توربین های بادی دریایی ثابت با پلتفرم مونوپایل (Monopile)

علی طبرسا

کارشناس ارشد مهندسی عمران – سازه

Eng_Tabarsa@yahoo.com

چکیده

امروزه استفاده از توربین های بادی جهت تولید انرژی های تجدید پذیر با صرفه اقتصادی روز به روز در حال توسعه می‌باشد. در همین راستا بیشترین پلت فرم استفاده شده در صنعت توربین های بادی دریاییی در جهان به دلیل سادگی در طراحی و نصب آسان، از نوع مونوپایل یا تک شمع می‌باشد. تخمین زده میشود بیش ۲۰۰۰ عدد از این نوع ساخت و نصب شده است. از این رو در این مقاله به مطالعه و بررسی موردی این پلت فرم پرداخته می‌شود.

واژگان کلیدی: توربین بادی، مونوپایل، آفشور،دریایی

Fixed offshore wind turbines with Monopile platform

Ali Tabarsa

Master of Civil Engineering - Structures

Email: Eng_Tabarsa@Yahoo.com

Abstract:

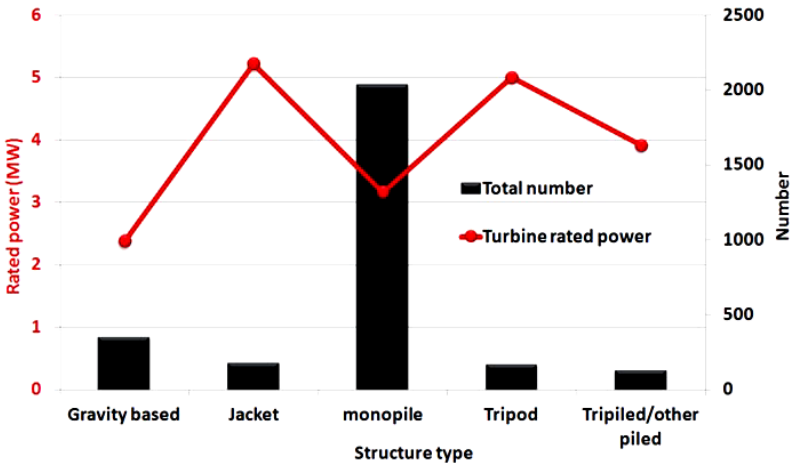
The use of wind turbines for renewable energy production is the cost-effective developing daily. In this respect the most used platform in the industry of wind turbines submarines in the world because of the simplicity in design and easy installation, the type Monopiles. It is estimated that more than 2,000 of this type of installation. Hence, this article focuses on the study placed the platform.

Keywords: offshore, wind turbine, monopile, platform

۱. مقدمه

مفاهیم مختلف برای توربین های بادی دریایی ارائه شده است. توربین های بادی دریایی اولیه بر پایه توربیت های بادی در خشکی طراحی و ساخته شد. همچنین برای داشتن یک طراحی بهینه و منساب نیاز به در نظر گرفتن کلیه جوانب از قبیل فونداسیون، سازه پشتیبانی، پلتفرم و برج و همچنین ناسل به عنوان یک واحد یک پارچه می باشد. در حال حاظر توبین های بادی دریایی، فقط یک توربین دریایی با پلت فرمی متفاوت نیست، با این حال طرح اولیه بر اساس استفاده از دانش و علم صنایه دریایی و بادی توسعه یافته است. در شکل ۱ ظرفیت تعدادی از توربین های بادی دریایی نصب شده با استفاده از فونداسیون ثابت برای مفاهیم مختلف نشان داده شده است. امروزه بیشترین فونداسیون استفاده شده درتوربین های بادی دریاییی در جهان از نوع مونوپایل[1] بوده که تخمین زده میشود بیش ۲۰۰۰ عدد از این نوع ساخت و نصب شده است. اصطلاحات مورد استفاده برای تعریف مفهوم سازه های پشتیبانی و فونداسیون می تواند در مقالات کمی متفاوت باشد. قطعات اصلی یک توربین بادی دریایی به شرح زیر است:

- فونداسیون و سیستم مهار طنابی [2]
- سازه پشتیبانی و پلت فرم
- قطعه انتقالی
- برج
- بدنه (روتور، پیشرانه، ژنراتور، قطعات الکترونیکی)



شکل ۱ ظرفیت تعدادی از توربین های بادی دریایی نصب شده با استفاده از فونداسیون ثابت برای مفاهیم مختلف

[1] Monopiles
[2] mooring system

در بعضی از متون علمی و کتاب ها، برج توربین، به عنوان سازه پشتیبانی کننده است که ناسل، روتر و هاب بر آن مونتاژ شده استو در برخی دیگر از متون ، اصطلاح "فونداسیون" برای تمام بخشی از نصب و راه اندازی زیر برج استفاده می شود. به عبارت دقیق تر، در این کتاب، " فونداسیون " بخشی واقع در (روی) خاک است که موجب حفظ زیر سازی در محل بستر میشود. ۳ نوع عمده فونداسیون عبارت اند از:

مبتنی بر وزن و جاذبه[3] ، شمع [4] ، باکت[5]

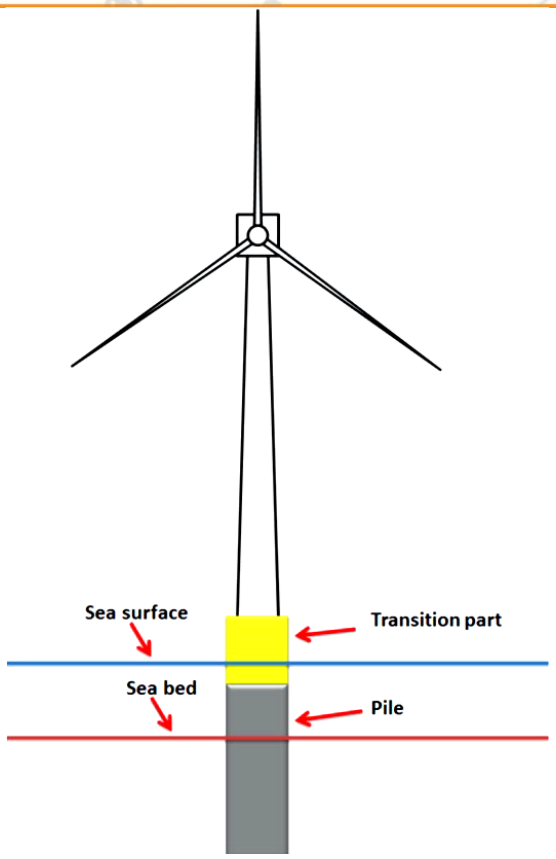
سازه پشتیبانی بالای فونداسیون می‌باشد. در برخی از متون علمی قطعه انتقال نیز شامل سازه پشتیبان میباشد که بسته به نوع طراحی و مفاهیم، اندازه بخش انتقال می تواند متفاوت باشد. همچنینسازه برج بالا سازه پشتیبانی، که آن را به قطعه انتقال متصل می کند (2010).

۲.توربین بادی دریایی ثابت با فونداسیون مونوپایل

۱,۲ معرفی

توربین های بادی ثابت برای کاربردهای دریایی با استفاده از سیستم مونوپایل در آب های کم عمق (با عمق حدود ۱۰متر) آغاز شد. که طرح شماتیک آن در شکل ۲ نشان داده شده است. استفاده از شمع بخصوص پلت فرم های جکت [6]در تکنولوژی دریایی سوابق طولانی دارد بدین صورت که با حفر و فرو رفتن در بستر دریا باعث ثابت شدن سازه می شوند. بنابر این وقتی از توربین بادی دریایی صحبت می شود، استفاده از این تکنولوژی منطقی به نظر می آید. برای یک توربین بادی زمینی، برج به طور مستقیم به فونداسیون متصل است. از فولاد و بتن برای استقامت فونداسیون استفاده میشود. در توربین های بادی که از شمع استفاده میشود معمولا قسمت برج توسط بخش انتقالی با استفاده از گروت[7] به شمع متصل میشود.

