

تحلیل عددی عملکرد بادگیرها به عنوان سیستم‌های سرمایش انفعالی در مناطق گرم و خشک

محسن مزیدی^۱، محمد مزیدی^۲

چکیده:

بادگیرها برج‌های کوچکی هستند که برای تهویه طبیعی ساختمان‌ها در مناطق گرم و خشک ایران از زمان‌های قدیم بکار می‌رفته‌اند. با وزش باد، هوا وارد ستون بادگیر شده، گرمای هوا به سطوح داخلی دیواره بادگیر منتقل و در نهایت هوای خنک وارد ساختمان می‌شود. مهمترین مزیت بادگیرها خنک سازی هوا بدون بکارگیری انرژی الکتریکی است. در این مقاله عملکرد بلندترین بادگیر جهان (بادگیر باغ دولت آباد یزد) با به کارگیری یک بسته نرم افزاری دینامیک سیالات محاسباتی مورد مطالعه قرار گرفته است. توزیع دما، فشار و سرعت هوا در طول ستون بادگیر بدست آمده که معادلات ترمودینامیکی، مکانیک سیالاتی و انتقال حرارتی حاکم برای تخمین عملکرد این بادگیر بکار گرفته شده است. در نهایت نتایج بدست آمده در نمودارهایی ارائه گردیده است.

تاریخ دریافت مقاله:

۱۳۸۷/۴/۲۹

تاریخ پذیرش مقاله:

۱۳۸۷/۷/۹

کلمات کلیدی:

بادگیر، سرمایش انفعالی، تهویه مطبوع سنتی، تحلیل عددی، ساختمان

^۱) یزد، بافق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بافق، گروه مهندسی مکانیک، هیئت علمی، کارشناس ارشد مدیریت انرژی.

mazidi_mohsen@yahoo.com

^۲) دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، تبدیل انرژی.

مقدمه

از جمله پدیده‌های چشمگیر در ساختمان‌های روزگاران گذشته ایران، بنای بادگیر است که مخصوصاً در شهرهای کویری و دشت و هامون‌های بادخیز بر فراز ساختمان‌ها ساخته می‌شده و برخی اشخاص آنرا بیش از فایده تهویه از جنبه تزئینی مهم می‌پنداشند. شهرها و مناطقی که در حاشیه کویر قرار دارند دارای ساختار مخصوص به خود هستند. از شرایط اقلیمی حاکم بر آن جا می‌توان به آفتاب سوزان، خنکی هوا در شب، کم بودن بارش نزولات آسمانی، وزش بادهای شدید و همچنین وجود تفاوت محسوس دما بین آفتاب و سایه اشاره نمود. مردمی که در این نواحی زندگی می‌کنند تدبیر خاصی برای مقابله با این شرایط اقلیمی اندیشیده‌اند که می‌توان متمرکز نمودن اماکن و بناها در یک جا، ساخت آب انبارها، حفر قنات و همچنین ایجاد کوچه‌های نسبتاً باریک و گاه سرپوشیده با تاق‌های قوسی را نام برد. اگر خانه‌های قیمه‌ی را با ساختمان‌های امروزی مقایسه کنیم درمی‌باشیم که در خانه‌های قدیمی دیوارها بلند و ضخیم بوده، مصالح بکار رفته در آنها خشت و گل است. ولی در ساختمان‌های امروزی دیوارها دارای ضخامتی کمتر و کوتاه‌تر هستند و مصالح کمتری در آنها بکار رفته و ساختمانها سبکتر شده‌اند. در نتیجه در ساختمان‌های قدیمی بهای ساخت بالا و مخارج نگهداری و گرم و سرد کردن سرده‌کردن محیط پایین است ولی در ساختمان‌های امروزی بهای ساخت پایین تر و مخارج نگهداری و گرم و سرد کردن محیط بالاتر است [۱]. در حقیقت بادگیرها در عین زیبایی و زینت بخشیدن به ساختمانها، نقش بس ارزنده در چگونگی تهويه فضای درونی ساختمانها و خنک کردن سرداها و آب انبارها دارند. آنها برجهایی هستند که با توجه به نحوه ساختمان ویژه خود جریان طبیعی هوا را به داخل بنای مختلف هدایت می‌کنند و از مصادیق بارز استفاده‌های از انرژی‌های پاک محسوب می‌شوند [۲].

