# وَجَعَلْنَا مِنَ ٱلْمَآءِ كُلَّ شَىْءٍ حَى

**و از آب هر چیز را زنده گردانیدیم**

**(انبیاء، ۳۰)**

تقدیم به پدر مرحومم

و مادر عزیزم که وجودش برایم همه مهر است

و وجودم برایش همه رنج

در اینجا جا دارد که از زحمات و راهنمائیهای بی‌دریغ استاد

گرامی جناب آقای مهندس رمضانی گل افزانی و دوست

عزیزم مهندس صادق عزتی تشکر و قدردانی نمایم./

# فهرست مطالب


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| مقدمه | ٦ |
| **فصل اول: انرژیها قابل حصول از دریا** | **٨** |
| ١-١- معرفی انرژیهای قابل حصول از دریاها | ٩ |
| ١-٢- انرژی جزر و مد دریا | ٩ |
| ١-٣- انرژی امواج دریا | ١٠ |
| ١-٣-١- مبدل های انرژی امواج | ١٣ |
| ١-٣-٢- اثرات زیست محیطی | ١٩ |
| ١-٣-٣- نتیجه گیری | ٢٠ |
| ١-٤- انرژی حرارتی دریا | ٢١ |
| ١-٤-١- تکنولوژی حرارتی دریا | ٢٢ |
| ١-٤-٢- اثرات زیست محیطی | ٢٥ |
| ١-٤-٣- نتیجه گیری | ٢٥ |
| ١-٥- انرژی اختلاف غلظت نمک | ٢٦ |
| ١-٥-١- تکنولوژی اختلاف غلظت نمک | ٢٧ |
| ١-٥-٢- نتیجه گیری | ٢٨ |
| **فصل دوم: جزر و مد** | **٢٩** |
| ٢-١- منشأ و تاریخچه جزر و مد | ٣٠ |

۲-۲- مکانیسم تشکیل جزر و مد ۳۱
۲-۳- ترکیب اثر ماه و خورشید بر روی جزر و مد ۳۲
۲-٤- نسبت نیروهای مولد جزر و مد ماه و خورشید ۳۵
۲-٥- اثر اینرسی آب برروی جزر و مد ۳۷
۲-٦- اثر عدم تقارن مدار زمین و ماه برروی جزر و مد ۳۸
۲-۷- سایر پارامترهای مؤثر در جزر و مد ۳۸
۲-۸- کاربردهای جزر و مد ۳۹
۲-۹- مقدار انرژی قابل استحصال از جزر و مد ٤۰

**فصل سوم: شرایط بهره برداری از نیروگاه جزر و مدی ۴۳**
۳-۱- شرایط مکان مناسب برای احداث نیروگاه جزر و مدی ٤٤
۳-۲- کشورهای دارای پتانسیل جزر و مدی بالا ٤٦
۳-۳- عوامل مؤثر بر دامنه جزر و مد ٤۸
۳-٤- نکات اساسی طراحی نیروگاههای جزر و مدی ٤۸
۳-٤-۱- نحوه عملکرد نیروگاه جزر و مدی ٤۹
۳-٤-۲- نحوه و تجهیزات آبگیری نیروگاه جزر و مدی ٥۰
۳-٤-۳- ساختن دایک ٥۱
۳-٤-٤- طراحی داخلی نیروگاه جزر و مدی ٥۲
۳-٤-٥- انواع توربین های بکارگرفته شده در نیروگاههای جزر و مدی ٥۳
۳-٤-٦- طراحی محور توربین ٥٤

**فصل چهارم: نیروگاه جزر و مدی ۵۵**

٤-١- روشهای مختلف تولید برق از انرژی جزر و مدی ٥٦

٤-٢- سیستم یک حوضچه ای ٥٧

٤-٣- سیستم دو حوضچه ای ٦٢

٤-٤- سیستم ترکیبی شامل دو حوضچه ٦٣

٤-٥- نیروگاههای جزر و مدی در حالت تلمبه ذخیره ای ٦٥

٤-٥-١- مزایا و معایب نیروگاههای جزر و مدی در حالت تلمبه ذخیره ای ٦٧

٤-٦- نیروگاههای جزر و مدی بهره برداری شده ٦٩

٤-٦-١- مشخصات نیروگاه جزر و مدی لارنس فرانسه ٧٠

٤-٦-٢- مشخصات نیروگاه جزر و مدی آناپولیس کانادا ٧١

٤-٧- بررسی سواحل ایران برای استفاده از انرژی جزر و مدی برای تولید برق ٧٣

٤-٨- مسائل زیست محیطی نیروگاههای جزر و مدی ٧٥

٤-٩- نتیجه گیری ٧٩

**فصل پنجم: ترجمه مقاله (انرژی تجدید پذیر) ٨١**

- پیوست ١١٤

- منابع و مأخذ ١٤٠

## مقدمه:

رشد رو به تزاید مصرف منابع غیرقابل تجدید انرژی و افزایش آلودگی های ناشی از بهره برداری های بی رویه، توازن این ذخائر پایان پذیر را به مخاطره افکنده و در این رابطه، بررسی راهکارهای عملی استفاده از منابع جدید انرژی (انرژی‌های تجدیدپذیر[1]) در دستور کار محققان و دانشمندان قرار داده است.

حفظ سلامت محیط زیست و قابلیت بازیافت طبیعی دو خصوصیت مهمی است که در گزینش نهایی این منابع مورد توجه بوده و در این راستا، جذب انرژی مفید از اقیانوس ها، دریاها و رودخانه ها بعنوان یکی از پاکیزه ترین منابع بکر به جهان معرفی گردیده است.

بحران انرژی در دهه ۱۹۷۰ میلادی، فکر دانشمندان را به سوی منابع انرژی مستقل از سوخت فسیلی کشانده که از آن جمله استفاده از انرژی پایان ناپذیر نهفته در دریاها می باشد.

در این پایان نامه به چگونگی تولید برق از جزر و مد دریاها بعنوان یکی از انرژیهای پایان ناپذیر نهفته در دریا اشاره شده است.

در فصل اول سعی شده تا ابتدا مختصری درباره انرژیهای قابل حصول از دریاها گفته شود تا خواننده این پایان نامه یک دید کلی درباره انرژیهای دریایی پیدا نماید.

در فصل دوم در مورد جزر و مد و چگونگی به وجود آمدن جزر و مد و پارامترهای

1- Renewable Energy

موثر در جزر و مد مطالبی ارائه گردیده است. در فصل سوم به شرایط لازم مکانی، برای ایجاد نیروگاههای جزر و مدی و نکات اساسی طراحی نیروگاههای جزر و مدی اشاره شده است. در فصل چهارم به روشهای مختلف تولید برق از طریق نیروی جزر و مدی، همچنین به عنوان نمونه دو نیروگاه جزر و مدی لارنس فرانسه و آناپولیس کانادا که در حال حاضر از آنها برای تولید برق استفاده می شود اشاره شده است. و در نهایت به بررسی سواحل ایران برای استفاه از انرژی جزر و مدی برای تولید برق پرداخته شده است. در فصل پنجم هم ترجمه مقاله ای آمده است که به کوشش حقیر انجام شده است.

**مهدی فیض آبادی**

# فصل اول:

# انرژیهای قابل حصول از دریا

## ۱-۱- معرفی انرژی های قابل حصول از دریاها:

در این فصل انرژی های قابل حصول از آب دریاها و تکنولوژی استحصال از آنها به اختصار بیان می شود.

۱- انرژی جزر و مد دریا

۲- انرژی امواج دریا

۳- انرژی حرارتی دریا

٤- انرژی اختلاف غلظت نمک آب دریا

## ۱-۲- انرژی جزر ومد[1] دریا

در این فصل به اختصار به انرژی جزر و مد دریاها پرداخته شده است و در فصل‌های بعد جامع تر بیان خواهد شد.

جزر و مد و جریانات جزر و مدی نتیجه اثر نیروهای جاذبه اجسام آسمانی است. این نیروها سبب افزایش ارتفاع سطح آب شده که این افزایش نیز سبب ایجاد جریانات افقی جزر و مدی می شود.

انرژی این جریانات افقی را می توان از طریق ساختن سدهایی در کنار دریاها مهار نمود. از نظر مقایسه انرژی حاصل از جزر و مد بسیار مشابه واحدهای برق- آبی است. مقدار انرژی بدست آمده از جریانات جزر و مدی بسیار قابل ملاحظه است.

1- Tidal Energy

## ۱-۳- انرژی امواج[1] دریا

ویژگی های منبع

انرژی امواج دریا عبارت است از انرژی مکانیکی منتقل شده از باد که امواجی با پریود کوتاه، آنرا بصورت انرژی پتانسیل و جنبشی در خود ذخیره می کنند.

در میان منابع متعدد انرژیهای اقیانوسی، انرژی حمل شده توسط امواج دارای بیشترین درصد انباشتگی است. بعنوان نمونه، انرژی موثر موج در حالت های عمومی، نسبت به انرژی حاصل از تابش مستقیم خورشید در شدیدترین تابش ها، از تراکم بسیار بالاتری برخوردار است. بنابراین ابزاری که بعنوان مبدلهای انرژی امواج مورد استفاده قرار می گیرند، انرژی خود را با چگالی به مراتب بالاتر نسبت به تجهیزات انرژی خورشیدی تولید و عرضه می نمایند.

موج ها بخاطر جرم آبی که نسبت به سطح متوسط دریا جابجا شده، انرژی پتانسیل و بخاطر سرعت ذرات آب، انرژی جنبشی با خود حمل می کنند. انرژی ذخیره شده از طریق اصطکاک و اغتشاش، و با شدتی که بستگی به ویژگی امواج و عمق آب دارد، تلف می شود. موجهای بزرگ در آبهای عمیق انرژی خود را با کندی بسیار از دست می‌دهند، در نتیجه سیستمهای امواج بسیار پیچیده هستند و اغلب هم از بادهای محلی و هم از طوفانهایی که روزهای قبل در دوردست اتفاق افتاده اند سرچشمه می گیرند.

1- Wave Energy

امواج توسط ارتفاع، طول موج (فاصله بین قله‌های متوالی) و دوره تناوبشان (زمان بین قله های متوالی) مشخص می شوند. قدرت امواج معمولاً برحسب کیلووات بر متر بیان می شود که نمایانگر نرخ انتقال انرژی از عرض یک خط فرضی بطول یک متر و موازی با جبهه موج می باشد.

شکل موج دریا را می‌توان با یک تابع سینوسی بصورت زیر نشان داد:

$Y=a.\sin(mx-n\theta)$

$m=2\pi/\lambda$

$n=2\pi/\tau$

$\lambda=C.\tau$

Y: ارتفاع موج از سطح آب

θ: زمان به ثانیه

λ: طول موج

τ: پریود موج

C: سرعت انتشار موج

با توجه به شکل ۱-۱ ملاحظه می‌شود که مشخصه موج در زمان θ مشابه به آن در زمان O است. با این تفاوت که به اندازه فاصله $x=\theta/y=\theta(n/m)$ نسبت به زمان O جابجا شده است. این موج دارای حرکت پیوسته‌ای در جهت x با سرعت $C=\frac{\lambda}{\tau}$ است. بنابراین امواج دریا دارای هر دو نوع انرژی پتانسیل و جنبشی خواهد بود.

کل انرژی یک موج برابر مجموع انرژی های پتانسیل و جنبشی آن می باشد که در نهایت چگالی توان (در واحد سطح) برابر است با:

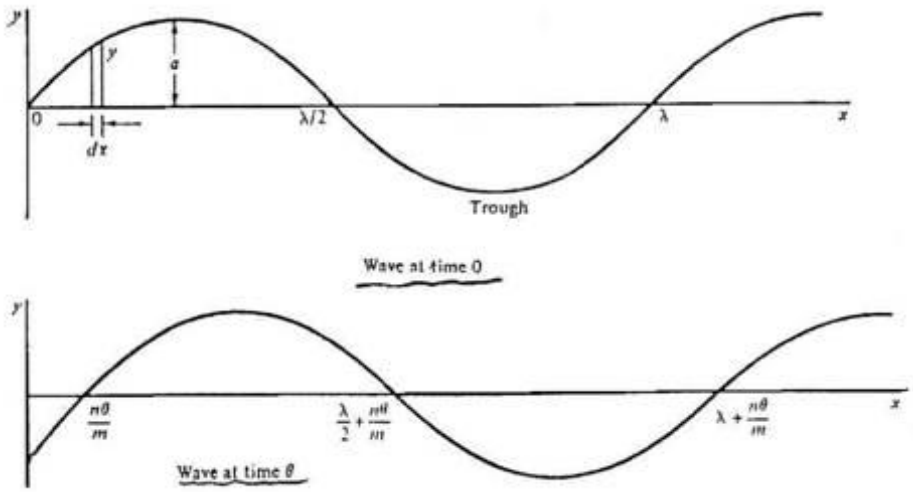
$$\frac{P}{A}=\frac{1}{2}\rho.a^2.f.\frac{g}{g_C}$$

P: پریونیت توان　　g: شتاب جاذبه

A: واحد سطح　　$g_c$: ضریب تبدیل

ρ: چگالی آب　　f: فرکانس موج

همانطور که ملاحظه می شود چگالی توان با مجذور دامنه $(a^2)$ مرتبط است.

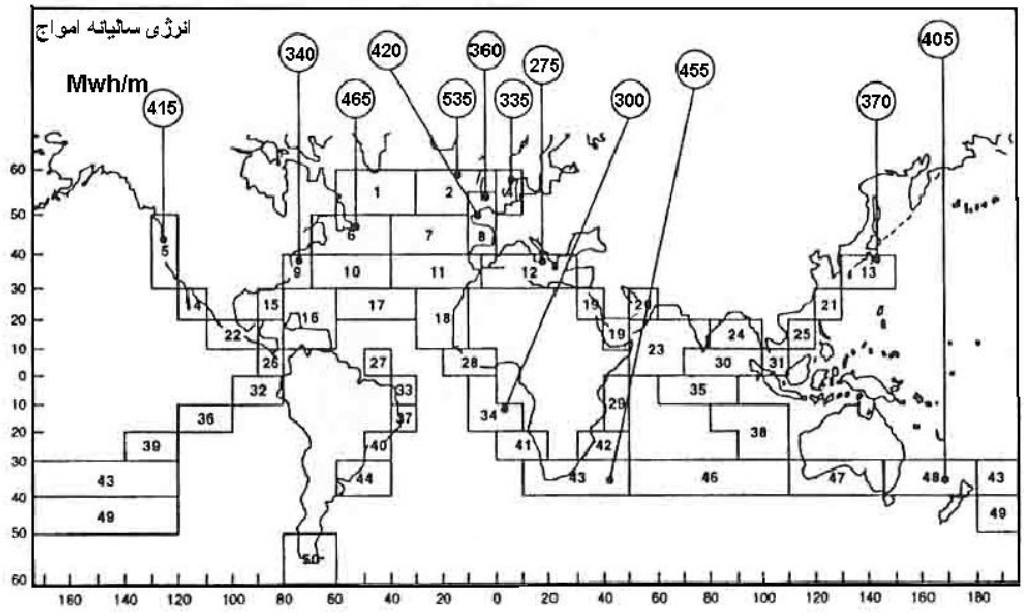



**شکل ۱-۱- شکل موج با دامنه a و طول موج λ برای زمانهای θ و 0**

شدیدترین بادهای بین عرض های جغرافیایی ٤٠ تا ٦٠ درجه در هر دونیمکره شمالی و جنوبی می وزند. همچنین بادهایی با سرعت کمتر در مناطق بادهای تجاری (بین عرض های جغرافیایی ۳۰ درجه از خط استوا) بعلت نظم نسبی شان، وضعیت موجی بالقوه جذابی را ایجاد می کنند.

سواحلی که در معرض بادهای غالب و میدان وزش طولانی هستند، احتمالاً دارای بزرگترین دانسیته انرژی موجی می باشند.

بعنوان مثال، انگلستان، سواحل غربی ایالات متحده و سواحل جنوبی نیوزیلند بطور عالی در معرض عوامل فوق بوده و از وضعیت موجی بسیار خوبی برخوردارند. شکل ۱-۲ دانسیته انرژی امواج را در بعضی نقاط منتخب نشان می دهد.




**شکل ۱-۲- انرژی سالانه امواج در مناطق خاص**

## ۱-۳-۱- مبدل های انرژی امواج

فکر استخراج انرژی از امواج دریا در طی قرن اخیر، گاه و بیگاه نظر بعضی ها را بخود جلب کرده است. ولی کوشش جدی برای بنیانگذاری یک تکنولوژی موثر، از

اواسط دهه ۱۹۷۰ میلادی شروع شده از آن زمان تابحال تحقیقاتی در ۱۳ کشور جهان انجام شد و دستگاهها و ماشین آلات زیادی ساخته شده اند.

دستگاهها را براساس نوع حرکت می توان دسته بندی کرد. این حرکت‌ها به دسته‌های زیر تقسیم می شوند:

۱- بالا و پایین رفتن

۲- بالا و پائین رفتن و غلتیدن

۳- غلتیدن، نوسان کردن ستون آب

٤- پس زنی

در ادامه به اختصار روش کار سه نوع از مبدل های امواج ارائه شده است:

۱- طرح ستون نوسانگر آب (OWC)

۲- طرح ماشین شناور موج- نیرو

۳- طرح ژنراتور نوع دلفین

## ۱- طرح ستون نوسانگر آب[1] (OWC)

بعنوان یکی از رضایت بخش ترین روشهای استحصال انرژی اقیانوسی، گزینه‌ای است که در سالهای اخیر فعالیت های دامنه داری در جهت اجرا و بهینه سازی آن صورت پذیرفته است. در این روش، از تولید جریان هوای فشرده توسط حرکت رفت

1- Oscillating Water Coulumn Method

و بازگشتی سطح موثر موج، بعنوان عامل محرک یک توربین هوای متصل به ژنراتور استفاده می شود.

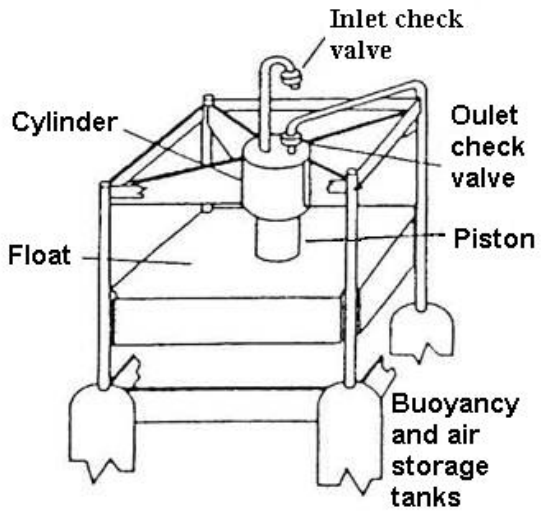
هندسه عمومی در طرحهای مختلف واحدهای نیروگاهی با ستون نوسانگر آب عبارت است از محفظه ای با دو انتهای باز که بصورت قائم در معرض امواج قرار می گیرد. سطح آزاد آب، حجم داخل استوانه را به دو ناحیه تقسیم می کند، بگونه ای که هردو ناحیه در یک انتهای خود، دارای بازشدگی با ابعاد مشخص می باشند. وضعیت نصب سازه به شکلی است که جهت بازشدگی تحتانی به سمت امواج قرار داشته و در نتیجه، در هنگام کار نیروگاه سطح آب داخل محفظه متأثر از تلاطم خارجی امواج، بصورت واداشته به نوسان در می آید. در اثر حرکت رفت و بازگشتی سطح آب داخل محفظه، حجم ناحیه فوقانی متناوباً تغییر نموده و متأثر از آن، فشار نسبی هوای محصور در این قسمت - متناسب با تابع تغییرات حجم مزبور- بصورت ضربانی حول مقدار فشار سطح آزاد نوسان می‌نماید. مجرای تعبیه شده در منتهی‌الیه ناحیه فوقانی، جریان تحت فشار هوای داخل محفظه را به سمت یک توربین هوا هدایت می سازد. حاصل این فرآیند، انتقال انرژی جنبشی جریان هوای مزبور به محور یک ژنراتور الکتریکی و در نتیجه تولید برق خواهد بود.

در رابطه با طرحهای نیروگاهی اجرایی نیز در کشورهایی نظیر ژاپن، انگلستان، نروژ، پرتقال و ایرلند واحدهای آزمایشی و نمونه مختلفی با ساز و کار ستون نوسانگر آب به مرحله اجرا در آمده است.

در حال حاضر هند تنها کشوری است که برق حاصل از نیروگاه موجی خود را به شبکه برق سراسری متصل نموده و طرحهای کاربردی دیگری را در دست اجرا دارد.

## ۲- طرح ماشین شناور موج- نیرو

همچنانکه شرح داده شد حرکت از لبه موج بصورت افقی است ولی ذرات آب بصورت عمودی جابجا می شوند با استفاده از شناورها می توان این حرکت عمودی را تبدیل به انرژی مکانیکی کرد یکی از طرحهای ارائه شده توسط آقای مارتین در شکل ۱-۳ آمده است.




**شکل ۱-۳- طرح یک ماشین شناور موج- نیرو**

یک شناور ٤ گوش که توسط ٤ میله مهار شده است به سمت بالا و پائین می تواند حرکت کند. این مجموعه به ٤ تانک معلق در زیر آب متصل شده است و براساس

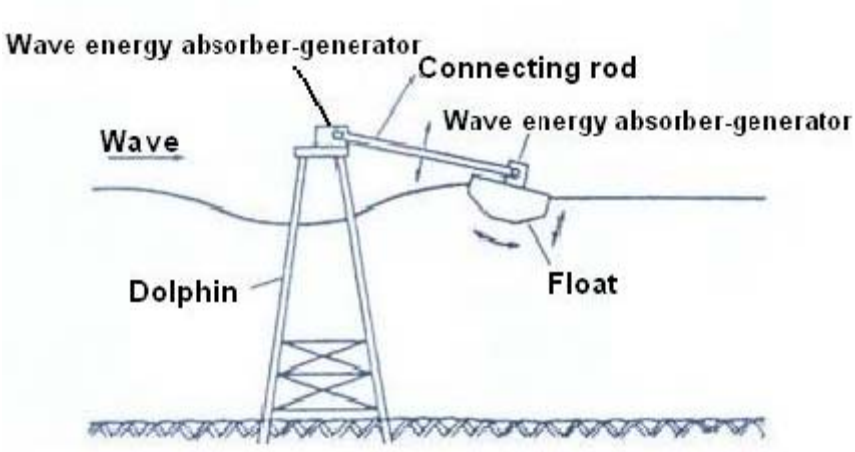
قانون نیروی شناوری در سطح آب به صورت پایداری قرار می گیرد. لذا این مجموعه نسبت به سطح آب ساکن خواهد ماند و فقط شناور براساس حرکت موج به سمت بالا و پائین حرکت می کند. این شناور به یک پیستون متصل است که براثر حرکت، هوا را از لوله بالایی گرفته و آن را در کمپرسور فشرده می سازد و آنگاه این هوای فشرده توسط لوله هایی به تانک های خالی پایه هدایت می شود. بنابراین ٤ تانک پایه در واقع دو منظوره هستند، شناورکردن مجموعه و مخزن هوای فشرده. هوای فشرده در این تانکها به نوبت برای راه اندازی یکی از توربین های هوا به کار می روند که این توربین یک ژنراتور را به حرکت درآورده و انرژی الکتریکی توسط کابلهای زیردریائی به ساحل انتقال داده می شود.

برای بهره برداری مناسب بایستی تعداد زیادی از این واحدها را عمود بر موج قرار داد چون در غیر اینصورت دامنه موج در جهت حرکت موج کاهش یافته و واحدهای قبلی موج را تخلیه می کنند تقریباً برای یک رشته یک مایلی (١٦١٠متر) از این واحدها، می توان ١٠٠ مگاوات یا بیشتر توان تولید کرد.

## ٣- طرح ژنراتور نوع دلفین

طرح اولیه این موتور در مرکز تحقیقات TSU در ژاپن طراحی شد مولفه اصلی این سیستم که در شکل ١-٤ نشان داده شده است شامل یک دلفین شناور، یک بازوی

ارتباطی و دو ژنراتور الکتریکی است. یکی حرکت نوسانی افقی و دیگری حرکت نوسانی عمودی که در شکل آمده است.




**شکل ۱-۴- طرح ژنراتور نوع دلفین**

این حرکت ها توسط مبدل مکانیکی بصورت حرکت دورانی درآمده و موجب دوران بازوی ارتباطی و در نتیجه چرخش ژنراتور می گردد.

نمونه آزمایشی این طرح در سال ۱۹۸۰ در حوضچه آزمایش شده است. برای یک موج ۹۰ وات مقدار ۲۰ وات صرف تلفات مکانیکی و الکتریکی گردیده است و در نتیجه خروجی خاصل ۷۰ وات تحویل داده است در این طرح یک شناور به ابعاد ۳×۱×۰/۵ متر، استفاده شده است که توان خروجی، یک رابطه بصورت زیر دارد:

$$P/L=1.74a^2\tau$$

P/L : توان در واحد طول، kw/m

a: دامنه موج ، m

τ: پریود موج، s

بنابراین برای موج به طول ۲ متر و پریود ٦ ثانیه توان خروجی برابر است با: ۱۰ kw/m. در نتیجه اگر رشته ای از این واحدها در طول ۱ کیلومتر قرار بگیرد قادر به تولید ۱۰ مگاوات خواهد شد.

### ۱-۳-۲- اثرات زیست محیطی

قدرت حاصل از امواج اساساً غیرآلاینده است و به هر میزان که جایگزین سوخت‌های هیدروکربنی شود منافع زیست محیطی حاصل شده است.

در مورد تجهیزات منفرد انرژی موجی از نوع شناور، صدمات زیست محیطی قابل توجهی پیش بینی نمی شود. خطری که احتمال وقوع آن وجود دارد و جلوگیری از آن ضروری است، تداخل با ترافیک دریایی است که با انتخاب صحیح محلهای استقرار و بکارگرفتن وسایل و علائم ناوبری قابل پیش گیری است.

توسعه زیاد سیستمهای موجی در یک قسمت از ساحل می تواند بحدی از امواج انرژی بگیرد که برجابجایی رسوبات و بارهای بستر دریا تأثیربگذارد. با توجه به ویژگی های محل ممکن است اختلاط، تشکیل لایه ها و گل آلودگی آبها نیز تحت تأثیر قرار بگیرد. چنین تغییراتی از نقطه نظر زیست محیطی ممکن است خوب یا بد تلقی شوند، که این امر نیز به مشخصات مکان بستگی دارد. از نظر زیبایی نیز ممکن است اثرات منفی ایجاد شود که بویژه در نواحی پرجمعیت و تفریحی دارای اهمیت خواهد بود.

### ۱-۳-۳- نتیجه گیری

انرژی موجی از چندین نظر، جوان و تکامل نیافته به حساب می آید. با هیچ درجه ای از قطعیت نمی توان گفت که دستگاههایی که تابحال بکارگرفته شده اند از نظر فنی پیشرفته ترین بوده اند، یا اینکه دستگاههای بهتری در آینده جایگزین آنها خواهد شد. هنوز تجربه کافی برای پیش بینی طول عمر سیستمهای فعلی در شرایط واقعی کارکرد وجود ندارد. هنوز تجربه کافی در دست نیست که بتوان نیازهای بهره برداری و نگهداری را پیشگویی نمود و یا اینکه با طراحی مناسب، آنها را حداقل کرد. در حال حاضر آمار و ارقام در مورد وضعیت بازاریابی فقط جنبه آزمایشی و پیشنهادی دارد، ولی چنین به نظر می رسد که تحت سناریوی نسبتاً مساعد، انرژی امواج بتواند تا سال ۲۰۲۰ هر ساله بالغ بر ۱۲ تراوات[1] ساعت تولید کند. ارقام متناظر برای بدترین سناریو در حدود ۱ تراوات ساعت در سال و برای مساعدترین سناریو (اما غیرمحتمل) تقریباً ۱۰۰ تراوات ساعت می باشد.

این مقادیر به ترتیب معادل ۲/۵، ۰/۲ و ۲۲/۳ Mtoe[2]

1- Tera Watt $=10^{12}$ watt
2- mtoe = mega tone of oil equevalent

## ۱-٤- انرژی حرارتی[1] دریا

ویژگی های منبع

انرژی حرارتی دریایی یا اقیانوسی، بصورت اختلاف دما بین آبهای گرم سطح دریا و آب های سرد اعماق آن وجود دارد. در اغلب نواحی حاره و نیمه حاره، اختلاف دمای موجود بین آب های سطح دریا و آبهای عمق ۱۰۰۰ متری به ۲۰ درجه سانتیگراد می‌رسد که این اختلاف دما به عنوان حداقل اختلاف دمای مورد نیاز برای تبدیل عملی انرژی بشمار می رود.

