سال پنجم، شماره اول، تابستان ۱۳۹۷، صفحات ۳۰ - ۳۹
فصل‌نامه علمی – ترویجی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو
jrenew.ir
مقاله
تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۰۸

پتانسیل‌سنجی تبدیل انرژی امواج توسط دستگاه Mighty whale در دریای خزر

محمد حسین جهانگیر[۱،*] امیر جدی‌پور اقدم[۲]، یونس نوراللهی[۳]

۱- استادیار گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران، تهران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران، تهران
۳- دانشیار گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران
* تهران، ۱۴۳۹۹۵۷۱۳۱، mh.jahangir@ut.ac.ir

چکیده

Mighty whale یک دستگاه شناور مبدل انرژی است که بر پایه موج اقیانوس‌ها طراحی شده‌است. این دستگاه به وسیله چند توربین و محفظه هوا انرژی موج را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. از ویژگی‌های این دستگاه که باعث رونق صنایع ساحلی می‌شود، توانایی نصب آن در ساحل می‌باشد. برای جلوگیری از حرکت دستگاه برروی آب آن را با استفاده از کابل و زنجیر در جای خود نگه می‌دارند. اولین نمونه آزمایشی Mighty whale توسط کشور ژاپن طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۰میلادی طراحی و به بهره‌برداری رسید که نتیجه آن تولید الکتریسیته به مقدار ۸۳/۶۵ مگاوات یا ۶/۳۷ کیلووات به ازای هر ساعت در طول ۷۳۱روز بود. در این مقاله قصد داریم تا علاوه بر توضیح روند نصب و بهره‌برداری نمونه اولیه دستگاه، با کمک اطلاعات تهیه شده توسط پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی و همچنین روابط محاسباتی حاصل از بهره‌برداری نمونه اولیه دستگاه به بررسی شرایط امواج در دوایستگاه نکا و امیرآباد واقع در دریای خزر بپردازیم. نتایج حاصله نشانگر شرایط مناسب امواج در ایستگاه نکا جهت بهره‌برداری Mighty whale می‌باشد که بدلیل مناسب بودن پارامترهای موج نظیر ارتفاع و دوره زمانی در آن محل است. همچنین بازدهی این دستگاه را در منطقه امیرآباد پایین ارزیابی شده‌است.

کلیدواژگان: پتانسیل‌سنجی، انرژی امواج، Mighty whale، دریای خزر

Feasibility study of the energy waves conversion by Mighty whale device in Caspian Sea

Mohammad Hossein Jahangir*, Amir Jeddipour Aghdam, Younes Noorollahi

Department of Renewable Energies Engineering, University of Tehran, Iran
* P.O.B. 1439957131 Tehran, Iran, mh.jahangir@ut.ac.ir

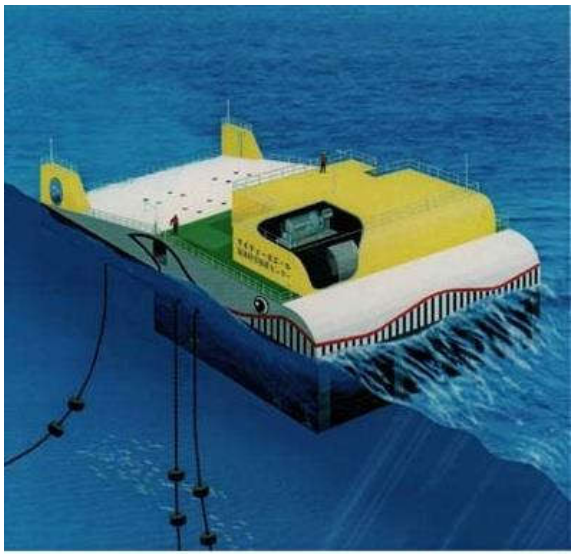
Abstract

Mighty whale is a floating wave power device that designing is wave base. This device convert wave power to electricity with some turbines and generators. Prosperity of costal environment due to installing it into cost. It be moored by chains in to keeping from excessive movements. First prototype of Mighty whale had been designed commissioned from 1998 to 2000 by Japan and the total generated of 83.65 MW or 6.37 kWh during 731 days was its result. In this paper we will intend to investigate on condition of Neka and Amir Abad station in Caspian Sea with data which is prepared by National Oceanic and Atmospheric Research Center and also with equations that is obtained from commissioning the prototype in addition to illustrating procedure of installing and commissioning of prototype. Achievements illustrate appropriate condition in Neka station in order to commissioning of Mighty whale due to appropriate wave parameter like period and high in that place. Also it is evaluated low the efficiency of the device in Amir Abad station.

Keywords: Potentiometry, Waves power, Mighty whale, Caspian Sea

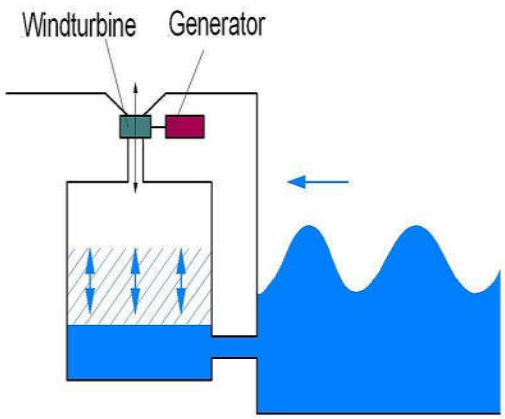
۱- مقدمه

Mighty whale یک دستگاه شناور تولید کننده انرژی مبتنی بر قدرت موج می باشد (شکل۱) که از اصل ستون آب نوسانگر [۱] استفاده می‌کند.



شکل ۱ نمایی شماتیک از یک نمونه Mighty whale [۸]

دستگاه‌هایی که توانایی استحصال انرژی الکتریسیته از قدرت امواج دریا را دارند با توجه به مکانیزم عملکردشان دسته‌بندی می‌گردند. همانطورکه مشاهده می‌شود Mighty whale از اصل OWC (شکل۲) تبعیت می‌کند.

