دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

مهندسی برق قدرت

موضوع: تولید برق بدون مصرف سوخت

استاد راهنما: آقای رمضانی گل افزایی

نام پژوهشگر: مجید قربانی دزلی

شماره دانشجویی: ۸۲۱۲۸۴۲۴۳۴

نیمسال دوم

سال تحصیلی ۸۵_۸۴

فصل اول: انرژی بیوماس

۱_۱ مقدمه.....۶

۱_۲ منابع بیوماس ۸

۱_۳ محصولات انرژی زا.....۸

۱_۳_۱ ضایعات شهری وصنعتی ۸

۱_۳_۲ ضایعات جامد شهری ۹

۱_۳_۳ ضایعات مایع.....۱۰

۱_۳_۴ فضولات دامی ۱۰

۱_۴ تکنولوژیهای تبدیل انرژی بیوماس ۱۰

۱_۵ فرآیند های احتراق مستقیم ۱۱

۱_۶ سیستمهای احتراق زیست توده سوز با کوره های بستر ثابت.....۱۲

۱_۷ کوره های احتراق بستر سیال (FBC) ۱۴

۱_۸ فرآیند های ترمو شیمیایی ۱۵

۱_۸_۱ تولید سوختهای جامد ۱۷

۱_۸_۲ تولید سوختهای مایع.....۱۷

۱_۸_۳ انواع راکتورهای گازی کننده براساس نوع راکتور ۲۰

۱_۸_۳_۱ راکتور بستر ثابت ۲۰

۱_۸_۳_۲ راکتور بستر سیال.....۲۱

۹_ ۱ فرآیندهای بیوشیمیایی ۲۲

۱_۹_۱ تخمیر بیهوازی برای تولید بیوگاز..... ۲۲

۲_۹_۱ تولید بیوگاز از فضولات دامی و پسمانهای کشاورزی ۲۷

۳_۹_۱ تولید بیوگاز از زباله های شهری ۳۰

۴_۹_۱ تخمیر اتانول ۳۲

۱۰_۱ مقایسه نقاط قوت و ضعف فن آوری تبدیل انرژی..... ۳۵

۱۱_۱ مقایسه سازگاری فن آوریها با انواع مختلف منابع زیست توده..... ۳۶

۱۲_۱ تبدیل بیوماس به الکتریسیته ۳۷

۱_۱۲_۱ نیروگاههای با موتورهای احتراقی ۳۸

۲_۱۲_۱ نیروگاههای بیوماس بخاری ۳۹

۳_۱۲_۱ نیروگاههای بیوماس توربین گازی ۴۱

۴_۱۲_۱ نیروگاههای بیوماس سیکل ترکیبی ۴۱

۱۳_۱ بررسی بیوماس از دیدگاه اقتصادی ۴۲

۱۴_۱ بررسی زیست محیطی منابع بیوماس ۴۳

فصل دوم: انرژی جزر ومد

.

۲_۱ انواع نیروگاههای جزرومدی ۴۴

۲_۲ نیروگاههای جزرومدی دارای مخزن ۴۵

۲_۳ انواع نیروگاههای جزر و مدی دارای مخزن ۴۶

۲_۳_۱ یک مخزن برای جزر : ۴۶

۲_۳_۲یک مخزن برای مد : ۴۸

۲_۳_۳ یک مخزن دو طرفه : ۴۸

۲_۳_۴ دو مخزن یکی برای جزر و دیگری برای مد : ۴۹

۲_۳_۵ دو مخزن یکی بلند و دیگری کوتاه با سیستم یک طرفه : ۴۹

۲_۴ مشخصات نیروگاه جزر و مدی دارای مخزن لارانس ۵۰

۲_۵ نیروگاههای جریان جزر و مدی ۵۲

۲_۵_۱ مشخصات طرح نیروگاه جریان جزر و مدی تنگه مسینا ۵۳

۲_۶ بررسی ایجاد نیروگاههای جزر ومدی در ایران ۵۳

۲_۷ بررسی اقتصادی نیروگاههای جزر و مدی ۵۵

۲_۸ بررسی زیست محیطی نیروگاههای جزر و مدی ۵۶

۲_۹ نیروگاههای جریان دریایی.....۵۷

۲_۹_۱ شرایط لازم برای ایجاد تأسیسات جریان دریایی ۶۰

۲_۹_۲ تکنولوژیهای تولید برق از انرژی جریانهای دریایی ۶۰

۲_۱۰ بررسی اقتصادی نیروگاههای جریان دریایی ۶۳

۲_۱۱ بررسی زیست محیطی نیروگاههای جریان دریایی ۶۳

فصل سوم : انرژی زمین گرمایی

۳_۱

مقدمه.....۶۵

۳_۲ منبع حرارتی و مناطق مهم زمین گرمایی جهان و ایران.....۶۶

۳_۳ انواع منابع زمین گرمایی ۷۰

۳_۳_۱ منابع هیدروترمال.....۷۱

۳_۳_۲ منابع لایه های تحت فشار ۷۲

۳_۳_۳ تخته سنگهای خشک و داغ ۷۴

۳_۳_۴ توده های مذاب ۷۸

۳-۴ موارد کاربرد انرژی زمین گرمایی ۷۸

۳_۵ کاربردهای مستقیم انرژی زمین گرمایی ۷۹

۳_۶ موارد کاربرد ۸۰

۳_۶_۱ استفاده های گرمایشی : ۸۰

۳_۶_۲ کاربردهای کشاورزی : ۸۲

۳_۶_۳ کاربردهای صنعتی : ۸۴

۳_۷ پمپ حرارتی زمین گرمایی : ۸۴
۳_۸ بررسی اقتصادی کاربرد مستقیم انرژی زمین گرمایی ۸۵
۳_۹ استفاده مستقیم از انرژی زمین گرمایی در ایران..... ۸۷
۳_۱۰ استفاده از انرژی زمین گرمایی برای تولید نیروی برق ۸۹
۳_۱۱ انواع نیروگاههای زمین گرمایی ۹۰
۳_۱۱_۱ نیروگاههای بخار خشک..... ۹۰
۳_۱۱_۲ نیروگاههای بخار انبساط آنی ۹۲
۳_۱۱_۳ نیروگاههای سیکل دو مداره : ۹۴
۳_۱۱_۴ نیروگاههای با توربین تفکیک دورانی : ۹۶
۳_۱۱_۵ نیروگاههای سیکل ترکیبی : ۹۷
۳_۱۲ بررسی اقتصادی انرژی زمین گرمایی برای تولید برق ۹۸
۳_۱۲_۱ هزینه سرمایه گذاری : ۹۸
۳_۱۳ بررسی نیروگاه ۱۰۰ مگاواتی زمین گرمایی مشکین شهر ۹۹
۳_۱۲_۲ هزینه تعمیرات و نگهداری و بهره برداری : ۹۹
۳_۱۳_۱ بررسی اقتصادی نیروگاه زمین گرمایی مشکین شهر..... ۱۰۰
۳_۱۴ بررسی اثرات زیست محیطی استفاده از انرژی زمین گرمایی..... ۱۰۲
منابع ۱۰۶

فصل اول: انرژی بیوماس

۱_۱ مقدمه

یکی از مناسبترین منابع انرژی تجدید شونده انرژی بیوماس است.این انرژی علاوه بر خاصیت تجدیدپذیر بودن سازگار با محیط زیست است.منابع انرژهای بیوماس می توانند به انرژی الکتریسیته یا به صورت حاملهای از انرژی مانند سوختهای گازی یا مایع با توجه به نیاز بخشهای مختلف جامعه تبدیل شوند.

منابع انرژی بیوماس به طور کلی به موادی از گیاهان و موجودات زنده بدست می آید اطلاق می شود. منابع انرژی بیوماس برخلاف سوختهای فسیلی رایج که به صورت لایه های متمرکز در جهان یافت می شود بیشتر به صورت پراکنده هستند.

و در نتیجه جمع آوری منابع انرژی بیوماس در حجمهای بالا قابل ملاحظه است . ازاینرو انرژی بیوماس به عنوان چهارمین منبع اصلی انرژی بشر و به عنوان بزرگترین انرژی تجدیدپذیر در جهان در تامین برق نزدیک به ۱۴ در صد از برق و ۱۸ در صد از کل انرژی اولیه جهان در سال ۱۹۹۸ مشارکت داشته است. این انرژی برای کشورهای در حال توسعه دارای اهمیت می باشد به خصوص اینکه انرژی بیوماس در این کشور ها قابل دسترس و هم قابل تهیه می باشد.

ایران نیز که یک کشور درحال توسعه است فعالیتهایی در این زمینه انجام داده است. قدیمی ترین سابقه استفاده از انرژی بیوماس در ایران مربوط به تولید بیوگاز و تهیه سوخت متان جهت انرژی حرارتی مورد نیاز در حمام شیخ بهایی اصفهان می باشد.

از فعالیتهایی که ایران در این زمینه انجام داده است میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

_نصب یک واحد راکتور بیوگاز در جزیره کیش به ظرفیت۲/۱۲مترمکعب توسط سازمان انرژی اتمی و با همکارهای شرکت خدماتی کیش

_انجام مطالعات امکان سنجی جهت احداث نیروگاه بیوگاز ظرفیت ۲۰۰کیلووات در شهر ساوه توسط سازمان انرژی اتمی

_نصب یک واحد راکتور بیوگاز در شهر ساوه به ظرفیت ۲۴مترمکعب توسط سازمان انرژی اتمی

_نصب دستگاههای تولید بیوگاز در چند منطقه شمال کشور توسط وزارت جهاد کشاورزی

_بررسی امکان تولید برق با استفاده از زباله های شهر تهران توسط شهرداری و برق

منطقه ای تهران

۲_۱ منابع بیوماس:

منابع بیوماسی که برای تولید انرژی مناسب هستند طیف وسیعی از مواد را شامل می شوند . این مواد چوبهای سوختی جمع آوری شده از مزارع و درخستانهای طبیعی تا محصولات کشاورزی وجنگلی به خصوص آنهایی که برای تولید انرژی رشد داده شده اند و همچنین ضایعات شهری و ضایعات کشاورزی و فاضلابها را شامل می شوند.

۳_۱ محصولات انرژی زا

در سالیان اخیر زراعت محصولات انرژی زا توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. یکی از نیروهای محرک اصلی پشتیبان این توجه بحرانی است که بسیاری از کشورهای صنعتی جهان به دلیل مازاد تولید خود در بخش کشاورزی با آن روبه رو شده اند. لغو حفاظت وحمایت از بخش کشاورزی موجب بلا استفاده گذراندن روز افزون مقدار متنابهی زمین در کشورهای صنعتی گردیده است. لذا اختصاص دادن بخشی از زمینهای کشاورزی به تولید انرژی لااقل برای تامین انرژی خود این بخش منطقی به نظر می رسد. از محصولات انرژی زا می توان به درختستانهای انرژی با دوره گردش کوتاه مانند کاشت درخت اوکالیپتوس و محصولات گیاهی مانند نیشکر وگیاهان حاوی روغن نباتی مانند سویا و بادام زمینی و گیاهان هیدروکربن اشاره کرد. لذا کاشت این محصولات می تواند یکی از راهکارهای بشر برای تامین انرژی آینده خود محسوب گردد.

۱_۳_۱ ضایعات شهری وصنعتی

ضایعات شهری در برگیرنده انواع مختلفی از ضایعات نظیر مقوا وکاغذ و نخاله های ساختمانی زباله های منازل و فاضلابهای خانگی می گردند.یکی از مشکلات مشترک همه جوامع شهری صنعتی مساله دفن این مواد زاید از چرخه طبیعت می باشد.

در کشور ایران طبق آمار سال ۱۳۷۸روزانه حدود ۴۰هزار تن زباله با چگالی ۳۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب و سالانه حدود ۶/۴ ملیارد متر مکعب فاضلاب شهری صنعتی تولید می شود .بیش از ۱۵ در صد از زباله های شهر ایران در تهران تولید می شود با توجه به ترکیب زباله ها و فاضلابهای کشور ,طرح یک مدریت جامع برای استفاده اقتصادی از آنها از طریق استحصال انرژی و با تولید کود و غیره در کشور کاملا ضروری می باشد.

ارزش حرارتی زباله ها و فضولات خانگی به طور چشم گیری از منطقه ای به منطقه دیگر تفاوت می کند این مقدار در کشور آمریکا حدود ۷تا ۱۴ مگاژول بر کیلو گرم می باشد و در آلمان غربی ۲/۴تا ۱۰مگاژول بر کیلو گرم است میانگین ارزش حرارتی شهر تهران در حدود ۵/۶ مگاژول بر کیلوگرم است. رطوبت بالای زباله تهران که ناشی از وجود درصد بالای از مواد فساد پذیر در آن است که همین سبب پایین آمدن ارزش حرارتی زباله در شهر تهران گردیده است.

۲_۳_۱ ضایعات جامد شهری

ضایعات جامد شهری(MSW) عبارت از ضایعات جامدی است ,که از عملیات تجاری اداری خانگی و بعضی از صنایع به دست می آید. در حال حاضر حجم قابل توجهی از ضایعات عمدتا در زمین در دفن می شوند اما با مدیریت صحیح می توان بخش بسیاری

از آن را به عنوان ماده اولیه در تولید سوخت و یـا تولیـد کـود مـورد اسـتفاده قـرار داد و مقداری از آن را نیز بازیافت کرد و مورد مصرف مجدد قرار داد . گاز متان حاصل از محـل دفن منابع MSW می تواند برای تولید انرژی الکتریکی مورد استفاده قرار گیرد .

۱_۳_۳ ضایعات مایع

فاضلاب ناشی از زیستگاه های انسانی دارای انرژی قابل ملاحظه ای می باشـند و هماننـد فضولات حیوانی می توانند به طور غیر هوازی تخمیر یافته و گـاز متـان تولیـد کننـد. در گذشته بخش بسیاری از گاز تولیـد شـده ناشـی از تخمیـر غیـر هـوازی فاضـلاب جهـت استفاده در ماشینهای توان ده و یا تامین انرژی برای روشنایی خیابانها مورد استفاده قـرار می گرفت. با پیشرفت تکنولوژی از این گاز جهـت تولیـد انـرژی الکتریکـی نیـز اسـتفاده می گردد.

۱_۳_۴ فضولات دامی

یکی از منابعی که به عنوان منابع بیوماس محسوب می گردند فضولات دامی مـی باشـند این منابع بخـصوص در منـاطق روسـتایی و نیـز در مراکـز دامپـروری و دامـداری یافـت می شوند و می توانند نقش مهمی در تامین انرژی و تولید کود ایفا کند.

۱_۴ تکنولوژیهای تبدیل انرژی بیوماس

تکنولوژیهایی که بـرای تبـدیل و آزاد سـازی انـرژی بیومـاس بکـار بـرده مـی شـوند ، از بخاریهای باز ساده که در جهان در حـال توسـعه بـرای پخـت و پـز مـورد اسـتفاده قـرار

می گیرند ، تا واحد های پیرولیز پیشرفته تولید کننده سوختهای جامد ، مایع و گـازی را شامل می شوند . تکنولوژیهای تبدیل بیوماس به سـه دسـته اساسـی احتـراق مـستقیم ، بیوشیمیایی,ترمو شیمیایی تقسیم میشوند .

