الجمهورية العربية السورية
جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم هندسة الطاقة الكهربائية
ماجستير الطاقات المتجددة

توليد الطاقة الكهربائية باستخدام طاقة الأمواج وإمكانية التطبيق في سورية

Electric Power Generation using Wave Energy and the ability of the application in Syria

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في هندسة الطاقات المتجددة

إعداد

المهندس أحمد خميس جربوع

المشرف العلمي

الأستاذ الدكتور المهندس نديم مخوّل

المشرف المشارك

الأستاذ الدكتور المهندس سميح الجابي

دمشق ٢٠١٢

الاهداء:

أهدي عملي هذا:

إلى سيدي محمد رسول الله صلى الله عليه وسلم معلم البشرية والرحمة المهداة للعالمين.

إلى الشعب الفلسطيني المناضل وبلدي فلسطين.

إلى شعب سورية الحبيب وبلدي سورية الذي احتضنني خلال دراستي.

إلى والدي العزيز خميس جربوع صاحب المبادئ والمثل العليا والذي رباني على حب العلم والعمل.

إلى والدتي الحبيبة فاطمة فاخوري صاحبة القلب الكبير والتي كانت الحضن الدافيء لي.

إلى أخواني سمير ومحمد وأزواجهن ربا وسماح.

إلى أخواتي سامرة وإيمان وريم وأزواجهم عبد ومحمد ومهند.

إلى مشرفي العلمي د.نديم مخّول والمشرف المشارك د.سميح الجابي الذين ساعداني في عملي هذا.

إلى دكاترة ومهندسي جامعة دمشق والجامعة العربية الدولية الخاصة وكل من ساعدني في انجاز العمل.

إلى الأهل والأصدقاء جميعاً.

الفهرس

العنوان	رقم الصفحة
الاهداء	١
الفهرس	٢
قائمة الأشكال	٧
قائمة الجداول	١١
قائمة المصطلحات والرموز	١٢
ملخص	١٤
مقدمة	١٥
الغاية من البحث	١٦
الفصل الأول: فيزيائية الأمواج	١٧
١-١- مقدمة	١٧
١-٢- النظرية الخطية للأمواج	١٨
١-٣- علاقة التبدد	١٨
١-٤- تعاريف أساسية في نظرية الأمواج	١٩
١-٤-١- سرعة الطور	١٩
١-٤-٢- سرعة المجموعة	١٩
١-٤-٣- ارتفاع الموجة الفعّال	١٩
١-٥- علاقة الأمواج بالرياح	٢٠
١-٦- التنبؤ بالأمواج وقياسها	٢١
١-٦-١- طوافات القياس	٢٢
١-٦-١-١- كيفية قياس ارتفاع الأمواج باستخدام طوافات القياس	٢٢
١-٦-١-٢- كيفية تحديد اتجاه الأمواج باستخدام طوافات القياس	٢٣

١-٦-١-٣- أجزاء الطوافة ٢٣
١-٦-٢- رادارات الأقمار الصناعية ٢٧
١-٧- التأثيرات التي تحدث للأمواج في البحار ٢٧
١-٧-١- الانعكاس ٢٧
١-٧-٢- تكسُّر الموجة عند الشاطئ ٢٨
١-٧-٣- الانعراج ٣٠
١-٧-٤- الانكسار ٣٠
الفصل الثاني: طاقة الأمواج ٣١
٢-١- كيفية حسابها والمعاملات الداخلة في حسابها ٣١
٢-٢- توزع طاقة الأمواج في المسطحات المائية في الكرة الأرضية ٣١
٢-٣- بعض التقديرات المناخية العامة لطاقة الأمواج في بحار ومحيطات العالم ٣٣
الفصل الثالث: تحويل طاقة الأمواج إلى طاقة كهربائية ٣٨
٣-١- ميزات تحويل طاقة الأمواج لطاقة كهربائية ٣٨
٣-٢- مساوئ تحويل طاقة الأمواج لطاقة كهربائية ٣٩
٣-٣- اختيار مبدلة طاقة الأمواج والتحديات التي تواجه المصمم ٣٩
٣-٤- تصنيف مبدلات طاقة الأمواج ٤٠
٣-٤-١- التصنيف حسب مكان التركيب ٤٠
٣-٤-١-١- التجهيزات الساحلية ٤٠
٣-٤-١-٢- التجهيزات القريبة من الساحل ٤٠
٣-٤-١-٣- التجهيزات البعيدة عن الساحل ٤٠
٣-٤-٢- تصنيف مبدلات طاقة الأمواج حسب التقنية المعتمدة في تصنيعها ٤٠
٣-٤-٢-١- العمود المائي المهتز ٤٠
٣-٤-٢-٢- المخمدات النقطية ٤٤
٣-٤-٢-٣- التجهيزات التموّرية ٤٨

٣-٤-٢-٤- التجهيزات المخمّدة(الموهنة) ٤٩
٣-٤-٢-٥- التجهيزات المفيضة ٥٣
الفصل الرابع: تجارب دول العالم في مجال طاقة الأمواج ٥٨
٤-١- مقدمة ٥٨
٤-٢- الاتحاد الأوروبي ٥٨
٤-٣- دور الوكالة الدولية للطاقة ٥٩
٤-٤- استراليا ٥٩
٤-٥- كندا ٥٩
٤-٦- الصين ٦٠
٤-٧- الدانمارك ٦٠
٤-٨- فرنسا ٦٣
٤-٩- ألمانيا ٦٤
٤-١٠- الهند ٦٤
٤-١١- ايرلندا ٦٤
٤-١٢- اليابان ٦٥
٤-١٣- النرويج ٦٥
٤-١٤- المملكة المتحدة ٦٦
٤-١٥- الولايات المتحدة الأمريكية ٦٦
الفصل الخامس: مجموعة دراسات مرجعية لتطبيقات طاقة الأمواج في البحار المغلقة ٦٧
٥-١- محطات توليد الطاقة الكهربائية من طاقة الأمواج في البحر الأسود على السواحل الرومانية والامكانيات المتاحة ٦٧
٥-١-١- الملخص من هذه الدراسة ٦٧
٥-١-٢- الدراسة ٦٧
٥-١-٣- الاستنتاج والفوائد من هذه الدراسة ٧٠
٥-٢- دراسة نظام توليد طاقة كهربائية من طاقة الأمواج ٧٠

٥-٢-١- ملخص هذه الدراسة ٧٠
٥-٢-٢- الدراسة ٧١
٥-٢-٣- الاستنتاج والفوائد من هذه الدراسة ٧٤
٥-٣- تصميم ومحاكاة مولد خطي ذي مغناطيس دائم باستطاعة ٢٥٠ كيلوواط لاستخدامه في توليد الطاقة الكهربائية في بحر قزوين ٧٤
٥-٣-١- الملخص من هذه الدراسة ٧٤
٥-٣-٢- الدراسة ٧٤
٥-٣-٣- الفوائد من هذه الدراسة ٧٥
٥-٤- مصادر طاقة الأمواج في المناطق البحرية المغلقة: دراسة حالة في بحر البلطيق ٧٧
٥-٤-١- ملخص الدراسة ٧٧
٥-٤-٢- الدراسة ٧٧
٥-٤-٣- الفائدة من هذه الدراسة ٧٩
الفصل السادس: دراسة حالة:البحر الأبيض المتوسط-الساحل السوري ٨٠
٦-١- بيانات الأمواج في البحر الأبيض المتوسط ٨٠
٦-٢- اختيار مبدل طاقة الأمواج الأنسب حسب البيانات الموجودة ١٠٢
٦-٢-١- أفعى البحر ١٠٢
٦-٢-٢- العمود المائي المهتز ١٠٢
٦-٢-٣- المولدات الخطية ١٠٢
الفصل السابع: نمذجة ومحاكاة المولد الخطي باستخدام برنامج الماتلاب 102
٧-١- المولدات الخطية 102
٧-١-١- بنية المولدات الخطية وطرق تركيبها في البحر ١٠٣
٧-١-٢- مفاهيم أساسية في المولدات الخطية ١٠٦
٧-١-٣- نظرية المولد الأساسية ١٠٨
٧-١-٤- أشكال وأنواع الآلات الخطية ١١١

٧-١-٥- اختيار مواصفات المولد ١١٤
٧-١-٦- تأثير شكل الطوافة على عمل النظام المستخدم ١١٥
٧-٢- النموذج الرياضي للمولد الخطي ١١٧
٧-٣- محاكاة المولد الخطي. ١١٧
٧-٤- تأثير تغيير مكثفات التنعيم على توترات الخرج. ١٢٢
الفصل الثامن: الاستنتاجات والتوصيات ١٢٤
المراجع ١٢٥

قائمة الأشكال

اسم الشكل ورقمه	الصفحة
الشكل(١-١) حركة جزيئات الماء الناتج عن الرياح	١٧
الشكل (١-٢) بارامترات الموجة الأساسية الممثلة بشكل جيبي	١٨
الشكل (١-٣) المياه العميقة والمياه السطحية	٢٠
الشكل (١-٤) تغير شكل الموجة مع زيادة سرعة الرياح	٢١
الشكل (١-٥) الطوافة WaveScan وهي مركبة في مياه المحيط	٢٢
الشكل (١-٦) أجزاء الطوافة TRXIAS	٢٤
الشكل (١-٧) معايرة رادار قمر صناعي	٢٧
الشكل(١-٨) انعكاس موجة البحر وتأثيراته	٢٨
الشكل (١-٩) تغير اتجاه الموجة عند انعكاسها	٢٨
الشكل (١-١٠) التكسُّر الانزلاقي	٢٩
الشكل (١-١١) التكسُّر الانغطاسي	٢٩
الشكل(١-١٢) التكسُّر التموُّري	٢٩
الشكل (١-١٣) انعراج موجة البحر وتأثيرات ذلك على بارامترات الموجة	٣٠
الشكل (١-١٤) انكسار موجة البحر وتأثيرها على بارامترات الموجة	٣٠
الشكل(٢-١) توزع استطاعة الأمواج في بحار ومحيطات العالم مقدرةً بالكيلوات على المتر من طول مقدمة الموجة	٣٢
الشكل(٢-٢) توزع استطاعة الأمواج في بحر الشمال وجزء من المتوسط.	٣٢
الشكل(٢-٣) مستويات طاقة الأمواج الوسطية في شهر كانون الثاني في كل مناطق العالم مقدرةً بالكيلوات للمتر من عرض مقدمة الموجة	٣٤
الشكل(٢-٤) مستويات طاقة الأمواج الوسطية في شهر تموز في كل مناطق العالم مقدرةً بالكيلوات للمتر من عرض مقدمة الموجة.	٣٥
الشكل(٢-٥) مستويات طاقة الأمواج الوسطية السنوية في كل مناطق العالم مقدرةً بالكيلوات للمتر من عرض مقدمة الموجة.	٣٦
الشكل(٢-٦) مستويات طاقة الأمواج الوسطية السنوية في المياه الأوروبية مقدرةً بالكيلووات للمتر من عرض مقدمة الموجة.	٣٧
الشكل(٣-١) مكونات العمود المائي المهتز	٤١
الشكل(٣-٢) اتجاه حركة شفرات عنفة ويل المستخدمة في العمود المائي المهتز	٤١
الشكل (٣-٣) مشروع MK3	٤٢

الشكل (٣-٤) مشروع MK1 من شركة Oceanlinx ٤٣
الشكل(٣-٥) برنامج Prowave الخاص بحساب استطاعة خرج الOWC ٤٣
الشكل(٣-٦) LIMPET OWC by Wavegen ٤٤
الشكل (٣-٧) صور لمشروع PB40 المركب في أميركا ٤٥
الشكل(٣-٨) صورة لمشروع الطوافة المركب في سانتونا في اسبانيا ٤٦
الشكل(٣-٩) صورة لمشروع تقنيات طاقة المحيط المركب في اسكتلندا ٤٦
الشكل(٣-١٠) رسم توضيحي لتقنية ال CETO. ٤٧
الشكل (٣-١١) المولد الخطي المربوط بقاع البحر ٤٨
الشكل (٣-١٢) قلاب أويستر مركب في البحر. ٤٩
الشكل (٣-١٣) بكرة الأمواج. ٤٩
الشكل (٣-١٤) بيلاميس مركبة في المحيط ٥٠
الشكل (٣-١٥) مشروع EON من شركةPelamis wave power ٥٠
الشكل (٣-١٦) موقع مشروع Farr Point Wave Farm ٥١
الشكل (٣-١٧) رسم توضيحي لمزرعة مكونة من مجموعة أفاعي بحر. ٥١
الشكل (٣-١٨) رسم يوضح نجمة الأمواج ٥٣
الشكل(٣-١٩) طافية من طوافي نجمة الأمواج ٥٣
الشكل(٣-٢٠) مبدأ عمل التجهيزات المفيضة. ٥٤
الشكل (٣-٢١) تنين الأمواج. ٥٤
الشكل(٣-٢٢) تقسيمات تجهيزات طاقة الأمواج حسب مدى استخدامها عالمياً. ٥٥
الشكل (٤-١) محطة الطاقة الطافية بوسيدون في الدانمارك ٦٠
الشكل (٤-٢) نجمة الأمواج في الدانمارك. ٦١
الشكل (٤-٣) تنين الأمواج الدانماركي. ٦١
الشكل (٤-٤) رسم توضيحي لمبدل طاقة الأمواج ديكسا في الدانمارك ٦٢
الشكل (٤-٥) صورة نموذج تجريبي لمبدل ديكسا في جامعة ألابورغ في الدانمارك. ٦٢
الشكل (٤-٦) مبدل طاقة الأمواج لينكون في الدانمارك. ٦٣
الشكل (٥-١) علاقة كل من طاقة الأمواج واستطاعتها بارتفاع الأمواج ٦٨
الشكل (٥-٢) ارتفاع الأمواج على أشهر السنة في البحر الأسود. ٦٨
الشكل (٥-٣) استطاعة الأمواج بالواط على المتر في البحر الأسود على مدى أشهر السنة ٦٩
الشكل (٥-٤) التوترين المتولدين من نوعي المولدات الخطية. ٧٠
الشكل (٥-٥) توتر الخرج المتولد في المولد الخطي. ٧١
الشكل (٥-٦) ربط مجموعة مولدات خطية مع الشبكة الكهربائية باستخدام الكترونيات القدرة ٧٢

الشكل (٥-٧) نموذج ربط المولدات الخطية مع الحمل باستخدام الماتلاب ٧٢
الشكل (٥-٨) صندوق المولدات الخطية في الماتلاب ٧٢
الشكل (٥-٩) خرج المولدات الخطية قبل وبعد عملية التقويم ٧٣
الشكل (٥-١٠) التوتر الكهربائي على خرج المقوم التفرعي وعلى خرج المعرج ٧٣
الشكل (٥-١١) الصفوفة السداسية المقترحة لتوزيع المولدات الخطية ٧٨
الشكل (٥-١٢) صفين من المصفوفات من المولدات الخطية. ٧٨
الشكل (٥-١٣) ترتيب المصفوفات على شكل سداسي حيث كل مصفوفة تتكون من ٣٨٩ مولد خطي ٧٩
الشكل (٦-١) خريطة البحر الأبيض المتوسط مبين عليها ارتفاعات الأمواج الفعالة وذلك من موقع الانترنت الخاص بجامعة أثينا-اليونان ٨١
الشكل (٦-٢) تغير ارتفاع الموجة في نقطة قرب طرطوس ولمدة ثلاث أيام مأخوذة من خرائط شبكة غوغل على الانترنت ٨٢
الشكل(٦-٣) منحني تغير ارتفاعات الأمواج خلال أشهر السنة في عام ٢٠٠٩ في نقطة قريبة من الساحل السوري على البحر الأبيض المتوسط ٨٦
الشكل (٦-٤) منحني تغير دور الموجة خلال أشهر عام ٢٠٠٩ لنقطة قريبة من الساحل السوري في البحر الأبيض المتوسط ٨٦
الشكل (٦-٥) منحني تغير استطاعة الأمواج بالكيلوواط للمتر من عرض مقدمة الموجة وذلك لأشهر عام ٢٠٠٩ في منطقة قريبة من الساحل السوري ٨٧
الشكل (٦-٦) منحني تغير ارتفاع الموجة الفعال ل٣٦٠ قياس خلال عام ٢٠٠٩ في نقطة قريبة من الساحل السوري ٩٨
الشكل (٦-٧) منحني تغير دور الأمواج ل٣٦٠ قياس خلال عام ٢٠٠٩ في نقطة قريبة من الساحل السوري ٩٩
الشكل (٦-٨) منحني تغير استطاعة الأمواج ل٣٦٠ قياس خلال عام ٢٠٠٩ في نقطة قريبة من الساحل السوري ١٠٠
الشكل (٦-٩) منحني تغير استطاعة الأمواج ل٣٦٠ قياس خلال عام ٢٠٠٩ في نقطة قريبة من الساحل السوري بشكل أوضح. ١٠١
الشكل (٧-١) فرد الآلة الدوّارة للحصول على آلة خطية. ١٠٢
الشكل (٧-٢) مقارنة بين المولد الخطي والمولد الدوار فيما لو تم استخدامهما في تحويل طاقة الأمواج. ١٠٣
الشكل (٧-٣) بنية المولد الخطي ١٠٤
الشكل (٧-٤) بنية المولد الخطي ١٠٥
الشكل (٧-٥) مقطع عرضي للمولد الخطي ١٠٥
الشكل (٧-٦) طرق تركيب المولدات الخطية في البحر ١٠٦

الشكل (٧-٧) الدارة الكهربائية المكافئة للمولد الخطي. ١٠٨
الشكل(٧-٨) تمثيل لتغير الفيض المغناطيسي وملفات المتحرك في طور واحد ١٠٩
الشكل(٧-٩) مخططين شعاعيين لحمل أومي وحمل معوض طورياً ١١١
الشكل (٧-١٠) مقطع عرضي في المولد الخطي ذو الفيض الطولي يظهر خطوط السيالة المغناطيسية. ١١٢
الشكل(٧-١١) المولد الخطي ذو المغناطيس الدائم بممانعة متغيرة ١١٣
الشكل(٧-١٢) المولدات الخطية ذات المغانط الدائمة ذات الفيض التقاطعي ١١٣
الشكل(٧-١٣) المولدات الخطية ذات المغانط الدائمة وذات النواة الهوائية الأنبوبية. ١١٤
الشكل(٧-14) تابع النقل H ومعامل التخميد كتابع للكشل الهندسي للطوافة ولقطر الطوافة. ١١٦
الشكل (٧-١٥) نموذج الماتلاب الأساسي الخاص بمعادلات حركة المولد الخطي ١١٨
الشكل(٧-١٦) التوتر الكهربائي الناتج عند خرج المولد الخطي (طور واحد) ١١٨
الشكل(٧-١٧) التوتر الكهربائي الناتج عند خرج المولد الخطي (ثلاثة أطوار) ١١٩
الشكل (٧-١٨) نموذج الماتلاب الخاص بعمليات تنظيم خرج المولد الخطي عن طريق (مقوم-معرج) ١١٩
الشكل(٧-١٩) التوتر الكهربائي المستمر الناتج على الوصلة بين المقوم والمعرج ١٢٠
الشكل(٧-٢٠) التوتر الكهربائي الناتج على خرج المعرج ١٢٠
الشكل(٧-٢١) التوتر الكهربائي الجيبي على طرفين من أطراف الحمل ١٢١
الشكل(٧-٢٢) توتر الحمل ثلاثي الطور. ١٢١
الشكل(٧-٢٣) التوتر الكهربائي المستمر الناتج على الوصلة بين المقوم والمعرج ١٢٢
الشكل(٧-٢٤) التوتر الكهربائي الناتج على خرج المعرج ١٢٢
الشكل(٧-٢٥) التوتر الكهربائي الجيبي على طرفين من أطراف الحمل ١٢٣
الشكل(٧-٢٦) توتر الحمل ثلاثي الطور. ١٢٣

قائمة الجداول

اسم الجدول ورقمه	الصفحة
الجدول(١-١): مقارنة بين بارامترات الأمواج في المياه العميقة والمياه السطحية	٢٠
الجدول(١-٢) : مواصفات الطافية TRIAXYS	٢٥
الجدول (٣-١) ارتفاعات وأدوار الأمواج والاستطاعة التي تتولد نتيجتها باستخدام أفعى البحر	٥٢
الجدول (٣-٢) تصنيف تجهيزات مبدلات طاقة الأمواج والوضع التطويري لكل منها (كانون الثاني ٢٠١٠)	٥٦
الجدول(٥-١) خواص الموجة والأجزاء الميكانيكية للمولد الخطي	٧٥
الجدول (٥-٢) الخواص التفصيلية للمولد الخطي	٧٦
الجدول (٥-٣) تأثير عدد الأطوار على أداء المولد الخطي	٧٦
الجدول (٥-٤) تأثير تغير مطال الموجة على أداء المولد الخطي	٧٧
الجدول (٥-٥) تأثير تغيير الحمل الكهربائي على أداء المولد الخطي	٧٧
الجدول (٦-١) عينة لمدة ٣ أيام من بيانات الأمواج والتي تم الاعتماد عليها في حساباتنا	٨٣
الجدول(٦-٢) بيانات الأمواج الشهرية لعام ٢٠٠٩ قرب الساحل السوري	٨٥
الجدول (٦-٣) القيم الوسطية اليومية في عام ٢٠٠٩ لمحددات الأمواج الثلاث – الارتفاع –الدور والاستطاعة في نقطة قريبة من الساحل السوري	٨٨
الجدول (٧-١) المتطلبات والمواصفات للمولدات الخطية في جامعة أبسالا في السويد	١٠٧
الجدول (٧-٢) الميزات الأساسية للمولد الخطي الذي تم اختياره عند الحمل الاسمي	١١٦

قائمة المصطلحات والرموز المستخدمة

The Abbreviation or Symbol in English	اللغة العربية
Wave Physics	**فيزيائية الأمواج**
wave energy	**طاقة الأمواج**
wave top	**قمة الموجة**
wave bottom	**أسفل الموجة**
wave Length	**طول الموجة**
wave period	**دور الموجة**
Wave Number	**العدد الموجي**
Phase velocity C	**السرعة الطورية**
wave crest	**قمة الموجة**
Group velocity C_g	**سرعة المجموعة**
Significant wave height SWH	**ارتفاع الموجة الفعّال**
Local waves	**الأمواج المحلية**
Crest waves	**أمواج الذروة**
buoy	**الطوافة**
Satellite altimeters	**حساسات الأقمار الصناعية**
Reflection	**الانعكاس**
Breaking	**التكسُّر**
Slipping Breaker	**التكسُّر الانزلاقي**
Plunging Breakers	**التكسُّر الانغطاسي**
Surging Breaker	**التكسُّر التموُري**
Collapsing Breaker	**الانكسار الانهياري**
Diffraction	**الانعراج**
Refraction	**الانكسار**
Wave Energy Converter WEC	**مبدل طاقة الأمواج**
Direct Wave Energy Converter	**مبدل طاقة الأمواج المباشر**
Shoreline Devices	**التجهيزات الساحلية**

NearShore Devices	**التجهيزات القريبة من الساحل**
Offshore Devices	**التجهيزات البعيدة عن الساحل**
Oscillating Water Column OWC	**العمود المائي المهتز**
Air Chamber	**حجرة هوائية**
Well Turbine Blades	**شفرات عنفات ويل**
Point Absorbers	**المخمدات النقطية**
Attenuator/Contouring Devices	**التجهيزات المخمّدة(الموهنة)**
Pelamis	**البيلاميس (أفعى البحر)**
Overtopping Devices	**التجهيزات المفيضة**
WERATLAS	**أطلس طاقة الأمواج للمياه الأوروبية**
SWAN(Simulating Wave Near Shore).	**نموذج تمثيل الأمواج قرب الشاطىء**

ملخص :

تطورت الأبحاث العلمية في مجال الطاقات المتجددة في جميع أنحاء العالم ونحاول اللحاق بهذا الركب بتقديم ما أمكن من أبحاث علمية في هذا المجال لخدمة بلدنا العزيز ولخدمة العلم.

وسنتطرق في هذه الأطروحة بعونه تعالى الى دراسة لتوليد الطاقة الكهربائية من طاقة أمواج البحار والمحيطات من الناحية النظرية والى ما وصل اليه العلم في هذا المجال ومن ثم سنسقط هذه الدراسة على البحر المتوسط لبيان امكانية استخدام إحدى التقنيات المبتكرة عالمياً.

ومن ثم سنقترح تركيب هذا المولد في منطقة مناسبة في البحر الأبيض المتوسط قرب الشواطئ السورية.

و سنقوم بعملية محاكاة لأداء هذا المولد المقترح باستخدام أحد برامج النمذجة والمحاكاة الحاسوبية المشهورة مثل الماتلاب.

مقدمة Introduction

من المعروف أنه خلال العقود القليلة السابقة تم التوجه نحو الطاقات المتجددة بسبب بدء نفاد مصادر الطاقة التقليدية وغلاء أسعارها وهذه المصادر التقليدية تتمثل بالفحم والغاز الطبيعي والنفط بشكل أساسي.

تتمثل الطاقات المتجددة بشكل أساسي بالطاقة الشمسية وطاقة الرياح ومن ثم تليهما طاقة الأمواج وطاقة المد والجزر والطاقة الحرارية في المحيطات وطاقة الكتلة الحيوية.

لم تلقَ طاقة الأمواج مجال بحثنا ولسوء الحظ الاهتمام الكبير حتى الآن مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية اللتين حظيتا باهتمام كبير من الدراسة والبحث العلمي والتطبيق العملي , ولكن الاهتمام بطاقة الأمواج تزايد في السنوات القليلة الماضية.

قامت العديد من الحكومات في دول العالم بوضع ميزانيات كبيرة خاصة بالدراسة والبحث العلمي في مجال توليد الطاقة الكهربائية من طاقة الأمواج وظهرت في العقد الأخير شركات صغيرة عملت على تطوير مبدلات طاقة أمواج ليتم استخدامها تجارياً ولاقت هذه الشركات أيضاً الدعم الحكومي وبالأخص من الاتحاد الأوروبي ومن وكالة الطاقة الدولية.

سنرى فيما بعد أن مبدلات طاقة الأمواج بالأغلب لم تخرج حتى الآن من طور التجريب والبحث العلمي والنماذج التجريبية وأن المبدلات التي تم استخدامها على الصعيد التجاري محدودة ولكنها ناجحة بشكل كبير وفي الفترة القادمة من المتوقع أن يزداد عدد المبدلات التي ستستخدم تجارياً والتي ستزود الشبكات الكهربائية العالمية بالطاقة الكهربائية النظيفة.

تتطلب دراسة طاقة الأمواج وتحويلها لطاقة كهربائية المعرفة والالمام بالعديد من المجالات العلمية وهي الفيزياء والهندسة الميكانيكية والكهربائية ولذلك لم يكن من السهولة التحضير لهذه الدراسة من ناحية كهربائية بحتة , وتطلب بحثنا اللجوء الى خبراء من دول العالم في مجالات عديدة كالرياضيات والفيزياء والميكانيك بالاضافة الى موضع اهتمامنا الأساسي وهو الكهرباء .

الغاية من البحث:

أهداف البحث هي كالآتي:

١. **دراسة عامة لفيزيائية الأمواج وطبيعتها ومعاملاتها الأساسية والعوامل التي تؤثر عليها وعلى انتشارها في البحار.**
٢. **دراسة عامة لطاقة الأمواج نظرياً ومعدلات هذه الطاقة في جميع أنحاء العالم وكيفية حساب هذه الطاقة حسب البارامترات الأساسية للأمواج.**
٣. **دراسة كيفية تحويل طاقة الأمواج لطاقة كهربائية مفيدة والتقنيات الأساسية المستخدمة في هذا المجال.**
٤. **دراسة تجارب دول العالم في مجال تحويل طاقة الأمواج لطاقة كهربائية وماتم التوصل اليه في هذا المجال علمياً وعملياً.**
٥. **استعراض عدد من الدراسات المرجعية المشابهة لبحثنا بشكل كبير والتي تتطرق لدراسة تحويل طاقة الأمواج لطاقة كهربائية في البحار المغلقة كالبحر الأسود وبحر الشمال وبحر البلطيق وبحر قزوين.**
٦. **دراسة الحالة الخاصة بنا وهي في البحر المتوسط في موقع قريب من الساحل السوري وذلك بعرض قياسات للأمواج في هذا الموقع ومن ثم اختيار مبدل طاقة الأمواج الأنسب حسب هذه القياسات وحسب الدراسات المرجعية .**
٧. **دراسة نظرية معمقة لمبدل طاقة الأمواج الذي تم اختياره ونمذجة ومحاكاة عمله باستخدام برنامج الماتلاب ويتضمن ذلك استعراض الخرج الكهربائي لهذا المولد ومن ثم العمل على هذا الخرج لنتمكن من ربط هذا المولد مع الشبكة الكهربائية.**
٨. **مناقشة نتائج المحاكاة.**

الفصل الأول

فيزيائية الأمواج Wave Physics

١ - ١ -مقدمة:

تعتبر الشمس المصدر الأساسي لطاقة الأمواج (wave energy) حيث أن تسخين الشمس لسطح البحر أو المحيط يؤدي لنشوء مناطق ضغط مختلفة وبالتالي الى نشوء رياح على سطح البحر أو المحيط مما يؤدي الى نشوء الأمواج وتعتمد هذه الأمواج بالتالي على سرعة الرياح وعلى المساحة التي غطتها من سطح المياه.[1]

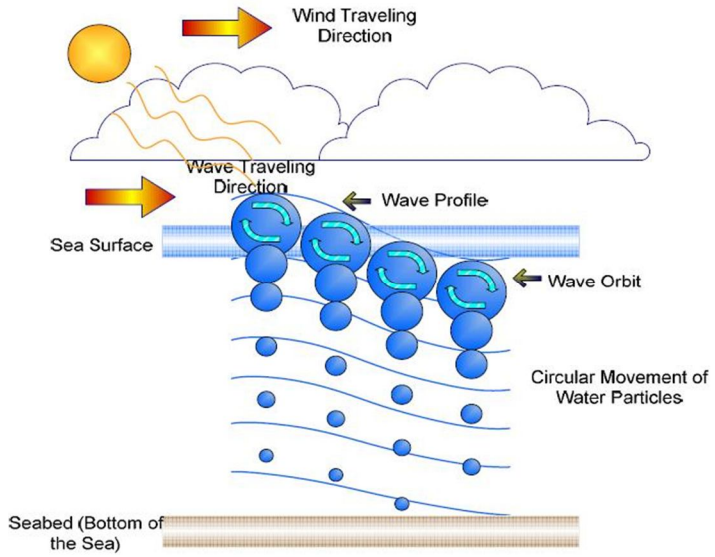
اذا راقبنا هذه الأمواج من شاطئ البحر فإننا سنلاحظ أنها ترتفع بحدود الأمتار وارتفاع الموجة (wave height) بالتعريف هو المسافة بين قمة الموجة (wave top) وأسفل الموجة(wave bottom).

هناك معامل أساسي آخر في الأمواج هو طول الموجة (wave Length) ويعبّر عن المسافة بين قمتين متتاليتين للموجة وتتراوح هذه المسافة بين ٥٠ متر و ١٠٠ متر.

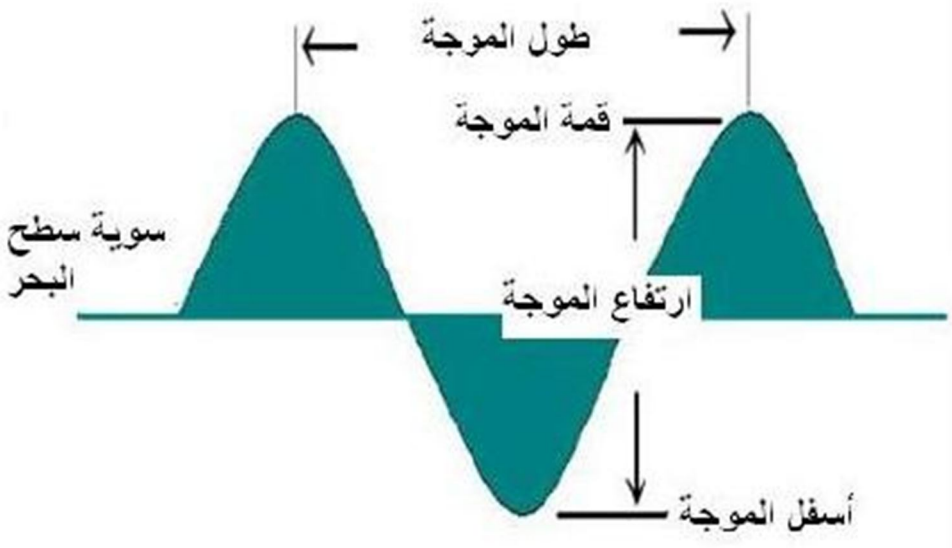
أما المعامل الثالث المهم في دراسة الأمواج فهو دور الموجة (wave period) ويعبر عن الزمن الذي تستمر به الموجة الواحدة اذا راقبنا من نقطة معينة منها.

يبين لنا الشكل(١ - ١) حركة الأمواج الناتجة عن الرياح والتي مصدرها الأساسي هو الشمس.

أما الشكل(١ - ٢) فيظهر لنا المعاملات الأساسية التي ذكرت سابقاً وهي ارتفاع وطول الموجة حيث تعبر الموجة الجيبية عن موجة البحر بشكل مثالي.



الشكل(١ - ١) حركة جزيئات الماء الناتجة عن الرياح.



الشكل (١-٢) بارامترات الموجة الأساسية الممثلة بشكل جيبي

١-٢- النظرية الخطية لأمواج المحيط السطحية: Linear Theory of Ocean surface waves

إن أمواج المحيطات السطحية وكذلك البحار هي في الحقيقة متغيرة الارتفاع والزمن والطول من موجة لأخرى.[1]

بأخذ العديد من التقريبات وبتجاهل عدد من القوى المؤثرة على الأمواج وقوة اللزوجة فإن ارتفاع البحر السطحي ζ لموجة تتحرك بالاتجاه x هو بالشكل التالي:

$$\zeta = a.\sin(kx - \omega t) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1\text{-}1)$$

$$\omega = 2.\pi.f = \frac{2.\pi}{T} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1\text{-}2)$$

$$k = \frac{2.\pi}{L} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1\text{-}3)$$

ω:تردد الموجة بالراديان/ثانية.Wave frequency (rad/sec)

f: تردد الموجة بالهرتز Wave frequency(hertz)

k: العدد الموجي Wave Number

T: دور الموجة (ثانية) Wave period (sec)

L: طول الموجة (متر) Wave length (m)

١-٣- علاقة التبدد Dispersion relation:

يتعلق تردد الموجة ω بالعدد الموجي k بعلاقة التبدد [1]:

$$\omega^2 = g.k.\tanh(kd) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1\text{-}4)$$

يمكن استخدام تقريبين في هذه الحالة على الشكل التالي:

١. للمياه العميقة Deep water: حيث عمق المياه d هو أكبر كثيراً من طول الموجة L و g تسارع الجاذبية.

$$d \gg L \,, kd \gg 1$$
$$\text{Then: } \tanh(kd) = 1$$

٢. للمياه السطحية Shallow water: حيث عمق المياه d أصغر كثيراً من طول الموجة L

$$d \ll L \,, kd \ll 1$$
$$\text{Then: } \tanh(kd) = kd$$

وبالتالي تصبح علاقة التبدد في الحالتين هي:

١. في المياه العميقة:

$$\omega^2 = g.k \qquad d > L/4$$

٢. في المياه السطحية:

$$\omega^2 = g.k^2.d \qquad d < L/11$$

١ - ٤ - تعاريف أساسية في نظرية الأمواج:

١ - ٤ - ١ - السرعة الطورية Phase velocity C:

تعرف السرعة الطورية C على أنها السرعة التي يتحرك بها جزيء الماء في الموجة خلال دور واحد T لمسافة L كما يلي:

$$C = \frac{L}{T} = \frac{\omega}{k} \text{.....(1-5)}$$

تكون حركة الأمواج متعامدة مع ذروة الموجة (wave crest) وهي باتجاه المحور X [1]

وعند اعتماد التقريب للمياه العميقة والسطحية نستنتج السرعة الطورية بالشكل التالي:

السرعة الطورية في المياه العميقة:

$$C = \sqrt{\frac{g}{k}} = \frac{g}{\omega} \text{.....(1-6)}$$

السرعة الطورية في المياه السطحية:

$$C = \sqrt{g.d} \text{.....(1-7)}$$

١ - ٤ - ٢ - سرعة المجموعة C_g Group velocity:

مبدأ سرعة المجموعة C_g هو المبدأ الأساسي لفهم انتشار الأمواج الخطية واللاخطية:

$$C_g = \frac{d\omega}{dk} \text{.....(1-8)}$$

باستخدام التقريبات السابقة نفسها نحصل على ما يلي:

١. للمياه العميقة:

$$C_g = \frac{g}{2\omega}$$

٢. للمياه السطحية:

$$C_g = \sqrt{g.d} = C$$

١ - ٤ - ٣ - ارتفاع الموجة الفعّال Significant Wave Height SWH :

يتم قياس ارتفاع الموجة لعدة دقائق .لنقل أنه يتم أخذ ١٢٠ قياس .نأخذ أعلى أربعين ارتفاع ونحسب الارتفاع الوسطي للقيم الأربعين هذه لذلك يسمى ارتفاع الثلث الأعظمي $H_{1/3}$.

اعتماداً على التصنيف الذي ذكرناه آنفاً يمكن وضع جدول يبين طول الموجة L والسرعة الطورية C وسرعة المجموعة C_g في حالتي التصنيف للمياه العميقة والسطحية ويظهر ذلك بالتفصيل في الجدول التالي.

الجدول(١-١): مقارنة بين بارامترات الأمواج في المياه العميقة والمياه السطحية

	طول الموجة L	سرعة الطور C	سرعة المجموعة C_g
المياه العميقة	$L_O = \frac{gT^2}{2\pi}$	$C_o = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi}$	$C_g = \frac{1}{2}C_o = \frac{gT}{4\pi}$
المياه السطحية	$L = T\sqrt{gd} = CT$	$C = \frac{L}{T} = \sqrt{gd}$	$C_g = C = \sqrt{gd}$

تصنف الأمواج وفق نوعين أساسيين هما :

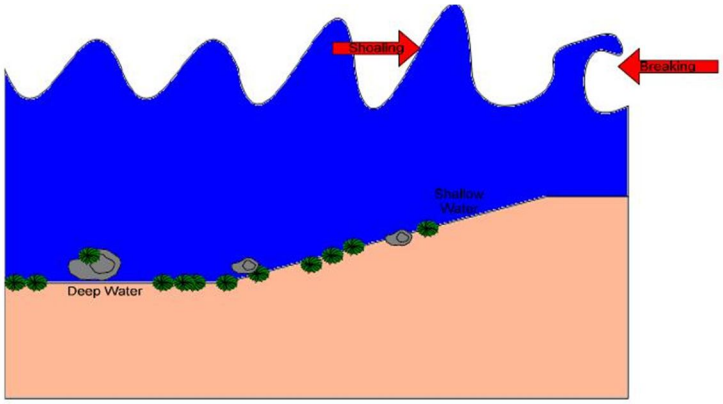
١.الأمواج المحلية أو أمواج البحر Local waves or Sea waves

٢.أمواج الذروة Crest waves

تسمى الأمواج الناشئة عن هبوب الرياح المحلية في البحار بأمواج البحر أو الأمواج المحلية.

ويطلق على مجموعات الأمواج التي تنتقل آلاف الكيلومترات من نقطة منشئها والتي عادةً يكون منشؤها عواصف في وسط البحر أو المحيط وبخسارة أصغرية للطاقة.

ويبين الشكل (١-٣) الفرق بين المياه العميقة والسطحية.



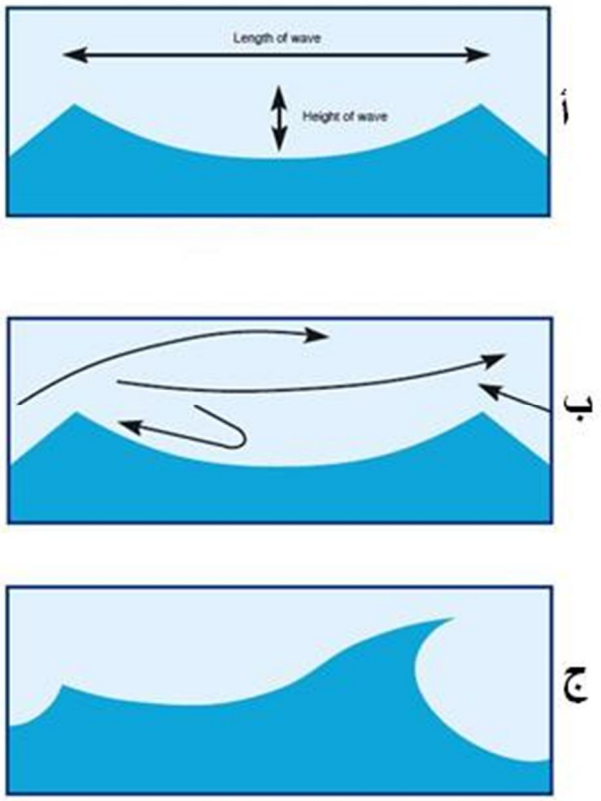
الشكل (١-٣) المياه العميقة والمياه السطحية

١-٥- علاقة الأمواج بالرياح The Relation between Waves and Wind

عندما تصل سرعة الرياح الى ٢.٥ كم/ساعة أي ما يعادل ٠.٦٩ متر/ثانية فإن التأثير يبدأب الظهور بشكل واضح على الموجة وتصبح قمة الموجة أكثر تدبباً ويغدو قاع الموجة أكثر تقعراً كما في الشكل(١-٤-ب).[2]

وعندما تصبح السرعة ١٣ كم/ساعة أي ٣.٦١ متر/ثانية فإن هذا التأثير يزداد على مقدمة الموجة حتى تصبح الموجة غير مستقرة وتتكسر كما في الشكل (١-٤-ج).

يوضح الشكل(١-٤) تغير حركة الموجة مع زيادة سرعة الرياح.



الشكل (١ - ٤) تغير شكل الموجة مع زيادة سرعة الرياح

١ - ٦ - التنبؤ بالأمواج وقياسها Wave Measuring and Forecasting

يتم ذلك باستخدام طوافات القياس (buoys) بشكل أساسي وباستخدام حساسات الأقمار الصناعية (Satellite altimeters) بشكل ثانوي.

إن التغير الكبير الذي تتعرض له الأمواج من ناحيتي الارتفاع والدور يجعل قياس هذه البارامترات أمراً صعباً الى حدٍ ما.

تعطي طوافات القياس التي تقيس العينة خلال ٢٠ الى ٣٠ دقيقة قياسات مقبولة نوعاً ما.

إن السيئة الأساسية للطوافات هي أن تكلفة صيانتها باهظة على الأمد الطويل خاصةً.

يعتمد التنبؤ بحالة الأمواج حالياً بشكل كبير على نماذج رياضية على الحواسيب والتي تعطي كلاً من حالة الرياح والأمواج معاً لفترة مستقبلية بحدود الأسبوع تقريباً والتي تأخذ بياناتها بشكل أساسي من حساسات الأقمار الصناعية.

من هذه النماذج نذكر موديل ال WAM (WAMDI Group) والذي أصبح حالياً يغطي كافة بحار ومحيطات العالم , تم استخدام هذا النموذج للحصول على أطلس طاقة الأمواج للمياه الأوروبية(WERATLAS)

وقام الأعضاء المشاركون بمشروع الأطلس الأوروبي بالعمل في العقد الأخير على تطوير مشروع باسم أمواج العالم (World Waves) وهو مشروع مرتبط مع برنامج الماتلاب(MATLAB) لحساب السلاسل الزمنية لأطياف الأمواج وكذلك يحتوي على احصائيات لمياه العالم كلها السطحية منها والعميقة.

بالنسبة للمياه السطحية تؤخذ عادةً اعتبارات أخرى غير موجودة بالمياه العميقة,وهناك العديد من النماذج الرياضية حالياً والتي تمكننا من معرفة قياسات الأمواج للمياه السطحية قرب الساحل والمثال على هذا النوع من النماذج هو نموذج ال(SWAN(Simulating Wave Near Shore.

١-٦-١- طوافات القياس Buoys

استخدمت الطوافات منذ عام ١٩٦٠ لقياس الأمواج , من أشهر الأنواع في مجال طوافات قياس الأمواج نذكر Datawell waverider و TRIAXYS .

