



واحد تهران جنوب  
دانشکده فنی مهندسی  
گروه برق قدرت

عنوان پروژه :

# بره گیری از ارزشهای تجدید پذیر برای تولید انرژی الکتریکی

استاد راهنما :

جناب آقای دکتر ابراهیمی

تهیه کنندگان :

امین شیخ احمدی

مجید زرگرزاده

## گرم شدن زمین و تغییر آب و هوا

با آغاز انقلاب صنعتی در اوایل قرن نوزدهم میلادی و رشد روز افزون تحولات بشری، تغییرات گوناگونی نیز در زندگی انسانها رخ داده است. نیاز بشر به انرژی و مصرف انواع سوختهای فسیلی نظیر زغال سنگ، نفت و گاز طبیعی باعث افزایش شدید گازهای مانند دی اکسید کربن ( $CO_2$ ) در جو شده است. افزایش جمعیت کره زمین که باعث تغییر کاربری زمین، تخریب جنگلها، افزایش فعالیتهای کشاورزی و دامداری و تولید ضایعات جامد و مایع شده است، تبعات مختلفی به همراه داشته است. پدیده تغییر آب و هوا یکی از این تبعات است. رشد جمعیت و پیشرفت تکنولوژی در قرن اخیر به رشد میزان تقاضای حاملهای انرژی منجر شده است.

انسانها با مصرف انرژی حاصل از سوختهای فسیلی و تولید بیش از حد گازهای گلخانه‌ای توازن انرژی زمین را بهم می‌زنند. ادامه روند افزایش میزان تقاضا و مصرف انرژی در چند دهه آینده، تغییر کاربری زمین، گسترش فعالیتهای کشاورزی و دامداری و افزایش ضایعات جامد و مایع پدیده گلخانه‌ای را در جو زمین تشدید خواهد کرد. مدل‌های جوی پیش‌بینی می‌کنند که تا سال ۲۱۰۰، دمای کره زمین از ۱ تا ۵/۳ درجه سانتیگراد افزایش خواهد یافت که این مقدار بیش از تغییرات دمایی ۱۰۰۰۰ سال گذشته خواهد بود. شکل (۱) روند تغییرات دمایی زمین را در دو قرن اخیر نشان می‌دهد.

انتشار روز افزون گازهای گلخانه‌ای، تولید هواپزها (آئوسل‌ها)، تغییر در ضریب انعکاس زمین و آلودگی حرارتی، عوامل مختلفی هستند که بر سرعت پدیده تغییر آب و هوا تاثیر می‌گذارند و در این بین تاثیر و اهمیت گازهای گلخانه‌ای بسیار بیشتر و شناخته شده‌تر است.



شکل ۱- روند تغییرات دمایی زمین در محدوده سالهای ۱۸۶۰ تا ۱۹۸۰ [ ۱۰ ]

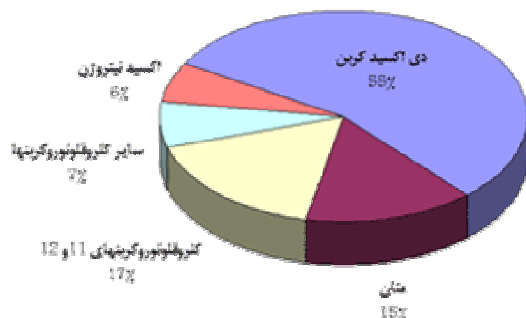
## اثر گلخانه‌ای

تابشهای خورشیدی پس از عبور از فضا به زمین و اتمسفر رسیده و قسمت اعظم آن توسط کره زمین جذب می‌شود. کره زمین پس از گرم شدن، امواج گرم را به صورت تابشهای فروسرخ به فضا باز می‌تابد. قسمتی از این تابشهای فروسرخ از اتمسفر عبور می‌کند و قسمتی دیگر توسط گازهای گلخانه‌ای موجود در اتمسفر جذب و به سطح زمین بازتابانیده می‌شود (شکل ۲)



گازهای گلخانه‌ای موجود در جو زمین، کسری از انرژی خورشیدی رسیده به زمین را در داخل اتمسفر نگه می‌دارند و دمای زمین در اثر این انرژی در حد مناسبی ثابت باقی می‌ماند. این عمل گازهای گلخانه‌ای را اثر گلخانه‌ای نامیده‌اند. لازم به ذکر است که اگر اثر گلخانه‌ای در اتمسفر زمین وجود نداشت، دمای کره زمین حدود  $5/5^{\circ}\text{C}$  درجه سانتیگراد نسبت به حال کمتر می‌شد و عصر یخبندان دیگری را رقم می‌زد.

همچنین، در صورتی که موجودی گازهای گلخانه‌ای در داخل اتمسفر، زیادتر از حد متعارف شود، موازنه انرژی زمین بهم می‌خورد و انرژی بیشتری در داخل اتمسفر زمین باقی می‌ماند. انرژی بیشتر، گرم شدن زمین را به دنبال خواهد داشت.



شکل-۳ سهم گازهای مختلف گلخانه‌ای در

اتمسفر زمین در سال ۱۳۷۳ [ ۱۰ ]

### گازهای گلخانه‌ای

بخار آب ( $\text{H}_2\text{O}$ )، دی اکسید کربن ( $\text{CO}_2$ )، اکسید نیترو ( $\text{N}_2\text{O}$ )، متان ( $\text{CH}_4$ )، ازن جو پایین ( $\text{O}_3$ )، کلروفلوئوروکربنها ( $\text{CFCs}$ )، هیدروفلوئوروکربنها ( $\text{HFCs}$ ) و پرفلوئوروکربنها ( $\text{PFCs}$ ) گازهای گلخانه‌ای نام دارند. تمامی این گازها در ایجاد پدیده گلخانه‌ای در جو زمین نقش دارند و در این میان بخار آب و دی اکسید کربن مجموعاً ۹۰ درصد از سهم اثر گلخانه‌ای را به خود اختصاص می‌دهند.

گازهای گلخانه‌ای بطور طبیعی در جو زمین وجود دارند اما فعالیت‌های انسانها و آلودگی‌های ناشی از این فعالیت‌ها، مقدار گازهای مذکور را بطور غیر طبیعی افزایش می‌دهد. در نتیجه گرمای ناشی از تابش اشعه خورشید در جو زمین محبوس می‌شود و دمای کره زمین را بالا می‌برد.

گازهای گلخانه‌ای دارای منابع تولیدکننده طبیعی و غیر طبیعی هستند. این منابع چشمه‌های گازهای گلخانه‌ای نامیده می‌شوند. از طرفی مقدار گازهای گلخانه‌ای در اثر تغییر و تحولات شیمیایی در جو یا توسط منابع جذب کننده این گازها که اصطلاحاً چاهک نامیده می‌شوند، کاهش می‌یابد. هر گاز گلخانه‌ای طول عمر مشخصی دارد و با توجه به نوع گاز گلخانه‌ای میزان تاثیر آن بر شدت اثر گلخانه‌ای نیز متفاوت است. معمولاً گاز دی اکسید کربن به عنوان مبنای تعیین میزان تاثیر گاز گلخانه‌ای بر گرمای زمین، در نظر گرفته می‌شود و پتانسیل گرمایش سایر گازها نسبت به این گاز سنجیده می‌شود. جدول زیر گازهای گلخانه‌ای، منابع انتشار و طول عمر آنها را در جو زمین نشان می‌دهد.

## جدول ۱- خلاصه مشخصات گازهای گلخانه‌ای [ ۱۰ ]

طول عمر در جو زمین	چاهکها	منابع		گازهای گلخانه‌ای
		طبیعی	غیر طبیعی	
۵۰ سال	اقیانوسها- جنگلها	---	سوزاندن سوختهای فسیلی، جنگل زدایی، تخمیر هوائی ضایعات جامد و مایع	دی‌اکسید کربن $CO_2$
۱۰ سال	جذب توسط باکتریهای موجود در خاک و انجام واکنشهای شیمیایی در جو	مرداب و اقیانوسها	فضولات حیوانی، شالیزارهای برنج و سوزاندن سوختهای فسیلی، تخمیر بی‌هوائی ضایعات جامد و مایع	متان $CH_4$
۱۴۰ - ۱۹۰ سال	جذب بوسیله خاک و واکنشهای فتوشیمیایی در استراتوسفر	فرآیندهای میکروبی در خاک و آب اقیانوسها و خاکهای طبیعی	خاکهای تقویت شده با کودهای شیمیایی، سوختن زیست توده و احتراق سوختهای فسیلی	اکسید نیترو $N_2O$
چند ساعت تا چند روز	واکنش با رادیکالهای آزاد در جو و واکنشهای پیچیده فتوشیمیایی	واکنشهای پیچیده فتوشیمیایی در جو	---	اوزن $O_3$

## گرم شدن زمین چه عواقبی به دنبال دارد؟

دما و میزان بارش برف و باران، هر دو بر آب و هوا تاثیر می‌گذارند. مقادیر دما و میزان بارش باران در هر منطقه نیز متأثر از عرض جغرافیایی، ارتفاع و جریانهای اقیانوسی آن منطقه می‌باشد. تغییر آب و هوا پدیده‌ای است که میزان تاثیر عوامل فوق را بر آب و هوای هر منطقه تغییر می‌دهد و تاثیرات نامطلوبی را به جایی می‌گذارد. برخی پیامدهای شناخته‌شده ناشی از تغییر آب و هوا عبارتند از :

- بالا آمدن سطح آب دریاها و کاهش منابع آب شیرین
- تغییرات آب و هوای منطقه‌ای در عرضهای بالا و نیمکره شمالی
- تغییر در میزان بارش باران و جهت وزش باد
- افزایش بلایای طبیعی مثل طوفان، گردباد و سیل
- افزایش میزان خشکسالی و توسعه مناطق بیابانی
- افزایش آلودگی هوا در برخی مناطق در اثر افزایش بادهای گرم
- اثر احتمالی بر گسترش بیماریهایی نظیر مالاریا

## ارزیابی روشهای کاهش گازهای گلخانه‌ای در ایران

پتانسیل کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشور بدلیل فرسودگی صنایع مصرف کننده حامل های انرژی بالاست. در بخش انرژی، سیاستهای اصلی مبتنی بر تولید برق با استفاده از فن آوریهای پاک و پربهره و نیز پالایشگاههای دوستدار محیط زیست، بهینه سازی فن آوری وسایل نقلیه و ناوگان حمل و نقل عمومی و استفاده از لوازم برقی و ساختمانهای با بهره وری بیشتر می‌باشد. به همین ترتیب در بخش غیر انرژی استراتژیهای کاهش شامل مدیریت مزارع و ترویج دامداری مدرن، محافظت از جنگلها و سایر منابع طبیعی، کنترل مضاعف و تصفیه پسابها، مدیریت مواد زائد و بازیافت آنها است.



### ○ افزایش بهره وری انرژی

افزایش بهره وری انرژی یکی از اقتصادی ترین گزینه ها برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای با پتانسیلی در حدود ۳۱٪ تا سال ۱۴۰۰ است. با استفاده بهینه از حاملهای انرژی و افزایش سهم گاز طبیعی در سبد تقاضا می توان نرخ رشد انتشار سالانه دی اکسید کربن را از ۴/۲٪ در سال ۱۳۷۸ به ۲/۴٪ در سال ۱۴۰۰ کاهش داد.

در همین راستا روشهای کاهش مبتنی بر بهره وری انرژی شامل افزایش سهم نیروگاههای سیکل ترکیبی در تولید برق، تدوین استانداردهای مناسب مصرف انرژی در ساختمانهای مسکونی و تجاری، اجباری کردن استفاده از برچسبهای انرژی برای لوازم برقی خانگی و تقویت تکنولوژی وسایل نقلیه می باشد.

### ○ جایگزینی سوخت

مقدار انتشار CO<sub>2</sub> از نیروگاههای حرارتی، با جایگزین کردن سوختهای مایع مثل نفت، گاز و سوختهای سنگین با گاز طبیعی از مقدار ۸۹/۴ میلیون تن در سال ۱۳۷۸ به ۸۳ میلیون تن در سال ۱۳۸۴ خواهد رسید که کاهش ۷/۲ درصدی در طول این دوره را نشان خواهد داد.

بازیابی گازهای همراه برای تزریق به چاههای نفت و توسعه تکنولوژیهای تبدیل گاز به مایع (GTL) می تواند کمک موثری برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای باشد.

### ○ استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر و پاک

دولت ایران، اقدامات مثبتی را برای توسعه منابع انرژی تجدید پذیر در پیش گرفته است. انرژی بادی و خورشیدی، زمین گرمایی، انرژی امواج و جزر و مد، انرژی هیدروژنی، انرژی هسته ای و آبی نمونه هایی از منابع انرژی تجدیدپذیر و پاک به شمار می روند که پتانسیل مناسبی در کشور در بکارگیری این منابع انرژی وجود دارد. تا سال ۱۳۸۴ سهم انرژیهای آبی، زمین گرمایی و هسته ای در تولید نیرو به ترتیب به سطح ۷۷۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۰۰۰ مگاوات خواهد رسید.

### جایگزین انرژیهای فسیلی

با افزایش روز افزون جمعیت جهان و محور بودن منابع انرژی، کلیه کشورها با مشکل انرژی روبرو هستند. انرژی برای همه مردم مسئله ای اساسی است. انرژی در تمام شئون جامعه انسانی رسوخ کرده و جنبه های مختلف آن از زندگی روزانه خانوادگی گرفته تا سیستمات جهانی و بین المللی و طرح های توسعه ملی را تحت تاثیر قرار داده است. انرژی در سالهای اخیر به علت پدیده ای که «بحران جهانی انرژی» نام گرفته، اهمیت زیادی کسب کرده است. اوایل دهه ۱۹۷۰ آشکار شد که سوخت های فسیلی که از سالها پیش پایه و اساس موازنه انرژی را در اقتصاد جهان تشکیل می داد، در آینده ای نه چندان دور تمام خواهد شد. در این زمان تناسب بین کشف ذخایر سوخت های فسیلی و رشد مصرف سوخت به هم خورد و محاسبات علمی چشم جهانیان را باز کرد که تا یک نسل دیگر این ذخایر به پایان خواهد رسید. امروز دیگر نمی توان گفت دنیا فاقد منابع انرژی است، بلکه منابع انرژی کافی وجود دارد و برای استفاده از آن در زمینه های فناوری و تولید، به سرمایه گذاری نیاز است. امروز دیگر نمی توان مانند گذشته یک نوع انرژی را به کار گرفت و تک محصولی بود، بلکه باید انواع گوناگون انرژی به طور مختلط بهره برداری کرد تا آیندگان از لحاظ انرژی مورد نیاز خود تامین کافی داشته باشند. این کار بخشی از استراتژی توسعه است که نقش فعالی در جریان رشد اقتصادی و اجتماعی آنان خواهد داشت.

## ❖ انرژی خورشیدی

تقریباً تمام شکلهای زمینی انرژی، از خورشید سرچشمه می گیرند. مقدار انرژی متوسط خورشیدی که به جو زمین می رسد، در حدود 1.353 کیلو وات بر هر مترمربع است. مقدار انرژی ای که به سطح زمین می رسد، بسیار کمتر و مقداری که قابل بهره برداری است، از آن هم کمتر است. چنانچه مجموع انرژی خورشیدی را در زمین هایی که نه در تصرف کسی است و نه زیر کشت است حساب کنیم، در آن صورت به بهترین وجه ظرفیت بالقوه بهره برداری از انرژی خورشیدی به دست می آید. طبق برآوردها این رقم به طور متوسط در سال 10,000TW است که تقریباً 1000 برابر مصرف کنونی انرژی در جهان می باشد. در نقاطی که مصرف انرژی کم و مسافت های برق رسانی زیاد است، هزینه های خطوط برق رسانی موجه نیست و ایجاد تاسیسات محلی برای بهره برداری از انرژی خورشیدی یا بادی بهترین راه است. لذا لزوم بهره گیری و مطالعه در مورد این انرژی مشخص می شود.

## ❖ انرژی بادی

بادهای جهان جمعاً حدود 2700 TW انرژی در خود نهفته دارند. هزاران سال است که انسان برای به دست آوردن جزء بسیار کوچکی از این انرژی، از آسیابهای بادی استفاده می کند. در سالهای اخیر با بالا رفتن قسمت انرژی های فسیلی، دوباره اذهان متوجه نیروی باد شده است. انرژی بادی به علت رایگان بودن و آلوده نساختن محیط زیست بیشتر مورد توجه قرار دارد. استفاده از نیروی باد برای نیازهای محلی بسیار مناسب است. از 2700TW انرژی موجود در باد حدود  $\frac{1}{4}$  آن در 100 متری زمین قرار دارد. با احداث مبدل های بادی در سراسر جهان می توان حداکثر 40 TW انرژی به دست آورد. با این حال حتی 10 درصد این مقدار انرژی یعنی 4 TW از ظرفیت کل انرژی آبی بیشتر است. انرژی باد در اثر تغییر دمای انرژی تابشی خورشید بر اثر چرخش زمین و سرد و گرم شدن زمین بوجود می آید. انرژی باد را به عنوان زیرمجموعه بزرگترین انرژی مورد بررسی قرار می دهیم.

## ❖ انرژی زمین گرمایی

قرن ها است که گرمای درون زمین مورد بهره برداری قرار گرفته است، حتی رومیان قدیم نیز از آن برای گرم کردن حمام استفاده می کردند. هم اکنون در حدود بیست کارخانه تولید برق با استفاده از گرمای درون زمین به کار اشتغال دارند که تولید آنها بین چند مگا وات است. جمع تولید نیروی این کارخانه ها بیش از 1500 MW است. از گرمای درون زمین تنها در جاهایی می توان استفاده کرد که به سطح زمین نسبتاً نزدیک باشند و آن هم معمولاً مناطقی است که در آن آتشفشان یا زمین لرزه های مستمر وجود دارد. یکی از کشورهایی است که می تواند از انرژی گرمایی درون زمین استفاده کند. چشمه های آب گرم و آبهای معدنی، اغلب دلیل بر وجود منابع ژئوترمال است که در ایران مناطق سبلان و دماوند در این رابطه از ویژگی خاصی برخوردار هستند. این انرژی را به دلیل توانایی ایران از بهره بردن و دارا بودن چنین شرایط و خصوصیات بررسی می کنیم.

## ❖ انرژی اقیانوسی

انرژی خورشید که ممکن است خود به تنهایی مورد استفاده قرار گیرد، دیگر شکل‌های انرژی را که همچنین برای تولید نیرو می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند را تولید می‌کند. یکی از آنها باد است که بر اثر تغییرات دمای خورشید و خنک شدن پوسته زمین در اثر گردش زمین به دور خودش بوجود می‌آید. دیگری نتیجه جذب انرژی تابشی خورشید توسط دریا‌ها و اقیانوس‌ها می‌باشد که سبب وزیدن باد، جریان‌های اقیانوسی و تغییرات تدریجی که باعث کاهش دمای سطح آب و پایین رفتن آن بخصوص در آب‌های مناطق گرمسیر و حاره‌ای می‌شود. اقیانوس‌ها و دریاها تقریباً ۷۰ درصد سطح زمین را در بر گرفته‌اند بنابراین از آنها نمی‌توان برای جذب انرژی خورشیدی صرف‌نظر کرد.

## ❖ انرژی هیدروژنی «پیل سوختی»

پیل سوختی دستگاهی است که در آن سوخت معمولی مانند گاز طبیعی یا هیدروژن، با اکسیژن به طور الکتروشیمیایی وارد فعل و انفعال شده و تا زمانی که سوخت و اکسیژن به آن وارد شود، انرژی الکتریکی به صورت جریان مستقیم تولید می‌گردد. کاربرد پیل‌های هیدروژنی از جهت آلوده ساختن محیط زیست مطلوب است، زیرا نتیجه سوخت، دادن انرژی به خارج و ایجاد بخار آب است که موجب تلطیف محیط زیست می‌شود.

## ❖ انرژی بیومس

بیومس اصطلاحی در زمینه انرژی است که برای توصیف یک رشته از محصولات که از فتوسنتز گیاهان به دست می‌آیند، به کار می‌رود. هر ساله از طریق فتوسنتز، معادل چندین برابر مصرف انرژی سالانه جهان، انرژی خورشیدی در برگ‌ها تنه و شاخه درختها ذخیره می‌شود. با این وصف در میان انواع منابع انرژی تجدیدپذیر، بیومس از جهت ذخیره انرژی خورشیدی در مرتبه بالایی قرار دارد. در اینجا تنها منبع تجدیدپذیر، کربن است و می‌تواند به سوخت‌های جامد، مایع و گازی مناسب تبدیل شود. مهمترین برنامه تولید بيو انرژی، پروژه پروالکل کشور برزیل است. در حال حاضر برنامه پروالکل سالانه حدود 12 GL اتانول تولید می‌کند که 62 درصد آن مصرف سوخت خودروهای کشور برزیل می‌شود.



# تاریخچه انرژی های نو

مقدمه

پیدایش صنعت برق در ایران

اولین مولد برق در ایران

مولدهای بعدی

برق در همدان و نخستین نیروگاه آبی

## تاریخچه انرژیهای نو در ایران

### مقدمه

اگر کسی بخواهد که تاریخ علم الکتریسیته را تا قرن ششم قبل از میلاد بکشد، بر او خرده نمی توان گرفت زیرا در آن عصر، کهربا و مغناطیس و برخی از خاصیت‌های این دو ماده شناخته شده بود و این سخن از طالس ملطی روایت شده است که گفته بود «مغناطیس در خود روحی دارد، که آهن را به جنبش در می آورد». اما در واقع علم الکتریسیته از تاریخ ۱۷۸۵ میلادی که کولن قانون اصلی الکتریسیته ساکن را یافت و شباهت بسیار نزدیک آن را با قانون جاذبه عمومی نشان داد آغاز می شود. از این زمان تا سال ۱۸۷۱ که گرام ماشین برقی خود را اختراع کرد ۸۶ سال طول کشید. در این فصل می کوشیم تا تاریخچه صنعت برق را تا زمان آشنایی ایرانیان و با تکیه خاص بر اولین نیروگاه آبی همدان آشنا شویم.

### پیدایش صنعت برق در جهان

در میان همه وسایلی که برای تهیه و تبدیل انرژی ابداع شد، برنده نهایی را باید ماشین‌های تولید و مصرف کننده انرژی برقی دانست. قوانین اساسی الکتریسیته را کولن در سال ۱۷۸۵ عرضه کرد. در سال ۱۸۰۰ ولتا پیل الکتریکی را اختراع نمود و بالاخره در سال ۱۸۷۱ با اختراع ماشین گرام راه برای تبدیل کلان انرژی مکانیکی به الکتریکی و بالعکس بازگردید.

انرژی الکتریکی را باید ارزشمندترین و مرغوبترین نوع انرژی دانست زیرا:  
اولاً : به آسانی قابل انتقال از جایی به جایی دیگر است. با پیشرفتهایی که امروزه حاصل شده است، هیچ نوع محدودیتی برای انتقال این نوع انرژی متصور نمی باشد، در صورتی که انرژیهای دیگر از این نظر با محدودیتهای بسیاری روبرو هستند.  
ثانیاً : قابل تبدیل به هر نوع انرژی دیگر می باشد.

ثالثاً : پاکیزه ترین نوع انرژی است و هیچ نوع آلودگی زیست محیطی ندارد.  
به دلایلی که گفتیم، انرژی الکتریکی امروزه مطلوبترین نوع انرژی محسوب می شود. هر چند با اختراع پیل در سال ۱۸۰۰، استفاده های عملی از انرژی الکتریکی در مواردی مانند تلگراف و تلفن آغاز شد، اما شروع استفاده کلان از این نوع انرژی به بعد از اختراع ماشین گرام در سال ۱۸۷۱ مربوط می شود که باید آنرا نوع اولیه ژنراتورها و موتورهای برقی امروزی محسوب داشت.

با این حساب تاریخ صنعت برق به صورتی که مورد نظر ماست، به ۱۲۷ سال پیش از نگارش این سطور بر می گردد ، نخستین مولد برق در حدود ۱۲ سال پیش از اختراع ماشین گرام وارد ایران شده است.

## اولین مولد برق در ایران

ناصرالدین شاه قاجار، در طی سلطنت چهل و نه ساله خود، سه بار به اروپا سفر کرد و با بازدید از کاخها، شهرها و امکانات صنعتی آن زمان به تازگی رو به گسترش نهاد بودند، علاقمند به انتقال ظواهر پیشرفت آن زمان به ایران گردید. واگذاری امتیاز و تاسیس راه آهن تهران به شهر ری از نمونه های آن است. البته وضعیت دربار، سیاستهای آن زمان و موقعیت اقتصادی کشور، اجازه پرداختن به کارهای عمده تر و اساسی تر را نمی داد.

یکی از کارهای ابتدایی و تشریفاتی و شاید تفریحی ناصرالدین شاه، وارد کردن یک دستگاه مولد با قدرت احتمالاً سه کیلو وات بوده است. این مولد، پس از ورود و نصب در دربار، به منظور روشنایی مورد استفاده بوده و از آنجا که فقط پنج شعله چراغ را روشن می کرده است بعید به نظر می رسد که ماشین محرك آن از نوع بخاری باشد. از این گذشته، با توجه به اینکه ماشین دیزل ده سال بعد اختراع شد، و در زمان نصب اولین مولد دربار ایران، رایجترین ماشین محرك برای قدرتهای کم از نوع اتو بود که با سوخت گاز شهری یا نفت کار می کرد، می توان گفت که مولد مورد بحث نیز از همین نوع بوده زیرا سوخت آن از طریق تبدیل زغال سنگ به گاز تامین می شده است. [ ۴ ]

### مولد های بعدی

مظفرالدین شاه نیز مانند پدرش سه بار به اروپا رفت و از کشورهای مختلف دیدن کرد. سفر اول او از دوازدهم ذیحجه ۱۳۱۷ تا دوم شعبان ۱۳۱۸ هجری قمری به طول انجامید. در بازگشت از این سفر، مظفرالدین شاه در جمادی الثانی ۱۳۱۸ سه روز در باکو ماند و دستوری برای خرید موتور برق برای حرم حضرت امام رضا (ع) صادر کرد، که مباشرت این خرید به عهده شخصی به نام حاج محمد باقر میلانی معروف به رضایف قرار گرفت.

این مولد، با قدرت ۱۲ اسب بخار، دارای ولتاژ ۱۱۰ ولت و از نوع جریان مستقیم بود و به هشت هزار تومان پول رایج آن زمان خریداری گردید. این مولد، چنانکه از نامش پیداست از نوع اتو بوده که سوخت آن از زغال سنگ تامین می شد ( تبدیل زغال سنگ به گاز قابل احتراق ). مولد مذکور در سال ۱۳۲۰ هجری قمری به بهره برداری رسید و تنها قسمتی از بالای خیابان را اندکی روشن می کرد. سه سال بعد، مولد دیگری با قدرت ۲۵ اسب بخار توسط حاج امیر رضوی معروف به " چراغ برقی " خریداری و در کنار مولد اول نصب شد.

## به صورت کلی می توان گفت :

- بیست سال پس از رواج برق در غرب و بیست سال پیش از آنکه برق در دیگر شهرهای ایران مورد استفاده قرار بگیرد، امین الضرب اقدام به تاسیس اولین کارخانه برق عمومی در تهران کرد.
  - مولد بخار پیستونی اولیه این کارخانه در زمان خود جز مولدهای بزرگ به حساب می آمد و موتورهای دیزل با قدرت زیاد هنوز به بازار عرضه نشده بود.
  - دستگاهها و لوازم برقی خریداری شده از کشورهای فرانسه، آلمان و بلژیک ابتدا با راه آهن تا بادکوبه حمل و از آنجا تا انزلی با کشتی و از **بندر انزلی** تا تهران با عرابه منتقل گردید.
  - استاندارد برق در تهران از ابتدا همان بود که امروزه هم متداول است.
  - در گسترشهای بعدی کارخانه امین الضرب، از مولدهای دیزلی استفاده شد.
  - کارخانه امین الضرب به مدت ۶۵ سال از دوره هفتاد و پنج ساله ای که در امتیاز نامه قید شده بود به کار خود ادامه داد.
  - در تمام مدت کار، این کارخانه فقط شبها کار می کرد و برق آن فقط برای روشنایی و بعدها برای رادیو به کار می رفت.
  - در تاسیسات اولیه کارخانه امین الضرب از ترانسفورماتور استفاده نشده بود، اما در گسترشهای بعدی، کابل های زیرزمینی و ترانسفورماتورهای ۶/۳ کیلو ولتی به کار رفت.
- با توجه به اینکه بیش از نود سال از تاسیس اولین کارخانه برق شهری در ایران می گذرد و حدوداً سی سال نخست این مدت، مؤسسات تولید و توزیع برق کلاً در دست بخش خصوصی بوده نه تنها صاحبان و مدیران آنها در گذشته اند، بلکه متاسفانه دفاتر و اسناد مرتب و مدونی در دست نیست و بیشتر موارد حتی یک نکته روشن کننده مطلب هم دشوار به دست می آید.
- تنها در مورد اولین کارخانه برق ( متعلق به حاج حسین امین الضرب )، به سبب وجود بایگانی مرتب و اسناد مهمی که آقایان دکتر یحیی و اصغر مهدوی فرزندان آن مرحوم در اختیار قرار داده اند، وضعیت استثنایی است.
- بین سالهای ۱۳۳۰ تا ۱۳۴۰ هجری شمسی که سالهای همکاری سازمان برنامه برای ایجاد امکانات برق رسانی در شهرهای کشور است اطلاعات نسبتاً خوبی در اختیار می باشد.
- برای تهیه تاریخچه، تعدادی از شهرهای بزرگ را که از نظر صنعت برق وضعیت نمونه ای داشته اند برگزیده و آنها را پایه ای برای آغاز مطالعه رشد و توسعه صنعت برق در کشور قرار داده ایم.



## برق در همدان و نخستین نیروگاه آبی

در ورود صنایع جدید به همدان، شادروان حاج موسی ناصر الممالک شریفی همدانی سهمی برانگیز دارد. آن مرحوم در سال ۱۳۰۰ چهل عدد تلفن مغناطیسی و دستگاه مرکزی مربوط به آن را در همدان نصب کرد و در دسترس عموم قرار داد.

وی پس از فراغت از کار تلفن، به فکر تولید برق برای همدان افتاد. ابتدا یک موتور برقی به قدرت ۱۰ اسب (۷/۵ کیلو وات) خریداری کرد و در زمین ناصریه نصب کرد. سیم کشی مربوط به این مولد از ناصریه به طرف تلگرافخانه (در خیابان بین النهرین) بود که در شب اول تعدادی در حدود ۵۰ شعله چراغ بر روی آن روشن شد. این مولد از نوع دیزلی افقی و تک سیلندر ساخت دوتیس بود و هم اکنون در محوطه اداره برق همدان به طور نمایشی نصب شده است.

چند سال بعد یک دستگاه مولد بخاری ۴۰ کیلو واتی که با سوخت هیزم کار می کرد خریداری شد و در محله «توت قمی ها» به کار افتاد.

مرحوم ناصر الممالک در سال ۱۳۰۸ چند تن را برای تأسیس شرکت سهامی برق با خود همراه و موافق ساخت. در پی این موفقیت، وی به آلمان مسافرت کرد و مقدمات خرید و نصب توربینهای آبی را فراهم آورد. برای آبرسانی به توربینها با راه سازی و تراز کردن آب (گنجنامه) که به مبلغ ۱۴۵۰۰ تومان خریداری شده بود، ابتدا آب را به تپه نقاره خانه هدایت و در مخزن مناسبی انباشته می کردند و سپس آن را با دو لوله به توربین خانه در پایین تپه، در دره عباس آباد قرار داشت می نمودند. [ ۴ ]

### مشخصات تأسیسات این توربین آبی به شرح زیر بود :

- بده (دبی) آب : در حدود ۲۱ سنگ (۲۰۰ لیتر در ثانیه)
- ابعاد مخزن : ۶ × ۸ × ۱۰۰ متر مکعب
- دریچه های کشویی خروجی که با دست باز و بسته می شوند : ۲ عدد
- دریچه سرریز مشابه کشویی خروجی : ۱ عدد
- ارتفاع مخزن از محل توربین ها : ۱۱۰ متر
- قطر لوله آبرسان (یک لوله برای هر توربین) : ۳۰ سانتی متر
- نوع توربین : فرنیسیس
- ظرفیت اسمی هر آلترناتور، ۵۰۰ کیلو وات آمپر
- سرعت توربین-ژنراتور ۱۰۰۰ دور در دقیقه
- نحوه اتصال مکانیکی توربین-ژنراتور : مستقیم-افقی
- ولتاژ ژنراتور : ۶۳۰۰ ولت

در پلاک توربین قید شده است که نصب توربینها به دست مهندسان آلمانی کالماژین

فریش انجام گرفته است. [ ۴ ]

برق توليدي از اين مولدها با خط هوايي ۶۳۰۰ ولتي به شهر همدان انتقال مي يافت. البته در زمان کار اين مولد، دستگاههاي مولد ديگري نيز در همدان به تأمين برق شهر کمک مي کرد.

توربينها و تاسيسات مذکور در حال حاضر سالم است و مي توان آنها را قابل بهره برداري ساخت. در حال حاضر اين تاسيسات استفاده نمي شود و مخزن آن به استخر قايقراني و تفريحي تبديل شده است.

بعد از درگذشت حاج موسي ناصرالممالك شريفي، شرکت سهامي برق الوند به مدیریت آقاي حاج حسين شريفي و اعضاي هيتت مديره آقاويون ايزدي، منصور، يونس زاده و ممقاني تشكيل شد و تا زمان تشكيل شرکت برق منطقه اي همدان، به کار تأمين برق اين شهر ادامه داد.

مولدهاي  $۱۰۰ \times ۲$ ،  $۱۰۰ \times ۳$ ،  $۳۵۰ \times ۱$ ،  $۶۲۰ \times ۱$  و  $۲۲۵۰ \times ۱$  کيلوواتي، واحدهايي بودند که در سال ۱۳۴۵ يعني در هنگام تحويل و تحول از شرکت خصوصي به شرکت برق منطقه اي همراه با توربينهاي آبي، برق همدان را تأمين مي کردند. [ ۴ ]



# ۲

## انرژی زمین گرمایی

تاریخچه

منابع و انواع انرژیهای زمین گرمایی

انرژی زمین گرمایی

فناوری انرژی زمین گرمایی

گرمای ذخیره شده در زمین

سیستمهای هیدروترمال

سیستمهای ژئوپرسورد

سیستمهای پتروترمال

اثرات و مشکلات محیطی

نیروگاههای برق زمین گرمایی

نیروگاه های برق سیکل بخار خشک

نیروگاه های برق زمین گرمایی تبخیر آبی یک مرحله ای آب داغ

نیروگاه های برق زمین گرمایی تبخیر آبی دو مرحله ای آب داغ

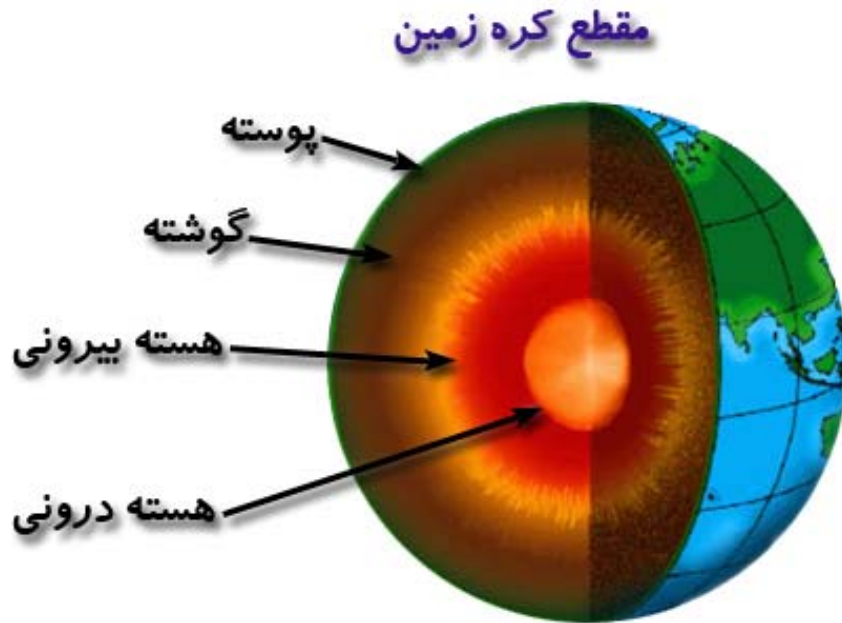
نیروگاه های برق زمین گرمایی دو مرحله ای

نیروگاه های برق زمین گرمایی ترکیبی ( زمین گرمایی-فسیلی )

کاربرد مستقیم انرژی زمین گرمایی

انرژی گرمایی لایه های سطحی زمین

## انرژی زمین گرمایی



## تاریخچه

انرژی زمین گرمایی اساساً انرژی درونی خود زمین است. گرمایی طبیعی موجود در زمین خودش را برای هزاران سال به شکلهای آتشفشانها، گدازه های روان، آبفشانها و چشمه های آب گرم آشکار ساخته است. بیشتر این موارد قابل عکس برداری و ثبت هستند. در زمانهای گذشته، بخار طبیعی که از زمین خارج می شد تنها برای مصارف درمانی استفاده می شد. در متون رومیان بیش از ۲۰۰۰ سال پیشتر به وجود میادینی از بخار در مکان لاردیلوی کنونی ( **Larderillo** )، جنوب فلورنس اشاره شده است. در این مکان که ریشه تاریخی دارد اولین مرکز تولید برق از انرژی زمین گرمایی راه اندازی شده است. در ایالات متحده اولین میدان زمین گرمایی در سل ۱۸۴۷ توسط ویلیام بل الیوت در یک اکتشاف منطقه ای در جستجوی گوزنهای گریزلی در کوههای بین کلردال ( **Cloverdale** )

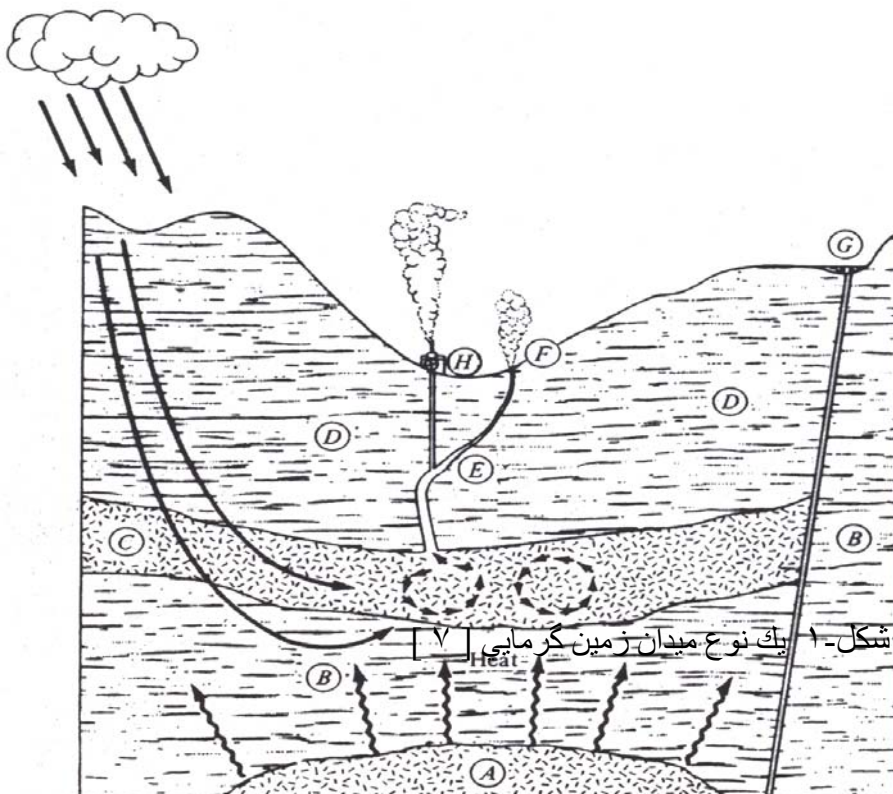
و کالیستوگای کالیفورنیا ( **Calistoga** ) کشف شد. [ ۷ ]

در تاریخ ثبت شده که اولین موارد کاربردی انرژی زمین گرمایی برای گرم کردن فضا، پخت و پز و اهداف درمانی بوده است. اولین باری که از انرژی زمین گرمایی برای گرم کردن محیط استفاده شده به سال ۱۳۰۰ در ایسلند برمی گردد.

در سال ۱۸۰۰ انرژی زمین گرمایی به طور وسیعتری توسط کنت فرانچسکو دلادرل برای بازیافت اسید بوریک مورد استفاده قرار گرفت شد. اولین مبدل مکانیکی در سال ۱۸۹۷ برای میدانهای لاردیلو ایتالیا برای گرم کردن بویلر که یک موتور بخار کوچک را می چرخاند ساخته شد. [ ۶ ]

اولین تلاش برای تولید الکتریسیته همچنین در مکان لاردرلو در سال ۱۹۰۴ توسط یک ژنراتور با توانایی روشن کردن ۴ لامپ انجام شد. این روند در سال ۱۹۱۲ توسط توربین تقطیر کننده دنبال شد و در سال ۱۹۱۴ به رقم تولید ۸/۵ مگاوات رسید، در سال ۱۹۴۴ لاردرلو در حال تولید ۱۲۷ مگاوات بود که این نیروگاه در نزدیکی خاتمه جنگ جهانی دوم تخریب شد اما خوشبختانه بازسازی و توسعه یافت و عاقبت الامر تولید آن در سال ۱۹۸۱ به ۳۶۰ مگاوات رسید. [ ۷ ]

در ایالات متحده، اولین تلاش در راه پیشرفت میدانهای چشمه های آب گرم در سال ۱۹۲۲ انجام شد. بخار با موفقیت کنترل شد اما لوله ها و توربینها در آن زمان قادر نبودند با خاصیت خوردگی و سایش بخار مقابله کنند. این تلاش تا سال ۱۹۵۶ به نتیجه نرسید و شرکت ماگما پاور و ترمال پاور پس از به کنترل در آوردن بخار امتیاز آن را به دو شرکت پاسیفیک گاز و الکتریک کمپانی فروختند. پس از آن آلیاژ ضدزنگ استیل کشف شد که می توانست در برابر خاصیت خوردگی بخار مقابله کند، و اولین واحد ژنراتوری برق با ظرفیت ۱۱ مگاوات در سال ۱۹۶۰ شروع به کار کرد. تا کنون ۱۳ واحد بزرگتر روبه رشد دیگر به این مجموعه اضافه شده است که آخرین آن یک واحد ۱۰۹ مگاواتی می باشد که در سپتامبر ۱۹۸۲ شروع به کار کرد و ظرفیت نهایی چشمه های آبگرم آن منطقه به ۹۰۹ مگاوات رسید. ۲ واحد دیگر در حال ساخت بوده و همچنین چهار واحد دیگر در حال طراحی می باشد. که تا بعد از سال ۱۹۸۰ ظرفیت نهایی آن به ۱۵۱۴ مگاوات خواهد رسید. [ ۷ ]



## منابع و انواع انرژیهای زمین گرمایی

شکل-۱ یکی از انواع انرژی های زمین گرمایی را نشان می دهد. که قسمتهای آن در زیر توضیح داده شده است :

- A. ماگمای داغ نزدیک سطح
- B. سنگهای یکپارچه آتشفشانی
- C. صخره های آتشین یا گداخته که در سطح زمین با نام صخره های آتشفشانی خوانده می شوند. گرمای ماگما به سمت بالا هدایت می شود تا به صخره های آتشفشانی برسند. آب سطحی راهی به پایین به سمت این صخره ها از میان شکافها پیدا می کند و بوسیله گرمای صخره ها یا بوسیله خطوط شدن با بخارهای داغ و بخار، صعود می کند و درون یک خلل و مخزن قابل نفوذ وارد می شود.
- D. صخره بالایی صخره آتشفشانی. این لایه همانند یک درپوش برای لایه صخره جامد قابل نفوذ می باشد.
- E. سوراخی برای بهره برداری از انرژی زمین گرمایی هرچند خود صخره ها دارای شکاف و ترک می باشند.
- F. بخار و آب داغ مسیر خود را به روشهای مختلفی به سطح زمین می رساند یکی از این موارد چشمه های آب گرم
- G. دیگری آبفشانهای داغ
- H. و یا یک روش خوب سوراخ های بخار از شیار برای استفاده در نیروگاه زمین گرمایی.

