



بررسی و تحلیلی بر ارتعاشات برج توربین های بادی و کنترل ارتعاش آن با استفاده از جاذب

اسداله خراسانی¹، مهدی شریف نیا²

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

2- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

* دامغان، صندوق پستی: 39715-36719، asadollah.khorasani@gmail.com

چکیده	اطلاعات مقاله
شرایط امروز جهان در حوزه سوخت های فسیلی ایجاب می کند انرژی بادی و توربین های بادی ساحلی و فراساحلی بیش از پیش مورد توجه همگان باشد، لذا به دلیل بهره گیری بیشتر از این انرژی پاک باید طول پره و برج توربین باد نیز افزایش پیدا کند، در نتیجه مطالعات ارتعاشات توربین ها بیش از گذشته مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش کنترل سازه ای یک توربین باد بواسطه میراگر مورد بررسی قرار گرفته که هدف نیز کاهش ارتعاشات سازه در بخش های مختلف توربین، تغییر فرکانس و دور شدن از محدوده خطر می باشد. یکی از روشهای جذب ارتعاش در سازه ها استفاده از مواد جاذب در بدنه می باشد. در این تحقیق سعی شده توربین باد از لحاظ ارتعاشی مورد بررسی قرار گیرد و ارتعاشات آن کاهش یابد. بدین منظور فرکانس طبیعی آن بوسیله نرم افزار آباکوس استخراج شده و سپس جهت جلوگیری از ارتعاش توربین از یک سیستم جاذب استفاده و مجدداً فرکانس توربین مورد بررسی قرار گرفته و در دو حالت با یکدیگر مقایسه و اعتبار سنجی شده است. همچنین با تحریک جابجایی در پایه توربین، جابجایی در دو نقطه از پره و هد توربین در دو حالت با جاذب و بدون جاذب مورد بررسی قرار گرفته که نتایج خوبی حاصل گردیده و ارتعاش کاهش یافته است.	مقاله پژوهشی کامل دریافت: 19 مرداد 1397 پذیرش: 30 شهریور 1397 ارائه در سایت: 15 آبان 1397
	کلیدواژگان توربین باد ارتعاشات جاذب ویتن، فرکانس

Investigation and analysis on wind turbine tower vibrations and vibration control it using absorbent

A. Khorasani¹, M. Sharifnia^{2*}

1- Department of Mechanical Engineering, Semnan Branch, **Islamic Azad University**, Semnan, Iran.

2- Department of Mechanical Engineering, Semnan Branch, **Islamic Azad University**, Semnan, Iran

* Damghan, P.O.B 36719-39715, asadollah.khorasani@gmail.com

Article Information

Original Research Paper

Received: 10 August 2018

Accepted: 21 September 2018

Available Online 6 November 2018

Keywords

Wind turbine

Vibrations

Absorbent

Viton

Frequency

ABSTRACT

Conditions in the world today require fossil fuels and wind energy onshore and offshore wind turbines is more and more attention, Because of enjoying more of these clean energy should also increase blade length and the wind turbine tower, As a result of studies over the past turbine vibrations is considered. In the project structure controlled by a wind turbine damper, which aims to reduce the vibration of the structure studied in different parts of the turbine, the frequency change is away from the danger zone. One way to absorb vibration in structures using absorbent material in the frame. In this study, we tried to examine wind turbine in terms of vibration and reduce vibrations. For this purpose, the natural frequency is extracted using Abaqus software and then, to prevent vibration absorber system using a turbine and turbine frequency re-examined and compared both with each other. It also stimulates the movement at the base of the turbine, move the two points of the turbine blade head in both absorbent and non-absorbent studied with the great results and reduced vibration.

