سازه‌های انرژی تجدیدپذیر فراساحل

تالیف

علی طبرسا

نشر علم عمران

www.elme-omran.com
Info@elme-omran.com

عضو:

انجمن فرهنگی ناشران کتاب دانشگاهی

این اثر مشمول قانون حمایت مولفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است، هر کس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه ناشر و مؤلف، نشر یا پخش یا عرضه کند مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

سرشناسه:	طبرسا، علی، ۱۳۶۸ –
عنوان و پدیدآورنده:	سازه‌های انرژی تجدیدپذیر فراساحل/ تالیف علی طبرسا
مشخصات نشر:	تهران : علم عمران ، ۱۳۹۶
مشخصات ظاهری:	۲۵۷ ص
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۵۱۷۶-۴۵-۲:۵۰۰۰۰۰ ریال
موضوع:	توربین‌های بادی – Wind turbines - توربین‌های بادی دریایی / Offshore wind turbines
موضوع:	انرژی‌های پایان‌ناپذیر / Renewable energy sources
رده‌بندی کنگره	TJ۸۲۸/ط۲س۲ ۱۳۹۶
رده‌بندی دیویی	۶۲۱/۳۱۲۱۳۶
شمارهٔ کتابخانهٔ ملی	۵۰۰۵۵۳۰

نشر علم عمران

سازه‌های انرژی تجدیدپذیر فراساحل
تالیف: علی طبرسا

چاپ اول	پاییز ۱۳۹۶
تعداد و قطع صفحات	۲۵۷ صفحه وزیری
حروف‌چینی و صفحه‌آرایی	علم عمران
شمارگان	۱۰۰۰
بهای کتاب	۵۰۰۰۰۰ ریال
شابک: ۲-۴۵-۵۱۷۶-۶۰۰-۹۷۸	ISBN:978-600-5176-45-2

نشر علم عمران: تهران، یوسف آباد، خیابان جهان آرا، بین خیابانهای ۱۶ و ۱۸، پلاک ۳۳، طبقه دوم، واحد ۱۱،
تلفن: ۸۸۳۵۳۹۳۰ دورنگار: ۸۸۳۵۳۹۳۲

حقوق چاپ و نشر برای نشر علم عمران محفوظ است.

ماحصل آموخته‌هایم را درکمال افتخار و امتنان تقدیم می‌کنم به تمام جامعه‌ی مهندسین و محققینی که نیک می‌اندیشند و عقل و منطق را پیشه خود نموده و جز کسب علم و دانش درجهت رشد و شکوفایی ایران، هدفی ندارند. دانشمندان، بزرگان، و جوانمردانی که جان و مال خود را در حفظ و اعتلای این مرز و بوم فدا نموده و می‌نمایند.

مقدمه ناشر

بی‌شک رشد و توسعه هر کشوری وابسته به میزان فرهنگ، اطلاعات و دانش افراد آن است. از ابزارهای توسعه دانش، تولید کتاب، مقالات، پایان‌نامه‌ها،... می‌باشد. در این راستا رسالت مؤسسات نشر بسیار مهم و اساسی است. نشرعلم عمران به عنوان یک مرکز تخصصی جهت ارائه کتاب‌های تخصصی مهندسی عمران همواره سعی داشته تا در این زمینه با کمک فرهیختگان، اساتید و دانشجویان مجرب بتواند گام‌های اساسی در زمینه توسعه دانش مهندسی عمران و توسعه ساخت و آبادانی از طریق گسترش دانش بپردازد.

کتاب حاضر که توسط آقای مهندس علی طبرسا به رشته تحریر درآمده است، از جمله کتاب‌های تخصصی در زمینه سازه‌های انرژی تجدیدپذیر فراساحل بوده و می‌تواند مرجع مناسبی برای علاقه‌مندان به این موضوع باشد.

سیدمهدی داودنبی
مدیر نشر علم عمران

سخن نویسنده

باتوجه به رشـد سـریع سازه‌های انرژی تجدیدپذیر فراسـاحل، مانند باد و دستگاه‌های انرژی اقیانوس (مانند استفاده از انرژی موج و توربین جریان جزر و مدی)، علم، فناوری و مهندسـی در این زمینه شـاهد توسـعه فراوانی بوده اسـت. با این حال، توانمندی و دانش مورد نیاز در یک مرجع واحد، دردسترس همگان نمیباشد. به‌ویژه، برای پلتفرم‌های ترکیبی دریایی، که در آن، دستگاه‌های باد و انرژی موج باهم ترکیب شده و ممکن است برای استفاده ازکار توام و همزمان از آنها، اطلاعات محدود و کمی موجود باشد.

