DOR: 20.1001.1.24234931.1400.8.2.6.2

سال هشتم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۰، ص ص ۵۰- ۶۲

فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

jrenew.ir

مقاله ترویجی

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۲/۲۲

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۱۱

بررسی و مقایسه انواع روش های استحصال توان الکتریکی از انرژی جزر و مد

محمد صادقی نژاد[۱]، نوید غفارزاده [۲*]

۱- کارشناسی، مهندسی برق قدرت، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

۲- دانشیار، مهندسی برق قدرت، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

* قزوین، صندوق پستی: ۳۴۱۴۸۹۶۸۱۸، ghaffarzadeh@eng.ikiu.ac.ir

چکیده

انرژی جزرومد یکی از انواع مختلف تولید انرژی می‌باشد. جریان‌های جزرومدی برخلاف بسیاری از انواع انرژی تجدید پذیر، یک منبع انرژی پایدار به صورت جنبشی وپتانسیل می‌باشند که به علت تاثیر نیروی جاذبه‌ی ماه برزمین به وجود می‌آیند. جزرومد یکی ازمعدود انرژی‌های قابل پیش‌بینی در جهان بوده که باعث جذابیت آن برای جهان امروز گردیده است. به گونه‌ای که در صورت مهار آن، انرژی جزرومد می‌تواند در زمان‌های مشخص واز قبل تعیین شده تولید شود. این نوع انرژی می‌تواند برای جبران وپشتیبانی انواع دیگر تولید انرژی مانند سوخت‌های فسیلی وهسته‌ای که پیامدهای زیست محیطی زیادی دارند استفاده گردد. این نوع انرژی قادر به پاسخگویی تمام نیازهای جهان نمی‌باشد، اما نقطه شروعی برای گسترش و آشنایی بیشتر جهان با انرژی پاک و قابل دسترس می‌باشد. در این مقاله، درابتدا به بررسی وتعریف ابتدایی چگونگی پیدایش و تاریخچه استفاده از انرژی جزرومد پرداخته شده، و درادامه به روش‌های قابل استحصال انرژی جزرومد به خصوص یکی از روش‌های نوین و درحال توسعه به نام بلوتک اشاره گردیده و درآخر عملکرد یک نیروگاه جزر و مد مورد بررسی قرارگرفته است.

کلیدواژگان: جزرومد، انرژی جزرومد، نیروگاه جزرومد

Investigation and Comparison of Different Types of Electric Power Extraction from Tidal Energy

Mohammad Sadeghinejad[1], Navid Ghaffarzadeh[2*]

1- Department of Electrical Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

2- Associate Professor, Department of Electrical Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

* P.O.B. 3414896818, Qazvin, Iran, ghaffarzadeh@eng.ikiu.ac.ir

Received: 11 May 2020 Accepted: 1 September 2020

Abstract

Tidal energy is one of the different types of energy sources. Unlike many types of renewable energy, tidal currents are a kinetic and potential source of energy arising from the influence of the Earth's gravitational force. Tidal is one of the few predictable energies in the world that has made it attractive to today's world; So that if it is inhibited, tidal energy can be produced at predetermined times. This type of energy is not able to meet all the needs of the world, but it is a starting point for expanding and acquainting the world with clean and accessible energy. In this paper, we first discuss the emergence and history of tidal energy using and then other methods of tidal energy extraction was introduced, especially one of the new and developing methods called Bluetec, and finally the performance of the tidal power plant was investigated.

Keywords: Tide, tidal energy, tidal power plant

مالکیت معنوی این مقاله تحت گواهی بین المللی تخصیص ۴ کریتیو کامنز محفوظ است

۱.مقدمه

انرژی‌های قدیمی شامل چوب، ذغال، باد، نفت و غیره بوده، و انرژی‌های جدید شامل خورشید، باد، هیدروژن، اتم و انرژی دریاها می‌باشند. انرژی‌های تجدید پذیر به دلیل عدم آلودگی هوا و آسیب نزدن به محیط زیست از اهمیت بالایی برخوردار هستند. منابع مختلف انرژی بسیار گوناگون هستند و هرکدام برتری‌ها و اشکالات متفاوت خود را دارند. بحران انرژی در دهه ی ۱۹۷۰ میلادی، فکر دانشمندان را به سوی منابع انرژی مستقل از سوخت فسیلی کشانده است که باعث گردیده تحقیقات گسترده‌ای در خصوص استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در جهان صورت گیرد، از جمله این تحقیقات استفاده از انرژی پایان ناپذیر نهفته در دریاست که یکی از این نوع انرژی‌ها،انرژی جزرومد می باشد.

جزر و مد و جریانات جزر و مدی نتیجه اثر نیروهای جاذبه اجسام آسمانی است. انرژی حاصل از جزر و مد بسیار مشابه واحدهای برق-آبی است. این نیروها سبب افزایش ارتفاع سطح آب شده که این افزایش نیز سبب ایجاد جریان‌های افقی [1] جزرومدی می‌گردد. همچنان که زمین به دور خود می‌چرخد تغییرات ارتفاع سطح آب نیز در دو نقطه از زمین رخ می‌دهد و هر لحظه در این دو نقطه‌ی مقابل از کره زمین سطح آب بالا و پایین می‌گردد. به بالا آمدن سطح آب پدیده مد [2] و به پایین آمدن آن پدیده جزر [3] گویند. به اختلاف ارتفاع سطح آب مد و آب جزر دامنه [4] گویند. نیروی جاذبه‌ی ماه طبق قانون جاذبه‌ی نیوتون، از نیروی جاذبه‌ی خورشید خیلی بیشتر است و به همین علت بیشترین سهم را روی به وجود آوردن جزرومد دارد. زمانبندی جزرومد از روزی به روز دیگر متفاوت است و آن هم به خاطر آن است که مدار ماه به طور منظم طی بازه زمانی ۲۴ ساعت اتفاق نیفتاده. در عوض چرخش ماه به دور زمین هر ۲۴ ساعت و ۵۰ دقیقه یکبار رخ می‌دهد در این مدت ۲ بار جزرومد اتفاق می افتد، که در نتیجه سیکل آن کمتر از ۱۲ ساعت و ۲۵ دقیقه است. همچنین جزرومد ناشی از جاذبه‌ی خورشید هر ۱۲ ساعت رخ داده که دامنه‌ی آن خیلی کم است. برای استفاده اقتصادی به اختلاف ۵ تا ۱۰ متری نیاز است، که تاکنون ۲۷ محل شرایط مناسب برای احداث نیروگاه‌های جزرومدی را دارند. غالبا تصور می‌کنیم که دوران زمین حول خودش فضای زیادی از آب را جابجا کرده و جزر ومد را ایجاد می‌کند، یا کاهشی در فاصله بین خورشید و زمین بوده که جزر ومدهای اعتدالی را تولید می‌کند. در حقیقت جزرومد نتیجه سیستمی از امواج بوده که به سرعت در اقیانوس‌ها منتشر می‌گردد و نوسان منظم کمتر یا بیشتر سطح آبرا تولید می‌کند. نظم و دامنه نوسان این پدیده به هر دوعامل نجومی (موقعیت نسبی ماه و خورشید) وعامل جغرافیایی (مختصات منطقه بررسی شده) بستگی دارد**[1]**.

۲.نظریه‌های جزر ومد

در دوران پس از قرون وسطی ۳ نظریه در مورد جزرومد بیان شده است که به شرح زیر هستند.

۱. نظریه گالیله: گردش سالانه زمین به دور خورشید و نیز چرخش روزانه آن به دور محور خودش سبب ایجاد حرکاتی در دریاها می‌شود که با تغییراتی که ناشی از شکل و هندسه بستر دریا، در محل می‌باشد، جزر ومد را ایجاد می‌کند.

۲. نظریه دکارت(فیلسوف فرانسوی): چنین می‌اندیشید که فضای اطراف ماه پر از ماده غیر قابل رویتی به نام اتر می‌باشد. هنگامی که ماه به دور زمین می‌چرخد این ماده را فشرده می‌سازد و اتر نیز این فشار را به دریا متحمل می‌کند، لذا جزر ومد پدید می‌آیند.

۳. نظریه کپلر: یکی از بنیان‌گذاران ایده اعمال جاذبه از ماه بر آب‌های اقیانوس‌ها بود و براساس این پدیده آب‌های اقیانوس‌ها بالا کشیده می‌شود و این جاذبه با نیروی جاذبه‌ای که از سوی زمین به آب‌های اقیانوس‌ها اعمال می‌گردد متعادل می‌گردد .

به تدریج وقتی که ایده مرکز بودن خورشید و چرخش هر یک از سیارات منظومه شمسی به دور خورشید جا افتاد نظریات کپلر بیشتر مورد توجه قرار گرفت.

تمامی این نظریات قادر به بیان اینکه بار جزرومد در یک روز رخ می‌دهد نبودند.

