بسمه تعالی

کد مقاله: SBI-APP-0003

تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۰۴/۲۸

شبکه بلبرینگ ایران

دپارتمان تحقیق و توسعه

نگاهی به کاربرد بیرینگ‌ها در توربین‌های بادی

چکیده:

امروزه استفاده از توربین‌های بادی به طور بی‌سابقه‌ای مورد توجه قرار گرفته است. اما دستیابی به توربین‌های بادی با قابلیت‌های مناسب، نیازمند غلبه بر چالش‌هایی است که این توربین‌ها و قطعات استفاده شده در آن‌ها را تهدید می‌نمایند. یکی از مهم‌ترین این قطعات، بیرینگ‌ها می‌باشند. بیرینگ‌های مورد استفاده در توربین‌های بادی با شرایط کاری دشواری مواجه هستند و در عین حال از این بیرینگ‌ها انتظار می‌رود که بدون استفاده از فرایندهای نگهداری پرهزینه، از عمر کاری طولانی با قابلیت اطمینان بالا برخوردار باشند. مقاله حاضر به بررسی چالش‌های استفاده از بیرینگ‌ها در صنعت توربین‌های بادی می‌پردازد و راهکارهای مقابله با این چالش‌ها را معرفی می‌نماید.

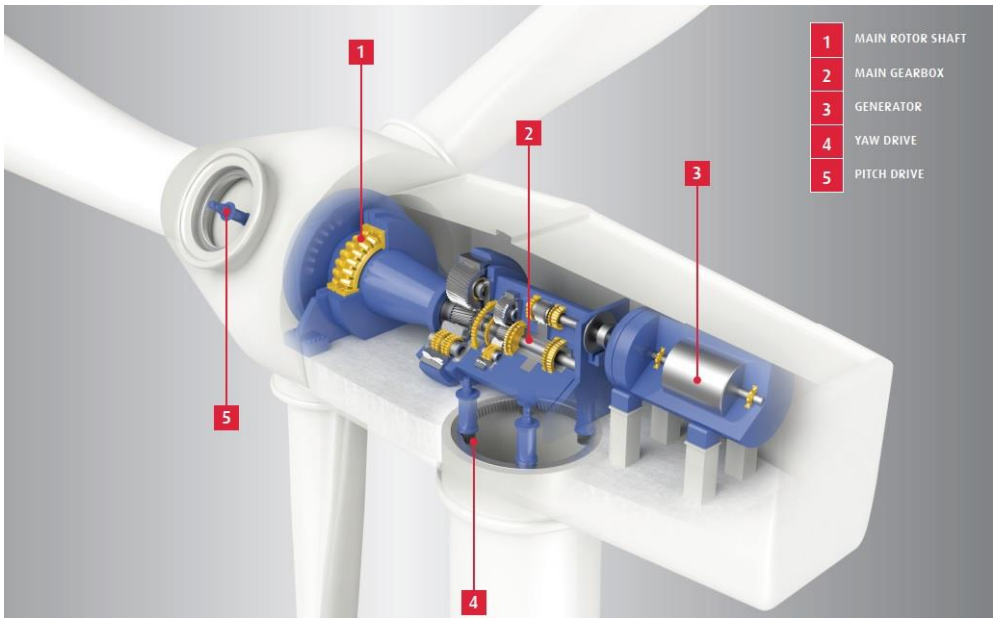
کلمات کلیدی:

انرژی پاک، بیرینگ‌های غلتشی، توربین‌های بادی، عمر بیرینگ‌ها، نگهداری از بیرینگ‌ها.

۱- مقدمه:

امروزه به دلیل افزایش توجه به پدیده گرمایش زمین و آلودگی محیط زیست، تمرکز بر استفاده از انرژی‌های پاک افزایش یافته است. طی سال‌های اخیر، با تولید و استفاده از نسل‌های جدید توربین‌های بادی، تبدیل انرژی باد به انرژی الکتریکی، به یکی از مهمترین راهکارهای تحصیل انرژی پاک تبدیل شده است.