در دهه‌های اخیر پیشـرفت فراوانی درپیشـبرد سـازه‌های انرژی فراساحل، به‌ویژه کاربرد انرژی بادی فراساحل بعمل آمده است. حال، توربینهای ثابت بادی فراساحلی به اندازه‌ای پیشرفت کردهاند که میتوانند با توربین‌های بادی مستقر درخشکی و زمین به رقابت بپردازندکه منجر به توسعه و پیشرفت مفاهیم جدید، برای سازه هایی که در اعماق اقیانوس کاربرد دارد شده است. در همین راستا توربین‌های بادی شناور و چندین مفهوم دیگر، در راستا تولید برق درحال پدیدار شدن و راه اندازی می‌باشند. همچنین درطول چند دهه گذشته، استفاده از مبدل انرژی موج برای تولید برق نیز به خوبی توسعه یافته و مفاهیم و پلتفرم‌های جدیدی درحال ظهور، و تمرکز محققان در زمینه فن آوری فراساحل، بر روی ترکیبی از دسـتگاه‌های موج و انرژی باد در پلتفرم‌های دریایی ترکیبی میباشـد. با توجه به موارد ذکر شـده، نیاز برای ارائه یک کتاب جهت آگاهی درزمینه سازه‌های انرژی تجدیدپذیر فراساحل بیشتر پیش آشکار می‌شود. صنایع انرزی تجدیدپذیر فراساحل، برای سالهای آینده، که لازم به داشتن مهندسین و متخصصان زمینه "سازه‌های انرژی تجدیدپذیر فراساحل" بیشتر می‌شود, نیاز به برنامه‌ریزی دقیق و حساب شده علاوه بر دانش و تکنیک کافی دارد، که این کتاب در همین راستا، تالیف و به چاپ رسیده است. در این کتاب، نویسنده سعی کرده عبارتهای پیچیده ریاضی اجتناب و از زبانی ساده برای درک مفاهیم استفاده کند. امید است محققین و مهندسان با مطالعه این کتاب، بینش مناسبی از سازه‌های انرژی تجدیدپذیر فراساحل دریافت کنند، با این حال، برای خواندن برخی از بخش‌های کتاب، اطلاعات اولیه از مباحث حساب دیفرانسیل و انتگرال لازم می‌باشد.

– این کتاب برای محققین و پژوهشگران، همچنین مهندسین و دانشجویان دکتری و کارشناسی ارشد، درحوزه فناوری دریایی، انرژی‌های تجدید پذیر، دریایی، اقیانوس، مهندسی سواحل و مهندسی سازه نوشته شده است. همچنین می‌توان در دوره‌های مقطع دکتری و کارشناسی ارشد در گروه‌های مهندسی عمران، مهندسی مکانیک و همچنین اقیانوس ها، سواحل و مهندسی دریایی به عنوان واحد درسی استفاده کرد.

– این کتاب تلاش کرده است تا به سادگی مبانی طراحی سازه‌های انرژی فراساحلی را بیان کند.

– این کتاب درباره توربین‌های بادی فراساحل، تبدیل انرژی موج، و مفهوم استفاده مشترک از باد و موج در سکوهای انرژی است.

– این کتاب پلی بین استانداردهای موجود و روش‌های تئوری میباشد. مفاهیم اولیه با ذکر مثالهای واقعی به روشنی بیان شده است. آیین نامه‌های طراحی، استانداردها و ابزارهای عددی در این کتاب مورد توجه قرار گرفته اند.

– امید است تالیف این کتاب راهنمای جامعی به علاقه‌مندان و پژوهشگران حوزه فناوری انرژی بوده، همچنین توانسته باشد درک بهتر از مسائل حوزه مفاهیم تجدیدپذیر و پلتفرم‌های دریایی داده باشد.

پاییز ۱۳۹۶
علی طبرسا

فهرست

فصل اول: معرفی ۱۳
۱-۱- پیشینه ۱۳
۱-۲- هدف ۱۶
۱-۳-۱- محدوده و حوزه ۱۶
مراجع ۱۷
فصل دوم: توربین‌های بادی ۱۹
۲-۱- مقدمه ۱۹
۲-۲- ناسل ۱۹
۲-۳- هاب یا توپی ۲۱
۲-٤- پره‌ها ۲۲
۲-۵- سیستم کنترل زاویه ۲۳
۲-٦- شفت اصلی ۲۵
۲-۷- گیربکس ۲۵
۲-۸- ژنراتور ۲٦
۲-۹- کنترل ۲۷
۲-۱۰- سنسور ۲۹
۲-۱۱- مبدل ۳۰
۲-۱۲- تبدیل کننده یا ترانسفورماتور ۳۰
۲-۱۳- سیستم انحراف ۳۰
۲-۱٤- روتور ۳۰
۲-۱۵- برج ۳۱
۲-۱٦- پارک بادی ۳۲

مراجع ۳۲
فصل سوم: توربین‌های بادی فراساحل ثابت ۳۵
۳-۱- مقدمه ۳۵
۳-۲- مزارع بادی فراساحل ۳۶
۳-۳- مورد مورد مطالعه: مزرعه بادی گریتر گابارد (Greater Gabbard) ۳۷
۳-٤- مفاهیم زیر بنایی توربین بادی فراساحل ثابت ٤٤
۳-۵- توربین بادی فراساحل ثابت با فونداسیون مونوپایل (monopile) ٤۵
۳-۵-۱- ویژگی‌ها و مشخصات مونوپایل ٤٦
۳-٦- پلت فرم ژکت درتوربین بادی ٤۹
۳-۷- توربین‌های بادی با فونداسیون تری‌پایل (Tripile) ۵۰
۳-۸- توربین بادی با فونداسیون تریپود (Tripod) ۵۲
۳-۹- توربین‌های بادی فراساحل با فونداسیون پایه گرانشی یا جاذبه (Gravity-Based) ۵٤
مراجع ۵۷
فصل چهارم: توربین‌های بادی فراساحل شناور ۵۹
٤-۱- مقدمه ۵۹
٤-۲- پروژه توربین بادی فراساحل شناور ٦۰
٤-۳- پروژه "های‌وایند" ٦۱
٤-٤- پروژه وایندفلوت (WindFloat) ٦۳
٤-۵- پروژه فوکوشیما (Fukushima) ٦٦
٤-٦- مفهوم توربین بادی شناور ٦۸
٤-۷- توربین‌های بادی فراساحل نیمه شناور ٦۹
٤-۸- توربین‌های بادی فراساحل با پلت فرم تنشن لگ (Tension-Leg) ۷۱
٤-۹- توربین بادی فراساحل اسپار (Spar) ۷۲
٤-۱۰ توربین بادی فراساحل شناور غیرمرسوم ۷٤
مراجع ۷۵
فصل پنجم: مبدل انرژی موج ۷۷
۵-۱- مقدمه ۷۷
۵-۲ منابع انرژی موج (Wave Energy Resources) ۷۹
۵-۳- مفهوم مبدل انرژی موج ۸۱
۵-٤- دستگاه‌های اورتاپینگ (Overtopping Energy Devices) ۸۲
۵-۵- ستون آب نوسان گر ۸٦
۵-٦- جذب کننده‌ی نقطه‌ای ۸۷
۵-۷- پروژه‌های مبدل انرژی موج ۸۹
۵-۷-۱- پروژه ویو استار ۸۹
۵-۷-۲- پروژه پلامیس ۹۰
۵-۷-۳- پروژه ویو دراگون ۹۲
۵-۷-٤- شناور او ای ۹۲
۵-۷-۵- پروژه اویستر ۹۳
۵-۷-٦- ویو رولر (WaveRoller) (AW Energy) ۹۳
۵-۷-۷- لایمپت ۹٤