۳.مبدا نجومی جزر ومد

یک شباهت بسیار ابتدایی بین جزرومد و حرکت ماه دیده شده است، قدیمی‌ها این را به نظم قطب‌ها و حرکت خورشید نیز ارتباط داده‌اند. اما آن‌ها مبنای تئوری برای حفظ آن نداشته، درحقیقت مبنای این توجیه علمی بعدها توسط نیوتون و تئوری جاذبه‌ی عمومی او مطرح گردید. جزرومد نتیجه جذب آب اقیانوس از طریق سیارات اطراف می‌باشد، نیروی این جزر ومد به دلیل این پدیده است که این جاذبه در سطح دریا، از مرکز زمین متفاوت می باشد. صدها سال بعد لاپلاس [5] مدل دینامیکی را پیشنهاد کرد، درآن نیروی تولید جزرومد فقط نتیجه جاذبه دریا توسط خورشید و ماه نبود. درصورتی که چنین چیزی باشد فقط یک جزر ومد در هرروز رخ می‌دهد نه دو جزرومد. به علاوه کاربرد قانون نیوتون نشان می‌دهد که جاذبه خورشید در آن مورد به مراتب مهمتر از جاذبه ماه خواهد بود، درحالی که مشاهده ریتم جزرومدها نشان می‌دهد که ماه دارای نفوذ وتاثیر بیشتری می‌باشد. درحقیقت هر ستاره‌ای که باشد(ماه یا خورشید) نیروی تولیدکننده جزرومد حاصل جاذبه ستارگان و نیروی گریز از مرکز مخالف می‌باشد. یک نیروی گریز از مرکز وجود دارد، زیرا مجموعه زمین و ستارگان حول یک محور که از مرکز ثقل آن می‌گذرد دوران می‌کنند. درآن مورد برآیند نیروها یک برآمدگی را به طرف ستاره و برآمدگی دیگری را به طرف جهت مخالف ایجاد می‌کند. از آنجایی که این نیرو با مکعب فاصله زمین و ستاره نسبت عکس دارد (جاذبه بر طبق مربع آن کاهش می‌یابد)، ماه که نزدیکتر بوده عامل اصلی جزرومد شده و تاثیر آن ۲ برابر خورشید می‌باشد. مدل دینامیکی پیشنهاد شده توسط لاپلاس، درآن مورد مجموعه زمین و ماه حول محوری دوران می‌کند که از مرکز ثقل می‌گذرد. این نقطه در فاصله‌ی

1.tidal stream 2.high tide 3.low tide 4.tidal range 5.laplace

۴۶۵۰ کیلومتری از مرکز زمین قرار دارد.(این مرکز دارای شعاع ۶۳۷۰ کیلومتری می‌باشد.)

در حال حاضر طرح واقع بینانه‌ای از جزرومد را در دسترس است. این پدیده از حرکت ماه با یک دوره نیم روزی بدست می‌آید (۲ سیکل در یک روز). تاثیر خورشید دارای اهمیت کمتری بوده و فقط دارای یک تاثیر بر دامنه نوسان جزرومد می‌باشد. این می‌تواند در مقابل تاثیر ماه افزایش یابد. این طرح کلی در هرجایی معتبر نیست، اما در سطح زمین به طور گسترده‌ای ارائه می‌شود. باید توجه کنیم که این نیروها عملا بسیار کوچک هستند و نوسانات سطحی را وارد می‌کنند که عموما کمتراز یک متر است، پس از این به سراغ قاره‌ها درسواحل نزدیکتر رفته، موج جزرومد می‌تواند درعمق کمنر افزایش یابد وبدین ترتیب گاهی اوقات گستره جزر ومد می‌تواند بیش از ۱۰ مترباشد(۱۷ متر در فاند بی در کانادا و ۱۴.۵ متر در گرانویل در فرانسه) **[2]**.

۴.انواع جزرومد

۱. جزرومدهای نیم روزی: ۲ سیکل در یک روز را نشان می‌دهند. ۲ مد یا ۲ جزر کاملا مشابه یکدیگر بوده. این جزرومدها تقریبا در تمام اقیانوس آتلانتیک و به ویژه در امتداد سواحل اروپای غربی مشهور هستند. مهمترین گستره‌ها و حوزه‌های جزرومدی را می‌توان در امتداد سواحلی که در معرض این نوع جزرومد هستند، ملاحظه نمود(در حوزه جزر و مدی: نوسان ارتفاع آب بین و جزرومد بعدی) **[3]**.

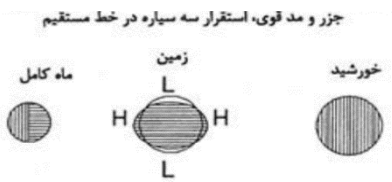
۲. جزرومدهای نیم روزی با اختلاف روزانه: همواره ۲ سیکل روزانه وجود دارد اما این ۲ سیکل دردامنه نوسان با یکدیگر تفاوت دارند. این نوع جزرومد در اقیانوس‌های هند و آرام ودر برخی بنادر غربی اقیانوس آتلانتیک متداول‌تر است.

۳. جزرومدهای شبانه روزی یک تک سیکل را در هر روز تجربه می‌کند آن‌ها کاملا نادر هستند وغالبا در خلیج‌ها یا در دریاهایی مانند خلیج مکزیکو یا جنوب دریای چین مشاهده می‌شوند.

۴. عبارت جزر ومد ترکیبی زمانی به کار می‌رود که توالی جزرومدهای شبانه روزی یا نیم روزی (برابر یا نابرابر) مشاهده شود، (اندونزی غربی و ویتنام) جزرومدهای نیم روزی برابر یا نابرابر در اقیانوس ها نمایان هستند **[4]**.

۵.انواع شدت جزر ومد

الف) حداکثر: زمانی رخ داده که ماه، خورشید و زمین در یک راستا مستقیم نسبت به همدیگر قرار گیرند و در طول یک ماه ۲ بار رخ می‌دهد.



شکل۱ نحوه قرار گیری ۳ سیاره در حالت حداکثر جزرومد

ب)حداقل: زمانی است که ماه، خورشید و زمین با یکدیگر یک زاویه‌ی ۹۰ درجه را می‌سازند آنگاه برآمده‌گیری‌های ناشی از خورشید و ماه هم فاز نمی‌باشند و اثر همدیگر را خنثی می‌کنند. هر۷ روز تقریبا اتفاق می‌افتد**[1]** .

شکل2 نحوه قرار گیری ۳سیاره در حالت حداقل جزرومد

۶.تاثیرماه بر ریتم جزرومد

حرکت دورانی مجموعه ماه و زمین موجب ۲ برآمدگی در سطح اقیانوس‌ها می‌شود با دوران زمین به دور خود این برآمدگی‌ها از شرق به غرب حرکت کرده و موقعیت ماه را دنبال می‌کنند. بدلیل آنکه ماه هر ۲۸ روز یکبار دور زمین می‌گردد طی یک دوران، زمین مقدار کمی نیز حرکت می‌کند(حدود ۱۳ درجه). بنابراین درست پس از یک دوران ۳۶۰+۱۳ درجه زمین، ماه دقیقا در بالای همین نقطه قرارخواهد گرفت، این مستلزم ۲۴ ساعت و ۵۰ دقیقه می‌باشد و این طول دوره ۲ سیکل نیم روزی است (با یک سیکل شبانه روزی). بنابراین درمورد سیکل نیم روزی ربع این زمان(۶ساعت و ۱۲دقیقه) بین یک مد وجزر بعدی خواهدبود.

پارامترهای موثر دیگر در جزرومد:

۱. بازتاب امواج از سواحل نامنظم اقیانوس‌ها و دریاها

۲. مقاومت اصطکاکی کف دریا در آب‌های کم عمق

۳. باد

۴. زلزله‌هایی که در دریاها و اقیانوس ها رخ می‌دهد.

۷.انرژی جزر ومد

انرژی جزرومد یکی از قدیمی‌ترین اشکال انرژی مورد استفاده انسان است. این انرژی شکلی از انرژی تجدید پذیر است، که از تبدیل فرآیند جزرومد دریا به دیگر اشکال مفید انرژی به‌خصوص انرژی الکتریسیته، مورد استفاده قرار می‌گیرد. جزرومد از انرژی‌های قابل پیش بینی است، درمیان انرژی‌های تجدید پذیر انرژی جزرومد همیشه با مشکل هزینه بالا ومحدودیت در مکان با جزرومد شدید یا سرعت بالای جریان آب روبرو بوده است **[5]** .

نیروگاه‌های جزرو مد تنها در ساعت‌های خاصی از روز می‌توانند انرژی الکتریسیته تولید کنند، قیمت سیستم‌های جزرومد بسته به خصوصیات محیطی‌و جغرافیایی و زمین شناسی محل تغییر می‌کند. به علت هزینه های گزاف و زمان‌های دراز مدتی که صرف ساخت می‌شود از به اجرا درآمدن طرح‌های عظیم در این زمینه جلوگیری می‌کند.

تاسیسات برق به دلیل فنی تنها ۲۵ درصد ظرفیتشان را برای تولید برق از جزر ومد می‌توانند به کار گیرند. حداکثر ظرفیت جهانی انرژی جزرو مدی

حدود 3000 GW انرژی قابل دسترس است. تاکنون حدود 166365 MW ظرفیت نصب شده نیروگاه‌های جزرومدی در سطح جهان است.

جدول زیر بیانگر اختلاف ارتفاع جزر ومدی در نیروگاه‌های اجرا شده است که به طور کلی ۳ چرخه برای این فرآیند می‌توان در نظر گرفت.