پیشینه معماری بادگیر

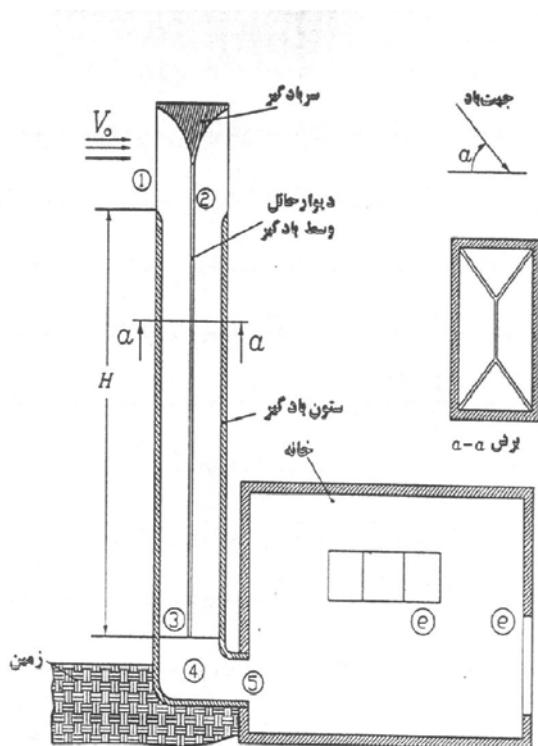
بادگیرها سازه‌های سنتی در معماری اصیل ایران هستند که با عملکردی یکسان، ساختارهای گوناگونی دارند. بررسی بادگیرهای موجود در نقاط مختلف ایران نشان می‌دهد که تفاوت‌های ساختاری آنها از نیاز اقلیمی و تکامل معماری سرچشم‌گرفته است [۳]. با مطالعه در ساختمان بادگیرها می‌توان بادگیرها را به سه دسته تقسیم نمود که عبارتند از بادگیر اردکانی، بادگیر کرمانی و بادگیر یزدی [۴].

بادگیر اردکانی بیشتر در منطقه اردکان دیده می‌شود که جهت چشم‌های بادگیر رو به باد مطبوع اصفهانی بوده و از سمت غرب، شرق و جنوب منفذی ندارد. ساختار این بادگیرها از لحاظ معماری ساده و از لحاظ اقتصادی مقرن به صرفه است. در بعضی از شهرهای جنوبی ایران مانند بندرعباس، بندر بوشهر و غیره که در مجاورت دریا می‌باشند، بادگیرهای یک طرفه ای رو به دریا ساخته شده اند تا بادهایی را که از روی آب گذشته و بصورت نسیم خنکی در می‌آیند به فضای داخلی ساختمان انتقال دهند [۵].

بادگیرهای کرمانی از نظر معماری ساده و تقریباً کوچک هستند و چون دو طرفه می‌باشند به آنها بادگیر دوقلو نیز می‌گویند. کارکرد این بادگیرها نسبت به بادگیرهای اردکانی دقیق‌تر است زیرا فشار باد از یک طرف، موجب تخلیه سریع هوای گرم و آلوده از طرف دیگر می‌گردد. ضمناً بادگیر بیشتر آب انبارها را از نوع بادگیر کرمانی می‌سازند [۶].
بادگیر یزدی که از سایر انواع بادگیرها بزرگ‌تر است معمولاً بصورت چهار طرفه ساخته می‌شود و ارتفاع آن زیاد می‌باشد. این نوع بادگیر از نظر معماری از سایر انواع بادگیرها پیچیده‌تر و زیباتر بوده که زیباترین و بلندترین بادگیر از این نوع، بادگیر باغ دولت آباد یزد است [۷].

بررسی نحوه عملکرد بادگیرها

همانطورکه در شکل (۱) مشخص است یک بادگیر از سه قسمت اصلی شامل سربادگیر، ستون بادگیر و زانوبی‌های هدایت کننده تشکیل شده است [۸].



