

## مقاله پژوهشی

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

حامد ابراهیمی<sup>۱</sup>، مهدی مرتضوی<sup>۲\*</sup>، فریبا موسی پور نگاری<sup>۳</sup>

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

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

۳- استادیار، 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 به ظاهر ساده نمایانگر تلفیق هنر و دانش معماری صنعتی پیشینیان این سرزمین در بهره‌گیری به جا 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 به کارگیری 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

\*- نویسنده مسئول: Email: mehdi.mortazavi@lihu.usb.ac.ir

## ۱- مقدمه

عوامل مؤثر بر معماری و شهرسازی ایران را می‌توان به گونه‌ای کلی در سه گروه مطرح کرد؛ اول مسائل جهان‌بینی، 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 جلوه‌گر 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 تفاوت‌آفرین 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 تنها 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 (کامبیز 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 تأثیرگذار است. شناخت و مقایسه این آسبادهای و دانش به‌دست 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 برایمان میسر می‌سازد. به همین علت در پژوهش پیش رو با استفاده از نرم‌افزار ANSYS به تحلیل عملکرد آسبادهای منفرد سیستان و آسبادهای ساده 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،

سیستان و نشتیفان انتخاب شده است، تاریخی به این دلیل که ساختارها به گذشته تعلق دارند و تداومی به علت کسب دانش های تحلیلی از این پژوهش و کاربرست آن در پژوهش های آتی است. روش جمع آوری اطلاعات بر اساس مطالعات میدانی که از طریق روش مستندنگاری حاصل شده است و با بهره گیری از اطلاعات کتابخانه ای صورت پذیرفته است.

که در طی آن مستندنگاری شواهد معماری آسبادها صورت گرفته است و سپس غیر میدانی که براساس داده های آماری و تحلیل و شبیه سازی رایانه ای انجام شده است. پژوهش مورد نظر براساس هدف از نوع روش تحقیق کاربردی با هدف توسعه دانش خروجی از پژوهش بوده هست و براساس ماهیت و روش از نوع موردی، تاریخی و تداومی است. موردی از این جهت که موردی از آسباد های

داده های معماری و اطلاعات میدانی آسباد ساده منفرد نشتیفان	داده های معماری و اطلاعات میدانی آسباد قلعه مچی سیستان
بررسی اطلاعات معماری	
شبیه سازی سه بعدی آسباد ساده منفرد نشتیفان در نرم افزار ANSYS	شبیه سازی سه بعدی آسباد شماره ۲ قلعه مچی سیستان در نرم افزار ANSYS
شبیه سازی جریان باد در جبهه رو به باد آسباد ساده منفرد نشتیفان در نرم افزار ANSYS	شبیه سازی جریان باد در جبهه رو به باد آسباد شماره ۲ قلعه مچی سیستان در نرم افزار ANSYS
بررسی داده ها و نتایج خروجی جریان باد آسباد نشتیفان	بررسی داده ها و نتایج خروجی جریان باد آسباد شماره ۲ قلعه مچی سیستان
ارائه آیت م های تأثیر گذار در مقایسه عملکرد آسبادها در مقابل انرژی باد	
تحلیل آیت م های تأثیر گذار با توجه به نتایج شبیه سازی در عملکرد آسبادها در مقابل انرژی باد	
بررسی نتایج و ارائه راهکار	

تصویر ۱- مکانیزم نتیجه گیری و ساختار تحقیق (مأخذ: نگارندگان)

بررسی قرار گرفته و اطلاعات مورد نیاز گردآوری شده است. سپس مدل های 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

در پژوهش پیش رو، ابتدا با استفاده از منابع کتابخانه ای و داده های میدانی اطلاعات نظری و شواهد معماری آسباد شماره ۲ قلعه مچی در منطقه سیستان و آسباد نشتیفان در خراسان رضوی مورد

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 دلانی اشاره کرده و در یک تصویر شماتیک، اثرات باد را در سه مدل به تصویر کشیده‌اند (مشایخی، ۱۳۹۲: ۵۳).

گاش<sup>۳</sup> 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<sup>۴</sup> 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

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.