۸-۷-۵- اوشن لینکس ۹٤
۹-۷-۵- ستو ۹۵
۱۰-۷-۵- پاور بویه (فناوری‌های نیروی اقیانوس) ۹٦
مراجع ۹۸
فصل ششم: دستگاه‌های ترکیبی نیروی موج و نیروی باد ۱۰۱
۱-٦- مقدمه ۱۰۱
۲-٦- علت ترکیب انرژی موج و باد فراساحلی ۱۰۲
۳-٦- پوزیدون: نمونه‌ای از ترکیب دستگاه‌های موج و باد ۱۰٤
٤-٦- نیروهای مشترک سازه‌های موجی و بادی مرکب ۱۰۷
۵-٦- مفهوم انرژی موج و باد مرکب ۱۱۰
٦-٦- سازه‌های انرژی بادی مرکب ثابت ۱۱۲
۷-٦- سازه‌های انرژی باد موج مرکب شناور ۱۱۵
مراجع ۱۱۹
فصل هفتم: جنبه‌های طراحی ۱۲۱
۱-۷- مقدمه ۱۲۱
۲-۷- طراحی ۱۲۱
۳-۷ مراحل عمومی طراحی ۱۲۲
٤-۷- پایایی و حالت‌های محدود ۱۲۳
۵-۷- جنبه‌های اقتصادی طراحی ۱۲٤
٦-۷- جنبه‌های محیطی طراحی ۱۲٤
۷-۷- طراحی مولفه ۱۲۵
۸-۷- اصول طراحی ۱۲۹
۹-۷- ایمنی طراحی ۱۳۰
۱۰-۷- طراحی با استفاده از روش ضریب ایمنی جزئی ۱۳۱
۱۱-۷- طراحی با استفاده از شبیه‌سازی مستقیم اثرات بار ترکیبی ۱۳۳
۱۲-۷- تایید طراحی توربین‌های بادی ۱۳٤
۱۳-۷- بارهای طراحی برای توربین‌های بادی فراساحلی (دریایی) ۱۳۷
۱٤-۷- موارد بار طراحی ۱٤۲
۱۵-۷- طراحی توربین‌های بادی شناور ۱٤۳
مراجع ۱٤۵
فصل هشتم: نظریه‌های موج و باد ۱٤۷
۱-۸- مقدمه ۱٤۷
۲-۸- نظریه موج منظم ۱٤۸
۳-۸- تئوری موج خطی اصلاح شده (مدل کششی) (Modified Linear Wave Theory) ۱۵۰
٤-۸- تئوری موج استوکس (Stokes) ۱۵۲
۵-۸- تئوری موج اسنویدل (Cnoidal) و موج انفرادی ۱۵٤
٦-۸- تئوری موج تابع جریان ۱۵٤
۷-۸- دامنه اعتبار تئوری‌های موج ۱۵۵
۸-۸- امواج فراساحلی در مقایسه با امواج نزدیک ساحل ۱۵٦
۹-۸- تئوری موج غیرمنظم ۱۵٦

