

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله

## دفع و بازیافت پره های توربین بادی

بهزاد رهنما<sup>۱</sup>

تهران، خیابان دکتر فاطمی، برج ساعت، طبقه ۷، واحد ۷۱، شرکت مکت انرژی

[wind1@mksenergy.com](mailto:wind1@mksenergy.com)

### چکیده:

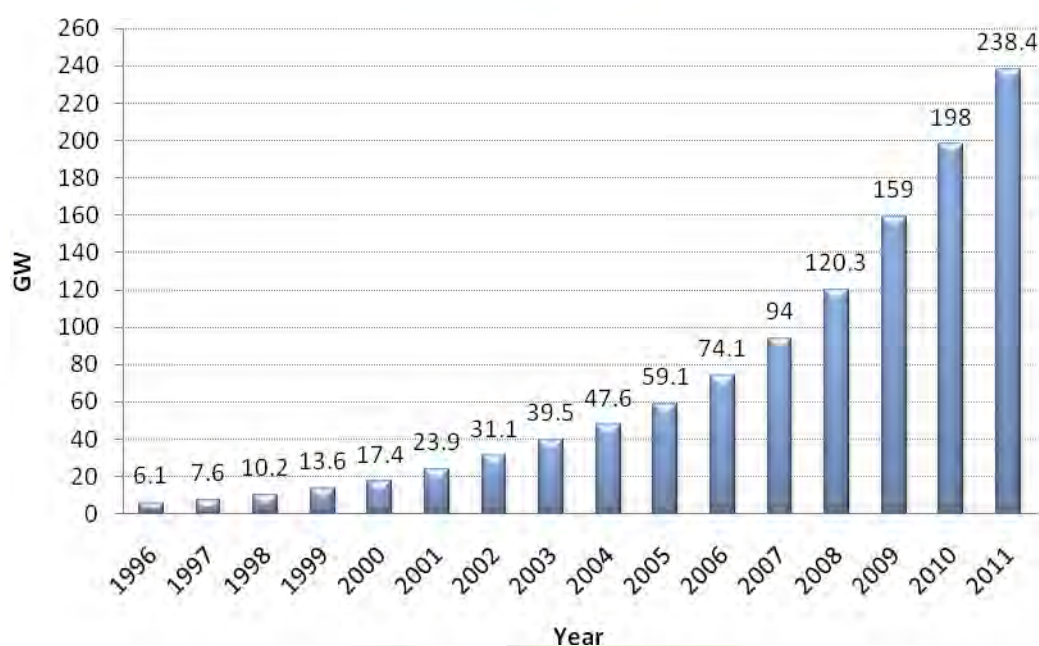
رشد روز افزون صنایع توربینهای بادی در جهان باعث شده که این صنعت یکی از صنایع پیشتاز در زمینه انرژی های نو باشد و انتظار میرود در سالهای آینده این رشد به شکل چشمگیری افزایش یابد. با توجه به توسعه و گسترش توربینهای بادی، ابعاد و اندازه آنها نیز افزایش یافته است، به گونه ای که در سالهای اخیر شاهد تولید توربینهای بادی با ظرفیتهای چندین مگاوات بوده ایم. از آنجا که عمر مفید توربینهای بادی در حدود بیست تا بیست و پنج سال تخمین زده میشود، چگونگی دفع و بازیافت پره ها به عنوان اصلی ترین قسمتهای آن مسئله ای است که بدون شک در سالهای پیش رو مورد توجه قرار خواهد گرفت. به دلیل ملاحظات اقتصادی و زیست محیطی، دفع و بازیافت پره های توربینهای بادی مورد پذیرش نمیشود، لذا با توجه به رشد ابعاد آنها در ازبین بردن این ساختارهای عظیم به چالشی بزرگ تبدیل خواهد شد. در این مقاله به بررسی امکان پذیری دفع و بازیافت پره توربین بادی میپردازیم و نیز به معرفی راهکار جدید به منظور استفاده مجدد از پره ها خواهیم پرداخت. این مقاله بر اساس تحقیقات پایان نامه کارشناسی ارشد نویسنده در دانشگاه گاتلند در کشور سوئد نوشته شده است.