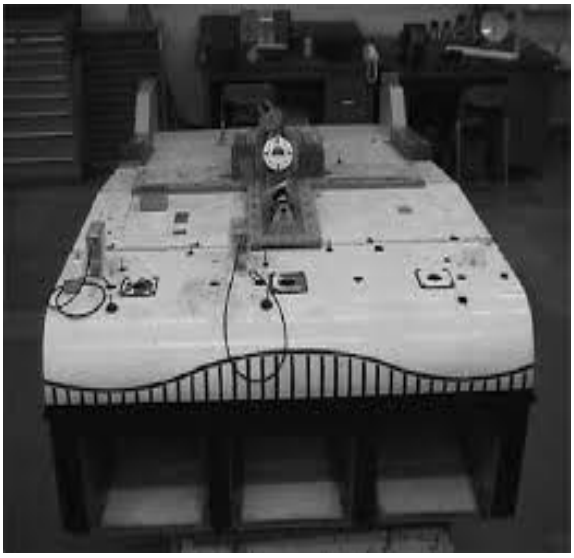


شکل ۲ شماتیک عملکرد بر اساس owc [۹]

این دستگاه تعدادی محفظه هوا زیر سطح دریا دارد. هر محفظه هوا در قسمت فوقانی از طریق یک نازل به یک سیستم توربین-ژنراتور متصل می‌باشد. زمانی که موج داخل محفظه هوا می‌شود سطح آب در داخل محفظه بالا می‌رود و سبب تراکم و به‌تبع پس از عبور موج افت فشار در محفظه بوجود می‌آید. این تراکم و افت فشار منجربه ایجاد یک جریان هوای رفت و برگشتی از قسمت نازل که در بخش فوقانی محفظه قرار دارد می‌گردد. این جریان هوا به کمک یک سیستم توربین-ژنراتور که در قسمت بالای محفظه هوا قرار دارد انرژی برق تولید می‌کند.

۲- بررسی پیشینه تاریخی Mighty whale

به منظور تامین انرژی جهت صنایع ماهیگری که در محدوده ساحل فعالیت می‌کنند، مرکز علوم و تکنولوژی ژاپن (JAMSTEC) را به پیشرفت در زمینه استحصال انرژی از امواج دریا وادار کرد. این مرکز به طور ویژه از سال ۱۹۸۷ فعالیت خود را بر پایه اصل OWC و در مورد دستگاه Mighty whale آغاز نمود. این دستگاه علاوه بر تبدیل انرژی موج به الکتریسیته می‌توانست با کاهش ارتفاع موج خروجی از دستگاه موجب آرامتر شدن دریا در پایین دست دریا و در نتیجه باعث رونق ورزش‌های دریایی می‌گردد. بازدهی بالا و هزینه پایین جهت مهار در دریا نسبت به سایر دستگاه‌هایی که با اصل OWC کار می‌کنند از امتیازات دیگر Mighty whale به‌شمار می‌رفت. آنها با انجام مطالعات و ساخت چند نمونه آزمایشی در مقیاس کوچک (شکل۱-۳) به روابط هیدرودینامیکی حاکم بر دستگاه دست‌یافتند.



شکل ۱-۳ نمونه دستگاه در مقیاس کوچک [۸]

نمونه اولیه این دستگاه در مقیاس واقعی در جولای ۱۹۹۸ به صورت آزمایشی در دهانه خلیج جوکاشو[۲]نصب گردید و در دهم‌سپتامبر ۱۹۹۸ داخل آب‌های آزاد محدوده خلیج به مرحله بهره‌برداری رسید [۱]. اطلاعات منتج از اندازه‌گیری و بررسی مقادیر مربوط به ابعاد اقتصادی و ایمنی دستگاه در بخش بعدی به طور مفصل ارایه خواهدگردید.

[۱] Oscillating Water Column
[۲] Gokasho

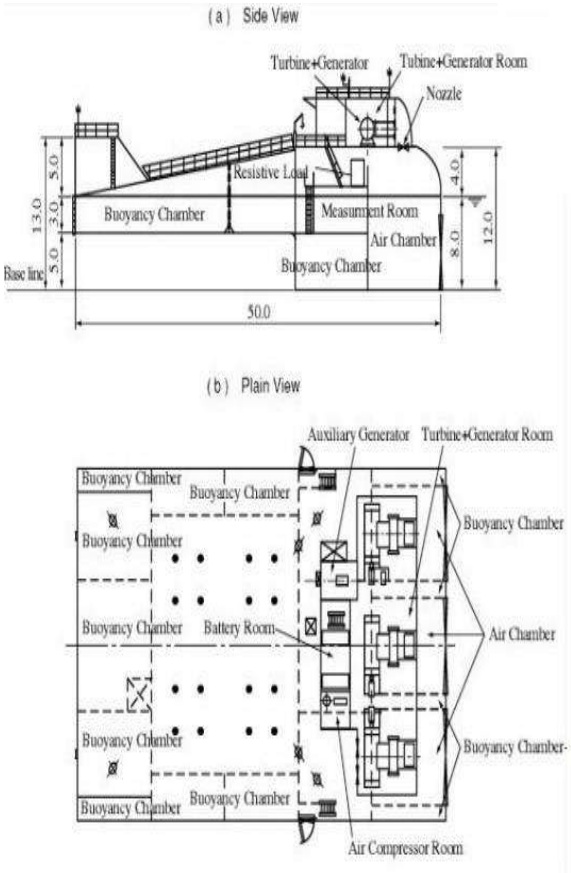
شکل ۲-۳ نمونه واقعی دستگاه [۸]

۳- بررسی یک نمونه واقعی

در این بخش به بررسی نمونه اولیه دستگاه Mighty whale که پیشتر به مشخصات زمانی و مکانی نصبش اشاره گردید، پرداخته می‌شود.

۳-۱- ساختار بدنه و چیدمان

مدل اولیه Mighty whale دارای سازه فلزی و ظاهری (مطابق شکل۴) همانند یک وال دارد. Mighty whale شامل سه محفظه هوا به مساحت هرکدام ۸۰ مترمربع و در دو طرف و پشت این محفظه‌ها مخازن شناور قرار دارند. باله‌ها نیز در قسمت انتهایی سازه واقع می‌باشند. هر محفظه هوا یک ورودی جهت موج در زیر سطح دریا دارد، زمانی که موج داخل محفظه هوا می شود سطح آب در داخل محفظه بالا و پایین می‌رود که سبب یک جریان هوای رفت و برگشتی که از قسمت نازل در بخش بالای محفظه قرار دارد می‌شود. این جریان هوا به کمک یک توربین که در قسمت بالای محفظه هوا قرار دارد، برق تولید می‌کند، بطوریکه به این عملیات اصل ستون نوسانگر می‌گویند [۲].