۸-۱۰- تئوری باد ۱۵۹
۸-۱۱- تغییرات مکانی و زمانی باد ۱۵۹
۸-۱۲- توزیع باد (احتمال دراز مدت Weibull) ۱۶۰
۸-۱۳- نیروی برشی باد ۱۶۱
۸-۱۴- طیف باد و تلاطم ۱۶۱
۸-۱۵- شرایط مشترک موج و باد ۱۶۳
مراجع ۱۶۴
فصل نهم: بارهای آیرودینامیک و هیدرودینامیک ۱۶۷
۹-۱- مقدمه ۱۶۷
۹-۲- تئوری مولفه پره ۱۶۷
۹-۳- نیروهای آیرودینامیک توربین‌های بادی ۱۷۲
۹-۴- بارهای آیرو-سرووی توربین بادی ۱۷۴
۹-۵- بارهای موج و نیروهای هیدوردینامیک ۱۷۶
۹-۶- نیروهای موج بر سازه‌های بلند و باریک ۱۷۷
۹-۶-۱- فرمول مدوسیون برای سازه‌های ثابت ۱۷۷
۹-۶-۲- فرمول مدوسیون برای سازه‌های شناور ۱۷۸
۹-۶-۳- فرمول مدوسیون با اصلاح (MacCamy-Fuchs) ۱۷۹
۹-۶-۴- روش یکپارچگی فشار ۱۷۹
۹-۷- بارهای ناشی از شکسته شدن موج ۱۷۹
۹-۸- سازه‌های بزرگ ۱۸۱
۹-۸-۱- ملاحظات هیدرواستاتیک ۱۸۱
۹-۸-۲- جرم بارهای اینرسی ۱۸۴
۹-۸-۳- ملاحظات هیدرودینامیک ۱۸۴
۹-۸-۴- روش‌های تجزیه و تحلیل هیدرودینامیک ۱۸۵
۹-۸-۵- بارهای موج درجه اول ۱۸۶
۹-۸-۶- بارهای موج درجه دوم ۱۸۸
۹-۸-۷- بارهای موج مرتبه بالا ۱۹۳
مراجع ۱۹۳
فصل دهم: تجزیه و تحلیل‌های واکنش دینامیکی ۱۹۵
۱۰-۱- مقدمه ۱۹۵
۱۰-۲- نیروهای دینامیک سیستم‌های یک درجه آزادی ۱۹۵
۱۰-۲-۱- لرزش آزاد سیستم‌های یک درجه آزادی ۱۹۶
۱۰-۲-۲- لرزش اجباری سیستم‌های یک درجه آزادی ۱۹۹
۱۰-۳- مدت‌های طبیعی سازه‌های شناور ۲۰۱
۱۰-۴- نیروهای دینامیک سیستم دو درجه آزادی ۲۰۳
۱۰-۵- تجزیه و تحلیل مقدار مشخصه سیستم‌های چند درجه آزادی: ۲۰۵
۱۰-۶- حالت‌های جسم صلب ۲۰۷
۱۰-۷- تحلیل دینامیکی مودال برای سیستم چند درجه آزادی ۲۰۸
۱۰-۸- واکنش‌های ناشی از موج، با استفاده تحلیل دامنه فرکانس ۲۰۹
۱۰-۹- معادلات واکنش برای سازه‌های انرژی فراساحلی ۲۱۲

۱-۹-۱۰- لاحظات بارهای آیرو در توربین‌های بادی شناور ۲۱۳
۲-۹-۱۰- مدل‌سازی آیرو بارهای ساده و کامل ۲۱٤
۳-۹-۱۰- ملاحظات مبدل‌های انرژی موج ۲۱٤
٤-۹-۱۰- روش‌های حل معادلات واکنش جسم صلب ۲۱۵
۱۰-۱۰- تجزیه و تحلیل جامع سازه‌های انرژی فراساحلی ۲۱٦
۱-۱۰-۱۰- معادلات واکنش بدنه الاستیک ۲۱۷
۲-۱۰-۱۰- تحلیل اجزاء محدود استاتیک ۲۱۸
۳-۱۰-۱۰- تحلیل اجزاء محدود دینامیک ۲۱۸
۱۱-۱۰- نیروهای دینامیک چند بدنه با توجه به واکنش‌های هیدرودینامیک ۲۱۹
۱۲-۱۰- برخی جنبه‌های واکنش دینامیک ۲۲۰
۱۳-۱۰- الاتسیته آیروهیدوری به کار رفته در پلتفرم‌های انرژی ۲۲۲
۱٤-۱۰- لرزش (Flutter): یک رفتار دینامیکی آیروالاستیکی ۲۲۵
۱۵-۱۰- مطالعه موردی: تجزیه و تحلیل یک توربین بادی فراساحلی ژکت ۲۲۷
مراجع ۲۳۰
فصل یازدهم: تجزیه و تحلیل تصادفی ۲۳۳
۱-۱۱- مقدمه ۲۳۳
۲-۱۱- تئوری‌های احتمالی و تصادفی ۲۳۳
۳-۱۱- طیف و تجزیه طیفی ۲۳۷
٤-۱۱- توزیع نقاط اوج برای فرآیند تصادفی کلی ۲٤۰
۵-۱۱- بزرگترین نقطه حداکثری N/۱ ۲٤۱
٦-۱۱- بزرگترین مقدار حداکثر در بین N مقدار حداکثر ۲٤۲
۷-۱۱- تحلیل مقدار بی‌نهایت و حداکثری ۲٤٤
۸-۱۱- جنبه‌های تحلیلی محدوده زمانی تصادفی ۲٤۵
۹-۱۱- ارزیابی آسیب خستگی: تجزیه و تحلیل تصادفی ۲٤۷
مراجع ۲٤۸
فصل دوازدهم: امکان‌سنجی اجراء پروژه فراساحل در دریای خزر ۲٤۹
۱-۱۲- مقدمه ۲٤۹
۲-۱۲- موقعیت مکانی دریای خزر ۲٤۹
۱-۲-۱۲- ویژگی آب و هوایی دریای خزر ۲۵۰
۲-۲-۱۲- رژیم باد ۲۵۱
۳-۲-۱۲- موج ۲۵۳
٤-۲-۱۲- جریان ۲۵٤
۵-۲-۱۲- مورد مورد مطالعه: مزرعه بادی گریتر گابارد ۲۵۵
۳-۱۲- مقایسه و نتیجه گیری ۲۵٦
مراجع ۲۵٦

فصل اول
معرفی

۱-۱- پیشینه

همانطور که می‌دانیم انرژی‌های سازه‌های بادی فراساحل، موج، جزر و مد، گرادیان حرارتی چند نوع از منابع انرژی اصلی تجدیدپذیر دریایی و فراساحل می‌باشد. انرژی تجدیدپذیر، برای غلبه بر چالش‌های سال‌های اخیر، از قبیل آلودگی زیست محیطی، تغییرات آب و هوا، گرم شدن کره زمین، گازهای گلخانه‌ای، و نیز کمبود منابع انرژی هیدروکربن (به عنوان مثال نفت و محدودیت منابع گاز) استفاده شده است.