شکل (۱): نمای یک بادگیر



عملکرد شبانه و روزانه بادگیر در زمانیکه سرعت باد صفر است: درشب به علت پایین بودن دمای محیط و تشعشع حرارتی از سطح دیوارهای خارجی بادگیر به آسمان، مقداری انرژی سرمایی در جرم ساختمان بادگیر ذخیره می‌گردد. در ساعات اولیه صبح روز آینده، در اثر نیروی شناوری مقداری هوا وارد ساختمان می‌شود. در اوایل شب به علت گرم بودن دیوارهای بادگیر، چگالی هوای داخل ستون بادگیر نسبت به چگالی هوای محیط کم می‌شود، در اثر این اختلاف چگالی، هوا از داخل بادگیر به محیط هدایت می‌شود.

در اثر تشعشع خورشید در طی روز، دمای دیوارهای بادگیر بالا می‌رود و هوای داخل ستون بادگیر نسبت به هوای محیط سبک‌تر می‌گردد. بنابراین هوای داخل ساختمان از طریق بادگیر به محیط هدایت می‌شود. در واقع در این حالت بادگیر مانند یک دودکش عمل می‌کند [۹].

عملکرد بادگیر زمانی که باد با سرعت مناسبی بوزد: درهنگام وزش باد، هوای خنک در شب از طریق خود بادگیر وارد ساختمان می‌شود و در اوایل صبح نیز هوا با عبور از ستون بادگیر که در شب قبل مقداری انرژی سرمایی در خود ذخیره کرده، خنک می‌گردد. در روز نیز هوا با کمی تغییرات درجه حرارت وارد ساختمان می‌شود [۹].

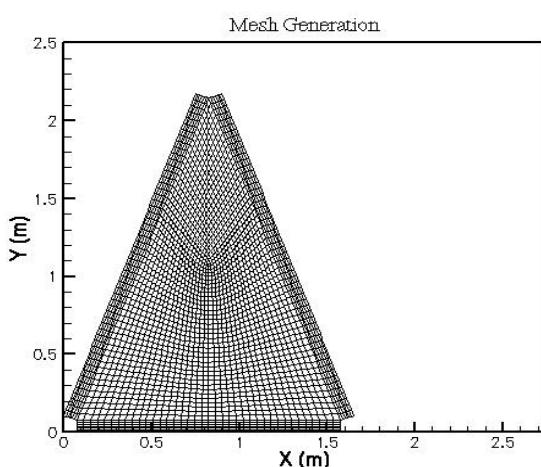
تحلیل عددی عملکرد بادگیر نمونه (بادگیر باغ دولت آباد یزد)

در این قسمت به تحلیل عددی بادگیر نمونه (بادگیر باغ دولت آباد یزد) به کمک نرم افزار Fluent می‌پردازیم. این بادگیر دارای هشت کanal ورودی هوا می‌باشد که در اینجا یک کanal به علت تشابه کanal‌ها، عنوان کanal مرجع مورد بررسی قرار گرفته است.

کanal مورد نظر یک منشور مثلث القاعده بوده که اندازه قاعده آن $1/5$ متر و اندازه ساق آن $2/2$ متر و ارتفاع آن $23/8$ متر است. اتفاقی نیز در زیر بادگیر قرار دارد که دارای طول 6 متر، عرض 4 متر و ارتفاعی برابر با $2/5$ متر است. درست در زیر بادگیر حوضچه هشت گوشی قرار گرفته که طولی برابر با $1/75$ متر و عمقی برابر با $0/75$ متر دارد. جنس بادگیر از خشت و گل(کاهگل) و ضخامت دیواره بیرونی آن $8/0$ متر می‌باشد. در این تحلیل سیال در نظر گرفته شده (جریان یافته در درون بادگیر) هوای خشک ($R.H=0\%$) می‌باشد.

