[Downloaded from jhre.ir on 2025-08-11]

آسیاهای بادی سیستان، بررسی تجارب معماری پایدار دشت‌های بادخیز

با تأکید بر تحلیل اجزای کالبدی آسباد شماره 2 مَچی «قلعه چه رئیس»

غلامحسین غلامی *، مجتبی کاویان **، نیکی رضازاده ***

تاریخ دریافت مقاله: 1394/06/12
تاریخ پذیرش مقاله: 1394/11/17

چکیده

آسبادهای سیستان به‌عنوان قدیمی‌ترین نوع آسیای بادی در ایران و جهان شناخته می‌شود. آسبادهای سیستان پیرامون شهر زابل و در مسیر بادهای 120 روزه، بیشتر به‌صورت منفرد و گاه به‌صورت دوقلو ساخته شده است. بررسی پیشینه پژوهش در مورد آسبادها، نشان‌دهنده کمبود و نقص در مطالعات آزمایشگاهی و شبیه‌سازی آسبادها و مبین ضرورت انجام چنین تحقیقی است. هدف پژوهش حاضر، بررسی تأثیر ساختار کالبدی جبهه رو به باد آسبادها، بر میزان بهره‌وری از انرژی پایدار باد است. روش تحقیق، شامل آزمایش تجربی در تونل باد و شبیه‌سازی رایانه‌ای بوده است و همچنین روش جمع‌آوری اطلاعات، مطالعه منابع کتابخانه‌ای است. بدین منظور ابتدا ماکتِ سالم‌ترین آسباد منطقه سیستان، یعنی آسباد شماره 2 مَچی در مقیاس کوچک ساخته شد و براساس آن، چهار آزمایش در تونل باد انجام شد. در آزمایش اول و دوم، دلایل جابجایی فضای پرخانه و آسخانه آسبادهای سیستان مورد بررسی قرار گرفت و در آزمایش دوم، سوم و چهارم با تغییر در ساختار کالبدی جبهه رو به باد آسباد تعداد دور پره‌ها در سرعت‌های مختلف باد مورد ارزیابی قرار گرفت. در ادامه جهت تأیید نتایج آزمایشگاهی شبیه‌سازی آسباد در نرم افزار COMSOL Multiphysics انجام شد و قدرت باد مؤثر بر پره‌ها، در مدل‌های دوم، سوم و چهارم بررسی گردید. مقایسه نتایج آزمایش اول و دوم نشان می‌دهد عامل مهم و زمینه ساز در جابجایی فضای پرخانه (محل قرارگیری پره‌ها) و آسخانه (محل قرارگیری سنگ‌های آسیا) در آسبادهای قدیمی سیستان، بهره‌گیری بهتر از انرژی باد بوده است. مقایسه آزمایش‌های دوم و سوم موید آن است که افزودن باله‌های هدایت کننده باد در نمای رو به بادِ آسبادها، منجر به افزایش و همگرایی باد و عملکرد مطلوب آسبادهای سیستان شده است. نتایج آزمایش چهارم نشان می‌دهد کانال کوچک به گونه‌ای طراحی شده که باعث تمرکز باد و افزایش قدرت باد بر روی پره‌ها شود و این مسئله علاوه بر امکان کنترل باد و عملکرد بهینه آسباد، منجر به افزایش هر چه بیشتر راندمان آسباد شده است.

واژگان کلیدی: تحلیل کالبدی، شبیه‌سازی، تونل باد، آسیاهای بادی، پهنه شرقی ایران.

* عضو هیئت علمی دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده معماری و شهرسازی، گروه مرمت. gh.gholami@hsu.ac.ir
** عضو هیئت علمی دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده معماری و شهرسازی، گروه مرمت.
*** عضو هیئت علمی دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده فنی مهندسی، گروه مکانیک.

[Downloaded from jhre.ir on 2025-08-11]

مقدمه

توسعه پایدار که یکی از مهم‌ترین مباحث جوامع علمی دنیاست، اصول معماری پایدار را در حفظ انرژی، هماهنگی با اقلیم، کاهش استفاده از منابع جدید، برآوردن نیازهای ساکنین، هماهنگی با سایت و کل گرایی تبیین می‌کند. (زندیه، پروردی‌نژاد، 1390، 6) از طرفی با پیش بینی افق‌های نسبتا کوتاه برای سوخت فسیلی (40 سال برای نفت و 65 سال برای گاز)، بشر نیاز دارد که به سرعت از سوخت فسیلی به سمت وابستگی بیشتر به انرژی تجدید شونده پاک حرکت کند. (نوروزیان‌ملکی، حسینی، رضایی، 1390، 22) بر این اساس معرفی مصادیق و تبیین تجاربی از معماری ایرانی که واجد اصول معماری پایدار باشد و به نحو مناسبی از انرژی‌های پایدار طبیعت بهره‌برداری نماید از ضرورت‌های زندگی امروزی است. آسیاهای بادی را می‌توان یکی از این مصادیق معرفی کرد. انسان بیش از 3000 سال است که از انرژی باد به‌منظور تولید انرژی مکانیکی برای پمپ آب یا آسیای غلات استفاده کرده است(بمانیان، محمودی‌نژاد، 1389، 23) و اغلب محققین و مورخین در این که سیستان زادگاه آسیای بادی است متفق القول‌اند (مدرس رضوی، 1372، 83). ناحیه سیستان که قسمت شمالی استان سیستان و بلوچستان را در بر می‌گیرد، با 8117 کیلومتر مربع وسعت، دشتی است که در گروه اقلیمی بیابانی میانه قرار دارد. منطقه سیستان بر خلاف سایر مناطق بیابانی ایران و جهان دارای خصوصیتی منحصر بفرد با عنوان بادهای صد و بیست روزه می‌باشد (گل محمدی، 1390، 80 و 83) این بادها در فصل گرم سال وزیدن گرفته و از دو مشخصه، یکی سرعت و دیگری تداوم زیاد برخوردارند (حسین زاده، 1376، 105) و با تغییرات جوی به سرعت تغییر یافته و طوفان‌هایی با سرعت نسبتاً بالا در تمام طول سال را به دنبال دارند. (نگارش، لطیفی، 1388، 3) مجموعه این ویژگی‌های اقلیمی (خشکی و کم آبی، بادهای قوی و مداوم) را می‌توان دلیل ساخت آسیادها در منطقه سیستان دانست. با توجه به پیشینه و قدمت آسیادهای سیستان، ساخت چنین سازه‌ای، علاوه بر انطباق با محیط زیست و برآوردن نیاز اساسی ساکنان منطقه به آرد، جهت تولید محصول استراتژیک نان، تکامل تجارب هزاران ساله معماری، توسط مردمانی است که محدودیت‌های اقلیمی را به یک فرصت استثنایی در تأمین انرژی، بدل کرده‌اند و ساختار کالبدی آسیادها، بسان دستورالعمل های ارزشمند طراحی، جهت بهره‌مندی هر چه بیشتر از انرژی باد است. مقاله حاضر در پی تبیین این تجارب معماری و بررسی دلایل برخی تحولات کالبدی آسیادهاست. به‌همین دلیل در اولین گام، با ساخت ماکت از روی سالمترین آسیاد منفرد در منطقه سیستان(آسیاد شماره 2 مچی)، با تغییر در ساختار کالبدی جبهه رو به بادِ این آسیاد و آزمایش‌های متعدد در تونل باد مکنده و در گام بعد، با شبیه‌سازی نرم افزاری آن، ساختار کالبدی آسیادهای سیستان، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

- سوالاتی که در این پژوهش پاسخ داده خواهد شد:

1. عامل اصلی و مؤثر در بروز تحولات کالبدی و جابجایی فضای آسخانه و پرخانه در آسیادهای قدیمی سیستان چه بوده است؟

2. معماران ایرانی جهت بهره مندی بیشتر از انرژی باد، چه تمهیداتی را در ساختار کالبدی آسیادهای منفرد سیستان در نظر گرفته‌اند؟

پژوهش حاضر، با هدف بررسی تأثیر ساختار کالبدی جبهه رو به باد آسیادها بر میزان بهره‌وری از انرژی پایدار باد و تبیین تجارب معماری آسیادهای منفرد سیستان، به رشته تحریر در آمده است.