جدول ۱ میزان اختلاف ارتفاع جزر ومدی

محل	کشور	اختلاف ارتفاع (ft)
Saint malo / rance river	فرانسه	۲۲.۸
Passamaaquaddy / hope well	آمریکا و کانادا	۱۸.۱
Server river	انگلستان	۳۵
Anapolis river	آمریکا	24
Murmusk	دریای سفید روسیه	۲۰
San jose	آرژانتین	۲۰

در واقع، کارخانجات جزرومد، که در سواحل اسپانیا، فرانسه و انگلیس استفاده می‌شوند، مربوط به سال ۷۸۷ میلادی هستند. کارخانه‌های جزر و مدی از حوضچه ذخیره‌سازی تشکیل شده‌بودند، که توسط جزرومد ورودی (سیل) از طریق یک سیلاب پرشده و درطی جزرومدی (خروج) خالی می‌شدند. نیروی جزرومدی غیر آلاینده، قابل اعتماد و قابل پیش‌بینی است. موانع جزرومد، توربین‌های جزرومدی درزیر سطح- مانند توربین‌های بادی اما با حرکت در دریا- و انواع ماشین‌هایی که جریان‌های زیر زمینی را مهار می‌کنند در دست ساخت هستند. برخلاف باد و موج، جریان‌های جزرومد کاملاً قابل پیش‌بینی است. نقطه ضعف قدرت جزرومد فاکتور ظرفیت کم آن است و به دلیل چرخه ۱۲.۵ ساعته از جزرومد، اوج تقاضا را از دست می‌دهد. پتانسیل کل جهان برای قدرت جزرومد اقیانوس ۶۴۰۰۰ مگاوات برآورد شده است.

تقاضا برای برق در شبکه در طول روز متفاوت است. تأمین برق از نیروگاه جزرومد هرگز با تقاضای یک سیستم مطابقت نخواهدداشت. اما به دلیل چرخه قمری و گرانش، جریان‌های جزرومد اگرچه متغیر هستند، اما قابل اطمینان و قابل پیش‌بینی هستند و قدرت آن‌ها می‌تواند سهم ارزنده‌ای در سیستم الکتریکی داشته‌باشد که دارای منابع متنوعی است. از برق جزرومدی می‌توان برای جابجایی الکتریسیته استفاده‌کرد که در غیر این صورت با استفاده از نیروگاه‌های دارای سوخت فسیلی (زغال سنگ، روغن، گاز طبیعی) تولید می‌شود، بنابراین باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای واسیدی می‌گردد**[4,3]**.

۸.قدرت جزر و مد

نیروگاه‌های جزر ومد در اوایل دهه ۱۹۹۰ به وجود آمدند در آن زمان تنها یک مسیر جزرومد مورد استفاده بود. ماشین‌های جزرومد در قرن ۱۸میلادی ساخته شد. باماشین‌های بادی وچرخ‌های آبی رقابت شدیدی داشتند، ورود موتورهای بخار ارزان باعث ازصحنه خارج شدن ماشین‌های جزرومد شدند و تعداد کمی در نواحی دور دست باقی ماندند**[5]**.

مهم‌ترین آنها عبارتند از:

جدول۲ نیروگاه‌های مهم جزرومد

نام	سال‌احداث	محل احداث	ظرفیت تولید	سایر
لارنس	۱۹۶۰تا۱۹۶۶	دهانه‌ی‌ورودی شمال‌غربی فرانسه	۲۴۰ مگاوات	-اولین و بزرگترین نیروگاه تولید انرژی الکتریکی از جزرومد -ضریب‌توان تبدیل انرژی‌جزرومد به الکتریسیته- درحدود ۱۸تا ۲۵ درصد
آناپولیس	۱۹۸۴	آناپولیس‌رویال درسواجل نواسکاتیا در دریای فاندی کانادا	۱۸۰ مگاوات	-دومین‌نیروگاه جزرومدی است -از یک‌سد کنترل شاری‌با یک توربین دارای ضخامت ۷.۵ متری و جریان برق dc بهره می- برد.

از لحاظ فنی در اروپا منابع جزرومدی فراوانی در بریتانیای کبیر در دسترس است، محلی در دهانه سورن در جنوب غربی انگلستان توانایی بالقوه ۸ گیگاوات را داراست و همچنین پتانسیل زیادی در جنوب فرانسه وجود دارد. از دیگر نیروگاه‌های موجود می‌توان نیروگاه اولدولمک، سیهوا و این چه اون رانام برد. در قرن یازدهم از انرژی جزرومد در ساحل اقیانوس اطلس در کشورهای فرانسه و انگلستان و اسپانیا با قرار دادن دستگاه‌هایی استفاده شده، استفاده عملی از انرژی جزرومد در ابعاد بزرگ در قرن۱۹ادامه داده شد. تاسیسات استفاده شده از انرژی جزرومد در انگلستان، آلمان، ایتالیا و شوروی سابق و آمریکا بکار گرفته شد **[5,3]**. ماشین‌های جزرومدی قدیمی قسمت کوچکی از انرژی جزرومد موجود را برای تولید انرژی مکانیکی فراهم می‌کند. توان مکانیکی چنین ماشین هایی بین ۳۰ تا ۱۰۰ کیلو وات بوده است. از نقطه نظر تاریخی آسیاب‌هایی که از انرژی جزرومد بهره می‌گرفتند هم در اروپا و هم درسواحل شرقی آمریکای شمالی وجود داشته اند. آب ورودی در استخرهای بزرگ ذخیره می‌شدند و در هنگام فروکش کردن مد چرخ‌های آبی را به چرخش در می‌آوردند و انرژی آن را برای آرد کردن غلات استفاده می‌کردند. در قرن ۱۱ میلادی نیز آسیابان سواحل ولز سنگ‌های آسیاب خود را با کمک نیروی جزرومد به کار می‌انداختند و برهمین اساس هم یک نیروگاه بهره‌برداری از قدرت جزرومد در سانت متلوی فرانسه از ۳۵ سال پیش تاکنون به کار مشغول است اما از این روش تنها در شمار اندکی از سواحل جهان می‌توان استفاده کرد. یعنی در سواحلی که تفاوت ارتفاع سطح آب در حین جزرومد بیش از چندین متر است**[1]**.

۹.مقدار انرژی قابل استحصال از جزرومد

به گفته کارشناسان کل توان جزرومدی پراکنده در جهان حدود 2.4×10^6 مگاوات است، که حدود یک سوم مصرف برق جهان در اوایل دهه ۱۹۷۰ می-باشد. درحدود 10^6 مگاوات از این مقدار در آب‌ها و سواحل کم عمق بوجود می‌آید، که باتوجه به سرمایه‌گذاری عظیم لازمه، قابل استحصال نمی‌باشد، تنها بخش کوچکی از توان باقیمانده قابل حصول بنظر می‌رسد **[3]** .

انرژی پتانسیل قابل استحصال در جزرومد که با دامنه R بر حسب متر وارد حوضچه‌ای به مساحت A برحسب مترمربع می‌شود برابر است با :

حاصل‌ضرب نیرویی که به خاطر کنترل جریان آب در دسترس می‌باشد در متوسط فاصله عمودی پیموده‌شده توسط آب که به شرح زیر است.

$$W = \text{نیرو} \times \text{فاصله} = \rho AgR \times \frac{R}{2} \qquad (1)$$

R: دامنه جزرومد

A: مساحت حوضچه

g : شتاب جاذبه زمین

ρ: دانسته آب $\frac{kg}{m^3}$

از آنجایی‌که جزرومد در طول هرروز جزرومدی ۲ بار وارد مخزن سد شده پس درهر ۲۴.۸ ساعت ۴ حالت جزرومدی داریم لذا بیشترین توانی که به صورت محاسباتی می‌توان بدست آورد به صورت زیر است:

$$p_{max} = \frac{4 \times \frac{1}{2} \times \rho g A g^2}{24.8 \times 3600} = 0.22AR^2 \qquad (2)$$

اما به علت افت‌های گوناگون که وجود دارد توان واقعی در دسترس حدود ۲۵ درصد مقادیری است که توسط فرمول فوق بیان شده‌است، یعنی:

$$p_{actual} = \frac{p_{max}}{4} = 0.055AR^2 \quad (3)$$

انرژی که می‌توان هنگام جزرومد تولید نمود به صورت زیر محاسبه گردیده:

$$E = dgAH^2 \quad (4)$$

d: جرم مخصوص آب

g: شتاب گرانشی

A: سطح محصور

H: ارتفاع جزرومد

اگر جزرومد باعث بالا آمدن سطح آب در یک حوزه به مساحت A و به ارتفاع H گردد کار انجام شده بر روی آن یا انرژی پتانسیل ذخیره شده ازرابطه‌ی زیر بدست خواهد آمد:

$$E_p = \rho gA \int_0^h zdz = 0.5\rho AgH^2 \qquad (5)$$

ρ :چگالی آب دریا

کار لازم برای خالی کردن آب از رابطه ی زیر محاسبه شده:

$$E_e = \int_0^H \rho A(z) \times zdz \qquad (6)$$

A(z): مساحت مخزن به صورت تابعی از عمق آب

کارلازم برای پرکردن مخزن:

$$E_f = \int_{z=0}^H \rho A(z)(H - Z)dz \qquad (7)$$

یک دور جزرومد کامل:

$$E_c = E_f + E_e = V_b H\rho \qquad (8)$$

V_b: حجم حوضه

توان قابل دسترس:

$$power = \frac{E_{period}}{12h.25min} \qquad (10)$$

$$E_p = 0.5\rho AgH^2 \qquad (11)$$

۱۰.مزایا ومعایب نیروگاه‌ها

مزایا

۱. باعث کاهش آلودگی‌های زیست محیطی می‌شود و همچنین تاثیر کمتری روی موجودات زنده دارد.
۲. دارای بازده ای بالا می‌باشد.
۳. عدم نیاز به هیچ نوع سوخت یا شارژی برای کارکردن است.
٤. از سواحل در مقابل جزرومد بلند و طوفان‌های دریایی شدید حفاظت می‌نماید. **[7,1]**.