## انرژی زمین گرمایی

انرژی گرمایی درون زمین یا زمین گرمایی، در راکتور هسته ای آن تولید می شود این انرژی بر اثر تجزیه رادیواکتیو ایزوتوپ پتاسیم و عناصر دیگری که در پوسته زمین پراکنده است، به وجود می آید.

به تجربه معلوم شده است هر چه به ژرفای زمین افزوده شود، درجه گرمای آن افزایش خواهد یافت، بدین معنی که به ازای هر ۱۰۰ متر عمق حدود ۳ درجه سانتیگراد به گرمای آن اضافه می شود. متأسفانه بیرون کشیدن گرما به طور مستقیم از کره زمین امکان پذیر نیست، فقط می توان از گرمای آن استفاده کرد که در آب های زیرزمینی وجود دارد. با این وصف در حال حاضر بهره برداری از انرژی گرمایی درون زمین تنها به صورت آب گرم و بخار آب امکان پذیر است.

## فناوري انرژی زمین گرمایی

قرن هاست که گرمای درون زمین مورد بهره برداری قرار گرفته است، حتی رومیان قدیم نیز از آن برای گرم کردن حمام استفاده می کردند. هم اکنون در حدود بیست کارخانه تولید برق با استفاده از گرمای درون زمین به کار اشتغال دارند که تولید آنها بین چند مگاوات تا ۵۰۰ مگاوات است. جمع تولید نیروی این کارخانه ها بیش از ۱۰۰۰ MW است. [ ۸ ]

از گرمای درون زمین تنها در جاهایی می توان استفاده کرد که به سطح زمین نسبتاً نزدیک باشند و آن هم معمولاً مناطقی است که در آن آتشفشان یا زمین لرزه مستمر وجود دارد. برخی از کشورهای که هم اکنون از گرمای درون زمین استفاده می کنند عبارتند از:

امریکا، روسیه، نیوزلند، ژاپن، السالوادور، مکزیک، فیلیپین، ایسلند، ایتالیا، فرانسه و مجارستان. دو کشور اخیر تنها از آب گرم برای گرمایش ساختمان استفاده می کنند.

ایران یکی از کشورهای هایی است که می تواند از انرژی گرمایی درون زمین استفاده کند. چشمه های آب گرم و آبهای معدنی، اغلب دلیل بر وجود منابع ژئوترمال است که در ایران مناطق سبلان و دماوند در این رابطه از ویژگی خاصی برخوردار هستند.

برای استفاده از گرمای لایه های سنگ های داغ و خشک درون زمین شیوه ای ابداع شده است، بدین ترتیب که دو چاه عمیق در زمین حفر می کنند، آن گاه توسط تلمبه ای، آب سرد وارد یکی از چاه ها شده و پس از داغ شدن و تبخیر آن در اعماق زمین، از چاه دیگر بیرون می آید. مسئله عمده این است که تا چه مدت می توان این کار را پیش از آنکه سنگ های داغ سرد شوند، ادامه داد ( برای گرم شدن مجدد سنگ ها مدت زمان بسیار زیادی لازم است ). در حال حاضر هزینه تولید برق از انرژی گرمایی زمین با برق تولیدی کارخانه های هسته ای و نفت سوز قابل رقابت است. در شکل-۳ ایجاد بخار آب با استفاده از انرژی گرمایی درون زمین برای به حرکت درآوردن توربین بخار و ژنراتور برق متصل به آن نشان داده شده است.

شایان ذکر است که ایتالیا نخستین کشوری است که برای شبکه راه آهن برقی خود از انرژی گرمایی درون زمین استفاده کرده است. این کشور در نزدیکی شهر پیزا حدود ۶۰۰ مگاوات برق از این طریق تولید می کند. [ ۷ ]



## گرمای ذخیره شده در زمین

گرمای ذخیره شده در اعماق زمین تقریباً دست نخورده باقی مانده است، این انرژی را می توان در هر شرایطی به دست آورد. فناوری هایی که امروزه بشر در اختیار دارد امکان استفاده از این انرژی را عملاً در همه جا فراهم آورده است.

هر چه به مرکز زمین نزدیک شویم، دمای آن افزایش می یابد. درجه حرارت در لایه های بالایی هسته مرکزی زمین حدود ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد و در هسته مرکزی زمین حدود ۵۰۰۰ درجه سانتیگراد است.

تابش نور خورشید، درجه حرارت را در سطح زمین بالا می برد. زمین حرارت را از خود عبور می دهد و از عمق ۲۰ متری به پایین حرارت خورشید دیگر محسوس نیست. اگر با دید فیزیکی نگاه کنیم، دیده می شود که بین درجه های حرارت هسته زمین و پوسته آن یک جریان گرمایی وجود دارد.

اگر بخواهیم از انرژی زمین گرمایی بهره ببریم، معمولاً از انرژی گرمایی ای که در صخره ها و آب و یا بخار آب ذخیره شده است استفاده می کنیم.

انرژی ذخیره شده در پوسته زمین تا عمق ۳۰۰۰ متر در جدول-۱ آمده است.

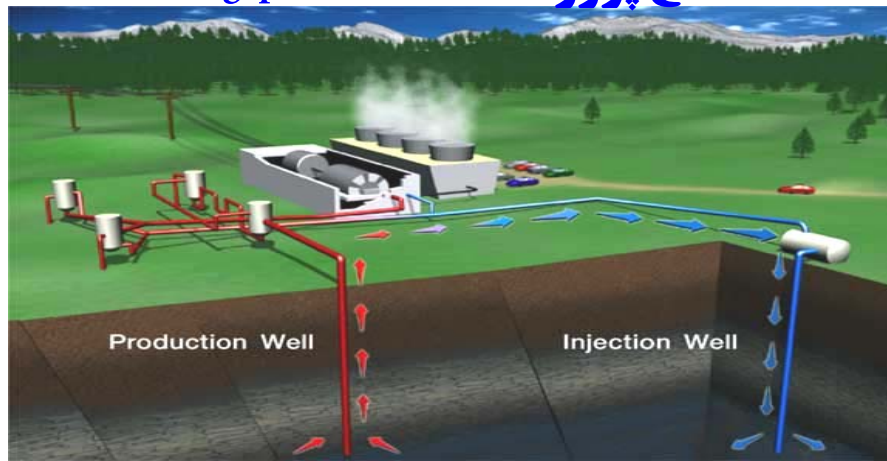
جدول-۱ انرژی زمین گرمایی ذخیره شده و انرژی مصرفی جهان

$43 \times 10^{24} \text{ J}$ $36 \times 10^{24} \text{ J}$	انرژی زمین گرمایی جهانی تا عمق ۳۰۰۰ متری ( ۸۵٪ از آن دارای دمای کمتر از ۱۰۰ درجه سانتی گراد )
$0.3 \times 10^{21} \text{ J}$ $0.1 \times 10^{21} \text{ J}$	انرژی مصرفی جهان در سال ( ۱۹۸۷ ) ( ۴۰٪ از آن دارای دمای کمتر از ۱۰۰ درجه سانتی گراد )

( بر اساس اطلاعات اداره تحقیقات زمین در استان Niedersachsisches آلمان در سال ۱۹۹۷ ) [ ۷ ]

با مقایسه انرژی گرمایی ذخیره شده در زمین و انرژی مورد نیاز سالانه جهان بنظر می رسد که دیگر جای نگرانی برای تامین انرژی جهان باقی نمی ماند. ولی در حقیقت چنین نیست، زیرا :

- تنها قسمت محدودی از گرمای ذخیره شده می تواند حقیقتاً مورد استفاده قرار گیرد.
- ۸۵٪ از انرژی زمین گرمایی دارای گرمایی کمتر از ۱۰۰ درجه سانتیگراد است. با علم به اینکه انرژی مصرفی جهان در محدوده دمای کمتر از ۱۰۰ درجه سانتیگراد قرار دارد، تنها در موارد زیر استفاده از این انرژی امکان پذیر است.
- در جاهایی که تراکم جریان گرمایی برای مصارف فنی در سطح پایینی قرار داشته باشد.
- در جایی که مصرف کننده های مناسبی برای استفاده از این پتانسیل انرژی در محل وجود داشته باشند.



شکل-۲ استفاده از انرژی گرمایی درون زمین برای تولید الکتریسیته، در این شکل چنانچه ملاحظه می شود با بخار آب حاصل از گرمایی درون زمین، توربین بخار به کار افتاده و ژنراتور متصل به آن تولید برق می کند. [ ۸ ]

همانگونه که دیده شد که بخار زمین گرمایی دو نوع است :

- ۱- یک نوع که از خود ماگما تشکیل می شود که بخار ماگماتیک نامیده می شود.
  - ۲- دیگری از آب گرم شده زمین بوسیله ماگما که بخار میتئورتیک نامیده می شود و یکی از بزرگترین منابع بخار زمین گرمایی به حساب می آید.
- همانگونه که در فوق شرح داده شد همه منابع ژئوترمال بخار تولید نمی کنند. بعضی ها دارای دمای پایین تری هستند بنابراین فقط آب داغ تولید می کنند و برخی هیچ آبی به سطح زمین نمی رسانند و فقط شامل صخره های داغ هستند. پس منابع زمین گرمایی به سه دسته تقسیم می شوند [ ۷ ] :

- ۱- هیدرو ترمال
- ۲- ژئوپرشورد
- ۳- پتروترمال

### سیستمهای هیدروترمال :

در سیستمهای هیدروترمال آب در اثر تماس با صخره داغ گرم می شود مانند آنچه که در بالا شرح داده شد. سیستمهای هیدروترمال خود به دو زیر مجموعه تقسیم می شوند :

۱- سیستمهایی که اساس کار آنها بخار آب است.

۲- سیستمهایی که اساس کار آنها مایع است.

سیستمهایی که اساس کار آنها بخار آب است

در این سیستمها آب بر اثر بخاری که به سطح می رسد در یک شرایط نسبتاً خشک در

دمایی حدود  $400^{\circ}F$  ( $205^{\circ}C$ ) و فشار حدود  $100\text{ psig}$  ( $8\text{ bar}$ ) تبخیر می شود.

این بخار بیشتر برای استفاده در نیروگاههای ترپوالکتریک با هزینه پایین مناسب می

باشد. به هر جهت مشکلاتی مانند آنچه که در سایر انرژی های زمین گرمایی با آنها مواجه

شده ایم یعنی حضور خاصیت خوردندگی گازها و سایش مواد و مشکلات محیطی باید تحمل

شود ( در آینده مورد بررسی قرار خواهند گرفت ). سیستمهایی که اساس کار آنها بخار است به هر جهت کمیاب هستند و تنها ۵ نقطه در جهان ثبت شده است. این سیستمها ۵٪ از همه منابع ژئوترمال آمریکا را تشکیل می دهند. نیروگاههای آب گرم در آمریکا و لاردیلو در ایتالیا تا امروز بزرگترین نیروگاهها در جهان بوده اند. که هر دوی آنها از سیستمهای بخاری استفاده می کنند.

### سیستمهایی که اساس کار آنها مایع است

در این سیستمها آب گرم به گردش در می آید و در زیر زمین در دمای حدود  $350 \sim 600^{\circ}\text{F}$  ( $174 \sim 315^{\circ}\text{C}$ ) به تله افتده چاهها را در مکانهای مناسب و همچنین عمقهای صحیح حفر می شود و آب در سطح هم به صورت طبیعی و هم بوسیله پمپاژ جاری می شود. معمولاً فشار تا 100psig (8bar) یا کمتر افت می کند، که سبب می شود تا در یک لحظه تا با مرحله دو، مخلوط با کیفیت پایین یعنی به غالب مایع تبدیل شود. که شامل نسبتاً غلظت بالایی از املاح حل شده در حدود 25000~3000ppm و بعضی وقتها بالاتر می باشد. نیروی تولید شده تحت تاثیر این مواد تغییر می کند زیرا آنها رسوب کرده و سبب کوچک شدن قطر لوله ها و اتلاف دما از سطح آن می شود، بنابراین سبب کاهش دما و فشار مایع می شود.

سیستمهایی که اساس کار آنها بر مایعات استوارند به هر جهت نسبت به سیستمهای بخاری خیلی فراوانترند و به آخرین تکنولوژیها نیازمندند.



شکل-۳ مکانهای اصلی هیدروترمال با دمای بالا در جهان [ ۷ ]

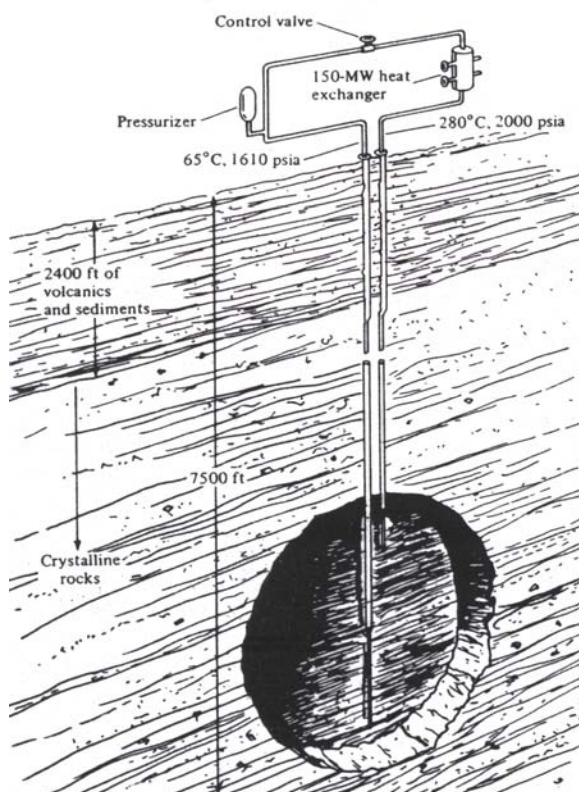
## سیستمهای ژئوپرشورد

سیستمهای ژئوپرشورد منابع آب آن آبهای شور می باشد. بجز خود آب که در این سیستم در اعماقی پایین تر از سفره های آب زیرزمینی در اعماقی مابین ۸۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰ فوت ( در حدود ۲۴۰۰ تا ۹۱۰۰ متر ) به تله می افتد همه چیز مشابه سیستم هیدروترمال بوده و آب به روشی شبیه به هیدروترمال گرم می شود. این آب دارای دمایی نسبتاً پایین تر در حدود  $325^{\circ}\text{F}$  ( $160^{\circ}\text{C}$ ) و همچنین دارای فشاری پایین تر است. که معمولاً در کنار گاز طبیعی اشباع شده یافت می شود.

## سیستمهای پتروترمال

زمانی که زیرزمین آب وجود ندارد بنابراین صخره ها داغ و خشک هستند. Hot Dry Rock ( HDR ) می دانیم که دمای HDR بین  $300 \sim 550^{\circ}\text{C}$  در حدود  $(150 \sim 290^{\circ}\text{C})$  در نوسان است. این انرژی پتروترمال نامیده می شود. تاکنون نشان داده شده است که ۸۵٪ از منابع آمریکا از این نوع می باشند.

به نظر می رسد که بسیاری از HDR ها در اعماق زیاد پایینی قرار دارند ولی قسمت بزرگی از آنها غیر قابل دسترس می باشند. به منظور انرژی حرارتی از زمین آب ( یا هر مایع دیگری، البته آب خیلی بهتر است ) باید به داخل زمین پمپ شود و به خارج از سطح بازگردانده شود. برای انتقال حرارتی مکانیزمی لازم است که صخره های غیر قابل نفوذ را سازه ای قابل نفوذ سازد به علت دمای پایین صخره ها لازم است که صخره دارای یک سطح قابل نفوذ بزرگی باشد. سوراخ کردن صخره ها باید توسط شکستگی انجام شود. روشهای شکستن عبارتند از چاههای حفاری و سپس شکستن بوسیله آب با فشار بالا و یا انفجارهای هسته ای می باشد.



شکل- ۴ استخراج انرژی پتروترمال [ ۷ ]

در دو روش هیدروترمال آب و بخار موادی از قبیل املاح و گازهای غیر قابل تجزیه را در خود حل می کنند. بسیاری از مواد حل شده معمولاً بوسیله جداکننده های گریز از مرکز و صافی ها در چاههای حرارتی قبل از ورود به تجهیزات نیروگاهی، معمولاً قبل از ورود به توربین قابل جداسازی هستند.

گازهای غیر قابل تجزیه دارای حجم های مختلفی از ۰/۲ تا ۰/۴ درصد می باشند که به چاهها صدماتی جزئی وارد کرده و باعث فرسودگی آنها می شوند. چاههای جوان تر درصد بیشتری گاز غیر قابل تجزیه دارند که سبب می شود تا آب با سرعت بیشتری به خارج رانده شود. این گازهای غیر قابل تجزیه بیشتر از  $\text{CO}_2$  (حدود ۸۰٪) بعلاوة مقدار مختلفی متان  $\text{CH}_4$ ، هیدروژن  $\text{H}_2$ ، نیتروژن  $\text{N}_2$ ، آمونیاک  $\text{NH}_3$ ، سولفید هیدروژن  $\text{H}_2\text{S}$  تشکیل شده اند. بعلاون روشهایی نیز پیدا شده اند تا مایع روان وارد تجهیزات نیروگاهی شود. همچنین قسمتی از این گازهای غیر قابل تجزیه از راه اجزاء جداکننده های گریز از مرکز، خروجی های کندانسورها را به سمت جو پیدا می کنند و در بعضی موارد سبب خنک شدن برجهای تقطیر می شوند. حضور این گازهای چندین اثر دارد.

- به علت وجود مقدار زیادی از این گازها، منسوب به غیر قابل تجزیه یا بازیافتها در سیستمهای موسوم به بخار لازم است طراحی مناسبی برای خروجی های گاز انجام شود تا این گازها در ظروفی نگهداری و جمع آوری شود.

- اگر چه حضور گازهای اسید فورمیک هیچ مشکلی برای قطعات در خطوط بخار خشک که معمولاً از فولاد ساخته می شوند بوجود نمی آورد ولی بتدریج در شرایط مرطوب قطعات فرسوده شده، در آنها خوردگی بوجود می آید که لازم است همه تجهیزات در معرض بخار مرطوب یا کندانسورها از فولاد ضد زنگ استفاده شود. از قبیل خوردگی تجهیزات شامل درپوش شفت و حفاظ توربین، پوشش کانال تخلیه، پوشش خنک کننده ها و پمپها و اجزاء فلزی در برجهای خنک کننده. (خنک کننده های نیروگاههای زمین گرمایی ممکن است از نوع تماس مستقیم باشند و از این رو برجهای خنک کننده در معرض فشار می باشند.) در این توربینها لوله های بخار و پره های توربین که در معرض بخار خشک با فشار بالا هستند معمولاً از فولاد با ۱۱ تا ۱۳ درصد کرم ساخته می شوند. لوله ها معمولاً در یک پهنای گام با دهانه های بزرگ در یک فضا طراحی شده اند تا مقیاس کوچکتر شود. زیرا نیکل به خوردگی  $\text{H}_2\text{S}$  حساس است و آن را نمی توان به طور معمول برای روتور استفاده کرد. برجهای خنک کننده معمولاً با پلاستیکهای فشرده و پوشش بتنی طراحی شده و در آخر با قطران ذغال سنگ روکش می شود. آلومینیوم برای لوله ها و شیر های کندانسورها پیشنهاد می شوند تا بتوان آنها را به اندازه کافی بزرگ ساخت که سرعت خوردگی کاهش یابد. آلومینیوم همچنین برای میله افقی شیرها که در فضای آزاد در معرض خوردگی قرار دارند پیشنهاد می شود.

- دیگر تاثیر خوردگی اجزاء مسی بدون روکش در فضاي آزاد مرطوب اطراف نیروگاههاي زمین گرمایی می باشد. قطعات مسی حفاظت شده نیز در تجهیزات نیروگاهی برقی از این امر مبرا نیستند و نیاز به مراقبتهای خاص دارند. رله های الکتریکی تجهیزات کنترل موتورهای، ادوات تحریک، دستگاه اتصال و غیره اغلب در " اتاق تمیز " زیر درجه فشار مثبت نگهداری می شوند تا از خوردگی فضاي آزاد ایزوله شوند. اجزاء ثابت مولدها، کموتاتورهای مسی، مولدهای موتورهای راه انداز نیز همچنین در شرایط فوق نگه داری می شوند.

- آب سیستم ژئوپرشورد، به علاوه مشکلات فوق همراه خود مقدار زیادی ماسه حمل می کند که به طور خاص در جریانهای بالا بوجود می آید. نتیجه آن افزایش خوردگی و بزرگی مقیاس مشکلات می شود. [ ۸ ]

### نیروگاههای برق زمین گرمایی

در بین انرژی های تجدیدپذیر، انرژی زمین گرمایی در سطحی جهانی قرار دارد. جدول-۲ میزان برق حاصل از انرژی های زمین گرمایی، بادی، خورشیدی و جزر و مدی را که توسط انجمن جهانی انرژی تهیه شده است، نشان می دهد. با توجه به میزان بالایی انرژی زمین گرمایی در دسترس، نیروگاه های این انرژی از سایر نیروگاه های انرژی های تجدید پذیر کاملاً متمایز هستند. به طور کلی تولید این انرژی در مقایسه با انرژی های بادی، خورشیدی و جزر و مدی بالاتر است. جدول-۳ محل ها و میزان برق حاصل از منابع زمین گرمایی و پیشرفت آن را نشان می دهد.

تولید کنندگان اصلی برق از انرژی زمین گرمایی کشورهای آمریکا، فیلیپین، مکزیک، ژاپن و ایتالیا هستند.

در مناطقی از آسیای جنوبی و آمریکای شمالی که دارای منابع غنی انرژی زمین گرمایی هستند، به طور یقین نیروگاه های بزرگ ساخته خواهد شد. در این مناطق وجود منابع بخار و آب داغ نقش اساسی را در تامین انرژی ملی بازی می کنند.

جدول-۲ میزان برق حاصل از انرژی های تجدید پذیر در سال ۱۹۹۴ [ ۷ ]

ظرفیت نصب شده		انرژی تولیدی در سال		انرژی های تجدید پذیر
( MW )	( % )	( GWh/Y )	( % )	
۶/۴۵۶	۶۱	۳۷/۹۷۶	۸۶	زمین گرمایی
۳/۵۱۷	۳۳	۴/۸۷۸	۱۱	بادی
۰/۳۶۶	۳	۰/۸۹۷	۲	خورشیدی
۰/۲۶۱	۳	۰/۶۰۱	۱	جزر و مدی
۱۰/۶۰۰	%۱۰۰	۴۴/۳۵۲	۱۰۰	جمع

کشور	سال ۱۹۹۰	سال ۱۹۹۵	سال ۲۰۰۰
آرژانتین	۰/۶۷	۰/۶۷	-
استرالیا	۰	۰/۱۷	-
چین	۱۹/۲۰	۲۸/۷۸	۸۱
کاستاریکا	۰	۵۵/۰۰	۱۷۰
السالوادور	۹۵	۱۰۵/۰۰	۱۶۵
فرانسه	۴/۲۰	۴/۲۰	-
ایسلند	۴۴/۶۰	۴۹/۴۰	-
اندونزی	۱۴۴/۷۵	۳۰۹/۷۵	۱۰۸۰
ایتالیا	۵۴۵/۰۰	۶۳۱/۷۰	۸۵۶
ژاپن	۲۱۴/۶۰	۴۱۳/۷۰	۶۰۰
کنیا	۴۵/۰۰	۴۵/۰۰	-
مکزیک	۷۰۰/۰۰	۷۵۳/۰۰	۹۶۰
نیوزلند	۲۸۳/۲۰	۲۸۶/۰۰	۴۴۰
نیکاراگوئه	۳۵/۰۰	۳۵/۰۰	-
فیلیپین	۸۹۱/۰۰	۱۲۲۷/۰۰	۱۹۷۸
پرتغال	۳/۰۰	۵/۰۰	-
روسیه	۱۱/۰۰	۱۱/۰۰	۱۱۰
تایلند	۰/۳۰	۰/۳۰	-
ترکیه	۲۰/۶۰	۲۰/۶۰	۱۲۵
امریکا	۲۷۷۴/۶۰	۲۸۱۶/۷۰	۳۳۹۵

در نیروگاه های زمین گرمایی از آب های داغ و نیز از بخارهای داغ طبیعی که از چاه های حفر شده از اعماق زمین بالا آورده شده است برای به حرکت در آوردن توربین های بخار و تولید برق استفاده می کنند.

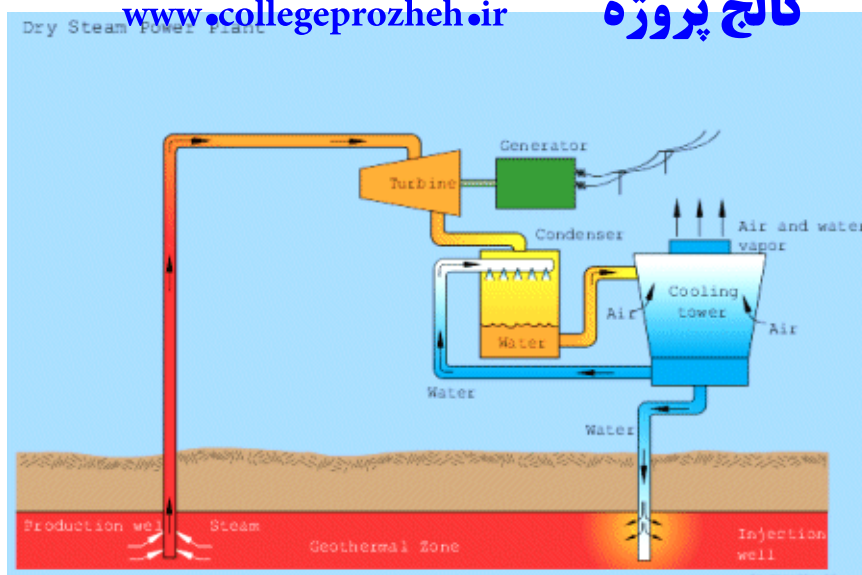
روش های به کار رفته در این مورد به قرار زیر است [ ۸ ]:

#### ۱- نیروگاه های برق سیکل بخار خشک

در این نیروگاه ها، از بخار خشک زمین گرمایی استفاده می شود. در میدان هایی که بخار خشک وجود دارد، از آن برای به حرکت درآوردن توربین بخار و ژنراتور استفاده می کنند. بخار خشک که درجه حرارت و فشار بالایی دارد پس از گذشتن از صافی، به توربین بخار رفته، توربین و ژنراتور برق متصل به آن را به حرکت می آورد و تولید نیروی برق می کند.

در این سیستم، کندانسوری که زیر توربین بخار قرار گرفته باشد وجود ندارد. دیاگرام این نیروگاه در شکل-۵ نشان داده شده است.





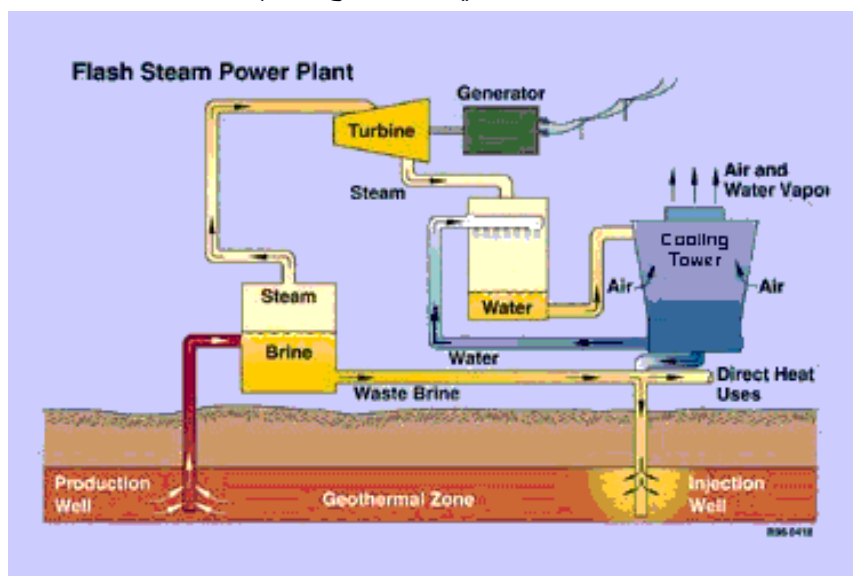
شکل-۵ دیاگرام نیروگاه برق زمین گرمایی با سیکل بخار خشک ( طرح جدید ) [ ۸ ]

در طرح های جدید این نیروگاه ها از توربین های کندانسوردار استفاده می شود. بخار خروجی از توربین وارد کندانسور شده و تقطیر می گردد و ایجاد خلاء می کند، در نتیجه توان توربین افزایش می یابد. به عبارت دیگر خلاء ( کم شدن فشار ) در پشت توربین به مثابه افزایش فشار بخار ورودی به توربین است که نتیجه آن بالا رفتن توربین می باشد. یادآور می شود که تعداد کمی از میادین زمین گرمایی توانایی تولید بخار خشک را دارند.

## ۲- نیروگاه های برق زمین گرمایی تبخیر آبی مرحله ای آب داغ

در این نیروگاه ها، از آب های داغ زمین گرمایی که تحت فشار زیادی قرار دارند استفاده می شود. آب داغ در اثر فشار و درجه حرارت بسیار زیاد به سطح زمین آمده وارد دستگاه جداساز می شود. در اینجا به واسطه افت فشار آبی مقدار زیادی از آب داغ تبدیل به بخار خشک گشته و پس از عبور از صافی های مخصوص وارد توربین بخار می شود و تولید برق می کند.

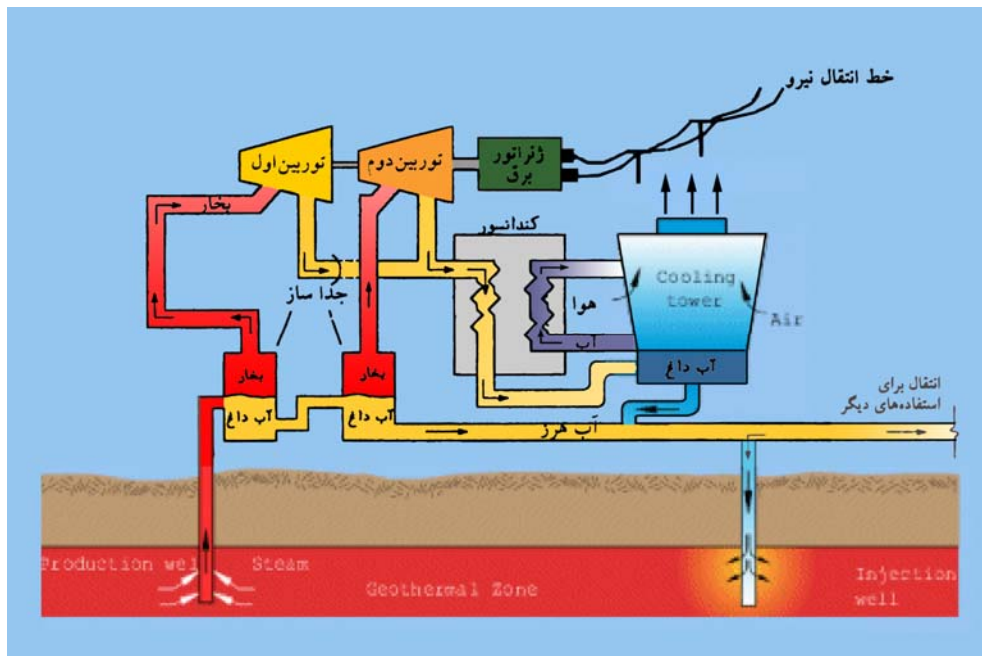
آب های گرم باقی مانده از دستگاه جداساز، به وسیله لوله ای به چاه تزریق می شود. این نیروگاه ها دارای کندانسور و برج خنک کننده هستند. در شکل-۶ دیاگرام نیروگاه تبخیر آبی مرحله ای نشان داده شده است. ممکن است قسمتی از آب داغ برای استفاده سایر امور به خارج منتقل شود.



### ۳- نیروگاه های برق زمین گرمایی تبخیر آبی دو مرحله ای آب داغ

در این نیروگاه ها، آب داغ تحت فشار که از زمین خارج می گردد، در دو مرحله به بخار تبدیل می شود و دو توربین بخار به حرکت در می آورد. برای این منظور از دو جداساز بخار استفاده می شود.

در این روش آب داغ پس از تولید بخار در دستگاه جداساز اول، وارد دستگاه جداساز دوم که فشار کمتری دارد می شود و توربین ها به حرکت در می آیند. در این روش از حداکثر انرژی زمین گرمایی استفاده می شود. دو توربین بخار دارای محور مشترک با ژنراتور هستند و هنگام کار تولید برق می کنند. این روش در بیشتر آب های داغ زمین گرمایی مورد استفاده قرار گرفته است. در شکل-۷ دیاگرام نیروگاه تبخیر آبی دو مرحله ای نشان داده شده است.



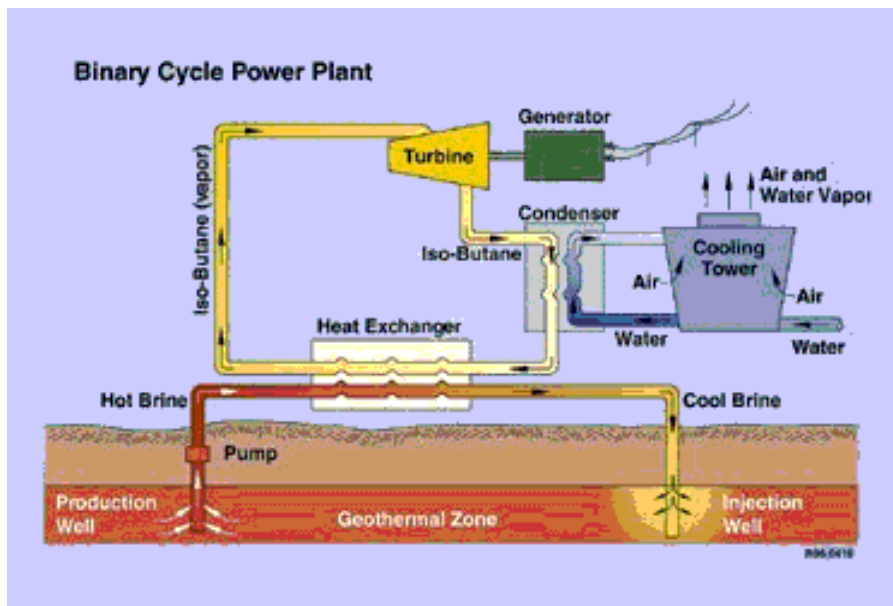
شکل-۷ دیاگرام نیروگاه تبخیر آبی دو مرحله ای [ ۶ ]

### ۴- نیروگاه های برق زمین گرمایی دو مرحله ای

اگر سیال خارج شده از چاه زمین گرمایی دارای دمای پایین باشد، برای تولید برق از نیروگاه سیکل دو مداره استفاده می شود. این نوع سیستم های مولد برق از دو مدار مستقل تشکیل شده اند.

مدار اول شامل چاه تولید سیال و انتقال آن به مبدل حرارتی و بازگشت دادن آن به چاه های تزریقی است. در این روش آب گرم خارج شده از چاه با گرمایی بین ۶۵ تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد هنگام گذشتن از مبدل حرارتی، گرمای خود را به مدار دوم منتقل می کند. در مدار دوم گازهای مایعی با درجه حرارت پایین مانند ایزوبوتان یا فریون وجود دارند که در اثر همجواری با مدار اول (مبدل حرارتی) و کسب گرمایی لازم تبدیل به بخار گشته و با فشار زیاد از توربین بخار متصل به ژنراتور گذشته و تولید برق می کنند. این بخار پس از گذشتن

از توربین و کندانسور تبدیل به گاز مایع گشته و توسط پمپ تغذیه برای ادامه سیکل به مبدل حرارتی و توربین هدایت می شود. این سیکل برای خنک کردن سیال احتیاج به برج خنک کننده آبی دارد. شکل-۸ دیاگرام چنین نیروگاهی را نشان می دهد.



شکل-۸ دیاگرام نیروگاه برق زمین گرمایی دو مداره [ ۸ ]

##### ۵- نیروگاه های برق زمین گرمایی ترکیبی ( زمین گرمایی-فسیلی )

هنگامی که انرژی گرمایی برای تولید برق کافی نباشد، از انرژی های فسیلی کمک گرفته می شود. در این روش انرژی حرارتی زمین گرمایی توسط سوخت فسیلی ( حتی چوب-بیومس و غیره ) با انرژی کمتری، بخار لازم به حرکت در آوردن توربین بخار تهیه و تولید برق می کند.

نیروگاه های برق زمین گرمایی دارای کمترین میزان آلودگی زیست محیطی هستند. باید توجه داشت که بهره گیری اقتصادی از نیروگاه های زمین گرمایی زمانی مقرون به صرفه است که هزینه تولید آن کمتر از هزینه های تولید برق سنتی باشد.

##### کاربرد مستقیم انرژی زمین گرمایی

در خصوص ظرفیت های نصب شده جهانی برای استفاده از انرژی های زمین گرمایی، نظریه های مختلفی وجود دارد و اعداد و ارقام مختلفی در این زمینه به چشم می خورد. یک تخمین محافظه کارانه صحبت از تولید ۹۰۰۰ تا ۱۱۰۰۰ MW در ۴۰ کشور جهان می کند. البته این آمار و ارقام دقیق نیست.

جدول-۴ امکان استفاده از انرژی زمین گرمایی را براساس آنالیز داده های ۲۳ کشور جهان نشان می دهد. کشور نمونه در اروپا که همیشه با خوشنمایی از آن یاد می شود، ایسلند است. این کشور ۸۵ درصد انرژی مورد نیاز خود را از منابع زمین گرمایی تامین می کند.

۳۳٪	گرم کردن فضا
۱۵٪	آب گرم حمام
۱۳٪	شیلات
۱۲٪	گلخانه ها
۱۲٪	پمپ های گرمایی
۱۰٪	صنایع
۱٪	خشک کردن محصولات کشاورزی
۱٪	آب کردن برف
۳٪	تهویه مطبوع و غیره
۱۰۰٪	جمع

کشور فرانسه از سال ۱۹۷۱ استفاده از انرژی زمین گرمایی را شروع کرده است. ۶۶ واحد زمین گرمایی، آب گرم و گرمای مورد نیاز ۲۰۰ هزار واحد مسکونی را تامین می کنند. در پاریس و حومه آن به تنهایی ۵۵ نمونه از این نوع تاسیسات وجود دارد.

برای حفظ و تعادل هیدرولیکی، این نوع تاسیسات به وسیله دو چاه عمودی کار می کنند. بدین ترتیب که آب داغ توسط یک چاه به سطح زمین آورده می شود و با از دست دادن قسمت اعظمی از انرژی گرمایی خود، سرد شده و از طریق چاه دوم با فشار به زمین فرستاده می شود و این چرخه مرتباً تکرار می گردد. از این نوع تاسیسات در حال حاضر در کشور آلمان با ظرفیت ۵۰ MW وجود دارد.

مشکلاتی از قبیل رسوب گذاری و زنگ زدگی در لوله ها بدلیل املاح آب که در قسمتهای گذشته بررسی شده، امروزه از نظر فنی برطرف شده است. جدول-۵ شناختی از تنوع استفاده از این سیستم را نشان می دهد.

#### انرژی گرمایی لایه های سطحی زمین

در اعماق زمینهای مسطح تا عمق ۱۰۰ متری تحت شرایط آب و هوایی منطقه معمولاً دما بین ۸ تا ۱۴ درجه سانتیگراد متغیر است. از این دما می توان به طور غیر متمرکز برای گرم کردن و یا برای تهویه هوا به شرح زیر استفاده کرد.

- منازل، مجتمع های مسکونی، ساختمان های گروهی؛

- ساختمان های عمومی، اداری، بیمارستانی، مدارس؛

- بخش های تجاری و غیره.

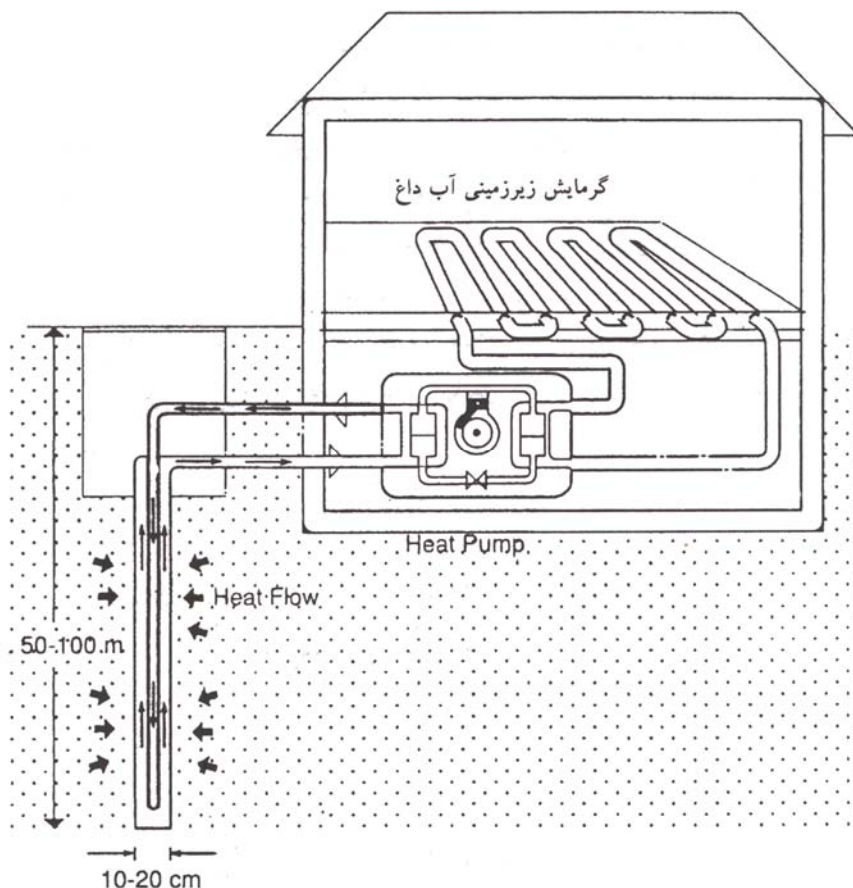
درجه حرارت در عمق های کم، تنها متأثر از جریان زمین گرمایی نیست، بلکه از عامل های دیگری از قبیل بارندگی، آب های جاری زیرزمینی و تابش نور خورشید نیز تأثیر می پذیرد.

از میان امکانات فنی زیادی که برای استفاده از حرارت زمین گرمایی در اختیار است، سیستم های مدار بسته بیشتر به کار گرفته شده اند. در این سیستم ها آب نمک دار یا مایع دیگری به عنوان حامل گرما به گردش در می آید. کلکتور های زمینی یا لوله های زمین گرمایی وجود دارند که معمولاً به عنوان منبع گرمایی، برای تغذیه یک پمپ به کار می روند. کلکتور های زمینی در عمق ۱ تا ۲ متری و به طور افقی نصب می شوند.

در اروپا به طور گسترده لوله های زمین گرمایی به کار می روند. این لوله ها به عنوان گرمایی با لوله های U شکل از مواد مصنوعی ساخته می شوند، شکل-۹ چنین واحدی را نشان می دهد.

همچنین به طور مستقیم یعنی بدون در نظر گرفتن یک پمپ گرمایی می توان از پدیده اختلاف درجه حرارت، از حرارت زمین استفاده کرد.

با استفاده از انرژی زمین گرمایی می توان باند فرودگاه ها را در برابر یخ زدگی محافظت کرد با وجود تمام اینها، هنوز از تمام امکانات زمین گرمایی استفاده نشده است. به طور کلی انرژی زمین گرمایی یک پتانسیل دست نخورده و تمیز است که باید از تنوع کاربرد آن در همه ابعاد استفاده کرد.



شکل-۹ مبدل گرمایی مدار بسته با آب نمک دار به عنوان حامل گرما [ ۶ ]



# انرژی هیدروژنی

مقدمه

تاریخچه پیل‌های سوختی

تعریف پیل سوختی

مزایای پیل سوختی

موارد کاربرد پیل سوختی

اجزای اساسی پیل سوختی

مجموعه سازی پیل‌های سوختی

طبقه بندی پیل‌های سوختی

مقایسه کاربرد بین انواع پیل‌های سوختی

سوخت‌های مورد نیاز پیل‌های سوختی

اقتصاد پیل‌های سوختی

تولید برق

نتیجه گیری



## انرژی هیدروژنی و کاربرد آن در پیل‌های سوختی

### مقدمه

اگر وضعیت فعلی رشد جمعیت ادامه یابد، پیش بینی می شود جمعیت جهان در اوائل قرن حاضر به هفت میلیارد نفر برسد. در عین حال منابع انرژی متداول در حال اتمام بوده و ممکن است تا اوایل قرن ۲۱ به پایان برسد. استفاده از انرژی هسته ای که منابع آن نیز محدود بوده و مستلزم تربیت نیروی انسانی ماهر و نیز استفاده از سیستم های پیشرفته حفاظتی در برابر ضایعات رادیواکتیو است، تکافوی نیازمندیهای انرژی جهان را نخواهد داد.