پیشینه تحقیق

بررسی پیشینه پژوهش‌های مرتبط با آسیاد، بیانگر مطالعاتی است که در حوزه‌های جغرافیا، معماری و علوم مهندسی انجام شده است. یکی از قدیمی‌ترین پژوهش‌های معاصر در

[Downloaded from jhre.ir on 2025-08-11]

خصوص آسباد، مقاله‌ای است از بقراط نادری (1356، 75-85) 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. 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 120 روزه سیستان، به کاربرد این باد در آسبادها اشاره کرده و تصویری از آسبادهای سیستان ارائه نموده است (1367، 20) شفرد[1] (1990، 10-6) در کتاب سیر تحول تاریخی آسیاها، به توضیح در مورد آسیاهای بادی عمود محور و ساختار آسبادهای قدیمی سیستان براساس تصویر کتاب دمشقی پرداخته و در ادامه با ارائه تصاویر و نقشه‌هایی از آسبادهای نهبندان، به توصیف این آسبادها می‌پردازد. مدرس رضوی (1372، 82-115) با بررسی دقیق منابع تاریخی، بر ایرانی بودن تکنولوژی آسبادهای سیستان صحه می‌گذارد و کاربردهای وسیعی را برای آن بر می‌شمارد، از جمله آرد کردن غلات، کشیدن آب از چاه، تهویه هوای درون خانه و جابجا نمودن شن‌های روان. در انتها با ذکر فرمولی ساده به‌صورت نظری، انرژی حاصله توسط آسبادها را که متأثر از سطح پره‌ها، سرعت باد، وزن مخصوص باد و سایر فاکتورها است، محاسبه می‌کند. احراری رود (1383، 28) در کتاب خواف در گذر تاریخ به شرح کامل نحوه کارکرد آسبادهای خواف، اجزا و ضرب المثل‌های مرتبط با آن پرداخته است. در مورد انواع آسیاهای بادی و نحوه عملکردشان، رحیمی (1386، 7-13) آسیاهای بادی را به دو دسته محور عمودی (آسبادهای ایرانی) و محور افقی(توسعه یافته در کشورهای غربی) تقسیم می‌کند و ضمن اشاره به دو مزیت آسیاهای بادی محور عمودی در مقایسه با آسیاهای بادی محور افقی که عبارتند از عدم نیاز به تنظیم مداوم برای قرار گرفتن در برابر باد و امکان قرارگیری در ارتفاع پایین‌تر و نزدیک سطح زمین، از برتری نمونه ایرانی و ضرورت بهره‌گیری از این تجربه ارزشمند سخن به میان آورده است. خضری، ایمانی (1388، 111-123) به معرفی کالبدی و اجزای آسبادهای نشتیفان می‌پردازند. گاش[2] (2012، 15) 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 ارائه کرده است. سعیدیان، قلی و زمانی (2012، 30-19) نیز ضمن بیان استفاده های مختلف از باد در سیستان، با ترسیم پلان، آسبادهای سیستان (آسباد لوتک) و خراسان (نشتیفان) را معرفی می‌کنند. قهرمانی و بهادری (1392، 51-64) نیز ضمن بررسی اجزای کالبدی آسبادهای نشتیفان خواف و نحوه کارکرد آسبادها، در جدولی کامل، تمامی قطعات مکانیکی آسبادهای نشتیفان را معرفی می‌کنند. مهدوی‌نژاد، بمانیان و مشایخی (1392، 53) 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. زایاتس[3] (2015، 700 – 690) 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 به‌کارگیری 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. کیهانی، گلزاریان، علیمردانی (1384، 229-237) ضمن اشاره مختصر به آسبادها و مناطق بادخیز ایران، در طراحی یک توربین کامل، عواملی چون سرعت،

[Downloaded from jhre.ir on 2025-08-11]

جهت، پروفیل و مدت باد را دخیل دانسته اند. مولر[4]، جنش[5]، استودارت[6] (2009، 1412-1407) ضمن اشاره به آسبادهای سیستان و خراسان به‌عنوان 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 بلند مرتبه ارائه می‌کنند. جمعبندی پیشینه مطالعات، مبین آن است که در حوزه جغرافیایی، تأکید بر جنبه های اقلیمی و جغرافیای طبیعی و تاریخی آسبادها در پهنه شرقی ایران است. حوزه معماری به انطباق آسبادها با محیط بادخیز شرق ایران، اجزا و ساختار کالبدی و مکانیکی، نحوه کارکرد و گونه‌شناسی آسبادها اختصاص دارد. مطالعه در مورد آسبادها در علوم مهندسی، به‌خصوص در مهندسی مکانیک و برق به ذکر مختصر قدمت و کاربرد آسیاهای بادی در ایران به‌عنوان مقدمه‌ای بر آزمایش توربین‌های بادی و یا محاسبات عددی، فارغ از بررسی جنبه‌های ارزشمند تجارب معماری، محدود شده است. نگارندگان با تأمل و بررسی مطالعات گذشته آسبادها، بررسی‌های آزمایشگاهی و دقیق از نحوه کارکرد انواع آسباد را به‌عنوان حلقه‌ای گمشده در بهره‌گیری از تجارب معماری ایران، در این حوزه یافته‌اند. همان‌گونه که در تصویر شماره 1 مشاهده می‌شود، انطباق حوزه‌های مطالعاتی مرتبط با آسبادها، نتایج ارزشمندی را به‌همراه خواهد داشت. بررسی آزمایشگاهی آسبادها، علاوه بر شناسایی تأثیرات کمی و کیفی اجزای کالبدی آسباد در بهره‌وری از انرژی باد که اساس پژوهش حاضر را شکل می‌دهد زمینه کاربرد تجارب معماری آسبادها را در ساخت توربین‌های بادی عمود محور به‌خصوص در مناطق شرقی کشور فراهم می‌آورد. توربین‌های بادی عمود محور دارای مزایای متعددی چون عدم وابستگی به جهت وزش باد، حساسیت کمتر نسبت به میزان آشفتگی جریان و صدای کمتر بوده و برای مناطق شهری مناسب است (اسفندیاری، بازارگان، 1393، 79).

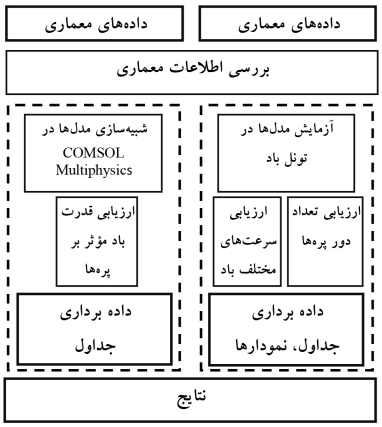
ت 1. حوزه‌های مطالعاتی مرتبط با آسبادها و نتایج آن‌ها. بررسی و تحلیل آزمایشگاهی آسبادها و نتایج آن، حلقه مفقوده در تحقیقات پیشین. مأخذ: نگارندگان.

روش‌شناسی تحقیق

این مقاله به بررسی منابع و اطلاعات معماری پرداخته و تأثیر اجزای کالبدی جبهه رو به بادِ آسبادهای منفرد سیستان را با تأکید بر ویژگی‌های کالبدی آسباد شماره 2 قلعه مَچی به بحث می‌گذارد. روش بررسی عملکرد آسبادها به‌صورت تجربی و شبیه‌سازی[7] عددی (گروت، وانگ، 1394، 249 و 275) و شیوه جمع‌آوری اطلاعات، به روش مطالعه منابع کتابخانه‌ای است. در روش تجربی در سرعت‌های مختلف باد، تعداد دور پره‌های 4 مدل آسباد، که براساس آسباد شماره 2 مچی و در مقیاس 1/20 ساخته شده‌اند، مورد بررسی قرار گرفته است. مقایسه مدل‌های 1 و 2 دلایل جابجایی پرخانه و آسخانه در آسبادهای کهن سیستان را مورد بررسی قرار می‌دهد و مقایسه مدل‌های 2، 3 و 4، به تبیین شیوه‌های بهره‌وری از انرژی باد در معماری آسبادهای کنونی سیستان می‌پردازد. به‌منظور درک و شناسایی بهتر مکانیزم قدرت باد بر پره‌ها، شبیه‌سازی عددی جریان، برای مدل‌های 2، 3 و 4 با نرم‌افزار شبیه‌ساز COMSOL Multiphysics، انجام

[Downloaded from jhre.ir on 2025-08-11]

گرفت. نتایج عددی با محاسبه قدرت باد بر پره‌ها، عملکرد بهبود یافته در نمونه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد و نتایج آزمایشگاهی را تأیید می‌نماید (نمودار شماره 1).