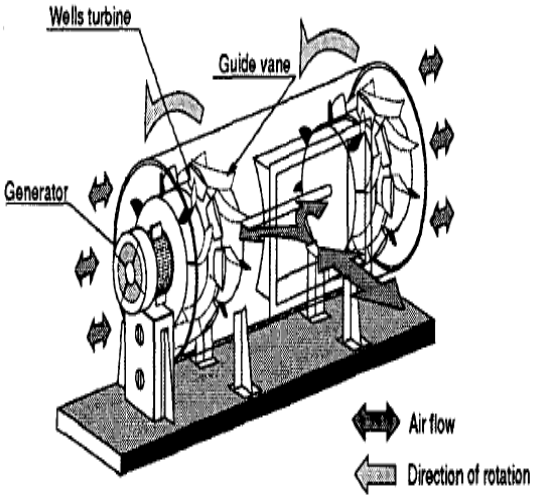
شکل ۴ جزییات دستگاه [۲]

۳-۲- سیستم تولید قدرت

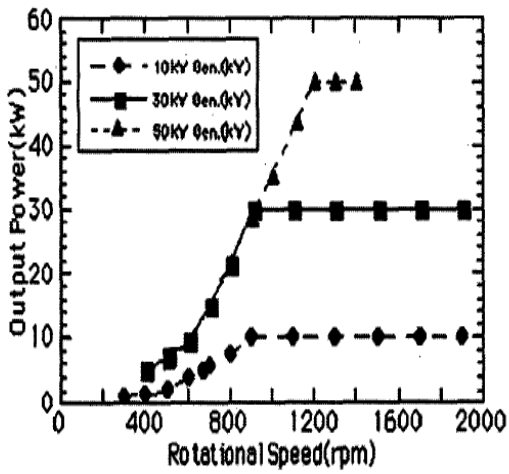
هر محفظه هوا به یک سیستم توربین و ژنراتور متصل می‌باشد. هوا که به صورت رفت و برگشتی در جریان می باشد پره های توربین از نوع ولز[۲]را می‌چرخاند (شکل۵).در صورت ایجاد زاویه ۱۵° در پره های توربین، بازدهی حداکثری ۴۷% ایجاد خواهدشد. ژنراتور به وسیله یک شفت به توربین متصل شده است. توربین موجود در بالای محفظه یک علاوه بر ژنراتور ۵۰kw به یک ژنراتور ۱۰kw از نوع تسمه گرد[۳]متصل گردیده‌است [۲].

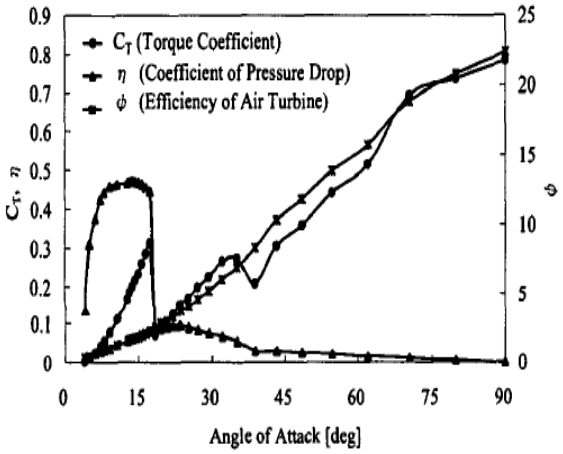
قدرت تولیدی توسط سیستم توربین-ژنراتور به قدرت موج بستگی دارد. قدرت ژنراتور شماره ۵۰kw و قدرت هر یک از ژنراتورهای دیگر (وسط و سمت راست) ۳۰ kw می‌باشد.بنابراین ماکزیمم قدرت تولیدی توسط دستگاه می‌تواند به ۱۱۰kw برسد. تمامی ژنراتورها از نوع قفس سنجابی بصورت سه‌فاز و دارای جریان متناوب می‌باشند. در صورتی که توربین در سرعت مورد نظر (ذکر شده در جدول۱) بچرخد سیستم توربین و ژنراتور به کمک سیستم کنترلی خود (VVVF)، گشتاور ثابتی را بر ژنراتور وارد می‌سازد که باعث افزایش راندمان دستگاه می‌گردد. در جدول (۱) مشخصات سیستم توربین-ژنراتور به طور مفصل ذکر گردیده‌است [۳].

[۱] wells
[۲] belt-driven



شکل ۱-۵ شماتیک سیستم توربین-ژنراتور [۴]





شکل ۲-۵ نمودارهای مربوط به توربین و ژنراتور [۴]

جدول ۱ مشخصات سیستم توربین-ژنراتور [۴]

ولز توربین: ۳عدد	
قدرت خروجی نامی	۳۰□□ ۹۰۰□□□
حداکثر سرعت دورانی	۲۰۰۰□□□
پیکربندی	tandem type (with guide vane)
تیغه	NACAOO2 1 (8 blades)
فاصله نوک تیغه تا مرکز دوران	۱۷۰۰□□
قطر Hub	۱۲۰۰□□
جنس	Corrosion resisting Aluminum alloy
وزن	۴۸۰□□(□□□□□□.) □□□□□□□□
شیر اطمینان: ۳عدد	
ژنراتور: ۴عدد	
قدرت خروجی نامی	۳۰□□ × ۲ □□ □□ ۹۰۰□□□
	۵۰□□ □□ □□ □۲۰۰□□□
	l0kW up to 900rpm
سرعت دورانی عملکرد	۵۰۰-۲۰۰۰□□□
نوع	۳-□□□□□□ □□□□□□□□□ □□□□□-□□□□□□□□ □□□□□□□□□□ □□□□
مبدل	PWM: Pulse Width Modulation
ولتاژ خروجی	DC300V
اینورتر: ۲عدد	
ولتاژ ورودی	IDc260 320V
ولتاژ خروجی	۱۲۰□□□ □□۲□□□ ۳□□□□□□ ۶۰□□
نوع	Air cooled grid type
ظرفیت	No.1 45kW
	No.2 65kW

۳-۳ شرایط محل بهره‌برداری

محل آزمایش خلیج جوکاشو می باشد. در فاصله ۱/۵کیلومتر از ورودی خلیج عمق بستر در حدود ۴۰ متر اندازه گیری شده است. در سال ۱۹۹۶ ناحیه‌ای به مساحت ۱ کیلومتر مربع در محدوده محل بهره‌برداری توسط شرکت JAMSTEC ژاپن مورد بررسی واقع گردید و نتایج ذیل بدست‌آمد:

- وجود شیب ۱% در جهت شمال به جنوب و تغییرات عمق بستر ۳۴ تا ۴۴ متر.
- ۹۴ درصدترکیب کف حاوی شن می‌باشد.
- در تابستان ۹۰% امواج در جهت جنوب و جنوب شرقی حرکت می‌کنند و در زمستان ۸۵% امواج در جهت جنوب و جنوب غربی حرکت می‌کنند.
- ارتفاع غالب امواج زیر ۱ متر بوده و پریود زمانی آنها ۵ تا ۸ ثانیه می‌باشد.
- میانگین چگالی قدرت موج در حدود ۴ کیلووات بر متر می‌باشد.
- نمونه اولیه فاقد کنترل محلی بوده و توسط واحد مجزا در خشکی مورد کنترل و ارزیابی قرار می‌گیرد. مشخصات ادوات ابزار دقیق جهت کنترل و ارزیابی سیستم در جدول (۲) آمده است. ارتفاع سنج و فشارسنج های از نوع اولتراسونیک که در فاصله ۱۰۰ متری از جلو و ۵۰ متری از عقب نمونه قرار گرفته‌اند و اطلاعات را به واحد کنترل مخابره می‌کند [۵].