Please cite this article using:

A. Khorasani, M. Sharifnia, Investigation and analysis on wind turbine tower vibrations and vibration control it using absorbent, *Journal of Mechanical Engineering and Vibration*, Vol. 9, No. 3, pp. 43-490, 2018 (In Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

1- مقدمه

خارجی و در شرایط زلزله را دنبال نمود. در این پژوهش به بررسی پاسخ ارتعاشی توربین بادی در شرایط کاری در حالتی که تحت تاثیر چندین نیرو می باشد و با در نظر گرفتن اثر ممان اینرسی و مرکز جرم مجموعه ی ناسل و پره ها و در حالتی که زمین لرزه در حالت وقوع باشد رفتار دینامیک سازه بررسی می-گردد، با استفاده از نرم افزار آباکوس سیستم مذکور در ابعاد آزمایشگاه مدل سازی نموده و شرایط زلزله برای آن لحاظ شده است. با تحلیل این سیستم نمودار جابجایی برحسب زمان برای نقاطی در ارتفاعات مختلف برج توربین بادی در این پروژه ترسیم می شود. عباس رهی و همکاران [6] با معرفی سیستم سیال هماهنگ شده و نحوه ی عملکرد آن، به صورت تحلیلی و با استفاده از نرم افزار ابتدا حرکت سیال درون میراگر را تحلیل کردند و سپس مدل آزمایشگاهی از توربین بادی در نرم افزار مدل سازی شده و در دو حالت وجود و عدم وجود این سیستم روی توربین باد ارتعاشات را مورد بررسی قرار دادند. به دلیل ماهیت سیال که دارای اختلاف فاز می باشد حرکت مخزن به سمت چپ، سیال درون آن را به سمت راست و در حالی که مخزن به سمت راست حرکت می کند سیال درون آن به چپ حرکت می نماید. این اختلاف فاز و به تبع آن پتانسیل ایجاد شده در اثر اختلاف سطح سیال درون مخزن سبب ایجاد نیرو بازگرداننده درون میراگر سیال هماهنگ شده می گردد که موجب تقلیل ارتعاشات در زمان زلزله می گردد. با استفاده از این روش ارتعاشات عرضی، طولی و پیچشی برج توربین باد بررسی شده است. با این مدل سازی برج توربین باد تبدیل به یک تیر یک سر گیردار با مقطع متغیر شده و می توان معادلات حرکت آن را با استفاده از معادلات مربوط به تیرها حل کرد. مهدی اسماعیلی و همکاران [7] سفتی خمشی معادل برای تیرهای کامپوزیتی (پره توربین باد) با سطح مقطع ایرفویل با روش تحلیلی بر پایه ی تئوری خطوط موازی ارائه دادند. برای پره توربین باد اثر چیدمان های مختلف فایبر برسفتی خمشی و فرکانس طبیعی بررسی شده و به ازای چیدمان های مختلف اعم از متقارن و غیر متقارن پاسخ های بسیار خوب برای فرکانس ارایه گردید است. در سال 2012 چن⁴ و همکاران [8] بر روی ارتعاشات عرضی توربین باد مطالعه نمودند و برای آن میراگر جرم هماهنگ شده را طراحی نمودند. این میراگر در ناسل توربین قرار گرفته و در راستای عقب و جلو توربین درجه آزادی

در سالیان اخیر استفاده از نیروی باد در توربین های بادی جهت تبدیل انرژی باد به صورت بسیار گسترده مورد استفاده قرار گرفته است. لذا با توجه به آثار مخرب ارتعاشات برج توربین بادی بر روی کیفیت توان تولیدی و احتمال تخریب سازه در صورت تشدید این ارتعاشات کنترل کننده مناسب که این ارتعاشات را کاهش دهد از اهمیت زیادی برخوردار می باشد. بررسی ارتعاشی توربین بادی در چند حوزه انجام شده که اجزای مکانیکی روتور (پره ها، شفت و هاب) و برج بخشی از آن است.

همچنین ناپایداری در توربین نیز مانند ناپایداری ناشی از جریانهای چرخشی (عدم جریان صحیح در اطراف پروفیل پره ها) از عواملی است که می تواند موجب رزونانس گردد. ارتعاشات روی برج توربین به دو صورت *fore - aft* , *side to side* هستند که عمده ارتعاشات در جهت جلو و عقب می باشند که ناشی از سرعت باد هستند. در حالی که نوسانات عرضی ناشی از عملکرد توربین در هنگام بروز اختلال در شبکه می باشد.