معایب

۱. این نوع نیروگاه‌ها تنها ۱۰ ساعت در روز انرژی تامین می‌کنند.
۲. برق تولیدی توسط این نوع نیروگاه در کنترل ما نبوده.
۳. برای استخراج انرژی سایت‌ها و محل‌های اندکی در دسترس می‌باشد، به نوعی ک در هرمکانی قادر به احداث و بهره برداری نمی‌باشیم.
٤. سدها باعث تەنشین کردن لجن و گل و لای در بستر دریا و اقیانوس شده که گاها دارا اثرات تخریبی روی زندگی جانوران می‌باشد.
٥. برنامه‌ریزی برای در مدار قرارگیری نیروگاه‌ها گاها طاقت فرسا و طولانی می‌باشد که این امر نیاز به بررسی های دقیق و طولانی مدت در بعضی مناطق بوده.
٦. فاصله نواحی تولید از نواحی مصرف گاها زیاد بوده که برای انتقال و دسترسی سریعتر نیاز به پروسه طولانی و پرهزینه ای برای بهره وری می‌باشد.
۷. دارای هزینه سرمایه‌گذاری بالا بوده.
۸. دارای مشکلات زیست محیطی در بعضی از مناطق بوده. **[7,1]**

۱۱.روش‌های استحصال انرژی جزرومد

۱۱.۱.سدهای کشندی

سدهای کشندی از انرژی پتانسیل موجود دراختلاف ارتفاع بین کشند بالا و پایین استفاده می‌کنند. هنگامی که از سد کشندی برای تولید برق استفاده می‌گردد، انرژی یک کشند با قرار دادن راهبردی سدهایی ویژه ذخیره می‌شود.

هنگامی که سطح دریا افزایش می‌یابد و کشند شروع می‌گردد، افزایش موقتی انرژی کشندی به آبگیر بزرگی در پشت سد هدایت شده ومقدارزیادی انرژی پتانسیل ذخیره شده و با عقب‌نشینی کشند، انرژی این آب آزاد می‌شود و با حرکت توربین‌های بزرگی انرژی آن به انرژی مکانیکی تبدیل می‌شود و به واسطه ژنراتورهایی تولید برق انجام می‌گردد. این سدها درطول ساحل، در کل طول دهانه رودخانه یا خلیج امتداد دارند. شایان ذکر است که توربین‌های به کار رفته در این سدها می‌توانند ۲ طرفه باشند و از جریان‌های آب انرژی بگیرند که در ۲ سمت حرکت دارد. همچنین توربین نصب شده می‌تواند در مواقعی که سطح آب در پشت سد پایین است، آب را از دریا به پشت سد پمپ کند که این موارد اغلب در شب‌ها که قیمت برق ارزان‌تر است رخ می‌دهد، لذا صرفه اقتصادی هم دارد. ازمشکلات این روش می‌توان به هزینه زیاد ساخت این سدها اشاره کرد. ساخت این سدها، در دریا موجب تغییر کیفیت آب می‌شود و زندگی موجودات زیر آب را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد. همچنین به علت ارتفاع آب، احتمال افزایش وقوع سیل نیز وجود دارد. اما در هر منطقه به علت تفاوت های ساختاری و آب‌وهوایی ، باید به طور جداگانه بررسی صورت‌گیرد. انرژی بدست-آمده با حجم آب عبوری از دروازه‌ها ارتباط مستقیم دارد. انرژی پتانسیل آب از رابطه ی زیر محاسبه می‌گردد **[6,3].**

$$E = \frac{1}{2} A g \rho h^2 \qquad (12)$$

این روش یکی از بهینه‌ترین و اقتصادی‌ترین روش‌های احداث سد در مقابل آب دریاست که استفاده از جریان برای به حرکت درآوردن توربین می‌باشد. این مقدار جزر ومد باید بیشتر از ۵ متر باشد تا ساخت سد، مفید و کارایی آن محتمل باشد.

شکل ۳ روش سدبندی جزر

روش‌های متنوعی برای تولید انرژی جزرومدی از طریق سدبندی وجود دارد که به شرح زیر است:

۱۱.۲.روش تک حوضچه‌ای

در آرایش تک حوضچه ای تنها یک حوضچه با دریا ارتباط دارد در حقیقت حوضچه و دریاتوسط یک‌دایک[1] جداشده‌اندو جریان بین آنها از طریق مجرای آبگذر [2] که‌در امتداد دایک قرار دارد عبور می‌کند **[6,3]**.

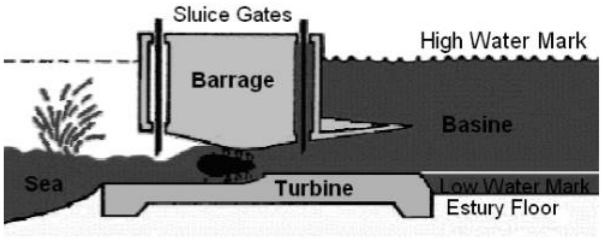
الف: سیستم تک حوضچه‌ای با جریان ازسوی حوضچه به دریا:

در هنگام جزر دریا برق تولید می‌گردد. دراین روش آب درحالت مد در حوضچه ذخیره شده و محفظه بسته‌شده و سپس بعد از ایجاد ارتفاع لازم و پایین آمدن سطح آب نسبت به توربین نصب شده در خروجی، در حالت جزر آب از حوضچه به سمت دریا تخلیه می‌گردد و باعث حرکت توربین شده، به این روش تولید در جزر نیز گویند. سد ساخته شده دارای مجاری ورودی و توربین ها است. آبگیر که درهنگام مد پرشده، ازطریق مجرای ورودی و ازطریق دریچه‌های توربین تخلیه می‌گردد. در این روش ۵ ساعت تولید وحدود ۶ الی ۷ ساعت زمان برای پرکردن مجدد حوضچه صرف می‌شود. در این طرح تقریبا ۵۰ زمان سیکل جزرومد برای تولید انرژی استفاده می‌گردد. ماکزیمم ارتفاع ۷۸ درصد رنج جزرومد و میانگین آن ۲۸ درصد این مقدار است (شکل شماره۴)**[3,4]** .

روند تولید برق در این روش:

۱. مرحله پرشدت حوضچه در طی زمان مد از طریق دایک ورودی (مجرای آبگذر)

۲. زمان انتظار برای کسب حداقل ارتفاع روی توربین‌ها و سپس شروع تولید انرژی تا وقتی ارتفاع کارکرد توربین اجازه دهد به طور خودکار تکرار می‌گردد.



شکل ۴ روش تولید انرژی جزرومد به روش سدبندی درحالت جزر

ب: سیستم تک حوضچه‌ای با جریان‌های ازسوی دریا به حوضچه:

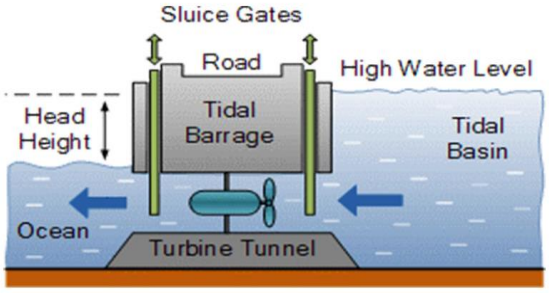
تولید برق در حالت مد صورت گرفته. در این حالت آب دریا را از روی توربین‌ها به سوی حوضچه عبورداده وهنگامی که هد تمام شد و سطح آب پایین آمد تولید برق نیز پایان می‌یابد. اگر آب همزمان با زمان مد روی توربین ها ریخته شود ممکن است در زمان‌هایی ارتفاع روی توربین‌ها خارج از محدوده کارکرد عمل آن قرارگیرد. چون نرخ رها کردن آب از توربین و نرخ پایین آمدن آب حوضچه ودریا یکی است، پس برای ایجاد هد لازم برای توربین‌ها، سطح آب در حوضچه به نحوی تعیین می‌شود که ارتفاع آب بسیار آهسته نسبت به افت مد دریا کاهش یابد (شکل شماره۵) **[3,4].**

روند تولید برق:

۱. آبگیرخالی است.

1.dyke: سد یا دیواری که برای جلوگیری از آب دریا می سازند 2.sluice way

۲. دریچه‌ها بسته شده تا آب تا جای ممکن به بالاترین سطح خودش برسد.
۳. سپس دریچه های دارای توربین‌ها باز شده و باعبور آب انرژی الکتریسیته تولید می‌گردد.



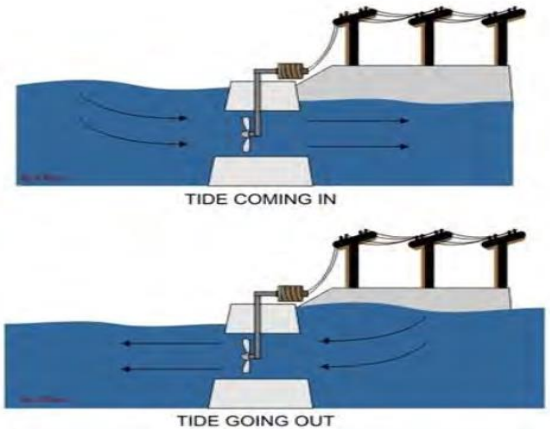
شکل۵ تولید انرژی درحالت مد

تفاوت در حالت مدوجزر تک حوضچه‌ای:

درحالت مد بازده تولید کمتر است زیرا حجم آب که به سمت ساحل حرکت می‌کند به دلیل شیب موجود در سواحل کمتر از حالت جزر می‌باشد. سیستم درحالت جزر دارای مزیت‌های بیشتری نسبت به حالت مد است. زمان جریان ازحوضچه به دریا در مقایسه با زمان جریان دریا به حوضچه دوره طولانی‌تری دارد. البته برای تمام ارتفاع‌ها در حوضچه‌های طبیعی ثابت نبوده اما در این حوضچه‌ها با افزایش ارتفاع مساحت آن نیز زیاد می‌گردد، پس هزینه‌های ساختمانی بیشتری را ایجاب می‌کند.