پیش بینی می شود که انرژی خورشیدی و سایر منابع انرژی غیر متداول، جایگاه ویژه ای را تامین انرژی قرن آتی کسب نمایند. [ ۱ ]

در جایگزینی انرژیهای نو، یکی از شیوه های مبتکرانه ای که فناوری آن در دهه اخیر سرعت توسعه یافته است، بکارگیری پیل‌های سوختی است. در این روش که به عبارتی می توان آنرا الکترولیز معکوس نامید، انرژی بهای سوخت‌های فسیلی، عوامل زیان آور محیطی در استفاده از انرژی هسته ای و زغال سنگ و طبیعت محدود و تجدیدنپذیر سوخت‌های متداول، دلایلی هستند که موجب تحقیقات وسیع در یافتن منابع جدید انرژی شده اند. این منابع بایستی دارای مشخصات مطلوبی باشند که عبارتند از :

- ✓ دسترسی آسان
- ✓ تجدیدپذیری
- ✓ فاقد آلودگی زیست محیطی
- ✓ انرژی بالا
- ✓ قیمت پایین
- ✓ ذخیره سازی آسان
- ✓ جابجایی و قابلیت نقل و انتقال اقتصادی
- ✓ سازگاری اجتماعی

طبق پیش بینی های انجام شده توسط موسسه مهندسی نیروگاهی و فن آوری انرژی آلمان، میزان تقاضای انرژی از ۱۰۰۰۰ بلیون کیلو وات ساعت در سال ۲۰۰۰ به بیش از ۴۲۵۰۰ در سال ۲۰۵۰ خواهد رسید که در همین مدت سهم منابع انرژی های نو و هیدروژن از مقدار ۱۰۰۰۰ بلیون کیلووات ساعت به حدود ۳۵۵۰۰۰ افزایش خواهد یافت و سهم سوخت های فسیلی و نیروگاهی برق آبی، از میزان ۹۰۰۰۰ بلیون کیلو وات ساعت به کمتر از ۶۰۰۰۰ خواهد رسید. لذا یافتن منابعی که بتواند پاسخگوی این رشد فزاینده انرژی باشد و همچنین مشکلات و مصائب حاصل از سوختن سوخت‌های فسیلی را نداشته باشد امریست

ضروری. [ ۵ ]



از مهمترین منابع پایدار و بی پایان انرژی، خورشید است. کل مقدار سالانه انرژی خورشیدی که به زمین می رسد برابر ۱۶۳۴ بیلیون بشکه نفت خام یعنی ۳۰۰۰ برابر بیشتر از مصرف سالانه انرژی جهان است. توزیع این منبع بی پایان در همه جای کره زمین یکنواخت و ثابت نیست اما با تبدیل آن به انرژی های نوع دوم می توان آن را پس از ذخیره به اقصی نقاط دنیا منتقل و مورد استفاده قرار داد با این فرض اگر نیروگاه های برق خورشیدی از مولفه های بازار جهانی انرژی در آینده باشند، ضرورتاً می بایست بتواند انرژیهای نوع دوم را به نقاط مختلف انتقال دهند، که این ممکن بوسیله پل انرژی نوع دوم شیمیایی، هیدروژن، حل شده است. این سبکترین عنصر، هنگام واکنش با اکسیژن خالص مقدار قابل ملاحظه ای حرارت آزاد می کند و در شکل ایده آل هیچ گونه آلودگی زیست محیطی ندارد. اهمیت هیدروژن آنگاه بیشتر جلوه می نماید که بدانیم خورشید در عرض یک ثانیه ۴۰۰ میلیون تن هیدروژن می سوزاند که این مقدار هشت برابر بیشتر از حاملهای انرژی است که سالانه در جهان مورد استفاده قرار می گیرد. در حال حاضر تقریباً ۷۷٪ تولید جهانی هیدروژن از صنایع پتروشیمی، ۱۸٪ از زغال سنگ، ۴٪ از الکترولیز آب و تنها ۱٪ از دیگر منابع می باشد.

مزایای چون امکان کاربری بلند مدت، تامین پایدار انرژی، کاربرد جهانی و عاری از آلودگی بهترین شانس را به هیدروژن برای تبدیل شدن به یک سوخت و حامل انرژی بیش از اندازه ارزانی را به ما عرضه نماید.

جدا از الکتریسیته هیچ حامل دیگری توانایی تولید، توزیع و انتقال همچون هیدروژن را ندارد. آنرا می توان از انرژی فسیلی، هسته ای، و تجدید پذیر تولید کرد. علاوه بر این هیدروژن محصول جانبی بسیاری از فرایندهای صنعتی می باشد و از آن بصورت مایع و گاز ذخیره و انتقال انرژی جهت تولید الکتریسته و گرما، سوخت و گاز احتراق بطور خالص یا مخلوط با گاز طبیعی استفاده می کنند.

ابداع چنین فناوری جهت تولید انرژی الکتریکی، نقطه عطفی در این صحت می باشد چرا که تولید الکتریسیته از طریق فعل و انفعالات الکتروشیمیایی بین هیدروژن کسب شده از سوخت فسیلی و اکسیژن موجود در هوا بدون نیاز به احتراق صورت می پذیرد لفظ احتراق سرد ( Cold Combustion ) را بر آن اطلاق کرد. [ ۸ ]

هر چند که این فناوری هنوز بطور گسترده پا به بازار نگذاشته است، چرا که قیمت سوخت آن یعنی هیدروژن بالا می باشد، لیکن طبق برآوردهای مشترک بانک جهانی و سازمان ملل متحد، این مشکل طی ۱۰ تا ۱۵ سال آینده حل خواهد شد.

در سال ۱۸۳۹، برای اولین بار Willim Grove پیل سوختی را به دنیای علم معرفی کرد. Nernst در سال ۱۸۹۹ یک پیل سوختی  $H_2/O_2$  غیر مستقیم را ساخت. اولین پیل‌های سوختی با الکترولیت محلول هیدروکسید پتاسیم توسط Reid (۱۹۰۲) ارائه شد. [ ۵ ]

Bacon در سال ۱۹۴۶ پیل سوختی قلیایی  $H_2/O_2$  با الکترودهای نیکلی را ساخت.

این سیستم در برنامه های فضایی Gemini و Apollo مورد استفاده قرار گرفت. [ ۵ ]

### تعریف پیل سوختی

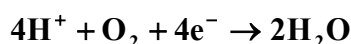
پیل سوختی یک پیل گالوانیک می باشد که انرژی شیمیایی را توسط یک فرآیند الکتروشیمیایی به انرژی الکتریکی تبدیل می نماید. مانند یک باتری، پیل سوختی دستگاهی است که در آن، انتقال الکترون توسط یک مسیر خارجی انجام می گیرد و نیاز به شارژ ندارد. یک پیل سوختی، و اکسید کننده را در الکترودهای جداگانه دریافت کرده و در انرژی شیمیایی اضافی را به جریان الکتریسیته مستقیم (DC) تبدیل می نماید. منبع سوخت معمولاً هیدروکربن ها و آلودگی صفر را با هیدروژن خواهد داشت. در پیل سوختی سوخت را از خارج می گیرد و به انرژی الکتریکی تبدیل می نماید، لذا، بسیاری از محدودیتهای باتریهای متداول را ندارد. بعبارت بهتر، پیل‌های سوختی بر خلاف باتریهای غیر قابل شارژ، دور نخواهد شد. پیل سوختی شامل دو الکترود متخلخل است که فرآیند تبدیل انرژی بر روی آنها صورت می گیرد. علاوه بر این یک الکترولیت جامد یا مایع وجود دارد که وظیفه آن ایجاد مداری بسته برای هدایت یونها است.

مولکول‌های سوخت که در اینجا هیدروژن می باشد، بطرف آند حرکت می کنند. در آند که گاهی اوقات الکترود سوخت نیز نامیده می شود، مولکول‌های هیدروژن الکترون از دست داده و تولید یون هیدروژن بار مثبت می نمایند.

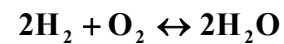


این الکترون‌ها به سمت کاتد، توسط عامل اکسید کننده (اکسیژن) می روند که تولید یون‌های اکسیژن با بار منفی خواهند کرد. همزمان با جریان الکترون‌ها از مدار خارجی که کاتد و آند را بهم متصل کرده است، انرژی الکتریکی تولید شده می تواند بعنوان یک منبع قدرت استفاده شود.

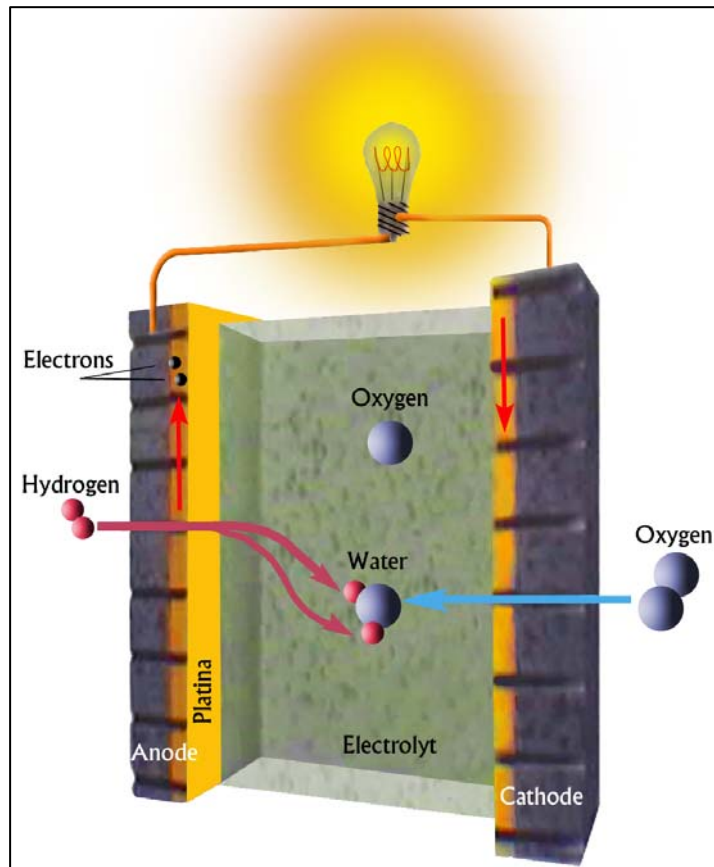
برای ایجاد مهاجرت یونها از یک الکترود به دیگری، یک الکترولیت بین دو الکترود قرار داده می شود. الکترولیت مسیری برای یون‌های هیدروژن (پروتون) و عبور آن از آند به کاتد فراهم می نماید. در کاتد، یون‌های هیدروژن در حضور کاتالیست با اکسیژنی که از میان الکترود متخلخل به فصل مشترک غشاء-کاتالیست نفوذ کرده، واکنش زیر تولید آب می کنند :



و واکنش کلی عبارتست از :



گاهی اوقات یک سیستم پیل سوختی شامل مبدل سوخت برای تبدیل سوخت‌های هیدروکربنی (گاز طبیعی، متانول و حتی بنزین) به هیدروژن می‌باشد. پیل‌های سوختی از لحاظ شیمیایی هیچگونه احتراقی ندارند در نتیجه آلودگی در این سیستم (پیل سوختی) کمتر از تمیزترین فرآیندهای احتراق سوختی می‌باشد.



شکل ۱- در مجاورت پلاتینی که الکترودها را می‌پوشاند، یک ملکول هیدروژن به ۲ یون هیدروژن تجزیه می‌شود و ۲ الکترون را در آن آزاد می‌سازد. الکترون‌ها توسط الکترولیت بلوکه شده و جدار (غشاء) تنها اجازه عبور به پروتون‌ها را می‌دهد و در نتیجه یک جریان برق در خارج به وجود می‌آید. الکترون‌ها موقعی که به کاتد می‌رسند، با اکسیژن هوا ترکیب شده و آب تولید می‌گردد. برای به دست آوردن یک ولتاژ قابل ملاحظه لازم است تعدادی پیل به طور سری به هم متصل گردد. [ ۵ ]

## مزایای پیل سوختی

پیل‌های سوختی در مقایسه با دیگر روش‌های تولید قدرت الکتریکی از مزایای متعددی بهره‌مند می‌باشند :

✓ راندمان بالا ( ۷۵ تا ۸۰٪ شامل ۳۵ تا ۴۰٪ راندمان حرارتی و ۴۰٪ راندمان الکتریکی)

✓ آلاینده‌گی پایین که به معنی کاهش میزان  $\text{CO}_2$  تا ۴۰٪ و حذف تقریبی  $\text{SO}_2$  و  $\text{NO}_x$  است

✓ حداقل نیاز به آب فرآیندی جهت تولید انرژی الکتریکی

✓ فاقد قسمتهای اصلی متحرک در مقایسه با سیکل‌های متداول تولید انرژی می‌باشد

✓ انعطاف پذیری در سوخت مصرفی

✓ نصب آسان

✓ تولید آب قابل شرب در سیستم های  $\text{H}_2 / \text{O}_2$

✓ حداقل نیاز به تعمیرات و نگهداری

✓ فاقد اتلاف‌های ناشی از انتقال نیرو

✓ پتانسیل بالا تولید مشترک ( Cogeneration ) حرارت و انرژی

✓ پتانسیل بالا برای کاربری های آینده ( انرژی‌های هسته ای خورشیدی و هیدروژنی )

✓ پاسخ سریع به تغییرات بار ( load )

✓ بی صدا، پاکیزه، بدون لرزش، انتشار حرارتی کم

✓ مدولار بودن ( سهولت گسترش )

✓ امکان بهره برداری در غیاب اپراتور ( در اندازه کوچک )

✓ هزینه قابل رقابت با سایر انرژی‌های نو

✓ اعتماد پذیر بودن عملکرد سیستم

## موارد کاربرد پیل سوختی

قدرت پیل‌های سوختی از چند میکرووات مورد نیاز در صنایع الکترونیک تا بیشتر از مگاوات در نیروگاه‌های پیل سوختی متغیر است. پیل‌های سوختی در اصل برای سفینه‌های فضایی ساخته شدند اما امروزه زمینه‌های استفاده از آن به مراتب بیشتر شده است. اتومبیل برقی مجهز به این پیل ( Electric Vehicle Fuel Cell ) انرژی خود را از واکنش بین هیدروژن و اکسیژن به هنگام تولید آب بدست می‌آورد. بازدهی این اتومبیل‌ها بیش از سه برابر موتورهای بنزینی است. علاوه بر آن، تنها ماده تولید شده در این واکنش بخار آب می‌باشد و گازهای فاضلی  $\text{HC}$  و  $\text{CO}$  و  $\text{BO}_x$  و  $\text{CO}_2$  به هیچ وجه تولید نمی‌شود. این اتومبیل‌ها تا سال ۲۰۰۵ به بازار خواهند آمد. از دیگر موارد کاربرد پیل سوختی تامین قوه

محركه صنعت راه آهن است. پیلهاي سوختي با قدرت پايين بطور عمده براي موارد نظامي يا خاص نظير برنامه هاي فضايي طراحي و ساخته مي شوند.

در دوربينهاي فيلم برداري در كامپيوتر Laptop ، خودروها، ويلچر و دستگاههاي الكترونيكي قابل حمل نظامي قابل استفاده مي باشند.

حضور پيل سوختي در يك واحد توليد نيرو، آن را به نيروگاه پيل سوختي (Fuel Cell Power Plant, FCPP) تبديل مي كند. واحدهاي توليد نيرو متكي به فناوري پيل سوختي داراي مشخصاتي نظير سهولت گسترش، آلايندگي پايين و راندمان بالا مي باشد. يك نيروگاه پيل سوختي حداقل از سه قسمت اساسي تشكيل شده است :

- ۱- قسمت توليد نيرو ( Power Section ) كه شامل يك يا چند مجموعه پيل سوختي است.
- ۲- قسمت تامين سوخت ( Fuel Processor ) كه سوخت لازم براي واحد نيرو را فراهم مي كند.
- ۳- قسمت تنظيم كننده نيرو كه تبديل قدرت ايجاد شده به نوع مورد نياز را بر عهده دارد.
- ۴-

### اجزا اساسي پيل سوختي

اجزاء اساسي پيل سوختي واحد عبارتند از :

- ۱- آند ( الكترود سوخت ) كه فصل مشترك بين سوخت و الكتروليت ايجاد کرده و واكنش اكسيداسيون سوخت را تسريع نموده و الكترونها را از نقاط واكنش به مدار خارجي و يا به جمع كننده جريان كه الكترونها را به مدار خارجي هدايت مي نمايد منتقل مي كند.
- ۲- كاتد ( الكترود اكسيژن ) كه بايد فصل مشترك بين اكسيژن و الكتروليت ايجاد کرده و واكنش احياء اكسيژن را تسريع نموده و الكترونها را از نقاط واكنش الكترود اكسيژن به مدار خارجي هدايت مي كند.
- ۳- الكتروليت كه بايد يكي از اجزاء يوني در گير در واكنشهاي الكترود سوخت و اكسيژن را منتقل كند در حاليكه مانع هدايت الكترونها مي شود بعلاوه در پيلهاي سوختي، نقش جدا كننده گاز را ايفا مي كند. [ ۸ ]
- ۴-

### مجموعه سازي پيلهاي سوختي ( Stacking )

اگر چه تحقيقات بر روي آزمائشات پيل منفرد انجام شده است، اما پيل منفرد به جهت ولتاژ پايين ( ۰/۵ تا ۱ ولت ) ارزش عملي ندارد. براي کاربردهاي عملي، يك مجموعه از پيلها به صورت سري بهم متصل مي شوند. تعداد پيلها در مجموعه توسط ولتاژ لازم تعيين خواهند شد. پيلهاي واحد و مجزا به نام مجموعه غشاء الكترود ( MEA ) متشكل از يك غشاء ( الكتروليت ) كه بين دو الكترود متخلخل متراكم شده اند مي باشند. صفحات دو قطبي كه از نظر الكتريكي هادي مي باشند، موجب جدا شدن MEA ها از لحاظ ورودي و خروجي سوخت و اكسيد كننده مي شوند.

## طبقه بندی پیل‌های سوختی

سیستم های پیل سوختی بر حسب نوع سوخت و اکسیداسیون، نوع الکترولیت، دمای عملیاتی و پارامترهای دیگر تقسیم بندی شده اند. انواع متداول پیل‌های سوختی عبارتند از:

### ۱- پیل‌های سوختی اسیدی

a. پیل سوختی الکترولیت پلیمر جامد (Solid Polymor Electrolyte) SPE

b. پیل سوختی اسید فسفریکی PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell)

۲- پیل سوختی قلیایی AFC (Alkaline Fuel Cell)

۳- پیل سوختی کربنات مذاب MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell)

۴- پیل سوختی اسید جامد SOFC (Solid Oxide Fuel Cell)

۵- پیل سوختی متانول مستقیم DMFC (Direct Metanol Fuel Cell)

۶- پیل سوختی دو منظوره RFC (Regenerative Fuel Cell) [ ۵ ]

۷-

## مقایسه کاربرد بین انواع پیل‌های سوختی

کاربرد پیل‌های سوختی با توجه به دمای عملیاتی، زمان راه اندازی و راندمان متفاوت می باشد.

پیل سوختی اسید فسفریکی در میان انواع دیگر به بالا ترین سطح تجاری خود رسیده اند و برای بیمارستانها، هتل ها، مدارس فرودگاهها و نیروگاهها با راندمانی بیش از ۴۰٪ قابل استفاده می باشند. شایان ذکر است که بهترین موتور احتراق داخلی راندمانی حداکثر ۳۰٪ را دارا می باشند. در زمینه خودرو این نوع پیل برای اتوبوس و مینی بوس مناسب هستند.

پیل سوختی با الکترولیت قلیایی در میان انواع پیل‌های سوختی  $H_2 / O_2$  پیشرفته ترین نوع هستند و با راندمانی بالاتر از ۷۰٪ کار می کنند. از مزایای این نوع پیل راندمان بالا و امکان استفاده در محدوده وسیعی از الکتروکاتالیستها با فعالیت بالا را می توان ذکر کرد. علاوه بر این دمای عملکرد پایین، کاربری آنها را ساده کرده است. شکل اساسی این نوع پیلها استفاده از هیدروژن خالص بعنوان پیل قلیایی سوخت است. اگر سوخت دارای  $CO_2$  باشد تولید کربنات از الکترولیت بر حسب تضعیف کارایی می گردد. لزوماً در سیستم های قلیایی بایستی از هیدروژن خالص با قیمت بالا استفاده نمود. از این رو کاربرد این نوع پیلها منحصر به برنامه با اهداف خاص، نظیر فضایی و دریایی شده است.

## سوختهای مورد نیاز پیل‌های سوختی

هیدروژن تنها سوختی است که عملاً در پیل‌های سوختی مورد نیاز واقع می‌شود. دلیل این امر، فعالیت بالای الکتروشیمیایی هیدروژن در مقایسه با بیشتر سوخت‌های متداول نظیر هیدروکربنها، الکها یا زغال سنگ است، هیدروژن می‌تواند به مقادیر زیاد از منابع انرژی اولیه نظیر سوخت‌های فسیلی (زغال سنگ، نفت یا گاز طبیعی) از واسطه‌های شیمیایی متعدد (محصولات پالایشگاه، آمونیاک و متانول) و از منابع دیگری نظیر بیومس و مواد ضایعاتی تولید شود. که در فصول بعدی مشروحاً بحث خواهد شد.

در اکثر سیستم‌های پیل سوختی قابل حمل از یک هیدرید فلزی بعنوان منبع سوخت هیدروژن استفاده می‌گردد. بعبارت بهتر، هیدروژن می‌توان بطور شیمیایی توسط ترکیب آن با فلزات و آلیاژهای فلزی به فرم هیدرید انبار شود.

## اقتصاد پیل‌های سوختی

امروزه مجموعه پیل‌های سوختی به صورت نمونه (Prototype) ساخته می‌شوند

و

فناوری‌های موجود قیمت پیل‌های سوختی باید به زیر ۱۰۰۰ دلار بر هر کیلووات برای نیروگاه‌های ثابت (Stationary) و پایین‌تر از ۱۰۰ دلار بر هر کیلووات برای خودروها برسد.

منابع مالی اذعان داشته‌اند که فروش سیستم‌های پیل سوختی از ۴۰ میلیون دلار در سال ۱۹۹۹ به بالاتر از ۱۰ میلیارد دلار تا سال ۲۰۱۰ خواهد رسید. پیل‌های سوختی آینده درختانی دارند. سالانه بیش از ۲۰۰ میلیون دلار صرف توسعه و تجاری شدن این فناوری در سطح جهان می‌شود.

## تولید برق

در حال حاضر تعدادی از واحدهای پیل سوختی مولد برق در ایالات متحد آمریکا و ژاپن شروع به کار کرده‌اند. شرکت آمریکایی «بالارد» واحدهایی را با قدرت ۲۵۰ کیلووات آماده فروش دارد. از طرف دیگر بخش «گاز فرانسه» یک واحد هیدروژنی را آزمایش کرده که قادر است انرژی برق یک کارخانه کوچک را تامین کند. [۸]

این پیل‌ها، سوخت‌های مختلفی را از قبیل گاز شهری یا هیدروکربنهایی که مشکلی برای توزیع ندارند، مصرف می‌کنند و دارای بازده بالایی بوده و ماده زایدی به جز اندکی دی اکسیدکربن ایجاد نمی‌کنند (۱۰ تا ۱۰۰۰ برابر کمتر از مقداری که یک نیروگاه برقی کلاسیک تولید می‌کند).



این نیروگاه های مولد برق برای شرکت هایی جالب هستند که همواره با قطع برق مواجه اند و این قطع برق برایشان اشکالاتی را به وجود می آورد و یا اینکه نمی خواهند به سوخت های فسیلی وابسته باشند. همچنین این واحدها برای کارخانه و مراکزی که دور از شبکه برق هستند مفید می باشند.

در حال حاضر با ورود غشاهای هادی پروتون ها به بازار، چندین شرکت، مولد برق کوچکی را به اندازه يك یخچال خانگی و قدرتی حدود ۱۰ تا ۵۰ کیلووات تولید کرده اند که قادر اند انرژی برقی مورد نیاز يك خانه مسکونی یا يك دفتر تجارتي را تامین کنند. تمام این شرکت ها تولیدهای خود را در آینده ای نزدیک تجارتي خواهند کرد.

کاربرد دیگر آن- ها به عنوان- پیل های- هیدروژنی کم قدرت- است که معادل آکومولاتورهای کلاسیک می باشد. پیل های سوختی یا هیدروژنی به سبب قیمت بالا، در دستگاه های رایانه کیفی یا تلفن همراه کاربرد دارند. این پیلها خیلی سبک بوده ( يك لایه الکترو- الکتروولیت- الکترو-، برای- تولید فشاری- معادل- يك ولت ) و- به سرعت شارژ می شوند و بخصوص دارای عمری طولانی تر نسبت به آکومولاتورهای کلاسیک هم وزن خود هستند. تنها مسئله در دسترس نبودنشان به سبب ساختمان ظرفیتشان است.

چندین نوع از این پیل ها وجود دارد که برای رایانه های قابل حمل و دوربین های فیلم برداری مناسب هستند.

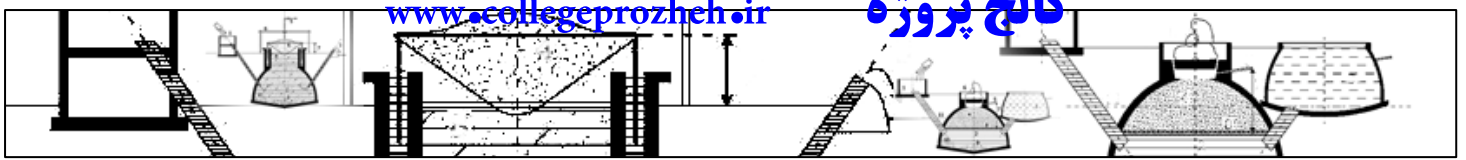
پیل های هیدروژنی و پیل های سوخت متانی در چندین شرکت سازنده تلفن همراه از قبیل موتورولا از سال ۱۹۹۹ مورد مطالعه قرار گرفته اند.

پیل های هیدروژنی که قادر به تولید ۱۰ وات با شدت ۲ آمپر باشند، در حال حاضر در اینترنت با قیمت ۶۰۰ دلار عرضه می شوند. از این پیل ها برای موارد جنبی از قبیل تامین منبع انرژی برای مواقع اضطراری یا کمکی نیز استفاده می شود. مخازن دي هیدروژن ( $H_2$ ) به شکل بطری هایی با ظرفیت ۲۸۷۰۰ لیتر گاز که از ۱ تا ۱۵ کیلو وزن دارند در دسترس هستند.

## نتیجه گیری

پیل‌های سوختی عموماً برای تبدیل انرژی به جهت راندمان بالا و مشخصات زیست محیطی خوب بسیار مناسب هستند. این روش بطور تئوریک ۸۵٪ انرژی شیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. در عمل با احتساب هر دو راندمان حرارتی و الکتریکی، پیل‌های سوختی دارای راندمان تقریبی ۷۰ تا ۷۵٪ می‌باشند. بنابراین، پیل‌های سوختی یک فناوری جذاب برای مصرف تمیز سوخت‌های فسیلی هستند.

استفاده وسیع از این فناوری در دهه آتی جزء سیاست‌های انرژی کشورهای پیشرفته جهان می‌باشد و انواع مختلف پیل‌های سوختی در حال توسعه جدی هستند و طراحی مهندسی پیل سوختی در صدر برنامه های تحقیقات و توسعه جهان قرار گرفته است. در کشور ما نیز برای جلوگیری از شکاف فناوری با جهان پیشرفته، لزوم دستیابی به دانش مربوط در سطح جهانی الزامی است. بنابراین، با توجه به ویژگی‌های خاص پیل سوختی و موقعیت کشور ایران، دستیابی به این فناوری، طراحی و ساخت آنها در ردیف پروژه های ملی کشور قرار گرفته است. از این رو برنامه ریزی و برداشتن گام‌های اساسی و عملی بیش از هر زمان دیگر محسوس است.



# ۴ بیوگاز در ایران

مقدمه  
کلیات

شناخت کلی تصفیه بیهوازی

نگاهی به تاریخچه بیوگاز در ایران

پتانسیل تولید بیوگاز در ایران

واحدهای بیوگاز روستایی

واحدهای مخزن گاز ثابت

واحدهای مخزن گاز متحرک

انواع واحدهای ساخته شده در ایران

راکتورهای بیهوازی

عوامل بازدارنده در گسترش فن آوری تولید بیوگاز در ایران

نتیجه گیری

## بیو گاز در ایران

### خلاصه

همانگونه که در فصل قبل گفته شد هیدروژن می تواند به مقادیر زیاد از منابع انرژی اولیه نظیر سوخت های فسیلی ( زغال سنگ، نفت یا گاز طبیعی ) از واسطه های شیمیایی متعدد ( محصولات پالایشگاه، آمونیاک و متانول ) و از منابع دیگری نظیر بیومس و مواد ضایعاتی تولید شود. [ ۱ ]

این فصل مروری سریع بر تولید بیوگاز از فضولات حیوانی و فاضلاب های شهری و صنعتی در ایران دارد. ابتدا به صورت کلی تصفیه بی هوازی، تاریخچه بیوگاز و پتانسیل استحصال بیوگاز در ایران بررسی می گردد. سپس در دو بخش جداگانه به بررسی واحدهای بیوگاز روستایی و راکتورهای بی هوازی پرداخته می شود در هر بخش انواع مولد (راکتور) های ساخته شده در ایران مورد بررسی کلی قرار گرفته و به ذکر مهارت های، تجهیزات و وسایل مورد نیاز برای ساخت هر واحد متان معادل ۳۰٪ مصرف گاز طبیعی در بخش های خانگی، تجاری و صنایع کشور می باشد. در حال حاضر تعداد راکتور و هاضم بی هوازی تصفیه فاضلاب در حال بهره برداری از تعداد انگشتان دست کمتر می باشد.

افزایش مواد زائد در جهان اعم از مایع یا جامد و تولید بیوگاز از این مواد، با توجه به سهولت فناوری و ساخت دستگاه تولید بیوگاز در شرایط غیر هوازی سبب شده است که تولید و مصرف آن در بسیاری از کشورها به دو صورت صنعتی و سنتی « مورد توجه قرار گیرد در ارتباط با پدیده گلخانه ای که مسئله روز جهانی است، گفته می شود در جهان سالانه حدود ۷۴ میلیون تن گاز متان از فضولات دامپروری و ۴۰ میلیون تن از این گاز تنها از زباله های شهری خود به خود تولید می شود و در جو پراکنده می گردد و محیط زیست را آلوده می کند. جمع آوری این مواد زائد و تولید گاز متان با استفاده از دستگاه های بیوگاز به خوبی امکان پذیر است.

اهم علل عدم گسترش این فن آوری ها عبارتند از : ارزان بودن انرژی و پیچیده بودن این پدیده در ایران، نبودن مرجع و متصدی مشخص برای بیوگاز در کشور، نبودن روحیه مشارکت در مردم، عدم آشنایی و آموزش کافی در این زمینه می باشد.

### مقدمه

زانگن اولین رساله تحقیقاتی در زمینه تولید بیوگاز را در سال ۱۹۰۶ به رشته تحریر در آورد. امروزه به وضوح دیده می شود که تجزیه مواد تحت تاثیر آنزیم های مختلف تا حدود الكل و اسیدهای چرب و سپس تولید گاز متان انجام می شود. [ ۲ ]

استفاده از روش های جدید تولید انرژی که معایب روش های کلاسیک را نداشته باشند، امری متداول در سراسر جهان شده است. از جمله این روش ها، تولید انرژی از زیست توده می

باشد. این روش نیز به چند روش اصلی مانند سوزاندن، تولید بیو اتانول، تولید گاز مصنوعی ترموشیمیایی و بیوگاز تقسیم می گردد. بیوگاز از روش تخمیر بیهوازی زیست توده حاصل می شود. منابع عمده برای تولید بیوگاز، فضولات دامی، فاضلاب های شهری و صنعتی، زباله و زائدات کشاورزی می باشند.

مهمترین برنامه تولید انرژی بیوگاز، پروژه پروالکل کشور برزیل است. در حال حاضر برنامه پروالکل سالانه حدود  $GI\ 12$  اتانول تولید می کند که  $62\%$  آن مصرف سوخت خودروهای کشور برزیل می شود. [۶]

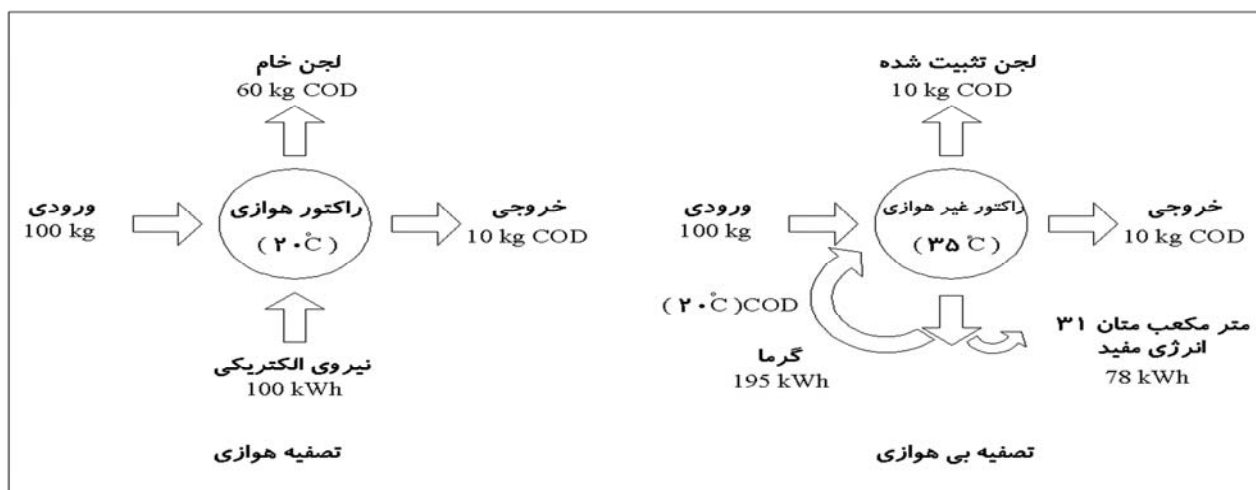
اغلب مواد آلی در شرایط مناسب و دور از اکسیژن در مجاورت میکرو ارگانیسم های خاصی تخمیر شده و گاز متان تولید می کنند. همچنین تخمیر مواد زائد کشاورزی و دامی در شرایط غیر هوازی، گازی تولید می کنند که اصطلاحاً آن را بیوگاز می نامند. کشور چین با تقریباً هفت میلیون دستگاه بیو گاز مقام اول را در جهان داراست.

## ۱. کلیات

### شناخت کلی تصفیه بیهوازی

به طور کلی برای حذف مواد آلی دو راه موجود است: هوازی و بیهوازی. در تصفیه هوازی مواد آلی در یک راکتور هوازی به آب و دی اکسید کربن تبدیل می شوند، در حالیکه در تصفیه بیهوازی این مواد در غیاب اکسیژن محلول به گاز متان و دی اکسید کربن تبدیل می گردند. انتخاب روش زیست شناختی مناسب برای حذف مواد آلی به عوامل متعددی از جمله نوع و غلظت مواد ورودی، درصد حذف مورد نظر، عوامل محیطی، وسایل موجود، عوامل اقتصادی و ... بستگی دارد.

انرژی حاصل از تغییر و تبدیل بیهوازی اندک بوده و در واقع انرژی به صورت ذخیره شده در متان باقی می ماند. به همین دلیل رشد باکتریها در این گونه سیستم ها کم بوده و به تبع آن هزینه های مربوط به دفع لجن مازاد کاهش می یابد. شکل (۱) تولید و مصرف انرژی برای حذف مقدار یکسانی از بار آلودگی ورودی در سیستم هوازی و بیهوازی را نشان می دهد.



شکل ۱ - مقایسه سیستم هوازی و بی هوازی

## ۱,۱. نگاهی به تاریخچه بیوگاز در ایران

تاریخچه تولید بیوگاز به اولین دهه قرن نوزدهم بر می گردد که شخصی به نام دیوی در سال ۱۸۰۸ از طریق تخمیر کود گاوی و با استفاده از تقطیر در خلاء ۰/۳ لیتر گاز متان تولید نمود. اما در ایران، حمام شیخ بهایی ( مربوط به قرن یازدهم هجری ) احتمالاً نخستین حمام بوده که بوسیله گاز متان گرم می شده است. اما اولین هاضم تولید متان به صورت نوین در سال ۱۳۵۴ در روستای نیاز آباد لرستان ساخته شده. در سال ۱۳۶۱ یک واحد ۳ متر مکعبی در دانشگاه صنعتی شریف مورد مطالعه قرار گرفت.

در سالهای ۶۵-۱۳۶۱ مرکز تحقیقات انرژی های نو در سازمان انرژی اتمی، پژوهشهای ویژه ای را در این زمینه به انجام رساند که از جمله می توان به احداث ۱۰ واحد بیوگاز در استانهای سیستان و بلوچستان، ایلام و کردستان اشاره کرد. در دهه ۱۳۶۰ وزارت جهاد سازندگی نیز در این راه اقداماتی صورت داد : ابتدا در سال ۱۳۶۳ یک واحد آزمایشی در حیدر آباد کرج ساخته شد، سپس در سال ۱۳۶۴ یک نمونه واقعی در روستای چین سیب لی از توابع بخش آق قلا در منطقه گرگان احداث گردید. این وزارتخانه ۴۰ هاضم دیگر در مناطق مختلف کشور ساخت که ۱۸ واحد آن به مرحله گازدهی رسید. همچنین مراکز دانشگاهی و تحقیقاتی در این زمینه گامهایی برداشته اند. از جمله می توان به واحد احداث شده توسط جهاد دانشگاهی دانشکده کشاورزی کرج در سالهای ۶۵-۶۳ و واحد احداث شده توسط مهندس خلیل شیخ قاسمی ( کارشناس شرکت آب و فاضلاب ) در شاهین دژ آذربایجان در سال ۱۳۷۲ اشاره کرد. متاخرین واحدهای ساخته شده، یک واحد بیوگاز برای هضم فاضلاب انسانی در جزیره کیش و یک واحد تخمیر فضولات دامی ( گاو داری ) در ماهدشت کرج بوده که هر دو توسط سازمان انرژی اتمی در سالهای ۷۸-۱۳۷۷ طراحی و ساخته شده اند. در مورد هاضمهای لجن و راکتورهای تصفیه بی هوازی فاضلاب در ایران، باید گفت که متأسفانه هم اکنون از بیوگاز هاضمهای لجن در هیچیک از تصفیه خانه های فاضلاب شهری استفاده نمی گردد و راکتورهای بی هوازی نیز کمتر از ۱۰ واحد بوده که در بخش سوم مورد اشاره قرار خواهند گرفت. [ ۶ ]

## ۱,۲. پتانسیل تولید بیوگاز در ایران

بیو گاز را می توان از تخمیر سه گونه زیست توده بدست آورد :

الف- فضولات دامی و زائدات کشاورزی

ب- فاضلاب های شهری و صنعتی

ت- زباله های شهری

با استفاده از پتانسیل سنجی تولید بیوگاز در ایران را می توان چنین خلاصه نمود :

(۱) مقدار فضولات دامی قابل دسترس در ایران ۷۴۹۴۶ هزار تن در سال بوده که بیوگاز قابل تولید از آن ۸۶۶۸ میلیون متر مکعب می باشد.

(۲) جرم زائدات کشاورزی و جنگلی در ایران ۵/۲۳۱۴۷ هزار تن در سال بوده که بیوگاز قابل تولید از آنها ۸/۵۴۷۵ میلیون متر مکعب می باشد.

(۳) اگر شهرهای بالای ۱۰۰ هزار نفر را ملاک قرار دهیم و با استفاده از فرایند بی هوازی فاضلاب را تصفیه نماییم، بیوگاز حاصل از تصفیه بی هوازی حدود ۲۴۵/۸ ~ ۱۰۷/۸ میلیون متر مکعب خواهد بود. اگر فرایند هوادهی به کار ببریم این مقادیر کمتر خواهند شد. برای نمونه در فرایند روش لجن فعال، میزان بیوگاز حاصله از هاضمهای لجن حدود ۸/۱۰۷ ~ ۹/۲۰ میلیون متر مکعب خواهد بود.

(۴) بیوگاز حاصل از فاضلاب های صنعتی بسیار متغیر می باشد. این مقدار بستگی به نوع صنعت، نوع فرایند تصفیه و مقدار فاضلاب دارد. برای مثال بیوگاز قابل تولید از صنایع بزرگ غذایی ( روغن نباتی، الکل سازی، کنسرو، کمپوت، شیلات و ... ) در کشور حدود ۴/۲۷۹ ~ ۵/۸۱ میلیون متر مکعب در سال تخمین زده می شود.

(۵) با فناوری های موجود، میانگین سالانه استخراج گاز از محلهای دفن زباله حدود ۷ متر مکعب از هر تن زباله می باشد که در مقایسه با بازده نظری تولید بیوگاز بسیار پایین است. استخراج گاز در این شرایط برای شهرهای بسیار بزرگ مقرون به صرفه خواهد بود. اما با بهره گیری از فرایند هضم بی هوازی زباله های فسادپذیر، مجموع بیوگاز قابل تولید در کشور ( با فرض ۶۰٪ بازدهی فرایند )، ۷/۱۶۴۵ میلیون متر مکعب بیوگاز در سال بدست می آید. [ ۶ ]

دیده می شود که تنها از منابع فوق به طور میانگین، سالانه ۳۵/۱۶۱۴۶ میلیون متر مکعب بیوگاز ( ۹۱۷۵ میلیون متر مکعب متان ) قابل استحصال می باشد. با فرض ارزش حرارتی متان  $36.7 \text{ MJ/m}^3$ ، این حجم متان معادل  $3.367 \times 10^{17} \text{ J}$  انرژی خواهد بود. از آنجا که موضوع مقاله وضعیت بیوگاز در ایران می باشد، مواردی بررسی می شود که فن آوری مزبور در دو قسمت بیوگاز روستایی و راکتورهای بیوگاز فاضلاب بررسی می شوند.

## ۲. واحدهای بیوگاز روستایی

در يك تقسیم بندی کلی، واحدهای بیوگاز به نحوی که در پی می آید، تقسیم بندی می شوند :

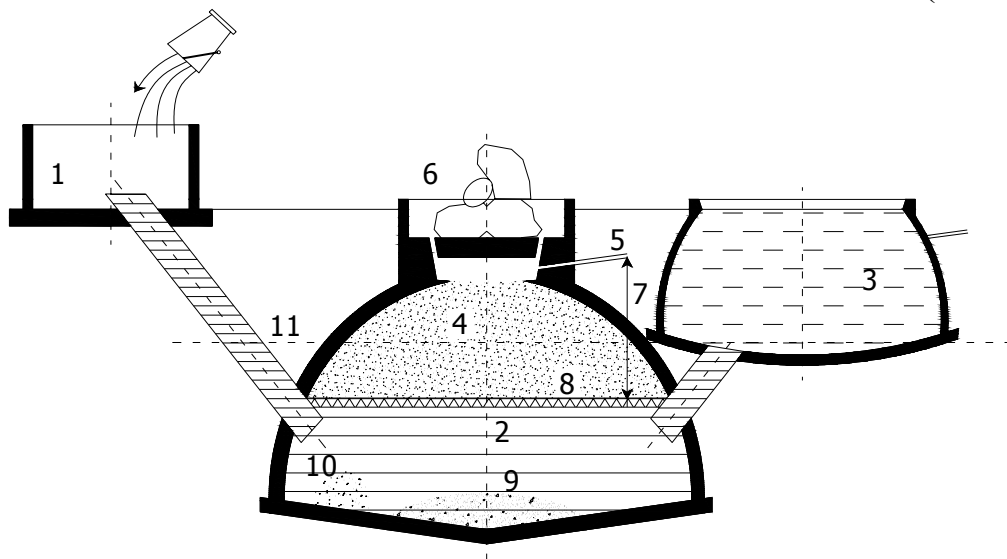
(۱) واحدهای بالونی، (۲) واحدهای مخزن گاز ثابت، (۳) واحدهای مخزن گاز متحرک چون از واحدهای بالونی تاکنون در ایران ساخته نشده است، در این مقاله به این واحد پرداخته نشده است.