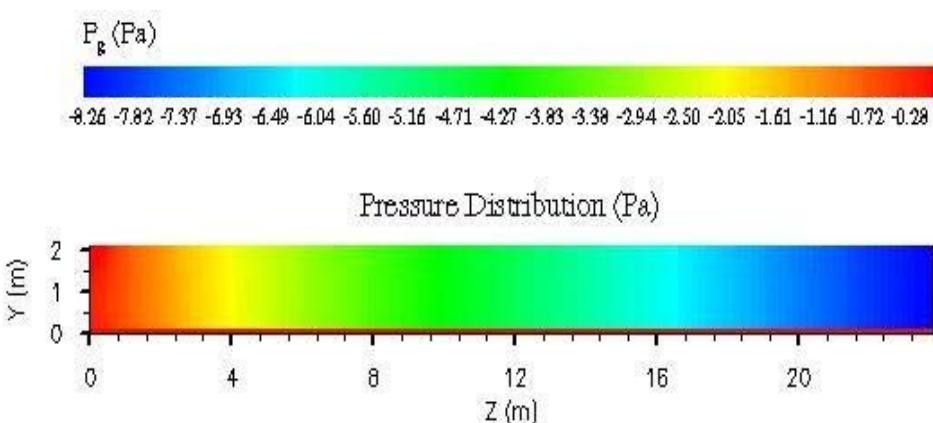
شکل (۲) نمایشی از مش بندی سطح مقطع کanal مورد نظر را نشان می‌دهد که از نوع مش مربعی می‌باشد. در این مش بندی علاوه بر حجم کنترل بادگیر، دیواره بیرونی بادگیر نیز مش بندی شده است. تعداد مش زده برای حجم کنترل بادگیر 103740 عدد و برای دیواره ها 53280 عدد می‌باشد.

در این تحلیل برای نمایش تغییرات سرعت، دما و غیره از دو نوع مقطع یا برش، یکی موازی با صفحه XY و دیگری عمودی بر صفحه XY استفاده شده است. مقطع‌های موازی با صفحه XY، ۷ عدد می‌باشد که هر کدام به فاصله ۰۴ متر از یکدیگر قرار دارد. تنها مقطع آخری در پایین بادگیر به فاصله ۳/۸ متر از مقطع بالایی خود قرار گرفته است. این مقاطع از شماره ۱ تا ۷ شماره گذاری شده‌اند.



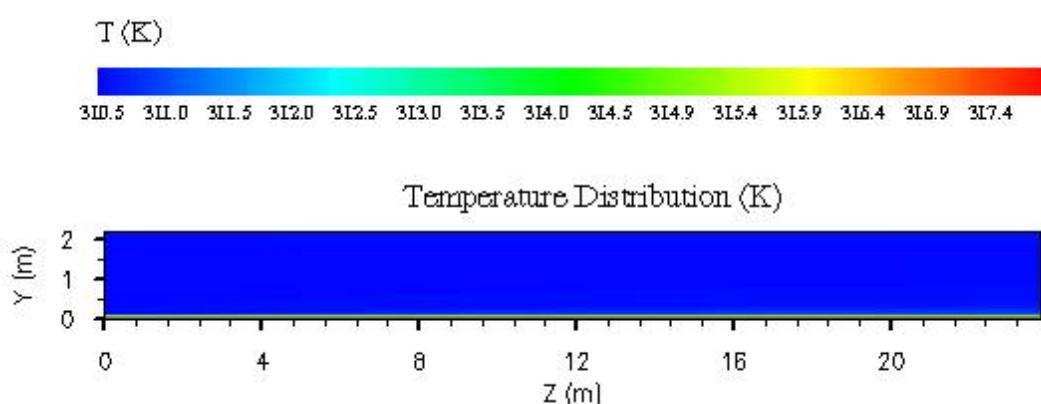
شکل(۲): مش بنده کانال ورودی هوا

شکل (۳) تغییرات فشار هوا را در طول ستون بادگیر نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۳) مشخص است که میزان تغییرات فشار در طول ستون بادگیر حدود ۸ پاسکال بوده و بدليل همین اختلاف فشار، هوا در داخل ستون بادگیر جریان می‌یابد. همچنین با توجه به سرعت هوا ورودی در کل ستون بادگیر فشار منفی است.