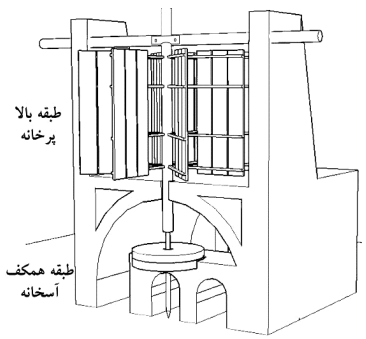


ن 1. مکانیزم نتیجه‌گیری و روش تحقیق. مأخذ: نگارندگان.

یافته‌های تحقیق

معماری و اجزاء آسیادهای منفرد سیستان

آسیادهای سیستان در محدوده شهر زابل به‌صورت منفرد و گاه دوتایی در دشت‌های وسیع، خارج از فضای مسکونی و پیرامون قلعه‌های تاریخی ساخته شده‌اند. ساختمان آسیادها 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 شماره 2). مصالح اصلی ساخت آسیاد، خشت و گل می‌باشد.



ت 2. ساختار کنونی آسیادهای سیستان آسخانه طبقه همکف، پرخانه طبقه بالا. مأخذ: نگارندگان.

بررسی منابع تاریخی گویای تحولات کالبدی آسیادها پس از قرن 8 هـ‌ق است. انصاری دمشقی (متوفی 727 ه.ق) قدیمی‌ترین تصویر را از ساختار آسیاهای بادی منطقه سیستان ترسیم کرده است که با آنچه امروزه در ایران دیده می‌شود، مطابقت ندارد و در حقیقت ساختار اصلی، عکسِ آن چیزی است که امروزه وجود دارد. پره‌های آسیای بادی در آن زمان و احتمالا پیش از آن در قسمت پایین و سنگ آسیا در بالا قرار داشته است (مدرس رضوی، 1372، 101). در توصیف معماری آسیادهای قدیمی سیستان، انصاری دمشقی ضمن ارائه تصویر شماره 3 می‌نویسد: این شکل یکی از آن آسیاها و دو اتاقک بالا و پایین آن است که می‌بینی. چون بنای دو اتاقک را بالا آورند، برای اتاقک پایین چهار دریچه می‌گذارند، همچون دَم زرگری که سوی گشاد آن به سوی دهان وی و سوی تنگ آن به درون کوره است، تا باد از هر سو که بوزد از میان آن‌ها با نیروی بیشتری به درون اتاقک آسیا وارد گردد و چون هوا به درون اتاقک آید به ستون یا دیرکی همانند پیکان دوک بافندگان که بر روی نخ می‌پیچند، بر می‌خورد و این دیرک دوازده تا شش پره دارد که بر روی آن پره‌ها از روپوش‌هایی از پوست دباغی نشده همچون روپوش فانوس واقع شده است که روی پره‌ها راست و مستقیم قرار گرفته و پهن شده است (همان، 102).

این توصیفات بیان کننده تفاوت‌های اساسی در معماری و اجزای کالبدی-مکانیکی آسیادهای قدیمی سیستان (قرن 8 هـ‌ق) و آسیادهایی است که حداقل از دوره صفویه تا به امروز ساختار کنونی خود را حفظ کرده‌اند. این تفاوت‌ها عبارتند از:

1. مهم‌ترین تفاوت کالبدی، جابجایی فضای پرخانه با آسخانه است. در خصوص علت جابجایی فضای آسخانه با پرخانه، در منابع مکتوب تاریخی، دلیلی ذکر نشده است. برخی محققین گمانه‌هایی را در این‌باره مطرح کرده‌اند از جمله دشواری انتقال سنگ‌های وزین آسیا و وارد و خارج

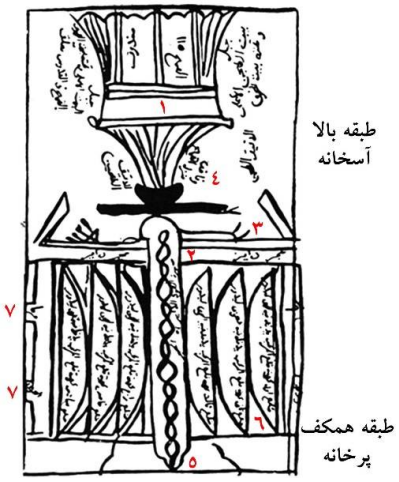
[Downloaded from jhre.ir on 2025-08-11]

کردن گونی‌های آرد و غله به اتاقک بالایی (آسـخانه) و بـه بیرون از آسیا را احتمالی بـرای ایـن جابجـایی دانسـته‌انـد. (مدرس رضوی، 1372، 103).

2. تفاوت در جنس پره‌ها: پره‌های قدیمی از پوست دبـاغی نشده بوده است، پره‌های کنونی از چوب یا نی‌های ریز.

3. تفاوت در کانال‌هـای ورود بـاد: آسـبادهای قـدیمی 4 کانال ورود باد داشته اند، آسبادهای منفـردِ کنـونی 2 کانـال ورود باد دارند.

4. تفاوت در سنگی که مـی‌چرخـد: بـه اسـتناد انصـاری دمشقی، سنگ زیرین آسیا با باد می‌چرخد در حـالی‌کـه در آسبادهای کنونی، سنگ رویین می‌چرخد.



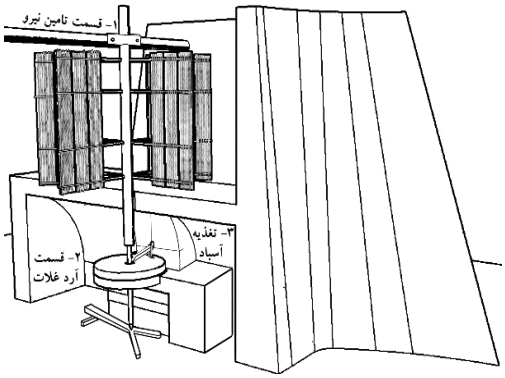
ت 3. سـاختار آسـبادهای سیسـتان در قـرن 8 هـ.ق: 1. محفظه گندم، 2.سنگ زیرین آسیا که می‌چرخـد، 3.آرد، 4. قیفی که گندم‌ها را به سـنگ زیـرین منتقـل مـی‌کنـد، 5. دیرک اصلی،6. پـره‌هـا، 7. دریچـه‌هـای ورودی هـوا. مأخذ: تصویر G. Shepherd، 1990، 7.

قسمت‌های اصلی آسبادهای کنونی سیسـتان کـه بـراسـاس عملکرد و ارتباط آن با باد در ذیل سه دسته کلـی تقسـیم‌بنـدی می‌شود (تصویر شماره 4)، عبارتند از:

1. قسمت تأمین نیرو: مجموعه‌ای اسـت از اجـزای کالبـدی (دیوارهای احاطه کننـده پرخانـه و دیوارهـای رو بـه بـاد) و اجزای مکانیکی (چرخ باد) که در طبقه فوقانی (پرخانـه) قـرار می‌گیرد و در هنگام وزش باد، نیروی لازم جهت کار آسـباد را تأمین می‌کند.

2. قسمت آرد کردن غلات: اجزای ایـن قسـمت شـامل سنگ‌های آسیا و اجزایی است که سرعت حرکت سنگ بالا را تنظیم می‌کند.

3. قسمت تغذیه آسباد: قسـمت ذخیـره‌سـازی و انتقـال غله‌ها به داخل سنگ آسیا. کـارکرد فسـمت‌هـای مختلـف آسباد متأثر از نیروی باد است. در نمودار شـماره 2 ارتبـاط این سه قسمت نمایش داده شده است.



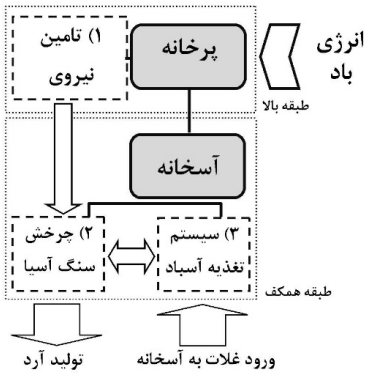
ت 4. قسمت‌های اصلی آسباد-پرخانه و آسخانه- که از نیروی باد بهره می‌گیرد. مأخذ: نگارندگان.