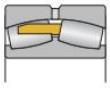
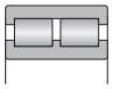
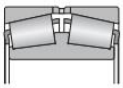
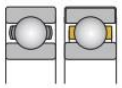
اما استفاده از توربین‌های بادی با چالش‌هایی همراه است. یکی از این چالش‌ها زمان‌بر و پر هزینه بودن فرآیند تعمیر و تعویض قطعات آن است. بنابراین قطعات مورد استفاده در توربین‌های بادی، باید از قابلیت اطمینان و عمر کاری بالایی برخوردار باشند. یک دسته از این قطعات، بیرینگ‌های مورد استفاده در این توربین‌ها هستند. مهم‌ترین قسمت‌هایی که در یک توربین بادی از بیرینگ استفاده می‌شود در شکل شماره ۱، نشان داده شده‌اند.



شکل ۱: مهم‌ترین قسمت‌هایی که در یک توربین بادی از بیرینگ‌ها استفاده می‌شود [۱].

در قسمت‌های مختلف یک توربین بادی، بیرینگ‌های متفاوتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. جدول شماره ۱، رایج‌ترین انواع بیرینگ‌های مورد استفاده در توربین‌های بادی و محل استفاده از آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱: رایج‌ترین انواع بیرینگ‌های مورد استفاده در توربین‌های بادی [۱]

	SPHERICAL ROLLER BEARINGS	CYLINDRICAL ROLLER BEARINGS - SINGLE ROW	CYLINDRICAL ROLLER BEARINGS - DOUBLE ROW	TAPERED ROLLER BEARINGS - SINGLE ROW	TAPERED ROLLER BEARINGS - DOUBLE ROW / DUPLEX	DEEP GROOVE BALL BEARINGS	FOUR-POINT BEARINGS
							
MAIN ROTOR SHAFT	■	■		■	■		
MAIN GEARBOX	■	■	■	■	■	■	■
GENERATOR		■				■	
PITCH / YAW GEARBOX	■	■		■		■	

مقاله حاضر به بررسی چالش‌های استفاده از بیرینگ‌ها در توربین‌های بادی می‌پردازد و راهکارهای مقابله با این چالش‌ها را تبیین می‌نماید.

۲- چالش‌های استفاده از بیرینگ‌ها در توربین‌های بادی

یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی بیرینگ‌های مورد استفاده در توربین‌های بادی، اعمال بارهای سنگین و ضربه‌ای به این بیرینگ‌ها است. به عنوان مثال، بیرینگ‌های نگهدارنده شفت اصلی توربین‌های بادی در معرض بارهای شعاعی ناشی از وزن باله‌ها و روتور که در جهت عمود بر شفت وارد می‌شوند، قرار دارند.

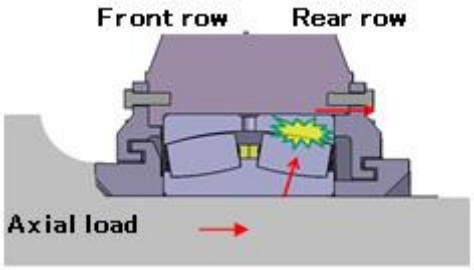
به طور کلی، بیرینگ‌های اصلی توربین‌های بادی مستقر در خشکی بارهای سنگینی را تحمل می‌نمایند که گاهی میزان آن‌ها تا ۱ میلیون نیوتن نیز می‌رسد و این در حالی است که میزان بارهای وارد بر بیرینگ‌های اصلی توربین‌های بادی مستقر در دریا از این میزان نیز بیشتر است.

