



مطالعه سازه های بادگیر و بهینه سازی مقطع بادگیر تحت اثر انرژی تجدید پذیر باد به عنوان یک سیستم تهویه مطبوع در معماری قدیمی ایرانی

میلاد جهانگیری^{۱*}، عبدالرضا زارع^۲

۱- دانشجوی کارشناسی گروه مهندسی عمران، دانشگاه یاسوج، یاسوج

۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه یاسوج، یاسوج

* نویسنده مسئول (jahangiri@gmail.com)

چکیده

محدودیت منابع انرژی و نقش اساسی آن در پیشرفتهای صنعتی استفاده از انرژی های تجدید پذیر نظیر باد، خورشید، آب و ... را به عنوان گزینه ای مناسب مطرح کرده است. انرژی های تجدید پذیر علاوه بر مقرون به صرفه بودن، در داشتن محیط زیستی پاک و بدون آلودگی نقش مهمی را ایفاء می کند. از این رو بررسی سازه های قدیمی مانند بادگیر ها که در گذشته استفاده فراوانی داشتند به نحوی که باعث استفاده در عصر مدرن گردد حائز اهمیت بوده و ارائه مدل هایی جدید جهت بهینه سازی آن ها قابل تامل است. در این مقاله با استفاده از ریاضیات تغییرات و آنالیز نیروی باد بر روی بادگیر ها مدلی بهینه ارائه شده که مقاوم تر از مدل های پیشین بوده و از نظر پارامترهای طراحی سازه های بادگیر، خصوصیات بهتری دارند. لذا مدل هذلولی گون در این خصوص ارائه شد. این مدل درحالیکه کمترین سطح در برابر باد را دارد، استحکام و مقاومت آن از بادگیر های پیشین بیشتر بوده و به عنوان مدلی کاربردی جهت برجک بادگیرهای نسل جدید پیشنهاد می گردند.

کلید واژگان: نیروی باد، انرژی تجدید پذیر، سازه های بادگیر، مهندسی سنتی

Optimal cross section and elevation in wind catcher structures as a ventilation system in traditional iranian architecture

Milad Jahangiri^{1*} Abdolreza zare¹

1- Department of civil engineering, Yasouj University, Yasouj

* (jahangiri@gmail.com)

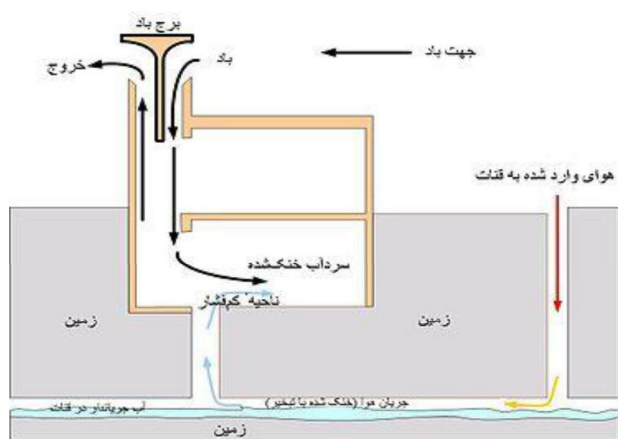
Abstract

The limited available energy resources and its basic role in industrial development, employing the renewable sources of energy including wind, sun, water and etcetera as appropriate choice described. Renewable energies are not only economically advisable, but even can contribute to provide a cleaner approach of energy production and healthier environment. Hence, assessment of some old structures such as Middle East wind catcher that are established on the ground of clean energies and adapting them to the modern age demands with optimizing models is noteworthy. This work, by keeping focus on calculus of variation and analysis of the wind load on the wind catcher structures and present an optimal more resistant model. Optimization of the design parameters of wind catcher structures led to a hyperbolic model with least wind catcher surface and a higher stability and strength compared with the older structures of this category.

Keywords: Wind force, Wind renewable energy, Wind catcher structures, Traditional engineering

۱- مقدمه

نهایتاً مدلی مناسب جهت افزایش مقاومت و ماندگاری سازه های بادگیر بادگیر ارائه شده است.