در حالت مد احتیاج به حوضچه گودتری داریم که تا بتوانیم آب بند دریچه مجرای آبگذر را پایین تر بگذاریم، پس هزینه ساختمانی زیاد می‌گردد. انرژی تولیدی جزر ۱.۵ برابر حالت مد است.

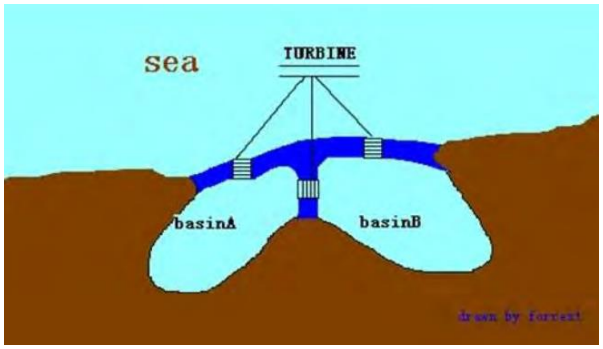
ج: در حالت دو راهه (۲طرفه حوضچه به دریا و بالعکس): در هر ۲ زمان جریان از ساحل به دریا و بالعکس فقط با استفاده از یک حوضچه امکان بهره برداری از واحد و تولید برق وجود دارد. تولید برق در ۲ حالت سیکل پرشدن و خالی شدن انجام می‌گیرد (شکل شماره۶). هنگامی که ارتفاع مخزن و سطح آب در زمان مد یکی است دریچه‌های مجرای آبگذر بسته می‌شوند و هنگامی که ارتفاع آب دریا به عمقی معادل ارتفاع حداقل توربین‌ها افت کرده انرژی تولید شده وسپس تخلیه حوضچه آغاز می‌گردد، اما تولید برق تا زمانی که حداقل ارتفاع قابل دسترسی توربین‌ها موجود است به طول می‌انجامد. دراین زمان دریچه‌ها باز شده تا مجددا به حداقل ارتفاع آب قابل قبول برسد. (برای عملکرد توربین‌ها) هنگامی که ارتفاع حوضچه و دریا متعادل گردید، دریچه‌ها دوباره بسته شده و حال درهنگام مد توربین‌ها باز می‌توانند در هنگام پر شدن مخزن کارکرده و تولید برق نمایند و بعد از گذشت مدت زمانی، توربین‌ها مجددا خاموش می‌گردند و دوباره دریچه‌ها باز شده تا سطح آب در حوضچه به سرعت بالا رود و سطح آب در حوضچه با دریا در حالت مد، متعادل گردد. در این روش به دلیل کوتاه بودن توقف و مرتب هنوز یک سیستم تولید قدرت پیوسته فراهم نشده است ولی در هر دو حالت مد و جزر تولید برق امکان‌پذیر است. این روش قابل رقابت با روش جزر بوده اما در حالت کلی بازده کمتری دارد چون توربین های ۲ طرفه هم تکنولوژی بالاتری دارند و هم پیچیده‌ترند و هم بازده پایین دارند. ازپمپاژ نیز می‌توان برای کاهش دوره‌ی وقفه در تولید انرژی بهره برد، وهمچنین از آبگیر در سطح آب بالاتر که تولید انرژی بیشتری را به همراه دارد نیز می‌توان استفاده کرد. روش‌های تک منظوره بسیار ساده تر و به توربین‌های چندان گران قیمتی نیاز ندارند اما برای محیط زیان آور است**[3,4]**.



شکل۶ حالت ۲ راهه انرژی جزرومد درطراحی سد

۱۱.۳.روش ۲ حوضچه‌ای

۲ حوضچه‌ای بسیار نزدیک به یکدیگر بوده و به نوعی نوبتی کار می‌کنند مثلا وقتی اولین حوضچه درزمان مد تولید برق می‌کند حوضچه‌ی دیگر در حالت جزر تولید می‌نماید. امکان دارد برای ۲ حوضچه یک نیروگاه درنظر گرفته شود یا هرکدام یک نیروگاه جدا برای خودشان داشته باشند. برای یکپارچه کردن به ساخت ۳ سد نیاز است که شامل ۲ حوضچه با ارتفاع‌های مختلف بوده که هرکدام یکی در حالت مد و یکی در حالت جزر کارکرده و موتورخانه‌ها دراین ۳ سد قرار گرفته است. در هنگام مد که سطح آب بالا می‌آید ورودی حوضچه با ارتفاع بیشتر بسته شده و بعد از آنکه آب به اندازه‌ی مورد نیاز بالا آمد دریچه‌های حوضچه‌ی مرتفع باز می‌گردد و در حالت مد دریا که حوضچه در حال پرشدن است تولید برق را انجام می‌دهد.در ادامه بعد از آنکه سطح آب در حالت جزرومد به سمت پایین، روبه حرکت درآمد دریچه‌های حوضچه‌ی مرتفع بسته می‌شود و درادامه سد بین ۲ حوضچه دریچه‌هایش باز شده و آب از مرتفع به حوضچه‌ی کم ارتفاع سرازیر می‌گردد که توربین‌های سد واسطه را به تولید برق مجاب می‌کند. در این حسن تا هنگامی که آب دریا به کمترین ارتفاع خود در حالت جزر برسد و به پایین تراز دریچه‌های حوضچه کم ارتفاع برسد دریچه‌ها که همچنان بسته بودند باز شده و توربین‌های آن شروع به تولید برق می‌کنند که به تولید در حالت جزر شباهت دارد. در این روش تولید در تمام سیکل جزرومدی صورت گرفته که یکی از مزیت‌های آن است. ماکزیمم هد در دسترسی تقریبا ۷۹ درصد ماکزیمم رنج جزرومد و میانگین هد ۵۹ درصد این مقدار است**[4]**.



شکل۷ حالت ۲ حوضچه‌ای تولید انرژی جزرومد با روش سدبندی

۱۱.۴.بررسی پارامتری تک حوضچه ای

آب بندها از انرژی پتانسیل دراختلاف ارتفاع بین جزرومد استفاده می‌کنند، آب بندها اساسا سدی کامل درعرض یک‌خور بوده واز هزینه‌های بسیار بالا برای زیر ساخت‌های عمرانی، کمبود مکان‌های موفق در سراسر جهان و مساعل زیست محیطی رنج می‌برند**[8]**.

مدلسازی:

فرض کنید در هرلحظه ارتفاع آب در مخزن y_b و دردریا یا اقیانوس با y_0 باشد اختلاف این ۲ سطح h است که داریم:

$$h = y_0 - y_b \quad (13)$$

مقدار دیفرانسیل کار انجام شده ∂w بر اثر حرکت جرم ∂m از مخزن به دریا برابر خواهدبود با:

$$\partial w = gh\,\partial m \quad (14)$$

که درآن

$$\partial m = A\rho\,\partial y_b \quad (15)$$

در ۱۵، Aمساحت مخزن وρ چگالی آب دریاست (که معمولا ۱۰۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد). برای مدلسازی ساده شده می‌توان ارتفاع آب در مخزن و حوضچه را به عنوان توابعی از زمان در نظر گرفت به عبارتی:

$$y_0 = f(t) \quad (16) \text{ و } \quad y_b = g(t) \quad (17)$$

که با جایگذاری ۱۷ و ۱۶ و ۱۵ در ۲ داریم: $\partial w = gA\rho[f(t) - g(t)]\partial g(t)$ و بنابراین کل انرژی تحویلی توربین در حالت ایده آل از فرمول زیر محاسبه می‌گردد.

$$w = \int_{t_1}^{t_2} g\rho A[f(t) - g(t)]\partial g \quad (18)$$

برای تولید برق نیاز به یک هد کمینه است لذا اختلاف ارتفاع بایستی از یک حدی بیشتر باشد تا گیت‌های توربین باز شود درابتدای چرخه تمام گیت‌ها (کناری و توربین) بسته‌اند. تا هد به مقدار لازم برسد، در انتهای چرخه گیت‌های توربین بسته‌بوده ولی گیت‌های کناری باز می‌مانند تا مخزن پر یا خالی گردد. به همین دلیل انتگرال روی بازه تولید t_1 تا t_2 محاسبه شده. میتوان ارتفاع آب در دریا $f(t)$را با تقریب خوبی به صورت یک تابع سینوسی بیان نمود:

$$f(t) = A\sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) \quad (19)$$

از آنجا که یک دوره کامل جزر ومد برابر ۱۲.۲۵ ساعت است و طبق تعریف گستره جزرومدی R ۲ برابر دامنه موج سینوسی است فرمول فوق به صورت زیر تبدیل شده:

$$f(t) = \frac{R}{2}\sin\left(\frac{\pi t}{6.2083}\right) \quad (20)$$

البته رابطه‌ی ۲۰ یک رابطه ی کلی است و دراین تحلیل ما با استفاده از داده-های جزرومد مستقیم از ۱۹ با دوره منطقه مورد نظر استفاده می‌کنیم. تقریب y_b کار دشوارتری است به طوری‌که می‌توان آنرا به صورت یک تابع خطی برحسب زمان، تابعی از h با فرض مقاومت جریان ثابت یا سایر توابع تعیین شده از داده‌های کاری بدست آورد در اینجا با استفاده از تابع خطی برحسب زمان فرض شده مخزن در زمان t_1 خالی بوده (یعنی هم سطح جزر قرار دارد) و تغییرات ارتفاع در آن به صورت زیر می‌باشد:

$$g(t) = b(t - t_1) \quad (21)$$

با فرض اینکه مخزن در مدت a ساعت پر شود، به طور ایده آل ارتفاع R را طی کرده‌است (در واقع هیچ موقع ارتفاع گسترده جزرومد طی نخواهد شد) پس از ۲۱ داریم:

$$g\left(\text{پر}\right) = R + g\left(\text{خالی}\right) = R + 0 = b * a \quad (22)$$