تقوم الطوافة بقياس كلٍ من ارتفاع الموجة واتجاهها.[3]

ويبين الشكل (١-٥) احدى الطوافات المركبة عملياً وهي من نوع Wavescan

الشكل (١-٥) الطوافة WaveScan وهي مركبة في مياه المحيط الهندي .

١-٦-١-١-كيفية قياس ارتفاع الأمواج باستخدام طوافات القياس: Measuring wave height by the Buoys

تنتج الأمواج في البحرعن الحركات الدورانية لجزيئات المياه.

هذه الحركات التي تتحدد من خلال التردد f والمطال A والاتجاه.

تسبب دافعة أرخميدس المؤثرة على غطاء الطوافة (Buoy Hull) توازنها على سطح الماء، وستتبع الطوافة الحركة الدورانية لجزيئات الماء وبالتالي تعطينا قياساً للمسافة الشاقولية التي تتحركها الطوافة وبالتالي ارتفاع الموجة المطلوب قياسه.

تتحدد الاستجابة الترددية العالية للطوافة بأبعادها.

إلا أن الطوافة لن تتبع حركة الموجة في حال كان طول الموجة أصغر من محيط الطوافة نفسها.

وتتحدد الاستجابة الترددية الأفقية المنخفضة بالربط بين كل من الطوافة ووسيلة الارساء.

حيث أن قوى حبل الارساء تمنع اللحاق بالأمواج ولكن القوة الزائدة للمرساة على الطوافة في منطقة دائرية نصف قطرها A هي:

$$F_{moor} = C.A \text{.....(1-9)}$$

حيث C ثابت المرونة للكبل المطاطي بالاتجاه الأفقي مما يؤدي للحصول على تردد الطنين لكتلة النابض:

$$f_o = \frac{1}{2\Pi}\sqrt{\frac{C}{m}} \text{.....(1-10)}$$

حيث تتضمن m الكتلة المضافة للطوافة نفسها , أما بالنسبة لقوة الموجة فهي:

$$F_{wave} = m(2\Pi f)^2 A \text{.....(1-11)}$$

وتصبح نسبة القوى لبعضها بالشكل التالي:

$$\frac{F_{moor}}{F_{wave}} = \frac{C.A}{m(2\Pi f)^2 A} = \left(\frac{f_o}{f}\right)^2 \text{.....(1-12)}$$

بالنسبة لترددات أمواج أكبر من f_o فإن الطوافة ستركب الأمواج بشكل ممتاز.

أما بالنسبة للترددات الأصغر من f_o فإن الحركة الأفقية ستتعرض لعرقلة من قوى الارساء.

١-٦-١-٢- كيفية تحديد اتجاه الأمواج باستخدام طوافات القياس How to know the wave direction by the buoy

هناك مبدأين أساسيين لتحديد اتجاه الموجة باستخدام طوافات القياس وذلك حسب مبدأ عمل الطوافة نفسها فهناك طوافات تتبع الميل (The following slope buoys) مثل (WAVEC) وتحدد اتجاه الموجة من العلاقة المتبادلة بين زوايا ميلان الطوافة (tilt angles of the buoy) وهذه الزوايا هي (زاوية الانزياح وزاوية الدوران) (pitch and roll) وحركة الارتفاع.

وتعتمد هذه الطوافات على شكل الصحن الذي يتبع ميل الموجة عند أي سرعة, وفي حال وجود تصميم مناسب فإن قوى الارساء تؤثر على محور الطوافة وبالتالي لاتؤثر هذه القوى على ميلان الطوافة نفسها.

وهناك أيضاً الطوافات التي تعتمد على التتبع المداري(The following orbital buoys) مثل-(DWR-G DWR MKIII) وتتبع بدقة الجزأين الأفقيين للحركات المدارية.

في هذه الحالة فإن قوى الارساء تسبب استجابة ديناميكية منحرفة عن خط الارساء وبالتالي اتجاه الحركة سينحرف عن حركة جزيئات الماء وللحصول على تحديد اتجاه صحيح الى حدٍ ما فإن ذلك يتطلب مرونة كبيرة بكبل الارساء .

١-٦-١-٣- أجزاء الطوافة The buoy components

إن أخذنا كمثال الطوافة TRIAXYS فإن أجزاء هذه الطوافة هي كالتالي:[4]

١-يوجد بشكل أساسي نموذج التحسس والتحكم عن بعد Sensor and Telemetry module (TAS)

٢- مستقبل ترياكسيس الرقمي TRIAXYS Digital Reciever (TDR)

٣- الهوائي Antenna

٤- وحدة تغذية

٥- كتلة تحتوي على لوحة تجميع الطاقة الشمسية Solar panel assembly

٦- البطاريات (TAB).

٧- يوجد أيضاً ضوء الملاحة navigation light

٨- بوابة تسلسية للأشعة تحت الحمراء,

٩- غطاء على شكل قبة

١٠-حلقة ربط.

١١- يوجد الغطاء السفلي Hull الذي ترتطم به الأمواج .

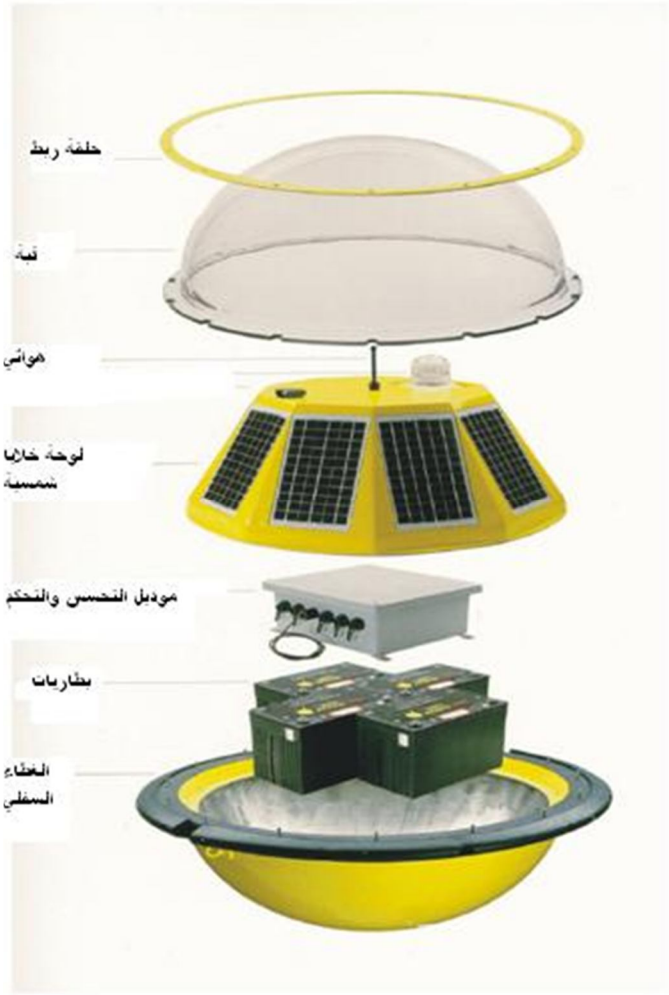
١٢- كتلة القياس عن بعد تتضمن نظام راديو بترددات عالية خاصة

١٣- هوائي ونظام تتبع موقع جغرافي GPS

١٤- ذاكرة تخزن لحد ١٢٨ ميغابايت.

وهناك برنامج اسمه Waveview يسمح للمستخدم بمراقبة البارامترات المقاسة في بيئة الزمن الحقيقي.

يبين الشكل (١-٦) أجزاء الطوافة المشروحة سابقاً.



الشكل (١-٦) أجزاء الطوافة TRIAXYS

وفيما يلي الجدول ١-٢ الذي يوضح مواصفات هذه الطوافة.

تجرى عادةً مجموعة من الاختبارات على الطوافة للتأكد من قدرتها على العمل في الظروف الحقيقية وللتأكد من جاهزيتها لوضعها في الخدمة.

الجدول(١ - ٢) : مواصفات الطوافة TRIAXYS

ITEM	SPECIFICATION		
Physical Description			
Diameter	nominal, around bumper - 1.10 m (43.5 inches) O.D.		
	Stainless steel hull - 0.91 m (36 inches)		
Weight	197 kg (including 4 batteries); 90 kg (excluding batteries)		
Purge port	3/4" - 16 UNF with Swagelock hex plug		
Obstruction light	Amber LED source; programmable flash sequence, three miles visibility		
Materials			
Hull	Stainless steel		
Dome	Polycarbonate Cyrolon ZX (tested to ASMT D3763 and ISO 6603-2 impact specifications)		
Solar panel assembly	Fiberglass over foam		
Clamping ring	Stainless steel		
Sensors/Processor			
Water temperature	Thermilinear composite network		
Accelerometers	Flexure suspension servo (range: ± 2g)		
Rate	Piezoelectric vibrating gyroscope (max. angular velocity: ± 80 deg. /s)		
Compass	Microprocessor controlled fluxgate (accuracy: ± 0.5 deg.)		
A/D and sampling frequency	8 channel 14 bit at 4 Hz		
Microprocessor	PC104 and 80C552		
GPS	12 channels		
Resolution/Accuracy			
	Range	Resolution	Accuracy
Heave	± 20 m	0.01 m	better than 2%
Period	1.56 to 33.33 seconds		
Direction	0 to 360 degrees		± 1 degree
Water temperature	-5 to +50 deg. C		± 0.1 degree C

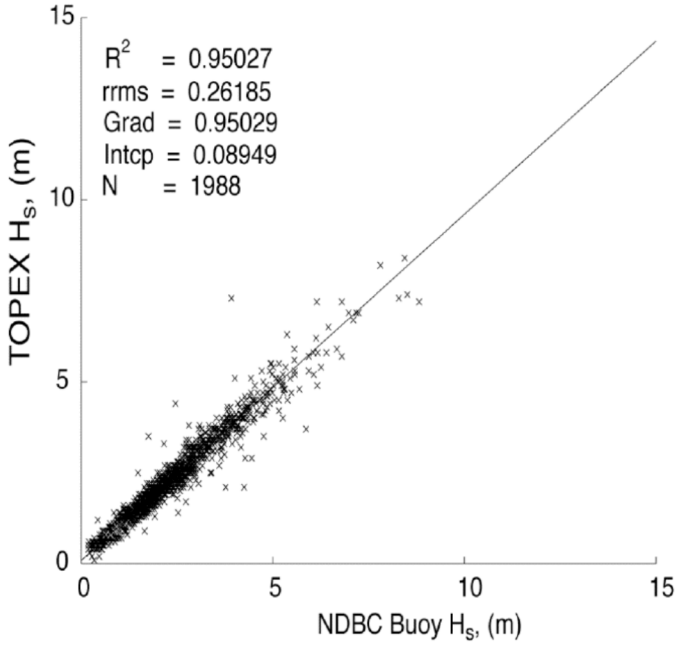
ITEM	SPECIFICATION
Power System	
Operational system voltage	11.0 to 14.1 VDC
Batteries	4 @ GNB SunLyte 5000X 12 volt, 100 amp hr
Solar panels	10 @ 6 watt Siemens SM6
Smart charger	Sunsaver-6
On/off switch	**Turn buoy on when Magnetic Key is removed**
Telemetry	
30 to 50 MHz	Synthesized VHF transmitter (standard)
Effective radiated output	0.5 watts
Data Format	Binary transmission
Transmission rate	2400 Baud
Maximum range (VHF line-of- sight)	16 km (10 miles) over water (less over land)
Optional transmission	ARGOS
Optional watch-circle beacon	ARGOS or INMARSAT D+
Input/output	power and data through Belgian connector; frequency bands up to 123
Operating temperature	-30 to +60 degree C
Storage/transit temperature	-40 to +70 degree C
Data transmission	standard: multiple transmissions of each data set; directional wave characteristics and spectra; wave statistics; SST; battery voltage; solar current; error checking. optional: VHF (30-39 MHz, or 39-50 MHz, synthesized frequency selection), or ARGOS; real-time; programmable configuration communication: 19,200 baud, 8 bits, 1 stop, no parity
Power	supply: +12 to 14 VDC consumption: 0.134 amp-hr per 20-min sample transmission: 3 watts @ 12 VDC; VHF range to 10 nautical miles battery: 4 gel cells solar panel: 10 @ 6 watts
Position	GPS/ARGO (optional)

١-٦-٢- رادارات الأقمار الصناعية Satellite Altimeters:

تعطي رادارات الأقمار الصناعية قراءات لارتفاع الموجة الفعال بقيم قريبة من القيم التي تعطيها الطوافات المركبة في البحر، وهذا الرادار يقوم بارسال نبضة الى سطح المحيط فترتد اليه اشارة يمكن من خلال معرفة انحراف ترددها تحديد ارتفاع الموجة الفعال H_s .[5]

يجب معايرة هذه الرادارات بشكل دائم ويتم ذلك بمقارنة قياساتها مع القيم طويلة الأمد التي نحصل عليها من خلال الطوافات المتوفرة لدينا في البحار والمحيطات.

ويبين الشكل (١-٧) نتائج معايرة احدى رادارات الأقمار الصناعية بمقارنتها مع قياسات طوافات شبكة معينة هي شبكة NBDC .



الشكل (١-٧) معايرة رادار قمر صناعي .

١-٧- التأثيرات التي تحدث للأمواج في البحار The Effects on the waves

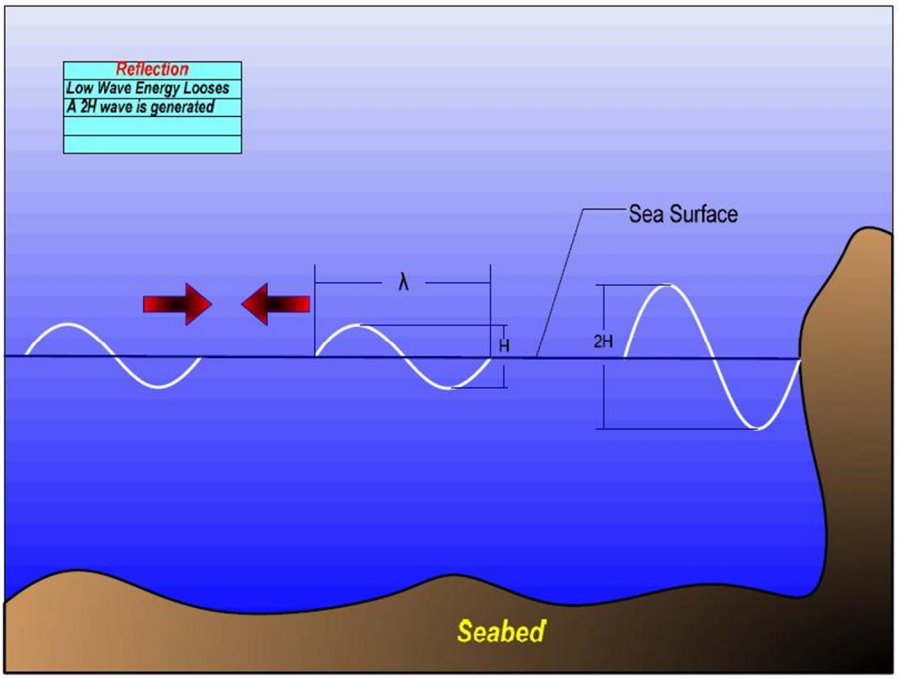
تتعرض أمواج البحر أثناء انتقالها من نقطة لأخرى لعدد من المؤثرات والتي تؤدي الى تغير في سرعتها وارتفاعها وزمنها، وسبب هذه التأثيرات هو تغير عمق المياه بشكل أساسي بالاضافة الى الحواجز التي يمكن أن تتعرض لها والتأثيرات هي على الشكل التالي:[6]

١-٧-١- الانعكاس Reflection

تحدث ظاهرة الانعكاس عندما تصطدم الموجة بجسم ما والذي يجب أن يكون عرضه مساوي لثلاثة أضعاف طول الموجة تقريباً حتى يحدث هذا التأثير المذكور.

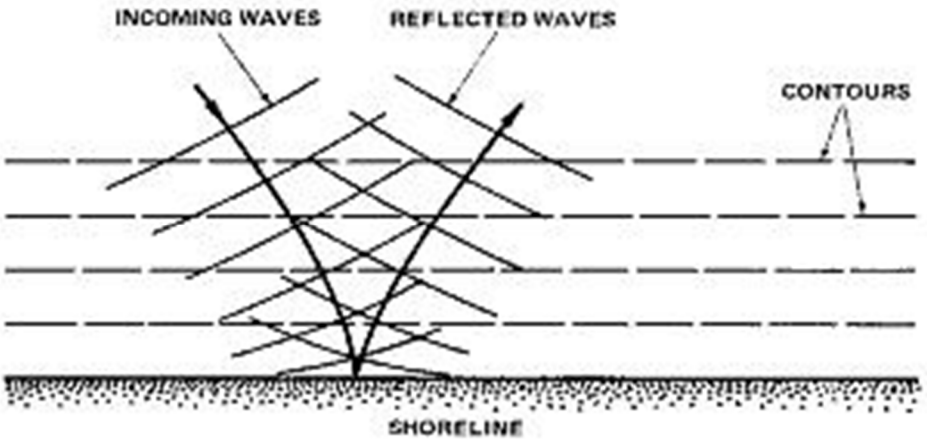
ينتج عن الانعكاس مضاعفة ارتفاع الموجة بسبب جمع المركبتين الشاقوليتين للموجة القادمة والموجة المنعكسة, وينتج كذلك ضياع بسيط في طاقة الموجة بعد انعكاسها.

الشكل (١-٨) يبين مايحدث للموجة عند انعكاسها وذلك بتمثيلها بموجة جيبية.



الشكل(١-٨) انعكاس موجة البحر وتأثيراته

الشكل (١-٩) يبين لنا الموجتين القادمة والمنعكسة وذلك بعد وصول الأولى الى الشاطئ.



الشكل (١-٩) تغير اتجاه الموجة عند انعكاسها

١-٧-٢- تكسُّر الموجة عند الشاطئ Breaking:

عندما تصل أمواج من المياه العميقة الى المياه السطحية وبالتالي اختلاف ارتفاع قاع البحر فإن تأثيراً يسمى بالضحالة Shoaling يظهر لدينا.

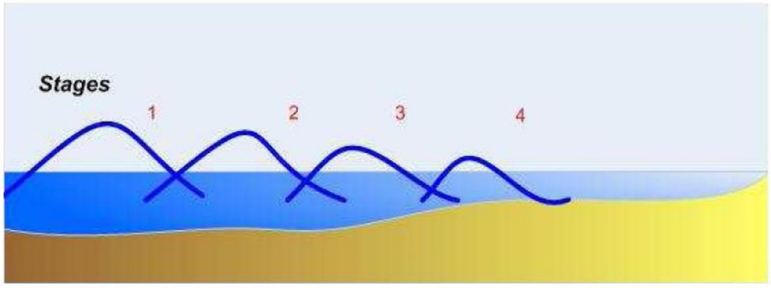
الضحالة تسبب تناقص سرعة الموجة وتزايد طول الموجة بنفس الوقت وكذلك تزايد ارتفاع الموجة حيث يصبح الارتفاع تقريباً ٠.٧٨ من عمق المياه وعندها تصبح الأمواج غير مستقرة, ويعتمد مظهر الموجة في هذه الحالة عند تكسُّرها على ميلان أرض البحر وتدبب مقدمة الموجة $\frac{H}{\lambda}$ والتي تمثل النسبة بين ارتفاع الموجة وطولها.

هناك عدة أنواع لتكسُّر الأمواج نذكر منها:

أ- التكسُّر الانزلاقي Slipping Breaker:

يحدث هذا النوع في حال كان الشاطئ له ميل متوسط ويرافقه ضياع بسيط في الطاقة.

وفي هذه الحالة فإن وصول الأمواج للمياه السطحية يؤدي لانزلاق كمية من المياه على مقدمة الموجة , ويبين الشكل (١-١٠) حالة التكسُّر الانزلاقي وتأثيراتها على بارامترات الموجة.

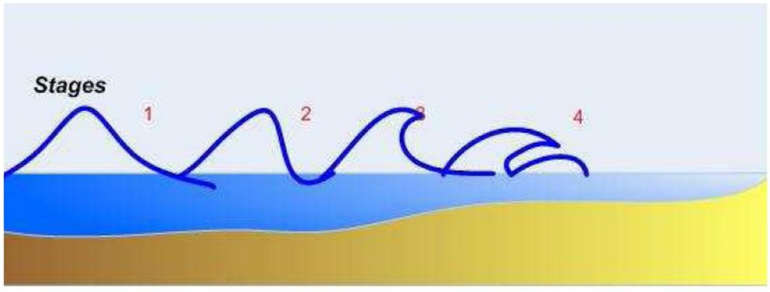


الشكل (١-١٠) التكسُّر الانزلاقي

ب- التكسُّر الانغطاسي Plunging Breakers

يحدث هذا النوع من التكسُّر في الشواطئ الأكثر تدبباً وفي هذه الحالة تلف قمة الموجة على نفسها بسبب حركتها الأسرع من قعر الموجة.

يبين الشكل (١-١١) حالة التكسُّر هذه.



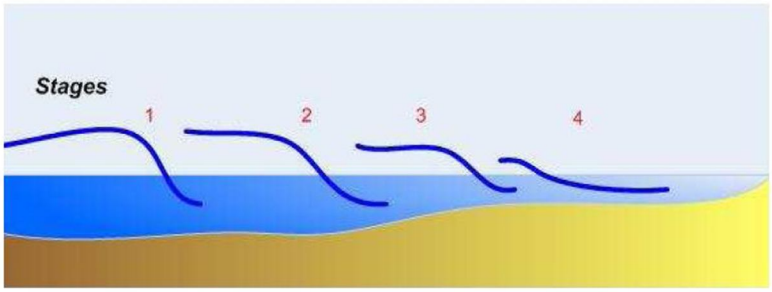
الشكل (١-١١) الانكسار الانغطاسي Plunging Breakers

ج- التكسُّر التموُّري Surging Breaker:

يحدث التكسُّر التمُّوري في الشواطئ شديدة التدبب وتؤدي الى انتاج مناطق من الانعكاس العالي.

تتصف الأمواج الخاضعة لهذا التأثير بالانخفاض وطولها الكبير.

الشكل(١-١٢) يبين لنا هذا النوع من التكسُّر.



الشكل(١-١٢) التكسُّر التموُّري.

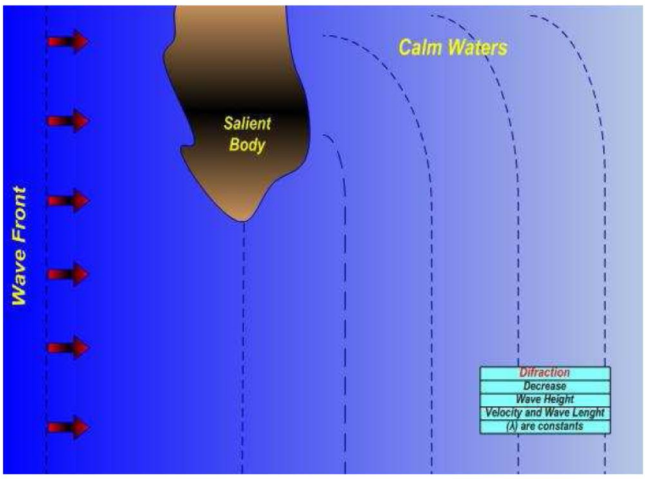
د- التكسُّر االجزئي Collapsing Breaker

وهو خليط من التكسُّر التموُّري والتكسُّر الانغطاسي حيث يتكسر قاع الموجة قبل أعلاها.

١-٧-٣- الانعراج (الحيود) Diffraction:

تحدث ظاهر الانعراج عندما يعبر قطار الأمواج عقبةً ما أو حاجزاً ما مثل جزيرة صغيرة ويعتمد التأثير الحاصل على شكل الحاجز الذي تعرضت له الأمواج وبشكل عام يتناقص ارتفاع الموجة ولكن طول الموجة وسرعتها يبقيان ثابتين.

يبين الشكل (١-١٣) حادثة الانعراج التي تتعرض لها موجة البحر.

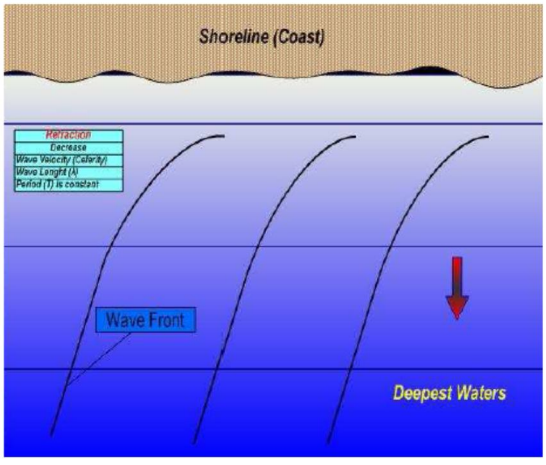


الشكل (١-١٣) انعراج موجة البحر وتأثيرات ذلك على بارامترات الموجة

١-٧-٤- الانكسار Refraction:

تنشأ هذه الظاهرة مع تناقص عمق المياه حيث تتناقص سرعة الموجة مع تناقص عمق المياه وكذلك يتناقص طول الموجة ولكن دور الموجة يبقى ثابتاً.

ويبين الشكل التالي (١-١٤) ظاهرة انكسار موجة البحر .



الشكل (١-١٤) انكسار موجة البحر وتأثيرها على بارامترات الموجة

الفصل الثاني

طاقة الأمواج Wave Energy

٢ - ١ - كيفية حسابها والبارامترات الداخلة في حسابها Calculating it and the Parameters which are included in its equation

يمكن لأمواج البحار والمحيطات أن تحمل كمية كبيرة من الطاقة لآلاف الكيلومترات بضياعات صغيرة.

يمكن حساب الاستطاعة الموجودة بالكيلوواط للمتر الواحد من عرض مقدمة الموجة من خلال علاقة العاملين الأساسيين المؤثرين فيها هما ارتفاع الموجة الفعال H_s وزمن الموجة T.

هذه العلاقة لها الشكل التالي:

$$P = \frac{\rho g^2 T H^2}{64\Pi} \ kw/m \quad \text{.....(2-1)}$$

حيث: ρ: كثافة مياه البحر $(1025 \frac{Kg}{m^3})$

g: تسارع الجاذبية $(9.81 \ ^m/_{S^2})$

T: زمن الموجة (Sec)

H: ارتفاع الموجة الفعال (m).

نلاحظ من العلاقة السابقة أن استطاعة الموجة تتغير مع مربع الارتفاع، وبالتالي نحصل على استطاعة أكبر كلما كانت الأمواج أكثر ارتفاعاً.

تستخدم العلاقة السابقة للأمواج في المياه العميقة، أما بالنسبة للمياه السطحية فليس هناك علاقة مبسطة لحساب الاستطاعة فيها وذلك بسبب خضوع الموجة لعوامل عديدة كالانعكاس والانكسار التي تم شرحها في الفصل السابق.

يمكننا تقريب علاقة الاستطاعة السابقة لتصبح على الشكل التالي:

$$P \approx 0.49 T H^2 \quad (^{KW}/_{m}) \quad \text{.....(2-2)}$$

٢ - ٢ - توزع طاقة الأمواج في المسطحات المائية في الكرة الأرضية Wave energy distribution in water areas in the world

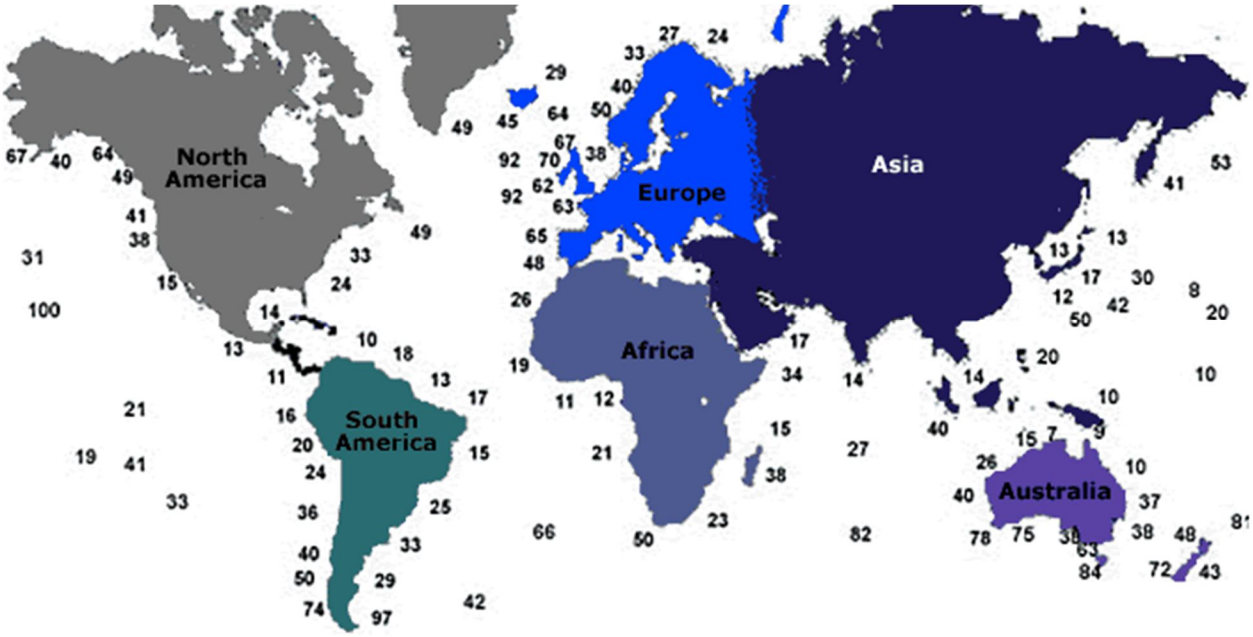
تقدر استطاعة الأمواج في الكرة الأرضية في المياه العميقة (بعمق ١٠٠ متر أو أكثر) ب ٨٠٠٠ الى ٨٠٠٠٠ تيرا واط ساعي , وذلك مقارنةً مع طلب الكهرباء العالمي والذي يقدر ب ١٩٨٥٥ تيراوات ساعي في عام ٢٠٠٧ حسب وكالة الطاقة الدولية IEA.

ويقدر المصدر المتاح The available wave source من طاقة الأمواج بما يعادل ١٤٠ الى ٧٥٠ تيراوات ساعي في السنة وذلك لتصاميم التجهيزات التي تم انجازها في عام ٢٠٠٣ وقد يصل هذا الرقم الى ٢٠٠٠ تيراوات ساعي في السنة وذلك اذا تم عمل كل التحسينات التي يمكن عملها للتجهيزات الموجودة.

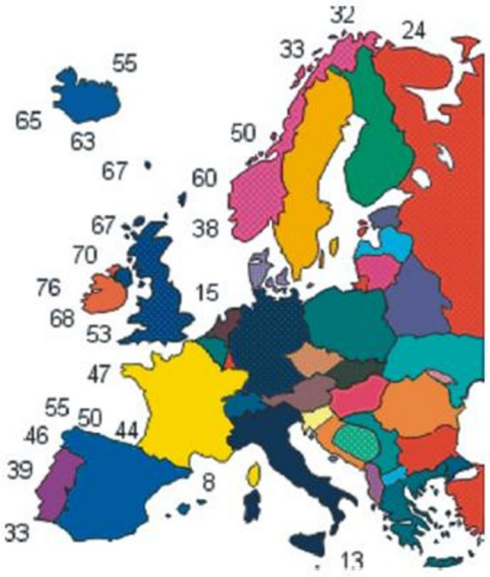
يبين الشكل (٢ - ١) توزع استطاعة الأمواج على كافة المسطحات المائية في الكرة الأرضية من محيطات وبحار.

ونلاحظ من خلال هذا الشكل أن المنطقتين الواقعتين بين خطي عرض ٣٠° - ٦٠° شمالاً وبين ٣٠° - ٦٠° جنوباً هما منطقتان ذات استطاعة أمواج عالية.

ويبين الشكل(٢-٢) توزع استطاعة الأمواج في البحر الأبيض المتوسط وخاصةً في دول أوروبا .



الشكل(٢-١) توزع استطاعة الأمواج في بحار ومحيطات العالم مقدرةً بالكيلوات على المتر من طول مقدمة الموجة.



الشكل(٢-٢) توزع استطاعة الأمواج في بحر الشمال وجزء من المتوسط.

٢-٣- بعض التقديرات المناخية العامة لطاقة الأمواج في بحار ومحيطات العالم

Some Climate estimations of wave energy in oceans and seas

يمكننا بالاعتماد على البرامج الحاسوبية والنماذج الرياضية والمتصلة مع رادارات الأقمار الصناعية والطوافات المركبة في المياه أخذ بعض الاحصائيات العامة عن مستويات طاقة الأمواج في بحار ومحيطات العالم، وفيما يلي ثلاث خرائط عامة توضح لنا وبتقسيمات لونية مستويات طاقة الأمواج بالكيلوات للمتر الواحد من عرض الموجة. [7]

الشكل(٢-٣) يبين مستويات طاقة الأمواج في شهر كانون الثاني(فصل الشتاء) في كافة مناطق العالم.

والشكل(٢-٤) يبين مستويات طاقة الأمواج في شهر تموز(فصل الصيف) في كافة مناطق العالم.

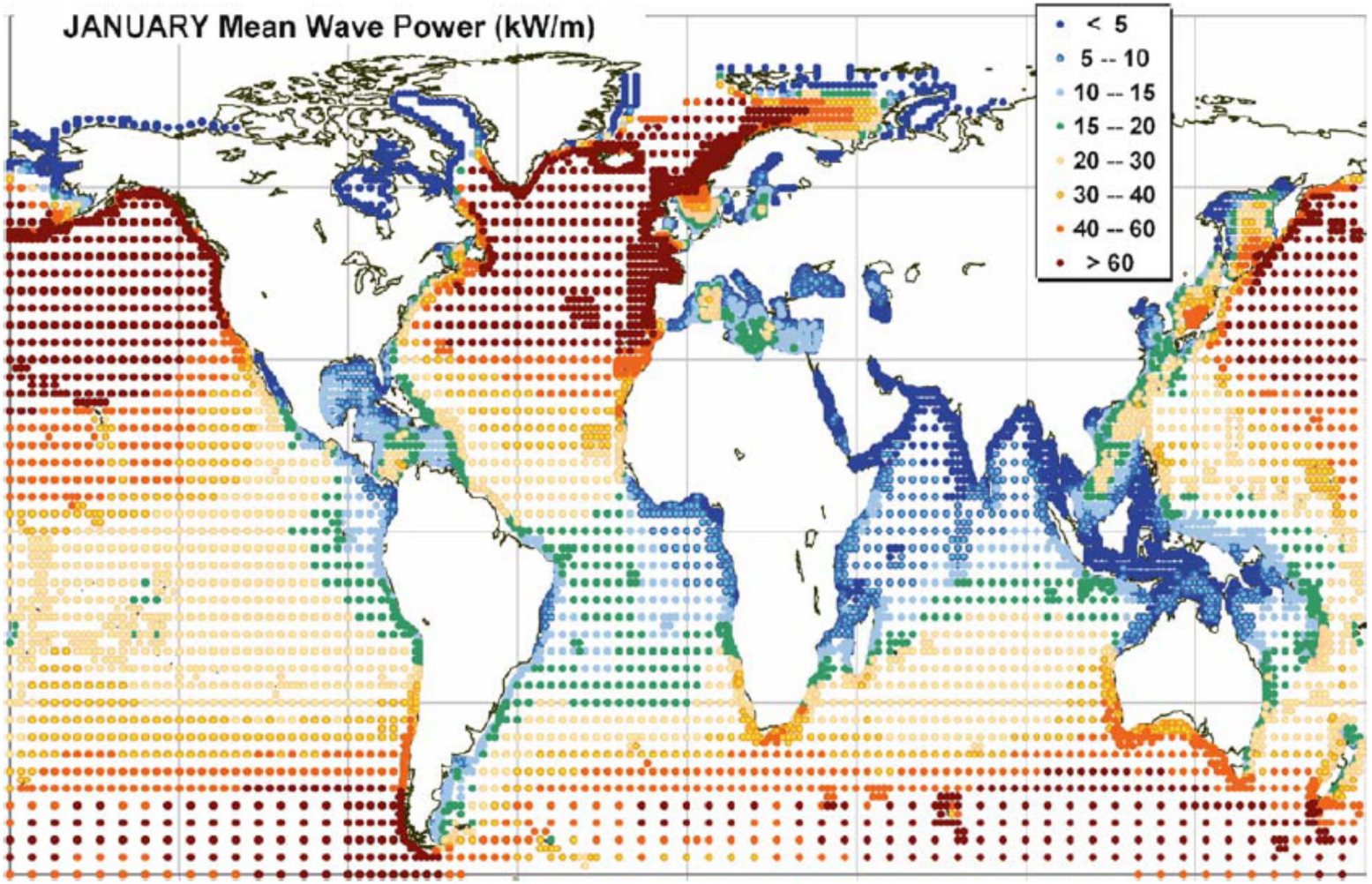
والشكل(٢-٥) يعطي صورة عن مستويات طاقة الأمواج الوسطية في كافة أنحاء العالم.

والشكل (٢-٦) يعطي مستويات طاقة الأمواج في المياه الأوروبية تحديداً.

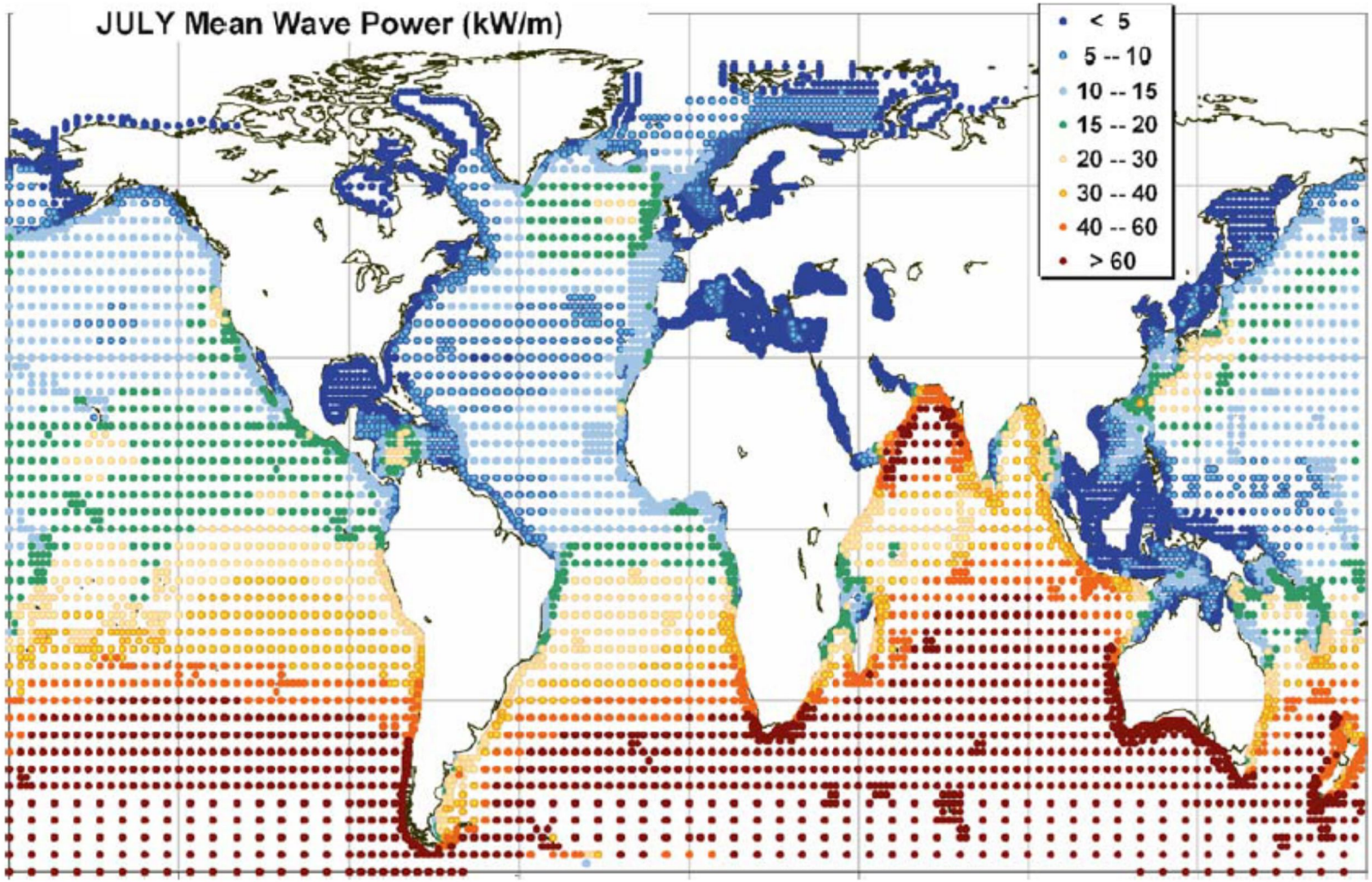
وجميع المعلومات السابقة مأخوذة من المركز الأوروبي للتنبؤ بالأمواج متوسطة المدى European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECWMF) والتي تعتمد النموذج الرياضي WAM وهي معايرة ومصححة من قبل Fugero OCEANOR.

نلاحظ من الشكل (٢-٣) في منطقة البحر المتوسط وعلى سواحل سورية تتراوح استطاعة الأمواج بين ٥ و١٠ كيلووات للمتر الواحد من عرض مقدمة الموجة وذلك في فصل الشتاء(شهر كانون الثاني).

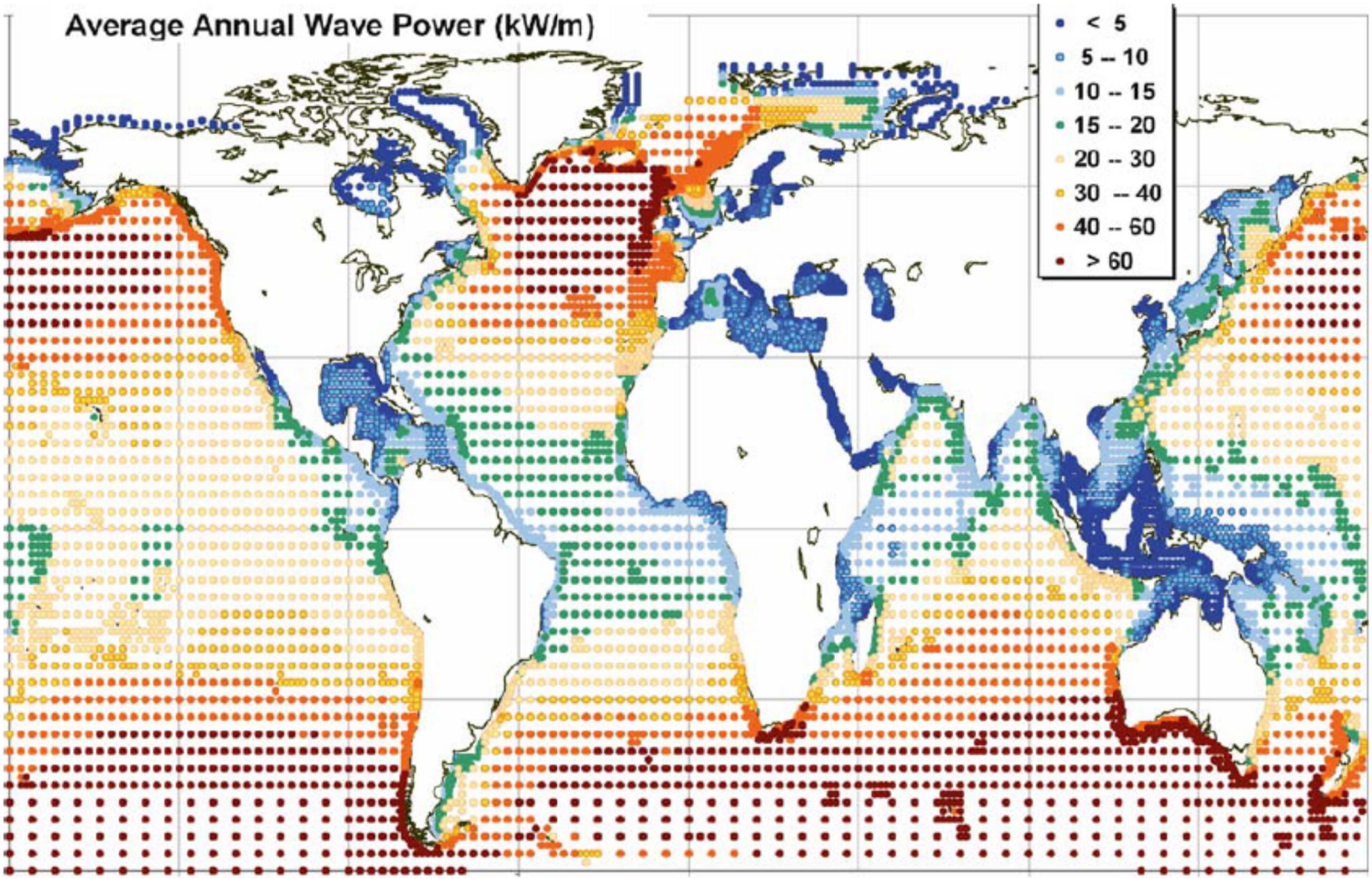
كما نلاحظ من الشكل (٢-٤) أن استطاعة الأمواج لا تتجاوز ٥ كيلووات للمتر الواحد من عرض مقدمة الموجة في فصل الصيف(شهر تموز).