بنابراین منبع انرژی حرارتی دریاها وسعتی در حدود ٦۰ میلیون متر مربع و ظرفیت تولید دائمی و بی وقفه ای به میزان چندین تراوات را دارد.

البته مقدار انرژی قابل برداشت بسیار کمتر است، زیرا بسیاری از مناطق مناسب، خیلی دورافتاده اند و بعلاوه پروسه استخراج انرژی به لحاظ قوانین ترمودینامیکی به راندمانهای بسیار پائین محدود می شود. حتماً پس از به حساب آوردن تمام این فاکتورها، بازهم مقدار انرژی قابل برداشت بسیار عظیم است. بعلاوه دریاهایی که بیشترین اختلاف دما در آنها وجود دارد. در مناطق کشورهای درحال توسعه قرار دارند و یک منبع طبیعی و بومی برای آنها به شمار می روند.

1- Thermal Energy

### ۱-٤-۱- تکنولوژی حرارتی دریاها

نیروگاههای تبدیل انرژی حرارتی یا OTEC[1] می توانند در سه نوع سیکل بسته، باز و یا ترکیبی کار کنند. در سیکل بسته از آب گرم سطحی برای تبخیر یک مایع واسطه نظیر آمونیاک، فرئون یا پروپان استفاده می شود. (سیکل بسته در ادامه به اختصار توضیح داده خواهد شد).

در سیکل باز، آب سطحی خود سیال عامل است. این آب در فشاری کمتر از فشار بخار خود تبخیر شده، سپس از توربین گذشته سرد و تقطیر می شود. در این روش خلاء لازم برای حرکت دادن بخار و گردش توربین و ژنراتور توسط عمل میعان فراهم می شود.

سیکل کاری- چه بسته چه باز- مشابه سیکل مربوط به نیروگاههای حرارتی متعارف می باشد، با این تفاوت که دمای کار در این سیکل ها پائین تر است و هزینه سوخت و جود ندارد. گرمای آب سطحی به جای گرمای احتراق به کار برده می‌شود.

نیروگاههای سیکل بسته و باز را هم روی کشتی و هم در ساحل می توان نصب کرد. نوع سوار بر کشتی نیازمند کابل کشی زیردریایی و یا تولید یک محصول قابل حمل و نقل است، در حالیکه نوع ساحلی به لوله کشی طولانی برای آب سرد نیازدارد که ممکن است به ناچار از شیب های تند بستر دریا عبور کند.

1- Ocean Thermal Energy Conwersion

برخلاف انرژی امواج و جزر و مد، انرژی حرارتی دریاها منبعی با توان ثابت بشمار می رود. نیروگاههای OTEC به جز در مواقع لازم برای تعمیر و نگهداری می توانند بطور نامحدود و دائمی کار کنند، و از این رو برای تولید بار پایه[1]بسیار مناسب هستند. همچنین امکان تولید محصولات جنبی مزیت مهم دیگر این نیروگاههاست. سیکل باز بطور طبیعی آب شیرین تولید می کند، بخار تقطیر شده تقریباً عاری از نمک است و به آسانی می توان آن را از آب سرد خنک کننده جدا نمود. در هردو سیکل باز و بسته آب خنک کننده که از اعماق دریا کشیده شده است، سرشار از مواد غذایی بوده و می توان از آن برای کشت آبی استفاده کرد.

استفاده از انرژی حرارتی اقیانوس ها اولین بار توسط دارسونوال فیزیکدان فرانسوی در سال ۱۸۸۱ مطرح شد و در دهه ۱۹۳۰ یکی از شاگردان وی بنام کلود یک نیروگاه آزمایشی در کوبا تأسیس کرد.

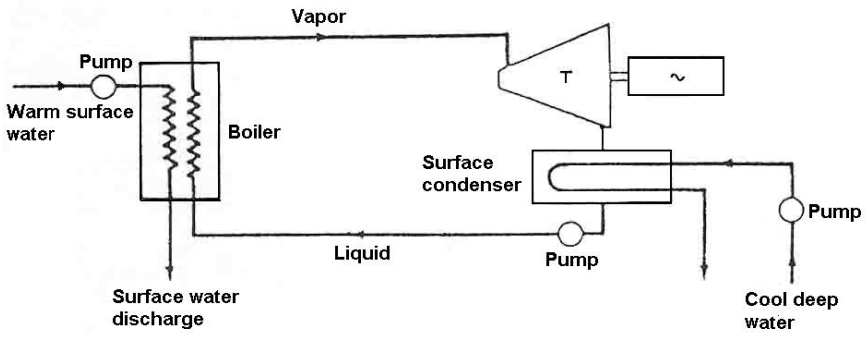
## تکنولوژی سیکل بسته برای OTEC

در این طرح آب گرم سطحی توسط پمپ به بویلر هدایت می شود یک مایع واسطه که دارای دمای جوش پائینی است، براثر گرمای آب دریا تبدیل به بخار می شود. که بخار سپس به توربین هدایت می شود که موجب چرخش توربین و ایجاد انرژی الکتریکی می گردد. بخار خروجی توربین که انرژی حرارتی خود را از دست داده به

1- Base Load

صورت مخلوط بخار و مایع در کندانسور که توسط آبهای سرد عمقی تغذیه می‌شود کاملاً به مایع تبدیل شده و دوباره برای استفاده به بویلر ارسال می شود.

شکل ۱-۵ طرح ساده یک سیکل بسته را برای تبدیل انرژی حرارتی نشان می دهد.




**شکل ۱-۵- طرح یک نیروگاه سیکل بسته OTEC**

اولین واحد بهره برداری از انرژی حرارتی دریاها که بصورت سیکل بسته طراحی شده، در تابستان ۱۹۷۹ با هزینه ساخت سه میلیون دلار در سواحل هاوایی طراحی شده است.

این واحد شامل مبدل حرارتی از نوع صفحه از جنس تایتانیوم است که برای راه‌اندازی یک واحد الکتریکی ۵۰ کیلوواتی طراحی شده است.

آب سرد عمق دریا، توسط یک لوله به طول ٦٦٠ متر و قطر ۰/٦ متر منتقل می شود. اما خروجی خالص این نیروگاه ۱۲ تا ۱۵ کیلووات است. کشورهای دیگری که هم اکنون روی این طرح کار می کنند عبارتند از:

ژاپن، فرانسه، سوئد و آلمان

### ۱-٤-۲- اثرات زیست محیطی

مطالعات انجام شده در مورد صدمات زیست محیطی نیروگاههای OTEC، برخی نگرانی های بالقوه را روشن نموده است که عمده ترین آنها به لزوم برداشت و تخلیه آب در حجم های بزرگ مربوط می شود. پیش بینی می شود که موجودات زنده شامل تخمها، لاروها و گونه های مختلف ماهی همراه آب مکیده و در نتیجه تلف خواهند شد. این مسئله را علاوه بر مشکل زیست محیطی می توان یک مشکل کاری نیز به شمار آورد. که احتمالاً با انتخاب مناسب محل مکش قابل کنترل خواهد بود.

آزادشدن دی اکسید کربن از آبهای گرم سطحی به اتمسفر، بویژه در سیستم های از نوع سیکل باز ممکن است پیش بیاید، ولی در بدترین حالت، مقدار آن فقط $\frac{1}{15}$ مقدار متناظر مربوط به نفت و $\frac{1}{25}$ مربوط به ذغال سنگ است.

### ۱-٤-۳- نتیجه گیری

انرژی حرارتی دریایی بطور بالقوه در مناطق حاره و نیمه حاره موجود است. تکنولوژی آن تکامل نیافته است و به نظر می رسد که در زمینه کارآیی اقتصادی هنوز جای پیشرفت بسیار دارد. تحقق یافتن این پیشرفتها به حمایت مستمر از تحقیق و توسعه نیاز دارد.

این نیروگاهها قادر به جایگزینی تولید دیزلی در مناطق دورافتاده می باشند و نیز می‌توانند ارزانترین روش را برای تهیه آب شیرین فراهم کنند.

پیش بینی های توسعه نشان می دهند که تولید سالانه انرژی OTEC تا سال ۲۰۲۰ تحت سناریوی کمتر مساعد به مقدار ۳۵ تراوات ساعت و تحت سناریوی مساعدتر به مقدار ۱٦۸ تراوات ساعت بالغ خواهد شد. این رقم های کلی که شامل صرفه جوئی انرژی بخاطر تولید محصولات جانبی (آب شیرین و آب سرد) نیز می شوند به ترتیب معادل ۷/۸ و ۳۷/٤ Mtoe می باشد.

## ۱-۵- انرژی اختلاف غلظت نمک[1]

بین آب شیرین و آب دریا اختلاف فشار اسمزی بزرگی (معادل ۲٤۰ متر ارتفاع) وجود دارد. در تئوری اگر بتوان از این فشار استفاده نمود، هر متر مکعب آب که از رودخانه به دریا سرازیر می شود. می تواند ۰/٦۵ کیلووات ساعت برق تولید کند. جریانی به میزان یک متر مکعب در ثانیه می تواند تبدیل به خروجی توان، به میزان ۲۳٤۰ کیلووات گردد.

بطور مفهومی می توان گفت که ارتفاع تئوریک با جریان یافتن آب شیرین از طریق یک غشاء نیمه تراوا به داخل یک مخزن آب شور ایجاد می شود. با فرض اینکه میزان شوری در طول فرآیند کاهش نیابد، فشار کافی برای بالابردن سطح آب مخزن تا ارتفاع ۲٤۰ متری وجود خواهد داشت. سپس می توان آب را از طریق یک توربین تخلیه نمود و انرژی آن را بازیابی کرد. در تئوری و به فرض اینکه تمام رودخانه‌های

1- Salt Gradient Energy = انرژی گرادیان نمک

جهان را بتوان با دستگاههایی با راندمان کامل مهار نموده، توانی به اندازه ۲/٦ تراوات بدست خواهد آمد.

### ۱-۵-۱- تکنولوژی اختلاف غلظت نمک

در دهه ۱۹۷۰ تحقیقاتی برای یافتن راههای عملی استخراج انرژی گرادیان نمک صورت گرفت. عملاً مشکلاتی را در سر راه خود داشت. آب شیرین در عمل آب نمک را رقیق می کند و برای حفظ گرادیان غلظت نمک، باید آب شور بیشتری به مخزن وارد کرد. اگر فرآیند پیوسته باشد، تراز سطح آب مخزن به ۲٤۰ متر بالاتر از سطح دریا خواهد رسید و در این حالت قدرت بسیار زیادی برای پمپ کردن آب شور در مقابل چنین ارتفاعی لازم است.

متأسفانه بهترین روش های عملی که در نتیجه تحقیقات مشخص شده‌اند بسیار گران هستند. فرآیند الکترودیالیز معکوس، با انرژی مشابه یک باتری نمکی، برای استخراج انرژی از آب شور پیشنهاد شده است. در یک مقاله منتشر شده به سال ۱۹۸۷، هزینه سرمایه گذاری معادل ۵۰۰۰۰دلار آمریکا به ازاء هر کیلووات گزارش شده است.

هزینه پیش بینی شده در روش استفاده از اسمز معکوس برای بالابردن سطح آب و در نتیجه تغذیه توربین ۱۰ تا ۱٤ سنت آمریکا برای هر kwh است.

روش سومی که از نظر فنی امکانپذیر به نظر رسیده است،بر اختلاف فشار بخار آب و آب نمک استوار است. آب می بایست بخار شده و در آب شور تقطیرشود و جریان

بخار برای گرداندن یک توربین بکار می رود. در این فرآیند شرایط توربین نظیر نیروگاههای OTEC سیکل باز است، و در نتیجه ماشین آلاتی با قیمت تقریباً مساوی مورد نیاز خواهد بود.

اما این سیستم چون آب شیرین را مصرف می کند، نسبت به OTEC سیکل باز که آب شیرین تولید می کند بطور اصولی در موقعیت پائین تری قرار دارد.

### ۱-۵-۲- نتیجه گیری

با توجه به سرمایه گذاری زیادی که لازم است برروی پروژه های تولید برق از طریق اختلاف غلظت نمک آب دریاها صرف شود، همچنین راندمان پائین این نیروگاهها و همچنین مطالعات و تحقیقات دانشمندان در دهه ۱۹۷۰ باعث دلسردی و توجه کمتر به این موضوع می شود. و در سالهای اخیر مبحث گرادیان نمک هیچ گونه تلاش تحقیقاتی را به خود جذب نکرده است.

در نتیجه شکل های دیگر انرژی های دریایی،اهداف سودمندتری برای تلاش های توسعه در آینده به نظر می رسد.

# فصل دوم:

# جـــزر و مـــــد

## ۲-۱- منشاء و تاریخچه جزر و مد

براساس حفاریهای بعمل آمده در احمدآباد هند یک حوضچه جزر و مدی تعمیر کشتی یافت شده است که مربوط به ۲٤٥۰ سال قبل از میلاد مسیح می باشد که بیانگر توجه بشر از زمانهای قدیم به این پدیده می باشد.

در دوران پس از قرون وسطی سه نظریه در مورد جزر و مد ارائه گردیده است.

نظریه اول را گالیله ارائه کرد وی می گفت گردش سالانه زمین بدور خورشید و نیز چرخش روزانه آن بدور محور خودش سبب ایجاد حرکاتی در دریاها می شود که با تغییراتی که ناشی از شکل و هندسه بستر دریا، در هر محل می باشد جزر و مد را ایجاد می کند.

نظریه دوم مربوط به فیلسوف فرانسوی دکارت بود که چنین می اندیشید که فضای اطراف ماه پر از ماده غیرقابل رویتی به نام اتر می باشد. هنگامیکه ماه به دور زمین می چرخد این ماده را فشرده می سازد و اتر نیز این فشار را به دریا تحمل می کند لذا جزر و مد پدید می آید.

نظریه سوم را کپلر ارائه کرد، وی یکی از بنیانگذاران ایده اعمال جاذبه از ماه بر آبهای اقیانوسها بود و بر اسا این پدیده آبهای اقیانوسها بالا کشیده می شود و این جاذبه با نیروی جاذبه ای که از سوی زمین به آبهای اقیانوسها اعمال می گردد متعادل می گردد.

به تدریج وقتی که ایده مرکز بودن خورشید و چرخش هریک از سیارات منظومه شمسی به دور خورشید جا افتاد نظریات کپلر بیشتر مورد توجه قرار گرفت. با این حال این نظریات قادر نبودند علت اینکه دو بار جزر و مد در یک روز قمری (در برخی مناطق) رخ می دهد را بیان کنند لکن با ظهور قانون نیوتن به این سوال نیز چنین پاسخ داده شد که هردو جسمی یکدیگر را با نیرویی که متناسب با جرم آن در جسم و نسبت عکس با مجذور فاصله آن دو جسم دارد می کشند.

## ۲-۲- مکانیسم تشکیل جزر و مد

جزر و مد (Tide) و جریانات جزر و مدی نتیجه اثر نیروهای جاذبه اجسام آسمانی خصوصاً ماه و خورشید است این نیروها سبب افزایش ارتفاع سطح آب شده که این افزایش نیز سبب ایجاد جریانات افقی جزر و مدی (Tidalstream) می گردد.

همچنانکه زمین به دور خود می چرخد تغییرات ارتفاع سطح آب نیز در هردو نقطه روی این کره رخ می دهد و هر لحظه در دو نقطه مقابل روی کره زمین سطح آب بالا و در دو نقطه دیگر سطح آب پائین خواهد آمد. بالاآمدن سطح آب ناشی از نیروهای جاذبه اجسام آسمانی را پدیده مد (High Tide) گویند و پائین آمدن سطح آب ناشی از اثر این نیروها را پدیده جزر (Low Tide) می گویند. اختلاف ارتفاع سطح آب مد و آب جزر را دامنه یا اختلاف سطح جزر و مد (Tidal Range) می نامند.

از بین اجسام آسمانی (ماه و خورشید) نیروی جاذبه ماه طبق قانون جاذبه نیوتن از نیروی جاذبه خورشید خیلی بیشتراست. (در همچنین فصل محاسبه شده است) و به همین علت بیشترین سهم را روی بوجودآمدن جزر و مد دارد.

زمانبندی جزر و مد از روزی به روز دیگر متفاوت است و آن هم به خاطر آنکه مدار ماه برحسب منظم ٢٤ ساعت اتفاق نمی افتد. در عوض چرخش ماه به دور زمین هر ٢٤ ساعت و ٥٠ دقیقه یکبار رخ می دهد. در بین این مدت، جزر و مد دوبار رخ می‌دهد که در نتیجه سیکل آن کمتر از ١٢ ساعت و ٢٥ دقیقه است.

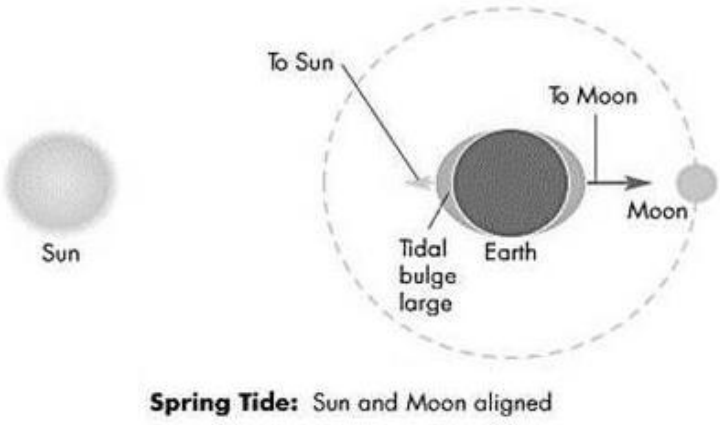
جزر و مد وابسته به جاذبه خورشید هر ١٢ ساعت یک مرتبه ظاهر می شود که دامنه آن خیلی کم است.

## ٢-٣- ترکیب اثر ماه و خورشید برروی جزر و مد

### ٢-٣-١ جزر و مد حداکثر[1]

جزر و مد حداکثر زمانی رخ می دهد که ماه و خورشید و زمین در یک راستای مستقیم نسبت به یکدیگر قرار بگیرند در شکل ٢-١ نشان داده شده است در این حالت بیشترین جزر و مد و یا جزر و مد کامل داریم. مدهای کامل بیشترین مقدار و جزرهای کامل کمترین مقدار را دارند.

1- Spring Tide

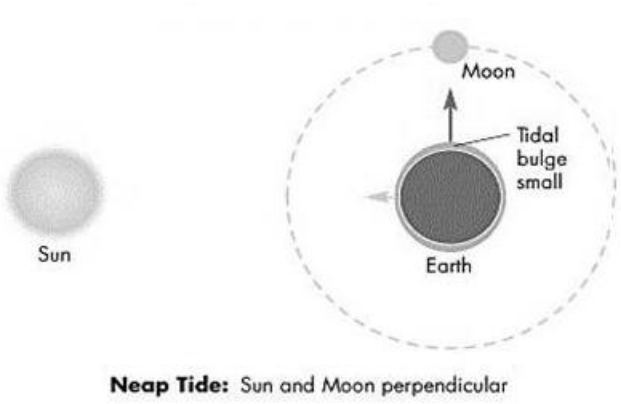



**شکل ۲-۱- جزر و مد حداکثر**

## ۱-۳-٤- جزر و مد حداقل[1]

جزر و مد حداقل زمانی رخ می دهد که خورشید، زمین و ماه یک زاویه قائمه با یکدیگر بسازند آنگاه برآمدگی های ناشی از خورشید و ماه هم فاز نمی باشند و اثر یکدیگر را خنثی می کنند. که این حالت را نیز جزر و مد کمترین می گویند. در این حالت مدهای کامل کمتر از دیگر مواقع مد و جزرهای کامل بسیار کمتر از دیگر مواقع هستند. در شکل ۲-۲ نحوه قرارگرفتن زمین، ماه و خورشید در حالت جزر و مد حداقل نشان داده شده است.

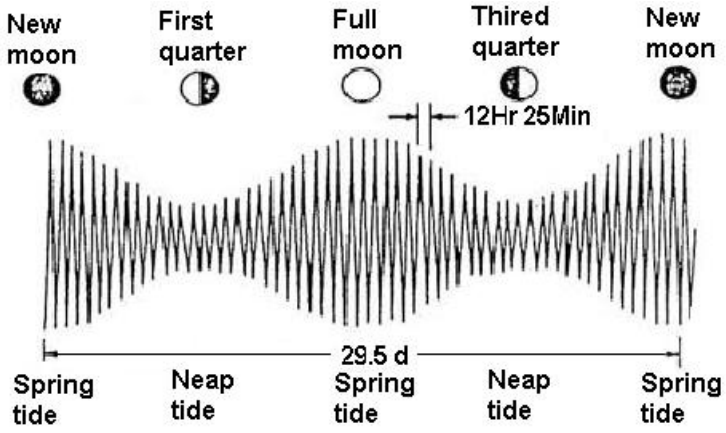
1- Neap Tide




**شکل ۲-۲- جزر و مد حداقل**

طبق محاسبات انجام شده[۱] جزر و مد حداکثر در طول یکماه دوبار خواهیم داشت.

نمودار تغییرات دامنه جزر و مد برای یک ماه قمری در شکل ۲-۳ آمده است.




**شکل ۲-۳- تغییرات دامنه جزر و مد برای یک ماه قمری**

۱- برای اطلاع بیشتر به جلد اول کتاب مطالعات شناسایی و ارزیابی پتانسیل انرژی جزر و مد و امواج دریا دفتر انرژیهای نو مراجعه نمائید

## ۲-٤- نسبت نیروهای مولد جزر و مد ماه و خورشید

طبق قانون جاذبه نیوتن، همیشه دو جسم به یکدیگر نیرو وارد می کنند که بزرگی این نیرو با جرم دو جسم رابطه مستقیم و با توان دوم فاصله مرکز جرم آنها نسبت عکس دارد از آنجائیکه زمین در حین حرکت چرخشی و انتقالی خود، به نوعی در میدان جاذبه ماه و خورشید قرار دارد آنها در هر زمان بهم نیرو اعمال می کنند در اثر نیروی شغلی که در اثر جاذبه دو جسم بزرگ به وجود می آید آنها یکدیگر را بوسیله نیروی گریز از مرکز که بوسیله چرخش حول مرکز جرم خودشان بوجود می آید، دور می کنند. این دو نیرو در مرکز جرم هرکدام از آنها در تعادل می باشد ولی در سطح زمین این نیروها با یکدیگر در تعادل نیستند که این امر علت اصلی بوجود آمدن جزر و مد در کره زمین می باشد.

طبق رابطه زیر، مقدار مطلق نیروی اعمال شده خورشید به نقاط مختلف کره زمین ۱۷۷ برابر نیروی اعمال شده از طریق ماه می باشد:

$$\frac{\text{نیروی گرانشی ماه و زمین}}{\text{نیروی گرانشی خورشید و زمین}} = \frac{(\frac{M/E}{D_m^2})}{(\frac{S/E}{D_2^2})} = \frac{1}{177}$$

ولی در بوجودآوردن جزر و مد همانطور که قبلاً اشاره شد ماه مؤثرتر از خورشید می باشد. چرا که علت اصلی بوجود آمدن جزر و مد اختلاف نیروهای بین مقادیر $F_a$ و $F_b$ (نیروهای اعمال شده توسط ماه) و اختلاف $F'_a$ و $F'_b$ (نیروی اعمال شده توسط خورشید) می باشد. نسبت این نیروها از رابطه زیر بدست می آید:

$$\frac{F'_a}{F_a} = \frac{F'_b}{F'_b} = \frac{SD_m^3}{MD_s^3} = \frac{(\frac{S}{E})}{(\frac{M}{E})} \times (\frac{D_M}{D_S})^3$$

$$= \frac{330000}{0.0123} \times (\frac{3.84 \times 10^5}{1.5 \times 10^8})^3 = 0.46$$

$$F_{a,b} = -\frac{2GMr}{D_m^2} \qquad , \qquad F'_{a,b} = -\frac{2GSr}{D_m^2}$$

در روابط فوق:

$D_m = 3.84 \times 10^5 (km)$ : فاصله مرکز جرم ماه تا زمین

$D_S = 1.5 \times 10^8 (km)$ : فاصله مرکز جرم خورشید تا زمین

$\frac{S}{E} = 330000(kg)$ : نسبت جرم خورشید به زمین

$\frac{M}{E} = 0.0123(kg)$: نسبت جرم ماه به زمین

$G = 6.67 \times 10^{-11} (Nm^2 / kg^2)$ : ثابت جهانی شتاب جاذبه

$r = 6.37 \times 10^3 (km)$ : شعاع کره زمین

قابل ذکر است که جرم زمین، خورشید و ماه به ترتیب ۶×۱۰^۲۴ و ۱/۹۶۳×۱۰^۳۰ و ۷/۳۴۲×۱۰^۲۲ کیلوگرم می باشد.

همانطور که از روابط فوق مشخص شد در تشکیل جزر و مد نیروی اعمال شده از طرف خورشید به اندازه ٤٦ درصد نیروهای اعمال شده از طرف ماه به زمین نقش دارد.

با توجه به رابطه ای که برای نسبت مقادیر جزر ومد ماه و خورشید نشان داده شده اثر فاصله بسیار بیشتر از جرم می باشد (با مجذور فاصله نسبت دارد) لذا می توان نتیجه گرفت درصورتیکه آنالیز مشابهی برای اثر جاذبه سایر سیارات برروی کره زمین انجام دهیم با توجه به بعد مسافت، اثر ناچیزی برروی دامنه جزر و مد در روی زمین خواهند داشت. از این رو خورشید و ماه تنها سیاراتی هستند که اثر قابل ملاحظه و عمده ای برروی جزر و مد در روی زمین دارند.

## ۲-۵- اثر اینرسی آب برروی جزر و مد

آنچه تاکنون گفته شد حالت ساده ای بود که کره زمین را تماماً آب فرا گرفته و از اثر اینرسی آب اغماض گردیده است ولی در عالم واقع بدین گونه نمی باشد. برای مثال طبق تئوری تعادل (Equilibrium Theory) ما انتظار داریم که مد حداکثر در یک محل خاص هنگامی که ماه از نصف النهار گذشته از آن محل عبور کند رخ می دهد. اما آنچه که در طبیعت مشاهده می کنیم این است که مد حداکثر با کمی تأخیر بعد از اینکه ماه نصف النهار مربوطه را قطع کرده رخ می دهد که این امر ناشی از اینرسی سیستم جزر و مدی می باشد.

همچنین برطبق تئوری تعادل انتظار داریم که وقتی ماه و خورشید در یک راستا نسبت به زمین قرار می گیرند. بیشترین جزر و مد را داشته باشیم حال آنکه عملاً

۱ تا ۳ روز تأخیر داریم که این نیز ناشی از اینرسی سیستم جزر و مدی می باشد و ۱ تا ۳ روز تأخیر را تأخیر جزر و مد (Aye of the Tide) گویند.

## ۲-۶- اثر عدم تقارن مدار زمین و ماه برروی جزر و مد

عامل پیچیده ای که برروی جزر و مد اثر می گذارد عدم یکنواختی فواصل بین زمین و ماه از یکسو و از سوی دیگر زمین و خورشید می باشد. مدار گردش زمین به دور خورشید یک بیضی می باشد که خورشید در مرکز این بیضی قرار ندارد. لذا فلاصله زمین و خورشید متغیر است همانطور که دیدیم نیروی مولد جزر و مد با مکعب فاصله نسبت عکس دارد و بر اساس بررسی های بعمل آمده نیروهای مولد جزر و مد ناشی از خورشید تا ٥± درصد از مقدار متوسط تغییر می کند.

مدار گردش ماه به دور زمین نیز یک بیضی می باشد که زمین در مرکز بیضی نمی‌باشد و براساس محاسبات به عمل آمده نیروی مولد جزر و مد ناشی از ماه تا ١٦± درصد از مقدار متوسط تغییر می کند.

## ۲-۷- سایر پارامترهای موثر در جزر و مد

علاوه بر اجسام سماوی پدیده های دیگر نیز هستند که برروی جزر و مد اثر می‌گذارند:

۱- بازتاب امواج از سواحل نامنظم اقیانوسها و دریاها

۲- مقاومت اصطکاکی کف دریا در آبهای کم عمق

۳- باد هم می تواند بر تراز آب اثر بگذارد.

٤- زلزله هایی که در دریاها و اقیانوسها رخ می دهد.