۲،۱. واحدهای مخزن گاز ثابت که در ایران به نام بیوگاز چینی شناخته شده اند دارای مخزن گاز غیر متحرك اند. گاز حاصل در قسمت فوقانی هاضم ذخیره می شود. هنگامیکه تولید گاز آغاز می گردد، لجن تخمیری به سمت مخزن خروجی یا دفع لجن جابجا می شود. تولید بیشتر گاز موجب افزایش فشار گاز ذخیره شده می شود، به همین دلیل حجم هاضم را بیش از ۲۰ متر مکعب در نظر نمی گیرند. اگر میزان گاز در مخزن ذخیره شده اندک باشد، فشار گاز پایین خواهد بود.

**مزایا :** هزینه ساختمان پایین می باشد. اجزای واحد متحرك نبوده و قطعات زنگ نمی زنند بنابراین عمر طولانی (بیش از ۲۰ سال) خواهند داشت. ساختمان زیرزمینی داشته که از سرمای زمستان محافظت شده و در فضا نیز صرفه جویی می شود استخدام نیروی بومی را دربر دارد. احداث آن نیاز به بنای ماهر ندارد.

**معایب :** غالباً گاز واحدها را نمی توان کاملاً مهار نمود (نفوذپذیری و ترك خوردگی)، غالباً فشار گاز خیلی بالا بوده و به میزان زیادی در حال تغییر می باشد. دمای هاضم پایین است. بنابراین در مناطق سردسیر کارایی مطلوب را ندارد. نیاز به مدیریت صحیح (تحت نظارت افراد آموزش دیده) داشته تا بازده خوبی بدست آید (شکل ۲).



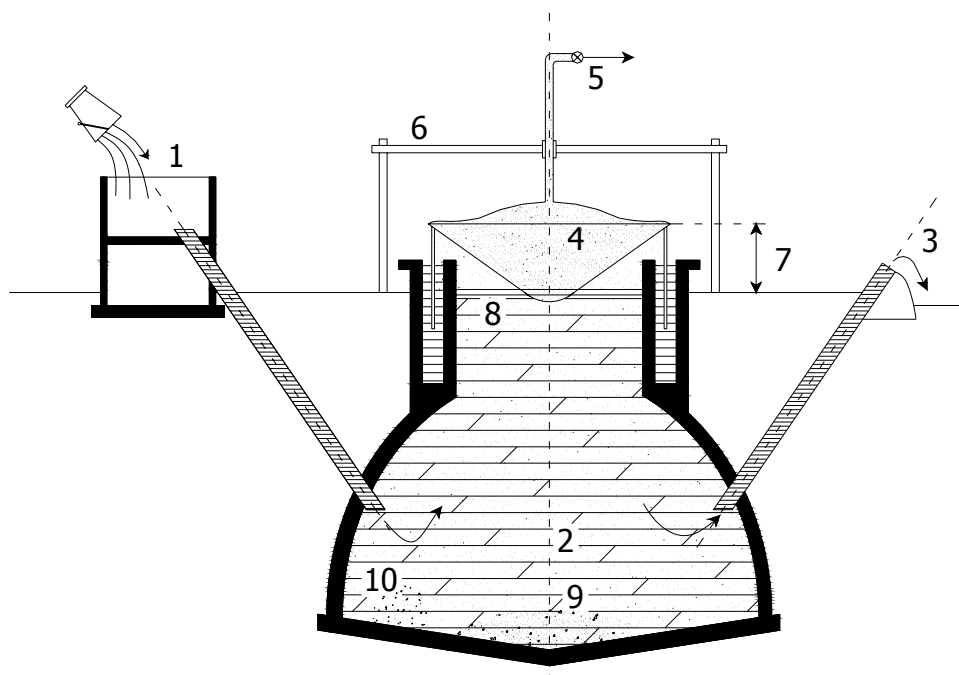
شکل ۲- واحد بیوگاز با مخزن ثابت

- ۱- هم زن بالولوه ورودی، ۲- هاضم، ۳- مخزن خروجی، ۴- مخزن نگهدارنده گاز، ۵- لوله گاز، ۶- درپوش ورودی (با استفاده از وزنه ها مهار شده است)، ۷- اختلاف ارتفاع برابر با اختلاف فشار بر سانتی متر آب، ۸- لایه زلال، ۹- انباشتگی لجن غلیظ، ۱۰- انباشتگی سنگ و شن، ۱۱- خط مبدا (صفر) ارتفاع پر شدن مخزن بدون فشار گاز. [ ۶ ]

واحد با مخزن گاز متحرک، که در ایران به نام بیوگاز هندی شناخته شده، شامل هاضم و مخزن نگهدارنده گاز متحرک است (شکل ۳). مخزن نگهدارنده گاز یا بر روی لجن تخمیری و یا در پوسته (ژاکت) آب مخصوص به خود شناور است. گاز متصاعد شده در مخزن شناور جمع آوری می شود. اگر گاز مصرف شود مخزن مجدداً به حالت اول برمیگردد.

**مزایا:** فراگیری کارکرد آن آسان است. وجود سرپوش متحرک باعث می شود که فشار ثابت باقی مانده و بستگی به وزن سرپوش داشته باشد (تقریباً ۷ الی ۱۵ سانتیمتر آب). حجم گاز ذخیره شده بطور مستقیم قابل رؤیت است و در ساختمان آن اشتباه کمتری رخ می دهد.

**معایب:** هزینه سنگین برای ساخت مخزن شناور دارد. قطعات فولادی که با زنگ زدگی مواجه می شوند، سبب کوتاه شدن عمر واحد می گردد (تا ۱۵ سال و نواحی گرمسیر تا ۵ سال). وجود همین سرپوشها باعث اتلاف حرارتی می شود. مخارج تعمیر و نگهداری ناشی از هزینه های رنگ آمیزی زیاد است.



شکل ۳- واحد بیوگاز با مخزن متحرک

- ۱- مخزن هم زن با لوله ورودی، ۲- هاضم، ۳- جریان سرریز از لوله خروجی، ۴- مخزن نگهدارنده گاز که در سطح مایع شناور است، ۵- خروجی گاز با خمش لوله اصلی، ۶- اسکلت راهنما برای مخزن گاز، ۷- اختلاف ارتفاع برابر با فشار گاز برحسب سانتی متر، آب، ۸- لایه شناور هنگامی که از الیاف به عنوان خوراک استفاده شود، ۹- لجن غلیظ، ۱۰- انباشتگی شن و سنگ. [ ۶ ]

۲,۳. انواع واحدهای ساخته شده در ایران

از انواع واحدهای یاد شده، نوع بالونی در ایران ساخته نشده است و از حدود ۶۰ واحد بیوگاز ساخته شده، نوع مخزن متحرک بیشتر بوده است. با مطالعاتی که جهاد سازندگی بر روی دستگاه های مولد بیوگاز در پاره ای از کشورهای جهان انجام داده، از نوع مولدهای ثابت و شناور، دستگاه مولد بیوگاز از نوع شناور برای کشور مناسب تر تشخیص داده شده است.

مرکز تحقیقات و انرژی های نو سازمان انرژی اتمی بعد از طراحی و ساخت دو نوع مولد ثابت و متحرک ( در سالهای ۶۳-۱۳۶۱ ) و انجام آزمایشها و مطالعات دیگر، نوع مخزن ثابت را ترجیح داده و واحدهای ساخته شده در جزیره کیش و ماهدشت نیز از نوع ثابت بوده اند.

همانگونه که در بخش اول اشاره شد، مراکز تحقیقاتی و دانشگاهی به صورت پراکنده کارهایی در این زمینه انجام داده اند که جزئیات دقیق و فنی آنها منتشر نگردیده است، فقط باید اشاره کرد که در مورد واحد احداث شده در شاهین دژ، سیستم جدید « دین باندو » که یک مدل مخزن ثابت هندی است، بکار گرفته شده است. همچنین کانون مطالعات توسعه پایدار دو دستگاه بیوگاز چینی در " الشتر " لرستان و روستای " کلم بالا " ایلام به ترتیب در سالهای ۱۳۵۸ و ۱۳۶۲ ساخته و به بهره برداری رسانید. اما بعداً هر دوی این واحدها از سوی اداره بهداشت تخریب شدند.

علل اختلاف در ترجیح یک نوع مولد بر انواع دیگر در برخی گزارشها چنین ذکر شده که بیوگاز از نوع شناور حدود ۴۰ درصد گرانتر از نوع ثابت هزینه دارد، همچنین با توجه به ساخت ساده، عمر طولانی و تعمیرات اندک، برخی کارشناسان، بیوگاز با مخزن ثابت را کلاً ترجیح داده اند.

اما مسئولین احداث واحدهای بیوگاز وزارت جهاد سازندگی، نکاتی را مطرح کرده اند که قضاوت های فوق را مورد تردید قرار می دهد. ایشان اشاره کردند که از ۴۰ دستگاه واحد بیوگاز ساخته شده توسط جهاد در مناطق مختلف ( بیشتر در استانهای خراسان، گلستان، مازندران و ایلام ) ۷ دستگاه به صورت بیوگاز با مخزن ثابت ساخته شد که هیچگاه به مرحله گازدهی نرسید و حتی نظارت و راه حل های کارشناسان چینی در این موارد کارساز نبوده است. آخر الامر این ۷ دستگاه نیز به مدلهای شناور تبدیل شدند. مهمترین مشکل از نظر مسئولان تامین دمایی لازم برای هضم بوده است. همچنین گفته شده که چند دستگاه بیوگاز با مخزن متحرک که توسط سازمان انرژی اتمی در استان سیستان و بلوچستان احداث شد که به مرحله گازدهی نرسید. [ ۶ ]

از سوي ديگر دست اندرکاران بخش بيوگاز مرکز تحقيقات انرژی هاي نو سازمان انرژی اتمی، در مقابل نکات فوق مطالبی را مطرح کرده اند که اهم آنها را می توان چنین تقریر کرد: علت اصلی به گاز نرسیدن واحدهای جهاد سازندگی، گازبندی نکردن درست و کامل و عایق بندی نامطلوب آنها بوده است. ساخت هاضم ثابت نیاز به دقت زیاد در بندکشی و سیمان کاری آن دارد که عموماً رعایت نمی گردد. هم چنین آن مرکز استفاده از وسایل گرمایش هاضم در مناطق سردسیر را ضروری دانسته و در غیر اینصورت توصیه می نماید که از بيو گاز در این مناطق چشم پوشی شود.

مجموعه نکات فوق این نتیجه را بدست می دهد که قضاوت نهایی درباره انتخاب بيوگاز منوط به داشتن اطلاعات دقیق و کامل از بيوگاز ساخته شده و همچنین پایش و ثبت پارامترهای راهبري ( در صورت امکان واحدهای موجود و در غیر اینصورت واحدهای جدید آزمایشی ) می باشد. متأسفانه گزارشهای فنی و یا اطلاعات واحدهای ساخته شده در دسترس نیست و قضاوت نهایی که اشکالات طراحی و به خصوص راهبري را مشخص کند امکان پذیر نیست. برای انتخاب صحیح مدل بيوگاز نیاز به همه اطلاعات ساخت نظیر حجم هاضم، حجم مخزن گاز، جزئیات سرپوش و جزئیات ورودی و خروجی ( و اطلاعات راهبري پایش شده ) از جمله نوع خوراک، مقدار ترکیب خوراک با آب، درصد تولید گاز، درصد گازهای جزئی تشکیل دهنده بيوگاز، ثبت PH ( دما و فشار ) می باشد. وجود این اطلاعات نشان می دهد که عیوب کار چقدر به طراحی و چقدر به راهبري مرتبط است. این نکات وقتی برجسته می شود که یادآور شویم که بازده دستگاه بيوگاز با حجم ثابت رابطه مستقیم با راهبري صحیح دستگاه دارد.

مهارتها و تجهیزات لازم برای ساخت و راهبري واحدهای بيوگاز در مراجع مختلف به تفصیل مورد اشاره قرار گرفته است و گستره ای از مصالح و لوازم متداول ساختمانی و نیروی انسانی ماهر را در بر می گیرد. همانطور که در مراجع دیده می شود، فن آوری بيوگاز ساده بوده و نیاز به تجهیزات پیشرفته یا متخصصین خاص ندارد، به نحوی که به يك فن آوری جهان سومی شهرت پیدا کرده است. اگر این گفته را بپذیریم که صنعت ساختمان که زیرگروههای زیادی از جمله سازه، مکانیک و برق دارد، در ایران بالنسبه پیشرفته است، می توان حکم داد که با توجه به بررسی های فوق، سازندگان احتمالی بيوگاز روستایی در ایران می توانند بسیاری از شرکتهای ساختمانی و تاسیساتی باشند. پس در مجموع می توان گفت که طراحان این دستگاه ها می توانند وزارتخانه ها یا سازمانهایی باشند که در این زمینه فعالیت داشته اند. مشاورین و پیمانکاران نیز می توانند کلیه شرکتهای ساختمانی-تاسیساتی، خصوصاً شرکتهای فعال در احداث و بهره برداری پروژه های فاضلاب باشند. این شرکتها نیز می توانند کار را به پیمانکاران محلی واگذار کرده، خود بر کار آنها نظارت داشته و بعضی مصالح یا تجهیزات مورد لزوم را تهیه نمایند.

رآکتورهاي بيهوازي به دو صورت عمده به کار مي روند :

الف- رآکتورهاي هضم بيهوازي لجن حاصل از تصفيه فاضلاب

ب- رآکتورهاي تصفيه بيهوازي فاضلاب

هاضمهاي لجن داراي انواع گوناگون بوده که چهار نوع بسيار متداول آن عبارتند از هاضم متعارف، بانرخ بالا، دو مرحله اي و تخم مرغي شکل. معمولي ترين اين هاضم دو مرحله اي مي باشد که بازده بالاتري در توليد متان و همچنين از بين بردن پاتوژن ها ( عوامل بيماريزا ) دارد. هاضم هاي تخم مرغي شکل اخيراً در حال گسترش بوده و مزايای زيادي نسبت به انواع قديمي تر دارد. راهبري هاضم ها بيشتر به اختلاط و گرمایش هاضم بر مي گردد. انواع روشهاي اختلاط شامل تزريق گاز، هم زدن مکانيکي و پمپاژ مکانيکي به کار مي رود. روشهاي گوناگوني نيز براي گرم کردن هاضم وجود دارند. يك راه گرم کردن هاضم، گرمایش لجن و فرستادن آن به درون هاضم و راه حل ديگر استفاده از لوله هاي آب گرم در داخل هاضم مي باشد. دماي بهينه هاضم ۲۹ تا ۳۸ درجه سانتیگراد و pH بهينه در حد ۷ تا ۷/۲ ذکر شده است.

براي کاربردهاي معمولي ( مثلاً سوزاندن ) معمولاً هيچ عملي روي گاز انجام نمي شود، اما براي استفاده به عنوان سوخت موتورهاي احتراق دروني و توربين هاي گازي بايد درصد سولفيد هيدروژن (  $H_2S$  ) را به کمتر از ۰/۰۱۵ % رساند. مقدار گاز حاصله بستگي به نوع تصفيه بکار رفته متفاوت است و مي تواند بين ۶۵ تا حتي ۱۰۰ درصد انرژي مورد نياز تصفيه خانه فاضلاب را برآورد سازد. از گاز حاصله مي توان براي گرم کردن هاضمها، گرم کردن آب براي مصرف در نقاط ديگر تصفيه خانه، توليد الکتريسيته، پمپاژ و ... استفاده کرد. يك نمونه قابل ذکر در اين مورد تصفيه خانه هپيريون ( Hyperion ) در غرب لس آنجلس مي باشد : اين تصفيه خانه روزانه ۱/۲۱۰ تا ۱/۵۱۰ ميليون ليتر فاضلاب را تصفيه مي کند. از سال ۱۹۸۷ دو راه حل براي توليد انرژي در تصفيه خانه در نظر گرفته شده است : [ ۸ ]

( ۱ ) بيوگاز حاصل از هاضم هاي بيهوازي براي توليد برق بوسيله سه توربين- هر يك به ظرفيت ۴۵۰۰ كيلو وات- بکار ميرود.

( ۲ ) مواد جامد در هاضم خشک شده، در کوره هاي بستر سيال سوزانده شده و احتراق صورت مي گيرد. خاکستر حاصل نيز به عنوان سيمان به کار گرفته مي شود.

سه هاضم موجود در تصفيه خانه از نوع دو مرحله اي بوده که با يکديگر سري مي باشند. اين هاضم ها به طور متوسط ۲۲۱۲۵۰ متر مکعب بيوگاز در روز توليد مي کنند. سولفيد هيدروژن موجود در بيوگاز بوسيله افزايش ترکيبات آهن به هاضم و ته نشيني اوليه کنترل مي گردد. بيوگاز توليدي داراي ۶۰ تا ۱۰۰ ppm سولفيد هيدروژن است که در يك واحد سولفور زدائي به ۴۰ ppm مي رسد. اين واحد روزانه حدود ۲۲/۷ تا ۲۷/۲ كيلوگرم

گوگرد تولید می نماید. به علت حجم کم تولید لجن، سوزاندن لجن هنوز به صرفه نمی باشد. ژنراتورهای بخار و گاز مجموعاً ۲۵/۲ مگاوات برق تولید می کنند، هر چند که دامنه معمولی تولید بین ۱۶ تا ۲۶ مگاوات است. میزان صرفه جویی سالیانه در هزینه های الکتریسیته حدود ۸/۴۲ میلیون دلار می باشد.

در ایران تنها تصفیه خانه جنوب اصفهان از هاضم استحصال بیوگاز را انجام داده که آنهم در مشعل تصفیه خانه سوزانده می شود. [ ۶ ]

اما رآکتورهای بیهوازی بسیار متنوع و گوناگون می باشند که معمولاً براساس فرایند تقسیم بندی می شوند: فرایند تماس بیهوازی، فرایند رشد چسبنده بیهوازی و فرایند بیهوازی ترکیبی. چون از این سه نوع، نوع سوم در ایران بیشتر به کار رفته است، مختصری درباره آن توضیح داده می شود.

رآکتور بیهوازی ترکیبی برای تصفیه فاضلاب های قوی و ضعیف، بکار می روند. معمولترین روش در این حالت، بستن لجن بیهوازی با جریان بالارو ( UASB : Upflow Anaerobic Sludge Blanket ) می باشد. د این روش که در هند ابداع شد، فاضلاب ورودی از پایین به رآکتور وارد می شود و هنگام بالا رفتن، ذرات و دانه های بیولوژیک به اندازه های ۱/۶ تا ۶/۴ میلیمتر تشکیل شده سبک را به سمت بالا می آورد. در ایران از اواخر دهه ۱۳۶۰ تحقیقاتی در زمینه استفاده از UASB در دانشگاه صنعتی شریف آغاز گردید. در مقیاس واقعی، شش رآکتور از این نوع در ایران بکار گرفته شده که دو مورد آن-خوراک دام لرستان و خمیر مایه خراسان-توسط شرکتهای خارجی طراحی و ساخته شده اند و چهار رآکتور دیگر توسط شرکت های ایرانی طراحی و ساخته شده اند. خلاصه ای از مشخصات آنها به شرح زیر است:

۱- سه رآکتور USAB برای تصفیه فاضلاب کارخانه قند میاندوآب توسط شرکت « آب پردازان بهار » طراحی و ساخته شده اند. حجم این رآکتورها به ترتیب ۸۰۰ و ۴۵۰ و ۴۵۰ مترمکعب بوده و جنس آنها از بتن مسلح می باشد. آهنگ بارگذاری رآکتورها 20-30 ton BOD/day و تولید بیوگاز ۱۰۰۰۰ متر مکعب در روز گزارش شده است. هم چنین این شرکت یک رآکتور UASB با حجم ۵۵ متر مکعب برای کشتارگاه مرغ در نوشهر طراحی و اجرا کرده که علاوه بر تصفیه بسیار مناسب فاضلاب، از آن بیوگاز نیز استخراج می گردد.

۲- رآکتور UASB مجتمع الکل سازی بیدستان قزوین: در این مجتمع دو رآکتور فلزی-هر یک به ظرفیت ۴۰۰ متر مکعب توسط دکتر هاشمیان و دکتر شایگان طراحی و توسط مجتمع ساخته شده است. این رآکتورها حدود ۱۵۰ مترمکعب فاضلاب در روز را تصفیه

می کنند. COD ورودی به راکتورها  $40000 \text{ mg/l}$  و COD خروجی از آنها حدود  $8000 \text{ mg/l}$  (درصد حذف ۸۰ درصد) می باشد.

متاسفانه پایش منظم و دقیقی از بیوگاز تولیدی صورت نمی گیرد اما در زمستان از بیوگاز گرمایش راکتور استفاده می شود.

۳- راکتور UASB کارخانه نشاسته و گلوکز یاسوج: این راکتور توسط شرکت " زلال ایران " طراحی و ساخته شده است. جنس آن بتن مسلح بوده و روزانه ۶۰۰ تا ۷۰۰ متر مکعب فاضلاب را با غلظت COD ۷۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر دریافت می کند. بدلیل وجود پاره ای نقایص در سیستم گازبندی، استخراج بیوگاز در این راکتور تاکنون قابل ملاحظه نبوده است.

۴- راکتور UASB کارخانه شیر پاستوریزه: پس از نیمه کاره ماندن طرح تصفیه خانه فاضلاب شیر پاستوریزه تهران که به کنسرسیوم مشاورین ایرانی و آلمانی سپرده شده بود، ادامه کار به مرکز آب و انرژی دانشگاه صنعتی شریف واگذار گردید و با ارائه طرح فرایند توسط دکتر هاشمیان، عملیات ساخت شروع شده و تا کنون به پایان رسیده است. این تصفیه خانه از یک مخزن متعادل سازی، چهار دستگاه راکتور UASB و واحد تصفیه هوازی تشکیل شده است. ظرفیت هر یک از راکتورها ۳۲۰ متر مکعب و جنس آن از بتن مسلح می باشد. به دلیل تولید و پرورش لجن گرانوله سازگار با فاضلاب صنایع شیر در مخزن متعادل سازی و انتقال آن به درون راکتور، فرایند تصفیه خیلی سریع آغاز شد و تولید بیوگاز از همان روزهای نخست راه اندازی شروع گشت. متاسفانه هم اکنون از بیوگاز حاصله استفاده نشده و تنها سوزانده می شود. [ ۶ ]

#### ۴- عوامل بازدارنده در گسترش فن آوری تولید بیوگاز در ایران

علل متعددی باعث شده اند که تولید بیوگاز در ایران گسترش نیافته و جایگاه درخوری را میان انواع انرژی نداشته باشد. مواردی که در پی می آید مهمترین این علل می باشند:

الف- ارزان بودن انرژی در ایران: انرژی های در دسترس در کشور به علت متکی بودن بر منابع زیرزمینی و تعلق یارانه به آنها، با بهای اندک به دست مصرف کننده می رسند (مقایسه شود قیمت انرژی در آمریکا ۱۲/۹ ریال بر مگاژول با قیمت انرژی در ایران ۲/۳ ریال بر مگاژول با برابری هر دلار ۳۰۰۰ ریال). این در حالی است که تولید هر انرژی غیر متعارف جدید مانند انرژی خورشیدی، باد و زیست توده، مستلزم صرف هزینه های به نسبت زیادی می باشد. از جمله این هزینه ها می توان به هزینه های زیر اشاره کرد:

(۱) هزینه های تحقیق و توسعه

(۲) هزینه های پشتیبانی مقدماتی

(۳) هزینه های توسعه اقتصادی و فن آوری صنایع وابسته

(۴) هزینه های حفاظتی و مراقبتی

(۵) تخفیف های مالیاتی



و سایر هزینه های متعارف دیگر مانند سرمایه گذاری اولیه، هزینه های راهبري و مدیریت، تعمیرات و .... باید لحاظ شوند. از طرف دیگر باید توجه داشت که حتي قیمت تمام شده انرژی های متعارف-نظیر سوخت های فسیلی-قیمت واقعی آنها نبوده و برای محاسبه قیمت های اصلی آنها، هزینه های دیگری را نیز باید در نظر داشت که در این کشور لحاظ نمی شوند. از مهمترین این هزینه ها، هزینه های رفع آلودگی ایجاد شده توسط نیروگاه ها، هزینه های زیست محیطی استفاده از سوخت های آلاینده و هزینه های تخریب منابع طبیعی می باشند.

در هر حال بدون در نظر گرفتن عوامل فوق، قیمت هر گیگاژول انرژی معادل بیوگاز تولیدی در ایران را ۱۰ تا ۱۳ دلار برآورد کرده اند که در مقایسه با قیمت سوخت های دیگر (مثلاً گاز طبیعی \$/GJ ۱/۲۱) عدد بزرگی می باشد.

مسئله دیگری که مطرح می شود این است که تغییر قیمت انرژی، مسئله ای بسیار پیچیده بوده که به عوامل گوناگون اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و سیاسی می انجامد و در نتیجه سیاست گذاری در امر انرژی مستلزم بررسی های کارشناسانه، دقیق و طولانی مدت بوده که در نهایت راه را برای جایگزین کردن سوخت های پاکیزه و تجدید پذیر هموار کند.

ب- نبودن مرجع و متصدی مشخص برای بیوگاز در کشور : هر چند که از گسترش بیوگاز در جهان زمان زیادی نمی گذرد و تا چندی پیش به عنوان يك فن آوری فقیر تلقی می شد، اما این مسئله دلیل قانع کننده برای عدم گسترش این فن آوری در ایران نمی شود. با توجه به فن آوری های نسبتاً ساده ساخت هاضم های لجن، مولد بیوگاز روستایی و راکتور های بیهوازی، انتظار می رود که با يك برنامه ریزی صحیح و حساب شده، بیوگاز جایگاه ویژه خود را پیدا کند. مهمترین عامل که باعث شده است در این زمینه سیاست مشخص و مدونی وجود نداشته باشد، تعداد مراکز تصمیم گیری-به عبارت بهتر نبود يك مرکز مشخص تصمیم گیری-برای این گونه انرژی می باشد.

ج- نبود روحیه مشارکت در مردم : یکی از دلایل مهم گسترش بیوگاز-خصوصاً بیوگاز روستایی در ایران-عدم مشارکت مردمی در ایجاد و اداره واحدهای ایجاد و اداره واحدهای ایجاد شده بوده است. این مطلب در مصاحبه با دست اندرکاران بیوگاز جهاد سازندگی و سازمان انرژی اتمی و بازدیدهای محلی به وضوح مشاهده شد. متأسفانه دسترسی به انرژی ارزان، گریز از کارهای سخت و کارهای به اصطلاح غیر تمیز (مثل حمل و بارگذاری فضولات دامی) و عدم تشویق مسئولین در این زمینه باعث شده است که این روحیه انفعالی و بی تفاوتی بیشتر تشدید گردد. نبود روحیه همکاری و مشارکت در مردم ایران-خصوصاً در سده های اخیر-بحثی است که مفصل بوده و به عوامل گوناگون اجتماعی، سیاسی و تاریخی بر می گردد و نمود آن در عدم تشکیل و پایداری حزب های بزرگ، نبود شرکت های بزرگ خصوصی چند نفره، عدم موفقیت در ورزش های گروهی تجلی پیدا کرده است.

د- آگاهی کم و آموزش ناکافی: یکی دیگر از دلایل مهم عدم گسترش فن آوریهای بیوگاز به آگاهی کم مردم و حتی مسئولین- از مزایای این فن آوری ها و معایب سایر انرژی غیر تجدید پذیر و آموزش ناکافی در این زمینه ها در سطح و منابع طبیعی هستند و از سوی دیگر فن آوریهای تولید بیوگاز علاوه بر اینکه خود آلاینده نیستند، از ورود عوامل آلاینده محیط زیست و بیماری زا (مانند فضولات و فاضلاب ها) به محیط جلوگیری کرده، ایجاد اشتغال نموده و به رفاه عمومی جامعه کمک شایانی می نمایند. متأسفانه مسائلی نظیر موارد فوق نه برای مسئولین و نه برای مردم اهمیت نداشته و به آنها بها داده نمی شود. همین امر باعث می گردد که هیچ گونه آموزشی برای معرفی این فن آوری ها و مزایای آنها و به تبع آن استفاده از آنها به عنوان منابع مهم تولید انرژی پاک و تجدید پذیر صورت نگرفته باشد. در نتیجه طبیعی است که اهمیت و لزوم استفاده از این انرژی برای مردم مشخص نبوده و با استقبال روبرو نشد.

ه- کمبود اطلاعات فنی: متأسفانه جزئیات کارهای پراکنده و معدودی که در کشور صورت گرفته، ثبت و نگهداری نشده اند. از سویی عدم دقت در ثبت داده ها (در همه مراحل طراحی، ساخت و راهبری) و از طرف دیگر به روز نبودن دانش فنی موجود در این رشته علمی باعث شده است که هم بازده واحدهای بیوگاز احداث شده اندک بوده و هم تصمیم گیری در اداره واحدهای بعدی با شک و تردید زیاد همراه باشد.

### نتیجه گیری:

ایران از جمله کشورهایی است که دارای منابع گسترده ای برای تولید بیوگاز می باشد. با احتساب مقادیر معمول بازدهی بیوگاز از فضولات دامی، زائدات کشاورزی، زباله های شهری و فاضلاب های شهری و صنایع غذایی و اعمال ضرایب اطمینان، بیوگاز حاصل به طور میانگین حدود ۱۶۱۴۶/۳۵ میلیون متر مکعب، معادل ۳۲۳ پتاژول ( $10^{15}$  ژول) انرژی خواهد بود.

متأسفانه علی رغم داشتن این پتانسیل و فن آوری نسبتاً ساده مولد و رآکتورهای بیوگاز، از این منابع هیچ گونه استفاده شایانی در کشور نمی گردد. واحدهای انگشت شمار موجود هم به علت مشکلات اجرایی و عدم راهبری صحیح و کارآ، بازده مطلوبی ندارند. هم اکنون ۲ مولد بیوگاز روستایی (هضم فضولات دامی)، یک مولد هضم فاضلاب انسانی و سه رآکتور تصفیه فاضلاب های صنعتی از بیوگاز تولیدی استفاده می کنند. این اعداد در مقایسه با تعداد واحدهای بیوگاز روستایی در کشورهای چین، هند و نپال (به ترتیب ۵۰۰۰۰۰۰، ۲۷۰۰۰۰۰ و ۳۷۰۰۰ در حکم صفر است. مهمترین عوامل بازدارنده در توسعه بیوگاز در ایران عبارتند از ارزان بودن انرژی، نبودن مرجع و متصدی مشخص و واحد برای این نوع انرژی، عدم مشارکت مردمی و عدم آموزش و آشنایی کافی.



# انرژی اقیانوسی

مقدمه

جزر و مد

فناوری انرژی جزر و مدی

توسعه

انرژی جزر و مدی در جهان

تبدیل انرژی گرمایی اقیانوس ها

پتانسیل انرژی حرارتی اقیانوس ها

فناوری تبدیل انرژی حرارتی اقیانوس ها

چرخه باز یا چرخه کلود

چرخه بسته یا سیکل OTEC آندرسون

انرژی امواج اقیانوس ها

موج

دستیابی به انرژی موجی

اثرات زیست محیطی

پیش بینی آینده

تبدیل انرژی امواج بوسیله شناور

ماشین ذخیره شده امواج پرفشار

دیگر ماشینهای امواج

ماشین تولید نیروی نوع دلفینی

راهکار صخره های مرجانی

مشکلات اقتصادی

انرژی خورشید که ممکن است خود به تنهایی مورد استفاده قرار گیرد، دیگر شکلهای انرژی را که همچنین برای تولید نیرو می توانند مورد استفاده قرار گیرند را تولید می کند. یکی از آنها باد است که بر اثر تغییرات دمای خورشید و خنک شدن پوسته زمین در اثر گردش زمین به دور خودش بوجود می آید. دیگری نتیجه جذب انرژی تابشی خورشید توسط دریا ها و اقیانوسها می باشد که سبب وزیدن باد، جریانهای اقیانوسی و تغییرات تدریجی که باعث کاهش دمای سطح آب و پایین رفتن آن بخصوص در آبهای مناطق گرمسیر و حاره ای می شود. اقیانوسها و دریاها تقریباً ۷۰ درصد سطح زمین را در بر گرفته اند بنابراین از آنها نمی توان برای جذب انرژی خورشیدی صرفنظر کرد.

تغییرات تدریجی دما می تواند در یک موتور گرمایی که تولید انرژی می کند مفید باشد. که به آن « انرژی تغییر دمای اقیانوسی » ( OTEC ) می گویند. OTEC ممکن است بعنوان یکی از انرژیهای خورشیدی تغییر شکل پیدا کرده مورد مطالعه قرار گیرند البته تغییرات دمایی OTEC حتی در نواحی گرمسیری کوچک است، سیستمهای ( OTEC ) دارای راندمان خیلی پایینی هستند و در نتیجه دارای هزینه های خیلی زیادی می باشند.

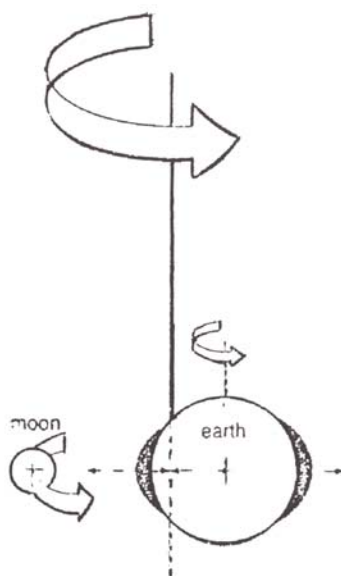
باد دیگر انرژی تغییر شکل پیدا کرده خورشیدی است که سبب تولید امواج اقیانوسی بزرگ و در نتیجه آن تولید انرژی می شود. انرژی امواج اقیانوسی به دومین مرحله تغییر شکل انرژی خورشیدی اطلاق می شود. امواج اقیانوسی متاسفانه دارای وسعت زیاد بوده و در اکثر اوقات و مکانها دارای انرژی و فرکانس بالا شبیه بادهای می باشند. به هر حال مناطقی در جهان وجود دارند که دارای امواج پر انرژی در بیشتر مواقع می باشند.

سومین شکل انرژی که از خورشید نشأت گرفته می شود مکانیسمی از سیستم اقیانوسی است که از تبخیر سطحی آب بوسیله گرمای خورشید جلوگیری می کند. این فرم ابرها هستند که چگالش بخار به باران را شامل می شوند. قسمتی از آن بارش باران در خشکی است که باعث جاری شدن رودخانه ها می شوند که ممکن است در پشت سدها بدون توجه به انواع آن جمع شده و منبع انرژی هیدرولیکی سطح پایین ( رودخانه ) یا دست بالا ( سد ) باشند. انرژی الکتریسیته از هیدروالکترونیک تقریباً ۲۵٪ کل ظرفیت انرژی جهان را در بر می گیرد. بعضی کشورها نظیر نروژ، سوئیس و کانادا بخاطر شرایط توپوگرافی و بارش باران مساعد، از این میانگین بالاتر هستند. در ایالات متحده در سال ۱۹۷۰، ۱۵٪ بوده که این رقم به ۱۰٪ کاهش یافت. چهارمین منبع اصلی انرژی که با مابقی متفاوت است انرژی جزر و مد اقیانوسها است که می توان از آن به عنوان تولید نیرو بهره جست.

## جزر و مد

جزر و مد در اثر جاذبه ماه و خورشید بر زمین و چرخش ماه و زمین به وجود می آید. در دریاها جاذبه ماه ارتفاع آب را در هر دو طرف زمین یعنی نزدیکترین و دورترین فاصله ماه نسبت به زمین، بالا می برد. در شکل-۱ تاثیر ماه و خورشید بر میزان جزر و مد به طور شماتیک نشان داده شده است.

آب دریا در اثر « مد » و گردش زمین به دور خود، به سمت غرب جریان پیدا می کند و به صورت موج های دریا ظاهر می شود که دامنه آن کمتر از یک متر است. اثر جاذبه خورشید بر زمین به سبب بعد فاصله، کمتر از اثر ماه است. بدین ترتیب جزر و مد به صورت منظمی در قالب « امواج قمری » ظاهر می شود.

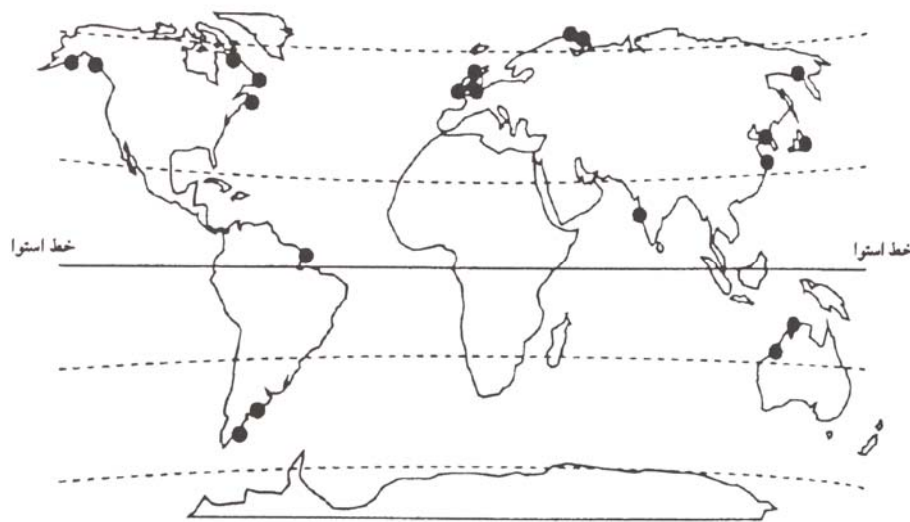


شکل-۱ تاثیر خورشید و ماه بر میزان جزر و مد کره زمین ( بدون مقیاس ) [ ۶ ]

گرفتن انرژی از جزر و مد آب دریا ( استفاده از اختلاف ارتفاع آب بین جزر و مد به وسیله نصب توربین آبی ) هنگامی عملی است که انرژی زیادی به صورت جزر و مدهای بزرگ ( اختلاف ارتفاع زیاد ) و ذخیره کردن آب به میزان زیاد صورت پذیرد و وضعیت محل برای ایجاد نیروگاه جزر و مدی مناسب باشد. بررسی های اخیر میزان انرژی بالقوه جزر و مدی را که اقتصادی باشد، 200TWh در سال برآورد کرده است.

روی کره زمین تقریباً ۲۰ نقطه وجود دارد که انرژی جزر و مدی بالایی برخوردارند که در شکل-۲ نشان داده شده است.

فقط در چند نقطه از جهان که اختلاف ارتفاع بین جزر و مد بسیار زیاد است، استفاده از این انرژی از لحاظ اقتصادی با صرفه می باشد، از جمله بخش هایی از کانال مانش، آب های ساحلی امریکای شمالی و استرالیا و ... چون تعداد این نقاط از ۲۰ تجاوز نمی کند به سختی می توان جزر و مد را یک انرژی جهانی به حساب آورد.



شکل-۲ نقاط عمده روی کره زمین برای توسعه انرژی جزر و مدی [ ۶ ]

به دلایل فنی، کارخانه های تولید برق از جزر و مد تنها با ۲۵٪ ظرفیتش می توانند کار کنند، به همین دلیل جهت حداکثر ظرفیت جهانی انرژی جزر و مد 20GW (گیگا وات) از مجموع 80 GW ظرفیت ممکن است. یک کارخانه بزرگ تولید برق از جزر و مد ساخته شده که در لارنس در ساحل دریای مانش در فرانسه قرار دارد که تولید آن در حدود 60 MW (از مجموع 240 MW ظرفیت ممکن آن) است. (شکل-۳) و از نظر اقتصادی با صرفه می باشد.

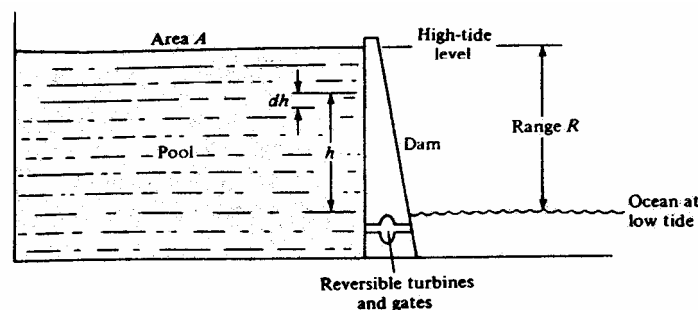
شایان ذکر است در مکان های مناسب در ساحل، هنگام مد یعنی آمدن سطح آب، مقدار زیادی از آب به کانال ها و مخازنی که قبلاً ساخته شده است هدایت می گردد. قبل از اینکه جزر رخ دهد و سطح آب پایین رود، جلوی کانال های ورودی آب را سد می کنند و آب در مخازن باقی می ماند. از اختلاف ارتفاعی که برای سطح آب هنگام جزر کامل به وجود آمده است، برای به حرکت در آوردن توربین آبی و ژنراتور برق استفاده کرده و انرژی الکتریکی تولید می کنند.



شکل-۳ کارخانه تولید برق از جزر و مد به قدرت 60 MW در ساحل دریای مانش فرانسه [ ۶ ]

انرژی جزر و مدی سابقه ای بس طولانی دارد. سوابق به کارگیری این انرژی به وسیله آسیاب هایی که با قدرت جزر و مدی کار می کردند، در سواحل فرانسه، انگلستان و اسپانیا به ۱۱۰۰ سال قبل از میلاد می رسد. با پیدایش انقلاب صنعتی، این آسیاب ها جای خود را به ماشین های احتراقی دادند که با سوخت فسیلی کار می کردند و بازده بهتری داشتند. [ ۷ ]

برای کسب انرژی جزر و مدی روش های مختلفی به کار می رفته است. از جمله آن چرخ آبی، کمپرسورهای هوایی و ... را می توان نام برد. آسیاب های جزر و مدی عبارت بودند از یک حوضچه یا منبع ذخیره آب که هنگام مد از آب پر می شد، سپس از طریق یک چرخ آبی، آب داخل حوضچه به دریا سرازیر می گشت. این سیستم به نام «تک حوضچه ای، تک اثری» موسوم است. ( شکل- ۴ )



شکل- ۴ تولید نیرو به هنگام تغییر سطح در یک سیستم تک حوضچه ای، تک اثری [ ۷ ]

در شکل جدید این سیستم، حوضچه ذخیره آب به دریچه های بالا و پایین رونده، مجهز گشته و به جای چرخ آبی قدیمی از یک توربین آبی مطالعه شده کم ارتفاع استفاده می شود. چرخه عملیاتی این سیستم به چهار بخش زیر تقسیم می شود :

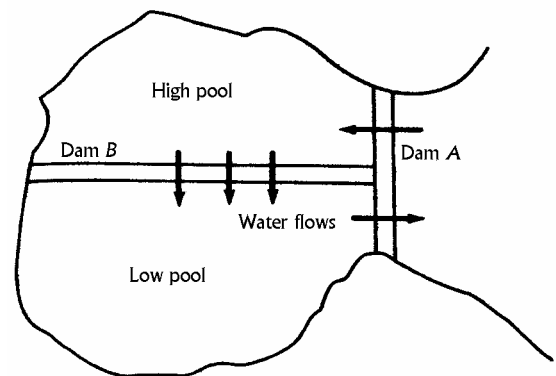
- ۱- پر کردن منبع از آب هنگام مد؛
- ۲- نگاه داشتن آب در منبع تا مد کامل که حداکثر ارتفاع آب حاصل شود؛
- ۳- تخلیه آب حوضچه از طریق توربین آبی به دریا و دادن انرژی لازم به توربین آبی؛
- ۴- توقف و منتظر شدن تا مد کامل مجدد و تکرار مرحله اول.

روش فوق «تولید در جزر» نامیده می شود. زیرا در این مرحله است که می توان کسب انرژی کرد. این چرخه می تواند به عکس شود و دادن انرژی هنگام جریان آب از دریا به حوضچه صورت گیرد. به هر صورت به علت شیبدار بودن سواحل، معمولاً روش «تولید انرژی در جزر» مؤثرتر است.

تولید انرژی دو طرفه، یعنی هم در جزر و هم در مد امکان پذیر است. این روش به سیستم «تک حوضچه ای دو اثره» معروف است.