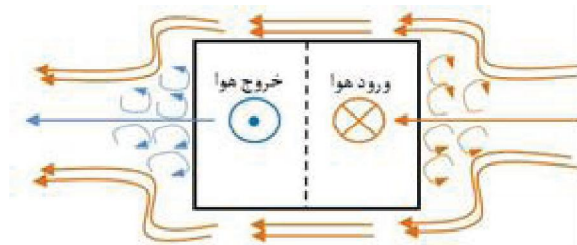
شکل ۱. مکانیزم سازه های بادگیر

۲- مکانیزم سازه های بادگیر

از دیر زمان در مناطق مختلف جهان از سازه های بادگیر استفاده شده است، اما مکانیزم همه سازه های بادگیر کاملاً متشابه نمی باشند و با توجه به شرایط جغرافیای هر منطقه طراحی شده اند [۱]. در اینجا یکی از روش های سنتی مکانیزم این سازه ها شرح داده شده است. در سازه های بادگیر از انرژی تجدید پذیر باد استفاده شده که عملکرد این سازه ها بسیار شبیه به کولر های آبی امروزی می باشد. سازه های بادگیر از برجکی مرتفع تشکیل شده اند که بر روی بام ساختمان قرار می گیرند. این سازه ها معمولاً در مناطق باد خیز بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند (مثل شهر یزد) و برجک آنها معمولاً عمود بر جهت افقی وزش باد قرار می گیرند. این برجک ها از دو دریچه ورودی و خروجی تشکیل شده است. بدنه درونی ساختمان خانه به دو بخش کلی تقسیم می شود، که شامل قسمت زیر زمین (حوضخانه) و قسمت روی سطح زمین می باشد. کانالی عمیق قبل از ساختمان حفر شده است که به کانال اصلی قنات متصل می باشد. با ورود هوا به درون این کانال و با تماس هوای ورودی با آب درون قنات عمل تبخیر و انتقال دما صورت گرفته و زمانی که هوا از دریچه ورودی برجک وارد ساختمان می شود در قسمت زیر زمین (حوضخانه) ناحیه کم فشار (مکش) ایجاد می کند و هوای خنک درون کانال قنات را به سمت بالا می کشد و هوای درون ساختمان به علت ادغام هوای سرد و گرم بسیار مطبوع و دلپذیر می شود (علت این مکش در

سازه های بادگیر، در سراسر جهان و در زمان های مختلف مورد استفاده بوده است. این سازه ها بیشتر در کشور های آسیایی و به خصوص خاور میانه مورد توجه قرار گرفتند، زیرا این سازه ها در مناطق گرم و کویری کارایی خود را به بهترین شکل نشان می دهند [۱]. کشورهایی همچون ایران و کشورهای عربی حوزه خلیج فارس همچون امارات و ... و همچنین کشورهای شمال آفریقا همچون مصر و ... از این سازه ها بسیار استفاده می کردند [۱]. مهندسان و معماران خلاق ایرانی اولین کسانی بودند که در مقابل شرایط سخت جغرافیایی مقاومت کردند و توانستند سازه های بادگیر را ابداع نمایند. پیشینه سازه های بادگیر در ایران مربوط به ۴۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح می باشد [۲ و ۱]. ایجاد شرایط آسایش انسان در محیط های مختلف از طریق اجرای یک سلسله عملیات بر روی هوا از قبیل افزایش یا کاهش گرما و رطوبت و نیز کاهش میزان گازها و ترکیبات مضر موجود در هوا صورت می گیرد [۳ و ۴]. بنابراین در زمان گذشته که هنوز سیستم های نوین سرمایشی و گرمایشی ابداع نشده بود، مردم مجبور به طراحی و ساخت منازلی شدند که دمای درون آن ها پایین باشد [۲]. دمای هوا در کشور ایران و در شهر یزد در فصل تابستان، گرم و خشک، و در فصل زمستان، سرد و خشک است و اختلاف درجه حرارت بین شب و روز، گاهی اوقات به ۲۸ درجه سانتی گراد می رسد [۵]. با توجه به محاسبات انجام شده حدود ۸۵ درصد مواقع دمای درون سازه های بادگیر کمتر از ۲۶ درجه سانتیگراد اندازه گیری شده است، این در حالی است که دمای بیرون ساختمان بسیار گرم می باشد [۶]. علاوه بر آن، این سیستم تهویه که بسیار شبیه به کولر های آبی امروزی کار می کند [۷] دو ویژگی فوق العاده دارد اول آنکه در کاهش مصرف انرژی بسیار تاثیر گذار است و دوم آن در داشتن محیط زیستی پاک و بدون آلودگی به انسان کمک می کند [۸ و ۹]. بنابراین استفاده از بادگیر ها در مناطق گرم و کویری بسیار مهم و کاربردی می باشد. استفاده از مهندسی سنتی برای تهویه هوا به وسیله انرژی تجدید پذیر باد باعث می گردد در حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد در مصرف سوخت های فسیلی صرفه جویی گردد [۶]. تخریب سریع برجک سازه های بادگیر جزء دلایل نا معلوم در مبحث سازه های بادگیر محسوب می شود به گونه ای که در اکثر باد گیرهای بررسی شده در بالاترین قسمت خود (برجک ها) صدمه دیده اند [۱]. بنابراین در این تحقیق ابتدا به معرفی چگونگی عملکرد سازه های بادگیر پرداخته شده است و سپس به بررسی دلایل سرعت تخریب برجک سازه های بادگیر و

شکل زیر نمایی از بالای سازه بادگیر با سطح مقطع مربعی می باشد که تحت اثر عامل باد قرار گرفته است را نشان می دهد.



شکل ۲. نمایی از بالای سازه بادگیر با سطح مقطع مربع

قسمت پایین شکل همان ایجاد ناحیه کم فشار می باشد که تقریباً به سمت خلاء و مکش میل میکند، علت این مکش نبودن هوا و فشار در آن منطقه می باشد) و نهایتاً تمام جریان های ورودی به درون ساختمان از دریچه خروجی بر جک خارج می شود. مکانیزم شرح داده شده، کاملاً در شکل زیر مشهود می باشد [۱۰].