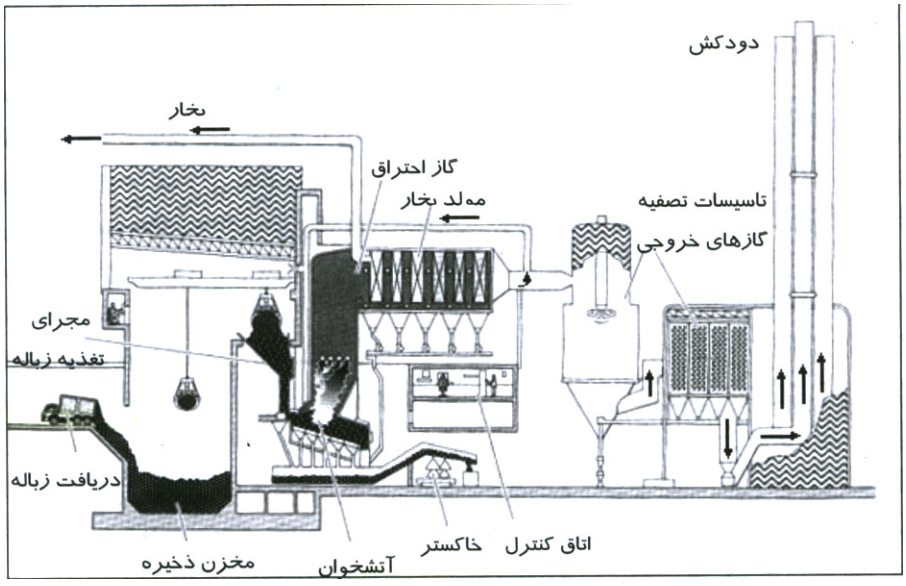
۵_۱ فرآیند های احتراق مستقیم

احتراق مستقیم ، قدیمی ترین روشی است که بشر برای تبدیل ا نـرژی شـیمیایی نهفتـه در سوختهای فسیلی به انرژی گرمایی به کار گرفته است . این فرآیند در حـال حاضـر از اساسی ترین فرآیند ها برای تبدیل بیوماس به انرژی حرارتی محسوب می گـردد و بـرای انواع سوختهای جامد شامل چوب و ضایعات چـوبی ، بقایـای کـشاورزی و بـاغی (کـاه ، سبوس ، برگ خشک ، ترکه ها ، پوست ساقه درختان) و ضایعات جامـد شـهری (زبالـه های شهری) قابل استفاده می باشد . گرمای تولید شده در این فرآینـد مـی توانـد بـرای تولید برق و یا تامین حرارت مورد نیاز مصارفی نظیر فرآیندهای صنعتی ، گرمایش فـضا ، پخت و پز و یا گرمایش نواحی مختلف شهری مورد استفاده قـرار گیـرد . وجـود رطوبـت نسبتا بالا در بسیاری از منابع بیومـاس و نیـز تنـوع ترکیبـات آنهـا ، باعـث گـران بـودن تکنولوژیهای احتـراق مـستقیم گردیـده اسـت و اسـتفاده از آنهـا را بـدلیل اقتـصادی بـا مشکلاتی مواجه ساخته است . با توجه به آنکه کوره ها و بویلرهای مصرف کننده سـوخت جامد از سالها پیش برای بکار بردن زغال سنگ طراحی و ساخته شده اند و روند توسعه و بهبود را پیوسته طی نموده اند ، با کمی تغییر و یا حتی بـدون تغییـر مـی تـوان همـین تاسیسات را برای تغذیه با زغال چوب ، هیزم و بقایای کشاورزی و جنگلی بـه کارگرفـت . به موازات این تاسیسات ، در سالیان اخیر کوره هایی نیز برای سوزاندن زباله های شـهری

ساخته شده اند ، که قابلیت مصرف سوختهای مخلوط مانند زباله و لجن فاضلاب ، زباله و چوب یا زباله و زغال را دارا می باشند . سیستمهای احتراق مستقیم بطور کلی مجهز به کوره بستر ثابت و یا کوره های بستر سیال می باشند .

۶_۱ سیستمهای احتراق زیست توده سوز با کوره های بستر ثابت

در کوره های بستر ثابت ، مواد زیست توده بدون حرکت نسبت به بستر خود ، بر روی یک آتشخوان ساکن و یا متحرک ، سوزانده می شوند . آتشخوان از اساسی ترین اجزای کوره های احتراق محسوب می گردد و وظیفه انتقال زیست توده به داخل محفظه احتراق ، مخلوط کردن و تزریق هوای احتراق بر عهده آن می باشد . در این نوع کوره ها، بیوماس بدون پردازش و یا با حداقل پردازش وارد مخزن ذخیره می شوند و از آنجا با جرثقیل یا دستگاههای نقاله به کوره منتقل می گردند .

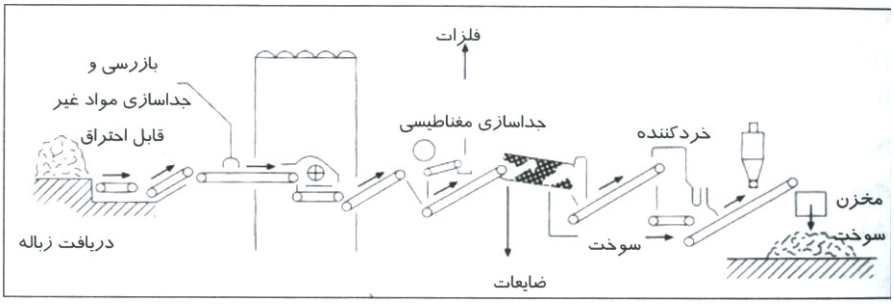


در برخی از سیستمهای احتراق مستقیم برای جلوگیری از آلودگی هوا مواد زیست توده را بصورت پردازش شده، مورد استفاده قرار می دهند . متداولترین سوخت مصرفی در این نوع کوره ها ، سوخت مشتق از زباله (RDF) می باشد . سوخت معمولاً بر روی یک آتشخوان متحرک که دارای سطح همواری است ، سوزانده می شود و هوا از زیر سطح آن، به محل احتراق وارد می شود و احتراق را یکنواخت و اختلاط هوا و سوخت را بهینه می کند . در قسمت بالایی بدنه محفظه احتراق نیز معمولا، دریچه هایی برای ورود هوای اضافی تعبیه می شوند . استفاده از سوختهای مشتق از زباله میتواند بصورت منفرد یا آمیخته با سایر سوختهای جامد ما نند چوب یا زغال سنگ در این کوره ها انجام پذیرد .

استفاده از سوختهای مشتق از زباله دارای مزایایی به شرح زیر می باشد :

- یکنواخت بودن خواص سوخت ، راهبری و تنظیم شرایط عملکرد کوره را راحتتر و برنامه ریزی برای استفاده از انرژیی احتراق را آسانتر می نماید .
- در فرآیند تهیه سوخت مشتق از زباله RDF ، فلزات نامناسب وخطرناک از آن جدا میشوند و بدین ترتیب بخش بزرگی از انتشار آلاینده های زیانبار به هوا حذف می گردد .

برای تهیه سوخت مشتق از زباله ، هزینه نسبتا بالایی صرف می گردد ، که تا حدود بسیاری بر هزینه استفاده از این تکنولوژی می افزاید . سوختهای مشتق از زباله می توانند بصورت خرده شده و یا قطعات فشرده شده تولید شوند و به مصرف کوره های زباله سوز برسند .



۱_۷ کوره های احتراق بستر سیال (FBC)

در کوره های احتراق بستر سیال ، با پر نمودن بخشی از کوره با مواد دانه ای شکل ، مانند سیلیس و یا ماسه های مقاوم ، بستر احتراق بوجود می آید . با دمیده شدن پیوسته جریان هوا یا اکسیژن با سرعت مناسب از زیر این بستر ، درمواد دانه ای شکل (ذرات) آشفتگی بوجود می آید و در نهایت بدون اینکه از محیط بگریزند ، در مسیر جریان هوا (اکسیژن) به حالت شناور در می آیند . به چنین وضعیتی حالت سیال گفته می شود . ذرات بستر سپس به کمک یک مشعل کمکی گرم می شوند ، پس از رسیدن ذرات بستر به دمای مناسب ، سوخت با جریان پیوسته به درون کوره ریخته می شود و با برخورد به سیال داغ ، می سوزد و گرما آزاد می کند . پس از این مرحله ، مشعل کمکی از مدار خارج میگردد ، زیرا اختلاط یکنواخت و پیوسته سوخت و ذرات بستر ، امکان احتراق کامل با دمای تنظیم شده و گرمای یکنواخت را از این مرحله به بعد ، فراهم می نماید . خاکستری که دراین شرایط تولید می شود ، درون بستر و در فضای بین ذرات باقی می ماند و دردوره های زمانی مشخص با خاموش کردن کوره ، خاکستر اضافه تخلیه می گردد ، تا حجم بستر از میزان مناسب تجاوز نکند . در این تکنولوژی ، معمولا با قراردادن لوله های آب در درون بستر ، گرمای ایجاد شده را به آن انتقال می دهند .

فرآیند احتراق بستر سیال برای سوزاندن زغال سنگ کاربرد زیادی دارد ، اما می توان آنرا برای انواع سوختهای زیست توده مانند زغال چوب ، ضایعات کشاورزی ، خاک اره و زباله مورد استفاده قرار داد .

کوره های احتراق بستر سیال بطور کلی به دو نوع کوره های فشار عادی و کوره های تحت فشار تقسیم می گردند . کوره های فشار عادی در نیروگاههای برق بعنوان مولد بخار (بویلر) توسعه بسیاری یافته اند و هم اکنون نیروگاههایی با قدرت ۱۶۰ تا ۳۵۰ مگاوات با استفاده ازاین کوره ها درحال کار می با شند . امتیاز بزرگ این کوره ها ، سازگاری و انعطاف پذیری آنها نسبت به انواع سوختها و حتی سوختهای نامرغوب است . تا اوایل دهه ۱۹۹۰ میلادی اغلب این واحدها از زغال سنگ استفاده می نمودند . اما اکنون انواع زیست توده جامد بعنوان سوخت در این کوره ها مصرف می شوند . بازیافت انرژی در این فن آوری از راه تبدیل گرمای احتراق به بخار صورت می گیرد . تولید بخار به کمک لوله هایی که در محل بستر احتراق و گاهی در مسیر گازهای داغ خروجی از کوره قرار داده می شوند ، انجام می گیرد . بخار تولید شده می تواند وارد یک توربین بخار شده و برق تولید کند و یا برای اهداف صنعتی مورد استفاده قرار گیرد . کوره های بستر سیال تحت فشار قابلیت کاربرد درنیروگاههای برق با بازدهی نسبتا بالا را دارا می باشند . حجم و ابعاد این نوع کوره ها نسبت به نوع فشار عادی بسیار کمتر می باشد و ایجاد آلایندگی کمتری درمحیط زیست می نمایند . فشار درون محفظه احتراق این سیستم بین ۵/۸ تا ۱۹/۵ اتمسفرمی باشد .

۸_۱ فرآیندهای ترمو شیمیایی

در فرآیندهای ترمو شیمیایی ، بیوماس با دریافت گرما به محصولات بسیار با ارزشی ، که معمولا از نوع یک مخلوط گازی ، یک مایع نفت ما نند ، و یا چیزی شبیه زغال کربنی خالص می باشند ،تبدیل می گردد . توزیع این محصولات بستگی به میزان و حجم بیوماس ، دما و فشار واکنش ، مدت زمان حضور در محل احتراق و ارزش گرمایی بیوماس دارد . در فرآیندهای ترمو شیمیایی دما بالا (بیشتراز ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد) ، بیوماس به گاز تبدیل می گردد و در فرآیندهای دما پایین (کمتر از ۴۰۰درجه سانتیگراد) به عنوان مثال زغال چوب تولید می گردد . با استفاده از روشهایی، میتوان ازبیوماس تولید سوختهای مایع و یا مواد شیمیایی دیگر نیز نمود . فن آوری ترموشیمیایی در صورتیکه نوع فرآیند متناسب با نوع ماده خام و نوع محصول مورد نظر انتخاب شود وشرایط عملیاتی با دقت کافی تنظیم شوند ، دارای عملکرد خوبی می باشد . درکشورهای اروپایی تولید سوختهای مایع برای کاربرد درصنعت ترابری و موتورهای احتراق داخلی از اهمیت بالایی برخوردار می باشد ، درحالیکه در برخی از کشورها نظیر برزیل تولید زغال برای کاربرد درصنایع ذوب فلزات و سرامیک دارای اهمیت است . برخی ازکشورها ما نند کانادا بر روی بازیافت سوخت مایع و نیز تولید سوخت گازی تلاشهای فراوانی نموده اند . براساس تجربیات حاصله ، فن آوری تولید . زغال و تولید گاز مصنوعی با ارزش حرارتی پائین ، دارای کمترین پیچیدگی می باشند . تولید سوختهای مایع نیازمند تجهیزات و ملحقات بیشتری است و به دقت بیشتری نیاز دارد . چوب و زائدات جنگلی مناسب ترین مواد خام برای فن آوری ترموشیمیایی محسوب می گردند . پس از آنها زائدات کشاورزی لینگوسلولزی در رده بعدی ارزشی جای دارند . زباله های

شهری بدلیل ناهمگونی در ترکیب خود ، عملکردی چندان خوبی در این فن آوری نـشان نداده اند ، چنانکه درآمریکا تنها یک واحد آتشکافت زباله تا سال ۱۹۹۲ مـشغول بـه کـار بوده است .

۱_۸_۱ تولید سوختهای جامد

از قرنها پیش عمل کربنیزه کردن چوب ، جهت تولید زغال چوب صورت می گرفته است. با کربنیزه کردن چوب ، انرژی بیشتری در واحد جرم بدست می آیـد و حمـل و نقـل آن بسیار اقتصادی می شود زغال چـوب محـصول بـدون دودی اسـت کـه بـرای مـصرف در محیطهای خانگی مناسب می باشد . در بخـش صـنعت ، زغـال چـوب در بخـشهایی کـه مشخصات ویژه ای از سوخت ، نظیر کربن بالا و گوگرد کم لازم است ، مصرف می شـود . در فرآیند داخل کوره های ساخت زغال چوب ، قسمتی از چـوب سـوزانده مـی شـود تـا درجه حرارت مورد نیاز برای عمل آتـشکافت (پیرولیـز) فـراهم گـردد . زمانیکـه درجـه حرارت به حدود ۲۸۰ درجـه سـانتیگراد میرسـد ، فرآینـد گرمـازا شـده و ارسـال هـوا و اکسیژن به کوره قطع می شود . ساده ترین کوره هایی که در بسیاری از مناطق جهان در حال توسعه بکار برده می شوند ، از تلی از چوب که با خاک در داخل گودالهایی پوشـیده شده اند ، تشکیل یافته اند . دراین کوره ها فرآینـد کربنیـزه کـردن بـسیار کنـد صـورت می پذیرد و کیفیت زغال چوب تولید شده نامرغوب می باشد .

۱_۸_۲ تولید سوختهای مایع

مایع سازی عبارت ازیک تبدیل ترمو شیمیایی است ، که در طی آن یـک محـصول مـایع گونه ، از نقطه نظر فیزیکی و شیمیایی بسیار پایدار ، بدست می آید .

آتشکافت سریع چوب در راکتور بستر سیال : آتشکافت سریع که فرآیند دمای متوسط (درحدود ۵۰۰ درجه سانتیگراد) می با شد ، که در طی آن چوب بطور بیهوازی ، با سرعت بالا داغ می گردد . محصولات آتشکافت پس از سرد شدن بصورت روغن قابل استخراج می باشند . در این فرآیند چوبهای جنگلی پس از خشک شدن ، خرد ، آسیاب و غربال می شوند و با ابعادی بین ۲ تا ۵ میلیمتر وارد راکتور بسترسیال می گردند . بستر راکتور از ماسه پوشیده شده است و عامل سیال کننده آن ، گاز برگشتی از خود فرآیند می باشد ، که دمای آن بوسیله پیش گرمکن ها قبل از ورود به راکتور تا حد لازم افزایش یافته است . سرعت دمیدن گاز به داخل راکتور ، به نحوی تنظیم میگردد ، که ذرات زغال از راکتور به بیرون پرتاب می شوند ولی ذرات ماسه در آن باقی می مانند . دریک سیکلون ذرات زغال از جریان گاز خروجی جدا می شوند . جداسازی و بازیافت مایعات از گاز در دو چگالنده گرم و سرد انجام می گیرد . گاز خروجی در یک صافی (الکتروفیلتر) تمیز شده و بوسیله یک کمپرسور به مدار فرآیند باز میگردد . میزان جرم روغن تولیدی در این فرآیند درحدود ۷۵ درصد ، میزان جرم زغال تولیدی در حدود ۱۰ درصد و میزان جرم گاز تولیدی در حدود ۱۵ درصد جرم چوب خشک ورودی به پروسه می باشند . گاز و زغال تولیدی ، می توانند برای تامین انرژی حرارتی پروسه مورد استفاده قرار گیرند .