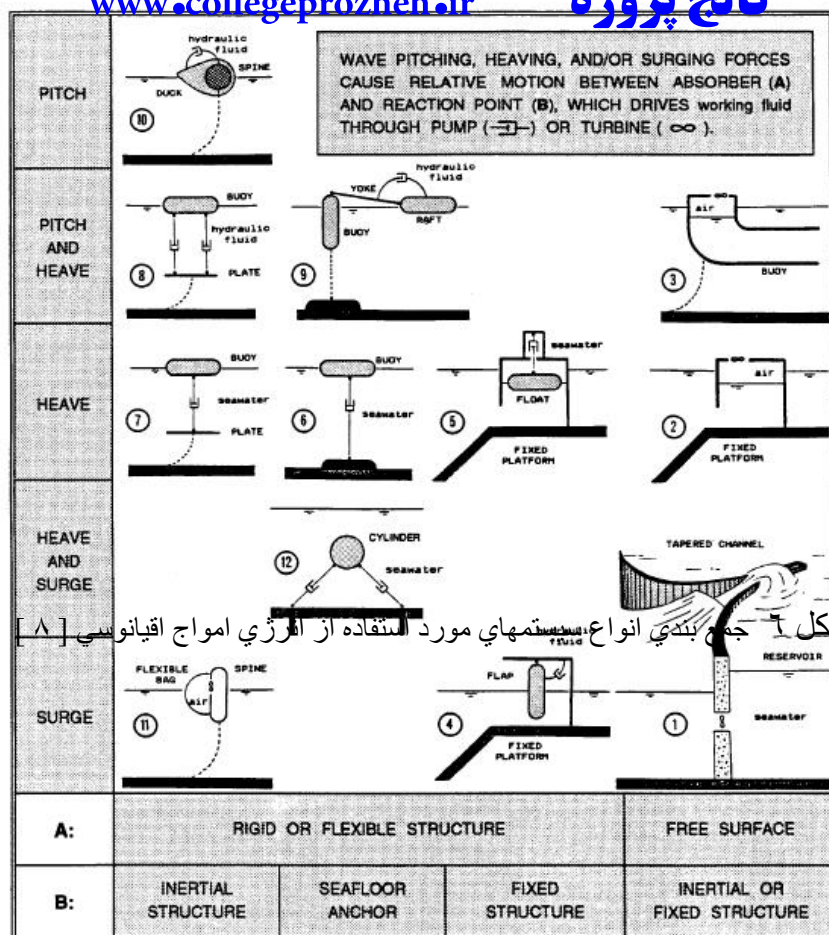


نیروگاه های جزر و مدی بیشتر برای تولید برق طراحی و ساخته می شوند، ولی تحت شرایط خاصی می توان از نیروی آنها به منظور پمپ کردن آب استفاده کرد. یک نیروگاه جزر و مدی تک حوضچه ای در هر بار جزر و مد یک یا دو ریتیم یا ضربان متناوب انرژی تولید می کند. در حال حاضر تعداد نیروگاه های برق جزر و مدی تأسیس شده در دنیا کم است. و اولین و بزرگترین این نیروگاه ها 240 MW قدرت دارد که تک حوضچه ای و دو اثری است و چنانکه گذشت در لارنس کنار دریای مانش در کشور فرانسه قرار دارد. ( شکل- ۵ )



شکل- ۵ و ۴ یک نما از سیستم دو حوضچه ای، دو اثری نیروگاه پیوک 240MW جزر و مدی که در ریور رانس بریتانی، فرانسه ساخته شده. [ ۷ ]

- در این مورد می توان از نیروگاه های جزر و مدی دیگری به شرح زیر نام برد :
- نیروگاه 20MW در آنپولیس ( کانادا ) که برای نمایش از یک توربین آبی با قطر بزرگ و جریان برق مستقیم ( DC ) ساخته شده است.
  - نیروگاه آزمایشی 400KW در کیسلا-کوبا ( شوروی سابق )
  - نیروگاه جیانگ زیا ( چین ) با توان 3.2MW و سرانجام چند نیروگاه جزر و مدی کوچک که همگی در کشور چین قرار دارند.
- با استفاده از تجارب گذشته، این نیروگاه ها را می توان به عنوان منبعی پیشرفته از نظر فنی، با قابلیت اعتماد زیاد و عمر طولانی به حساب آورد.



شکل ۱- جمع بندی انواع سیستم‌های مورد استفاده از انرژی امواج اقیانوسی [۸]

## توسعه

به طور کلی، فناوری جزر و مدی در چند دهه اخیر راه درازی را به سوی پیشرفت و کمال پیموده است.

امکان حذف سدها و هزینه های گزاف ساختمان آنها و همچنین زیان های بالقوه ای که این سدها برای محیط زیست دارند، نظرها را به سوی گرفتن انرژی از جریان های جزر و مدی جلب کرده است.

پیشرفت نیروگاههای جزر و مدی ساخت سدهای پرهزینه را مورد تردید قرار داده است.

در سال های اخیر نیروگاه های کوچک جزر و مدی بسیاری در چین ساخته شده است که بخشی از یک برنامه عظیم استفاده از انرژی های نو بدون مصرف سوخت های فسیلی است. اینکه انرژی جزر و مدی از نظر اقتصادی می تواند با سایر انرژی ها رقابت کند یا نه، هم به محل جغرافیایی نیروگاه و هم به قیمت سایر انرژی ها که به بازار عرضه می شوند، بستگی خواهد داشت.

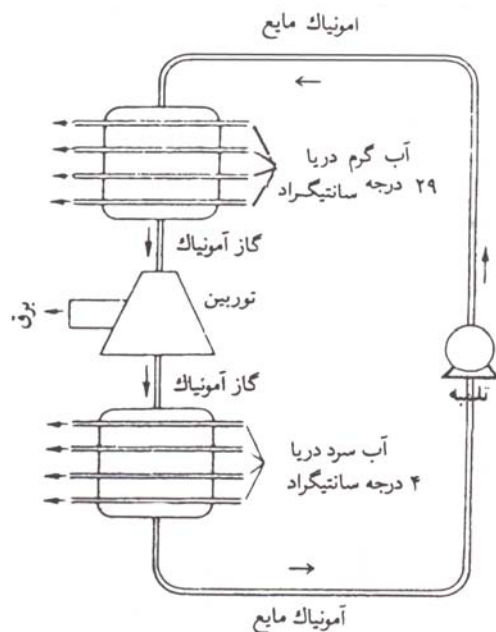
## انرژی جزر و مدی در جهان

در بعضی نقاط جهان محل های مناسبی برای استفاده از انرژی جزر و مدی مورد بررسی قرار گرفته است و امکاناتی برای توسعه آنها وجود دارد. به طور کلی برای استفاده از نیروگاه های جزر و مدی، به سرمایه گذاری کلان و زمان طولانی برای ساخت حوضچه های ذخیره ای جزر و مدی نیاز است.

اقیانوس ها تقریباً ۷۰٪ انرژی خورشیدی را که به کره زمین می رسد جذب می کنند. از اختلاف دمای بین آب های سطحی که بر اثر تابش خورشید گرم می شوند و آب های سرد اعماق اقیانوس ها می توان برای گرداندن توربین و ژنراتور برق استفاده کرد.

شایان ذکر است در یک نیروگاه برق که با بخار آب کار می کند، زغال سنگ، مواد نفتی و یا سوخت هسته ای، حرارتی تولید می نماید که آب را به بخار تبدیل می کند. بخار یک توربین بخاری مولد برق را به حرکت در آورده و تولید الکتریسیته می نماید.

شکل-۷ سیستم نیروگاه برقی را که از اختلاف دمای آب اقیانوس ها استفاده می نماید، نشان می دهد. آمونیاک مایع که نقطه جوش آن پایین است به وسیله تلمبه در یک مدار بسته به گردش در می آید. آمونیاک نخست به وسیله آب گرم اقیانوس، گرم شده و به صورت بخار در می آید و پس از گذشتن از کندانسور که با آب سرد ۴ درجه سانتیگراد دریا کار می کند، به صورت مایع در می آید. گردش آمونیاک مایع به وسیله تلمبه از نو در مدار بسته ادامه پیدا می کند.



شکل-۷ استفاده از اختلاف درجه حرارت آب اقیانوس ها برای تولید برق [ ۶ ]

### پتانسیل انرژی حرارتی اقیانوس ها

در اغلب نواحی حاره و نیمه حاره کره زمین، اختلاف دمای موجود بین آب های سطح دریا و آب های عمق ۱۰۰۰ متری به ۲۰ درجه سانتیگراد می رسد. این اختلاف درجه حرارت به عنوان حداقل اختلاف دمای مورد نیاز برای تبدیل انرژی به شمار می رود. با در نظر گرفتن اقیانوس های روی کره زمین دیده می شود منابع انرژی حرارتی اقیانوس ها که در حدود ۶۰ میلیون کیلومتر مربع وسعت دارند، می توانند بی وقفه به میزان چندین تراوات انرژی تولید نمایند.

البته مقدار انرژی قابل برداشت بسیار کم است، زیرا اغلب مناطق مناسب خیلی دور افتاده هستند و بازده بسیار پایین است. ولی با تمام این عوامل بازدارنده، مقدار انرژی قابل برداشت بسیار عظیم است. شایان ذکر است که بیشترین اختلاف درجه حرارت سطح و عمق دریاها، در مناطق کشورهای در حال توسعه وجود دارد که مردم این مناطق از فناوری پایینی برخوردارند.

## فناوري تبديل انرژي حرارتي اقيانوس ها

نیروگاه هاي « تبديل انرژي حرارتي اقيانوس ها » در دو نوع چرخه کار مي کنند.

- « چرخه بسته »

- « چرخه باز »

در « چرخه بسته » از آب گرم سطح اقيانوس ها براي تبخير يك سيال عامل مانند آمونياك يا فرئون استفاده مي شود. بخار آمونياك يا فرئون به دست آمده، از يك توربين عبور کرده و توليد نيرو مي کند. اين بخار سپس توسط آب سردي که از اعماق دريا پمپ شده است، سرد گشته و به مایع تبديل مي شود و « چرخه بسته » تکرار مي گردد. (شکل-۷)

در « چرخه باز » آب گرم سطحي، به عنوان سيال عامل انجام وظيفه مي کند. اين آب در فشار کمتر از فشار تبخيرش بخار شده و از توربين عبور مي کند و توليد نيرو مي نمايد. اين بخار آب سپس به وسيله آب سرد اعماق اقيانوس سرد گشته و مانند « چرخه بسته » قبل به مایع بدل مي شود و چرخه تکرار مي گردد.

در هر دو حالت بالا عمل تبديل بخار به مایع، ايجاد خلاء مي کند، و موجب مکش بخار به طرف توربين مي شود و ژنراتور متصل به آنرا به حرکت در مي آورد و توليد برق مي کند. حداکثر بازده قابل دسترس پس از تامین مصارف فرعي مانند پمپ کردن آب يا آمونياك حدود ۲/۵ تا ۴/۰ است.

نیرو گاه هاي « چرخه بسته » و « چرخه باز » را مي توان هم روي کشتي و هم در ساحل نصب کرد.

به عکس، انرژي حاصل از امواج و نيز انرژي حاصل از جزر و مد، انرژي حرارتي دريايي منبعي با توان ثابت است. نیروگاههاي OTEC مي توانند به طور نامحدود و دائمي کار کنند و از اين رو براي توليد بار پايه در نیروگاه هاي بزرگ مناسب هستند.

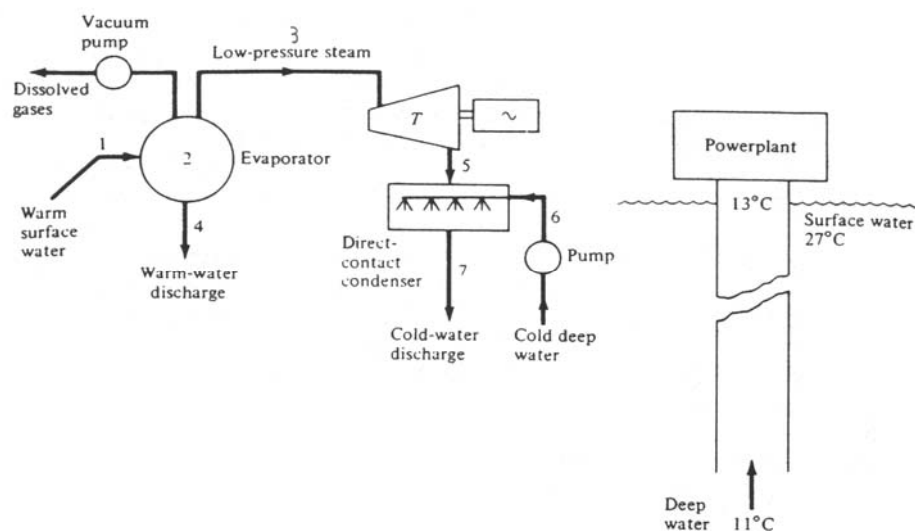
« چرخه باز » به طور طبيعي آب شيرين توليد مي کند. بخار تقطير شده براي تهيه آب شيرين تقريباً عاري از نمک است. در هر دو « چرخه باز و بسته »، آب خنک کننده که از اعماق دريا بالا آورده شده است، سرشار از مواد غذايي بوده و مي توان از آن براي کشت دريايي ( کشت آبي ) استفاده کرد.

در دهه ۱۹۷۰ به سبب بالا رفتن قيمت نفت تلاش هاي تازه اي در راه توسعه استفاده از انرژي هاي دريايي آغاز شد. در حال حاضر تعدادي نیروگاه آزمائشي درحال کار هستند و اين اطمینان به وجود آمده است که در بعضي مکان هاي مناسب، انرژي حرارتي اقيانوس ها يك منبع انرژي قابل اعتماد و « قادر به رقابت » با ساير انرژي ها ست.

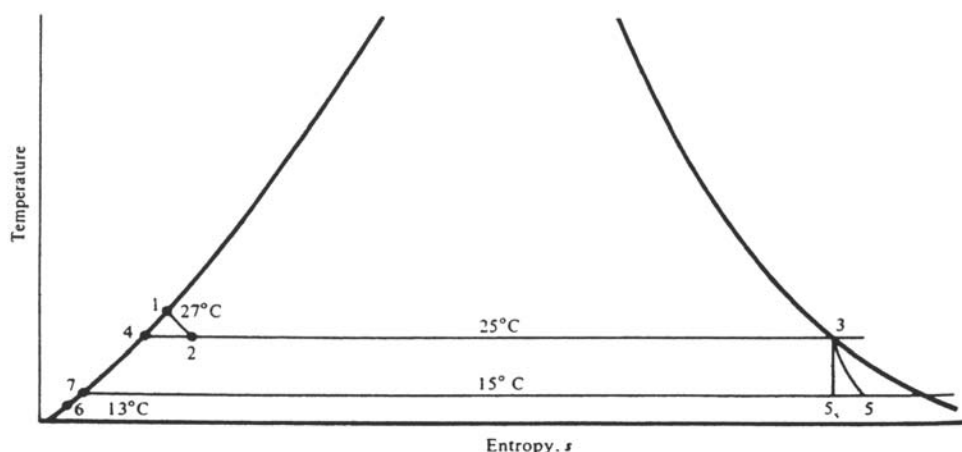
اولین نیروگاه OTEC بوسیله جورج کلود ( Georges Claude ) فرانسوی در سال ۱۹۲۹ در مانتانزاس، کوبا ساخته شد. او از جریانهای آبهای گرم خلیج استریم به عنوان یک منبع گرمایی و از یک زیردریایی واقع در جوار صخره های خلیج که بصورت عمودی تا عمق ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر بعنوان تلف کننده دما پایین رفته بود استفاده کرد.

آب گرم سطحی دارای دمای  $27^{\circ}\text{C}$  ( $80.6^{\circ}\text{F}$ ) بود و آب سرد به وسیله لوله ۲ کیلومتری با قطر ۲ متر و وزن ۴۰۰ تن با دمای  $11^{\circ}\text{C}$  ( $51.8^{\circ}\text{F}$ ) در چرخش بود. دشوارترین قسمت این ساختار لوله های آب سرد آن است دو لوله آن خسارت دیده ولی سومین لوله با موفقیت نصب شد.

نیروگاه کلود از حلقه باز ( حلقه کلود ) استفاده می کرد که در آن آب دریا خودش چند نقش منبع گرمایی، سیال، سرد کننده و کندانسور را بازی می کنند. شماتیک جریان و دیاگرام نظیر به نظیر T-S ( دما – انترپی ) بترتیب در شکل-۸ و شکل-۹ نشان داده شده است.



شکل-۸ جریان دیاگرام و طرح کلی نیروگاه OTEC کلود ( حلقه باز ) [ ۷ ]



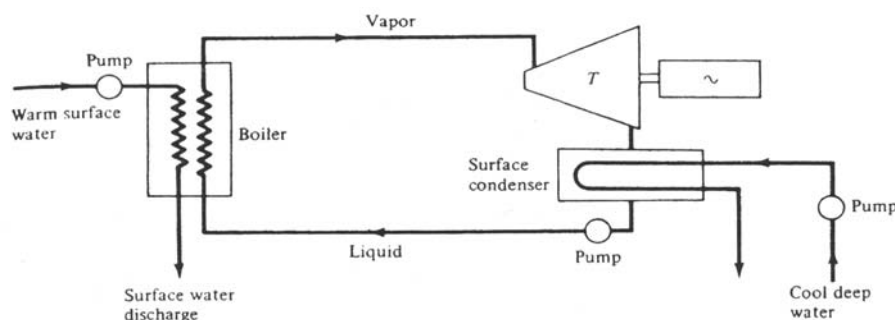
شکل-۹ نمودار نظیر به نظیر شکل-۸ [ ۷ ]

در سیکل نمایش داده شده آب گرم سطح با دمای  $27^{\circ}\text{C}$  ( $80.6^{\circ}\text{F}$ ) وارد تبخیر کننده که فشار را تا حدی کمتر از فشار اشباع نظیر به نظیر دمای آب نگه می دارد می شود. آب وارد شده به تبخیر کننده در فشار جدید بسیار گرم می شود. برای مثال در شکل-۱۰ آب گرم در  $27^{\circ}\text{C}$  دارای فشار اشباع  $0.0356\text{ bar}$  ( $0.517\text{ psi}$ ) در نقطه ۱ است. فشار در تبخیر کننده  $0.0317\text{ bar}$  ( $0.517\text{ psi}$ ) است. که دمای اشباع آن  $25^{\circ}\text{C}$  ( $77^{\circ}\text{F}$ ) است. این آب گرم شده ابتدا فشارش کاهش می یابد که برای تعادل بین دو حالت ماده در فشار و دمای جدید یعنی  $0.0317\text{ bar}$  و  $25^{\circ}\text{C}$  باعث می شود اندکی آب به بخار تبدیل شود. فشار کم در تبخیر کننده بوسیله یک پمپ تخلیه ایجاد می شود این پمپ همچنین گازهای غیر قابل چگالش و غیر قابل حل را از تبخیر کننده جدا می کند.

حال تبخیر کننده حاوی مخلوط آب و بخار با کیفیت پایین در نقطه ۲ است. بخار از آب جدا و به عنوان بخار اشباع شده در نقطه ۳ جدا می شود. باقی مانده در نقطه ۴ جدا شده به اقیانوس باز گردانده می شود. بخار در نقطه ۳ طبق استانداردهای مرسوم نیروگاهی دارای فشار خیلی پایین، حجم مخصوص سیال بسیار بالا ( $43.40\text{ m}^3/\text{kg}$ ) و  $0.0317\text{ bar}$  در مقایسه با  $0.021\text{ m}^3/\text{kg}$  و  $160\text{ bar}$  برای نیروگاههای فسیلی مدرن (می باشد). این امر باعث توسعه یافتن طراحی توربین می شود که می تواند چنین شرایطی را تا نقطه ۵ پیش ببرد. در شکل-۹ فشار و دمای کندانسور در نقطه ۵  $0.017\text{ bar}$  ( $0.247\text{ psi}$ ) و  $15^{\circ}\text{C}$  ( $59^{\circ}\text{F}$ ) است چون توربین بخار سیستم حلقه باز را به اقیانوس بر می گرداند تماس مستقیم با کندانسور را ایجاد می کند که بخار در نقطه ۵ با آب سرد که از اعماق دریا بوسیله لوله ۶ در جریان است مخلوط شده که در نتیجه آب نقطه ۷ نزدیک به اشباع است حال آن آب به اقیانوس بر می گردد. آب سرد برای خنک کردن در سیستم کندانسور که در اعماق دارای  $11^{\circ}\text{C}$  ( $51.8^{\circ}\text{F}$ ) است با دمای  $13^{\circ}\text{C}$  به کندانسور می رسد. این اختلاف دما بین آب گرم خارج و آب سرد داخل لوله باعث بالا رفتن آب سرد بیشتری در لوله می شود. در نیروگاه اولیه کلود لوله آب سرد خیلی بزرگ بود در نتیجه انتقال گرما کم بود. لوله در حدود  $4000\text{ m}^3/\text{h}$  آب را جابجا می کرد که فقط ۱۰٪ آن برای این فرآیند کافی است. [ ۷ ]



اگر چه اولین تلاش برای تولید نیرو از تلفات دمای اقیانوس به سال ۱۹۲۹ توسط سیکل حلقه باز کلود باز می گردد. اولین روش سیکل بسته یا حلقه بسته توسط آندرسون در سال ۱۸۸۱ ثبت شده، که همچنین از آب گرم سطح اقیانوسی و آب خنک اعماق بترتیب بعنوان منبع گرما و مستهلك کننده دما مورد استفاده قرار گرفت است. اما احتیاج به يك مجزا کننده برای کار سیال که دریافت و پس دادن دما بین منبع و خنک کننده (بویلر و کندانسور سطحی) از طریق تبادل دما باشد را احتیاج دارد. (شکل-۱۰)



شکل-۱۰ طرح نیروگاههای اقیانوسی سیکل بسته [۷]

سیال ممکن است آمونیاک، پروپان و یا فرئون باشد. فشار برای اشباع در کندانسور و بویلر خیلی بالاتر از فشار مورد احتیاج برای تبخیر و اشباع سیال می باشد. (تقریباً 10 bar در هر بویلر) و همچنین دارای ظرفیت مخصوص پایین تری نسبت به بخار در نیروگاههای معمولی شبیه به خود دارند (همانطوری که در جدول-۱ دیده می شود)

جدول-۱ (مقایسه بین فشارهای اشباع یا چگالش و ظرفیت مخصوص سیال در دمای پایین) [۷]

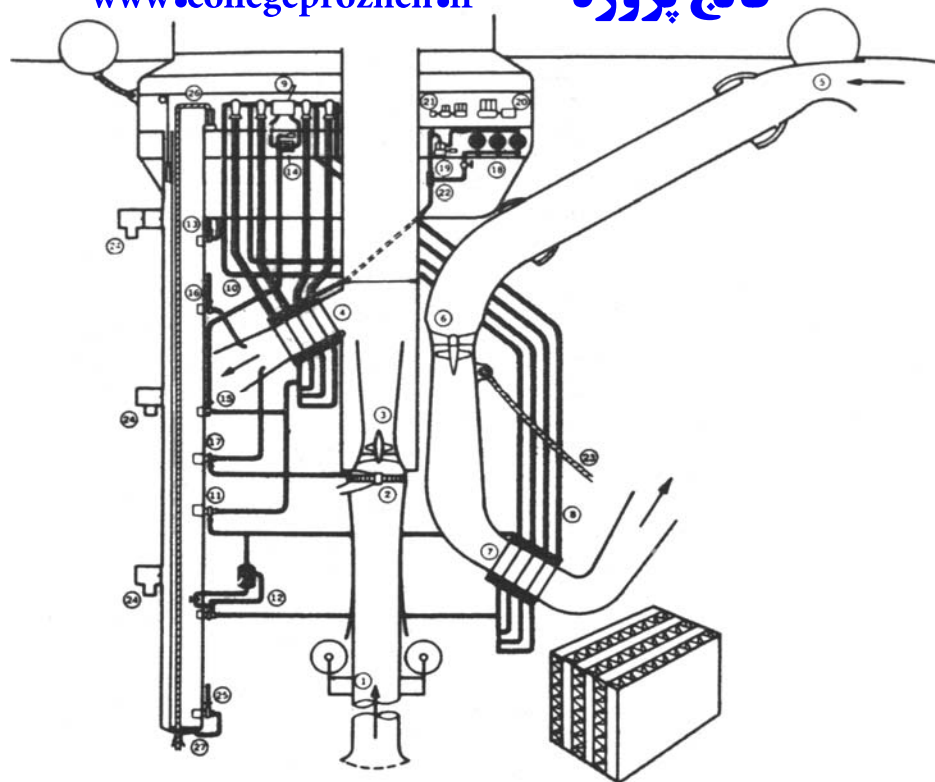
ظرفیت مخصوص، بر حسب $\text{ft}^3/\text{lb}_m$				فشار اشباع بر حسب psia		
$v_g$		$v_f$				
80° F	40° F	80° F	40° F	80° F	40° F	سیال
633.3	2.4458	0.01607	0.01602	0.5068	0.1216	بخار
1.955	3.971	0.0267	0.02533	153.0	73.32	آمونیاک
0.745	1.330	0.0327	0.03055	143.6	77.80	پروپان
0.425	0.792	0.0123	0.0116	98.76	51.68	فرئون-۱۲
Superheated at 2400 psia and 1000° F, $v = 0.321$						بخار



در نتیجه چنین فشارها و ظرفیت های ویژه ای، توربینها کوچکتر شده و از این رو هزینه آنها نسبت به آنهایی که با سیستم حلقه باز کار می کنند کمتر شده است. سیکلهای حلقه بسته همچنین دچار مشکلات تبخیر نیستند. به هر جهت آنها به مبدلهای خیلی بزرگی در بویلر و کندانسور نیاز دارند، زیرا برای راندمان ۲ درصدی برای گرم شدن و دوباره سرد شدن و خروج از نیروگاه زمانی معادل ۵۰ ثانیه مورد نیاز است. بعلاوه اختلاف دما در بویلر و کندانسور باید تا آنجا که امکان دارد پایین نگه داشته شود تا اجازه دهد ماکزیمم اختلاف دمای ممکن از توربین که همچنین قسمت بزرگی از این واحد را به خود اختصاص داده عبور کند. ] ۷ [

شیوه حلقه بسته اولین بار توسط بار جوت در سال ۱۹۲۶ پیشنهاد داده شده است. سیستم حلقه بسته گاهی اوقات سیستم آندرسون نیز خوانده می شود. آندرسون، پروپان را به عنوان سیال با اختلاف دمای  $20^{\circ}\text{C}$  ( $68^{\circ}\text{F}$ ) بین سطح گرم و آب سرد اعماق ۶۰۰ متری (تقریباً ۲۰۰۰ ft) انتخاب کرد پروپان در بویلر در فشار ۱۰ bar (۱۴۵ psi) یا بیشتر تبخیر می شود و در کندانسور در فشار ۵ bar دوباره به مایع تبدیل می شود.

به منظور کاهش مقدار حجم و میزان مواد (و بنابراین هزینه) مبدلهای حرارتی بی اندازه بزرگ ساخته می شوند، در سیستم OTEC آندرسون، انواع نیروگاههای باریک را برای تبادل حرارت به جای انواع معمولی سنگین تر و پرخرج تر مبدلهای لوله و پوسته به کار برده شد. تا به کاهش ضخامت پلیتها (ورقه های آهنی) کمک کند، مبدلهای حرارتی در اعماق جاهایی که فشار آب در هر یک از مبدلهای تقریباً با فشار کار سیال برابر است قرار داده شدند. به عبارت دیگر نیروگاهها باید طوری طراحی شوند که قسمت بیشتری کندانسور در آب قوطه ور شود و در آب مهار شود بنابراین کندانسورها معمولاً از بویلرها بزرگتراند. توربین، پمپ ها، تانکهای ذخیره سازی، کمپرسورها و دیگر تجهیزات نیروگاهی باید در سکوی میانی نصب شوند. شکل-۱۱ یک نیروگاه شناور را نشان می دهد. توجه شود که به ترتیب آب سرد از لوله آب سرد ۱ به کندانسور ۴ می رسد این لوله تا عمق ۲۰۰۰ ft (در حدود ۶۱۰ متر) زیر سطح اقیانوس ادامه دارد. کندانسور بالای بویلر قرار دارد، آب گرم سطحی از یک دهانه لوله سطحی ۵ که توسط یک شناور نگهداری می شود. اساس کار این نیروگاه بر پایه اختلاف دمای  $20^{\circ}\text{C}$  ( $68^{\circ}\text{F}$ ) بین آب گرم و سرد و پروپان بعنوان سیال استوار است. ۱۴ درصد نیروی ناخالص تولیدی پیش بینی شده که صرف انرژی مورد نیاز سیستم شود. ابعاد این نیروگاه براساسی عظیم الجثه می باشد.



شکل- ۱۱ نیروگاه شناور سیکل حلقه بسته. [ ۷ ]

### انرژی امواج اقیانوس ها

در امواج اقیانوس ها 3TW انرژی نهفته است. امواج دریای شمال در اروپا در سال به طور متوسط به ازای هر متر طول، 40KW انرژی در ۳۰ درصد اوقات و حدود 10KW در ۷۰ درصد اوقات در خود نهفته دارد. در مورد اینکه چه مقدار انرژی می توان از امواج به دست آورد، برآوردهای مختلفی انجام گرفته است. به موجب یکی از این برآوردها، این مقدار 100GW در تمامی اقیانوس های کره زمین است. برآورد دیگری حاکی است که تنها در سواحل انگلستان مقدار 120GW انرژی قابل حصول است. [ ۶ ]

از سال ۱۹۶۵ در ژاپن، از نوعی سکوی راهنمای کشتیرانی استفاده می شود که به کمک انرژی امواج دریا کار می کند و مخترع آن یک مهندس ژاپنی به نام «یوشوماسودا Yosho Masuda» است. در این سکو از حرکت امواج به طور متناوب برای مکیدن هوا و پمپ کردن آن به درون یک توربین بادی فشار ضعیف استفاده می شود. این توربین نیز یک ژنراتور برق را به کار می اندازد. جریان برقی که به این ترتیب به دست می آید، برای تامین برق چراغ های سکوی راهنما کافی است.

روش فوق برای تولید برق مصنوعی سکوی آزمایشی بزرگتری به نام «کای می KAIMEI» (شکل- ۱۲) که متحرک و شبیه کشتی است و به وسیله «مرکز علوم و تکنولوژی دریایی ژاپن» طراحی شده، به کار می رود.



شکل-۱۲ سکوی راهنمای کشتیرانی که متحرک بوده و برق مورد نیاز آن از نیروی امواج دریا تأمین می شود [ ۶ ]

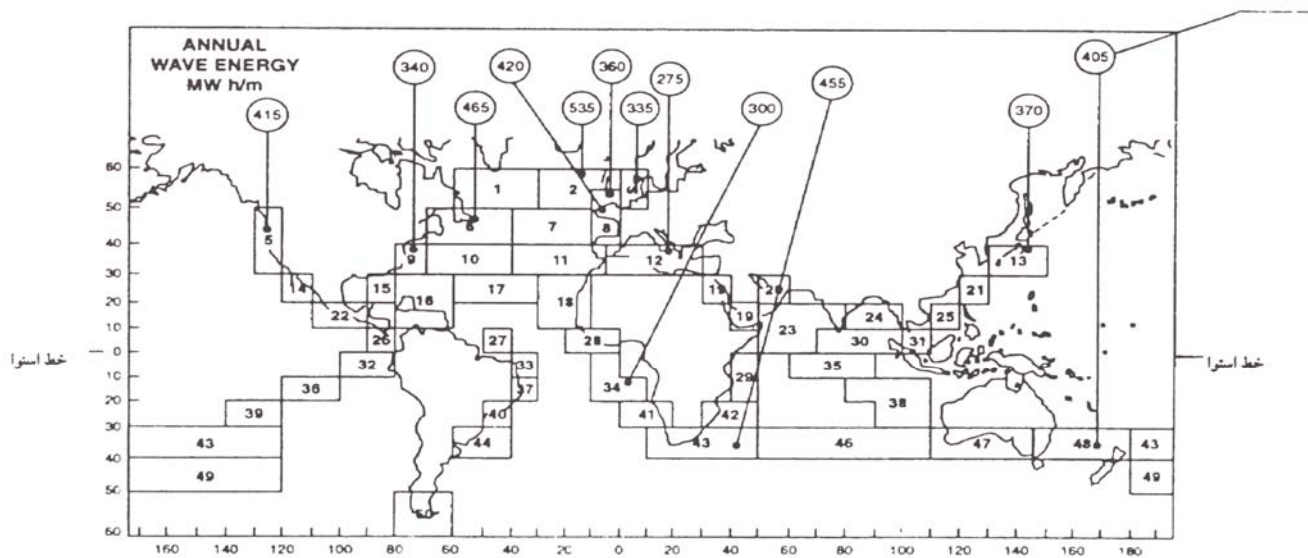
## موج

موج در اثر انتقال انرژی باد به آب دریا و حرکت نوسانی آن یعنی بالا و پایین رفتن آب به وجود می آید. نرخ این انتقال انرژی به سرعت باد و همچنین به مسافتی که در طول آن باد با سطح آب در تماس است بستگی دارد. موج ها به سبب جرم آبی که  $(M)$  نسبت به ارتفاع سطح متوسط دریا  $(H)$  جابجا می شود، دارای انرژی پتانسیل  $(MGH)$  بوده و همچنین به خاطر سرعت ذرات آب  $(V)$  که حمل می شوند، دارای انرژی جنبشی  $\left(\frac{1}{2}MV^2\right)$  هستند.

این انرژی ذخیره شده از طریق اصطکاک و توربولانس که بستگی به ویژگی امواج و عمق آب دریا دارد تلف شده و از بین می رود. موج های بزرگ در آبهای عمیق، انرژی خود را به آهستگی از دست می دهند.

یک موج توسط ارتفاع  $(H)$ ، طول  $(L)$  (فاصله بین دو قله متوالی موج) و دوره تناوب آن  $(T)$  (زمان طی شده بین دو قله متوالی) مشخص می شود. قدرت موج معمولاً برحسب کیلو وات بر متر بیان می شود و آن عبارت از نرخ انتقال انرژی آب در عرض ۱ متر موازی با جبهه موج است. (جبهه هر موج عمود بر حرکت طولی آن موج است.)  
بادهای شدید در نیمکره شمالی و نیمکره جنوبی بین عرض های جغرافیایی ۴۰ تا ۶۰ درجه می وزند. بادهای با سرعت کمتر در هر دو نیمکره بین عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و خط استوا با نظم نسبی که دارند موج های بالقوه جذابی را ایجاد می کنند.  
سواحل از دریا که در معرض بادهای غالب قرار دارند، احتمالاً دارای بزرگترین دانسیته موجی هستند.

(شکل-۱۳) دانسیته انرژی سالانه موج را بر حسب  $MWh/m$  روی ۱۲ نقطه از کره زمین نشان می دهد.



شکل-۱۳ انرژی سالانه امواج در مناطق خاص روی کره زمین [ ۶ ]

### دستیابی به انرژی موجی

ساده ترین شکل « جمع کننده انرژی » امواج عبارت است از « انبان شناور ناقوسی » شکل که در آن حرکت انبان هوا را با فشار از داخل یک محفظه، به خارج می راند. قرار دادن یک توربوژنراتور بادی در محفظه، دستگاه را قادر به تولید برق می کند. ژاپن در سال های ۱۹۷۸ و ۱۹۷۹ انبان هایی را با قدرت خروجی 500KW به کار گرفت که بعضی از آنها هنوز کار می کنند. یک ژنراتور فانوس دریایی به قدرت 3KW نیز در سال ۸۴-۱۹۸۳ طراحی و ساخته شد. به علاوه یک انبان ۱۲۰ تنی مورد آزمایش قرار گرفت که قادر به تولید 300KW برق بود.

تا زمانی که اطلاعات بیشتری در مورد عملکردها و طول عمر سیستم های موجی به دست نیامده است، نباید انتظار افزایش سریع ظرفیت نصب شده را داشت. بنابراین ظهور فناوری تکامل یافته و قابل اعتماد در زمینه « انرژی امواج » به زمان احتیاج دارد.

اداره انرژی انگلستان پس از ۱۵ سال تحقیق و با در نظر گرفتن تحقیقات جهانی در مورد انرژی امواج به این نتیجه رسیده است که تجهیزات دور از ساحل در مقیاس بزرگ اقتصادی نیستند و بهتر است تلاش ها روی سیستم های با مقیاس کوچک که در خط ساحلی نصب می شوند، متمرکز گردد.

انرژی امواج موضوعی تازه و بکری است و میدان تحقیقات و فناوری در آن وسیع است. تنها در انگلستان بیش از ۲۰۰ روش برای کسب انرژی از امواج بین سال های ۸۵-۱۹۷۴ آزمایش شده است.

## اثرات زیست محیطی

انرژی حاصل از امواج دریا اصولاً محیط زیست را آلوده نمی سازد و به هر میزان که جایگزین سوختهای فسیلی شود از آلوده شدن محیط زیست خواهد کاست. تنها خطری که احتمال وقوع آن وجود دارد، تداخل با ترافیک کشتی های اقیانوس پیماست که با انتخاب درست محل های استقرار و به کارگیری وسایل و علائم ناوبری قابل پیشگیری است.

## پیش بینی آینده

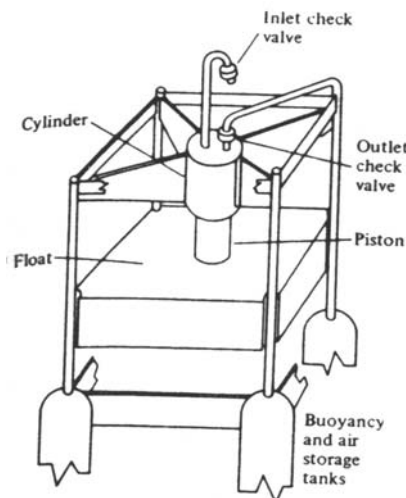
انرژی امواج در سواحل که در معرض بادهای غالب مناطق حاره و معتدل قرار گرفته باشند، قابل استفاده است.

روش های مختلفی برای کسب انرژی از امواج وجود دارند. در اینجا باید گفت فناوری انرژی موجی تکامل نیافته و جوان است و احتیاج به تحقیق و بخصوص حمایت مستمر دولت ها دارد.

پیش بینی می شود توسعه انرژی موجی تحت شرایط مساعد به 12TWh در سال برسد. پیش بینی می شود تا ۲۰۲۰ تنها بخش کوچکی از پتانسیل موجی در نواحی ساحلی توسعه پیدا کند.

## تبدیل انرژی امواج بوسیله شناور

حرکت امواج آب اصولاً افقی است ولی حرکت خود آب عمودی می باشد. حرکت اخیر را می توان توسط شناورها به نیروی مکانیکی تبدیل کرد. روش کار، یک شناور بزرگ است که توسط نیروی امواج آب به بالا و پایین در یک مسیر ثابت حرکت می کند. این حرکت رفت و برگشتی به انرژی مکانیکی و سپس انرژی الکتریکی تبدیل می شود. یک سیستم پیشنهادی توسط مارتین در شکل-۱۴ نشان داده شده است.



شکل-۱۴ طرح یک سیستم شناور مبدل نیروی امواج به مکانیکی [ ۷ ]

يك شناور چهار گوش توسط نيروي آب به سمت بالا و پايين حركت مي كند و بوسيلة چهار لوله عمودي كه قسمتي از يك سكوي باشند هدايت مي شوند. سكو بوسيلة آب و چهار مخزن شناور زير آب تثبيت شده اند بنابر اين توسط نيروي شناوري حمايت مي شوند و جابجايي افقي و عمودي سكو كه توسط امواج آب اتفاق مي افتد كاملاً بي اهميت است. بنابر اين سكو به نظر مي رسد حتي در امواج بزرگ دريايي نيز نسبتاً ساكن و ثابت باشد. پيشنهاد مي شود كه سكو از پلاستيك فشرده با هسته اسفنجي ساخته شود تا به استحكام و جرم حتمي خواسته شده برسد.

سيلندر به دليل وصل بودن به سكو ثابت است و پيستون كه به شناور متصل است درون سيلندر حركت رفت و برگشتي بالا و پايين دارد. سيلندر و پيستون در حركت رفت و برگشتي خود براي كمپرس هوا مورد استفاده قرار مي گيرند. حركت رو پايين، پيستون هوا را به داخل خود مي كشد و حركت رو به بالا، هوا را فشرده كرده و به داخل چهار مخزن شناور زير سكو مي فرستد. هواي فشرده شده در مخازن شناور براي به حركت درآوردن توربين بادي در ژنراتورهاي الكتريكي مورد استفاده قرار مي گيرد. جريان الكتريكي از طريق زيردريا بوسيلة كابل برق به ساحل منتقل مي شود. مشكلات اين طرح نسبت به ساير طرحها به قرار زير است :

- ۱- امواج كاملاً سينوسي نيستند؛
- ۲- در مد آب بعضي وقتها مجراي ورودي هوا در موجهاي بزرگ به زير آب مي رود؛
- ۳- ورود آب به داخل توربين؛
- ۴- مشكلات مواد مانند هزينه و خوردگي ( كه ممكن است قسمتي از آن بوسيلة استفاده از مواد پلاستيك فشرده رفع شود )؛
- ۵- طراحي مقاوم در برابر طوفان ها؛
- ۶- رشد گياهان دريايي؛
- ۷- انتقال نيرو به ساحل؛ [ ۷ ]

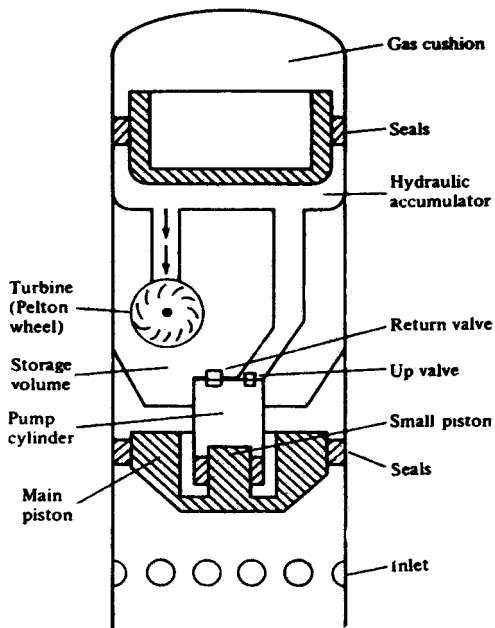
### ماشين ذخيره شده امواج پرفشار

در اين ماشين بجاي فشرده كردن هوا خود آب فشرده مي شود و در مخازن پرفشار ذخيره مي شود و يا به استخر و مخازن در ارتفاع بالاتر پمپ مي شود و در زمان لازم به سمت توربين آبي، جاري مي شود.

اين كار به وسيله تغيير حجم مخزن آب از كم فشار در اثر كاهش حجم مخزن در پيك امواج با استفاده از پيستونهاي تركيبی انجام مي شود.

اين پيستون از يك پيستون اصلي با قطر بزرگتر و يك پيستون فرعي با قطر كوچكتر كه در مركز قرار دارد ، تشكيل شده است .

در اول، ( شکل-۱۵ ) که مخزن هیدرولیکی است، پیستون اصلی بزرگتر آب را به داخل سیلندر ژنراتور در هنگامی که پیستون کوچکتر درون سیلندر نیرو وارد می شود وارد می کند. [ ۷ ]

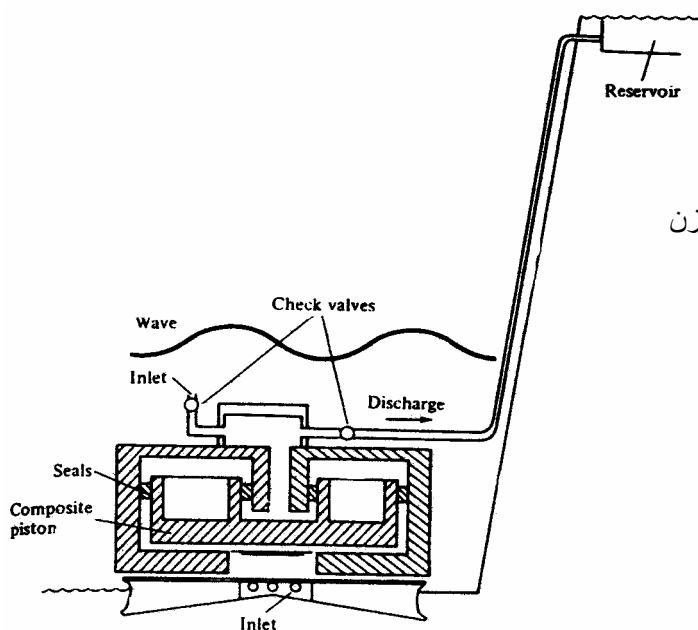


شکل-۱۵ طرح يك ماشين مخزن هیدرولیکی امواج [ ۷ ]

آب از میان فضاي باز در زیر وارد می شود، از این رو سبب می شود سیلندر اصلی به سمت بالا و پایین حرکت کند. و يك حلقه بسته در بالا در پیستون کوچکتر بوجود می آورد.