**واژه های کلیدی:** پره توربین بادی، عمر مفید توربین بادی، بازیافت، محیط زیست.

۱- کارشناس ارشد تکنولوژی انرژی ( انرژی باد)

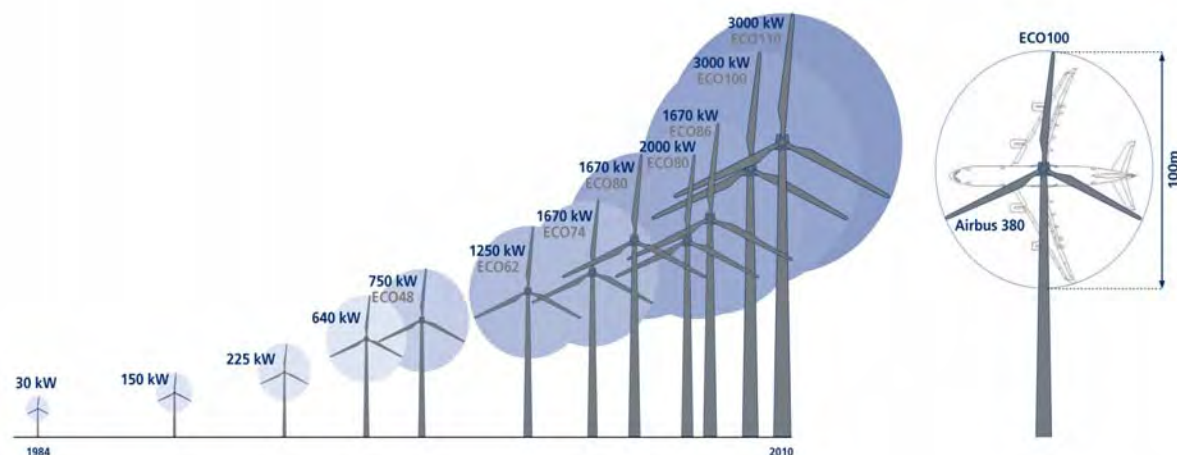
## ۱- مقدمه:

بر طبق آمار منتشر شده در مجله انجمن جهانی انرژی باد (GWEC) در فوریه ۲۰۱۲ نشان میدهد که در سال ۲۰۱۱ ظرفیت نصب شده توربینهای بادی در سطح جهان در حدود ۴۱۰۰۰ مگاوات میباشد که در این صورت ظرفیت تجمعی نصب شده توربینهای بادی در جهان برابر ۲۳۷۶۶۹ مگاوات میباشد. بیشترین ظرفیت تولید در سالهای اخیر در قاره آسیا بوده است و به دنبال آن آمریکای شمالی و اروپا قرار دارند. [۱] این در حالی است که، رشد نیروگاه بادی در اروپا از ۲٪ در سال ۲۰۰۰ به ۹٫۶٪ در سال ۲۰۱۰ رسیده است و در سال ۲۰۱۱ این رشد تقریباً به ۱۱٪ رسیده است. [۲] نمودار ۱ رشد نصب توربینهای بادی در جهان را نشان میدهد [۱]



نمودار [۱] نمودار رشد توربین بادی نصب شده در جهان

با توجه به رشد و توسعه نیروگاه بادی ابعاد و اندازه آنها نیز افزایش مییابد به گونه ای در سالهای آینده انتظار حضور توربینهای بادی با ظرفیت ۱۰ مگاوات پیش بینی میشود. [۳] شکل ۲. مسئله اساسی که در چشم انداز بلند مدت استفاده از توربینهای بادی مطرح میشود این است که بعد از عمر مفید این سازه های عظیم با توجه به مسائل زیست محیطی چه اقدامات و عملیاتی بر روی ضایعات آن بخصوص پره ها، انجام میشود. عملیاتی مانند دفن، سوزاندن و یا بازیافت هر کدام میتواند راهگشای از بین بردن این مواد باشد، اما با توجه به تنوع قطعات در توربین بادی هر کدام از این عملیات میتواند بر روی قطعه و یا قطعاتی از آن انجام پذیرد.