در توربین‌های بادی با توان کمتر از ۵ مگاوات، معمولاً یکی از بیرینگ‌های نگهدارنده شفت اصلی از نوع رولربیرینگ‌های کروی انتخاب می‌شود تا هم تحمل بارهای شعاعی سنگین را داشته باشند و هم در برابر

ناترازی زاویه‌ای عملکرد مناسبی از خود نشان دهند. اما اعمال بارهای محوری ناشی از وزش افقی باد که در راستای شفت وارد می‌گردد، کار را برای این بیرینگ‌ها دشوار می‌کند.

با توجه به این نوع بارگذاری، غلتک‌های ردیف عقب رولربیرینگ‌های کروی (که دورتر از پره‌های توربین بادی قرار دارند)، در مقایسه با غلتک‌های ردیف جلویی (که به توربین بادی نزدیک‌تر هستند) در معرض بارهای بزرگتری قرار می‌گیرند.

مطالعات نشان می‌دهد که بیشترین آسیب‌ها به بخش‌هایی از بیرینگ وارد می‌شود که اصطلاحاً PV بالایی دارند. مقدار PV برای هر نقطه از بیرینگ، با ضرب اندازه سرعت چرخش غلتک در میزان فشار در آن نقطه محاسبه می‌گردد. در خصوص رولربیرینگ‌های کروی مورد استفاده برای نگهداری شفت اصلی توربین‌های بادی، بخش عقبی مسیر ساچمه رو در رینگ خارجی دارای بیشترین میزان PV است و در نتیجه، آسیب‌های ذکر شده بیشتر در این منطقه مشاهده می‌گردد [۲].



شکل ۲: بروز آسیب در محل تماس غلتک‌های ردیف عقب با رینگ خارجی [۲].

همچنین ویژگی هندسی رولربیرینگ‌های کروی به گونه‌ای است که در عمل حرکت غلتک‌های آن‌ها، ترکیبی از حرکت غلتشی و لغزشی می‌باشد. این موضوع در ترکیب با سایش میان غلتک‌ها و مسیر ساچمه‌رو که در اثر کمبود روانکار رخ می‌دهد، منجر به بروز سایش در مناطق خاصی از بیرینگ می‌گردد که در نهایت پوسته‌پوسته شدن (flaking) و ترک‌خوردگی روی بخش عقبی مسیر ساچمه‌رو در رینگ خارجی را در پی دارد.

یکی دیگر از چالش‌های پیش روی بیرینگ‌های مورد استفاده در توربین‌های بادی، شرایط محیطی دشوار است. طیف دمای کارکردی این توربین ها از ۳۰- درجه سانتیگراد در شمالگان تا ۵۰+ درجه سانتیگراد در مناطق حاره‌ای، متفاوت است. بیرینگ‌های مورد استفاده در توربین‌های بادی مستقر در خشکی به خصوص

در مناطق صحرایی در معرض خطر نفوذ گرد و غبار قرار دارند. اما شرایط کاری دشوارتر مربوط به بیرینگ‌های مستقر در دریاها و یا مناطق ساحلی است که علاوه بر رطوبت در معرض نفوذ نمک نیز هستند.

بیرینگ‌های به‌کاررفته در ژنراتورهای توربین‌های بادی به طور فزاینده‌ای در معرض عبور جریان‌های الکتریکی فرکانس‌بالا قرار می‌گیرند که این امر ممکن است منجر به تخریب این بیرینگ‌ها در اثر وقوع پدیده خوردگی الکتریکی گردد. طی سال‌های اخیر تعداد گزارش‌های خرابی بیرینگ ناشی از این نوع آسیب، افزایش یافته است. فرسایش الکتریکی در بیرینگ‌ها زمانی اتفاق می‌افتد که جریان الکتریکی از طریق المان غلتشی از یکی از رینگ‌های بیرینگ، به رینگ دیگر آن منتقل گردد. میزان خسارتی که به بیرینگ وارد می‌شود، تابعی از میزان انرژی الکتریکی منتقل شده و مدت زمان این انتقال است. ولی روند تخریب یاد شده، در اغلب اوقات مشابه است و شامل ایجاد حفره‌هایی روی المان‌های غلتشی و مسیرهای ساچمه‌رو (patting damage)، تنزل سریع کیفیت روانکار و خرابی زودهنگام بیرینگ است [۳].