آسباد شماره 2 مَچی (قلعه چه رئیس)

سالم‌ترین آسباد در میـان آسـبادهای منفـرد سیسـتان، در اسناد میراث فرهنگی، آسباد شماره 2

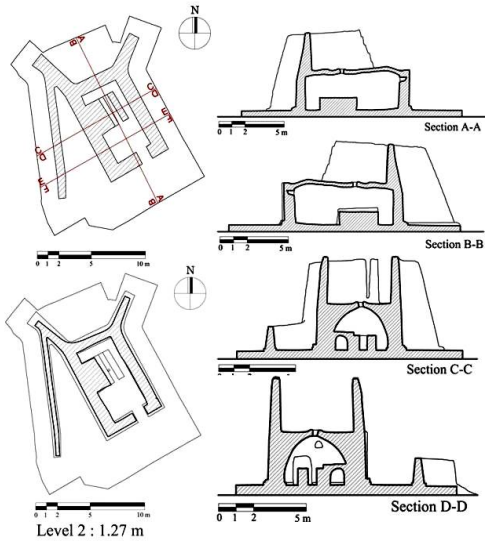
مَچی (قلعه چه رئیس) نام‌گذاری شده است. نگارندگان با توجه به جبهه رو به باد مشابه در آسـبادهای منفـرد و بـا توجه به ساختار کالبدی سالم و نقشه‌هـای مسـتندنگاری و دقیق آسباد شماره 2 مچی، به بررسی اجـزای کالبـدی ایـن آسباد، شبیه‌سازی نرم‌افزاری و آزمـایش‌هـای متعـدد آن در تونل باد مکنده پرداخته‌اند (تصاویر شماره 5 و 6).

[Downloaded from jhre.ir on 2025-08-11]



ن 2. مکانیسم تأثیر و کـار بـاد در آسـباد سیسـتان. **مأخذ: نگارندگان.**

ت 5. نمای شمال غربـی آسـباد شـماره 2 مچـی. مأخـذ: سازمان میراث فرهنگی استان سیستان و بلوچستان، 1389.



ت 6. نقشه‌های مستندنگاری آسباد شـماره 2 مچـی. مأخذ: سـازمان میـراث فرهنگـی اسـتان سیسـتان و بلوچستان، 1389.

جهت‌گیری و بررسی اجزاء کالبدی جبهه رو به بادِ آسـباد شماره 2 مچی (قلعه چه رئیس)

اولین نکته در طراحی این آسباد، جهت‌گیری آن به سمت شمال غرب است. از آنجا که جهت وزش بادهای سیسـتان در منطقه زابل (باد 120 روزه) دارای جهت شمالی متمایـل به غرب است (مفیدی، حمیدیان، سلیقه، علی جانی، 1392، 88). جهت‌گیری دقیق آسباد به سمت این باد، بیانگر دقـت نظر معماران آن است.

معماران ایرانی جهت بهره‌وری بیشتر از انرژی بـاد، تغییـرات کالبدی متعددی را در ساختار آسبادهای منفرد سیسـتان اعمـال کرده‌اند که نتیجه این تغییرات را مـی‌تـوان در آسـباد شـماره 2 مچی مشاهده کرد. در تصویر شماره 7، اجـزای کالبـدی مـؤثر در تـأمین نیـروی ایـن آسـباد مشـخص شـده اسـت. مبنـای آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق، بررسی تأثیر ایـن اجـزا بر عملکرد آسباد است که عبارتند از:

قسمت 1. درباد یا کانال اصلی ورود باد به پرخانه کـه دهانـه آن بـازتر از قسـمت انتهـای آن اسـت تـا بتوانـد سرعت برخورد باد به پره‌ها را افزایش دهد.

قسمت 2. در طرفین آسباد دو باله بـه‌گونـه‌ای سـاخته شده است که بادهای شمال و شمال غرب را بـه دهانـه درباد هدایت کند و موجب افزایش سرعت باد گردد.

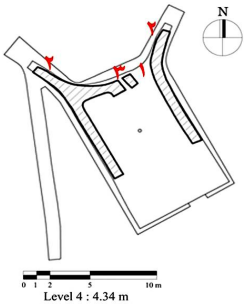
قسمت 3. طراحـی دربـاد کوچـک در کنـار دربـاد اصـلی، منحصر به آسبادهای منفرد سیستان بوده و به‌صورت زاویـه‌دار، برای تمرکز باد روی پره‌ها ساخته شده است.

مدل‌های مورد آزمایش

بـه‌منظـور بررسـی تـأثیر اجـزای کالبـدی جبهـه رو بـه بـادِ آسـباد شـماره 2 مچـی بـر نحـوه کـارکرد آن، ماکـت آســباد در مقیــاس 1/20 و در چنــد مرحلــه، مطــابق تصـویر شـماره 8 مـورد آزمـایش قـرار گرفـت. مراحـل مختلــف آزمــایش در ایــن تحقیــق عباتنــد از: **مدل و آزمایش شماره 1:** بررسی این مسئله که آیا بهـره‌گیـری از

[Downloaded from jhre.ir on 2025-08-11]

انرژی باد در تحول ساختاری آسبادهای قدیمی سیستان در قرون میانی دوره اسلامی نقش داشته است یا خیر.



ت 7. اجزای کالبدی مؤثر در تأمین نیروی آسبادِ شماره 2 مچی.1. درباد اصلی، 2. باله‌های هدایت‌کننده باد، 3. درباد کوچک. مأخذ: سازمان میراث فرهنگی استان سیستان و بلوچستان، 1389.

برای آزمایش این مسئله ابتدا باید طرح آسبادهای قدیمی سیستان به دقت ترسیم و ماکت آن ساخته شود. اطلاعات ما در مورد جزییات کالبدی جبهه رو به باد آسبادهای قرن 8 هـ‌ق مربوط به توصیفات انصاری دمشقی و برخی جغرافی نویسان دوره اسلامی است. از آنجا که این توصیفات نمی‌تواند ابعاد و اندازه های دقیق پره‌ها، دریچه‌های رو به باد و موقعیت دقیق آن‌ها را مشخص کند، لذا تغییرات حاصل از جابجایی فضای پرخانه و آسخانه در آسبادهای سیستان، با جابجا کردن فضای آسخانه و پرخانه در طرح ساده شده آسباد شماره 2 مچی، مورد بررسی قرار گرفت (تصویر شماره 8).

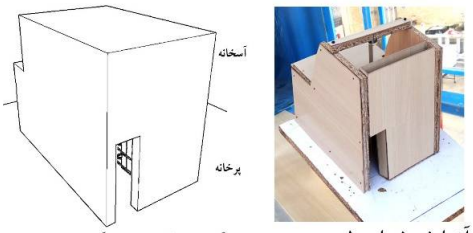
– **مدل و آزمایش شماره 2:** با حذف باله‌های هدایت کننده باد و درباد کوچکِ آسباد شماره 2 مچی، طرح ساده شده این آسباد مورد آزمایش قرار گرفت.

– **مدل و آزمایش شماره 3:** در این آزمایش با افزودن باله‌های هدایت کننده باد به طرح اولیه آسباد شماره 2 مچی عملکرد آن در سرعت های مختلف باد بررسی شده است.

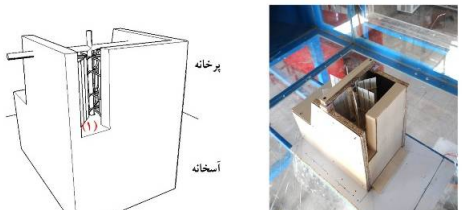
– **مدل و آزمایش شماره 4:** طرح کامل آسباد شماره 2 مچی (با درباد اصلی، باله‌های هدایت کننده و درباد کوچک) برای بررسی تأثیر اجزای مختلف این آسباد بر میزان بهره‌گیری از انرژی باد، مورد ارزیابی قرار گرفت.

آزمایش مدل‌ها در تونل باد

تمام آزمایش‌های این پژوهش در آزمایشگاه آیرودینامیک دانشگاه حکیم سبزواری انجام شد. تونل باد مورد استفاده در این آزمایش از نوع مدار باز و مکشی بوده است. تونل باد دارای اتاقک آزمایشی با طول200، عرض100 و ارتفاع 110 سانتیمتر است. سرعت تونل باد را با کنترل دورِ موتور تعبیه شده در آن، می‌توان از صفر تا 70 متر بر ثانیه تغییر داد (تصویر شماره 9) .