## ۲-۸- کاربردهای جزر و مد

همانطور که قبل از این اشاره شد در زمانهای گذشته و حتی قبل از میلاد حضرت مسیح از انرژی جزر و مدی برای اهدافی خاص استفاده می شده. در این بخش به طور مختصر به دیگر کاربردهای انرژی جزر و مد اشاره شده است:

### ۱- تولید برق

از اختلاف ارتفاعی که از پدیده جزر و مد، در سطح دریاها بوجود می آید می توانیم با روشهای خاص برق تولید کنیم. (این موضوع بطور مفصل در فصل های بعدی بیان شده است)

### ۲- استفاده از انرژی جزر و مد در نجات کشتی ها

در این روش شناورهایی متناسب با وزن جسم غرق شده انتخاب و به هنگام جزر محکم به جسم غرق شده متصل می گردند. این شناورها عموماً بارجها و یا

شبکه‌های آب بندی شده می باشند. با شروع مد،شناور بطرف بالا حرکت و زمان بالاآمدن، جسم مغروق را از بستر جدا می کند.

### ۳- آبیاری زمین های ساحلی

در این روش کانالهای مزارع که هم تراز با سطح متوسط آب رودخانه می باشند به هنگام جزر و مد که معمولاً دوبار در روز می باشد،به هنگام مد آب دریافت کرده و آن را به سطح مزارع منتشر می کنند. به هنگام جزر سطح آب رودخانه پائین آمده و کانالها خشک می شوند. به این ترتیب زمین ها بطور خودکار دوبار در روز آبیاری می شوند.

### ٤- استفاده از جزر و مد برای ماهیگیری

در مناطقی که دارای اختلاف جزر و مد قابل توجهی می باشند می توان با بستن تورهای عمودی در بخش هایی که در آب مد پرشده و در آب جزر خشک می شوند برای ماهیگیری استفاده کرد.

## ۲-۹- مقدار انرژی قابل استحصال از جزر و مد

به گفته کارشناسان کل توان جزر و مدی پراکنده در جهان حدود $۲/٤\times۱۰^{٦}$ مگاوات (پتانسیل) می باشد که حدود یک سوم مصرف برق جهان در اوائل دهه ۱۹۷۰

می‌باشد. در حدود $10^6$مگاوات از این مقدار در آبها و سواحل کم عمق بوجود می آید که با توجه به سرمایه گذاری عظیم لازمه، قابل استحصال نمی باشد. تنها بخشی کوچک از توان باقیمانده قابل حصول به نظر می رسد.

انرژی پتانسیل قابل استحصال در جزر و مد که با دامنه R برحسب متر وارد حوضچه ای به مساحت A برحسب کیلومتر مربع می‌شود برابر است با:

حاصلضرب نیرویی که به خاطر کنترل حرکت جریان آب در دسترس می باشد در متوسط فاصله عمودی پیموده شده توسط آب، یعنی:

$$\text{W} = \text{نیرو} \times \text{فاصله} = \rho AR \times \frac{R}{2}$$

$$\Rightarrow W = \frac{1}{2}\rho g A R^2$$

g: شتاب جاذبه زمین $(m/s^2)$

ρ: دانسیته آب $(kg/m^3)$

A: مساحت حوضچه $(km^2)$

R: دامنه جزر و مد $(m)$

از آنجائیکه جزر و مد در طول هر روز جزر و مدی، دوبار وارد مخزن سد می گردد. بنابراین در هر ۲٤/۸ ساعت، ٤ حالت جزر و مد داریم لذا بیشترین انرژی که به صورت تئوریکی می توان بدست آورد به صورت زیر می باشد:

$$P_{\max} = \frac{4 \times \frac{1}{2}\rho g A R^2}{24.8 \times 3600} \Rightarrow$$

$$P_{\max} = 0.22AR^2 \qquad (MW)$$

اما بعلت افت های گوناگونی که وجود دارد، انرژی واقعی در دسترس حدود ۲۵ درصد مقادیری است که توسط فرمول فوق بیان شده است.

یعنی:

$$P_{actual} = \frac{P_{\max}}{4} = 0.055AR^2$$

بعنوان مثال در حوضچه ای به اندازه ۲۰km×۳km با دامنه جزر و مد ۱/۵m بیشترین انرژی الکتریکی که بصورت تئوری می توان به دست آورد برابر با ۲۹/۷MW و انرژی واقعی آن با فرض ۲۵ درصد استحصال ۷/٤۲MW می باشد.

# فصل سوم:

# شرایط بهره برداری از نیروگاه جزر و مدی

## ۳-۱- شرایط مکان مناسب برای احداث نیروگاه جزر و مدی

مکانهای مناسب برای احداث یک نیروگاه جزر و مدی، خلیج ها یا خورهای کوچک و یا ورودی رودها به دریاها می‌باشند. زیرا در محل ورود یک رود به دریا و یا یک خلیج است که می توان با احداث یک دایک[۱] (Dyke) حوضچه‌ای را بنا کرد که در ارتباط با دریا باشد. محلی که برای احداث نیروگاه جزر و مدی در نظر گرفته می‌شود باید واجد شرایط زیر باشد:

۱- ارتفاع جزر و مد در محل موردنظر در طول سال باید از محدوده مناسبی برخوردار باشد.

۲- خور یا محل ورودی به دریا باید از شکل هندسی مناسبی برخوردار باشد. به نحوی که با احداث یک دایک بطول نسبتاً کم یک حوضچه (Basin) با حجم مناسب ایجاد کرد. (در این حالت هزینه‌های سدسازی و دریچه های سد کاهش می یابد)

۳- در آن مکان سیکل جزر و مد بصورت دوبار در روز باشد.

٤- محل موردنظر نباید بار رسوبی زیاد داشته باشد، زیرا در معرض افزایش سریع رسوب در دهانه خور قرار می گیرد.

٥- محل موردنظر باید به اندازه کافی از امواج دریا دورباشد.

٦- منطقه دارای بار ترافیک دریایی نباشد.

---

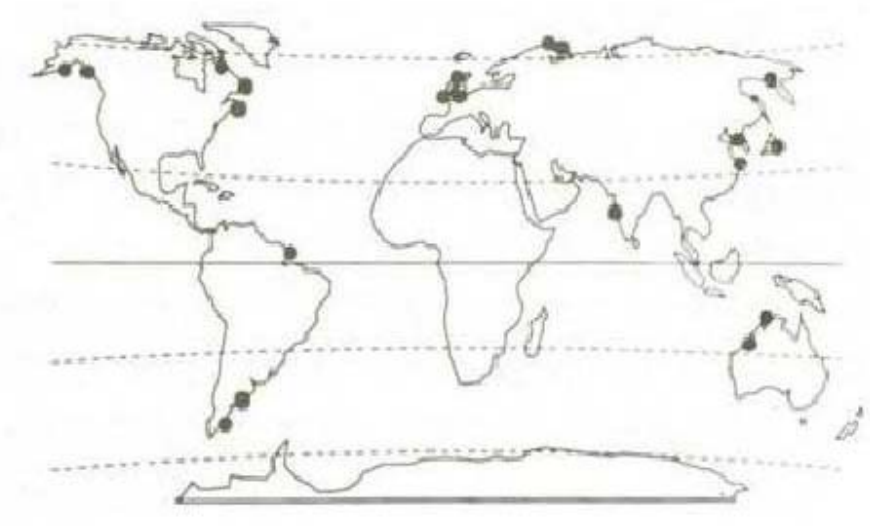
۱- دایک در واقع دیوار بین حوضچه و دریا و یا بین حوضچه ها در حالت چندحوضچه ای خواهد بود.

۷- فاصله تأسیسات جزر و مدی تا حد امکان تا مصرف کننده ها کوتاه باشد که نتیجتاً سبب کاهش هزینه حمل و ارسال انرژی به مصرف کننده می شود.

برای توجیه هزینه بسیار گزاف ساختن حوضچه های عظیم و خرید و یا تولید تجهیزات هیدروالکتریک مربوطه باید دامنه جزر و مد (Range Tide) در نقطه موردنظر خیلی بالا باشد که این امر تنها در نقاط محدودی در دنیا اتفاق می اتفد.

طبق آمارهای جهانی حداقل ارتفاع یا دامنه جزر و مدی مطلوب برای احداث نیروگاه جزر و مدی ۵ متر می باشد. (باید توجه داشت که داشتن دامنه جزر و مدی شرط لازم است نه شرط کافی)

در شکل ۳-۱ مکانهایی که برای ساختن ایستگاههای جمع آوری انرژی جزر و مد از نظر فی دارای پتانسیل بالایی هستند (بدون توجه به ملاحظات زیست محیطی) نشان داده شده است.



**شکل ۳-۱- مکانهای مناسب برای بهره برداری از انرژی جزر و مد**

## ۳-۲- کشورهای دارای پتانسیل جزر و مدی بالا

کشورهایی که از پتانسیل جزر و مدی خوبی برخوردار هستند و دامنه جزر و مد در آن مناطق نسبتاً قابل ملاحظه است عبارتند از:

۱- انگلیس ۲- کانادا ۳- فرانسه ٤- روسیه ٥- آرژانتین ٦- ایالت متحده ۷- برزیل ۸- ایرلند شمالی ۹- چین ۱۰- هند ۱۱- کره ۱۲- آلاسکا ۱۳- استرالیا

مشخصات محل هایی که برای توسعه انرژی جزر و مدی در نظر گرفته شده اند آمار و اطلاعات مربوط به محل هایی که تابحال شناسایی شده اند در جدول ۳-۱ ارائه شده است. در این جدول کشور موردنظر و محل موردنظر در آن کشور آورده شده است و اطلاعاتی همچون دامنه متوسط جزر و مد، مساحت حوضچه، ظرفیت نصب تقریبی و خروجی سالانه را به ما می هد.

**جدول ۳-۱ محل هایی که برای توسعه انرژی جزر و مدی در نظر گرفته شده اند.**

| سایت | دامنه متوسط جزر و مد (m) | مساحت حوضچه ($km^2$) | ظرفیت نصب تقریبی (MW) | خروجی سالانه (TWH) |
|---|---|---|---|---|
| **آرژانتین** | | | | |
| سان خوزه | ۵/۹ | | ۶۸۰۰ | ۲۰/۰ |
| **استرالیا** | | | | |
| خلیج سکیورI | ۱۰/۹ | | | ۲/٤ |
| خلیج سکیورII | ۱۰/۹ | | | ۵/٤ |
| **کانادا** | | | | |
| کوبک | ۱۲/۰ | ۲٤۰ | ۵۳۳۸ | ۱٤/۰ |
| کومبرلند | ۱۰/۹ | ۹۰ | ۱٤۰۰ | ۳/٤ |
| شپودی | ۱۰/۰ | ۱۱۵ | ۱۸۰۰ | ٤/۸ |
| **هند** | | | | |
| خلیج کاچ | ۵/۰ | ۱۷۰ | ۹۰۰ | ۱/۷ |
| خلیج کامبای | ۷/۰ | ۱۹۷۰ | ۷۰۰۰ | ۱۵/۰ |
| **کره** | | | | |
| گارولیم | ٤/۸ | ۱۰۰ | ٤۸۰ | ۰/۵ |
| چئون سو | ٤/۵ | | | ۱/۲ |
| **انگلستان** | | | | |
| سه ورن | ۹/۰ | ۵۲۰ | ۸٦٤۰ | ۱۷/۰ |
| مرزی | ٦/۵ | ٦۱ | ۷۰۰ | ۱/۵ |
| کان وی | ۵/۲ | ٦ | ۳٤ | ۰/۱ |
| (مورد دیگر، کوچک) | | | ۱۰۰۰ | ۲/۰ |
| **ایالات متحده** | | | | |
| پاساماکوادی | ۵/۵ | | | |
| نیک آرم | ۷/۵ | | ۲۹۰۰ | ۷/٤ |
| تورناگین آرم | ۷/۵ | | ٦۵۰۰ | ۱٦/٦ |
| **روسیه** | | | | |
| مزنسکایا | ٦/۰ | ۲٦٤۰ | ۱۵۰۰۰ | ٤۲/۰ |
| توگور | ۵/۷ | ۱۱۲۰ | ٦۸۰۰ | ۱٦/۰ |
| پن ژینسک | ٦/۲ | ٦۷۸۸ | ۲۱٤۰۰ | ۷۱/٤ |
| کولسکایا | ۲/۳ | ٦ | ۳۲ | |

## ۳-۳- عوامل موثر بر دامنه جزر و مد

دامنه جزر و مد همانگونه که نشان داده شده در نقاط مختلف جهان بسیار متفاوت است، عوامل اصلی موثر بر دامنه جزر و مد عبارتند از:

۱- شکل خط ساحلی

۲- عمق آب

۳- پروفیل بستر دریا

٤- عرض جغرافیایی

وقتی عوامل فوق در یک محل دارای ترکیب مناسبی باشند نوعی اثر تشدید کننده (Resonanse) بوجود می آید که منجر به یک جزر و مد با دامنه بسیار بالا می شود.

## ۳-٤- نکات اساسی طراحی نیروگاههای جزر و مدی

در این قسمت سعی شده تا تفاوت‌ها و شباهت‌های نیروگاههای آبی سنتی و جزر و مدی تا حد امکان نیز آورده شود.

تفاوت عمده نیروگاههای جزر و مدی با نیروگاههای آبی سنتی در نحوه استفاده از منابع آب می باشد. در نیروگاههای آبی سنتی با ایجاد یک مانع بوسیله سد (Dam) در مسیر رودخانه ای که با شیب خاصی جریان دارد، اختلاف ارتفاعی پدید می آید که رهاسازی آب از آن ارتفاع و عبور آن از بین توربین ها سبب تبدیل انرژی می‌شود.

در نیروگاههای جزر و مدی بطور خودبه خود اختلاف ارتفاع موردنیاز برای عملکرد توربین وجود ندارد و تنها در هنگام رخ دادن پدیده جزر و مد این اختلاف ارتفاع ایجاد می گردد. در نیروگاههای جزر و مدی بایستی به نحوی از ارتفاع ایجادشده در اثر بالارفتن آب دریا و پائین آمدن آن استفاده نمود.

طراحی نیروگاههای جزر و مدی مشابه نیروگاههای آبی سنتی شامل سه قسمت جداگانه زیر است:

۱- نحوه عملکرد نیروگاه جزر و مدی

۲- دایک برای ایجاد حوضچه ها و دریچه ها برای عبور آب از دریا به حوضچه ها و بالعکس

۳- طراحی داخلی نیروگاه (شامل طراحی تجهیزات الکترومکانیکی و طراحی معماری و سازه های نیروگاه)

قسمت های مختلف طراحی یک نیروگاه جزر و مدی در ادامه موردبررسی قرار خواهد گرفت.

### ۳-٤-۱- نحوه عملکرد نیروگاه جزر و مدی

تفاوت عمده نیروگاههای آبی سنتی و نیروگاههای جزر و مدی در نحوه عملکرد آنها می باشد. نیروگاههای آبی در یکی از دو حالت عمده پیک یا بار پایه کار می کند، اما نیروگاههای جزر و مدی به شکل سیکلی کار می کنند. در نیروگاههای جزر و مدی

بعلت اینکه در همه مواقع جزر و مد حداقل ارتفاع و دبی موردنیاز برای عملکرد توربین‌ها موجود نیست باید زمانی را برای پرشدن حوضچه و انتظار تولید برق در نظر گرفت. از نقطه نظر کارکرد در زمان حداکثر نیاز مصرف (پیک) این امکان نیز وجود دارد که واحد در زمان پیک کار کند. در سیکل تولید انرژی در زمانی که امکان استحصال انرژی بین حوضچه و دریا وجود ندارد. می توان عمل پمپاژ را انجام داد. در واقع نحوه عملکرد نیروگاههای جزر و مدی تابع ساعات وقوع جزر و مد و نیاز شبکه سراسری به کار کردن نیروگاه در بار پیک یا پایه می باشد.

بدین منظور برای تعیین ضریب تولید نیروگاه ابتدا باید محل از نقطه نظر شرایط توپوگرافی بازدید شود. تا تعیین گردد که در آن محل چند حوضچه می توان احداث نمود، چه ارتفاعی ایجاد می شود، چندبار جزر و مد اتفاق می افتد و سپس با انجام مطالعات اقتصادی طرح و بازار برق در مورد نحوه عملکرد نیروگاه تصمیم گیری شود.

### ۳-٤-۲- نحوه و تجهیزات آبگیری نیروگاه جزر و مدی

یکی دیگر از تفاوت های عمده نیروگاههای آبی سنتی با نیروگاههای جزر و مدی در نحوه آبگیری برای تولید انرژی می باشد.

در نیروگاههای جزر و مدی با ایجاد یک دایک، دریا را از حوضچه که اغلب به شکل مصنوعی ایجاد می کند جدا کرده و در امتداد دایک دریچه های آبگذر در همان راستا

نیروگاه را بنا می کنند. برخلاف نیروگاههای آبی سنتی که جهت جریان آب همواره از سمت سد به سمت نیروگاه و در نهایت به سمت پایاب (Tail water) است. در نیروگاههای جزر و مدی جهت جریان می تواند در سیکل های مختلف تغییر کند و از سمت حوضچه به دریا و یا از دریا به حوضچه باشد.

در نیروگاههای جزر و مدی واحدهای افقی جریانی مانند توربین های حبابی (Bulb-Turbine) نصب خواهند شد، بنابراین مجرای انتقال مناسب برای این توربین‌ها کوتاه خواهد بود و در مجرا به ترتیب آشغالگیر، دریچه (Gate) و بعد توربین قرار می گیرند.

در نیروگاههای آبی سنتی از مجرای آبگیر و دریچه های آن فقط در زمان آبگیری استفاده می شود و تخلیه آب از طریق دریچه ها و مجرای لوله مکش انجام می گیرد. لذا یکی دیگر از تفاوت‌های نیروگاههای جزر و مدی با نیروگاههای آبی سنتی در این است که در نیروگاههای جزر و مدی از مجراهای دریچه دار عبور آب در دو حالت پر و تخلیه شدن حوضچه استفاده می شود.

### ۳-٤-۳- ساختن دایک

در ساختن نیروگاه جزر و مدی قبل از هرکاری ابتدا باید به ساختن دایک پرداخت. برای ساختن دایک در ابتدا باید فرازبندی (offer-Dam) در دهانه ورود به دریا احداث نمود، فرازبندی سدی با ارتفاع کم است که در مسیر جریان و در بالا دست

سد اصلی احداث می شود تا امکان انجام عملیات ساختمانی سد اصلی فراهم شود. احداث فرازبند بسیار مشکل و زمان بر است زیرا جریان جزر و مد و امواج مانع از انجام کار با روند طبیعی می شود.

در حالتی که محل موردنظر در معرض جزر و مدهای بزرگ قرار داشته باشد، فرازبند باید جلوی حجم زیادی از آب را بگیرد در اینجا عملیات اجرایی دشوارتر می‌شود و متناسباً هزینه آن نیز افزایش می یابد. در حالتی که احداث فرازبند اجتناب ناپذیر است باید از قطعات پیش ساخته بدین منظور استفاده کرد.

### ۳-٤-٤- طراحی داخلی نیروگاه جزر و مدی

در نیروگاههای جزر و مدی از توربین های فرانسیس و کاپلان عمودی به دلیل آنکه این توربین ها برای عملکرد مطلوب به حداقل ارتفاعی نیاز دارند که بوجود آوردن این ارتفاع در نیروگاههای جزر و مدی امکان پذیر نیست استفاده نمی شود. بلکه توربین های حبابی، استرافلر، ژنراتور، دندانه ای (Rim-Generator) و یا جریان متقاطع برای این نیروگاهها مناسب می باشند. (در ادامه همین مبحث، اطلاعات مختصری از توربین های استفاده شده در نیروگاه جزر و مدی آورده شده است)

طراحی ژنراتور این نیروگاه ها در اکثر موارد با محور افقی بصورت کوپل با توربین انجام می گیرد. در مواردی خاص ممکن است با تبدیل ۹۰درجه محور ژنراتور عمودی پیش بینی شود.

سایر تجهیزات الکترونیکی نظیر گاورنر، جرثقیل سقفی، سیستمهای هوای فشرده، روغن، تخلیه آب واحدها، تجهیزات برق DC, AC و کنترل مشابه نیروگاههای آبی سنتی می باشند.

### ۳-٤-۵- انواع توربین های به کارگرفته شده در نیروگاههای جزر و مدی

انواع توربین هایی که در نیروگاههای جزر و مدی بکار گرفته شده اند به شرح زیر می باشد:

۱- توربین استرافلو Straflo Turbine

۲- توربین حبابی Bulb turbine

۳- توربین نوع S S Turbine

٤- توربین جریان متقاطع Cross Flow Turbine

۵- توربین هوایی Air Turbine

در نیروگاههای جزر و مدی محدوده کارکرد توربین ها از نقطه نظر ارتفاع عملکرد (head) بستگی به ارتفاع مد حداکثر دارد. حداکثر ارتفاع در زمان افت ارتفاع آب در حوضچه بوجود می آید و معمولاً در محدوده ای بین ۵ تا ۱۰ متر قرار دارد.

به منظور امکان مقایسه بین توربین های ذکرشده خلاصه مشخصات آنها در پیوست آمده است.

### ۳-٤-۶- طراحی محور توربین

در اولین طرحهای جزر و مدی دو گزینهٔ محور افقی و محور عمودی برای طراحی محور توربین و ژنراتور مطرح گردید. اگر محور واحد افقی قرار بگیرد یاتاقانها می‌توانند بالای آن قرار بگیرند لذا تعمیر و نگهداری واحد ساده تر می شود. اما به منظور از بین بردن ارتعاشات ایجادشده در سطح آب در طول پریود تولید برق لازم است قطر چرخ افزایش یابد، در محور عمودی قطر چرخ کمتر شده اما یاتاقان پائینی در زیر آب قرار می گیرد.

از زمانی که مطالعات دقیقی برای نیروگاههای جزر و مدی آغاز شد (سال ۱۹۲۷ برای سد سه ورن (Severn) در انگلیس) لزوم استفاده از واحدهای با ارتفاع کم (Low Head) بصورت واحدهایی با محور عمودی با توربین کاپلان موردمطالعه قرار گرفت. نصب عمودی محور مزایایی از قبیل افزایش راندمان در یک محدوده وسیع دبی و ارتفاع، خشک بودن ژنراتور، سیستم خنک کننده ساده و سهولت دسترسی در مواقع تعمیر را به همراه داشت.

دوران ۹۰ درجه آب برای عبور از توربین از معایب اصلی واحدهای با محور عمودی است. زیرا این مسأله در نیروگاههای با ارتفاع پائین سبب کاهش ارتفاع موثر توربین می شود.

# فصل چهارم:

# نیروگاه جزر و مدی

## ٤-١- روشهای مختلف تولید برق از انرژی جزر و مد

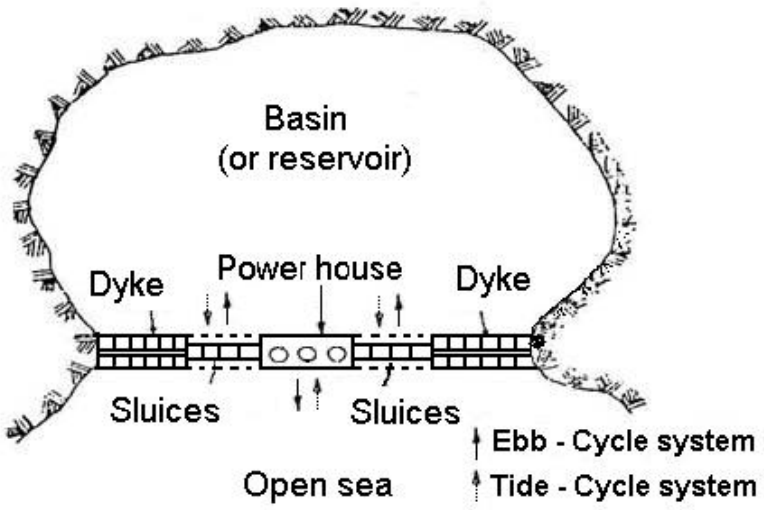
جذب انرژی جزر و مدی و تبدیل آن به انرژی الکتریکی با استفاده از دریا و یک حوضچه مصنوعی امکان پذیر خواهد بود. شکل (٤-١) در حالیکه برای تولید برق در اغلب اوقات در عمل بایستی بیشتر از یک حوضچه مصنوعی داشته باشیم. بر همین اساس طبقه بندی زیر را خواهیم داشت:

١- آرایش یک حوضچه ای

٢- آرایش دو حوضچه ای

٣- آرایش ترکیبی حوضچه ها

٤- نیروگاه جزر و مدی در حالت تلمبه ذخیره ای




**شکل ۴-۱- ارتباط حوضچه و دریا**

## ٤-٢- سیستم یک حوضچه ای

در آرایش یک حوضچه ای تنها یک حوضچه با دریا ارتباط دارد در حقیقت حوضچه و دریا توسط یک دایک جداشده اند و جریان بین آنها از طریق مجرای آبگذر (sluice way) که در امتداد دایک قرار دارد عبور می کند.

در این آرایش تولید قدرت می تواند به سه صورت زیر باشد:

١- سیستم یک حوضچه ای با جریان از سوی حوضچه به دریا

٢- سیستم یک حوضچه ای با جریان از سوی دریا به حوضچه

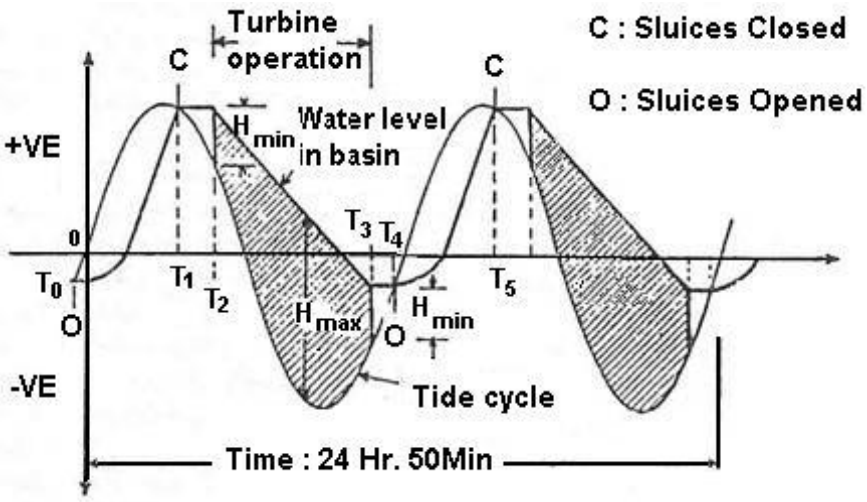
٣- سیستم دو طرفه حوضچه به دریا و بالعکس

### ٤-٢-١- سیستم یک حوضچه ای با جریان از سوی حوضچه به دریا

در این سیستم در زمان جزر دریا برق تولید می شود. در این سیستم جریان آب از حوضچه برروی توربین ها ریخته می شود و با توجه به اینکه در دریا جزر شده اختلاف ارتفاع لازم وجود دارد یعنی آب از حوضچه برروی توربین می ریزد و بعد در دریا تخلیه می شود. به این روش تولید در جزر (Ebb Generation) نیز گفته می‌شود.

روند تولید برق در یک سیکل شامل مرحله پرشدن حوضچه در طی زمان مد از طریق مجرای آبگذر می باشد. زمان انتظار برای کسب حداقل ارتفاع روی توربین ها و سپس شروع تولید انرژی تا وقتی ارتفاع کارکرد توربین اجازه بدهد می باشد در

شکل ٤-٢ این مطلب تشریح شده است در این شکل بترتیب زمانهای پرشدن، انتظار و تولید نمایش داده شده است.

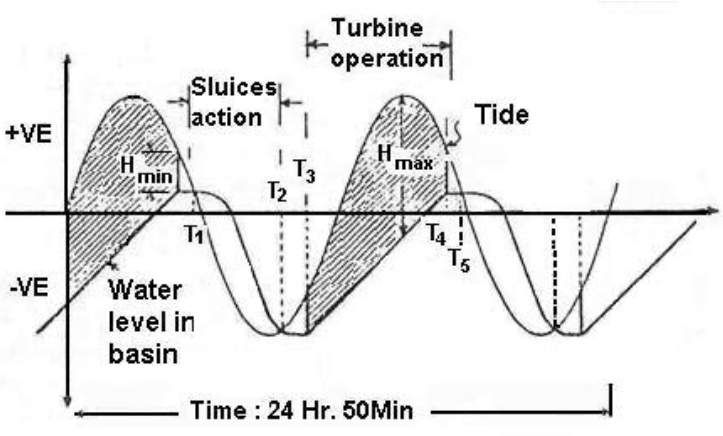



**شکل ۴-۲- سیکل کارکرد سیستم یک حوضچه ای با جریان از سوی حوضچه به دریا**

## ٤-٢-٢- سیستم یک حوضچه ای با جریان از سوی دریا به حوضچه

در این سیستم تولید برق در زمانی انجام می شود که دریا در حالت مد قرا دارد در این سیستم آب دریا را از روی توربین ها بسوی حوضچه عبور می دهند. هنگامیکه مد تمام شده و سطح آب دریا پائین آمد، زمان تولید پایان می پذیرد.