جدول ۲ مشخصات ادوات ابزار دقیق [۴]

تجهیز اندازه گیری	دقت پارامتر	میزان اندازه گیری شده	پارامتر اندازه گیری
ارتفاع موج سنج از نوع ظرفیت	DC±5V	۰ □۱۲□	ارتفاع سطح آب داخل محفظه
فشارسنج از نوع استرین‌گیج	DC±10V	۱۰□۲۰□□□	فشار هوا داخل محفظه
اختلاف فشارسنج از نوع استرین‌گیج	DC±5V	± 10mAq	افت فشار توربین
گشتاورسنج از نوع الکترومغناطیس	DC±5V	±50kgf×m	گشتاور پیچشی توربین
سرعت دورانی‌سنج از نوع مغناطیسی	DC 0~5V	۰□۳۰۰۰ □.□.□	سرعت دورانی توربین

۴- بررسی نتایج حاصله

۴-۱ ویژگی‌های موج

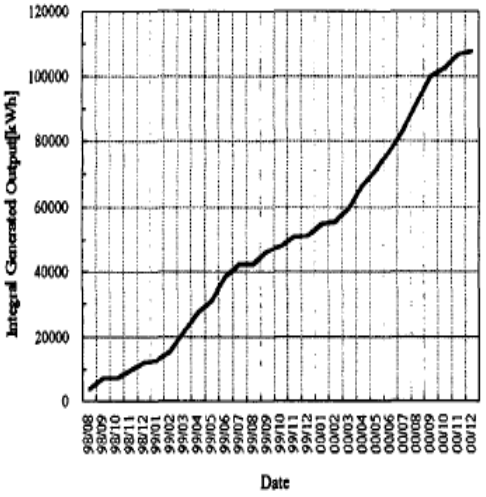
با توجه به اطلاعات بدست آمده مربوط به موج از آگوست ۱۹۹۸ تا جولای ۲۰۰۰ عموم موج های موجود در محل دارای ارتفاعی در حدود ۰/۵ متر و پریود زمانی در حدود ۶ ثانیه می‌باشند ولی ارتفاع برخی از امواج به ۴ متر هم می‌رسد [۵].

۴-۲ قدرت تولیدی

۴-۲-۱ شرایط تولید قدرت

سیستم توربین-ژنراتور برای موج‌هایی با ارتفاع بین ۰/۵تا ۳/۵ متر و دارای پریود ۶ تا ۹ ثانیه طراحی گردیده‌است. شکل (۶) مقدار انرژی تولیدی از آگوست ۱۹۹۸تا دسامبر ۲۰۰۰ را به صورت تجمعی نشان می‌دهد. همان طور که مشخص می‌باشد از آوریل تا پایان سپتامبر شیب نمودار زیاد می‌شود و دلیل آن وجود جریانات کم و فشار و طوفان در این محدوده زمانی می‌باشد.

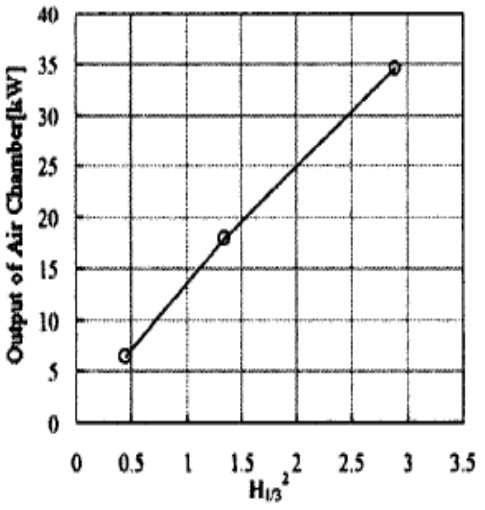
مدت زمانی که دستگاه در محل سایت قرار داشته ۷۳۱روز بوده که با کسر روزهایی که سیستم نیاز به تعمیرات داشته این زمان به ۵۴۸ روز می‌رسد. در این مدت قدرت تولیدی ۸۳/۶۵ مگاوات یا ۶/۳۷ کیلووات به ازای هر ساعت می‌باشد [۶].



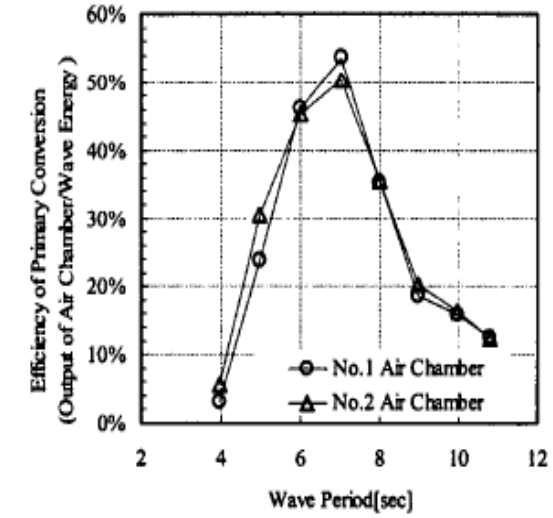
شکل ۶ نمودار تولید قدرت سیستم [۶]

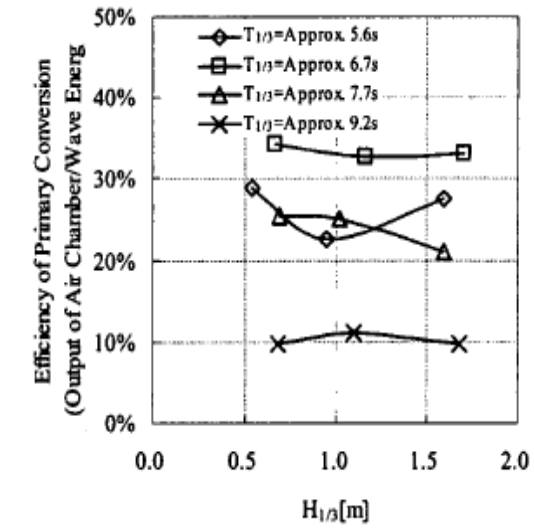
۴-۲-۲ ویژگی‌های انرژی جذب شده در محفظه هوا