بررسی انواع میراگرهای¹ نوین در صنعت ساختمان جهت مقاومت در برابر انواع بارهای دینامیکی [1] ایده اولیه این پروژه بود است. طحانی و همکاران [2] با قرار دادن سه جک در سه پایه و با استفاده از نیرویی که به پایه ها وارد میشود حرکت جهتی توربین فراساحلی را کنترل نمودند. در این مقاله به شبیه سازی یک نوع توربین باد فراساحلی مستقر در دریا استفاده با نرم افزار متلب² پرداخت شده است. ورودی هایی که به توربین وارد میشود بصورت پله ای در نظر گرفته شده و مقدار حرکت زاویه بین پایه ها توسط کنترلر به یک چهارم کاهش پیدا کرده است. ناپایداری این توربین ها و تمایل زیاد به ارتعاش می تواند موجب کاهش عمر این میراگرها شود. سرمیدان [3] مسئله کاهش بار دینامیکی به وسیله مایع چرخان واقع در برج توربین باد را مطرح نمود. هزینه بالای تعمیر و نگهداری این سیستم از ایرادات آن می تواند باشد. فیض اله زاده [4] برج توربین باد را به عنوان یک تیر یکسر گیردار با سطح مقطع متغیر مدل نمود که در انتهای آن یک جرم متمرکز به آن متصل شده است. تیر اویلر-برنولی³ برای بررسی ارتعاشات و تعیین فرکانس طبیعی این مدل استفاده شده است. امیر ساری [5] بررسی ارتعاشات عرضی توربین بادی بر اثر مرکز جرم ناسل تحت تاثیر نیروهای

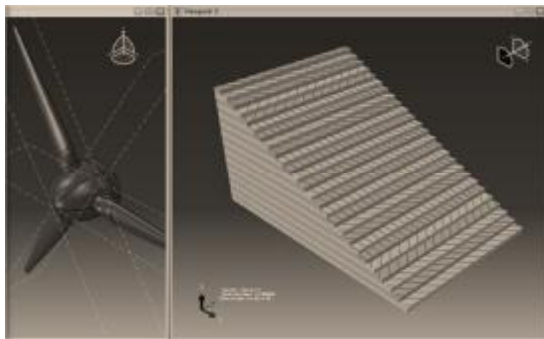
1 Damper
2 Matlab
3 Euler-Bernoulli

4 Chen

ویژگی	مقدار
جنس پره ها	WOWEN-UD
طول پره ها	28,5
وزن تجهیزات توربین (تن)	350
جنس برج و هد	فولاد
چگالی فولاد	7850 kg/m ³
ضریب پواسون	0,3
مدول الاستیسیته	210 GPA
سرعت روتور	28,5 RPM

پره های توربین بادی یکی از اصلی ترین و مهم ترین بخش های توربین ها می باشند و از نظر سازندگان تجهیزات اصلی توربین های بادی یکی از استراتژیک ترین قطعات محسوب می گردند. بسیاری از سازندگان توربین های بادی از انواع مختلف پره برای یک نوع از محصول خود استفاده می کنند تا از این طریق بتوانند کارایی توربین بادی را در شرایط مختلف باد بهبود بخشند.

دلیل استفاده از مواد کامپوزیتی اورتوتروپ⁴ (خواص در جهات مختلف متفاوت است) در پره توربین کاهش 40 درصدی وزن همراه با حفظ چگرمگی و استحکام می باشد، همچنین حفظ شکل آیرودینامیکی آن نیز از اهمیت بسزایی برخوردار است. لایه چینی بصورت زاویه دار انجام گرفته. دلیل زاویه دار بودن لایه چینی با توجه به ثابت نبودن جهت باد افزایش مقاومت پره در جهت مختلف است. شکل 1 زاویه بندی و شکل لایه چینی مواد کامپوزیتی تشکیل دهنده پره را نشان می دهد.