هیدرو پیرولیز (آتشکافت با بخار آب داغ) : دراین فرآیند با دمیدن بخار داغ به راکتور ، از چوب روغنهای سوختنی تولید می گردد . دمای این فرآیند بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ درجه سانتیگراد و فشار درون راکتور درحدود ۲۵ مگاپاسکال می باشد . در این فرآیند ،

تراشه های چوب خشک شده با رطوبت بین ۵ تا ۸ درصد و در انـدازه هـای بـین ۰/۵ تـا ۱/۵ سا نتیمتر وارد راکتور می گردند . ارزش گرمایی روغن تولید شده در این فرآینـد در حدود ۲۳ مگاژول بر کیلوگرم گـزارش شـده اسـت و جـرم آن نیـز تـا حـدود ۵۰٪ وزن تراشه های چوب اندازه گیری شده است. گازی کردن فرآینـد زیـست تـوده یـک فرآینـد تجزیه به کمک گرما می باشد ، کـه در دمـای بـالا و در حـضور سـیالی در درون محـیط فرآیند موسـوم بـه عامـل گازسـاز ، صـورت مـی پـذیرد . در خـلال جنـگ جهـانی دوم، سیستمهای تولید گاز ازچوب و زغال چوب در سراسر جهان متداول شده و گـاز تولیـدی توسط آنها بعنوان سوخت در وسایل نقلیه گاز سوز مورد اسـتفاده قـرار گرفتنـد . بحـران انرژی در دهه ۱۹۷۰ مجددا علاقه به سیستم های گازی بیوماسی را برانگیخت . تا سـال ۱۹۸۰ بیش از ۱۵ کارخانه سازنده در جهان ، تاسیسات تولید گاز از چوب و زغـال چـوب را با ظرفیتهایی تا ۲۵۰ کیلو وات عرضه کردند . در سالهای بعد ، در فیلیپین برنامه هایی وسیع برای ساخت و فروش گازی کنندهای کوچک برای حرکت موتورها ، اجـرا گردیـد . در برزیل ، پیش از ۳۰ سازنده ، تجهیزاتی با طرحهای مختلف و در اندازه هـای گونـاگون عرضه کردند . وسایل تولید کننده گاز ازچـوب بـا ظرفیتهـایی تـا ۳ مگـاوات (حرارتـی) درمناطق دور افتاده جهت تولید گاز برای پمپهای موتـوری آبیـاری بکـار گرفتـه شـدند . درحال حاضر انواع روشهای گازی سازی در جهان ابداع شده اند ، بعضی از این روشها که درگذشته مختص گازی سازی زغال سنگ بوده انـد ، جهـت گـازی سـازی بیومـاس نیـز سازگار شدند . در فن آوری های گازی کردن زیست توده ، با توجـه بـه شـرایط فرآینـد ،

امکان تولید انواع گـاز مـصنوعی بـا ترکیبـات و ارزش گرمـایی هـای مختلـف امکانپـذیر می باشد .

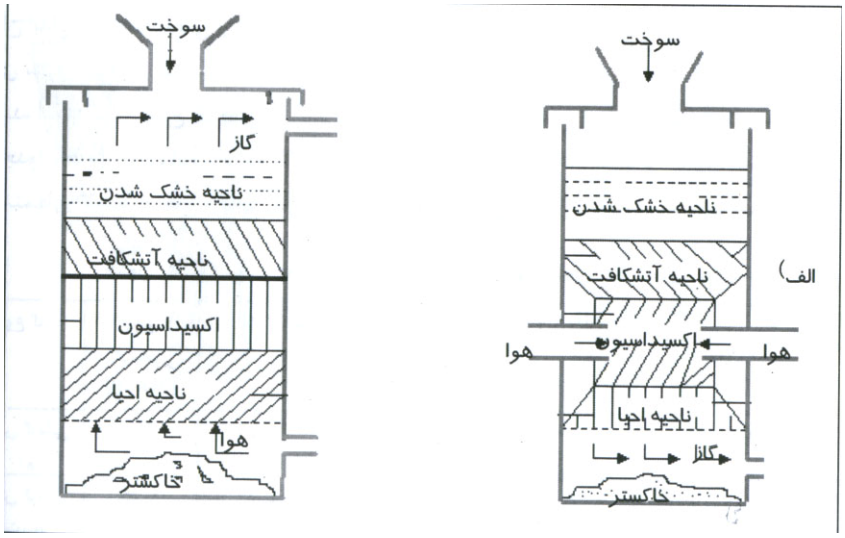
۳_۸_۱ انواع راکتورهای گازی کننده براساس نوع راکتور

راکتورهای گازی کننده ، تجهیزاتی برای تولید گاز مصنوعی یا گاز سنتز از زیـست تـوده می باشند . این راکتورها را می توان بطورکلی به دو نوع راکتور با بستر ثابت و راکتـور بـا بستر سیال تقسیم نمود. انتخاب درست یـک وسـیله تولیـد کننـده گـاز ، تـابعی از نـوع سوختی که باید به گاز تبدیل شود ، می باشد .

۱_۳_۸_۱ راکتور بستر ثابت :

در راکتورهای بستر ثابت ، زیست توده خام با اندازه ای بین ۶ تـا ۵۰ میلیمتـر و حـداکثر رطوبت مجازی بین ۱۵٪ تا ۲۰٪ از بالا به درون راکتور ریخته می شود و عامل گـاز سـاز (مانند هوا یا بخار آب) از زیر و در خلاف جهت جریان سوخت بـه درون راکتـور دمیـده می گردد . قطعات زیست توده در مسیر حرکت خود بـه سـمت پـایین راکتـور بـا عامـل گازساز واکنش انجام می دهند و ترکیبات شیمایی تازه ای پدید می آورند . در این روش، عامل گازساز در اثر تماس با خاکستر داغ در بخش زیرین راکتور و زیـست تـوده خـام در اثر تماس با گازهای تولید شده داغ در بخش بالایی راکتور گرم می گردند و بدین ترتیـب بر سرعت و کیفیت واکنشها افزوده می گردد . این راکتورها در دو نـوع جریـان متقابـل و جریان هم جهت توسعه یافته اند . در راکتور جریان متقابل ، زیست توده از بالای راکتـور به پایین ریخته می شود و گاز تولید شده با پیمودن سیر صعودی از بالای راکتـور خـارج

می شود . در راکتور جریان هم جهت ، گاز مانند زیست توده مسیری به سمت پایین راکتور را طی می کند و از بخش پایینی راکتور خارج می شود . درصد رطوبت گاز حاصله در راکتور با جریان هم جهت در مقایسه با گاز تولیدی راکتور جریان متقابل ، پایین تر است .



۲_۳_۸_۱ راکتور بستر سیال :

اساس و مبانی این روش همانند احتراق بستر سیال است ، با این تفاوت که احتراق در آن بطور کامل روی نمی دهد و تنها به اندازه نیاز واکنشهای شیمیایی فرآیند ، ا نرژی گرمایی درون راکتور تولید می گردد . زیست توده با اندازه های کوچک (کمتر از ۵ میلیمتر) وارد راکتور می شود و عامل گاز ساز (هوا و بخار) از زیر به آن دمیده می شود. سرعت ورود عامل گاز ساز در حدی برگزیده میشود که حالت سیلان بستر را پدید آورد (معمولاً بین ۱ تا ۴ متر بر ثانیه) . دمای راکتور در محدوده پایینتر از ۱۰۰۰

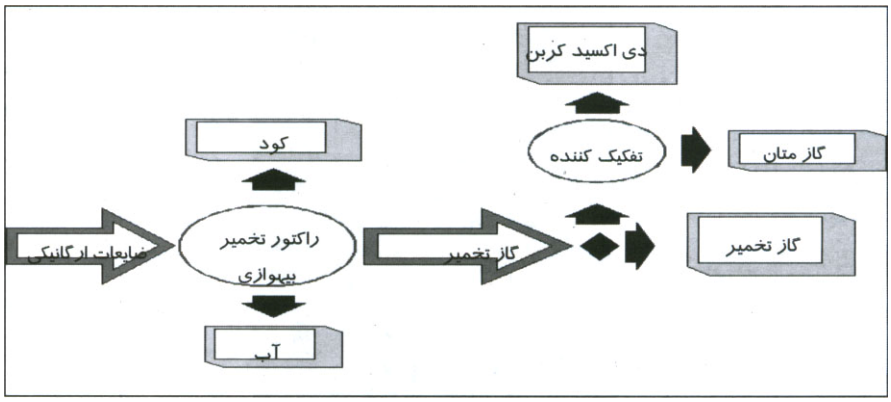
سانتیگراد نگهداشته می شود . این روش کارایی مناسبی دارد و انتشار آلاینده هـای هـوا در آن نسبتا کم می باشد .

۹_ ۱ فرآیندهای بیوشیمیایی

در طی فرآیندهای بیوشیمیایی ، مواد زیست توده بر اثر فعالیـت متابولیـک ارگانیزمهـای میکروبی ، به سوختهای گازی و یا مایع تبدیل می گردند .

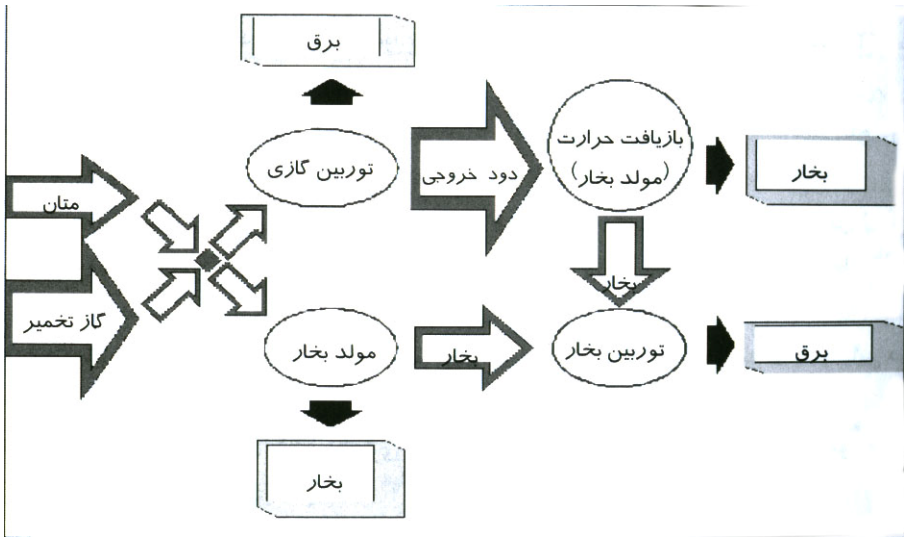
۱_۹_۱ تخمیر بیهوازی برای تولید بیوگاز

از سال ۱۹۷۰ در پی مشکلات ناشی از آلودگی محیط زیست و رو به اتمـام بـودن ذخـایر انرژی در جهان ، فکر استفاده از فضولات و پسمانده های آلـی بـرای تولیـد انـرژی مـورد توجه بسیاری قرار گرفت گرچه هم زمان دیگر منابع تجدید پذیر انرژی نیز مورد اسـتفاده و یا کاوش واقع شد ند ، اما تولید بیوگاز بوسیله تخمیر و هضم بیهوازی مواد زیست توده، کاربرد بیشتر و عملی تری یافت . در حال حاضر تخمیر بیهوازی بـه عنـوان یـک فرآینـد موثر و قابل اعتماد برای تولیـد سـوختهای گـازی(بیوگـاز) از ضـایعات ارگـانیکی نظیـر فضولات دامی ، برگ و علفهای هـرز ، پـسمانده هـای غـذایی و مـواد آلـی فـساد پـذیر ، ضایعات کشاورزی و فاضلابهای خانگی محسوب می گردد . مواد ارگانیکی بطور کلـی بـه موادی اطلاق می گردند ، که یا در حال حاضر دارای حیات مـی باشـند و یـا قـبلاً دارای حیات بوده اند . درطی فرآیند تخمیر بیهوازی ، ماده آلی بطور کامل به محصولات گـازی تبدیل می شود .



گازهای حاصل از تخمیر ، اصولا شامل دی اکسید کربن و متان می باشند ، لیکن گازهای متعدد دیگری نیز ، هرچند اندک در فرآیند تخمیر حاصل مـی گردنـد . اجـزای تـشکیل دهنده اصلی بیوگاز حاصل از تخمیر پایدار بیوماس است . ارزش حرارتی بیوگـاز بـستگی کامل به مقدار متان تولید شده در آن دارد و بـدیهی اسـت هرچـه مقـدار متـان تولیـدی بیشتر باشد ، قابلیت سوخت و ارزش حرارتی بیوگاز بیشتر خواهد بود . متان حدود ۵۰ تا ۶۵ درصد بیوگاز حاصل ازتخمیر غیر هوازی را شامل می شود . متان گازی بیرنگ ،بی بو و قابل است که دارای ارزش گرمایی معادل ۳۷ MJm^{3} می باشد .

از سوخت بیوگاز می توان درکاربردهای مختلفـی اسـتفاده نمـود . بـا سـوزاندن مـستقیم بیوگاز مـی تـوان از آن درکاربردهـایی نظیـر پخـت و پـز ، روشـنایی ، گرمـایش فـضای اقامتگاهها ، اماکن تجاری و دامداریها احتراق داخلی ، برای تولید برق استفاده کرد .



میزان آلودگی ناشی ازمصرف بیوگاز بستگی به نحوه کاربرد احتمالی آن دارد . بیشترین مقدار آلودگی ، مربوط به احتراق مستقیم آن می باشد ، در این حالت ، حداقل الزام اینست که رطوبت موجود در گاز رفع شود تا از تقطیر در خطوط لوله گاز و خوردگی اضافی جلوگیری شود . میزان H_2S در بیوگاز به هنگام عمل اکسید اسیون در احتراق معمولا چندان بالا نیست ، که برای سلامتی و یا محیط زیست خطرناک باشد .

تولید بیوگاز در یک فرآیند تخمیر بیهوازی در طی سه مرحله انجام می پذیرد . در مرحله اول باکتریهای مخمر کنند (موجودات زنده ذره بینی) بوجود می آیند, پس از آن در مرحله دوم این باکتریها تجزیه و تکثیر می شوند و تولید اسید استیک ، هیدروژن و دی اکسید کربن نمایند . درمرحله نهایی باکتریهای تولید گاز متان که بسیار فعال می باشند ، حاصل می گردند . لذا عملکرد فرآیند تخمیر بیهوازی تابع عوامل متعددی می باشد ، که در ذیل برخی از آنها تشریح می گردند .

دما : افزایش دما تا حد معین دارای اثر مثبت درعملکرد فرآیند تولید بیوگاز می باشد . بطور مشخص بسته به محدوده دمایی که عمل تخمیر در آن صورت می گیرد ،

گروه های مختلفی از باکتریهای متانوژنیک برای انجام فرآیند تخمیر بوجـود مـی آینـد . نمونه های میکروبی ترموفیلیک در دماهای بین ۴۵ تا ۶۰ درجه سانتیگراد ، نمونـه هـای مزوفیلیک درمحدوده دمایی ۳۰ تا ۴۵ درجـه سـانتیگراد و نمونـه هـای کرایـوفیلیکی در دماهای بین ۰ تا ۳۰ درجه سانتیگراد تولید می گردنـد . درمحـدوده حرارتـی ۴۴ تـا ۴۶ درجه سانتیگراد بیشترین تعداد باکتریها جهت تولید بیوگاز بوجود می آیند . البته حفـظ کردن این محدوده حرارتی در داخل راکتور کارمشکل و از نقطه نظر اقتصادی مقرون بـه صرفه نمی باشد . براساس تجربیات از نقطه نظر اقتصادی بهترین محـدوده ممکـن بـرای تولید باکتریها درجه حرارتهایی بین ۲۲ تا ۳۵ درجه سانتیگراد می باشد .