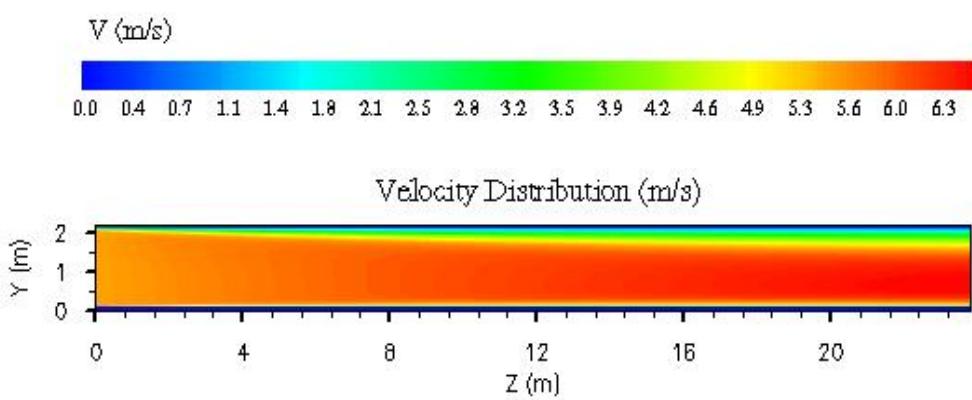
شکل (۳): توزیع فشار در طول ستون بادگیر

شکل (۴) تغییرات دمای هوا را بر حسب درجه کلوین در طول ستون بادگیر نشان می‌دهد. این نمودار با فرض دمای هوای ورودی ۳۷ درجه سانتیگراد (۳۱۰/۴ درجه کلوین) بدست آمده است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که دمای هوا در طول بادگیر تقریباً ثابت بوده و دمای هوای ورودی به ساختمان از طریق بادگیر تقریباً برابر با دمای محیط می‌باشد که برای مناطق گرم و خشک مناسب نیست.

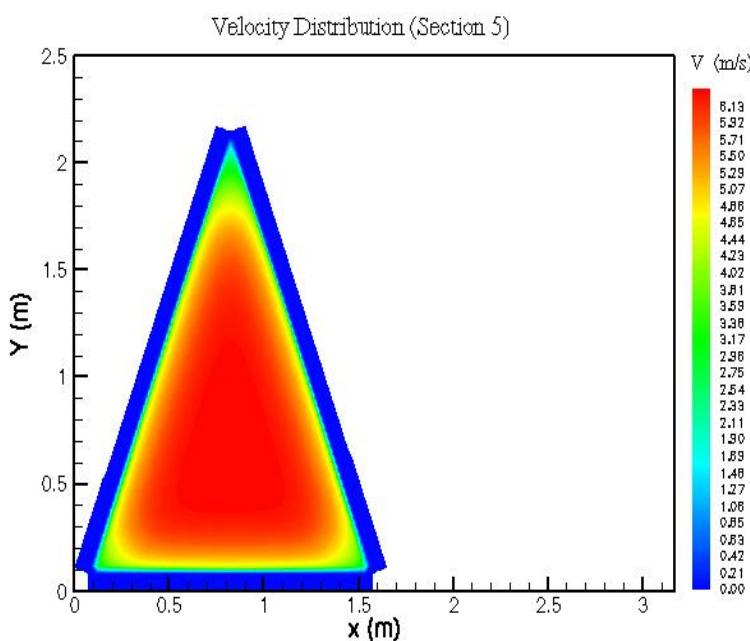


شکل (۴): توزیع دما در طول ستون بادگیر

شکل (۵) تغییرات سرعت هوا را در طول ستون بادگیر نشان می‌دهد. همانطور که انتظار می‌رود سرعت هوا در طول ستون بادگیر تغییرات زیادی ندارد. همچنین شکل (۶) بطور نمونه توزیع سرعت را در یک مقطع دلخواه موازی صفحه XY (مقطع شماره ۵) نمایش می‌دهد. در این شکل‌ها نحوه توزیع سرعت و تشکیل لایه مرزی کاملاً مشخص است.



شکل (۵): تغییرات سرعت هوا در طول ستون بادگیر



شکل (۶): تغییرات سرعت در مقطع موازی

نتیجه گیری

بادگیرها ساختمانهای کوچکی هستند که در آنها در اثر وزش باد، هوا از دهانه هایی که در سر بادگیر تعییه شده است وارد ستون بادگیر شده و پس از تبادل حرارت با سطوح داخلی دیوارهای آن وارد ساختمان می‌گردد. در واقع بادگیرها بدون استفاده از انرژی الکتریکی هوای ساختمان را تا حدی خنک می کنند. در اینجا با استفاده از نرم افزار Fluent عملکرد بزرگترین بادگیر جهان مورد مطالعه قرار گرفته و توزیع دما، فشار و سرعت در مقاطع مختلف در طول ستون بادگیر بدست آمده است. با توجه به این نتایج دیده می شود که بادگیرهای سنتی با توجه به عملکردی که دارند، دارای معایبی نیز هستند که از آنجمله می توان به موارد زیر اشاره نمود.