شکل 1 لایه چینی و زاویه بندی مواد کامپوزیتی پره در نرم افزار آباکوس

حرکتی دارد. در این سیستم وزنه ای به جرم مشخص (2 درصد وزن ناسل) در ناسل از سازه نصب می شود و تنها توسط یک فنر و یک میراگر با ضریب سختی و میرایی مشخص به سازه وصل می گردد. با انتخاب مقادیر مناسب برای جرم و ضریب سختی فنر و ضریب میرایی میراگر دامنه ارتعاشات سازه در مود اول کنترل می گردد. وجود میراگر جرمی موجب کاهش 40 درصدی مولفه های لرزشی توربین باد می گردد، همچنین به دلیل حضور میراگر در ناسل توربین، در اکثر درجات آزادی جابجایی ها کاهش قابل توجهی را نشان می دهند. پولیتیس¹ و همکاران [9] با تغییر زاویه پره ها سعی در کاهش ارتعاش ناشی از باد را داشتند. در این پژوهش پره های توربین باد مجهز به یک سنسور و کنترلر می باشند که با در نظر گرفتن سرعت و جهت باد و محاسبات زوایای لیفت و درگ زاویه پره را تنظیم نموده و کارایی توربین را به حداکثر می رسانند. همچنین مدل های بسیاری برای تعیین فرکانس طبیعی برج توربین باد پیشنهاد گردید.

از مزایای میراگر ویسکوالاستیک استفاده شده در این پروژه می توان به هزینه پایین ساخت، هزینه کم تعمیر و نگهداری، عدم ایجاد عیوب مکانیکی، امکان نصب آسان و راحت بر روی سازه های موجود، امکان ساخت آن به اشکال گوناگون و در نتیجه استفاده در تمام نقاط سازه می باشد.

2- بررسی فرکانس و ضرایب انتقال مدل توربین باد بدون جاذب

نرم افزار المان محدود آباکوس² از یک فرآیند منطقی و منظم تشکیل شده. مدل اولیه توربین باد با توجه به پیچیدگی آن در نرم افزار سالیدورک³ طراحی و سپس با پسوند xt ذخیره شده (پسوند xt کمترین خطا را دارد) و بعد از آن در نرم افزار آباکوس اجرا شده است.

تمامی قسمت های توربین باد از نوع Deformable انتخاب شده. به این معنی که قابلیت تغییر شکل تحت بار را دارد که این بار می تواند مکانیکی، حرارتی و یا الکتریکی باشد. مواد اصلی تشکیل دهنده مدل فولاد (st-42) و کامپوزیت (UD AND WOVEN) است. مشخصات مواد در جدول 1 نشان داده شده است.

جدول 1 ویژگی های توربین بادی 5 MW

1 Politis
2 Abaqus
3 Solid Work

ترتیب مقادیر حداقل ریشه مربعات rms برای برج (ورودی) 21,21 هد 30,66 و پره 35,84 میلی متر بدست آمد. بنابراین طبق رابطه زیر میتوان ضریب انتقال مدل مورد نظر که برابر است با مقدار خروجی (هد و پره) تقسیم بر ورودی (پایه) را بدست آورد.

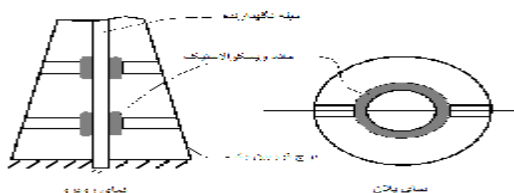
$$TR.HEAD=RMS \text{ out (HEAD) } / RMS \text{ in}= 30,66/21,21=1,44$$

$$TR.WING=RMS \text{ out (WING) } / RMS \text{ in}= 98,99/21,21=1,69$$

همان طور که ملاحظه می گردد میزان ضریب انتقال در این سیستم زیاد بوده و باعث ایجاد مشکلات متفاوت در عملکرد سیستم مانند کاهش عمر قطعات و ناپایداری در سیستم توربین باد می گردد. علاوه بر این اختلاف فاز بین ورودی و خروجی از روی شکل 2 کاملاً محسوس است.