الشكل(٢ - ٣) مستويات طاقة الأمواج الوسطية في شهر كانون الثاني في كل مناطق العالم مقدرةً بالكيلوات للمتر من عرض مقدمة الموجة.



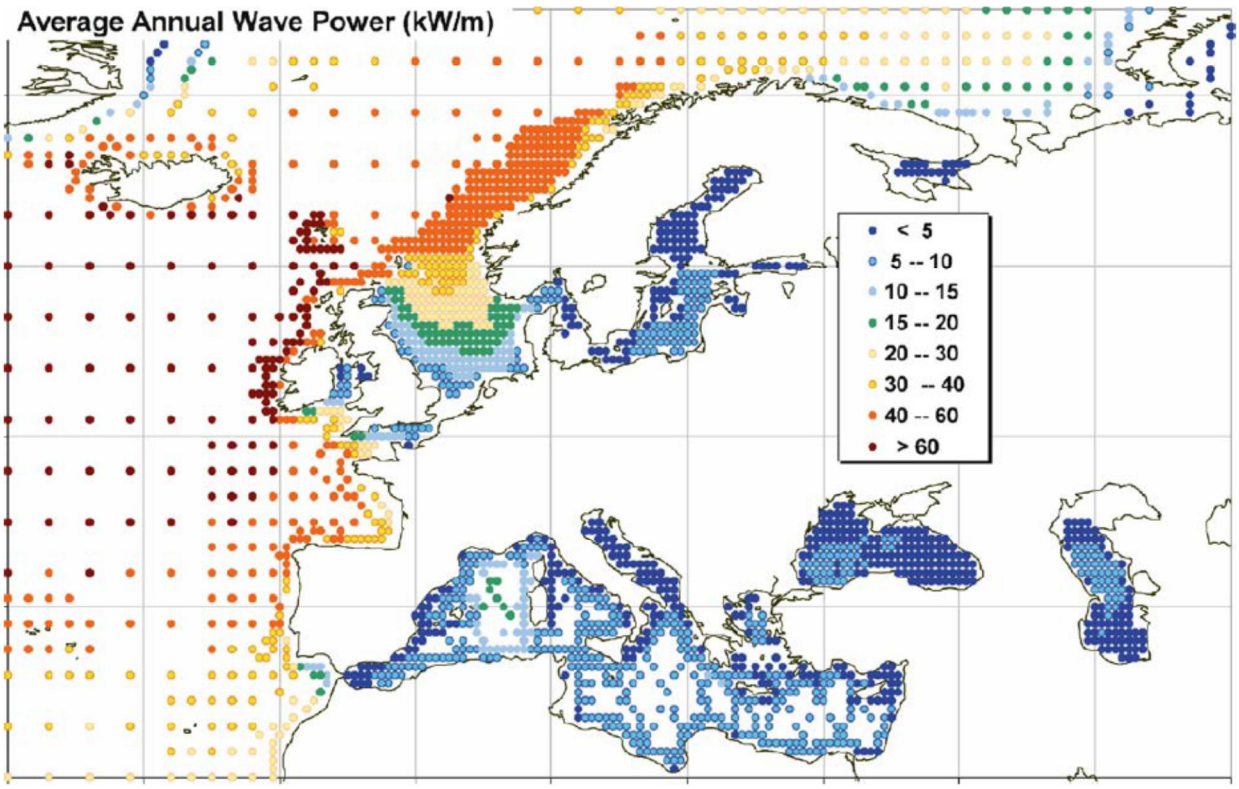
الشكل(٢ - ٤) مستويات طاقة الأمواج الوسطية في شهر تموز في كل مناطق العالم مقدرةً بالكيلوات للمتر من عرض مقدمة الموجة.



الشكل(٢ - ٥) مستويات طاقة الأمواج الوسطية السنوية في كل مناطق العالم مقدرةً بالكيلوات للمتر من عرض مقدمة الموجة.

نلاحظ من الشكل (٢-٥) أنه في منطقة البحر المتوسط وعلى سواحل سورية فإن استطاعة الأمواج هي تقريباً ٥ كيلووات للمتر الواحد من عرض مقدمة الموجة وذلك على مدار العام كله

يوضح الشكل(٢-٦) صورة أفضل لمستوى طاقة الأمواج على السواحل السورية والتي هي بحدود ٥ كيلووات للمتر الواحد من عرض مقدمة الموجة.



الشكل(٢-٦) مستويات طاقة الأمواج الوسطية السنوية في المياه الأوروبية مقدرةً بالكيلووات للمتر من عرض مقدمة الموجة.

إن القيم السابقة التي استنتجناها بالنسبة للبحر المتوسط والسواحل السورية من الأشكال السابقة هي كلها قيم تقريبية بشكل عام وفي الفصول اللاحقة سندرس قيم أدق بشكل أكبر للساحل السوري.

الفصل الثالث

تحويل طاقة الأمواج إلى طاقة كهربائية

Converting Wave Energy into Electrical Energy

إن عملية تحويل طاقة الأمواج إلى طاقة كهربائية مفيدة وسنتعرف على أهم التقنيات المبتكرة في هذا المجال والمستخدمة في العالم وميزات ومساوئ كل طريقة والتحديات التي تواجه المصمم في هذا المجال وكذلك سنذكر احصائيات تضعنا بصورة أنواع مبدلات طاقة الأمواج المستخدمة والشركات المصنعة لها والوضع الحالي لكلٍ منها فيما اذا كانت في طور التشغيل أم في طور البحث العلمي أم في طور التجريب.

تتم عملية تحويل طاقة الأمواج الى طاقة كهربائية عبر ما يسمى بمبدلات طاقة الأمواج (Wave Energy Converters WEC)

إن مبدلات طاقة الأمواج لها أشكال وأنواع كثيرة فمنها ما يحول طاقة الأمواج الى طاقة ميكانيكية ومن ثم تحول هذه الطاقة الميكانيكية الى طاقة كهربائية مفيدة وهي الحالة الأعم ومنها ما يحول طاقة الأمواج الى طاقة كهربائية مباشرةً وتسمى في هذه الحالة بمبدلات طاقة الأمواج المباشرة (Direct Wave Energy Converters)

وبالتالي قد يتواجد لدينا في عملية التحويل وسيط ما ميكانيكي أو هيدروليكي قد يكون الزيت أو الهواء وقد يلتغي وجود هذا الوسيط في مبدلات طاقة الأمواج المباشرة.

٣ - ١ -ميزات تحويل طاقة الأمواج لطاقة كهربائية The Advantages of Wave energy

١ - بسبب كثافة الاستطاعة العالية لطاقة الأمواج فهي تعد من أقل مصادر الطاقات المتجددة كلفةً على الإطلاق. [8]

٢ - طاقة الأمواج قابلة للتنبؤ بها أكثر من الشمسية والريحية ممايجعلها تعطينا إمكانية أفضل للوصل مع الشبكة الكهربائية.

٣ -تحويل طاقة الأمواج إلى طاقة كهربائية هي بالتأكيد من أفضل الطرق بيئياً فهي لاتصدر أي شيء من شأنه الإضرار بالبيئة

٤ - يمكن وضع مبدلات طاقة الأمواج إلى طاقة كهربائية في مكان بعيد عن الساحل بحيث تكون بعيدة عن مرأى الناظرين .

٥ -تعطينا مبدلات طاقة الأمواج أعلى مستويات لها في الشتاء حيث تكون الحاجة للكهرباء بأعلى مستوياتها.

٣-٢- مساوئ تحويل طاقة الأمواج لطاقة كهربائية Disadvantages of wave energy

١- السيئة الأساسية في هذا المجال هي كون هذا الموضوع جديد الى حدٍ ما وبالتالي فإن الدراسات والبحوث العلمية المتعلقة بطاقة الأمواج ضعيفة مقارنةً مع غيرها من الطاقات المتجددة التي وصل العلم فيها الى مستويات عالية جداً وكذلك الأمر بالنسبة للنماذج المركبة والمستخدمة فعلياً في بحار ومحيطات العالم فهي ضئيلة جداً ومازالت أغلب التقنيات قيد الدراسة والتجريب.

٢- السيئة الثانية هي ضرورة الاهتمام بدراسة معمقة لمقاومة المواد التي تصنع منها تجهيزات مبدلات طاقة الأمواج نظراً للظروف المحيطة وبخاصة ملوحة مياه البحر أو المحيط والتي تؤدي الى تآكلها وكذلك تأثير الأمواج العاتية القوية جداً والتي تحصل من حينٍ لآخر والتي قد تؤدي لانهيار مبدل طاقة الأمواج.

٣- تأثير طاقة الأمواج على الكائنات البحرية التي تعيش حول مكان تركيب مبدل طاقة الأمواج والذي قد يكون بحجم كبير جداً في بعض الحالات.

٣-٣- اختيار مبدلة طاقة الأمواج والتحديات التي تواجه المصمم Selecting the wave energy converter and the challenges which face the designer

يواجه المصمم الذي سيقوم باختيار المولد الكهربائي الأنسب في مجالنا عدداً من الصعوبات هي [9]

١- ان للأمواج طبيعة خاصة فهي، كما ذكرنا سابقاً، متغيرة المطال والزمن بشكل دائم ولذلك فإنه وعند اختيار أو تصميم المولد الكهربائي فإننا نختار مواصفاته تبعاً للحالة الأعم من قياسات الأمواج المتوفرة فهو يجب أن يتوافق مع مستويات الطاقة التي تحدث غالباً في منطقة التركيب (مثلاً على الساحل السوري تتراوح هذه المستويات بين ١ و١٠ كيلووات للمتر الواحد من عرض مقدمة الموجة) وفي بريطانيا على سبيل المثال فإن المستويات هي بين ٣٠ و٧٠ كيلووات للمتر من عرض مقدمة الموجة.

وفي الوقت نفسه يجب أن يأخذ المصمم بالاعتبار أنه سوف تأتي خلال السنة أو خلال عدة سنوات أمواج بمطال عالٍ جداً بسبب العواصف والرياح الشديدة ولذلك يجب اختيار المواد التي نصنع منها المولدات بعناية كبيرة بحيث تتحمل هذه الظروف العابرة والتي قد تؤدي في حال عدم دراستها الى انهيار المولد وتحطمه.

وإن هذه التغيرات التي تحدثنا عنها تؤدي أيضاً إلى خرج كهربائي غير منظم والذي يلزم معالجته باستخدام مراحل من دارات الكترونيات القدرة للحصول على الخرج الذي يمكن ربطه بالشبكة الكهربائية.

٢- يتغير اتجاه الأمواج من وقت لآخر وبالتالي يجب أن يضاف لمبدل طاقة الأمواج تجهيزات اضافية لتساعد هذا المبدل على التوجه باتجاه الأمواج وأن يكون في الوقت نفسه متناظر هندسياً.

الحل الآخر لمشكلة تغير اتجاه الأمواج هو تركيب مبدل طاقة الأمواج قريباً من الساحل لأن الأمواج تتعرض لعملية الانعراج (Diffraction) عند اقترابها من الساحل والتي بدورها تؤدي الى تحديد اتجاه الأمواج.

٣ - ٤ - تصنيف مبدلات طاقة الأمواجClassification of wave energy converters

يتم تصنيف مبدلات طاقة الأمواج بعدة طرق فيمكن تصنيفها حسب مكان تركيبها في البحر وبالتالي لدينا الساحلية (Shoreline Devices) والقريبة من الساحل(NearShore Devices) والبعيدة عن الساحل (Offshore Devices).

ويمكن تصنيفها أيضاً حسب التقنية التي اعتمدت في تصنيعها فلدينا في هذه الحالة العديد من الأنواع ولكن المستخدم منها معدود ومحدود ويمكننا حصره.

٣ - ٤ - ١ - التصنيف حسب مكان التركيب Site Classification

٣ - ٤ - ١ - ١ - التجهيزات الساحلية Shoreline Devices

تثبت هذه التجهيزات على الساحل أو تطمر في أرضية الساحل وعادةً تتميز هذه التجهيزات بسهولة التركيب والصيانة كما أنها لا تتطلب وسائل ربط بقاع البحر أو كابلات بحرية لنقل القدرة تحت الماء.

إن سيئة هذا النوع هو أن تركيبه على الساحل تحتاج لتحقيق بعض الشروط من حيث طبيعة التربة التي سيركب فيها الجهاز ومجالات المد والجزر في نقطة تركيب الجهاز كما أنها تؤثر على المنظر الطبيعي للساحل.[10]

أهم الأنواع التي تستخدم على الساحل هو العمود المائي المهتز Oscillating water column

٣ - ٤ - ١ - ٢ - التجهيزات القريبة من الساحل Near shore Devices

تركب هذه التجهيزات لعمق مياه متوسطة بحدود ٢٠ الى ٣٠ متر ولمسافات بحدود ٥٠٠ متر بعيدة عن الشاطئ . تتميز هذه التجهيزات بنفس مميزات التجهيزات الساحلية ولكنها تختلف عنها بكونها تتعرض لمستويات طاقة أمواج عالية.

٣ - ٤ - ١ - ٣ - التجهيزات البعيدة عن الساحل Off shore Devices

تستغل هذه التجهيزات مستويات طاقة الأمواج الأعلى المتواجدة في المياه العميقة والتي هي بعمق أكثر من ٤٠ متر , السعي الحالي هو للوصول الى تجهيزات بأصغر حجوم ممكنة والتي نستطيع من خلالها الحصول على استطاعات خرج عالية وذلك من خلال تركيب مصفوفات من هذه المبدلات على مساحة ممتدة من البحر أو المحيط.

٣ - ٤ - ٢ - تصنيف مبدلات طاقة الأمواج حسب التقنية المعتمدة في تصنيعها Technology Classification

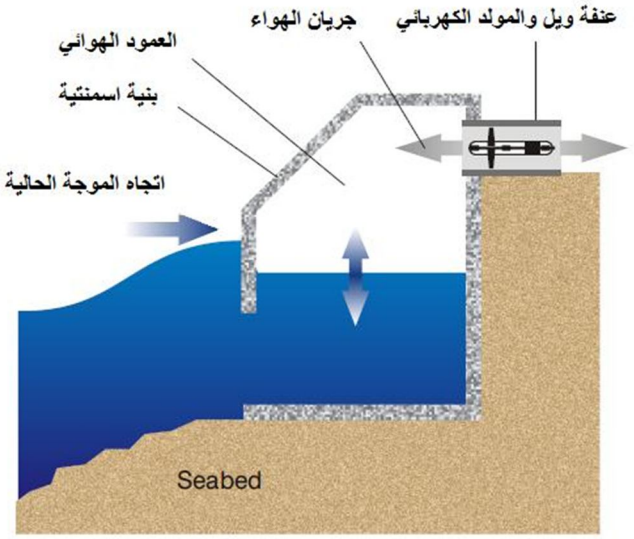
٣ - ٤ - ٢ - ١ - العمود المائي المهتز Oscillating Water Column OWC

تعتمد هذه التقنية على تصميم جهاز ينغمر جزء منه تحت الماء ويبقى جزء ظاهر فوق الماء، ويتشكل من خلال هذه البنية حجرة هوائية (Air Chamber) وهذه الحجرة مفتوحة من ناحية مياه البحر.[10]

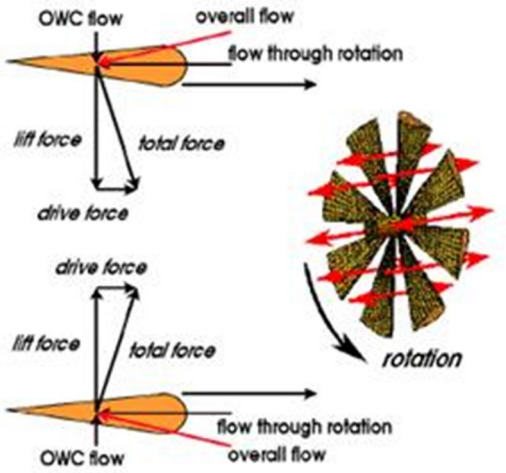
تحجز هذه الحجرة حجماً من الهواء , ينضغط هذا الهواء ويتخلخل تبعاً لحركة موجة البحر التي ترفع سوية الماء وتخفضها تحت الحجرة الهوائية , ثم يمر هذا الهواء المضغوط الى فتحة موجودة فوق العمود المائي والذي يؤدي بدوره الى تدوير عنفة موصولة مع مولد كهربائي.

عندما ينخفض مستوى المياه فإن ضغط الهواء يتناقص ويؤدي ذلك الى عودة الهواء بحركة عكسية عبر التوربين , يتم تصميم شفرات العنفة بحيث تدور باتجاه واحد في الحالتين في حالة انضغاط الهواء وتمدده وهناك العديد من التصميمات التي حققت ذلك بنجاح.

يبين الشكل (٣-١) رسماً توضيحياً لمكونات العمود المائي المهتز الأساسية ويبين الشكل (٣-٢) اتجاه حركة شفرات عنفات ويل (Well Turbine Blades) والتي تتحرك بالاتجاه نفسه كما ذكرنا في الحالتين.[11]



الشكل(٣-١) مكونات العمود المائي المهتز



الشكل(٣-٢) اتجاه حركة شفرات عنفة ويل المستخدمة في العمود المائي المهتز

تتميز الأعمدة المائية المهتزة بما يلي:

١ - الأبحاث الغزيرة التي تمت في هذا المجال كما أنه تم بناء المئات منها ونشرها بهدف الاستكشاف والتجريب.

٢ - تعتمد آليتها على جزء متحرك واحد مما يزيد وثوقيتها ويقلل الأعطال التي يمكن أن تحدث فيها.

٣ - يمكن تشغيل المحطة الميكانيكية والكهربائية فيها بسهولة ووضعها بالخدمة.

وهناك العديد من الشركات التي تعمل في مجال تصنيع الأعمدة المائية المهتزة نذكر منها على سبيل المثال

١ - شركة Oceanlinx :

وهي مختصة بالأعمدة المائية المهتزة بنفس الاسم Oceanlinx وتم تأسيس هذه الشركة عام ١٩٩٧ من قبل د.توم دينيس وكان اسم الشركة قبل ٢٠٠٧ Energetech Ausralia Pty Limited.

تلقت الشركة عام ١٩٩٩ منحة من الحكومة الاسترالية بمقدار ٧٥٠ ألف دولار استرالي لتطوير مشروع ساحل كامبيلا.

في آذار ٢٠٠٣ تم بناء وتجريب أول نموذج ناجح.[12]

في عام ٢٠٠٤ تلقت الشركة المذكورة منحة حكومية بمقدار ١.٢١ مليون دولار أسترالي للتطوير والبحث.

في ٢٠٠٦ تم انجاز مشروع ساحل كامبيلا.

في ٢٠١٠ تم تركيب مشروع نموذج MK3 .

ويبين الشكل (٣-٣) صور لمشروع MK3.

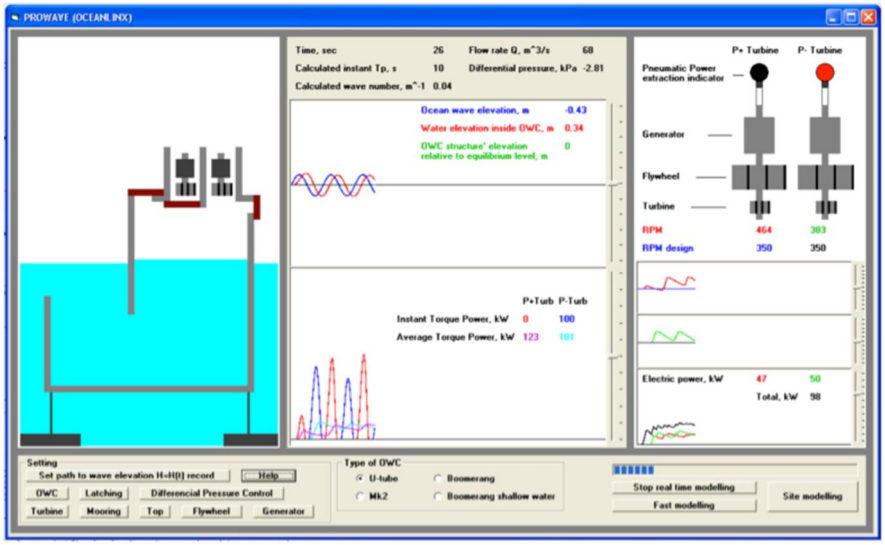
الشكل (٣-٣) مشروع MK3

والشكل(٣-٤) يبين صورة لمشروع MK1 الذي أنجز عام ٢٠٠٥ .

الشكل (٣-٤) مشروع MK1 من شركة Oceanlinx

من المنتجات الهامة أيضاً لشركة Oceanlinx والتي ما زالت قيد التجريب هو برنامج للكمبيوتر باسم Prowave خاص بحساب الاستطاعات التي يمكن أن ينتجها نظام الOWC من خلال بيانات تدخل للبرنامج على شكل ملف اكسيل مثلاً تتضمن ارتفاع وزمن الموجة لفترة معينة.

يبين الشكل (٣-٥) صورة لهذا البرنامج Prowave.



الشكل(٣-٥) برنامج Prowave الخاص بحساب استطاعة خرج ال OWC

٢ - شركة Wavegen

وهي شركة اسكتلندية تم انشاؤها عام ١٩٩٠ من قبل البروفسور آلان ويلز ومن ثم اشترتها شركة Voith Siemens and Hydro Power Generation.[13]

في عام ٢٠٠٠ أصبحت شركة Wavegen أول شركة تقوم بتركيب نموذج تجاري لمبدل طاقة أمواج وهو LIMPET (Land Installed Marine Energy Transformer).

ويبين الشكل (٣-٦) صورة للعمود المائي المهتز LIMPET المنتج من قبل Wavegen.

الشكل(٣-٦) LIMPET OWC by Wavegen

٣ - ٤ - ٢ - ٢ - المخمدات النقطية Point Absorbers

يعتمدالمبدأ الأساسي هنا على طوافة صغيرة بالحجم بالمقارنة مع طول الأمواج وتطفو بالقرب من سطح الماء أو على السطح , تمتص هذه الطوافات طاقة الأمواج بكل الاتجاهات باتباعها لحركة المياه على سطح البحر وقد يتوضع هذا الجهاز تحت المياه وتكون الحركة للأسفل والأعلى بسبب الضغط الناشئ عن حركة الأمواج للأعلى والأسفل.[9]
وبالتالي لدينا العديد من الأنواع المرتبطة بهذا الصنف من مبدلات طاقة الأمواج.
من أهم الشركات المصنعة للممتصات النقطية.

١ - شركة تقنيات طاقة المحيطات Ocean Power Technologies OPT

تعتمد تقنيتها بكل بساطة على الطوافة التي ترتفع وتهبط مع حركة المياه والتي تؤدي بدورها لتدوير نظام هديروليكي موصول مع المولد الكهربائي الذي سيمدنا بالتالي بالكهرباء عن طريق الكابلات تحت المياه.

كانت الانطلاقة الأولى للشركة عام ١٩٩٤ من قبل الدكتور جورج تايلور والدكتور جوزيف بيرنز ولها مركزا عمليات في أميركا وانكلترا.[14]

ويتفرع عنها كذلك تقنيات طاقة المحيط المحدودة في أوروبا وتقنيات طاقة المحيط BTY المحدودة في استراليا.

وقامت الشركة بالتعاون مع العديد من الشركات والمؤسسات الأكاديمية العالمية بتطوير منتجاتها بشكل دائم.

ويمكننا ادراج مشاريع الشركة التي قامت بها على الشكل التالي:

- **PB40 في أتلانتيك سيتي – نيو جيرسي:**

وهو باستطاعة ٤٠ كيلووات.

تم تجريب هذا النموذج على مدى ٢٤ شهر بنجاح وهو بطول اجمالي ٤٨ قدم أي بحدود ١٤ متراً وطوافة ذات قطر ١٤ قدم أي ٤ أمتار ونصف .

ويبين الشكل (٣-٧) صورة لهذا المشروع مركب في مياه المحيط الأطلسي.

الشكل (٣-٧) صور لمشروع PB40 المركب في أميركا

- **مشروع سانتونا في اسبانيا:**

باستطاعة ١.٣٩ ميغا وات وبالاعتماد على مخمدات نقطية من نوعي PB40 و PB150 تم انجاز هذا المشروع في مياه اسبانيا.

والشكل (٣-٨) يوضح صورة لهذا المشروع.

- **مشروع اسكتلندا:**

قامت هذه الشركة وبالتعاون مع الحكومة الاسكتلندية بتركيب مشروع في المياه الاسكتلندية باستطاعة ١٥٠ كيلوواط وبالاعتماد على مخمدات نقطية بتقنية PB150.

ويبين الشكل(٣-٩) صورة لهذا المشروع الضخم.

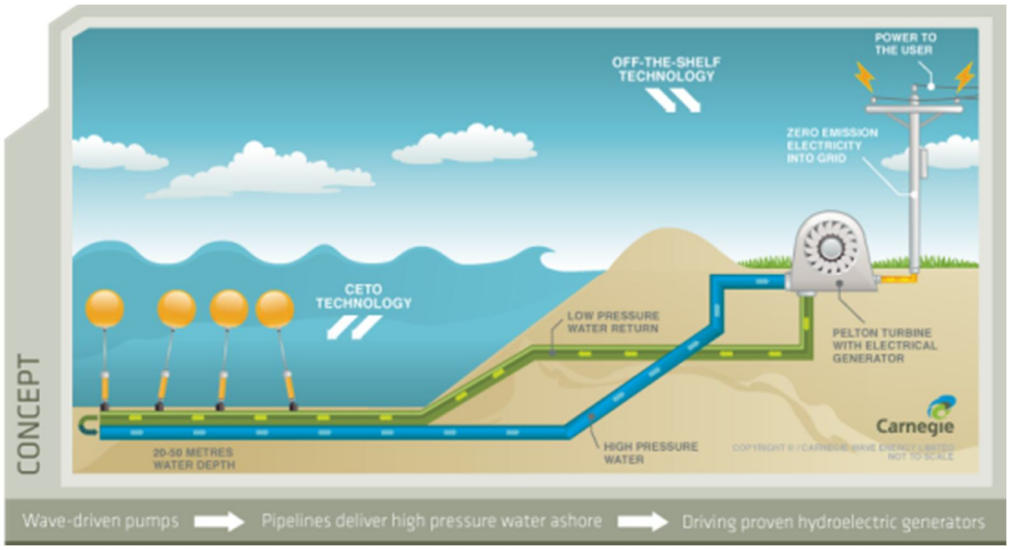
الشكل(٣-٨) صورة لمشروع الطوافة المركب في سانتونا في اسبانيا

الشكل(٣-٩) صورة لمشروع تقنيات طاقة المحيط المركب في اسكتلندا

بالاضافة الى المشاريع في أوريغون بأميركا وفي هايلي بانكلترا.

٢- شركة كارنيجي لطاقة الأمواج Carnegie Wave energy:

تصنع تجهيزات تسمى CETO تعتمد تقنيتها على نظام طفو تحت المياه يوصل براسية مرنة الى مضخة بسيطة والتي توصل بقاع البحر, وعادةً يتم وضع مصفوفة من ال CETO حيث تقود جميعها عنفة بيلتون واحدة Pelton Turbine, ويبين الشكل(٣-١٠) رسم توضيحي لتقنية ال CETO.[15]



الشكل(٣-١٠) رسم توضيحي لتقنية ال CETO.

- **أهم المشاريع التي تقوم بها حالياً شركة كارنيجي لطاقة الأمواج:**

١- مشروع بيرث لطاقة الأمواج في غرب استراليا.

Perth Wave Energy Project, Western Australia

٢- مشروع رونيون الفرنسي باستطاعة تصل ل١٥ ميغاواط.

La Réunion Wave Energy Project

٣- مشروع ايرلندا باستطاعة ٥ ميغاواط.

Ireland Wave Energy Project

٤- مشروع بيرمودا في أمريكا.

Bermuda Wave Energy Project

٥-مشروع ديساليناشين في غرب استراليا.

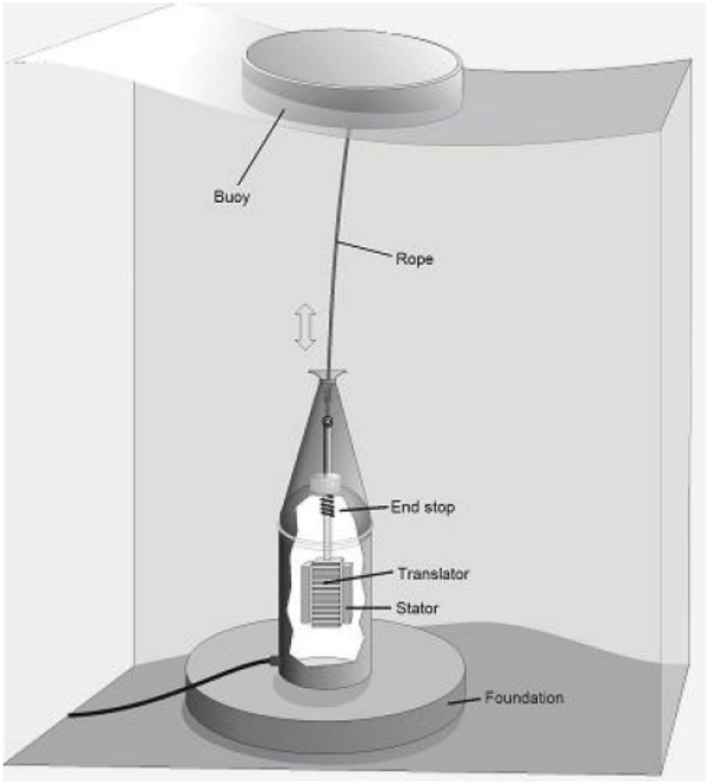
Desalination, Western Australia

٣- المولدات الخطية المثبتة بقاع البحر:Seabased's Linear Generator

تعتمد التقنية التي تصنعها هذه الشركة(Seabased) على مولد خطي يتحرك الجزء المتحرك فيه والذي هو المغناطيس الدائم مع حركة الطوافة الموجودة على سطح المياه بينما يكون هذا المبدل مربوط مع قاع البحر ويبين الشكل (٣-١١) توضيحاً للتقنية التي يعمل عليها هذا المبدل.[16]

وعادةً يتم تركيب مجموعة من هذه المولدات الخطية المتصلة مع بعضها بطريقة معينة كماهو الحال في مزارع العنفات الريحية.

وهناك ما يسمى بالتجهيزات المغلفة Encapsulated Devices حيث توضع كل التجهيزات ضمن الطوافة وذلك لتفادي حدوث أي تماس بين التجهيزات وبالأخص الكهربائية مع المياه.



الشكل (٣-١١) المولد الخطي المربوط بقاع البحر

٣-٤-٢-٣- التجهيزات التموُّرية Surge Devices

تستخرج هذه الأجهزة الطاقة من الحركة العرضية للجزيئات بالأمواج ويتم وضعها بالمياه السطحية قريباً من الساحل حيث أنه في المياه السطحية تصبح حركة الجزيئات التي كانت حركة دائرية في المياه العميقة مثل القطوع الناقصة والأفقية (تموُّرية). [9]

عادةً تكون هذه التجهيزات قلابات متمحورة حول دوار وأمثلة هذه التجهيزات لدينا:

١- مولد أويستر Aquamarine Power's Oyster

وهي مولدات كبيرة باستطاعة تصل ل ٢.٤ ميغا واط وهي قلاب وحيد حركته تفعِّل محركاً هيدروليكياً يدير بدوره عنفة ومولد يولد الطاقة الكهربائية.

وقد تم تركيب نموذج باستطاعة ٣١٥ كيلوواط في اسكتلندا عام ٢٠٠٩ وهو المشروع الأول المسمى أويستر ١ , ومشاريع الشركة المستقبلية ستركب في ٢٠١٢ و٢٠١٣ في نفس الساحل في اسكتلندا للحصول على مزرعة من المولدات التي تعتمد على مبدأ أويستر.

وهناك نوايا لتركيب مجموعة من هذه المولدات في سواحل ايرلندا وأمريكا.

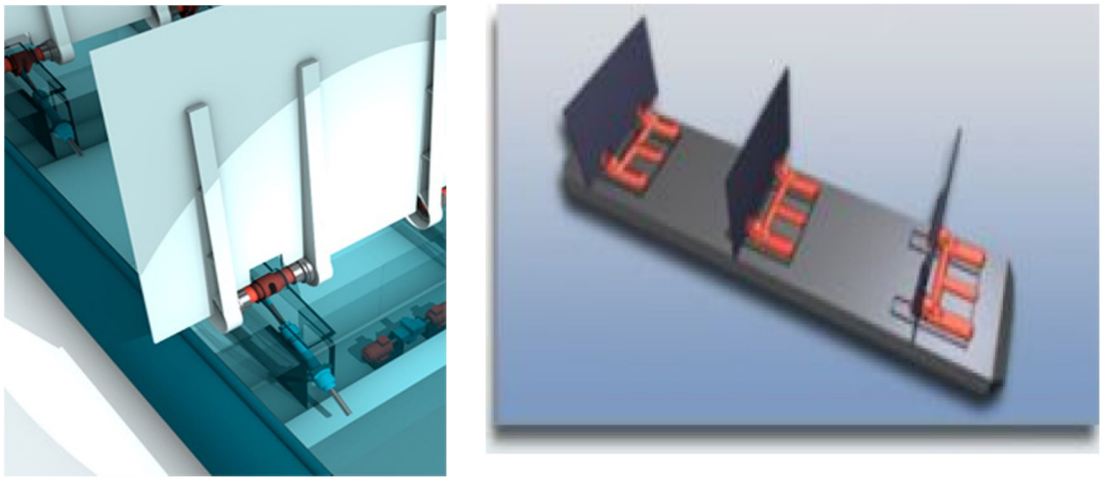
ويبين الشكل (٣-١٢) قلاب أويستر مركباً في البحر. [17]

الشكل (٣-١٢) قلاب أويستر مركب في البحر.

٢- بكرة الأمواج:AW-Energy's Wave Roller

وهو جهاز مكون من عدة قلابات يوضع على واجهة بحرية واحدة تتوضع في قاع المياه , وحركة كل قلاب تفعل مضخات متصلة بمكابس والتي بدورها تقود محركاً هيدروليكياً ومولداً كهربائياً.

ويبين الشكل (٣-١٣) رسمين توضيحيين لبكرة الأمواج. [18]



الشكل (٣-١٣) بكرة الأمواج.

٣-٤-٢-٤- التجهيزات المخمّدة(الموهنة): Attenuator/Contouring Devices

تتوضع هذه التجهيزات بشكل طوافة على سطح مياه المحيط أو البحر وبشكل موازي لاتجاه الأمواج فتركب الأمواج ركوباً ، عندما تأتي الموجة على طول هذا الجهاز فإنها تسبب حركة معينة داخل الجهاز وتولد بذلك الطاقة المطلوبة. [9] وأهم تطبيقات هذا النوع هو التالي:

١- البيلاميس (أفعى البحر) Pelamis

تعتمد هذه التقنية على تركيب سلسلة من الاسطوانات الفولاذية عددها أربع اسطوانات وتوصيلها مع بعضها من خلال وصلات ذات مفاصل وتشكل مع بعضها ما يشبه الدودة أو الأفعى وتثبت هذه الاسطوانات الى قاع البحر و عندما تعبر الامواج على طول الجهاز فإن القطع تتحرك بالنسبة لبعضها البعض ويؤدي ذلك لتفعيل اسطوانات هيدروليكية في الوصلات التي بدورها تضخ زيتاً بضغطٍ عالٍ ليقود محركاً هيدروليكياً والذي بدوره يدور المولد الكهربائي.[19]
ويبين الشكل (٣-١٤) بيلاميس مركبة في المحيط.

الشكل (٣-١٤) بيلاميس مركبة في المحيط

أهم المشاريع التي قامت بها شركة بيلاميس لطاقة الأمواج:

- مشروع E.ON:

وهو مركب في المملكة المتحدة وهو مشروع تجريبي باستطاعة ٧٥٠ كيلووات.
ويبين الشكل (٣-١٥) موقع التركيب وشكل هذا المولد وهو مركب في المحيط.

الشكل (٣-١٥) مشروع EON من شركةPelamis wave power

- مشروع Aegir – Shetland في اسكتلندا:

يشغل هذا المشروع مساحة ١٠ كيلومتر مربع قرب الساحل في اسكتلندا وهو عبارة عن ٢٦ مولد أفعى بحر كل منها باستطاعة ٧٥٠ كيلووات وهو قيد التطوير حتى اللحظة.

- مشروع CEO at Aguçadoura:

وهو مشابه للسابق ولكنه يقع شمال البرتغال على بعد ٥ كيلومتر من الساحل الأطلسي هناك وهو باستطاعة ٢٠ ميغاوات أيضاً.

- مشروع Bernera Wave Farm في اسكتلندا :

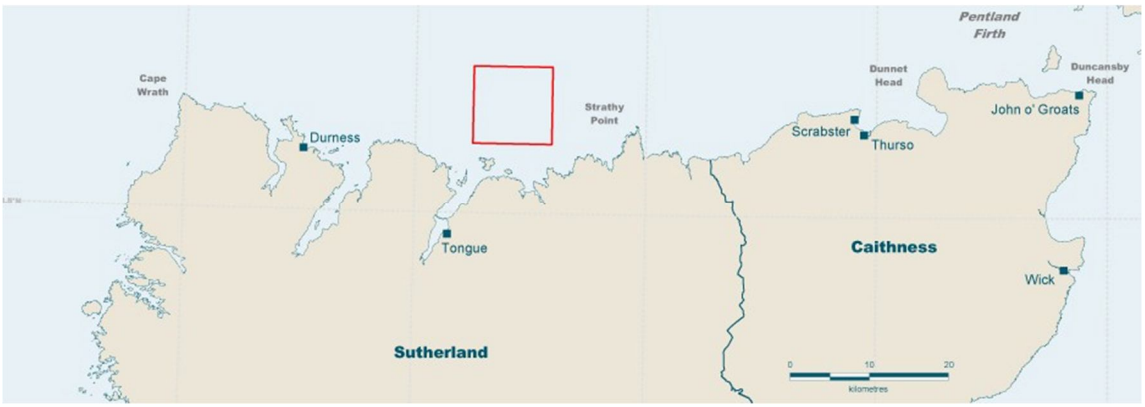
يتوضع المشروع على الساحل الغربي لبيرنيرا في اسكتلندا وهو باستطاعة ٢٠ ميغاوات أيضاً.

مشروع Farr Point Wave Farm:

يتوضع في الساحل الشمالي لجزيرة ساذرلاند الاسكتلندية وهو مقسم لطورين:

الطور الأول باستطاعة ٧.٥ ميغاوات والطور الثاني باستطاعة ٥٠ ميغاوات.

ويبين الشكل (٣-١٦) موقع هذا المشروع.



الشكل (٣-١٦) موقع مشروع Farr Point Wave Farm

ويبين الشكل (٣-١٧) رسم توضيحي لمزرعة من مجموعة من أفاعي البحر.

الشكل (٣-١٧) رسم توضيحي لمزرعة مكونة من مجموعة أفاعي بحر.

الجدول (٣-١) يعطي فكرة عامة عن امكانية استخدام هذا النوع من المولدات في مكان ما.حيث يبين هذا الجدول ارتفاعات الأمواج وأدوارها الأنسب لتركيب هذا النوع وكم الاستطاعة الذي يمكننا الحصول عليه عند هذه الارتفاعات والأدوار.

الجدول (٣-١) ارتفاعات وأدوار الأمواج والاستطاعة التي يمكن الحصول عليها باستخدام أفعى البحر

Significant wave height (H_{m0}, m) \ Power period (T_{pow}, s)	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0
0.5	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle
1.0	idle	22	29	34	37	38	38	37	35	32	29	26	23	21	idle	idle	idle
1.5	32	50	65	76	83	86	86	83	78	72	65	59	53	47	42	37	33
2.0	57	88	115	136	148	153	152	147	138	127	116	104	93	83	74	66	59
2.5	89	138	180	212	231	238	238	230	216	199	181	163	146	130	116	103	92
3.0	129	198	260	305	332	340	332	315	292	266	240	219	210	188	167	149	132
3.5	-	270	354	415	438	440	424	404	377	362	326	292	260	230	215	202	180
4.0	-	-	462	502	540	546	530	499	475	429	384	366	339	301	267	237	213
4.5	-	-	544	635	642	648	628	590	562	528	473	432	382	356	338	300	266
5.0	-	-	-	739	726	731	707	687	670	607	557	521	472	417	369	348	328
5.5	-	-	-	750	750	750	750	750	737	667	658	586	530	496	446	395	355
6.0	-	-	-	-	750	750	750	750	750	750	711	633	619	558	512	470	415
6.5	-	-	-	-	750	750	750	750	750	750	750	743	658	621	579	512	481
7.0	-	-	-	-	-	750	750	750	750	750	750	750	750	676	613	584	525
7.5	-	-	-	-	-	-	750	750	750	750	750	750	750	750	686	622	593
8.0	-	-	-	-	-	-	-	750	750	750	750	750	750	750	750	690	625

المنطقة الملونة باللون الأحمر هي المنطقة الأنسب لاستخدام هذا النوع وهي تعطي الاستطاعة الكاملة ٧٥٠ كيلووات.

للأسف فإن المنطقة الساحلية السورية تخضع لأمواج بارتفاعات أقل من متر في أغلب أيام السنة ولذلك فإن هذا النوع غير قابل للاستخدام في منطقتنا.

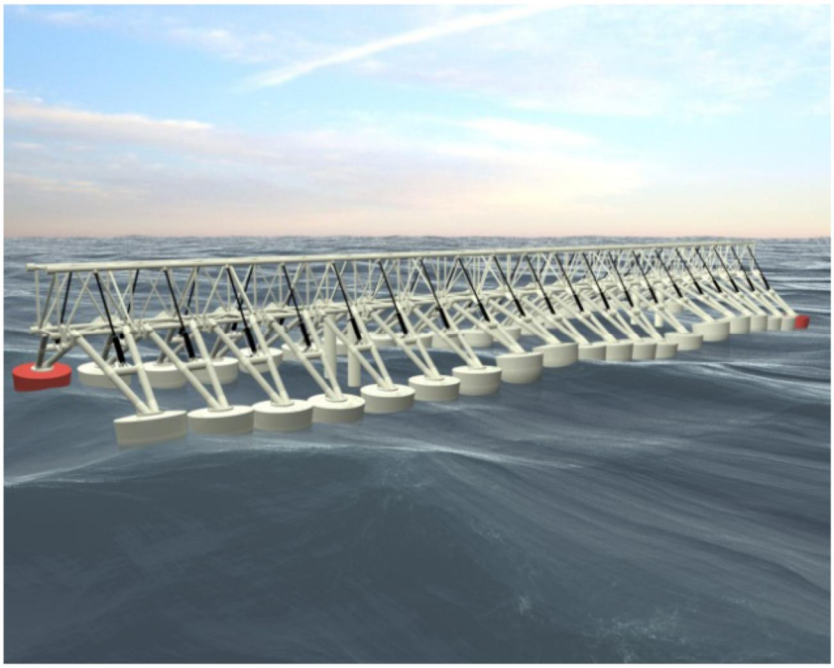
٢- نجمة الأمواج Wave Star Energy

وهي عبارة عن سلسلة من الطوافات مركبة مع بعضها البعض بشكل طولي وعند عبور الموجة تحت البنية فإنها تؤدي الى رفع الطوافة المستقلة كلاً على حدة وكل واحدة من هذه الطوافات تقود مضخة هيدروليكية وجميعها تؤدي بالنهاية لمحرك هيدروليكي ومولد كهربائي.[20]

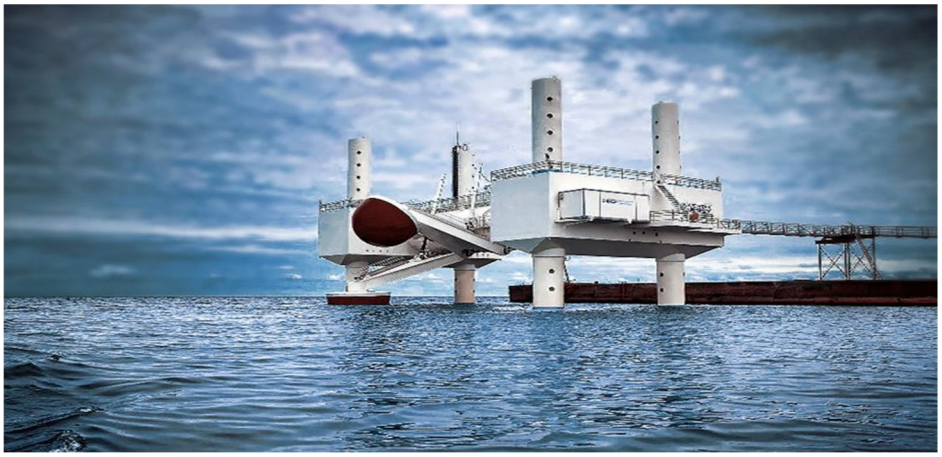
وقد تم تجريب نظام مصغر ١٠ مرات في الدنمارك عام ٢٠٠٦

والشكل (٣-١٨) يبين لنا رسماً توضيحياً لنجمة الأمواج .