[3] gravity-based
[4] piled
[5] skirt/bucket
[6] jacket
[7] grout



شکل ۲ طرح شماتیک سیستم مونوپایل

۲,۲ گروت

تزریق گروت در زمینه فن آوری نفت و گاز برای اتصال شمع به مجموعه پلت فرم ها جکت انجام می‌گیرد. گروت از آب دریا و سیمان با نسبت وزن آب / سیمان ۳۹ درصد ساخته میشود. رفتار سازه با اتصلات گروت نسبا پیچیده است به عنوان مثال در تحلیل نقطه اتصال گروت و فولاد, رفتار غیر خطی از خود نشان میدهد. غیر خطی بودن رفتار گروت بر این پیچیدگی می افزاید (2008).

بخش گروت به پدیده خستگی[8] بسیار حساس می باشد. در این بخش لنگر خمشی دینامیکی باعث ایجاد پدیده خستگی شده که با استفاده از تحلیل اجزا محدود و برخی از آزمایشات، می توان این اتصالات را با دفت و جزییات بیشتری تجزیه و بررسی نمود.امروزه سیستم مونوپایل به طور گسترده ای برای پروژه های بادی دریایی در کشورهایی مانند انگلستان، آلمان، سوئد، دانمارک، بلژیک و هلند استفاده می شود.

توربین های بادی مونوپایل، رایج ترین مفهوم و ایده برای توربین های بادی دریایی می باشند که در حال حاضر در مجموع، ۲۰۳۱ توربین بادی مونوپایل با ظرفیت اسمی ۶۴۲۳,۹ مگاوات نصب و راه اندازی شده که متوسط توان اسمی هر توربین تقریبا ۳,۱۶ مگاوات است. در جدول ۱ لیستی از این توربین ها همراه برخی از ویژگی های آنها ذکر شده است (2011).

[8] fatigue

۳,۲ ویژگی ها و مشخصات پلتفرم مونوپایل

بیش از ۶۵٪ از توربین های بادی دریایی از سیستم سازه پشتیبانی مونوپایل استفاده می‌کنند (به جدول ۱ مراجعه شود). طراحی و نصب سازه منوپایل بدون پیچیدگی است. در اصل، مونوپایل یک سیلندر استوانه ای شکل است که در خاک بستر نفوذ کرده، که همین ویژگی و خصوصیات ظاهری باعث حمل و نقل، نصب و راه اندازی آسان آن میشود (2013). علاوه بر این، تجزیه و تحلیل و کار مهندسی مورد نیاز برای این نوع از سازه ها، ساده و به خوبی اثبات شده است. تمام این نکات به طور قابل توجهی هزینه ها را کاهش و تولید ، ساخت و استفده از آن را توجیه میکند. از این رو این تکنولوژی قبل از توسعه و پیدایش توربین بادی دریایی، یک سیستم عملی و محبوب محسوب میشد که در این توربین ها نیز مورد استفاده قرار گرفت(2008).

۴,۲ آنالیز پلت فرم مونوپایل

شکل و هندسه ساده مونوپایل منجر به آن شد که بتوان در آبهای عمیق قطر آن را با افزایش عمق افزایش داد که برای حفظ ثبات و یکپارچگی سازه بسیار کار آمد میباشد. با افزایش قطر، سازه در معرض بارهای هیدرودینامیک بیشتری قرار میگیرد, از این رو، طراحی و ساخت سازه مونوپایل برای آب های عمیق و بالاتر از ۳۰ متر با چالش جدی مواجه است. بر اساس تعریف ما در این مقاله، مونوپایل هم فونداسین و هم یک سازه پشتیبانی میباشد بدین صورت که از یک سو پایه ای است برای توربین های بادی ، و از سوی دیگر، نفوذ آن را خاک باعث تثبیت سازه میشود. قطر مونوپایل حدودا از ۳ الی ۶ متر، ضخامت شمع حدود ۱۵۰میلیمتر و بالاتر ، طول شمع حدود ۶۰ متر،که تقریبا نیمی از طول آن به خاک بستر هدایت و نیز توانایی پشتیبانی از سازه های تقریبا سبکی با وزن تقریبی ۷۰۰ تن را دارد. بخش انتقال معمولا لوله ای شکل است که قطر آن کمی بزرگتر از مونوپایل می باشد. در بالای قطعه انتقال، یک فلنج اطمینان، با استفاده از پیچ و مهره به برج متصل شده است. قطعه انتقال به طور معمول حدود ۲۰۰ تن وزن و حدود ۲۵ متر ارتفاع دارد (2010).