فرمول ۲۱ به صورت زیر نیز قابل بازنویسی است:

$$g(t) = \frac{R}{a}(t - t_1) \quad (23)$$

با جاگذاری ۱۹ و ۲۳ در ۱۸ داریم:

$$w = \rho gAR^2 \int_{t_1}^{t_2} [\frac{1}{2a}\sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) - \frac{t - t_1}{a^2}]\partial t \quad (24)$$

که به صورت زیر ساده خواهد شد:

$$w = \rho gAR^2\left[-\frac{T}{4a}\cos\left(\frac{2\pi}{T}t_2\right) + \frac{T}{4a}\cos\left(\frac{2\pi}{T}t_1\right) - \frac{(t_2 - t_1)^2}{2a^2}\right] \quad (25)$$

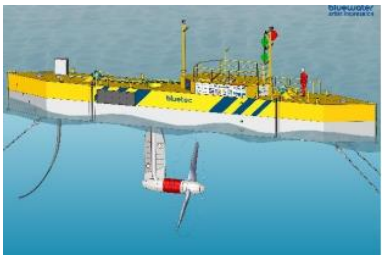
مقدار $t_g = t_2 - t_1$ دوره تولید است، پس توان به ازای واحد سطح دریاچه P (ژول بر ساعت بر متر مربع) از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$P = \frac{\rho gTR^2}{4at_g}\left[\cos\left(\frac{2\pi}{T}t_1\right) - \cos\left(\frac{2\pi t_2}{T}\right) - \frac{2t_g}{aT}\right] \quad (26)$$

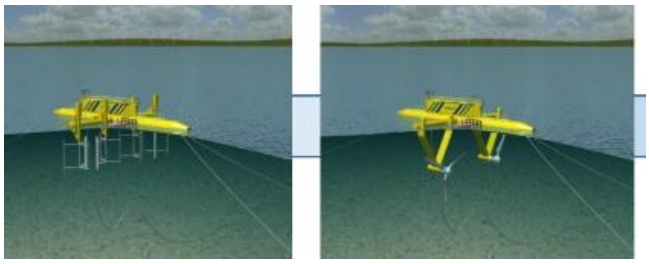
به عنوان رابطه نهایی مدل برای تخمین پتانسیل جرزومد مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱۱.۵.پروژه بلوتک[1]:

انرژی جزرومد یکی ازبزرگترین منابع بی‌رویه انرژی‌های تجدید پذیر درجهان است. چرخه‌های جزرومد که عمدتا توسط فازهای ماه هدایت می‌شوند بسیار قابل پیش‌بینی و قابل اعتماداند، این بدان معنی است که از قبل مشخص شده که یک دستگاه جزرومد چقدر برق تولید می‌کند. صنعت جزرومد هنوز در مرحله اولیه توسعه است، پروژه بلوتک که با برنامه زندگی[2] شناخته می‌شود امکان‌سنجی فنی ومقرون به صرفه بودن یک پلتفرم جزرومد شناور درمقیاس کامل را نشان می‌دهد. بلوتک یک فناوری و طراحی را برای توربین‌های موجود در یک ساختار شناور را به نمایش گذاشت که قابل ارتقا است و در یک مقیاس اقتصادی، انرژی الکتریکی را با صرفه اقتصادی تولید می‌کند (شکل شماره ۸). پروژه بلوتک از سپتامبر ۲۰۱۰ تا مارس ۲۰۱۶ اجرا شد. دراین دوره طولانی، پیشرفت و یادگیری عمده در توسعه راه حل‌های شناوربرای انرژی جزرومد، منجر به طراحی نهایی ماژولار گردید، که در نزدیکی تکسل[3] در حال آزمایش و تولید برق است. این طراحی نتیجه سال‌ها پیشرفت، یادگیری و غلبه برموانع بسیار است، در حالی که این پلتفرم درابتدا برای توربین‌های محورعمودی طراحی شده‌بود، با همکاری برخی از تامین‌کنندگان برجسته توربین جهان، منجر به تصمیم‌گیری برای ادغام توربین‌ها به‌صورت افقی گردید. (شکل شماره۹) **[9,10]**.



شکل۸ نمای بیرونی سیستم بلوتک



شکل۹ تکامل سکوی بلوتک از توربین‌های محورعمودی گرفته تا محور افقی و درنهایت یک طراحی مدولار کوچکتر

بلوتک یک سکوی پشتیبانی شناور برای توربین‌های جزرومد است. برخلاف طرح‌های مرسوم در پایین پایه، بلوتک با قرار دادن بیشتر تجهیزات مهم در خطوط آبی، مزایای قابل توجهی را عرضه می‌کند، درجایی که خشک و محافظت شده باشد امکان دسترسی آسان برای بازرسی و تعمیر را فراهم می‌آورد.

بلوواتر[1] در چندین سال تحقیق و توسعه و آزمایش بلوتک را توسعه داد. تمرکز اصلی در فرآیند توسعه به شرح زیر است:

۱. هزینه‌های ساخت و نصب دریایی کم(low capex)

۲. هزینه‌های تعمیر ونگهداری کم با ارائه دسترسی آسان برای بازرسی‌های جزیی و تعمیرات: هزینه دسترسی معمولا تا ۸۰ درصد ازهزینه‌های عملیاتی راه حل‌های دیگر را مصرف می‌کند.

۳. تولید انرژی بالاتر در مقایسه با سایر دستگاه‌ها.

با تامین انرژی بیشتر با هزینه کمتری، بلوتک درصدد است تا هزینه هرمگاوات ساعت برق تولیدی (یورو/مگاوات ساعت) را بهبود ببخشد. هزینه‌های پایین‌تر وسطح تولید بالاتر با یک پیشنهاد قدرتمند ترکیب می‌شود که به جذاب شدن پروژه‌های انرژی جزرومدی کمک می‌کند. در حالی که هدف این است که مقیاس‌های بزرگ تا ۲-۵ مگاوات را بتوان اندازه‌گیری کرد، استراتژی نهایی تمرکز برروی واحدهای کوچکتر و ارزان تر باعث تسریع روند یادگیری از طریق تکرار، تولید انبوه و بهره برداری از حجم زیادی از واحدهای کوچکتر، باعث کاهش هزینه اولیه انرژی می‌شود. با توجه به سرمایه گذاری زیاد مورد نیاز در معرض خطر بالا، این مسئله در مورد واحدهای بزرگ مگاوات بسیار دشوار است. در سال‌های گذشته مشاهدات مشابهی با صنعت جزر و مد وجود دارد. این پروژه جاه طلب در ابتدا با هدف استقرار سکوی با توربین‌های متعدد در یک سایت بسیار پرانرژی در مرکز انرژی دریایی[2] اروپا در جزایر ارکنی آغاز گردید، بعداً تصمیم گرفته‌شد که قدم متوسطی برداشته‌شود و ابتدا یک سکو را با یک توربین واحد در یک محل نزدیکتر با محیطی کنترل شده‌تر در مرکز آزمایش جزرو[3] مد ، در نزدیکی جزیره تکسل مستقر گردد . این پروژه درتکسل به کنسرسیوم اجازه داده است تا نه تنها عملکرد سیستم عامل و توربین‌ها را بیاموزد، بلکه استراتژی‌های نصب و راه اندازی و کارآیی را قبل از استقرار اولین آرایه‌ها در سایت‌های پرانرژی تر انجام دهد . ثابت شده‌است که این استراتژی مقرون به صرفه و سرعت بخشیدن به فرایند یادگیری است. بلوواتر برای تحقق اولین پلتفرم منحصر به فرد انرژی شناور جزرومد شناسی با گروهی از شرکت-های پیشرو در حوزه دریایی همکاری کرده‌است. افتتاح این اولین پلتفرم بلوتک ، در تاریخ ۹ آوریل در دن هلدر انجام شد. این پلتفرم راه اندازی شده و در حال تولید برق پاک از جزر و مد در دریای وادن[4] هلنداست. این یک طراحی مدولار نوآورانه بوده که بلوتک برای اولین بار به عنوان سکوی تظاهرات در مکان‌های دوردست در سراسر جهان مانند جزایر اندونزی، فیلیپین و اقیانوس آرام در نظر گرفته‌است. این همچنین آغاز توسعه بیشتر سکوهای انرژی پرجمع با ظرفیت بالاتر است که در مزارع بزرگ مستقر می‌شود. هدف این است که چندین سال در آنجا بماند و بتواند چندین توربین را آزمایش کند. همکاری بی نظیر Bluewater، Damen، Van Oord / Acta Marine، Tocardo، Schottel Hydro، TKF، Vryhof، NIOZ، Nylacast و Tidal Center Center تجربه‌های گسترده‌ای

1.BlueTec 2.life 3.Texel:جزیره ای در هلند

را در صنعت دریانوردی و برون مرزی، در زمینه طراحی و بهره برداری از سکوهای اتصال، کشتی سازی، لایروبی و نصب دریایی، توربین‌های جزرومد، کابل‌های برق، لنگرگاه‌ها، تحقیقات در دریا و مواد مصنوعی. سکوی بلوتک برای نصب، بهره برداری و نگهداری توربین‌های جزر و مد مقرون به صرفه ساخته-شده‌است. تمامی تجهیزات الکترونیکی آسیب پذیر در داخل واحد، جایی که خشک و محافظت می‌شود، در اختیار شما قرار می‌گیرد و امکان دسترسی آسان برای بازرسی، نگهداری و تعمیر را فراهم می‌کند. این سکوی را می‌توان از محل اتصال و وصل خارج کرد و در صورت لزوم به یک بندر محلی برد. این امر آن را به یک محصول واقعاً بی نظیر تبدیل کرده‌است. همچنین اولین بار است که یک سیستم جزر و مدی کامل و یکپارچه به بازار عرضه می‌شود. این سکو برای مکان‌های دوردست در سراسر جهان طراحی شده‌است،که می‌توان آن را به آسانی حمل کرد و در هر نقطه از جهان نصب نمود. یک مزیت مهم انرژی جزرومد، پیش بینی و سازگاری آن و ایجاد ثبات در شبکه‌های محلی است**[9,10]**.