نوع راکتور و نحوه کارکردن آن : راکتورهایی که امکان تماس میان مواد آلی و موجـودات زنده ذره بینی و در نتیجه عمل اختلاط آنها را بهتـر فـراهم مـی آورنـد ، دارای عملکـرد بهتری می باشند .

حضور موجودات زنده ذره بینی از نوع بیهوازی : موجودات زنده ذره بینی به عنوان عامـل اصلی واکنشهای بیوشیمیایی محسوب می گردند ، لذا این موجودات باید دارای جمعیـت و شرایط محیطی لازم برای فعالیت می باشند .

وجود مواد بازدارنـده : وجـود مـواد بازدارنـده درمحـیط فرآینـد ، موجـب ایجـاد شـرایط نامناسب شیمایی در فرآیند تخمیر می گردد و عملکرد فرآیند را کاهش و حتی بـا وقفـه مواجه می سازد .

نرخ بارگذاری زیست توده : نرخ بارگذاری مواد زیست توده می بایست ، متناسب بـا تـوان موجودات زنده بیهوازی درمصرف و تجزیه آنها باشد .

زمان حبس : بدلیل نرخ رشد پایین باکتریهای متانوژنیک ، گوارش موثر فضولات در یک راکتور معمولی ، تنها می تواند در زمانهای حبس طولانی بدست آید . در سالهای اخیر طرحهایی از گوارندهها ، برای عمل آوری فاضلابهای صنعتی توسعه یافته اند ، که با استفاده از آنها زمان حبس مایع از ۱۰ الی ۲۰ روز که مشخصه گوارنده های متعارف بیهوازی است ، به دوره هایی از چند روز کاهش می یابد

PH : محیط مناسب برای تولید بیوگاز ، محیطی اسیدی و بازی با PH مابین ۵/۸ الی ۷/۵ می باشد .

عملکرد راکتورهای تولید بیوگاز از فضولات دامی و پسمانهای کشاورزی ، به دلیل اینکه این مواد همگنی بیشتری درترکیب شیمیایی خود دارا می باشند و درصد مواد تجزیه پذیر در آنها بیشتراست و نیز مواد بازدارنده اندکی درآنها یافت میشود ، بهتر از سایر راکتورها می باشد . تولید بیوگاز از فاضلابها به دلیل مسائل مربوط به آهنگ بارگذاری مواد آلی در راکتورها ، رشد و فعالیت توده های میکروبی ، وجود عوامل بازدارنده و برخی از دشواریهای فنی ، دارای مشکلات نسبتا زیادی می باشد . عملکرد گوارنده های لجن درصورت رعایت جوانب فنی و فراهم نمودن شرایط مناسب رضایت بخش می باشد و میتوان مقادیر قابل توجهی بیوگاز از آنها استخراج نمود . تولید بیوگاز از زباله های خام شهری ، به دلیل نا همگنی بسیار زیاد در ترکیب زباله ، وجود مواد تجزیه ناپذیر ، ترکیبات سمی و مواد بازدارنده در آن با دشواریهای بسیار زیادی روبرو می باشد و برای تولید بیوگاز با حجم قابل توجه از آن در مدت زمان کوتاه ، انجام عملیات پردازش برروی آن اجتناب ناپذیر می باشد . البته از آنجایی که ، زباله های

شهری تولید بسیار بالایی دارند ، در مجموع می توان حجم بسیار زیـادی بیوگـاز از آنهـا استخراج نمود .

۲_۹_۱ تولید بیوگاز از فضولات دامی و پسمانهای کشاورزی

آغاز تحقیقات در زمینه کاربرد تخمیر بیهوازی در کشاورزی مربـوط بـه شخـصی بـه نـام دیوید می باشد . وی در سال ۱۸۰۸ میلادی موفق گردید ، از طریق تخمیـر کـود گـاوی حدود ۰/۳ لیتر گاز متان تولید نماید . سالها بعد در سـال ۱۸۸۴ مـیلادی شخـصی بنـام گاین که از شاگردان لویی پاستور بود از تخمیر یک متر مکعب کـود گـاوی در ۳۵ درجـه سانتیگراد ۱۰۰ لیتر گاز متان تهیه نمود . در سال ۱۹۵۱ میلادی در کـشور فرانـسه و در شمال آفریقا حدود ۱۰۰۰ دستگاه مولد گاز متان از مـواد زائـد کـشاورزی در حـال بهـره برداری بوده اند . تولید بیوگاز در مناطق روستایی و در میان مزارع کوچـک بـا توجـه بـه فواید آن در سالیان اخیر بسیار مورد توجه کارشناسان انرژی در کشورهای مختلف جهان و از جمله ایران قرار گرفته است . به عنوان مثال وزارت جهـاد کـشاورزی در چنـد سـال اخیر با کسب دانش فنی تولید این نوع ا نرژی از کشور چین ، در چند منطقـه روسـتایی در شمال کشور مولدهایی را برای تولید بیوگاز احداث نمـوده اسـت . از فوایـد بیوگـاز در مناطق روستایی می توان موارد زیر را برشمرد .

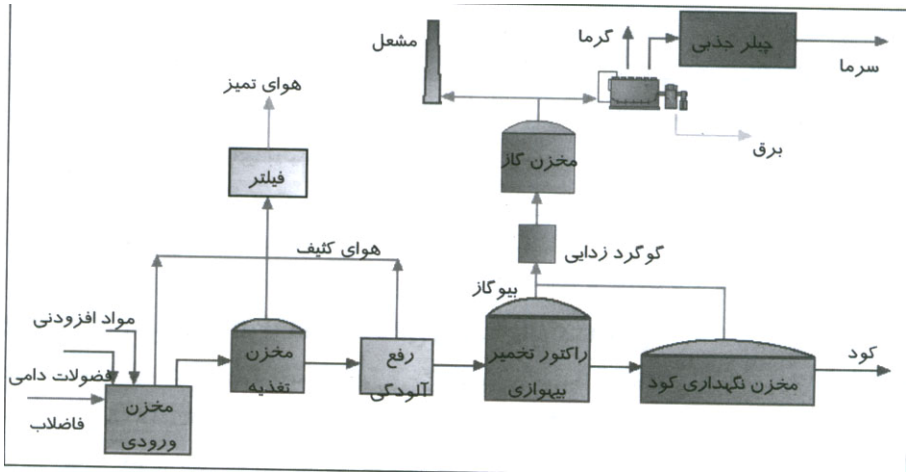
• گازمتان یک سوخت تمیز برای پخت و پز و روشنائی (درحد مصارف خـانگی و تغذیـه موتور دیزل) محسوب می گـردد ، لـذا بـا اسـتفاده از آن هزینـه سـوخت صـرفه جـویی بسیاری می گردد .

• پس از استخراج بیوگاز از فضولات ، باقیمانده آن یک کود آلی با کیفیت بسیار بالا محسوب می شود . بعضی از مطالعات نشان میدهد ، که استفاده از این کود در مقایسه با کود تخمیر نشده ، منجر به افزایش ۱۰ – ۲۰٪ محصول می گردد .

• با اجرای طرح تولید بیوگاز در مناطق روستایی می توان بطور موثر از میزان بوی فضولات ، آلودگی آب و میزان رشد حشرات کاست .

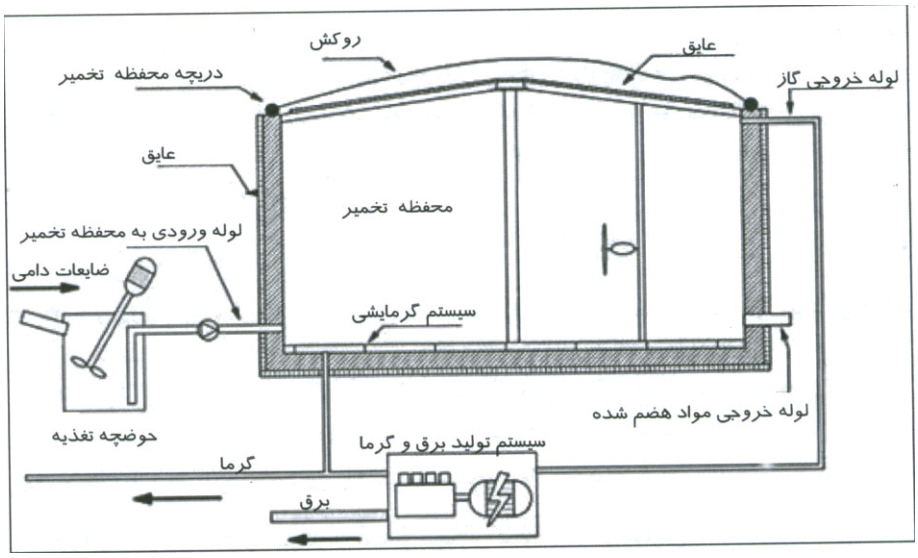
• با تولید و مصرف بیوگاز در مناطق روستایی ، به میزان بسیاری از مصرف نفت و کود شیمیایی دراین مناطق کاسته می گردد و بدین ترتیب به ذخیره ارزی کشور کمک شایانی می شود .

• در دراز مدت استفاده از بیوگاز ، نیاز به هیزم بعنوان یکی از مواد سوختی در روستاها را کاهش می دهد و بدین وسیله کمک زیادی به جلوگیری از نابودی جنگلها می نماید .



یک مولد بیوگاز بطور کلی ازیک حوضچه تغذیه ، یک حوضچه خروجی برای نگهداری مواد هضم شده ، یک محفظه تخمیر و یک محفظه گاز تشکیل می شود . این مولد ها با

در نظر گرفتن شرایط خاص اقلیمی ، امکانات فنی و مالی به شکلهای مختلف ساخته و مورد بهره برداری قرار می گیرند .



مواد زائد حیوانی ، انسانی و گیاهی از طریق حوضچه تغذیه و لوله ورودی به داخل محفظه تخمیر این مولدها فرستاده می شوند و پس از تخمیر و تولید بیوگاز از طریق یک لوله به حوضچه خروجی (حوضچه کود) منتقل می شوند . محفظه گاز درقسمت بالای محفظه تخمیر قرار گرفته و عمل جمع آوری و ذخیره گاز را انجام میدهد . پس ازشروع کار مولد ، گاز مورد نیاز از طریق شیر مخصوص گاز که در بالای محفظه گاز قرار دارد به محل مصرف هدایت و مورد استفاده قرار می گیرد . مولد های تولید بیوگاز روستایی ، بطور تجاری در ظرفیتهای کوچک (۳ تا ۱۱ متر مکعب)، متوسط (تا ۳۰ مترمکعب) و بزرگ (تا ۱۱۰ متر مکعب) ساخته می شوند . ظرفیت تولید این مولدها در دماهای مختلف برحسب متر مکعب در واحد ظرفیت مولد در روز است .

۳_۹_۱ تولید بیوگاز از زباله های شهری

تولید پیوسته بیوگاز از مخازن گوارنده (راکتور تخمیر) ، نیازمند پردازش زباله و جداکردن اجزای غیرآلی و ترکیبات غیرقابل تجزیه آن ما نند لاستیک ، ظروف پلاستیکی و نایلون می باشد . زباله پردازش شده وارد مخزن گوارنده می شود و مقدار کافی آب به آن اضافه می شود تا محتویات درون مخزن از رطوبت کافی برخوردار گردند . شیرابه تولید شده از زباله های اشباع از آب ، در زیر مخزن جمع آوری می گردد و به طرف مخزن هضم شیرابه می رود . شیرابه در آن مخزن تحت فرآیند تخمیر بیهوازی قرار میگیرد و بخشی از آن موفق به تولید بیوگاز می گردد . باقیمانده شیرابه از بالای مخزن هضم شیرابه جمع آوری می شود و پس از عبور از گرمکن ، با دمایی در حدود ۷۰ درجه سانتیگراد به مخزن تخمیر مواد جامد بازگردانده می شود . این چرخه تا تجزیه حداکثر مواد آلی و تولید حداکثر بیوگاز ادامه می یابد . تولید بیوگاز رد هر دو مخزن مواد جامد و شیرابه روی می دهد .

۴_۹_۱ تولید بیوگاز در دفنگاههای زباله

یک دفنگاه زباله بطور کلی شامل اجزای زیر می باشد :

- پوششهای نفوذ ناپذیر کف و لایه های زهکش ، پوشش نفوذ ناپذیر سطح دفنگاه
- لوله های جمع آوری و تخلیه شیرابه از زیر دفنگاه
- مخزنهای ذخیره و نگهداری شیرابه
- تاسیسات باز گردشی شیرابه (شامل پمپ ، لوله های انتقال شیرابه ، مجرای تزریق شیرابه)

• لوله های تخلیه و جمع آوری گاز ، مخازن ذخیره گاز وکمپرسور هـای مکـش و پمپـاژ گاز

• تجهیزات کمکی (اختلاط شیرابه با مواد افزودنی ، گرمایش شیرابه ، پردازش زباله)

پس از دفن زباله در دفنگاه واکنشهای مربوط به این فرآیند در داخل دفنگاه رخ میدهـد ، که سرانجام به تولید متان و گازکربنیک از مواد آلی تجزیه پذیر موجـود در زبالـه منتهـی می گردد . آنچه که تولید گاز و تجزیه مـواد آلـی درون دفنگـاه را سـرعت مـی بخـشد ، راهبری درست دفنگاه و رعایت اصول مهندسی و علمی فرآیند است . بـرای ایـن منظـور شیرابه خروجی ازکف دفنگاه را در مخازنی جمع آوری می نمایند و سپس آن را بـه درون دفنگاه باز می گردانـنـد . تجهیـزات بازگردشـی شـیرابه معمـولاً ازیـک یـا چنـد پمـپ و لوله های انتقال برای فرستادن جریان شیرابه به بالای دفنگاه بـه اضـافه ابـزار پخـش یـا تزریق شیرابه به دفنگاه تشکیل شده اند . بدنه دفنگاه از تزریقـات بتنـی و یـا لولـه هـای پلیمری سوراخدار ساخته میشود ، که درون آنها را با مواد درشت دانه نظیـر شـن ، قلـوه سنگ یا زباله های درشت پـر میکننـد . مجراهـایی افقـی از جـنس لولـه هـای پلیمـری سوراخدار که متصل به چاهکهای تزریق شـیرابه مـی باشـند و در بـستر زبالـه هـا تعبیـه گردیده اند ، نقش ، تسهیل جریان شیرابه و نفوذ آن در همه جـای درون دفنگـاه را ایفـا می نمایند . شیرابه بازگشتی را گاهی با مواد افزودنی می آمیزند تا کیفیـت محـیط درون دفنگاه برای انجام واکنشهای بیوشیمیایی مساعدتر گردد . این مواد میتواند لجـن تـصفیه خانه و یا فاضلاب باشد. در برخی مواقع جهت تسریع در تولید گـاز و تجزیـه مـواد آلـی ، شیرابه را پیش از ورود به دفنگاه گرم میکنند . گـاز تولیـد شـده را از طریـق لولـه هـای

کارگذاشته شده در دفنگاه استخراج می کننـد و از طریـق لولـه هـای کلکتـور ، گازهـای خروجی از لوله ها و چاکهای مختلف را جمع آوری و به ایستگاه پمپاژ گاز مـی فرسـتند . مقدار گاز قابل تولید از زباله پیش از هرچیز به ترکیب زباله و درصد مواد آلی تجزیه پذیر در آن و شرایط محل دفن و نحوه پیشرفت واکنشهای بیوشیمیایی تولید گاز بستگی دارد. تجارب جهانی حاکی از آن است که از هر تن زباله خام بین ۵ تا ۲۰ مترمکعب بیوگـاز در هر سال قابل بازیافت است .