آب با فشار بالا از میان دریچه هیدرولیکی موجود است. که همچین فشار آب را بالا نگاه می دارد. آب فشار بالا توسط توربینهای هیدرولیکی پلتون و فرانسيس يك ژنراتور الکتریکی را می چرخاند و سپس از طریق يك

محفظه در زیر توربین تخلیه می شود. در برگشت موج پیستونهای ترکیبی بوسیله گاز فشرده شده در بالای پیستون اصلی که به صورت يك فنر عمل می کند به سمت پایین حل داده می شود. آب تخلیه شده مخزن توربین حالا دوباره به داخل پیستون ترکیبی مکیده می شود. و این سیکل دوباره تکرار می شود. يك راه کارپیشنهادي دیگر برای آکومولاتور پر فشار راه کار مخزن در ارتفاع بالا است. شکل-۱۶ يك طرح پیستون تقویتی استفاده شده اما آب فشرده شده تا به استخر طبیعی بالای ژنراتور امواج یا يك حوضچه ساختگی بالا برده شده است. این استخر باید نزدیک خط ساحلي باشد. آب موجود در استخر جریانی را در برگشت آب دریا از میان توربین بوجود می آورد. محاسبات نشان داده که ژنراتور با قطر ۲۰ متر از این نوع 1MW تولید می کند.



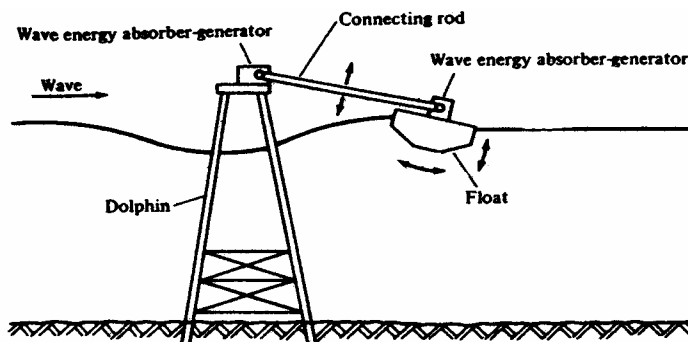
شکل-۱۶ طرح يك ماشين امواج با يك مخزن در ارتفاع [ ۷ ]



اگر چه آکومولاتور هیدرولیکی یک قطعه شناور است اما استخر در ارتفاع ماشینی کاملاً ثابت است. مشکلاتی که باید حل شود حرکت و ارتعاشات و نوسانات در تجهیزات می باشد. [ ۷ ]

### دیگر ماشینهای امواج ماشین تولید نیروی نوع دلفینی

اساس طرح ژنراتور تولید نیروی نوع دلفینی تحقیقات تسو ( Tsu ) آزمایشگاه ژاپنی می باشد. قطعات اصلی این سیستم ( شکل-۱۷ ) یک باله، یک شناور و یک میله اتصال و دو ژنراتور الکتریکی است.

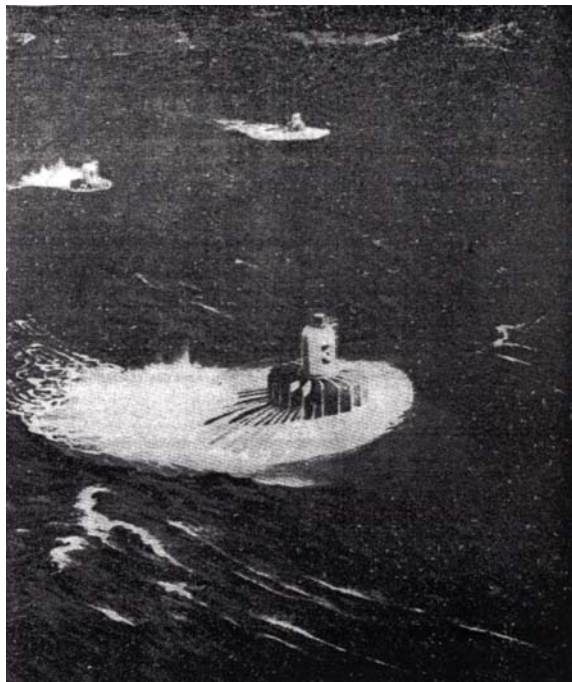


شکل-۱۷ طرح یک ژنراتور امواج از نوع دلفینی ( تحقیقات آزمایشگاه Tsu ) [ ۷ ]

شناور دارای دو نوع حرکت می باشد. اولین حرکت دوران حول محور طولی است که توسط یک تکیه گاه به میله اتصال وصل شده است. که سبب می شود حرکتی نسبتاً تکراری در اطراف بین شناور و میله اتصال انجام شود. و دیگری یک حرکت تقریباً عمودی یا حرکت رو به بالا و پایین در اطراف تکیه گاه میله اتصال می باشد که سبب می شود حرکتی نسبتاً تکراری بین میله اتصال و باله ثابت انجام شود. هر دو سبب می شوند که حرکت تقویت شود و توسط چرخ دنده ها تبدیل به حرکت دورانی شده و دو ژنراتور الکتریکی را به حرکت در می آورند. اگر موج ارتفاعی در حدود ۲ متر با پریود نوسان ۶ ثانیه داشته باشد نیروی خروجی از این خط حدود 100KW/m خواهد بود. بنابراین در یک صف ۱ کیلومتری چیزی حدود 10MW برق تولید خواهد شد. [ ۷ ]

### راهکار صخره های مرجانی

دستگاه صخره مرجانی دستگاه مبدل نیروی موج ( شکل-۱۸ ) می باشد که توسط ورت و مورو از شرکت لاکید در بربانک کالیفرنیا طراحی شد. این وسیله حجیم و محکم بود که توانسته در شرایط نامساعد یعنی پیچیدگی و شکنندگی موجهای بزرگ دریا بر دیگر تجهیزات غلبه کند. این به این معنی است این دستگاه به اندازه ای محکم می باشد که می تواند در هر طوفان اقیانوسی سالم بماند.



شکل-۱۸ مقطع عبوری امواج از ماشین صخره مرجانی را نشان می دهد. (دستگاه لاکید) [۷]

نام صخره های مرجانی از این حقیقت مشتق می شود که آنها دارای بعضی از ویژگی های صخره های مرجانی و سدها را دارا هستند. اصل و سرچشمه عملکرد آن بر این اصل استوار است، که امواج در عمل به صخره های کوچک مرجانی ( جزایر کوچک آتشفشانی )

در اقیانوس نزدیک می شود. این صخره ها امواج را به تمام قسمتهای اطراف خود منحرف می کند. در انتها در یک مسیر حلزونی در مرکز توربین را قبل از خروج از پهلوی به خارج توربین را به حرکت در می آورند. یک واحد با ماکزیم قطر ۸۰ متر و ارتفاع ۲۰ متری در یک دوره موج ۷ الی ۱۰ ثانیه ای قابلیت تولید ۱ تا ۱/۵ مگاوات برق را دارا است. شکل-۱۹ طرحی از یک مزرعه تولید انرژی به روش صخره های مرجانی را نشان می دهد.

### مشکلات اقتصادی

هزینه سرمایه گذاری در نیروگاه های OTEC حدود ۱۰۰۰۰ دلار برای هر KW است. پیش بینی می شود که این نیروگاه ها را بتوان به راحتی برای کارکردن بون مراقبت مکانیسم طراحی نمود. بنابراین هزینه بهره برداری از این نیروگاه ها پایین خواهد بود. در حال حاضر قیمت هر KWh این انرژی حدود ۱۲ سنت آمریکاست. با این وصف این انرژی نمی تواند با تولید انرژی الکتریسیته از طریق سوخت های فسیلی رقابت کند، اما می تواند در مناطق دور افتاده که از ژنراتور های برق دیزلی استفاده می شود رقابت نماید. در مناطقی که بازار فروش آب شیرین وجود داشته باشد، قیمت برق تولیدی از نیروگاه های « چرخه باز » به میزان قابل توجهی پایین خواهد آمد. با فناوری جدید و آینده درخشان آن، احتمال کاهش در هزینه سرمایه گذاری « انرژی حرارتی دریا ها » پیش بینی می شود. تحقق بخشیدن به چنین دورنمایی نیازمند بهینه کردن مواد ساختمانی نیروگاه ها و حمایت مستمر دولت از تحقیق و توسعه است. به طور کلی می توان نتیجه گرفت، در دراز مدت « انرژی حرارتی دریاها » در مقابل تولید انرژی الکتریکی سنتی قادر به رقابت باشد.

بطور کلی استخراج انرژی از :

- جزر و مد
- امواج
- اختلاف حرارت آب دریاها.

به مقیاس زیاد سرمایه بر است و این امر ناشی از پایین بودن دانسیته انرژی های دریایی است. گرچه با پیشرفت فناوری امکان کاهش هزینه ها وجود دارد، ولی همچنان توسعه این منابع انرژی بسیار محدود است. منابع انرژی دریایی به طور کلی در تمام کاربردها تمام ناشدنی و غیر آلاینده هستند و از آنجا که هیدروکربن نمی سوزانند، بی خطر تلقی می شوند. در مورد تولید برق از جزر و مد، طرح هایی که مستلزم ساختن حوضچه های ذخیره آب در نشیب رودخانه ها هستند، چنان صدمات زیست محیطی ای به زیستگاه های طبیعی وارد می کنند که اصولاً جذابیت خود را از دست داده اند.



# انرژی خورشیدی

مقدمه

تاریخچه

تشعشع خورشیدی

تشعشعات خورشیدی

سیستمهای تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریسیته

تبدیل انرژی گرمایی خورشید به الکتریسیته

تبدیل فتوولتاییک

سیستمهای ریسور مرکزی گرمای خورشیدی

هلیوستات ها

زمین هلیوستات

کنترل هلیوستات

ریسور

راندمان ریسور

سیستم انتقال گرما

سیستم نگهداری گرمایی

تجربه جهانی

نیروگاههای هیبریدی

تبدیل سیکل استرلینگ

سیستمهای سیکل مرکب ( بهم پیوسته )

تبدیل انرژی فتوولتاییک

سیستمهای تولید توان خورشیدی ماهواره

از تمام منابع انرژی تجدید پذیر بیشترین توجه به انرژی خورشیدی در دهه ۱۹۷۰ انجام شد. بیشترین توجه به آن بعنوان يك راه حل برای کاهش استفاده از منابع فسیلی و سوختهاي هسته اي برای يك محیط زیست پاکیزه تر شد.

انرژی خورشیدی، در سايه عمومي انرژی پتانسیلی دارد که برای تهیه انواع انرژی می توان ذخیره کرد: الکتریکی، حرارتی، شیمیایی و هر سوخت قابل حمل و نقل. به هر حال انرژی خورشیدی، قابل گسترش، قابل چرخش و معمولاً غیر وابسته است. بنابراین به سیستمها و قطعاتی نیاز دارد که بتوانند بزرگ شوند و راندهانشان برای تبدیل به هر گونه از موارد استعمال فوق که امکان داشته باشد تبدیل شوند. بیشتر مواد سازنده برای جمع آوری و تغییر شکل تشعشعات خورشیدی استفاده می شود خواه انرژی گرمایی و یا فتوولتایی باشد به هر صورت انرژی شان بسیار بیشتر می شود. برای مثال مقدار زیادی انرژی برای تبدیل سنگ معدن به محصولات زیر مانند: آلومینیوم، فولاد، مس، بتن، شیشه و پلاستیک لازم است. تبدیل مستقیم انرژی خورشیدی به الکتریسیته (فتوولتاییک) به پروسه شتابدهنده که از ماسه کریستال سیلیکون است نیاز دارد. هر دو سیستم تبدیل انرژی، تشعشعات را جمع آوری کرده و به انرژی قابل استفاده (گرمای خورشید و فتوولتاییک) تبدیل می کند.

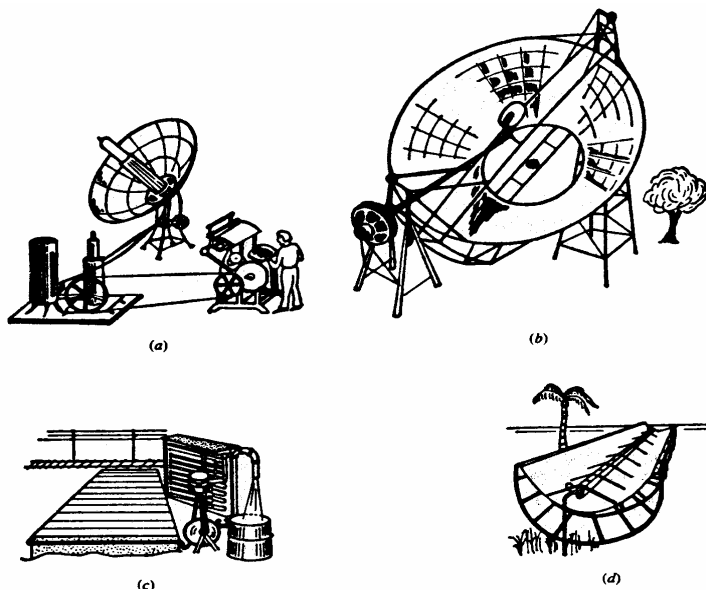
يك ارزیابی منطقی از انرژی خورشید نشان می دهد که دارای ارزش هاي بسیار زیادی است. ارزشها بر دو نوع اند: ۱- ارزش پولی محصولات تولید شده و فراهم کردن آن برای ورود به سیستمهاي قابل کارکرد ۲- مقدار منابع انرژی مرسوم اعم از زغال سنگ، نفت، گاز طبیعی و سوخت هاي هسته اي که باید در پروسه هاي تولیدی محصولات فوق و در ساختمان سیستم ها مصرف شود.

### تاریخچه

در کل، نیاز انسان به انرژی خورشیدی غیر قابل انکار است. نور خورشید باعث رشد همه گیاهان شده و آب تازه برای گیاهان و بقای انسان تولید می کند. بعلاوه آن بعنوان منبع گرمازا در زندگی مردم هزاره اول بوده و آزمایشات جدی برای استفاده از آن برای تولید انرژی بطور ویژه در قرن هیجدهم شروع شد. در سال ۱۷۷۴ ژوزف پریستلی روی اکسید جیوه مطالعه کرد. نتیجه آن يك گاز بود که به روشنی يك شمع می سوخت. این آزمایش منجر به کشف اکسیژن گشت.

يك قرن بعد ، يك دستگاه تقطير نسبتاً خورشيدی در شمال صحرای شیلی نصب شد . آن زمینی به مساحت  $4800 \text{ m}^2$  را در بر گرفته بود و شامل سقفهای شیشه ای تخت شیبی بود که اشعه خورشید از آب زیر سقفها عبور می کرد . آب بخار شده در زیر شیشه ای که از آن عبور می کرد و سرد کننده بود کندانس می شد و در کانالها جمع می شد . دستگاه در هر روز در حدود  $25 \text{ m}^3$  آب تقطیر شده تولید می کرد و در يك معدن نیترات استفاده می شد . دستگاه ۴۰ سال کار کرد یعنی تا وقتی که معدن تمام شد .

تبدیل انرژی خورشیدی به مکانیکی برای اولین بار در نمایشگاهی در پاریس در سال ۱۸۷۸ هنگامیکه نور خورشید بر روی يك بویلر که بخار تولید می کرد متمرکز شده بود و يك موتور بخار كوچك را تغذیه می کرد و آن يك دستگاه چاپ را بکار می انداخت شرح داده شد . در سال ۱۹۰۱ يك مبدل بزرگتر (  $6 \text{ m}^2$  ) به فرم يك مخروط ناقص برای يك موتور  $4.5 \text{ hp}$  ، بخار تولید می کرد . در سالهای ۱۹۰۷ و ۱۹۱۱ نزدیک فیلادلفیا ، اف . شامن موتورهای بخار خورشیدی در چندین اسب بخار ساخت که برای پمپاژ آب بکار می رفت . در سال ۱۹۱۳ شامن با همکاری سی . وی . بویز يك موتور بخار خورشیدی بزرگتر با قدرت  $50 \text{ hp}$  ساخت که بسیار بلند و بصورت شلجمی بود و اشعه خورشید را به يك لوله که در مرکز آن بود فوکاس می کرد (با نسبت تمرکز  $4/5$  ) . موتور آب نیل ، نزدیک کایرو را برای آبیاری ، پمپ می کرد . ( چهار سیستم توضیح داده شده در بالا در شکل ۱ نمایش داده شده است . )



شکل- ۱

چهار سیستم

توضیح داده شده

در بالا [۷]

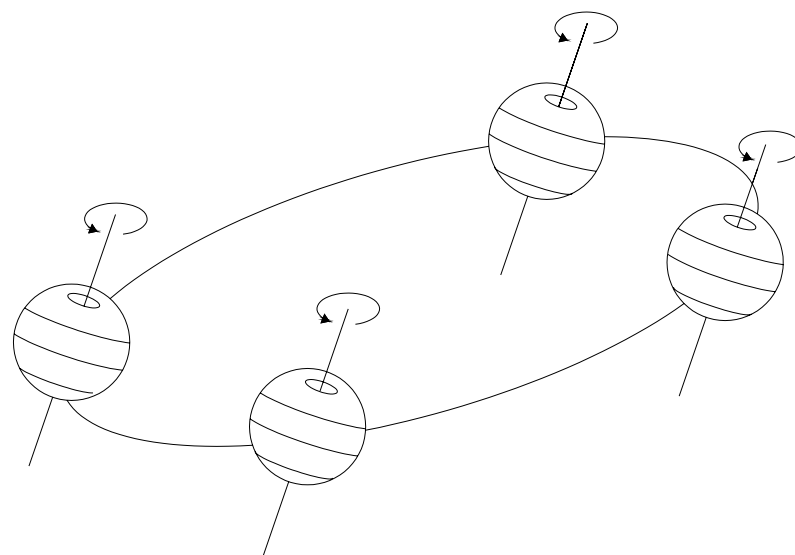
در تلاشهای بعدی برای تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریکی دستگاهی توسط جی . ای . هرینگتون در سال ۱۹۱۵ در نیومکزیکو ساخته شد . نور خورشید بر روی یک بویلر متمرکز می شد که یک موتور بخار را حرکت در می آورد و آب را به داخل یک تانک که در ارتفاع ۶ متری قرار داشت و  $19 \text{ m}^3$  حجم داشت هدایت می کرد . آب ذخیره شده به سمت پایین حرکت می کرد که یک توربین آبی را بچرخاند و آن متصل به یک ژنراتور بود که چند لامپ کوچک در یک معدن کوچک را تغذیه می کرد .

به هر حال رقابت بین سوختهای فسیلی ارزان و فعالیتهای کوچک در زمینه پیشرفت انرژی خورشیدی بیش از ۳۰ سال به طول انجامید اما نتوانست جایگزین آن شود .  
تشعشع خورشیدی

مقدار کل انرژی خورشیدی که به زمین می رسد زیاد است . چرخش زمین و مدار چرخش زمین به دور خورشید هر روزه و بصورت فصلی صورت می گیرد . آن همچنین از تداخل جوی از ابرها مواد ویژه ، گازها و . . . عبور می کند . در این بخش ما انرژی که از آنطرف اتمسفر به زمین می رسد مورد توجه قرار می دهیم .

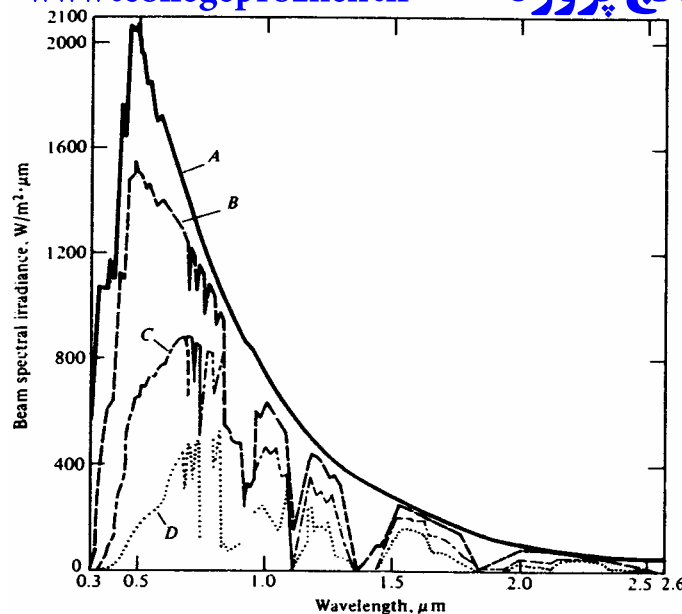
زمین به دور خورشید در یک مدار کمی بیضوی می چرخد که محورهای بزرگ و کوچک آن با هم در حدود  $1/7$  درصد اختلاف دارند . زمین در ۲۱ دسامبر نزدیکترین فاصله را با خورشید دارد که حدود  $10^{11} \times 1/45 \text{ m}$  است و دورترین فاصله در ۲۲ ژوئن می باشد که فاصله زمین با خورشید در حدود  $10^{11} \times 1/54 \text{ m}$  است .

فاصله متوسط  $10^{11} \times 1/49 \text{ m}$  است ( شکل ۲ ) . [۷]



قطر خورشید در حدود  $10^9 \times 1/39 \text{ m}$  است و مماسهای آن با زمین فقط با زاویه ۳۲ دقیقه می باشد . بنابراین برای تمام مقاصد عملی ، تابشهای خورشیدی ممکن است هنگام برخورد با زمین ، موازی در نظر گرفته شوند . خورشید دارای دمای جرم سیاه ( black - body ) در حدود  $5762^\circ \text{ K}$  است . طیف نوری تشعشعات انرژی خورشیدی در فاصله متوسط زمین - خورشید از اتمسفر زمین در شکل ۳ نشان داده شده است .





شکل ۳ - طیف نوری تشعشعات انرژی خورشیدی در فاصله متوسط زمین - خورشید [۷]

آن يك منحنی نوک تیز با چگالی تابش پریونیت است . رابطه بین خورشید و زمین و تاثیر دمای خورشید منجر به شدت تشعشعات خورشیدی می شود که تقریباً ثابت است و

« ثابت خورشیدی » نامیده می شود و با "S" نمایش می دهند . آن با سطح زیر نمودار A

در شکل ۳ برابر است و مقدار زیر را دارد :  $S = 1361 \text{ W/m}^2$  . مدار تقریباً بیضوی چرخش زمین به دور خورشید باعث می شود شدت تشعشعات واقعی خورشید کمی از ثابت خورشیدی با يك رنج در حدود  $\pm 3\%$  در صد منحرف شود . تغییرات کوچک دیگر نیز با پریودیک های مختلف روی می دهد . تشعشعات خورشیدی از همه انواع تشعشعات پرتو افکنی می باشد که همچنین تشعشعات مستقیم نامیده می شود .

محور قطبی زمین (محوری که زمین به دور خود می چرخد ) بطور ثابت با زاویه

$23.5^\circ$  از حالت معمولی رو به سمت خورشید ( ecliptic plane EP ) خم شده است .

### تشعشعات خورشیدی

انرژی خورشیدی که به سطح زمین می رسد تشعشعات فرا زمینی ( خورشیدی ) ( Terrestrial Radiation ) نامیده می شود . آهنگ رسیدن انرژی فرا زمینی به واحد سطح در زمین بر حسب  $\text{W/m}^2$  است که بطور متغیر مربوط به تشعشع ، ایزوله کردن یا چگالی انرژی ، مربوط می شود . تشعشعات فرا زمینی گازهای مختلف ، بخارات و مواد ویژه در اتمسفر زمین در معرض تغییر و یا کاهش دادن قرار می دهد . تشعشعات فرا زمینی به وسیله دو مکانیسم پراکندگی و جذب تضعیف می شوند .

پراکندگی مکانیسمی است که قسمتی از يك پرتو پراکنده شود یعنی بوسیله مولکول های ، بخار آب و یا گرد غبار در اتمسفر تضعیف شود . مکانیسم به نوع متوسط پراکندگی و طول موج تشعشع بستگی دارد و تقریباً يك اثر طبیعی پیچیده می باشد .

به هر حال این مکانیسم شناخته شده که پراکندگی و انتشار تشعشعات بیشتر برای موج با طول موج کوتاه تر رخ دهد و این دلیل دیدن آسمان به رنگ آبی است .

جذب تشعشعات خورشیدی در اتمسفر عمدتاً توسط ازون ( $O_3$ ) صورت می گیرد ، بخار آب ( $H_2O$ ) و دی اکسید کربن ( $CO_2$ ) اشعه X و دیگر امواج طول موج کوتاه خورشید بوسیله یونهای  $N_2$  و  $O_2$  و دیگر اجزای درون اتمسفر بسیار جذب می شوند . تاثیرات مهم باعث می شوند بوسیله :

۱ - ازون امواج فرابنفش ( طول موج کوتاه ) را با جذب کامل در طول موجهای  $0.29 \mu m$  و کمتر از آن و کاهش جذب در طول موجهای بین  $0.29 \mu m$  تا  $0.35 \mu m$  . البته یک باند جذب بسیار ضعیف نزدیک  $0.6 \mu m$  وجود دارد .

۲ - بخار آب با جذب قوی باندهای با طول موج بالا یعنی طیفی در حدود  $1.0 \mu m$  ،  $1.4 \mu m$  و  $1.8 \mu m$  .

۳ - دی اکسید کربن باند جذبی در طول موجهای کوتاه یا طول موجهای قابل رویت ندارد اما چندین باند برای جذب تشعشعات فرا زمینی دارد اما این باندها فقط در حدود ۵ درصد کل طیفها را در بر می گیرد . این باندها عبارتند از :  $2.36 \mu m$  تا  $3.02 \mu m$  \_  $4.01 \mu m$  تا  $4.08 \mu m$  \_  $12.05 \mu m$  تا  $16.05 \mu m$  . بنابراین پدیده جذب بوسیله آب و دی اکسید کربن باعث می شود که انرژی رسیده به سطح زمین با طول موجی بزرگتر از  $2.3 \mu m$  داشته باشد .

سیستمهای تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریسیته

در سال ۱۹۸۰ کل انرژی مصرفی ایالات متحده در حدود  $10^{13} KWh \times 2/286$  می باشد که در حدود ۲۵ درصد آن یعنی  $10^{12} KWh \times 5/175$  برای تولید انرژی الکتریسیته بکار می رود . راندمان متوسط تبدیل انرژی در حدود ۳۰ تا ۳۲ درصد است و در سال کل انرژی الکتریسیته مصرف شده در حدود  $10^{12} KWh/year \times 1/8$  است .

ممکن است به نظر برسد انرژی خورشیدی که می تابد در حدود  $10^{16} KWh/year \times 2/2$  می تواند بیشتر از ۱۰۰۰ بار بزرگتر از کل مصرف انرژی و یا ۱۲۰۰۰ بار بیشتر از انرژی الکتریسیته مصرفی در ایالات متحده می باشد اگر مجموع انرژی خورشیدی را در زمینهایی که نه در تصرف کسی و نه زیر کشت است حساب کنیم ، در آن صورت به بهترین وجه ظرفیت بالقوه بهره برداری از انرژی خورشیدی به دست می آید .

انرژی خورشیدی به دو صورت به انرژی الکتریسیته تبدیل می شود : تبدیل انرژی گرمایی خورشید به الکتریسیته و تبدیل فتوولتاییک .

در این روش تشعشعات خورشیدی به گرما تبدیل شده که در واقع به يك سيكل ترمودیناميك وارد مي شود و تولید کار مکانیکی و الکتریسیته مي کند . برای این که دارای راندمان باشد و اقتصادی شود لازم است که انرژی خورشیدی منتشر شده به عنوان يك منبع گرمایی با دمای بالا ( Solar - Thermal Conversion ) جمع آوری و متمرکز شود .

کولکتورها ، انرژی خورشیدی را جمع مي کنند و به سمت گیرنده ها ( ریسورها ) که شامل سیالی است که در سيكل ترمودیناميك کار مي کند هدایت مي کنند . سیستمهای استفاده شده برای تبدیل انرژی گرمایی خورشید به الکتریسیته چند نوع مي باشد که شامل

۱. سيكل رانکین که سیال آن بخار یا چیز دیگری است .

۲. سيكل برایتون که سیال آن هلیوم یا هوا است .

۳. سیستمهای هیبریدی

۴. سیستمهای Re Powering

بعلاوه سیستمهای ذخیره سازی ممکن است لازم باشد . سیستمهایی که فقط تولید گرما مي کنند به مقداری مواظبت نیاز دارند . [۷]

## تبدیل فتوولتاییک ( Photo Voltaic Conversion )

سیستمهای فتوولتاییک شامل وسایلی به شکل سلول ( Cell ) است که تبدیل مستقیم فوتونهای خورشیدی به الکتریسیته بدون استفاده از سيكل ترمودیناميك یا سیال مي باشد . آنها مي توانند کولکتورهای خود باشند یا مي توانند از کولکتورهایی استفاده کنند که خورشید به سمت آنها متمرکز شود . سلولها جریانهها و ولتاژهای پایینی تولید مي کنند بنابراین در ماژولهایی با یکدیگر متصل شده اند . ماژولها نیز به نوبه خود در پانلهایی قرار دارند و رشته ها ( Arrays ) به تجهیزات قدرت ویژه ای مي رسند . سلولها از مواد زیر ساخته شده اند :

۱. يك کریستال سیلیکون

۲. سیلیکون با تعداد زیادی کریستال

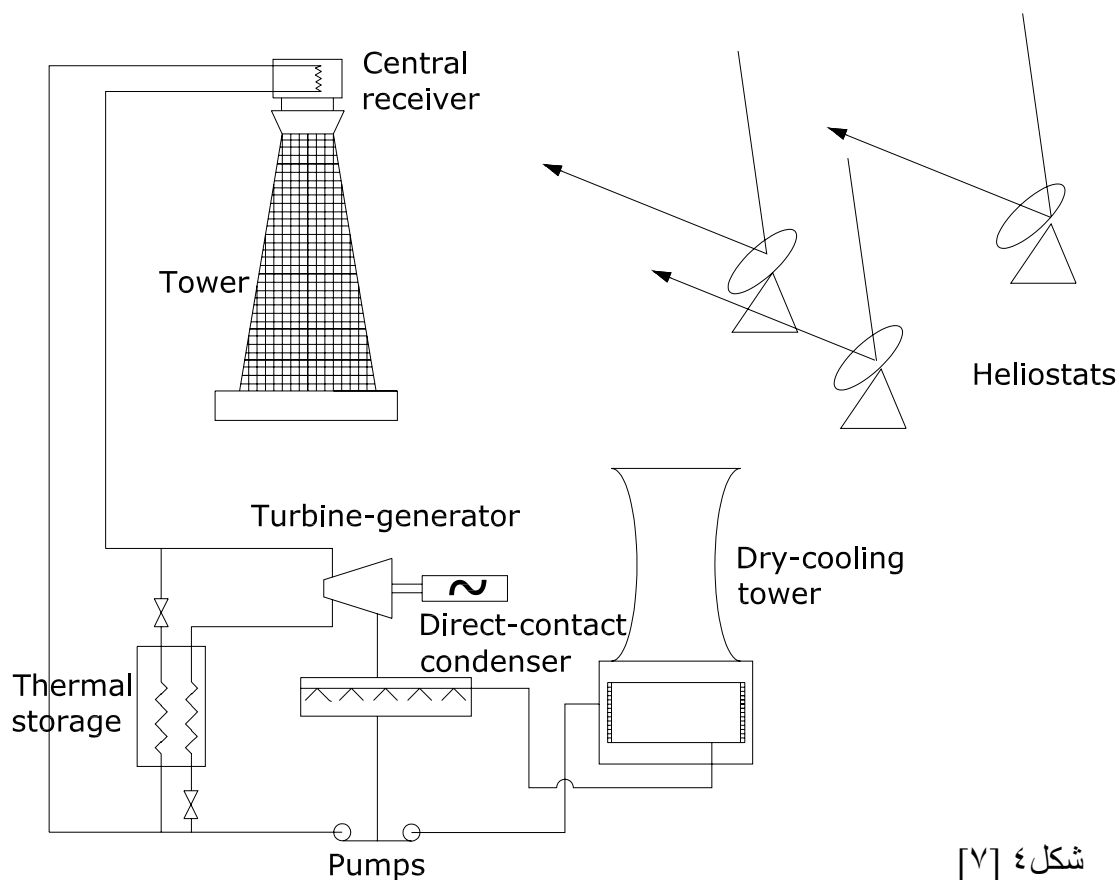
۳. ورقه های نازک با يك رنج وسیع از کمپوندهای شیمیایی

سیستمهای ریسور مرکزی گرمایی خورشیدی

سیستمهای ریسور مرکزی یعنی تبدیل گرمایی خورشید به الکتریسیته از آینه های با ابعاد بزرگ استفاده مي شود که نور خورشید را منعکس مي کنند و « هلیوستات » ( Heliostat ) نامیده مي شود که انرژی خورشیدی را به ریسور مرکزی که در بالای يك برج است منعکس مي کنند ( شکل ۴ ) .

هلیوستاتها بطور جداگانه انرژی خورشیدی را به سمت رسیپور مرکزی هدایت می کنند . آنها در مدت زمانی که نور خورشید می تابد انرژی آنرا روی رسیپور متمرکز می کنند . درون رسیپور یک سیال وجود دارد که می تواند آب باشد تا بخار شود تا در سیکل رانکین ، یک توربو ژنراتور را بحرکت در آورد و یا یک سیال میانی باشد که گرما را به سیکل بخار انتقال دهد .

سیستم باید دارای نگهداری سر خود برای شبها و روزهای ابری داشته باشد بصورتیکه در شکل ۴ نمایش داده شده است . خروجی رسیپور بزرگتر از چیزی که در سیکل بخار لازم است ساخته می شود و اضافی خروجی در دوره های مختلف به سمت سیستم نگهداری گرمایی برگشت می شود . زمانهایی که تابش خورشید کم است و یا وجود ندارد آب تغذیه کننده به سمت سیستم ذخیره سازی تغییر جهت می دهد یعنی بجای اینکه به رسیپور برود



شکل ۴ [۷]

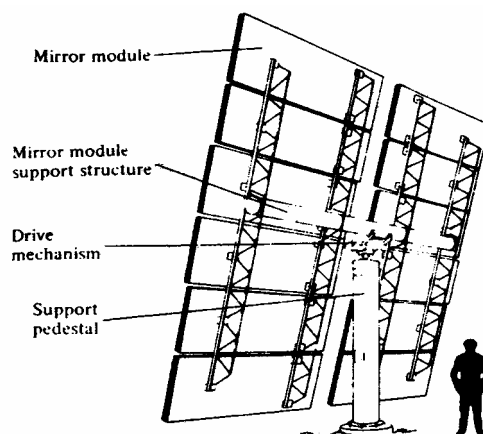
یک درجه مخصوص در سیستم اجازه کار در مود دیگری را می دهد . نیروگاههای تبدیل انرژی گرمایی خورشید به الکتریسیته معمولاً در زمینهای بایر و بسیار گرم که بزرگ نیز هستند ( به دلیل بزرگ بودن هلیوستات ) نصب می شوند . جایگاه انرژی خورشیدی نیز فراوان است اما آب کمیاب است . کندانسور نیز حتماً باید یک برج خنک کننده خشک باشد . چنین برجهایی دارای راندمان پایینی هستند و باعث کاهش راندمان سیکل رانکین می شود اما نیازی به آب ندارند .

اولین نیروگاه خورشیدی با توان ۱۰ MW بصورت پایلوت در بیابان موجاوه ( Mojave ) در کالیفرنیا در نیمه سال ۱۹۸۲ تست شد و شروع بکار کرد .

### هلیوستات ها

هلیوس ( Helios ) در یونانی به معنی خورشید است . هلیوستاتها آینه هایی هستند که قابلیت جابجایی دارند بنابراین می توانند تشعشعات خورشید را به ریسور مرکزی در کل مدت روز منعکس کنند . آنها برای دنبال کردن خورشید ساخته شده اند نه اینکه بر اشعه های آن عمود باشند بلکه باید در زاویه ای باشند که بتوانند آنها را به ریسور ثابت منعکس کنند . این زاویه به دو عامل بستگی دارد : زمان ( ساعت ) و موقعیت تک تک هلیوستاتها نسبت به ریسور .

هر هلیوستات از یک سطح منعکس کننده یا آینه تشکیل شده و ساختمان آن شامل جهت یاب ، سیستم کنترل و سیستم حرکتی است . طراحی های امروزی مجموعاً بین ۴۰ تا  $70\text{ m}^2$  را شامل می شود . ایده آل آن است که کانون آن برابر با فاصله ریسور با هلیوستات باشد . البته چون فاصله زیاد است کره یا هر سطح صافی بهترین پیشنهاد است . دو نوع سطح منعکس کننده وجود دارد : شیشه و پلاستیک . یک هلیوستات شیشه ای معمولاً به ۱۰ تا ۱۴ پانل که نسبتاً یک سطح بزرگ را تشکیل می دهد تقسیم می شود این امر ساخت و حمل و نقل آنرا ساده می کند ( شکل ۵ ) .

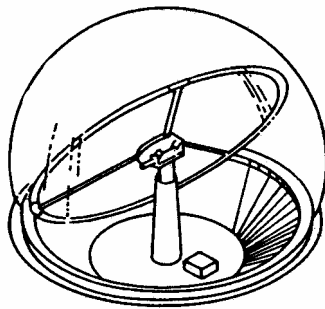


شکل ۵ [۷]

یک پانل شیشه ای به نوعی سطح دوم آینه است ( شبیه آینه های معمولی ) . پانلها معمولاً بصورت مستطیلی و در ابعاد  $3/6 \times 1/2$  m می باشد . آنها از ورقه های نازک شیشه ای با آهن کم ( با ضخامت ۱/۵ تا ۳ mm ) برای مینیم کردن جذب نور استفاده می شود . پانلها در موقع سر هم کردن نسبت به هم کمی کج هستند تا اشعه های خورشید را روی ریسور متمرکز کنند .

هلیوستاتهای شیشه ای از نوع پلاستیکی آن در سال ۱۹۸۲ پیشرفته تر بودند چون هم مستحکم تر و هم قدرت انعکاس بیشتری داشتند در هلیوستاتهای امروزی از شیشه و نقره در سطح منعکس کننده و از فولاد ، آلومینیوم و مس در ساختمان پایه آن استفاده می شود . آنها

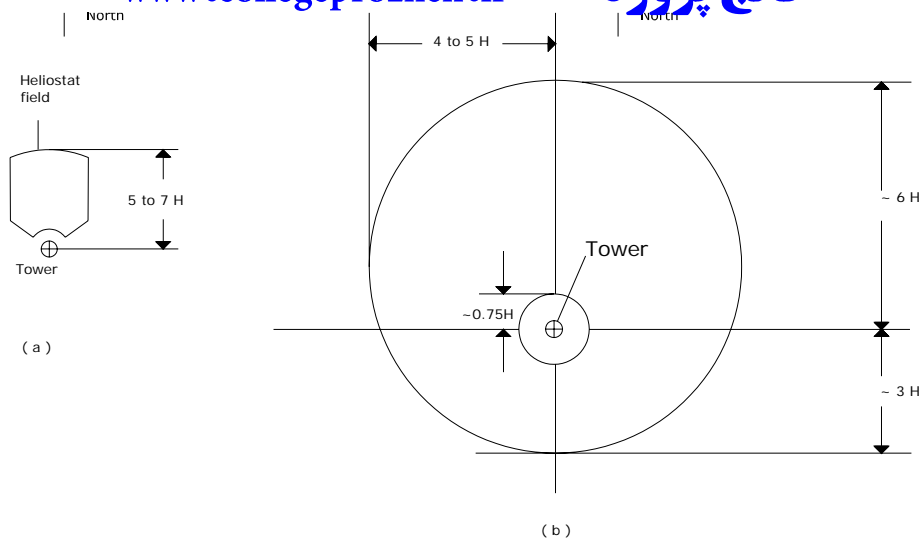
باید سنگین ، قوی و محکم و در مقابل بادهای شدید و یا هر شرایط جوی دیگر پایدار باشند . رنج وزنی آنها برای هر متر مربع از آینه که شامل فنانسیون نیز می شود در حدود ۵ تا ۲ Kg /m است . يك نیروگاه MW ۱۰ به ۱۸۱۸ هلیوستات شیشه ای بطوریکه در شکل ۵ نشان داده شده ، نیاز دارد هریک از آنها از ۱۲ پانل مجزا تشکیل شده است . هلیوستاتهای امروزی تقریباً ۴۵ درصد هزینه کل يك نیروگاه گرمای خورشیدی ( برج و ریسور هر کدام در حدود ۱۱ درصد و سیستم ذخیره سازی در حدود ۱۷ درصد ) را در بر می گیرد ( البته بقیه هزینه ها در بین زمین و دیگر تجهیزات تقسیم می شود ) . کاهش هزینه هلیوستات یکی از اهداف اصلی کاهش هزینه اصلی این گونه نیروگاههاست . هزینه يك هلیوستات ۲۵۰ دلار بر هر متر مربع است . مطالعات در زمینه تولید ثانویه DOE نشان داد که می توان هزینه را تا  $150 \$/m^2$  و یا تا  $110 \$/m^2$  کاهش داد . هلیوستات پلاستیکی اگر چه دارای قدرت منعکس کنندگی و مقاومت کمتر نسبت به نوع شیشه ای آن است اما دارای هزینه کمتر ، جرم سطح رفلکتور ( منعکس کننده ) کمتر و بنابراین دارای جرم و هزینه کمتر برای پایه آن و سیستم حرکتی هلیوستات می باشد . يك نوع هلیوستات که بوسیله شرکت بویینگ طراحی شده در شکل ۶ نشان داده شده که دارای يك ورقه منعکس کننده ( رفلکتور ) پلاستیکی که روی صفحه هلیوستات به مساحت  $16/7 m^2$  کشیده شده که از باد توسط آن محافظت می کند .



شکل ۶- هلیوستات طراحی شده بویینگ [۷]

## زمین هلیوستات

زمین هلیوستات جایی است که ریسور مرکزی در آن قرار دارد و همچنین " جمع کننده زیر سیستم " ( Collector Subsystem ) نامیده می شود . شکلی دارد که باید نسبت به توپوگرافی منطقه و سطح نیروگاه تعیین شود . زمین ممکن است در يك ناحیه صاف و مسطح و یا بر روی يك تپه و . . . قرار داشته باشد . در نیمکره شمالی ، در موقع ظهر همیشه خورشید در جنوب برج ریسور مرکزی قرار دارد بنابراین يك زمین شمالی معمولاً دارای ارزش بیشتری است زیرا کسینوس آن کمترین است . برای نیروگاههای کوچک ، انرژی گرمایی ورودی کمتر از MW ۱۰۰ در کل يك زمین شمالی بهینه است ( شکل a ۷ ) .



شکل ۷ [۷]

اگر نیروگاه بزرگتر شود، زمین نیز بزرگتر شده و هلیوستاتهای زیادی استفاده می شود در ضمن فاصله آنها نیز با برج افزایش می یابد. هوای اطراف نیروگاه باعث تضعیف انعکاس تشعشعات از فاصله دور هلیوستاتهای شمالی می شود. ورودی ریسور می تواند بوسیله کاهش فاصله هلیوستاتها به سمت شرق و غرب برج بهبود یابد و اندازه نیروگاه به سمت جنوب آن افزایش می یابد (شکل ۷ b).

تلفات انرژی بین تشعشعات خورشیدی (ثابت خورشیدی) و عایقهای آن تاکنون

بحث شد. علاوه تلفات انرژی تابشی در زمین هلیوستات وجود دارد. این تلفات را می توان بصورت زیر خلاصه کرد:

۱. سایه: این مشکل توسط سایه سطح منعکس کننده یک هلیوستات بر روی هلیوستات

(های) دیگر در بعضی از ساعات روز ایجاد می شود. البته سایه برج بر روی

هلیوستاتها ناچیز است و از آن صرف نظر می شود.