والشكل (٣-١٩) يبين صورة واقعية لطوافة من طوافات نجمة الأمواج.



الشكل (٣-١٨) رسم يوضح نجمة الأمواج



الشكل(٣-١٩) طوافة من طوافات نجمة الأمواج

٣-٤-٢-٥- التجهيزات المفيضة:Overtopping Devices

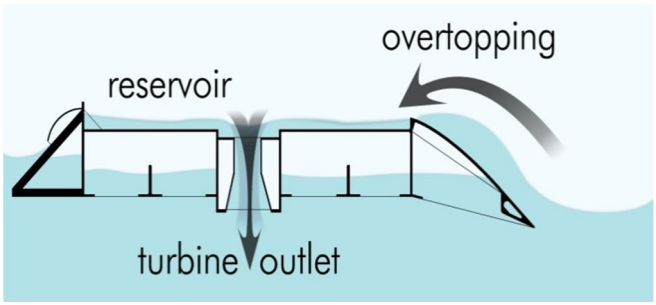
تعتمد هذه التقنية على وجود انحدار معين يؤدي لصعود الأمواج القادمة لتدخل في خزان مياه يكون أعلى من ارتفاع الأمواج الطبيعي حيث يسمح فيما بعد للأمواج بالعودة للبحر من خلال عنفات سفلية.

والشكل (٣-٢٠) يبين لنا مبدأ عمل التجهيزات المفيضة.

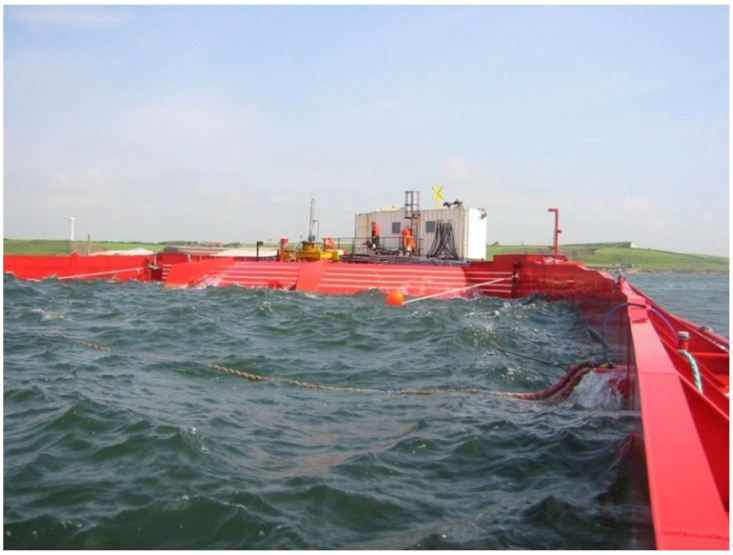
ومن أهم المنتجات في هذا المجال نذكر التالية:

١- تنين الأمواج Wave Dragon:

وهو جهاز يوضع فوق سطح المياه ويتكون من عاكسين يجمعان الأمواج القادمة لتجميعها في الخزان ومنه الى البحر مرة أخرى عن طريق العنفات. يبين الشكل (٣-٢١) هذا الجهاز.[21]



الشكل(٣-٢٠) مبدأ عمل التجهيزات المفيضة.



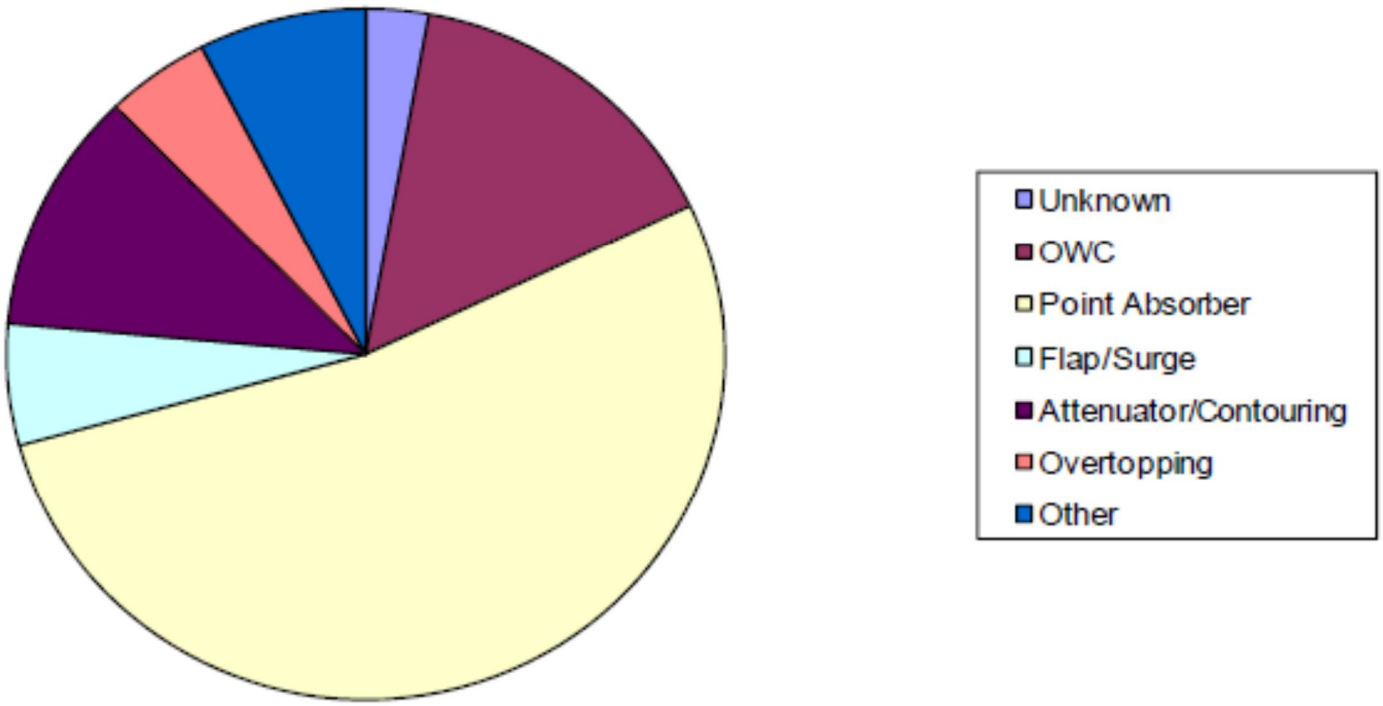
الشكل (٣-٢١) تنين الأمواج.

هناك مجموعة من مشاريع تنين الأمواج مركبة في كلٍ من الدانمارك والبرتغال.

يبين لنا الشكل (٣-٢٢) رسماً توضيحياً لتقسيمات تجهيزات طاقة الأمواج المستخدمة في العالم.

حيث نلاحظ فإن الطوافات تحتل المرتبة الأولى من ناحية الأهمية ومدى الاستخدام بنسبة ٦٠ بالمئة ويليه كل من الاعمدة المائية المهتزة والتجهيزات المخمدة ومن ثم الأنواع الأخرى.

ويبين الجدول (٣-٢) تصنيف تجهيزات مبدلات طاقة الأمواج والحالة التطويرية لكل من هذه الأجهزة وذلك كماهو الحال في شهر كانون الثاني عام ٢٠١٠.



الشكل(٣-٢٢) تقسيمات تجهيزات طاقة الأمواج حسب مجال استخدامها عالمياً.

الجدول (٣-٢) تصنيف تجهيزات مبدلات طاقة الأمواج والوضع التطويري لكل منها (كانون الثاني ٢٠١٠)

Company	Technology	Web site	Type	Status
Kinetic Wave Power	PowerGin	http://www.kineticwavepower.org	5	1
Kobe University		http://ci.nii.ac.jp/naid/110007085589	2	2
Lancaster University	WRASPA	http://www.lancs.ac.uk/fas/engineering	2	2
Langlee Wave Power	Langlee System	http://www.langlee.no/	3	2
Leancon Wave Energy	MAWEC	http://www.leancon.com/	1*	2
Manchester Bobber	Manchester Bobber	http://www.manchesterbobber.com/	2*	2
Motor Wave	Motorwave	http://www.motorwavegroup.com	6	3
Muroran Institute of Technology	Pendulor	http://www.muroran-it.ac.jp	3	4
Nautilus	Wave Energy Convertor	http://nautiluswaveenergy.com	2	3
Neptune Renewable Energy Ltd	Triton	http://www.neptunerenewableenergy.com	2	3
Neptune Systems	MHD Neptune		2	1
Norwegian Uni of Sci. & Tech.	CONWEC		1	2
OceanEnergy Ltd	Ocean Energy Buoy	http://www.oceanenergy.ie/	1	4
Ocean Harvesting Technologies	Ocean Harvester	http://oceanharvesting.com/	2	2
Ocean Motion International	OMI WavePump	http://www.oceanmotion.ws/	2*	2
Ocean Navitas	Aegir Dynamo	http://www.oceannavitas.com/	2	2
Ocean Power Technologies	PowerBuoy	http://www.oceanpowertechnologies.com/	2	4
Ocean Wave Energy Company	OWEC	http://www.owec.com/	2*	2
Ocean Wavemaster Ltd	Wave Master		4	2
Ocean Wind and Wave Energy	Hybrid Wave Power Rig		1*	2
Oceanic Power		http://www.oceanicpower.com		2
Oceanlinx (formerly Energetech)	Denniss-Auld Turbine	http://www.oceanlinx.com.au	1*	4
Oceantec Energías Marinas, S.L.	OCEANTEC WEC	jpablo@robotiker.es	2	4
Offshore Islands Limited	Wave Catcher	http://www.offshoreislandslimited.com	2	1
Offshore Wave Energy Ltd	(the Grampus)	http://owel.co.uk/owel.htm	6	2
RECon	MRC 1000	http://www.orecon.com/	1*	3
Pelagic Power AS	PelagicPower	http://pelagicpower.com	2*	3
Pelamis Wave Power	Pelamis	http://www.pelamiswave.com/	4	5
Protean Power	Protean	http://www.proteanpower.com	2	3
Renewable Energy Pumps	Wave Water Pump (WWP)	http://www.renewableenergypumps.com/	2*	1
Resolute Marine Energy	AirWec & SurgeWec	http://www.resolute-marine-energy.com/	2	3
Sara Ltd	MWEC	http://www.sara.com/rae/ocean_wave.html	2	1
SDE	S.D.E	http://www.sde.co.il/	2	3
Sea Power International AB	Streamturbine	http://www.seapower.se/	5	2
Seabased AB	Linear generator	http://www.seabased.com/	2	4
SEEWEC Consortium	FO^3 device/ Buldra	http://www.seewec.org/index.html	2	4
SeWave Ltd	OWC	http://www.sewave.fo/	1	1
SRI International	EPAMT	http://www.hyperdrive-web.com	2	3
Straumekraft AS	Winch operated buoy	http://www.straumekraft.no	2	3
SurfPower	SurfPower	http://www.surfpower.ca/	2	2
Swell Fuel	Lever Operated Pivoting Float	http://swellfuel.com	2	3
SyncWave	SyncWave	http://www.syncwavesystems.com	2	2
Tonchev	Coastline Wave Power Plant	http://www.tonchev.org	2	1
Trident Energy Ltd	The Linear Generator	http://www.tridentenergy.co.uk	2*	3
Wave Dragon	Wave Dragon	http://www.wavedragon.net	5	3
WAVEenergy AS	Seawave Slot-Cone Generator	http://waveenergy.no	5	3
Wave Energy Centre	Pico plant	http://www.pico-owc.net	1	4
Wave Energy Technologies Inc.	WET EnGen™	http://www.waveenergytech.com	2*	3
Wave Energy Technology	(WET-NZ)	http://www.wavenergy.co.nz/		
Wave Star Energy ApS	Wave Star	http://www.wavestarenergy.com/	4	4
Waveberg Development	Waveberg	http://www.waveberg.com	2*	3
Wavebob Limited	Wavebob	http://www.wavebob.com	2	3
Wavegen	Limpet & Breakwater Turbine	http://www.wavegen.com/	1, 1*	4
WavePlane Production	Wave Plane	http://www.waveplane.com	5	4
WindWavesAndSun	WaveBlanket	http://www.windwavesandsun.com	4	1

Key:
Types: 1 -OWC; 2 - point absorber; 3 - surge/flap; 4 - attenuator/contouring; 5 overtopping; 6 other; * multiple units on one platform
Status: 1 - theoretical; 2 - wave tank tests on model; 3 - small scale tests in sea; 4 -demonstration prototype; 5 - commercial deployment

الفصل الرابع

تجارب دول العالم في مجال طاقة الأمواج

The Global Experiments in the Wave Energy field

٤ - ١ - مقدمة:

خطت دول العالم خطوات كبيرة في مجال توليد الطاقة الكهربائية من طاقة الأمواج على الصعيدين العلمي والعملي التطبيقي.

وقد قامت العديد من حكومات الدول والتكتلات الدولية بدعم المشاريع الصغيرة والكبيرة في هذا المجال وأدى ذلك للحصول على منتجات منها ما ركب وبدأ استخدامه والاستفادة منه بشكل عملي ومنها مازال قيد التجريب والتطوير.

تعتبر اسكتلندا واستراليا وايرلندا والولايات المتحدة الأمريكية ودول الاتحاد الأوروبي بشكل عام اضافة لليابان من أهم الدول التي شاركت في منظومة توليد الطاقة الكهربائية من طاقة الأمواج وفي تطويرها والاضافة عليها.

سنأتي في هذا الفصل على شرح لتجارب أهم الدول التي كان لها الأثر الواضح في هذا المجال بصورة عامة ثم سنضيق دراستنا في الفصل الذي يليه الى الدول التي قامت بدراسات مشابهة لدراستنا هذه والتي تتعرض لدراسة بحار مغلقة مثل البحر الأسود وبحر الشمال وبحر البلطيق , وستكون هذه الدراسات بمثابة دراسات مرجعية سنعتمد عليها بشكل كبير للحصول على نتائج مفيدة في الجزء العملي من هذا المشروع.

٤ - ٢ - الاتحاد الأوروبي:

قام الاتحاد الأوروبي بدور الداعم الفاعل للنشاطات المتعلقة بطاقة الأمواج في عدد من المناطق لعدة سنوات ومن هذه النشاطات نذكر[9]:

١ - التعاون بين المنظمات القائدة والمعاهد عبر الشبكة الأوروبية لطاقة الأمواج

٢ - المساعدة المباشرة لتطوير المشاريع المنفصلة مثل الأعمدة المائية المهتزة الساحلية وتنين الأمواج ومبدل طاقة الأمواج البديل ذو المردود الاقتصادي العالي.

٣ - الدراسات غير التقنية المتعلقة بطاقة الأمواج عبر التسويق والتخطيط المتعلق بها.

٤ - البرامج التعاونية التي تركز على التقنيات والمفاهيم الجديدة لمبدلات طاقة الأمواج.

٥ - دعم الزمالة الأوروبية لطاقة الأمواج داخل وخارج أوروبا.

٤ - ٣ - دور الوكالة الدولية للطاقة :

في عام ٢٠٠١ أبرمت الوكالة الدولية للطاقة اتفاقية هامة حول طاقة الأمواج والموقع التالي هو الموقع الخاص بهذه الاتفاقية على شبكة الانترنت:http://www.iea-oceans.org/

وهذه الاتفاقية تمثل مرجعية الدول المشتركة فيها بالأبحاث والتطوير الخاصة بطاقة الأمواج وكذلك الأمر بالنسبة لمصادر المعلومات وتبادلها.

بدأت الاتفاقية بثلاث دول هي الدانمارك والبرتغال والمملكة المتحدة ومن ثم أصبحت الدول المشاركة ١٩ دولة.

وتمتلك هذه الاتفاقية أربعة نشاطات أساسية هي التالية:

١ -مراجعة وتدقيق وتبادل المعلومات.

٢ -تطوير التدريبات المطلوبة لتجريب مبدلات طاقة الأمواج وتقييمها.

٣ -ربط محطات التوليد بطاقة الأمواج بالشبكات الكهربائية.

٤ -دراسة التأثيرات البيئية لطاقة الأمواج وطاقة المد والجزر.

٤ - ٤ - استراليا:

قامت الحكومة الاسترالية الاتحادية من خلال برنامج طاقاتها المتجددة بدعم طاقة الأمواج ويأتي الدعم أيضاً من خلال حكومات الولايات.

وتقوم استراليا بمشروع هام جداً وضخم للحصول على استطاعة ١٩ ميغاوات من طاقة الأمواج من خلال شركة تقنيات طاقة المحيطات Ocean Power Technologies.

حصلت شركة كارنغي لطاقة الأمواج على ١٢.٥ مليون دولار استرالي اعانة من حكومة استراليا الغربية لمشاريعها.

هناك العديد من الشركات العاملة في هذا المجال في استراليا ولكن هناك ٣ شركات تعمل بالمشاريع الضخمة وهي التالية:

- أنظمة بايوباور Biopower Systems
- كارنغي لطاقة الأمواج Carnegie Wave energy
- أويشينلينكس Oceanlinx

٤ - ٥ - كندا :

بدأ الاهتمام بطاقة الأمواج في كندا في عام ٢٠٠٨ عندما قام البرنامج الفدرالي الكندي لأبحاث الطاقة برصد ميزانية لثلاثة أعوام لدعم أبحاث وتطوير طاقة الأمواج.

ينصب أكثر الاهتمام الكندي في مجال طاقة المد والجزر بسبب وجود مصدر عالي كما هو الحال في خليج فاندي Bay of Fundy ولكن هناك أيضاً العديد من الابداعات قامت بها شركات متخصصة في مجال طاقة الأمواج منها:

- تقنيات طاقة الأمواج Wave energy Technologies

قامت بتجريب مشروع غير تجاري باستطاعة ٢٠ كيلوواط في خليج ساندي في نوفا سكوتيا Sandy Cove, Nova Scotia.

- سينك ويف SyncWave

تخطط لتطوير نموذج أولي في الساحل الغربي لجزيرة فانكوفر عام ٢٠١١

٤ - ٦ - الصين :

ركزت الصين منذ بداية الثمانينات في أبحاثها على الأعمدة المائية المهتزة الثابتة والطافية.

في عام ١٩٩٥ استطاع معهد غوانغزو لتحويل الطاقة Guanghzhou institute of energy conversion أن يطور ويركب طوافات استكشاف بعدد ٦٥٠ على الساحل الصيني وصدر بعضاً منها لليابان.

ومن أهم المشاريع الأخرى في الصين نذكر ما يلي:

- عمود مائي مهتز ساحلي في شانوي في مقاطعة غوانغدونغ ويتكون من حجرتين هوائيتين بعرض اجمالي ٢٠ متر وباستطاعة ١٠٠ كيلووات وقد تم انجازه في ١٩٩٩.
- عمود مائي مهتز باستطاعة ٥ كيلووات وتم انجازها بالتعاون مع اليابان.
- عمود مائي مهتز تجريبي ساحلي باستطاعة ٣ كيلووات مركب في جزيرة داوانشان (Dawanshan Island) ومن ثم تم تحديثه ليصبح باستطاعة ٢٠ كيلووات.

٤ - ٧ - الدانمارك:

لاتمتلك الدانمارك مصدر طاقة أمواج كبير جداً ولكنها تمتلك أحد أهم البرامج الحكومية الداعمة مالياً لطاقة الأمواج منذ عام ١٩٩٨.

تمتلك الدانمارك سبع محطات تجريبية في البحر اعتماداً على خمس مفاهيم مختلفة وهذه المحطات هي:

١ - محطة الطاقة الطافية بوسيدون Poseidon Floating power plant

وهو مشروع هجين يحوي على مبدلات طاقة أمواج وعنفات ريحية بنفس الوقت.

ويبين الشكل (٤ - ١) صورة لهذه المحطة [22]

الشكل (٤ - ١) محطة الطاقة الطافية بوسيدون في الدانمارك

٢ - نجمة الأمواج

والشكل (٤-٢) يوضح هذا المشروع.

الشكل (٤-٢) نجمة الأمواج في الدانمارك.

٣- تنين الأمواج بوزن ٢٧٣ طن وذلك بنموذج مصغر ١٠ مرات في Nissum Brending ويبين الشكل (٤-٣) هذا النموذج.

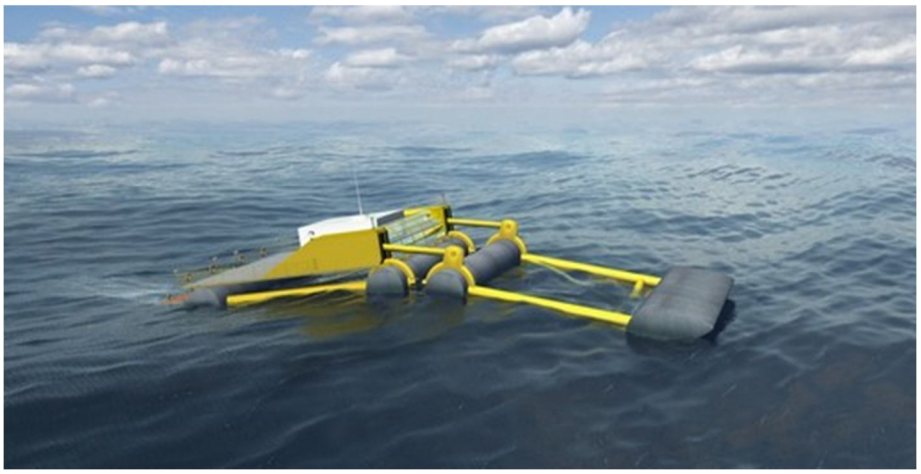
الشكل (٤-٣) تنين الأمواج الدانماركي.

٤- مستوي الأمواج باستطاعة ٢٠٠ كيلووات Wave Plane

٥- مبدل طاقة الأمواج ديكسا باستطاعة ٥ كيلووات.

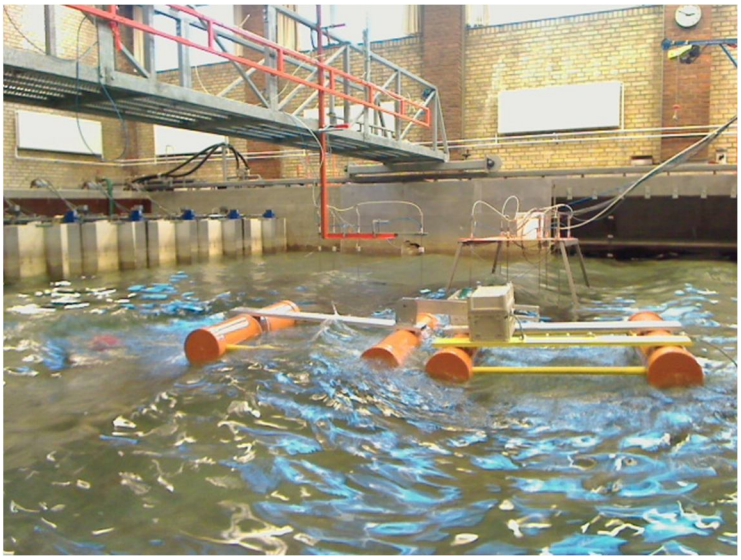
وهو مبدل يعتمد على بنيتين يتحركان بالنسبة لبعضهما كما هو الحال في اسطوانات البيلاميس ومن ثم تنتقل الحركة الى المولد الكهربائي.[23]

ويبين الشكل (٤-٤) رسم توضيحي لمبدل طاقة الأمواج ديكسا.



الشكل (٤-٤) رسم توضيحي لمبدل طاقة الأمواج ديكسا في الدانمارك

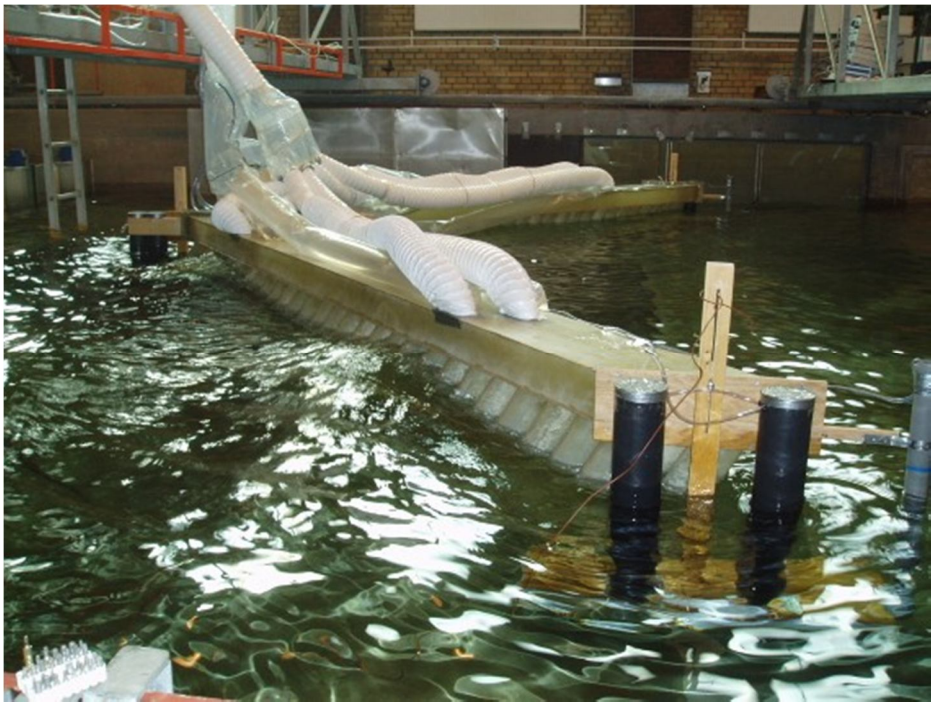
والشكل (٤-٥) يعطي صورة لأحد النماذج المخبربة في جامعة ألابورغ في الدانمارك [24].



الشكل (٤-٥) صورة نموذج تجريبي لمبدل ديكسا في جامعة ألابورغ في الدانمارك.

٦- نموذج مبدل طاقة أمواج نوع لينكون بقياس مصغر ٤٠ مرة LEANCON .

والشكل (٤-٦) يبين مبدل طاقة الأمواج لينكون التجريبي[25].



الشكل (٤-٦) مبدل طاقة الأمواج لينكون في الدانمارك.

٧- نموذج بنصف القياس للتجريب باسم Waveenergyfyn.

٤-٨- فرنسا:

أبدت فرنسا اهتماماً قليلاً مسبقاً في مجال طاقة الأمواج ولكن ذلك تغير في السنوات الأخيرة فقد قامت بالعديد من التجارب في هذا المجال نذكر منها:

- **أول موقع تجريبي لتحويل طاقة الأمواج لطاقة كهربائية تحت اسم (SEM-REV) ويتم بناؤه على الساحل الأطلسي وبدأ بالعمل في صيف ٢٠١٠.**
- **في عام ٢٠٠٩ تمت دراسة الامكانية لاستخدام أفعى البحر في جزيرة رونيون Réunion Island.**

هناك العديد من المنظمات والوكالات والجامعات والمعاهد الفرنسية تشارك في عمليات البحث والتطوير في مجال طاقة الأمواج منها:

- **وكالة ادارة الطاقة والبيئة الفرنسية ADEME The French Environment and Energy Management Agency.**
- **معهد الأبحاث الفرنسي لاستكشاف البحر Ifremer – the French Research Institute for Exploitation of the Sea**
- **مركز الأبحاث في نانت Ecole Centrale de Nantes.**

٤ - ٩ - ألمانيا:

لم يكن هناك اهتمام كبير صناعياً وتجارياً في هذا المجال من قبل ألمانيا بسبب مصدر طاقة الأمواج الضعيف الذي تمتلكه ألمانيا، ولكن بنفس الوقت فإن الجامعات الألمانية لم تغفل عن الأبحاث العلمية في هذا المجال.
وهناك حالياً مصدر وحيد لتصنيع مبدلات طاقة الأمواج في ألمانيا هو فويث هايدرو Voith Hydro

٤ - ١٠ - الهند:

بدأ البرنامج الهندي في مجال طاقة الأمواج في المعهد الهندي للتكنولوجيا Indian Institute of Technology (IIT) تحت رعاية ودعم الحكومة الهندية.
أظهرت الأبحاث الأولية أن العمود المائي المهتز هو الأنسب للاستخدام في مياه الهند وبناءاً عليه تم بناء عمود مائي مهتز باستطاعة ١٥٠ كيلووات في كيرالا Kerala وتم تطوير المشروع بعدها لوضع عشر وحدات ولتصبح الاستطاعة الاجمالية ١.١ ميغاوات.

٤ - ١١ - ايرلندا:

تم وضع استرتيجية وطنية لطاقة الأمواج في ايرلندا National Strategy for Ocean Energy وهي تتضمن عدة مراحل على الشكل التالي:
المرحلة الأولى بين عامي ٢٠٠٥ و٢٠٠٧
للحصول على موقع تجريبي بعيد عن الشاطئ بنماذج لها ربع القياس.
الطور الأول (بين عامي ٢٠٠٥ و٢٠٠٧) : موقع تجريبي لنماذج بربع القياس.
الطور الثاني (بين عامي ٢٠٠٨ لل٢٠١٠) : دعم نماذج غير تجارية وتجريب الربط مع الشبكة.
الطور الثالث (بين عامي ٢٠١١ و ٢٠١٥) : مصفوفة غير تجارية لتجريب التجهيزات الواعدة.
الطور الرابع (٢٠١٦ ومابعدها) : تحضير مشاريع تجارية في مجال طاقة الأمواج.
وتم التوصل الى خطة هي الحصول على طاقة ٧٥ ميغاوات بحلول عام ٢٠١٢ وطاقة ٥٠٠ ميغاوات في عام ٢٠٢٠ وللوصول لذلك قامت الحكومة بتخصيص ميزانية مالية (٢٠٠٨-٢٠١٠) بمقدار ٢٧ مليون جنيه استرليني .
تغطي هذه الميزانية دعم مطوري التجهيزات وكذلك دعم عمليات التجريب في مركز الأبحاث في جامعة كورك .
هذا الدعم أدى للوصول للنتائج التالية حتى الآن :

- وحدة الطاقة السويدية فاتينفال Swedish power utility Vattenfall ووحدة طاقة الأمواج وايف بوب wave-energy developer Wavebob أعلنتا في عام ٢٠٠٩ خطة لبناء مشروع تجاري على الساحل الغربي لايرلندا.
- طافية طاقة المحيطات OceanEnergy OE Buoy تم تجريبها في خليج غالواي Galway Bay بنموذج بربع القياس ويتم الآن التحول لنموذج بثلاثة أرباع القياس.

- تقنية هايدم طورت مضخة ام سي كيب للأمواج Mccabe Wave Pump والتي تم تجريب نموذج منها عام ٢٠٠٣.

٤-١٢- اليابان :

بالرغم من مستويات الطاقة المتدنية في اليابان فإنه تمت أبحاث مكثفة على طاقة الأمواج في اليابان وبدأ العمل الحقيقي فيها عند تركيب عمود مائي مهتز طافي كايمي 'Kaimei' والذي أتبع بعمود مائي مهتز آخر هو الحوت العظيم 'Mighty Whale' .

- في عام ١٩٨٣ تم تركيب عمود مائي مهتز باستطاعة ٤٠ كيلووات في سينز "Sanze"
- في عام ١٩٨٩ تم تركيب عمود مائي مهتز من خمس حجرات باستطاعة ٦٠ كيلووات في ميناء ساكاتا Sakata Port.
- من عام ١٩٨٩ الى عام ١٩٩٧ تم تركيب ١٠ أعمدة مائية مهتزة في مياه كوجوكوري Kujukuri.
- في عام ١٩٩٦ تم تركيب عمود مائي مهتز باستطاعة ١٣٠ كيلووات في مياه ولاية فوكوشيما Fukushima Prefecture .

قامت تقنيات طاقة المحيط Ocean Power Technologies بتوقيع اتفاقية مع ثلاث شركات يابانية (ايدميتسو كوسان – ميتسوي للهندسة وبناء السفن – اليابان لتطوير الرياح)
(Idemitsu Kosan, Mitsui Engineering & Shipbuilding, and Japan Wind Development)

٤-١٣- النرويج:

تمتلك النرويج مصدر طاقة أمواج مميز وجذاب وهناك العديد من البرامج الوطنية الخاصة بالطاقات المتجددة ولكن ليس هناك أي منها مختص بطاقة المحيطات ,وهناك العديد من البرامج الحكومية الداعمة لتطوير التقنيات الخاصة والنماذج التجريبية المختصة بالطاقات المتجددة بشكل عام.

تلقت العديد من المؤسسات العاملة في هذا المجال منح مالية مميزة مثل شركة لانغلي لطاقة الأمواج التي تلقت منحة مالية من مجمع البحوث النرويجي في عام ٢٠٠٩ ,كذلك الجامعة النرويجية للعلوم والتكنولوجيا (NTNU) كان لها باع طويل في هذا المجال.

وتلقت هذه الجامعة منحة ١٠ مليون دولار من أجل برنامج لطاقة الأمواج بالتعاون مع جامعة أبسالا بالسويد والجامعة التقنية في الدانمارك.

يوجد العديد أيضاً من المشاريع التجارية في النرويج نذكر منها:

- مشروع باستطاعة ٤٠ كيلوواط على الساحل الغربي في النرويج.
- شركة فريد اولسن تعمل على مشروع SEEWEC بالتعاون مع ١١ شريك من ٥ دول اوروبية هي بلجيكا وهولندا والبرتغال والسويد والمملكة المتحدة.
- شركة WAVEenergy تعمل حالياً على بناء محطة ٣٠٠ كيلوواط في سفاهيا وتدرس امكانية تركيب محطة باستطاعة ١٠ ميغاواط.

- شركة لانغلي Langlee تقوم بدراسات لنموذج مصغر ٢٠ مرة وتقوم بالاتفاق مع شركة تركية (اونماكسان) لمشروع تجاري باستطاعة ٢٤ ميغاواط لتركيبه بالمياه التركية.

٤ - ١٤ - المملكة المتحدة:

لعبت انكلترا دوراً مهماً في تطوير تقنيات طاقة الأمواج ,فقد خصصت الحكومة البريطانية ٢٢ مليون باوند بريطاني لعمليات البحث والتطوير للانتقال من مرحلة النماذج الأولية الى مرحلة التوليد الكهربائي والمرحلة التجارية.

تقوم شركة (wavegen) بتوليد ما يصل الى ٤ ميغاواط باستخدام الأعمدة المائية المهتزة (OWCS) على سواحل جزيرة ليويس (Lewis) .

- شركة بيلاميس لطاقة الأمواج تعمل على مشروع باستطاعة ٣ ميغاواط مع الشركة الاسكتلندية (Scottishpower renewable).
- شركة بيلاميس وبالتعاون مع شركة فانتفال تقومان بمشروع باستطاعة ٢٠ ميغاواط في جزر شتلاند.
- شركة (Wave Hub) هي احدى الشركات الرائدة في مجال التوليد من طاقة الأمواج حيث تعمل على الجمع بين عدة تقنيات لتركيبها في مصفوفة واحدة للحصول على استطاعات كبيرة ولديهم خطة للوصول لاستطاعة ١.٢ غيغاواط قبل عام ٢٠٢٠.

٤ - ١٥ - الولايات المتحدة الامريكية:

منذ عام ٢٠٠٧ بدأت وزارة الطاقة الامريكية بالبرنامج البحثي الخاص بطاقة المياه والهيدروديناميك بما فيها طاقة الامواج ,منذ ذلك الحين كان هناك اهتمام متزايد بطاقة المحيطات ,ففي عام ٢٠٠٩ تم دفع مبلغ يصل ل١٥ مليون دولار لدعم وتطوير تقنيات طاقة الأمواج.

من أهم المعاهد والجامعات العاملة بهذا المجال نذكر:

- جامعة هاواي .
- جامعة ولاية أوريغون وجامعة واشنطن اللتين اشتركتا لتشكيل المعهد الوطني الشمالي للطاقات المتجددة.

ومن أهم الشركات التي تعمل بهذا المجال نذكر:

- Ocean power technologies OPT والتي كانت ناشطة بشكل كبير بأميركا وبأماكن أخرى من العالم.

وقد قامت الشركة في عام ٢٠٠٩ ببناء طافية باستطاعة ٤٠ كيلوواط في خليج كانيوهي.

وتقوم OPT أيضاً بتطوير مزرعة من المولدات مكونة من عشر طوافي Powerbuoy استطاعة الواحدة ١٥٠ كيلوواط.

وتقوم أيضاً بتطوير مزرعة أخرى في خليج كوس في أوريغون باستطاعة اجمالية ١٠٠ ميغاواط باستخدام ٢٠٠ مولد استطاعة الواحد ٥٠٠ كيلوواط.

الفصل الخامس:

مجموعة دراسات مرجعية لتطبيقات طاقة الأمواج في البحار المغلقة

Case Studies for Wave Energy Applications in Sheltered Seas

٥ - ١ - محطات توليد الطاقة الكهربائية من طاقة الأمواج في البحر الأسود والامكانيات المتاحة:

قام بهذه الدراسة الدكتور الروماني لوراند سابو من قسم الآلات الكهربائية في الجامعة التقنية في كلوج في رومانيا, وقد قام بنشر مجموعة من المقالات المشابهة في العديد من المجلات والدوريات العلمية العالمية والتي تدور جميعها نحو فكرة توليد الطاقة الكهربائية من طاقة الأمواج في البحر الأسود ونوع مبدل طاقة الأمواج الأنسب لظروف البحر الأسود.

٥ - ١ - ١ - ملخص دراسة جامعة كلوج التقنية:

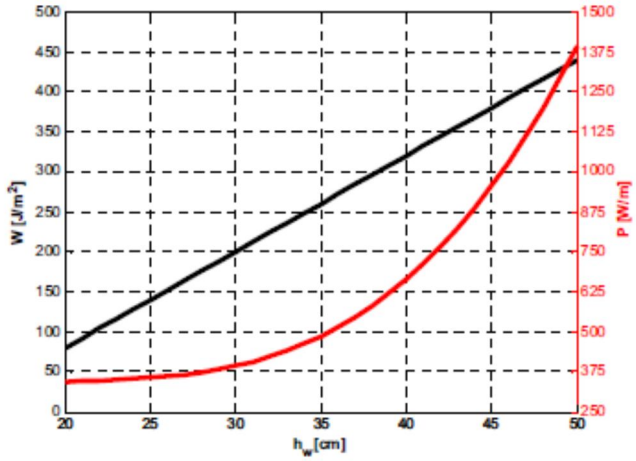
قام الدكتور لوراند سابو بعرض مقدمة عن طاقة الأمواج وميزاتها وفوائد استخدامها لتوليد الطاقة الكهربائية ثم قام بتقديم بيانات عن أمواج البحر الأسود على السواحل الرومانية وبالتالي تمكن بهذه الطريقة من تقدير الاستطاعة المتوفرة في هذه الأمواج وبناءاً على مستوى الاستطاعة هذا تم اختيار نوعية مبدل طاقة الأمواج الأنسب والذي كان حسب اختياره هو الذي يعتمد على تقنية المولد الخطي.

ومن ثم قام بمقارنة بين نوعين من أنواع المولدات الخطية ليبين مزايا ومساوئ كل نوع وليقرر في النهاية النوع الأنسب لاستخدامه في البحر الأسود على الساحل الروماني[26].

٥ - ١ - ٢ - الدراسة:

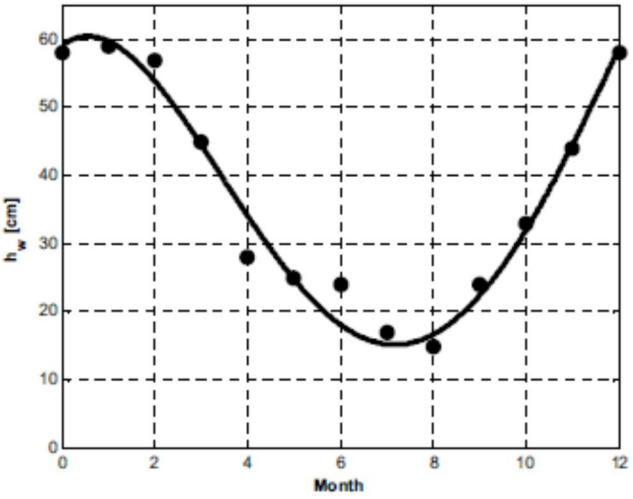
تقدر الطاقة الكامنة في الأمواج بواحدة الاستطاعة للمتر من عرض مقدمة الموجة ويمكن أن تصل هذه الاستطاعة الى ١٠٠ كيلوات للمتر الواحد وذلك في المحيط الأطلسي جنوب غرب ايرلندا.

يوجد كذلك كميات كبيرة من الاستطاعة متوفرة في المساحات المغلقة الهادئة من مياه البحر كماهو الحال في بحر البلطيق والبحر الأبيض المتوسط والبحر الأسود, لا يوجد معلومات دقيقة حول الأمواج على السواحل الرومانية في أي مصدر لذلك تم الاعتماد على معلومات غير مباشرة وهي من بحار مغلقة أخرى, يمكن رسم العلاقة بين ارتفاع الموجة الوسطي (h_w) وكثافة الطاقة الوسطية وبالتالي الاستطاعة الوسطية لعمق بحري من ٥ الى ١٠ متر وهذه العلاقة معطاة بالشكل (٥ - ١) .



الشكل (٥-١) علاقة كل من طاقة الأمواج واستطاعتها بارتفاع الأمواج.

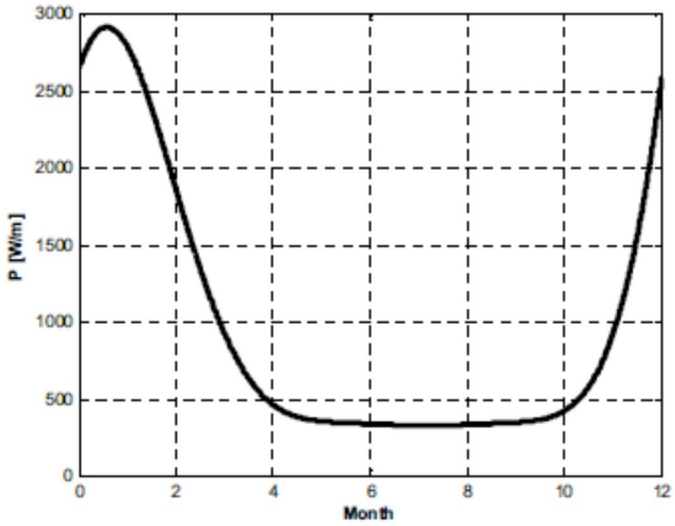
في البحر الأسود ولدراسة لمدة ٣٥ سنة يمكننا رسم علاقة ارتفاع الموجة على أشهر السنة (وسطياً) والشكل (٥-٢) يوضح ذلك.



الشكل (٥-٢) ارتفاع الأمواج في أشهر السنة المختلفة في البحر الأسود.

بالجمع بين الشكلين السابقين سنحصل على استطاعة الأمواج بالواط للمتر من عرض مقدمة الموجة على مدى أشهر السنة كمافي الشكل (٥-٣).

نلاحظ أن كثافة طاقة الأمواج تكون أعلى ما يمكن في الشتاء والخريف والقيمة الوسطى لكثافة الاستطاعة المنتجة في البحر الأسود هي بحدود 1 Kw/m.