۵_۹_۱ تخمیر اتانول

تخمیر اتانول از هیدراتهای کربن ، یکی از قدیمی ترین روشهای شناخته شده بـرای بـشر محسوب می گردد . امروزه تولید الکل از شکر، گندم و سایر مواد نشا سته ای بعنوان یک منبع جانشین سوختهای مایع به طور وسیع مـورد توجـه قـرار دارد . در تولیـد اتـانول از طریق تخمیر می توان مـواد خـام را براسـاس نـوع هیـدرات کـربن بـه سـه دسـته مـواد ساخارینی ، مواد نشاسته ای و مواد سلولزی تقسیم کرد تمام مواد خام فن آوریهای تولید الکل نیاز به طی مراحل عمل آوری و پردازش دارند . مواد ساخارینی بصورت قند موجـود در مواد قابل تخمیرنیاز به مقدمات آماده سازی کمتری دارنـد ، ولـی بطـور کلـی بدسـت آوردن و فراهم کردن آن بسیار پر هزینه اسـت . موادهـای حـاوی نـشاسته غالبـا ارزانتـر هستند ، ولی نیازمند عملیات حـل کـردن و تبـدیل نـشاسته مـواد قنـدی قابـل تخمیـر می باشند . مواد سلولزی مواد خامی هستند که به وفور در جهان یافت می شوند ، ولی به عملیات آماده سازی بسیار پرهزینه ای نیاز دارند .

در شروع یک رشته عملیات تخمیر ، نرخ تولید اتانول کاملا پایین است ، اما همین که تعداد سلولهای مخمر افزایش یافت ، نرخ کلی تولید آن افزایش می یابد . برای تسریع در عمل تخمیر معمولا از ارگانیزمهای تخمیر کننده استفاده می نمایند . خمیر مایه ها ، در حال حاضر تنها ارگانیزمهایی هستند ، که بطور متداول در صنعت تولید انبوه اتانول مورد استفاده قرار می گیرند . تحقیقات گسترده ای روی دیگر ارگانیزمهای تخمیر کننده و بخصوص باکتریها درحال انجام است . تخمیر اتانول ، همچنین مقادیر قابل توجهی در اکسید کربن تولید می کند که می تواند به آسانی بازیابی و فشرده شود و بعنوان یک ماده افزودنی در صنایع نوشابه سازی و غذایی مورد استفاده قرارگیرد . خمیر مایه های تخمیر کننده ، که بعنوان تفاله از دستگا ههای تخمیر دفع می شوند ، دارای پروتئین زیادی می باشند، که پس از خشک کردن می توانند به عنوان اجسام به فروش برسند .

کارخانه های تولید الکل در ظرفیت های مختلف قابل ساخت می باشند . ظرفیتهای کوچک درمقیاس روستایی برای تبدیل زایدات باغی و کشاورزی و ضایعات میوه به الکل مفید می باشند و ظرفیتهای بزرگ برای واحدهای بزرگ صنعتی و به منظور استفاده از محصولات بدست آمده از سطح کشت وسیع انتخاب می شوند . ظرفیتهای بزرگ از ۱۰۰ هزار تن تا ۷۰۰ هزار تن ماده خام در سال وجود دارند .

نوع ماده	مراحل عمل آوری لازم قبل از تخمیر	مزایا	معایب
مواد ساخارینی (چغندر قند، نیشکر، سورگوم شیرین)	خردکردن و آسیاب کردن برای استخراج قند	حداقل عمل آوری، بازدهی بالا در تولیداتانول، ارزش فرآورده های جنبی به عنوان سوخت وعلوفه وکود	انبارکردن ممکن است به کاهش ذخیره قند بینجامد، عملیات کاشت ممکن است دشوار باشد
مواد نشاسته ای (غلات ، ذرت سیب زمینی)	آسیاب کردن، اختلاط با آب، ساکاریفیکاسیون (تبدیل به قند)	فنون ذخیره سازی به خوبی گسترش یافته، سطح کشت وسیع، فراورده های جنبی غنی از پروتئین به عنوان علوفه	تجهیزات بیشتری در عمل آوری لازم است، هزینه تولید آنها بالا است، امکان آلودگی دانه ها به افلاتوکسین و خطر برای دام
مواد سلولزی (بقایای کشاورزی، کاه، گندم، ساقه ذرت، علوفه ، یونجه، سورگوم)	آسیاب کردن، هیدرولیز قندهای مرکب	عدم تداخل با بازار محصولات اصلی کشاورزی	پرهزینه بودن فرایند هیدرولیز

۱۰_۱ مقایسه نقاط قوت وضعف فن آوری تبدیل انرژی

نوع فن آوری	مزایا	معایب
احتراق مستقیم	سرعت بالا در تبدیل بیوماس به انرژی قابلیت تولید همزمان گرما، بخار و برق نیاز کم به پردازش و عمل آوری بیوماس سادگی تجهیزات مورد استفاده تجربیات طولانی در این فن آوری قابلیت کاربرد در واحدهای کوچک تا سطح خانگی	عدم امکان ذخیره انرژی انتشار آلاینده ها در هوا بازدهی پایین در روشهای عادی پیچیدگی تجهیزات در روشهای پیشرفته احتراق
آتشکافت	تنوع در فرآورده های انرژی زا قابلیت ذخیره انرژی به صورت فرآورده های گازی، مایع و جامد کاهش حجم ذخیره سازی زیست توده سرعت نسبتا بالا در تبدیل انرژی امکان اجرا و گسترش فرایند زغالسازی	نیاز به خشک و خرد کردن زیست توده پیچیدگی فرایندها و نیاز به تجهیزات فنی پیشرفته کمبود تجربه اجرایی در این زمینه نیاز به تنظیم و مراقبت دقیق فرایندها نیاز به پالایش فرآورده های انرژی زا
گازی سازی	قابلیت ذخیره انرژی بصورت گاز قابلیت انتقال انرژی از طریق لوله های گازرسانی قابلیت ترکیب شدن با نیروگاهها قابلیت کاربرد در تولید ترکیبی گرما و برق قابلیت ساخت در مقیاس های مختلف	نیاز به خشک و خرد کردن بیوماس نیاز به پالایش گاز نیاز به تجهیزات فنی نسبتاً پیچیده نیاز به تنظیم و کنترل مداوم فرایند لزوم بکارگیری نیروی انسانی متخصص
تخمیر بیهوازی	تنوع در مواد خام قابل استفاده عدم نیاز به خشک کردن مواد خام سادگی نسبی در تجهیزات به کار رفته ارزان بودن نسبی تولید فرآورده های جانبی امکان ذخیره انرژی به صورت گاز و قابلیت انتقال آن از طریق شبکه لوله ها قابل توسعه در واحدهای کوچک و بزرگ قابل توسعه در جوامع روستایی و شهری و صنعتی	حساسیت به دما، مواد شیمیایی و عوامل محیطی سرعت پایین در تبدیل بیوماس به انرژی تولید گازهای آلاینده نظیر سولفید هیدروژن عدم قابلیت استفاده برای چوب و زیست توده لینگوسلولزی نیاز به کنترل مداوم فرایند بازدهی کم در مقایسه با سایر فن آوریها
تولید الکل	امکان تولید سوخت مناسب برای صنعت ترابری امکان فروش در بازارهای داخلی و جهانی امکان استفاده از زایدات گیاهی و بقای میوه ها امکان کاربرد فرآورده های جانبی بعنوان خوراک دام یا کود	پیچیدگی زیاد فرایند نیاز به تنظیم و کنترل دقیق فرآیند بازدهی کمتر از ۷۰٪ انرژی تولید پساب آلوده به میزان بسیار بالا پیچیدگی و پر هزینه بودن تولید الکل از مواد لینگوسلولزی

۱۱_۱ مقایسه سازگاری فن آوریها با انواع مختلف منابع زیست توده

زائدات کشاورزی و جنگلی : این گروه ، گستره وسیعی از مواد قندی ، نشا سته ای ، سلولزی و لینگوسلولزی را در بر میگیرد . فن آوری احتراق برای تمام مواد نامبرده قابل اجرا است و در مواردی که در صد رطوبت کم باشد ، بازدهی و عملکرد نسبتا خوبی دارد. فن آوریهای ترموشیمیایی برای زائدات با درصد رطوبت پایین (کمتر از ۳۵٪) قابل استفاده هستند و در میان آنها مواد سلولزی و لینگوسلولزی (کاه ، سبوس ، ساقه و برگ خشک ، چوب) برای این فن آوریها کاربردی تر می باشند فن آوریهای تخمیر بیهوازی برای موادی که درصد رطوبت بالا داشته باشند ، قابل اجرا می باشند . روشهای مختلف فن آوری تولید الکل ترجیحاً برای مواد قندی و نشاسته ای و در درجه دوم برای مواد سلولزی و لینگوسلزی می توانند به اجرا در آیند .

زباله های شهری : در زباله های شهری انواع و اقسام مواد سوختنی و غیرسوختنی همراه با برخی ترکیبات خطرناک یافت می شوند . زباله های شهری به دو صورت پردازش شده ویا خام میتوانند مورد تبدیل به انرژی قرار بگیرند . فن آوری احتراق مستقیم به دو صورت می تواند در مورد زباله های شهری به کار رود :

- سوزاندن زباله های خام
- سوزاندن زباله های پردازش شده یا سوخت مشتق از زباله (RDF)

برای زباله های خام ، احتراق به روش بستر ثابت و برای سوخت مشتق از زباله ، احتراق به روشهای بستر ثابت و بستر سیال امکان پذیر می باشد . فن آوریهای ترموشیمیایی (آتشکافت و گازی کردن) بر روی سوخت مشتق از زباله آزمایش شده اند و ازبین آنها

فرآیند گازی کردن با اکسیژن موسوم به پوراکس جنبه تجاری به خود گرفته است . فن آوری تخمیر بیهوازی نیز به دو صورت تخمیر در محل دفن و تخمیر در مخازن بیهوازی برای زباله های شهری قابل انجام است .

فاضلابهای شهری : تنها فن آوری تخمیر بیهوازی برای این دسته از منابع قابل استفاده است و فرآورده انرژی زا در اینحالت گاز متان می باشد .

فاضلابهای صنایع غذایی : برای این دسته از منابع فن آوری تخمیر بیهوازی کاربرد دارد ، که بوسیله راکتورهای گوناگون ، مواد آلی تجزیه پذیر موجود در فاضلابهای صنعتی به متان تبدیل می شوند .

فضولات دامی : فضولات دامی نیز براساس تخمیر بیهوازی میتوانند به بیوگاز تبدیل گردند . در جوامع سنتی روستایی ، فضولات دامی (عمدتاً فضولات گاو) مستقیماً سوزانده میشوند .

۱۲_۱ تبدیل بیوماس به الکتریسیته

منابع بیوماس ، از طریق احتراق مستقیم و یا ازطرق تبدیل به سوختهای گازی و مایع ، قابل استفاده برای تولید انرژی الکتریکی در نیروگاههای با موتورهای احتراقی ، نیروگاههای توربین گازی ، نیروگاههای سیکل ترکیبی و نیز پیلهای سوختی می باشند . برای ایجاد یک نیروگاه بیوماس ، به خصوص از نوع ضایعات جامد شهری ، اطلاع از میزان بازدهی نیروگاه مورد نظر ، طراحی اقتصادی تجهیزات و محاسبه ظرفیت نیروگاه امکان پذیر می باشد . اغلب به علت پراکندگی و عدم تمرکز مقدار بسیاری از ضایعات جامد شهری ویا دیگر منابع بیوماس دریک نقطه خاص ، این منابع در نیروگاههای بزرگ

به عنوان سوخت کمکی مورد استفاده قرار می گیرند . بـا ایجـاد نیروگاههـای کـوچکتر ، امکان استفاده از آنهـا بـه عنـوان تنهـا سـوخت مـصرفی نیروگـاه ، موجـود مـی باشـد . نیروگاههای بیوماس بخاری درسالیان اخیر بسیار متداول شده اند وامید آن می رود ، کـه با پیشرفت تکنولوژی و افزایش بازدهی و کاهش میزان آلایندگی آنها ، رقیبی جدی برای نیروگاههای بخار سوخت فسیلی محسوب شوند . نیروگاههـای پیـشرفته گـازی بیومـاس وسیکل ترکیبی نیز در حـال گـسترش و تثبیـت موقعیـت خـود در بـسیاری از کـشورها هـستند و جـایگزینی قابـل رقابـت ، از نظـر اقتـصادی وحفـظ محـیط زیـست ، بـرای نیروگاههای سوخت فسیلی متداول محسوب می شوند .

۱_۱۲_۱ نیروگاههای با موتورهای احتراقی

دراین نوع نیروگاهها انواع سوختهای مایع و یا گازی حاصل از زیـست تـوده ، مـی تواننـد جایگزین سوختهای متعارف موتورهای احتراقی گردند . این سوختها میتوانند بیوگاز ، گاز مصنوعی حاصل از فن آوری گازی کردن ، سوختهای مایع حاصل از فـن آوری آتـشکافت یا الکل اتانول باشند . با اندک تغییرات در کاربراتور موتورهای احتراقـی نیروگـاه میتـوان آنها را همچنین دوگانه سوز نمود ، چنانچه این عمل هـم اکنـون بـرای سـازگاری موتـور خودروها جهت مصرف توام گاز طبیعی و بنزین انجام میشود اگر از سـوخت گـازی بـرای راه اندازی و راهبری موتورهای احتراق داخلی استفاده شود ، در صورتیکه گاز به کار رفته از نوع غنی با ارزش گرمایی بالا (بیوگاز ، گازبهـسازی شـده حاصـل از فـن آوری گـازی کردن زیست توده) باشد ، بازده موتور حدود ۲۴٪ و اگر گاز به کار رفته از نوع کـم عیـار

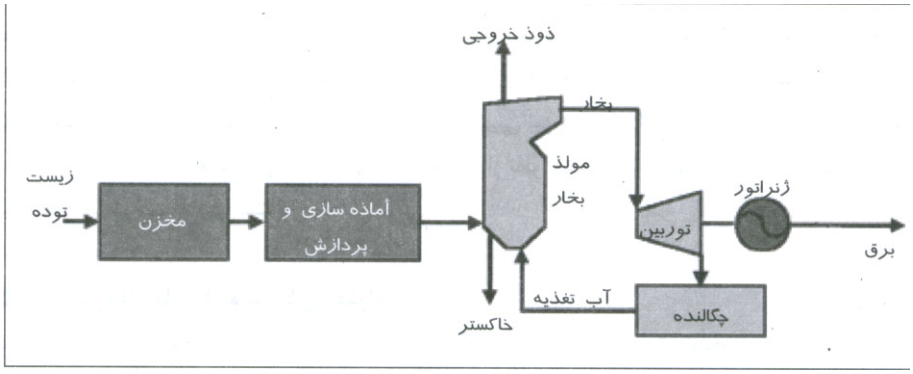
(گاز حاصل از گازی کردن بـا ارزش حرارتـی پـایین) باشـد ، بـازده موتـور حـدود ۲۰٪ خواهد بود .

۲_۱۲_۱ نیروگاههای بیوماس بخاری

جهت استفاده از بیوماس در یک نیروگاه بخاری ، روشهای مختلفی به شرح ذیـل موجـود می باشند .