۳- دلایل سرعت تخریب برجک سازه های بادگیر

۱-۳- تاثیر ارتفاع بر روی سرعت تخریب بادگیرها

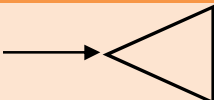
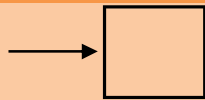
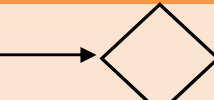
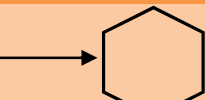
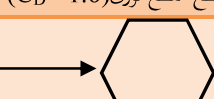
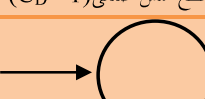
تخریب سریع برجک سازه های بادگیر جزء دلایل نامعلوم در مبحث سازه های بادگیر محسوب می شود به گونه ای که در اکثر بادگیرهای بررسی شده در بالاترین قسمت خود (برجکها) صدمه دیده اند [۱۱]. می توان گفت که یکی از عوامل مهم در سرعت تخریب برجک سازه های بادگیر ها مرتفع بودن آن ها می باشد. همان طور که گفته شد سازه های بادگیر می بایست مرتفع طراحی شوند زیرا مکانیزم آن ها به گونه ای است که نیاز به ورود باد زیادی به درون ساختمان جهت تهویه هوا دارند. میزان سرعت باد در ارتفاعات مختلف اندازه گیری شده است و طبق آزمایشات انجام شده با افزایش ارتفاع از سطح زمین میزان سرعت باد افزایش می یابد همچنین رفتار تغییرات سرعت در ارتفاع غیر خطی می باشد [۱۱]. با توجه به اینکه با افزایش ارتفاع، سرعت باد هم افزایش می یابد می توان گفت که با افزایش ارتفاع و با داشتن معادله برنولی، فشار و در نتیجه نیروی وارد بر سازه هم افزایش می یابند [۱۱]. همچنین مسائلی از قبیل سایش و فرسودگی و ... در ارتفاعات از جمله عوامل مخرب این سازه ها محسوب می شوند.

۴- مدل سازی و مقایسه

۱-۴- تعیین بهترین سطح مقطع عرضی

با توجه به اهمیت نیروی درگ برای سازه های بادگیر می بایست ضرایب پسا برای مدل های مختلف بررسی شود. با توجه به جدول ۱ می توان نتیجه گرفت که هر چه سطح مقطع سازه به سمت دایره ای شدن میل می کند، به دلیل کاهش ضریب پسا، نیروی درگ وارد به مدل هم کاهش می یابد. با توجه به اهمیت مصرف مصالح یکسان در جدول زیر سطح مقطع ها یکسان در نظر گرفته شده است همچنین با توجه به اینکه سرعت در یک ارتفاع ثابت برای تمامی مدل ها برابر می باشد لذا سرعت ها هم برای تمامی مدل ها ثابت در نظر گرفته شده است. بنابراین برای برجک سازه های بادگیر می توان سطح مقطع دایره ای را مناسب ترین سطح مقطع معرفی نمود [۱۳ و ۱۴].

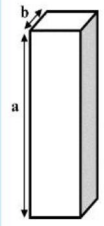
جدول ۱. ضریب نیروی درگ (ضریب پسا) برای اشکال مختلف هندسی

	
سطح مقطع مثلث ($C_D = 1.6$)	سطح مقطع مربع ($C_D = 2.1$)
	
سطح مقطع لوزی ($C_D = 1.6$)	سطح مقطع شش ضلعی ($C_D = 1$)
	
سطح مقطع شش ضلعی ($C_D = 0.7$)	سطح مقطع دایره ($C_D = 0.3$)

۴-۲- محاسبه نیروی درگ وارد بر سازه های بادگیر

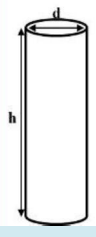
در این قسمت نیروی درگ وارد به دو مدل از سازه های بادگیر را محاسبه می کنیم. یکی مدل مکعب مستطیل با سطح مقطع مربعی و دیگری مدل استوانه ای با سطح مقطع دایره ای می باشد. مدل مکعب مستطیل به این دلیل انتخاب شده است که اکثر بادگیرهای موجود در یزد دارای چنین هندسه ای می باشند و مدل استوانه ای به این دلیل انتخاب شده است که چون کمترین نیروی درگ نسبت به بقیه مدل ها به آن وارد می شود. برای ایجاد شرایط یکسان در هر دو مدل، ارتفاع دو مدل را ۲۰ متر فرض می کنیم. همچنین با فرض اینکه سطح مقطع مربع یک متر در یک متر باشد، سطح مقطع مربع و دایره را برای مصرف مصالح یکسان برابر قرار می دهیم [۱۴ و ۱۵].

جدول ۲. ضرایب پسا برای مدل مکعب مستطیل در حالت جریان سه بعدی

مشخصات	شکل	a/b	جریان	C _D
مکعب		۱	سه بعدی	۱/۰.۵
		۲۰	سه بعدی	۱/۰.۴۷
		∞	سه بعدی	۲/۰.۵

$$D_{\text{square}} = \frac{1}{2} C_D \times \rho V^2 A_2 = 14.70V^2$$

جدول ۳. ضرایب پسا برای مدل استوانه در حالت جریان سه بعدی

مشخصات	شکل	h/d	جریان	C _D
استوانه		۱	سه بعدی	۰/۰.۶۴
		۱۰	سه بعدی	۰/۰.۸۲
		۲۰	سه بعدی	۰/۰.۹۱
		∞	سه بعدی	۱/۰.۲۰