جدول ۱ لسیت و مشخصات مزارع دریایی بادی نصب شده با سازه مونوپایل

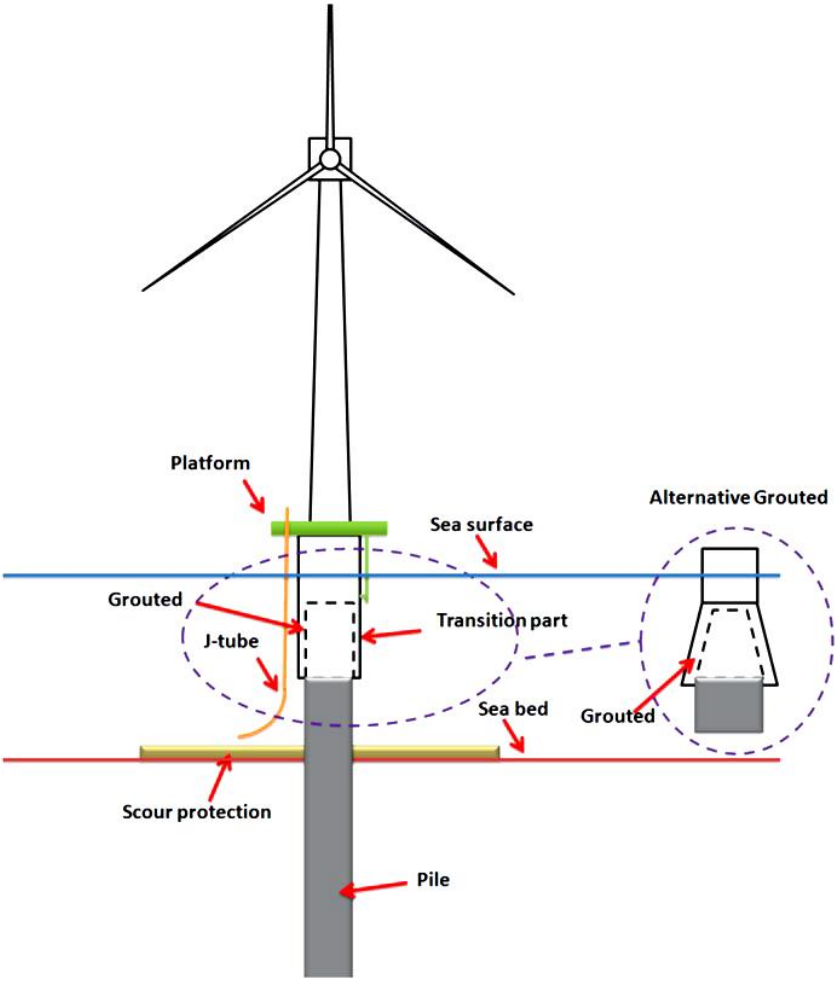
نام	کشور	اپراتور	ظرفیت اسمی	تعداد توربین	مدل توربین
Anholt	دانمارک	DONG Energy	399.6 MW	۱۱	Siemens SWT-3.6-120
Arklow Bank 1	ایرلند	Airtricity	25.2 MW	۷	GE 3.6 MW Offshore
Baltic 1	آلمان	Baden-Württemberg Energie	48.3 MW	۲۱	Siemens SWT-2.3-93
Barrow	انگلستان	DONG Energy	90 MW	۳۰	Vestas V90-3.0 MW
Belwind 1	بلژیک	Belwind	165 MW	۵۵	Vestas V90-3.0 MW
Blyth	انگلستان	E.ON	4 MW	۲	Vestas V66-2.0 MW
Bockstigen	سوئد	Nordisk Vindkraftservice	2.5 MW	۵	Wind World W-3700/500 kW
Burbo Bank 1	انگلستان	DONG Energy	90 MW	۲۵	Siemens SWT-3.6-107
Egmond aan Zee	هلند	Nuon	108 MW	۳۶	Vestas V90-3.0 MW
Greater Gabbard	انگلستان	SSE Renewables	504 MW	۱۴۰	Siemens SWT-3.6-107
Gunfleet Sands	انگلستان	DONG Energy	172.8 MW	۳۸	Siemens SWT-3.6-107
Gwynt y Môr	انگلستان	RWE npower renewables	576 MW	۱۶۰	Siemens SWT-3.6-107
Horns Rev 1	دانمارک	Vattenfall	160 MW	۸۰	Vestas V80-2.0 MW
Horns Rev 2	دانمارک	DONG Energy	209.3 MW	۹۱	Siemens SWT-2.3-93
Irene Vorrink	هلند	Nuon	16.8 MW	۲۸	Nordtank NKT 600/43
Kamisu	ژاپن	Wind Power Ibaraki	14 MW	۷	Subaru 80/2.0 MW
Kentish Flats 1	انگلستان	Vattenfall	90 MW	۳۰	Vestas V90-3.0 MW
Lely	هلند	Nuon	2 MW	۴	Nedwind N40/500
Lincs	انگلستان	Centrica Energy	270 MW	۷۵	Siemens SWT-3.6-120
London Array 1	انگلستان	DONG Energy	630 MW	۱۷۵	Siemens SWT-3.6-120