در بادگیرهای سنتی دمای هوای ورودی به ساختمان از طریق بادگیر، تقریباً برابر با دمای محیط می باشد. مثلاً در ساعت ۳ بعدازظهر یک روز گرم تابستانی که دمای محیط برابر با ۳۷ درجه سانتیگراد است، دمای هوای ورودی به داخل ساختمان در حدود همین درجه حرارت است. این دما نمی تواند آسایش حرارتی را برای ساکنان داخل ساختمان تامین نماید. تنها عامل موثر پایین آوردن دمای هوا در بادگیر، پایین بودن دمای هوا در شب و تشعشع حرارتی دیوارهای خارجی ساختمان بادگیر به آسمان است، که از طریق ذخیره سازی انرژی برودتی در جرم ساختمان بادگیر صورت گرفته و در روز آینده مورد استفاده قرار می گیرد. به علت محدود بودن جرم مصالح ساختمان بادگیر، این ذخیره سازی انرژی دارای



محدودیت است و به علت سطح انتقال حرارت زیاد و جریان جرمی زیاد هوا، این ذخیره انرژی پس از مدت کوتاهی به مصرف می‌رسد و بعد از بالا رفتن دمای هوای محیط و تشعشع خورشید در ساعات اولیه روز، دمای جرم ساختمان افزایش می‌یابد و بنابراین در اغلب ساعات شباهنگ روز نمی‌توانیم دمای هوای خنک تری از دمای محیط داشته باشیم. همچنین وقتی که سرعت باد کم باشد، بادگیرها نمی‌توانند مقدار هوای مورد نیاز را جهت آسایش برودتی تامین نمایند و در صورت نوزیدن باد، فقط در ساعات اولیه روز مقدار کمی جریان هوا در اثر نیروی شناوری وارد ساختمان می‌شود. در مناطقی که باد مطلوب جهت خاصی ندارد، از بادگیرهای سه یا چهارجهته استفاده می‌شود. قسمتی از هوایی که از یک دهانه وارد بادگیر می‌شود توسط دهانه دیگر بادگیر خارج می‌شود و به همین دلیل مقدار عمدۀ ای از هوا که باید وارد ساختمان شود به هدر می‌رود [۸-۹].

منابع

- [۱] فتحی، ح، "ساختمان سازی با مردم"، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۷۲، ص ۹۹-۹۳.
- [۲] توسلی، م، "معماری اقلیم گرم و خشک"، انتشارات مروی، ۱۳۵۳، ص ۷۲-۷۱.
- [۳] مزیدی، م، دهقانی، ع، "تعیین جریان کلی هوا در بادگیرها به عنوان عاملهای تهویه مطبوع ستی در ساختمان‌های قدیمی"، مجله نامه مکانیک شریف، شماره ۸، تابستان ۱۳۷۹، ص ۶۵-۵۸.
- [۴] شریعت زاده، ع، "نقش بادگیر در ناحیه جنوبی دشت کویر استان یزد"، همايش تاریخ معماری و شهرسازی ایران، تهران، مهر ۱۳۷۴، ص ۲۲۰-۲۲۶.
- [۵] زمرشیدی، ح، "معماری ایران، اجرای ساختمان سنتی"، انتشارات زمرد، ۱۳۷۳، ص ۱۲۳-۱۱۹.
- [۶] پیرنیا، م.ک، "بادگیر و خیشخان"، مجله باستان‌شناسی و هنر ایران، شماره ۴، ۱۳۴۸، ص ۵۱-۴۳.
- [۷] مصطفوی، م.ت، "بادگیرها پدیده‌های سهل و ممتنع در معماری اصیل ایران"، انتشارات جدائله، جلد اول، ۱۳۷۱، ص ۳۳۷-۳۳۴.
- [۸] پاکزاده، ا.ر، "تحلیل دو نوع بادگیر جدید برای شرایط اقلیمی ایران و مقایسه آن با بادگیرهای متداول"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک (تبديل انرژي)، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷۸.
- [۹] مزیدی، م، "تعیین کارایی بادگیرهای مسجد دانشگاه یزد به روش تجربی و تحلیلی"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک (مدیریت انرژی)، دانشکده انرژی، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)، ۱۳۸۴.