$$D_{\text{circle}} = \frac{1}{2} C_D \times \rho V^2 A_1 = 9.92V^2$$

$$C_D = \frac{2D}{\rho VA} \quad (۱)$$

$$S_{\text{درگ}} = S_{\text{درگ}} \rightarrow d = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \quad (۲)$$

$$A_{\text{درگ}} = \frac{40}{\sqrt{\pi}} \quad (۳)$$

$$A_{\text{درگ}} = al = 20 \quad (۴)$$

$$D_1 = \frac{1}{2} C_D \times \rho V^2 A_{\text{درگ}} = 10V^2 \quad (۵)$$

$$D_D = \frac{1}{2} C_D \times \rho V^2 A_2 = 14.7V^2 \quad (۶)$$

در رابطه (۱)، D نیروی درگ، C_D ضریب پسا، ρ چگالی سیال، V سرعت باد، A مساحت سطح تماس سازه و باد می باشد. بنابراین نیروی درگ وارد به مدل مکعب مستطیل بیشتر از نیروی درگ وارد به مدل استوانه می باشد (۱/۴۷ برابر است). لذا به دو دلیل می توان مدل استوانه ای را نسبت به مدل مکعب مستطیل مناسب تر ارزیابی نمود، اول آنکه نیروی درگ وارد به مدل استوانه ای کمتر از نیروی درگ وارد به مدل مکعب مستطیل است و دوم آنکه مدل استوانه ای نسبت به مدل مکعب مستطیل، دارای محیط کوچکتری می باشد به بیان دیگر می توان گفت که سطح تماس سازه با باد کاهش می یابد که این امر در میزان کاهش فرسودگی ناشی از برخورد ذرات موجود در هوا با سازه، تاثیر بسزایی دارد. همچنین قابل به ذکر است که پیش فرض این مدل سازی ها ثابت نگه داشتن سطح مقطع دو مدل می باشد و این بدان معنی است که به دبی ورودی و خروجی صدمه ای وارد نمی شود که میزان دبی های ورودی و خروجی را می توان محاسبه نمود. با توجه به مطالب گفته شده به نظر می رسد که هر چه تعداد اضلاع سطح مقطع برجک سازه افزایش یابد و سطح مقطع به سمت دایره ای شکل شدن میل کند مقاومت و کارایی سازه های بادگیر افزایش می یابد. معروف ترین و بلند ترین سازه بادگیر در جهان که هم اکنون موجود است و تا کنون قسمت برجک این سازه صدمه ندیده است، سازه بادگیر باغ دولت آباد یزد می باشد. این سازه دارای ارتفاع ۳۳ متر و ۸۰ سانتی متر است که دارای سطح مقطع هشت ضلعی می باشد و در شکل زیر نشان داده شده است [۱۴].

$$\sigma_{\text{درگ}} = \frac{M_1 \times Y_1}{I_1} \quad (۷)$$

$$\sigma_{\text{درگ}} = \frac{M_2 \times Y_2}{I_2} \quad (۸)$$

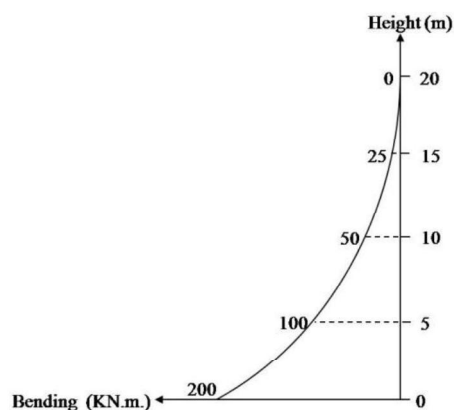
$$\frac{\sigma_{\text{نبرد بحرانی}}}{\sigma_{\text{محدود بحرانی}}} = \left(\frac{8}{12}\right) \times \sqrt{\pi} \times 0.7 = 0.8$$

۶- مقایسه استاتیکی بین دو مدل استوانه ای و مکعب مستطیل

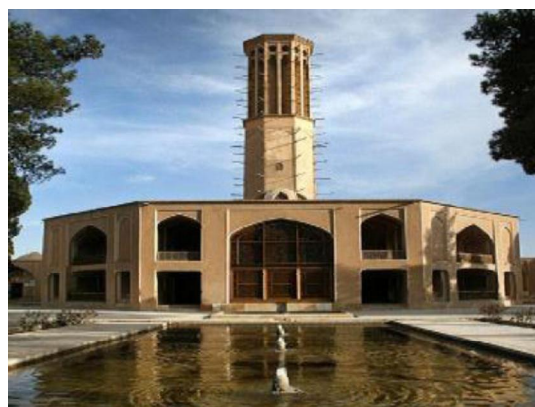
با توجه به محاسبات انجام شده و با در نظر گرفتن پارامترهای استاتیکی از قبیل تنش بحرانی و تغییر شکل به نظر می رسد مدل استوانه ای با تغییرات هندسی به بهترین مدل برای سازه های بادگیر تبدیل می شود. با توجه به اینکه تنش بحرانی موجود در سطح تماس بین برجک سازه و بدنه اصلی ساختمان می باشد می بایست برای هر دو مدل محاسبه شود. رفتار مناسب مدل استوانه ای باعث گردید تا مدلی بسیار مناسب و الهام گرفته از مدل استوانه ای معرفی کنیم. این مدل که برش قائم هذلولی نام دارد نه تنها مشکلات گفته شده را بر طرف می نماید بلکه مزایای زیادی نسبت به مدل استوانه ای دارد. مدل برش قائم هذلولی با افزایش سطح مقطع در قسمت تنش بحرانی، باعث کاهش میزان تنش بحرانی و همچنین باعث کاهش تغییر شکل در برجک سازه می گردد. به علاوه در این مدل هر چه به سمت بالا برویم محیط برجک سازه کاهش می یابد همچنین مصالح مصرفی برای ساخت این سازه با افزایش ارتفاع کاهش می یابد. در این مدل با مینیمم کردن سطح کنترل و ماکزیمم کردن حجم کنترل می توان به بیشینه کارکرد این سازه با افزایش مقاومت، دوام و ماندگاری دست پیدا کرد. شرایط در نظر گرفته شده برای هر دو مدل یکسان می باشد.