حوضچه از طریق مجراهای آبگذر در دریا تخلیه می شود شکل ٤-٣ ارتفاع های نسبی آب دریا و حوضچه را نشان می‌دهد. بدیهی است که مدت زمان تولید برق بستگی به اختلاف ارتفاع بین دریا و حوضچه دارد (تا حداقل ارتفاعی که برای کار کردن توربین لازم است فراهم گردد) به این روش تولید در مد (Flood Generation) نیز گفته می‌شود.




**شکل ۴-۳- سیستم تولید انرژی با جریان از سوی دریا به حوضچه**

اگر آب همزمان با زمان مد روی توربین ها ریخته شود ممکن است در زمانهایی ارتفاع روی توربین ها خارج از محدوده کارکرد عملی آن قرار بگیرد مطلب یادشده به این دلیل بوجود می آید که نرخ رهاکردن آب از توربین و نرخ پائین آمدن آب حوضچه و دریا یکی است پس برای ایجاد هد (ارتفاع) لازم برای توربین ها، سطح آب در حوضچه به نحوی تعیین می شود که ارتفاع آب بسیار آهسته نسبت به افت مد در دریا کاهش پیدا کند.

اگر چه دو سیستم جریانهای حوضچه به دریا و دریا به حوضچه ممکن است شبیه بهم باشند ولی بایستی یادآور شده که سیستم یک حوضچه ای با جریان از سوی حوضچه به دریا یا تولید به روش جزر دارای مزیت‌های بیشتری است.

از آنجا که پروژه های جزر و مدی در دهانه ورودی رودخانه ها به دریاها، تنگه ها و خلیج ها واقع شده اند، زمان جریان از حوضچه به دریا (Ebb-Bide) در مقایسه با زمان جریان دریا به حوضچه دوره طولانی تری دارد. البته این زمان برای تمام

ارتفاع ها در حوضچه های طبیعی ثابت نیست اما در این حوضچه ها با افزایش ارتفاع، مساحت حوضچه نیز افزایش می یابد و بنابراین هزینه های ساختمانی بیشتری را ایجاب می نماید.

این مسئله تأثیر مهمی روی کارکرد سیکل های منفرد (تک حوضچه ای) و یا دوتایی (دوحوضچه ای) می گذارد. در سیستم دریا به حوضچه (مد) احتیاج به حوضچه گودتری داریم تا بتوانیم آب بند دریچه مجرای آبگذر را پائین تر بگذاریم، بنابراین هزینه‌های ساختمانی افزایش می یابد.

تخمین زده شده است که انرژی تولیدشده توسط سیکل حوضچه به دریا (جزر) حدود ۱/۵ برابر سیکل دریا به حوضچه (مد) می باشد.

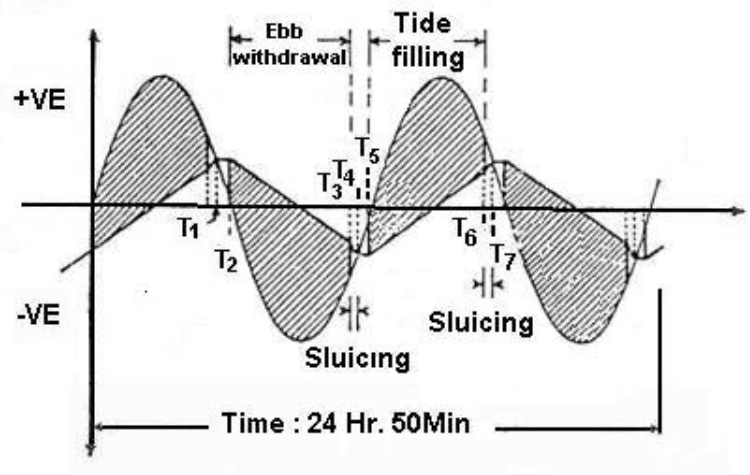
### ٤-۲-۳- سیستم دوطرفه[1] حوضچه به دریا و بالعکس

در این سیستم در هر دو زمان جریان از ساحل به دریا و بالعکس فقط با استفاده از یک حوضچه امکان بهره برداری از واحد و تولید برق وجود دارد. جهت جریان آب ورودی توربین ها بسته به زمان جزر یا مد عوض می شود. اما ماشین در هر دو زمان جزر و مد بعنوان توربین کار می کند.

در این روش تولید برق در هردو سیکل پرشدن و تخلیه حوضچه انجام می پذیرد با توجه به شکل ٤-٤ در زمان $T_1$ دریچه های مجرای آبگذر بسته می شوند (هنگامیکه ارتفاع مخزن و سطح آب در زمان مد یکی هستند) در زمان $T_2$ هنگامیکه ارتفاع آب

1- Two-way system

در دریا به عمقی معادل ارتفاع حداقل توربین ها افت کرده انرژی تولیدشده و سپس تخلیه حوضچه آغاز می شود.




**شکل ۴-۴- سیستم سیکل دوطرفه با یک حوضچه**

اما تولید تا زمان $T_3$ که حداقل ارتفاع قابل دسترسی توربین ها موجود است بطول می‌انجامد در این زمان دریچه ها باز می شوند تا مجدداً به حداقل ارتفاع آب قابل قبول برای عملکرد توربین ها برسیم. در زمان $T_4$ وقتی که ارتفاع حوضچه و دریا متعادل شد دریچه ها دوباره بسته می شوند تا زمان $T_5$ که حداقل ارتفاع لازم برای عملکرد توربین فراهم گردد. توربین ها دوباره می توانند تا زمان $T_6$ کار کنند در حالیکه حوضچه در حال پرشدن می باشد. در زمان $T_6$ توربین ها خاموش خواهند شد در اینجا دوباره دریچه ها باز می شوند تا سطح آب در حوضچه به سرعت بالا بیاید برای آنکه سطح آب در حوضچه با سطح آب مد در $T_7$ متعادل شود.

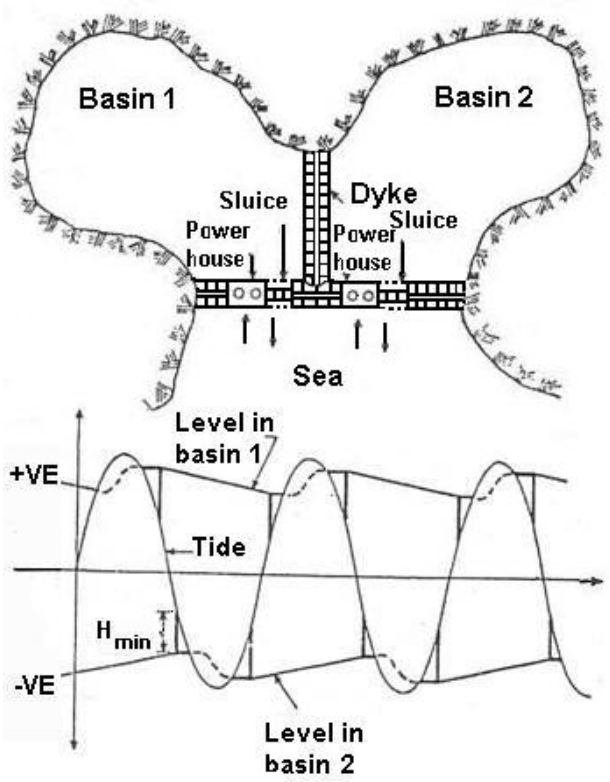
اگرچه در سیستم سیکل دوطرفه در کل پریود کار فقط زمانهای توقف کوتاهی در تولید انرژی وجود دارد، ولی به دلیل همین توقفهای کوتاه تاکنون امکان ایجاد یک سیستم تولید قدرت پیوسته فراهم نشده است.

## ٤-٣- سیستم دو حوضچه ای

در این سیستم، دو حوضچه بسیار نزدیک به هم می باشند و به نوعی نوبتی کار می‌کنند مثلاً وقتی اولین حوضچه در زمان مد دریا تولید برق می نماید حوضچه دیگر در زمان جزر دریا به تولید برق می پردازد.

ممکن است برای دو حوضچه یک نیروگاه در نظر گرفته شود و یا هرکدام یک نیروگاه جداگانه برای خودشان داشته باشند. در هر دو حالت و با انتخاب پارامترهای طراحی مناسب می توان به تولید یکنواخت مطلوبی دست یافت.

شکل ٤-٥ نحوه عملکرد یک سیستم دوحوضچه ای را با دو نیروگاه جداگانه تشریح می کند.




**شکل ۴-۵- سیستم دوحوضچه ای**

## ٤-٤- سیستم ترکیبی شامل دو حوضچه

این سیستم از دو حوضچه که از طریق توربین ها بهم مرتبط می باشند و در ارتفاع‌های مختلف قرار دارند تشکیل می گردد. دوسری مجرای آبگذر یک سری در حوضچه با ارتفاع بالاتر و سری دیگر در حوضچه با ارتفاع پائین تر حوضچه ها را به دریا متصل می کنند. مجرای آبگذر حوضچه بالاتر را مجرای ورودی و مجرای آبگذر حوضچه پائین تر را مجرای خروجی می نامند.

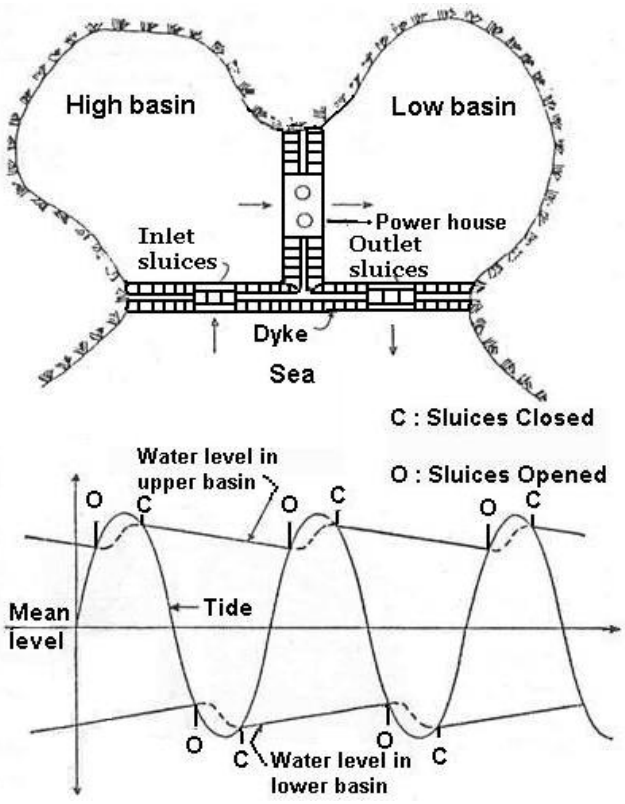
روش بهره برداری به شکل زیر می باشد:

در ابتدا مجراهای ورودی بسته می شود تا حوضچه با ارتفاع بالا از آب پرگردد، جریان از حوضچه بالا به سوی حوضچه پائین از روی توربین ها انتقال داده می‌شود. نتیجتاً سطح آب در حوضچه بالاتر افت می کند در همین حال در حوضچه پائین تر سطح آب بالا می رود. در لحظه ای که ارتفاع آب در حوضچه پائین تر در حال بالاآمدن است و ارتفاع مد در حال نزول است، دریچه های خروجی باز می‌شوند و هنگامیکه جزر به پائین ترین سطح خود می رسد دریچه های خروجی بسته می‌شوند.

با بالا آمدن مد هنگامیکه اختلاف ارتفاع بین حوضچه های بالا و پائین با حداقل ارتفاع مورد نیاز برای عملکرد توربین معادل شد همزمان توربین ها از طریق هدایت آب حوضچه بالا به حوضچه پائین کار می کنند.

وقتی که مد به حد بالای خود رسید دریچه های ورودی بسته می شوند و از اینجا بطور مشابه به سیکل دوم شروع به کار می کند.

در شکل ٤-٦ سیستم دو حوضچه ای ترکیبی نشان داده شده است.




**شکل ۴-۶- سیستم دو حوضچه ای ترکیبی**

منحنی های عملکرد این سیستمها و آرایش های مختلف حوضچه ها در پیوست ارائه شده است.

## ٤-٥- نیروگاههای جزر و مدی در حالت تلمبه ذخیره ای

در نیروگاههای تلمبه ذخیره ای واحد در ساعت غیر پیک که انرژی مازاد در شبکه وجود دارد به پمپاژ آب از مخزنی که در ارتفاع پائین قرار دارد به مخزنی که در ارتفاع بالا قرار دارد می پردازد و سپس در ساعات پیک آب از مخزن بالایی به پائینی

منتقل می شود و با عبور از بین پره های تروبین انرژی الکتریکی تولید می شود و این سیکل مجدداً تکرار می شود. مهم ترین فایده این روش امکان تولید برق در ساعات حداکثر نیاز مصرف (پیک) می باشد. در نیروگاههای جزر و مدی توربین و ژنراتور در حالت تلمبه ذخیره ای بطور افقی نصب می شوند. از آنجا که پره‌های توربین بطور معکوس هم کار می کنند واحد هم به عنوان توربین و هم به عنوان پمپ می تواند کار کند. بنابراین واحد قادر خواهد بود حوضچه بالایی را تا ارتفاع بالاتری پرکند و بطور معکوس حوضچه پائینی را می‌توان توسط عمل پمپاژ تخلیه نمود. با تأمین مشخصات و نحوه عملکرد فوق این امکان فراهم می گردد که از یک نیروگاه جزر و مدی بصورت اقتصادی توجیه پذیر بعنوان یک منبع انرژی مطمئن (Frim Energy) که نیازهای شبکه سراسری برق را تأمین می نماید استفاده نمود.

این سیستم مزایای دیگری نیز دارد. برای مثال در زمان غیرپیک (off-peak) که در شبکه انرژی لازم برای پمپاژ موجود است و اختلاف ارتفاع بین دریا و حوضچه کم است می توان آب را به سمت مقابل پمپ نمود تا با فراهم آوردن اختلاف ارتفاع زیاد در ساعات پیک تولید انرژی انجام بگیرد.

منحنی عملکرد نیروگاه جزر و مدی در حالت تلمبه ذخیره ای در پیوست آمده است.

## ٤-٥-١- مزایا و معایب نیروگاههای جزر و مدی در حالت تلمبه ذخیره ای

نیروگاههای جزر و مدی در حالتی که به عنوان نیروگاه تلمبه ذخیره ای کار کنند دارای مزایا و معایبی به شرح زیر می باشند:

### الف- مزایا

مزایای استفاده از نیروگاه جزر و مدی در حالت تلمبه ذخیره‌ای به شرح زیر می‌باشد:

الف-١) از آنجا که تولید انرژی الکتریکی نسبت به زمان حساس نیست، بهترین و مناسبترین شرایط بهره گیری از انرژی جزر و مدی را می توان انتخاب و بیشترین انرژی را کسب کرد.

الف-٢) شرایط بهره برداری را می توان چنان انتخاب نمود که توربین ها و ژنراتورها اغلب در نزدیک نقطه بهینه خود کار کنند نتیجتاً توربین ها می توانند با پره‌های ثابت ، قطر بزرگ و بنابراین ارزانتر باشند.

الف-٣) هنگامیکه زمان تولید انرژی جزر و مد دقیقاً روی ساعت پیک بیفتد قدرت پیک مستقیماً به شبکه منتقل می‌شود.

الف-٤) مقدار انرژی حاصل از سیستم تلمبه ذخیره ای می تواند ضریب بار (Load Factor) سیستم و واحدهای سنتی را که در شبکه کار می کنند بهبود بخشد.

الف-٥) سیستم تلمبه ذخیره ای جزر و مدی می تواند بعنوان نیروگاه حالت ذخیره گردان (رزرو) آماده به کار در هر لحظه باشد.

الف-٦) اگر تغییرات پیش بینی نشده ای در بار شبکه درآینده رخ دهد این نیروگاه هنوز می تواند یک ظرفیت مطمئن برای ۱۲ ساعت را فراهم کند.

**ب- معایب**

علیرغم مزایای این روش سیستم فوق دارای معایب اجتناب ناپذیری به شرح زیر می‌باشد:

ب-۱) پمپ توربین های محوری گران هستند.

ب-۲) پمپ توربین ها نیاز به مجراهای آبگذر بزرگی دارند و نتیجتاً سازه بزرگی برای چنان دبی بایستی فراهم شود یعنی در انتهای هر مجرا بایستی یک لوله مکش (Draft-Tube) که هزینه ساختمانی را افزایش می دهد، تعبیه شود.

ب-۳) واحد در حالت پمپاژ به نسبت حالت توربین از راندمان بسیار پائین حدود ۷۰ درصد برخوردار می باشد.

ب-٤) تولید در پریود پیک که حدود ٥ ساعت و بصورت گارانتی شده می باشد تابعی از ارتفاع دریا می باشد که این ارتفاع بین حد بالا و پائین بطور تقریبی هر ٦ ساعت یکبار نوسان می کند.

ب-٥) قدرت مطمئن (Guaranted or Frim power) کمتر از قدرت نصب (Installed capacity) می باشد. زیرا که قدرت مطمئن بستگی به اختلاف سطح آب در زمان جزر و مد حداقل (Neap Tides) دارد در حالیکه ظرفیت نصب با توجه به ارزیابی اقتصادی مقدار قدرت و انرژی قابل دسترس در زمان جزر و مد حداکثر (spring Tideas) تعیین می گردد.

ب-٦) انرژی قابل دسترس زیادی نخواهیم داشت زیرا لازم است که یک اختلاف ارتفاع حداقلی را برای تولید برق در زمان پیک (که یک زمان خاصی است) حفظ کنیم. اولین واحد بزرگ جزر و مدی که در آن از مفهوم پمپ توربین استفاده شده نیروگاه لارنس (La Rance) در فرانسه است که در سال ١٩٦٦ راه اندازی شده است.

## ٤-٦- نیروگاههای جزر و مدی بهره برداری شده

نیروگاههای جزر و مدی موجود در جهان عبارتند از:

لارانس در فرانسه، کیسلایاگوبا در روسیه، آناپولیس در کانادا و جیانگزیا در چین

مشخصات این نیروگاههای در جدول ٤-١ آمده است.

**جدول ۴-۱- نیروگاههای جزر و مدی موجود**

| محل | دامنه متوسط جزر و مد (m) | مساحت حوضچه ($km^2$) | ظرفیت نصب شده (MW) | خروجی تقریبی (GWh/yr) | سال شروع کار |
|---|---|---|---|---|---|
| لارانس (فرانسه) | ۸/۰ | ۱۷ | ۲٤۰ | ٥٤۰ | ۱۹٦٦ |
| کیسلایاگوبا (شوروی سابق) | ۲/٤ | ۲ | ۰/٤ | – | ۱۹٦۸ |
| جیانگزیا (چین) | ۷/۱ | ۲ | ۳/۲ | ۱۱ | ۱۹۸۰ |
| آناپولیس (کانادا) | ٦/٤ | ٦ | ۱۷/۸ | ۳۰ | ۱۹۸٤ |
| متفرقه (چین) | – | – | ۱/۸ | – | – |

در ادامه مشخصات دو نیروگاه لارنس و آناپولیس آورده شده است.

## ٤-۶-۱- مشخصات نیروگاه جزر و مدی لارنس در فرانسه

نیروگاه جزر و مدی لارنس با ظرفیت ۲٤۰ مگاوات اولین نیروگاه جزر و مدی بود که در سال ۱۹٦٦ برروی رودخانه رانس ساخت آن شروع شد. مطالعات اولیه نیروگاه لارنس در سال ۱۹٤۳ شروع شده بود.

توربین‌های مورد استفاده در نیروگاه لارنس از نوع توربین‌های حبابی (Bulb-Tourbine) بود در این نیروگاه توربین ها عمل پمپاژ را نیز به عهده داشتند.

تکنولوژی استحصال برق از طریق سیستم تک حوضچه ای تولید در جزر بود.

این نیروگاه از ۲٤ واحد که قدرت خروجی هر واحد ۱۰ مگاوات بود تشکیل شده است.

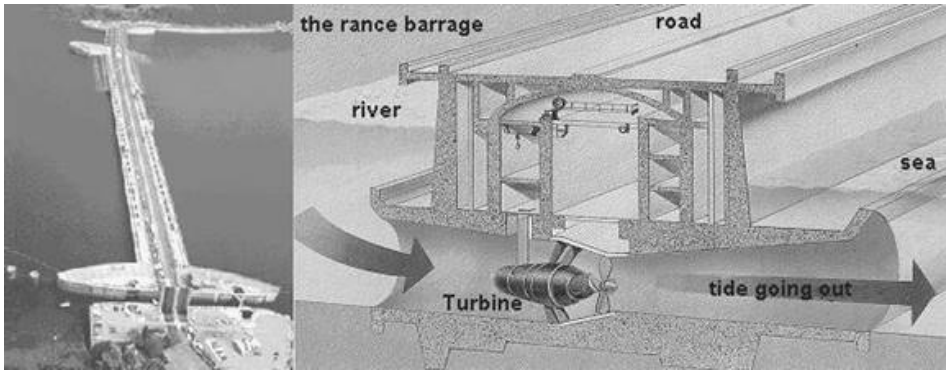
ارتفاع دامنه جزر و مد از ٥/٥ متر تا ۱۱ متر در تغییر است.

قطر چرخ توربین ۵/۳۵ متر می باشد.

دبی هر واحد ۲۷۵ مترمکعب بر ثانیه می باشد.

ظرفیت تولید سالانه $۵٤٤×۱۰^{٦}$ کیلووات ساعت و توان مصرفی توسط پمپ ها ۱۰×٦٤/۵ کیلووات ساعت می باشد.

در شکل ٤-۷ نمایی از نیروگاه جزر و مدی لارنس فرانسه آمده است.




**شکل ۴-۷ نیروگاه جزر و مدی لارنس**

## ٤-۶-۲- مشخصات نیروگاه جزر و مدی آناپولیس کانادا

در گوشه شمال شرقی کانادا و یا دقیقتر، خلیج فاندی (Fundy) در نوااسکوتیا (Nova Scotia) بعنوان بزرگترین پتانسیل جزر و مد دنیا مطرح می باشد حداکثر ارتفاع مد که بطور متوسط اندازه گیری شده ۱۱/۲۸ متر می باشد.

خلیج فاندی در طی ۱۵ سال مورد مطالعه بسیار وسیع محققین جزر و مد قرار گرفته است مکان های زیادی برای سدسازی در این خلیج مطالعه، معرفی و بررسی شده‌اند. مکان انتخاب شده ای در نزدیکی برن کت (Burn Coat) است که در حدود

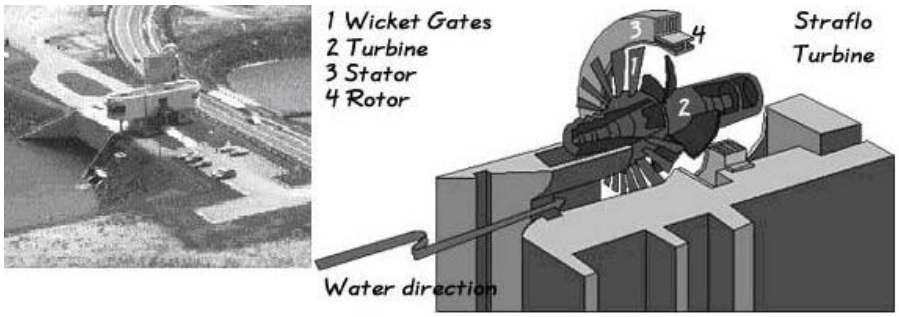
٤٥٠٠ مگاوات پتانسیل تولید آن می باشد اگرچه خلیج فاندی اولین مکان موردمطالعه برای انرژی جزر و مدی در دنیا می باشد. ولی مشکل آن دوری از نقاط موردمصرف برق می باشد. در همین راستا خط انتقالی حدود ١٠٠٠ کیلومتر رو به جنوب کانادا برای اتصال این نیروگاه به شبکه سراسری و اتصال به سیستم برق ایالات نیویورک طراحی شده است.

در ساحل شرقی خلیج فاندی شهر کوچکی بنام آناپولیس رویال واقع شده است که رودخانه آناپولیس در آن جریان دارد. در این محل یک نیروگاه به نام آناپولیس رویال که دوره احداث آن از سال ١٩٨٠ تا سال ١٩٨٦ ادامه پیداکرد احداث شد.

این اولین نیروگاه جزر و مدی در آمریکای شمالی است. توربین بکار رفته در این نیروگاه از نوع استرافلو (Straflo) با قطر چرخ ٧/٦ متر و ظرفیت ژنراتور آن ٢٠ مگاوات می باشد.

در شکل ٤-٨ نمایی از نیروگاه جزر و مدی آناپولیس و برشی از توربین استرافلو نشان داده شده است. توربین از ٤ پره و ١٨ دریچه تشکیل شده است. محدوده ارتفاع بهره برداری توربین تقریباً ١/٤ متر تا ٦/٨ متر است. راندمان توربین دربار کامل ٨٩/١ درصد می باشد.

قابل ذکر است که دامنه متوسط جزر و مد در این منطقه ٦/٤ متر می باشد ظرفیت تولید سالانه $٣٠\times١٠^{٦}$ کیلووات ساعت میباشد.




**شکل ۴-۸ نیروگاه جزر و مدی آناپولیس**

## ٤-٧- بررسی سواحل ایران برای استفاده از انرژی جزر و مدی برای تولید برق

با توجه به اینکه در دریای خزر عملاً جزر و مدی وجود ندارد (دامنه جزر و مد خیلی کم است) لذا تحقیقات آزمایشگاهی در سواحل جنوبی کشور صورت گرفته است.

برای این منظور یک سری مکانهای خاص (۳٦مورد) که دارای دامنه جزر و مدی نسبتاً خوبی هستند، در نظر گرفته شده است. در این مکانها اختلاف ارتفاع جزر و مد و میانگین سالانه پتانسیل توان جزر و مد با استفاده از نرم افزارهای مربوطه موجود تعیین گردیده که بین آنها مکانهای ماهشهر، اروندرود و دهانه خورموسی به ترتیب با دامنه جزر و مد ۳/۹ و ۲/٦ و ۲/٥ متر و میانگین پتانسیل سالانه توان ۰/۵۷ ، ۰/۳۸ و ۰/۳٦ وات بر مترمربع مساعدترین مناطق بوده اند.

از آنجا که برای انتخاب یک محل علاوه بر اختلاف ارتفاع (دامنه جزر و مد) وجود مخزن (حوضچه) طبیعی نیز پارامتری موثر است، لذا خورها و خلیج های بزرگتر از

۱ کیلومتر مربع انتخاب شده و مشخصات آنها برای استفاده از انرژی جزر و مدی براساس جدول ٤-۲ تعیین شده است.

**جدول ۴-۲- مشخصات محل های بررسی شده در خلیج فارس و دریای عمان برای احداث واحدهای استفاده از انرژی جزر و مدی**

| مکان مورد بررسی | نزدیکترین نقطه‌ای که آمار در دسترس است | مساحت مخزن ($Km^2$) | دامنه تقریبی جزر و مد (m) | انرژی پتانسیل جزر و مد در شبانه روز (Mwh) | طول بند برای ایجاد سد (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| بندر ریگ | جزیره خارک | ۱۰/٥ | ۱/٤ | ۳۰ | ٥۰۰-۷۰۰ |
| جزیره شیف | جزیره خارک | ۱۹ | ۱/٤ | ٥۰ | ۱۰۰۰-۲٥۰۰ |
| بندر ریگ | امام حسن | ۱۷/٥ | ۱/٦ | ٦۰ | ۷۰۰-۱٥۰ |
| بندر چارک | جزیره فارور | ۲/٥ | ۱/٤ | ۱۰ | ۱۰۰-۱۰۰ |
| بندر عسلویه | کنگان | ٥۰ | ۱/٤ | ۱٤۰ | ۷۰۰۰ |
| گتان | خلیج جاسک | ۱/٥ | ۱/۸ | ۱۰ | ۳۰۰ |
| کریان | شهید رجائی | ۱۳/٥ | ۲/۲٥ | ۱۰۰ | ۲٥۰۰ |
| کریان | شهید رجائی | ۲/٥ | ۲/۲٥ | ۲۰ | ۷٥۰ |
| بنذرک | شهید رجائی | ۲ | ۲/۲٥ | ۱۰ | ۱۲۰ |
| بنذرک | شهید رجائی | ۱/۲ | ۲/۲٥ | ۱۰ | ۱۰۰ |
| ترعه | اروند رود | ۳٥ | ۲/٦ | ۳۳۰ | ۸۰۰ |
| چوبیده | اروند رود | ۱۲ | ۲/٦ | ۱۱۰ | ٥۰۰ |
| درک | گالک | ۷/٥ | ۲/۱ | ٥۰ | ٥۰۰ |
| گابریک | خلیج جاسک | ۱/۷ | ۱/۸ | ۱۰ | ۱۰۰ |
| گابریک | خلیج جاسک | ۱/۷ | ۱/۸ | ۱۰ | ۱۲۰ |
| یکدار | خلیج جاسک | ۲/۲ | ۱/۸ | ۱۰ | ۲۰۰ |
| چاه بهار | چاه بهار | ٤/۲ | ۱/۸ | ۲۰ | ۸۰۰-٥۰-٥۰ |
| گچین | هنگام | ۳/۸ | ۱/۸ | ۲۰ | ٥۰۰ |
| خورموسی | دهانه خورموسی | ۱۳ | ۲/٥ | ۱۱۰ | ٦۰۰ |
| بندر امام خمینی | ماهشهر | ۱۷۰ | ۳/۹ | ۳٦۱۰ | ۱۲۰۰ |
| خورسلچ | دهانه خورموسی | ۱۷ | ۲/٥ | ۱٥۰ | ٤۰۰-٦۰۰ |
| ارزنی | سیریک | ۲/٥ | ۲/۳ | ۲۰ | ٥۰۰ |

همانطور که مشاهده می شود بندر امام خمینی و دهانه ورودی آن مناسبترین محل برای ساخت تأسیسات نیروگاه جزر و مدی می باشد. البته این انتخاب بصورت اولیه بوده و برای انتخاب نهایی باید بررسی های کاملتر و جامعتری صورت گیرد.