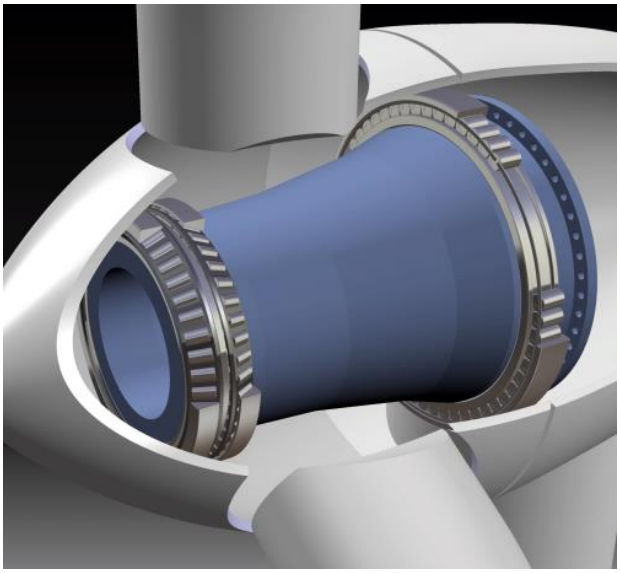
اما شاید مهم‌ترین چالش پیش روی بیرینگ‌های مورد استفاده در توربین‌های بادی، نیاز به عمر کاری طولانی با قابلیت اطمینان بالا و بدون استفاده از فرایندهای نگهداری پرهزینه است. به عنوان مثال، معمولاً انتظار می‌رود که بیرینگ‌های مورد استفاده در توربین‌های بادی مستقر در خشکی، حدوداً ۲۰ سال عمر کنند. ولی با توجه به هزینه‌های بالا و دشواری زیاد تعمیرات و تعویض قطعات در توربین‌های بادی مستقر در دریا، عمر کاری مورد انتظار از بیرینگ‌های آن‌ها حدود ۲۵ سال است. بنابراین باید در طراحی و ساخت این بیرینگ‌ها، دقت مضاعف صورت گیرد. (البته توجه به این نکته ضروری است که اصولاً عمر بیرینگ‌ها بر اساس تعداد دور چرخش آن‌ها محاسبه می‌گردد و نه ساعات کاری آن‌ها؛ ولی با دانستن سرعت متوسط چرخش بیرینگ، می توان عمر را بر اساس ساعات کاری نیز بیان نمود).

۳- راهکارهای غلبه بر چالش‌های استفاده از بیرینگ‌ها در توربین‌های بادی

همان طور که ذکر شد، یکی از چالش‌های پیش روی بیرینگ‌های مورد استفاده در توربین‌های بادی، اعمال بارهای سنگین و ضربه‌ای در راستای شعاعی و محوری است؛ به گونه‌ای که حتی رولربیرینگ‌های کروی نگهدارنده شفت اصلی این توربین‌ها را نیز عمدتاً در محل تماس غلتک‌های ردیف عقب با رینگ خارجی دچار مشکل می‌نمایند.