$$\sigma_{\text{critical_cube}} = \frac{M \times Y}{I} = 5512.5V^2$$

$$\sigma_{\text{critical_cylinder}} = \frac{M \times Y}{I} = 4437.2V^2$$



شکل ۴. نمودار خمش برای مدل مربعی (ماکزیمم خمش برابر ۳/۱۲۵ KN.m است.)



شکل ۳. نمای کلی از بادگیر باغ دولت آباد یزد (بلندترین سازه بادگیر موجود در جهان)

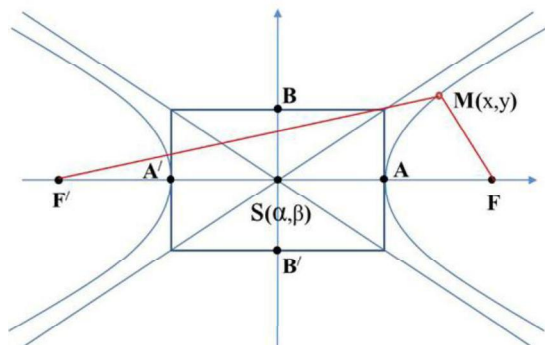
۵- مقایسه تنش بحرانی

با توجه به محاسبات انجام شده توسط نرم افزار تحلیل اجسام صلب و با در نظر گرفتن پارامترهای استاتیکی از قبیل تنش بحرانی به نظر می رسد مدل استوانه ای با سطح مقطع دایره ای بهترین مدل برای سازه های بادگیر می باشد. زیرا در تمامی پارامترهای مقایسه ای از قبیل نیروی درگ و همچنین محاسبه تنش بحرانی مدل استوانه ای مطلوب تر ارزیابی می گردد. این امر باعث شد تا مدلی بسیار مناسب و الهام گرفته از مدل استوانه ای معرفی کنیم. این مدل که هذلولی گون نام دارد نه تنها مشکلات گفته شده را بر طرف می نماید بلکه مزایای زیادی نسبت به مدل استوانه ای دارد. مدل برش قائم هذلولی با افزایش سطح مقطع در قسمت تنش بحرانی، باعث کاهش میزان تنش بحرانی در برجک سازه می گردد. به علاوه در این مدل هر چه به سمت بالا برویم محیط برجک سازه کاهش می یابد همچنین مصالح مصرفی برای ساخت این سازه با افزایش ارتفاع کاهش می یابد. در این مدل با مینیمم کردن سطح تماس سازه با هوا می توان به بیشینه کارکرد این سازه با افزایش مقاومت، دوام و ماندگاری دست پیدا کرد. ارائه مدل برش قائم هذلولی در قسمت بعد و با استفاده از روش ریاضیاتی تغییرات شرح داده شده است. شرایط در نظر گرفته شده برای تنش بحرانی در هر دو مدل یکسان می باشد.

$$\frac{\sigma_{\text{نبرد بحرانی}}}{\sigma_{\text{محدود بحرانی}}} = \frac{\frac{M_2 \times Y_2}{I_2}}{\frac{M_1 \times Y_1}{I_1}} \rightarrow \frac{M_2 \times Y_2 \times I_1}{M_1 \times Y_1 \times I_2}$$

$$\frac{M_2 \times Y_2 \times I_1}{M_1 \times Y_1 \times I_2} = \frac{20 \times 10V^2 \times R \times \frac{1}{12}a^4}{20 \times 14.7V^2 \times \frac{a}{2} \times \pi \frac{R^4}{4}} \rightarrow \frac{8 \times (\sqrt{\pi})^3}{12 \times \pi} \times 0.7$$

معادلات جداره های مدل برش قائم هذلولی را می توان از روابط زیر محاسبه کرد. برش قائم هذلولی بر اساس معادلات حاکم بدست آمده است که دقیقاً انتهای قائم این برش روی مرکز تقارن آن قرار دارد.