## ٤-٨- مسائل زیست محیطی نیروگاههای جزر و مدی

مهمترین پارامترهایی که بر تصمیم گیری در مورد ساخت نیروگاههای جزر و مدی اثر می گذارد، ممکن است اصلاً پارامترهای اقتصادی نبوده بلکه بیشتر به مسائل زیست محیطی مربوط باشد. زیرا با احداث یک طرح جزر و مدی و یک حوضچه شدت جزر و مد در آن ناحیه کاهش می یابد و بنابراین مقدار آبی که به حوضچه وارد یا از آن خارج می شود کاهش می یابد. این تغییرات اساسی، محیط زیست اطراف و داخل حوضچه را تحت تأثیر قرار داده و تغییراتی را در آن ایجاد می کند. این تغییرات عامل تغییر کیفیت آب، میزان رسوب و طبیعت می باشد. هریک از این پارامترها جداگانه بیان خواهد شد.

مزایای یک نیروگاه جزر و مدی شامل این حقیقت است که این نیروگاهها دارای منابع انرژی برگشت پذیر قابل پیش بینی هستند و با طراحی دقیق و ساخت مناسب، یک نیروگاه جزر و مدی عمر طولانی خواهد داشت.

با توجه به اینکه منابع سوخت موجود در کره زمین محدود است و تزریق فراوان گاز $co_2$ به اتمسفر (ناشی از احتراق سوخت در نیروگاههای حرارتی) که سبب افزایش

گازهای گلخانه ای می گردد، استفاده از نیروگاههای جزر و مدی را در قرن اخیر به دلیل مسائل زیست محیطی بیش از پیش مدنظر و مورد توجه قرار داده است.

### ٤-٨-١- رسوبات

عرض و عمیق کردن مدخل ورودی یک رود به دریا سبب می شود که از سرعت جریان آب در این ناحیه کاسته شود به همین دلیل رسوبات در این ناحیه تجمع پیدا می کنند تا زمانیکه عرض مدخل به اندازه ای کاهش پیدا کند که تجمع رسوبات در این ناحیه کم شود. به همین دلیل محل تجمع رسوب به پائین دست انتقال پیدا می کند. این مکانیسم ساده بوسیله تغییرات جریان (دبی) رودخانه پیچیده می شود، مثلاً کم آبی سبب می شود که رسوبات در بستر رود تجمع یابند درحالیکه جریانهای شدید نظیر سیل سبب می شود که رسوبات به پائین دست انتقال پیدا کنند. بنابراین دو مکانیسم برای حرکت رسوبات وجود دارد، یکی که رسوبات را به سمت بالا دست در بالای دهانه منتقل کنند و دیگر اینکه رسوبات را به بستر رودخانه منتقل کنند. ترکیبی از دو عامل فوق باید در طراحی سد و تعیین شکل دهانه در نظر گرفته شود و عمر مفید سد نیز برمبنای آن تعیین گردد.

### ٤-٨-٢- اثرات بر طبیعت

اثرنیروگاههای جزر و مدی بر طبیعت بسیار ناچیز است زیرا این نیروگاهها سبب بارش بارانهای اسیدی و یا موجب تشعشات رادیواکتیو در طبیعت نمی شوند. همچنین وقتی که نیروگاه جزر و مدی در حال کار است آلودگی‌های صوتی آن خیلی کم است. با احداث یک سد برای ساخت یک نیروگاه از شدت جزر و مد در آن محل کاسته شده و با تغییرات رسوب گذاری شکل زندگی آبزیان در اطراف حوضچه تغییر می کند. احداث حوضچه در مسیر گذر ماهیان مانعی پدید می آورد که سبب تلف شدن برخی از آنها در حین عبور از آن واحد می شود. شرایط حیات پرندگانی که بطور دائمی یا فصلی در دهانه رود زندگی می کنند نیز با احداث این حوضچه تغییر می کند. به این نحو که با احداث سد ارتفاع آب در حوضچه بطور تنظیم شده خواهد بود و لذا دوره زمانی تغذیه مرغان دریایی تغییر می کند.

برای انجام خاکریزی سد لازم است ناحیه دیگری تخریب شود تا مواد اولیه برای خاکریزی فراهم گردد. احداث سد همچنین چشم انداز طبیعی موجود را از بین می‌برد، ولی به دلیل حوضچه ای که به وجود می آید محل مناسبی برای قایقرانی و ورزشهای آبی می باشد، بنابراین جلب و جذب توریست فراهم می گردد.

شاید این سوال مطرح شود که ساخت این گونه سدها در کنار ساحل با نظریات شورای انرژی برای محافظت از سواحل دریا مغایر می باشد اما در پاسخ باید گفت که به منظور بررسی اثرات سوء زیست محیطی یک نیروگاه انرژی تجدیدپذیر باید

تمامی اثرات مفید و سوء زیست محیطی ناشی از این گونه نیروگاهها را در نظر گرفت چه بسا در تمامی محاسبات مربوط به نیروگاههای جزر و مدی، سهم هزینه ناشی از رفع اثرات سوء زیست محیطی در حدود صفر بوده و یا درصد بسیار ناچیزی را از کل هزینه ها به خود اختصاص داده است به هر حال این موضوع این مهم را اثبات می کند که تأثیرات نیروگاههای جزر و مدی روی محیط زیست می تواند ساخت این نیروگاهها را از نظر محیط زیستی توجیه کند.

ساخت سد باعث بالاآمدن سطح آب حداقل و پائین آمدن سطح آب حداکثر در حوضچه می گردد. تغییراتی که برای جزر و مد و جریانهای آب در زمان ساخت و همچنین دیرتر در زمان عملکرد یک سد اتفاق می افتد باعث تغییراتی در مشخصات رسوب و همچنین کیفیت آب می گردد. این عوامل سهم عمده ای در تأثیر روی دهانه ورودی جزر و مد همچنین محیط و اکولوژی دارد.

این موضوع قابل توجه است که تخمین در ارتباط با تأثیر روی محیط باید همراه با تعریف دقیق از تغییرات ممکن در الگوی حرکت آب باشد به هر حال واقعیت در مورد نیروگاه سه ورن (Severn) این است که وجود این سد می‌تواند تأثیرات جبران کننده‌ای در مورد سطح ساحل، شنها و رسوب معلق در آب داشته باشد. برای مثال آب در مدخل ورودی به صورت طبیعی میزان زیادی از رسوبات معلق را همراه خود می‌آورد و این باعث غیرقابل نفوذ بودن امواج نور در آب می شود. اما با ایجاد سد، شدت جریانات جزر و مدی کاهش می یابد و باعث می شود بعضی از این رسوبات

ته نشین شده و باعث شفاف‌تر شدن آب گردد. با ایجاد این تغییر نفوذ امواج آفتاب بیشتر شده و باعث افزایش پتانسیل آب برای تأمین غذای ماهی ها و پرندگان خواهد شد.

تأثیرات دیگر این نیروگاهها را روی محیط زیست می توان از جمله نقش موثر سد در محافظت بر علیه طوفانها، محدودکردن امواج محلی، تأثیر روی اقتصاد محلی ایجاد اشتغال، فرصتهای پیش آمده برای ورزشهای آبی، همچنین با توجه به محل قرارگیری سد، بوجودآمدن راههای جدید و راه آهن را از نکات مثبت این نیروگاه در نظرگرفت.

## ٤-٩- نتیجه گیری

نتایج زیر در مورد انرژی جزر و مدی حاصل شده است:

در دسترس بودن انرژی جزر و مدی محدود به مناطقی است که در آنها دامنه جزر و مد بزرگ است.

تکنولوژی جزر و مدی نسبتاً تکامل یافته است، اما روشهای معمول استخراج این نوع انرژی هنوز هم به بهبود کارآیی اقتصادی نیاز دارند.

موقعیت رقابتی برق جزر و مدی از بسیاری جهات به ویژگی های محلی بستگی دارد، اما بطور کلی این مسئله به نرخهای بهره و میزان داخلی شدن هزینه های اجتماعی تولید برق فسیلی وابسته است.

پیش بینی های توسعه، تولید ۱۲ تراوات ساعت در سال از نیروگاههای جزر و مدی را تا ۲۰۲۰ و تحت سناریویی که بر شرایط فعلی اقتصادی و رفتار فعلی هزینه های اجتماعی مبتنی است برآورد می کند. تحت سناریوی مساعد مقدار تولید ٦۰ تراوات ساعت در سال پیش بینی می شود این ارقام به ترتیب معادل ۲/۷ و ۱۳/٥ Mtoe[1] می‌باشد.

طرحهایی که مستلزم ساخت سد و تخریب قابل ملاحظه زیستگاههای طبیعی هستند، از نظر کسانی که دیدگاههای موافق و گسترده ای نسبت به محیط زیست دارند قابل قبول تلقی نمی شوند. اگر چنین دیدگاههایی رایج باشند این طرحها نمی توانند در رسیدن به پتانسیل های پیش بینی شده نقش مهمی ایفا کنند.

1- Mtoe = Mega tone of oil equivalent

# فصل پنجم:

# ترجمه مقاله

# (انرژی تجدیدپذیر)

# انرژی تجدیدپذیر[1]

## نیروی جزر و مد

نیروی جزر و مد دوبار در روز بکار گرفته می شود از تغییرات در سطح آب دریا که علت اصلی و عمده آن نیروی جاذبه از طرف ماه و به مقدار خیلی کمتر نیروی جاذبه از طرف خورشید برروی اقیانوسهای جهان است.

چرخش زمین نیز یکی از عامل های تولید جزر و مد می باشد. نیروی جزر و مد یک تفکر جدید نیست بلکه از قرن یازدهم در انگلیس و فرانسه برای آسیاب کردن گندمها مورد استفاده قرار گرفته است.

## فیزیک جزر و مد

درک این قاعده که جریانات جزر و مدی چگونه بالا می آید، برای توضیح دادن نیروی جزر و مدی یک ضرورت است.

درحالیکه درک کامل این فعل و انفعالات کاملاً پیچیده است در ابتدا برای جزر و مد می توانیم یک شرط کلی بوسیله تحقیق کردن نیروی جاذبه ماه و خورشید برروی اقیانوسها و همچنین تأثیر نیروی گریز از مرکز بیان کنیم.

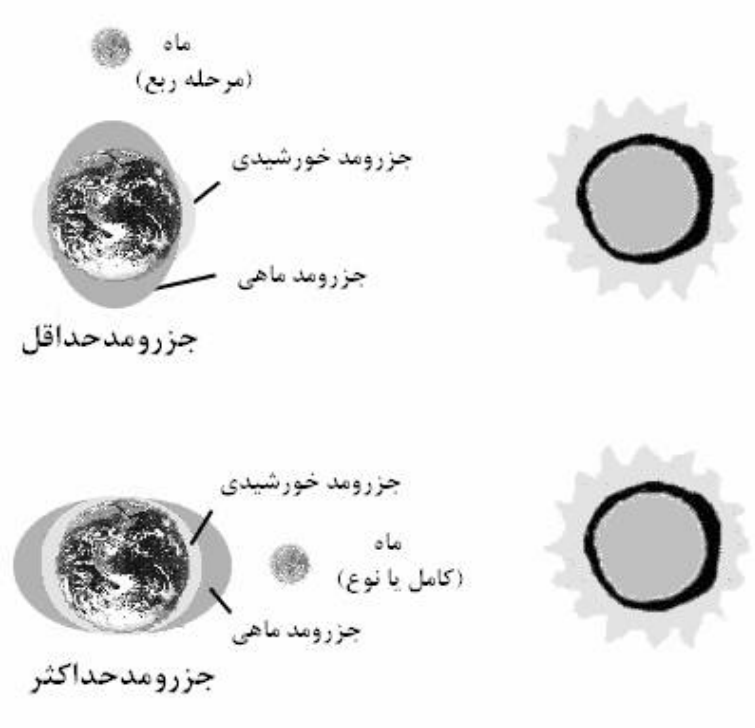
---

۱- اصل مقاله در پیوست آمده است.

## اثرات جاذبه و نیروی گریز از مرکز

اثر متقابل ماه و زمین باعث به وجودآمدن برآمدگی اقیانوسها به سوی ماه می شود. در حالیکه در طرف مقابل اثر نیروی جاذبه خورشید هم نیز باعث بوجود آمدن برآمدگی اقیانوسها به سوی خورشید می شود. برآمدگی های حاصل از نیروی جاذبه ماه برروی سطح اقیانوسها را جزر و مد ماهی گویند. و برآمدگی های حاصل از نیروی جاذبه خورشید را که مقدار آن خیلی کمتر است را جزر و مد خورشیدی می گویند.

خورشید و ماه دارای موقعیت یکسانی در بین اجسام آسمانی نمی باشند، اما تغییر موقعیت آنها نسبت به یکدیگر برروی دامنه جزر و مد (اختلاف بین کمترین جریانات جزر و مدی و بیشترین جریانات جزر و مدی) تأثیر می گذارد. برای مثال، زمانیکه ماه و خورشید در یک سطح یکسان با زمین می باشند. دامنه جزر و مد منطبق با دامنه جزر و مد وابسته به خورشید و جزر و مد وابسته به ماه می باشد. در نتیجه دامنه جزر و مد بیشترین حالت ممکن می شود. (جزر و مد حداکثر) متناوباً زمانیکه آنها نسبت به یکدیگر در یک زاویه قائمه هستند. دامنه جزر و مد پائین آمده که نتیجه آن جزر و مد حداقل می باشد. (شکل ۱)



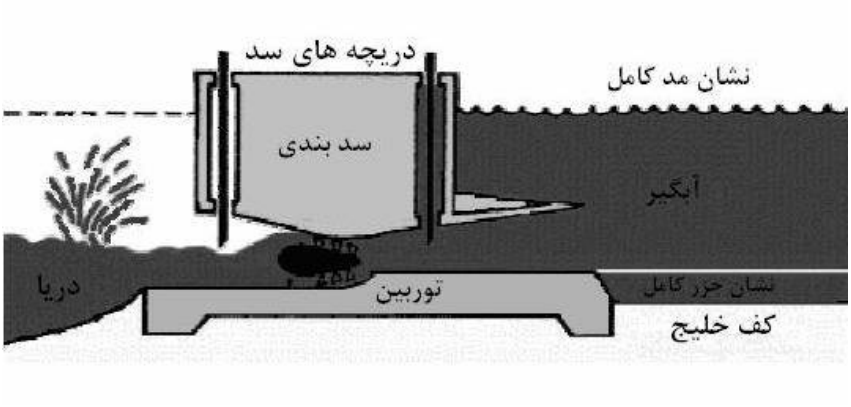

**شکل ۱- اثر جاذبه خورشید و ماه برروی دامنه جزر و مد**

## تولید برق از جزر و مد

تولید برق از طریق جزر و مد بسیار شبیه تولید برق بوسیله آب یا بخار است. با این تفاوت که آب قابلیت جریان در دو جهت را دارد و باید قبول کرد که یکی از توسعه‌های تولید به حساب می آید.

روش ساده تولید از نیروگاههای جزر و مدی شناخته شده است با روش تولید در جزر با سدبندی در سرتاسر دهانه رودخانه، آب وارد سد می شود. دریچه سد برروی سد این قابلیت را دارد که آبگیر جزر و مدی را از داخل کردن جریانات جزر و مدی حداکثر پر کند و از میان دستگاههای توربین جریانات جزر و مدی به سوی بیرون راهی می شوند (معروف به جریان جزر) روش دیگر تولید در مد می باشد که

تولید نیرو از داخل کردن جریانات مد ممکن می باشد. اما این روش کمتر از روش تولید در جزر مورد توجه قرار گرفته است.




**شکل ۲- روش تولید در جزر با توربین حبابی**

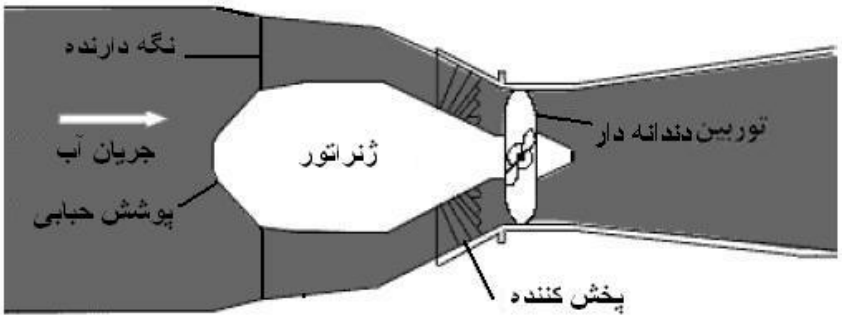
همچنین در روش تولید دوطرفه، تولید برق در دو جهت داخل شدن و خارج شدن جریانات جزر و مدی ممکن می باشد.

## توربین های استفاده شده در نیروگاههای جزر و مدی

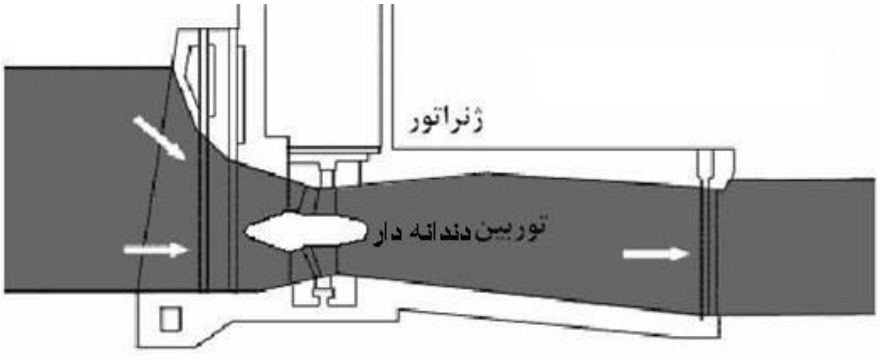
توربین های متفاوتی از نظر شکل و پیکربندی مورداستفاده قرار می گیرند. برای مثال، در نیروگاه جزر و مدی لارنس در نزدیکی شهر مالو برروی ساحل بریتانی در فرانسه توربین های حبابی مورد استفاده قرار گرفته است. (شکل ۳) در سیستمهای با توربین حبابی آب در اطراف توربین جریان دارد و دسترسی به ساختمان توربین برای تعمیر مشکل می باشد. برای تعمیر توربین باید از جریان آب جلوگیری شود. توربین های دندانه دار (شکل ٤) مانند توربین های استرافلو در ایالات آناپولیس در

نوااسکوتیا در جنوب شرقی کانادا استفاده می شوند. مشکلات ژنراتورها نصب شده در سد بندی این است که در موقعیت قائم نسبت به تیغه های توربین قرار دارند. متأسفانه تنظیم کردن کارآیی این توربین مشکل می باشد و برای استفاده کردن در پمپاژ آب نامناسب می باشند. توربین‌های لوله ای برای استفاده در طرح جزر و مدی سه ورن در انگلستان پیشنهاد شده است.

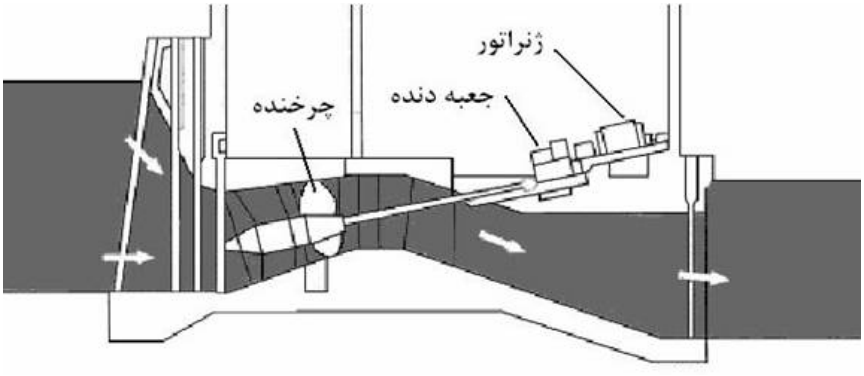
در این پیکربندی (شکل ۵) تیغه ها به یک شفت طولانی متصل هستند و زاویه آن آنقدر جهت یابی می شود (تنظیم می شود) که ژنراتور در بالای سدبندی قرار بگیرد.




**شکل ۳- توربین حبابی**



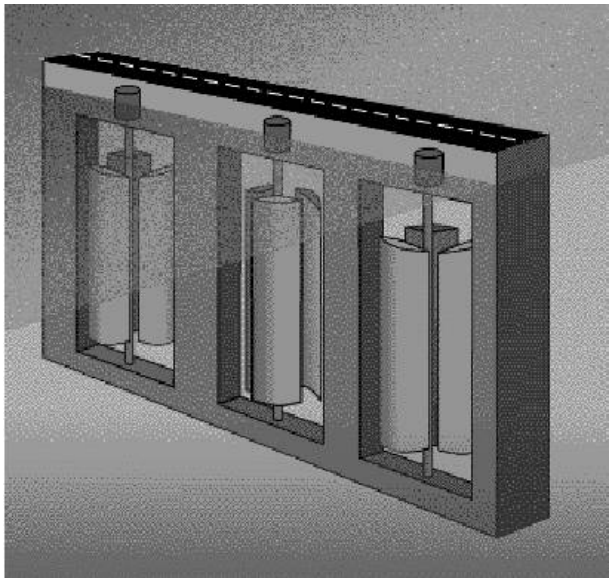

**شکل ۴- توربین دندانه دار**




**شکل ۵- توربین لوله ای**

## پره های جزر و مدی

پره های جزر و مدی یک تفکری است که به وسیله قرقره های غول پیکر کانال را کاملاً مسدود می کند، تمام نیرو آبی که از میان آنها عبور می کند در شکل ٦ نشان داده شده است.



**شکل ۶- پره های جزر و مدی**

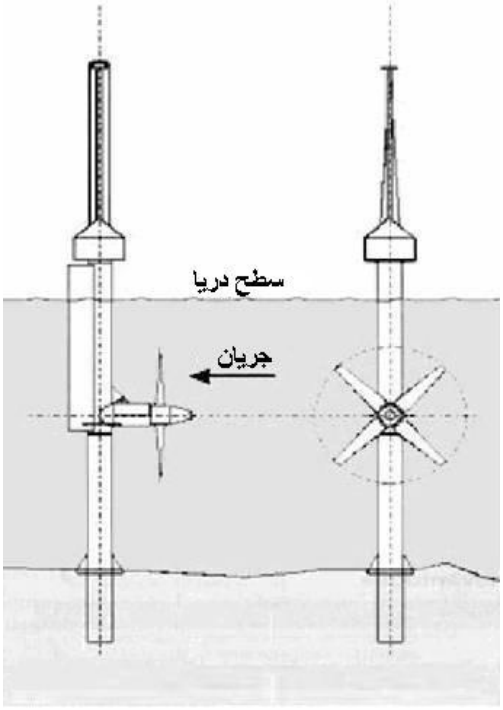
برخلاف سدبندی نیروگاههای جزر و مدی، پره‌های جزر و مدی می توانند در آبگیرهایی که نامحدود باشند نظیر کانال بین خشکی و ساحل جزیره و یا بین دو جزیره استفاده شوند.

در پره های جزر و مدی از توربین دیویس استفاده می شود که برای تنگه سن‌برنادینو طراحی شده است.

## توربین های جزر و مدی

به زودی پس از بحران نفت در سال ۱۹۷۰ توربین های جزر و مدی پیشنهاد شد چرا که تنها آنها مناسب با این واقعیت بودند.

توربین های جزر و مدی پیشنهاد شده برای استفاده برروی سد بندی و سیستمهای پره های جزر و مدی همانند توربین های بادی دارای مزیت بزرگی بودند و آن کاهش دادن صدمات زیست محیطی است.




**شکل ۷- طرح نصب توربین دریایی در کف دریا**

توربین های جزر و مدی استفاده شده در جریانات جزر و مدی چرخشی با سرعت بین ۲ تا ۳ متر بر ثانیه دارند که تولیدی بین ٤ تا ۱۳ کیلووات بر مترمربع دارند. در چرخش های سریعتر (بیشتر از ۳ متر بر ثانیه) باعث بوجود آمدن فشار و تنش های بی مورد برروی تیغه های توربین می شود، همانند توربوژنراتورهای بادی که در اثر نیروهای باد و طوفانهای شدید آسیب می بینند. البته باید دانست که سرعت پائین هم خیلی اقتصادی نمی باشند.

## محدودیت نیروگاههای جزر و مدی

ضمن اینکه نیروگاههای جزر و مدی می تواند پیشنهاد مفیدی باشد، برای بهبود بخشیدن حمل و نقل بعلت توسعه دادن ترافیک دریایی یا پل های خط راه آهن در سرتاسر دهانه رودخانه و کاهش دادن انتشار گازهای گلخانه ای با جایگزین کردن نیروی پاک جزر و مد به جای سوخت های فسیلی، همچنین زیانهای زیست محیطی مهمی وجود دارد که باعث شده نیروگاه جزر و مدی کمتر مورد توجه قرار گیرد.

## تغییرات جزر و مدی

ساختمان سدبندی جزر و مدی در دهانه رودخانه سطح جزر و مد را در آبگیر تغییر می دهد. پیشگویی این تغییرات مشکل است و می تواند منجر به پائین یا بالاآمدن سطح جزر و مد شود. این تغییرات نیز همچنین تأثیر مشخصی برروی رسوب سازی و گل آلودگی آب داخل آبگیر دارد.

بعلاوه، کشتیرانی می تواند تحت تأثیر قرار بگیرد بعلت تغییر عمق دریا که ناشی از افزایش رسوب سازی در داخل آبگیر است.

بالاآمدن سطوح جزر و مدی می تواند بعلت طوفان در ساحل باشد. که می تواند موقعیت زنجیره غذایی دریایی را تحت تأثیر قرار بدهد.

## تغییرات اکولوژی

زیانهای وسیع بالقوه ای از نیروگاههای جزر و مدی به وجود می آید برروی حیوانات و گیاهانی که در داخل دهانه رودخانه زندگی می کنند. به همان اندازه که سدبندی های جزر و مدی کم ساخته شده اند، مطالعه درباره اثرات و صدمات حاصل از نیروگاههای جزر و مدی برروی محیط محلی بسیار کم می باشد.

نتیجه گرفته می شود که اثرات ناشی از سدبندی جزر و مدی به موقعیت محیط و موقعیت دریایی بسیار وابسته است.

## نیروگاههای جزر و مدی در استرالیا

نیروگاه جزر و مدی در منطقه کیمبرلی در غرب استرالیا پیشنهاد شده است، پس از سال ۱۹٦۰ هنگامیکه مطالعه انجام شده درباره منبع جزر و مدی برای تولید بیشتر از ۳۰۰۰مگاوات در منطقه دربی انگلیس تصدیق شد.

در سالهای اخیر ساختن نیروگاههای جزر و مدی ۵۰ مگاواتی در منطقه دربی نیروگاههای آبی این منطقه را توسعه داده است.

این پروژه ۱ میلیون دلار بعنوان هدیه ازطریق دفتر انرژی تجدیدپذیر استرالیا برای توسعه دادن این پروژه در آینده دریافت کرد.