مزایای منحصر به فرد سیستم بلوتک:

۱. برای مکان‌های از راه دور در سراسر جهان طراحی شده است
۲. ساده، قوی و مقرون به صرفه
۳. مونتاژ، نصب و نگهداری محلی بدون تجهیزات پیشرفته

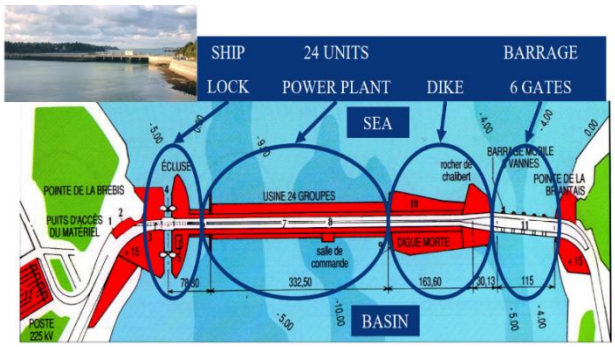
می‌تواند روستاهای محلی، تأسیسات خنک کننده را تأمین کند و روشنایی را در مدارس[4] ایجاد کند که اقتصاد محلی را تغییردهد**[9]**.

شکل۱۰ نمای بیرونی سیستم تولید انرژی بلوتک

در ادامه به بررسی یک نیروگاه انرژی جزرومد پرداخته شده‌است که یکی از قدیمی‌ترین و بزرگ‌ترین نیروگاه‌های موجود جهان می‌باشد.

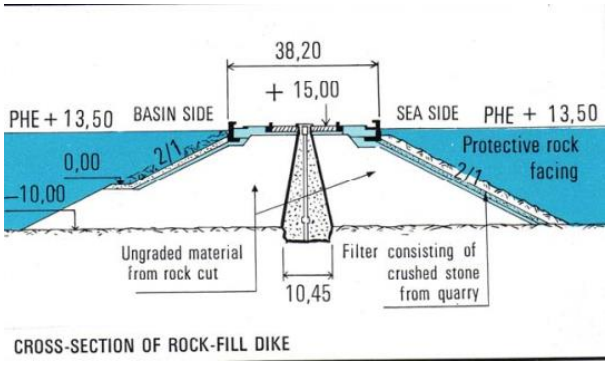
۱۲.نیروگاه لارنس

بالاترین دامنه جزر ومد در فرانسه متوسط ۸.۲ متر و حداکثر آن ۱۳.۵ متر می‌باشد که این امر موجب شد که به فکر احداث نیروگاهی جهت بهره‌مندی از انرژی جزر ومدی بیفتند. نیروگاه جزرومدی لارنس فرانسه بین سال‌های ۱۹۴۳ تا ۱۹۶۱ مورد مطالعه قرار گرفت و بین سال‌های ۱۹۶۱ تا ۱۹۶۶ ساخته‌شد. این نیروگاه دارای ۲۴ تا لامپ ۱۰ مگاواتی است وهمچنین کل ظرفیت نصب شده‌ی آن نیز ۲۴۰ مگاوات می‌باشد. ۲۸ کارمند جهت بهره‌برداری و نگهداری-های معمول و عادی در حال فعالیت هستند. هزینه ساخت آن نیز ۹۵ میلیون یورو در سال ۱۹۶۷ و حدود ۵۸۰ میلیون در سال ۲۰۰۹ می‌باشد. حدود 54×10^7 کیلووات در ساعت در سال میزان تولید برق این نیروگاه است. این نیروگاه دارای مخزنی به گنجایش ۱۸۴۰۰۰۰۰۰ مترمکعب که در حدود بیش از ۲۰ کیلومتر مساحت بوده و دارای دایک به طول ۱۶۳.۶ متر نیز می‌باشد. همچنین دارای سدبند متحرکی[1] به‌طول ۱۴۵.۱ متر،که دارای ۶ گیت با حداکثر جریان ۹.۶ متر مکعب بر ثانیه است، طول کلی سد این نیروگاه حدود ۷۵۰ متر مبیاشد که در شکل زیر بطور کامل مشخص گردیده. بخش نیروگاهی این سد ۳۳۲.۵ متر طول دارد (شکل شماره۱۱).



شکل۱۱ نمای کلی سدبندی

نیروگاه لارنس ابتدا برای پروژه اولیه شامل ۱۶ توربین اضافی بود. ۲۲۵ کیلوولت برق تولید شده که هر ساله نیاز ۱۳۰ هزار خانوار را رفع می‌کند**[11]**.



شکل۱۲ نمایی از دایک

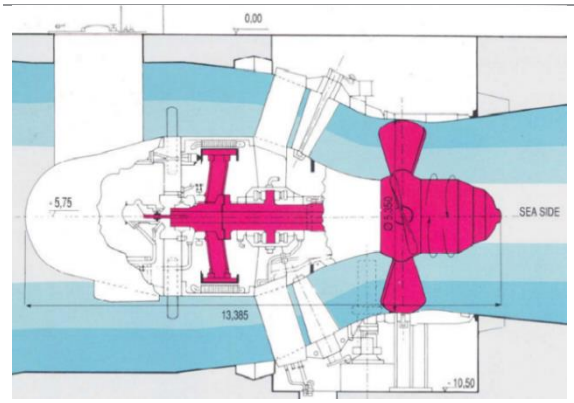
جدول ۳ ویژگی های اصلی توربین های لامپ رانس

سرعت دوران	rpm ۹۳.۷۵
حداکثر سرعت	rpm ۲۶۰
تعداد تیغه	۴ تیغه به شیب +۳۵ تا ۵- درجه
وزن	۴۷۰ تن
قطر	۵.۳۵ متر
Rated head	۵.۶۵ متر
Max head	۱۱ متر
Min head	۳ متر

1.Bluewater 2.EMEC 3.TTC 4.Wadden

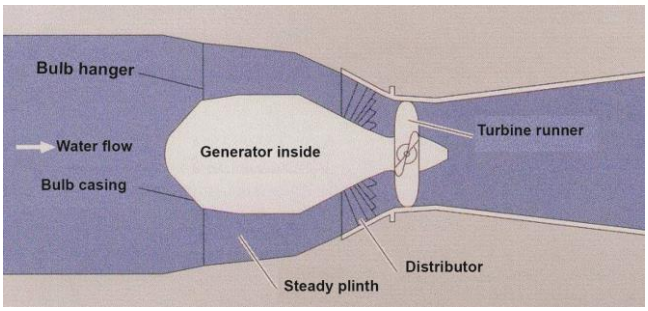
1.barrage

Discharged at rated head	۲۷۵ متر مکعب بر ثانیه
خروجی	۱۰ مگاوات



شکل ۱۳ جزییات توربین لامپی

درجدول۲ به جزییات توربین‌های بکار رفته در نیروگاه لارنس پرداخته شد اما به طور کلی توربین‌های لامپی یا همان حبابی دارای محدوده سرعت چرخشی حدود ۱۴۰تا۴۰۰ rpm، محدوده ارتفاع حدود ۶تا۳۰ متر، محدوده قدرت ۱۵تا۵۰ مگاوات می‌باشند. این توربین‌ها به دلیل ساختمان متراکمی که دارند، به طبع دارای هزینه‌های واحد پایین‌تری هستند. در توربین‌های حبابی آب دراطراف توربین جریان دارد ودسترسی به ساختمان توربین برای تعمیر مشکل می‌باشد، برای تعمیر توربین باید از جریان آب جلوگیری شود. در پیوست۱ به بررسی جزئی توربین‌های جزرومد پرداخته‌شده.



شکل ۱۴ توربین لامپی

۱۲.۱.نگهداری

استاتورها: به دلیل وجود مشکل در اجزای مغناطیسی استاتورها مجددا ساخته می‌شدند.(کاهش فاصله هوا بین رتور و استاتور، عمدتا بدلیل تنش‌ها مرتبط با راه اندازی‌های ناهمزمان برای پمپاژ به علاوه فرسایش جرقه الکتریکی قطب‌های رتور) **[11]**

جدول ۴ فرآیند نگهداری و تعویض استاتور ها طی ۲۰ سال

جایگزینی استاتور (Alsthom)	۱۹۷۶
جایگزینی تمام استاتورها (Lk and Repelec)	1976-1982
۷ استاتور دوباره تغییر کردن (Sarelem)	1995-1996

مرمت توربین لامپ: بعد از ۳۰ سال عمل رضایت بخش، تصمیم به بررسی و نگهداری ۲۴ لامپ واحد در سطح جهانی و پیشگیرانه شده.