3- معرفی سیستم جاذب ویتن¹

همان طور که در قسمت قبل ملاحظه شد، میزان ضریب انتقال در سیستم مورد نظر بالا بوده و مشکلات فراوانی را در توربین باد ایجاد میکند. یکی از بهترین روش های کاهش ضریب انتقال در اجسام مختلف استفاده از مواد جاذب انرژی می باشد. این مواد بسته به نوع و جنس ماده تا حد امکان نیروهای خارجی را در خود جذب کرده و از ایجاد تغییرشکل های بیش از حد در مدل می کاهد. شکل شماره 3 و 4 نمایانگر روش ما در استفاده از جاذب در برج توربین باد میباشد. در مدل مورد بررسی از ماده ویتن استفاده گردیده است. این ماده لاستیکی با نرخ کرنش و سختی بالا، ماده ای بسیار مناسب برای دفع و جذب ارتعاشات گوناگون در کاربردهای مختلف می باشد.



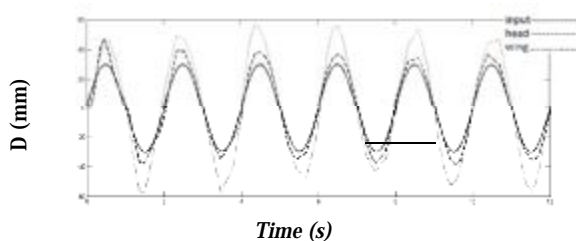
شکل 3 نمای کلی جاذب استفاده شده در توربین باد

جدول 2 نشان دهنده فرکانس طبیعی مدل در حالت بدون جاذب و مقایسه با مرجع جهت صحت سنجی می باشد.

جدول 2 مقایسه فرکانس محاسبه شده در نرم افزار با مرجع

شماره مود	فرکانس در آباکوس (هرتز)	فرکانس در مرجع (هرتز)	میزان خطا
1	0,428	0,397	7,31 %
2	0,436	0,401	8,07 %
3	0,772	0,701	9,23 %
4	0,819	0,754	8,02 %
5	0,867	0,803	7,45 %

با توجه به اینکه در مدل مورد نظر برای تحریک پایه از تحریک سینوسی به آن استفاده گردیده است، ابتدا باید نوع تحریک، مقدار فرکانس تحریک و دامنه تحریک وارد گردد. در شکل 2 نمودار جابجایی خروجی و تحریک مدل به ازای 6 پیروی اول آن رسم شده اند. همان طور که مشاهده می گردد، میزان جابجایی خروجی نسبت به تحریک ورودی زیاد است. برای بررسی ضریب انتقال ابتدا باید میزان rms (حداقل ریشه مربعات) دامنه خروجی را بدست آوریم. برای این منظور از نرم افزار متلب استفاده گردیده است.



شکل 2 نمودار جابجایی خروجی ها و تحریک پایه مدل بدون جاذب

با وارد کردن مقادیر خروجی حاصله از نرم افزار آباکوس در متلب، میزان حداقل ریشه مربعات برای جابجایی های تحریک ورودی که در پایه به برج اعمال شده بود و خروجی های مدل به

1 viton

28.51%	0,397	0,428	1
26.56%	0,401	0,436	2
34.38%	0,701	0,772	3
29.52%	0,754	0,819	4
33.01%	0,803	0,867	5



شکل 4 جاذب مدل شده در نرم افزار آباکوس

برای رسیدن به جواب مناسب و مطلوب از رفتار دینامیکی یک جاذب ارتعاشاتی، پارامترها و مشخصه های اصلی مواد جاذب باید به دقت بررسی شوند. در واقع مشخصات مکانیکی-دینامیکی این مواد باید به وسیله روش های آزمایشگاهی به دست آیند. به دلیل اینکه رفتار این مواد به تغییر شکل های اولیه، دما و فرکانس وابسته است، ارائه خصوصیات این مواد بطور دقیق کار سختی است. در اغلب موارد ما نیازمند به توصیف این خواص در فرکانس های بالا هستیم ولی این اطلاعات اصولاً در دسترس نیستند. بطور معمول آنالیز دینامیکی-مکانیکی (DMA) برای اندازه گیری مشخصات دینامیکی نمونه های لاستیکی مورد استفاده قرار می گیرد.