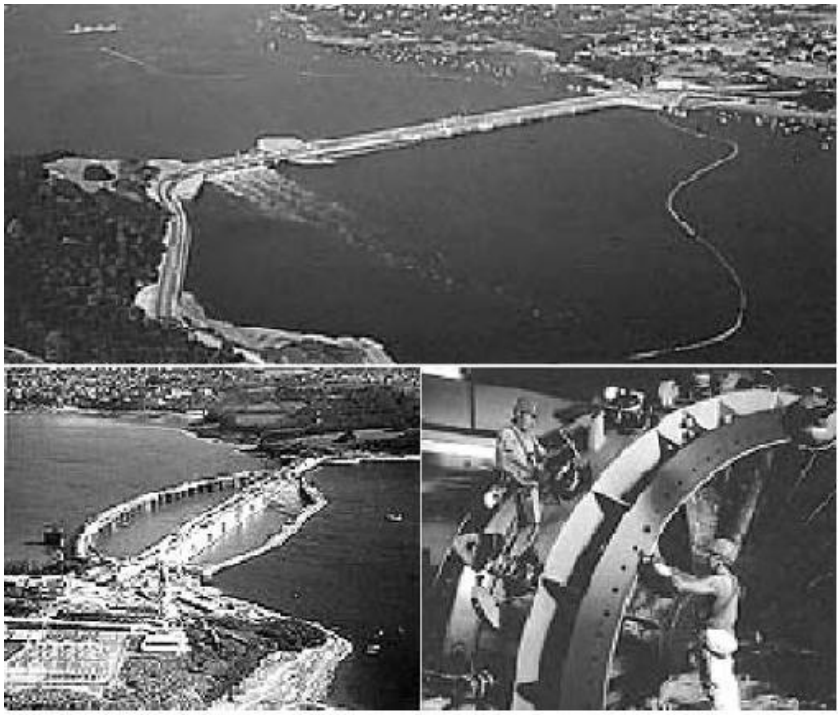
در فرانسه ۷۸ میلیون دلار برای بازسازی مکان صنعتی،نیروگاه جزر و مدی لارنس در فرانسه اختصاص داده شده است که بازدیدکننده های زیادی در فرانسه دارد.

با اندیشه درست و تفکر مهندسی ۳۱سال پیش نیروگاهی که شامل یک سد بطول نزدیک به نیم مایل و همچنین بکارگرفتن یک پل بزرگ که مالو و دینارد را به یکدیگر متصل می کرد ساخته شد.

در زمان مد، آب دریا در سد به دام انداخته می شود و در زمان جزر که آب در حال فروکشی است، آب به عقب دریا جریان پیدا می کند. در این مسیر از بین ۲٤توربین که به ژنراتورها متصل هستند عبور می کند و برای شهر به اندازه کافی برق تولید می کند.

در این پروژه توربین هایی نصب شده اند که توانایی چرخش در هردوجهت داخل شدن و خارج شدن جریانات جزر و مدی را دارند. از اینرو توربین ها در داخل سد قرار داده شده اند. هر ساله ٤٠٠هزار جهانگرد از لارنس بازدید می‌کنند.

۹۰ درصد برق بریتانی از نیروگاه لارنس تهیه می شود. توربین های با عمر بالای ۱۰ سال یک به یک از نظر تجهیزات بهبود پیدا می کنند.



**شکل ۸- نیروگاه جزر و مدی لارنس**

امروزه نیروگاههای خورشیدی و نیروگاههای وابسته به ماه در دانشگاهها و دانشکده‌های مهندسی آمریکا تدریس می شوند و در آنجا مجموعه ماشین آلات و دستگاههای مدرن و افرادی که قوه ابتکار آنها این دستگاهها را خلق کرده وجود دارند.

انرژی های تجدیدپذیر یک دوره با ارزش را بوجود آورده اند. ما باید این انرژی‌ها را جستجو کنیم، ما می توانیم بطور مستقیم از انرژی خورشید برای گرم کردن آب و یا خانه هایمان استفاده کنیم. ما می توانیم از انرژی خورشیدی برای تأمین کردن بخار بویلرها استفاده کنیم. ما می توانیم ماشین های بخار بسازیم که انرژی را از سطح گرم اقیانوسها بگیرد و سرمای زیرین آب را تخلیه کند. ما از پیل های سلولهای خورشیدی برای تبدیل کردن انرژی خورشیدی به برق استفاده می کنیم. اکثر اوقات بطور طبیعی کار تبدیل گرما به نیروی مورداستفاده ما را انجام می دهند.

بدرستیکه آسیابهای بادی و نیروگاههای وابسته به تولید نیروی برق بوسیله آب یا بخار از نیروی خورشید استفاده می کنند.

ما نظیر اینگونه انرژیها را انرژی تجدیدپذیر می نامیم. زیرا فقط خورشید جایگزین چیزهایی می شود که ما استفاده می کنیم.

زود یا دیر همه منابع تمام می شوند حتی خورشید آن فقط در مقایسه با زندگی کوتاه انسانی ما، نیرو و قدرت پایان ناپذیر دارد.

## نیروگاههای جزر و مدی: چگونگی کار آنها

مقدار زیادی انرژی در جریانات جزر و مدی ذخیره می شود از داخل و خارج شدن جریانات جزر و مدی ما می توانیم انرژی را از طریق نیروگاههای جزر و مدی تسخیر کنیم. نیروگاههای جزر و مدی می تواند در سرتاسر دلتا، دهانه رودخانه،

ساحل و یا مکانهای تحت تأثیر جریانات جزر و مدی امتداد پیدا کند. سدبندی در ساحل یا رودخانه اولین کار در دست اقدام است.

زمانیکه بیشترین مد داخل می شود، جریان آب از میان توربین عبور می کند و برق را بوجود می آورد. در بعضی از مواقع آب از پشت سدبندی بالاتر می آید. دریچه سد میزان آب سد را کاهش می دهد تا آب به بالای سد برسد.

هنگام آمدن کمترین جزر، دریچه سد بالا رفته و آب به سوی خارج سدبندی جریان می یابد. در ابتدا انرژی از بین توربین ها منتقل می شود. بدین گونه از طریق توربین‌های دوطرفه برق تولید می شود.

تعدادی از نیروگاههای جزر و مدی توانایی تولید ۳۲۰ مگاوات برق را دارند.

## نیروگاههای جزر و مدی: تاریخچه و محل

آسیاب های جزر و مدی در اوایل سال ۱۹۰۰ میلادی اختراع شدند در آن زمان توربین های دوطرفه وجود نداشت. بنابراین آنها فقط در یک جهت جریانات جزر و مدی مورد استفاده قرار می گرفتند. زمانیکه جریانات جزر و مدی وارد می شوند دریچه سد کم کم بسته می شود و آب در بالای آن محصور می شود و سپس هنگامیکه کمترین جزر رخ می دهد دریچه سد بالارفته و آب، چرخهای آبی را به گردش در می آورد.

نیروگاههای جزر و مدی پیش از این در کانادا، فرانسه، روسیه و چین مورد استفاده قرار گرفته است. بیشترین تولید یک نیروگاه در فرانسه برروی رودخانه رانس ۳۲۰ مگاوات است یک مکان مناسب برای نیروگاه جزر و مدی در خلیج فاندی، بین نیوبرونسوئک و نواسکوتیا می باشد. اختلاف ارتفاع جریانات جزر و مدی به ۵۰ فوت می رسد.

## نیروگاه جزر و مدی: طرح و مشکلات

ساخت نیروگاههای جزر و مدی خیلی گران قیمت است و معمولاً آنها هنگامی ساخته می شوند که ما احتیاج بیشتری به برق داریم. جریانات جزر و مدی همواره در حال تغییر هستند، اما نیاز ما به برق در شب نسبت به روز خیلی کمتر است.

نیروگاههای جزر و مدی نیز یکی از مشکلات محیطی به حساب می آیند. بسیاری از گونه های ماهی ها در دهانه رودخانه ها، جایی که سدبندی است شنا می کنند و بوسیله توربین ها کشته می شوند. همچنین سدبندی اقامتگاه پرندگان دریایی، ماهی‌ها و حیوانات دیگر را ویران می کند.

نیروگاههای جزر و مدی با ساختن مانع در سرتاسر دهانه رودخانه بهره برداری می‌شوند. گردش جریانات جزر و مدی توربین ها را به چرخش درآورده تا برق تولید کنند. یکی از نیروگاههای جزر و مدی اروپا نزدیک رانس در شمال فرانسه می باشد. تعدادی مکان برای نیروگاه و گاه جزر و مدی در UK (قسمتی از شمال غربی اروپا

که شامل انگلیس و شمال ایرلند می باشد) می تواند برای بهره برداری توسعه پیدا کند. اشکال این طرحها اثرگذاشتن به محل سکونت پرندگان دریایی و ماهی ها می‌باشد.

چرا که محل سکونت آنها با جریانات جزر و مدی ویران می شود همچنین سدبندی فقط برای ۱۰ ساعت در روز نیرو فراهم می کند. نیروی برای ۱٤ ساعت دیگر باید از روش های دیگر فراهم شود.

موج های انرژی زیادی دارند، آزمایش بوسیله طرحهای گوناگون و متفاوت بوسیله ژنراتور ثابت کرده است که می توانیم از موج برق تولید کنیم. مشکلاتی وجود دارد برای توسعه دادن و ساختن ژنراتورهای نیروگاههای موجی که هم ارزان و هم کارآمد باشند. آنها باید به اندازه کافی در مقابل طوفان های شدید مستحکم و قوی باشند و آنقدر سبک باشند که با موج های کوچک هم کار کنند. اشکال این طرحها اثر گذاشتن به محل سکونت پرندگان دریایی و ماهی ها می باشند. چرا که محل سکونت آنها با جریانات جزر و مدی ویران می شود.

اگر همه پروژههای معقول در انگلیس برای نیروگاههای جزر و مدی بهره برداری شوند. می تواند راندمان بالای ۵۰ کیلووات ساعت در سال را بوجود آورد. که نشان دهنده ۲۰ درصد از برق مورد تقاضا در انگلیس می باشد. در حدود ۹۰ درصد از این پتانسیل در سه ورن، خلیج مورکمب، سولوای، هامبر و واش قرار دارد.

سد بندی برروی سه ورن ١٦ کیلومتر طول دارد. با ٢١٦ توربین بزرگ می تواند به اندازه ٨٦٤٠ مگاوات برق تولید کند. که ٧درصد برق انگلیس و ولز را تأمین می کند. این پروژه بزرگ هزینه ای بالای ٨٠٠٠ میلیون دلار دارد. هفت سال سدبندی و تولید اولین برق از آن تولید کشید و دو سال بعد از آن خروجی کامل از آن بدست آمد.

## اثرات اجتماعی

تولید برق از طریق جزر و مد باعث بوجود آمدن گازهای اسیدی نمی شود. کارهای محیطی و تحقیقات منطقه ای توسعه و افزایش بهره برداری از نیروگاههای جزر و مدی را تصدیق می کند. سدبندی طول زیادی از خط ساحلی را دربرابر موج های بلند حفاظت می کند.

یکی از بزرگترین طرحهای نیروگاه جزر و مدی بهره برداری شده در سطح جهان در دهانه رودخانه رانس بین دیناردو مالو در فرانسه می باشد و خروجی آن ٢٤٠ مگاوات می باشد. که در سال ١٩٦٦ به اتمام رسیده است. این طرح آزمایشی برای آینده و برای سدبندی وسیع روی خلیج میچل بسیار مؤثر بود. بعد از برخی از کمیسیون های دشوار درباره توربین های طرح رانس در بهره برداری منظم و قابل اطمینان در ٢٤ سال فرانسوی ها تاکنون هیچ اقدامی برای انجام دادن طرحهای بزرگتر در این زمینه نداشته و ترجیح داده اند در عوض روی نیروگاههای هسته ای سرمایه گذاری نمایند.

نظریات در مورد اثرات محیطی سدبندی جریانات جزر و مدی بزرگ تقسیم می‌شوند. عده ای گفته‌اند خسارت جبران ناپذیری بر اکوسیستم از طریق دهانه رودخانه تحمیل می شود در حالیکه عده ای دیگر ادعا کرده اند که هیجان جدیدی برای پرندگان آبی، ماهی ها و گیاهان دریایی به حساب می آید.

## نتیجه

زیان نیروگاههای جزر و مدی و نیروگاههای موجی این است که با جریانهای جزر و مدی محل سکونت پرندگان دریایی در آن منطقه تحت تأثیر واقع می شود. و همینطور محل سکونت ماهی ها نیز با تغییرات جزر و مدی تحت تأثیر قرار می گیرد. همچنین نیروگاههای جزر و مدی و موجی می توانند فقط ۱۰ ساعت در روز از ۲٤ ساعت نیرو تولید کنند. بنابراین آنها باید در ۱٤ ساعت دیگر به روشهای دیگر که گرانتر می‌باشد نیرو تولید کنند.

اما نیروگاههای جزر و مدی و موجی امتیازهای مهمی دارند. یک امتیاز مهم آنها تولید ارزان است و همچنین ساختن این نیروگاهها محیط زیست را همانند سوخت‌های فسیلی آلوده نمی کند.

## توسعه نیروگاههای جزر و مدی در دهانه رودخانه ها و محیطهای دریایی

تولید برق از طریق تحت کنترل درآوردن نیروی حاصل از جزر و مد اقیانوسها شروع یک آزمایش برای روآوردن به انرژیهای تجدیدپذیر بوسیله کشورهای صنعتی بود. نیروگاههای جزر و مدی از نقطه نظر اقتصادی مناسب می باشند به علت افزایش مداوم قیمت سوخت‌های فسیلی و همچنین وجود کشورهایی که پیش از این چگونگی طرز کار و تجهیزات تولید برق از طریق جریانهای جزر و مدی را دارا بودند.

نیروگاههای جزر و مدی در اصول علمی همانند تولید نیروگاههای آبی با تجهیزات درون رودخانه ها است. سد و نیروگاه و توربین ها در سرتاسر دهانه رودخانه یا خلیج ساخته می شدند و اندازه ساخت سد در دهانه آبگیر از تولید برق برای یک دوره معقول پیروی می کند. برای طراحی ساده، ساخت آبگیر با پرشدن آن در مدت زمان مد از میان دریچه های سد با چرخش آزادانه توربین ها مطابقت دارد. در حالت جزر نیرو تولید می شود.

توسعه نیروگاههای آبی ممکن است خلیج های بزرگ را احاطه کند و پهنای ژئوگرافی مناطق را تحت تأثیر قرار دهد. نادیده گرفتن و حذف انرژی حاصل از جزر و مد و کاهش مقدار نمک موجود در آب دریا مکان های سدبندی را تغییر می دهد. الگوی گردش آب و رژیم جزر و مدی نیز مکانهای سدبندی را تغییر می دهد. ممکن است طول سدبندی به پیش از ۵۰۰ کیلومتر از مکان سدبندی به سوی دریا افزایش پیدا

کند، برای محدودکردن سیل، اما بخش عمده ای از اطراف ساحل بعلت بالا آمدن دراز مدت سیل در معرض خسارت قرار دارد.

در داخل آبگیر دامنه جریانات جزر و مدی کاهش پیدا می کند، اما سطح متوسط آب بعلت افزایش لایه بندی بالا می آید، تولید بیش از حد این لایه بندی ها برروی گرما و پوشش یخ بندان مناطق معتدل اثر می گذارد. در بسیاری از آبگیرها گل آلودگی کاهش یافته و رسوب سازی و لایه گذاری در حال افزایش است.

کاهش موجهای طوفانی و جریانات جزر و مدی خیلی زیاد، می توانند سیل و فرسایش را کاهش دهند اما تغییرات در دامنه جریانات جزر و مدی ممکن است زهکشی آبهای زیرزمینی را دگرگون کند و به سبب آن، تغییرات در شرایط آب و هوایی منطقه ایجاد شود. نهرهای فرعی در دسترسی یکی از مشکلات حوزه های آبگیر است که می تواند با کاهش دادن زمان های شستشو توسعه پیدا کند.

تغییرات در گل آلودگی و رسوب سازی ممکن است شرایط حیاتی را در حوزه های آبگیر دگرگون کند و گونه‌های بی مهره تغییر مکان دهند. بدین گونه زنجیره غذایی دگرگون می شود. مکان های صید ماهی تحت تأثیر قرار گرفته از جمله مناطقی که در آن ماهی بسیار فراوان است و ماهی ها بطور گروهی مکرر از آن منطقه عبور می‌کنند.

معرفی کردن توربین های وابسته به نیروی آب (توربین های آبی) در داخل دهانه‌های رودخانه ها، مشکلات اساسی برای گذرگاه ماهی ها بوجود آورد چرا که به تأسیسات نیرو در سواحل رودخانه ها متصل است.

چندین اعتراض مهم: در اطراف دهانه رودخانه تعداد زیادی ماهی،انواع ماهی های بزرگ وپستانداران دریایی وجود دارند. صدمات و اثرات محیطی ممکن است باعث تغییرمسیر کوچ آنها شود و تغییرات در دسترسی به مکانیزم غذایی حاصل شود.

سیاست AFS در موضوع توسعه نیروگاههای جزر و مدی در دهانه رودخانه ها و محیط های دریایی بصورت زیر است:

۱- ترویج تأثیر منابع اطلاعاتی در رابطه با ساخت مکان نیروگاههای جزر و مدی موجود از قبل می تواند برای تخمین زدن اثرات بالقوه طرحهای پیشنهادی در مقیاس بزرگتر مورد استفاده قرار بگیرد.

۲- تشویق همه کشورها و اقوام و ایالتها برای داشتن روابط بین المللی مناسب در مورد بحث موردنظر و رسیدگی کردن به سیاست های گفته شده در مورد نیروگاههای جزر و مدی صرفنظر از قلمرو قدرت تنظیم شده آنها در سرتاسر پروژه، یک سازمان تخصصی از طرف سازمان ملل می تواند برای هماهنگ کردن سیاست ها انتخاب شود.

۳- تشویق توسعه مدیریت با برنامه های جهت دار مبتنی بر مدارک علمی در پروژه‌های پیشنهادی

٤- تشویق کردن منابع سرمایه گذاری در بلندمدت، در جهت مطالعه منطقه ای و تعیین کردن اثرات اکوسیستم نیروگاههای جزر و مدی هم قبل و هم بعد از ساختن، نظیر مطالعه درباره فهمیدن رئوس کلی هیئت علمی اقیانوسها در دانشگاههای علمی

٥- تشویق کردن برای پاسخگویی نسبت به پروژه های جزر و مدی همانند دیگر پروژه های بزرگ ساخته شده شامل:

الف) آماده سازی برای اثرات محیطی گفته شده

ب) مشارکت درباره جستجوی منابع و مدیریت در همه مراحل در جهت توسعه نیروگاه جزر و مدی

٦- تشویق بیشتر شدن گفتگوهای منظم درباره اثرات پروژه های جزر و مدی در میان مهندسان و کارشناسان صید ماهی.

٧- افزایش سرمایه گذاری برای اختصاص دادن به بحث و گفتگوهای علمی و پیوستن جلسات بین المللی مناسب به یکدیگر برای توسعه دادن رضایت عمومی، درباره الویت پژوهش‌ها برای تخمین زدن اثرات نیروگاههای جزر و مدی و حداقل اطلاعات موردنیاز کافی برای نظارت در بلندمدت.

## انرژی جزر و مد

در مناطق ساحلی با جریانات جزر و مدی بزرگ، آبهای جریانهای جزر و مدی دارای مقدار زیادی انرژی ذخیره شده می باشد. تحت کنترل درآوردن این جریانات به

تاریخ، قرن یازدهم در انگلستان بر می گردد. هنگامیکه جریانات جزر و مدی برای چرخاندن چرخهای آبی، برای تولید نیروی مکانیکی مورد استفاده قرار می گرفت. اخیراً بالا و پائین آمدن جریانات جزر و مدی در تولید برق مورد استفاده قرار گرفته است، این روش بسیار شبیه نیروگاههای آبی می باشد.

جریانات جزر و مدی از حرکت زمین، ماه و خورشید بوجود می آید اگرچه جریانات جزر و مدی اقیانوسها دارای مقدار خیلی زیاد انرژی می باشند. اما کاربرد عملی آنها فقط در مکانهایی استثنائی است که ارتفاع جریانات جزر و مدی زیاد می باشد. نظیر خلیج فاندی در آتلانتیک کانادا که به حدود ۱۷ متر می رسد. و یکی از بهترین نقاط از نظر حداکثر ارتفاع جریانات جزر و مدی در جهان می باشد. انرژی جزر و مدی یک منبع ضروری تجدیدپذیر انرژی است که هیچکدام از اثرات محیطی دیگر منابع برق نظیر سوخت های فسیلی یا نیروگاههای هسته‌ای را ندارد.

تغییرات جریانات جزر و مدی در مناطق ساحلی می تواند همچنین برروی زندگی گونه های زیادی از آبزیان اثر بگذارد که باید مورد مطالعه قرار بگیرد.

## جزر و مد: انرژی وابسته به نیروی جاذبه

جزر و مد، روزانه سطح اقیانوسها نسبت به خط ساحلی بالا و پائین می رود که از نیروهای جاذبه ماه و خورشید و چرخش زمین ناشی می شود. ماه و خورشید هردو نیروی جاذبه بر روی زمین اعمال می کنند. مقدار این کشش جاذبه به جرم و فاصله

آنها بستگی دارد. ماه نیروی جاذبه بیشتری را بر زمین اعمال می کند، اگرچه جرم ماه نسبت به خورشید کمتر است اما ماه خیلی به زمین نزدیکتر است.

این نیروی کششی در اقیانوسها، که ۷۱ درصد سطح زمین را پوشانده، سبب برآمدگی قسمتی از آنها به سمت ماه می شود (شکل ۱)

جزر و مد بعلت چرخش زمین نیز بوجود می آید. این نتایج باعث می شود که سطح اقیانوسها بطور تقریباً منظم بالاو پائین برود.

همانگونه که در شکل ۱ نشان داده شده است نیروی جاذبه ماه تأثیر بیشتری در بوجود آمدن برآمدگی های جزر و مدی دارد.

کشش جاذبه خورشید نیز در جزر و مد اثر دارد همانند ماه، اما مقدار تأثیر آن خیلی کمتر است. همین طور که برآمدگی هایی بسوی ماه است در اقیانوسها برآمدگی های خیلی کمی نیز بسوی خورشید است.

هنگامیکه زمین، ماه و خورشید در یک موقعیت مستقیم نسبت به هم قرار دارند (ماه نو یا کامل)، کشش جاذبه ترکیب شده و جزر و مد حداثکر (بهاری یا مهکشند) بوجود می آید. زمانیکه ماه، خورشید و زمین در یک زاویه قائمه نسبت به یکدیگر قرار دارند جزر و مد حداقل می شود که کهکشند نامیده می شود.

تجربه در مناطق خط ساحلی نشان داده است که در پریود ۲٤ساعت شبانه روز دوبار جزر و مد حداکثر و دو بار جزر و مد حداقل داریم.

اصطکاک ناشی از برآمدگی اقیانوسها باعث چرخش و دوران تدریجی و آهسته زمین می‌شود که اثرات مهمی در مدت این بیلیون ها سال نداشته است. از اینرو برای اهداف انسانی انرژی جزر و مدی می تواند بعنوان منبع انرژی تجدیدپذیر و قابل نگهدرای مطرح شود.

بطور یقین مناطق ساحلی نسبت به یکدیگر در ارتفاع جزر و مد باهم اختلاف دارند. براساس نتایج موجود افزایش ارتفاع جزر و مد به خصوصیات جغرافیایی محلی خلیج ها و خورها بستگی دارد. حداقل ارتفاع بین حداکثر و حداقل جزر و مد باید ۵ متر باشد تا بتوانیم از آن برق کاربردی تولید کنیم. حدود ٤٠ مکان در سرتاسر جهان وجود دارند که دارای دامنه جزر و مدی بزرگی هستند. در کانادا یک مکان کاربردی برای بهره برداری از انرژی جزر و مدی در خلیج فاندی بین نیوبرونسوئیک و نوااسکوتیا وجود دارد.

هرچقدر دامنه جزر و مد بیشتر باشد برق بیشتری از آن مکان می توان تولید کرد و در نتیجه هزینه تولید برق پائین تر می آید. در سرتاسر جهان حدود ۳۰۰۰ گیگاوات بطور پیوسته از جریانات جزر و مدی در دسترس است. بعلت محدودیت های موجود برآورد شده که ۲درصد یا ٦٠ گیگاوات برق می توان تولید کرد.

## بهره بردرای از منابع

تکنولوژی مورد نیاز برای تبدیل انرژی جزر و مدی به برق بسیار شبیه به تکنولوژی استفاده شده در نیروگاههای آبی مرسوم است. اولین نیاز، ساخت سد یا سدبندی خلیج جزر و مدی یا دهانه رودخانه است. ساختمان سدبندی پروسه گرانقیمتی است، از اینرو بهترین مکانها برای پروژه های جزر و مدی جاهایی می باشد که خلیج دارای دهانه باریک است، بدین گونه طول سد مورد نیاز کاهش می یابد. در جلوی سد دریچه های سد و توربین ها نصب می شوند. هنگامیکه اختلاف کافی در ارتفاع آب درون مکانهای مختلف سدبندی وجود دارد دریچه ها باز می شوند براساس وجود علم موازنه آبهای ساکن، از جریان آب در میان توربین ها و چرخاندن ژنراتورهای الکتریکی برق تولید می شود.

برق می تواند به وسیله جریان آب در دو جهت داخل شدن و خارج شدن از خلیج تولید شود در مکانهایی که دو مد حداکثر و دو جزر حداقل در هر روز وجود دارد. تولید برق از نیروگاههای جزر و مدی بوسیله پریود تولید حداکثر در هر ۱۲ ساعت توصیف می شود. متناوباً توربین ها می توانند برای پمپاژ کردن آب های اضافی به داخل آبگیر در پشت سدبندی استفاده شوند در مدت زمانیکه تقاضای برق کم است. این آب می تواند سپس رها شود هنگامیکه تقاضای برق زیاد است. به درستیکه در این حالت روش کار نیروگاههای جزر و مدی بسیار شبیه مشخصات نیروگاههای تلمبه ذخیره ای می باشد.

تقاضای برق، دریچه های برقی را در زمانهایی از روز تغییر می دهد تولید کردن برق از نیروگاههای جزر و مدی هرگز با تقاضای سیستم مطابقت ندارد اما نیروگاههای جزر و مدی اگرچه متغیر می باشند ولی قابل پیش بینی و قابل اعتماد هستند. برق تولیدی از جزر و مد می تواند جایگزین برق حاصل از سوخت های فسیلی (ذغال سنگ، نفت و گازهای طبیعی) شود، بدرستیکه با این روش نشر گازهای اسیدی و گلخانه ای کاهش می یابد.

در حال حاضر اگرچه تکنولوژی مهارکردن و تحت کنترل درآوردن انرژی جزر و مدی موردنیاز است. باید دانست که ساختن نیروگاههای جزر و مدی بسیار گران تمام می شود. یکی از ممترین نیروگاههای جزر و مدی با خروجی ۲٤۰ مگاوات به بهره بردرای رسیده است. این نیروگاه در دهانه رودخانه لارنس در ساحل شمالی فرانسه قرار دارد. (نیروگاههای سوختی بزرگ یا نیروگاههای هسته ای حدود ۱۰۰۰ مگاوات برق تولید می کنند)

نیروگاه لارنس در سال ۱۹٦٦ به بهره بردرای رسید و بعنوان یک منبع خیلی قابل اطمینان برق برای فرانسه بشمار می رود. لارنس یکی از پیشنهادهای مهم برای نیروگاه جزر و مدی در فرانسه بود تا اینکه آنها برنامه های هسته‌ای را در سال ۱۹٦۰ بیتشر بسط دادند.

در جاهای دیگر، نیروگاه آزمایشی ۲۰ مگاواتی در رویال آناپولیس در نواسکوتیا و نیروگاه جزر و مدی ۰/٤ مگاواتی در نزدیکی مورماسک در روسیه وجود دارد.

مطالعه در مورد دیگر مکانهای آزمایشی نیروگاههای جزر و مدی در سرتاسر جهان انجام شده است. تخمین زده شده است که با ساختن سدبندی در سرتاسر رودخانه سه ورن در غرب انگلیس می‌توان ۱۰درصد برق موردنیاز این کشور را تهیه کرد. (۱۲ گیگاوات) چندین مکان در خلیج فاندی، خورکوک در آلاسکا و دریای سفید در روسیه برای تولید مقدار زیادی برق تأسیس شده است.

## انرژی جزر و مدی از جهت اقتصادی

یکی از مانع های اصلی در افزایش استفاده از انرژی جزر و مدی هزینه بالای ساخت نیروگاههای جزر و مدی است برای مثال، هزینه ساخت نیروگاه سه ورن در انلگیس ۱۵ بیلیون دلار تخمین زده شده است. هزینه های عملیاتی و نگهداری نیروگاههای جزر و مدی خیلی کم است زیرا سوخت آن ها (آب دریا) مجانی است اما هزینه کل تولید برق خیلی بالا است.