محفظه هوا مانند یک مبدل انرژی پنوماتیکی عمل می‌کند و انرژی موج را به انرژی هوا تبدیل می‌کند. رابطه بین ارتفاع موج و قدرت خروجی از محفظه هوا در شکل (۷) مشخص می باشد. باتوجه به این که قدرت موج ورودی به محفظه هوا با توان دوم ارتفاع موج بررسی می‌شود، توان خروجی از محفظه هوا نیز با توان دوم موج بررسی شده‌است. رابطه بین بازدهی تبدیل انرژی اولیه (تبدیل انرژی موج به انرژی پنوماتیکی) با ارتفاع موج‌های غالب در شکل (۷) و همچنین رابطه بین دوره زمانی موج های غالب با تبدیل اولیه در شکل (۸) مشخص می‌باشد. همانطور که از نمودارها بر می‌آید بهره‌وری تبدیل اولیه به ارتفاع موج وابسته نمی‌باشد، ولیکن در یک ارتفاع خاص به دوره زمانی وابسته می‌باشد با توجه به نمودار ماکزیمم بهره‌وری در دوره حدود ۶ تا ۸ ثانیه می‌باشد.



شکل ۷ نمودار ارتفاع موج با قدرت خروجی هوا [۶]

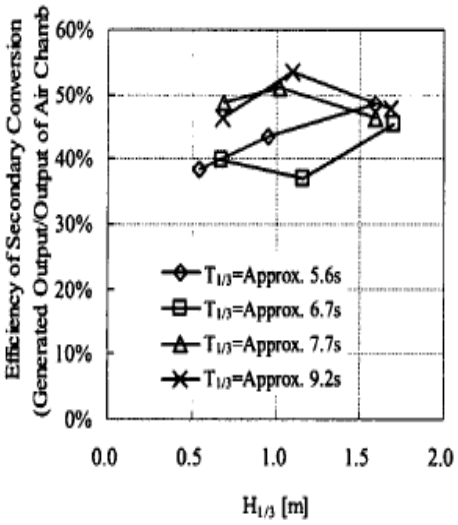




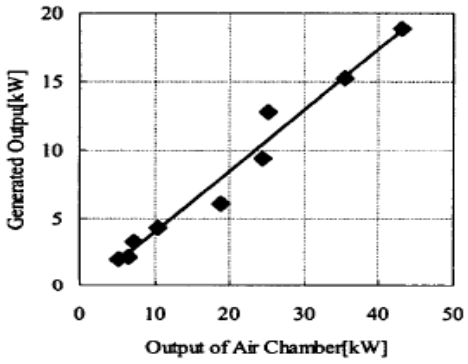
شکل ۸ نمودارهای ارتفاع و پریود موج با قدرت خروجی هوا [۶]

۴-۳ آنالیز بازدهی سیستم توربین-ژنراتور

سیستم توربین-ژنراتور دومین مبدل انرژی می باشد که انرژی هوا را به انرژی الکتریسیته تبدیل می‌کند. رابطه بین ارتفاع موج‌های غالب با نسبت انرژی الکتریکی تولید شده به انرژی هوای ورودی در شکل (۹) آورده شده‌است. با توجه به شکل رابطه‌ای بین ارتفاع موج، دوره موج و نسبت تبدیل های انرژی دیده نمی‌شود. مقدار بازدهی مبدل دوم در حدود۴۰% تا ۵۰% می‌باشد. این مورد هم به این دلیل است که بازدهی مبدل ثانویه که نسبت انرژی الکتریکی تولید شده به هوای ورودی می‌باشد همیشه در حدودی ثابت است. (مطابق شکل۱۰).



شکل ۹ نمودار ارتفاع موج با نسبت قدرت [۶]

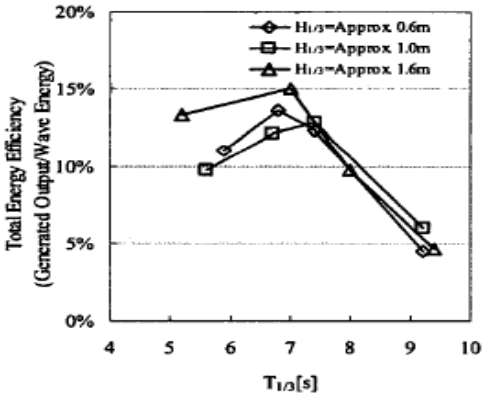


شکل ۱۰ نمودار خروجی ژنراتور با خروجی محفظه هوا [۶]

۴-۴ بازدهی کل انرژی

همانطور که در شکل (۱۱) دیده می‌شود ماکزیمم بهره وری حدود ۱۳ الی ۱۵ درصد در دوره زمانی حدود ۶ تا ۸ ثانیه می‌باشد.

بازدهی کل همانطور که در بخش روابط آمده‌است با بازدهی تبدیل‌های اولیه و ثانویه بیان می‌شود. با توضیحاتی که داده شد بازدهی مبدل اولیه به پریود موج وابسته و بازدهی مبدل ثانویه عددی ثابت می‌باشد. پس نتیجه می شود که بازدهی کل صرفا به دوره زمانی بستگی دارد.



شکل ۱۱ نمودار انرژی کلی به پریود زمانی [۶]

۵- مقایسه Mighty whale با سایر دستگاه‌ها

در جدول ۴ دستگاه‌های تولید کننده بر اساس اصول عملکردی خود مقایسه شده‌اند.

