الفصل التاسع

طاقة الأمواج

9-1 مقدمـــــة

9-2 المبادئ الأساسية لطاقة الأمواج

9-3 خصائص الموجة وقدرتها

9-4 حالة البحر الاعتيادية

9-5 تقديرات قدرة الموجة في أي موقع

9-6 اتجاه الرياح

9-7 ماذا يحدث تحت سطح البحر

9-8 التوجه نحو المناطق الضحلة

9-9 الانكسار

9-10 تقنيات طاقة الأمواج

9-11 الأجهزة الثابتة

9-12 الأجهزة الطافية

9-13 التأثيرات البيئية

1-9 مقدمـــــة

لقد راودت فكرة إمكانية استخلاص الطاقة من أمواج المحيط بعض المفكرين منذ عدة قرون . وعلى الرغم من تجدد مثل هذه الأفكار منذ أكثر من مائة عام فإن التفكير الجدي باستغلال هذه الطاقة لم يدخل حيّز التطبيق إلاّ بعد السبعينات من هذا القرن .

والمناطق المناسبة لاستغلال هذه الطاقة هي المناطق التي تكون فيها الأمواج عالية ومصادر الطاقة التقليدية فيها مكلفة كالجزر النائية . فنصب مثل هذه المحطات في هذه المناطق يمكن أن يكون اقتصادياً في الوقت الحاضر .

ويتوجب علينا إجراء بعض التطويرات التقنية حتى يستطيع هذا المصدر أن يكون ملائماً من الناحية الفنية والاقتصادية . وتوجد الآن بعض النماذج المنصوبة قرب الساحل وتعمل بصورة تجريبية ، ولكن تحسين تصاميم هذه النماذج وتطوير الهياكل الطافية داخل المحيطات هما المفتاح الأولي اللازم لاستخلاص كميات كبيرة من الطاقة من هذه المحيطات .

2-9 المبادئ الأساسية لطاقة الأمواج

تتولد أمواج المحيط نتيجة مرور الرياح على مساحات واسعة من المياه . والميكانيكية الدقيقة للتفاعل بين الرياح وسطح البحر معقدة وغير مفهومة حالياً ، إلاّ أن هناك ثلاث عمليات رئيسية يمكن أن تكون ذات علاقة بالموضوع .

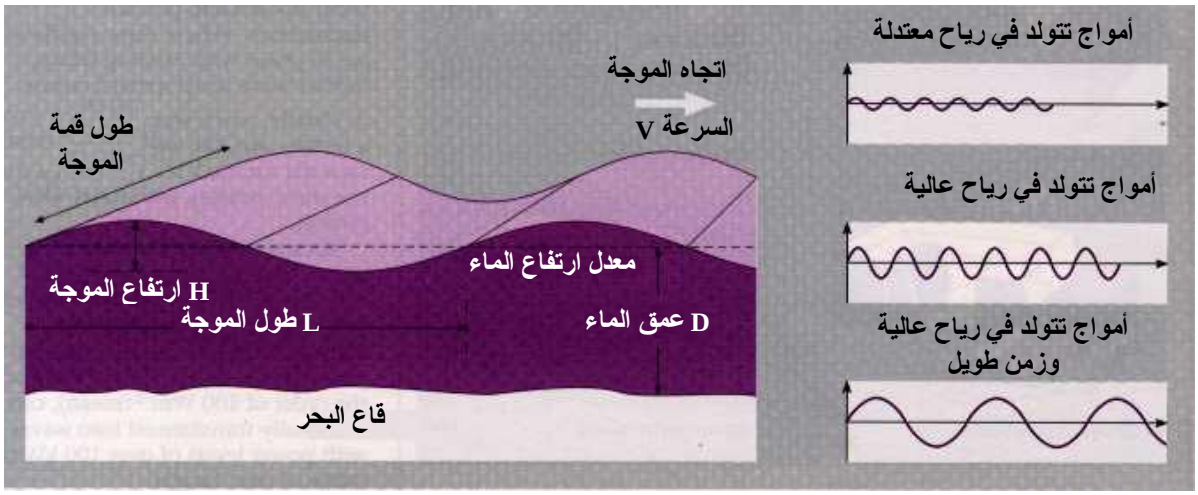
أ - الهواء المارّ على البحر والذي يولد ضغطاً تماسيّاً على سطح الماء هو السبب لتكوين الأمواج ونموها .

ب - جريان الهواء المضطرب القريب من سطح البحر يولد بصورة سريعة إجهاداً وضغطاً متغيريْن . وعندما تكون هذه الترددات موافقة للأمواج الموجودة فإن هذه الأمواج تأخذ في الازدياد .

جـ - عندما تصل الأمواج إلى حجم معين فإن الرياح تستطيع أن تسلط قوة أكبر على وجه الرياح العالية للموجة مسببة تكبير الموجة .

وبما أن الرياح تتكون بالأصل من الطاقة الشمسية فإننا نستطيع أن نقول إن طاقة الأمواج مشتقة من الطاقة الشمسية . فسقوط حزمة شمسية بقدرة معّدلها 100 واط على كل متر مربع يمكن أن يتحول إلى أمواج ذات قدرة تعادل 100 كيلو واط لكل متر من طول أعلى الموجة .

وتشخص الأمواج بطول موجتها وبارتفاع الموجة H و بزمن الموجه T . أما حجم الموجة التي تتولد بواسطة الرياح فإنهّ يعتمد على ثلاثة عوامل : سرعة الرياح ، وزمنها ، والمسافة التي تقطعها عند تحويل طاقة الرياح إلى المحيط لتكوين الأمواج (الشكل 9-1). والأمواج التي تحدث في ، أو قرب ، المساحات التي تتولد فيها تدعى الأمواج العاصفة . وهذه الأمواج تحّول الموقع الذي تتواجد فيه إلى مكان معقد ومضطرب ، ومع هذا فإن الأمواج يمكن أن تنتقل من هذه المنطقة بدون خسائر في الطاقة لإنتاج أمواج ضخمة في مناطق بعيدة عن موقع تكونها الأصلي .



شكل (9-1): خصائص الموجة

تحتوي الأمواج الكبيرة على طاقة أكبر لكل متر من طول القمة مقارنة بالموجات الصغيرة . واعتيادياً يتم حساب قدرة الأمواج بدلاً من محتوى طاقتها . وتحسب قدرة الأمواج بوحدة الكيلووات / متر في محيط ساكن الأمواج على أنها مربع ارتفاع الموجة H (بالمتر) مضروباً بزمنها T (بالثانية) . ويمكن حسابها من المعادلة التالية :

$$P \text{ (واط/متر)} = \frac{\rho g^2 H^2 T}{32\,\pi}$$

حيث يمثل ρ كثافة ماء البحر (كلغم/م^3) ، g تسارع الجاذبية الأرضية (م / ت^2) .

3-9 خصائص الموجه وقدرتها

يمكن وصف شكل الموجة الاعتيادي بأنه منحنى جيبي ، والفرق بين القمة والقاعدة يعرف بارتفاع الموجة H ، والمسافة المتعاقبة بين قمة أو قاع موجتين يدعى طول الموجة L . افرض أن قمم وقيعان الموجه تتحّرك عبر سطح البحر بسرعة V (م/ثانية) وأن الزمن اللازم (بالثانية) بين تعاقب قمة أو قاع موجة لقطع مسافة معينة هو T . وعليه فإن ذبذبة الموجة (Φ) التي تبين الفرق بين تذبذب قمة وقمة أخرى أو قاع وقاع آخر بالثانية هو مقلوب الزمن أي (Φ= 1\T) .

عندما تنتقل الموجة بسرعة معينة عبر نقطة معينة فإنها تقطع مسافة تعادل طولها (L) في زمن يساوي زمن الموجة (T) . ولهذا فإن السرعة تساوي طول الموجة مقسوماً على زمنها أو (V=L\T) .