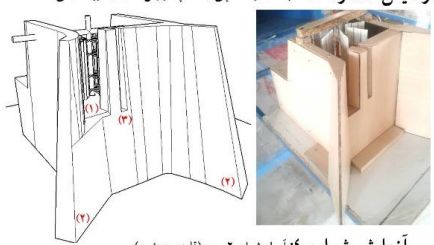


آزمایش شماره ۱: جابجایی فضای پرخانه و آسخانه در طرح ساده شده آسباد شماره ۲ مچی



آزمایش شماره ۲: آسباد شماره ۲ مچی (قلعه چه رئیس) – (۱) درباد اصلی

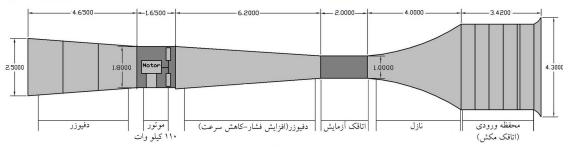
آزمایش شماره ۳: آسباد شماره ۲ مچی (قلعه چه رئیس)
(۱) درباد اصلی، (۲) باله های هدایت کننده باد



آزمایش شماره ٤: آسباد شماره ۲ مچی (قلعه چه رئیس)
(۱) درباد اصلی، (۲) باله های هدایت کننده باد، (۳) درباد کوچک

ت 8. مراحل چهارگانه آزمایش و ساخت ماکت‌ها براساس آسباد شماره 2 مچی در تونل باد. مأخذ: نگارندگان.

[Downloaded from jhre.ir on 2025-08-11]

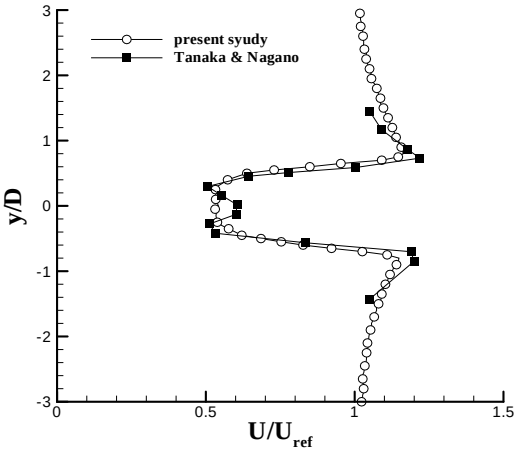


ت 9. مراحل چهارگانه آزمایش و ساخت ماکت‌ها براساس آسباد شماره 2 مچی در تونل باد. مأخذ: نگارندگان.

در این تحقیق توان تولیدی برای هر کدام از آزمایش‌ها، به‌نحوی انتخاب شده که به‌توان اثرات طیف وسیعی از سرعت‌های باد را تا بیش از 60 کیلومتر بر ساعت (16.66 متر بر ثانیه)، روی تعداد دور چرخش پره‌ها مورد ارزیابی قرار داد. برای اندازه‌گیری تعداد دور پره‌ها از دور سنج لیزری - مکانیکی Tachometer DT2236B استفاده شده است. جهت اندازه‌گیری دانسیته محیط از دستگاه Weather Station, Model: WH1081 که قابلیت اندازه‌گیری دما، رطوبت و فشار را دارد و جهت اندازه‌گیری سرعت از لوله پیتوت تیوب (Pitot Tube) و دستگاه اندازه‌گیری فشارسنج ساخت شرکت فراسنج صبا و مبدل الکترونیکی جهت تبدیل فشار به ولتاژ و در نهایت سرعت، که توسط نرم‌افزار Rake Flow کالیبره شده، استفاده شده است.

اعتبارسنجی

برای بررسی صحت عملکرد دستگاه تونل باد، در ابتدا لوله پیتوت تیوب و داده‌های آزمایش، پروفیل بی‌بعد سرعت میانگین کار حاضر در $x = 30$ mm در پشت یک سیلندر در سرعت 15 متر بر ثانیه و نتایج تحقیق تاناکا[8] و ناگانو[9] در شکل زیر مقایسه شده‌اند (نمودار شماره 3).



ن 3. مقایسه پروفیل بی‌بعد سرعت میانگین برای نتایج مطالعه حاضر و نتایج تاناکا و ناگانو. مأخذ: نگارندگان.

نتایج آزمایش مدل‌ها در تونل باد

اطلاعات ثبت شده در آزمایش مدل‌ها، شامل تعداد دور پره‌ها (در دقیقه)، در سرعت‌های مختلف باد (بر حسب متر بر ثانیه) است که در جدول شماره 1 ارائه شده است.

در نمودار شماره 4 این اطلاعات به تصویر کشیده شده که ستون عمودی گویای تعداد دور پره‌ها در دقیقه و ستون افقی معرف سرعت‌های مختلف باد بر حسب متر بر ثانیه است.

تحلیل و ارزیابی نتایج تونل باد

نتایج آزمایش‌ها بیانگر آن است که تعداد دور پره‌ها در تمامی نمونه‌ها با افزایش سرعت باد به‌صورت خطی افزایش می‌یابد. مقایسه آزمایش‌های شماره 1 و 2، می‌تواند به ابهام در خصوص چرایی جابجایی فضای آسخانه و پرخانه آسبادها، بعد از قرن 8 ه.ق پاسخ گوید. با توجه به نمودار شماره 5 و مقایسه نتایج آزمایش‌های 1 و 2 به‌نظر می‌رسد مهم‌ترین عاملی که زمینه لازم جهت جابجایی فضای پرخانه و آسخانه را فراهم آورده است، فارغ از هر دلیلی، بهبود

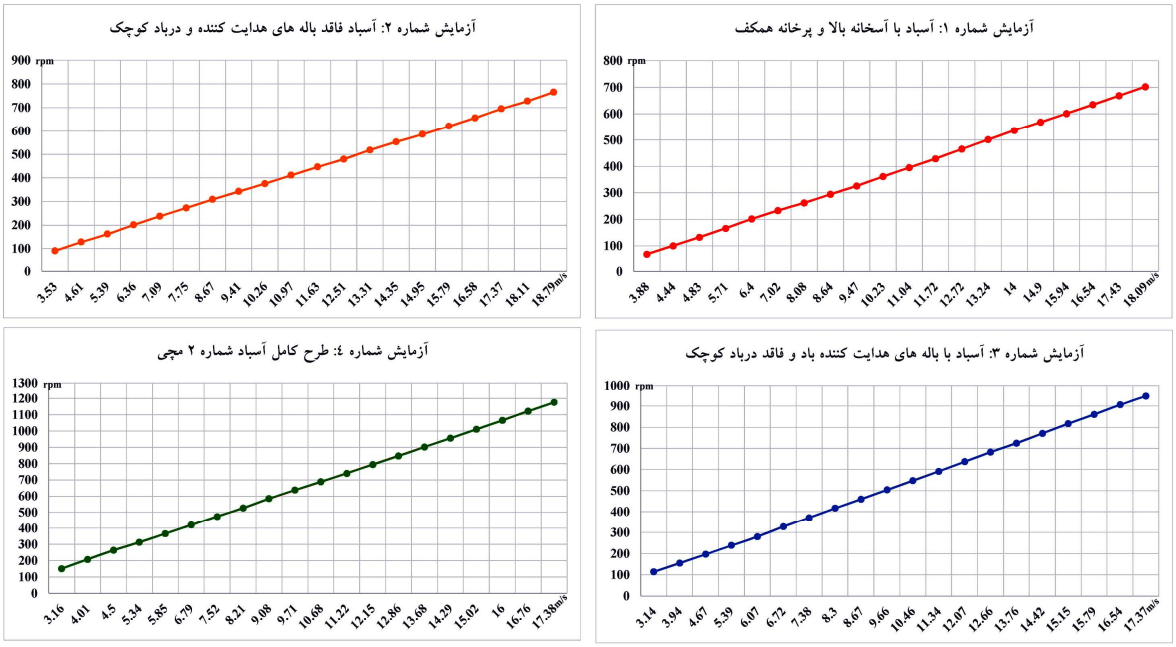
[Downloaded from jhre.ir on 2025-08-11]

عملکـرد آسـباد و بهـره‌بـرداری بیشـتر از انـرژی بـاد پـس از این جابجایی است. مقایسه نتایج با توجه به نمـودار شـماره 5، مبین عملکرد ضعیف‌تر آسـباد در آزمـایش شـماره 1 و بهبـود نسبی آن در تغییر ساختار آسباد و انتقال پرخانه به طبقه بـالا در آزمایش شماره 2 است. نگارنـدگان معتقدنـد انجـام تغییـرات کالبدی-ساختاری در آسبادها، با عملکرد و میـزان بهـره‌وری از انرژی باد، ارتباط مستقیمی داشته است. به این معنی کـه هـر تغییری، با هر علتی، زمانی مجال بروز یافتـه کـه یـا خللـی بـر عملکرد و میزان استفاده از انرژی باد نگذارده و یا در بهبـود آن نقش داشته است. بنابراین سختی کار، دلیلی که برخی محققـان به آن اشاره کرده‌اند، دلیل کافی برای تحول اساسی در سـاختار آسبادها نیست.