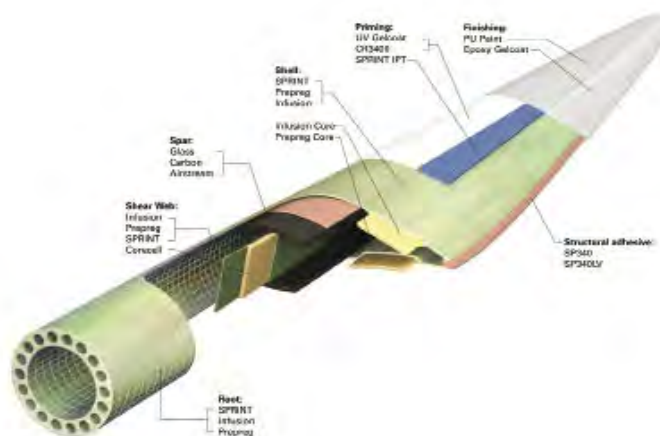
شکل [۱] افزایش اندازه توربینهای بادی تا کنون

## ۲- پره های توربین بادی

عمر مفید یک توربین بادی در حدود بیست تا بیست و پنج سال تخمین زده میشود. پس از این زمان توربین بادی نه به عنوان یک نیروگاه بلکه به عنوان یک پسماند میتواند مد نظر قرار گیرد. فارغ از بحث تجهیز و راه اندازی دوباره که با توجه به فاکتور امکان پذیری اقتصادی در طی زمان، باید مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد، پسماند توربین بادی میتواند در پروسه بازیافت قرار گیرد و تبدیل به مواد دیگر شود یا در تولید دوباره از آن استفاده گردد.

رشد ابعاد و اندازه توربینهای بادی از یکسو و تغییرات تکنولوژیکی در زمینه طراحی و ساخت از سوی دیگر باعث میشود که سرمایه گذاران تمایل بیشتری به استفاده از توربینهای بادی نو و مدرن داشته باشند تا از توربینهای بازارهای دست دوم استفاده کنند. [۴] این مسئله در استفاده پره های توربین بادی برای یک کشتزار بادی اهمیت بیشتری میابد. بخصوص در کشتزارهای بادی فرا ساحلی که میزان سرمایه گذاری در آن مقدار قابل توجهی میباشد.

پره های توربین بادی یکی از قسمتهای منحصر به فرد توربین میباشد. این قسمتها در طی فرآیند قالب گیری و با استفاده از مواد فایبر گلاس و رزینهای اپوکسی به صورت توخالی تولید میشوند. منحصر به فرد بودن این قطعات به خاطر وجود حالت آیرودینامیکی در طراحی آنها میباشد. هر کمپانی سازنده پره و یا هر توربین بادی در طول عمر مفید خود از یک نوع پره استفاده مینماید که منحصر به خود توربین میباشد. شکل زیر نمونه این پره ها و مواد مورد استفاده در آنها را نشان میدهد. [۴]

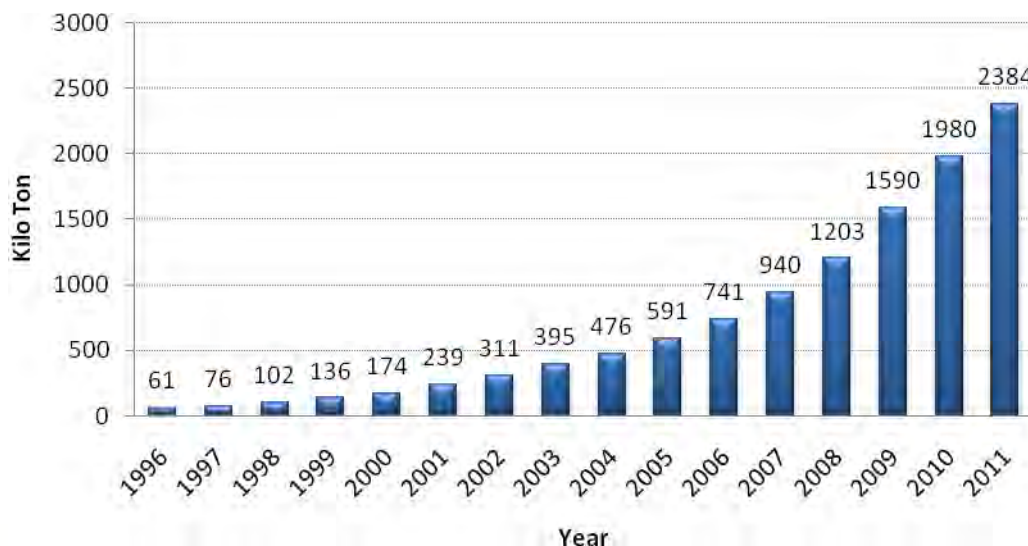


شکل [۲] مواد مختلف تشکیل دهنده پره توربین بادی

همانطور که از شکل ۵ مشخص است تنوع مواد در تولید یک پره زیاد میباشد و از آنجا که این مواد بوسیله چسبهای حرارتی یا غیر حرارتی و رزینهای اپوکسی به صورت لایه لایه روی یکدیگر قرار میگیرند تفکیک و جداسازی آنها پس از عمر