## 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

و جوب 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»<sup>۲</sup> 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).

#### 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 محرک آسیاب و چرخ چاه، بهره گرفتند. در کتاب شهرهای ایران روزگار پارتیان و ساسانیان، از شهرهای بزرگ و قصباتی که در آن روزگار دارای آسیاب بوده و قوانینی مدون جهت استفاده از آسیاب، دستمزد آسیابان و مال‌الاجاره آسیاب وجود داشته، از سیستان نام برده شده است. نخستین مأخذی که در آن از آسیای بادی یاد شده 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).

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<sup>۵</sup>، جنش<sup>۶</sup> و استودارت<sup>۷</sup>، 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).

#### ۴-۱- یافته‌های تحقیق

##### ۴-۱-۱- 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 آس آب بوده است، یاء در افزوده اند و به کثرت استعمال باء 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 و یا بخار چرخد

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 همان‌گونه 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 منطقه ای 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).

#### ۴-۳- گونه شناسی آسبادهای

#### ۴-۳-۱- انواع آسبادهای بر اساس

#### سازمان‌دهی پلان

براساس بررسی‌های صورت گرفته بر روی آسبادهای منطقه سیستان و خراسان، تفاوت‌هایی در سازمان‌دهی پلان معماری آن‌ها دیده می‌شود.

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

قزوینی جغرافیدان سده بعد (۶۸۲ هجری) در شرح خود درباره سیستان می‌نویسد: «در آن‌جا هرگز باد آرام نمی‌گیرد و با توجه به آن آسیاهایی ساخته شده است که تمام خرد کردن ذرت با آن چرخ‌ها انجام می‌گیرد. آن‌جا 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 آن‌چه 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

که یک چنین دیواره خطی طولانی برای شهر محافظتی خوب در برابر بادهای آزاردهنده و شدید بوده است. آسبادهای ساخته شده در شهرهای خراسان از این نمونه اند. این آسبادها دو طبقه هستند که طبقه اول آس خانه و طبقه دوم پرخانه است (همان، ۱۳۹۴) (تصویر ۳).

#### 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 شده اند که با مصالح خشت خام در دو طبقه با پلان ساده مربعی شکل طراحی شده اند. از آن جایی که این ساختمانهای ساده، توان کارکردی کمی دارند و علاوه بر این امکان ساخت آن ها برای عموم کشاورزان به سادگی میسر است، هر یک از آن ها متعلق به یک خانواده است و یک بنای عمومی محسوب نمی شوند. در یک منطقه معمولاً یک نقطه مناسب ترین محل برای احداث آسباد بوده است، بنابراین این گونه آسبادها در نزدیکی این نقطه در کنار هم شکل می گیرند و اهالی نیز طبق یک قانون نانوشته در قسمت جلوی این بناها که ورودی باد به آن ها است چیزی نمی سازند تا آسبادها با حداکثر توان کار کنند. در نتیجه مجموعه هایی از این آسبادها در کنار هم دیده می شوند که منظر و خط آسمان شاخصی ایجاد می کنند. آسبادهایی که امروزه در نشتیفان و خان شرف موجودند اخیر مورد مرمت قرار گرفته اند و تخمین زده می شود که قدمت آن ها به دوران صفوی برسد. این آسبادها

بنابراین بر اساس مطالعات تطبیقی، آسبادها ایران را می توان به آسبادهای منفرد و خطی تقسیم نمود:  
الف- آسبادهای منفرد: مشخصه اصلی این آسبادها این است که به صورت منفرد سازمان دهی شده اند و در این آسبادها ورودی به فضای هشتی و این فضا به دو فضای مقابل هم یعنی آس خانه و انبار هدایت می شود. پوشش اصلی این آسبادها از پوشش های منحنی است که پوشش بسیار مقاوم در برابر بادهای ۱۲۰ روزه سیستان است. آسباد قلعه مچی سیستان نمونه ای از این آسبادها 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 دیواره های آسباد است و با وزش باد از طریق شکاف های تعبیه شده در دیوار پره ها به گردش در می آیند (رستگار و آزاد، ۱۳۹۴) (تصویر ۲).