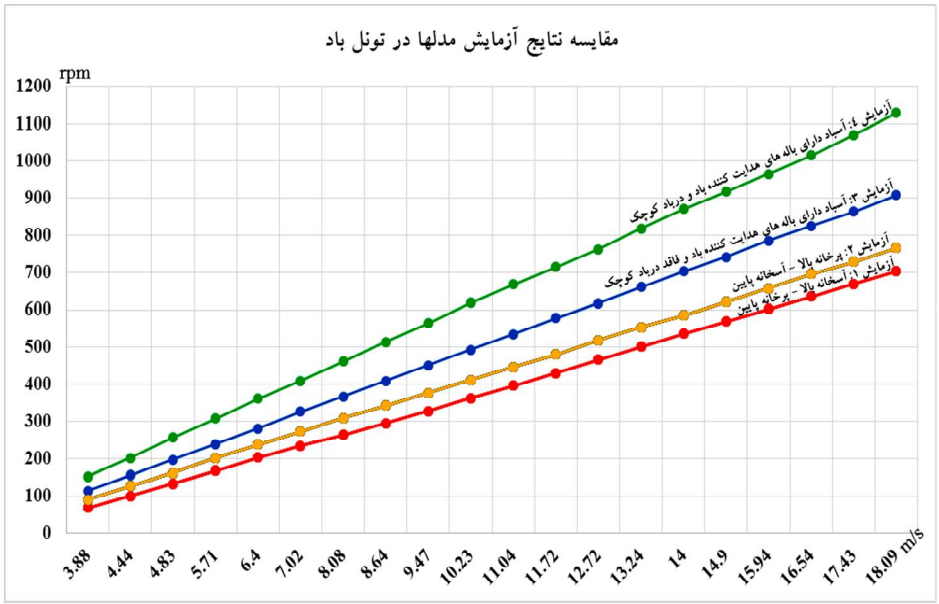
آزمایش 1 آسخانه بالا-پرخانه پایین مطابق آسبادهای قدیمی سیستان (قبل از تغییرات کالبدی)		آزمایش 2 پرخانه بالا-آسخانه پایین فاقد باله‌های هدایت‌کننده و فاقد درباد کوچک		آزمایش 3 دارای باله‌های هدایت کننده و فاقد درباد کوچک		آزمایش شماره 4 دارای باله‌ای هدایت کننده و دارای درباد کوچک	
سرعت (متر بر ثانیه) m/s	دور پره‌ها (در دقیقه) rpm	سرعت (متر بر ثانیه) m/s	دور پره‌ها (در دقیقه) rpm	سرعت (متر بر ثانیه) m/s	دور پره‌ها (در دقیقه) rpm	سرعت (متر بر ثانیه) m/s	دور پره‌ها (در دقیقه) RPM
3.88	69	3.53	91	3.14	115	3.16	152
4.44	101	4.61	128	3.94	156	4.01	201
4.83	133	5.39	162	4.67	197	4.5	256
5.71	167	6.36	201	5.39	239	5.34	307
6.4	202	7.09	238	6.07	281	5.85	361
7.02	234	7.75	273	6.72	326	6.79	409
8.08	263	8.67	309	7.38	367	7.52	462
8.64	295	9.41	343	8.3	409	8.21	514
9.47	327	10.26	376	8.67	451	9.08	565
10.23	362	10.97	412	9.66	493	9.71	618
11.04	396	11.63	447	10.46	536	10.68	668
11.72	430	12.51	480	11.34	579	11.22	714
12.72	466	13.31	519	12.07	617	12.15	762
13.24	502	14.35	554	12.66	660	12.86	818
14	537	14.95	586	13.76	702	13.68	871
14.9	569	15.79	621	14.42	741	14.29	918
15.94	602	16.58	657	15.15	786	15.02	965
16.54	635	17.37	695	15.79	825	16	1016
17.43	669	18.11	728	16.54	864	16.76	1071
18.09	703	18.79	766	17.37	908	17.38	1128

ج 3. نتایج آزمایش‌ها در تونل باد. مأخذ: نگارندگان.

[Downloaded from jhre.ir on 2025-08-11]



ن 4. نتایج آزمایش مدل‌ها در تونل باد بر حسب تعداد دور پره‌ها و سرعت باد. مأخذ: نگارندگان.



ن 5. مقایسه آزمایش‌های تونل باد. مأخذ: نگارندگان.

[Downloaded from jhre.ir on 2025-08-11]

به‌علت اصطکاک بین باد و زمین، ناهمواری سطح زمین موجب کند شدن باد می‌شود. معماران ایرانی با درک این موضوع، علاوه بر استقرار آسبادها در مناطق مرتفع‌تر، فضای پرخانه را به طبقه بالا انتقال داده‌اند و از این راه، ضمن بهبود راندمان آسبادها و بهره‌گیری بیشتر از نیروی باد به مزایای دیگری نیز دست یافته‌اند که عبارتند از:

1. جلوگیری از احتمال عملکرد آسبادها به‌واسطه انباشت شن، خاک و خاشاک در قسمت درباد و فضای پرخانه.

2. کاستن از سختی کار.

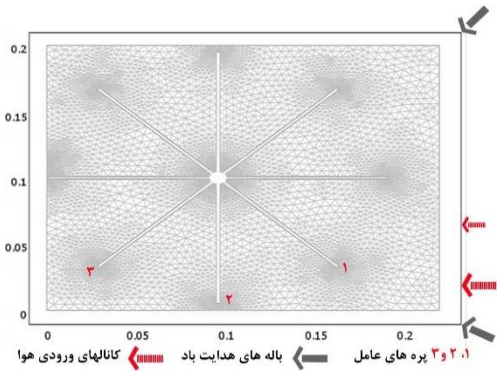
3. جلوگیری از بروز آسیب‌های ساختاری ناشی از لرزه‌های مداوم سنگ آسیا بر روی پوشش پرخانه، در زمانی که آسخانه در طبقه بالا قرار داشت.

4. جلوگیری از اسکان حیوانات مختلف در فضای پرخانه و خرابی احتمالی پره‌ها. در آزمایش شماره 3 با افزودن بال‌های هدایت کننده باد در جبهه رو به باد آسباد، شاهد بهبود مناسب راندمان آسباد هستیم. نتایج آزمایش سوم شیب بیشتری را در مقایسه با دو آزمایش قبلی دارد. بدین معنی که تفاوت عملکرد نمونه سوم با دو نمونه قبلی در سرعت پایین باد، کم بوده و هر چه سرعت باد بیشتر می‌شود، این تفاوت به نحو بارزتری بیشتر می‌شود. این نتیجه با توجه به کارکرد مناسب دیوارهای هدایت کننده باد، در همگرایی باد و ایجاد فشار بیشتر به پره‌ها، حاصل شده است (مقایسه آزمایش 2 و 3 در نمودار شماره 5).

در آزمایش چهارم با افزودن درباد کوچک در کنار درباد اصلی، شاهد ارتقای چشمگیر عملکرد آسباد هستیم. با توجه به نتایج حاصل از آزمایش 4 و مقایسه آن با نتایج سایر آزمایش‌ها در نمودار شماره 5، می‌توان چنین نتیجه گرفت که طراحی و ساخت درباد کوچک در بدنه عریض آسباد، از دستاوردهای معماری آسبادهای منفرد سیستان است چرا که تأثیر آن بر بهره‌وری از انرژی باد بسیار قابل توجه است. به‌نظر می‌رسد معماران ایرانی درباد کوچک را به دو منظور در کنار درباد اصلی طراحی و اجرا کرده اند: 1. تمرکز باد بر روی پره‌ها و بهره‌گیری بیشتر از نیروی باد 2. کنترل کارکرد بهینه آسباد در سرعت‌های کم و زیاد باد.