مفیدشان بسیار دشوار است. در سال ۲۰۰۱ بیش از ۵۰۰۰ تن مواد پلاستیکی فایبر گلاس در تولید پره های توربین استفاده شده و این میزان تا سال ۲۰۱۱ میلادی به حدود  $2 \times 10^8$  رسید است. [۵]

با یک تخمین ساده که توسط پروفسور Henning Albers ارائه کرده است به ازای هر KW نصب توربین بادی تقریباً ۱۰ کیلو گرم مواد سازنده پره بکار رفته است بنابراین به طور تقریبی برای یک توربین بادی ۲ مگاواتی تقریباً ۲۰ تن مواد پره مورد نیاز میباشد. [۶] نمودار زیر میزان مصرف مواد پره را در جهان با استفاده از این تخمین نمایش میدهد.



نمودار [۲] مواد مصرفی در پره های توربین بادی

به طور کلی مواد مورد استفاده در توربین بادی به صورت ورقهای فایبرگلاس میباشد که به صورت لایه لایه و با پوششهای رزین اپوکسی درون قالب روی یکدیگر قرار میگردند. مواد دیگری مانند فیبرهای کربنی نیز به دلیل سبک بودن قابلیت بسیار خوبی در تولید پره ها دارند اما با توجه به قیمت آنها این مواد کمتر در این فرایند استفاده میشوند. جدول زیر مقایسه فیبرهای کربنی و فایبرگلاس را در تولید پره های توربین بادی نشان میدهد. [۷]

جدول [۱] خواص فیزیکی فیبرهای مورد استفاده در پره توربین بادی

Capability	Glass Fiber	Carbon Fiber
Tensile Strength, MPa	3100~3800	3500~6000
Elastic Module, GPa	72.5~75.5	230~600
Elongation to break, %	4.7	1.5~2
Diameter of filament, $\mu$ m	6~21	5~15
Temperature of application, °N	-50~+380	-50~+700
(2011) Price, USD/kg	1.1	30

پره های توربین بادی تحت تاثیر شدید تنش و کرنشهای مداوم میباشند لذا با توجه به این نکته که مواد مورد استفاده از آنها تنشهای پسماند زیادی را در خود ذخیره مینمایند استفاده مجدد از آنها در توربینهای دیگر توصیه نمیشود.

### ۳- مراحل دفع مجدد پره ها

دفع مجدد پره ها با استفاده از روشهای موجود مانند نصب پره ها به مراحل مختلفی تقسیم می شود که شامل:

۱- باز کردن پره توربین بادی (Dismantling): شامل باز کردن و پیاده نمودن قطعات مختلف توربین از جمله قسمتهای مختلف دکل، ناسل و پره ها میباشد. [۷]

۲- حمل و نقل قسمتهای مختلف: نقل انتقال قسمتهای باز شده توربین به مقصد نهایی به منظور عملیات ثانویه. [۷]

۳- خرد کردن قطعات : در صورت نیاز میتوان پره ها را در محل ( مبدا) توربین بادی و یا در مقصد نهایی خرد نمود. این پروسه با توجه به مسائل حمل و نقل و فاکتور اقتصادی بسته به شرایط در مبدا یا مقصد انجام میپذیرد. [۷]



شکل [۳] ابعاد و اندازه پره توربین بادی

۴- پروسه دفع و استفاده مجدد: با توجه به این امر که بازیافت پره های توربین بادی به عنوان استفاده مجدد از آنها در ساختار توربین بادی هم به لحاظ تکنولوژی بازیافت و هم از لحاظ فاکتورهای طراحی پره توربین امکانپذیر نمیشد. لذا از عملیات دیگری به منظور دفع پره های توربین بادی به کار میرود. [۷]