الشكل (٥-٣) استطاعة الأمواج بالواط على المتر في البحر الأسود على مدى أشهر السنة

وبالرغم من صغر هذه القيمة ولكن إذا أخذنا بالحسبان الميزات التي سنحصل عليها من توليد الطاقة الكهربائية من طاقة الأمواج فإنه من المفيد أن نعمل على ايجاد الحل الأفضل لتوليد الطاقة الكهربائية باستخدام هذه الطاقة المتجددة.

- **المولدات الخطية لمبدلات طاقة الأمواج:**

يمكن للمولد الخطي أن يعطي استطاعة خرج مقبولة من حركة بطيئة جداًولكن يحتاج توتر الخرج لبعض المعالجة الالكترونية للحصول على توتر جاهز للوصل مع الشبكة الكهربائية.

نظرياً لدينا نوعين من المولدات الخطية:

١- المولدات الخطية المختلطة Hybrid linear generators

٢- المولدات الخطية ذات المغناطيس الدائم وذات الثغرة الهوائية Air cored Permanent magnet Linear generators

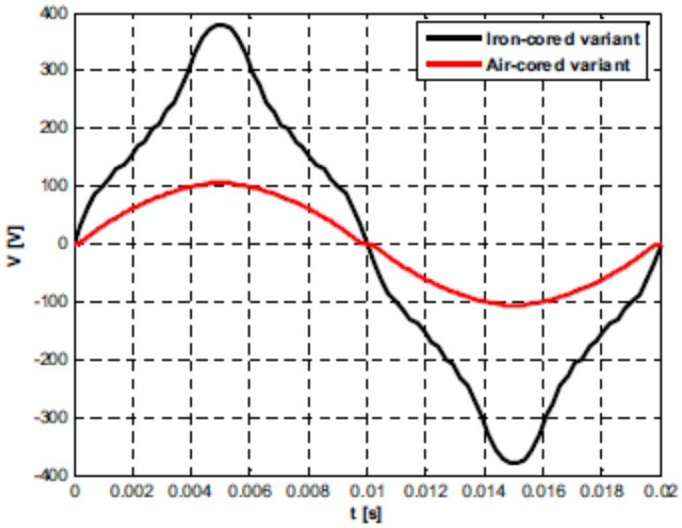
تمت دراسة هذين النوعين من المولدات الخطية من وجهة نظر إمكانية تركيب أحدهما في البحر الأسود.

المولد الخطي الذي تم تركيبه سيكون باستطاعة صغيرة (من رتبة الكيلوواط) ويعمل على سرعة صغيرة (1 m/s) ويعمل على أشواط صغيرة (أقل من ١ متر).

تمت المقارنة في هذه الدراسة بين المولدات الخطية ذات النواة الهوائية والمولدات الخطية ذات النواة الحديدية.

لوحظ بدراسة الحقل المغناطيسي الذي يتولد في كلا المولدين أن الحقل المتولد في المولد ذي النواة الحديدية له قيمة أكبر من ذلك المتولد في الهوائي وبالتالي فإن التوتر الذي تم الحصول عليه حتماً سيكون أكبر في الحالة الأولى من الحالة الثانية.

ويبين الشكل (٥-٤) الفرق بين التوترين المتولدين من كل من المولدين.



الشكل (٥ - ٤) التوترين المتولدين من نوعي المولدات الخطية.

ويكون التوتر المتولد في ملفات المولد الخطي ذو النواة الحديدية أكبر ب3.6 مرة من التوتر المتولد في المولد الخطي ذو النواة الهوائية.

٥ - ١ - ٣ - الاستنتاج والفوائد من هذه الدراسة:

يفضل بالطبع استخدام المولد الخطي ذو النواة الحديدية رغم تشوه الموجة الجيبية الذي يمكن معالجته.

إن تقارب مستويات الطاقة في البحر الأسود على الساحل الروماني مع مستويات الطاقة في البحر الأبيض المتوسط على الساحل السوري يعطينا الامكانية للاعتماد على نتائج هذه الدراسة واسقاطها على معطياتنا.

٥ - ٢ - دراسة نظام توليد طاقة كهربائية من طاقة الأمواج:

Study on a Wave Energy Based Power System
Loránd SZABÓ, Claudiu OPREA, Clement FEŞTILĂ, Éva DULF
Technical University of Cluj

وهي مقالة أخرى لنفس الباحث الروماني مع مجموعة أخرى ممن يعمل في هذا المجال. [27]

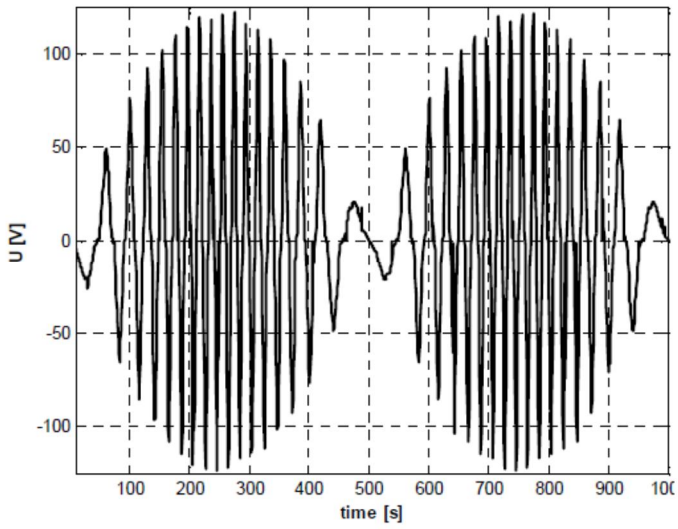
٥ - ٢ - ١ - ملخص دراسة الدكتور لوراند سابو وزملاؤه:

تم في هذه الدراسة، وبعد وضع النقاط الأساسية المتعلقة بميزات طاقة الأمواج وفوائدها شرح تفصيلي لخرج المولد الخطي عند استخدامه في تحويل طاقة الأمواج الى طاقة كهربائية ومن ثم التحكم بهذا الخرج باستخدام دارات الكترونيات القدرة وذلك عند ربط خمسة مولدات خطية مع بعضها على التوازي للحصول على خرج مناسب في النهاية لربطه مع الشبكة الكهربائية.

يشرح مؤلفو المقالة بالرسوم وبايجاز نوعاً ما هذه الدارات والمنحنيات الناتجة على خرج المولدات وعلى خرج المقومات والمعرجات المستخدمة.

٥ - ٢ - ٢ - الدراسة:

في البداية واعتماداً على دراسات أخرى تبين أنه يمكن استخدام مولد خطي باستطاعة ٢٠ كيلوواط وبتوتر خرج أعظمي ١٢٠ فولت وبسرعة ١ متر على الثانية وبشوط أعظمي ١ متر, وينتج على خرج المولد الخطي توتر له شكل موضح بالشكل (٥ - ٥).



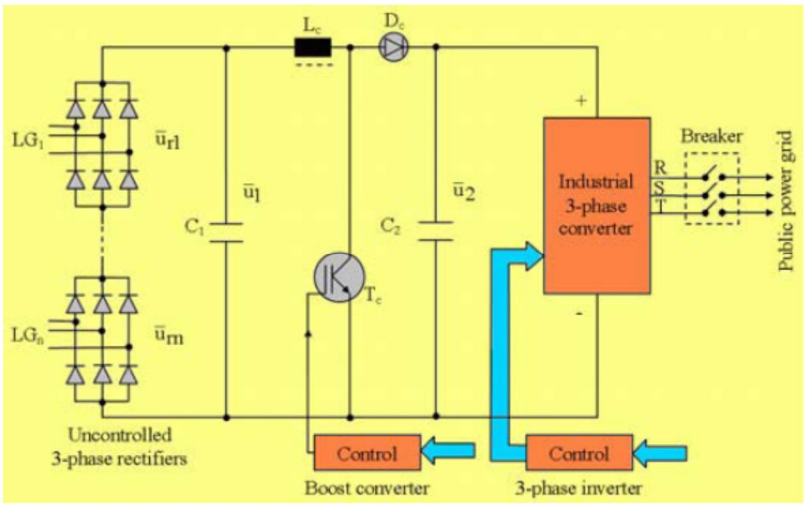
الشكل (٥ - ٥) توتر الخرج المتولد في المولد الخطي.

لدينا هنا مشكلة هامة جداً وهي كون الأمواج غير منتظمة وبالتالي سنحصل على خرج كهربائي غير منتظم، ولذلك لا بد من العمل على تنظيم هذا التوتر بطريقة ما, يوضح الشكل (٥ - ٦) الدارة الالكترونية العامة المقترحة لتحويل خرج مجموعة مولدات خطية الى توتر يمكن وصله للشبكة الكهربائية.

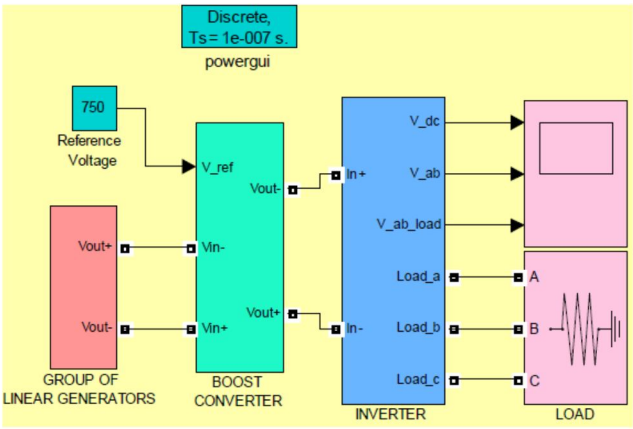
نستخدم المقوم التفرعي في المنتصف للحصول على توتر مستمر أكثر ثباتاً U2, ويوضح الشكل (٥ - ٧) المخطط العام الذي يمثل موديل برنامج النمذجة المستخدم.

ويبين الشكل (٥ - ٨) تفصيل للصندوق الخاص بالمولدات الخطية

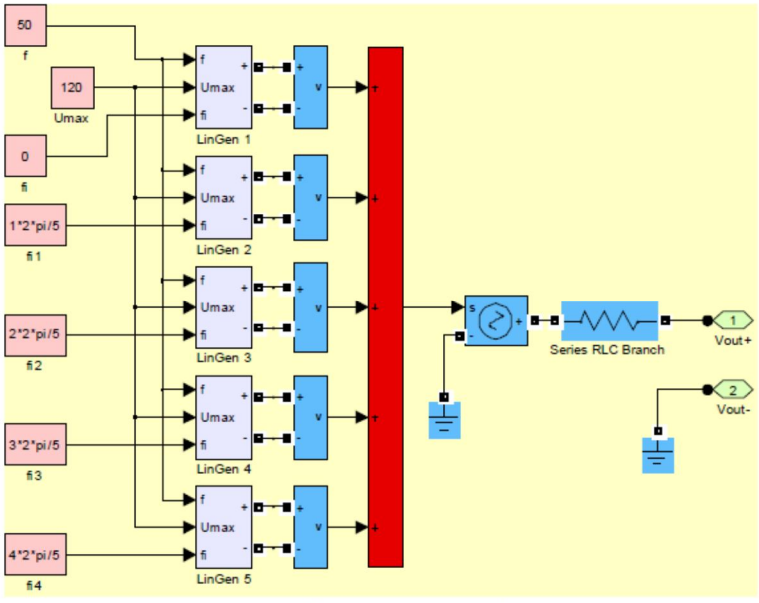
ويبن الشكل (٥ - ٩) خرج المولدات الخطية قبل وبعد عملية التقويم, ويبين الشكل (٥ - ١٠) التوتر الكهربائي على خرج المقوم التفرعي والمعرج أيضاً.



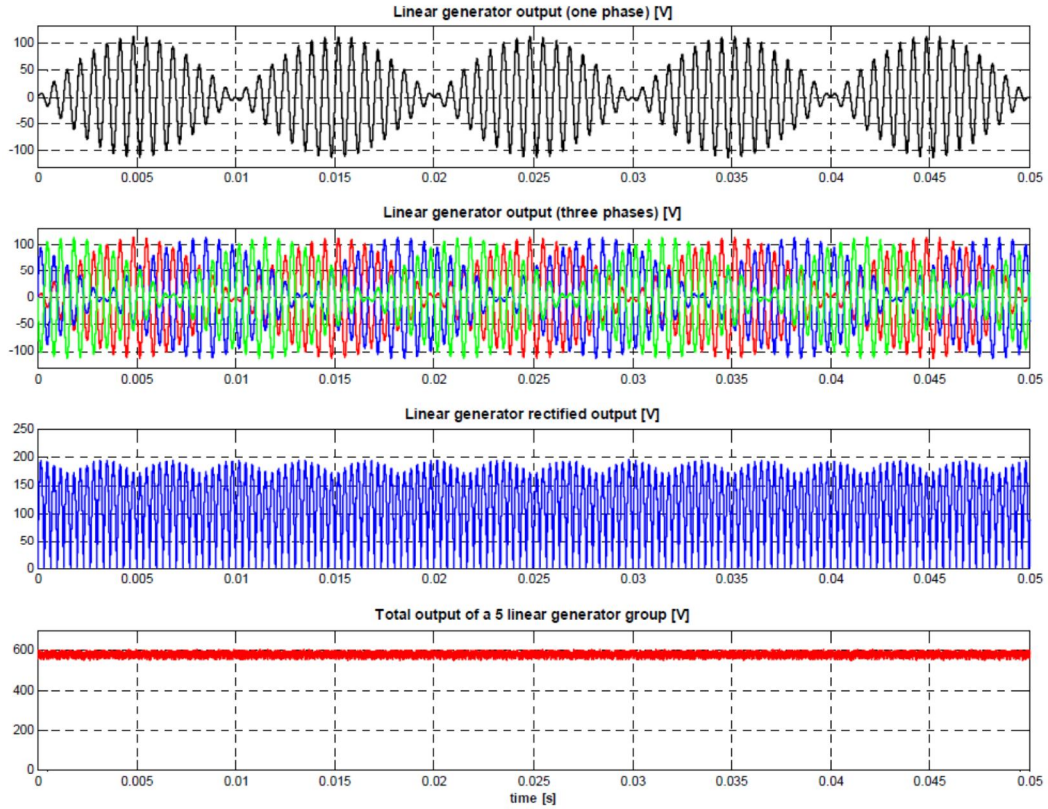
الشكل (٥-٦) ربط مجموعة مولدات خطية مع الشبكة الكهربائية باستخدام الكترونيات القدرة.



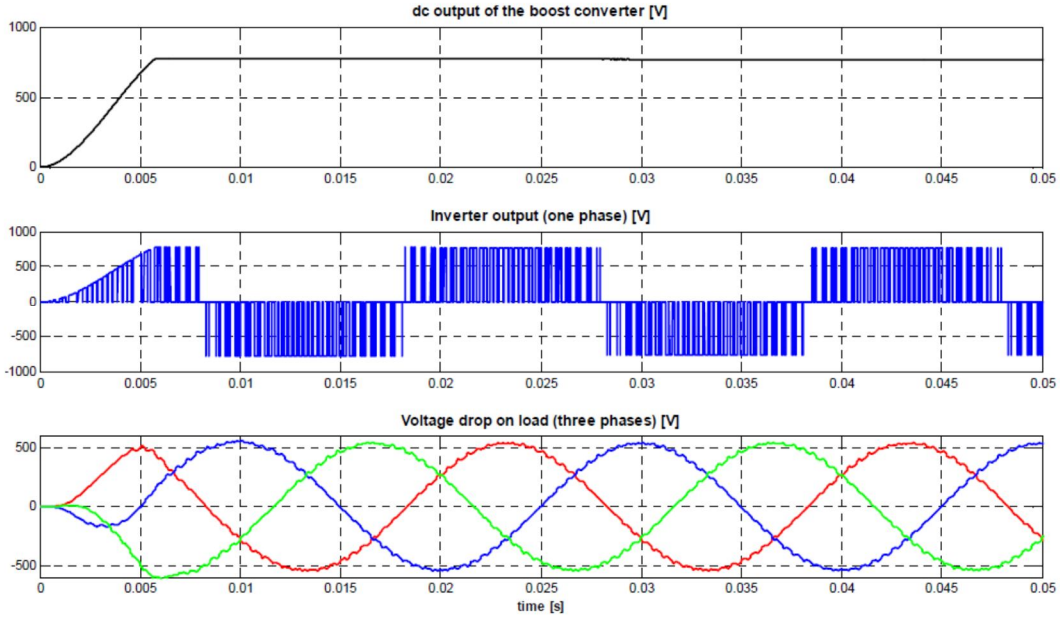
الشكل (٥-٧) نموذج ربط المولدات الخطية مع الحمل باستخدام الماتلاب.



الشكل (٥-٨) صندوق المولدات الخطية في الماتلاب.



الشكل (٥-٩) خرج المولدات الخطية قبل وبعد عملية التقويم.



الشكل (٥-١٠) التوتر الكهربائي على خرج المقوم التفرعي وعلى خرج المعرج.

٥-٢-٣- الاستنتاج والفوائد من دراسة لوراند سابو وزملاؤه:

تم في هذه المقالة دراسة أداء مجموعة من المولدات الخطية باستطاعات محددة مسبقاً.

ويمكننا أن نستفيد من هذه الدراسة كون هذه المولدات يمكن استخدامها في حالتنا وسنحصل على نتائج مقاربة.

هناك مجموعة من المقالات الأخرى لنفس المؤلف وتدور حول مواضيع مقاربة لهذا الموضوع ونذكر منها :

- **دراسة مقارنة باستخدام طريقة العناصر المنتهية FEM Finite Element Method بين أنواع مختلفة من المولدات الخطية لاستخدامها في تحويل طاقة الأمواج لطاقة كهربائية.**

Comparative Study By Means of FEM Based Computations on the Linear Generators to Be Used In Wave Energy Converters

وهي مقالة مشابهة الى حدٍ كبير للمقالة التي تم شرحها بالتفصيل مسبقاً.

- **مبدلات طاقة الأمواج ذات الاستطاعات المنخفضة للبحار المغلقة.**

Low power wave energy converters for sheltered seas

في هذه المقالة يستعرض أنواع المولدات الخطية أيضاً ولكنه يضيف وبشكل موجز دارات الكترونيات القدرة للتحكم بتوتر الخرج الذي ينتج عن المولد الخطي.

- **المولد الخطي ذو المغناطيس الدائم الأنبوبي لاستخدامه في تحويل طاقة الأمواج.**

Novel Permanent Magnet Tubular Linear Generator for Wave Energy Converters.

وتتحدث هذه المقالة عن اختيار المولد الخطي كأنسب نوع لاستخدامه في المياه الرومانية وشكل توتر الخرج الذي سيتولد على أطراف هذا المولد بالاعتماد على طريقة العناصر المنتهية FEM.

٥-٣- تصميم ومحاكاة مولد خطي ذي مغناطيس دائم باستطاعة ٢٥٠ كيلوواط لاستخدامه في توليد الطاقة الكهربائية في بحر قزوين:

Design and Simulation of a 250 kW Linear Permanent Magnet Generator for Wave Energy to Electric Energy Conversion in Caspian Sea.

وهذه المقالة نشرها كاتبان ايرانيان هما جواد فايز وابراهيم سالاري. [28]

٥-٣-١- ملخص الدراسة:

يبدأ الكاتبان بذكر المولد الخطي على أنه مناسب للاستخدام في بحر قزوين ويقوما فيما بعد بشرح طريقة تصميم هذا المولد بتحديد البارامترات الأساسية له ومن ثم محاكاة أحد المولدات باستخدام برامج النمذجة لدراسة أداءه ويعرضان مواصفات المولد الذي تم اختياره للدراسة وتأثير عدد الأطوار على مواصفات المولد.

ومن ثم يستعرضان تأثير تغير ارتفاع الموجة على المولد الخطي من حيث استطاعة خرجه وتوتر الخرج والتيار والتردد والضياعات والمردود.

٥-٣-٢- الدراسة:

- **نمذجة ومحاكاة أداء المولد الخطي:**

باعتبار أن ارتفاع الموجة ٤ متر ودور الموجة ٥ ثواني فإنه يمكننا حساب الاستطاعة المختزنة في الأمواج من خلال العلاقة التالية:

$$J = \rho g^2 T H^2 / (32\pi) = 79\ kW/m$$

ويمكننا كذلك حساب طول الموجة من خلال العلاقة التالية:

$$L_{Wave} = gT^2 / 2\pi = 39\ m$$

وباختيار طافية المولد الخطي بقطر ١٠ متر يمكننا حساب الاستطاعة التي ستمتصها هذه الطافية من خلال العلاقة التالية:

$$P_{buoy} = 50\% \times J \times D = 395\ kW$$

وبالتالي تم اختيار مولد خطي

باستطاعة ٢٥٠ كيلوواط .

يبين الجدول(٥ - ١) خواص الموجة والأجزاء الميكانيكية للمولد.

الجدول(٥ - ١) خواص الموجة والأجزاء الميكانيكية للمولد الخطي.

SPECIFICATIONS OF WAVE AND MECHANICAL PARTS OF SYSTEM

Sea wave:	
Wave amplitude	4 m
Time period of Wave	5 s
Wave length	39 m
Piston, buoy and spring data:	
Diameter of buoy	10 m
Height of buoy	1 m
Weight of buoy	5000 kg
Spring static force	50 kN
Spring constant	300 kN/m
Internal air pressure	785 kPa

ويبين الجدول (٥ - ٢) خواص المولد الخطي بالتفصيل.

ويبين الجدول (٥ - ٣) تأثير عدد الأطوار على أداء المولد الخطي.

ويبين الجدول (٥ - ٤) تأثير تغير مطال الموجة على أداء المولد الخطي.

ويبين الجدول (٥ - ٥) تأثير تغيير الحمل الكهربائي على أداء المولد الخطي.

٥ - ٣ - ٣ - الفوائد من هذه الدراسة:

يمكن الاعتماد على منهجية هذه الدراسة من حيث خطوات العمل وطريقة المحاكاة باعتبار أن المولد المدروس هو نفس المولد الذي سنعمل على نمذجته ومحاكاته.

الجدول (٥-٢) الخواص التفصيلية للمولد الخطي.

Nominal power (kW)	250
Number of phase	3
Max. phase voltage (V)	900
Max. phase current (A)	228
Efficiency (%)	80
Load angle (Degrees)	10
Frequency (Hz)	15
Number of poles	80
Pole pitch (mm)	60
Pole width (mm)	40
Magnet width (mm)	20
Magnet volume (cm^3)	2
Magnet cursive force (kA/m)	800
Magnet field density (T)	0.45
Air gap width (mm)	5
Air gap field (T)	0.40
Tooth width (mm)	65
Slot width (mm)	100
Piston length (m)	5
Stator length (m)	1
Iron losses (W)	960
Copper losses (W)	61.5
Load Resistance (Ω)	4

الجدول (٥-٣) تأثير عدد الأطوار على أداء المولد الخطي.

COMPARISON OF NUMBER OF PHASE ON LPMG PERFORMANCE

Values	Single-phase	Two-phase	Three-phase
Output power (kW)	116	200	250
Peak phase voltage (V)	760	860	900
Peak phase current (A)	185	215	228
Copper Losses (W)	28	50	61.5
Power Ripple (%)	90	70	2
Efficiency (%)	80	80	80

الجدول (٥-٤) تأثير تغير مطال الموجة على أداء المولد الخطي.

EFFECT OF WAVE AMPLITUDE ON LPMG PERFORMANCE

Wave Height (m)	0.5	1	2	3	4	5	6	7
Output power (kW)	3.1	15	63	141	250	400	550	750
phase voltage (V)	130	220	450	650	900	1100	1340	1550
phase current (A)	28	56	115	165	228	280	330	380
Frequency (Hz)	2	4	9	11	15	18	22	26
Copper Losses (W)	0.960	3.8	15.2	34.5	61.5	94	134	180
Iron Losses (W)	128	250	576	704	960	1152	1408	1664
Efficiency (%)	74	75	79	80	80	80	80	80

الجدول (٥-٥) تأثير تغيير الحمل الكهربائي على أداء المولد الخطي.

EFFECT OF LOAD RESISTANCE ON LPMG PERFORMANCE

Load Resistance (Ω)	2	4	6	8	10
Peak phase voltage (V)	750	900	960	990	1000
Peak phase current (A)	375	228	160	125	100
Generator Power (kW)	141	250	200	165	140
Copper Losses (W)	92.5	61.5	30.3	18.2	12
Thrust ripple (kN)	70	25	12.5	7.4	4.9
Efficiency (%)	60	80	86	89	91

٥-٤- مصادر طاقة الأمواج في المناطق البحرية المغلقة: دراسة حالة في بحر البلطيق

Wave energy resources in sheltered sea areas: A case study of the Baltic Sea

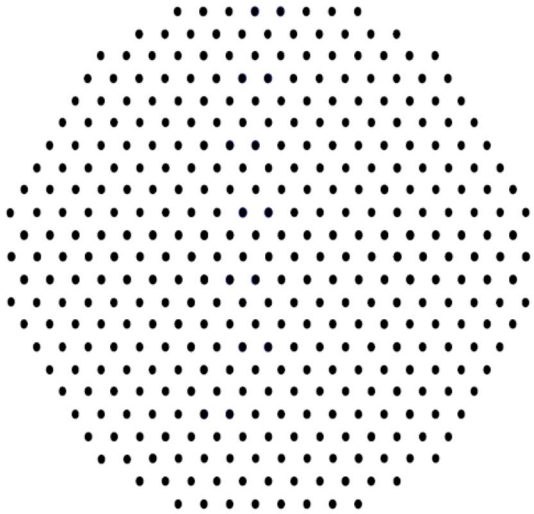
وهي دراسة سويدية من جامعة أبسالا لمجموعة من الباحثين الذين عملوا بشكل كبير في هذا المجال ومنذ زمن طويل.

٥-٤-١- ملخص الدراسة:

يذكر المؤلفون أن التركيز على توليد الطاقة الكهربائية من طاقة الأمواج لطالما كان في المحيطات العظمى ولكن لم تتم دراسات بشكل واضح بالنسبة للبحار المغلقة كبحر الشمال وبحر البلطيق والبحر الأبيض المتوسط حيث تكون الأمواج أهدى بصورة عامة[29], ثم ينوه المؤلفون الى أنه تم التركيز سابقاً على التوليد باستخدام وحدة توليد واحدة كبيرة وأن التوجه الجديد في هذا المجال هو حول تركيب مجموعة من المولدات الصغيرة ووصلها مع بعضها على التوازي لتعطي استطاعة مقبولة، ومن ثم يتم شرح طريقة نشر مجموعة مولدات خطية على شكل مصفوفات ومقدار الاستطاعة التي يمكن الحصول عليها من خلال وضع مجموعة من هذه المصفوفات والمساحة التي ستشغلها وذلك عند تركيبها في مياه بحر البلطيق.

٥-٤-٢- الدراسة :

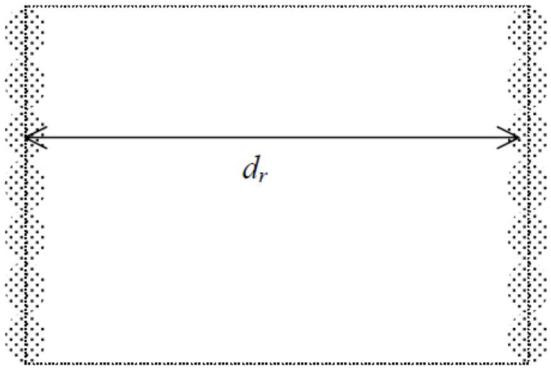
تم افتراض استطاعة المولد الواحد ١٠ كيلوواط وارتفاع الموجة بحدود ٢ متر ويمكن استخدام إما مولد خطي أو نظام طافي آخر ولتفادي تظليل المولدات الخطية التي في المقدمة على المولدات الخطية التي تليها يمكن أن نشكل مصفوفة المولدات الخطية على شكل سداسي ويبين الشكل (٥-١١) شكل المصفوفة.



الشكل (٥-١١) المصفوفة السداسية المقترحة لتوزيع المولدات الخطية.

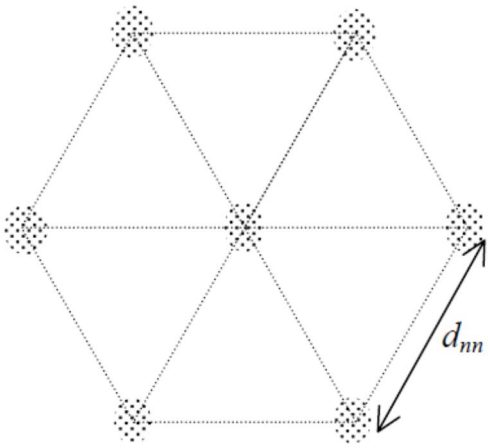
وتحتوي هذه المصفوفة على ٣٨٩ مولد خطي كل واحد يبعد عن أقرب مولد له ٣٠ متر مما يعطي قطر اجمالي ٦٠٠ متر.

ويتم وضع هذه المصفوفات في صفوف متتالية بحيث تكون المسافة بين الصف والذي يليه كبيرة حتى نتيح للموجة مسافة للعودة لارتفاعها الأساسي ويبين الشكل (٥-١٢) وضع صفين من المصفوفات.



الشكل (٥-١٢) صفين من المصفوفات من المولدات الخطية.

حيث dr هنا المسافة بين صفي المصفوفات وهي ٦ كيلومتر, وبالتالي مساحة اعادة التوليد لكل مصفوفة هي ٣٦ كيلومتر مربع, ويمكن أن يتم ترتيب المصفوفات على شكل سداسي كذلك كما في الشكل (٥-١٣)



الشكل (٥-١٣) ترتيب المصفوفات على شكل سداسي حيث كل مصفوفة تتكون من ٣٨٩ مولد خطي.

- **دراسة الحالة في بحر البلطيق:**

نستطيع من مصفوفة واحدة تتكون من ٣٨٩ مولد خطي أن نولد طاقة كهربائية مقدارها ١٠ غيغا واط ساعي في السنة.
ومن خلال معلومات قديمة متوفرة فإن المساحة التي يكون فيها ارتفاع الأمواج أكثر من ٢ متر خلال شهر ديسمبر سنة ١٩٩٩ هي بحدود ٥٠ ألف كيلومتر مربع وهذه المساحة تتسع ل١٤٠٠ من المصفوفات الموزعة السداسية وبالتالي يمكن الحصول على طاقة بحدود ١٤ تيراوات ساعي في بحر البلطيق بهذه الطريقة.
والمساحة التي يكون فيها ارتفاع الأمواج أعلى من ١.٦ متر هي ١١٠ ألف كيلومتر مربع وبالتالي في هذه المساحة يمكن الحصول على طاقة ١٠ تيراواط ساعي.
المجموع هو ٢٤ تيراواط ساعي في بحر البلطيق منها ٨ تيرا واط ساعي على السواحل السويدية وهذا المقدار كبير بالنسبة لطاقة بديلة متجددة.
وبالمقارنة مع طاقة الرياح فإن طاقة الرياح في تلك المنطقة لها كثافة بحدود ١ كيلو واط للمتر المربع والتالي طاقة الأمواج تمتلك المصدر الأعلى ولكن المشكلة حتى الآن في توفير التقنية الانسب لاستخدام هذه الطاقة والاستفادة منها.

٥-٤-٣- الفائدة من هذه الدراسة:

يمكن اسقاط الدراسة نفسها على البحر الابيض المتوسط وبالتالي عند توفر معلومات حقيقية عن أمواج البحر الأبيض المتوسط يمكن تقدير الاستطاعة التي يمكننا الحصول عليها باستخدام طاقة الأمواج.

الفصل السادس:

دراسة حالة:البحر الأبيض المتوسط-الساحل السوري

٦-١- بيانات الأمواج في البحر الأبيض المتوسط:

كما رأينا من الفصول السابقة ومن خلال الدراسات المرجعية أنه ولتحديد نوع مبدل طاقة الأمواج الأنسب في مكان ما فإنه يجب أن يكون هناك معلومات عن مصدر طاقة الأمواج من ارتفاع ودور الموجة .

في البداية حاولنا الحصول على هذه المعلومات عن أمواج البحر الأبيض المتوسط من مركز الأرصاد الجوية فتبين أنه لا يوجد أي معلومات بهذا الخصوص حيث لا يوجد لدينا أي أجهزة لقياس الأمواج في الساحل السوري.

كذلك الأمر بالنسبة لأكاديمية العلوم البحرية في اللاذقية وكان الاعتماد في سورية لتحديد مستوى الأمواج التقريبي على سرعات الرياح حيث أن كل سرعة رياح يقابلها مستوى ارتفاع أمواج وتنظم هذه القيم فيما يسمى بجدول بيفورت Beafurt table.

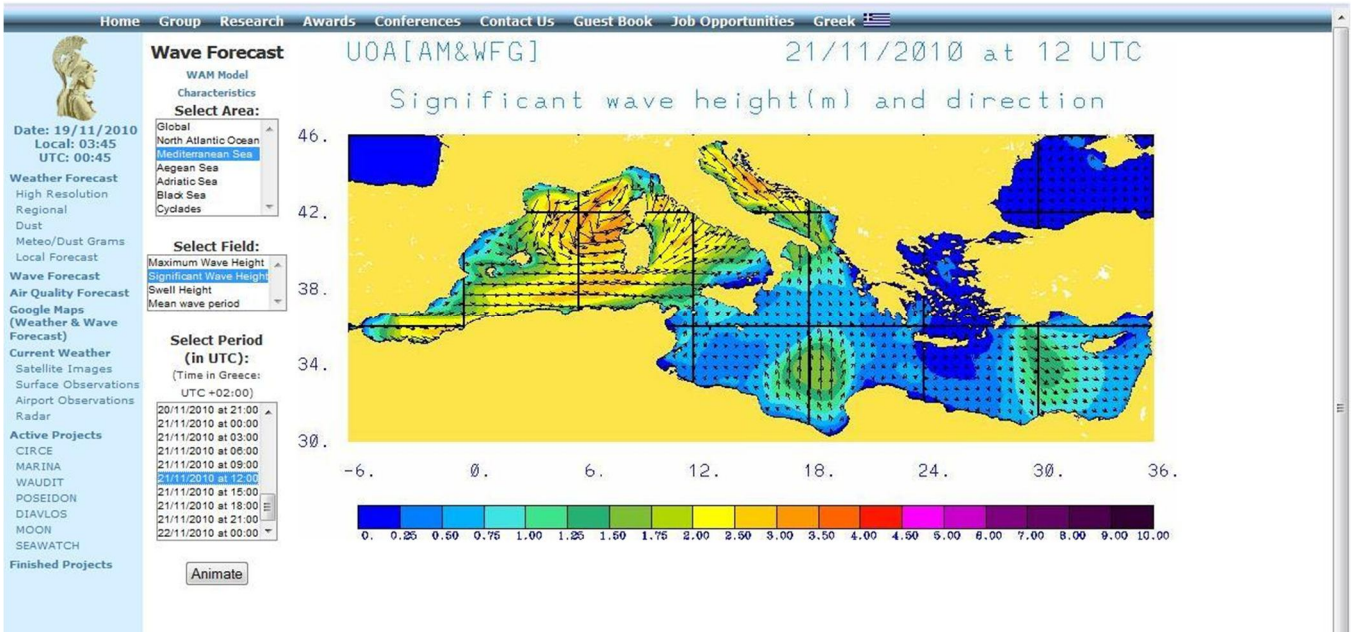
بعد البحث على الانترنت للحصول على معلومات أدق حول هذا الموضوع فقد استطعنا من خلال جامعة أثينا اليونانية ومن خلال البروفسورين جورج كالوس وجورج غالانيس أن نحصل على ارتفاعات الأمواج وأدوارها الزمنية لعام ٢٠٠٩ بأكمله وبمعدل ٢٤ قياس كل يوم من أيام السنة بمعدل قياس كل ساعة وذلك في نقطة في البحر الأبيض المتوسط قريبة من اللاذقية وهي عند خط عرض ٣٥.٤ وخط طول ٣٥.٣.

وقد أرسل لي هذين البروفسورين مشكورين عبر البريد الالكتروني القيم المطلوبة مجدولة.

وقد تبين أن القياسات التي يحصلون عليها في مركز أبحاث هذه الجامعة تتم من خلال الأقمار الصناعية والتي تغطي كل بحار ومحيطات العالم ليتم نقل البيانات الى موديلات رياضية محوسبة.

ويبين الشكل (٦-١) صورة لموقع جامعة أثينا على شبكة الانترنت في اليونان حيث يمكن من خلال الموقع أن تختار البحر الأبيض المتوسط وأن تختار المجال الزمني والذي يتحدد بالموقع بستة أيام يتم فيها التنبؤ بالأمواج.[30]

وعند ظهور خريطة البحر الذي تم اختياره يظهر بالألوان مستوى ارتفاع الموجة الفعال في كل المناطق



الشكل (٦-١) خريطة البحر الأبيض المتوسط مبين عليها ارتفاعات الأمواج الفعالة وذلك من موقع الانترنت الخاص بجامعة أثينا-اليونان

كما يمكن متابعة ارتفاعات الأمواج من مواقع شبكة غوغل على الانترنت Google network حيث يمكن أن تحدد أي نقطة في العالم ليعطيك منحنيات تبين تغير ارتفاع الأمواج وأدوارها الزمنية خلال فترة معينة اضافةً الى معلومات أخرى عن الأمواج.

ويبين الشكل (٦-٢) صورة من موقع Google Earth للبحر الأبيض المتوسط وقد حددنا نقطة قريبة من طرطوس ليعطينا منحني يبين تغير ارتفاع الموجة الفعال.

وباعتبار أن البيانات الموجودة على الموقع الخاص بجامعة أثينا اليونانية محدودة ولمدة أيام ولا يوجد أرشيف مسجل على الموقع لبيانات سابقة فقد تمت مراسلة البروفسورين المذكورين للحصول على معلومات لمدة عام كامل , ولكن هذه البيانات تحتوي على ارتفاع الموجة الفعال وعلى دور الموجة الزمني فقط ويمكن من خلال هذين المحددين حساب استطاعة الأمواج بالكيلوواط على المتر من خلال العلاقة

$$P \approx 0.49TH^2 \quad \left(KW/m\right)$$

حيث وكما ذكرنا سابقاً :

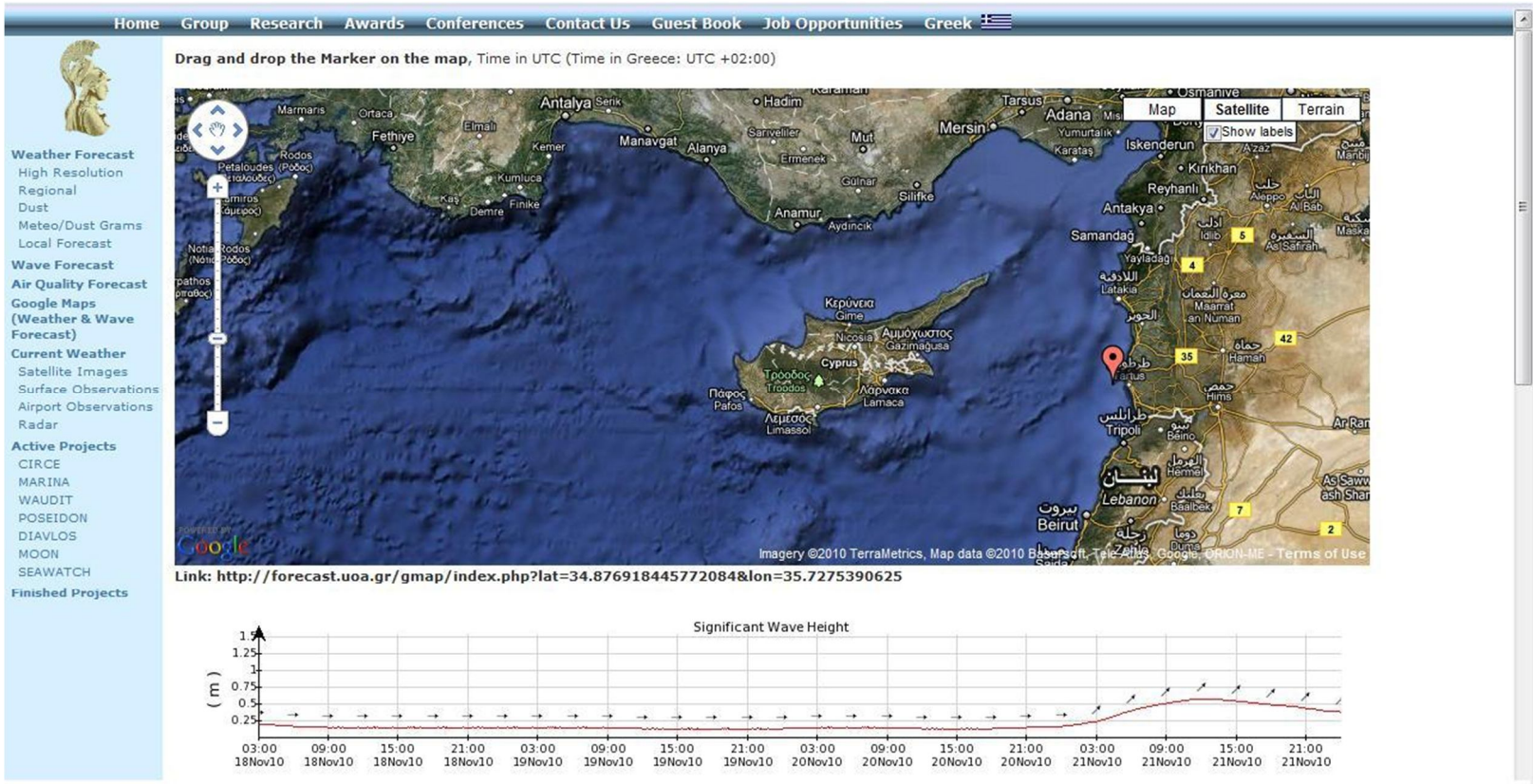
T: دور الموجة.

H: ارتفاع الموجة الفعال.

وبسبب الحجم الكبير لهذه البيانات الخاصة بعام ٢٠٠٩ فلن نتمكن من استعراضها كاملةً وسيتم ارفاق قرص مضغوط خاص بها مع الأطروحة ولكن يمكننا أن نستعرض جزء من هذه البيانات هنا بحيث نأخذ عينة خاصة بكل فصل من فصول السنة بمعدل عشرة أيام من كل فصل ليتم الاستئناس من خلالها عن الاستطاعة التي يمكن الحصول عليها في كل فصل من فصول العام وبالتالي حتى نتمكن من اختيار نوعية مبدل طاقة الأمواج المناسب , كما سيتم استعراض قيم وسطية لكل شهر من أشهر السنة وذلك لكل من ارتفاع الموجة الفعال ودور الموجة والاستطاعة الناتجة عن الأمواج بالكيلوواط على المتر من عرض مقدمة الموجة .

ويبين الجدول (٦-١) عينة لمدة ثلاثة أيام متتالية للقيم الخاصة بكل من ارتفاع الموجة ودورها الزمني والاستطاعة الناتجة وذلك ل٢٤ قياس لكل يوم وبمعدل قياس كل ساعة زمنية.

ويبين الجدول (٦-٢) بيانات الأمواج على مدى أشهر السنة لعام ٢٠٠٩ وذلك لكل من ارتفاع الموجة الفعال بالمتر ودور الموجة بالثانية والاستطاعة الناتجة عن الأمواج بالكيلوواط للمتر من عرض مقدمة الموجة.



الشكل (٦-٢) تغير ارتفاع الموجة في نقطة قرب طرطوس ولمدة ثلاثة أيام مأخوذة من خرائط شبكة غوغل على الانترنت

الجدول (٦-١) عينة لمدة ثلاثة أيام من بيانات الأمواج والتي تم الاعتماد عليها في حساباتنا.