شبیه‌سازی نرم افزاری مدل‌ها

برای درک بهتر رفتار باد در مدل های مورد آزمایش و تأثیر ساختار کالبدی بر راندمان آسباد، شبیه‌سازی جریان باد برای مدل‌های 2، 3 و 4 در نرم افزار COMSOL Multiphysics انجام شد. به‌منظور تحلیل سیستم پره‌ها از آنجا که نیروی باد با تأثیر بر سه پره از هشت پره آسباد، موجب حرکت پره‌ها می‌شود؛ لذا خطوط جریان باد و بردارهای سرعت حول پره‌های عامل 1، 2 و 3 مورد بررسی قرار گرفته است و از بیان نتایج در بخشهای مختلف سازه مانند باله‌های جانبی و دیواره خروجی صرفنظر شده است (تصویر شماره 10).

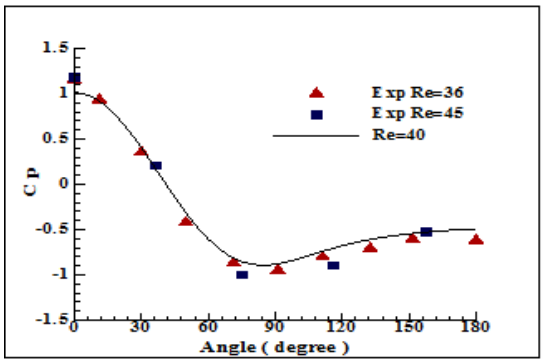


ت 10. تصویر شبکه‌بندی و شبیه‌سازی آسباد و موقعیت پره‌های عامل در محیط نرم‌افزاری. مأخذ: نگارندگان.

اعتبارسنجی روش عددی

برای ارزیابی تحلیل عددی، مدل پایه مانع استوانه‌ای در معرض جریان، برای جریان آرامِ سرعت پایین، ارزیابی شد و با نتایج تحقیق باچ لر[10] در شکل زیر مقایسه شده‌اند (نمودار شماره 6).

[Downloaded from jhre.ir on 2025-08-11]



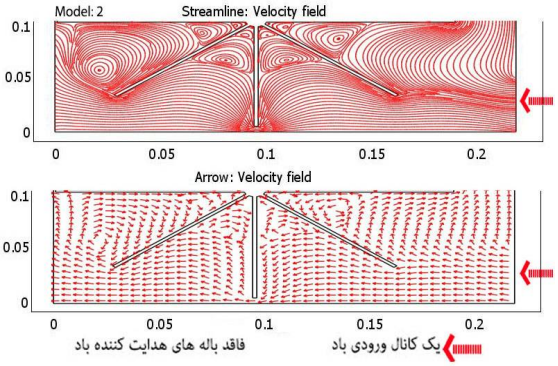
ن 6. مقایسه ضریب فشار آیرودینامیکی عددی روی سطح مانع استوانه‌ای پایه با نتایج تجربی. مأخذ: نگارندگان براساس Batchelor,2002.

تشابه نتایج عددی و نتایج تجربی در محدوده رژیم جریانی مشابه، دقت و اعتبارسنجی پژوهش حاضر را تأیید می‌کند.

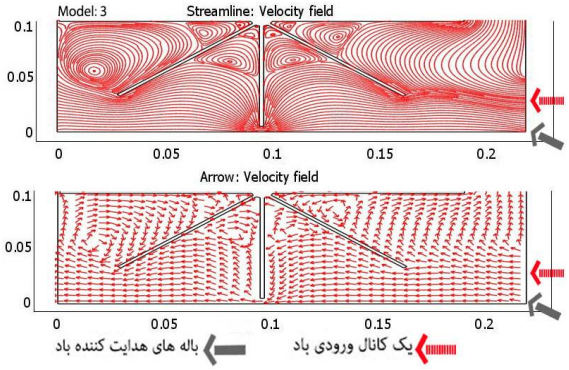
نتایج شبیه‌سازی مدل‌ها

اولین شبیه‌سازی مربوط به مدل شماره 2 است که با یک کانال ورودی باد و فاقد باله‌های هدایت کننده باد، ساخته شده است (تصویر شماره 11).

در شبیه‌سازی نرم افزاری مدل شماره 3، با اجرای باله‌های جانبی، سرعت جریان ورودی به پره‌ها افزایش یافته و همانطور که در خطوط جریان ساختار می بینیم، گردابه‌های تشکیل شده بین پره‌ها کوچکتر شده‌اند (تصویر شماره 12)، بنابراین با افزایش سرعت جریان باد، فشار بیشتری روی پره‌ها وارد خواهد شد.

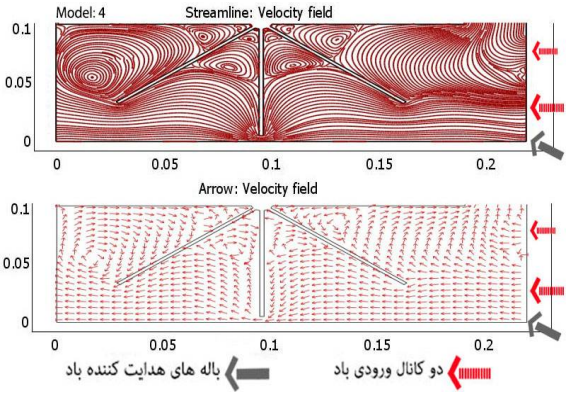


ت 11. شبیه‌سازی خطوط جریان و بردارهای سرعت باد در مدل شماره 2. مأخذ: نگارندگان.



ت 12. شبیه‌سازی خطوط جریان و بردارهای سرعت باد در مدل شماره 3. مأخذ: نگارندگان.

در مدل شماره 4، با ایجاد دو ورودی جریان، در مقایسه با مدل شماره 3، الگوی جریان تغییر یافته است و خطوط جریان و بردارهای سرعت باد، نشان دهنده افزایش فشار مثبت روی پره‌ها است (تصویر شماره 13).



ت 13. شبیه‌سازی خطوط جریان و بردارهای سرعت باد در مدل شماره 4. مأخذ: نگارندگان.

بررسی قدرت باد روی پره‌های عامل

در مدل‌های شبیه‌سازی شده، قدرت‌های عامل بر پره‌ها به ترتیب پره‌های (1) و (2) و (3) محاسبه شده اند. صفحه برخورد باد به پره را با صفحه اصلی مشخص کرده و اثر قدرت باد بر پره را با متغیر E به‌صورت زیر محاسبه و بیان شده است.

$$E = \int P\, ds$$

[Downloaded from jhre.ir on 2025-08-11]

قدرت باد مؤثر بر پره‌ها به ترتیب برای مدل‌های 2، 3 و 4 در جدول شماره 2 نمایش داده شده است.

همانطور که مشاهده می‌شود، پره‌های 1، 2 و 3 به ترتیب در معرض باد قرار می‌گیرند، بنابراین به ترتیب قدرت‌های بیشتر برای پره اول و سپس دوم و سوم به‌دست می‌آید.

تحلیل و ارزیابی نتایج شبیه‌سازی

در شبیه‌سازی انجام شده، مدل شماره 2 ساده‌ترین مدل است و شبیه‌سازی خطوط جریان باد، نشان‌دهنده گردابه‌های بیشتر و بردارهای سرعت، بیانگر شدت جریان کمتر در این مدل است. با توجه به ساختار کالبدی آسباد در این مدل، قدرت مؤثر برای پره‌های عامل(مطابق جدول شماره 2) بین 2800 تا 17000 می‌باشد.

در مدل 3 با افزودن باله‌ها به مدل شماره 2، مقدار قابل توجهی قدرت آسباد افزایش یافته که این بهبود در شبیه‌سازی خطوط جریان و بردارهای سرعت مشهود است. در این مدل بواسطه وجود باله‌ها، پتانسیل سرعت جریان در کانال ورودی و روی پره‌ها، بیشتر از سرعت جریان آزاد باد می‌باشد و قدرت مؤثر روی پره‌ها تا میزان 3000 تا 180000 بهبود می یابد.

در مدل شماره 4 با دو کانال ورودی باد و باله‌های هدایت کننده باد، تراکم خطوط جریان سرعت باد و بردارهای سرعت، باز هم ساختار بهبود یافته آسباد را نمایش می هد و قدرت باد مؤثر بر پره‌ها به میزان 4200 تا 250000، افزایش شایانی را نشان می‌دهد.