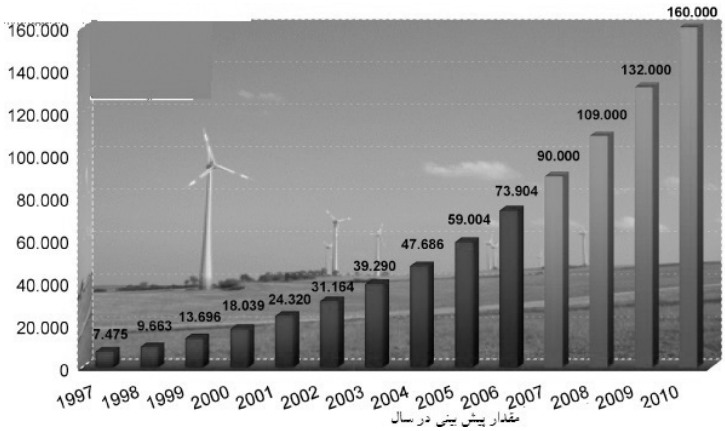
استفاده از انرژی موج و باد مختص به زمان حال نیست، بلکه انسان‌ها نخستین بار از این منابع در حدود ۱۰۰۰ سال پیش به عنوان یک منبع انرژی بهره می‌بردند (برای نمونه آسیاب‌های بادی و بادبان قایق ها). اولین توربین‌هایی که شبیه به توربین‌های امروزی (WTs) بود، انواع آسیاب‌های بادی بودند که برای اسیاب کردن، خورد کردن و همچنین انتقال آب‌های زیرزمینی از آنها استفاده می‌شد که نمونه‌های اولیه آن ۱۰۰۰ سال پیش در ایران بوجود آمد (Spera 1998). در اصل، توربین بادی یک دستگاه الکتریکی-مکانیکی است که در آن انرژی جنبشی هوا به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود.

در سال‌های اخیر با افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی از قبیل نفت و گاز همچنین افزایش نگرانی‌ها از آلودگی زیست محیطی (هوا،آب،خاک) کمیته‌ای بین المللی شامل سیاستمداران، برنامه‌ریزان جهانی و همچنین سازمان بهداشت جهانی با هدف استفاده بیشتر از انرژی‌های تجدیدپذیر، تشکیل شده است. در همین راستا، سازه‌های انرژی تجدیدپذیر فراساحل از قبیل توربین بادی اقیانوسی (OCTs)، مبدل انرژی امواج (WECs) و توربین‌های بادی‌ها (ثابت و شناور) در حال پیشرفت و توسعه اند، که در این میان در طول چند دهه گذشته، هر دو جوامع علمی و صنعتی علاقه زیادی به انرژی امواج نشان داده و بیش از پیش در حال پیشرفت می‌باشد (Multon 2012).

در نتیجه، بسیاری از دستگاه‌های تبدیل انرژی موج، توسعه و به استخراج انرژی آبی-جنبشی و پتانسیل آبی از حرکت امواج پرداختند (Kallesøe 2011). تخمین زده می‌شود که منابع بالقوه نیروی امواج برای تبدیل آن به انرژی الکتریسیته در سراسر جهان حدود ۲ تراوات می‌باشد (Drew et al. 2009). درسال‌های آینده مفاهیم جدیدی از سازه‌های انرژی فراساحل و فراساحل از قبیل توربین بادی اقیانوسی (OCTs)، مبدل انرژی امواج، و توربین‌های بادی (ثابت و شناور) بوجود آمده و ظاهر خواهد شد.

در حال حاضر از نظر اقتصادی، قیمت تمام شـده برای انرژی تولید شـده از توربین‌های بادی فراسـاحل و دریایی بالاتر از توربین‌های مستقر در خشکی و زمین می‌باشد و قیمت انرژی تولیدی از توربین های‌ها مستقر در خشکی،کمی بالاتـر از قیمـت تمـام شـده برای تولید انـرژی از نفت وگاز. با این حـال، با در نظر گرفتن عوارض جانبی اسـتفاده از سـوخت‌های فسـیلی که منجر به آلودگی محیط زیسـت همچنین پدیده افزایش گرم شـدن زمین می‌شود، این شکاف و اختلاف بوجود آمده قابل اغماض و گذشـت می‌شـود. در آینده، با اسـتفاده از توربین‌های بادی فراسـاحل بزرگتر، همچنین مجموعه‌ای متشـکل از مبدل انرژی امواج و توربین بادی اقیانوسـی و مفاهیم ترکیبی بر اسـاس موج، جریان اقیانوس و انرژی باد، رویکردهای جدیدی برای طراحی مقرون به صرفه کردن انرژی‌های تجدیدپذیر شـکل می‌گیرد که این موضوع نیاز به پایین آوردن هزینه ها، از جمله هزینه ساخت، اپراتور و هزینه‌های نگهداری و... برای این منظور داشتن یه طراحی بهینه سازی شده جهت داشتن بالاترین بازدهی با کم ترین هزینه از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. این مهم نیاز به تحقیق بیشتر همچنین آموزش و تعلیم مهندسان در زمینه شناخت سازه‌های انرژی فراساحل، قوانین و دستورالعمل‌های طراحی سازه‌های دریایی و فراساحل همچنین آشنایی و شناخت قوانین و استانداردهای مربوطه را دارد.

از سال ۲۰۰۸ میلادی استفاده از انرژی نیروی باد گسترش یافته، در حال حاضر ۲,۵ درصد از تقاضا برای برق جهانی توسـط انرژی باد تامین می‌شـود که این میزان برای کشـور دانمارک ۳۰ درصد، پرتغال ۲۰ و اسپانیا ۳۰ در صد می‌باشد همچنین میزان تولید انرژی برق برای کشورهای چین ۷۵ GW، ایالات متحده آمریکا ۶۰ GW و آلمان ۳۱ GW می‌باشد.