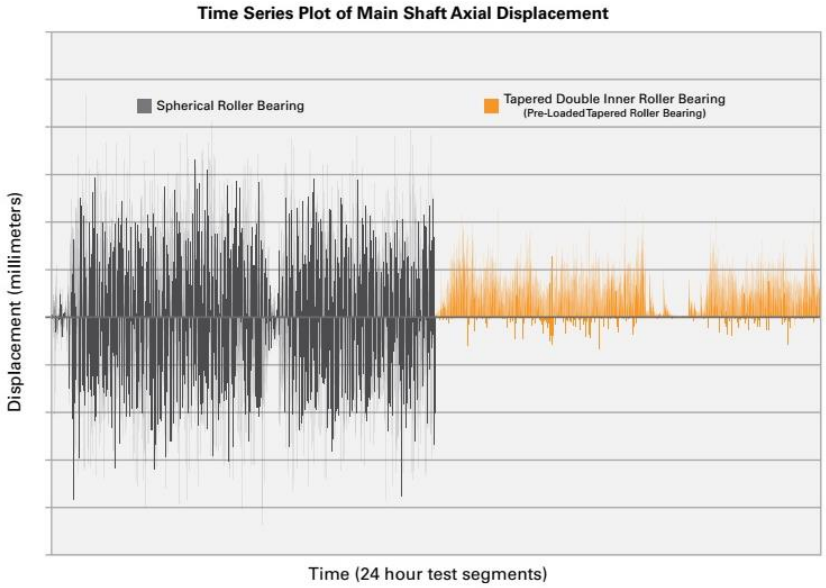
برای غلبه بر این مشکل، در توربین‌های بادی با توان ۶ مگاوات به بالا، استفاده از ترکیب رولربیرینگ‌های مخروطی و رولربیرینگ‌های استوانه‌ای رایج‌تر است، که یک نمونه از آن را در شکل شماره ۳ مشاهده

می‌نمایید. رولربیرینگ‌های مخروطی در مقایسه با رولربیرینگ‌های کروی، نیروهای محوری را بهتر تحمل می‌نمایند؛ اما در برابر ناترازی زاویه‌ای عملکرد ضعیف‌تری دارند.



شکل ۳: استفاده از ترکیب رولربیرینگ‌های مخروطی و رولربیرینگ‌های استوانه‌ای در شفت اصلی توربین بادی

شکل شماره ۴، میزان جابه‌جایی شفت اصلی طی یک آزمایش را در دو حالت استفاده از رولربیرینگ کروی و مخروطی با یکدیگر مقایسه می‌نماید.



شکل ۴: مقایسه میزان جابه‌جایی شفت اصلی طی یک آزمایش در دو حالت استفاده از رولربیرینگ کروی و مخروطی [۴].

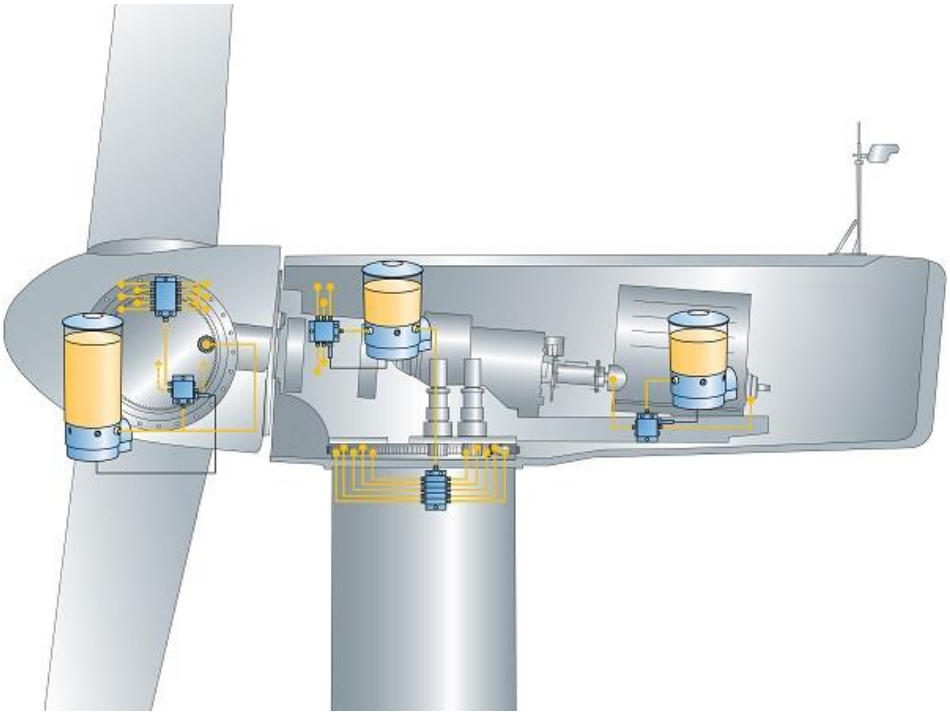
برای غلبه بر مشکل عبور جریان الکتریکی از بیرینگ‌های به‌کاررفته در ژنراتورهای توربین‌های بادی، معمولاً از بیرینگ‌های ایزوله‌الکتریکی استفاده می‌شود. در این بیرینگ‌ها، سطح رینگ داخلی یا خارجی توسط لایه نازکی از جنس اکسید آلومینیم روکش می‌گردد. همچنین اغلب از یک لایه رزین نیز برای مقابله با امکان انتقال جریان الکتریکی از طریق رطوبت استفاده می‌شود. در حال حاضر مطالعاتی برای تولید بیرینگ‌های دارای لایه‌های عایق ضخیم‌تر در جریان است. البته متأسفانه معمولاً عبور جریان الکتریکی بالأخره رخ داده و موجب تضعیف عملکرد بیرینگ در درازمدت می‌گردد. اما استفاده از بیرینگ مناسب موجب می‌شود تا زمان بروز این آسیب طولانی شده و عملکرد مجموعه توربین به‌صرفه گردد.