شکل۱۵ نمای داخلی نیروگاه لارنس

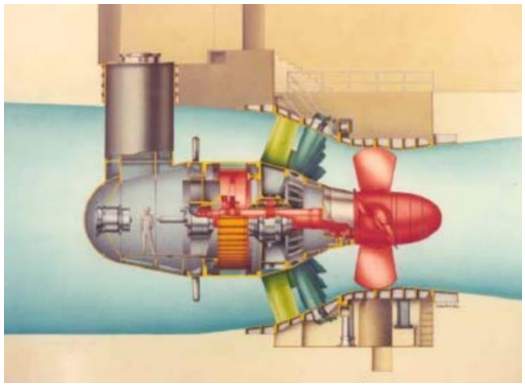
۱۲.۲.تجهیزات نیروگاه

۱. 240 مگاوات تولید برق متناوب که در هوا تحت فشار کار می‌کند.

۲. 6 واحد عملیاتی(مونتاژ) که شامل ۴ لامپ است، هریک از اجزای جانبی که درمقاصد مشترک به علاوه توربین و اهداف انرژی‌زا

۳. 3 واحد ترانسفوماتور (۲۲۵-۳.۵-۳.۵ کیلوولت): توان ۸۰ مگاولت آمپر که با روغن و گردش هوا دمیده شده خنک شده

۴. اتصال به ایستگاه ۲۲۵ کیلو ولتی توسط کابلهای پر از روغن تحت فشار **[11]**



شکل۱۶ نمای داخلی توربین لامپی

۱۳.بحث و نتیجه گیری

با توجه به مطالب و بحث‌های مورد بررسی در این مقاله، دردسترس بودن انرژی جزرومدی محدود به مناطقی است که در آنها دامنه جزرومد بزرگ است. اثرات منفی زیست محیطی انرژی جزرومد خیلی کمتر از دیگر منابع تولید برق می‌باشد، همچنین انرژی جزرومدی یکی ازقابل پیش‌بینی‌ترین انرژی‌های قابل دسترس برای بشر می‌باشد، که در کشور ایران با وجود داشتن کیلومترها مرز آبی، می‌توان از آن بهره لازم را برد. با توجه به قابل پیش‌بینی بودن انرژی جزرومد، می‌توان برنامه‌ریزی دقیقی را برای استفاده از این منبع انرژی پیاده سازی نمود. برای تولید و بهره‌مندی ازاین نوع انرژی امروزه روش‌های نوینی همچون بلوتک در حال توسعه می‌باشند. پروژه بلوتک باعث سهولت در نگهداری و تعمیر تجهیزات نیروگاهی نسبت به روش‌هایی چون سدبندی گردیده است، وهمچنین نسبت به نیروگاه‌های سدبندی از نظرراحتی و مقرون به صرفه بودن

برتری دارد و امکان این وجود دارد که در آینده‌ای نزدیک ،از نظر مقدار تولید انرژی از سایر دستگاه‌ها سبقت گیرد. نیروگاه‌های فعلی موجود جهان در حال حاضر بخش مهمی از این فرایند را ایفا می‌نمایند که بهره‌برداری بیشتر ازاین انرژی هرچه سریعتر صورت گیرد وباعث سهولت دسترسی تمامی جوامع به انرژی‌ای پاک گردند.

یکی از پرکاربردترین توربین‌های مورداستفاده در نیروگاه‌های تولید انرژی برق، توربین لامپی است که از نظر هزینه‌های اولیه مقرون به‌صرفه‌تر از سایر توربین‌ها می‌باشد. همچنین این نوع توربین‌هاعملیات ساختمانی بسیار کمتری لازم دارند و راندمان طراحی بالایی نیز دارند.

در آخرشاید بهترین پیشنهاد، شناسایی ظرفیت انرژی دریایی در سواحل و تلاش برای طراحی و ساخت دستگاه‌هایی است که با اقلیم دریاهای پیرامونی هرمنطقه همخوانی داشته و بازدهی مناسبی داشته‌باشند تا در صورت امکان بتوان دست کم، نیاز برخی ازجزیره‌هایی که به شبکه سراسری توزیع برق متصل نیستند را با انرژی‌های تجدیدپذیر دریایی رفع نمود و یک پایلوت تامین انرژی را برای مناطق حاشیه دریا و یا جزایر ایجاد کرد.

۱۴.فهرست علائم

H	ارتفاع جزرومد m
p	توان به ازای واحد سطح دریاچه
d	جرم مخصوص آب
V_b	حجم حوضچه
ρ	دانسته آب $\frac{kg}{m^3}$
R	دامنه جزرومدm
A	سطح محصور $\frac{kg}{m^2}$
G	شتاب جاذبه زمین$\frac{m}{s^2}$
A	مساحت حوضچه

۱۵.زیرنویس ها

Period	دوره
Max	ماکزیمم
Actual	واقعی

۱۶.مراجع

[۱] Tidal Energy, Science Direct, https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/tidal-energy

[2] مقدمه ای بر جزرومد در دریاها و اقیانوس ها،جورج.اچ.داروین،ترجمه دکتر حسین مروتی،انتشارات آبزیان،تهران۱۳۸۴.

[3] علی شیخ بهایی، آبتین عطایی، اندیشه شیعه بیگی، بررسی نیروگاه‌های جزرومدی و امکان بهره‌گیری از آنها در ایران، اولین کنگره بین المللی زمین، فضا، انرژی پاک

[4] Ocean energy،US department of interior.

[5] IRENA ocean Energy Technology brief 3, June 2014, www.IRENA.org

[6] بهروز برقی سوار،رحمن دشتی،بررسی روش های نوین استحصال انرژی از جزرومد،اولین کنفرانس دوسالانه نفت،گاز و پتروشیمی، دانشگاه خلیج فارس بوشهر، اول اردیبهشت ماه ۱۳۹۵.

[7] امین ربیسی، حسام الدین مهرفر، مطالعه و امکان سنجی انرژی از دریای خزر و خلیج فارس، دومین کنفرانس ملی رویکرد های نوین و کاربردی در مهندسی مکانیکی، دانشگاه آزاد اسلامی،واحد شیراز، واحد بروجرد، ایران ۱و۲ آذر،۱۳۹۶

[8] چگینی، وحید. طباطبایی، سید ابوذر، گزارش طرح پژوهشی، برآورد پتانسیل انرژی تجدید پذیر در دریاهای پیرامونی، سال ۱۳۹۰

[9] life project, BlueTEC, www.bluewater.com

[10]Buetec Operation Brings SuccessfulResults, https://www.damen.com/en/news/2015/10/bluetec_operation_brings_successful_results

[11] La Rance Tidal Power Plant،40-years operation feedback-Lessons learntTBHA Annual Conference-Liverpool-14&15 October2009.

[12] US Energy information administration, hydropower explained, tidal power https://www.eia.gov/energyexplained/hydropower/tidal-power.php

[13] Tidal Energy،IRENA Ocean Energy Technology brief 3،June 2014.

[14] Wyre Energy Ltd.(2013),Comparisons of tidal power stations around the World,Wyre Energy Ltd.

۱۷. پیوست

پیوست۱ مقایسه انواع توربین‌های مورد استفاده در نیروگاه‌های جزرومدی

نوع توربین	محدوده سرعت (rpm)	محدوده ارتفاع (m)	محدوده دبی $(\frac{m^3}{sec})$	محدوده قدرت (MW)	قطرچرخ (m)	هزینه	سایر
استرافلو (Straflo)	کمتر از توربین حبابی	۱-۱۵	-	۱-۲۰	۳-۲۰	بدلیل طول کمتر درمسیر جریان نسبت سایر توربین‌ها از این نظر ارزان ترند ولی قطر چرخ بیشتری دارند.	-دراین توربین‌ها آب‌بندی توربین و ژنراتور بسختی انجام می‌گیرد. -پیش‌بینی رفتار ارتعاشی توربین در شرایط بهره‌برداری معمولی ودر حالت ایجاد ضربه قوچ و برداشتن ناگهانی بار با مشکل مواجه می‌شود.
حبابی (bulb)	۱۴۰-۴۰۰	۶-۳۰	۴-۲۵	۵-۵۰	۱.۲۵-۲	بدلیل ساختمان متراکمی که دارند هزینه‌های واحد با این توربین‌ها پایین است.	-این توربین‌ها به یک دریچه اظطراری برای بستن سریع مجرا در پایین دست نیاز دارند، راندمان طراحی بالایی داشته ومشکلات کاویتاسیون کمی دارند. -عملیات ساختمانی بسیار کمتری لازم دارند (نسبت به سایر واحدها).
توربین S	۱۲۰-۷۵۰	۳-۱۵	۱.۵-۴۰	۵>	۰.۸-۱.۱۲	در محدوده قدرت کمتر از ۵ مگاوات نسبت به سایر توربین-ها اقتصادی‌تر است.	-لوله ورودی این توربین‌ها مخروطی شکل است، لذا سبب افت هیدرولیکی زیادی می‌شود. -تعمیرات و نگهداری این توربین‌ها آسان است.
توربین جریان متقاطع	۱۰۰-۱۰۰۰	۱-۱۰۰	۰.۲-۹	۰.۰۵-۱	۰.۳۱۵-۱	این توربین‌ها ارزانترین قیمت را درقدرت‌های پایین دارند.	راندمان این توربین‌ها حدود ۵۰-۶۹ درصد است.