۲. تلفات (کاهش) کسینوس: چون سطح منعکس کننده یک هلیوستات بر پرتوهای

خورشیدی عمود نیست اما با فرض زاویه ای که پرتوهای خورشیدی را به سمت

ریسور مرکزی منعکس می کند ناحیه ای که بوسیله هلیوستات، چگالی انرژی

خورشیدی را قطع می کند کمتر از سطح منعکس کننده بوسیله کسینوس زاویه بین

سطح و عمود بر پرتوهای تابش شده از خورشید می باشد.

۳. بلوکه شدن: این امر نتیجه آن است که هنگامیکه نور یک هلیوستات منعکس شد

قسمتی از آن توسط پشت هلیوستاتهای دیگر برگشت شود.

۴. تلفات منعکس کننده: این امر از جذب تشعشعات تابش شده بوسیله شیشه و سطح

نقره اندود و همچنین پراکنده کردن تشعشعات منعکس شده بوسیله سطح کثیف می

باشد.



ه. تضعیف شدن: این تلفات بوسیله جذب و پراکنده شدن بوسیله بخار آب، غبار،

مه، دود و ذرات داخل هوا که بین هلیوستات و ریسور وجود دارد ایجاد می

شود.

زمین و هلیوستاتهای درون آن باید بطور بهینه ای طراحی شوند تا انرژی گرمایی خورشید

با کمترین هزینه به ریسور برسد. البته برای برطرف کردن مشکلات فوق، مشکلات

دیگری ایجاد می شود. بطور مثال کاهش اثر سایه و بلوکه شدن تشعشعات منعکس شده

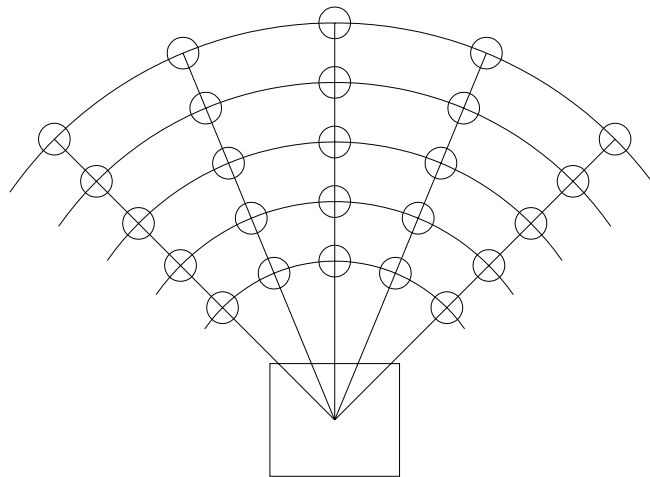
بوسیله افزایش فضا ( زمین ) بین هلیوستاتها منجر به افزایش تضعیف تشعشعات می شود،

زمین بزرگتر و استفاده از آن برای دریافت انرژی و رساندن انرژی بیشتر به ریسور باعث

کاهش آن می شود.

مطالعات نشان می دهد که بهترین و اقتصادی ترین طرح قرار گیری هلیوستاتها در

روی زمین بصورت شعاعی است ( مطابق شکل ۸ ).



Tower

شکل ۸ [۷]

این طرح تلفات بلوکه و تضعیف شدن را کاهش داده و در نتیجه زمین مورد استفاده

کاهش می یابد.

### کنترل هلیوستات

پوشش ( عایق کردن ) هلیوستات نسبت به زمین از ساعتی به ساعت دیگر و از فصلی

به فصل دیگر فرق می کند (شکل ۲). بیشتر هلیوستاتها در طلوع آفتاب در زیر سایه هستند

جز آنهاییکه در دورترین بخش غربی هستند. شبیه همین وضعیت در غروب آفتاب رخ می

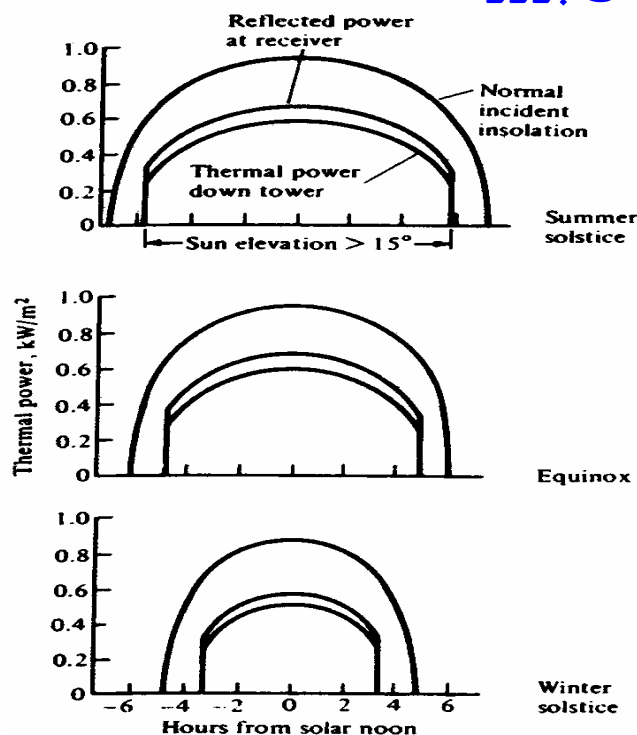
دهد. مینیمم مقدار انرژی که معمولاً می رسد ۱۰ درصد حداکثر توان است که فقط می تواند

زمانی که خورشید در  $15^\circ$  درجه یا بیشتر بالای افق باشد جمع می شود.

توان منعکس شده و تلفات ریسور در شکل ۹ با حالت معمولی عایق بندی تشعشعات برای

تابستان، شب و روز و زمستان نشان داده شده است. تلفات ریسور تقریباً ثابت است و به

زمان روزی که در آن کار می کند و همچنین دما وابسته است.



شکل ۹ [۷]

سیکل کار روزانه جمع کننده انرژی خورشیدی شامل شروع در صبح، کار در طول روز مطابق شکل ۹ و اتمام در عصر می باشد. در طول زمانی که هلیوستات کار نمی کند در وضعیت «استو» (انباشتن، ذخیره سازی *stow*)، بسر می برد. در این حالت سطح آن

یا بصورت افقی رو به پایین و یا در یک موقعیت عمودی قرار دارد. در صبح آنها از حالت **Stow** به حالت **Stand by** رفته و تشعشعات خورشید را به نقطه ای نزدیک رسیپور و نه به خود آن منعکس می کنند. این حالت در حدود ۱۵ دقیقه طول می کشد و برای هر هلیوستات  $0.1 \text{ KWh}$  انرژی صرف می شود. سپس رسیپور روشن می شود (آب خنک به آن پمپ می شود). سپس هلیوستاتها یکی یکی از حالت **Stand by** به حالت کار، (**Operating**) می روند بدین معنی که تشعشعات خورشید را به سطح رسیپور منعکس می کنند. این امر از گرمای بیش از حد رسیپور جلوگیری می کند. همچنین سیستمهای کنترل افزایش دما در رسیپور وجود دارد. در طول مدت کار عادی هلیوستاتها به شیوه ردیابی خورشید (**Sun \_ tracking**)، کار می کنند. این امر بوسیله یک کنترلر اعمال می شود تا تشعشعات منعکس شده به یک نقطه باشد.

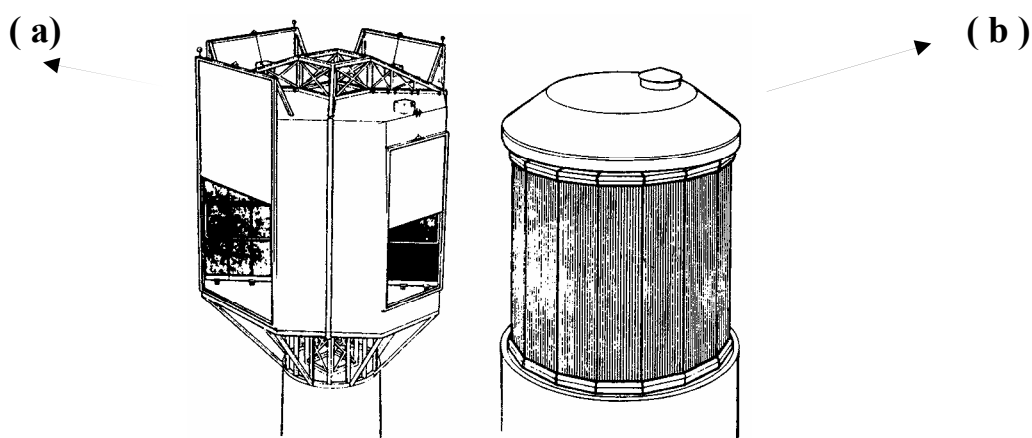
ردیابی خورشید توسط هلیوستاتها به دو روش انجام می شود: روش اول استفاده از سنسورهای فعال انعکاس نور است که موتورهای محرک روی هلیوستات را کنترل می کند تا سطح منعکس کننده دائما تشعشعات خورشید را به یک نقطه منعکس کند. روش دوم استفاده از یک کامپیوتر برنامه ریزی شده است که جهت سطحهای منعکس کننده را با توجه به موقعیت آنها نسبت به رسیپور تعیین می کند. این امر به ساعت روز و همچنین روز سال بستگی دارد. روش دیگر ردیابی بوسیله دو محور چرخان صورت می پذیرد: یک محور آسیموت (سمت

( Azimuth ) و ديگري ارتفاع سطح رفلکتور مي باشد . مرحله خاموش ( Shut down ) بر عکس مرحله روشن ( Start - up ) است .

سيتماي کنترل بايد بسيار دقيق باشد تا سطح رفلکتور را با دقت در حد ميلي راديان بچرخاند زيرا يك خطاي كوچك در زاويه منجر به اختلاف بسيار زيادي در نقطه تجمع نور منعكس شده مي شود كه دليل آن فاصله بسيار زياد بين هليوستانات و ريسور است . اين اختلاف كوچك مي تواند يك باد قوي كه پايه هليوستانات را تكان مي دهد اتفاق افتد .

### ريسور

ريسور مركزي در بالاي برج بلندي (ارتفاعي در حدود  $94/5 \text{ m}$ ) قرار دارد . برج طوري ساخته شده كه پيك چگالي انرژي تشعشعات بين  $300$  تا  $700 \text{ m}^2/\text{KW}$  باشد . ريسور طوري طراحي شده كه از هدر رفتن انرژي دريافتي جلوگیری کند و آنرا جذب کرده و به سيال انتقال دهد . اگرچه تشعشعات ، هليوستانات را به صورت مستطیل شکل ترك مي كنند اما بصورت دايره اي به ريسور مي رسند . سطح جذب كننده گرما معمولا شبیه بويلر با سوخت فسيلي است . دو نوع ريسور وجود دارد كه در زیر شرح داده مي شود : ۱ - نوع حفره اي ( Cavity ) ۲ - نوع خارجي ( External ) .



شكل ۱۰ [۷]

شكل فوق يك ريسور از نوع حفره اي كه صفحه هايي با لوله هاي خنك كننده دارد كه در سطح داخلي آن قرار گرفته است . صفحه لوله ها در داخل سطح مقعر ريسور به سمت زمين منظم شده است و سطح صفحه ۲ تا ۳ برابر سطح سوراخ است . سطح سوراخ تقريبا به اندازه تصوير خورشيد از دورترين هليوستانات است . نسبت سطح سوراخ به صفحه، مينيم مجموع تلفات حرارتي است . يك ريسور حفره اي ممكن است با يك يا تعداد بيشتري حفره و سوراخ طراحي شود كه هر قطعه با زاويه اي بين  $60$  تا  $120$  درجه را در بر مي گيرد . شكل a ۱۰ يك ريسور حفره اي با چهار سوراخ را نشان مي دهد . ريسور از نوع خارجي در شكل b ۱۰ ، داراي صفحاتي از لوله هاي سرد كننده است كه در سطح خارجي ريسور

قرار دارد. برای نیروگاههای کوچک صفحات ممکن است صاف باشند و یا برای نیروگاههای بزرگ کمی محدب رو به زمین باشند. نسبت ارتفاع به قطر آن ۱ : ۱ تا ۲ : ۱ است. قطر لوله های سرد کننده از ۲۰ تا ۵۶ mm و ضخامت آن از ۱/۲ تا ۴/۶ mm است که به فشار، مواد و به دیگر موارد طراحی مهندسی وابسته است.

## راندمان ریسور

راندمان یک ریسور بصورت نسبت جذب انرژی به دفع آن در نقطه طراحی آن تعریف می شود. راندمان ریسور نتیجه طراحی مسالمت آمیز بین چندین مکانیسم تلفات انرژی است که آنرا می توان بصورت زیر خلاصه کرد:

۱. **Spillage**: این، انرژی منعکس شده هلیوستاتهاست اما توسط سیال جذب نمی

شود اشعات منعکس شده ممکن است به ریسور برخورد نکند یا به غیر از سوراخ

(در یک ریسور حفره ای) برخورد کند. **Spillage** ممکن است بوسیله خطاهای

ردیابی که آنها نیز به نوبه خود بوسیله خطاهای سیستم کنترل ایجاد می شود اتفاق

افتد. در یک طراحی خوب این خطا کمتر از ۵ درصد است.

۲. **بازگشت**: این مورد انرژی است که از سطح عبوری گرمای ریسور برگشت

می شود. این امر بوسیله رنگ زدن سطح ریسور با قابلیت جذب بسیار بالا

مینیمم می شود. این کاهش معمولاً در بهترین طراحی کمتر از ۵ درصد است.

۳. **کنوکسیون**: این انرژی بوسیله کنوکسیون بین بدنه ریسور و هوای اطراف آن

از بین می رود.

۴. **تشعشع**: این انرژی بوسیله تشعشعات مادون قرمز از سطح داغ ریسور با

محیط تلف می شود که وابسته به شکل ریسور و نوع آن (حفره ای یا خارجی)

می باشد. ترکیب تلفات کنوکسیون و تشعشع، زیاد است و بین ۵ تا ۱۵ درصد

است.

۵. **هدایت گرمایی**: این انرژی بر اساس تلفات از طریق اجزای ساختمان، عایق

بندی و... از بین می رود. این تلفات حداقل تلفات است و کمتر از ۱ درصد

را شامل می شود.

طراحی بهینه ریسور بسیار مهم است. برای مثال در یک ریسور بزرگ، تلفات

**Spillage** بسیار پایین است اما تلفات کنوکسیون و تشعشع زیاد است. یک ریسور حفره ای

تلفات بازگشتی کمتری نسبت به یک ریسور خارجی دارد اما تلفات کنوکسیون ریسور

خارجی بخاطر سطح سیاه آن کمتر است ولی تلفات هدایت گرمایی آن بیشتر است، اندازه آن

بزرگتر و پیچیده تر است.

به هر حال ریسورهای حفره ای نسبت به ریسور از نوع خارجی دارای راندمان

بیشتری هستند. ریسور حفره ای توسط شرکتهای **Honeywell** و **Martin Marietta**

با راندمانی در حدود ۹۰ درصد طراحی و ساخته شده اند. ریسور خارجی نیز توسط

شرکت **Mc Donlle Douglas** با راندمان تقریبی ۸۰ درصد ساخته شده است. به بیان دیگر، ریسورهای حفره‌ای بسیار بزرگتر، سنگین‌تر و گرانتر نسبت به ریسورهای خارجی هستند. وزن آنها بیشتر از ۲۵۰ تن است اما وزن یک ریسور خارجی کمتر از ۱۳۶ تن می‌باشد. [۷]

### سیستم انتقال گرما

سیستم انتقال گرما از سیال انتقال دهنده گرما (سرد کننده اولیه)، لوله کشی ریسور، لوله کشی بین ریسور و تجهیزات تولید توان و همچنین پمپها تشکیل شده است. سرد کننده اولیه ممکن است همان سیالی باشد که در نیروگاههای معمولی بکار می‌رود و نیز ممکن است از جنس دیگری باشد.

پنج گونه مختلف از سرد کننده‌ها در زیر آمده است:

۱. **بخار آب**: آب ریسور گرما دریافت می‌کند تا به بخار تبدیل شود همانند نیروگاههای سیکل ترکیبی. تغییر فاز در ریسور روش معمولی تولید بخار است. روش دیگر، بویلر استوانه‌ای و یا استفاده از بویلر با سوپر هیتر است. بخار ممکن است در ۵۴۰ تا ۶۰۰ °C و با فشار ۷۰ تا ۱۴۰ bar تولید شود. این سیستم دارای فواید زیادی است از جمله استفاده از حداقل تکنولوژی و در نتیجه کاهش هزینه.

۲. **فلزات مایع**: فلزات مایع بخصوص سدیم (Na) بعنوان یک سیال برای هدایت

گرمایی برای راکتورهای هسته‌ای سریع تولید کننده است. مهمترین فایده آن راندمان بسیار بالایی انتقال گرما است. سدیم در ۹۸ °C منجمد می‌شود و به سیستمی نیاز دارد که در طول خاموش بودن نیروگاه از انجماد آن جلوگیری کند. سدیم نیز بصورت شیمیایی اکتیو است و در هوا یا آب به سرعت اکسید می‌شود. یک گاز پوشاننده مانند آرگون که سنگین‌تر از هواست در راکتورهای هسته‌ای با خنک کننده سدیم استفاده می‌شود برای این که از اکسیداسیون و آتش گرفتن آن جلوگیری شود. سدیم استفاده شده هر چند داغ و یا سرد باشد نیاز به این دارد که اکسیدهای آنرا جدا کنند. سدیم ممکن است در بالاتر از

۵۴۰ °C بصورت مایع، کار انتقال گرمایی خورشید و تولید بخار را انجام دهد. فلزات مایع دارای فشار بخار کمی در دمای کار هستند و در نتیجه به تجهیزات فشار بالا در نیروگاه نیاز ندارند.

۳. **نمکهای مذاب**: نمکهای مذاب برای انتقال گرما در صنایع شیمیایی استفاده می‌شود

و بصورت آزمایشی نیز بعنوان سیال در راکتورهای هسته‌ای بکار می‌روند. آنها همانند فلزات مایع به تجهیزات فشار بالا در دمای کار نیاز ندارند بعلاوه ظرفیت گرمایی بالایی دارند. نمکهای مخلوط نیترات برای سیستمهای خورشیدی با ریسور مرکزی پیشنهاد می‌شود. همچنین نمک می‌تواند در دمای بسیار بالا کار کند و

گرمایش را به سمت تولید بخار در نیروگاه بخار ببرد. آنها همچنین دارای نقطه انجماد بالایی در حدود  $140^{\circ}\text{C}$  تا  $220^{\circ}\text{C}$  است که برای احتیاط به وسایلی برای حفاظت در مقابل جامد شدن در طی خاموشی نیروگاه نیاز دارند.

۴. **گازها:** گازها می توانند در هر دمای مطلوبی که با مواد تشکیل دهنده سازگاری داشته باشند حتی بالاتر از  $840^{\circ}\text{C}$  کار کنند. فشار گاز فقط برای غلبه بر کاهش فشار در سیکل سرد کننده لازم است. ظرفیت گرمایی پایین گازها به حجم زیاد گاز و در نتیجه سرعت بالایی گاز جاری نیاز دارد. فشار بالا، چگالی را افزایش می دهد در نتیجه ظرفیت گرمایی افزایش می یابد ولی سرعت کاهش می یابد. گازهای مورد مطالعه هوا و هلیوم هستند. آنها می توانند بعنوان عامل منتقل کننده گرما که تولید بخار می کند و در یک نیروگاه با سیکل رانکین تولید انرژی می کند استفاده شوند یا مستقیماً در یک نیروگاه با توربین گازی و سیکل برایتون از نوع باز (با هوا) و یا در یک سیکل بسته (با هلیوم) استفاده شوند.

۵. **استفاده از روغن بعنوان عامل انتقال حرارت:** از فواید استفاده از روغنها، فساد پذیری کم با بیشتر مواد است و می توان از آنها در فشارهای بخار کم استفاده کرد. آنها تحت دمای بالا تجزیه می شوند که تجزیه پیرولیتیک

(**Pyrolytic Decomposition**) نامیده می شوند. (در محیطی که تشعشعات رادیو اکتیو وجود دارد تجزیه «رادیو لیتیک» نامیده می شود. نتیجه تجزیه روغن، افزایش فشار در سیستم است. روغنها فقط می توانند در یک رنج کم دمای کار کنند. دو روغنی که برای سیستمهای ریسور مرکزی پیشنهاد می شود «ترمینول ۶۶» و «کارولینا HT-43» است که در رنج دمای  $-7^{\circ}\text{C}$  تا  $315^{\circ}\text{C}$  می توانند کار کنند.

لوله کشی برای سیال اولیه از ریسور تا پایین برج و در روی زمین سایت نیروگاه هزینه اصلی را در بر می گیرد. سایز لوله ها برای یک نیروگاه  $400\text{ MW}$  از  $3/0$  تا  $5/0$  m برای نمک مذاب، تا  $4/2\text{ m}$  برای هوا با فشار  $12\text{ bar}$  و بطول بیش از  $600\text{ m}$  برای هر دو لوله سیال گرم و سرد است. وزن برای یک ریسور  $400\text{ MW}$  از نوع سرد کننده سدیم و خارجی  $2/5$  تن است. [۷]

## سیستم نگهداری گرمایی

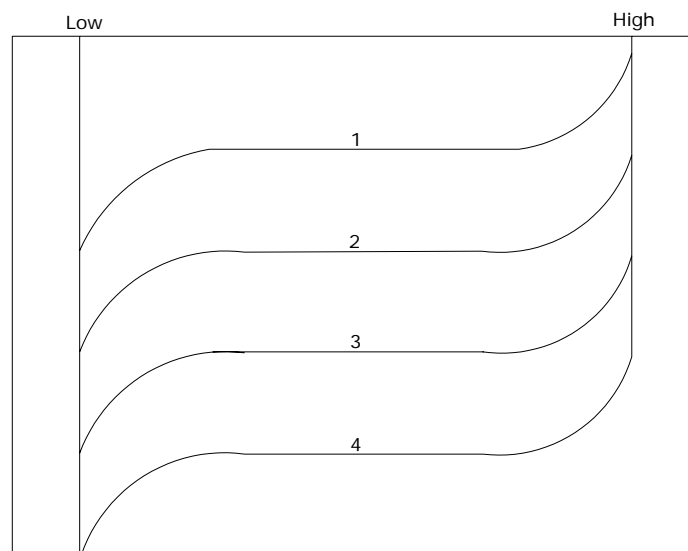
اگرچه چندین سیستم نگهداری انرژی نظیر شیمیایی ، الکتروشیمیایی ( باتریها ) ، مکانیکی ( هوای متراکم شده ، پمپهای هیدرولیکی ، چرخ طیار ) و یا سیستم تکفاز یا چند فاز گرمایی وجود دارد اما موقعیت جغرافیایی بیشتر نیروگاههای خورشیدی از هزینه زیادی در این زمینه جلوگیری می کند .

سیستم ذخیره سازی انرژی در نیروگاههای خورشیدی - گرمایی ضروری است چون در شرایط متغیر جوی ، ( زمانهایی که خورشید پشت ابر است و یا شبها ) به این سیستم نیاز دارند . نیروگاههای سوخت فسیلی معمولی ممکن است در چنین دوره هایی بعنوان سیستمهای هیبریدی مورد استفاده قرار گیرند اما سیستمهای نگهداری گرمایی بعنوان پارامتر دیگری در نیروگاههای خورشیدی استفاده می شوند . دو نوع نگهداری گرمایی در سیستمهای خورشیدی وجود دارد : ۱ - تانک تکی یا ترموکلاین ( Thermo cline )

۲ - دو تانک یا سیستمهای داغ - سرد .

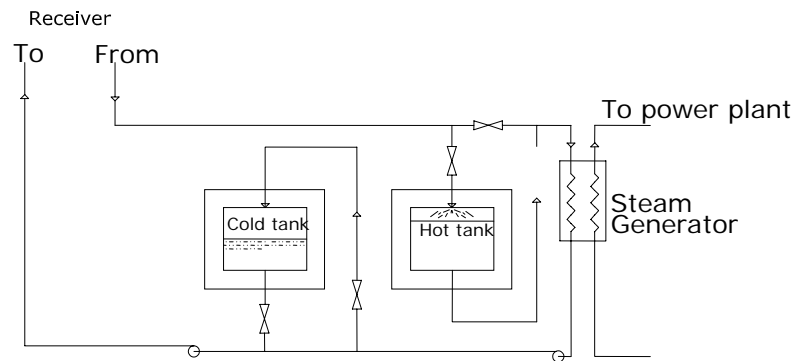
تانک تکی بصورت شماتیک در شکل ۴ نمایش داده شده است . شکل ۱۱ مشخصه دما - زمان یک سیستم ترموکلاین را نشان می دهد . شکل نشان می دهد که شیب دما کاملاً صاف نیست این فاکتوری است که در چنین سیستمی تاثیر می گذارد ( کاهش می دهد ) . در چنین سیستمی دما بین ۲۹۰ تا ۵۶۵ °C متغیر است .

شکل ۱۱ مشخصه دما - زمان یک سیستم ترموکلاین [۷]



شکل ۱۲ شماتیک یک سیستم دو تانک را نشان می دهد . اندازه سیستمهای نگهداری می تواند برای ذخیره سازی انرژی گرمایی کافی ساخته شود حتی اگر گرما از ریسور برای کارنیروگاه بصورت ۲۴ ساعته گرفته شود . اگر چه اندازه آن به طول روزها بستگی دارد اما ظرفیت آن برای روزهای کوتاه سال کافی نیست .





شکل ۱۲ - شماتیک یک سیستم دو تانک [۷]

### تجربه جهانی

سیستمهای ریسور مرکزی در خیلی از نقاط دنیا وجود دارند . در ایالات متحده بزرگترین نیروگاه خورشیدی دارای  $10 \text{ MW}$  پیک توان است که حدود ۱۴۰ میلیون دلار هزینه در بر داشته است و در ۱۲ مایلی جنوب شرقی بارستو در کالیفرنیا و در بیابان موجاوه قرار دارد . این نیروگاه توسط شرکت ادیسون در کالیفرنیا جنوبی و با حمایت اداره انرژی امریکا ( DOE ) احداث گردیده است . ( شکل ۱۳ - تمام نیروگاه را نشان می دهد . )



شکل ۱۳ [ ۸ ]

شرکتهای **Mc Donnell Douglas** و **Martin Marietta** یک نیروگاه خورشیدی که با بخار آب کار می کرد و سیستم نگهداری گرمایی آن از سیال روغن استفاده می کرد ساختند . این نیروگاه در تابستان ۱۹۸۲ شروع بکار کرد و در اکتبر ۱۹۸۲ به توان  $10/4 \text{ MW}$  دست یافت . سیستم نگهداری آن به  $7 \text{ MW}$  می رسید که به هدف نهایی در طراحی نرسید .

در آمریکا در اسپانیا آژانس بین المللی انرژی ، چندین کشور اروپایی و ایالات متحده روی یک نیروگاه **KW ۵۰۰** با سدیم مذاب بعنوان عامل انتقال گرما و سیال سیستم نگهداری ، سرمایه گذاری کردند . این نیروگاه **۹۳** هلیوستات داشت . ریسور آن از نوع حفره ای در بالای یک برج **۴۳** متری قرار داشت . نیروگاه دیگری در همین منطقه در سال **۱۹۸۲** با **۳۰۰** هلیوستات که هر کدام از آنها به زمینی در حدود **۴۰ m<sup>2</sup>** نیاز داشته و ریسور آن از نوع حفره ای بود .

در آدرانوئو سیسیل در ایتالیا یک نیروگاه ریسور مرکزی با توان **۱ MW** که « یورلیوس **Eurelios** » نامیده می شود . در می **۱۹۸۱** شروع بکار کرد . ریسور آن از نوع آن از نوع حفره ای و در بالای برج **۵۵** متری قرار داشت که آبی با دمای **۵۱۰ °C** تولید می کرد .

در فرانسه یک نیروگاه **۲ MW** که « تمیس **Themis** » نامیده می شد ساخته شد و **۲۰۰** هلیوستات با یک ریسور حفره ای با نمک مذاب با دمای **۵۲۵ °C** داشت .

در ژاپن یک نیروگاه **۱ MW** واقع در شهر نیو **Nio** به نام « پروژه طلوع آفتاب **Project Sunshine** » واقع در ناگوا احداث شد . این نیروگاه **۸۰۷** هلیوستات کوچک که برای هر کدام **۱۶ m<sup>2</sup>** مساحت نیاز بود ، داشت . ریسور آن از نوع شبه حفره ای بود. [۷]

### سیستمهای دیگر خورشیدی

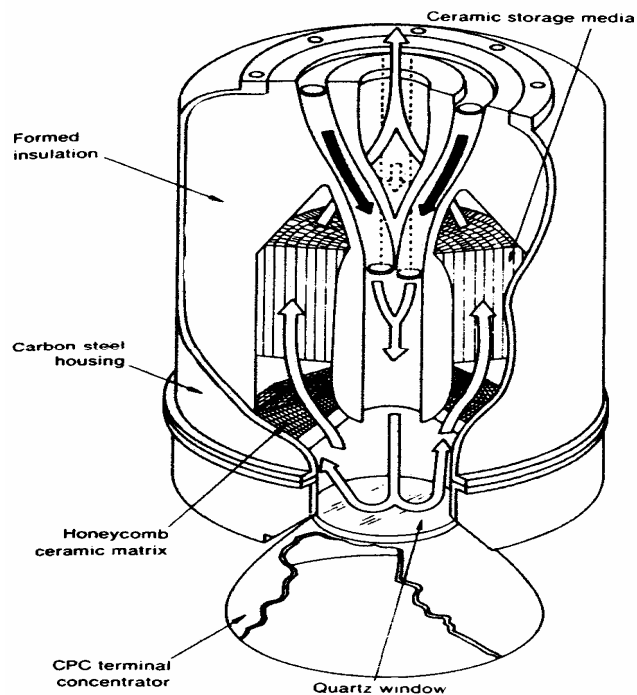
#### نیروگاههای هیبریدی

یک سیستم هیبریدی کمبودهای انرژی خورشیدی را جبران می سازد نه بوسیله سیستم نگهداری بلکه بوسیله خورشید بعنوان یک منبع گرمایی هنگامیکه در دسترس و کافی است و استفاده از سوختهای فسیلی از قبیل نفت با گاز در مواقع دیگر . **DOE** مطالعاتی را در زمینه سیستمهای هیبریدی روی سیکل برایتون بعنوان یک پیشنهاد مهم در دست دارد .

سیال ابتدایی به سمت ریسور رفته و توربین گازی شروع بکار می کند . سیال می تواند : **۱ - هوا ۲ - هلیوم و یا ۳ - مخلوط دیگر گازها** باشد . اگر چه سیکل برایتون ساده تر از سیکل رانکلین است ولی به دماهای بالاتر برای رسیدن به راندمانهای مطلوب نیاز دارد . بطور معمولی یک نیروگاه سیکل رانکلین از نوع خورشیدی یا فسیلی بخاری با دما در حدود **۵۴۰ °C** تا **۵۹۰ °C** و با فشار **۷۰ bar** و حتی بیشتر نیاز دارد . نیروگاههای خورشیدی سیکل برایتون که با گاز کار می کنند با فشار بسیار پایین تر کار می کنند اما برای اینکه قابل رقابت باشد باید در دمای بسیار بالایی کار کنند . طراحی این گونه نیروگاهها و موادی که برای ریسور بکار می رود برای چنین مواردی بسیار سخت است . **DOE** و **EPRI** مطالعاتی را در زمینه طراحی و کار ریسور هایی که با دمای بالا کار می کنند و با آلیاژ های فلزی و قطعات سرامیکی ساخته می شوند را دارند . [۷]

شکل ۱۴ يك ريسپور هانب كام سراميكي كه توسط بنياد ساندريز ساخته شده و توسط

ادوارد در كاليفرنيا تست شده است را نشان مي دهد .



شکل ۱۴ - يك ريسپور

هانب كام سراميكي [۷]

### تبدیل سیکل استرلینگ

سیستم هیبریدی دیگری که می توان تصور کرد ، سیکل استرلینگ است . سیکل

استرلینگ ایده آل يك سیکل باز تولید است که از چهار پروسه برگشت پذیر تشکیل شده است :

دو حجم ثابت و دو دمایی ثابت .

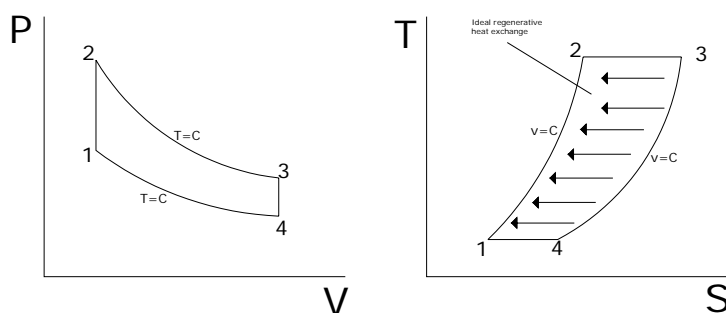
گرما در طول مدت دمایی ثابت ، بترتیب به پروسه های ۳- ۲ و ۱- ۴ داده می شود .

گرما بصورت داخلی بین پروسه های حجم ثابت ۲- ۳ و ۲- ۱ مبادله می شود . موتورهای

واقعی استرلینگ بر اساس سیکل ایده آل استرلینگ ساخته می می شود ( همانطوریکه

موتورهای واقعی دیزلی بر اساس سیکل ایده آل دیزلی ساخته می شوند ) اگرچه راندمان آنها

برابر با سیکل ایده آل نیست ، اما راندمان آنها به ۳۵ تا ۴۰ درصد می رسد .



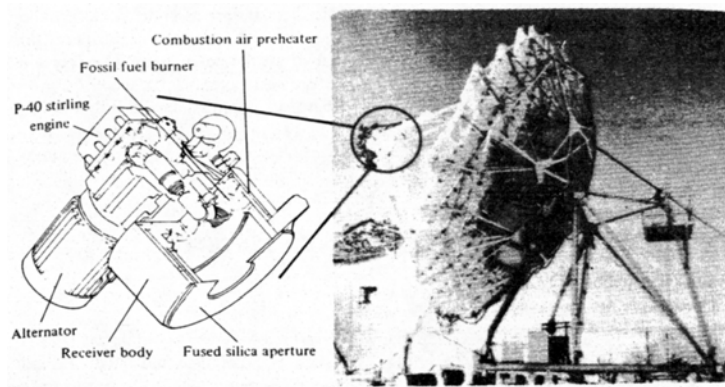
شکل ۱۵ - سیکل استرلینگ [۷]

يك موتور استرلینگ می تواند يك ژنراتور الكتريكي را بچرخاند . موتور می تواند

بطور مستقیم با ريسپور خورشیدی كوپل شود . يك نوع از اين موتور ها ، سیستمهای تمرکز

دهنده هستند که به صورت موازي ( الكتريكي ) قرار دارند که در مرکز سیستم فوکاس قرار

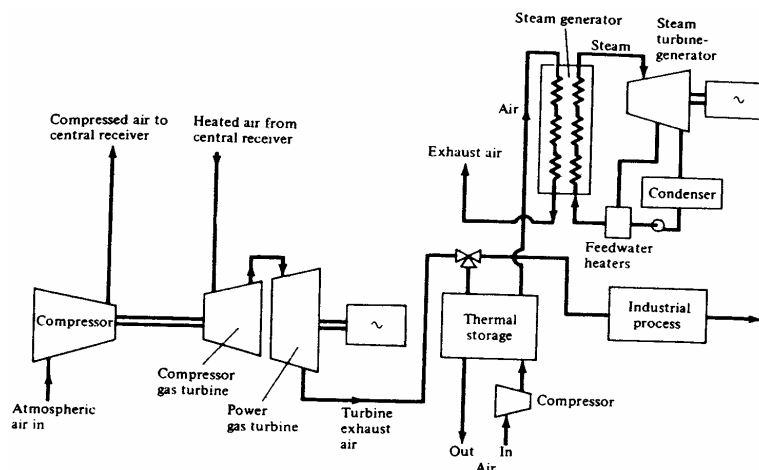
دارند . شکل ۱۶ يك نوع از آنرا با مدل P-40 که در سوئد ساخته شده را نمایش می دهد . آن بر روی يك دیش نصب شده است . موتور بصورت مستقیم روی بدنه ریسور قرار گرفته است . موتور با سیال هوا در يك سیکل بسته کار می کند و دما در آن در حدود  $816^{\circ}\text{C}$  است . راندمان تبدیل آن ۳۵ درصد است .



شکل ۱۶ [۷]

### سیستمهای سیکل مرکب ( بهم پیوسته )

سیکلهای بهم پیوسته در نیروگاههای سیکل برایتون و رانکین استفاده می شود . در سیکل برایتون از توربین گازی با دمای بالا و در سیکل رانکین از ژنراتورهای بخاری . شکل ۱۷ يك سیکل مرکب با دو شفت توربین گازی و يك سیستم ریسور مرکزی را نشان می دهد . هوای جو بوسیله يك کمپرسور فشرده شده و گرم می شود . با دادن گرما دمای آن شاید به  $815^{\circ}\text{C}$  برسد . سپس از طریق توربین ، کمپرسور و توربین قدرت يك



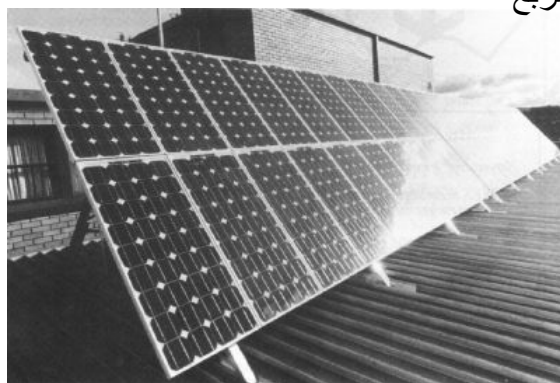
شکل ۱۷- يك سیکل مرکب با دو شفت توربین گازی و يك سیستم ریسور مرکزی [۷]

ژنراتور الکتریکی به حرکت در می آید . در زمانهایی که خورشید نیست ژنراتور بخاری توسط سیستم نگهداری گرمایی و توسط يك کمپرسور جدا کار می کند .

### تبدیل انرژی فتوولتاییک

تبدیل انرژی فتوولتاییک يك تکنولوژی تبدیل مستقیم است که بدون استفاده از سیال نظیر بخار یا سیکل مکانیکی نظیر رانکین یا برایتون از نور خورشید بطور مستقیم

الکتریسیته تولید می کند. سیستمهای فتوولتاییک، ساده، مناسب و قابل اعتماد هستند و نیاز به قطعات متحرک ندارند. به علاوه آنها بصورت ماژول هستند و رشته های یکسان آن در کنار هم قرار گرفته و بر روی سقف نصب می شوند تا یک سیستم مرکزی بزرگ را تشکیل دهند. واحد پایه سیستم فتوولتاییک «سلول خورشیدی» است. سلولهای خورشیدی معمولی از سیلیکون تصفیه شده با غلظت بالا که بصورت شمشهای کریستالی است (که بوسیله سید (دانه) از سیلیکون مذاب تهیه شده) ساخته می شود. شمشها را بصورت ورقه های نازک بریده و صیقل می دهند. مواد تقویتی دیگر به ویفرها اضافه کرده تا به نیمه هادی تبدیل شوند تا از آنها بتوان در تولید سلول خورشیدی استفاده کرد. وقتی که نور خورشید با سلولها برخورد می کند، یک اختلاف پتانسیل الکتریکی ایجاد شده و جریان الکتریکی، وقتی بار خارجی به سلولها متصل باشد، ایجاد می شود. سلولهای سیلیکونی خورشیدی بصورت ورقه های دایره ای با قطر  $7/6 \text{ cm}$  و ضخامت  $300 \mu\text{m}$  می باشند. اگر چه ویفرهای مربعی یا مستطیلی باعث افزایش استفاده از فضا بوسیله پهلوی به پهلوی قرار گرفتن می شود اما ویفرهای دایره ای ارجحیت دارند. یک سلول بطور معمولی توان  $1 \text{ W}$  با ولتاژ  $0/5 \text{ V}$  را تولید می کند. آنها از نظر الکتریکی بصورت سری - موازی قرار گرفته که ماژول نامیده می شوند تا بتوانند جریان و ولتاژ مورد نیاز را تولید کنند. یک ماژول دارای ابعادی در حدود  $1/2 \times 1/2 \text{ m}$  است. چند ماژول یک پانل (صفحه) را تشکیل می دهند. طراحی یک پانل برای اسمبل کردن رشته های فتوولتاییک بزرگ است تا تولید توان کنند. شکل ۱۸ یک رشته فتوولتاییک را نشان می دهد که  $43560 \times 3/4$  پای مربع



شکل ۱۸

را در بر گرفته و شامل  $2366$  ماژول است. آن توان  $60 \text{ KW}$  را برای نیروی هوایی ایالات متحده در «لاگونا» ی در کالیفرنیا را تامین می کند. [۷]

اولین الکتریسیته فتوولتاییک در سال ۱۹۸۵ برای یک فرستنده رادیویی در ماهواره فضایی ونگوارد نصب شد. در آن زمان هزینه آن در مقایسه با سوختهای فسیلی یا هسته ای بسیار بالاتر بود و به  $200$  دلار برای پیک توان می رسید اما در سال ۱۹۷۶ به  $22$  دلار و در سال ۱۹۸۲ برای  $4 \text{ MW}$  پیک توان هزینه آن به کمتر از  $10$  دلار کاهش یافته است. اما برای اینکه بهینه باشد برای هر وات باید کمتر از  $0/7$  دلار هزینه در بر داشته باشد. هزینه تولید الکتریسیته تنها به هزینه ساخت سلولها بستگی ندارد بلکه به تعادل نیروگاه بستگی دارد و هزینه ساخت سلول تنها قسمتی از آن است. قسمتهای غیر فتوولتاییک نیروگاه نظیر

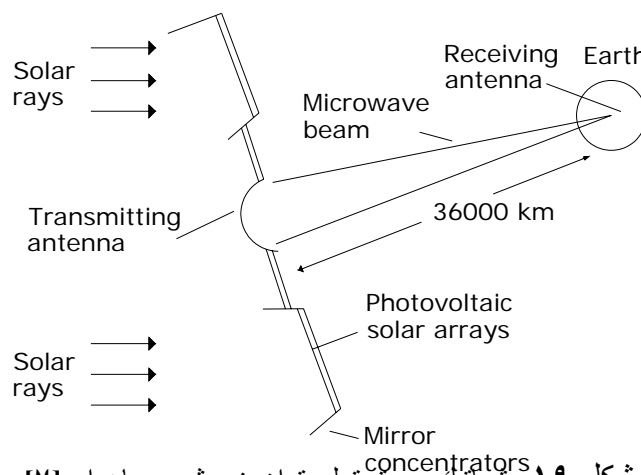
زمین ، فنانسیون ، بناها ، سیم کشی ، تبدیلات DC به ac قدرت ، ارتباط به شبکه و سیستم خنك كننده هم اكنون نزديك دو سوم هزینه را به خود اختصاص مي دهند . بنابراین برای ۱۰ دلار به ازای هر وات ، هزینه نیروگاه به ۳۰۰۰۰ دلار برای هر کیلووات رسیده که این رقم ۱۵ تا ۲۰ برابر نیروگاههای فسیلی و هسته ای است . در ضمن نیروگاه فتوولتاییک برای قسمتهای کوتاهی از روز در پیک خود کار می کند بنابراین مطالعه و بررسی برای کاهش هزینه و تکنولوژی ساخت برای سیلیکون و یا مواد دیگر از قبیل کادمیوم ، سولفید مس ، و سیلیکون غیر کریستالی باید ادامه یابد .

### سیستمهای تولید توان خورشیدی ماهواره

#### سیستم تولید توان خورشیدی ماهواره ( Satellite Solar Power System )

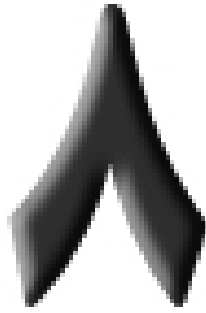
( SSPS ) بر اساس پیشرفتهای برنامه های فضایی و برای اولین بار، مطالعات در دهه ۱۹۶۰ صورت گرفت . تحقیق شامل نحوه قرار گیری ماهواره های زمینی بصورتیکه انرژی خورشیدی را جمع کند و با مدار زمین سنکرون شود . مدار ماهواره حدود ۳۶۰۰۰ Km طول دارد که با مدار زمین موازی است . ماهواره از شرق به غرب و با همان سرعت زاویه ای زمین حرکت می کند .