نرم افزار المان محدود آباکوس قادر است تا با استفاده از داده های تنش-کرنش، ضرایب چند جمله ای تابع انرژی کرنشی را تخمین بزند. بنابراین برای تعیین خواص دینامیکی ماده ویتن، داده های تنش-کرنش آن را در نرم افزار آباکوس وارد گردیده است.

4- بررسی فرکانس طبیعی مدل با جاذب ویتن

پس از انجام تغییرات بیان شده در قسمت قبل، نتایج مدل فرکانسی مدل متشکل از جاذب ویتن استخراج گردیده است. همان طور که انتظار می رود در این مدل با توجه به جایگزینی ویتن در قسمت هایی از برج توربین باد انعطاف زیاد این ماده، از سختی مدل کاسته شده و میزان فرکانس طبیعی توربین باد کاهش می یابد. میزان فرکانس های طبیعی برای 5 مود اول مدل، در جدول 3 مقایسه و میزان کاهش فرکانس ثبت گردیده است.

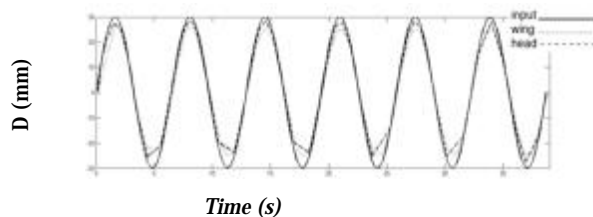
جدول 3 مقایسه فرکانس در دو حالت وجود و عدم وجود جاذب

شماره مود	فرکانس مدل بدون جاذب (هرتز)	فرکانس مدل با جاذب (هرتز)	میزان کاهش فرکانس
1	0,428	0,397	28.51%
2	0,436	0,401	26.56%
3	0,772	0,701	34.38%
4	0,819	0,754	29.52%
5	0,867	0,803	33.01%

5- بررسی ضریب انتقال مدل با جاذب- ویتن

برای تحلیل ارتعاشات با تحریک پایه بر روی مدل توربین باد با جاذب ویتن، مشابه روند شبیه سازی که در بخش های قبل بر روی مدل اصلی بدون جاذب انجام گردید، در این قسمت بر روی مدل با جاذب- ویتن لحاظ می گردد. بدین منظور ورودی سینوسی با تعریف فرکانس و دامنه به بدنه برج توربین وارد شده است.

در شکل 5 نمودار جابجایی خروجی (هد و پره) و جابجایی ورودی مدل رسم شده اند. همان طور که مشاهده می گردد، دامنه ارتعاش در هد و پره (خروجی) کمتر از دامنه ارتعاش اعمال شده در نقطه میانی پایه توربین (ورودی) است.

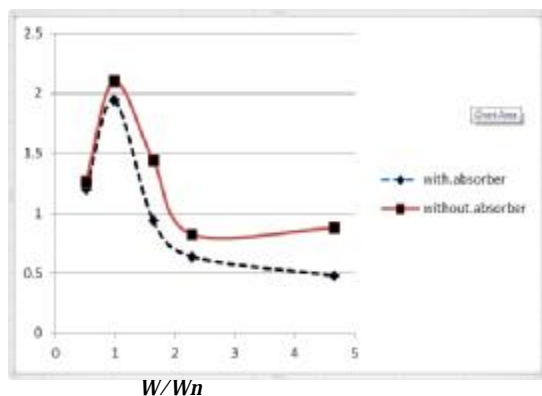


شکل 5 نمودار جابجایی خروجی و تحریک پایه برای مدل با جاذب

در این حالت مشاهده می شود که جابجایی هد و پره نسبت به حالت بدون جاذب (فصل قبل) بسیار کاهش پیدا کرده که نشان دهنده نقش مثبت ویتن در جذب ارتعاشات وارده است. ضریب انتقال برای حالت با جاذب برای توربین به صورت زیر است:

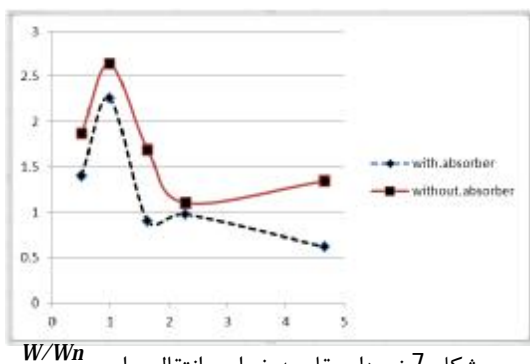
$$TR.H.EAD = \frac{RMS \text{ out (HEAD)}}{RMS \text{ in}} = \frac{20,0124}{21,21} = 0,94$$

TR



شکل 6 نمودار مقایسه ضرایب انتقال برای هد

TR



شکل 7 نمودار مقایسه ضرایب انتقال برای پره

همان گونه که از نمودارهای 6 و 7 مشخص است استفاده از جاذب باعث کاهش ضرایب انتقال گردیده است که این امر موجب دور شدن سیستم از محدوده خطر خواهد شد.

7- نتیجه گیری

همان طور که مشاهده گردید، مدلسازی تحریک‌های سینوسی برای توربین باد در نرم افزار المان محدود آباکوس انجام، و نتایج آن مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. برای بررسی خصوصیات ارتعاشی نظیر فرکانس‌های طبیعی و ضریب انتقال، نتایج مدلسازی برای یک مدل اولیه توربین در حالت‌های اصلی آن‌ها و نیز با افزودن ماده جاذب به آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های موجود در مدلسازی مواد الاستیک-پلاستیک که به عنوان جاذب مورد استفاده قرار می‌گیرند، تعریف خصوصیات این مواد در نرم افزار المان محدود است. همان‌طور که بیان شد این مواد در کرنش‌های مختلف خصوصیات مکانیکی یکسانی نداشته و خواص آن‌ها تابع موارد متعددی نظیر نرخ کرنش، میزان کرنش، دمای بکارگیری و ... است. به منظور تعریف خصوصیات مکانیکی ماده جاذب، در این

$$TR.WING=RMS out (WING) / RMS in= 18,8987/21,21=0,89$$

6- بررسی مدل با جاذب در فرکانس های متعدد

جهت بررسی و اطمینان از مدل ساخته شده توربین باد در نرم افزار المان محدود مدل با چند فرکانس متفاوت نیز بررسی گردید و سپس نمودار TR-W/Wn آن رسم گردیده است. بررسی فرکانس ها در 5 مدل با جاذب-ویتن و بدون جاذب انجام شده که اطلاعات بدست آمده از حل مدل‌های فوق در جداول 4 و 5 ذکر گردیده است.

جدول 4 ضرایب انتقال در پنج فرکانس برای حالت با جاذب ویتن

شماره مود	فرکانس س	نسبت فرکانس به فرکانس طبیعی	ضریب انتقال پره	ضریب انتقال هد
1	0,15 5	0,506	1,4	1,2
2	0,3	0,98	2,26	1,94
3	0,5	1,6339	0,9	0,94
4	0,7	2,287	0,9741	0,64
5	1,42 5	4,6568	0,617	0,481

جدول 5 ضرایب انتقال در پنج فرکانس برای حالت بدون جاذب ویتن

شماره مود	فرکانس س	نسبت فرکانس به فرکانس طبیعی	ضریب انتقال پره	ضریب انتقال هد
1	0,15 5	0,362	1,87	1,26
2	0,3	0,7	2,64	2,1
3	0,5	1,16	1,69	1,44
4	0,7	1,63	1,098	0,824
5	1,42 5	3,33	1,345	0,878