شکل ۸. برش قائم هذلولی

$$AA' = 2a$$

$$BB' = 2b$$

$$FF' = 2c$$

$$e = \frac{c}{a}; e > 1$$

$$c^2 = a^2 + b^2$$

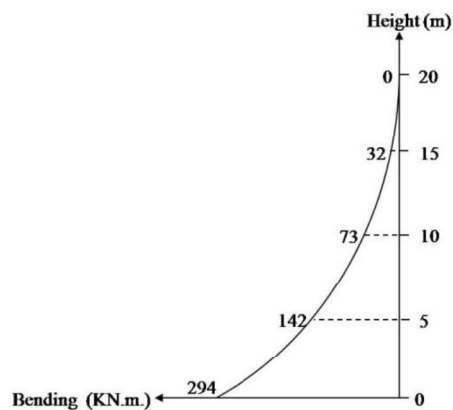
$$\frac{(x-\alpha)^2}{a^2} - \frac{(y-\beta)^2}{b^2} = 1$$

در این مدل برای ارائه در حالت سه بعدی، از رابطه زیر می توان استفاده کرد:

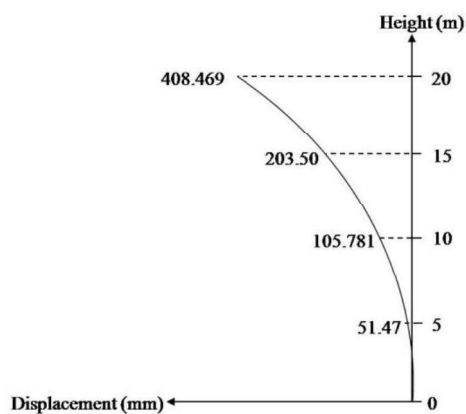
$$\frac{(x-\alpha)^2}{a^2} + \frac{(y-\beta)^2}{b^2} - \frac{(z-\gamma)^2}{c^2} = 1$$

; (a, b, c > 0)

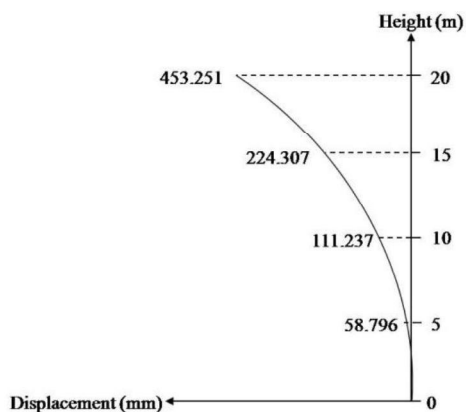
$$\sigma_{critical\ cylinder} = \frac{M \times Y}{I} = 1886.2 \text{ } \nu^2$$



شکل ۵. نمودار خمش برای مدل دایره ای (ماکزیمم خمش برابر ۳/۱۲۵ KN.m است).



شکل ۶. نمودار تغییر شکل برای مدل مربعی (ماکزیمم تغییر شکل برابر ۴۱۹/۸۹۷mm است).



شکل ۷. نمودار تغییر شکل برای مدل مربعی (ماکزیمم تغییر شکل برابر ۴۴۰/۴۲۸mm است).

محور y ها مینیمم گردد (شکل شماتیک شماره ۱۲ [۱۷]). برای این کار تابع شماره (۹) در نظر گرفته شده است که با استفاده از رابطه اوایلر - لاگرانژ (رابطه شماره ۹) و با شرایط اولیه شماره (۱۱) مینیمم گردد.

$$\sigma = \int_a^b F(x, x') dy \quad (10)$$

$$F(x, x') = 2\pi x \sqrt{1+x'^2} \quad (11)$$

$$x(h) = b, x(H) = a \quad (12)$$

$$F_x - \frac{d}{dy} F_{x'} = 0$$

با بسط رابطه (۱۲) به ترتیب به معادلات (۱۳) و (۱۴) می

رسیم.

$$2\pi \left(\sqrt{1+x'^2} - \frac{d}{dy} \left(\frac{xx'}{\sqrt{1+x'^2}} \right) \right) = 0 \quad (13)$$

$$\left(\frac{\sqrt{1+x'^2} - \left(\frac{(1+x'^2)(x'^2+xx'') - x'^2+xx''-xx'^2x''}{(1+x'^2)^{\frac{3}{2}}} \right)}{1+x'^2} \right) = 0 \quad (14)$$

معادله (۱۵) یک معادله دیفرانسیل مرتبه دوم غیر خطی می

باشد.

$$xx'' - x'^2 - 1 = 0 \quad (15)$$

با استفاده از قانون مشتقات زنجیره ای داریم:

$$x'' = \frac{d^2x}{dy^2} = \frac{d}{dy} \left(\frac{dx}{dy} \right) = \frac{dx'}{dy} = \frac{dx'}{dx} \times \frac{dx}{dy} \quad (16)$$

با جایگذاری معادله (۱۶) در معادله (۱۵) داریم:

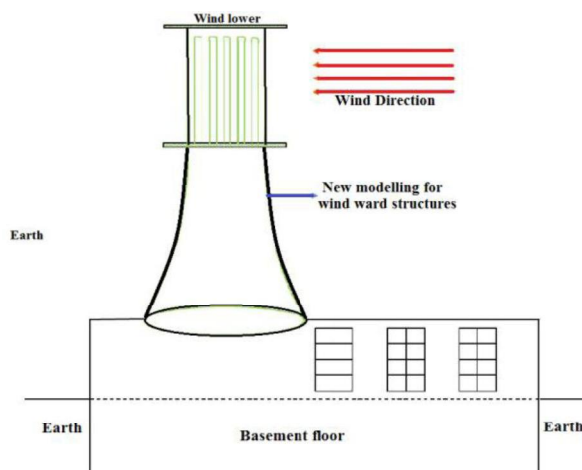
$$xx' \frac{dx'}{dx} = 1 + x'^2 \quad (17)$$