شکل ۱۹ شماتیک این طرح را نشان می دهد . ماهواره ها ، سلولهای فتوولتاییک بزرگی برای جمع آوری انرژی خورشیدی دارند . همچنین آنها سیستمهای تبدیل توان تولیدی الکتریکی به توان فرکانسهای میکروویو را دارند . یک آنتن بزرگ برای انتقال تشعشعات مایکروویو از موقعیت تقریباً ثابت آن نسبت به زمین وجود دارد که به ایستگاه زمینی انتقال می دهد . ایستگاه نیز یک آنتن دریافت بزرگ دارد که وظیفه تبدیل امواج مایکروویو را به توان الکتریکی ac دارد . ماهواره ها در ارتفاع بسیار بالایی قرار دارند و در بیشتر ساعات در معرض نور خورشید قرار دارند و به سیستم نگهداری انرژی الکتریکی نیاز دارند .



شکل ۱۹ - شماتیک سیستم تولید توان خورشیدی ماهواره [۷]

#### ( Satellite Solar Power System )



# فرستی برای بهره‌گیری از انرژی‌های نو

## خلاصه

### مقدمه

اثرات خارجی، شکست بازار و دخالت دولت  
پولی کردن اثرات خارجی منفی و مثبت  
هزینه تولید برق از انرژی‌های پایدار و فسیلی  
ازدحام و پایان‌پذیری نسبی انرژی‌های پایدار  
مقاسیه هزینه تولید برق از انرژی‌های فسیلی و پایدار  
هزینه اجتماعی تولید برق از انرژی فسیلی  
حرکت به سمت تخصیص بهینه اجتماعی و ترغیب بکارگیری انرژی‌های پایدار  
ایجاد بازار خرید و فروش مجوزهای آلودگی  
داخلی کردن اثرات خارجی  
نتیجه‌گیری



## هزینه های اجتماعی و اثرات خارجی مصرف سوخت های فسیلی در ایران ( فرصتی برای بهره گیری از انرژی های پایدار )

### خلاصه

این فصل ، اثرات خارجی منفی فعالیت های اقتصادی را در ارتباط با تولید برق فسیلی مورد بحث قرار داده است. بعلاوه پایان پذیری نسبی انرژی های پایدار بدلیل بروز اثرات مربوط به " هزینه های ازدحام " مورد اشاره قرار گرفته است. براساس محاسبات متعدد، مقایسه هزینه های خصوصی و اجتماعی تولید برق فسیلی و انرژی های پایدار صورت پذیرفته است. با اطلاع از نااطمینانی در مورد ارقام هزینه های اجتماعی اثرات خارجی مصرف انرژی های فسیلی نشان داده شده است که تولید برق از انرژی های برق آبی کوچک، باد و هسته ای قابلیت رقابت با تولید از انرژی فسیلی را دارا هستند. نهایتاً به منظور حرکت به سمت تخصیص بهینه اجتماعی منابع و فراهم سازی منابع مالی جهت توسعه انرژیهای پایدار، ایجاد بازار خرید و فروش " مجوزهای آلودگی" و یا " داخلی کردن اثرات خارجی " پیشنهاد شده است.

### ۱ - مقدمه

هزینه های اجتماعی فعالیت عامل های اقتصادی از دیر باز مورد توجه اقتصاددانان بوده است. این مباحث که در ابتدا جنبه تحلیلی و تئوریک داشت به تدریج در کشور های مختلف به مباحث جدی حقوقی تبدیل گردید و در بسیاری از موارد از شکست مکانیزم بازار در تخصیص بهینه منابع جلوگیری نموده است. در واقع وجود اثرات خارجی در فعالیتهای تولید و مصرف کنندگان اقتصادی باعث می شود که مکانیزم دست نامرئی نتواند بخوبی عمل نماید و در نهایت جامعه بدلیل عدم تخصیص بهینه متحمل زیان گردید در بحث " اثرات خارجی تولید و مصرف سوخت های فسیلی دسترسی به دو هدف یعنی " تخصیص بهینه اجتماعی منابع " و حرکت به سمت تخصیص بهینه با توسعه بهره گیری از انرژی های پایدار " مورد توجه سیاستگذاران انرژی خواهد بود.

پولی کردن اثرات خارجی منفی از جمله مواردی است که محاسبه هزینه های اجتماعی را با عدم اطمینان و دقت مواجه می سازد. بعلاوه محاسبه هزینه های خصوصی تولید انرژی های مختلف تحت تاثیر نرخ های مختلف از جمله نرخ ارز، بهره و ... قرار دارد. به منظور بدست آوردن يك حاشیه اطمینان، مقاله حاضر محاسبات محققین مختلف را مورد توجه قرار داده است.

اطلاع از این امر که هزینه های اجتماعی تولید برق از انرژی فسیلی بیشتر از انرژی های پایدار است، کافی نیست بلکه بایستی راهکارهای عملی جهت حرکت به سمت تخصیص بهینه اجتماعی و لحاظ هزینه های اجتماعی در مکانیزم قیمت ارائه گردند. به همین دلیل، پیشنهاد ایجاد "بازار خرید و فروش مجوزهای آلودگی" و یا "داخلی کردن اثرات خارجی" به منظور توسعه بهره گیری از انرژی های پایدار پیشنهاد شده است.

## ۲- اثرات خارجی، شکست بازار و دخالت دولت

زمانیکه تصمیمات تولیدی یا مصرفی یک عامل اقتصادی بر فرصت های تولیدی و مصرفی دیگر عوامل اقتصادی بصورت مستقیم و نه از طریق قیمت ها اثر گذاری نماید، این اثرات را اصطلاحاً اثرات خارجی می نامند. در چنین حالتی تخصیص کارا از منابع نمی تواند بوسیله مکانیزم قیمت تضمین شود و اصطلاحاً بازار با شکست مواجه می شود. مکانیزم بازار زمانی می تواند تخصیصی بهینه و کارا از منابع را بدست دهد که قیمت ها هزینه های نهایی فرصت را منعکس نمایند. در یک بیان کلی اگر تولید یک کالا بر  $n$  نفر در جامعه تاثیر می گذارد (اثر مثبت و منفی) آن گاه سطحی از تولید کارا خواهد بود که، هزینه هایی که صرف تولید آخرین واحد تولیدی می شود برابر با مجموع مقداری باشد که این  $n$  نفر تمایل به پرداخت آن واحد اضافی را دارند. بطور تکنیکی این رابطه را می توان بصورت زیر بیان نمود: [۲]

$$\sum_{i=1}^n MRS_{yx}^i = MRT_{yx} \quad (1)$$

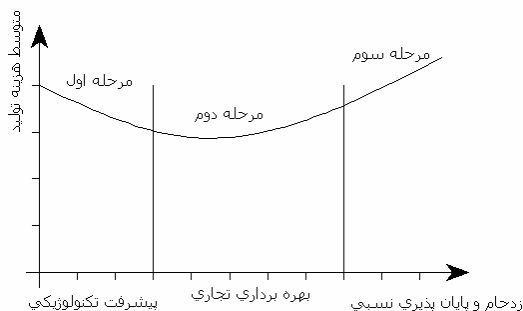
که در آن عبارت سمت چپ مجموع تمایل نهایی پرداخت  $n$  نفر و عبارت سمت راست هزینه آخرین واحد تولیدی می باشد. به عنوان مثال، نیروگاه حرارتی که در یک منطقه مسکونی واقع بوده و از سوخت های فسیلی مانند زغال سنگ و سوخت دیزل، استفاده می نماید دارای تولید خوب (برق) و تولید بد (آلودگی) می باشد. نیروگاه براساس رفتار خصوصی حداکثرسازی سود و با توجه به قیمت برق در بازار و هزینه های تولید، عمل می نماید و سطح تولید خود را به صورت خصوصی بهینه می نماید. بنابراین تولید آن در جایی تعیین می شود که هزینه آخرین واحد تولید با منفعت آخرین واحد تولید برابر باشد و به عبارت دیگر منفعت نهایی خصوصی برابر صفر باشد ( $B^p = 0$ ).

از طرف دیگر به ازاء هر واحد تولید برق توسط نیروگاه یک زیان (منفعت منفی) به جامعه تحمیل می شود که بسته به نوع تکنولوژی و در هر صورت با افزایش تولید برق و مصرف بیشتر سوخت های فسیلی میزان آن بواسطه افزایش انتشار آلاینده ها افزایش می یابد. پس زیان نهایی با افزایش تولید برق فسیلی افزایش می یابد. نمودار (۱) منفعت و هزینه نهایی تولید برق یک نیروگاه نمونه فسیلی را نشان می دهد.

بر اساس این نمودار در صورتیکه دولت و یا یک نهاد مسئول در بازار آزاد دخالت نکند، نیروگاه سود خود را با تولید  $X_3$  در قیمت جاری برق حداکثر و برای آخرین واحد تولید هزینه ای به میزان  $C_3 X_3$  واحد به جامعه تحمیل خواهد نمود. مجموع هزینه های تحمیلی به جامعه که در واقع هزینه مربوط به سلامت افراد می باشد برابر با مساحت  $X_1 C_3 X_3$  می باشد. اگر چنانچه دولت در بازار دخالت کند و اجازه تحمیل هیچگونه هزینه اجتماعی را به نیروگاه ندهد، آنگاه نیروگاه مجبور به تولید در سطح  $X_1$  خواهد بود. در صورتیکه بین نیروگاه و خسارت دیده گان امکان مذاکره بدون هزینه وجود داشته باشد برای هر یک از طرفین مناسب است که در سطح  $X_2$  تولید نماید یعنی جائیکه هزینه نهایی اجتماعی هر واحد تولید برابر با منفعت نهایی آن و به دیگر سخن منفعت خالص نهایی اجتماعی برابر صفر باشد. لذا با ابزارهای بازار مانند مالیاتها می توان به سطح بهینه اجتماعی نزدیک شد و در عین حال منابع مالی نیز بدست آورد.

### ۳- ازدحام و پایان پذیری نسبی انرژی های پایدار

تا زمانیکه بهره برداری از انرژی های نو به مرحله ازدحام نرسیده باشد، هزینه نهایی ازدحام صفر می باشد اما پس از رسیدن به مراحتی از بهره برداری، امکان بهره گیری از انرژیهای تجدیدپذیر (مثل باد) در شرایط دشوارتری صورت می پذیرد (مثلاً در مکانهای پر هزینه تر و دورتر از شبکه های توزیع برق) و لازم است که در آن شرایط هزینه های نهایی ازدحام نیز به هزینه های سرمایه ای و بهره برداری اضافه شود. در شرایط فعلی هزینه ای برای این مورد لحاظ نمی گردد. چرا که مطابق نمودار ۲- کشور ایران در بهره گیری از انرژی های پایدار در مرحله اول که همراه با کاهش هزینه های ناشی از بهبود تکنولوژی است، قرار دارد. نزولی بودن هزینه تولید برق بادی بخاطر پیشرفت های تکنولوژیکی در دانمارک باعث شده که هزینه تولید از ۱۵/۷۲ سنت در هر کیلو وات ساعت در سال ۱۹۸۰ به ۴/۸۴ سنت در سال ۱۹۹۰ و ۳/۳۶ سنت در هر کیلو وات ساعت در سال ۱۹۹۵ کاهش یابد.



نمودار ۲- پایان پذیری نسبی انرژی های تجدید پذیر به دلیل هزینه های ازدحام [ ۲ ]

#### ۴ - پولي کردن اثرات خارجي منفي و مثبت

يکي از موارد مهم قابل بحث در محاسبه هزینه ها و منافع اجتماعي طرحهاي سرمايه گذاري، پولي کردن اثرات مثبت و منفي خارجي است. يك شيوه استاندارد و مشخص براي پولي کردن اثرات وجود ندارد همين امر مي تواند ميزان منافع يا زيان اجتماعي را کمتر يا بيشتر از حد تخمين نمايد. مثلاً در بحث توليد برق از انرژي هاي فسيلي، هزینه انتشار آلاينده ها بطور متوسط در مناطق مختلف يکسان در نظر گرفته مي شود در حالیکه بسته به موقعيت نيروگاه و نزديکي آن به مراکز مسکوني و نيز شرايط جوي، اين خسارت مي تواند کمتر و يا بيشتر برآورد گردند.

بعلاوه لحاظ پارامترهاي محلي در کنار پارامترهاي جهاني مثلاً مسئله گرم شدن کره زمين محاسبات را در سطح نسبتاً بالائي تغيير مي دهد. اين مسئله خصوصاً در مورد هزینه هاي سلامت انساني بيشتر صادق است. اينکه انتشار آلاينده ها بر چند نفر تاثير گذارده و باعث مرگ چند نفر گرديده، بسيار پيچيده است. متوسط مبلغی که شرکتهای بیمه برای مرگ در نتیجه حادثه می پردازند در مقابل برآورد درآمدهای خالص شخص اگر دليل آلودگي جان خود را از دست نمی داد، ارقام بسیار متفاوتی را بدست مي دهد. راههاي رقيب مانند هزینه اي که بایستی صرف شود تا از آلودگي جلوگیری شود نيز داراي سختي ها و مشکلات مختلفي است که در جاي خود برآوردهای متفاوتی را بدست مي دهند. هزینه هاي اتلاف وقت، مصرف بيشتر بنزين به خاطر ترافیک شهري، هزینه هاي بهداشتي و استفاده از شوينده ها در تهران به ترتيب ۲۳۰، ۱۱، ۲۹۶ و ۶۵ ميليارد ريال براي يك سال برآورد شده است.

جلوگيري از انتشار آلاينده در يك نيروگاه برق فسيلي مي تواند با تغيير نهاد مصرفي يعني سوخت مصرفي ( مثلاً از گازوئيل و زغال سنگ به گاز طبيعي ) صورت پذيرد. همچنين هزینه کنترل انتشار آلاينده ها مي تواند با نصب جاذب ها، برآورد گردد. هزینه نصب فیلتر در يك نيروگاه ۷۰۰ مگاواتي با سوخت مازوت حدود نيم سنت براي هر كيلو وات ساعت مي باشد. با توجه به روش هاي فوق نمي توان به يك سطح مشخصي از هزینه هاي اجتماعي ناشي از آلاينده هاي زيست محيطي دست يافت اما به هر جهت با برآورد هزینه ها به روش هاي مختلف مي توان دامنه اي از هزینه ها را بدست آورد که معمولاً در تحليل حساسيت محاسبات نيز مورد استفاده قرار مي گيرد.

## ۵ - هزینه تولید برق از انرژی های پایدار و فسیلی

تاکنون در ایران حدود ۶۵۰۰ مگاوات پتانسیل انرژی بادی، سایت یابی شده که حدود ۲۸ درصد ظرفیت اسمی تولید فعلی برق کشور می باشد. طی سالهای ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۶ به منظور حفظ و مدیریت مرتع کشور حدود ۵۴ پمپ بادی جهت استخراج آب نصب گردیده است. همچنین طی سالهای ۱۳۷۳ تا ۱۳۷۶، تعداد ۱۱ واحد توربین بادی با قدرت اسمی ۳۰۰ تا ۵۵۰ کیلووات، مجموعاً به میزان ۴ مگاوات در منطقه منجیل نصب گردیده است. تولید برق توسط نیروگاههای بادی و خورشیدی احداثی سازمان انرژی اتمی ایران بیش از ۴۲۰۰۰ مگاوات ساعت تا سال ۱۳۷۷ بوده است. علاوه بر تولید برق از انرژی باد و خورشیدی کاربردهای دیگری نیز وجود دارد که در ایران تجربه ایجاد آبگرمکن های خورشیدی، حمام خورشیدی و نیز استخراج آب بوسیله توربین های بادی از این جمله می باشند. جدول (۱) مقایسه هزینه های خصوصی تولید برق از نیروگاههای فسیلی، هسته ای، خورشیدی و بادی را نشان می دهد که بوسیله محققین مختلف ارائه شده است. همانطوریکه اطلاعات جداول نشان می دهد متوسط هزینه تولید برق بوسیله انرژی های فسیلی و پایدار در دامنه نسبتاً بزرگی حاصل شده اند. مثلاً هزینه تولید هر کیلو وات ساعت برق بادی در دامنه ۸۳ تا ۳۹۰ ریال در هر کیلووات ساعت قرار دارد.

جدول ۱- متوسط قیمت تولید برق از انرژی باد و خورشید و برق آبی کوچک  
(حد پایین و حد بالا) [ ۲ ]

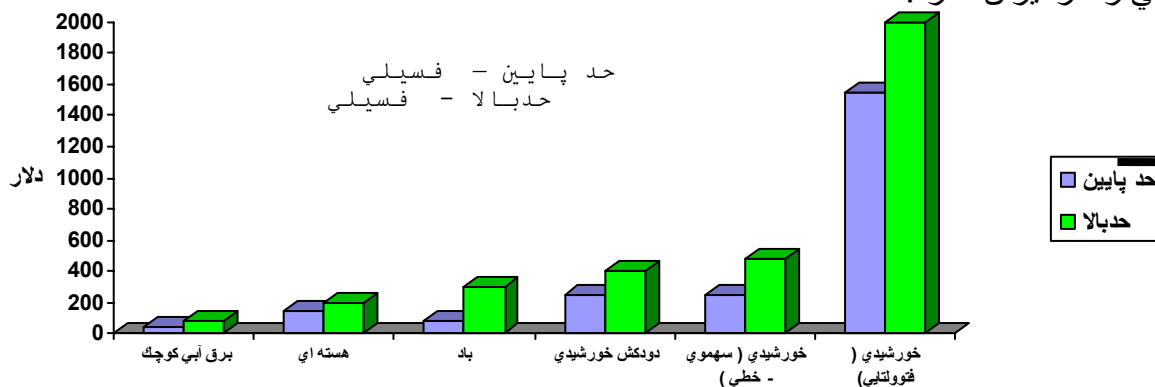
محققین	ریال- کیلووات ساعت	سایر توضیحات
عباس پور و سایر همکاران (۱۳۷۱ و ۱۳۷۶) (انرژی باد)	۸۳ و ۳۹ و ۵۲ و ۷۸	نرخ بازده داخلی ۵ تا ۶/۵ درصد و دوره بازگشت سرمایه ۱۰ تا ۱۲/۵ سال و تعداد توربین های بادی بین ۵ تا ۵۰ واحد. نرخ تورم ۱۸٪ بهره داخلی ۱۶٪ و نرخ بهر ارزی ۸٪ در نظر گرفته شده است.
وزارت نیرو (۵۷ و ۱۳۷۶) (انرژی بادی)	۱۴۴، ۶، ۲۱۹، ۳	نیروگاه بادی ساخت داخل، یک عدد توربین ۶۰۰ کیلووات با هزینه سرمایه ای ۱۳۰۰ دلار در هر کیلووات، متوسط هزینه تولید برق هر کیلو وات ساعت ۷/۳۱ سنت می باشد. برای ۵۰ عدد توربین هزینه سرمایه ۹۹۰ دلار و متوسط هزینه تولید ۴/۸۲ سنت در هر کیلووات ساعت می باشد.
فسقندیس (۱۳۷۸ و ۱۳۷) بادی ۳۰۰ کیلووات بادی ۵۰۰ کیلو وات	۱۶۳، ۲ ۱۷۷، ۱	نرخ ارز ۳۰۰۰ ریال لحاظ شده است.
ترازنامه انرژی (۱۴۳ و ۱۳۷۶) (انرژی بادی) ۱	۳۱۰-۳۹۰	بر اساس منابع معتبر جهانی قیمت تمام شده تولید برق بادی بین ۷ تا ۱۳ سنت در هر کیلووات ساعت می باشد.
عنایتی (۱۳۷۱ و ۱۳۷۶) (برق آبی کوچک)	۳۰-۴۴، ۵	نیروگاه یاسوج با قدرت نصب شده ۲۵۰۰ کیلووات ساعت و جنت رودبار با ۱۰۰۰ کیلووات دارای هزینه ۳۰ ریال در هر کیلووات ساعت می باشد. سال پایه ۱۳۷۳ می باشد.
گوچری (۱۳۷۶ و ۱۳۷) (خورشیدی) (سیستمهای فتو ولتایی)	۱۵۶۰-۱۹۹۱	برای نواحی پنجگانه خورشیدی ایران بررسیهای اقتصادی نشان می دهد که برای روستاهای با کمتر از ۷ خانوار و در فاصله بیش از ۱۰ کیلومتری شبکه برق اقتصادی است.
خادمی (۱۳۷۶ و ۱۳) (خورشید - سهموی خطی)	۳۹۰-۴۸۰	در مرحله تجاری - صنعتی قرار داد و برای نصب هر کیلووات توان حدود ۲۵۰۰-۳۰۰۰ دلار نیاز می باشد بر مبنای دلار ۱۹۹۰ و نرخ های بین المللی
(دودکش - خورشیدی)	۲۹۱-۴۲۰	برآورد هزینه برای ایران انجام شده است. هزینه تولید برای ظرفیت ۳۰ مگاوات حدود ۱۴-۱۳/۶ سنت و ۱۰۰ مگاوات ۹/۹-۹/۷ سنت در هر کیلو وات ساعت می باشد.
(خورشید - سهموی خطی) (در ایران)	۲۴۶-۲۵۸	قیمتهای جهانی برحسب برخی هزینه های داخلی تعدیل شده اند.
عباس پور و همکاران (۱ و ۱۳۷۶) (نیرو گاه فسیلی)	۱۲۹-۱۶۰، ۸	طول عمر ۳۰ سال، قیمت نفت خام بشکه ۱۶ و ۲۰ دلار به ترتیب هزینه تولید هر کیلو وات ساعت برق ۴/۳ و ۵/۳۶ سنت می باشد.
خادمی (۱۳ و ۱۳۷۶)	۱۵۰-۲۷۰	هزینه سرمایه گذاری اولیه برای بار پیک، با مبنای و بار پایه به ترتیب ۴۰، ۶۲۵ و ۱۵۲۵ دلار آمریکا برای هر کیلووات ظرفیت می باشد. و متوسط هزینه تولید هر کیلو وات ساعت برق به ترتیب ۵/۹، ۶ و ۵ سنت می باشد.
فسقندیس (۱۳۷۸) فسیلی (با لحاظ هزینه های اجتماعی) بخاری منحج (با لحاظ هزینه های اجتماعی)	۱۳۳، ۷-۱۸۰، ۵ ۱۶۸، ۲-۲۱۵، ۲	پایین محاسبات هزینه های اجتماعی وزارت نیرو و حد بالا محاسبات EPA
عباس پور و همکاران (۱ و ۱۳۷۶) (انرژی هسته ای)	۱۵۴-۱۹۲، ۹	در دامنه ۴۳-۱۶ و ۵۰ سنت برای هر کیلووات ساعت می باشد.

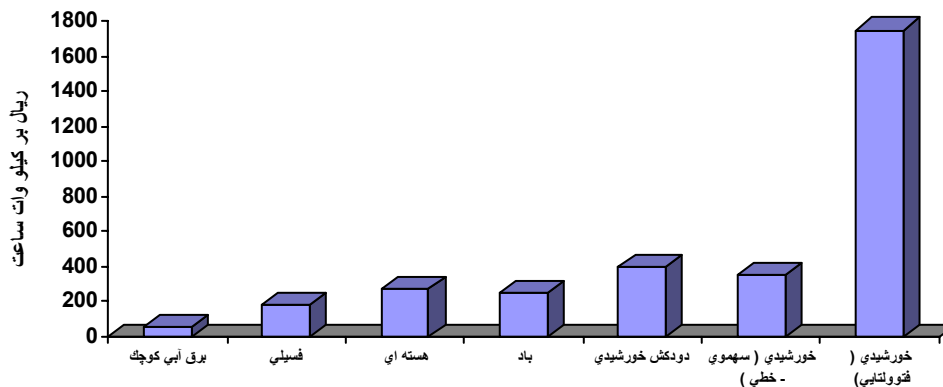
- (۱) متوسط نصب هر كيلو وات برق بادي ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ دلار و در ايران ۶۰۰ دلار به بالا مي باشد.  
(ترازنامه انرژي سال ۱۳۷۶ و ۱۴۳۰).
- (۲) پتانسيل نيروگاههاي برق آبي كوچك در کشور ۴۲۰۰ مگاوات مي باشد. هزينه احداث هر كيلو برق آبي كوچك در قيمتهاي جهاني ۱۰۰۰ تا ۱۶۰۰ دلار و در ايران ۷۰۰ تا ۸۰۰ دلار مي باشد.

## ۶- مقايسه هزينه توليد برق از انرژي هاي فسيلي و پايدار

با توجه به اطلاعاتي که در بخش قبل ارائه گرديد مي توان مقايسه هزينه هاي خصوصي توليد برق از انرژي هاي فسيلي و پايدار را به انجام رساند. البته قبل از انجام اين مقايسه لازم به يادآوري است که محاسبات هزينه ها و نيز منافع توليد برق، از انرژي هاي فسيلي يا پايدار تحت تاثير عوامل متعددي همچون نرخ بهره بين المللي، نرخ تورم و نرخ ارز مي باشند. همين امر موثر هستند تکنولوژيکي و ناکارائي توليد، نحوه محاسبه هزينه هاي ازدحام، از جمله موارد دي هستند که بر محاسبات هزينه هاي اجتماعي تاثير مي گذارند.

استفاده از نرخ هاي ميانگين ( حد پايين و حد بالا ) که توسط مطالعات مختلف بدست آمده مي تواند پايداري نسبي محاسبات را براي دامنه اي از نرخ ها بدست دهد. همانطوریکه نمودار (۳) نشان مي دهد توليد برق فسيلي در دامنه ۱۵۰ تا ۲۷۰ ريال براي هر كيلو وات ساعت قرار داشته و فقط انرژي هسته اي و برق آبي قابليت رقابت را با فسيلي دارا مي باشند. البته حد پايين هزينه هاي توليد روش سهموي خطي و انرژي باد نيز قابليت رقابت را نشان مي دهند. با در نظر گرفتن ميانگين هزينه توليد برق بوسيله روشهاي مختلف و در نظر گرفتن هزينه توليد برق فسيلي در بار پايه ملاحظه مي شود که تنها برق آبي كوچك از لحاظ هزينه هاي متوسط توليد قابليت رقابت را با فسيلي دارا هستند ( نمودار ۴ را ملاحظه كنيد ). اين در حالي است که قيمت متوسط فروش برق در سال ۱۳۷۶ حدود ۴۹/۵ ريال در هر كيلووات ساعت و حداکثر قيمت متوسط در يافتي از بخش تجاري، ۹۹/۶ ريال بوده است. مقايسه هزينه هاي خصوصي نشان داد که هنوز بهره برداري از انرژي هاي پايدار قابليت رقابت با انرژي هاي فسيلي را در ايران ندارد.





نمودار ۴- مقایسه هزینه های خصوصی تولید برق [ ۲ ]

## ۷- هزینه اجتماعی تولید برق از انرژی فسیلی

گرچه ارقام دقیق هزینه های اجتماعی ناشی از اثرات خارجی فعالیت های اقتصادی در عمل دشوار و گاهی غیر ممکن است اما با استفاده از برخی روشهای نوآورانه، این هزینه ها برآورد می گردند. براساس سنجش میزان انتشار آلاینده های نیروگاههای فسیلی و استفاده از ضرائب مربوط به پولی کردن اثرات ( مثلاً ضرائبی که EPA برای آمریکا بکار می گیرد ) می توان این انتشار را به معادل آن تبدیل نمود. جدول (۲) هزینه های زیست محیطی مربوط به انتشار آلاینده های نیروگاههای فسیلی را در سال ۱۳۷۶ در بر دارد.

جدول ۲- شاخص آلودگی و هزینه های زیست محیطی نیروگاههای فسیلی تولید کننده برق در ایران [ ۲ ]

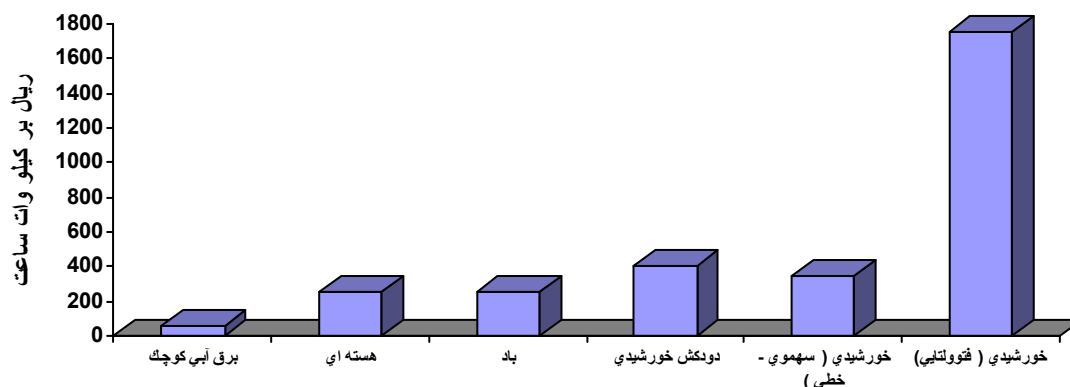
نیرگاه	در صد تولید برق	شاخص آلودگی C gr/kWh	هزینه زیست محیطی ریال - kWh
بخاری	۷۱	۱۶۷	۱۰۳/۹
گازی	۲۱	۲۳۳/۱	۱۱۰/۴
دیزلی	۰/۵	۲۱۴/۱	۱۲۸/۷
برق آبی	۷/۵	۱/۸	۰/۵
میانگین	۱۰۰	۱۶۸/۶	۹۷/۵۹

همانطوری که جدول (۲) نشان می دهد بیشترین میزان انتشار کربن توسط نیروگاههای

گازی با ۲۳۳/۱ گرم کربن در هر کیلووات ساعت و پس از آن نیروگاههای دیزلی با ۲۱۴/۱ گرم در هر کیلووات ساعت می باشند. این در حالی است که بالاترین سهم تولید برق به نیروگاههای بخاری تعلق دارد و نیروگاههای گازی فقط ۲۱ درصد تولید را در اختیار داشته اند. هزینه های زیست محیطی تولید هر کیلووات ساعت برق در نیروگاههای دیزلی ۱۲۸/۷ ریال بوده که بالاترین رقم را نشان می دهد. میانگین هزینه های زیست محیطی حدود ۹۷/۵ ریال به ازاء هر کیلو وات ساعت تولید برق بوده است. متوسط هزینه کل ( خصوصی بعلاوه اجتماعی ) تولید برق از سوخت های فسیلی حدود ۲۴۷ ریال در هر کیلو وات ساعت می باشد، که در مقایسه با هزینه های تولید برق از نیروگاههای برق آبی کوچک، انرژی هسته ای



و بادي بيشتري مي باشد. همانطوري كه نمودار (۵) نشان مي دهد در صورتيكه دولت در بازار مداخله نمايد و هزينه هاي اجتماعي انتشار آلاينده هاي زيست محيطي نيروگاههاي فسيلي را براساس هر كيلووات ساعت ۹۷ ريال دريافت نمايد آنگاه بهره گيري از انرژي هسته اي و بادي نيز اقتصادي مي شوند.



نمودار ۵- مقایسه هزینه متوسط تولید برق از انرژیهای پایدار و فسيلي با لحاظ هزینه هاي اجتماعي [ ۲ ]

#### ۸- حرکت به سمت تخصیص بهینه اجتماعي و ترغیب بکارگيري انرژي هاي پایدار

با دخالت دولت و يا هر نهاد سياستگذار قانوني ديگر، مي توان هزينه هاي اجتماعي توليد برق را کاهش داد از آنجايي كه کاهش توليد برق تا سطحي كه مثلاً ميزان انتشار آلاينده ها به حد استاندارد رسيده و بصورت مؤثري نتوانند بر سلامت انسان اثر گذاري نمايند، عملاً ممكن نيست، لذا اين امر مي تواند براساس ابزارهاي مبتني بر بازار صورت پذيرد تا بتوان در مسير افزايش توان توليد انرژي هاي پايدار بجاي کاهش توليد فعلي از انرژي هاي فسيلي، گام برداشت. بستن ماليات بر آلاينده ها و يا ايجاد يك بازار براي تجارت آلاينده ها مي تواند ابزاري براي كنترل انتشار آلاينده ها و فراهم سازي نقدينگي لازم براي توسعه انرژي هاي پايدار باشد. تعيين حد مجاز انتشار آلاينده ها و امكان انتشار بيشتري آلاينده ها با خريد مجوزهاي آلودگي كه از طرف نهاد سياستگذار به فروش مي رسد، مي تواند امكانات فوق را فراهم سازد. در شرايط فعلي كه سوخت نيروگاهها بصورت يارانه اي تامين مي شود، قيمت هاي فعلي برق، حاشيه سود مناسبی براي نيروگاهها فراهم آورده است. با توجه به اينكه قيمت هاي بازاری برق و سوخت هاي فسيلي بطور همزمان به سمت بالا تعديل مي شوند، لذا سودآوری شرکت هاي منطقه اي برق را تحت تأثير چندانى قرار نمي دهد. لذا برنامه ماليات بر انتشار آلاينده ها يا فروش مجوزها مي تواند به نفع توسعه انرژي هاي پايدار عملي گردد و اين در عمل به معنای حرکت به سمت تخصیص بهینه اجتماعي يعني توليد بيشتري برق با آلايندگي کمتر و تخريب محيط زيست کمتر مي باشد. در واقع با ايجاد اين بازار مي تواند سه هدف کاهش انتشار آلاينده ها در سطح ملي، بهينه سازي مصرف انرژي و ايجاد يك منبع دائمي مالي براي توسعه انرژيهاي پايدار را فراهم ساخت.

کنگره آمریکا به توصیه اقتصاددانان مبني بر توانايي بازار براي تخصیص کارايي

هزینه هاي کاهش آلودگي هوا، لايحه اصلاحي قانون هواي تميز ( CAAA ) را در سال

۱۹۹۰ به تصویب رساند. این قانون، بازاری را برای مبادله مجوزهای مربوط به انتشار دی اکسید سولفور ( $SO_2$ ) توسط نیروگاههای زغال سوز فراهم ساخت. دی اکسید سولفور موجود در فضا هنگام نزولات جوی باعث ریزش باران های اسیدی می شود که هزینه های زیادی را به جامع تحمیل می کند.

فکر استفاده از بازار برای کاهش اثرات خارجی منفی ( همچون آلودگی ) اولین بار توسط پیگو ارائه شده است. پیگو خاطر نشان کرده که مالیات بر آلودگی، پتانسیل بالایی را برای کاستن از هزینه های کاهش انتشار ایجاد می کند. گوس خاطر نشان کرده است که اگر طرفین ( یعنی ضرر بینندگان و ایجاد کنندگان ضرر ) بتوانند بدون هزینه و بدون مشکل مذاکره کنند، بازار توانایی لازم را برای حذف اثرات خارجی خواهد داشت و شکست نخواهد خورد.

روش مطروحه در CAAA برگرفته از مطالعه دلالس می باشد او خاطر نشان کرده است که ایجاد حق مالکیت برای منابع عمومی مانند هوای تمیز و آب تمیز می تواند باعث توسعه یک بازار برای این منابع شود. با ایجاد بازار، قیمت ها به راحتی خواهند توانست بصورت کارایی هزینه های نگهداشت منابع را بین مصرف کنندگان تخصیص دهند. مونتگومری نیز ثابت کرده است که در یک محیط رقابتی با اطلاعات کامل، هیچ طرح قانونمند دیگری وجود ندارد که بتواند استانداردهای محیطی مشخص را با هزینه ای کمتر از آنچه روش تجارت جوازهای آلودگی بدست می دهد، ارائه نماید.

با توجه به مطالب فوق کنگره آمریکا لایحه ( CAAA ) را به تصویب رساند و عملاً بازار مبادله جوازهای آلودگی را ایجاد نمود. بررسی اطلاعات نشان می دهد که انتشار  $SO_2$  در سال ۱۹۸۰ در آمریکا در سطح ۲۰ میلیون تن در سال بوده که در سال ۱۹۹۷ به سطح ۱۳/۸ میلیون تن کاهش یافته است. کاهش این رقم به سطح ۸/۹۵ میلیون تن تا سال ۲۰۱۰ در قانون به تصویب رسیده است. طبق قانون، نیروگاهها اجازه دارند که جوازهای آلودگی خود را به دیگران واگذار و یا اینکه آنها را ذخیره کنند و در سالهای بعدی مورد استفاده قرار داده و یا به فروش برسانند. در پایان هر سال مالی، نیروگاهها بایستی دارای جوازهای کافی برای مقدار انتشار آلوده های خود باشند. هزینه هر جواز ( یک تن آلوده  $SO_2$  ) در سالهای ۱۹۹۳ و ۱۹۹۴ و ۱۹۹۵ را به ترتیب ۱۵ و ۱۵۹ و ۱۳۲ دلار بوده است. نیروگاهها برای خرید و فروش هر مجوز آلودگی در سال ۱۹۹۷ حدود ۱۱۰ دلار پرداخته اند. در ایران برای حرکت به سمت تخصیص بهینه اجتماعی در تولید برق فسیلی و لحاظ هزینه های مربوط به اثرات خارجی منفی، دو راه حل پیشنهاد می گردد:

#### الف- ایجاد بازار خرید و فروش مجوزهای آلودگی

در ابتدای ایجاد این بازار، بایستی قیمت هر مجوز در سطوح پایینی تعیین شود و بعلاوه بخشی از افزایش هزینه های تولید در نتیجه خرید این مجوزها بتواند در قیمت های تجاری و خانگی فروش برق لحاظ گردد. بررسی عملکرد دوره اول این بازار اطلاعات

مناسبي را جهت تعيين نرخ جديد مجوزها با توجه به شرايط کلي اقتصادي ( مثلاً نرخ تورم، نرخ ارز، رشد قيمت حامل هاي انرژي و ... ) فراهم مي سازد. فروش مجوزها توسط دولت ( يا مقامات محلي ) منابع مالي مناسبی را فراهم مي سازد که بايستي در اختيار نهاد يا نهادهایی قرار گیرد که وظيفه توسعه انرژي هاي پايدار را بر عهده دارند ( سازمان انرژي اتمي و وزارت نيرو ). همچنين اين منابع مالي مي تواند به شرکت هاي خصوصي و افراد جهت تحقيق و توسعه در زمينه انرژي هاي پايدار و يا توليد برق که در نرخ هاي تضميني خريداري مي شوند، تخصيص و امهاي کم بهره يا بدون بهره، پرداخت يارانه به توليدکنندگان برق از انرژي پايدار و يا خريد تضميني برق توليدي از توليد کنندگان انرژي هاي پايدار و فروش آن به قيمت هاي جاري بازار به شرکتهای برق منطقه اي مي تواند از محل اين وجوه صورت پذيرد.

### ب- داخلي کردن اثرات خارجي

در صورتیکه نیروگاهها قانوناً اين حق را نداشته باشند که هزينه هايي را از طريق انتشار آلاينده ها به جامعه تحميل نمايند و نيز امکان مذاکره بين طرفين وجود داشته باشد، مي توان به تخصيص بهينه اجتماعي دست يافت. اما معمولاً مذاکره بين تعداد زيادي از شهروندان که از اثرات خارجي منفي ( مثلاً انتشار آلاينده ها ) زيان مي بينند بسيار پرهزينه و در مواردی بدليل مسئله سواري مجاني امکان ناپذير است. يك راه حل عملي، داخلي کردن اثرات خارجي است. بدین مفهوم که شرکتهای برق مطابق قانون هر ساله موظف به سرمايه گذاري در بخش انرژي هاي پايدار باشند. ميزان اين سرمايه گذاريها برابر با مقدار درصدي از هزينه هاي اجتماعي تحميلي به جامعه است که توسط سياستگذاران انرژي کشور تعيين مي شود. در اينصورت شرکت هاي برق موظف به خريد مجوزها و پرداخت پول نيستند بلکه با سرمايه گذاري مشخص در انرژي هاي پايدار و يا توليد مشخصي از برق توسط انرژي هاي پايدار، مسئله اثرات خارجي را به اين شکل حل نمود و اصطلاحاً آن را داخلي مي نمايند.

## ۹- نتیجه گیری

بررسی ادبیات اثرات خارجی فعالیتهای اقتصادی نشان داد که اثرات خارجی منفی باعث تخصیص غیر بهینه اجتماعی می گردد. ضمناً محققین مختلف نشان دادند که ایجاد یک بازار جهت لحاظ کردن هزینه های اجتماعی مربوط به ستادهای بد می تواند کارائی لازم را داشته باشد.

بررسی های مختلف در مورد تولید برق از انرژی های پایدار و فسیلی نشان داد که در ایران بدون لحاظ هزینه های اجتماعی مربوط به اثرات خارجی منفی، فقط تولید برق از پتانسیل های کوچک آبی قابلیت رقابت با برق فسیلی را داراست. تولید برق از انرژی های برق آبی کوچک، هسته ای و بادی به ترتیب دارای هزینه کمتری در هر کیلو وات ساعت نسبت به برق فسیلی با لحاظ هزینه های خصوصی و اجتماعی تولید برق فسیلی می باشند. از آنجایی که محاسبات به نرخ های بهره، ارز، ضریب بهره برداری، نحوه پولی کردن اثرات منفی خارجی، لحاظ یا عدم لحاظ هزینه های اجتماعی برای انرژی های پایدار و ... بستگی دارد، نمی توان به یک نتیجه قطعی در مورد هزینه تمام شده هر کیلو وات ساعت برق تولیدی از انرژی های پایدار و فسیلی دست یافت. برای این منظور از محاسبات مختلف جهت بدست آوردن دامنه ای از این هزینه ها استفاده شد. اما مسئله مهم در این راستا دستیابی به سطوحی از تخصیص بهینه اجتماعی از طریق اعمال روشها و یا سیاستهایی است که با کمترین هزینه بروکراسی قادر به انجام آن باشد. ایجاد بازار خرید و فروش مجوزهای آلودگی که براساس آن ضمن کنترل سطح انتشار آلاینده و صرفه جویی انرژی می توان زمینه لازم را جهت توسعه انرژی های پایدار فراهم ساخت، پیشنهاد گردید. فروش مجوزهای آلودگی می تواند تامین مالی پروژه های مربوط به انرژی های پایدار را به عهده بگیرد.

بعلاوه داخلی کردن اثرات خارجی منفی تولید برق فسیلی به عنوان یک شیوه رقیب پیشنهاد گردید. بدین ترتیب شرکتهای برق طبق قانون موظف خواهند بود که درصد مشخصی از تولید خود را از انرژیهای پایدار به انجام برسانند. براساس این پیشنهاد، توسعه انرژی های پایدار تا قبل از فرا رسیدن به مرحله ازدحام می تواند به صورت خود اتکا و مداوم به انجام برسد. مطالعات بیشتر و دقیق آلایندهی هر یک از نیروگاهها و اثرات اعمال این سیاست بر هزینه های تولید و غیره ضروری به نظر می رسد.

- ۱- سید احمد موسوی فر " تقاضای جهانی انرژی و منابع تامین آن راههای ممکن تولید هیدروژن از نظر فنی و اقتصادی " ، مجموعه مقالات سومین همایش ملی انرژی، صفحات ۸۹۰-۸۸۳
- ۲- محمد مزرعتی، سید محمد رضا آیت اللهی " هزینه های اجتماعی و اثرات خارجی مصرف سوخت های فسیلی در ایران ( فرصتی برای بهره گیری از انرژی های پایدار ) " مجموعه مقالات سومین همایش ملی انرژی صفحات ۵۲۶-۵۱۲
- ۳- ابوالقاسم علی قادر دانشی، مهرداد عدل " بیو گاز در ایران ( پتانسیل موجود، استحصال فعلی و دورنمای آینده " مجموعه مقالات سومین همایش انرژی صفحات ۵۹۹-۵۸۲
- ۴- محمد صادق حامد، منوچهر حبیبی " تاریخ صنعت برق در ایران "
- ۵- مولود شیوا " انرژی هیدروژنی و کاربرد آن در پیل های سوختی " کنفرانس برق دانشگاه آزاد همدان سال ۷۹
- ۶- محمود ثقفی " انرژی های تجدید پذیر نوین " چاپ دوم
- 7- M.M.EL-Wakil "PowerPlant Technology"
- 8- [www.eere.gov /Wind & /Geothermal & /Hydrogen &/Biomass](http://www.eere.gov/Wind%20&%20Geothermal%20&%20Hydrogen%20&%20Biomass)
- 9- [www.nrel.gov /Wind](http://www.nrel.gov/Wind) سایت انرژی های نو آمریکا
- 10- [www.climate-change.ir](http://www.climate-change.ir) سایت دفتر طرح ملی تغییر آب و هوا
- 11- [www.iranwindturbine.com](http://www.iranwindturbine.com) سایت کارخانه تولید توربین بادی سهند تبریز
- 12- [www.iran-newspaper.com](http://www.iran-newspaper.com) آرشیو سایت خبری روزنامه ایران