جدول ۴ مقایسه بین دستگاه‌های تولید کننده انرژی [۹]

نوع عملکرد	Oscillating water column	Overtopping	Oscillating bodies
ماندگاری	زیاد	متوسط	کم یا متوسط
جنس	زیاد	کم	متوسط
قابلیت اطمینان	زیاد	زیاد	متوسط
تعمیرات	زیاد	زیاد	کم یا متوسط
هزینه ارتقا	کم	زیاد	کم یا متوسط
ایمنی	زیاد	زیاد	متوسط

۶- روابط محاسباتی [۶]

۶-۱ انرژی کلی موج (w/m)

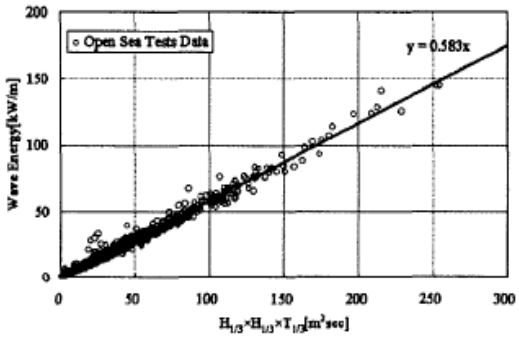
با بررسی اطلاعات بدست‌آمده از موج که توسط ادوات ابزار دقیق مخابره شده‌است، می‌توان از رابطه ذیل به‌منظور محاسبه قدرت موج استفاده کرد که در آن $S(w)$ طیف موج، ρ چگالی آب دریا و $V_g(w)$ سرعت گروهی موج می‌باشد.

$$E_{irr} = \int_0^{\infty} \rho g S(w) V_g(w)\, dw \qquad (۱)$$

$$E_{in} = B E_{irr} \qquad (۲)$$

رابطه فوق انرژی موج بر طول واحد می‌باشد و برای محاسبه انرژی ورودی به محفظه از رابطه زیر که در آن B عرض محفظه می‌باشد استفاده می‌کنیم.

۷- محاسبه قدرت موج با استفاده از نمودار



شکل ۱۲ نمودار ویژگی‌های انرژی موج حاصله [۷]

باتوجه به شکل (۱۲) می‌توان رابطه زیر را که دارای دقت مناسب می‌باشد جهت اندازه‌گیری قدرت بدست‌آمده از موج نوشت.

$$E_W = ۰.۵۸۳ H_{۱/۳} T_{۱/۳} \qquad (۳)$$

در این رابطه $H_{۱/۳}$ ارتفاع موج‌های غالب و $T_{۱/۳}$ پریود زمانی می‌باشد.

۸- انرژی خروجی از محفظه هوا و توربین

جهت تعیین انرژی پنوماتیکی حاصل از فشرده شدن هوا داخل محفظه رابطه زیر نوشت می‌شود که در آن A_W مساحت سطح محفظه، P_{air} فشار هوا، η سطح آب داخل محفظه و T_W پریود زمانی می‌باشد.

$$E_{air} = \frac{A_W}{T_W} \int_0^{T_W} P_{air} \frac{d\eta}{dt}\, dt \qquad (۴)$$

و در نهایت توان تولیدی توسط توربین با رابطه زیر محاسبه می‌شود که در آن T_W پریود زمانی و N سرعت دورانی توربین می‌باشد.

$$E_T = \frac{۱}{T_W} \int_0^{T_W} \frac{۲۰۰۰}{۶۰} dt \qquad (۵)$$

$$\eta_{Total} = \frac{E_e}{E_{in}} = \eta_۱ \eta_۲ \qquad (۶)$$

۹- پتانسیل‌سنجی استفاده از Mighty whale در ایران

به منظور پتانسیل سنجی استفاده از دستگاه مذکور در ایران به بررسی شرایط موج در چند ایستگاه واقع در دریای خزر می‌پردازیم.

به همین منظور اطلاعات مربوط به مشخصات موج مربوط به دو ایستگاه نکا و امیرآباد که توسط پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی در طی یکسال ثبت شده بود تهیه گردید و سپس درصد فراوانی دوره زمانی و ارتفاع موج در هر فصل با استفاده از فرمول‌های نرم‌افزار اکسل (بخصوص فرمول frequency) به صورت جدول ارایه شده‌است.

۹-۱ ایستگاه نکا

باتوجه به این که حداکثر بهره‌وری دستگاه در دوره زمانی ۶ تا ۷ ثانیه می‌باشد (شکل۱۴)، مطابق جداول ۵ الی ۸ بیشترین موج با دوره زمانی مذکور در فصل تابستان و به مقدار ۵۶ درصد رخ می‌دهد.

سهم فصل‌های بهار، پاییز و زمستان به ترتیب ۵۰،۵۰ و ۴۵ درصد از بازدهی حداکثری دستگاه می‌باشد. به همین صورت پیش‌بینی می‌شود که Mighty whale توان تقریبا یکسانی را در طول سال استحصال کند و همچنین دو گروه زیر در محاسبه استحصال توان در نظر گرفته نمی‌شوند:

- دوره‌های زمانی کمتر از ۵ و بیشتر از ۹ ثانیه بدلیل افت شدید بازدهی دستگاه.
- موج‌های دارای ارتفاع بیش‌از ۱/۶ متر بدلیل اندک بودن درصد فراوانی.

جدول ۵ درصد فراوانی ارتفاع و پریود امواج ایستگاه نکا در فصل بهار سال ۱۹۸۹میلادی

ارتفاع موج (متر)	دروه زمانی (ثانیه)						
	<۵	۵	۶	۷	۸	۹	>۹
۰/۶	۳	۳۱	۳۵	۱۵	۷	۴	۵
۱	۹۴	۶۶	۶۰	۸۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱/۶	۶	۲۴	۲۸	۱۳	۰	۰	۰
>۱/۶	۰	۱۰	۱۱	۲	۰	۰	۰
	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰

جدول ۶ درصد فراوانی ارتفاع و پریود امواج ایستگاه نکا در فصل تابستان سال ۱۹۸۹میلادی

ارتفاع موج (متر)	دروه زمانی (ثانیه)						
	<۵	۵	۶	۷	۸	۹	>۹
۰/۶	۱	۲۲	۳۶	۲۰	۱۰	۷	۴
۱	۱۰۰	۷۴	۶۶	۸۲	۸۹	۱۰۰	۱۰۰
۱/۶	۰	۲۱	۱۵	۴	۰	۰	۰
>۱/۶	۰	۵	۱۴	۵	۰	۰	۰
	۰	۰	۵	۹	۱۱	۰	۰

جدول ۷ درصد فراوانی ارتفاع و پریود امواج ایستگاه نکا در فصل پاییز سال ۱۹۸۹میلادی

ارتفاع موج (متر)	دروه زمانی (ثانیه)						
	<۵	۵	۶	۷	۸	۹	>۹
۰/۶	۴	۳۰	۳۵	۱۵	۷	۴	۵
۱	۸۸	۶۷	۶۱	۷۷	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱/۶	۱۲	۲۴	۲۲	۱۱	۰	۰	۰
>۱/۶	۰	۹	۱۶	۸	۰	۰	۰
	۰	۰	۱	۴	۰	۰	۰

