیری بهتر از انرژی باد صورت داده‌اند

پی‌نوشت

1. ANSYS

۲. در بعضی از شهرها و روستاهای خراسان، کرمان، اصفهان و تربت حیدریه کلمه عربی «طاحون» و «طاحونه» را نیز به کار می‌برند.

3. Gasch
4. Zayats
5. Müller
6. Jentsch
7. Stoddart

منابع

- افشار سیستانی، ایرج. (۱۳۶۷). بزرگان سیستان، تهران: دیبا.
- احراری رودی، عبدالکریم. (۱۳۸۳). خواف در گذر تاریخ، تربت جام: انتشارات احمدجام.
- ابن حوقل، محمد. (۱۳۴۵). صورة الارض، ترجمه جعفر شعار، تهران: انتشارات بنیاد فرهنگ ایران.
- خضری، زهره. ایمانی، نادیه. (۱۳۸۸). آسیاد: تجلی گاه هنر و صنعت. مجله معماری و شهرسازی، شماره ۸۷-۸۸، ۱۲۳-۱۱۱.
- رستگار، ژاله. آزاد، سحر. آزاد، میترا. (۱۳۹۴). تأثیر بادهای صد و بیست و نهم در پیدایش آسیادهای منطقه سیستان. سومین کنگره بین‌المللی عمران، معماری و توسعه شهری. تهران، دبیرخانه دائمی کنگره بین‌المللی عمران، معماری و توسعه شهری، دانشگاه شهید بهشتی.
- سرتیپی پور، محسن. (۱۳۸۸). آسیب‌شناسی معماری روستایی (به سوی سکونتگاه مطلوب)، تهران: انتشارات شهیدی.
- غلامی، غلامحسین. (۱۳۹۳). معرفی سیستماتیک اجزاء مختلف آسیادهای خراسان. کنفرانس ملی الکترونیک توسعه پایدار در علوم جغرافیا و برنامه‌ریزی، معماری و شهرسازی، اولین کنفرانس ملی توسعه پایدار در علوم جغرافیا و برنامه‌ریزی، معماری و شهرسازی، تهران، موسسه آموزش عالی مهر اروند، مرکز راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار.
- غلامحسین، غلامی؛ کاویان، مجتبی و رضازاده، نیکی. (۱۳۹۴). آسیاهای بادی سیستان، بررسی تجارب معماری پایدار دشت‌های بادخیز با تأکید اجزای کالبدی آسیاد شماره ۲ مچی «قلعه چی رئیس»، نشریه مسکن و محیط روستا، شماره ۱۵۹، ۳-۱۸.
- فرشاد، مهدی. (۱۳۸۹). تاریخ مهندسی در ایران، تهران: انتشارات میر ماه.
- قهرمانی، بیتا؛ بهادری، علی اصغری. (۱۳۹۲). آسیادهای نشتیفان مثالی برای مهندسی هوشمندانه ایرانی، صفة، شماره ۶۰، ۵۱-۶۴.
- گلابچی، محمود. جوانی دیزجی، آیدین. (۱۳۹۲). فن‌شناسی معماری ایران. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- مشتاق گوهری، کامبیز. (۱۳۹۲). آسیادهای ایرانی، نخستین سازوکار کاربرد انرژی باد. مجله معمار، شماره ۸۱، ۲۳-۱۹.
- مهدوی نژاد، محمدجواد؛ بمانیان، محمدرضا؛ مشایخی، محمد. (۱۳۹۰). آس‌بادها قدیمی‌ترین آسیاهای بادی در جهان، نقش جهان، شماره ۲، ۴۳-۵۴.
- مستندنگاری آسیادهای سیستان. (۱۳۸۹). سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان سیستان و بلوچستان.
- ناشناس. (۱۳۸۷). تاریخ سیستان، به تصحیح محمد تقی بهار (ملک الشعرا)، تهران: انتشارات معین.
- نادری، بقرات. (۱۳۵۶). آسیادهای خواف، هنر و مردم، تیر و مرداد، ۷۵-۸۵.
- Gasch, R, Twele. J. (2012). Wind Power Plants Fundamentals, Design, Construction and Operation, 548 p. Springer Berlin Heidelberg, Berlin.
- Gerald Muller, Mark F.Jentsch, Euan Stoddart. (2009). Vertical axis resistance type wind turbines –for use in buildings, Renewable Energy, 34, pp 1407–1412.
- Mortazavi. Mehdi. (2009). Yesterday and Today: The Impact of 5000 Years Wind on the Iranian Sistan Architecture. *Man and Environment*. XXXIV (2): 46-55.
- Zayats. Inna. (2015). The Historical Aspect of Windmills Architectural Forms Transformation, Procedia Engineering, 117, pp 690 – 700.

Original Research Article

Analysis and Comparison of Wind Currents in the Singular Windmills of Sistan and the Simple Windmill of Khorasan by Using the ANSYS Software**Hamed Ebrahimi¹, Mehdi Mortazavi^{2*}, Fariba Mosapour Negari³**

1- PhD student in Architecture, Faculty of Arts and Architecture, Islamic Azad University, Zahedan

2- Associate Professor, Archaeology Department & Archaeological Sciences Research Center, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan

3- Assistant Professor, Archaeology Department & Archaeological Sciences Research Center, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan

Abstract

The architecture of Iran is full of hidden secrets and serves as the key to meet the needs of people who have wisely converted climatic and geographical weaknesses and threats into the strengths and golden opportunities. This capability has been based on long experiences. Use of windmills is one of the most important of these experiences. A windmill is a structure of desert architecture in Iran. This small and seemingly simple factory represents the integration of architectural art and industrial knowledge of Iranian past generations in the proper use of local and indigenous facilities. Windmills have been built in southern half of Khorasan and Sistan wherever there is good wind. Recognizing the function of these structures along with the depletion of fossil fuels can lead to the use of the knowledge of constructing windmills in modern structures in order to produce energy. With the aim of identifying the functions of these structures, this research reviews the operation of windmills in the two regions of Sistan and Khorasan and seeks to answer the question “which of Khorasan and Sistan windmills represents better operation in using the wind energy?” For this purpose, the ANSYS software, version 19, has been used to compare the functions of these two wind-operated structures. The results of the research indicate that Sistan windmill has better operation due to its wider span and more pleasant air entrance.

Keywords: Khorasan, Sistan, Wind energy, Windmill, ANSYS