Lynn and Inner Dowsing	انگلستان	Centrica Energy	194 MW	۵۴	Siemens SWT-3.6-107

نام	کشور	اپراتور	ظرفیت اسمی	تعداد توربین	مدل توربین
North Hoyle	انگلستان	RWE npower renewables	60 MW	۳۰	Vestas V80-2.0 MW
Samso	دانمارک	Samsø Havvind	23 MW	۱۰	Bonus 2.3 MW/82
Prinses Amalia Windpark	هلند	Eneco	120 MW	۶۰	Vestas V80-2.0 MW
Rhyl Flats	انگلستان	RWE npower renewables	90 MW	۲۵	Siemens SWT-3.6-107
Robin Rigg	انگلستان	E.ON	180 MW	۶۰	Vestas V90-3.0 MW
Scroby Sands	انگلستان	E.ON	60 MW	۳۰	Vestas V80-2.0 MW
Sheringham Shoal	انگلستان	Scira Offshore Energy	316.8 MW	۸۸	Siemens SWT-3.6-107
Teesside	انگلستان	EDF Energy Renewables	62.1 MW	۲۷	Siemens SWT-2.3-93
Thanet	انگلستان	Vattenfall	300 MW	۱۰۰	Vestas V90-3.0 MW
Utgrunden 1	سوئد	Vattenfall	10.5 MW	۷	Enron EW 1.5s
Walney 1	انگلستان	DONG Energy	183.6 MW	۵۱	Siemens SWT-3.6-107
Walney 2	انگلستان	DONG Energy	183.6 MW	۵۱	Siemens SWT-3.6-120
Yttre Stengrund	سوئد	Vattenfall	10 MW	۵	NEG Micon NM72/2000
DanTysk	آلمان	Vattenfall	288 MW	۸۰	Siemens SWT-3.6-120
Riffgat	آلمان	EWE	108 MW	۳۰	Siemens SWT-3.6-120
Meerwind Süd und Ost	آلمان	WindMW	288 MW	۸۰	Siemens SWT-3.6-120
Gunfleet Sands 3 Demonestratio	انگلستان	DONG Energy	12 MW	۲	Siemens SWT-3.6-120
Northwind	بلژیک	-	216 MW	۷۲	Vestas V112-3.0 MW
Baltic 2	آلمان	Baden-Württemberg Energie	140.4 MW	۳۹	Siemens SWT-3.6-120