Day	Hour	H(m)	T(sec)	Power(kw/m)
08-Mar-09	0	0.56	4.42478	0.693805504
08-Mar-09	1	0.6	4.42478	0.7964604
08-Mar-09	2	0.76	4.2735	1.2341868
08-Mar-09	3	0.84	4.4843	1.58206104
08-Mar-09	4	0.85	4.69484	1.69601095
08-Mar-09	5	0.86	4.69484	1.736151832
08-Mar-09	6	0.9	4.52489	1.83258045
08-Mar-09	7	0.87	4.6729	1.768459005
08-Mar-09	8	0.81	4.78469	1.569617555
08-Mar-09	9	0.74	4.87805	1.33561009
08-Mar-09	10	0.7	4.90196	1.2009802
08-Mar-09	11	0.67	4.87805	1.094878323
08-Mar-09	12	0.65	4.87805	1.030488063
08-Mar-09	13	0.64	4.97512	1.018904576
08-Mar-09	14	0.64	5.12821	1.050257408
08-Mar-09	15	0.66	5.37634	1.170966852
08-Mar-09	16	0.71	5.58659	1.40810001
08-Mar-09	17	0.75	5.71429	1.607144063
08-Mar-09	18	0.77	5.71429	1.694001271
08-Mar-09	19	0.78	5.58659	1.699440678
08-Mar-09	20	0.78	5.46448	1.662294816
08-Mar-09	21	0.77	5.40541	1.602433795
08-Mar-09	22	0.76	5.34759	1.544383992
08-Mar-09	23	0.75	5.31915	1.496010938
09-Mar-09	0	0.73	5.29101	1.409789615
09-Mar-09	1	0.73	5.10204	1.359438558
09-Mar-09	2	0.81	4.54545	1.491134873
09-Mar-09	3	0.91	4.31034	1.784696277
09-Mar-09	4	1	4.2735	2.13675
09-Mar-09	5	1.06	4.31034	2.421549012
09-Mar-09	6	1.13	4.38596	2.800216162
09-Mar-09	7	1.17	4.4843	3.069279135
09-Mar-09	8	1.18	4.54545	3.16454229
09-Mar-09	9	1.16	4.58716	3.086241248
09-Mar-09	10	1.14	4.56621	2.967123258
09-Mar-09	11	1.12	4.54545	2.85090624
09-Mar-09	12	1.11	4.52489	2.787558485
09-Mar-09	13	1.07	4.52489	2.590273281

09-Mar-09	14	1.02	4.54545	2.36454309
09-Mar-09	15	0.95	4.56621	2.060502263
09-Mar-09	16	0.91	4.56621	1.890639251
09-Mar-09	17	0.9	4.46429	1.80803745
09-Mar-09	18	0.93	4.38596	1.896708402
09-Mar-09	19	0.94	4.38596	1.937717128
09-Mar-09	20	0.92	4.38596	1.856138272
09-Mar-09	21	0.93	4.34783	1.880219084
09-Mar-09	22	0.93	4.329	1.87207605
09-Mar-09	23	0.92	4.31034	1.824135888
10-Mar-09	0	0.91	4.29185	1.777040493
10-Mar-09	1	0.89	4.29185	1.699787193
10-Mar-09	2	0.87	4.29185	1.624250633
10-Mar-09	3	0.86	4.29185	1.58712613
10-Mar-09	4	0.87	4.31034	1.631248173
10-Mar-09	5	0.88	4.38596	1.698243712
10-Mar-09	6	0.91	4.44444	1.840220382
10-Mar-09	7	0.97	4.5045	2.119142025
10-Mar-09	8	1.05	4.56621	2.517123263
10-Mar-09	9	1.12	4.65116	2.917207552
10-Mar-09	10	1.19	4.73934	3.355689687
10-Mar-09	11	1.22	4.80769	3.577882898
10-Mar-09	12	1.27	4.85437	3.914806687
10-Mar-09	13	1.32	4.87805	4.24975716
10-Mar-09	14	1.36	4.90196	4.533332608
10-Mar-09	15	1.4	4.92611	4.8275878
10-Mar-09	16	1.45	4.9505	5.204213125
10-Mar-09	17	1.5	5	5.625
10-Mar-09	18	1.53	5.07614	5.941368063
10-Mar-09	19	1.52	5.15464	5.954640128
10-Mar-09	20	1.48	5.15464	5.645361728
10-Mar-09	21	1.44	5.12821	5.316928128
10-Mar-09	22	1.39	5.07614	4.903805047
10-Mar-09	23	1.33	5	4.42225

الجدول(٦-٢) بيانات الأمواج الشهرية لعام ٢٠٠٩ قرب الساحل السوري.

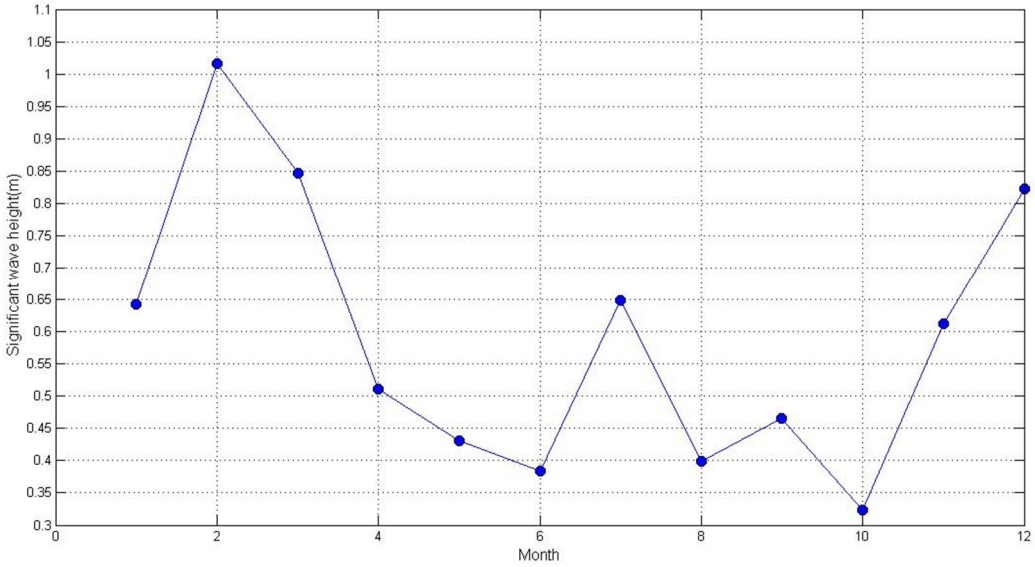
Month	Significant wave height(m)	Time Period (sec)	Power(kw/m)
Jan	0.642920723	4.184007065	1.715230034
Feb	1.015818452	4.998646131	5.560814631
Mar	0.846344086	4.658558965	3.196601414
Apr	0.510513889	4.062054653	1.116166595
May	0.430403226	4.021639503	0.925872403
Jun	0.383958333	4.14760625	0.478390826
Jul	0.648333333	4.063779958	1.080115737
Aug	0.399	3.988714097	0.376830243
Sep	0.465560345	4.100272227	0.613988807
Oct	0.32358871	3.792752097	0.305478175
Nov	0.612816092	4.30221875	2.536840409
Dec	0.822177419	4.867994086	3.703308056

وبناءاً على الجدول (٦-٢) يمكننا الحصول على المنحنيات الثلاثة التالية والتي تعطينا صورة واضحة عن ارتفاع الموجة الفعال ودور الموجة واستطاعة الأمواج الوسطية لأشهر سنة كاملة .

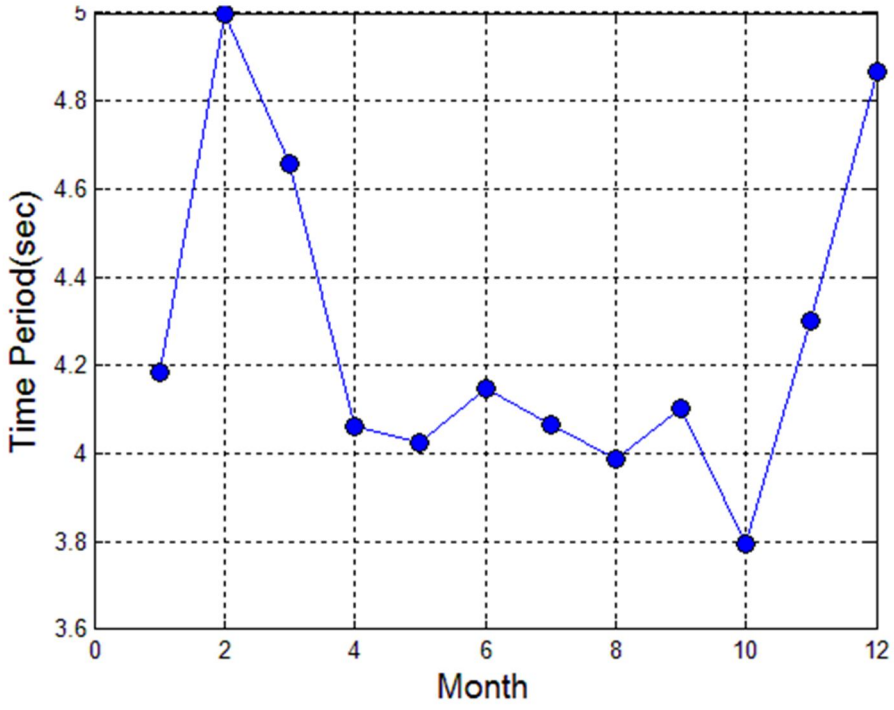
حيث يعطينا الشكل (٦-٣) منحني تغير ارتفاع الموجة الفعال خلال أشهر عام ٢٠٠٩ .

نلاحظ أن ارتفاعات الأمواج الفعالة تتراوح بين ٠.٣٢ و ١ متر.

ويعطينا الشكل (٦-٤) منحني تغير دور الموجة خلال أشهر عام ٢٠٠٩ .



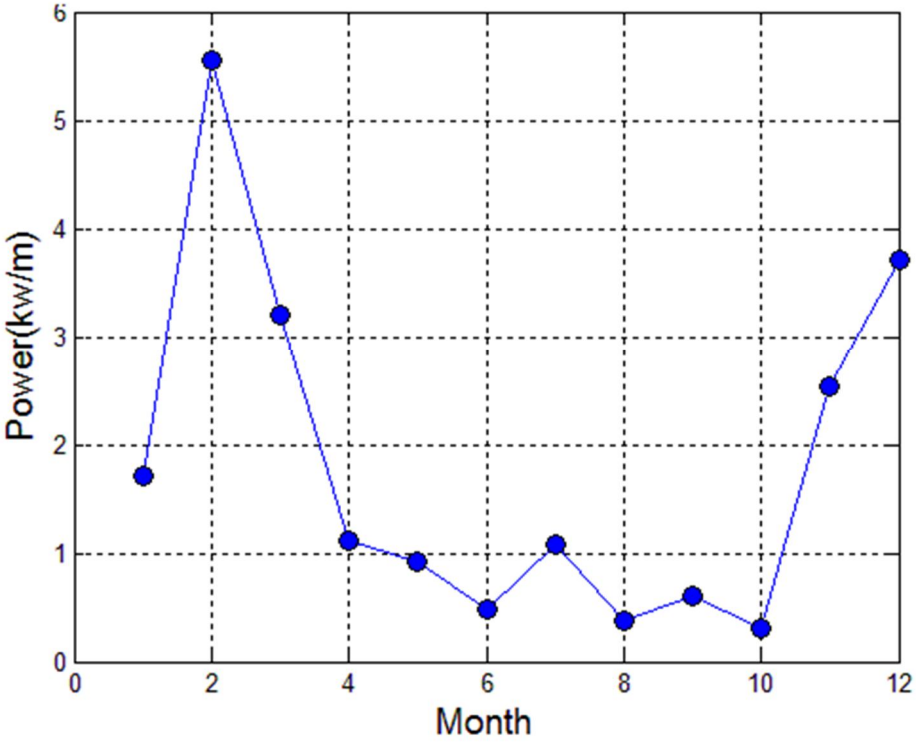
الشكل(٦-٣) منحني تغير ارتفاعات الأمواج خلال أشهر السنة في عام ٢٠٠٩ في نقطة قريبة من الساحل السوري على البحر الأبيض المتوسط.



الشكل (٦-٤) منحني تغير دور الموجة خلال أشهر عام ٢٠٠٩ لنقطة قريبة من الساحل السوري في البحر الأبيض المتوسط.

نلاحظ أن أدوار الموجة تتراوح وسطياً بين ٣.٨ ثانية و٥ ثواني.

ويعطينا الشكل (٦-٥) منحني تغير استطاعة الأمواج خلال أشهر عام ٢٠٠٩.



الشكل (٦-٥) منحني تغير استطاعة الأمواج بالكيلوواط للمتر من عرض مقدمة الموجة وذلك لأشهر عام ٢٠٠٩ في منطقة قريبة من الساحل السوري.

نلاحظ أن معدل الاستطاعة الوسطي يتراوح بين ٠.٥ و ٥.٥ كيلوواط للمتر .

وهذه القيم كقيم أولية يمكن الاستفادة منها هي قيم أعلى من القيم الموجودة في البحر الأسود والتي بنى عليها الدكتور لوراند سابو دراسته حيث يمكن تقدير متوسط الاستطاعة لدينا ب ٢ كيلوواط للمتر بينما كانت في البحر الأسود بمعدل ١ كيلوواط للمتر.

وبالتالي يمكننا اعتماد ما اختاره الدكتور لوراند في دراسته من حيث اختيار المولد الخطي.

ويمكن جعل القيم أكثر دقةً بأخذ المتوسطات لكل يوم من أيام السنة لكلٍ من ارتفاع الموجة الفعال ودور الموجة والاستطاعة

والجدول(٦-٣) يبين القيم الوسطية اليومية لعام ٢٠٠٩ لكل من ارتفاع الموجة الفعال ودور الموجة والاستطاعة الناتجة عن الأمواج وذلك في الموقع الذي يقع على خط طول ٣٥.٤ وخط عرض ٣٥.٣ قرب الساحل السوري.

الجدول (٦-٣) القيم الوسطية اليومية في عام ٢٠٠٩ لمحددات الأمواج الثلاث – الارتفاع –الدور والاستطاعة في نقطة قريبة من الساحل السوري.

Date	H(m)	T(sec)	P(kw/m)
2-Jan-09	0.217826087	3.560445217	0.098485107
3-Jan-09	0.425833333	3.294550833	0.342375543
4-Jan-09	0.637083333	3.577907917	0.751802572
5-Jan-09	0.77	4.01949375	1.228791451
6-Jan-09	0.31875	4.160057083	0.215512148
7-Jan-09	0.74125	4.3167375	1.457725607
8-Jan-09	0.579166667	5.066268333	0.908117751
9-Jan-09	0.289583333	3.977717917	0.169873654
10-Jan-09	0.312916667	3.779509583	0.204976143
11-Jan-09	0.667083333	3.689010833	1.299578952
12-Jan-09	0.905833333	4.294691667	2.023438314
13-Jan-09	0.4475	3.344632083	0.361441228
14-Jan-09	0.347083333	3.410845417	0.210597217
15-Jan-09	0.3725	3.5288875	0.265002778
16-Jan-09	0.40125	3.34240375	0.347843873
17-Jan-09	0.550416667	3.690472917	0.593795203
18-Jan-09	0.451666667	5.148052917	0.522155614
19-Jan-09	0.33875	4.723481667	0.272917894
20-Jan-09	0.28875	3.886896667	0.172398793
21-Jan-09	0.279166667	3.519324583	0.156705275
22-Jan-09	0.7275	3.7718925	1.048237469
23-Jan-09	0.508333333	3.889572917	0.559412095
24-Jan-09	0.664166667	4.169782917	0.932865086
25-Jan-09	1.369166667	5.3365	5.323787255
26-Jan-09	0.905833333	4.99558125	2.114196063
27-Jan-09	0.618333333	4.786524583	0.993540799
28-Jan-09	0.50875	4.00089375	0.547736926
29-Jan-09	0.6725	4.034365833	0.997565804
30-Jan-09	1.707916667	5.433241667	8.900749391
31-Jan-09	2.245	6.744486667	18.36791064
1-Feb-09	0.945416667	5.141444167	2.402874574
2-Feb-09	0.480833333	4.539346667	0.585084929
3-Feb-09	0.20875	3.826385417	0.090825869
4-Feb-09	0.31	3.6257725	0.229268703
5-Feb-09	0.435416667	3.822139583	0.3815363
6-Feb-09	0.345416667	3.754154167	0.227639064
7-Feb-09	0.327916667	3.8939425	0.214593235

8-Feb-09	0.227083333	3.436039583	0.102730816
9-Feb-09	0.811666667	4.012712083	1.907795861
10-Feb-09	2.134166667	6.617997083	15.21491522
11-Feb-09	1.7025	7.183740833	10.65340812
12-Feb-09	1.088333333	5.098180417	3.213143108
13-Feb-09	0.47	4.683260833	0.534118333
14-Feb-09	0.254583333	4.138265	0.139710256
15-Feb-09	0.80375	4.576335417	2.67988279
16-Feb-09	3.059583333	7.00890125	36.29230444
17-Feb-09	1.624166667	5.97672	8.471869259
18-Feb-09	0.640416667	4.50938125	1.133190642
19-Feb-09	0.532916667	3.620015	0.577679708
20-Feb-09	1.835833333	5.51328375	13.91769955
21-Feb-09	2.56	7.272276667	24.27379662
22-Feb-09	1.285416667	6.249051667	5.872640874
23-Feb-09	0.765	4.566885417	1.454177096
24-Feb-09	1.662916667	5.792510833	8.288057206
25-Feb-09	0.68	5.285410833	1.376684839
26-Feb-09	0.354166667	4.54642125	0.296578293
27-Feb-09	0.981666667	4.621299583	2.359602134
28-Feb-09	1.915	6.650217917	12.81100182
1-Mar-09	1.029166667	7.136194583	3.986780989
2-Mar-09	0.662916667	4.484877083	1.026578637
3-Mar-09	0.905833333	4.372509167	1.807252193
4-Mar-09	0.67625	4.106796667	0.952858474
5-Mar-09	0.298333333	3.513465	0.189157892
6-Mar-09	0.547083333	4.02571875	0.632962756
7-Mar-09	0.790833333	4.39411875	1.414741715
8-Mar-09	0.7425	5.005570417	1.396884525
9-Mar-09	0.98625	4.511841667	2.221258971
10-Mar-09	1.197083333	4.736575	3.620167192
11-Mar-09	0.800833333	4.621938333	1.652237875
12-Mar-09	0.269166667	4.486420833	0.173345917
13-Mar-09	0.448333333	3.81578	0.90292614
14-Mar-09	2.645833333	6.542194583	23.31811681
15-Mar-09	1.750833333	5.643949583	8.872390766
16-Mar-09	0.63	4.8068875	1.207347082
17-Mar-09	0.210416667	3.8224125	0.086744359
18-Mar-09	0.110416667	4.00177125	0.024535113
19-Mar-09	0.847083333	4.004402917	2.069944715
20-Mar-09	0.747916667	4.439785	1.429892833

21-Mar-09	0.259166667	3.823358333	0.134442956
22-Mar-09	0.461666667	3.58773125	0.589538154
23-Mar-09	1.118333333	4.479345833	3.545166736
24-Mar-09	2.230416667	6.812980833	17.29150773
25-Mar-09	1.070833333	5.304980417	3.293695079
26-Mar-09	0.494583333	4.15145375	0.5211182
27-Mar-09	1.547916667	5.230741667	7.669536482
28-Mar-09	1.4575	6.309020833	7.335312585
29-Mar-09	0.750833333	4.489439583	1.342943475
30-Mar-09	0.358333333	3.866088333	0.31433158
31-Mar-09	0.19	3.8869775	0.070925913
1-Apr-09	0.116666667	3.978643333	0.027174261
2-Apr-09	0.302083333	3.422231667	0.182388733
3-Apr-09	0.200416667	3.652827917	0.077265395
4-Apr-09	0.277083333	3.6849175	0.146843185
5-Apr-09	0.199583333	3.784511667	0.080080751
6-Apr-09	0.443333333	3.699676667	0.431295938
7-Apr-09	0.885833333	4.431337917	1.763402682
8-Apr-09	0.814166667	4.2691625	1.47044919
9-Apr-09	0.40625	4.81052625	0.40115566
10-Apr-09	0.221666667	4.286009583	0.110066047
11-Apr-09	0.127916667	3.882041667	0.032271488
12-Apr-09	0.300833333	3.223773333	0.165149976
13-Apr-09	0.275833333	3.123788333	0.147075878
14-Apr-09	0.423333333	3.18429125	0.554522588
15-Apr-09	1.605833333	5.422851667	8.379290676
16-Apr-09	1.484166667	5.645664583	6.462533551
17-Apr-09	0.865416667	4.852961667	1.844462682
18-Apr-09	0.574583333	4.283246667	0.849096696
19-Apr-09	0.32625	3.327289167	0.182342366
20-Apr-09	0.383333333	3.122767083	0.235766617
21-Apr-09	0.220833333	3.055632917	0.083262367
22-Apr-09	0.07125	5.22206625	0.013227975
23-Apr-09	0.72875	4.20315625	1.666008091
24-Apr-09	1.182916667	4.885186667	3.458295379
25-Apr-09	0.906666667	4.6006175	2.007624474
26-Apr-09	0.27625	3.96452375	0.175156791
27-Apr-09	0.1775	4.111181667	0.065518044
28-Apr-09	0.300416667	3.717639583	0.199487061
29-Apr-09	0.312916667	3.860135417	0.215182454
30-Apr-09	0.903333333	4.152979167	2.058600858

1-May-09	0.955833333	4.648102083	2.182491353
2-May-09	0.624583333	4.004902917	0.818247959
3-May-09	0.392916667	3.537754167	0.290587361
4-May-09	1.074166667	4.558015833	2.950166936
5-May-09	2.0675	5.864979167	12.66552481
6-May-09	1.322916667	5.474022083	4.911365024
7-May-09	0.657083333	4.588677917	1.111438239
8-May-09	0.31875	3.974722917	0.225825421
9-May-09	0.19375	3.914747917	0.074598682
10-May-09	0.170416667	3.919908333	0.057805997
11-May-09	0.17875	3.86370875	0.062511171
12-May-09	0.190416667	3.613572083	0.065747142
13-May-09	0.27375	3.340372083	0.139426802
14-May-09	0.4975	3.520644167	0.446308955
15-May-09	0.273333333	4.0203325	0.152650823
16-May-09	0.1475	3.947947917	0.043963112
17-May-09	0.120416667	4.104335833	0.030303258
18-May-09	0.110416667	3.636692917	0.021925063
19-May-09	0.232916667	4.14547125	0.168970276
20-May-09	0.47625	4.20620375	0.507654542
21-May-09	0.337083333	4.12428375	0.237044516
22-May-09	0.342083333	4.03898875	0.259888624
23-May-09	0.204166667	3.725818333	0.078365443
24-May-09	0.393333333	3.500989583	0.275424025
25-May-09	0.389166667	3.4108325	0.261471279
26-May-09	0.272083333	3.749418333	0.139519535
27-May-09	0.1875	3.84574375	0.067700593
28-May-09	0.271666667	3.888233333	0.157015568
29-May-09	0.190416667	3.863015833	0.071185706
30-May-09	0.237083333	3.401693333	0.104070245
31-May-09	0.23875	4.2366925	0.122846034
1-Jun-09	0.182083333	4.103505833	0.068268902
2-Jun-09	0.200833333	4.032830417	0.081938569
3-Jun-09	0.175833333	3.886654167	0.060445096
4-Jun-09	0.302083333	3.80323875	0.252409498
5-Jun-09	0.715833333	4.611284167	1.186313044
6-Jun-09	0.36625	4.305810833	0.331025138
7-Jun-09	1.018333333	6.972295	3.945733523
8-Jun-09	0.345416667	4.754442083	0.3537226
9-Jun-09	0.3225	3.538614167	0.201695393
10-Jun-09	0.274583333	3.317487083	0.127719776

11-Jun-09	0.4475	3.774552083	0.45196533
12-Jun-09	0.584583333	3.82750375	0.65805171
14-Jun-09	0.405416667	4.08063875	0.336650458
15-Jun-09	0.280416667	4.534542083	0.179648978
16-Jun-09	0.208333333	4.49633375	0.097845331
17-Jun-09	0.306666667	3.961537083	0.187690513
18-Jun-09	0.220833333	3.733104583	0.091145489
19-Jun-09	0.21125	3.69468125	0.082428895
20-Jun-09	0.2475	3.50018875	0.121864697
21-Jun-09	0.56125	3.685623333	0.590229214
22-Jun-09	0.45125	3.88421	0.416854029
23-Jun-09	0.308333333	3.98056625	0.20021418
24-Jun-09	0.249166667	3.866051667	0.125470761
25-Jun-09	0.23125	4.273419167	0.12081607
27-Jun-09	0.66	4.70787375	1.104920605
28-Jun-09	0.772083333	4.535322083	1.402341572
29-Jun-09	0.44375	4.199079167	0.473089977
30-Jun-09	0.2575	4.071585	0.144443773
1-Jul-09	0.225833333	4.42183875	0.11479827
2-Jul-09	0.394583333	4.424620833	0.370238861
3-Jul-09	0.927083333	4.399985833	1.911874349
4-Jul-09	1.27125	4.817118333	3.958104766
5-Jul-09	1.34875	5.090217917	4.635405895
6-Jul-09	0.965416667	4.60423	2.198422584
7-Jul-09	0.712916667	4.040930833	1.036926196
8-Jul-09	0.507916667	3.882617083	0.511166607
9-Jul-09	0.38125	3.925451667	0.296419947
10-Jul-09	0.364583333	3.693103333	0.245402553
11-Jul-09	0.462083333	3.537187917	0.405123477
12-Jul-09	0.667916667	3.928797083	0.88233962
13-Jul-09	0.695416667	4.126153333	1.006667971
14-Jul-09	1.1075	4.580279583	2.88709851
15-Jul-09	0.849583333	4.48584125	1.66061785
16-Jul-09	0.7725	4.1664425	1.250597723
17-Jul-09	0.684583333	3.94349625	0.939582229
18-Jul-09	0.5575	3.689114583	0.579058251
19-Jul-09	0.6325	3.74611375	0.753199129
20-Jul-09	0.569583333	3.808717083	0.625228121
21-Jul-09	0.49125	3.90071625	0.473996293
22-Jul-09	0.4875	3.980434167	0.475807447
23-Jul-09	0.611666667	3.881028333	0.740675093

24-Jul-09	0.7975	4.104990417	1.318403251
26-Jul-09	0.534583333	3.837971667	0.561577757
27-Jul-09	0.365	3.600842083	0.240908048
28-Jul-09	0.3525	3.606362083	0.224732954
29-Jul-09	0.366666667	3.960095833	0.269049205
30-Jul-09	0.585833333	3.718125	0.672184375
31-Jul-09	0.75875	4.010575	1.157864769
1-Aug-09	0.6075	4.025149583	0.754463213
2-Aug-09	0.321666667	4.052804167	0.229035669
3-Aug-09	0.22375	3.960964583	0.100073303
4-Aug-09	0.252083333	4.159759167	0.13858961
5-Aug-09	0.276666667	4.045610417	0.159528865
6-Aug-09	0.419583333	3.477402917	0.335054695
8-Aug-09	0.755833333	4.015375833	1.14977128
9-Aug-09	0.622083333	3.850328333	0.758033198
10-Aug-09	0.415	4.0929675	0.375676069
11-Aug-09	0.327083333	4.3197225	0.233709729
12-Aug-09	0.30375	4.18880875	0.204333829
13-Aug-09	0.192916667	4.026764583	0.074930003
14-Aug-09	0.271666667	3.95912625	0.147979215
15-Aug-09	0.295416667	4.063105833	0.187040372
16-Aug-09	0.285833333	4.1891925	0.179981523
17-Aug-09	0.340416667	4.1395275	0.247825072
18-Aug-09	0.318333333	4.0224975	0.210272405
19-Aug-09	0.3	3.659550417	0.168496452
20-Aug-09	0.25375	3.854948333	0.125471965
21-Aug-09	0.25	3.941202917	0.131712583
22-Aug-09	0.271666667	3.70311375	0.152159709
23-Aug-09	0.587083333	3.790040417	0.662849005
24-Aug-09	0.56	3.987955833	0.633621004
25-Aug-09	0.674166667	3.802040833	0.873207778
26-Aug-09	0.425833333	4.04893875	0.425042585
27-Aug-09	0.296666667	4.205401667	0.196162094
28-Aug-09	0.372916667	3.945025417	0.284154611
29-Aug-09	0.522916667	3.889210417	0.544166144
30-Aug-09	0.654166667	3.862680417	0.843225996
31-Aug-09	0.57125	4.382205833	0.778339327
1-Sep-09	0.4075	3.851991667	0.332882388
2-Sep-09	0.335833333	3.7932725	0.220213141
3-Sep-09	0.27	4.1499225	0.152702751
4-Sep-09	0.270416667	4.25831125	0.160998118

5-Sep-09	0.324583333	4.121904583	0.221690574
6-Sep-09	0.567916667	3.953684583	0.671743072
7-Sep-09	0.85375	4.145591667	1.512096219
8-Sep-09	0.671666667	3.982479167	0.913797699
9-Sep-09	0.640416667	4.058844167	0.834131958
10-Sep-09	0.445416667	4.0738375	0.418080183
11-Sep-09	0.51375	3.778754167	0.505054633
12-Sep-09	0.298333333	3.655849583	0.211373434
13-Sep-09	1.331666667	5.179948333	4.648233453
14-Sep-09	0.646666667	4.916393333	1.280321069
15-Sep-09	0.3925	4.254111667	0.331174531
16-Sep-09	0.532916667	3.891819583	0.551443871
17-Sep-09	0.377083333	3.94739125	0.28501362
18-Sep-09	0.5525	3.87492875	0.598055431
19-Sep-09	0.392083333	3.776722083	0.296647743
20-Sep-09	0.523333333	4.2408975	0.606036989
21-Sep-09	0.56875	4.468478333	0.724667506
22-Sep-09	0.369166667	4.390809167	0.317717624
23-Sep-09	0.406666667	3.507194167	0.305242015
24-Sep-09	0.334583333	3.63848	0.222959475
26-Sep-09	0.151666667	4.1289	0.048501964
27-Sep-09	0.227083333	4.511087917	0.122954056
28-Sep-09	0.585833333	4.169729167	0.926710343
29-Sep-09	0.394166667	3.930854583	0.356961247
30-Sep-09	0.115	4.255705417	0.028270286
1-Oct-09	0.215833333	3.5503675	0.092690982
2-Oct-09	0.217083333	3.306642083	0.079386091
3-Oct-09	0.236666667	3.165627083	0.093232827
4-Oct-09	0.175	4.125285417	0.064101176
5-Oct-09	0.461666667	4.636184167	0.568592395
6-Oct-09	0.593333333	4.4944625	0.85127983
7-Oct-09	0.395833333	4.8531875	0.386744755
8-Oct-09	0.210416667	4.49842	0.104661583
9-Oct-09	0.37875	3.387095833	0.252725329
10-Oct-09	0.246666667	4.110500417	0.130771865
11-Oct-09	0.12375	3.888735	0.029991986
12-Oct-09	0.283333333	3.167639167	0.146968581
13-Oct-09	0.220833333	3.777145	0.095667681
14-Oct-09	0.219166667	3.847792083	0.096509704
15-Oct-09	0.521666667	3.328668333	0.466595356
16-Oct-09	0.43875	3.445274583	0.384507446

17-Oct-09	0.249583333	2.860065	0.093637659
18-Oct-09	0.1775	3.516222083	0.061513094
19-Oct-09	0.145416667	3.76647125	0.04273599
20-Oct-09	0.19125	3.24569625	0.064223305
21-Oct-09	0.686666667	4.817037917	1.411538388
22-Oct-09	0.38625	4.61958375	0.353788637
23-Oct-09	0.252083333	3.922514583	0.123391199
24-Oct-09	0.21625	3.262437917	0.078092495
25-Oct-09	0.214583333	3.184299167	0.078364041
26-Oct-09	0.2875	3.276365833	0.135951658
27-Oct-09	0.352083333	3.351569167	0.236999851
28-Oct-09	0.266666667	3.3807575	0.142206361
29-Oct-09	0.13	4.123274167	0.050033184
30-Oct-09	0.664583333	4.085154167	0.957188595
31-Oct-09	0.872083333	4.580839583	1.795731375
1-Nov-09	1.592083333	5.149425	7.613444479
2-Nov-09	2.624583333	6.517178333	25.46990493
3-Nov-09	2.06125	6.652647083	15.47898077
4-Nov-09	1.6425	5.687927083	8.846105108
5-Nov-09	1.301666667	5.989307917	5.835897002
6-Nov-09	0.625833333	4.188585833	0.808022244
7-Nov-09	0.617083333	3.854237083	0.734899773
8-Nov-09	0.4525	3.905336667	0.4436466
9-Nov-09	0.337083333	3.569949167	0.219999032
10-Nov-09	0.297083333	4.665325417	0.215947244
11-Nov-09	0.139166667	4.117988333	0.041175084
12-Nov-09	0.5125	3.526723333	0.671876626
13-Nov-09	0.63	4.5693825	0.947734637
14-Nov-09	0.473333333	4.79495375	0.541140257
15-Nov-09	0.258333333	4.36621875	0.153457256
16-Nov-09	0.166666667	4.004022917	0.056692149
17-Nov-09	0.3625	3.347682083	0.242041065
18-Nov-09	1.209166667	4.61778375	3.997316789
19-Nov-09	0.289583333	3.7038625	0.174769885
20-Nov-09	0.219583333	3.30770125	0.089100704
21-Nov-09	0.110833333	3.96529875	0.024435967
22-Nov-09	0.208333333	3.772220833	0.091046528
23-Nov-09	0.16	3.272479583	0.042124436
24-Nov-09	0.3375	3.60338875	0.235930594
25-Nov-09	0.232916667	3.524372083	0.10987909
26-Nov-09	0.133333333	4.604431667	0.04257017

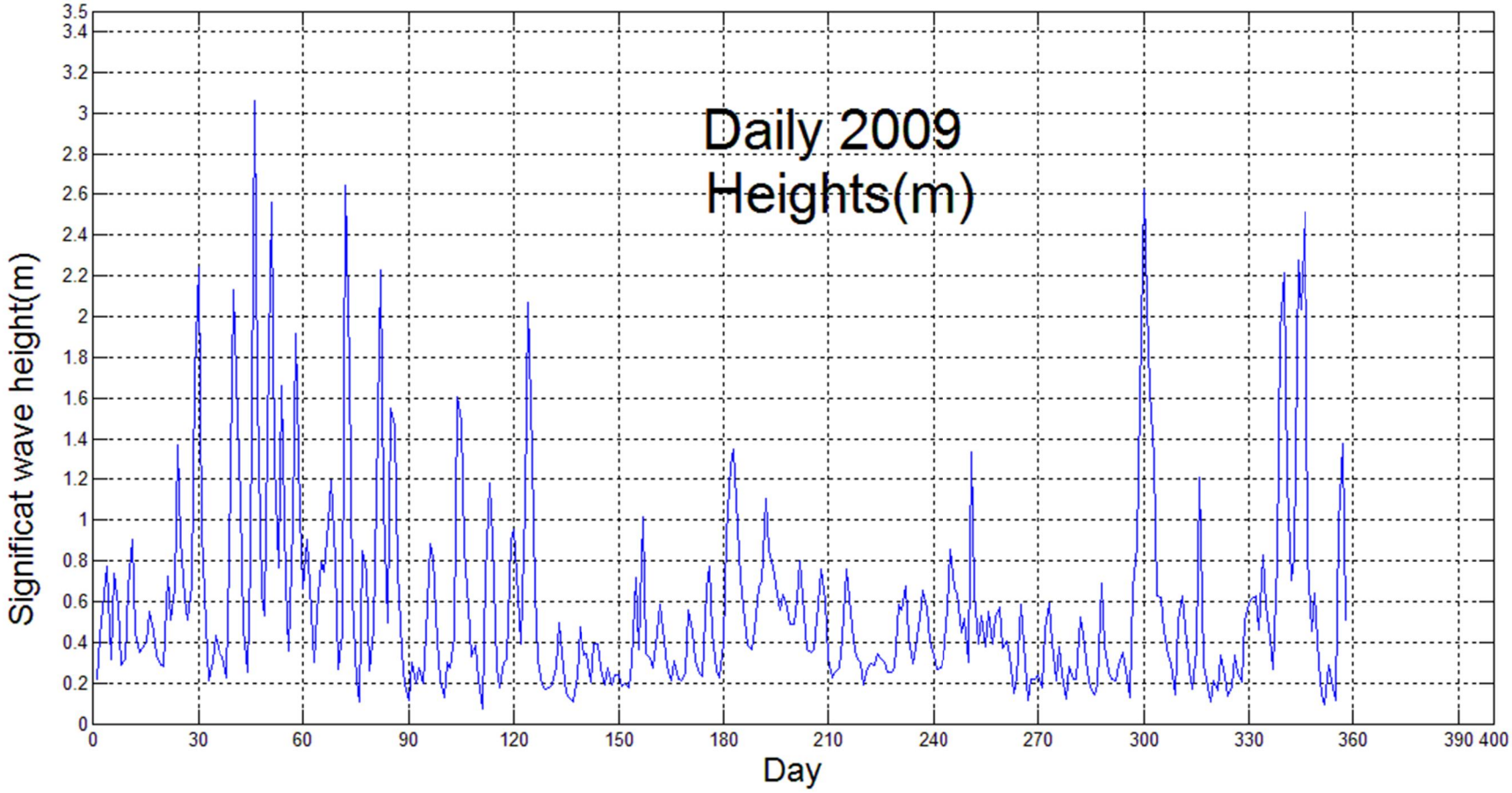
27-Nov-09	0.185	4.08473125	0.069914036
29-Nov-09	0.338333333	3.552365417	0.242331815
30-Nov-09	0.252916667	3.848816667	0.1279876
1-Dec-09	0.204166667	3.61890375	0.08004437
2-Dec-09	0.504583333	3.529483333	0.457434776
3-Dec-09	0.5825	4.342373333	0.799567019
4-Dec-09	0.616666667	4.362922917	0.845784884
5-Dec-09	0.625833333	4.60585	0.904939458
6-Dec-09	0.4575	3.98805375	0.424214558
7-Dec-09	0.825416667	5.643632917	1.926421728
8-Dec-09	0.579166667	5.089346667	0.881224983
9-Dec-09	0.42125	4.187639583	0.410322165
10-Dec-09	0.26875	4.13707875	0.149808982
11-Dec-09	0.797916667	4.076309583	1.94662675
12-Dec-09	1.932916667	6.298925	12.98739123
13-Dec-09	2.2125	6.347424167	16.30855486
14-Dec-09	1.189583333	5.831822917	4.943110689
15-Dec-09	0.70375	4.887645417	1.333443662
16-Dec-09	0.81875	4.198129583	1.449421399
17-Dec-09	2.27625	6.90962125	18.04588091
18-Dec-09	2.037083333	6.309944167	13.22861796
19-Dec-09	2.515833333	6.6267025	21.68784257
20-Dec-09	0.81375	5.20663375	2.12467355
21-Dec-09	0.45375	4.526039583	0.488937439
22-Dec-09	0.643333333	5.444459583	1.147602085
23-Dec-09	0.29625	5.058468333	0.249925472
24-Dec-09	0.139166667	4.244114583	0.042339016
25-Dec-09	0.096666667	4.316663333	0.020232053
26-Dec-09	0.287083333	3.940769583	0.224944264
27-Dec-09	0.211666667	3.53438875	0.087158509
28-Dec-09	0.11125	4.233194167	0.026403769
29-Dec-09	0.98125	4.131064167	4.290150616
30-Dec-09	1.374583333	6.275627083	6.602603827
31-Dec-09	0.508333333	5.004584167	0.686926187

ومن خلال هذا الجدول يمكن أن نحصل على الشكل (٦-٦) والذي يعطينا تغيرات ارتفاع الأمواج اليومي خلال عام ٢٠٠٩ في النقطة ذات الاحداثيات المذكورة.

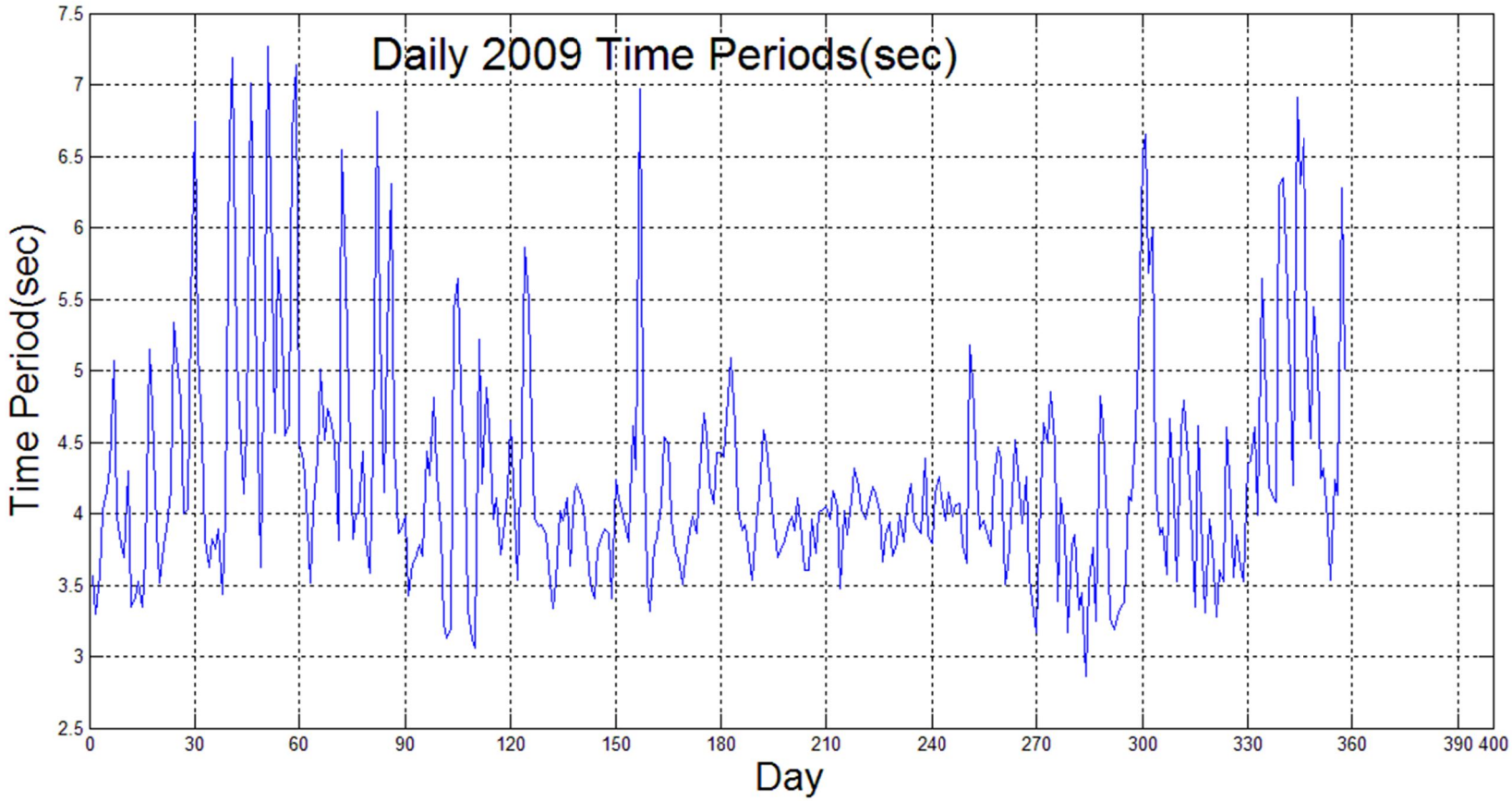
وكذلك يمكننا أن نحصل على الشكل (٦-٧) والذي يعطي تغير الأدوار الزمنية للأمواج يومياً خلال عام ٢٠٠٩

أما الشكل (٦-٨) فيبين تغير الاستطاعة الناتجة عن الأمواج لعام ٢٠٠٩.