ب- آسبادهای خطی: طرح پلان این آسبادها کوچک تر از آسبادهای منفرد است و به صورت مجزا ساخته نمی شود، به عبارت دیگر تمامی آسیاب های یک روستا در یک محل و در کنار هم با یک طول و عرض و ارتفاع و یک سیستم خطی ساخته می شوند. نخست به خاطر این که بادهای قوی چون باد ۱۲۰ روزه سیستان نتواند آن را منهدم سازد و این که هر کدام به عنوان پشت بند دیگری محسوب و مقاومت آسباد در مقابل باد بیشتر می شد و به خاطر این که مرکزیت داشته باشند؛ چرا که محل قرارگیری آسبادها در حقیقت محلی است که کشاورزان در آنجا پس از بازدهی محصول جمع می شوند و اجتماع کوچکی را برای داد و ستد و فروش گندم و آرد به وجود می آورند و هم این

بیشتری در آن آرد می‌شده و نیاز به محلی برای نگهداری آن‌ها بوده است (رستگار و آزاد، ۱۳۹۴) (تصویر ۵). طرح ساختمان این آسبادها بسیار سازمان‌یافته‌تر از انواع ساده آن است. شکل منظم و سازه منسجم آن‌ها نشان‌دهنده تکامل یافتن آن‌ها در طول قرن‌هاست. ایجاد دیواری دو جداره در اتاق زیر محور آسباد به جهت پدید آوردن تکیه‌گاهی 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

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

الف- آسیا با محور عمودی: این نوع آسیاها 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 مزیت‌های چنین آسبادهایی است. البته در این حالت کنترل و تنظیم سرعت آسیا که سرعت باد تعیین‌کننده 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

بازمانده‌های گروه بزرگی از آسبادهایی هستند که در تمام روستاهای شرق سیستان و خراسان امروزی گسترش یافتند (رستگار و آزاد، ۱۳۹۴) (تصویر ۴).  
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 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 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 ایجادشده تا رانش نیروی دینامیکی که از محور آسباد به این سقف وارد می‌شود را کنترل 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 بزرگ‌تر آسباد مقدار غله



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 آسیاهای بادی منطقه سیستان ترسیم کرده است. با توجه به این تصویر می‌توان پی برد که ساختار آسیای بادی ارائه شده با آنچه امروز دیده می‌شود مطابقت ندارد و در حقیقت ساختار اصلی، برعکس آن چیزی است که امروزه وجود دارد. پره‌های آسیای بادی در آن زمان و احتمالاً پیش از آن، در 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 داد و ستد 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).

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).

#### 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 هردو مدل آسباد مشابه یکدیگر باشند و تنها ارزیابی بر اساس ساختار کالبدی هر کدام از آسبادها و نوع عملکرد سطوح خارجی مواجهه 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، آس خانه یا محل قرارگیری سنگ آسیا، نام دارد (تصویر ۷). مصالح اصلی ساخت آسباد، خشت و گل است.

شبیه‌سازی آسباد قلعه مچی شماره ۲ بر طبق تصویر ۸ برگرفته شده از اسناد سازمان میراث فرهنگی و گردشگری استان سیستان و بلوچستان صورت پذیرفته است.

کاهگل در فرآیند شبیه‌سازی به عنوان مصالح اصلی آسباد انتخاب شده است و سرعت باد جهت شبیه‌سازی بر اساس 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 شبیه‌سازی 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.

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.

### ۵-۲- 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 این نقطه در کنار هم شکل می‌گیرند و اهالی نیز طبق یک قانون نانوشته در قسمت جلوی این بناها

حس هوا در محیط آسباد جلوگیری به عمل آید و مسیر برای ورود جریان تازه باد امکان پذیر گردد. حجم هوای فشرده در اطراف تیرک آسباد مانع حرکت روان آن می گردد و به همین دلیل تعدد آسبادهای ساده را به صورت خطی در یک مکان برای استفاده بیشتر از جریان باد را شاهد هستیم. همان طور که در تصویر ۱۶ مشاهده می کنید بیشترین میزان فشار هوا را در اطراف تیرک اصلی و در قسمت پایین این محور است.