جدول ۸ درصد فراوانی ارتفاع و پریود امواج ایستگاه نکا در فصل زمستان سال ۱۹۸۹میلادی

ارتفاع موج (متر)	دروه زمانی (ثانیه)						
	<۵	۵	۶	۷	۸	۹	>۹
۰/۶	۵	۳۵	۳۱	۱۴	۷	۲	۶
۱	۷۰	۶۴	۶۲	۷۴	۹۸	۱۰۰	۱۰۰
۱/۶	۳۰	۲۵	۱۸	۱۰	۲	۰	۰
>۱/۶	۰	۱۱	۱۲	۱۱	۰	۰	۰
	۰	۰	۸	۵	۰	۰	۰

۲-۹ توان قابل استحصال توسط دستگاه در ایستگاه نکا

به منظور محاسبه توان قابل استحصال توسط Mighty whale فرمول زیر، از بکارگیری روابط بدست‌آمده از نمونه اولیه و جدول‌های درصد فراوانی ارایه گردیده‌است:

$$E_T = \eta_1 . \eta_2 . \eta_3 . E_W . W \qquad (۷)$$

η_1 : فراوانی دوره موج در فصل مربوطه.

η_2 : درصد فراوانی ارتفاع موج در دوره مربوطه.

η_3 : بازدهی دستگاه باتوجه به دوره زمانی و ارتفاع موج که توسط جدول۹ (استخراج شده از شکل۱۱) بدست می آید.

E_W : با استفاده از رابطه۳ محاسبه می‌گردد.

W : عرض محفظه (۳۰ متر).

جدول ۹ بازدهی کلی دستگاه

	دروه زمانی (ثانیه)					ارتفاع موج (متر)
	۵	۶	۷	۸	۹	
	۱۰	۱۲	۱۳	۱۱	۶	۰/۶
	۸	۱۱	۱۲	۹	۸	۱
	۱۳	۱۴	۱۵	۹	۷	۱/۶

همانطور که جداول۱۰ الی ۱۳ نشان می‌دهند، بیشترین توان تولیدی توسط Mighty whale در ایستگاه نکا متعلق به فصل بهار و به میزان ۶/۶۹ کیلوات‌ساعت می‌باشد. در فصل تابستان این مقدار به ۵/۹۴ کاهش می‌یابد و همچنین در فصول پاییز و زمستان به ترتیب ۶/۳۲ و ۶/۵۰ کیلووات‌ساعت توان بدست می‌آید. نزدیکی مقادیر تولیدی توسط دستگاه در تمامی فصول سال ودارا بودن مقدار میانگین ۶/۳۶ کیلووات‌ساعت در طی سال که اختلاف ناچیزی با نمونه اولیه تجاری شده (۶/۳۷ کیلووات‌ساعت) دارد ویژگی اصلی استفاده از Mighty whale در ایستگاه نکا می‌باشد.

با در نظر گرفتن ۳۰درصد از کل سال به عنوان زمان مورد نیاز جهت تعمیرات و یا زمان‌های مربوط به خاموشی دستگاه، ۳۹ مگاوات توان توسط Mighty whale استحصال می‌گردد که برای درک بهتر مقدار توان تولیدی می‌توان آن را با ظرفیت نامی کل نیروگاه‌های بادی ایران که در سال۹۱ به میزان ۱۰۹/۴ مگاوات بوده [۷]، مقایسه کرد.

جدول ۱۰ توان تولیدی براساس دوره‌های زمانی، مربوط به ایستگاه نکا در فصل بهار سال ۱۹۸۹میلادی بر حسب کیلووات ساعت

ارتفاع موج (متر)	دروه زمانی (ثانیه)				
	۵	۶	۷	۸	۹
۰/۶	۱/۱۰	۱/۹۹	۱/۳۴	۰/۷۴	۰/۱۱
۱	۰/۶۹	۰/۰۲	۰	۰	۰
۱/۶	۰/۷۰	۰	۰	۰	۰
توان مجموع	۲/۴۹	۲/۰۱	۱/۳۴	۰/۷۴	۰/۱۱

جدول ۱۱ توان تولیدی براساس دوره‌های زمانی، مربوط به ایستگاه نکا در فصل تابستان سال ۱۹۸۹میلادی برحسب کیلووات ساعت

ارتفاع موج (متر)	دروه زمانی (ثانیه)				
	۵	۶	۷	۸	۹
۰/۶	۱/۳۶	۱/۵۵	۱/۱	۰/۶۶	۰/۱۱
۱	۰/۵۱	۰/۰۲	۰/۰۸	۰	۰
۱/۶	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۲۱	۰	۰
توان مجموع	۲/۱۹	۱/۶۰	۱/۳۸	۰/۶۶	۰/۱۱

جدول ۱۲ توان تولیدی براساس دوره‌های زمانی، مربوط به ایستگاه نکا در فصل پاییز سال ۱۹۸۹میلادی بر حسب کیلووات ساعت

ارتفاع موج	دروه زمانی (ثانیه)

(متر)	۵	۶	۷	۸	۹
۰/۶	۱/۲۳	۱/۴۳	۱/۰۳	۰/۷۴	۰/۱۱
۱	۰/۵۹	۰/۰۳	۰/۲۳	۰	۰
۱/۶	۰/۵۷	۰/۰۴	۰/۳۳	۰	۰
توان مجموع	۲/۳۹	۱/۴۹	۱/۵۸	۰/۷۴	۰/۱۱

جدول ۱۳- توان تولیدی براساس دوره‌های زمانی، مربوط به ایستگاه نکا در فصل زمستان سال ۱۹۸۹میلادی بر حسب کیلووات ساعت

ارتفاع موج (متر)	دروه زمانی (ثانیه)				
	۵	۶	۷	۸	۹
۰/۶	۱/۱۸	۱/۴۳	۰/۹۹	۰/۷۲	۰/۱۱
۱	۰/۶۱	۰/۰۲	۰/۲۱	۰/۲۰	۰
۱/۶	۰/۷۰	۰/۰۳	۰/۴۵	۰	۰
توان مجموع	۲/۴۹	۱/۵۰	۱/۶۵	۰/۷۴	۰/۱۱

۳-۹ ایستگاه امیرآباد

مطابق جداول۱۴ الی ۱۷ که مربوط به فراوانی دوره‌زمانی در فصول مختلف در سال ۲۰۰۲-۲۰۰۳ میلادی می‌باشد، بدلیل قرار داشتن ۹۱/۷۵ درصد دوره زمانی در بازه کمتر از ۵ ثانیه در کل سال و درنتیجه کاهش قابل توجه دستگاه، استفاده از Mighty whale در ایستگاه امیرآباد مناسب ارزیابی نمی‌شود.