همچنین شرکت Schaeffler فناوری جدیدی برای پوشش بیرینگ ها معرفی کرده است که در آن، سطح خارجی بیرینگ با لایه‌ای از فایبرگلاس تقویت شده پوشانده می‌شود و بیرینگ را نسبت به محیط اطراف عایق می‌کند. این فرآیند باعث به وجود آمدن لایه ای عایق بر روی سطح برینگ می‌گردد که تقریباً ۱۰ برابر لایه آلومینیوم اکسید که معمولاً برای پوشش سطح برینگ ها استفاده می‌شود، ضخامت دارد [۵].

برای غلبه بر مشکل نفوذ آلودگی و خطر بروز خوردگی در بیرینگ‌های مورد استفاده در توربین‌های بادی و تأمین عمر کاری طولانی با قابلیت اطمینان بالا، بدون استفاده از فرایندهای نگهداری پرهزینه، باید نکات متعددی رعایت شود. در این زمینه، شرکت‌های تولیدکننده بیرینگ، راهکارهای مختلفی شامل استفاده از فولادهای دارای ترکیب شیمیایی خاص، عملیات حرارتی ویژه، بهبود طراحی داخلی و استفاده از نشت‌بندهای جدید را ارائه داده‌اند.

به عنوان مثال، شرکت NSK بیرینگ‌های سری Super-TF خود را برای استفاده در توربین‌های بادی معرفی نموده است. این بیرینگ‌ها از نوعی فولاد خاص تهیه شده‌اند که حتی در شرایط کاری خشن، مقاومت و دوام قابل توجهی در مقابل ساییدگی از خود نشان می‌دهند و عمر کاری آن‌ها ۲ برابر بیرینگ‌های معمولی می‌باشد [۶].

یک روش مؤثر در کاهش هزینه‌های نگهداری از بیرینگ‌ها، استفاده از سیستم‌های روانکاری اتوماتیک است. در این زمینه شرکت SKF طیف متنوعی از سیستم‌های روانکاری اتوماتیک را ارائه می‌دهد. این سیستم‌ها مقدار دقیقی از روانکار مناسب را در زمان مناسب در نقطه مورد نظر تزریق می‌نمایند. شکل شماره ۵، نحوه استفاده از سیستم‌های روانکاری اتوماتیک در توربین‌های بادی را به طور شماتیک نشان می‌دهد.