احتراق مستقیم بیوماس جامد در کوره مولد بخار

در این روش بیوماس قبل از استفاده ، جهـت احتـراق بهتـر و سـریعتر بـه پـودر تبـدیل می گردد و سپس به عنوان سـوخت کمکـی ویـا اصـلی در نیروگـاه مـورد اسـتفاده قـرار می گیرد . این روش عمدتاً برای سوختهای چـوبی مناسـب مـی باشـد . ضـایعات جامـد شهری بدلیل داشتن رطوبت ، کمتر در چنین نیروگاههایی قابل استفاده مـی باشـند . در طی فرآیند احتراق مستقیم بیوماس ، میـزان بـسیار زیـادی خاکـستر ایجـاد و در داخـل کوره، جمع می شود ، که این امر باعـث کـاهش بـازدهی و افـزایش هزینـه هـای چنـین نیروگاههایی می باشد . در سیستمهای احتـراق ایـن نـوع نیروگاههـا ، مـی تـوان هـم از کوره های با بستر سیال و هم از کوره های با بستر ثابت بهره گرفت .



احتراق بیوماس جامد در بیرون از مولد بخار و استفاده از گازهای احتراق

در این روش بیوماس در کوره ای مجزا از کوره مولد بخار ، احتراق می یابد . گازهـای داغ ناشی از احتراق ، سپس از این کوره به سمت نیروگاه هدایت مـی گردنـد و جهـت پـیش گرم نمودن آب تغذیه مولد بخار مورد استفاده قرار مـی گیرنـد . از مـشکلات ایـن طـرح می توان ، به گران بودن تاسیسات مورد نیاز برای انتقال گـاز احتـراق ، کـه دارای درجـه حرارتی تا حدود ۱۰۰۰ سانتیگراد می باشد ، اشاره نمود .

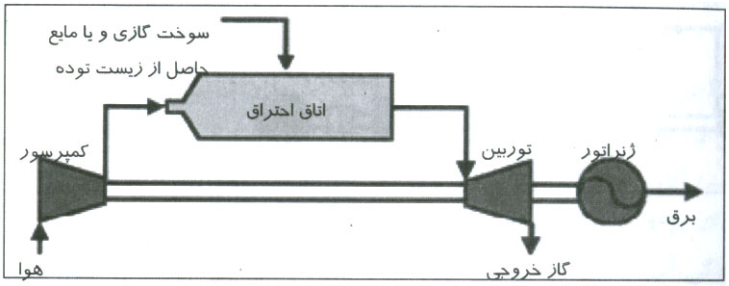
گازی کردن و یا مایع نمودن بیوماس و استفاده از آن به عنوان سوخت

دراین روش بیوماس قبل از اسـتفاده درنیروگـاه ، طـی یـک فرآینـد ترموشـیمیایی و یـا بیوشیمیایی تبدیل به گاز و یا مایع میگردد ، و سپس به عنوان سوخت کمکی و یا اصـلی در نیروگاه مورد استفاده قرار می گیرد . ایـن روش بـه دلیـل نیـاز بـه تجهیـزات تبـدیل بیوماس ، گران می باشد ، اما قابلیت استفاده از بیشتر منابع بیوماس را، برای تولید انرژی الکتریکی ، دارا می باشد .

۳_۱۲_۱ نیروگاههای بیوماس توربین گازی

به منظور مدرنیزه و اقتصادی نمودن تولید انرژی الکتریکی از منابع بیوماس ، نیروگاههای توربین گازی در جایگاه مهمی قـرار مـی گیرنـد ، زیـرا در سـالیان اخیـر علیـرغم بهبـود عملکرد و افزایش بازدهی این نیروگاهها ، هزینه احداث آنها بسیارکاهش یافته است . هـم اکنون درجهان تحقیقات بسیاری بر روی نیروگاههای توربین گازی با سوخت بیومـاس در جریان است و در بسیاری از طرحهای جدید نیروگاهی نیز، امکان استفاده از ایـن منـابع ،

از نقطه نظرفنی امکان پذیر گردیده است . این منابع کاملا قابل رقابت با دیگرسوختهای نیروگا ههای توربین گازی نظیر گاز طبیعی و یا گازوییل می باشند



۴_۱۲_۱ نیروگاههای بیوماس سیکل ترکیبی

در حال حاضر در سطح جهان پروژه های بسیاری در جهت استفاده از منابع بیوماس در نیروگاههای سیکل ترکیبی در دست اجرا می باشد ، که در آنها با گازی نمودن بیوماس و استفاده از آن به عنوان سوخت ، امید به تولید انرژی الکتریکی با بازدهی در حدود ۶۰٪ می رود .

احداث چنین نیروگاههایی به خصوص در نزدیکی شهرکهای صنعتی ، که بیوماس یا سوختهای حاصل از بیوماس جزیی از محصولات جنبی برخی صنایع مستقر در آنها محسوب می گردد ، از نقطه نظر اقتصادی بسیار پر جاذبه می باشد . به عنوان مثال در صنایع کاغذ سازی و خمیر مقوا ، در فرآیند تولید ، یک سوخت مایع موسوم به لیکورسیاه ، حاصل می شود ، که می توان از آنها در این نیروگاهها به عنوان سوخت استفاده نمود .

۱_۱۳ بررسی بیوماس از دیدگاه اقتصادی

بیوماس ، یک منبع تجدید پذیر می باشد ، که بـه راحتـی در دسـترس بـشر قـرار دارد . ارزش بهای این منبـع بـسیار کـم و حتـی در بعـضی مـوارد ، منفـی میباشـد . بیومـاس کاربردهای گوناگونی دارد و می تواند به عنوان مواد غذایی حیوانات ، مواد اولیه صـنعتی ، مواد اولیه تولید انرژی و غیره ، مورد استفاده قـرار گیـرد ، کـه هرکـدام از ایـن کاربردهـا دارای ارزش اقتصادی خاص خود می باشد . افزایش بهای سوختهای فسیلی و نیـز رو بـه اتمام بودن آنها از یک طرف و پیشرفتهای سریع در فن آوری تولید انـرژی بـا اسـتفاده از منابع بیوماس از طرف دیگر ، این منابع را کاملا قابل رقابت با سوختهای فسیلی میکند و به نظر می رسد ، منابع بیوماس در آینده یکی از بهترین انتخابها جهت جـایگزینی منـابع انرژی فسیلی ، و تامین انرژی مورد نیاز بشر باشـد . اسـتفاده از بیومـاس در منـاطق دور افتاده روستایی ، برای تولید انرژی الکتریکی و تامین دیگر مصارف انرژی ، باعـث صـرفه جویی بسیار در صنعت برق و نیز در مصرف سوختهای فسیلی می گردد .

۱_۱۴ بررسی زیست محیطی منابع بیوماس

استفاده از منابع بیوماس ، باعث کاهش میزان اسیدی بودن بـاران ، آلـودگی خـاک و آب می گردد . با کشت محصولات انرژی زا ، می توان جایگاههایی وسیع برای حیـات وحـش تهیه نمود و بدین ترتیب تاثیر مثبت برزندگی آنها داشت .

کاهش میزان آزاد شدن گازهای گلخانه ای : استفاده ازسـوختهای فـسیلی جهـت تـامین انرژی مورد نیاز بشر ، موجب آزاد شدن حجم بسیار زیـادی از گازهـای گلخانـه ای نظیـر دی اکسیدکربن و متان در اتمسفر می گردد ، که این امـر بـه خـصوص درسـالیان اخیـر

موجب تغییرات نامطلوب آب وهوایی بـر روی کـره زمـین گردیـده اسـت . تکنولوژیهـای استحصال انرژی از منابع بیوماس ، به دلیل ویژگیهای خاص خود ، می توانند تا حـدودی جایگزین مناسبی برای تولید انرژی از طریق احتراق مستقیم فسیلی باشند .

کاهش میزان اسیدی بودن باران : بـاران اسـیدی یکـی از عوامـل مهـم در از بـین بـردن دریاچه ها و آبزیان موجود در آنها و در نتیجه به خطـر انـداختن زنـدگی انـسا نهـا و نیـز حیات وحش می باشد . دلیل اصلی به وجود آمدن بارانهای اسیدی ، رها شدن سـولفور و اکسیدهای نیتروژن ناشی از احتراق سوختهای فسیلی بر روی کره زمین می باشد . منابع بیوماس شامل هچگونه سولفور نمی باشند ، و از آنجایی کـه بـه آسـانی بـا زغـال سـنگ مخلوط می شوند ، می توان با سوزاندن مشترک این منابع با زغال سـنگ تـا حـدودی از روند تولید سولفور کاست و بدین طریق باعث کاهش بارانهای اسیدی گردید .

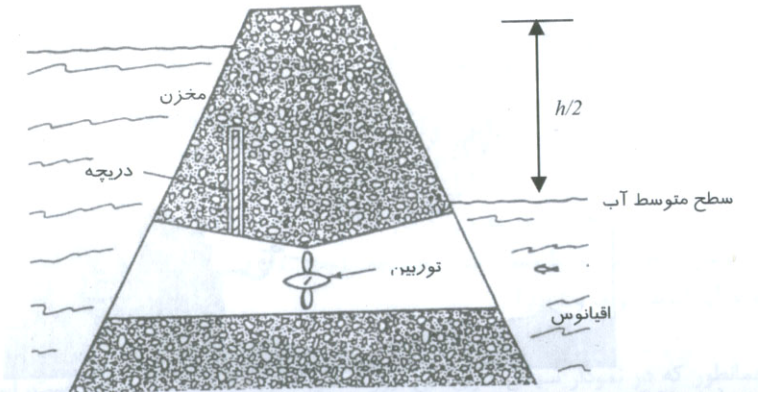
کاهش فرسایش خاک : با کشت محصولات انـرژی زا در زمـین هـای حاشـیه ای کـویر، می توان تا حدودی سبب کاهش فرسایش خاک گردید . محصولات انرژی زا اغلب با دوام هستند ، که این امر موجب اسـتفاده کمتـر از ماشـین آلات کـشاورزی در زمینهـای زیـر کشت آنها و در نتیجه باعث کاهش فشردگی ، جابجایی و تخریب خاک می شود .

کاهش آلودگی آب : محصولات بیوماس می توانند به طریق گوناگون ، روند آلودگی آب را کا هش دهند . به عنوان مثال با کشت محصولات انرژی زا در زمین های حاشـیه دریاهـا می توان از اکوسیستم آبزیان موجود در آنها حفاظت کرد و یا تبدیل پسماندهای شـهری و غیرشهری به عناصـر سـودمند ، از انتـشار آلـودگی و یـا جـاری شـدن آنهـا بـه سـمت رودخانه ها ، دریاها ، آبهای زیر زمینی و دیگر منابع آبی جلوگیری نمود

فصل دوم: انرژی جزر ومد

۱_۲ انواع نیروگاههای جزرومدی

تکنولوژیهای رایج نیروگاههای جزر و مدی بدلیل تشابه آنها با نیروگاههـای آبـی ، نـسبتا متکامل می باشند ، اما روشهای معمول استخراج این نوع انرژی هنوز به افـزایش کـارایی اقتصادی نیاز دارند . بطورکلی دو روش مختلف برای تولید انرژی الکتریکی توسط انـرژی جزر و مد پیشنهاد می گردد ، دریکی از این دو روش برای استخراج انـرژی جـزر و مـد ، نیـاز بـه احـداث سـد و مخـزن آب مـی باشـد ، درحالیکـه در روش دیگـر از جریانهـای جزرومدی استفاده می گردد و نیازی به احداث سد نیست.



.

۲_۲ نیروگا ههای جزرومدی دارای مخزن

دراین نوع نیروگا ههای ، با ایجاد یک سد در مقابل آب ، از هِد ایجاد شده بـر اثـر اخـتلاف ارتفاع آب درحالت جزرومد برای به حرکت در آوردن یک توربین استفاده می گردد .

انرژی قابل استخراج در مدت زمان یک جزر و یا یک مـد ، از رابطـه زیـر قابـل محاسـبه می باشد :

$$E = \frac{۱}{۲} \bullet M \bullet g \bullet h = \frac{۱}{۲} \bullet p \bullet s \bullet h^{۲}$$

$$M = p \bullet s \bullet h$$

با توجه به رابطه فوق ، انرژی قابل استخراج در طی یـک دوره کامـل جـزر و مـد مطـابق رابطه ذیل برابر است با :

$$E = p \bullet g \bullet s \bullet h^{۲}$$

در روابـط فـوق p بیـانگر چگـالی آب ($p = ۱۰۰۰\ kg / m^{۳}$) ، شـتاب جاذبـه زمـین ($g = ۹/۸ m/۲^{۲}$)، h اختلاف ارتفاع بین سطح آب در زمان جزر و مـد و s سـطح حوضـچه محصور شده جزر و مدی می باشد بازدهی تبدیل انرژی جزر و مدی به انرژی الکتریکـی دراین نیروگاهها حدود ۱۸ تا ۲۵ در صد ، می باشد . همانطور که در روابط فوق مـشاهده می گردد ، میزان انرژی قابل استخراج با مربع اختلاف ارتفاع بـین جـزر و مـد متناسـب است ، لذا مهمترین شرط برای ایجاد چنـین نیروگـاهی در یـک محـل ، وجـود اخـتلاف ارتفاع کافی بین سطح آب در زمان جزر و مد می باشد . علاوه بـر شـرط وجـود اخـتلاف ارتفاع کافی ، وجود یک کانال با دهانه باریک ، بطوریکه بتوان دهانه آنـرا بطـور اقتـصادی

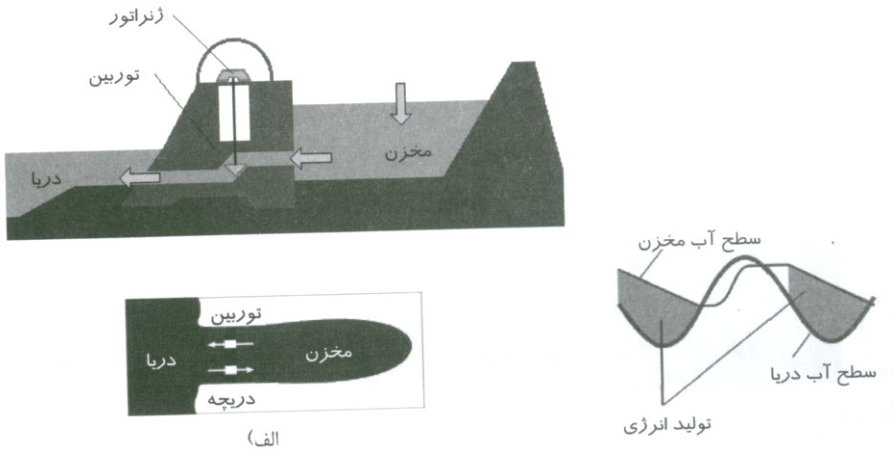
برای ایجاد یک مخزن ذخیره آب مسدود نمود ، لازم است . میزان ظرفیت یک نیروگاه جزر و مدی متناسب با میزان مساحت حوضچه می باشد .

۳_۲ انواع نیروگاههای جزر و مدی دارای مخزن

نیروگاههای جزر و مدی ، که با ایجاد سد احداث می گردند ، را بر اساس چگونگی ترکیب مخازن آنها به انواع یک مخزن برای جزر ، یک مخزن برای مد ، یک مخزن دو طرفه برای جزر و مد ، دو مخزن یکی برای جزر و دیگری برای مد و دو مخزن یک بلند و دیگری کوتاه با سیستم یک طرفه ، تقسیم می نمایند .

۱_۳_۲ یک مخزن برای جزر :

در این سیستم ، با باز نمودن دریچه های سد در هنگام مد ، ابتدا مخزن ذخیره آب پر می شود و سپس در زمان جزر ، وقتی که سطح آب در مخزن بالاتر از سطح آب دریا است ، آب مخزن از طریق توربین به دریا تخلیه می شود و بدین ترتیب در ژنراتور کوپل شده به توربین ، تولید انرژی الکتریکی می گردد .