#### ۴- دفع پره ها در جهان

کمپانی آلمانی Holcim پس از خرد کردن پره ها و استفاده از انرژی گرمایی آنها در کوره ، از خاکستر آنها در فونداسیون توربین بادی استفاده میکند که نشان دهنده بازیافت کامل در یک زنجیره عرضه (Supply Chain) میباشد. [۸] موردی که در زمینه سوزاندن پره ها باید به آن توجه نمود مقرون به صرفه بودن آنها میباشد. هزینه حمل و نقل پره ها بخصوص در کشتزارهای بادی فرا ساحلی و نیز خرد کردن آنها بوسیله اره ها و چکشهای بزرگ و با در نظر گرفتن سایش زیاد این ابزار آلات در این عملیات هزینه های زیادی متحمل عملیات سوزاندن آنها میشود. در این روش پس از سوزاندن پره ها خاکستر بجامانده را به عنوان مواد پر کننده در فونداسیون توربین بادی استفاده مجدد مینمایند.

جدول [۲] ارزش کالری مواد مختلف در مقایسه با پره توربین بادی

Fuel	Caloric Value ( KJ/Kg)
Alcohol, 96%	30,000
Carbon	34,080
Coal	15,000 - 27,000
Gasoline	47,300
Methane	55,530
Petrol	48,000
Wood (dry)	14,400 - 17,400
Wind Turbine Blade	11,000- 14,000

روش دیگری که در دانمارک توسط کمپانی Refiber معرفی شد پیرولیز کردن پره ها و استفاده آنها در مواد عایق پلاستیکی میباشد که با توجه به کافی نبودن تعداد پره های بازیافتی هنوز در مرحله تحقیق باقی مانده است. [۹] با توجه به رشد ابعاد و اندازه پره ها و نیز حجم بالای عملیات و کمبود پره ها ، این روش نیز از لحاظ فاکتورهای اقتصادی مقرون به صرفه نمی باشد.



Wind Turbine Blade prior to pyrolysis      Plastic is gasified – 55 % fiber is left



Electricity from Gas      Insulating Mats from Fibers      Insulating FiberBalls

شکل [۴] پیرولیز کردن پره توربین بادی در شرکت Refiber

همانطور که مشخص شد هنوز راه حل مورد تاییدی در بازارهای جهانی به منظور از بین بردن پره های توربین بادی وجود ندارد اما با توجه به اهمیت این امر و افزایش پره ها در چند سال آینده این مسئله به طور قطع به چالشی بزرگ برای کمپانی های تولید کننده و یا توسعه دهنده توربین بادی تبدیل خواهد شد.

### ۵- استفاده از پره ها به عنوان صخره های مصنوعی

صخره های مصنوعی سازه هایی هستند که به صورت تعامدی در بستر دریا ساخته یا رها میشوند، این صخره ها مانند صخره های طبیعی در رشد و تکثیر موجودات دریایی و حفاظت از آنها در قسمتهایی از دریا که با کمبود صخره مواجه است، به کار برده میشود. [۱۰]

در ساختار این صخره های مصنوعی موادی از قبیل آهن، سیمن، پلاستیک و ... بکار میرود و به منظور اهداف مختلفی نظیر مدیریت محیط زیست دریایی، حفظ گوناگونی موجودات دریایی در منطقه، گسترش ماهیگیری و دلایل تحقیقاتی استفاده میشود. [۱۰]



شکل [۵] صخره های مصنوعی در کف اقیانوسها

به منظور دلایل اقتصادی و استفاده بهتر از پره های توربین بادی، بخصوص پره های توربین های بادی فرا ساحلی، ایده استفاده از این پره ها به عنوان صخره های مصنوعی در دریا مطرح شده است. [۷]

امکان پذیری استفاده از این پره ها به عنوان صخره های مصنوعی در موارد زیر باید بررسی شود:

- ۱- ساختار: ساختار پره توربین بادی یک ساختار تو خالی میباشد که با مقداری تغییر در آن میتواند به عنوان پناهگاه مناسبی برای موجودات دریایی به منظور رشد و تکثیر استفاده شود. مطالعه بر روی انواع موجودات دریایی و میزان تمایل آنها به این ساختار در یک مطالعه تجربی امکان پذیر میباشد. [۷]