یک فاکتور مهم در تعیین هزینه بهربرداری از نیروگاههای جذر و مدی اندازه (طول و ارتفاع) سدبندی مورد نیاز و اختلاف ارتفاع بین مد حداکثر و جزر حداقل (دامنه جزر و مد) می باشد. فاکتور دیگر می تواند بیان شود که نسبت گیبرات مکان نامیده می‌شود نسبت گیبرات نسبتی است بین طول سد بندی برحسب متر به تولید سالانه انرژی برحسب کیلووات ساعت، نسبت گیبرات مکان هرچقدر کمتر باشد آن مکان

بیشتر مطلوب برای کار است.بعنوان مثال نسبت گیبرات در لارنس ۰/۳٦ در سه ورن ۰/۸۷ و در پاساماکودی در خلیج فاندی ۰/۹۲ می باشد.

## اثرات محیطی

انرژی جزر و مدی یکی از منابع تجدیدپذیر (نوین) برق است که پیامد آن نشر گاز، گرم شدن سطح کره زمین و بوجودآمدن بارانهای اسیدی وابسته به نیروگاههای فسیلی نیست. استفاده از نیروگاههای جزر و مدی همچنین می تواند خطر پرتوافشانی وابسته به نیروگاههای هسته ای را کاهش دهد. تیغیرات جریانات جزر و مدی بوسیله سدبندی در خلیج یا آبگیر می تواند اثرات منفی بر روی آبزیان و اکوسیستم خط ساحلی و همچنین کشتیرانی و تفریح بگذارد.

مطالعات اندکی در مورد شناختن اثرات محیطی طرحهای نیروگاه جزر و مدی و معین کردن مکانهای ویژه که اثرات متفاوتی برروی جغرافیای محلی می گذارد انجام شده است.

تغییرات جریانات جزر و مدی محلی کم بعلت سدبندی لارنس و اثرات محیطی قابل چشم پوشی است. اما این علت نمی تواند برای همه مکانهای دیگر هم باشد. در خلیج فاندی برآورد شده است که نیروگاههای جزر و مدی می توانند جریانات جزر و مدی محل را تا ۱۵ سانتی متر کاهش دهند. تغییرات طبیعی نظیر بادها می توانند سطح جزر و مد را تا چندین متر تغییر دهند.

مطالعات خیلی کمی درباره تغییرات جزر و مدی که می تواند اثرات باورنکردنی برروی مجموعه جانوران و گیاهان آبزی و اکوسیستم خط ساحلی بگذارد انجام شده است. این ترس در سدبندی جزر و مدی خلیج فاندی وجود دارد که بالاآمدن و مخلوط شدن زیاد آب سبب تحریک انرژی نهانی و بوجودآمدن جزر و مد سرخ شود که باعث از کارافتادگی نرمتنان می شود. یکی از تنها روشهای افزایش اطلاعات ما درباره اثرات سدبندی جزر و مدی برروی اکوسیستم با مطالعه اثرات بعد از ساختن تجهیزات امکان پذیر است.

## نتایج

پتانسیل انرژی جزر و مدی مقدار خیلی زیادی برق در مکانهای معین در سرتاسر جهان تولید می کند. اگرچه تمام برق مورد نیاز ما نمی تواند به روشهایی از نیروی جزر و مدی بدست آید. اما آن می تواند به عنوان یک منبع با ارزش تجدیدپذیر برای دستگاههای برقی استفاده شود. اثرات زیست محیطی منفی سدبندی جزر و مدی به احتمال زیاد خیلی کمتر از دیگر منابع برق است، اما مطالعات دقیقی در این زمینه انجام نشده است. تکنولوژی انرژی جزر و مدی نیاز به توسعه دارد و مانع اصلی افزایش پیدانکردن نیروگاههای جزر و مدی، هزینه ساخت آنها می باشد.

در آینده هزینه دیگر منابع برق و نگرانی اثرات محیطی آنها، نهایتاً چگونگی تحت کنترل درآوردن نیروی جاذبه از طرف ماه را مشخص می کند.

## روشهای تولید برق

### تولید در جزر

در این روش تولید برق در مدت زمان جریانات مستقیم در زمان جزر دریا است. برای بیشترین تولید برق، توربین ها هنگام رهاشدن آب شروع به کار نمی کنند، تا زمانیکه جزر در دریا شروع شود. تقریباً ۳ ساعت بعد.

### تولید در مد

تولید در مد اساسی تر در برابر تولید در جزر است. در این روش در مدت زمان مد برق تولید می شود و توربین ها آب را به داخل آبگیر خالی می کنند.

### تولید در جزر بعلاوه پمپ کردن در زمان مد

یک تغییر ساده نسبت به تولید در جزر وجود دارد. بعد از یک مد بلند دریچه های سد بسته می شود و توربین ها بصورت معکوس کار می کنند و آب را به داخل آبگیر پمپاژ می کنند. پمپاژ زمانیکه هد آب دریا در حالت جزر است متوقف می شود. در این روش تولید برق نسبت به روش تولید در جزر می تواند زودتر شروع بشود. آب اضافه شده به وسیله عمل پمپاژ به داخل سد، از بین توربین ها رها می شود. در این روش بوسیله پمپاژ کردن آب، انرژی خیلی زیادی مهار می شود.

معمولاً تیغه های توربین خم می باشد برای آنکه بتوانیم بیشترین بازده را در جهت تولید نیرو داشته باشیم. بنباراین هنگامیکه در جهت معکوس بعنوان پمپ استفاده می‌شوند بازده آنها به اندازه قابل توجهی کاهش می یابد. برای حل این مشکل توربین‌ها باید با تیغه های متغیر ساخته شوند تا بازده را در حالت پمپاژ اصلاح کنند. اما باید دانست که ساختن چنین توربین‌هایی با این کارآیی بسیار گران تمام می‌شود و همچنین هزینه تعمیر و نگهداری آنها نیز زیاد است.

## تولید برق به روش دوطرفه

در روش تولید دوطرفه،برق در دو جهت جزر و مد تولید می شود. تولید در جزر زمانی شروع می شود که سطح آبگیر کمتر است نسبت به تولید برای یک سیکل تنها، تا پایان سیکل تولید دریچه های سد (آبگیر) باز می مانند تا جریان آب از سوی سد به دریا امکان پذیر شود از اینرو سطح آب داخل سد کاهش می یابد. در مرحله تولید به روش مد، اختلاف ارتفاع آب یک ضرورت است. در زمان جزر زمانیکه سطح آب دریا و سد برابر شدند دریچه ها بسته می شوند یکبار دیگر که دریا تا ارتفاع مطلوب (مد) بالا آمد تولید آغاز میشود بوسیله به کارانداختن توربین ها در جهت معکوس، در حین تولید دریچه های سد باز می شوند و اجازه داده می شود سطح سد بالا بیاید و به علت بوجود آمدن این ارتفاع کافی سیکل بعدی تولید به روش جزر میسر می شود.

بعلت پائین آمدن هد در مدت هریک از روشهای تولید در مقایسه با روش یکطرفه، آب بیشتری بوسیله بازشدن دریچه تلف می شود از این طریق در سرتاسر سیکل، تولید و بازده بهره برداری از توربین ها در حالت معکوس پائین تر می آید. انرژی تولید شده از روش دوطرفه از انرژی تولیدشده یکطرفه در حالت جزر بیشتر نمی‌باشد.

## تولید با دو آبگیر

این روش دارای دو آبگیر می باشد که در مجاور یکدیگر ساخته شده اند و هرکدام از آنها به دریچه سد مجهز می باشند. دارای ساختمان ساده ای می باشند و توربین ها در دیواری که دو آبگیر A و آبگیر B جدا می شوند، قرار دارند.

آبگیر A ، آبگیر مد که پر می شود از طریق دریچه ها در هنگام مد و خالی می شود از میان توربین ها به آبگیر B.

آبگیر B، آبگیر جزر است که از بین توربین ها از طریق آبگیر A پر می‌شود و از میان دریچه‌ها در زمان جزر خالی می شود. ذخیره سازی معمولاً در هریک از آبگیرها ممکن است و توربین ها نسبت به تک آبگیری، طولانی تر بهره برداری می‌شوند. در برخی از نمونه ها چرخش مداوم توربین ها امکان پذیر است.

# پیـــوســـت

## پیوست – مقایسه انواع توربین های مورد استفاده در نیروگاههای جزر و مدی

| نوع توربین | محدوده سرعت چرخش (rpm) | محدوده ارتفاع (m) | محدوده دبی ($m^3/sec$) | محدوده قدرت (MW) | قطر چرخ (m) | هزینه | سایر |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| استرافلو (Straflo) | کمتر از توربینهای بالب | ۱-۱۵ | - | ۱-۲۰ | ۳-۲۰ | بدلیل طول کمتر در مسیر جریان نسبت سایر توربینها از از این نظر ارزان ترند ولی قطر چرخ بیشتری دارند. | - در این توربینها آب‌بندی توربین و ژنراتور بسختی انجام می گیرد.<br>- پیش بینی رفتار ارتعاشی توربین در شرایط بهره برداری معمولی و در حالت ایجاد ضربه قوچ و برداشتن ناگهانی بار با مشکل مواجه می شود. |
| حبابی (Bulb) | ۱۴۰-۴۰۰ | ۶-۳۰ | ۴-۲۵ | ۵-۵۰ | ۱/۲۵-۲ | بدلیل ساختمان متراکمی که دارند هزینه های واحد با این توربینها پائین است | - این توربینها به یک دریچه اضطراری برای بستن سریع مجرا در پائین دست نیاز دارند راندمان طراحی بالایی داشته و مشکلات کاویتاسیون کمی دارند.<br>- عملیات ساختمانی بسیار کمتری لازم دارند (نسبت به سایر واحدها). |
| توربین S | ۷۵۰-۱۲۰ | ۳-۱۵ | ۱/۵-۴۰ | <۵ | ۰/۸-۱/۱۲ | در محدوده قدرت کمتر از ۵ مگاوات نسبت به سایر توربینها اقتصادی‌تر است | - لوله ورودی این توربینها مخروطی شکل است لذا سبب افت هیدرولیکی زیادی می‌شود.<br>- تعمیرات و نگهداری این توربینها آسان است |
| توربین جریان متقاطع (Cross flow Turbine) | ۱۰۰۰-۱۰۰ | ۱-۱۰۰ | ۰/۲۰-۹ | ۰/۰۵-۱ | ۰/۳۱۵-۱ | این توربینها ارزانترین قیمت را در قدرتهای پایین دارند | - راندمان این توربینها حدود ۶۹-۵۰ درصد است. |
| توربین هوایی (Air Turbine) | حدود ۳۰۰۰ | | | | | توربین و ژنراتور ابعاد کوچکی داشته لذا بسیار ارزانند | - چون چگالی هوا نسبت به آب کمتر است راندمان این توربینها خیلی کم است.<br>- در واحدهای با توربین هوایی برای بستن و بازکردن سریع مجرا دریچه های بزرگی باید پیش بینی شود که هزینه های طرح را افزایش می دهند. |

## پیوست- منحنی‌های عملکرد و آرایش‌های مختلف حوضچه‌ها در سیستم دو حوضچه‌ای ترکیبی نیروگاه جزر و مدی

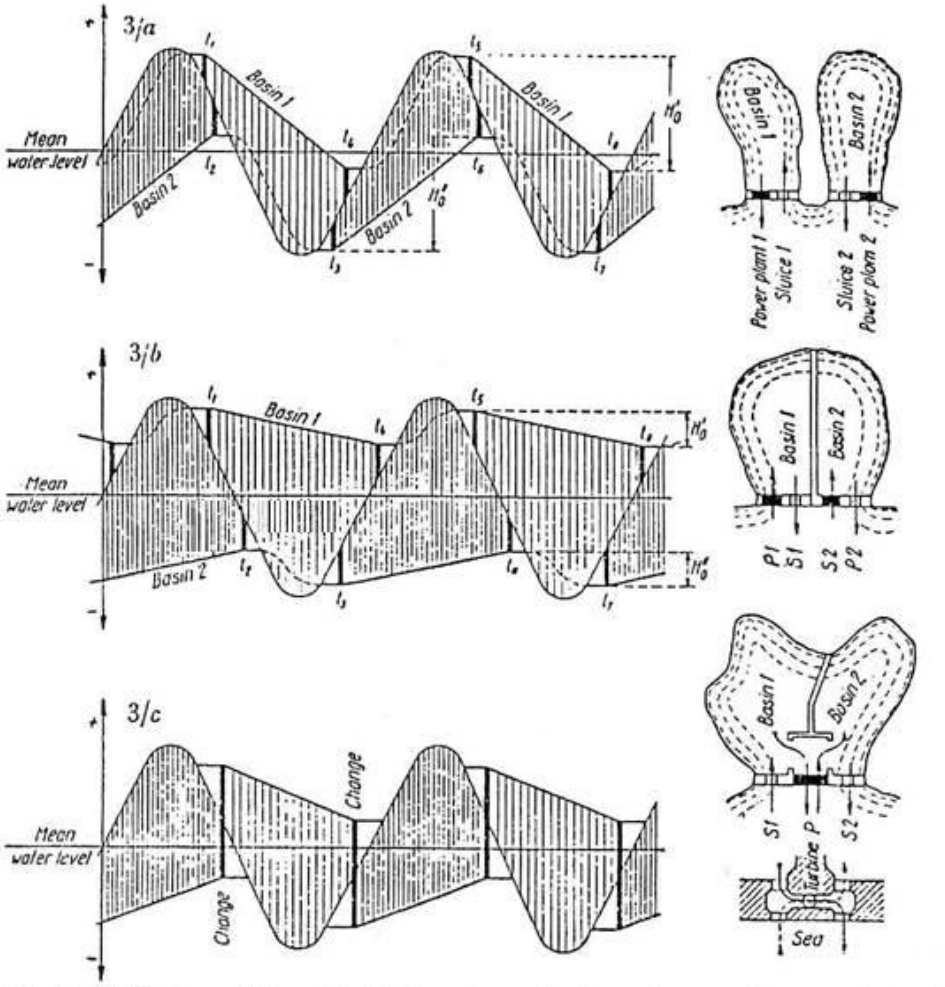
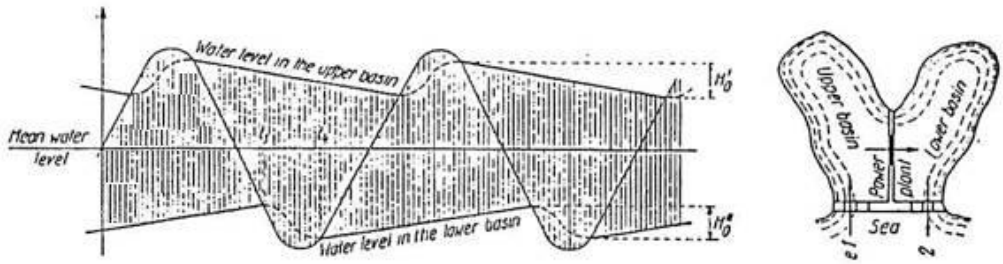
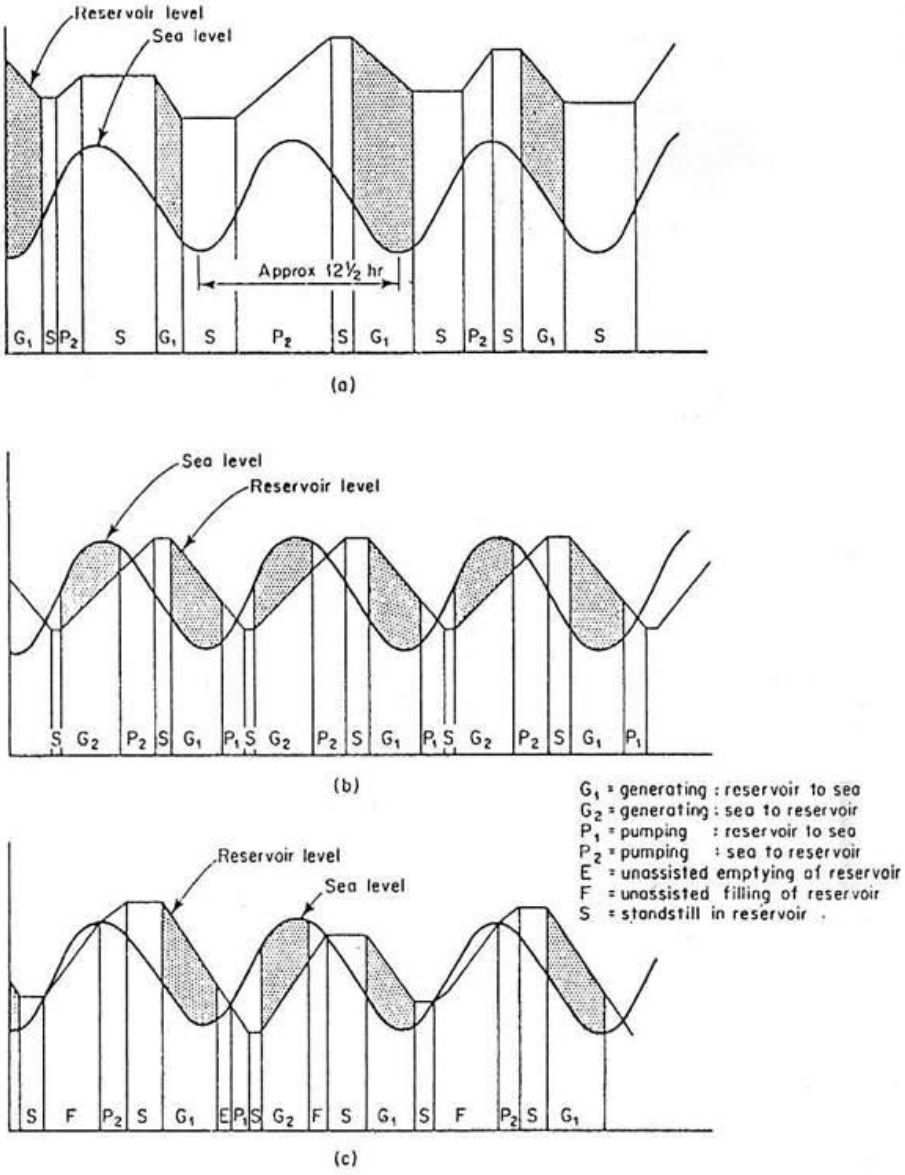



*Fig. 3/4.* Tidal power stations. Two-basin systems with alternating operation: 3*a* and 3*b* with detached powerhouses, 3*c* with common powerhouse



**پیوست- منحنی عملکرد نیروگاه جزر و مدی در حالت تلمبه ذخیره ای**



# *Renewable energy*[1]

## *Tidal Power*

Tidal power utilises the twice daily variation in sea level caused primarily by the gravitational effect of the Moon and, to a lesser extent the Sun on the world's oceans. The Earth's rotation is also a factor in the production of tides. Tidal power is not a new concept and has been used since at least the 11th Century in Britain and France for the milling of grains.

## *Tidal Physics*

An understanding of the principles which give rise to tides is essential to explain tidal power. Whilst a thorough understanding of the interactions involved is quite complex, the origin of tides can be explained in general terms by investigating the gravitational effects of the Moon and the Sun on the ocean and the effect of centrifugal forces.

## *Gravitational Effects and the Centrifugal Force*

The interaction of the Moon and the Earth results in the oceans bulging out towards the Moon, whilst on the opposite side the gravitational effect is partly shielded by the Earth resulting in a slightly smaller interaction and the oceans on that side bulge out away from the Moon, due to centrifugal forces. This is known as the Lunar Tide. This is complicated by the gravitational interaction of the Sun which results in the same effect of bulging towards and away from the Sun on facing and opposing sides of the Earth. This is known as the Solar Tide.

[1] - http://www.konstruction - und - ernaehrung.ed/tidal%20 power%20 text. pdf

As the Sun and Moon are not in fixed positions in the celestial sphere, but change position with respect to each other, their influence on the tidal range (difference between low and high tide) is also effected. For example, when the Moon and the Sun are in the same plane as the Earth, the tidal range is the superposition of the range due to the lunar and solar tides. This results in the maximum tidal range (spring tides). Alternatively when they are at right angles to each other, lower tidal differences are experienced (figure 1) resulting in neap tides.

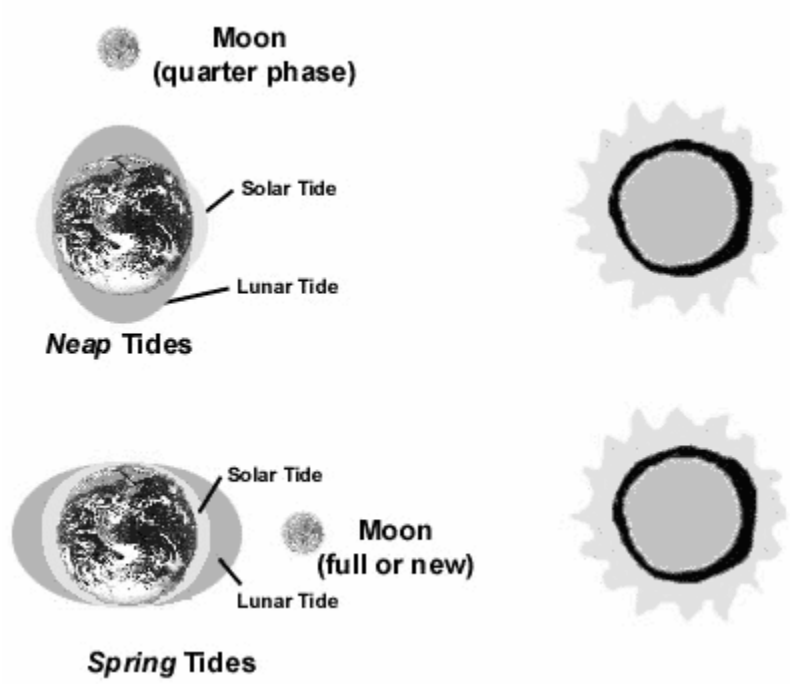



**Figure 1 Gravitational effect of the Sun and the Moon on tidal range**

**(Adapted from Boyle, 1996)**

## *Generating Electricity from the Tide*

The generation of electricity from tides is very similar to hydroelectric generation, except that water is able to flow in both directions and this must be taken in to account in the development of the generators.

The simplest generating system for tidal plants, known as an ebb generating system, involves a dam, known as a barrage across an estuary. Sluice gates on the barrage allow the tidal basin to fill

on the incoming high tides and to exit through the turbine system on the outgoing tide (known as the ebb tide). Alternatively, flood generating systems which generate power from the incoming tide are possible, but are less favoured than ebb generating systems.

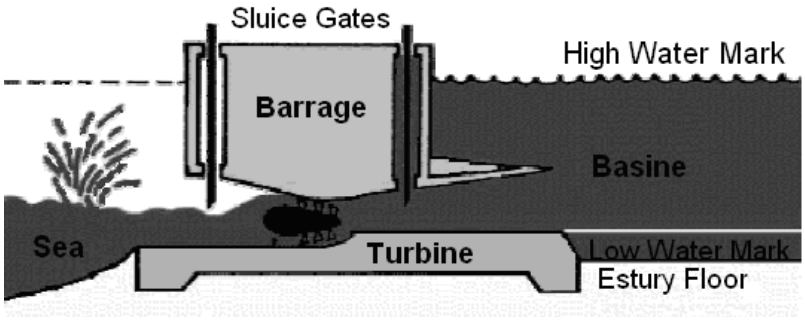



**Figure 2 Ebb generating system with a bulb turbine**

**(Adapted from Energy Authority of NSW Tidal Power Fact Sheet)**

Two way generation systems, which generate electricity on both the incoming and ebb tides are also possible.

### *Turbines Used in Tidal Power Stations*

Several different turbine configurations are possible. For example, the La Rance tidal plant near St Malo on the Brittany coast in France uses a bulb turbine (figure 3). In systems with a bulb turbine, water flows around the turbine, making access for maintenance difficult, as the water must be prevented from flowing past the turbine. Rim turbines (figure 4), such as the Straflo turbine used at Annapolis Royal in Nova Scotia, reduce these problems as the generator is mounted in the barrage, at right angles to the turbine blades. Unfortunately, it is difficult to regulate the performance of these turbines and it is unsuitable for use in pumping. Tubular turbines have been proposed for use in the Severn tidal project in the United Kingdom. In this configuration (figure 5), the blades are

connected to a long shaft and orientated at an angle so that the generator is sitting on top of the barrage.

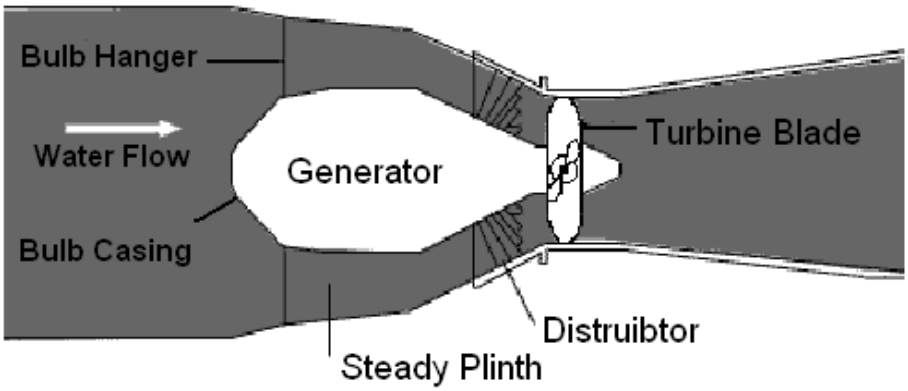



Figure 3 Bulb Turbine
**(Copyright Boyle, 1996)**

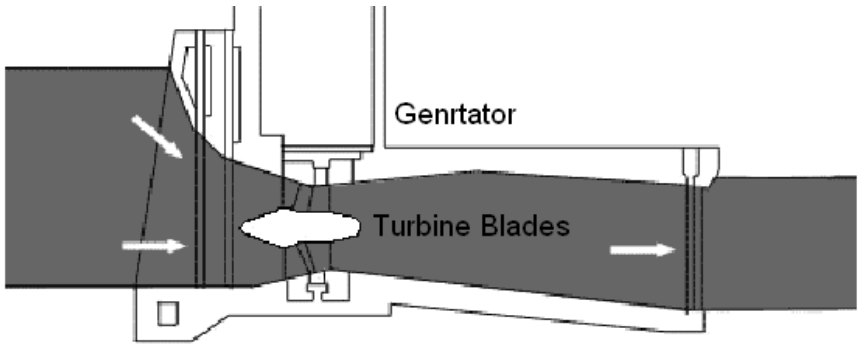



**Figure 4 Rim Turbine**

**(Copyright Boyle, 1996)**

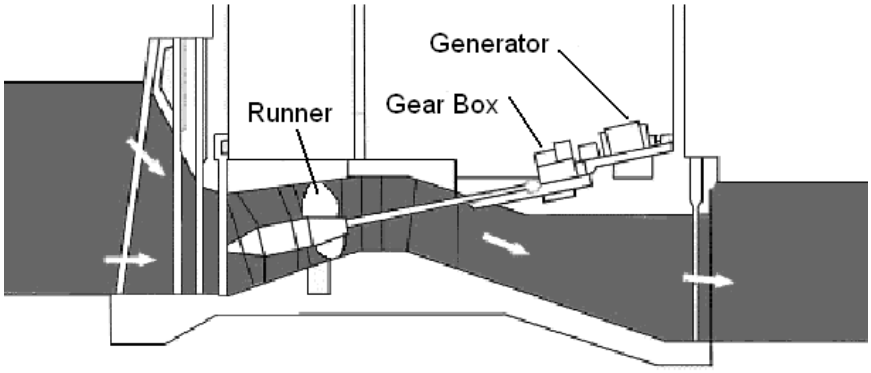



**Figure 5 Tubular Turbine**

**(Copyright Boyle, 1996)**

### *Tidal Fences*

Tidal fences can be thought of as giant turn styles which completely block a channel, forcing all of thewater through them as shown in figure 6.