شکل ۱-۱- نمودار میزان استفاده از برق حاصل از توربین بادی در سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۰

در ایران با توجه به وجود مناطق بادخیز طراحی و ساخت آسیابهای بادی از ۲۰۰ سال پیش از میلاد مسیح رایج بوده و هم اکنون نیز بستر مناسبی جهت گسترش و بهره‌برداری از توربین‌های بادی فراهم می‌باشد. مطالعات و محاسبات انجام شـده در زمینه تخمین پتانسـیل انرژی باد در ایران نشـان داده‌اند که تنها در ۲۶ منطقه از کشـور (شـامل بیش از ۴۵ سایت مناسب) میزان ظرفیت اسمی سایت‌ها، با در نظر گرفتن یک راندمان کلی ۳۳٪، در حدود ۶،۵۰۰ مگاوات می‌باشد. و این در شرایطی است که ظرفیت اسمی کل نیروگاه‌های برق کشور در حال حاضر حدود ۷۴،۰۰۰ مگاوات می‌باشـد(تا سـال ۱۳۹۴). در سـال ۲۰۰۴ میلادی تنها ۲۵ مگاوات از ۳۳،۰۰۰ مگاوات برق تولید شـده در ایران با استفاده از انرژی بادی تولید شده بود. در سال ۲۰۰۶ میلادی سهم برق تولید شده در ایران با استفاده از انرژی بادی ۴۵ مگاوات بود (رتبه سی ام در دنیا) که به نسبت سال ۲۰۰۵ رشد چهل درصدی را نشان می‌داد. در سال ۲۰۰۸ میلادی نیروگاه بادی منجیل (در اسـتان گیلان) و بینالود (در اسـتان خراسـان رضوی)، ظرفیت ۸۲ مگاوات برق را داشـته‌اند. ظرفیت برق بادی در ایران در سال ۲۰۰۹ میلادی ۱۳۰ مگاوات ساعت بوده‌است.

حمایت و پشتیبانی سیاست در ایجاد انگیزه در توسعه و رشد روزافزون استفاده از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر، از جمله انرژی باد، نقش بسزایی داشته است. طی ۵ سال اخیر پیشرفت‌های خوبی در زمینه استفاده بهینه از سایت‌های کم باد و همچنین کاهش هزینه‌ها از جمله کاهش هزینه نگهداری و اپراتوری، به عمل آمده است، برای مثال در ایالات متحده آمریکا هزینه تولید انرزی از باد در خشکی به ازای هر ساعت بین ٦٠ تا ١٢٠ مگاوات می‌باشد. این در جایی است که دارای منابع بادی قوی و شرایط اقتصادی مناسبی دارا می‌باشد اما بسیاری از کشورها نیاز به حمایت‌های جهانی برای پیشبرد برنامه‌های راه اندازی و تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر دارا هستند.

شکل ۲-۱- توربین‌های بادی مستقر در منجیل

در ایران مبالغ زیادی را در زمینه تولید از منابع تجدیدپذیر از جمله نیروی باد، سرمایه‌گذاری شده است. میزان یارانه‌های تخصیصی در بخش برق فسیلی حدود ۷،۳ میلیارد یورو است، که مانعی جدی بر سر راه توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر به شمار می‌رود. علی‌رغم وجود یارانه‌ها، میزان ظرفیت نصب شده برق بادی تا اوایل سال ۱۳۸۷ بالغ بر ۱۲۸ مگاوات می‌باشد، که تولید ۳۰۷ گیگاوات ساعت برق را طی دوره ۱۳۷۳–۸٤ را به همراه داشته است. این میزان برق تولیدی، سبب صرفه جویی ٤٢٥ هزار بشکه معادل نفت در بخش نیروگاهی ایران شده و در جای خود موجب کاهش یک میلیون تن انواع آلاینده‌های زیست محیطی در فاصله ۱۳۷۳–۱۳۸٤ شده است. با استفاده از اطلاعات ماهیانه باد در استان‌های کشور و با بهره‌گیری ازمعادله چگالی وایبول، پتانسیل قابل استفاده باد در استان‌ها محاسبه شده و در نهایت کل پتانسیل برق بادی به میزان ۳،٦ گیگاوات تخمین زده شده است. البته محاسبات دیگر تا حد ٦ گیگاوات ظرفیت را برآورد کرده‌اند. بر اساس سیاست‌های فعلی انرژی کشور، ارزش خالص و نرخ بازده داخلی پروژه‌های باد در سه استان گیلان، سیستان و بلوچستان و خراسان جنوبی محاسبه شده، که تایید کننده این واقعیت است که پروژه‌های برق بادی در این سه استان از نظر اقتصادی مقرون به صرفه هستند. نتایج نشان می‌دهد که با حذف یارانه‌های انرژی پتانسیل فسیلی به همراه یک روش بازار محور می‌توان ظرفیت انرژی بادی را به ۳،٦ تا ٦ گیگاوات افزایش داد. این ظرفیت نصب شده می‌تواند سبب صرفه‌جویی حدود ٤٧ تا ٨٤ میلیون بشکه معادل نفت ۱۲۷۰۰۰ تا ۲۳۰۰۰۰ بشکه در روز در بخش نیروگاهی ایران شود.

در زمینه هزینه تولید برق از فناوری انرژی بادی فراساحلی، بعد از یک افزایش ده ساله، این روند در حال کاهش می‌باشد. با این وجود هنوز از لحاظ هزینه بالاتر از انرژی‌های بادی مستقر در خشکی است (IEA 2013).