وإذا كان عمق الماء (H) أكبر من نصف طول الموجة $\left(\frac{L}{2}\right)$ فإن السرعة تتناسب مع الزمن ($V = gT\backslash 2\pi$) ، وهذا يوصلنا إلى استنتاج مفيد هو أن السرعة بالمتر في الثانية تساوي 1.5 مرة من زمن الموجة بالثانية ($V = 1.5\ T$) . ويمكن أيضاً حساب طول الموجة L بدلالة الزمن T باستخدام العلاقتين السابقتين أو من خلال :

$$L = \frac{gT^3}{2\pi}$$

والاستنتاج المثير الذي يمكن ملاحظته هنا هو أنه في المناطق العميقة من المحيط تنتقل الموجات الطويلة بسرعة أكبر من الموجات القصيرة . وفي المناطق الضحلة تعتمد خصائص الموجة على عمق الماء (D) ، أما في المناطق المتوسطة العمق (أي بين $D = \frac{1}{2}L$ و $D = \frac{1}{4}L$) فإن خصائص الموجة تتأثر بواسطة عمق الماء D و زمن الموجة T.

وعند وصول الأمواج إلى الشاطئ يبدأ قاع البحر بالتأثير على سرعتها . وإذا كان عمق الماء (D) أقل من ربع طول الموجة فإن السرعة تكون :

$$V = \sqrt{gD}$$

أي أن السرعة تحت هذه الظروف تعادل ثلاثة أضعاف جذر عمق الماء $V = \sqrt{gD}$ ولا تعتمد على زمن الموجة .

وقدرة الموجة (واط بالمتر) هي :

$$P = \frac{\rho g^2 H^2 T}{32\pi}$$

حيث تساوي الكثافة ρ حوالي 1025 كيلوجرام/متر مكعب .

وبعد التعويض عن القيم المذكورة في المعادلة السابقة نحصل على معادلة مفيدة جداً هي :

$$P = H^2 T$$

أي أن القدرة مقاسه بالكيلووات على المتر من عرض مقدمة الموجة تساوي تقريباً مربع ارتفاع الموجة مضروباً في زمنها .

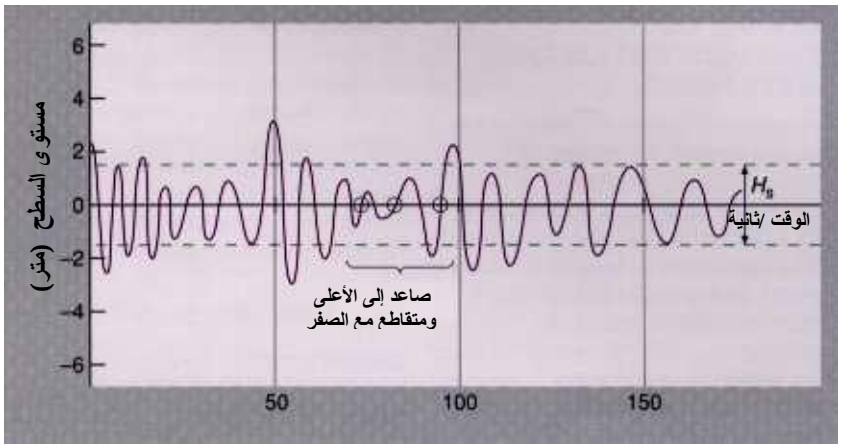
4-9 حالة البحر الاعتيادية

تتكون حالة البحر الاعتيادية من عدة موجات كل منها مشابه للموجة المثالية (أحادية الطول الموجي) وكل منها لها خصائصها من نواحي الزمن وارتفاع الموجة واتجاهها . فالموجات التي نراها عندما ننظر إلى سطح البحر هي خليط من هذه الموجات ، والقدرة الكلية في كل متر من مقدمة الموجة في البحر المضطرب هي بالطبع مجموع القدرة لكل الموجات . ومن الواضح أنه لا يمكن قياس الارتفاعات والزمن لهذه المحصلة ، ولهذا فإن عملية إيجاد المعدل المتوسط هي المستخدمة لتقدير القدرة الكلية .

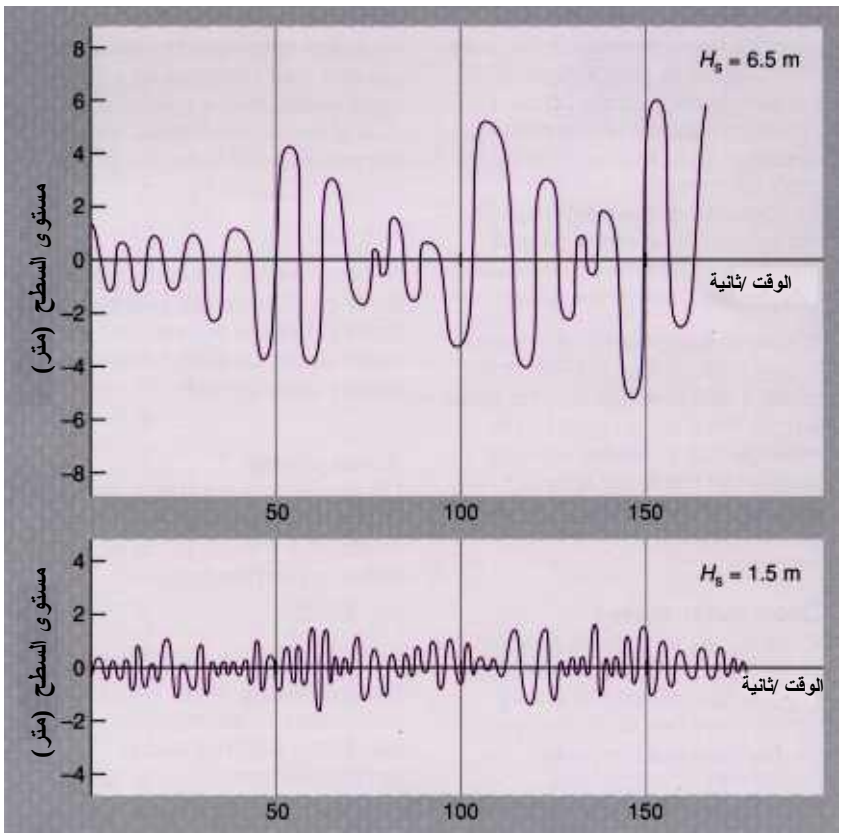
وباستخدام عوّامة طافية تركب الموجة فإنه من الممكن تسجيل التغييرات في مستوى السطح في زمن مختار معين . ويمكن حساب ارتفاع الموجة المؤثر (Significant Wave Height) H_s كما هو موضح بالشكل (2-9) وهو يعادل تقريباً معدل أعلى ثلاث من الموجات ، وهذا مطابق لتقدير ارتفاع الموجه بواسطة العين المجردة (Zero-up-Crossing Period Te) والذي تعرف بأنه معدل الزمن بين الحركات العليا للسطح خلال متوسط الارتفاع لبحر مضطرب اعتيادي ، وعندها فإن القدرة الكلية يمكن تخمينها من المعادلة التالية :

$$P \text{ (كيلوواط/متر)} = \alpha_S H_S^2 Te$$

α_S= ثابت له علاقة مع قيم ρ π ويساوي $0.49 KWS^{-1}m^{-3}$



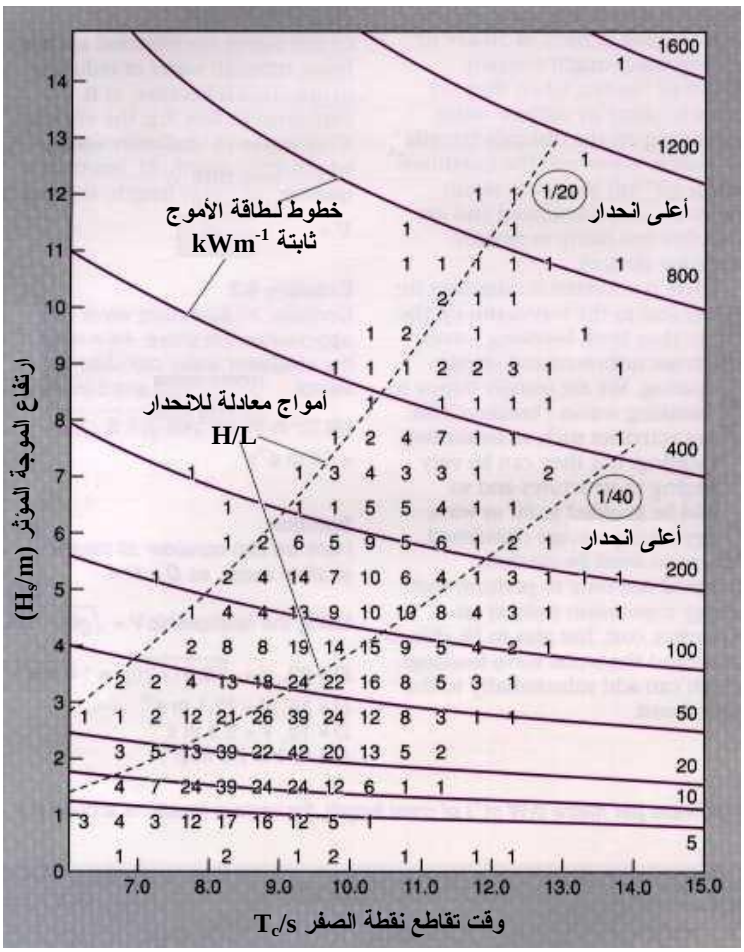
شكل (2a-9): تسجيل ارتفاع الأمواج

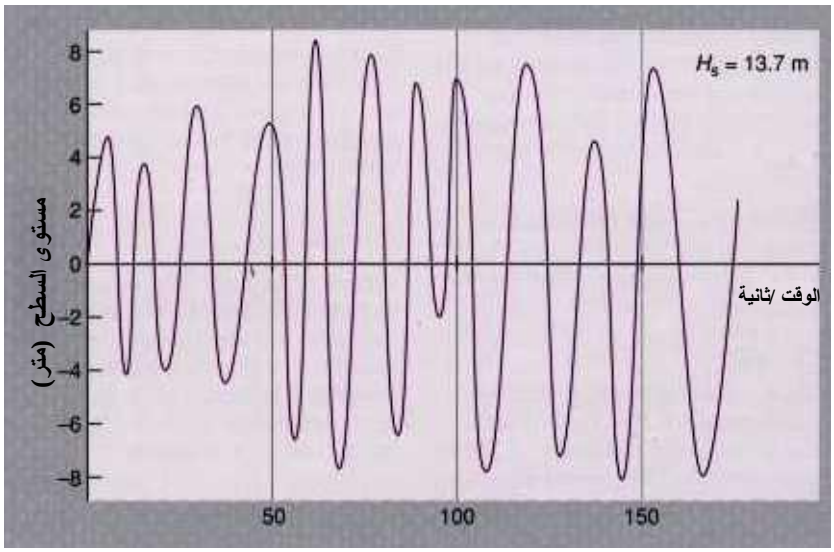


شكل (2b-9): تسجيل ثلاثة موجات في أيام مختلفة

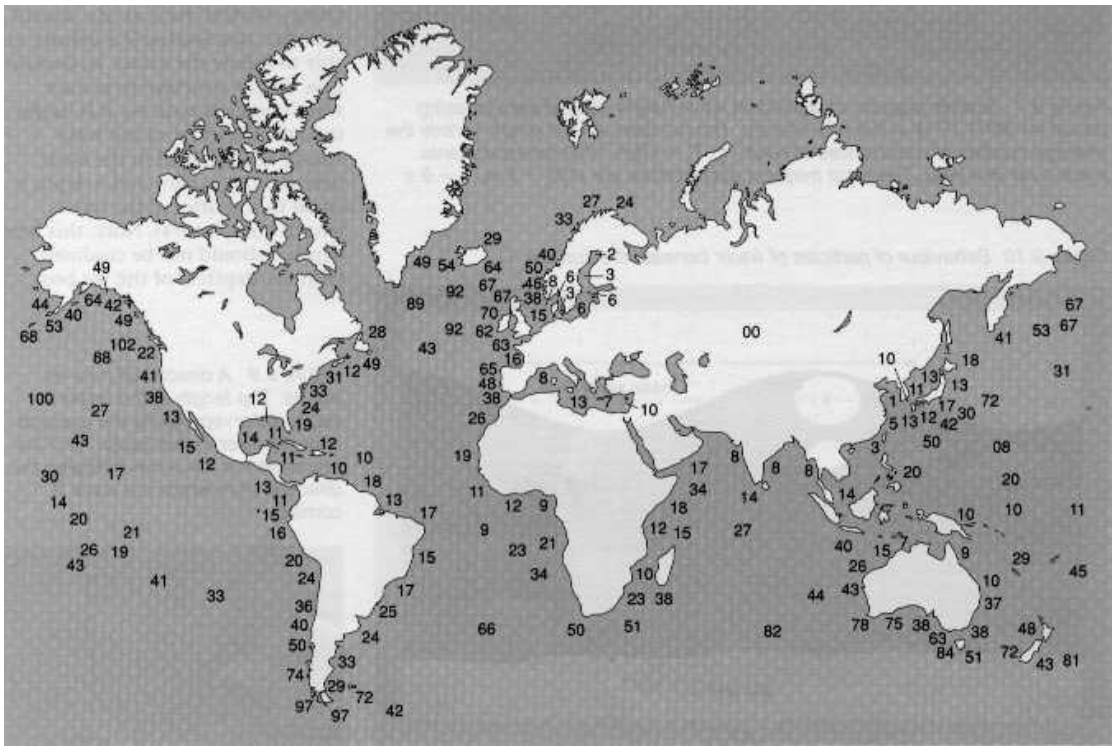
5-9 تقديرات قدرة الموجة في أي موقع

إن تسجيل مستوى البحر في أيام وأوقات مختلفة يعطينا قيماً مختلفة من H_s و Te . لنفترض بأن زمن كل تسجيل هو 0.001 من العام ، وإذا أخذنا موقعاً معيّناً وسجلنا حالة البحر فيه لمدة عام كامل وأخذنا قراءات لكل من H_s و Te نستطيع أن نكون صورة إحصائية لتوزيع الموجة في هذا الموقع . وهذه الصورة أو الرسم التخطيطي المبعثر يبين الحدوث النسبي بأجزاء من الألف لقراءة H_s و Te . والشكل (3-9) هو رسم تخطيطي لموقع في شمال المحيط الأطلسي ، ويتبين فيه بوضوح أن الأمواج في هذا الموقع لها معدل كثافة طاقة (واط/م) عالٍ. ففي منطقة ذات عمق 100 متر يكون معدل كثافة الطاقة 70 كيلوواط/متر أو (613000 , $KWh\ m^{-1}\ Yr^{-1}$) . وفي موقع آخر أقرب إلى الشاطئ كان العمق فيه 40 متراً فإن معدل كثافة الطاقة هو 50 كيلوواط/متر أو (438000 $KWh\ m^{-1}\ Yr^{-1}$) . هذه الأرقام تعتبر مرتفعة وتبين أن شمال المحيط الأطلسي هو مصدر جيد لطاقة الأمواج . والشكل (4-9) يوضح كثافة طاقة الأمواج في مناطق مختلفة من العالم . إن مناطق العالم التي تقع تحت تيارات ريحية منتظمة هي نفس المناطق التي تحتوي على مصادر أمواج عالية .





شكل (9-3): تسجيل ارتفاع الأمواج في شمال المحيط الأطلسي



شكل (9-4): المعدل السنوي لطاقة الأمواج KWm^{-1}

9-6 اتجاه الرياح

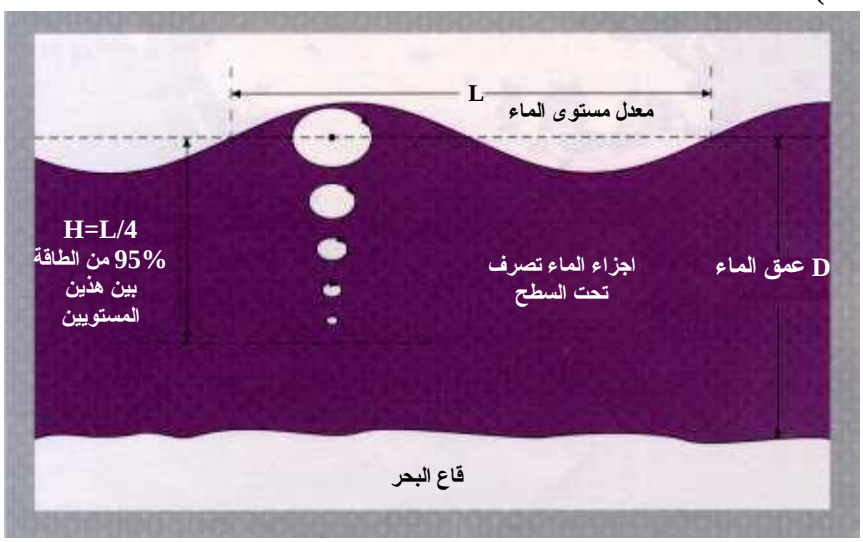
وُجد الاهتمام ، ولا يزال ، بطاقة الأمواج التي تحدث في الماء العميق ، أي عندما يزيد العمق على 50 متراً . إن اتجاه الأمواج المنتقلة في المياه العميقة يتبع اتجاه الرياح التي تولدها . ويمكن أن تنتقل الأمواج لمسافات بعيدة في الماء المفتوح دون خسائر في الطاقة .

وفي موقع معين يمكن أن نتوقع ملاحظة أمواج تصل من مصادر مختلفة وباتجاهات مختلفة . فمثلاً يمكن أن نرى أمواجاً تقترب من موقع في أوربا مكونة من الرياح التي تعبر المحيط الأطلسي ، وفي نفس الوقت يمكن أن نرى أمواجاً تولدت من عواصف حدثت في شمال الموقع . ولهذا فإنه من السهل أن ندرك سلوك الأمواج معقد . إن تمثيل معدل القدرة بدلالة الاتجاه في موقع معين يمكن أن يوضح بسهم موّجة (الشكل 9-5) وطول السهم يوضح الإسهام النسبي لمعدل كثافة الطاقة السنوي في الموقع .

شكل (9-5): الإسهام النسبي لمعدل كثافة الطاقة السنوي

7-9 ماذا يحدث تحت سطح البحر؟

يمكن ملاحظة وجود أمواج من النظر فوق سطح البحر . ويجب أيضاً التعرف على طبقة الأمواج تحت سطح البحر لنستطيع تصميم منظومة كفأة لاستخلاص الطاقة منها كما في الشكل (9-6) .



شكل (9-6): تصرف دقائق الماء تحت الماء

تتكون الأمواج من جزئيات من الماء تسير في مدارات معينة قرب السطح . وحجم هذه المدارات مساوٍ لارتفاع الموجة . وتصغر هذه المدارات كلما انخفضنا تحت السطح . وحجم المدار يقل بدالة أسية (Exponentially) مع العمق .

من أجل استخلاص أعلى طاقة من الأمواج يجب نصب جهاز يستلم كل أجزاء مدارات الموجة ، ولكن هذا غير عملي وغير اقتصادي ، لأن المدارات الواطئة تحتوي على طاقة قليلة . ولمعرفة العمق المناسب لهيكل منظومة استخلاص الطاقة من المفيد معرفة أن 95% من طاقة الموجة تحويها الطبقة الواقعة بين السطح وعمق H المساوي لربع طول الموجة (H=L\4) .

9-8 التوجه نحو المناطق الضحلة

في مناطق عديدة من العالم يكون الخط الساحلي متكوناً من منحدر صخري عميق جداً ، وهذه هي المساحات المناسبة لتشييد محطات طاقة الأمواج ، وذلك لأن الأمواج التي تحدث فيها لها محتوى طاقة كبير ، علماً بأن معظم سواحل العالم يكون فيها عمق البحر قرب السواحل ضحلاً .

وعند اقتراب أمواج المياه العميقة من اليابسة تتحرك في الماء الضحل ومن ثم تصل إلى الشاطئ وتقوم بفقد طاقتها خلال مسيرها في المياه الضحلة . وهذا الفقد ناتج أساساً من الاحتكاك بين جزيئات الماء العميق وقاع البحر ، يكون مؤثراً جداً عندما يكون العمق أقل من ربع طول الموجة . إن الخسارة في القدرة يمكن أن تكون عدة وحدات من الوات لكل متر من قمة الموجة لكل متر تسير فيه في الشاطئ .

يمكن لأمواج ذات كثافة طاقة مقدارها $50KWm^{-1}$ في الماء العميق أن تنزل إلى $20KWm^{-1}$ أو أقل عندما تقترب من الشاطئ في المياه الضحلة . وتعتمد هذه القيمة على طول مسافة الانتقال في المياه الضحلة وخشونة قاع البحر .

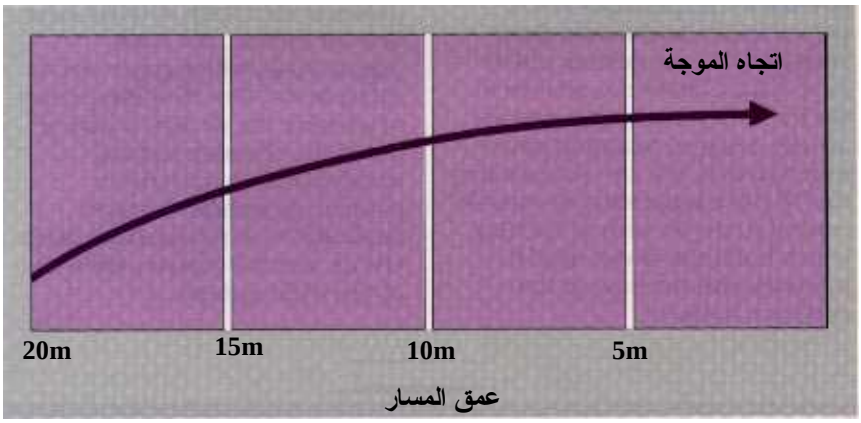
وتوجد خسائر أخرى للطاقة عند اقتراب الأمواج من الشاطئ ، وهي أن الأمواج تنكسر وتتحول إلى أمواج مضطربة وتسبب خسائر كبيرة في الطاقة . وهذه الأمواج المتكسرة تكون عادة مدمرة لهيكل منظومات طاقة الأمواج ، لهذا يجب الابتعاد عنها قدر المستطاع عند نصب المنظومات أو تصميم الهياكل بصورة كفأة بحيث يتم استخلاص طاقة الأمواج بأسعار مناسبة مع مقاومة أسوأ الأحوال الجوية .

9-9 الانكسار

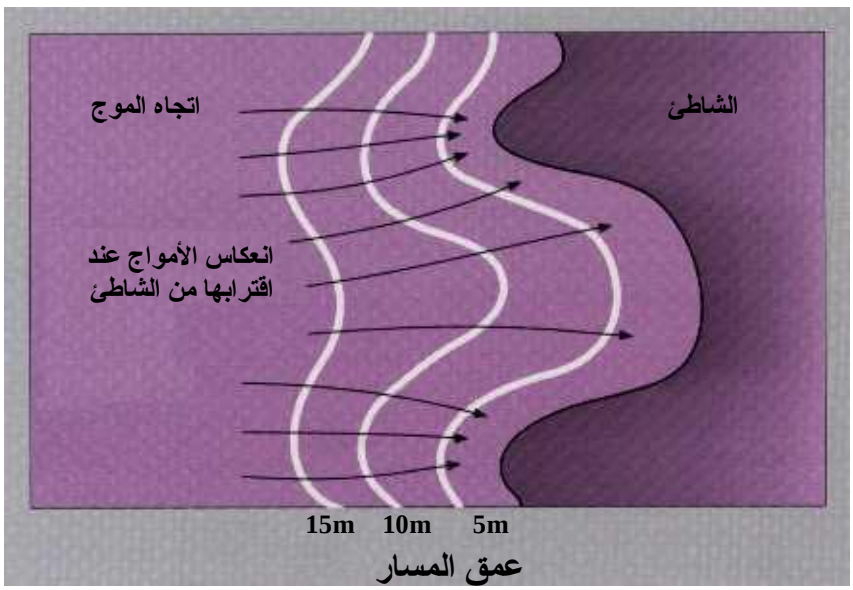
إن أمواج المحيطات تنكسر عندما تنتقل خلال الماء القليل العمق ، وذلك لأن سرعة الموجة في المياه الضحلة ذات العمق D تكون أقل من ربع طول الموجة ، وهي تحسب من المعادلة :

$$V = \sqrt{gD}$$

بسبب تأثير الانكسار الناتج من تقليل العمق ، وكذلك تقليل السرعة ، فإن الانكسار يتغير بالتدريج في اتجاه تقدم الموجة بحيث تصل الموجة إلى الشاطئ بزاوية 90^0 درجة (الشكل9-7) . فإذا نظرنا إلى الشاطئ المبين في الشكل (9-8) فإنه يمكن أن نلاحظ كيف يقوم تغير العمق (المبين بالخطوط البيضاء) بكسر الأمواج . وبهذا تغادر الموجة من المنطقة إلى الأخرى بأقل كثافة طاقة .



شكل (9-7): انكسار الأمواج



شكل (9-8): تركيز تأثيرات الانكسار قرب الساحل

10-9 تقنيات طاقة الأمواج

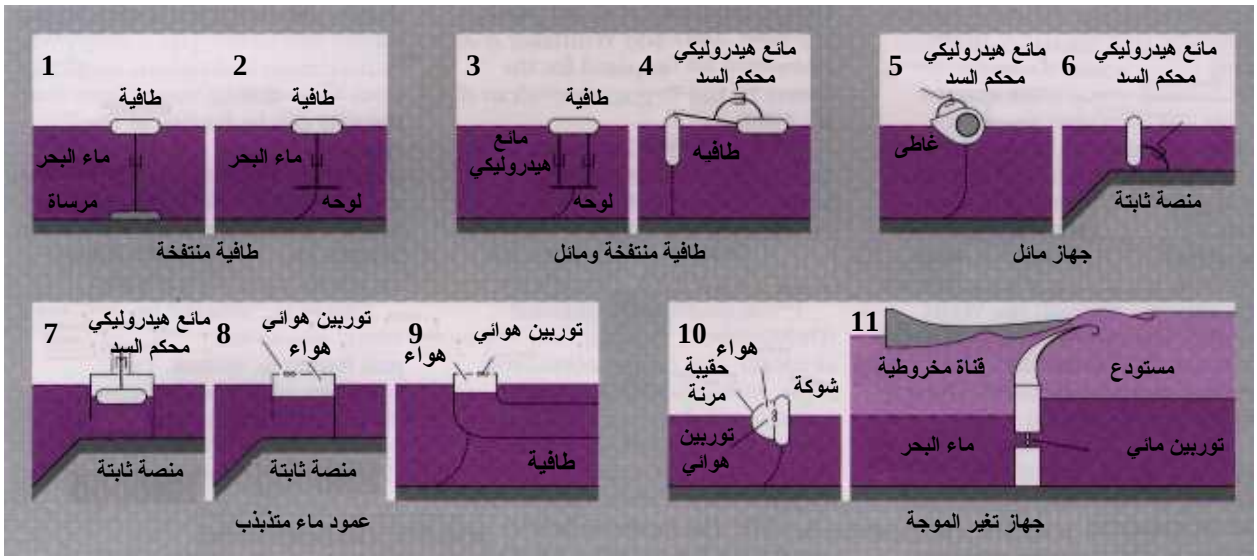
لأجل الحصول على طاقة من أمواج البحر فإنه من الضروري استقبال الموجة بهيكل يمكنه مقاومة القوة المسلطة عليه من الأمواج . وإذا كان الهيكل مثبتاً في قاع البحر أو في الساحل فإنه من الممكن أن يكون قسم منه متحركاً بالنسبة للهيكل الثابت ، وبالتالي يقوم بتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية .

كما يمكن استخدام الهياكل العائمة شريطة أن يكون هنالك إطار ثابت ليتسّنى للجزء الفعال من المنظومة الحركة نسبة إلى الهيكل الرئيسي . ويمكن الوصول إلى هذا الهدف بالاستفادة من القصور الذاتي أو بتكبير الهيكل بحيث يستطيع أن يتسع لعدة قمم من الموجات ويبقى ثابتاً بصورة معقولة في كافة حالات البحر .

وحجم الهيكل الخاص لمحول طاقة الأمواج هو عامل حرج ، ومن السهل تقدير حجمه المناسب وذلك بالأخذ بنظر الاعتبار حجم الماء الداخل إليه . وفي معظم الأحوال يجب أن يكون حجم المحول مساوياً لحجم الماء وذلك لاستخلاص كل الطاقة التي تحتويها الأمواج. وبعض الأفكار والمقترحات الممكن استخدامها في هذا المجال موضحة ومبينة في الشكل (9-9) . إن الحجم الدقيق وشكل كل منظومة محكومان بطريقة التشغيل ، ولكن كتقدير أولي فإن الحجم المطلوب يجب أن يكون بمقدار عدة عشرات من الأمتار المكعبة بالنسبة إلى متر من عرض المنظومة .

وهنالك أشكال مختلفة من محولات طاقة الأمواج وعدة طرق لتصنيفها كما في الشكل (9-9) ، إذ يمكن تصنيف محولات طاقة الأمواج بالنسبة للشكل ، والتوجيه كالمنتهي (Terminator) أو المخفف (Attenuates) أو ممتص النقطة(Point Absorber).

إن أجهزة المنتهي تكون محاورها الأساسية موازية للموجات الساقطة على مقدمتها ، أما أجهزة المخفف فإن محاورها الأساسية تكون عمودية على مقدمة الموجة . وأما بالنسبة إلى ممتصات النقطة فهي أجهزة لها أبعاد صغيرة بالنسبة إلى طول الموجة الساقطة ، وهي مصممة لامتصاص الطاقة من الموجات المحيطة بواسطة استخدام استراتيجيات سيطرة مثل المزلاج الذي يحمل الجهاز حتى يتفاعل مع الموجة في اللحظة المناسبة .

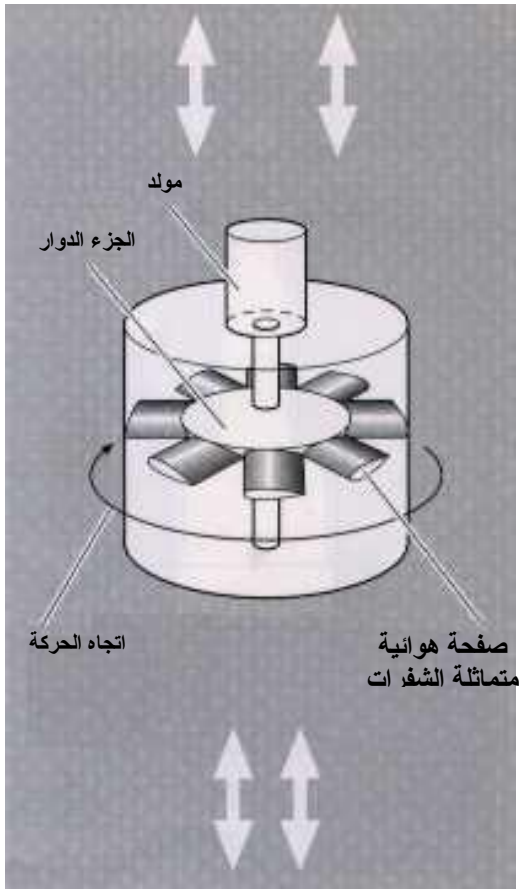


شكل (9-9): مخططات لأنواع مختلفة من محولات طاقة الأمواج

9-11 الأجهزة الثابتة

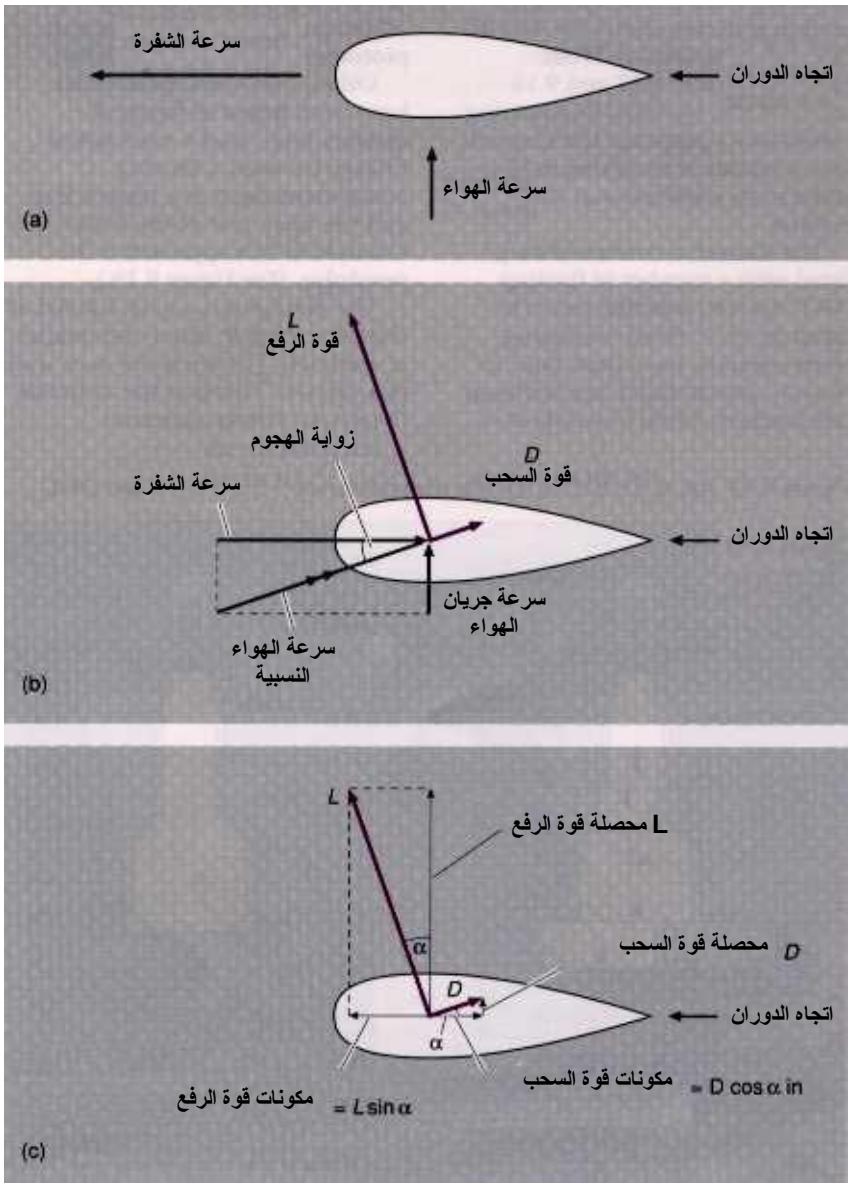
إن الأجهزة الثابتة المربوطة في قاع المحيط أو على الشواطئ هي الوحيدة التي تمت تجربتها من بين أجهزة طاقة الأمواج . ومعظم الأجهزة التي فحصت كانت من نوع عمود الماء المتردد (Oscillating Water Column) . ففي هذه الأجهزة توجد غرفة هوائية تخترق سطح الماء ، والهواء المحصور يدفع خارج وداخل الغرفة بواسطة قمة الموجة وقعرها في طريقه من و إلى الغرفة ويمّر الهواء خلال توربين هوائي ومولد لإنتاج الطاقة الكهربائية . يستخدم الآن توربين هوائي محوري جديد اسمه توربين ويلز (Wells Turbine) نسبة إلى مخترعه (الشكل 9-10) وهو يستمر بالدوران في اتجاه واحد في حالة كون الهواء داخلاً أو خارجاً من الغرفة ، وله خصائص ديناميكية هوائية ملائمة لتطبيقات الأمواج في منظومات عديدة من أجهزة عمود الماء المتردد .

وتوربين ويلز يستخدم الهواء بكلا الاتجاهين . وللوصول إلى هذا ينبغي أن يكون شكل الصفيحة الهوائية متماثلا حول سطح الدوران وغير مثني ودرجة ميله صفراً أي أن خط الوتر يجب أن يكون بخط مستقيم مع سطح الدوران . وعندما تدور الشفرات إلى الأمام فستكون زاوية الهجوم ، وهي الزاوية المحصورة بين الهواء والماء ، وسرعة الجزء الدوار صغيرة ، وهذه تنتج قوة رفع (FL) كبيرة . والمكونات الأمامية لقوة الرفع تزود العزم الذي تقوم بتدوير الشفرات باتجاه الأمام .



شكل (9-10): توربين ويلز

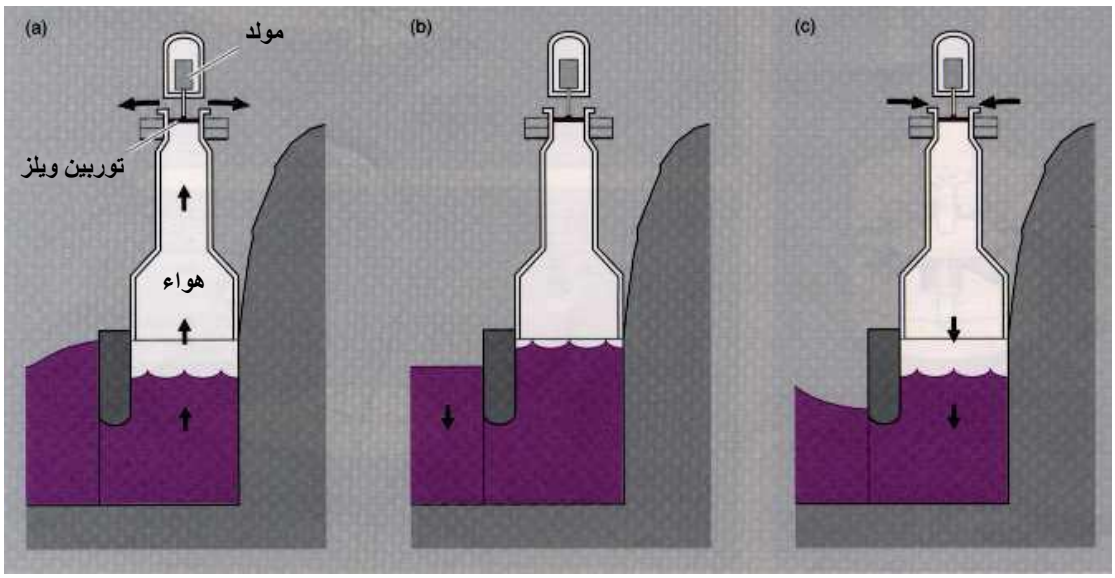
إن توربين وليز يعمل بنفس الطريقة التي يعمل بها توربين الرياح ذو المحور الأفقي مع وجود شفرات متماثلة غير ملتوية وزاوية ميل تساوي صفراً . وعند النظر إلى الشفرة الموضحة في الشكل (9-11a) ، فإذا كانت الشفرة ثابتة بالنسبة إلينا (حتى ولو كانت متحركة) وذلك باعتبار أن موجة سرعة الشفرة تعكس اتجاه حركة الشفرة ، فإننا نحصل على الشكل (9-11b) . ونظراً إلى أن وتر الشفرة بنفس خط مستوى الدوران فإن زاوية الهجوم مساوية للزاوية النسبية للريح (Φ) . وإذا جمعنا الموجهات نحصل على الشكل (9-11c) . ومن هذا الشكل نصل إلى نتيجة أن هنالك محصلة لقوة أمامية على الشفرة تعمل في سطح الدوران إذا كانت الكمية $FLSi\alpha\text{-}FD\cos\alpha$ أكبر من صفر . ومكونات التفاعل ذات الكمية قليلة ولكن سطح الارتكاز في الجزء الدوار يجب أن يتحمل هذه القوى . فإذا كان العزم الأمامي أكبر من صفر فإن الشفرات تدور بسرعة أمامية وتستطيع استخلاص طاقة مفيدة .



شكل (9-11): توربين ويلز (a) جريان الهواء وسرعة الشفرة، (b) سرعة الهواء النسبية وقوى الرفع والسحب، (c) القوى في مستوى الدوران

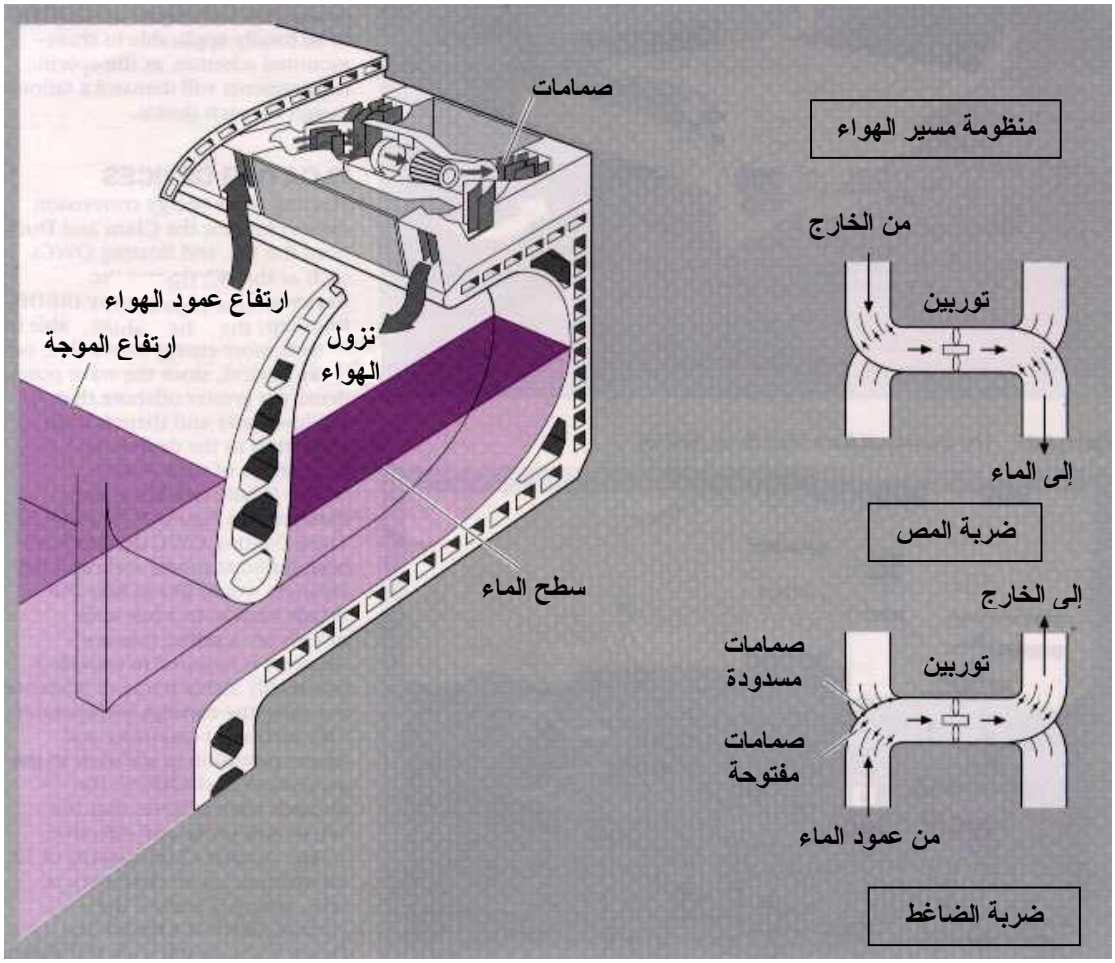
إن شكل الشفرة مهم جداً هنا ، لأنه يحدد قيم معاملات الرفع والسحب وقيمة العزم الأمامية . وتوجد علاقة مباشرة بين سريان الهواء وهبوط الضغط في عمود دوران ويلز الذي يدور بسرعة ثابتة ، وهذه تجعل توربين ويلز مناسباً تماماً لطاقة الأمواج . ومن الخصائص المفيدة الأخرى لتوربين ويلز أنه يدور بسرعة عالية (300 إلى 1500 دورة في الدقيقة rpm) ، ويمكن في هذه الحالة ربط المولد مباشرة على عمود التوربين بدون الحاجة إلى استخدام صندوق تبديل السرعة .

الأشكال (12a, 12b, 12c-9) توضح العمل الأساسي لتوربين ويلز منصوبة قرب الساحل . وعمل التوربينات الطافية يشبه عمل هذه التوربينات . فالهواء يملأ الجزء العلوي من العمود والماء في الجزء السفلي متصل مع البحر بواسطة فتحة تقع تحت معدل مستوى الماء ، وعندما تقترب الموجة من الهيكل يرتفع مستوى الماء السفلي ويدفع الهواء إلى أعلى ليقوم بتدوير التوربين . وعندما تصل قاعدة الموجة يقل مستوى الماء الداخلي ساحباً الهواء مرة أخرى إلى الجزء العلوي ويمّر الهواء في هذه الحالة من التوربين بعكس الاتجاه . وبما أن توربين ويلز يعمل بالاتجاهين فالهواء في هذه الحالة يقوم بتدوير التوربين بنفس الاتجاه لتدوير المولد وتوليد الطاقة الكهربائية.



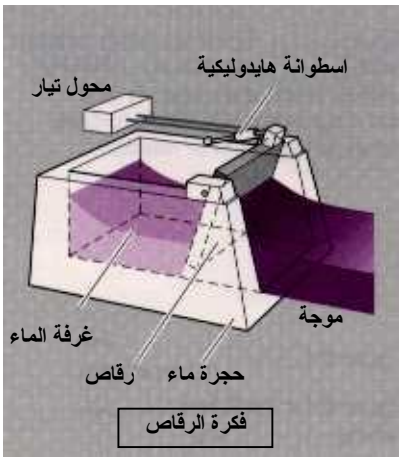
شكل (12a, 12b, 12c-9): التشغيل الأساسي لعَنفة (توربين) ويلز المنصوب على الساحل

ولا يستخدم توربين ويلز دائماً في هذه المنظومات ، إذ هنالك توربينات أخرى مقترحة للعمل ، والشكل (13-9) يوضح بعض الأنواع الأخرى التي تستخدم منظومة ذات توربين هوائي عادي .



شكل (9-13): منظومة ذات عَنفة (توربين) هوائية عادية

لقد نُصبت في منطقة ساكاتا (Sakata) الواقعة على الساحل الغربي لليابان عدة توربينات من نوع عمود الماء المتردد ، كما تم نصب نماذج من توربينات من نوع آخر. والتوربينات الأخرى المنصوبة تستخدم موصلا ميكانيكياً بين الأجزاء المتحركة والأجزاء الثابتة . ونموذج من هذه التوربينات يسّمى الرقاص (Pendulor) وهو مبين في الشكل (9-14) .



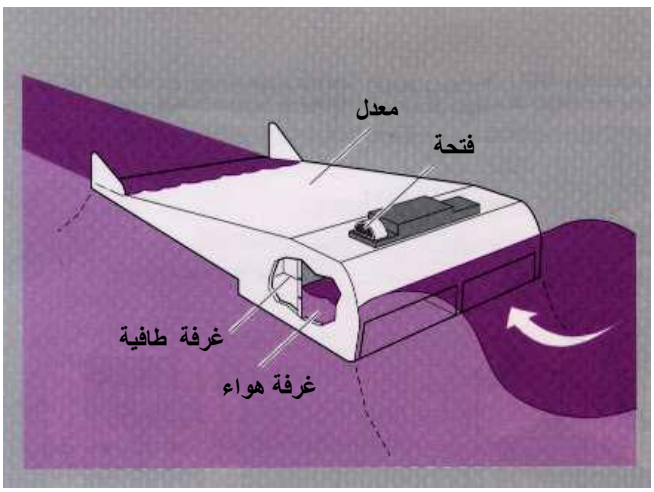
شكل (9-14): جهاز الرقاص الياباني

والرقاص هو مّمر معلق في الأعلى ، موضوع على ربع طول الموجة من خلف حائط الصندوق ، مّعرض لحركة قوية ناتجة من دفع الموجة . وتستخلص الطاقة من حركة الممر بواسطة دفع وسحب المنظومة الهيدروليكية . هناك منظومتان بطاقة توليد مقدارها 5 كيلووات تعملان في منطقة هوكايديو (Hokkaido) في اليابان منذ عام 1980.

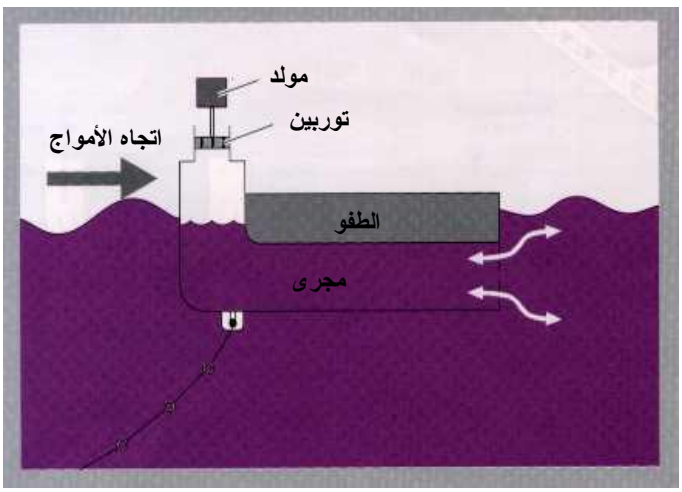
كما نصب توربين من نوع عمود الماء المتردد في إحدى جزر النرويج ، وربط التوربين بمولد ذي سعة مقدارها 600 كيلووات ، والطاقة المولدة ربطت بالشبكة عبر محول ذبذبة . وقد كان أداء التوربين والمولد أكثر من المتوقع ، وتم توليد طاقة كهربائية بكلفة رخيصة .

12-9 الأجهزة الطافية

تم تصميم أجهزة تحويل الطاقة الطافية التي تتضمن توربينات في كل من إنكلترا واليابان . وهناك نوعان من هذه التوربينات اليابانية : الأول على شكل حوت ، والأخر على شكل مكعب طافٍ وهما مبّينان في الشكليْن (9-15 ,9-16) . وهذه النماذج صُممت وشُغلت على النطاق التجريبي فقط .



شكل (9-15): منظومة على شكل حوت



شكل (9-16): منظومة على شكل مكعب

وهنالك نشاطات أخرى لتصميم وتجربة منظومات توليد طاقة من هذا المصدر تجري في كل من اليابان والنرويج وإنكلترا والصين والهند والدانمارك والسويد وإسبانيا وايرلندا والولايات المتحدة . ويبين الجدول (9-1) أعداداً من الأنظمة التجريبية ذات سعة تتراوح من 50 واط إلى 600 كيلو واط . وقد حقق قسم من هذه التجارب نجاحاً في

حين أن القسم الآخر اعترضته مشاكل . ويبين الجدول (9-2) المنظومات المقترحة للمستقبل .

13-9 التأثيرات البيئية

إن طاقة الأمواج تعتبر من أكثر مصادر الطاقة الخالية من التأثيرات البيئية ، وذلك للأسباب التالية :

أ - لا تستخدم أية مواد كيمياوية ملوثة ، وقد تستخدم ، في أسوأ الأحوال ، بعض الزيوت لأغراض التشحيم والتي تكون مسدودة الأحكام .

ب - ليس لها أي ضجيج ، ودرجة الضوضاء فيها أقل من ضوضاء تلاطم الأمواج .

جـ - لا تشكل أية مخاطر للسفن .

د - لا تؤثر على بيئة السواحل لأنها تستخلص جزءاً قليلاً من طاقة العواصف والأمواج .

جدول (9-1) عرض لبعض الأنظمة التجريبية في قسم من دول العالم

السنة	النوع	الموقع	السعه (كيلو وات)	الملاحظات
1965	عمود الماء المتردد (OWC)	اليابان	0.05	نصب منها عدة مئات في سواحل اليابان
1978-1986	كايمي (Kaimei)	اليابان	375-100	توقف الاهتمام بالفحوصات
1983	عمود الماء المتردد (OWC)	اليابان	40	الطاقة المتولدة قليلة ، وفكك بعد عام من النصب
1983	الرقاص (Pendulor)	اليابان	5	لا تزال تعمل
1984	كايو المنتهي الطافي (Kaiyo floating terminator)	اليابان	غير معروف	برنامج البحوث أكمل
1985	عمود الماء المتردد (OWC)	النرويج	600	أداء جيد، تحطم بإحدى العواصف عام 1988
1985	تابجان (Tapchon)	النرويج	350	لا تزال تعمل
1985	عمود الماء المتردد (OWC)	اليابان	40	انتهى الفحص عام 1988
1988	عمود الماء المتردد (OWC)	اليابان	30	عشرة توربينات منصوبة على شكل صف
1989	جناح معلق (hinged flap)	اليابان	1	تحت العمق
1989	تتهيرد الطافي (Tethered float)	الدنمارك	45	بعض المشاكل
1989	عمود الماء الطافي (OWC)	اليابان	60	يعمل الآن
1991	عمود الماء الطافي (OWC)	إنكلترا	75	لا يزال يعمل
1991	عمود الماء الطافي (OWC)	الهند	150	أكمل عام 1992
1992	FWPV	السويد	110	تشغيل ناجح
1992	OLAS-1000	إسبانيا	-	
1995	OSPREY	إنكلترا	2000	أكمل التصميم

جدول (9-2) : المنظومات المقترحة

النوع	الموقع	السعة (كيلوات)	الملاحظات
عمود الماء المتردد (OWC)	البرتغال	350-500	تحت التخطيط
عمود الماء المتردد (OWC)	اليابان	100-400	تم طلب التحويل
على شكل مجرى هوائي (BBDB)	اليابان أوهواي	330	موديل حجم 10/1 من الأصلي ثم فحصه
الرقاص	اليابان	125	
كالم Clam	اسكتلندا	2000	تم عمل موديل15/1 من الأصلي
تايجان Tapchan	اندونيسيا	1000-1500	تحت الإنشاء
طاحونة البحر Seamill	أمريكا	200	تحت التخطيط
عمود الماء المتردد (OWC)	اسكتلندا	3000	تم طلب التحويل
ضخة الخرطوم FWPV	السويد	1000	تحت المناقشة
Hose Pump	اليونان	600, 1000, 6000	تحت التخطيط

أسئلة تقويمية

١. متى تم التفكير باستغلال طاقة الأمواج لتوليد الطاقة الكهربائية ؟ وما هي الإمكانات المتاحة لاستغلال هذه الطاقة ؟

٢. كيف تتكون الأمواج ؟ وكيف يمكن استخلاص الطاقة منها ؟

٣. ما هي أنواع العنفات المستخدمة لتوليد الطاقة الكهربائية من طاقة الأمواج ؟

٤. ما هي النشاطات الحالية الخاصة باستخلاص هذا المصدر ؟

٥. ما هي التأثيرات البيئية الإيجابية والسلبية الناتجة عن استغلال هذا المصدر ؟

٦. ما هي العوامل المساعدة على استغلال طاقة الأمواج ؟ صنفها حسب أهميتها ؟

٧. هل استغلال طاقة الأمواج ذو جدوى اقتصادية ؟