شکل ۵: تصویر شماتیک از نحوه استفاده از سیستم‌های روانکاری اتوماتیک در توربین‌های بادی [۷].

۴- بحث و نتیجه‌گیری:

در این مقاله، چالش‌های استفاده از بیرینگ‌های غلتشی در توربین‌های بادی بررسی شد و راهکارهایی برای مقابله با این چالش‌ها مطرح گردید. علاوه بر راهکارهای مرسوم، در برخی موارد راهکارهای خلاقانه‌ای توسط برخی شرکت‌ها ارائه شده است. به عنوان مثال شرکت NTN اقدام به طراحی و تولید نوع خاصی از رولربیرینگ‌های کروی برای نگهداری شفت اصلی توربین های بادی نموده است. این بیرینگ‌ها نیز مانند اغلب رولربینگ‌های کروی، دارای دو ردیف غلتک می‌باشند، ولی این دو ردیف نسبت به یکدیگر حالت نامتقارن دارند. به عبارت دیگر، در مقایسه با رولربیرینگ‌های کروی عادی، زاویه تماس محصول جدید در ردیف پشتی بزرگ‌تر از ردیف جلویی است. همچنین طول غلتک‌ها و پهنای مسیر ساچمه‌رو در بخش عقبی محصول جدید، بزرگ‌تر از بخش جلویی آن است. شکل شماره ۶، مقطع این بیرینگ جدید را نشان می‌دهد.

شکل ۶: مقطع رولربیرینگ کروی جدید شرکت NTN برای استفاده در توربین‌های بادی [۲].

طبق مطالعات شرکت NTN، تغییرات به وجود آمده در ساختار بیرینگ‌های جدید، موجب شده تا مقدار PV ماکزیمم در این رولربیرینگ ها نسبت رولربیرینگ های کروی معمولی، کاهشی ۳۰ درصدی داشته باشد که در عمل منجر به ارتقاء عمر کاری محاسبه شده تا میزان ۲/۵ برابر بیرینگ‌های عادی شده است.

این که از کدام یک از راهکارهای ذکر شده در این مقاله در طراحی و ساخت یک توربین بادی مورد استفاده شود، علاوه بر اندازه و نوع توربین بادی، به سیاست‌های طراح آن نیز بستگی دارد.

امروزه مطالعات گسترده‌ای برای بهبود عملکرد بیرینگ‌های مورد استفاده در توربین‌های بادی در جریان است و شرکت‌های مطرح تولیدکننده بیرینگ، به طور مداوم محصولات جدیدی در این حوزه معرفی می‌نمایند. بنابراین برای فعالان این حوزه ضروری است که با به‌روزرسانی اطلاعات خود، از مزایای این پیشرفت‌ها به طور مناسب بهره‌برداری نمایند.

منابع:

[1] NSK Motion & Control (2018), “Advanced bearing solutions for the wind industry”.

[2] https://www.ntnglobal.com/en/news/new_products/news201700080.html, Date of access: 2020.12.15

[۳] دپارتمان تحقیق و توسعه شبکه بلبرینگ ایران (۱۳۹۶)، «مروری بر پدیده عبور جریان الکتریکی از بیرینگ‌های غلتشی».

[4]TIMKEN Company (2016), “TDI main shaft brochure”.

[5]https://www.bearing-news.com/schaeffler-introduces-new-bearings-with-glass-fibre-reinforced-plastic-coating, Date of access: 2020.12.15

[6]https://www.nskamericas.com/en/products/nsk-innovative-products/roll-neck-bearings-super-tf.html, Date of access: 2020.12.15

[7]https://www.skf.com/be/nl/news-and-events/news/news-2018/2018-12-12-skf-supports-erg-to-manage-maintenance-activities-across-its-wind-turbine-estate, Date of access: 2020.12.15