- [2] M. Tahan, "Simulated Vibration Floating *Sea-Based* Wind Turbines and Motion Control its Direction", 2014. (In Persian)
- [3] M. Sarmadian, "the Dynamic Damping Spinning Wind Turbine and the Damper Fluid Column", 2013. (In Persian)
- [4] M. Faizollahzadeh, "Provide an Appropriate Model to Determine the Natural Frequencies of Wind Turbines", 2013. (In Persian)
- [5] A. Sari, "the Transverse Vibrations of the Wind Turbine Nossel of the Center of Mass is Influenced by External Forces and in Case of an Earthquake", 2016. (In Persian)
- [6] A. Rahi, " Analytical-Numerical Vibrations of the Wind Turbine and Coordinated Use of the Fluid Damper System to Reduce Vibrations in Structures During Earthquake", 2016. (In Persian)
- [7] M. Ismaili, "Vibrations Wing Horizontal Axis Wind Turbine with Equivalent Stiffness", 2015. (In Persian)
- [8] Fei Chaoyang, Wang Nan, Zhou Bo, Chen Chang zheng, "Dynamic Performance Investigationfor Wind Turbine Tower", *Natural Science Foundation of China*, 2010, 996-999.
- [9] E.S.Politis "Stability analysis of parked wind turbine blades" 2009
- [10] Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH. Guidlline For the Certification of Turbine, Edition 2010.

پروژه از تابع چگالی انرژی کرنشی مارلو استفاده گردید. طبق نتایج بیان شده در منابع، این تابع دارای رفتار بسیار نزدیکی به نمونه واقعی است و از آن می توان برای مدلسازی الاستومرها با دقت بالایی استفاده نمود. بدین منظور نتایج تست کشش یک نمونه از ویتن از منحنی های تنش کرنش آن استخراج گردید، و به عنوان ورودی برای تابع انرژی کرنشی مارلو تعریف گردید تا بوسیله آن بتوان خصوصیات این ماده را در نواحی الاستیک و پلاستیک با یک تابع تقریب زد.

پس از تعریف خصوصیات مواد و انجام دیگر مراحل مدلسازی، در مدل اولیه ملاحظه گردید که این سیستم دارای ضریب انتقال بزرگی بوده که این عامل می تواند باعث تاثیرات مخرب زیادی در این سیستم گردد. در قسمت بعد با جایگزینی ویتن به بخش های میانی این مدل، همان طور که انتظار می رفت از میزان فرکانس طبیعی این مدل کاسته شده و فرکانس طبیعی اول از میزان 0,4288 هرتز به 0,3067 هرتز برای مدل همراه با جاذب رسیده است.

با توجه به اینکه طبق مراجع دور چرخش این توربین برابر با 28,5 دور بر دقیقه (0,475 هرتز) است و بر اساس استاندارد GL [10] فرکانس طبیعی آن نباید در فاصله ده درصدی فرکانس چرخشی آن یعنی در بازه 0,5225-0,4275 باشد، اما مشاهده می شود که فرکانس طبیعی اول توربین در حالت بدون جاذب در این بازه قرار دارد و در نتیجه طراحی این سیستم در حالت مطمئن و امن قرار ندارد.

در مرحله بعد در تحریک منظم سینوسی این مدل، حضور ماده جاذب ویتن تاثیرات خود را به خوبی نشان داده و با کاهش متوسط ریشه مربعات خروجی نقش مطلوب خود را در جذب ارتعاشات وارده نشان می دهد. مقایسه عددی ضرایب انتقال در نمودار و جداول موجود در متن خود گواهی بر این امر می باشد. در نمودار شکل 6 و 7 بررسی و مقایسه ضرایب انتقال در چند فرکانس مختلف در دو حالت بدون جاذب و با جاذب ویتن در توربین می باشد. نمودار مربوط به مدل بدون جاذب به طور محسوسی بالاتر از مدل با جاذب قرار گرفته که مشخص می کند در تمامی فرکانس ها داده شده به سیستم ضریب انتقال با استفاده از جاذب ویتن کاهش داشته است.

8- مراجع

- [1] A. Rezaifar, "Introduced a Damper Types and Their Applications in Seismic Bracing", 2005. (In Persian)