	پره شماره 1	پره شماره 2	پره شماره 3
مدل 2	1.7929E4	1.7713E4	2.8446E2
مدل 3	18.5606E4	18.3091E4	30.47E2
مدل 4	25.2975E4	24.8601E4	42.27E2

ج 2. E **قدرت باد بر پره‌های عامل. مأخذ: نگارندگان.**

نتیجه

مقایسه نتایج آزمایش 1 و2 در تونل باد نشان می‌دهد معماران ایرانی با علم به اینکه ناهمواری سطح زمین، موجب کند شدن باد می‌شود علاوه بر استقرار آسبادها در مناطق مرتفع‌تر فضای آسخانه و پرخانه را در آسبادهای قدیمی سیستان جابجا کرده‌اند تا ضمن بهره‌گیری بیشتر از انرژی باد، از اختلال احتمالی عملکرد آسبادها ناشی از انباشت ماسه و خاشاک یا اسکان حیوانات در فضای پرخانه جلوگیری کنند، از سختی کار بکاهند و مانع بروز آسیب‌های ساختاری ناشی از لرزه‌های سنگ آسیا در طبقه بالا شوند.

آزمایش مدل‌های 2، 3 و 4 در تونل باد و شبیه‌سازی نرم‌افزاری آن‌ها نشان می‌دهد، در مدل شماره 2 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 دقیقه در مقایسه با مدل‌های 3 و 4 کمتر است.

نتایج مطالعات تونل باد و شبیه‌سازی نرم افزاری، بیانگر آن است که در مدل شماره 3 با افزودن باله‌های هدایت‌کننده باد، گردابه‌های جریان باد در مقایسه با مدل شماره 2 کاهش می‌یابد و همگرایی باد بیشتر شده، سرعت جریان باد در کانال ورودی و روی پره‌ها، نسبت به سرعت جریان آزاد باد، افزایش می یابد در نتیجه قدرت آسباد ارتقای قابل توجهی می‌یابد؛ به‌گونه‌ای که با افزایش سرعت باد، میزان بهره‌وری از انرژی باد به مراتب بیشتر می‌شود.

در مدل شماره 4 با دو کانال ورودی باد و باله‌های هدایت کننده باد، تراکم خطوط جریان سرعت باد و بردارهای سرعت، باز هم ساختار بهبود یافته آسباد را نمایش می‌هد. شبیه‌سازی نرم‌افزاری و آزمایش مدل 4 در تونل باد به

[Downloaded from jhre.ir on 2025-08-11]

شناخت بهتر ما نسبت بـه یکـی از دسـتاوردهای ارزشـمند معماری ایران کمک شایانی می‌کند. نتیجه ایـن آزمـایش نشـان می‌دهد معماران ایرانی با طراحی دربادی کوچک و زاویـه دار، در کنار دربـاد اصـلی، توانسـته‌انـد بـاد را بـه خـوبی بـر روی پره‌های آسباد متمرکز کنند و علاوه بـر تضـمین کـارکرد بهینـه آسباد در نوسـانات بادهـای 120 روزه، موجـب ارتقـای قابـل توجه قدرت آسباد و راندمان آن شده‌اند.

پی‌نوشت

1. Shepherd
2. Gasch
3. Zayats
4. Muller
5. Jentsch
6. Stoddart
7. Simulation and Modeling
8. Tanaka
9. Nagano
10. Batchelor

فهرست منابع

- احراری رودی، عبدالکریم.(1383)، خـواف در گـذر تـاریخ، انتشارات احمدجام، تربت جام.
- اسفندیاری، علی؛ بازارگان، مجید.(1393)، بررسی عددی اثر محل اتصال و گام اولیه پره بر عملکرد یک توربین بادی محور عمودی، مجله مهندسی مکانیک مـدرس، دوره 14، شـماره 2، ص 79-84.
- افشار سیستانی، ایرج.(1367)، بزرگان سیستان، دیبا، تهران.
- بمانیان، محمدرضا؛ محمودی نژاد، هادی.(1389)، انرژی‌های نو و شهر خورشیدی، انتشارات هله، طحان، تهران.
- حسین‌زاده، سیدرضـا. (1376)، بادهـای 120 روزه سیسـتان، تحقیقات جغرافیایی، شماره 46، ص 103-127.
- خضری، زهره؛ ایمانی، نادیه(1388)، آسباد تجلی‌گـاه هنـر و صنعت، نامه معماری و شهرسازی، شماره2، ص 111-123.
- رحیمی، غلامحسین.(1386)، ایـران زادگـاه آسـیاهای بـادی عمود محور، کتاب ماه علوم و فنون، شماره 97، ص 7-13.
- زندیه، مهدی؛ پروردی نژاد، سمیرا.(1390)، توسعه پایـدار و مفاهیم آن در معماری مسکونی ایران، مسکن و محیط روسـتا، شماره 130، تهران، ص 2-21.
- قهرمانی، بیتا؛ بهادری، علـی اصـغری. (1392)، آس بادهـای نشتیفان مثالی برای مهندسی هوشمندانه ایرانـی، صـفه، شـماره 60، ص 51-64.
- کیهانی، علیرضا؛ گلزاریـان، محمودرضـا؛ علیمردانـی، رضـا. (1384)، بررسـی آزمایشـگاهی تـأثیر زاویـه و تعـداد پـره در استحصال توان در توربین پرپره بادی، مجلـه علـوم کشـاورزی ایران، جلد 36، شماره 1، ص 229-237.
- گروت، لیندا؛ وانگ، دیویـد.(1394)، روش‌هـای تحقیـق در معماری، علیرضا عینی فـر، چـاپ هشـتم، انتشـارات دانشـگاه تهران.
- گل محمدی، فرهود. (1390)، بررسی شیوه‌هـای آمـوزش و ترویج دانش بومی معماری روسـتایی (نمونـه مـوردی: اسـتان سیستان و بلوچستان)، مسـکن و محـیط روسـتا، شـماره 136، ص 79-94.
- مدرس رضوی، مجتبی.(1372)، آسـیاهای بـادی، تحقیقـات جغرافیایی، شماره 29، ص 82-115.
- مستند نگاری آسـبادهای سیسـتان.(1389)، سـازمان میـراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان سیستان و بلوچستان.
- مفیدی، عباس؛ حمیدیان پور، محسن؛ سـلیقه، محمـد؛ علـی جانی، بهلول.(1392)، تعیین زمان آغاز، خاتمـه و طـول مـدت وزش باد سیستان با بهره‌گیری از روش‌های تخمین نقطه تغییر، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره 8، ص 87، 112.
- مهدوی‌نژاد، محمدجواد؛ بمانیان، محمدرضا؛ مشایخی، محمد. (1391)، آسبادها قدیمی‌ترین آسیاهای بـادی در جهـان، نقـش جهان، شماره 2، صص 43، 54.
- نادری، بقراط. (1356)، آسبادهای خواف، هنر و مردم، تیر و مرداد، ص 75-85.
- نگارش، حسین؛ لطیفی، لیلا.(1388)، منشاء یابی نهشته‌هـای بـادی شـرق زابـل از طریـق مورفوسـکپی و آنـالیز فیزیکـی و شیمیایی رسوبات، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال بیسـتم،

[Downloaded from jhre.ir on 2025-08-11]

شماره پیاپی 33، شماره 1، ص 1-22.
- نوروزیان‌ملکی، سعید؛ حسینی، سیدباقر؛ رضایی، محمود. (1390)، معماری در عصر تغییر اقلیم، مسکن و محیط روستا، شماره 129، ص 20-31.
- Batchelor G.K (2002), an Introduction to Fluid Dynamics, Cambridge Mathematical Library, United Kingdom.
- Dennis G. Shepherd, (1990), Historical Development of the Windmill, NASA (National Aeronautics and Space Administration), Contractor Report 4337, Cornell University, New York.
- 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.
- Saeidian, Amin, Gholi, Mojtaba Zamani, Ehsan (2012), Windmills (Asbads): Remarkable Example Of Iranian Sustainable Architecture, Architecture Civil Engineering Environment, The Silesian University Of Technology pp 19-30.
- Tanaka. H, Nagano. S (1973), "Study of flow around a rotating circular cylinder", Bulletin of JSME, Vol. 16, No. 92, pp. 234-243.
- Zayats. Inna (2015), The Historical Aspect of Windmills Architectural Forms Transformation, Procedia Engineering, 117, pp 690 – 700.

[Downloaded from jhre.ir on 2025-08-11]