سیکل عملیات این نوع نیروگاه دارای سه مرحله ذیل می باشد ، که بطور پیوسته تکرار می گردند :

۱) تخلیه آب حوضچه از طریق توربین به دریا در زمان جزر و تولید الکتریکی در ژنراتور کوپل شده به توربین

۲) باز نمودن دریچه ها در زمان مد و پر کردن حوضچه

۳) بستن دریچه ها وحفظ سطح آب درحوضچه ، تا زمانیکه با فروکش کردن مد ، ارتفاع مناسبی برای تولید برق پدید آید (پریود توقف و انتظار) .

این سیستم دارای نواقص ذیل می باشد .

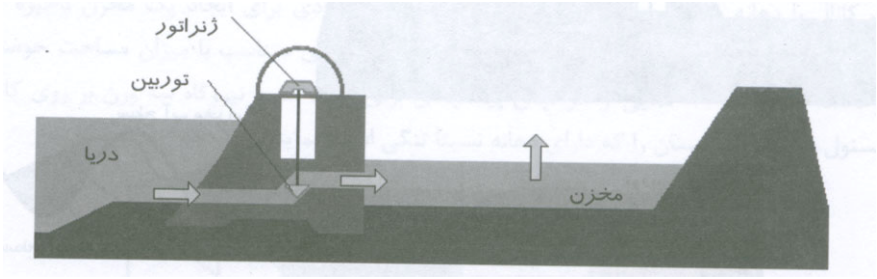
• قطع شدن تولید انرژی الکتریکی با زمانهای استراحت زیاد

• ارتفاع ریزش مفید آب به ، داخل توربین بسیار متغیر و در نتیجه انرژی الکتریکی تولیدی دارای نوسانات زیاد می باشد .

با توجه به نواقص این سیستم ، بهره برداری از این نوع نیروگاه فقط دریک شبکه سراسری امکان پذیر می باشد. برای کسب بازدهی بیشتر از این نیروگاهها ، می توان با پمپاژ آب به داخل مخزن در زمان مد حداکثر ، سطح آب مخزن و در نتیجه ارتفاع مفید برای تولید برق را افزایش داد. انرژی مورد نیاز پمپاژ از شبکه سراسری تأمین می شود و از آنجایی که عمل پمپاژ تا ارتفاع کوچکی (در زمان مد حداکثر) صورت می گیرد و همان حجم آب در زمان جزر از ارتفاع بلند تری به توربین سرازیر می شود ، مقدار انرژی تولیدی بیشتر از انرژی مصرفی خواهد بود .

۲_۳_۲یک مخزن برای مد :

در این سیستم ، در حالت مد آب از طریق توربین به درون مخزن یافته و در ژنراتور کوپل شده به توربین انرژی الکتریکی تولید می شود . در زمان جزر دریچه ها باز می شوند ومخزن تخلیه می گردد در این سیستم نواقص مطرح شده برای سیستمهای یک مخزن برای جزر همچنان برقرار است ، بدین دلیل این سیستم به تنهایی کمتر مورد استفاده قرار می گیرد و معمولاً با سیستم یک مخزن برای جزر ترکیب میشود .



۳_۳_۲ یک مخزن دو طرفه :

در این سیستم نیز فقط یک مخزن وجود دارد ، ولی با استفاده از یک توربین دو طرفه در آن ، هم در زمان جزر و هم در زمان مد ، انرژی الکتریکی تولید می گردد .

مراحل کاری این نوع نیروگاه در چهار مرحله ، بصورت ذیل انجام می پذیرد :

۱) تولید در جزر

۲) دریچه ها بسته (پریود توقف وانتظار)

۳) تولید در مد

۴) دریچه ها بسته (پریود توقف و انتظار)

با استفاده از این روش ، زمان وقفه در تولید انرژی الکتریکی به مقدار زیادی کاهش می یابد و بدین ترتیب انرژی بیشتری نسبت به سیستمهای یک مخزن برای جزر و یا یک مخزن برای مد ، تولید می گردد ، ولی انرژی تولید شده هنوز دارای نوسان است .

۲_۳_۴ دو مخزن یکی برای جزر و دیگری برای مد :

در این سیستم از دو مخزن ، که یکی از نوع یک مخزن برای جزر و دیگری از نوع یک مخزن برای مد است ، استفاده می شود . روند تولید برق در این سیستم بدین ترتیب است ، که در حالت مد از جریان آب اقیانوس به سمت یکی از مخزنها و در حالت جزر از جریان آب مخزن دیگر به سمت اقیانوس برای تولید برق استفاده می شود . در این سیستم انرژی الکتریکی تولید شده از سیستمهای قبل مداومتر ، ولی هنوز ناپیوسته است. بطور کلی طرحهای تولید انرژی با استفاده از دو مخزن طرحهای پیچیده تری نسبت به حالت تک مخزنی محسوب می شوند و فقط هنگامی که جغرافیای محل مناسب باشد ، پیاده سازی آنها عملی می باشد . این طرحها از نظر اقتصادی در مقایسه با طرحهای تک حوضچه ای دارای توجیه کمتری می باشند .

۲_۳_۵ دو مخزن یکی بلند و دیگری کوتاه با سیستم یک طرفه :

در این سیستم دو مخزن در کنار یکدیگر به نحوی احداث می گردند ، که یکی از آنها دارای سدی با ارتفاع بلند و دیگری دارای سدی با ارتفاع کوتاهتر می باشد . توربین در دیواره میان دو مخزن جایگذاری می گردد و با جریان آب از طرف مخزن بزرگتر به سمت مخزن کوچکتر از میان آن ، به چرخش در می آید و بدین ترتیب در ژنراتور کوپل شده

به آن تولید برق می گردد . احداث دیوار میان دو مخـزن ، بـا عـث افـزایش بـسیار زیـاد هزینه های ساختمانی نسبت به سیستمهای قبلی می گردد .

مکانیزم کاری این سیستم بدین صورت است ، که با باز کردن دریچـه هـای سـد مخـزن بلند در طول مد ، مخزن بلند پر می شود و به هنگـام سـطح آب دریـا در هنگـام جـزر ، دریچه های ورودی این مخزن بسته می شود تا از خروج آب به دریا جلـوگیری شـود . بـا جریان یافتن پیوسته آب از مخزن بلند به سمت مخـزن کوتـاه از میـان تـوربین ، انـرژی الکتریکی تولید می شود . وقتی که کاهش سطح آب دریا به سطحی کمتر از مخزن کوتاه می رسد ، دریچه های سد مخزن کوتاه ، باز می شوند تا آب این دریا به سطحی کمتـر از مخزن کوتاه می رسد ، دریچه های سد مخزن کوتاه ، باز می شوند تا آب ایـن مخـزن بـه دریا بریزد . این فرآیند تا زمانی که سطح آب دریا برابر با سطح آب مخـزن کوتـاه شـود ، ادامه پیدا می کند ، در این زمان دریچه های ورودی مخزن کوتاه بسته می شوند تا مـانع پر شدن این مخزن از طریق دریا شوند . پس از آن پر شدن مخزن کوتاه از طریق توربین توسط مخزن بلند شروع می شود . وقتی که سطح آب دریا به بالاتر از سـطح آب مخـزن بلند رسید ، دریچه های سد مخزن بلند باز شده و مخزن بلند دوباره پر می شود و بـدین ترتیب چرخه کامل می شود . انرژی الکتریکی تولید شده در این سیـستم پیوسـته اسـت ولی هنوز دارای نوسان می با شد .

۴_۲ مشخصا ت نیروگاه جزر و مدی دارای مخزن لارانس

نیروگاه لارانس در کشور فرانسه به عنوان اولین و بزرگترین نیروگاه جـزر و مـدی جهـان محسوب می گردد . اجرای عملیات ساختما نی این نیروگاه درسال ۱۹۶۱ آغـاز و درسـال

۱۹۶۷ به اتمام رسید . این نیروگاه از نوع یک مخزن برای جزر است و عمق مخـزن آن از سطح متوسط آب دریا در حدود ۱۲ متر می باشد . سـد احـداثی بـرای ایجـاد مخـزن از مصب رودخانه رانس عبور می نماید و دارای طـولی بـه انـدازه ۷۵۰ متـر مـی باشـد . در ساختمان این سد دریچه کوچکی برای عبور کشتی های تجـاری و۶ دریچـه متحـرک در نظر گرفته شده است . وظیفه دریچه های متحرک ، تسریع در پر و خـالی کـردن مخـزن سد در زمانهایی که اختلاف سطح آب مخزن و دریا کم اسـت ، مـی باشـد . سـطح مـوثر حوضچه سد ۲۲ کیلو متر مربع وحجم آن ۱۸۴۰۰۰۰ مترمربع می باشد . دامنه متوسـط تغییرات جزر و مد در این منطقه حدود ۸/۴ متر و حد اکثر آن در حدود ۱۳/۵ متر است. نیروگاه لارانس متشکل از ۲۴ واحد ۱۰ مگاواتی و در مجموع دارای ظرفیتی معـادل ۲۴۰ مگاوات می باشد .

توربین این نیروگاه از نوع کاپلان بالب (لامپی) ، با پره هایی متحرک به منظور اسـتفاده از حرکت آب در دو سو می باشد . توربین در محفظه ای با شکل خـاص در داخـل کانـال هدایت آب نصب گردیده است .

این توربین را در جهت معکوس نیز می توان به حرکت واداشت ، تا در مواقعی که انـرژی مصرفی شبکه کمتر از میزان انرژی تولیدی نیروگاههای بار پایه فعال در شبکه می باشـد و یا در زمان مد حداکثر ، بعنوان پمپ آب توسط ژنراتورها ، که در ایـن مـدت زمـان بـه عنوان موتور عمل می کنند ، صورت می پذیرد .

حداکثر تولید انرژی نیروگاه لارانس در سال ۱۹۹۴ به میزان ۵۹۸ GWh بالغ شد ، که ۹۱ GWh از آن صرف مصارف پمپها و در نتیجه تولید خالص آن برابر ۵۰۷ GWh گردید .

هزینه پروژه احداث نیروگاه لارانس معادل ۳ برابر هزینه یک نیروگاه حرارتی معادل ولی مخارج نگهداری آن نسبتا کم می باشد ، بطوریکه این نیروگاه فقط تحت نظر دو اپراتور مورد بهره برداری قرار می گیرد . ۳۰٪ از هزینه احداث نیروگاه مربوط به هزینه های خاکبرداری برای احداث سد بوده است . تجربه های بدست آمده از نحوه کار کرد نیروگاه لارانس بطور کلی مثبت بوده است و نیروگاه در طی مدت بهره برداری خود قابلیت اعتماد خود قابلیت اعتماد خود را به اثبات رسانده است . هزینه تولید نیروگاه لارانس ، تقریبا معادل هزینه تولید نیروگاههای هسته ای موجود در کشور فرانسه ، برآورد شده است .

۵_۲ نیروگاههای جریان جزر و مدی

در سالیان اخیر مطالعه بر روی این نوع نیروگاهها ، که نیاز به احداث سد ندارند و از جریان های جزر مدی بهره برداری می کنند ، بدلایل محیط زیستی و نیز عدم نیاز به ارتفاعهای بالای جزر و مدی ، بسیار مورد توجه قرار گرفته است .

توان جریان جزر و مدی با استفاده از روابط زیر قابل محاسبه می باشد :

$$p = \frac{۱}{۲} \bullet \frac{M}{t} \bullet v^{۲} = \frac{۱}{۲} \bullet \frac{pov}{t} \bullet v^{۲} = \frac{۱}{۲} \bullet p \bullet Q \bullet v^{۲} = \frac{۱}{۲} \bullet A \bullet v^{۳}$$

$$\frac{M}{t} = p \bullet \frac{v}{t} = p \bullet Q = p \bullet A \bullet v$$

در روابط فوق p بیانگر چگالی آب ($p = 1000\ Kg / m^3$) ، Q دبی جریان جـزر و مـد بـر حسب m^3/s ، v سرعت جریان جزر و مد بر حسب m/s ، M جرم آب عبـوری (kg) ، A سطح مقطع آب عبوری ، برحسب m^2 و v حجم آب بر حسب m^3 می باشد .

توان جریان جزر و مدی با مکعب سرعت جریان آب متناسب است ، لذا مهمتـرین شـرط برای ایجاد چنین نیروگاهی در یک محل ، وجود یک جریان جزر و مدی با سرعت کـافی می باشد . اگر چه ایجاد چنین نیروگاههایی باعث حذف هزینه سد سازی می گردد ، امـا چگالی توان آنها در مقایسه با طرحهای سد سازی که از ارتفـاع یـا هـد جـزر و مـد بهـره می گیرند ، بسیار کمتر است.

۲_۵_۱ مشخصات طرح نیروگاه جریان جزر و مدی تنگه مسینا

طرح احداث نیروگـاه در تنگـه مـسینا واقـع در کـشور ایتالیـا ، یـک طـرح آزمایـشی در چهارچوب برنامه های کـشورهای عـضو اتحادیـه اروپـا بـرای بررسـی فنـی و اقتـصادی نیروگاههای جریان جزر و مدی ، محـسوب مـی گـردد . درایـن طـرح نـصب ۱۰۰ واحـد نیروگاهی ۱ مگاواتی در عمق ۱۰۰ متری تنگه پیشنهاد گردیده است .

۲_۶ بررسی ایجاد نیروگاههای جزر ومدی در ایران

براساس مطالعات انجام یافته در سه ناحیه آبی دریـا چـه خـزر ، خلـیج فـارس و دریـای عمان، دریاچه خزر بعلت مسدود بودن نامناسب ، اما خلیج فارس و دریـای عمـان از نظـر وضعیت انرژی جزر و مدی نسبتا مطلوب تشخیص داده شده انـد . جـزر و مـد در خلـیج فارس دو بار در شبانه روز به وقوع می پیوندد ، مقدار متوسط اختلاف ارتفاع میان جزر و مد در حدود ۲متر و حداکثر آن بالغ بر ۴ متر می گردد . بدلیل وسعت خلیج فـارس کـه

در حدود km^2 ۲۵۰۰۰۰ می باشد و کوچک بودن دهانه آن (تنگه هرمز) ، در زمان مد ، در حدود ۵۰۰ میلیارد متر مکعب آب (۵۰۰ کیلومتر مکعب) از دریای عمان و از میان تنگه هرمز به طرف خلیج فارس و در زمان جزر ، همین مقدار آب از طرف خلیج فارس به طرف دریای عمان جریان می یابد و بدین ترتیب یک جریان جزر و مدی با سرعت متغییر بین ۵/۵ الی ۷/۵ کیلومتر بر ساعت در سرتاسر خلیج فارس پدید می آید . علت تغییر سرعت جریان آب ناشی از وزش باد در جهت حرکت و یا خلاف حرکت آب و نیز وجود جریانهای طبیعی دریایی است . و با فرض آنکه متوسط سرعت جریان جزر و مدی در ناحیه تنگه هرمز حدود ۶ کیلو متر بر ساعت (حدود ۱/۷ متر برثانیه) و مدت زمان جریان آب از تنگه هرمز در هنگام مد و یا جزر در حدود ۶ ساعت باشد ، مقدار متوسط توان جریان در این ناحیه برابر است با :

$$p = \frac{۱}{۲} \bullet \frac{p \bullet v}{t} \bullet v^{۲} = \frac{۱}{۲} \bullet \frac{۱۰۰۰ \bullet ۵۰۰ \bullet ۱۰^{۹}}{۶ \bullet ۳۶۰۰} \bullet \overrightarrow{(۱.۷)^{۲}} = ۳۳.۴۵\, GW$$

از آنجاییکه ، این توان در طول ۲۴ ساعت شبانه روز در دسترس می باشد ، میزان انرژی جریان جزر و مدی خلیج فارس در طول یکسال برابر با TWH ۲۹۳ می گردد . با توجه به میزان توان نهفته در وجود جریان جزر و مدی در خلیج فارس و پایان ناپذیر بودن آن، احداث نیروگاههای جریانی ، بخصوص در نواحی تنگه هرمز بسیار قابل مطالعه می نماید. در دریای عمان برخلاف خلیج فارس جزر و مد یکبار در شبانه روز اتفاق می افتد و ارتفاع آن نیز بطور متوسط حدود ۱/۵ تا ۲ متر است و ارتفاع حداکثر آن,گاهی اوقات به ۳ متر می رسد. در بندر عباس حداکثر اختلاف ارتفاع تا حدودی از ۴ متر بیشتر می شود

.