همانطور که در بالا توضیح داده شد، ساخت یک سطح مقطع دایره ای استوانه ای ، برای قطعه انتقال آسان است. ظرفیت محوری قطعه انتقال برای تزریق گروت نبز پایین تر از مقدار فرض شده می‌باشد. که این افزایش قطر در قطعه انتقال مجر به عدم کنترل تلرانس بوجود آمده در زمان افزایش نیروی لنگر ناشی از امواج موج و نیروی باد می‌شود. برای جلوگیری از این اتفاق، دی ان وای[9] استفاده از یک شکل مخروطی برای قسمت انتقال را پیشنهاد داد که در شکل ۳ مشاهده می‌کنید.

بسته به نوع طراحی، بارهای موجود ، شرایط ژئوتکنیک و محیطی، مقدار نفوذ شمع در بستر تعیین میشود.عواملی مانند نیروی جانبی و تغییر شکل، اندر کنش بین خاک و شمع همچنین بخش گروت و اتصال بین قطعه انتقال و شمع را تحت تاثیر قرار می‌دهد (2007).



شکل ۳ قطعه انتقال در توربین های بادی دریایی

[9] dnv.com 2011

۳. نتیجه گیری

با توجه به نکات گفته شده، انتقال راحت و بدون مشکل نیرو از بارهای حاصل از نیروی موج و باد از سیستم به فونداسیون، مستلزم کنترل دقیق و محکم تزریق گروت می‌باشد. در غیر این صورت باعث بوجوود آمدن ترک در سازه می-شود. در زمانی که گروت دارای معایبی نظیر ترک یا عدم نسبت لازم باشد، می‌توان با تزریق مجدد گروت نقات ظعف را برطرف کرد. از شرایط و وضعیت محدود کننده برای این نوع از سازه پشتیبانی می توان به تغییر شکل کلی، حرکت جانبی در امتداد مونوپایل و ارتعاش نام برد. مونوپایل علاوه بر نیرو های جنبی سیکلی ، لنگر خمشی و نیروی موج , در معرض بار های محوری از جمله نیروی عمودی قطعه انتقال نیز قرار دارد. در حال حاضر مفهوم مونوپایل با توجه به سهولت نصب و راه اندازی در آب های با عمق متوسط (آب های تا عمق ۳۰ متر) رایج ترین نوع فونداسیون در توربین های بادی دریایی می باشد.

۴. تشکر و قدردانی

با تشکر فراوان از جناب آقای دکتر کریمی راد بابت راهنمایی ها و لطفی که شامل حال این جانب داشته اند.

۵. مراجع

Ballast-Nedam-Offshore. (2010). Baltic 1 offshore wind farm. http://www.bnoffshore.com/public/offshore/Documents/Baltic%201%20Offshore%20Wind%20Farm.pdf

dnv.com. (2011). New design practices for offshore wind turbine structures. http://www.dnv.com/press_area/press_releases/2011/new_design_practices_offshore_wind_turbine_structures.asp.Accessed April 2014.

European-Commission-(FP6). (2011). UpWind, design limits and solutions for very large wind turbines. The sixth framework programme for research and development of the European Commission (FP6).

Greater-Gabbard-Offshore-Winds-Limited. (2007). Decommissioning programme, Greater Gabbardoffshore wind farm project. 577000/403 MGT100– GGR – 107.

Honarvar, M. R., Bahaari, M. R., & Asgarian, B.. (2008). Experimental modeling of pile-leg interaction in jacket type offshore platforms cyclic inelastic behavior. *American Journal of Applied Sciences*, *5*(11), 1448–1460.

Muliawan, M. J., Karimirad, M., & Moan, T. (2013a). Dynamic response and power performance of a combined spar-type floating wind turbine and coaxial floating wave energy converter. Renewable Energy, 50, 47–57