انرژی بادی مستقر در خشکی به عنوان یک نوع از انرژی تجدیدپذیر کامل و قابل اعتماد شناخته شده،که توانسته نیازها و خواسته‌های جهانی انرژی را تامین کند. با مرور گذشته و بررسی موانع و مشکلات توربین‌های بادی مستقر در خشکی به این نتیجه می‌رسیم که، بزرگترین و بیشترین موانع جهت توسعه و استفاده بیشتر ازین انرژی، تولید آلودگی‌های

صوتی و تاثیرات بصری بوده است، تولید نیرو از انرژی فراساحل می‌تواند قسمتی از این موانع و مشکلات را حل کند (EWEA 2009).

طی دو دهه گذشته اولین توربین بادی فراساحل در اروپا نصب و راه اندازی شده، و بسیاری از پروژه‌ها در مقیاس بزرگ در حال ساخت و تکمیل می‌باشد. برای مثال، چند توربین بادی شناور فراساحل (FOWT) به عنوان یک پروژه آزمایشی و تحقیقی در کشورهای نروژ و پرتغال نصب شده است که البته چند پرسش فنی در زمینه بهینه سازی شناور و همچنین سیستم انتقال نیرو بوجوود می‌آید که نیاز است در پروژه‌های بزرگ آینده حل شود.

در هنگام تولید نیرو از توربین‌های فراساحل با دو چالش و مشکل عمده مواجه هستیم:

۱. چالش فنی و مهندسی
۲. فرهنگ پذیرش اجتماعی

عوامل غلبه بر چالش‌های فنی شـامل آزمون، تجزیه و تحلیل، بهینه سـازی، صرفه جویی در هزینه، استانداردسازی، صنعتی کردن سـاخت می‌باشـد. در همین حال، همکاری با صنعت شـیلات، ایمنی ناوبری دریایی و مسـائل زیستی بر پذیرش اجتماعی محیطی این موضوع تاثیر بسزایی دارد.

بـا توجـه بـه هدف گذاری اتحادیه اروپا در زمینه انرژی‌های تجدید پذیر تا سـال ۲۰۲۰ و سیاسـت‌های بین المللی، همچنین در دراز مدت به دلیل برخورداری از پتانسیل بسیار بالا، سازه‌های انرژی فراساحل به یک حوزه مهم از علم و تکنولوژی در آینده نزدیک تبدیل شده، که اهداف بین المللی و اروپایی برای توسعه و تولید نیرو از انرژی بادی فراساحل و انرژی اقیانوسی (موج و جزر مد) در جدول(۱-۱) آمده است:

جدول ۱-۱- هدف گذاری تولید انرژی بادی فراساحل و انرژی اقیانوس تا سال ۲۰۵۰

انرژی بادی فراساحلی	مقدار مورد انتظار در اروپا	۳۵۰ GW
	مقدار مورد انتظار جهانی	۱۱۵۰ GW
انرژی اقیانوس (به عنوان مثال موج و انرژی جزر و مدی)	مقدار مورد انتظار در اروپا	۱۸۸ GW
	مقدار مورد انتظار جهانی	۷۴۸ GW

در ایران در راستای افزایش سهم انرژی‌های تجدید پذیر، سهم ۱۰ درصدی ظرفیت تولید برق کشور در سند چشم انداز ۲۰ ساله (۱۳۸٤-۱٤۰٤) به انرژی‌های جدید اختصاص یافته است. به منظور افزایش سهم منابع انرژی‌های نو در عرصه انرژی الکتریکی کشور و کاهش مصرف منابع گاز طبیعی و منابع نفتی در تولید برق، وزارت نیرو و دولت موظف است نسبت به برنامه ریزی برای ارتقا مستمر سهم منابع انرژی‌های نو در عرضه انرژی الکتریکی به نحوی اقدام نماید که در یک افق ۱۰ ساله حداقل ۱۰ درصد انرژی الکتریکی تولیدی کشور از این منابع تامین شود.

۲-۱- هدف

همانطور که در بخش قبلی مشخص شد، در سال‌های آینده برنامه‌های کاربردی انرژی‌های تجدیدپذیر نیاز به توسعه و پیشرفت بیشتری می‌باشد. این موضوع نیازمند مهندسین و متخصصانی است که در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیرفراساحل فارغ التحصیل شده باشند. هدف این کتاب پاسخ به همین نیاز هاست. این کتاب زمینه‌های مورد نیاز تئوری برای طراحی یک سازه انرژی فراساحل را مورد بررسی قرار داده و نیز تلاش می‌کند درک صحیح و ساده فیزیکی را به خواننده انتقال دهد. همچنین نویسنده تلاش کرده، نکات و مفاهیم اصلی که برای یک طراحی بهینه لازم است، با زبانی ساده و دور از معادلات پیچیده ریاضی، طرح و بررسی کند. این کتاب برای ارائه، انتقال و پوشش نکات و مفاهیم مورد نیاز برای طراحی سازه انرژی فراساحل تالیف شده و تلاش بر آن شده تا با زبانی ساده به تشریح مسائل مزبوط بپردازد.

۳-۱-۱- محدوده و حوزه

ابتدا مقدمه‌ای از توربین‌های بادی بیان و سپس در فصل ۵ به مبحث مبدل انرژی امواج خواهیم پرداخت. همچنین در فصل ٦ به نمونه‌هایی از مفاهیم و موضوعات ترکیب دوگانه نیروها و نیز ترکیب واحدهای انرژی متشکل از موج و باد بحث می‌کنیم. در فصل فصل ۷ به جنبه‌ها و ابعاد طراحی، و فصل ۸ که شامل نظریه‌ها و مفاهیم انرژی باد و موج است. در فصل۹ به بارگذاری، در فصل ۱۰ به تجزیه و تحلیل دینامکی، در نهایت، فصل ۱۱ اطلاعات مورد نیاز برای تجزیه و تحلیل استوکستیک و تاریخچه زمانی اولیه فراهم می‌کند.