- ۲- مواد پره ها: مواد پره که اصولاً از جنس فایبر گلاس میباشند عموماً با آب دریا واکنش شیمیایی ایجاد نمیکنند اما از لحاظ نشت و انتشار مواد سمی در داخل دریا باید مطالعه تجربی صورت پذیرد. [۷]
- نکته دیگر در مورد مواد پره این است که قابلیت غرق شدن در آب را داشته باشند به این منظور که دانسیته آنها نسبت به دانسیته آب بیشتر باشد. [۷]
- ۳- تناسب: از آنجا که استفاده از پره ها به عنوان صخره مصنوعی، تجربه تازه ای میباشد لذا نیازمند پایش کوتاه مدت و بلند مدت میباشد تا از لحاظ متناسب بودن با محیط دریا و موجودات آن اطمینان حاصل شود.
- ۴- استقامت و پایداری: پره های توربین بادی که به عنوان صخره مصنوعی در دریا استفاده میشوند باید استقامت کافی را در بستر دریا داشته باشند به گونه ای که در شرایط جوی نامساعد و در طول مدت طولانی پایداری خود را در بستر دریا حفظ نمایند. [۷]

## ۶- نتیجه گیری

امروزه توربین بادی به عنوان یک نیروگاه به منظور تولید و تامین انرژی الکتریکی در جهان شناخته شده است. انجام پروژه های عظیم توسعه این نیروگاهها در دریا و خشکی و تلاش برای کاهش وابستگی به سوختهای فسیلی در برنامه توسعه اکثر کشورهای جهان قرار گرفته است. با در نظر گرفتن سرعت توسعه این نیروگاهها و بهینه سازی طراحی و ساخت آنها با توجه به تکنولوژی روز، لزوم هدفمندی و برنامه ریزی در توسعه نیروگاههای بادی ضروری میباشد.

داشتن برنامه ریزی دقیق به منظور تکمیل حلقه مصرف با توجه به مسائل زیست محیطی که در توسعه نیروگاههای بادی در اولویت قرار میگیرد باعث میشود که بتوان توربینها را بعد از عمر مفیدشان بازیافت نمود. در پروسه بازیافت توربین بادی علاوه بر برنامه ریزی مشخص نمودن مسئولیتها در قرارداد توسعه ای و پیشبرد توانمندی ها به منظور پوشش پروسه به طور کامل اجتناب ناپذیر است.

آنچه در این مقاله مورد بحث قرار گرفت معرفی راهکارهای موجود در دفع پره های توربین بادی میباشد. آگاهی از این امر و تامین زیرساختهای مناسب برای انجام این پروسه باعث بوجود آمدن حلقه تجاری جدیدی در صنعت توسعه بادی میشود که در بازارهای رقابتی جهانی میتواند مورد توجه قرار گیرد.

## مراجع

- [۱] GWEC 2011: Global Wind Statistics 2011  
 [۲] Wind in Power, European Statistics, February 2012  
 [۳] SeaTitan™ 10 MW Wind Turbine: <http://www.amsc.com/documents/seatitan-10-mw-wind-turbine-data-sheet/>  
 [۴] Reduction of Environmental Impact Effect of Disposing Wind Turbine Blades, Behzad Rahnama, Master Thesis written at Gotland University, Department of Wind Power Project Management (WPPM) Gotland, Sweden, Spring 2011  
 [۵] Paul S. Veers et al. Trends in the Design, Manufacture and Evaluation of Wind Turbine Blades, Wind Energ. 2003; 6:245-259  
 [۶] Albers H., Greiner S., Bremen Hochschule, Recycling of Wind Turbine Rotor Blades - Fact or Fiction?, Institut für Windenergie, DEWI MAGAZIN NO. Umwelt und Biotechnik H. Seifert, U. Kühne, Hochschule Bremerhaven, 34, FEBRUARY 2009  
 [۷] Recycling Wind Turbines Outlook and Technologies, Dr. Alvaro Feito-Boirac, Mr. Tomas Vromsky, Mr. Amaury Guillaume. EWEA 2011  
 [۸] Disused Rotor Blades can now be utilized in Cement Production. <http://www.holcim.com>  
 [۹] Reinforced plastic composites. How GRP-waste is treated in Denmark. ReFiber ApS, Denmark.  
 [۱۰] London protocol. 2nd Meeting 19. 23 May 2008 Agenda item 5, Development of guidance for the placement of artificial reefs, scientific group of the London convention - 31st Meeting;





# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی

مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها

اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله

آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله