الفصل الثامن

طاقة المدّ والجزر

8-1 مقدمـــــة

8-2 التفسيرات الفيزيائية لظاهرة المدّ والجزر

8-3 الرنين الموقعي

8-4 توليد الطاقة

8-5 العوامل الفنية

8-6 العوامل البيئية

8-7 محطات المدّ والجزر الطافية

8-8 الإمكانيات العالمية

1-8 مقدمـــــة

إن لاستخدام طاقة المدّ والجزر تاريخاً طويلاً . فقد استخدمت هذه الظاهرة في كل من إنكلترا وفرنسا في القرون الوسطى وذلك بنصب طواحين لطحن الذرة على بعض الأنهر ، ومنذ عهد ليس بالبعيد عادت فكرة استخدام طاقة المد والجزر على نطاق أوسع لتوليد الطاقة الكهربائية وذلك بنصب عنفات (توربينات) على حواجز كالسدود الصغيرة التي تبنى في مصبّ مياه مناسب .

لقد تواصل الاهتمام بهذا المصدر ، فأنشأت فرنسا في منطقة قريبة من سانت مالو (StMalo) ما بين عامي 1961 و 1967 محطة وصل إنتاجها إلى 240 MW في عام 1966، وتتضمن هذه المحطة طريقاً للعبور . وتم بعدها اقتراح إنشاء محطة بسعـــــة 15 GW تحصر مساحة كبيرة من البحر من منطقة سانت مالو في الجنوب إلى منطقة كاب ديكارتريل (Cap de Carterel) في الشمال ، وهو ما يسمى بمشروع "إسل ديجوسي" لكن تنفيذه لم يتم . وتم أيضاً اقتراح محطة في خليج فوندي (Bay of Fundy) في كندا ومحطة في الاتحاد السوفيتي السابق ، إلاّ أن المشروع الذي أنشئ كان نصب محطة منفصلة بقدرة 18 MW في منطقة نوفا سكوتيا (Nova Scotia) أكملت في عام 1984 ، كما أكملت محطة بقدرة 400 كيلوواط في خليج كيسلايا (Bay of Kislaya) على بعد 180 كيلو متر من مورمانسك (Murmansk) . وأكملت عام 1968 محطة بقدرة 500 كيلووات في منطقة جدول جانجكسا (Jangxia Creek) في شرق بحر الصين . ويبين الشكل (1-8) المواقع المختلفة من مناطق العالم التي يمكن أن تقام عليها محطات من هذا النوع .

شكل (1-8): المواقع المحتمله لطاقة المد والجزر

2-8 التفسيرات الفيزيائية لظاهرة المد والجزر

تغّير ارتفاع الماء أثناء المد والجزر يحدث بصورة أساسية نتيجة للتجاذب بين الأرض والقمر . فخلال اليوم الواحد تنتج قوة جذب على أية نقطة من الكرة الأرضية . ونلاحظ أن مستوى ماء البحر يرتفع وينخفض مرتين في اليوم ، وهذا الارتفاع أقل من المتوقع بسبب تأثير قوة جذب الشمس للأرض وبسبب طبوغرافية كتلة الأرض اليابسة والمحيطات .

إن التحليل التفصيلي للتجاذب بين الأرض والقمر والشمس معقد جداً ، وسنسعى إلى تبسيط شرحه هنا بدءً بالتجاذب بين الأرض والقمر . فقوة جذب القمر تسحب البحر على جانب الأرض القريب منها باتجاه القمر ، بينما تكون البحار البعيدة عن الجذب القمري ذات تأثير أقل وتبتعد عن القمر .

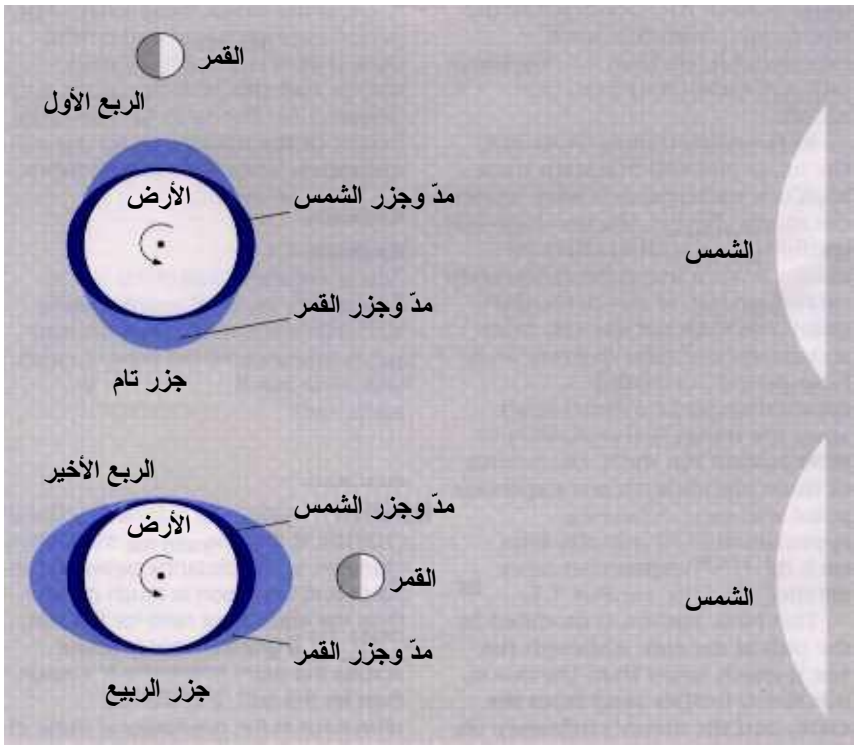
وبسبب دوران الأرض حول محورها فإن الجذب القمري يقوم بتكرار تسلسل المدّ والجزر وبمعدل مرتين في اليوم (أو بصورة أدق مرتين في كل 24.0 ساعة) . وبما أن القمر يدور في مدار حول الأرض فإن توقيت المدّ العالي في أية نقطة يتغير بحوالي 50 دقيقة كل يوم، كما أن بزوغ القمر يتأخر يومياً خمسين دقيقة في المتوسط .

وهذا التسلسل الأساسي يتم خفضه من قبل الشمس . فبالرغم من أن الشمس أكبر كثيراً من القمر إلا أنها أبعد كثيراً عن الأرض ، وتأثير القمر على البحر يتجاوز ضعف تأثير الشمس ، والتأثير النهائي يعتمد على دورانها النسبي .

وعندما يكون القمر والشمس على خط واحد مستقيم مع الأرض فإن تأثير الجذب يكون في أشده والنتيجة هي حدوث زيادة في المد عن المعتاد (مدّ عال أو تامّ Spring Tide) . وعندما يشكل الشمس والقمر زاوية عمودية مع الأرض (90^o) فإن النتيجة حدوث خفض في الجزر عن المعتاد (جزر تام Neap Tide) . والمدة بين الجزر التام والمد التام تكون حوالي 14 يوماً ، وهي تقريباً نصف 29.5 يوم التي هي دورة القمر للراصد على الأرض ، كما في الشكل (2-8) . والنسبة بين ارتفاع أعلى مدّ وأوطئ جزر يمكن أن تكون أكثر من اثنين إلى واحد .

إن قوة جذب الشمس أعلى كثيراً من قوة جذب القمر بحوالي 177 مرة ، ولكن تأثيرها على المد والجزر أقل بكثير ، ذلك لأن المسافة بين الأرض والقمر هي أعلى بكثير من تلك التي

بين الأرض والشمس ، وهذا يجعل فرق الجذب عبر الأرض أكثر للقمر منه للشمّس . ومحصلة الفرق بين مجالات الجذب للقمر والشمس في كلا جانبي الأرض يكون هو العامل المؤثر .



شكل (8-2): تأثير الشمس والقمر على المدّ والجزر

إن التحليل الموضح أعلاه تحليلٌ مبسط ، لأنه توجد في الحقيقة عوامل أخرى تعقد تعاقب ظاهرة المد والجزر ولكن تأثيرها قليل . فمثلاً بالرغم من أن الظاهرة غير فصلية إلا أن الظروف الجوية يمكن أن تلعب دوراً مؤثراً . فالرياح العالية والعواصف إذا حدثت في وقت المدّ العالي نتج مّد عارم يتطلب تصميم حواجز المياه بحيث تستطيع مقاومة هذا المد .

وهنالك عوامل أخرى متعلقة بتوليد الطاقة على الرغم من أن تأثيرها قليل . فمثلاً التعاقب النصف الشهري العالي والجزر الواطئ يتأثران ويقلان بسبب كون مدار القمر ليس دائرياً بل على شكل بيضوي . وتحدث أيضاً تغيرات مدارية طويلة المدى ، منها مثلاً شبه الدورة السنوية التي يسببها ميلان مدار القمر بالنسبة للأرض (حول الشمس) والتي تسبب اختلافاً بنسبة حوالي 10% بارتفاع المد .

ولإكمال الصورة المعقدة لطبيعة المد وأسبابه نشير إلى أن المّد يقل في بعض المناطق بسبب قوى كوريلوس (Coriolis Force) ، وهذه تحدث بسبب دوران الأرض وخروج تيارات المّد من طريقها الاعتيادي .

وبعيداً عن الاضطرابات البسيطة كالتي ذكرناها فإن التأثير العام للتجاذب الأساسي بين الشمس والقمر والأرض يجعل التغيير الاعتيادي للمّد يصل إلى 0.5 متر . ولكن مستوى ارتفاع المد في المناطق التي تقع على السواحل في بعض الأحيان يكون متغيراً بشكل واضح ، ويتضاعف بسبب التغيرات الطبوغرافية المحلية كالمناطق الساحلية الضحلة أو عند مصبات الأنهار .

وعند اقتراب المّد من السواحل يقلّ عمق الماء ويزداد جريان المّد حتى يصل إلى حوالي 3 متر . أما إذا دخل المّد في مضيق أو مصّب نهر مناسب فإنه يكون على شكل قمع وعندها يزداد الارتفاع أكثر وقد يصل إلى 10 أمتار أو إلى 15 متراً في بعض المواقع . وتلعب ظاهرة الرنين (Resonance Effect) دوراً كبيراً في ذلك . فالرنين(Resonance) يشبه الذبذبات التي يمكن أن تحدث في الصناديق الصوتية الخاصة بالآلات الموسيقية وذلك بتكبير ذبذبات معينة في الصوت الأصلي . ويعتمد وجود أيّ رنين على شكل التجويف المكوّن له وسعة ذلك التجويف .

ويمكن توضيح بعض المعلومات عن الرنين كالآتي :

تأثير الرنين يحدث موقعيا (في مصبات الأنهار مثلاً أو في وسط المحيطات) ، وله تأثير كبير على زيادة مستوى المّد . إن مصّب نهر أو قاعدة محيط كاملة يمكن أن تتصرف كفجوة رنين صندوق أو منطقة محصورة يحدث فيها رنين عندما تتطابق أبعاد الصندوق أو المنطقة المحصورة مع موجة التغيرات المؤثرة أو الإشارة المترددة . فإذا كانت الأبعاد مناسبة فإن الموجات تنحصر في حيطان الفجوة وتنعكس منها ، وبذلك يتم تكبير الإشارة الأصلية . وهذه الموجات المستقرة يمكن أن يكون لها موجات مضاعفة للموجة الأصلية، وبنفس الطريقة يمكن أن يحدث الرنين مع موجات تبلغ نصف أو ربع الموجة الأصلية .

إن طبيعة الزيادة والنقصان في المّد والجزر يمكن تمثيلها بإشارة مترددة أو متذبذبة تساعد على تكوين رنين مكبر في حوض المحيط أو في الخلجان ذات الأبعاد المناسبة . فالمسافة بين أمريكا الشمالية وأوروبا تقدر بحوالي 4000 كيلو متر ، وقد وجد بأنها مناسبة لتكوين

رنين في دورة المد والجزر التي تحدث كل 12 ساعة ، وبموجة يساوي طولها ضعف عرض المحيط الأطلسي .

ومن الناحية العلمية فإن مستويات المد والجزر التي تحدث في كل ساحل تعتمد على المؤثرات الموقعية . وأن الفجوة المترددة أو المتذبذبة ، وهي حوض المحيط ، تم افتراضها بأن لها جوانب عمودية تستطيع أن تعكس الموجات بشكل تام . وفي حالة شمال المحيط الأطلسي فإن مستوى المّد والجزر في حوض المحيط يبلغ حوالي 0.5 متر ويصل إلى 3 متر عند كل ساحل .

ويحدث أيضاً رنين مخفف من هذا النوع بذبذبات مختلفة في المحيط الهادي الذي يبلغ عرضه أربعة أضعاف المحيط الأطلسي ، وموجات المد المترددة في هذه الحالة يكون طولها الموجي نصف عرض المحيط . وبما أن عرض المحيط غير متماثل فإن تأثير الرنين حول المحيط الهادي أكثر تعقيداً ولكنه أقل إثارة . وفي بعض مناطق المحيط الهادي يحدث مّد وجزر منخفضان ، وفي بعض المناطق يحدث مد وجزر واحد في اليوم وذلك لأن الرنين يحدث كل 24 ساعة .

3-8 الرنين الموقعي (Local Resonauce)

بالإضافة إلى الرنين الذي يحدث على طول حوض المحيط فإن حدوث رنين موقعي في بعض المناطق الساحلية الضحلة ممكن . فمثلاً يمكن أن يكون لحوض صغير في خليج مستوى مد وجزر يصل إلى حوالي 10 أمتار . ولمناطق مثل البحر الايرلندي (Irish Sea) ، وقناة برستل (Bristol Channel) وخليج سيفيرن (Sevrn Estuary) في المملكة المتحدة التي يمتد طولها إلى 600 كيلو متر رنين طبيعي يحدث كل 6 ساعات تقريباً، ورنين على ربع طول الموجة (ضعف ذبذبة موجة المد) . وهنالك أيضاً رنين على نصف طول الموجه في المساحة الواقعة بين منطقة لاندزاند (Lands End) ودوفر (Dover) على طول القناة الإنجليزية (عرضها 500 كيلو متر وبعمق تقريبي 70 متراً) .

إن الرنين يكون أكثر تأثيراً في الخلجان لأنها فجوات مغلقة ، والرنين في معظم الأحيان معقد وذلك لتغير العرض والعمق ولطبيعة قعر الخليج التي تضيف خسائر احتكاك متغيرة. وحتى عند عدم فهم حدوث الرنين بصورة عميقة فإنه يمكن بوضوح أن نرى أنه عند وجود موقع على شكل قمع فإن مستوى المد يزداد عندما يجري المد ضد التيار وعندما يقل

عرض الخليج وعمقه . وهناك أيضاً تأثيرات احتكاك تكون على شكل خسائر في الطاقة عندما يجري المد على مواد مختلفة من قاع الخليج . ففي بعض الأحيان ، وفي خلجان طويلة ، تحدث تأثيرات للمد والجزر ضد التيار . فبدلاً من حدوث ارتفاع قليل نسبياً كما هو متوقع في الجزء الكبير من خليج سفيرن (Sevrn Estuary) فإن جريان المد ضد التيار يمكن تركيزه ليرتفع بصورة مفاجئة بحيث يمكن أن يرتفع إلى موجة عمودية تسمى ثقب سفيرن (Sevrn Bore) . ونفس التأثير يحدث على طول خلجان أخرى بما في ذلك خليجا همبر (Humber) ، وهوكلي (Hoogly) القريبان من كلكتا في الهند .

إن المحرك الرئيسي لتوليد المد والجزر هو التجاذب بين الأرض والقمر ، ولكن طاقة جريان المد تأتي من دوران الأرض الذي يعمل تأثيره على تكوين المد في عرض البحار.

4-8 توليد الطاقة

إن المبادئ الأساسية الفيزيائية والهندسية المتعلقة بتوليد الطاقة الكهربائية من طاقة المد والجزر لا تتضمن تعقيدات ، وهي واضحة نسبياً .

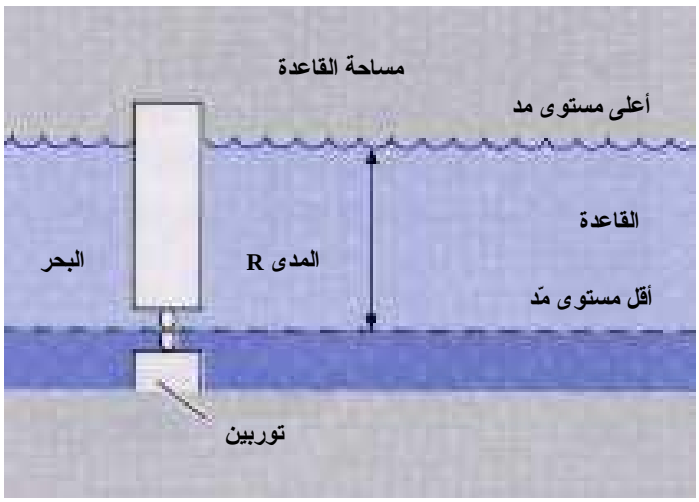
إن الحواجز التي تشيّد على الخلجان المناسبة مصممة لاستخلاص الطاقة من ارتفاع الأمواج وانخفاضها وذلك باستخدام عَنفات (توربينات) منصوبة في الممرات المائية عند الحواجز . والطاقة الكامنة الناتجة عن الاختلاف في مستوى الماء تتحول إلى طاقة حركية على شكل ماء يمر بسرعة عالية خلال العَنفة. وهذه الطاقة الحركية تتحول بدورها إلى طاقة حركية دوارّة ناتجة عن حركة شفرات العَنفة. وهذه العَنفة الدائرة تقوم بتسيير مولد (Dynamo) لإنتاج الطاقة الكهربائية . ومعدل القدرة الناتجة من حواجز المد والجزر يتناسب بصورة تقريبية مع مربع مستويات المّد والجزر . وإن الاشتقاق الرياضي لهذه العلاقة بسيط ، وهو كالآتي :

نفترض أن مدى ارتفاع وانخفاض الموجة هو (R) ، وأن مساحة الحوض خلف الحاجز ثابتة ومقدارها (A) ، وهذه تبقى مغطاة بالماء عند الجزر (الشكل 8-3) . فكمية الماء المحصورة تكون كتلتها تساوي (ρAR) عند مركز الثقل الذي يكون على عمق R\2 أثناء المّد (ρ هي كثافة الماء) . وكمية الطاقة الكامنة القصوى (E) المتوفرة عند المّد إذا قل الماء إلى ارتفاع R\2 يمكن حسابها من حاصل ضرب الكتلة (ρAR) والارتفاع (R\2) وتسارع الجاذبية الأرضية (g) أي أن (Rgm = E) :

$E = \rho ARg(R\backslash 2)$ (جول)

أي أن معدل الطاقة خلال زمن مد واحد مقداره T هو $\rho AR^2g\backslash 2T$.

ومن الواضح أن أيّ فرق قليل في ارتفاع المد يسبب فرقاً كبيراً في إنتاجية الحاجز وجدواه الاقتصادية . وإن معدل مدى ارتفاع 5 متر يعتبر أقل قيمة مناسبة لتوليد طاقة كهربائية بصورة اقتصادية . والمعادلة السابقة تبين أيضاً أن الطاقة الناتجة تتناسب أيضاً مع مساحة الماء المحصورة خلف الحاجز ، لذا فإن جغرافية الموقع مهمة أيضاً . وكل هذا يعني أن نصب الحاجز عامل مهم في الإنتاجية .



شكل (8-3): توليد الطاقة الكهربائية من المد والجزر

وإلى الآن فإن المحطة الوحيدة المنصوبة والتي تبلغ سعتها 240 ميغاواط هي التي تقع على خليج رانس (Rance Estuary) في الساحل الغربي من فرنسا ، وهي لا تزال تعمل بنجاح منذ 25 عاماً وذلك بالإضافة إلى العَنفة (التوربين) التي بسعة 18 ميغاواط والتي تم نصبها في منتصف عام 1980 في نوفا سكوتيا في كندا (Annapolis Royal In Nova Scotia, Canada) ومشاريع صغيرة أخرى في مناطق مختلفة من العالم ، من ضمنها مشروع في خليج صغير قرب منطقة مورمنسك (Murmansk) في روسيا وعدة مشاريع أخرى في الصين .

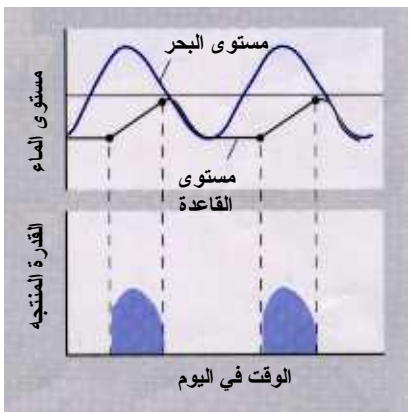
5-8 العوامل الفنية

إن الطاقة التي تدخل إلى الحاجز وكذلك ارتفاع المد والجزر وانخفاضه تتبع موجة جيبية (الشكل 8-4) . ومثلما ذكر سابقاً فإن المّد والجزر يتعاقبان كل 12.4 ساعة ، والقيمة بين أعلى ارتفاع وأدناه تختلف باختلاف الموقع نتيجة لتعقيدات الرنين ، ونتيجة لتعقيدات هيئة الخليج المعين ، وللتأثير الناتج عن اتخاذه شكل قمع مع التغيرات المترتبة نتيجة لاختلاف العمق والعرض والاحتكاك فوق المواد المختلفة في قاع الخليج التي تولد تغيّرات موقعية ، لذلك نرى أنه من الصعب تكوين نموذج رياضي حقيقي للرنين .

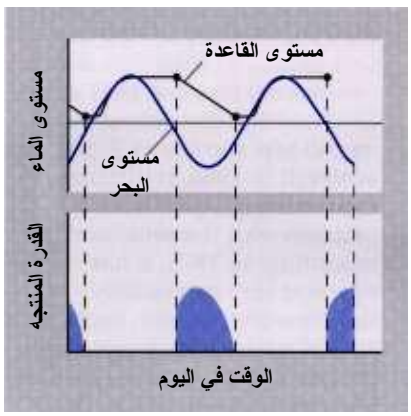
وهنالك حاجة ملحّة لتحليل هذه التأثيرات عندما يتم اتخاذ قرار بنصب محطة في منطقة معينة، وذلك لاختيار موقع الحاجز واتجاهه ، لأن لذلك تأثيراً رئيسيّاً على الطاقة المنتجة. ومن المؤكد أن هنالك إمكانية لتحديد موقع حاجز يناسب الخليج ويكون قريباً من الرنين وذلك لزيادة الطاقة المنتجة ، ولهذا فإنه يجب أن يتم الابتعاد عن الأمور التي تعّكر حدوث الرنين الموجود فيها .

وبالإضافة إلى النقاط الأساسية الخاصة بالموقع والاتجاه فإن هنالك مجموعة من العوامل التي تؤثر على إنتاج الطاقة من الحاجز لها علاقة بنموذج التشغيل .

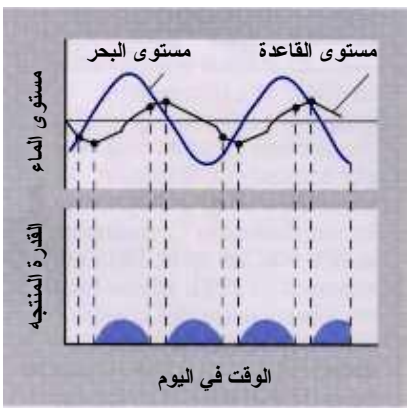
وتولد الطاقة إما بإمرار موجة المد خلال توربين منصوب على الحاجز (ويسمى توليد الفيضان) ، (الشكل 8-4) ، أو بواسطة السماح للمد بالمرور من الحاجز خلال البوابات بدون توليد ، وحجز المياه خلف الحاجز بواسطة غلق البوابات . وستتولد الطاقة الكهربائية نتيجة لفرق الارتفاع بعد السماح للماء بالخروج عبر البوابات خلال فترة الجزر ويسمى "توليد الجزر" (الشكل 8-5) . وتوليد الجزر هو الشائع الاستخدام ، ولكن التوليد في كلا الحالتين مستخدم أيضاً (الشكل 8-6) . إن التقنيات الأساسية لتوليد الطاقة متطورة حالياً بشكل جيد ، ولها خصائص مشتركة مع المحطات المائية . ويمثل الشكل (8-7) صورة فنية تصويرية لمخطط التوليد .



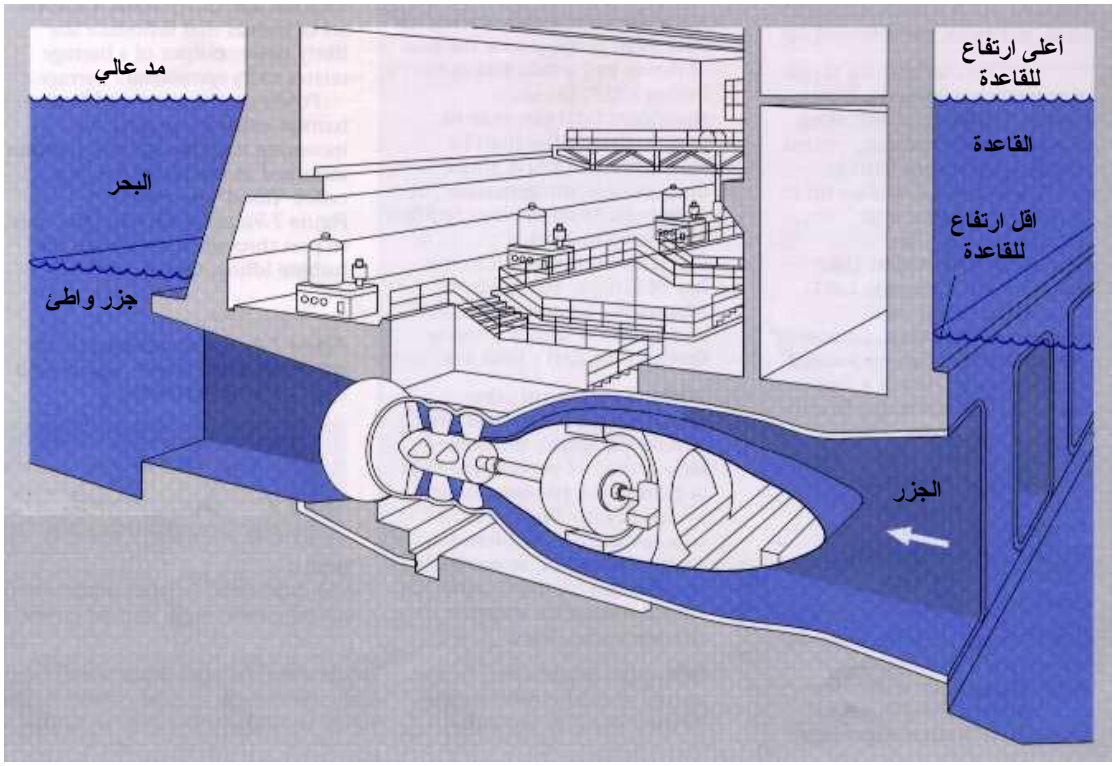
شكل (8-4): توليد الفيضان



شكل (8-5): توليد الجزر

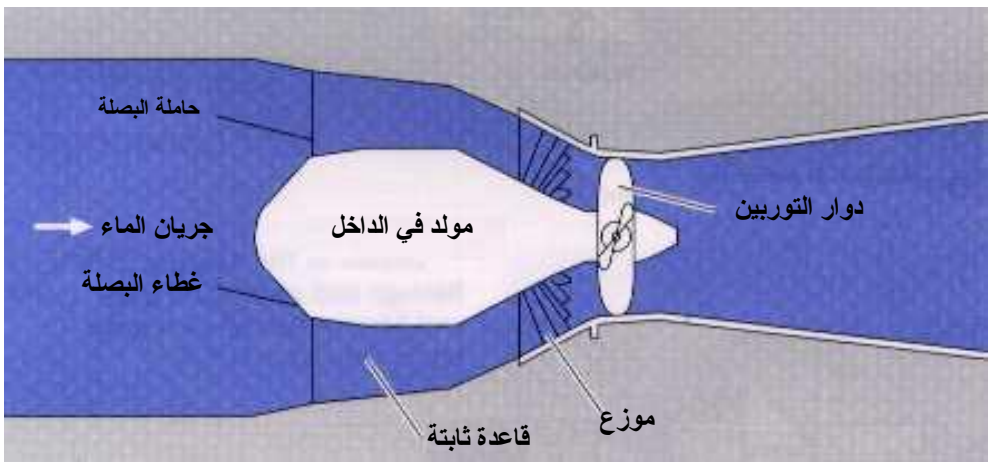


شكل (8-6): التوليد في كلا الحالتين



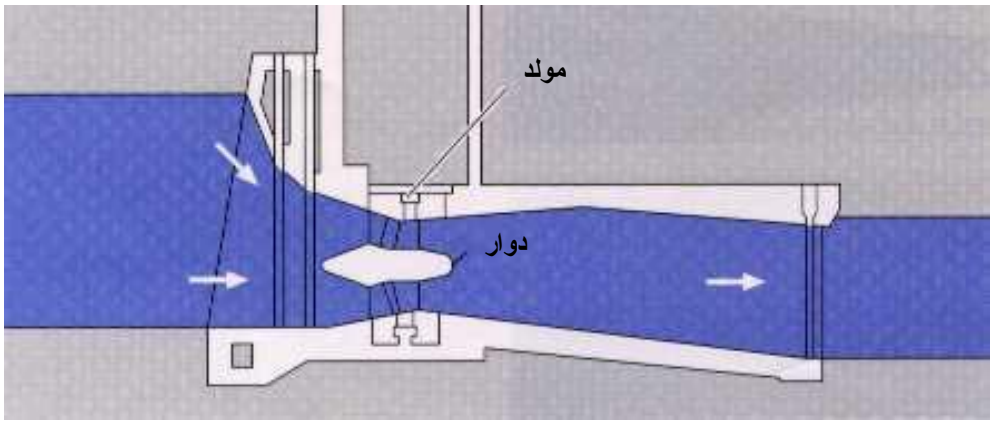
شكل (8-7): صورة فنية لمخطط التوليد

هناك عدد من الأشكال و الهيئات التي يمكن استخدامها في هذا النوع من المحطات . ففي محطة لارانس (LaRance) استخدمت منظومة بصلية الشكل يكون فيها التوربين والمولد محفوظين في مجري التيار في منطقة مسيجة على شكل بصلة (الشكل8-8). وفي هذه الحالة سيكون الجريان حول البصلة الكبيرة مع وجود وسيلة للوصول إلى المولد (في حالة الصيانة) تتضمن قطع سريان مجرى الماء .



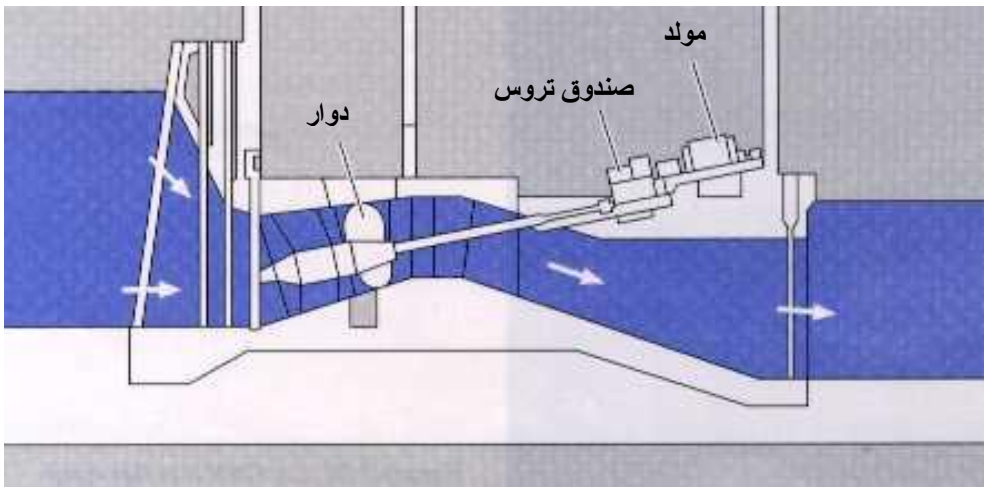
شكل (8-8): عَنفة (توربين) على شكل بصلة

هذه المشاكل تم تقليلها في توربين ستر افلو (Straflo) المستخدم في محطة (Annapolis Royal) وذلك بنصب المولد بصورة دائرية حول الحافة ، والجزء المعرض للتيار يكون الجزء الدوار من العَنفة (التوربين) شفرات العَنفة (التوربين) كما في الشكل (8-9) .



شكل (8-9): عَنفة (توربين) توليد داخل إطار

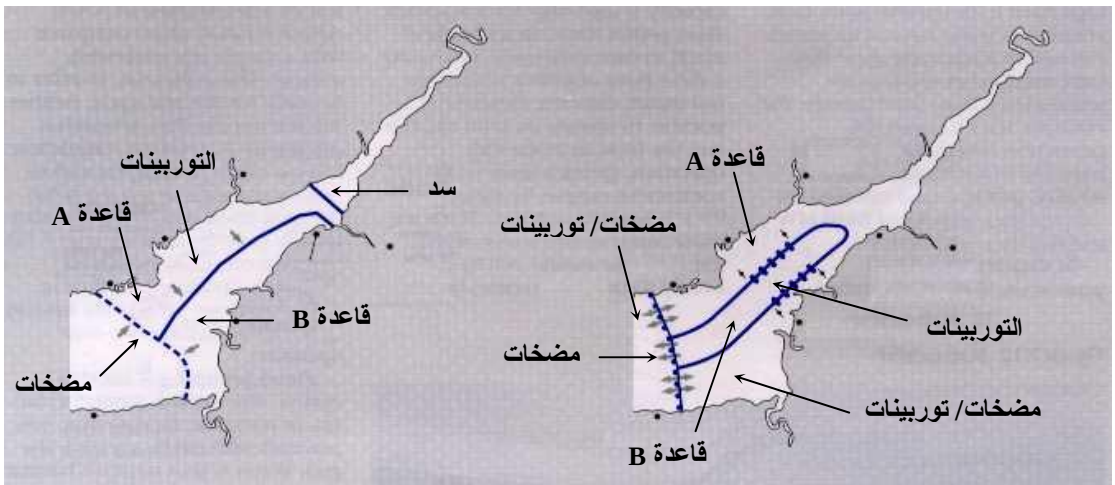
وتوجد أيضاً نوع آخر من العَنفات، وهي العَنفات الأنبوبية (Tubular) وفيها يكون الجزء الدوار (شفرات التوربين) موضوعاً بزاوية يتم فيها نقل قدرة الدوران إلى مولد خارجي (الشكل 8-10) . وسرعة دوران العَنفة تكون قليلة اعتيادياً (50-100 دورة بالدقيقة) ، وبهذا فإن مشاكل الاحتكاك تقل مقارنة بما يحدث في المحطات المائية ذات الارتفاع العالي . ونظراً إلى أن كمية كبيرة من الماء تمّر في وقت قصير فإن نصب أعداد كبيرة من العَنفات مطلوب في الحواجز الضخمة . فمثلاً المقترح في محطة حاجز سيفيرين (Severn) أن يكون هناك 216 توربيناً كل منها ذو سعة مقدارها 40 Mw وتولد طاقة كلية مقدارها 8640 Mw أي لها القدرة على توليد ما مقداره 17 تيراواط – ساعة بالسنة ($17Twhyr^{-1}$ = 10^{12}] .T1]



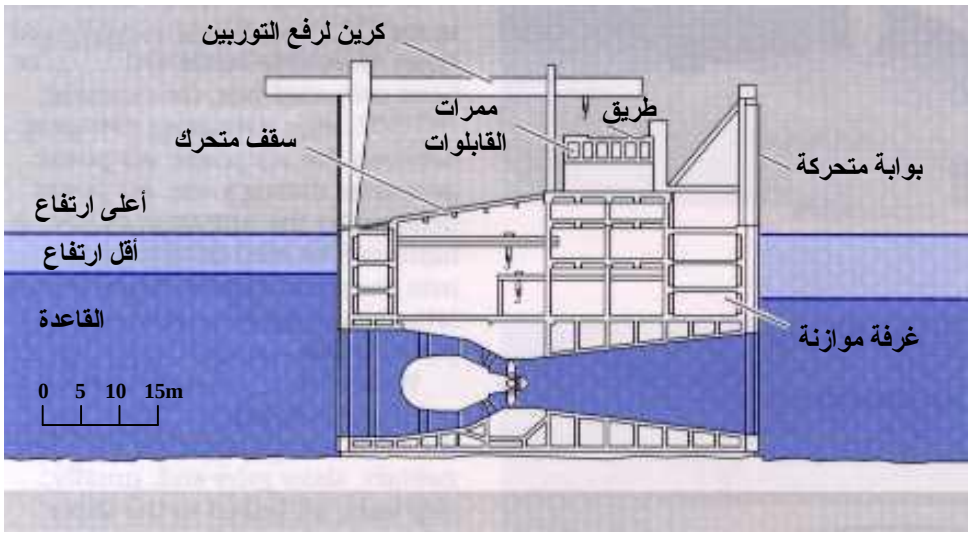
شكل (8-10): عَنفة (توربين) أنبوبي

وفي محطات التوليد بواسطة المدّ أو الجزر تستخدم هذه السعة الكبيرة لمدة ثلاث إلى ست ساعات لكل دورة مد وجزر ، ومن الممكن التوليد خلال عمليتي المد والجزر في عملية باتجاهين بحيث يمكن أن تنتج طاقة ثابتة تقريباً باستخدام عَنفة (توربين) عكسية غاطسة . وهذا النوع من العَنفات (التوربينات) معقد ومكلف . وعلى الرغم من أن الإنتاج يكون موزعاً على الزمن ، إلاّ أن قدرته التوليدية تكون أقل من التوليد البسيط في حالة الجزر . وسبب هذا النقصان هو أنه يجب دائماً الاستعداد للدورة الثانية . وفي هذه الحالة لا يكون كلا الطورين الجزر أو المد كاملين إذ أنه من المفروض فتح البوابات وتقليل مستوى الماء استعداداً لدورة المد التالية والعكس في حالة التوليد عند الجزر (الشكل 8-6). وعلاوة على ذلك فإن تأثير تصميم الشفرات لا يمكن أن يكون الأفضل عند الاستخدام في اتجاهين .

وهنالك طريقة أخرى يمكن استخدامها ، وتسمى ضخ المد أو الفيضان (Flood Pumping). وفي هذه الحالة تعمل مولدات التوربين كمحركات ضخ تتغذى من الشبكة الكهربائية وتقوم بضخ الماء خلف الحاجز إلى الحوض لتجهيز ماء إضافي يستخدم في حالة التوليد بالجزر . وبالإضافة إلى ذلك فإن هنالك عدة أنواع من منظومات الأحواض المزدوجة المقترحة (الشكل 8-11) . ويستخدم أحياناً الضخ بين الأحواض . والطاقة الفائضة المتولدة في حالة الحمل الواطئ من قبل توربين ومولد الحوض الأول يمكن استغلالها لضخ ماء إلى الخزان الثاني وذلك لتوليد الطاقة عند الحاجة إليها . ومهما كان شكل المنظومة المستخدمة فإن المعدات الأساسية التي يجب أن تتكون منظومة الطاقة منها هي : التوربينات ، والبوابات، وأحياناً مكان للسماح للبواخر بالعبور إذ تكون مربوطة بجسور مع الشاطئ . ويوضع التوربين عادة في هيكل إسمنتي قوي (كونكريتي) كبير تحت الماء ، وهذه يمكن أن يتم بناؤها على الشاطئ ومن ثم وضعها في مكانها المناسب تحت الماء (الشكل 8-12) .

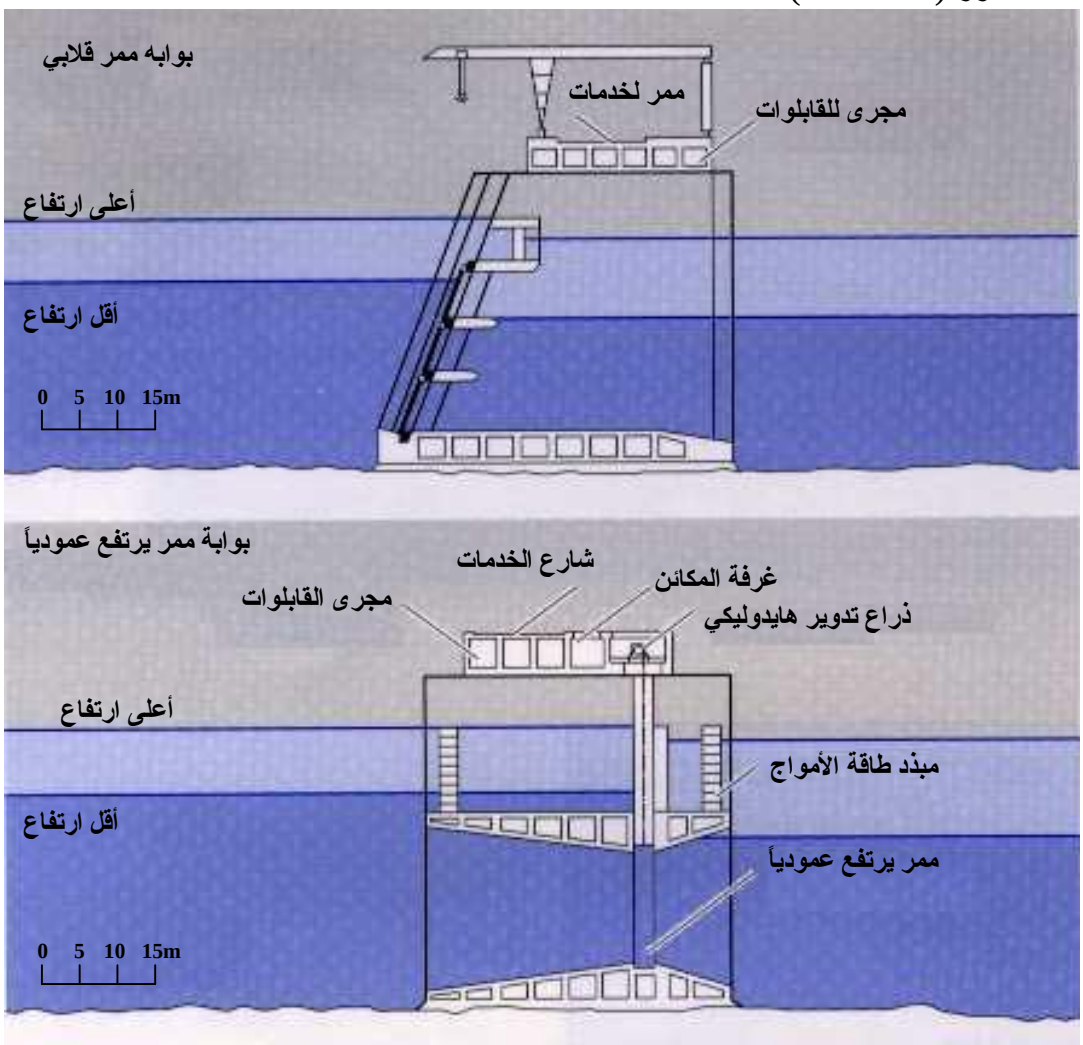


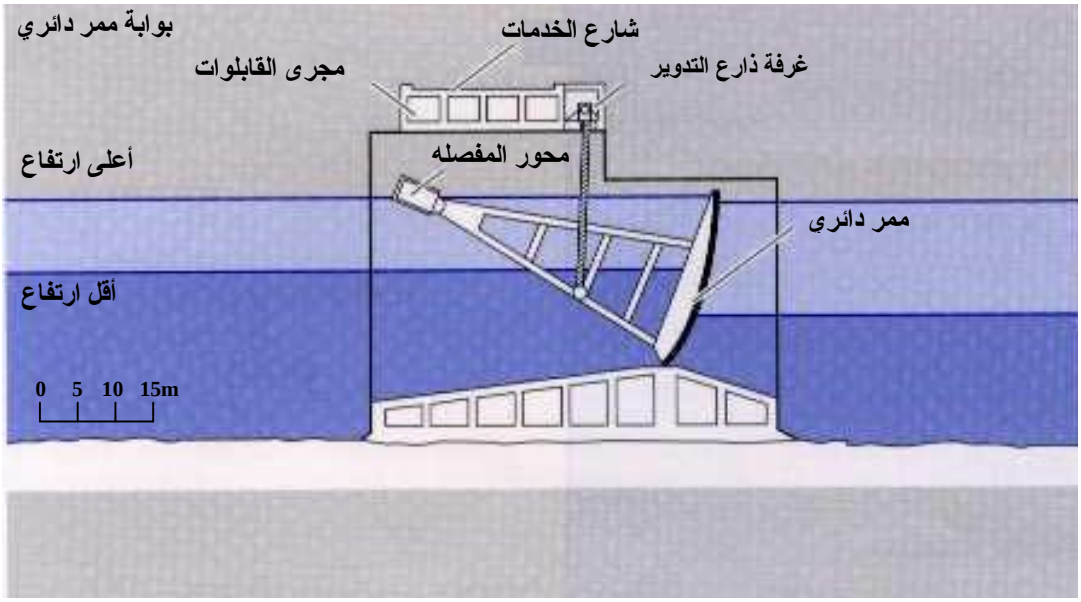
شكل (8-11): أنواع من المنظومات التي يستخدم فيها الضخ بين الاحواض



شكل (8-12): عَنفة (توربين) في حجرة كونكريتية تحت الماء

إن بوابات المرور هي من الأساسيات التي يجب أن تكون موجودة في الحاجز للسماح للمد بالمرور استعداداً للتوليد في حالة الجزر ، وهي أيضاً تكون منصوبة تحت الماء . أما بقية الحاجز فيمكن إنشاؤهُ من مواد مختلفة ، فالسد في محطة لارانس (La Rance) مثلاً متكون من صخور، وهنالك طرق أخرى كاستعمال سدّ ترابي كبير مغطى بطبقة من الكونكريت أو الصخور (الشكل 8-13) .





شكل (8-13): أنواع مختلفة من السدود المستخدمة في محطات التوليد

6-8 العوامل البيئية

إن إنشاء حاجز كبير في خليج لابد أن يكون له تأثير على البيئة المجاورة له . وهذه التأثيرات بعضها إيجابي وبعضها الآخر سلبي . ومن الآثار الواضحة هو التأثير الكبير على الحياة البرية في المنطقة ، وعلى الأسماك ، والطيور التي يكون بعضها من النوع المهاجر ، بالإضافة إلى تأثير إنشاء الحواجز والسدود على مستوى الغرين والمواد المترسبة العالقة في الماء . فعند حجز الماء خلف السدود تترسب المواد العالقة فيه ، ويصبح الماء بذلك أكثر صفاءً. وعند تعرضه لأشعة الشمس فإن الإشعاع الشمسي يصل إلى عمق أكبر ، وبذلك يزيد من الإنتاجية البيولوجية للماء ، ومن غذاء الأسماك والطيور في المنطقة .

كما أن إنشاء سدود أو حواجز في المضايق أو الخلجان يسبب عادة منع السفن من المرور. وعلى الرغم من وجود مداخل خاصة للسفن في بعض السدود إلاّ أن المستوى العالي للمياه خلف السد سيساعد على تحسين الملاحة في الموانئ ، والتأثير الحقيقي يعتمد على دورة المد والجزر والموقع الحقيقي للسد والميناء . فالسدود يمكن أن تلعب دوراً في الحماية من الفيضانات أو العواصف وذلك لكونها تحد من توليد الأمواج .

إن السدود ، بالطبع ، لها بعض التأثيرات على الاقتصاد المحلي خلال فترتي الإنشاء والتوليد، وعلى الأنشطة الأخرى المتعلقة بالسياحة أو برياضة الماء التي يمكن مزاولتها في هذه المواقع. وعند التحدث عن السدود أو عن الحواجز الصغيرة فإن مسألة البيئة يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار ، ويجب أن تبذل جهود كبيرة للحّد من المشاكل القابلة الحدوث .

7-8 محطات المد والجزر الطافية

بدلاً من إنشاء حاجز مكلف وعَنفات (توربينات) في أحد الخلجان فإنه من الممكن استخلاص الطاقة الحركية من تيارات المد والجزر وذلك بنصب توربينات غاطسة في مناطق مناسبة.

والفكرة غير متطورة إلى حّد الآن ، ومع ذلك فإن القدرة التي يمكن استخلاصها ، مثلاً ، من القناة الشمالية للبحر الايرلندي تعادل 66.3 ميغا واط . ويمكن الاستفادة من تيّار من هذا النوع باستخدام صف من الدوارات ذات القطر الكبير مسندة على عوامات مربوطة في قاع البحر أو مثبتة في القاع . ومن مزايا هذه الفكرة اختلافها عن الحواجز أو السدود ، وذلك لإمكانية بنائها على مركبات تنصب بالتدريج .

وهنالك مشاكل منها تعلق الأسماك والحشائش البحرية، ولكن هذه المشاكل تعتبر ثانوية مقارنة بعدم إنشاء سد أو حاجز .

لقد نوقش إنشاء عدة محطات من هذا النوع في مناطق مختلفة من العالم من ضمنها موقع قرب ألديرني (Alderney) في الساحل الفرنسي ، ومضائق مسّينا (Messina) في إيطاليا ، وفي غرب أستراليا .

وللمقارنة بين التقنيات المختلفة فإن الدوارات الغاطسة تعمل بسرع أقل من سرع عمل التوربين الريحي . وبما أن كثافة المائع المستخدم (الماء) أكبر من كثافة الهواء فإن القدرة المستخلصة من تيار المد والجزر أكبر بكثير من القدرة المستخلصة من طاحونة الهواء .

8-8 الإمكانيات العالمية

إن إمكانيات استغلال هذا المصدر تعتمد على المواقع المؤهلة . ويبين الجدول (8-1) مختلف هذه المواقع في مناطق العالم . ويتبين من الجدول أن هناك مواقع في دول كثيرة من العالم، كروسيا وكندا وأمريكيا والأرجنتين وكوريا وأستراليا وفرنسا والصين والهند ، ذات جهد افتراضي يصل إلى 300 تيراواط – ساعة بالسنة ($Twhyr^{-1}$) . والشكل (8-14) يوضح مواقع بعض منها .

شكل (8-14): بعض المواقع المؤهلة لاستغلال طاقة المد والجزر

جدول 8-1 : إمكانيات الطاقة المنتجة من بعض مناطق العالم

الموقع	المساحة كيلو متر مربع	أعلى عمق متر	الطول متر	المدى المتوسط متر	التوربينات (العدد x القطر بالمتر)	الطاقة السنوية تيرا وات -ساعة	كلفة الطاقة بنس امريكي/كيلووات - ساعة
الأرجنتين وتشيلي							
خليج سان حوزي **Gulf San Jose**	788	25	7000	5.78	270 x 7.5	10.9	2.1
رايو كالو عوز **Rio Gallegos**	140	12	3400	7.46	85 x 6	3.27	1.6
سان جوليان **San Julian**	77	13	810	5.66	40 x 6	1.04	1.8
ريو سانتا كروز **Rio Santa Cruz**	215	32	2070	7.48	60 x 9	5.05	2.3
ريو كويغ **Rio Coig**	46	12	1800	7.86	30 x 6	0.61	1.9
باهيه سان سيباسنيان **Bahia San Sebastian**	580	30	19300	6.5	145 x 9	10	3.8
الاتحاد السوفيتي السابق							
زاليف توغورسكي **Zaliv Tugurski**	1400	30	26000	4.74	200 x 9	12	4
استراليا							
خليج سكيور **Secure Bay**	140	50	1300	7	37 x 9	2.9	3.6
والكوت انليت **Walcott Inlet**	260	75	2500	7	70 x 9	5.4	5.1
كندا							
خليج فوندي **Bay of Fundy**	282	42	8000	11.7	106 x 7.5	11.7	2.2
جنوب شرق الصين							
دامو شان **Damao Shan**	200	24	3550	4.8	100 x6	2.05	3.7
دونك اندو **Dong'an Dao**	210	21	3900	5.1	100 x 6	2.26	3.2
سانتو آو **Santo Ao**	680	35	3000	4.8	150 x9	3.7	2.8
الهند							
خليج كامي **Gulf of Cambay**	1055	22	25000	6.1	570 x6	16.4	2.5
خليج كاجاج **Gulf of Kachahh**	50	18	2000	4.8	24 x 6	0.48	5
كوريا الجنوبية							
خليج كارولیم **Garolim Bay**	100	28	1850	4.8	24 x8	0.893	4.5
خليج اسام **Gulf of Asam**	130	24	2350	6.06	72 x6	2.05	3.1

إن الطاقة الرئيسية التي يمكن توليدها تعتمد على مواقع قليلة ذات سدود أو حواجز ضخمة، ولكن هنالك مواقع أخرى مؤهلة لوحدات صغيرة ومتوسطة . والمواقع الرئيسية الحالية التي يمكن من خلالها توليد طاقة كبيرة تقع في كندا وإنكلترا وروسيا . وهنالك مواقع متوسطة السعة تقع في كل من كوريا والهند وأستراليا والبرازيل .

إن تطور إنتاج الطاقة من هذا المصدر قد يعّد ضعيفاً قياساً إلى مصادر الطاقة المتجددة الأخرى . بالرغم من ذلك فإن هناك كمية كبيرة من الطاقة الكلية غير مستغلة حالياً من المد والجزر ، إذ تصل إلى 3000 جيغاواط ، وأن هناك ما مقداره حوالي 1000 جيغاواط من هذه الطاقة المبددة في مناطق ضحلة يمكن استغلالها .

ومن الناحية العملية ، فإن طاقة المد والجزر الكلية المنصوبة التي تعادل 120 جيغاواط تنتج على الأقل ($190\ Twhyr^{-1}$) تيراواط – ساعة بالسنة . ورغم إن هذه الكمية تشكل حوالي 10% فقط من إمكانيات الطاقة المائية العالمية فإنهّا تعّد ، مع ذلك كمية لا يستهان بها .

أسئلة تقويمية

١. كيف تحدث ظاهرة المد والجزر ؟
٢. كيف يتم استخلاص الطاقة من المد والجزر ؟
٣. ما هي أنواع العَنفات المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية من طاقة المد والجزر ؟
٤. ما هي الإمكانات المتوفرة حالياً من استغلال طاقة المد والجزر ؟
٥. ما هي التأثيرات البيئية الناتجة عن استغلال ظاهرة المد والجزر ؟
٦. ما هو الإرتفاع المناسب لمنسوب المياه لتكون جدوى استغلال هذا النوع من الطاقة مقبولاً ؟
٧. هل وجود خليج ضيق ذو عمق معين أفضل من خليج واسع ومفتوح مياهه ضحلة ؟ وضح ذلك ؟
٨. هل توجد مناطق معينة من الوطن العربي صالحة لاستغلالها في إنتاج طاقة المد والجزر؟