مراجع

Airoldi, D., Serri, L., & Stella, G. (2012). Offshore renewable resources in the mediterranean area: The results of the ORECCA project. European Seminar OWEMES 2012. Rome: OWEMES.

Drew, B., Plummer, A. R., & Sahinkaya, M. N. (2009). A review of wave energy converter technology. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A. Journal of Power and Energy, 223, 887–902.

EWEA. (2009). Pure power-wind energy targets for 2020 and 2030. Bruxelles, Belgium: EWEA.

IEA. (2013). Technology roadmap. France: International Energy Agency.

Jeffrey, H., & Sedgwick, J. (2011). ORECCA European offshore renewable energy roadmap. http://www.orecca.eu. (ORECCA coordinated action project). Accessed Aug 2014.

Kallesøe, B. S. (2011). Aero-hydro-elastic simulation platform for wave energy systems and floating wind turbines. Denmark: DTU, Risø-R-1767(EN).

Multon, B. (2012). Marine renewable energy handbook. London: Wiley.

Spera, D. A. (1998). Wind turbine technology fundamental concepts of wind turbine. New York: ASME.

فصل دوم
توربین‌های بادی

۲-۱- مقدمه

همانطور که می‌دانیم، توربین‌های بادی با تحت کنترل درآوردن و جهت‌دار کردن باد، اقدام به تولید نیرو می‌کنند. می‌توان اینگونه بیان کرد که، کار یک توربین بادی برعکس کار پنکه و فن‌های رایج است. توربین‌های بادی، انرژی جنبشی باد را به توان مکانیکی تبدیل می‌نمایند و این توان مکانیکی از طریق شفت به ژنراتور انتقال پیدا کرده و در نهایت انرژی الکتریکی تولید می‌شود. توربین‌های بادی بر اساس یک اصل ساده کار می‌کنند. انرژی باد دو یا سه پره‌ای را که بدور روتور توربین بادی قرار گرفته‌اند را بچرخش درمی‌آورد. روتور به یک شفت مرکزی متصل می‌باشد که با چرخش آن، ژنراتور نیز به چرخش درآمده و الکتریسیته تولید می‌شود. طرح شماتیک از یک توربین بادی مستقر زمین در شکل (۲-۱) نشان داده شده.

بر اساس نظریه رانکین–فرود[1]، قدرت (P) تولید شده توسط یک توربین بادی را می‌توان از طریق فرمول زیر بدست آورد:

$$P = \frac{1}{2}\rho_{air} C_p A_S V_{Rel}^3 \qquad ۲-۱$$

که در آن :

ρ_{air} چگالی هوا، C_p ضریب قدرت

A_S مساحت فضای گردشی از روتور توربین بادی

V_{Rel} سرعت نسبی باد

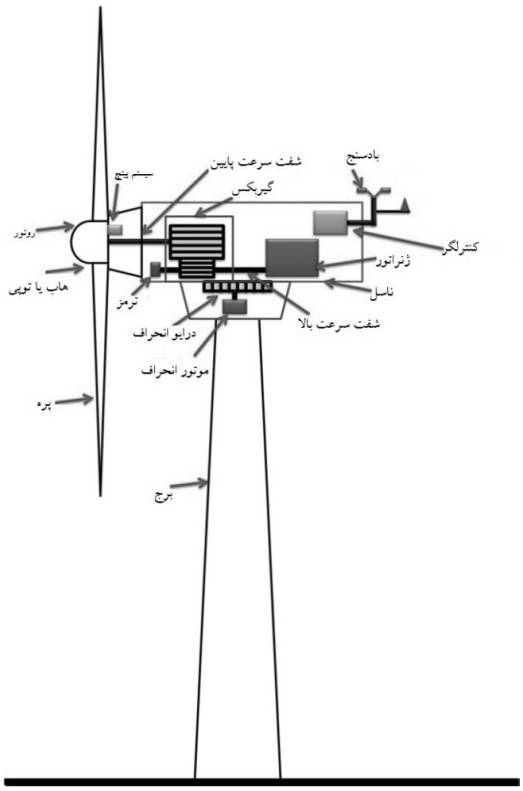
رابطه (۱,۲) نشان می‌دهدکه، بین سرعت نسبی باد و قدرت، رابطه مستقیمی وجود دارد. برای مثال با افزایش ۱۰ درصدی سرعت نسبی باد، قدرت و نیرو ۳۳ درصد افزایش می‌یابد.

۲-۲- ناسل[2]

ناسل یک محفظه ساده و یا مخزن ساده می‌باشد که در بالای برج قرار دارد (در شکل ۲-۲ مشاهده می‌کنید). ناسل به روتور

1- Rankine–Froude
2- Nacelle

متصل شده، که از قطعات مختلفی از جمله ژنراتور و پیشرانه(درایو) پیشتیبانی و محافظت می‌کند. در ناسل، انرژی باد گرفته شده توسط روتور به برق تبدیل می‌شود. برای توربین‌های مگاواتی با حجم بالا، ناسل بزرگتر و مستحکم تر استفاده می‌شود، به طوری که بعضی از انواع آنها، دارای محل فرود هلی‌کوپتر می‌باشند. از آنجا که تبدیل انرژی جنبشی باد به انرژی الکتریکی، در روتور ناسل صورت می‌گیرد، از این رو مونتاژ این قسمت از توربین بادی یکی از مهمترین موضوعات می‌باشد.



شکل ۱-۲- اجزاء توربین بادی

شکل ۲-۲- ناسل یک توربین بادی