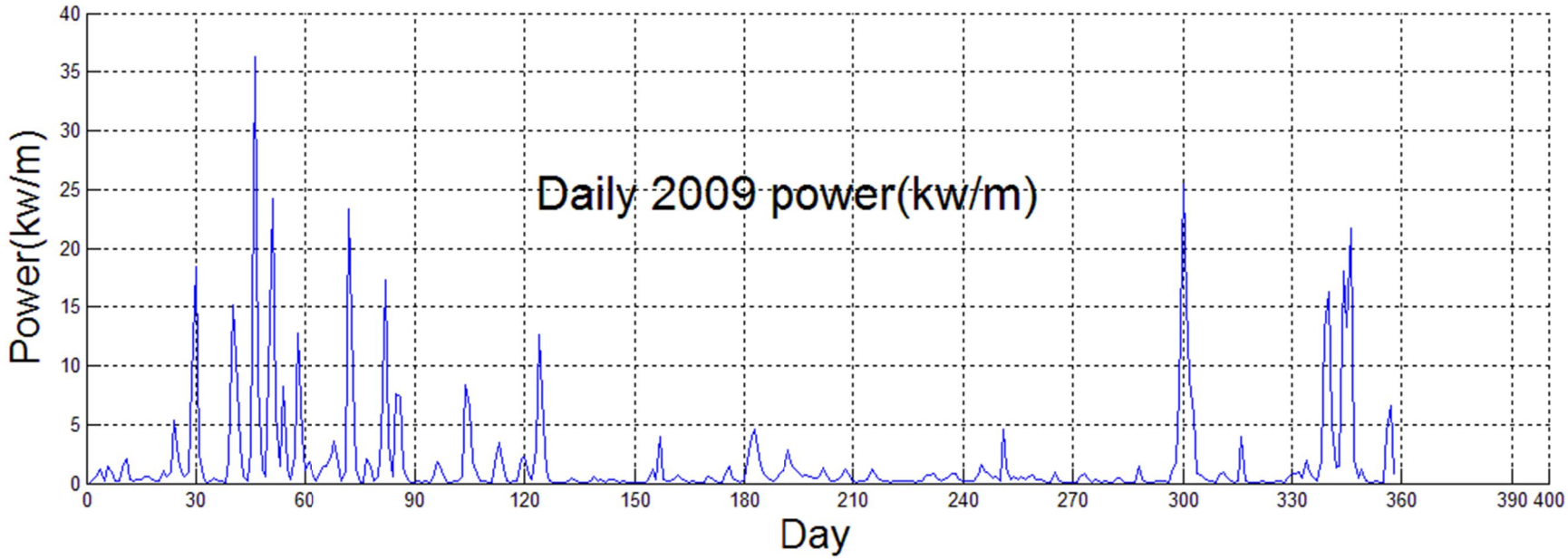
ويمكن توضيح قيم الاستطاعة الناتجة عن الأمواج من خلال الشكل (٦-٩) والذي تم فيه استبعاد القيم المتطرفة العالية لتوضيح المجال الأكبر من القيم.



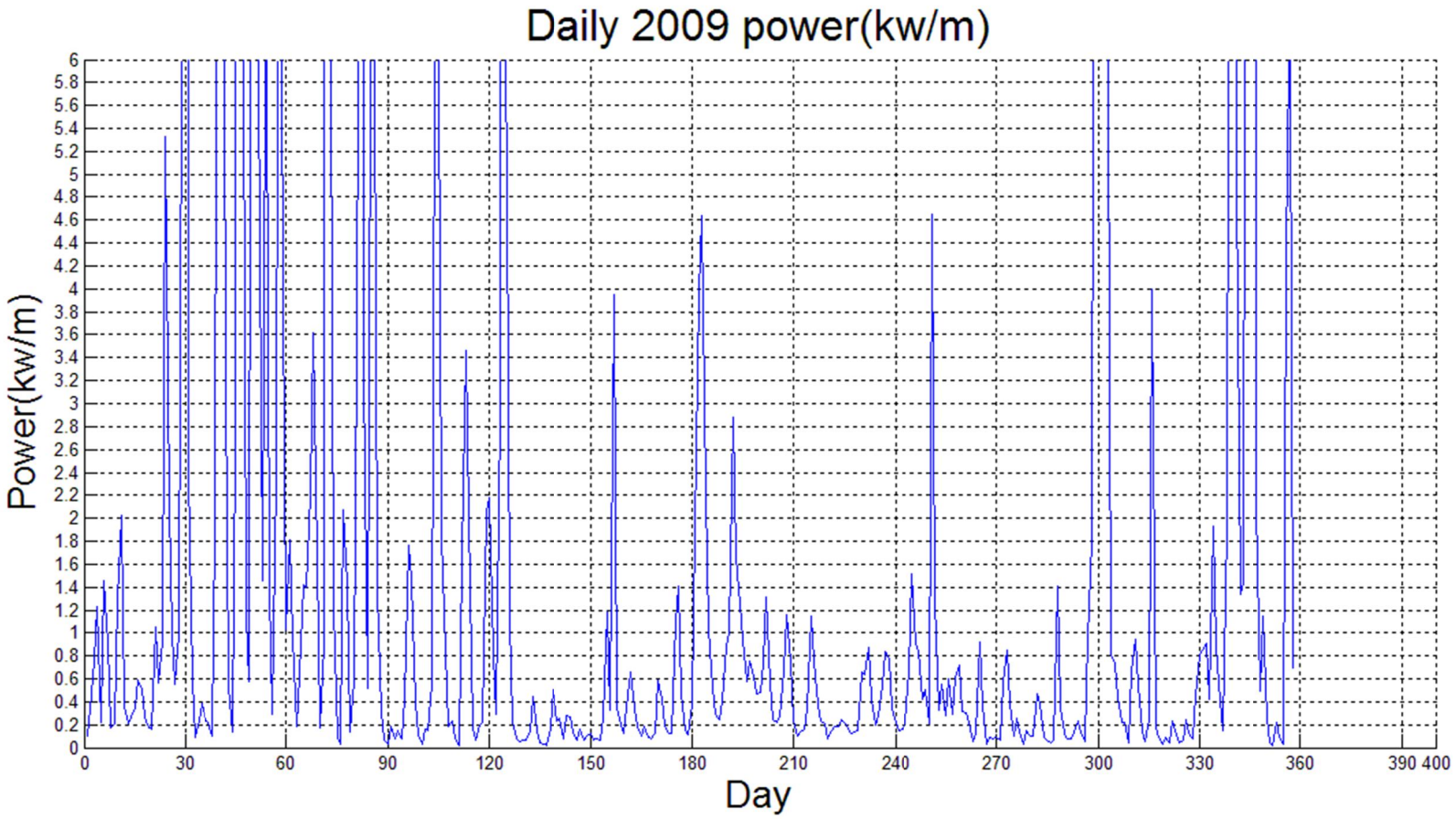
الشكل (٦-٦) منحني تغير ارتفاع الموجة الفعال ل٣٦٠ قياس خلال عام ٢٠٠٩ في نقطة قريبة من الساحل السوري



الشكل (٦-٧) منحني تغير دور الأمواج ل٣٦٠ قياس خلال عام ٢٠٠٩ في نقطة قريبة من الساحل السوري



الشكل (٦-٨) منحني تغير استطاعة الأمواج ل٣٦٠ قياس خلال عام ٢٠٠٩ في نقطة قريبة من الساحل السوري



الشكل (٦-٩) منحني تغير استطاعة الأمواج ل٣٦٠ قياس خلال عام ٢٠٠٩ في نقطة قريبة من الساحل السوري بشكل أوضح.

٦-٢- اختيار مبدل طاقة الأمواج الأنسب حسب البيانات الموجودة:

٦-٢-١- أفعى البحر:

من الجدول (٣-١) نلاحظ أنه وحتى نحصل على استطاعة مقبولة باستخدام تقنية أفعى البحر (البيلاميس) فإنه يجب أن تكون ارتفاعات الأمواج بين ٤.٥ متر و ٨ متر ويجب أن يكون دور الموجة بين ٦ ثواني و١٢ ثانية, وهذه القيم كما نلاحظ من جداول بيانات الأمواج الخاصة بالبحر الأبيض المتوسط قلّ ما تظهر لدينا , وبالتالي فيمكننا استبعاد استخدام أفعى البحر لتوليد الطاقة الكهربائية من طاقة الأمواج في سواحلنا.

٦-٢-٢- العمود المائي المهتز :

حاولنا الحصول على برنامج المحاكاة **Prowave** الخاص بالعمود المائي المهتز والذي أنجزته شركة **Oceanlinx** الاسترالية والذي ذكرناه في الفصل الثالث والذي يوضحه الشكل (٣-٥) ولكن تبين أن هذا البرنامج خاص بالأبحاث العلمية للشركة وليس تجارياً ولكن مدير الشركة توم دينيس استقبل البيانات الخاصة بالبحر الأبيض المتوسط مني عبر البريد الالكتروني واعتماداً على هذه البيانات أكد لي أن استخدام العمود المائي المهتز لن يكون مجدياً اقتصادياً وأنه سيكون مكلفاً كثيراً وأن أحد الاحتمالات التي يمكن استخدامها هي عمود مائي مهتز باستطاعة ٢٥ كيلوواط ولكن تكلفته ستكون بحدود ٣ مليون دولار.

٦-٢-٣- المولدات الخطية:

كما لاحظنا من البيانات السابقة فإن معدل الاستطاعة الناتجة عن الأمواج هو بحدود ١.٨ كيلوواط للمتر من عرض مقدمة الموجة,وكما رأينا في الدراسات المرجعية التي تم شرحها بالتفصيل في الفصل الخامس فإن المولد الخطي هو الأنسب للاستخدام في الساحل السوري حيث أن هذا المولد يمكن أن يعمل في البحار المغلقة حيث يكون ارتفاع الأمواج محدوداً ، وبالتالي يمكننا اختيار المولد الخطي ذا المغناطيس الدائم كحل أمثل لتوليد الطاقة الكهربائية من طاقة الأمواج قرب الساحل السوري.

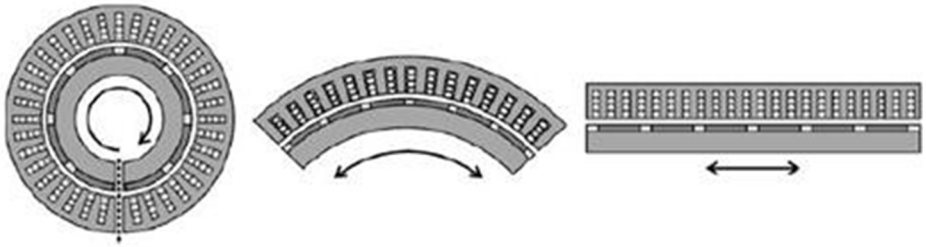
الفصل السابع:

نمذجة ومحاكاة المولد الخطي باستخدام برنامج الماتلاب

٧-١- المولدات الخطية:

مقدمة عامة عن مبدلات طاقة الأمواج المباشرة:

تمتلك البنية الداخلية للمولدات الخطية بمعظم حالاتها الشكل الأصلي من الآلة الدوّارة والشكل الهندسي للمولد الخطي يمكن الحصول عليه بقص وهمي وفرد للآلة الدوارة كما هو مبين بالشكل (٧-١) والذي يبين فرد الآلة دوارة وذلك باتجاه الحركة.



الشكل (٧-١) فرد الآلة الدوّارة للحصول على آلة خطية.

هناك على أي حال هناك بعض الاختلافات الواضحة بين الآلتين سواءً من ناحية التصميم أو من ناحية العمل.

١- الوصل المباشر مع الشبكة غير ممكن وخطوة التقويم ضرورية جداً في الآلات الخطية.

٢- في الآلات الخطية لا يمكن استخدام محور واحد للحصول على ثغرة هوائية منتظمة وانما نحتاج لعدة نقاط للتثبيت.

٣- الدارة المغناطيسية للآلة الخطية تختلف بشكل كامل عن دارة الآلة الدوارة حيث تمتلك الآلة الخطية دارة مغناطيسية مفتوحة في نهايتي الآلة، بينما الآلة الدوارة تمتلك دارة مغناطيسية مغلقة على شكل دائرة.

٤- في الآلة الخطية المنطقة الفعّالة من الثغرة الهوائية تختلف حسب حركة الجزء المتحرك بالنسبة للثابت وبالتالي سيؤثر ذلك على شكل الفبض المغناطيسي للآلة الخطية.

يتميز المولد الخطي ببساطة مبدأ عمله وبتقليل عدد خطوات التحويل من طاقة الأمواج الى طاقة كهربائية وبالتالي يخف التعقيد الميكانيكي الموجود في مبدلات طاقة الأمواج الأخرى والتي تحتوي على خطوة هيدروليكية أو خطوة ميكانيكية أخرى قبل الوصول الى الخرج الكهربائي المطلوب ولكن ذلك يكون على حساب أمور أخرى عادةً مثل كبر حجم المولد وصعوبة تصميمه . [7]

يبين الشكل (٧-٢) مقارنةً بين المولد الخطي والمولد الدوار فيما لو تم استخدام كليهما في تحويل طاقة الأمواج لطاقة كهربائية حيث نلاحظ أنه في المولد الدوار سنحتاج الى آلية تغيير سرعة Gear Box وذلك لأن سرعات الأمواج صغيرة

جداً بالمقارنة مع السرعات التي تعمل عليها المولدات الدوارة أما في حالة المولدات الخطية فإنها تعمل على سرعات بطيئة.

يشبه اذاً مبدل طاقة الأمواج المباشر من حيث المبدأ مفهوم تحويل طاقة الرياح الى طاقة كهربائية حيث يتم وصل الجزء المتحرك في المولد مع الجزء الذي يمتص الطاقة (والتي هي الرياح أو الأمواج) وهو بالنسبة للرياح العنفة الريحية.

٧-١-١- بنية المولدات الخطية وطرائق تركيبها في البحر:

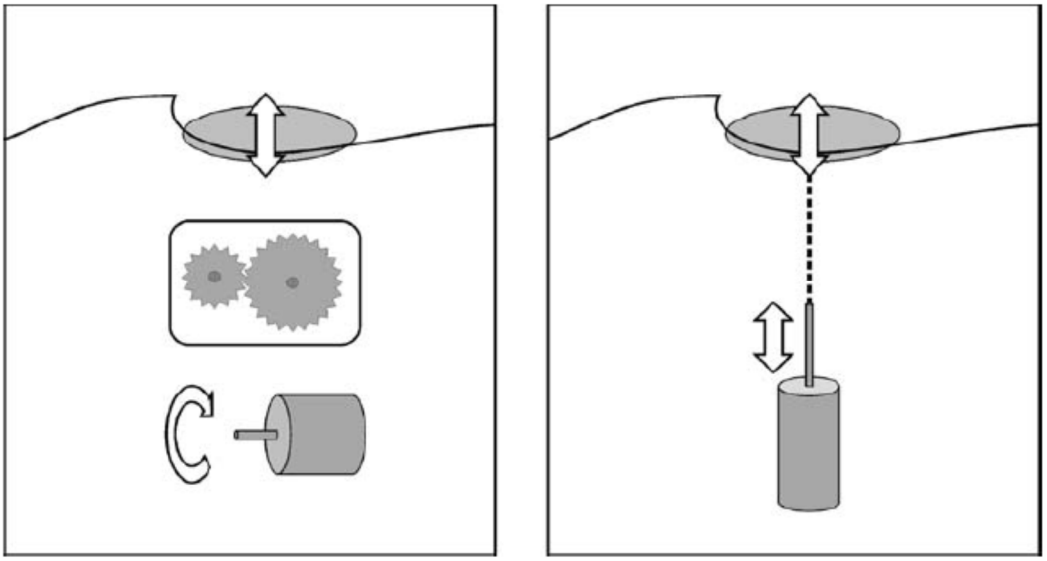
إن بنية المولد الخطي هي بنية بسيطة فهو يتألف من جزئين أساسيين هما الثابت **Stator** والمتحرك **Translator** ويبين الشكل (٧-٣) توضيحاً لبنية المولد الخطي من الداخل.

يتكون الجزء المتحرك من مجموعة من المغانط الدائمة بقطبيات متعاكسة ويتحرك هذا الجزء مع حركة الأمواج بالنسبة للجزء الثابت والذي يمثل المتحرض والذي يتكون من مجموعة من الملفات الناقلة التي يتحرض فيها التوتر الكهربائي حسب قانون فاراداي بسبب تغير الحقل المغناطيسي الناتج عن حركة الجزء المتحرك.

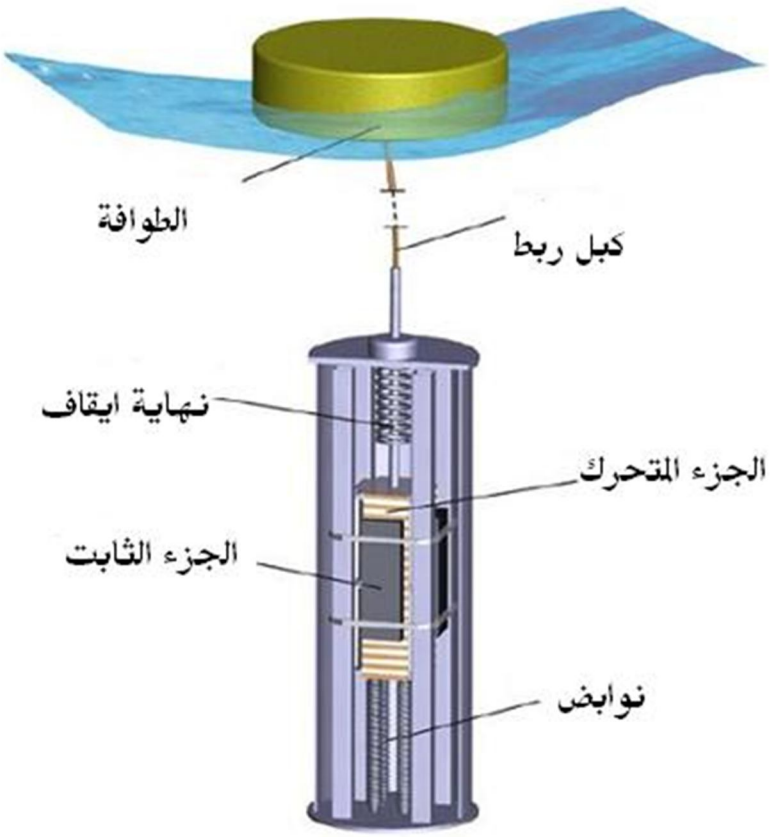
المحرك الأساسي للجزء المتحرك هو الطافية الموضحة بأعلى الشكل (٧-٢) والتي تتحرك مع حركة الأمواج.

ويبين الشكل (٧-٤) توضيحاً أكبر لبنية المولد الخطي من الداخل.

ويظهر الشكل (٧-٥) مقطعاً عرضياً للثابت والمتحرك يظهر فيه النواقل والمغانط والثغرة الهوائية بشكل أوضح.



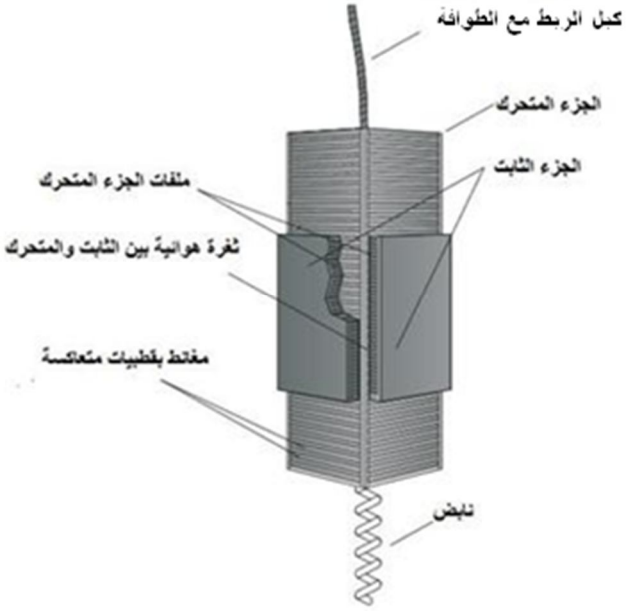
الشكل (٧-٢) مقارنة بين المولد الخطي والمولد الدوار فيما لو تم استخدامهما في تحويل طاقة الأمواج.



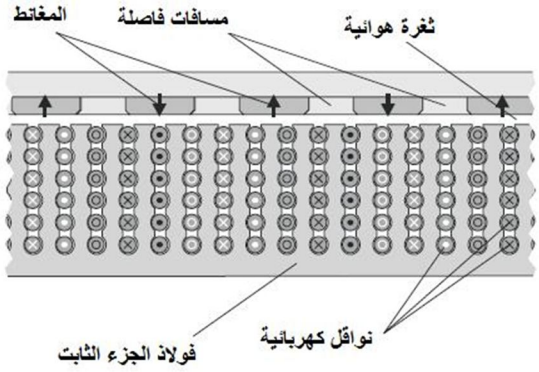
الشكل (٧-٣) بنية المولد الخطي.

هناك العديد من الطرائق التي تم اقتراحها لتركيب المولدات الخطية في مياه البحر ويختلف أحدها عن الآخر باختلاف النظام المرجعي The reference system، يمكن تلخيصها بأربعة مفاهيم أساسية تظهر بالشكل (٧-) والذي يتكون من أربعة أشكال فرعية (أ) و(ب) و (ج) و (د), ففي الشكل (أ) النظام المرجعي هو سطح البحر, وفي الشكل (ب) المرجع هو النظام الطافي, وفي الشكل (ج) المرجع هو الصحن المخمد.

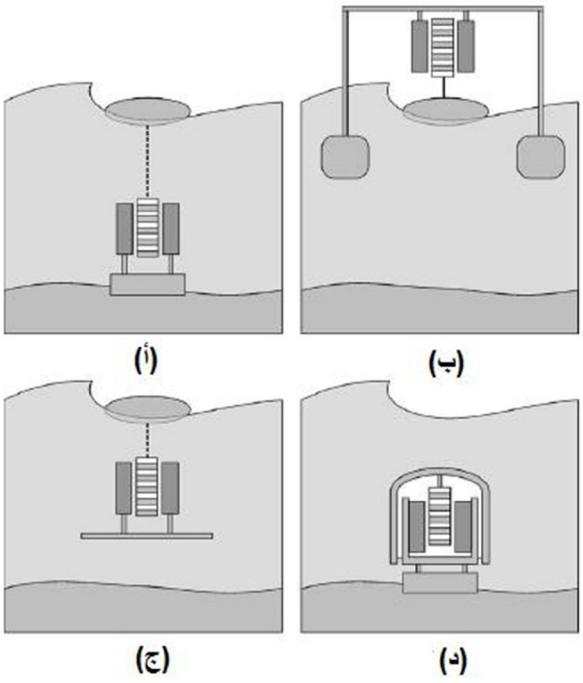
وفي الشكل (د) المرجع هو سطح البحر ولكن هنا نستخدم غاز يملأ العبوة التي يوجد فيها المولد الخطي وتتم الحركة في هذه الحالة حسب دافعة أرخميدس.



الشكل (٧ - ٤) بنية المولد الخطي.



الشكل (٧ - ٥) مقطع عرضي للمولد الخطي.



الشكل (٧-٦) طرق تركيب المولدات الخطية في البحر.

٧ - ١ - ٢ -مفاهيم أساسية في المولدات الخطية:

- **التخميد:**

تشكل الطوافة مع النظام المرجعي نظاماً مهتزاً والمولد في هذه الحالة يعمل كمخمد.
تعتمد الطاقة الممتصة من الموجة بشكل أساسي على تخميد المولد.
يعتمد التخميد الأمثل للمولد على عدة عوامل هي الحجم والوزن للطافية كما تعتبر السرعة من العوامل الأساسية أيضاً.
تم العمل بشكل كبير على الوصول لحالة تخميد مثالي ويكون هذا التخميد عادةً في حالة الطنين.
بعض الأحيان قد يكون هناك حاجة لتخميد إضافي زائد في حال المناخ القاسي للتقليل من سرعة المتحرك ومن شوطه.

- **قوة رد الفعل:**

أحد أهم النقاط الواضحة جلياً هنا كون هذا النوع من المولدات يعمل على سرعات بطيئة جداً حيث يتحرك هذا المولد بشكل مباشر مع حركة مياه البحر وبالتالي تكون سرعته من رتبة ١ الى ٢ متر بالثانية وهي أقل من ١٥ الى ٥٠ مرة من سرعة المولدات التقليدية الدوارة التزامنية وبالتالي قوة رد الفعل يجب أن تكون أكبر من ١٥ الى ٥٠ مرة **لتعطي نفس استطاعة الخرج وهذا يعني حجم مولد أكبر بكثير من المولدات التقليدية.**

- **زيادة التحميل:**

ان استطاعة الخرج للمولد الخطي يمكن تحديدها من السرعة الخطية للجزء المتحرك في المولد الخطي وذلك باعتبار أنه لا يوجد هنا وسيط لتخزين الاستطاعة الكهربائية.

يتبع الجزء المتحرك الموجة بشكل مستمر وبالتالي ستتغير الاستطاعة الناتجة عن هذا المولد بتغير السرعة.

يصعب تقدير التحميل الزائد للمولد على مدى الزمن القصير والذي ينتج عن الأمواج الحادة التي يمكن أن تظهر.

- **مسافة الشوط للمولد:**

يجب أن تكون مسافة الشوط للمولد موافقة لارتفاع الأمواج وهي تكون في مجال الأمتار وتعتبر هذه المسافة بالمقارنة مع غيرها من تطبيقات الآلات الخطية كبيرة نوعاً ما .

يتناقص التحريض المغناطيسي في الآلة اذا كان الجزئين الثابت والمتحرك لهما نفس الطول.

للحصول على تحريض ثابت في الثغرة الهوائية لمسافة شوط طويلة فإن أحد الجزئين الثابت أو المتحرك يجب أن يكون أطول من الآخر وفي حال زيادة طول الثابت عن المتحرك فإن الضياعات الأومية ستزداد بسبب زيادة طول النواقل.

أما بزيادة طول المتحرك عن الثابت فإن ذلك سيؤدي لزيادة الكلفة المبدئية فقط لذلك فإن الشائع أكثر زيادة طول المتحرك عن الثابت.

- **الربط مع الشبكة:**

حركة الجزء المتحرك في المولد الخطي هي بأغلب الأحوال حركة دورية والسرعة تتغير بشكل مستمر مع تسارع أو تناقص سرعة المتحرك وبالتالي فإن تردد التوتر المتحرض سيكون متغيراً .

عملياً لا يمكن الوصل المباشر للمولد الخطي مع الشبكة الكهربائية وانما يلزم تقويم التيار ومن ثم تعريجه لوصله مع الشبكة العامة.

فيما يلي الجدول (٧-١) والذي يبين مقارنة بين نوعين من المولدات الخطية تم استخدامهما في جامعة أبسالا في السويد ومتطلبات كل نوع منهما ومواصفاته:

الجدول (٧-١) المتطلبات والمواصفات للمولدات الخطية في جامعة أبسالا في السويد:

العامل	مولد خطي ٣ متر	متأرجحة أرخميدس AWS
السرعة الاسمية	٠.٧ متر للثانية	٢.٢ متر للثانية
الاستطاعة الاسمية	١٠ كيلوواط	١ ميغا واط
قوة رد الفعل الاسمي	١٤.٣ كيلو نيوتن	٤٥٤ كيلو نيوتن
الحمل الزائد طويل الأمد	٢-٥ مرة من الحمل الاسمي	ضعفي الحمل الاسمي
الحمل الزائد قصير الأمد	١٠ أضعاف الحمل الاسمي	١٠ اضعاف الحمل الاسمي
مسافة الشوط	١.٥ متر	٧ متر
مساحة الثغرة الهوائية	٢.١ متر مربع	٢٠ متر مربع

اعتماداً على ارتفاعات الأمواج في المنطقة المدروسة وحسب الاستطاعات الوسطية التي يمكن تحصيلها من الأمواج في هذه المنطقة نجد أن المولد الخطي الأول المعروض في الجدول السابق هو الأنسب للاستخدام في منطقتنا وهو باستطاعة ١٠ كيلوواط وبمسافة شوط ١.٥ متر وبسرعة اسمية ٠.٧ متر للثانية.

٧ - ١ - ٣ - نظرية المولد الأساسية: [7]

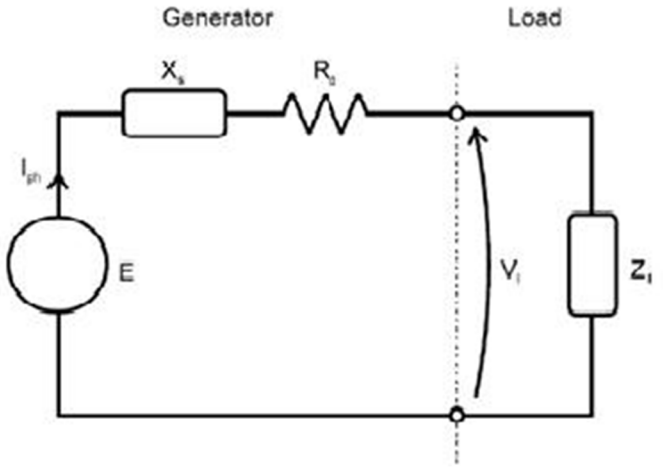
عندما يتحرك المغناطيس الدائم للجزء المتحرك بالنسبة للجزء الثابت تتحرض قوة محركة كهربائية في ملفات المتحرض(الثابت).

هذه القوة المحركة الكهربائية وبحال تم ربط ملفات المتحرض إلى حمولة سوف تؤدي إلى مرور تيار كهربائي في ملفات المتحرض.

هذا التيار سوف يشكل بدوره فيض مغناطيسي تتقاطع خطوط سيالته مع خطوط سيالة الفيض المغناطيسي الأساسي للمغناطيس الدائم وسيؤدي لتشكيل قوة على الجزء المتحرك.

هذه القوة الميكانيكية في الجزء المتحرك يمكن أن تحول فيما بعد لطاقة كهربائية التي يمكن استهلاكها في الحمل.

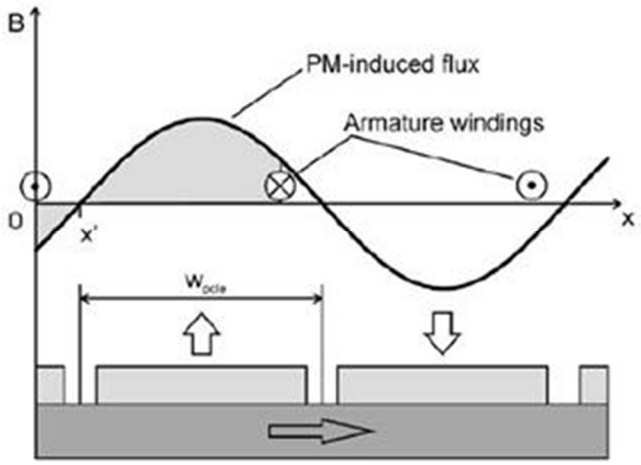
يمكن وصف المولد الكهربائي بدرة بسيطة كما في الشكل (٧-٧).



الشكل (٧-٧) الدارة الكهربائية المكافئة للمولد الخطي.

يتم توضيع المغانط الدائمة للمتحرك بقطبية متناوبة مختلفة مما يؤدي لتشكيل فيض مغناطيسي متناوب سيلحق الجزء المتحرك مع حركته.

ويبين الشكل (٧-٨) تمثيل لتغير الفيض المغناطيسي وملفات المتحرك في طور واحد والفيض المتشكل بملف واحد والمظلل بالشكل سيكون تابعاً لحركة المتحرك وسيتغير مع الحركة .



الشكل(٧-٨) تمثيل لتغير الفيض المغناطيسي وملفات المتحرك في طور واحد

من قانون فاراداي:

$$E = N\frac{d\Phi}{dt} \quad \text{.....} \quad (7\text{-}1)$$

يمكن حساب القوة المحركة الكهربائية المتحرضة:

$$E = \omega . \psi_{PM} . N \quad \text{.....} \quad (7\text{-}2)$$

حيث ω : التردد الزاوي.

ψ_{PM}: السيالة المغناطيسية للمغناطيس الدائم لقطب واحد.

N: عدد اللفات الكلي للملف.

$$\omega = 2\pi . \frac{V}{W_P} \quad \text{.....} \quad (7\text{-}3)$$

W_P: الانزياح القطبي (المسافة بين الأقطاب)

V: سرعة الجزء المتحرك.

وبالتالي الانزياح القطبي الصغير والسرعة العالية سوف تعطي تردد زاوي عالي.

الفيض المغناطيسي المتحرض لكل قطب يتحدد بالقوة المغناطيسية الناشئة عن المغانط الدائمة وبالمفاعلة المغناطيسية للدارة المغناطيسية عملياً كل الآلات المباشرة تعطي طاقة عالية مغناطيسياً.

تعتمد الممانعة المغناطيسية بالدارة على الشكل الهندسي للدارة المغناطيسية وبالأخص المقاطع العرضية للأجزاء الضيقة لممرات الفيض وحسب خواص الفولاذ المستخدم.

العدد الإجمالي للفات الملف بالمولد يكافي عدد الأقطاب مضروباً بعدد اللفات في كل قطب.Nturn.

N=Npole .Nturn .....(7-4)

المفاعلة التزامنية:

يتكون الجزء الثابت(المتحرض) مع عدد من الملفات والتي تمتلك محارضات معينة.

المفاعلة التزامية تنتج من جداء المحارضة مع التردد الكهربائي:

$$X_S = \omega . L_S \text{.....} (7\text{-}5)$$

يتغير التردد الكهربائي مع تغير سرعة المتحرك وبالتالي ستتغير المفاعلة التزامنية.

يمكن تقسيم المحارضة التزامنية إلى جزئين أحدهما يتعلق بالفيض المرتبط بالمتحرك وهي المحارضة الأساسية L_m.

والثانية متعلق بالفيض التسربي L_l.

$$L_s = L_m + L_l \quad \text{.....(7-6)}$$

المحارضة الأساسية تلعب دوراً كبيراً في المولد حيث تمثل الربط المغناطيسي بين ملفات المتحرض والمغانط الدائمة للمتحرك.

محارضة الملف الواحد تتناسب مع مربع عدد لفات الملف.

$$L_m \alpha \ N_{coils} . N^2_{turns} \quad \text{.....(7-7)}$$

الحمولة:

التيار الذي يتم سحبه من المولد الخطي يجب أن يتم تقويمه قبل توصيله إلى الشبكة الكهربائية ويمكن أن يتم ذلك عبر جسور تقويم غير مقادة مكونة من ديودات أو عبر جسر تقويم مقاد مكون من ترانزستورات.

في حالة جسور التقويم غير المقادة سيكون عامل الاستطاعة مساوياً للواحد وسيكون تيار وتوتر الحمل متفقين بالطور.

وبالتالي في هذه الحالة يمكننا تمثيل الحمولة بحمل أومي بحت:

$$Z_L = R_L$$

وفي حال كانت المفاعلة التزامنية عالية فيمكن زيادة الاستطاعة الحقيقة بحال كان عامل الاستطاعة للحمل مختلف عن (الواحد) والذي يمكن الوصول إليه باستخدام جسر تقويم فعّال مقاد.

حيث يمكن التحكم بعامل الاستطاعة وبتقدم أو تأخر التوتر عن التيار.

كما يمكن الوصول إلى عملية تعويض الاستطاعة باستخدام مكثفات والتي ستزيد تعقيد مكونات النظام.

يمكن وصف الحمل بالشكل التالي:

$$Z_L = R_L + jX_L$$

استطاعة الخرج:

يمكن كتابة معادلة الاستطاعة الفعّالة المصروفة في الحمولة على الشكل التالي:

$$P_l = E^2 \left| \frac{R_Q}{(R_1+R_g)^2+(X_S+X_l)^2} \right| \quad \text{.....(7-8)}$$

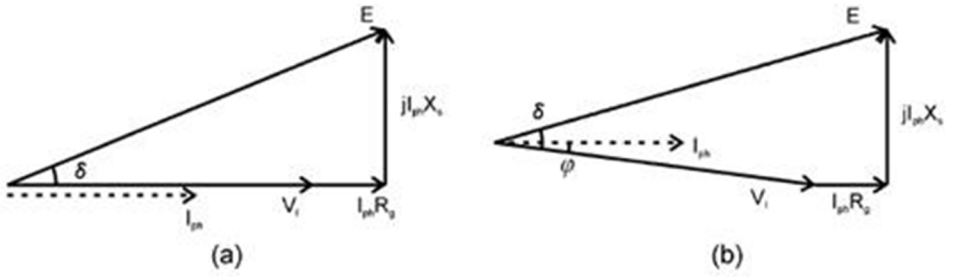
تعتمد الاستطاعة الفعالة على القوة المحركة الكهربائية المتحرضة وعلى المفاعلة التزامنية وعلى مقاومة ملفات المتحرض ومقاومة الحمولة تتغير القوة المحركة المتحرضة مع سرعة المتحرك وبالتالي ستتغير الاستطاعة الفعالة مع تغير سرعة المتحرك خلال دور موجه. يتغير الحمل فإن استطاعة الخرج عند سرعة متحرك معينة سوف تتغير.

وبتغيير الحمل ستتغير قوى التخميد للمولد ويمكن استخدام هذه التقنية للتحكم بالاستطاعة الممتصة من مبدل طاقة الأمواج ، وبالأخص في حال الأمواج العاتية قد نحتاج لزيادة التخميد لمبدل طاقة الأمواج لتخفيف القوى وتصغير شوط المولد.

- نسبة الفيض Flux Ratio

كما ذكرنا سابقاً فإن المولدات التي تمتلك مفاعلة تزامنية عالية نسبياً ستحتاج إلى تعويض طوري لزيادة الاستطاعة الفعالة المأخوذة من المولد.

يمكن عرض مخططين شعاعين (a) (b) و في الشكل (٧-٩) الأول هو الحمل أومي بحت والثاني لحمل معوض طورياً.



الشكل(٧-٩) مخططين شعاعيين لحمل أومي وحمل معوض طورياً

مكونات التوتر $I_{ph}.X_S$ و E تتناسب طرداً مع الفيض المغناطيسي المتحرض في ملفات المتحرض. ومن الفيض المغناطيسي المتحرض من المغانط الدائمة بالتتالي:

$$\frac{I_{ph}.X_S}{E} \propto \frac{\psi_{arm}}{\psi_{PM}} \quad \text{.....(7-9)}$$

عندما تكون النسبة منخفضة فهذا يعني أنه هناك حاجة قليلة لتعويض الفرق الطوري وعندما تكون النسبة عالية فهذا يعني حاجة كبيرة لتعويض الفرق الطوري.

هناك مصطلح هام لدينا هنا هو زاوية الحمل وهي الزاوية بين القوى المحركة الكهربائي E وتوتر الحمل $V\ell$ ويُرمز لها بـــ δ وتشير إلى مدى صعوبة تحميل الآلة.

٧-١-٤- أشكال وأنواع الآلات الخطية:

هناك العديد من أنواع المولدات الخطية والمشتقة بشكل عام من الآلات الدوارة ولا تتناسب جميع هذه الأنواع مع تطبيقات طاقة الأمواج.

الآلات التحريضية والتزامنية يمكن استبعادها لأنها لا تقارن مع الآلات ذات المغانط الدائمة في السرعات القليلة.

يمكن اليوم تصنيف الآلات الخطية إلى ثلاثة أصناف مناسبة لتطبيقات طاقة الأمواج.

- المولدات الخطية ذات المغانط الدائمة بفيض طولي (المعروفة بالمولدات الخطية ذات المغانط التزامنية).
- المولدات الخطية ذات المغانط الدائمة بممانعة مغناطيسية متغيرة وبفيض مغناطيسي تقاطعي كحالة خاصة.
- المولدات الخطية ذات المغانط الدائمة وذات النواة الأنبوبية الهوائية.

١- المولدات الخطية ذات الفيض الطولي:

يشير الاسم إلى أن مسار السيالة المغناطيسية في الجزء الثابت بين الملفات هو مسار طولي.

وتسمى هذه المولدات بالمولدات الدائمة التزامنية إشارةً إلى أن الفيضين المغناطيسيين الخاص بملفات المتحرض والخاص بالمغانط الدائمة يتحركان تزامنيان بالنسبة لبعضهما في الثغرة الهوائية.

وتم تجريب هذه المولدات في ال [Archmides Wave Swing AWS] وفي مشروع جامعة أبسالا السويدية.

يبين الشكل (٧-١٠) مقطع عرضي للدارة المغناطيسية لمولد خطي بمغناطيسي دائم ذو فيض طولي.

الفيض المغناطيسي الأساسي يظهر بخطوط مقطعة وتظهر اتجاهات الفيوض على الشكل.

يخرج الفيض المغناطيسي من أحد المغانط ليعبر الثغرة الهوائية وينتقل عبر سن الثابت وملفات الثابت.

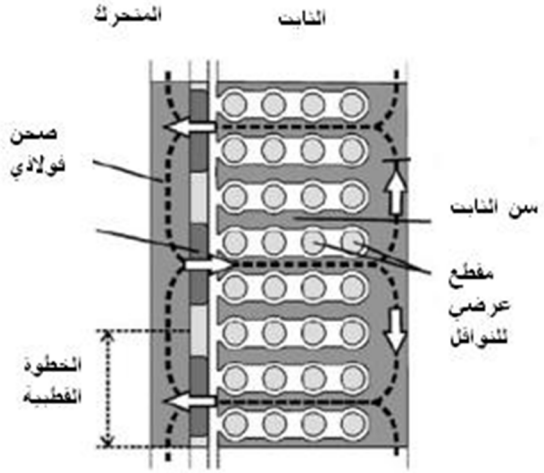
ينقسم الفيض في الجزء الجانبي للثابت(yoke) إلى قسمين الذين يعودان بدورهما عبر سن الثابت ومن ثم الثغرة الهوائية إلى المغناطيس المقابل.

المفاعلة المغناطيسية في الـــ LFPM صغيرة وبنية الثابت بسيطة ومتينة.

ولكن شكله الهندسي يحكم تصغير عرض سن الثابت ومقطع النواقل العرض لانزياح قطبي معين.

ولزيادة عرض سن الثابت لزيادة الفيض في الثابت أو زيادة مقطع النواقل سيتطلب زيادة الانزياح القطبي وبالتالي سينقص التردد الزاوي للفيض.

وبالتالي سيؤدي هذا لتحديد القوة المتحرضة لكل قطب وبالتالي الاستطاعة في الثغرة الهوائية.



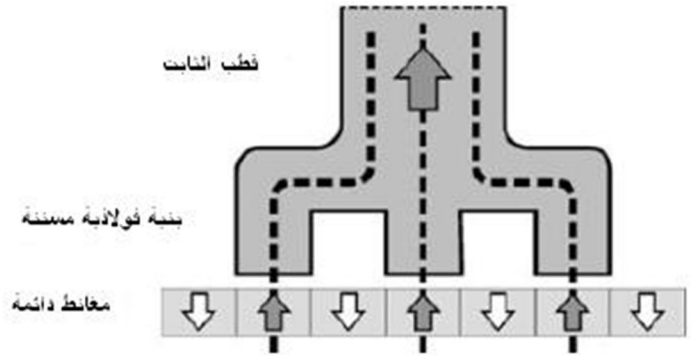
الشكل (٧-١٠) مقطع عرضي في المولد الخطي ذو الفيض الطولي يظهر خطوط السيالة المغناطيسية.

٢ - المولد الخطي ذو المغناطيس الدائم بممانعة متغيرة:

الآلات ذات الممانعة المغناطيسية المتغيرة تضم العديد من تشكيلات المولدات.

الربط المحدود بين المقطع العرضي للدارة المغناطيسية والخطوة القطبية والموجودة في الآلات التزامنية يتم تجنبها هنا باستخدام طريق مرجعي آخر عبر بنية فولاذية سنية.

تمكن بنية هذا المولد من الحصول على فيض مغناطيسي عالي بالنسبة لخطوة قطبية صغيرة، لكن المفاعلة التزامنية لهذه الآلات تميل لتكون عالية جداً. الشكل (٧-١١) يبين هذا النوع.



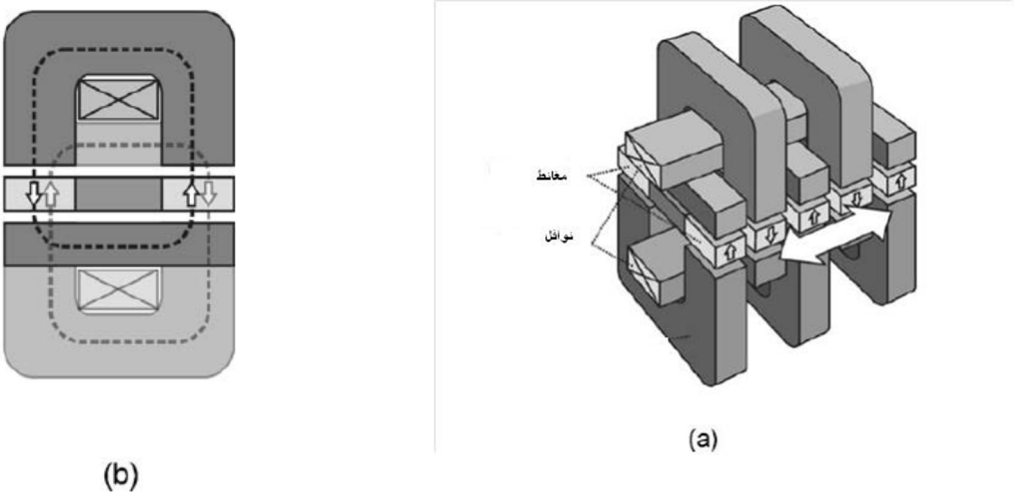
الشكل(٧-١١) المولد الخطي ذو المغناطيس الدائم بممانعة متغيرة

٣. المولدات الخطية ذات المغانط الدائمة ذات الفيض التقاطعي

Transverse Flux Permanent Magnet Generators (TFPM)

البنية الهندسية لآلة الـــ (TFPM) تظهر بالشكل (٧-١٢).