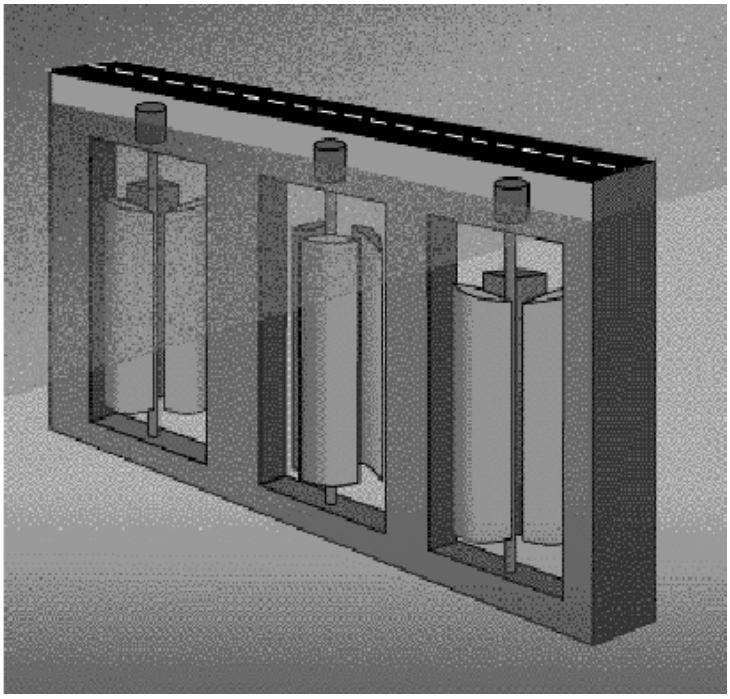


**Figure 6 Artists impression of a tidal fence in operation.**

Unlike barrage tidal plants, tidal fences can be used in unconfined basins, such as in the channel between the mainland and a nearby off shore island, or between two islands.

A 55MWp tidal fence using the Davis turbine, are being planned for the San Bernadino Strait.

### *Tidal Turbines*

Proposed shortly after the oil crisis of the 1970s, tidal turbines have only become reality in the last five years, when a 15kW proof of concept turbine was operated on Loch Linnhe. Resembling a wind turbine, tidal turbines offer significant advantages over barrage and fence tidal systems, including reduced environmental effects.

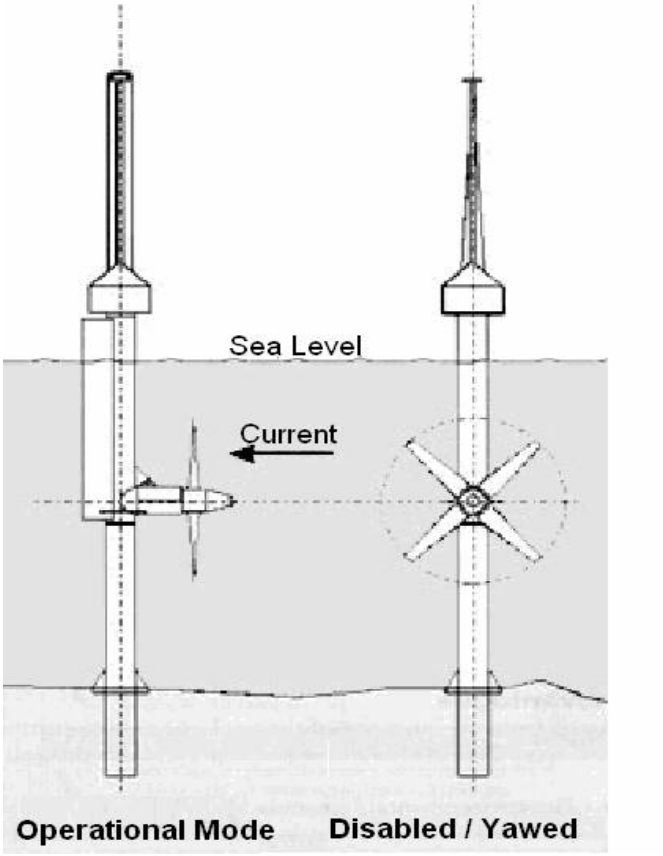



**Figure 7 Schematic of an axial flow, seabed mounted marine current turbine**

**(Copyright IT Power Ltd)**

Tidal turbines utilise tidal currents which are moving with velocities of between 2 and 3 m/s (4 to 6knots) to generate between 4 and 13 kW/m2. Fast moving current (>3 m/s) can cause undue stress on the blades in a similar way that very strong gale force winds can damage traditional wind turbine generators, whilst lower velocities are uneconomic.

### *Constraints to Tidal Power Generation*

Whilst tidal power generation can offer some advantages, including improved transportation due to the development of traffic or rail bridges across estuaries and reduced greenhouse gas emissions by

utilising non polluting tidal power in place of fossil fuels, there are also some significant environmental disadvantages which make tidal power less attractive.

### *Tidal Changes*

The construction of a tidal barrage in an estuary will change the tidal level in the basin. This change is difficult to predict, and can result in a lowering or raising of the tidal level. This change will also have a marked effect on the sedimentation and turbidity of the water within the basin. In addition, navigation and recreation can be affected as a result of a sea depth change due to increased sedimentation within the basin. A raising of the tidal level could result in the flooding of the shoreline, which could have an effect on the local marine food chain.

### *Ecological Changes*

Potentially the largest disadvantage of tidal power is the effect a tidal station has on the plants and animals which live within the estuary. As very few tidal barrages have been built, very little is understood about the full impact of tidal power systems on the local environment. What has been concluded is that the effect due to a tidal barrage is highly dependent upon the local geography and marine ecosystem.

***Tidal Power in Australia***

Tidal power has been proposed in the Kimberley region of Western Australia since the 1960s, when a study of the Derby region identified a tidal resource of over 3000 MW. In recent years a proposal to construct a 50 MW tidal plant in the Derby region has been developed Derby Hydro Power. This project has received a $ 1 million grant through the Australian Greenhouse Office's Renewable Energy Commercialisation Program to further develop the project.

ST.-MALO, FRANCE–A $78 million renovation is under way on France's most visited industrial site, the La Rance tidal power plant.

Considered an engineering marvel, the 31-year-old power plant consists of a nearly half-mile long dam that also serves as a highway bridge linking St.-Malo and Dinard. At high tide, the dam traps Atlantic waters in the bay. At low tide, the water flows back to the sea. En route, it passes through 24 turbines connected to generators that produce enough electricity for a city of 300,000.

The project includes installing turbines that can spin on both the incoming and outgoing tides. Since the turbines are located inside the dam, most of the work will be invisible to the 400,000 tourists who visit La Rance each year.

Those who depend on the plant's power–it furnishes 90% of Brittany's electricity–shouldn't notice much of a change either. To keep the current flowing, turbines will be upgraded one by one over 10 years.

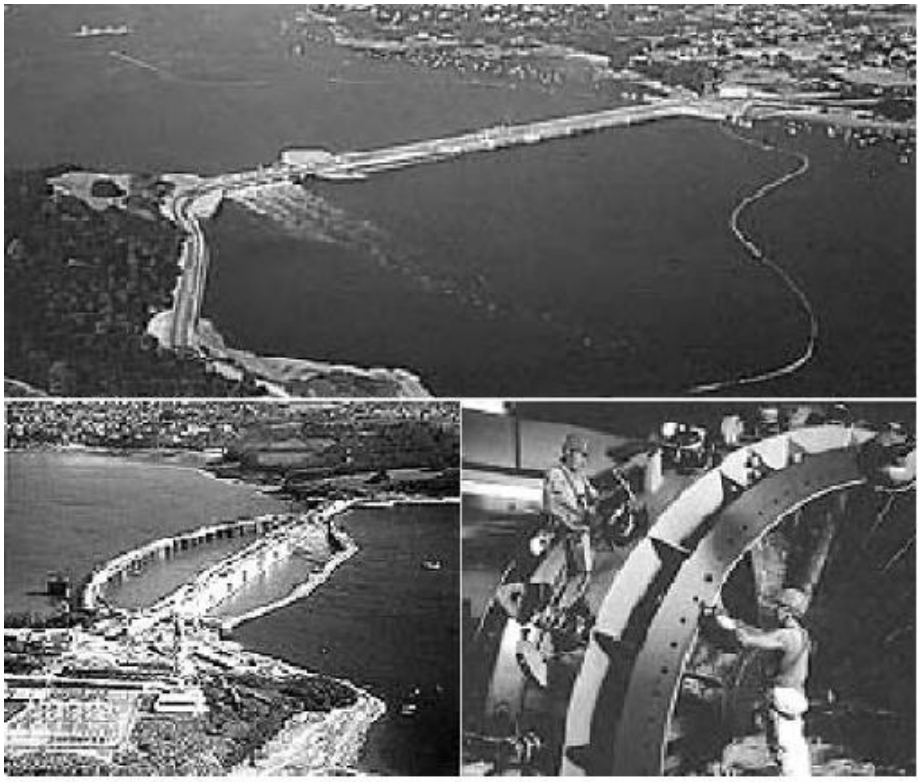


**Figure 8 La Rance Tidal Power Station**

**( of Popular Mechanics Image courtesy)**

Today, solar power and lunar power. The University of Houston's College of Engineeringpresents this series about the machines that make our civilization run, and the people whose ingenuity created them.Renewable energy is a term worth looking at. We can use direct solar energy to heat water or our homes. We can focus solar energy to supply steam boilers. We can build engines to take energy from the warm surface of the ocean and discharge it into the cold water below. We use solar cells to convert solar energy to electricity. Nature often does the work of converting heat into usable power for us, by moving water and wind around the planet. Thus windmills and hydroelectric plants deliver solar power**.**We call such energy renewable only because the sun replaces what we use. No energy is truly renewable. Sooner or later, every source runs down, even the sun. It's just in comparison with our brief human lives, that it might as well be inexhaustible**.**

### *TIDAL POWER: How it Works*

A large amount of energy is stored in the tides. The tides go in and out, and we can capture energy from this with tidal power stations. Tidal power stations can stretch over a delta, estuaries, beaches or other places that are affected by the tides. A barrage is first set across a beach or river. When high tide comes in, water flows through a turbine to create electricity. Now some of the water is up behind the barrage. A gate is lowered from the barrage, capturing the water above it. When low tide comes, the gate is raised and the water flows out, first transferring its energy through turbines. This way, electricity is created with a two-way turbine. Some tidal power stations can produce 320 megawatts of electricity.

### *TIDAL POWER: History and Sites*

Tidal mills were invented in the early 1900's. They didn't have two-way turbines then, so they could only use one tidal direction. They chose to capture the tides as they were receding, because there was the most possible outcome from there. When the tide came in, the floodgate lowered, trapping the water above it. When low tide came, the gate was lifted up, and the water turned a water wheel.

Tidal power stations are already being used in Canada, France, Russia and China. The station that generates the most electricity is on the Rance River, in France. It generates 320 megawatts of electricity. A possible site for a tidal power station is at the Bay of Fundy, between New Brunswick and Nova Scotia. The tidal head difference there is 50 feet.

### *TIDAL POWER: Design Issues and Problems*

Tidal power stations are very expensive to build and they often create electricity when it isn't needed as much. The tides are always changing, but the need for electricity much smaller at night then in the day.

Tidal power stations also have environmental problems. Many fish like salmon swim up these estuaries where the barrages are and have already been killed by the turbines. The barrage also destroys homes to many birds, fish and other animals.

Tidal power operates by building a barrier across a river estuary. The tidal flow drives turbines to produce electricity. Europe's only tidal power station is at Rance in Northern France. A number of sites in the U.K could be developed to provide tidal power. The drawback is that these schemes affect the habitat of seabirds and fish because they alter the tidal currents. Also, barrage will only provide power for about 10 hours per day. Power for the other 14 hours must be provided by other means.

Waves possess great energy. Experiments with various different designs of generator have proved that waves can provide electricity. However, there are problems in developing and building wave powered generators which are both cheap and efficient, as they must be strong enough to cope with storms while being light enough to work with small waves. The drawback is that these schemes affect the habitat of birds and fish because they alter the tidal currents.

If every reasonable project in the UK were to be exploited for tidal power the yield could be over 50 Kwh a year representing 20 per cent of the electricity demand in Britain. About 90 per cent of this potential is at eight large estuaries including Servern, Dee, Morecambe bay, Solway, Humber and Wash A Severn barrage from Bread Down in Somerset to Lavernock point in Glamorgan 16 kilometres long with 216 large turbines, could generate as much as 8640 megawatts and supply up to 7% of electricity for England and wales. It would be a very large project costing over 8000 million. It would take seven years to close the barrage to produce first electricity, with full power output being reached two years later.

## *SOCIAL IMPACT*

Tidal electricity generation would not require waste disposal nor would it result in acidic emissions (the greenhouse effect) by 17 million tonnes per year .

Work on environmental and regional issues has identified possible benefits that would accrue with the barrage in operation . These include protection of a large length of coastline against storm surge tides (as with the Thames barrier), a road crossing,opportunities for water-based recreation and amenity ,increased land values and substantial creation of employment.

The only major tidal power scheme operating anywhere in the world is in the Rance estuary between Dinard and Saint Malo in France , where a barrage with 240 MW of turbines was completed in 1966, as a pilot scheme for a prospective larger barrage across the Mont Saint Michel bay. After some commissioning difficulties with the turbines the Rance scheme has operated regularly and reliably or 24 years. however, the French have so far not proceeded with the large scheme, preferring to invest instead in nuclear power plants.

Views are divided on the environmental impact of a large tidal barrage. Some say it will do irreparable damage to the ecosystem of the estuary while others maintain that it will create an exciting new reserve for water birds, fish and vegetation.

## *Conclusion.*

The drawbacks of TIDAL and WAVE power are that the alter of the tidal currents affect the habitat of the seabirds in the area also the fish are affected by the change in the tidal currents. Also the tidal and wave power stations can only produce ten hours of power in one day of twenty-four hours so they would have to generate the other fourteen hours of power another way which may be quite expensive. But there are also good points about tidal and wave power. One good point is that the

power produced is cheap. Also, making the power does not pollute the environment in the same ways that fossil fuels do.

### *Tidal Power Development in Estuarine and Marine Environments*

Production of electricity by harnessing the power of ocean tides is being examined with renewed interest by many industrialized nations. Tidal power has become economically feasible as a result of the continuous rise in price of fossil fuels, and a number of nations already possess working tidally driven electric generating facilities. A tidal power plant is similar in principle to hydropower generation facilities in rivers. A barrage (dam) with a powerhouse and turbines is constructed across an estuary or embayment to form a basin (headpond) of sufficient size to allow production of electricity over a reasonable period. For the simplest design, the basin is allowed to fill during flood tide through floodgates and powerhouse, with turbines spinning freely. Power is produced on ebb tide.

Environmental concerns at issue with tidal power include alterations of primary and secondary productivity, fish mortality, changes in the tidal regime, local weather patterns, and local and regional socioeconomic structure. Tidal hydropower developments may encompass large embayments and affect wide geographic areas. Removing energy from the tide and reducing volume of seawater exchange across the barrage site, will alter water circulation patterns and tidal regimes both behind and seaward of the barrage. Seaward of the barrage tidal amplitudes may increase as far as 500 km from the barrage site, inundating narrow but substantial portions of nearby coasts and raising longterm storm damage potential. Within the head pond tidal range will be reduced but mean water level will rise causing increased stratification, producing greater extremes in surface temperatures and more ice cover in temperate climes. In some head ponds turbidity will

decrease and sedimentation will increase. Reduced storm surges and extreme tides could diminish flooding and erosion, but changes in tidal amplitude may alter groundwater drainage and cause changes in local climate conditions. Effluent disposal and assimilation problems in head pond areas could also develop because of reduced flushing time.

Changes in turbidity and sedimentation would alter biotic conditions in the head pond areas, shifting invertebrate species composition and thus altering the food chain. Fisheries impacts would be greatest in those areas where fish are abundant and fish passage is repeated by the same population many population many times over the year. Introducing hydraulic turbines into an estuarine environment will create the problems inherent to fish passage associated with riverine power installations, with several important exceptions: the estuarine environment contains larger fish populations, larger fish species, and marine mammals. Impacts may include altered migration routes and changes in the availability of food organisms.

The AFS policy regarding tidal power development in estuarine and marine environments is to:

1. Promote compilation and synthesis of information regarding pre- and post-construction of existing tidal power sites so it can be used to estimate, at least on a gross scale, the potential effects of proposed projects.

2. Encourage all relevant international, national, state, and provincial agencies to become involved and consider preparing policy statements on tidal power, regardless of their regulatory jurisdiction over the project. One of the specialized organizations of the United Nations could serve as a coordinating body.

3. Encourage development of management-oriented programs and decisions based on scientific evidence while being cautious of alarmist reactions or emotional response to proposed projects.

4. Encourage long-term, multi-source funding of regional studies to determine ecosystem effects of tidal power both before and after construction. Such studies should follow the conceptual approach outlined by the Ocean Sciences Board of the National Academy of Sciences.

5. Encourage response to tidal power projects similar to that of other large-scale construction projects, including: (a) preparation of appropriate environmental impact statements and long-term pre- and post operational studies and (b) involvement of resource researchers and managers at all stages of tidal power development.

6. Encourage better cross-discipline discussion on the effects of tidal power projects among engineers and fishery biologists.

7. Encourage the holding of appropriate symposia in conjunction with other suitable international meetings to develop consensus on research priorities for assessing tidal power impacts, and minimum information needs for adequate long-term monitoring.

## *TIDAL ENERGY*

In coastal areas with large tides, flowing tidal waters contain large amounts of potential energy. The principal of harnessing the energy of the tides dates back to eleventh century England when tides were used to turn waterwheels, producing mechanical power. More recently, rising and falling tides have been used to generate electricity, in much the same manner as hydroelectric power plants.

Tides originate from the motions of the earth, moon and sun. Although ocean tides contain extremely large amounts of energy, it is only practical to generate electricity at sites with exceptionally high tides such as the Bay of Fundy in Atlantic Canada which, at up to 17 metres, has the highest tides in the world. Tidal energy is an essentially renewable resource which has none of the typical environmental impacts of other traditional sources of electricity such as fossil fuels or

nuclear power. Changing the tidal flow in a coastal region could, however, result in a wide variety of impacts on aquatic life, most of which are poorly understood.

### *Tides: Gravitational Energy*

Tides, the daily rise and fall of ocean levels relative to coastlines, are a result of the gravitational force of the moon and sun as well as the revolution of the earth. The moon and the sun both exert a gravitational force of attraction on the earth. The magnitude of the gravitational attraction of an object is dependant upon the mass of an object and its distance. The moon exerts a larger gravitational force on the earth because, although it is much smaller in mass, it is a great deal closer than the sun. This force of attraction causes the oceans, which make up 71% of the earth's surface, to bulge along an axis pointing towards the moon (Figure 1). Tides are produced by the rotation of the earth beneath this bulge in its watery coating, resulting in the rhythmic rise and fall of coastal ocean levels.

FIGURE 1: The moon's gravitational force is the main influence in creating tidal bulges on the earth. In this diagram the arrow indicates the direction of the earth's rotation (126K).

The gravitational attraction of the sun also affects the tides in a similar manner as the moon, but to a lesser degree. As well as bulging towards the moon, the oceans also bulge slightly towards the sun. When the earth, moon and sun are positioned in a straight line (a full or new moon), the gravitational attractions are combined, resulting in very large "spring" tides. At half moon, the sun and moon are at right angles, resulting in lower tides called "neap" tides. Coastal areas experience two high and two low tides over a period of slightly greater than 24 hours. The friction of the bulging oceans acting on the spinning earth results in a very gradual slowing down of the earth's rotation. This will not have any significant effect for billions of years. Therefore, for human purposes, tidal energy can be considered a sustainable and renewable source of energy.

Certain coastal regions experience higher tides than others. This is a result of the amplification of tides caused by local geographical features such as bays and inlets. In order to produce practical amounts of power (electricity), a difference between high and low tides of at least five metres is required. There are about 40 sites around the world with this magnitude of tidal range. In Canada, the only practical site for exploiting tidal energy is the Bay of Fundy between New Brunswick and Nova Scotia (Figure 2). The higher the tides, the more electricity can be generated from a given site, and the lower the cost of electricity produced. Worldwide, approximately 3000 gigawatts (1 gigawatt = 1 GW = 1 billion watts) of energy is continuously available from the action of tides. Due to the constraints outlined above, it has been estimated that only 2% or 60 GW can potentially be recovered for electricity generation.

FIGURE 2: The principal of tidal power generation (183K).

### ***Exploiting the Resource*:**

The technology required to convert tidal energy into electricity is very similar to the technology used in traditional hydroelectric power plants. The first requirement is a dam or "barrage" across a tidal bay or estuary. Building dams is an expensive process. Therefore, the best tidal sites are those where a bay has a narrow opening, thus reducing the length of dam which is required. At certain points along the dam, gates and turbines are installed. When there is an adequate difference in the elevation of the water on the different sides of the barrage, the gates are opened. This "hydrostatic head" that is created, causes water to flow through the turbines, turning an electric generator to produce electricity (Figure 2).

Electricity can be generated by water flowing both into and out of a bay. As there are two high and two low tides each day, electrical generation from tidal power plants is characterized by periods of maximum generation every twelve hours, with no electricity generation at the six hour mark in

between (Figure 3). Alternatively, the turbines can be used as pumps to pump extra water into the basin behind the barrage during periods of low electricity demand. This water can then be released when demand on the system its greatest, thus allowing the tidal plant to function with some of the characteristics of a "pumped storage" hydroelectric facility.

FIGURE 3: Near optimum ebb generation over 14 tide spring-neap cycle (131K).

The demand for electricity on an electrical grid varies with the time of day. The supply of electricity from a tidal power plant will never match the demand on a system. But tidal power, although variable, is reliable and predictable and can make a valuable contribution to an electrical system which has a variety of sources. Tidal electricity can be used to displace electricity which would otherwise be generated by fossil fuel (coal, oil, natural gas) fired power plants, thus reducing emissions of greenhouse and acid gasses.

Currently, although the technology required to harness tidal energy is well established, tidal power is expensive, and there is only one major tidal generating station in operation. This is a 240 megawatt (1 megawatt = 1 MW = 1 million watts) at the mouth of the La Rance river estuary on the northern coast of France (a large coal or nuclear power plant generates about 1,000 MW of electricity). The La Rance generating station has been in operation since 1966 and has been a very reliable source of electricity for France. La Rance was supposed to be one of many tidal power plants in France, until their nuclear program was greatly expanded in the late 1960's. Elsewhere there is a 20 MW experimental facility at Annapolis Royal in Nova Scotia, and a 0.4 MW tidal power plant near Murmansk in Russia.

Studies have been undertaken to examine the potential of several other tidal power sites world wide. It has been estimated that a barrage across the Severn River in western England could supply as much as 10% of the country's electricity needs (12 GW). Similarly, several sites in the Bay of

Fundy, Cook Inlet in Alaska, and the White Sea in Russia have been found to have the potential to generate large amounts of electricity.

### *The Economics of Tidal Energy*

One of the main barriers to the increased use of tidal energy is the cost of building tidal generating stations. For example, it has been estimated that the construction of the proposed facility on the Severn River in England would have a construction cost of $15 billion. Operating and maintenance costs of tidal power plants are very low because the "fuel", sea-water, is free; but the overall cost of electricity generated is still very high.

The major factors in determining the cost effectiveness of a tidal power site are the size (length and height) of the barrage required, and the difference in height between high and low tide. These factors can be expressed in what is called a site's "Gibrat" ratio. The Gibrat ratio is the ratio of the length of the barrage in metres to the annual energy production in kilowatt hours (1 kilowatt hour = 1 KWH = 1000 watts used for 1 hour). The smaller the Gibrat site ratio, the more desireable the site. Examples of Gibrat ratios are La Rance at 0.36, Severn at 0.87 and Passamaquoddy in the Bay of Fundy at 0.92.

### *Environmental Impacts*

Tidal energy is a renewable source of electricity which does not result in the emission of gases responsible for global warming or acid rain associated with fossil fuel generated electricity. Use of tidal energy could also decrease the need for nuclear power, with its associated radiation risks. Changing tidal flows by damming a bay or estuary could, however, result in negative impacts on aquatic and shoreline ecosystems, as well as navigation and recreation.

The few studies that have been undertaken to date to identify the environmental impacts of a tidal

power scheme have determined that each specific site is different and the impacts depend greatly upon local geography. Local tides changed only slightly due to the La Rance barrage, and the environmental impact has been negligible, but this may not be the case for all other sites. It has been estimated that in the Bay of Fundy, tidal power plants could decrease local tides by 15 cm. This does not seem like much when one considers that natural variations such as winds can change the level of the tides by several metres.

Very little is understood about how altering the tides can affect incredibly complex aquatic and shoreline ecosystems. One fear is that enhanced mixing of water could be caused by tidal barrages in the Bay of Fundy, potentially stimulating the growth of the "red tide" organism, Gonyalaux excavata, which causes paralysis in shellfish. Unfortunately, one of the only methods of increasing our knowledge about how tidal barrages affect ecosystems may be the study of the effects after such facilities have been built.

### *Conclusions*

Tidal power has the potential to generate significant amounts of electricity at certain sites around the world. Although our entire electricity needs could never be met by tidal power alone, it can be a valuable source of renewable energy to an electrical system. The negative environmental impacts of tidal barrages are probably much smaller than those of other sources of electricity, but are not well understood at this time. The technology required for tidal power is well developed, and the main barrier to increased use of the tides is that of construction costs. The future costs of other sources of electricity, and concern over their environmental impacts, will ultimately determine whether humankind extensively harnesses the gravitational power of the moon.

## *Methods of Power Generation*

### *Ebb generation*

This system has the same outgoing flow direction during power generation as the ebb tide. For maximum power generation the turbines do not start to release the water until well after the sea has started to ebb, approximately 3 hours after.

### *Flood Generation*

Flood Generation is essentially the opposite to ebb generation. In this case the power generation is during the flood tide and hence the turbines discharge the water into the basin.

### *Ebb generation plus Pumping at high tide*

This is simply a variation on the ebb generation. During or very soon after high tide, the sluice gate are closed and the turbines are reversed in order to act as a pump, this forces more water into the basin. The pumping stops when sea has fallen to a level where it is no longer economical to pump the required head. The sea level falls further below after the pumps are stopped however since there is more water stored in the basin than there is in a simple ebb generation system the power generation can be started earlier. The additional water pumped into the basin is released through the turbines at a much greater head than what they were pumped therefore a net gain in energy results.
Often turbine blades are curved for maximum efficiency in the direction of generating power and so when they are used in reverse as a pump the efficiency is significantly reduced. This must be taken into account when determining at what point should the turbines stop pumping to enable maximum energy gain. A solution would be turbines that have variable blades to improve efficiency while pumping however these would be more expensive and require greater maintenance.

### *Two-way Power Generation*

In a two-way generation system the power is generated from both the ebb and flood tides. The ebb generation starts at a basin level that is less than for single cycle generation. Towards the end of the generating cycle the sluice gates are opened to allow flow from the basin to the sea and hence drop the water level in the basin. This is necessary to achieve a sufficient difference in water height during the flood generation phase. At low tide the sea and basin levels become equal and the gates are closed. Once the sea has risen to the optimum height generation begins by operating the turbines in the opposite direction. Part way through this generation the sluice gates are opened to allow the basin level to rise and result in sufficient head for the next ebb generation cycle.

Because of the lower heads during each generation phase compared to one-way systems, the wasted water by opening the sluice gates part way through the generation cycles and the lower efficiency in operating the turbines in reverse, two-way generation does not produce any more energy than one-way ebb generation. However, the maximum power output lower and the two generation phases per tide mean the output of two-way generation is easier to absorb in the grid system.

### *Two-basin Generation*

This system involves two basins formed adjacent to each other, both equipped with sluice gates. The simplest configuration is to have the turbines in the dividing wall between basin A and basin B. Basin A is the high level basin, filled through its sluices at high tide and emptied through the turbines into basin B. Basin B is the low level basin filled through the turbines from basin A and emptied through its sluice gates at low tide. The storage available in each basin generally allows the turbines to operate longer than the case of a single basin. In some cases it is possible for the turbines to run continuously.

## منابع و مآخذ

۱- در جستجوی منابع انرژی آب ایران، تألیف مهندس هومان فرزاد

۲- مطالعات شناسایی و ارزیابی پتانسیل انرژی جزر و مد و امواج دریا جلد اول و دوم – وزارت نیرو، معاونت انرژی – دفتر انرژیهای نو

۳- منابع انرژی تجدیدپذیر نوین تألیف شورای جهانی انرژی، ترجمه دفتر انرژیهای نو ایران

٤- دومین کنفرانس سراسری روستا و انرژی ٦ و ۷ خرداد ۱۳۷۷

عنوان مقاله: امکان بهره برداری از انرژی دریای خزر دکتر سیدعلی نبوی نیاکی

٥- شانزدهمین کنفرانس بین المللی برق – تهران

عنوان مقاله: استفاده بهینه از انرژیهای نهفته در دریاهای ایران مهندس فرشید ذبیحیان

٦- مجموعه مقالات کنفرانس ملی نیروگاههای آبی کشور ٦ و ۷ خرداد ۱۳۸۲

عنوان مقاله: پتانسیل استفاده از انرژی جزر و مدی در خوردورق (خور موسی) سازمان آب و برق خوزستان

7- http://www.konstruction - und - ernaehrung.ed/tidal%20 power%20 text. pdf

8- http://www.uwec.edu/grossmzc/mintc.html