با استفاده از روش جداسازی داریم:

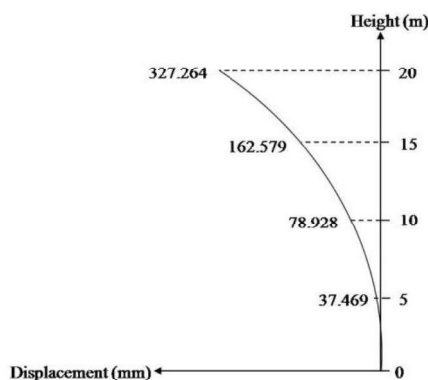
$$\int \frac{x'}{1+x'^2} dx = \int \frac{dx}{x} \quad (18)$$

با انتگرال گیری از رابطه بالا به ترتیب معادلات (۱۹)، (۲۰)،

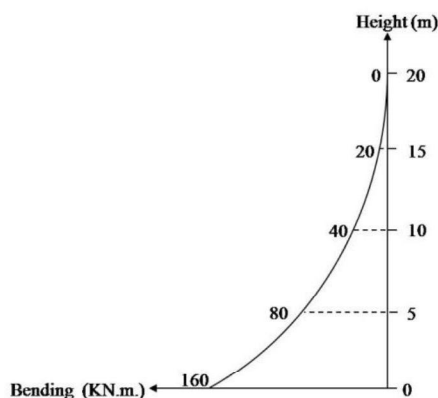
(۲۱) و (۲۲) می رسیم.



شکل ۹. برش قائم هذلولی

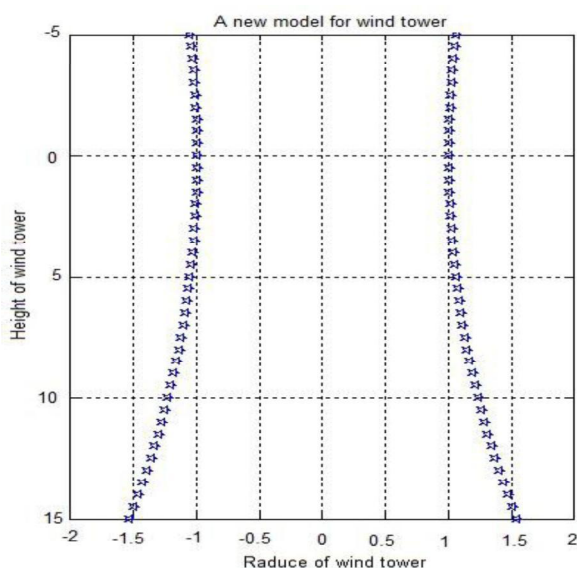


شکل ۱۰. نمودار خمش برای مدل دایره ای (ماکزیمم خمش برابر ۳/۱۲۵ KN.m است.)



شکل ۱۱. نمودار تغییر شکل برای مدل مربعی (ماکزیمم تغییر شکل برابر ۱۴۰/۸۰۸mm است.)

در این قسمت تلاش می کنیم با استفاده از روش ریاضیات تغییرات تابعی را بیابیم که مساحت رویه حاصل از دوران آن حول



شکل ۱۳. مدل نهایی برجک سازه های بادگیر

۷- نتیجه گیری

- ۱- استفاده از مهندسی سنتی برای تهیه هوا به وسیله انرژی تجدید پذیر باد باعث می گردد در حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد در مصرف سوختهای فسیلی صرفه جویی گردد. استفاده از این سیستم ها در داشتن محیط زیستی پاک و بدون آلودگی نقش مهمی را ایفا می کند.
- ۲- با استفاده از مصالح یکسان و با تغییر در هندسه سازه می توان راندمان بهتری گرفت و همچنین از سرعت بالای تخریب برجک ها کاسته می شود.
- ۳- مدل استوانه ای با سطح مقطع دایره ای برای برجک سازه های بادگیر را می توان مدل بهینه کارکردی با مقاومت بالا و راندمان مناسب معرفی نمود.
- ۴- استفاده از انرژی های نو از قبیل انرژی تجدید پذیر باد و خورشید و ... برای اجراء در ابعاد وسیع مقرون به صرفه می باشد زیرا هزینه مصرف شده برای اجرای این طرح در سال های بعد به دلیل کاهش مصرف انرژی و کاهش در مصرف سوخت های فسیلی جبران می گردد. بنابراین استفاده از این معماری قدیمی زیبا ایرانی با استفاده از مصالح جدید از قبیل بتن و فولاد و ... و با تغییرات در هندسه این سازه ها جهت کارکرد ها مجدد در دنیای امروزی و استفاده مدرن از این سازه ها در آینده نه چندان دور توصیه و پیش بینی می گردد.