حيث يوجد نوى بشكل C بالأعلى والأسفل تؤدي إلى تشكيل حقول مغناطيسية بخطوط مغلقة حول الملفات.



الشكل(٧-١٢) المولدات الخطية ذات المغانط الدائمة ذات الفيض التقاطعي

الميزة هنا أنه يمكننا الحصول على فيوض مغناطيسية سواءً من المغانط الدائمة أو من تيار ملفات المتحرض عالية ولو كانت الخطوة القطبية صغيرة. وبالتالي يمكن هنا الحصول على قوى عالية جداً للقطب الواحد.

المساويء هي المحارضية التزامنية العالية نسبياً وبالتالي سنحتاج لتعويض فرق الطور عن طريق استخدام مقومات باستطاعات عالية.

السيئة الأخرى هي البنية المعقدة بتكوين الثابت المكون من عدة نوى على شكل C.

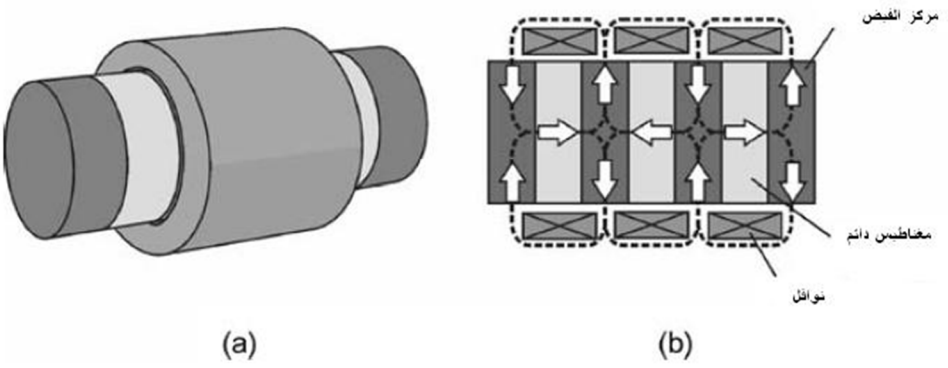
٤. المولدات الخطية ذات المغانط الدائمة وذات النواة الهوائية الأنبوبية:

Tubular air Permanent Magnet Generators (TAPM)

يبين الشكل(٧-١٣) هذا النوع من المولدات بمقطع عرضي وبشكل ثلاثي الأبعاد.

هنا يتم توضع مركزات الفيض بين المغانط .

القوى بالمولدات الخطية بصورة عامة هي بحدود (KN/m^2) 200 وبالتالي هنا نحتاج لتدعيم للوصول لهذه القيم ولبقاء الثغرة الهوائية ثابتة عرضاً.



الشكل(٧-١٣) المولدات الخطية ذات المغانط الدائمة وذات النواة الهوائية الأنبوبية.

٧ - ١ - ٥ - اختيار مواصفات المولد:

تم تصميم المولد بالاعتماد على نوعية LFPM ولم يتم أخذ عامل التأثير الحراري بالحسبان كثيراً بسبب توضع المولد في مياه البحر وبدرجة حرارة ٤-٨ درجة مئوية.

وكان الهدف من العمل هو تكوين مولد صغير بمردود عالي وزاوية حمل صغيرة عند الحمل الاسمي.

الموجه البحرية الاسمية هي موجه بارتفاع 1.6m ودور زمني 4.6 Sec وهي تمثل الوضع الأوسطي لمناخ الساحل الغربي السويدي وهي قيم قريبة لحد كاف من قيمنا على الساحل السوري وبالتالي تمكنا من اعتماد نفس المولد.

الحمل الاسمي للمولد هو 10kw عند السرعة 0.7m/s

يبين الجدول (٧-٢) الميزات الأساسية للمولد عند الحمل الاسمي.

Nominal power	$10\,kW$
Main voltage	$200\,V$ (r.m.s)
Armature current r.m.s.	$28.9\,A$
Fundamental frequency	$7.0\,Hz$
Synchronous reactance	$0.44\,\Omega$
Load angle	$6.6°$
Pole width	$50\,mm$
Air gap width	$3\,mm$
Total air gap area	$2.08\,m^2$
Efficiency	$86\,\%$
Hysteresis losses	$0.53\,kW$
Eddy current losses	$0.04\,kW$
Resistive losses	$1.0\,kW$

الجدول (٧-٢) الميزات الأساسية للمولد الخطي الذي تم اختياره عند الحمل الاسمي

٧-١-٦- تأثير شكل الطوافة على عمل النظام المستخدم : [31]

للحصول على أعلى استثمار للطاقة الكامنة في الأمواج من الضروري التحكم بحركة الطوافة لتلائم مناخ الأمواج في المنطقة المدروسة.

تتحدد المعاملات الديناميكية بشكل الطوافة وكتلة الأجزاء المتحركة ومعامل التخميد.

يتحدد مطال الطوافة في المجال الزمني بالمعادلة التالية:

$$Z=H*\eta$$

حيث H هو تابع النقل الذي يصف معادلات مبدل طاقة الأمواج الديناميكية.

و η هوارتفاع الموجة.

***: تعبر عن تابع الالتفاف (Convulotion Function).**

تابع النقل في المجال الترددي يعطى بالعلاقة التالية::

$$\widehat{H} = \frac{\widehat{f_e}}{-\omega(m_a+m)+i\omega(\gamma+\widehat{R_r})\rho g\pi a^2 K_s} \quad \text{..... (7-10)}$$

m_a هي الكتلة المضافة.

m هي الكتلة الاجمالية للبسطون مع الطوافة.

γ هو معامل التخميد.

a هو قطر الطوافة.

K_s هو ثابت النابض.

$\widehat{R_r}$ هي مقاومة الاشعاع.

$\widehat{f_e}$ هي قوة التحريض.

يظهر تأثير الشكل الهندسي للطوافة بشكل واضح عند الترددات القريبة من تردد الطنين.

سنحصل على الطنين الأعلى والقمة الأضيق عند طوافة اسطوانية بقاعدة كروية وسنحصل على القمة الأعرض والأصغر قيمة من أجل طوافة اسطوانية مع قاعدة مسطحة.

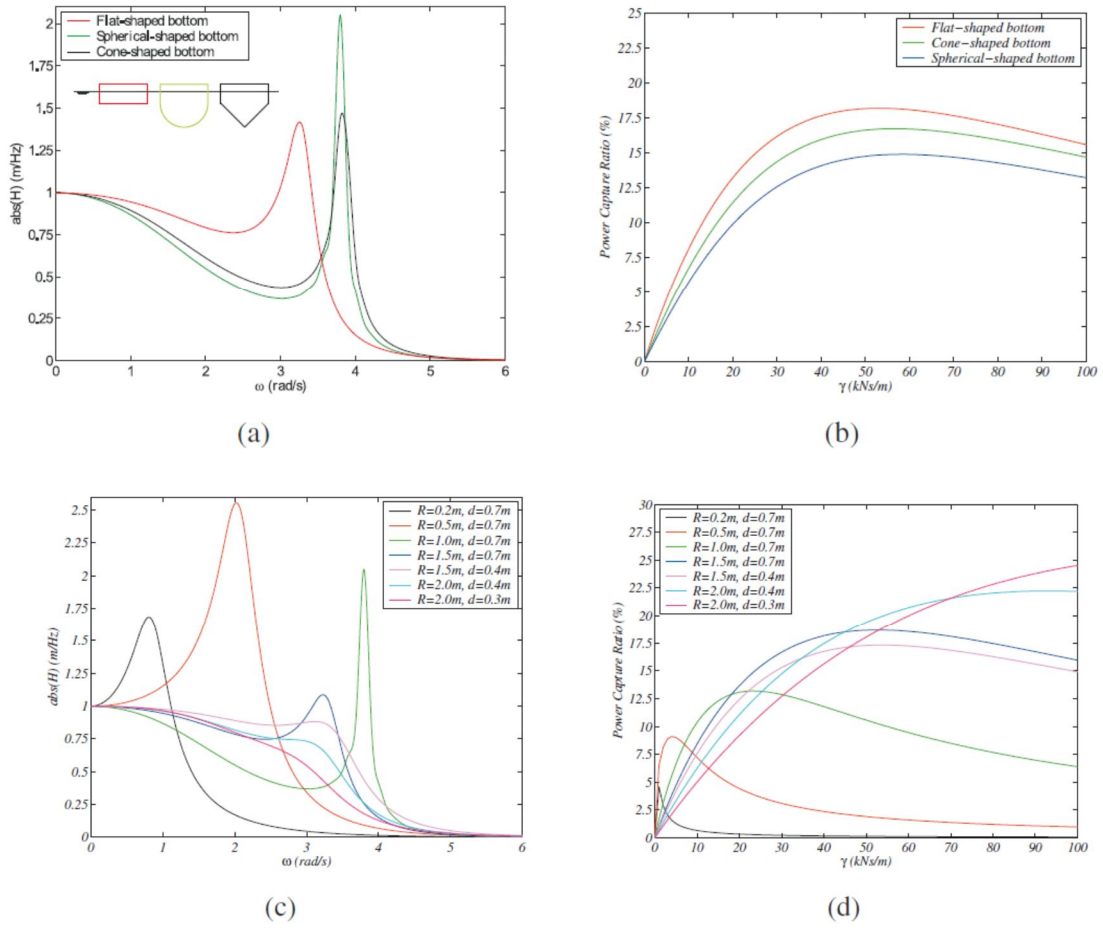
وللحصول على أعلى امتصاص للطاقة يجب أن يتم تخميد حركة الطوافة بفعالية كبيرة والتخميد يتناسب مع الاستطاعة المولدة.

يجب زيادة معامل التخميد مع زيادة قطر الطوافة للحصول على طاقة مثالية طالما كان المبدل خارج حالة الطنين وسيتزايد تردد الطنين مع تزايد قطر الطوافة.

يبين الشكل (٧-14) تابع النقل H لطوافة اسطوانية بقاعدة مسطحة ومخروطية وكروية عند ترددات متغيرة.

وتغير نسبة الاستطاعة التي يمكن الحصول عليها عند معاملات تخميد مختلفة.

وتابع النقل ومعامل التخميد مرة أخرى ولكن هذه المرة عند أقطار مختلفة للطوافات.



الشكل(٧-14) تابع النقل H ومعامل التخميد كتابع للكشل الهندسي للطوافة ولقطر الطوافة.

٧ - ٢ - النموذج الرياضي للمولد الخطي:

يعتمد نموذج الموديل الرياضي بشكل أساسي على الخواص المغناطيسية والكهربائية كما يعتمد على الخواص الميكانيكية للأمواج.

يمكن كتابة معادلة الازاحة الشاقولية لمغناطيس المولد الخطي (الجزء المتحرك بالمولد) والتي تنتج عن تأثير موجة البحر والتي سنعتبرها جيبية منتظمة وستكون الازاحة الشاقولية y(t) كما في المعادلة التالية:

$$y(t) = \frac{d}{2}\sin(w_m t) \text{.....(7-11)}$$

$$w_m = 2\pi * f_m = \frac{2\pi}{T_m} \text{.....(7-12)}$$

حيث w_m السرعة الزاوية للأمواج باعتبار f_m تردد الأمواج و T_m دور الموجة الزمني.

ويمكن كتابة معادلة الفيض المغناطيسي المتغير زمنياً والناتج عن الازاحة الشاقولية لمغناطيس المولد الخطي بالشكل التالي:

$$\Phi(t) = \Phi_m * sin(\frac{2\pi}{\lambda} * y(t)) \text{ .....(7-13)}$$

حيث Φ_m هو الفيض الأعظمي الذي يمكن للمغناطيس الدائم أن ينتجه وواحدته التسلا و λ هو طول الموجة المغناطيسية بالمتر.

الانزياح القطبي للمولد الخطي هو نصف طول الموجة المغناطيسية.

يمكن كتابة المعادلة الواصفة للتوتر المتحرض في الملفات المثبتة حول المغناطيس الدائم بقانون فاراداي على الشكل التالي:

$$V = N\frac{d\Phi}{dt} \text{.....(7-14)}$$

حيث N عدد لفات الملف الواحد.

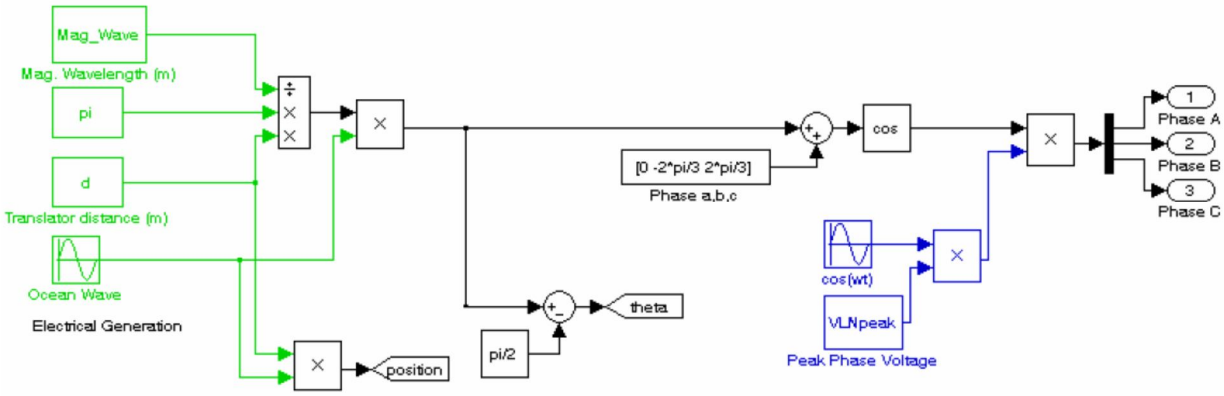
وبالتالي باشتقاق معادلة الفيض المغناطيسي بالنسبة للزمن نصل للمعادلة التالية للتوتر الكهربائي المتحرض.

$$V(t) = V_m \cos(w_m t)\cos(\frac{\pi d}{\lambda}\sin(w_m t)) \text{.....(7-15)}$$

حيث V_m هو توتر الطور الأعظمي.

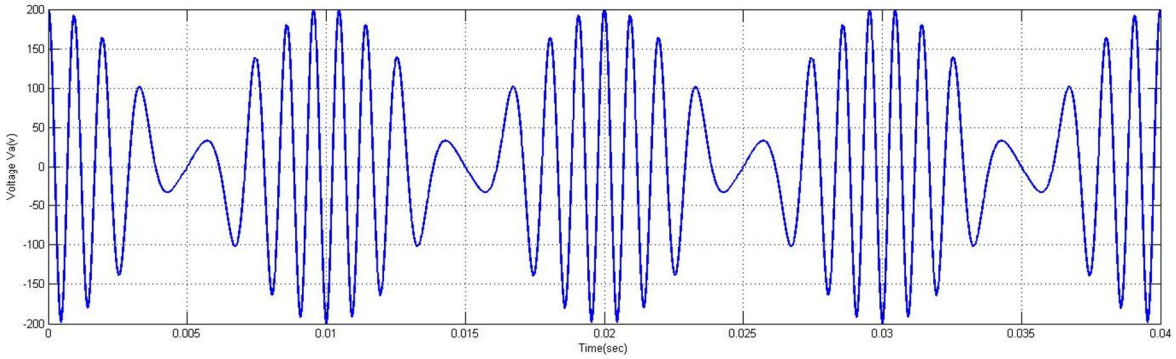
٧ - ٣ - محاكاة المولد الخطي باستخدام الماتلاب:

اعتماداً على النموذج الرياضي الذي تم عرضه في الفقرة السابقة يمكن وباستخدام صندوق التابع الجيبي للتعبير عن موجة البحر وباستخدام الصناديق الخاصة بالعمليات الرياضية الأساسية ويمكن تمثيل المعادلات السابقة بالنموذج التالي:



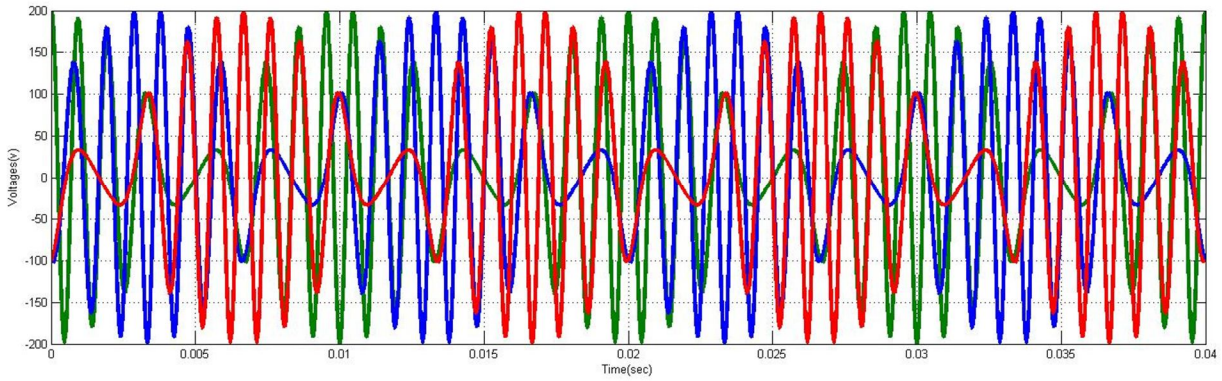
الشكل (٧-١٥) نموذج الماتلاب الأساسي الخاص بمعادلات حركة المولد الخطي

في هذه الحالة سيكون شكل التوترات الكهربائية الناتجة على الشكل التالي ونبدأ بالتوتر الكهربائي على طور واحد خلال دورين:



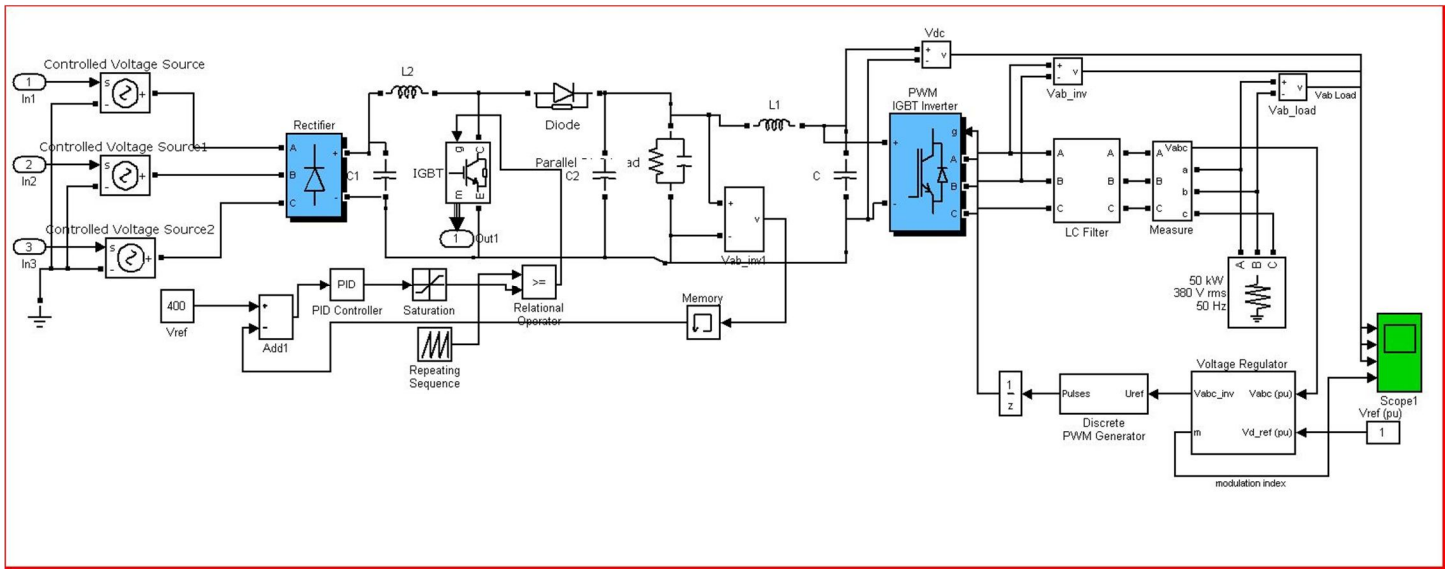
الشكل(٧-١٦) التوتر الكهربائي الناتج عند خرج المولد الخطي (طور واحد)

ومن ثم التوترات على الأطوار الثلاثة سيكون لها الشكل التالي:



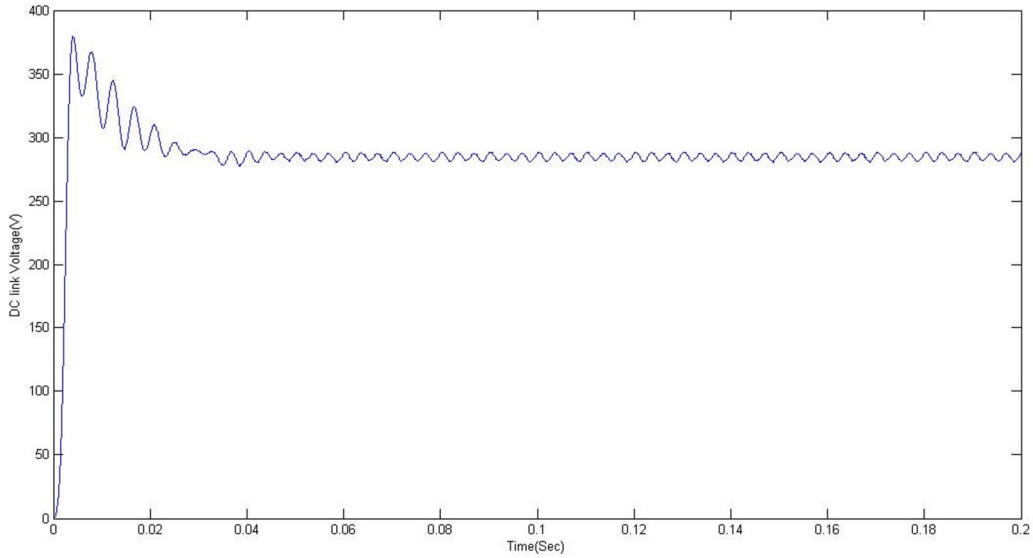
الشكل(٧-١٧) التوتر الكهربائي الناتج عند خرج المولد الخطي (ثلاثة أطوار)

يمكن ادخال التوترات الثلاثة الناتجة عن المولد الخطي الآن على نظام مقوم-معرج للحصول على توترات جيبية منتظمة بتردد ٥٠ هرتز ويبين المخطط التالي الموديل الفرعي في الماتلاب الذي يعبر عن هذه العملية

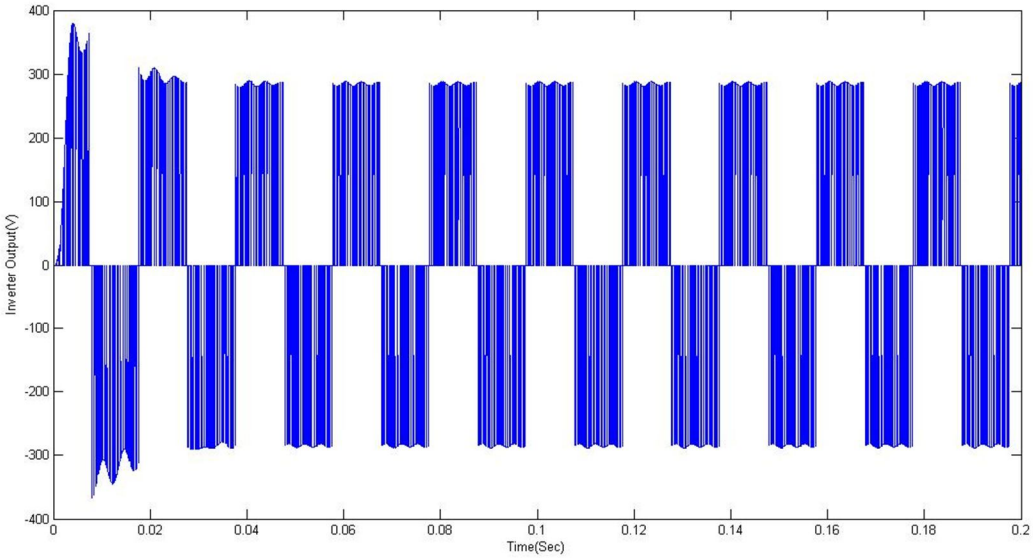


الشكل (٧-١٨) نموذج الماتلاب الخاص بعمليات تنظيم خرج المولد الخطي عن طريق (مقوم-معرج)

يمكن الآن أن نراقب التوترات الكهربائية الناتجة على خرج جسر التقويم وهو توتر مستمر له الشكل (٧-١٨):
والتوتر الناتج على خرج المعرج سيكون له الشكل (٧-١٩) خلال ثلاثة أدوار:

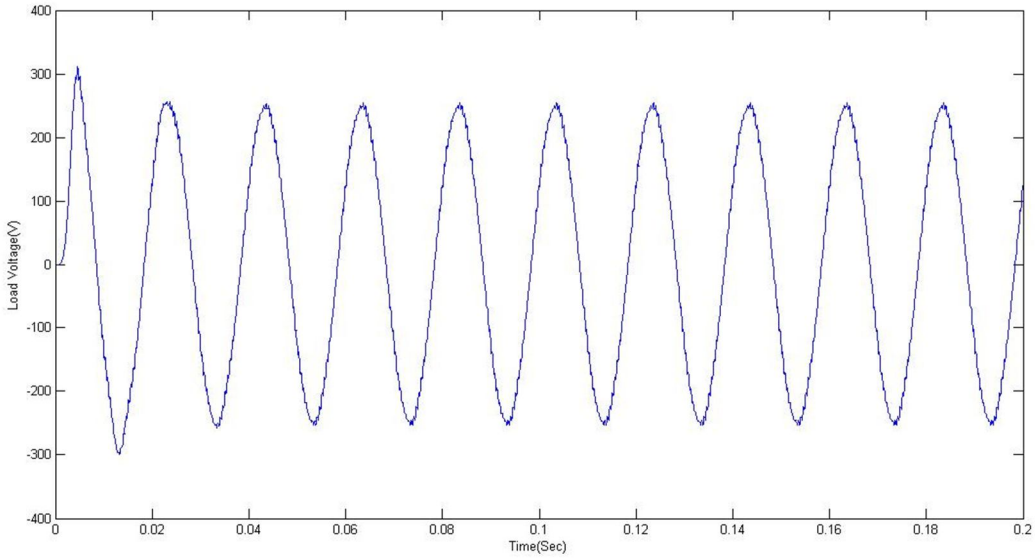


الشكل(٧-١٩) التوتر الكهربائي المستمر الناتج على الوصلة بين المقوم والمعرج



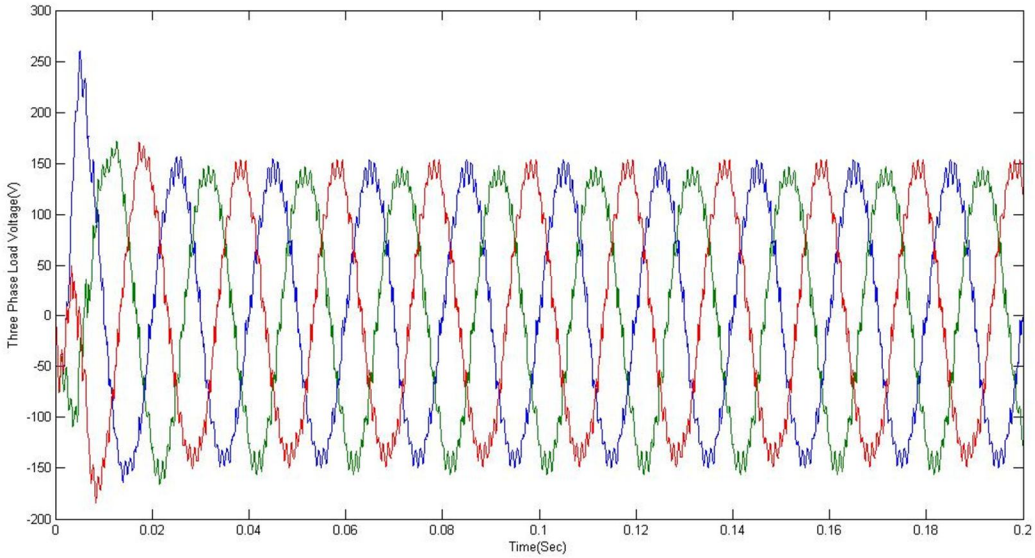
الشكل(٧-٢٠) التوتر الكهربائي الناتج على خرج المعرج

أما التوتر على طرفين من أطراف الحمل الموصول خلال ثلاثة أدوار زمنية فسيكون له الشكل (٧-٢٠):



الشكل(٧-٢١) التوتر الكهربائي الجيبي على طرفين من أطراف الحمل

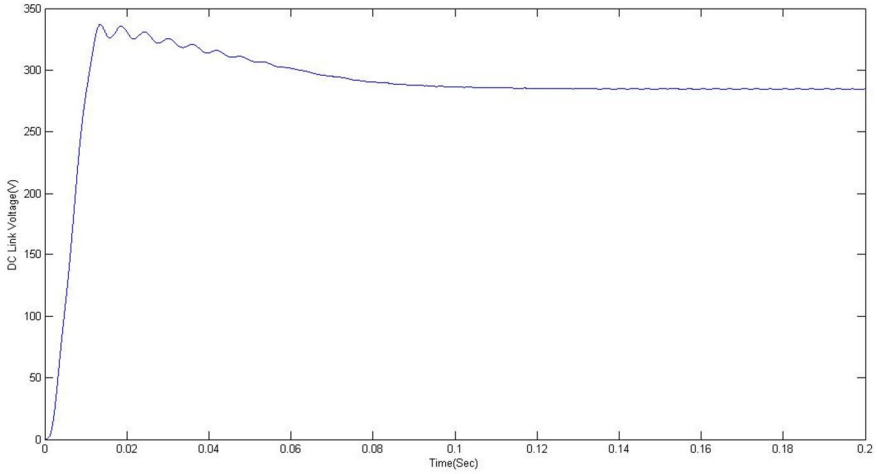
والتوتر ثلاثي الطور على الحمل المربوط سيكون له الشكل التالي (٧-٢١).



الشكل(٧-٢٢) التوتر ثلاثي الطور على الحمل

٧-٤- تأثير تغيير مكثفات التنعيم على توترات الخرج:

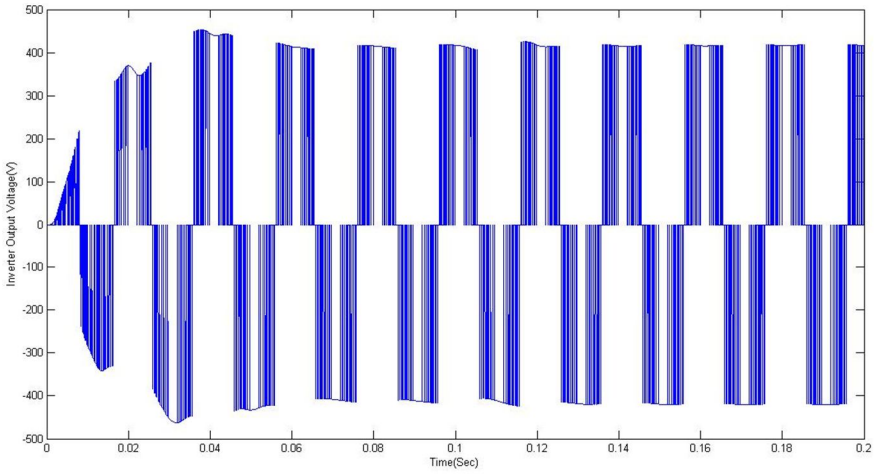
سوف نغير المكثفة المستخدمة على دخل المعرج بزيادة قدرها ١٠ أضعاف لنراقب الشكل الجديد لتوتر الوصلة المستمر (٧-٢٣).



الشكل(٧-٢٣) **التوتر الكهربائي المستمر الناتج على الوصلة بين المقوم والمعرج**

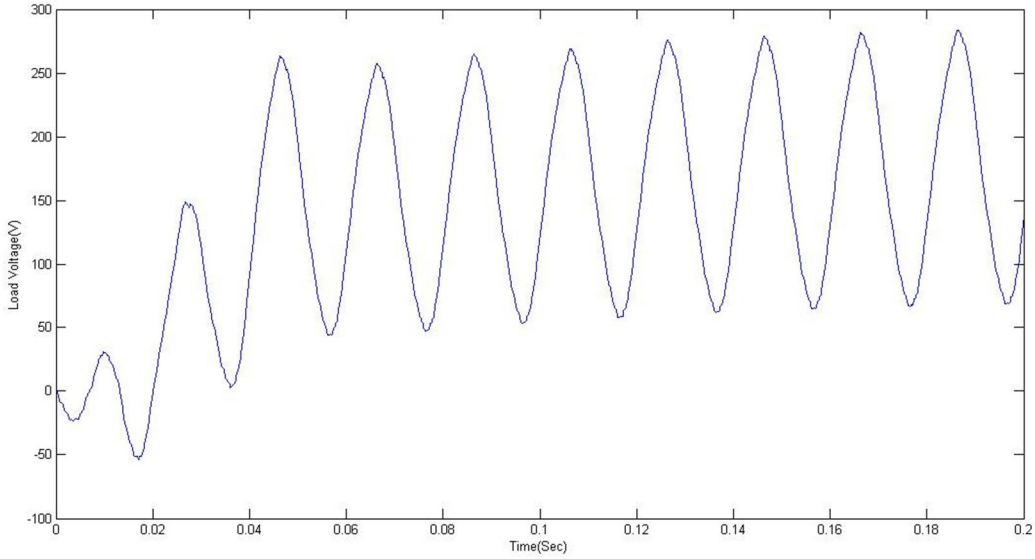
سوف نغير قيم المكثفات والملفات المستخدمة على خرج المعرج وسينتج لدينا شكل جديد لتوتر خرج المعرج وتوتر الحمل أحادي وثلاثي الطور.

الشكل (٧-٢٤) هو شكل توتر خرج المعرج بعد التعديل.



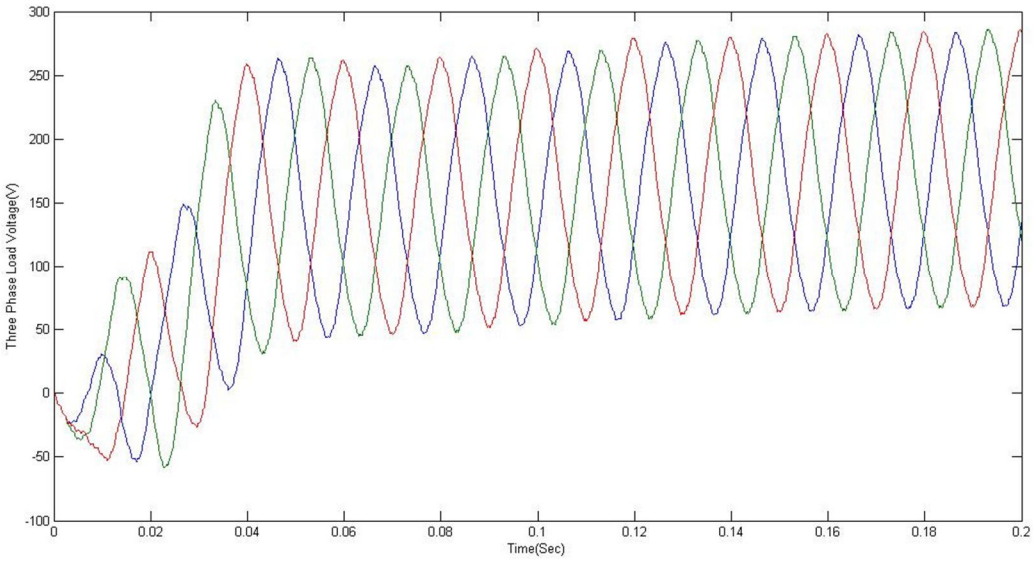
الشكل(٧-٢٤) توتر خرج المعرج.

والشكل (٧-٢٥) هو توتر الحمل الكهربائي أحادي الطور.



الشكل(٧-٢٥) توتر الحمل أحادي الطور.

والشكل(٧-٢٦) هو توتر الحمل ثلاثي الطور.



الشكل(٧-٢٦) توتر الحمل ثلاثي الطور.

الفصل الثامن:

الاستنتاجات والتوصيات

تم الحصول على مجموعة من النتائج من هذا البحث يمكننا تلخيصها كمايلي:

١ - استطعنا من خلال هذا البحث الحصول على بيانات هامة حول أمواج البحر الأبيض المتوسط في موقع معين, يمكن أن تمهد الطريق للحصول على أطلس للأمواج في البحر الأبيض المتوسط وخاصةً قرب الساحل السوري.

٢ -تم اختيار المولد الخطي كأنسب أنواع مبدلات طاقة الأمواج للاستخدام في البحر الأبيض المتوسط وهو يعتبر انجاز هام جداً في هذا المجال.

٣ -يمكن وبتوزيع عدد كبير من المولدات الخطية في منطقة قريبة من الساحل السوري الحصول على استطاعات كبيرة جداً .

٤ -تم تصميم نموذج للمولد الخطي باستخدام برنامج الماتلاب وهذا النموذج يمكن اعتباره أساساً لأي عملية محاكاة لهذا النوع من المولدات للحصول على أي نتائج حول أداء عمل هذا المولد.

٥ -تمت مراسلة العديد من مراكز الأبحاث المختصة في مجال طاقة الأمواج والعديد من العلماء والباحثين في هذا المجال وكذلك العديد من الشركات المصنعة لمبدلات طاقة الأمواج وأبدى العديد منهم استعداده للقيام بعروض وسيمنارات تعريفية في سورية في أي وقت , وذلك يشكل قاعدة بيانات هامة لهذا المجال.

ويمكن وضع مجموعة من التوصيات للدراسات المستقبلية في هذا المجال تتلخص بمايلي:

١ - البدء بتصميم أطلس للأمواج في منطقة الساحل السوري لتسهيل الأبحاث القادمة.

٢ - تطوير نموذج الماتلاب الذي تم تنفيذه في هذا البحث وذلك للحصول على نتائج أخرى خاصة بأداء المولد الخطي ودراسة حالات جديدة .

٣ - البدء بالقيام بنموذج فيزيائي مخبري للمولد الخطي للحصول على نتائج عملية وليكون أساساً لتجارب طلاب قسم الطاقات المتجددة في كليتنا.

٤ - البدء بتصميم نموذج فيزيائي مصغر ليتم تركيبه في البحر الأبيض المتوسط قرب الساحل السوري لتوليد استطاعات ولو كانت صغيرة ليكون أساساً لمشاريع أكبر في المستقبل.

٥ - دراسة عملية تصميم المولد الخطي واختياره والتي تعتمد على برامج حاسوبية بالاعتماد على طريقة العناصر المنتهية (Finite Element Methode).

٦ - دراسة مشروع استخدام المولد الخطي من ناحية اقتصادية ودراسة الكلفة التأسيسية للمشروع المقترح وكلفة الكيلوواط الساعي في حال انتقلنا من طور البحث العلمي الى الطور التجاري.

٧ -متابعة البحث في امكانية استخدام تقنيات أخرى غير تقنية المولد الخطي للتوليد من طاقة الأمواج.

References المراجع

[1] Robert H. Stewart , (2008) "Introduction to physical oceanography", September 2008 Edition, Texas A & M University
[2] Wind and waves by AMSA Australian Marine Safety Authority.
[3] Datawell Waverider Reference Manual , Datawell BV , oceanographic instruments October 10, 2009.
[4] Triaxys Directional Wave Buoy for Nearshore Wave , Measurements - Test and Evaluation Plan, NOAA Technical Report NOS CO-OPS 38 , January 2003
[5] Satellite altimetry: A revolution in understanding the wave climate , Peter Challenor , David Woolf , Christine Gommenginger , Meric Srokosz, David Cotton, David Carter , Nathan Sykes ,National Oceanography Centre, Southampton, SO14 3ZH, UK, Satellite Observing Systems Ltd, Godalming, GU8 , UK.
[6] Feasibility of Ocean Wave Energy into Electricity Using Oscillating
Water Column in Puerto Rico By Magaby Quintero-Lopez , A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of MASTER OF SCIENCE in ELECTRICAL ENGINEERING , University of Puerto Rico , Mayagüez Campus
2009
[7] "OceanWave Energy Current Status and Future Prepectives"(2008) , Stephen Barstow, Gunnar Mørk , Fugro OCEANOR , Trondheim, Norway , Denis Mollison , Heriot-Watt University, Edinburgh, Scotland, UK , João Cruz , Garrad Hassan and Partners Ltd ,Bristol, England, UK
[8] Wave Energy Plants for the Black Sea –Possible Energy Converter Structures
Lorlnd SZABO, Claudiu OPREA , Department of Electrical Machines, Technical University of Cluj-Romania-IEEE (2009)
[9] Survey of Energy Resources World Energy Council Wave Energy (2010).
[10] Wave energy Utilization in Europe Current Status and Perspectives by European Thematic Network on Wave Energy (2002).
[11] India: OWC breakwater converts wave power to electricity.
[12] Oceanlinx website : http://www.oceanlinx.com
[13] Wavegen website: http://www.wavegen.co.uk/
[14] Ocean power technologies website: http://www.oceanpowertechnologies.com
[15] carnegie website http://www.carnegiewave.com
[16] Seabased's Linear Generator: http://www.seabased.com/index.php?Itemid=56
[17] Oyster website: http://www.aquamarinepower.com/technology/
[**18]** Wave roller website: http://www.aw-energy.com/
[19] Pelamis website: http://www.pelamiswave.com/
[20] Wave star website: http://wavestarenergy.com/
[**21**] Wave Dragon website: http://www.wavedragon.net/
[22] Floating Power Plant website: http://www.floatingpowerplant.com/
[23] Dexa Wave website: http://www.dexawave.com/
[24] Dexa Wave 2 website: http://www.dexa.dk/wave/
[25] LEANCON Wave energy: http://www.leancon.com/
[26] Wave Energy Plants for the Black Sea –Possible Energy Converter Structures
Lorand SZABo, Claudiu OPREA (2007)-IEEE.

[27] Study on a Wave Energy Based Power System
Loránd SZABÓ, Claudiu OPREA, Clement FEŞTILĂ, Éva DULF
Technical University of Cluj (2008) – IEEE.
[28] Design and Simulation of a 250 kW Linear Permanent Magnet Generator for Wave Energy to Electric Energy Conversion in Caspian Sea , Jawad Faiz , M. Ebrahimi-Salari , Iran (2008).
[29] Wave energy resources in sheltered sea areas , A case study of the Baltic Sea ,
Hans Bernhoff, Elisabeth Sjöstedt and Mats Leijon
Division for Electricity and Lightning Research
Department of Engineering Sciences
Uppsala University, Box 534, S-75121 Uppsala, Sweden Presented at The Fifth European Wave Energy Conference, 17-20 September 2003, In Cork, Ireland.
[30] National & Kapodistrian University of Athens, School of Physics , Division of Physics of Environment - Meteorology
Atmospheric Modeling and Weather Forecasting Group - George Kallos.
University Campus, Building PHYSICS V,
Athens 15784, Greece
Website: http://forecast.uoa.gr/
[31] Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations
from the Faculty of Science and Technology 287
Modelling and Experimental
Verification of Direct Drive Wave
Energy Conversion
Buoy-Generator Dynamics
MIKAEL ERIKSSON 2007

Abstract:

Researches in renewable energy were developed rapidly in the last years , and we are trying to follow this development by adding a new research useful for our country and for the science in general.

We will study in this thesis the wave Energy theory and the newest researches about it.

Then we will apply the theoretical study on the Mediterranean as a case study and especially on the Syrian coasts.

Then we will make a simulation of the suggested wave energy converter using one of the best simulation softwares like(MATLAB).

Syrian Arab Republic
Damascus University
Faculty of Mech.& Elec. Engineering
Depatment of Electrical power engineering

Master Thesis

Electric Power Generation using Wave Energy and the ability of the application in Syria

توليد الطاقة الكهربائية باستخدام طاقة الأمواج وإمكانية التطبيق في سورية

Study prepared to Award Master Degree in Renewable Energy Engineering

BY
Eng.Ahmad Jarbou

Under the Supervision of
Prof.Dr.Eng.Nadim Makhol
Damascus University, Syria

Co-SuperVisor
Prof.Dr.Eng.Samih Jabi
Damascus University, Syria

Damscus 2012