جدول ۱۴ درصد فراوانی ارتفاع و پریود امواج ایستگاه امیرآباد در فصل بهار سال ۲۰۰۲میلادی

ارتفاع موج (متر)	دروه زمانی (ثانیه)		
	۳	۴	۵
	۴۵	۴۹	۶
۰/۴	۴۹	۱۳	۱۲
۰/۶	۴۱	۳۳	۱۱
۱	۱۰	۴۱	۲۴
۱/۶	۰	۱۳	۴۹

جدول ۱۵ درصد فراوانی ارتفاع و پریود امواج ایستگاه امیرآباد در فصل تابستان سال ۲۰۰۲میلادی

ارتفاع موج (متر)	دروه زمانی (ثانیه)		
	۳	۴	۵
	۴۷	۴۷	۶
۰/۴	۴۹	۱۸	۵
۰/۶	۴۲	۲۹	۲۱
۱	۹	۴۷	۲۱
۱/۶	۰	۵	۵۳

جدول ۱۶ درصد فراوانی ارتفاع و پریود امواج ایستگاه امیرآباد در فصل پاییز سال ۲۰۰۳میلادی

ارتفاع موج (متر)	دروه زمانی (ثانیه)		
	۳	۴	۵

	۵۳	۳۷	۱۰
۰/۴	۳۷	۴۳	۸
۰/۶	۱۹	۱۵	۰
۱	۲۰	۳۱	۱۵
۱/۶	۲۴	۱۱	۷۷

جدول ۱۷ درصد فراوانی ارتفاع و پریود امواج ایستگاه امیرآباد در فصل زمستان سال ۲۰۰۲میلادی

ارتفاع موج (متر)	دروه زمانی (ثانیه)		
	۳	۴	۵
	۲۶	۶۳	۱۱
۰/۴	۸۹	۵۰	۳۸
۰/۶	۹	۳۱	۱۰
۱	۲	۱۷	۲۷
۱/۶	۰	۲	۲۵

۱۰- نتیجه‌گیری

همانطور که اطلاعات مقاله نشان می‌دهد میزان تولید توان نمونه اولیه ۶/۳۷ کیلووات به ازای هر ساعت می‌باشد که این مقدار به دوره زمانی وابسته است. مطابق شکل (۱۱)، بازدهی در ارتفاع‌های مختلف در دوره زمانی ۶ الی ۸ ثانیه دارای مقادیر بیشتر از ۱۰درصد و در حدود ۷ثانیه دارای بیشترین مقدار خود می‌باشند.

با استفاده از روابط بدست آمده طی بهره‌برداری نمونه اولیه و همچنین اطلاعات تهیه شده یک ساله توسط پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی در مورد ویژگی‌های امواج در دو ایستگاه نکا و امیرآباد به بررسی پتانسیل این دو ایستگاه به منظور استفاده از Mighty whale در آنها پرداخته شد.

در ایستگاه نکا ویژگی‌های موج به نمونه اولیه نزدیک می‌باشد و اکثر امواج دارای دوره موج بالاتر از ۵ثانیه و ارتفاعی بین ۰/۶ تا ۱متر می‌باشند که به‌منظور تولید توان مطلوب ارزیابی می‌گردد. محاسبه قدرت تولیدی در این دو ایستگاه با استفاده از رابطه (۳) که تنها با داشتن دوره زمانی و ارتفاع امواج امکان‌پذیر می‌باشد نشان می‌دهد که در ایستگاه نکا پتانسیل استحصال الکتریسیته به میزان متوسط ۶/۳۶ کیلووات‌ساعت را دارد که این مقدار به قدرت تولیدی توسط نمونه اولیه بسیار نزدیک می‌باشد. نزدیکی توان تولیدی در هر چهار فصل که باعث وجود دایمی انرژی در سواحل نکا می‌شود از به عنوان یکی از مهمترین ویژگی‌های این ایستگاه قابل اشاره است.

حدود ۴۶درصد امواج در ایستگاه امیرآباد دارای دوره زمانی کمتر از ۴ ثانیه و همچنین ۵۶درصد امواج ارتفاعی کمتر از ۰/۴متر و می‌باشند. باتوجه به کاهش قابل ملاحظه بازدهی دستگاه در دوره زمانی و ارتفاع فوق، Mighty whale نمی‌تواند توان قابل توجهی را استحصال نماید.

۱۱- مراجع

[1] Y. Washio, The Offshore Floating Type Wave Power Device "Mighty Whale" and Its Multi-Purpose Utilization, Proceedings of the 6'h International Symposium on Marine Engineering, 2000, pp. 91-97.

[2] Y. Washio, H. Osawa, Y. Nagata, F. Fujii, H. Furuyama and T. Fujita, The offshore Floating Type Wave Power Device

"Mighty Whale" Open Sea Tests, Proceedings of the10" International Offshore and Polar Engineering Conference, Vol. I ,2000, pp. 373-380.
[3] T. Setoguch, Report on Model Test of Wells Turbine for The Mighty Whale (Further Experiments), 1998.
[4] Y. Washio, H. Osawa, Y. Nagata, F. Fujii, H. Furuyama and T. Fujita, The offshore Floating Type Wave Power Device "Mighty Whale" Open Sea Tests; Part1 : An overview of experimental system and the mooring operations, JAMSTECTR N0.40,2000, pp. 1-17.
[5] Y. Washio, H. Osawa, Y. Nagata, F. Fujii and T. Fujita, The offshore Floating Type Wave Power Device "Mighty Whale" Open Sea Tests - Characteristics of Wave Energy Absorption, Proceedings of JSES I JWEA Joint Conference, 2000, pp. 449-452.
[6] Yukihisa Washio, Hiroyuki Osawa, Teruhisa Ogata, The Open Sea Tests of The Offshore Floating Type Wave Power Device "Mighty Whale" Characteristics of Wave Energy Absorption and Power Generation , Japan Marine Science and Technology Center2-1 5 Natsushima-cho Yokosuka 237-0061 Japa.
[7] http://www.satba.gov.ir/pt/wind/capacity.
[8] http://www.takesteps.org.
[9] Bijun Wu, Tianxiang Chen, Jiaqiang Jianga , Gang Lia, Yunqiu Zhang, Yin Ye, Economic assessment of wave power boat based on the performance of "Mighty Whale" and BBDB, elsvier, 2017.