منابع

$$\frac{1}{2} \ln(1+x'^2) = \ln(x) + \ln(c) = \ln(cx) \quad (19)$$

$$x'^2 = c^2 x^2 - 1 \rightarrow x' = \sqrt{c^2 x^2 - 1} \quad (20)$$

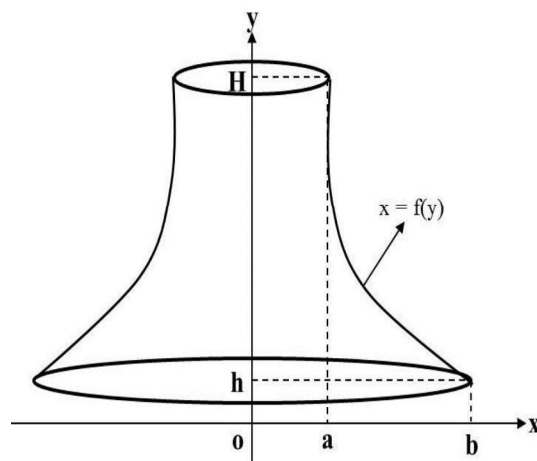
$$\frac{dx}{dy} = \sqrt{c^2 x^2 - 1} \rightarrow dy = \frac{dx}{\sqrt{c^2 x^2 - 1}} \quad (21)$$

$$dy = \frac{dx}{C \sqrt{x^2 - \frac{1}{c^2}}} \quad (22)$$

با استفاده از جدول انتگرال گیری [۱۷] از معادله (۲۲) به رابطه (۲۳) خواهیم رسید.

$$x = C_1 \times \cosh(cy) + C_2, C_1 = \frac{1}{c} \quad (23)$$

معادله (۲۳) نشان دهنده دسته توابعی است که مساحت حاصل از دوران آنها حول محور y ها می نیمم است. به بیان دیگر اگر تابع انتخابی برای دوران حول محور y ها قسمتی از توابع $\cosh(y)$ باشد مساحت قسمتی از سازه که در معرض حمله باد قرار می گیرد مینیمم خواهد بود. در شکل زیر نمونه ای از این دسته توابع جهت استفاده در برجک ها نشان داده شده است.



شکل ۱۲. کمینه نمودن رویه حاصل از دوران حول محور y ها

- [17] Ray wylie c., Barrett Louis c., 1982, Advanced Engineering Mathematics, McGraw-Hill, Fifth edition.
۱. محمودی، مهناز. مفیدی شمیرانی، مجید. ۱۳۸۷. هویت ایرانی بادگیر و پیشینه یابی آن در معماری ایران. نشریه هویت شهر. شماره ۲. صفحات ۲۵-۳۳.
۲. شماعتی، علی. ۱۳۸۹. نقش الگوهای شهر سازی سنتی در شهر سازی مدرن شهر یزد. فصلنامه مطالعات شهر ایرانی اسلامی. صفحات ۹۳ - ۱۰۵.
۳. کلاتر، ولی. ۱۳۸۸. صرفه جویی در مصرف انرژی جهت سرمایه‌ش و گرمایش ساختمان با جایگزین نمودن انرژی های تجدید پذیر. هفتمین همایش ملی انرژی.
- [4] Ashare Handbook, 1981, Fundamentals, American Society of heating, refrigerating and air_ conditioning Engineers, Inc., Atlanta, Georgia.
۵. نوپارس، پژمان، معماری سنتی ایران در چهار اقلیم با توجه با ساخت و ساز پایدار در چهار اقلیم ایران.
۶. وثوقی فر، حمید رضا. عدل پرور، محمد رضا. کاهش مصرف انرژی در ایجاد شرایط تهویه مطبوع، بوسیله احداث بادگیرهای جدید. همایش عمران، معماری و شهرسازی کرمان.
۷. وتر، محمد قاسم. انزاع پور، ا.آزده، م.حاجی صفری و ح.فرهاد زاده، بررسی آسیب پذیری بلندترین بادگیر دنیا- باغ دولت آباد یزد در مقابل باد و زلزله، اولین همایش بین المللی مقاوم سازی لرزه ای، کد مقاله: ۵۱۸.
- [8] Bahadori M.N., 1978, Passive cooling systems in Iranian architecture, Scientific American, pp.144-154.
- [9] Kalantar V., 2005, Natural ventilation the building with wind tower and renewable energy without using fuel oil, the third conference on fuel conservation in building, pp.1566-1577, 13-14 Mar, Tehran-Iran.
- [10] Windward structures performance. Publications of Scientific American. 1978.
۱۱. دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، مبحث ششم آیین نامه مقررات ملی ساختمان، بارهای وارد بر ساختمان، ۱۳۸۰.
۱۲. محمودی، مهناز. مفیدی شمیرانی، مجید. ۱۳۸۷. تحلیلی بر گونه شناسی معماری بادگیرهای یزد و یافتن گونه بهینه کارکردی. نشریه هنر های زیبا. شماره ۳۶. صفحات ۲۷-۳۶.
- [13] Robert w.Fox., Alan T.McDonald, Philip J.Pritchard, 2003, Introduction to Fluid Mechanics, Printed in the United States of America, sixth edition.
- [14] Munson Bruce R., Young Donald F., okiishi Theodore H., 2002, Fluid Mechanics, Printed in the United States of America. Jennifer Welter.
- [15] White, Frank M., 1997, Fluid Mechanics, University of Rhode Island, Fourth edition.
- [16] Ferdinand, P. Beer, E. Russell Johanston, JR. 1992. Mechanics of Materials. McGraw-Hill. Second edition.