در تصویر ۱۷ توده های ورود جریان هوا به محیط آسباد و طریقه حرکت این جریان را می توانید مشاهده کنید و همین طور ساختار سه بعدی این جریان در محیط آسباد در تصویر ۱۸ قابل مشاهده است.

### ۵-۳- فاکتورهای تأثیرگذار عملکرد آسباد

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

- ۱- عملکرد کانال ورودی جریان باد جهت پخش آن بر روی پره ها و ایجاد گره هوایی اطراف پره ها
- ۲- تمرکز و جهت دهی مناسب جریان باد در دهانه ورودی جریان باد
- ۳- عملکرد مطلوب در فشارهای بالای جریان باد
- ۴- سرعت مناسب و بهبود عملکرد پره ها جهت کاربری مناسب آسباد

که ورودی باد به آنهاست چیزی نمی سازند تا آسبادها با حداکثر توان کار کنند. در نتیجه مجموعه هایی از این آسبادها معمولاً در کنار هم دیده می شوند که منظر و خط آسمان شاخصی ایجاد می کنند. هر آسباد از دو اشکوب که دو فضای اصلی آن را شامل می شوند، تشکیل شده است. اشکوب زیرین، عبارت است از اتاق آسیا یا آس خانه و اشکوب دوم، پرخانه یا فضای پشت بام آس خانه است که پره های آسباد در آنجا قرار می گیرند (تصویر ۱۳).

شبیه سازی آسباد نشتیان 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 آورده ایم ورود جریان باد از فاصله خالی بین دیوار انتهایی در مجاورت دیوار سمت راست انجام می شده است. بنابراین در فرآیند تحلیل، همین ساختار مورد نظر قرار گرفته شده است. بر طبق خروجی های تحلیل و تصویر ۱۵، جریان باد بعد از ورود از دهانه مشخص شده دو مسیر را در پیش می گیرد، یک جریان مستقیم به پره های جلویی آسباد وارد گردیده و باعث حرکت پره های آسباد می شود. جریان بعدی به سمت تیرک اصلی آسباد حرکت می کند که نتیجه آن فشار هوای بالا در اطراف تیرک آسباد است.

این حجم هوا در اطراف تیرک اصلی آسباد در کاهش سرعت آسباد تأثیرگذار است، اما نبود دیوار روبرو در مسیر جریان باد باعث می گردد از

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

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

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 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.

۵- هماهنگی ساختار کالبدی آسباد با اقلیم منطقه  
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 مناسب‌تری در مقابل انرژی باد دارد.

## 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 پایین‌تر است. نتایج شبیه‌سازی نرم افزاری، بیانگر آن است که در آسباد

## 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. Muller
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). آسباد: 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 بیست‌روزه در پیدایش آسبادهای 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 آسبادهای خراسان. کنفرانس ملی الکترونیک‌کی 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، نیکو. (۱۳۹۴). آسبادهای بادی سیستان، بررسی تجارب معماری پایدار دشت‌های بادخیز با تأکید اجزای کالبدی آسباد 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). آسبادهای 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). آسبادهای ایرانی، نخستین سازوکار کاربرد انرژی باد. مجله معمار، شماره ۸۱، ۲۳-۱۹.
- مهدوی نژاد، محمدجواد؛ بمانیان، محمدرضا؛ مشایخی، محمد. (۱۳۹۰). آس‌بادها قدیمی‌ترین آسبادهای بادی در جهان، نقش جهان، شماره ۲، ۴۳-۵۴.
- مستدنگاری آسبادهای 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، بقراط. (۱۳۵۶). آسبادهای 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

**The Singular Windmills of Analysis and Comparison of Wind Currents in Sistan and the Simple Windmill of Khorasan by Using the ANSYS Software**

Hamed Ebrahimi<sup>1</sup>, Mehdi Mortazavi<sup>2\*</sup>, Fariba Mosapour Negari<sup>3</sup>

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

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

3- Assistant Professor, 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

---

\*Email: mehdi.mortazavi@lihu.usb.ac.ir