در چابهار حداکثر اختلاف ارتفاع حدود ۳ متر است . بطور کلی در جنوب کشور هـر قـدر بطرف غرب حرکت نماییم ، اختلاف ارتفاع میان جزر و مـد بیـشتر مـی شـود ، بطوریکـه شاید بهترین محل برای احداث نیروگاههای جزر و مدی دارای مخزن در دهانه اروندرود باشد . از دیگر نقاطی که برای استفاده از انرژی جزر و مدی بخصوص نیروگاههای جریانی جزر و مدی در جنوب کشور مناسب تشخیص داده شده انـد ، مـی تـوان از فاصـله میـان جزیره هنگام و راس شیخ مسعود در خلیج فارس که کم عرض تـرین نقطـه تنگـه هرمـز می باشد ، خلیج نای بند بین بندر لنگه و بندر بوشهر ، فاصله میان جزیره قشم و سواحل بندر عباس و در دریای عمان حوالی چابهار نام برد .

۷_۲ بررسی اقتصادی نیروگاههای جزر و مدی

تجربیات بدست آمده از نحوه کارکرد نیروگاههای جـزر و مـد نـشان مـی دهـد ، کـه در مجموع قابلیت اطمینان این نیروگاهها بالا و هزینه های تعمیر و نگهداری در آنهـا بـسیار کم می باشد . با استفاده از این تجارب و با تکنولوژی فعلـی جـزر و مـدی ، از نظـر فنـی انرژی جزر و مد را می توان منبعی پیشرفته ، قابل اعتماد و با طول عمر زیاد بشمار آورد. بطور کلی استخراج انرژی جزر و مدی با هزینه سرمایه گذاری بالا امکانپـذیر مـی باشـد ، میزان این هزینه با دامنه جزر و مد محلی تغییر می کند . کارکرد متناوب و غیـر دائـم و در نتیجه پائین بودن ضریب بهره در نیروگاههای جزر و مـدی، عامـل مهمـی در افـزایش هزینه های تولید انرژی الکتریکی توسط آنها محسوب می گردد . هزینه هـای سـاختمانی سد بستگی به نسبت طول سد به مساحت مخزن و نیز ارتفاع سد دارد ، به همـین دلیـل هزینه های انرژی جزر و مدی بسیار زیاد به ویژگیهای محلی وابسته مـی باشـند . در هـر

صورت هزینه سرمایه گذاری بالا برای احداث این نوع نیروگاهها ، باعث می شود که قیمت انرژی الکتریکی تولیدی آنها به شدت تحت تاثیر نرخهای بهره قرار گیرند . نکته دیگری که موقعیت رقابتی انرژی جزر و مدی را مانند دیگر انرژی های تجدید پذیر در مقابل سوختهای فسیلی تضعیف میکند ، هزینه های اجتماعی و زیست محیطی سوختهای فسیلی و آهنگ افزایش قیمت آنها نیز بر رقابت این منبع انرژی در مقابل سوختهای فسیلی تأثیر گذار می باشند . در سالهای اخیر تعدادی نیروگاه کوچک جزرومدی درچین ساخته شده است که ویژگی جالب آنها چند منظوره بودن آنها می باشد، بطور مثال بهبود در امر پرورش آبزیان و امور کشتیرانی از جمله اهدافی است که در کنار تولید انرژی جزر و مدی مورد توجه بوده است . این طرح ها که بخشی از یک برنامه مهم در جهت استفاده از منابع کشور چین را تشکیل می دهند ، توسعه انرژی جزرومدی را در مکانهایی که تولید انرژی الکتریکی به تنهایی بسیار گران تمام می شوند، توجیه کرده است .

۸_۲ بررسی زیست محیطی نیروگاههای جزر و مدی

از نقطه نظر زیست محیطی نیروگاههای جزر و مدی می توانند دامنه جزر و مد ، جریانهای جزر و مدی ، درجه حرارت و کیفیت آبها را تحت تاثیر قرار دهند ، همچنین تغییر ارتفاع آب در مخزن نیروگاههای دارای سد ، ممکن است اثراتی نامطلوب برکشاورزی ، سطح آبهای زیر زمینی ، فرسایش و زهکشی برجای گذارند . مطالعات بسیاری تاکنون در مورد اثرات منفی این نیروگا ههها بر زیستگاه طبیعی و جمعیت پرنده ها صورت پذیرفته است ، براساس این مطالعات نشان داده شده است ، که این اثر

در همه جا یکسان نیست ، لذا این اثرات باید در هر محل بطور مستقل مورد بررسی قـرار گیرند تا مشکلات احتمالی بر طرف و یا کاهش یابند . دراکثر سایتهایی که تاکنون مـورد مطالعه بوده اند ، هنوز پیشگیری یا کاهش رضایت بخشی از دامنه اثرات این مسئله دیده نشده است . به همین دلیل توسعه نیروگاههای واقع درنواحی پست ، آبگیرها و مردابهـای عمده که اهمیت زیادی برای زندگی پرنده ها دارند ، باید با احتیاط بسیار صورت پـذیرد . همچنین نیروگاههای جزر و مدی می توانند در زندگی و تولید مثل ماهی هـا نیـز اثـرات سوئی داشته باشند ، این صدمات ممکن است به شکل مرگ و میر آنها در داخـل تـوربین و نیز به دلیل ایجاد تأخیر در سفر آنها از دریا به رودخانه برای تخم ریزی ، بـروز نمایـد . بدلیل بروز مشکلات زیست محیطی فوق، توسعه بیشتر نیروگاههای جزر و مدی بـا روش سدسازی در دهانه رودخانه ها علیرغم پیشرفتهای فنی قابل توجه ، تـا حـدودی محـدود شده است ، بطوریکه درتوسعه آینده منابع جـزر و مـدی ، سـهم کمـی بـرای ایـن روش می توان در نظر گرفت .

۹_۲ نیروگاههای جریان دریایی

تابش شدید تر خورشید دراستوا ، آب اقیانوسها و دریاها در مناطق استوایی را نـسبت بـه مناطق قطبی گرمتر می نماید . اختلاف چگالی که دراثر این اختلاف دما بوجود می آید ، موجب برقراری یک جریان دائمی بین قطبها و استوا می شود . در واقع آب گرم اسـتوا در سطح اقیانوسها جریان می یابد و در قطبها سرد می شود و در عمق اقیانوسها فرو می رود و از طریق اعماق اقیانوسها به استوا باز می گردد . حال به علت انحراف محور دوران زمین نسبت به قطبهای جغرافیایی ، دراثر این جریانهای اقیانوسی یک شتاب گوریولیس بوجود

می آید ، که باعث ایجاد یک جریان چرخشی در دریاها وخلیج های بین راه می شود . درکنار این عامل یک عامل دیگر نیز باعث تشدید این جریانها می شود ، که به بادهای جهانی موسوم هستند . بادهای جهانی باعث ایجاد موج و تشدید جریانهای دریایی می گردند . پس در واقع جریانهای دریایی متاثر از دو پدیده بادهای جهانی و شتاب گوریولیس می باشند پدیده جریان دریایی سالها قبل توسط ملوانان واقیانوس مطرح گردید ، که ازنزدیک شاهد جریانهای تند و سریعی در بعضی از آبهای دنیا بوده اند . مطالعات اخیر نشان می دهد که جریانهای دریایی دارای پتانسیل عظیمی می باشند ، که می تواند بخش بزرگی از نیازهای انرژی جهان در قرن بیست و یک را تأمین نماید . بنابر محاسبات انجام شده ، مقدار انرژی قابل استخراج از جریانهای دریایی در سراسر دنیا در حدود ۵۸ TWh درسال تخمین زده می شود . فکر استخراج انرژی از جریانهای دریایی ایده نسبتا جدیدی است ، که در اواسط دهه ۱۹۷۰ میلادی بعد از بحران نفت ، برای اولین بار مطرح شد . درسال ۱۹۷۴ کمپانی تحقیقات انرژی مک آرتور در آمریکا ، مطالعاتی بر روی جریان دریایی فلوریدا برای تولید انرژی انجام داد و نتایجی را در این زمینه ارائه کرد . جریان دریایی گلف در فلوریدا در هر ثانیه حاوی ۳۰ میلیون متر مکعب آب می باشد ، که این مقدار بیش از ۵۰ برابر آب کل رودخانه های جهان می باشد . حداکثر سرعت جریان آب در این منطقه حدود ۲/۵ متر برثانیه گزارش شده است ، که مقدار قابل قبولی است ، تخمین زده می شود که کل توان قابل نصب دراین منطقه درحدود ۲۵ GW باشد . مطابق محاسبات انجام یافته ، اگر ۲۴۲ توربین بزرگ با قطری حدود ۱۷۰ متر در ناحیه ای به وسعت ۶۰ km^2 از گلف استریم قرار داده شوند ، توان

خروجی سالیانه بدست آمده بالغ بـر GW ۱۰ خواهـد گردیـد . در سـال۱۹۷۶ کمپـانی جنرال الکتریک انگلستان ، تحقیق دراین زمینه را برعهده گرفت ، نتیجه ایـن تحقیـق در برگیرنده جزییات بسیار دقیقی درمورد انرژی جریان دریایی بود . اندکی بعـد در سـالهای ۱۹۷۷ تا ۱۹۸۲ گروه توسعه تکنولوژی درانگلستان شـروع بـه آزمـایش عملـی تحقیقـات بدست آمده ، نمود و درراستای آن اقدام به نصب و آزمایش موفقیـت آمیـز یـک تـوربین داریوس با قطر روتور ۳ متر در مسیر جریـان دریـایی نمـود . در دهـه ۱۹۸۰ نیـز عمومـاً برنامه های تحقیقـاتی کـوچکی توسـط کـشورهای انگلـستان ، کانـادا و ژاپـن در زمینـه جریانهای دریایی صورت گرفت . از آن زمان تاکنون طرح های دیگری نیز ارائه شده انـد ، اما هیچکدام بـه انـدازه طرحهـایی کـه در دهـه ۷۰ و ۸۰ مـیلادی ادائـه شـدند ، موفـق نبوده اند . درکشور ایران ، مطالعات انرژی جریان دریایی معطوف به سـه ناحیـه دریاچـه خزر ، خلیج فارس و دریای عمـان بـوده اسـت . در دریاچـه خـزر جریانهـای دریـایی بـا سرعتهای نسبتا کم و نامنظم قابل مشاهده می باشند ، که درکل با توجه به فن آوریهـای موجود ، خصوصیات لازم برای ایجاد تأسیسات جریان دریایی را دارا نمـی باشـند . بـرای اینکه مقیاسی با شرایط مطلوب جهت ایجـاد نیروگاههـای جریـان دریـایی از نقطـه نظـر اقتصادی داشته باشیم ، کافی است به این مطلب توجه شود که حداقل سرعت لازم بـرای جریان آب باید درحدود m/s ۲ باشد ، درحالیکه سرعت جریـان آب بـه عنـوان مثـال در نواحی ساحلی دستک در شمال شرقی رشـت در حـدود m/s ۰/۳ گـزارش شـده اسـت . خلیج فارس و دریای عمان نیز شرایطی هما نند دریای خزر دارند و با وجود اینکه در آنها

جریانهای دریایی مشاهده مـی گـردد ، لـیکن خـصوصیات مطلـوب بـرای ایجـاد چنـین نیروگاههایی در حال حاضر وجود ندارند .

۱_۹_۲ شرایط لازم برای ایجاد تأسیسات جریان دریایی

برای بدست آوردن توان مطلوب ازجریانهای دریایی ، سـرعت جریـان آب بایـد حـداقل ۲ متر بر ثانیه باشد ، که این شرط با توجه به تاثیر سرعت جریان آب بر انـدازه قطـر روتـور توربین ، یکـی از عوامـل محـدودیت در ایجـاد نیروگـا ههـای جریـان دریـایی در جهـان محسوب می گردد . اگر سرعت آب ۲ متر بر ثانیه باشـد ، بـرای اینکـه بـازدهی درحـدود مطلوب باشد، روتور توربین باید دارای قطری برابر ۱۴ متر بوده و درعمقی برابـر ۳۰ متـر بکار گرفته شود برطبق رابطه زیر ، توان قابل استخراج از جریانهای دریایی ، با توان سـوم سرعت جریان آب بستگی دارد .

$$p = \frac{۱}{۲} \bullet C_p \bullet p \bullet A \bullet v^۳$$

در رابطه فـوق p بیـانگر چگـالی آب ($p = ۱۰۰۰ \ kg / m^۳$)، C_p بـازدهی تـوربین ، v سرعت جریان آب بر حسب m/s و A مساحت توربین برحسب $m^۲$ می باشـد . همـانطور که رابطه (۴ ـ ۱۲) ملاحظه می شود ، توان جریانهای دریایی با مکعـب سـرعت جریـان آب متناسب است ، لذا مهمترین شرط برای ایجاد چنین نیروگاهی در یک محل ، وجـود یک جریان دریایی با سرعت کافی می باشد .

۲_۹_۲ تکنولوژیهای تولید برق از انرژی جریانهای دریایی

یکی از طرحهای پیشنهادی برای استخراج انرژی جریان دریایی ، اسـتفاده از یـک تـسمه نقاله که بر روی آن چترهایی نصب شده است ، می با شد . ایـن نقالـه در مـسیر جریـان

دریایی قرار داده می شود و بر اثر نیروی وارده از طرف جریـان بـه چترهـا ، حرکـت مـی کند. در اثر حرکت نقاله ، پولی چرخانده می شود و حرکت دورانی ایجـاد مـی شـود ، بـا انتقال حرکت دورانی پولی به یک توربین متصل به ژنراتور ، تولید انـرژی الکتریکـی مـی گردد .

طرح پیشنهادی فوق ، بدلیل پیچیدگی و کافی نبودن امکـا نـات فنـی موجـود ، تـاکنون مورد اجرا قرار نگرفته است . درحال حاضر عملی ترین روش برای تولید برق از جریانهـای دریایی قرار دادن یـک تـوربین در مـسیر جریـان آب و بـه چـرخش در آوردن محـور آن می باشد . با چرخش محور توربین ، در ژنراتور کوپل شده به آن انـرژی الکتریکـی تولیـد می گردد . انرژی الکتریکی تولیدی را می توان مستقیما توسط کابلهای دریایی به مراکـز مصرف منتقل نمود و یا در دستگاههای الکترولایزر با استفاده از آن و آب دریـا اقـدام بـه تولید هیدروژن کرد و سپس هیدروژن تولیدی را به عنوان حامل انرژی به سـاحل انتقـال داد . سرعت جریا نهای دریایی با افزایش عمق آب ، به تدریج کاهش می یابـد ، بطوریکـه در کف دریا سرعت آن به صفر می رسد ، لذا برای ایجاد یک نیروگـاه جریـان دریـایی تـا آنجا که امکان دارد ، توربین بایـد نزدیـک سـطح آب قـرار گیـرد . البتـه ایجـاد سیـستم نگهدارنده توربین درسطح دریا و یا اتصال توربین به کف دریا یکی از مشکلات اولیـه ایـن طرح می باشد . توربین های مورد استفاده در نیروگاههای جریان دریایی تاکنون عمدتا از نوع افقی و یا از نوع عمودی بوده اند ، ابعاد این توربینها متاثر از سـرعت جریـان و عمـق آب می باشد . درسال ۱۹۸۲ ، کشور انگلستان با استفاده از تعدادی توربینهـای داریـوس که روتوری به قطر ۳ متر داشتند ، در زمینه استخراج انرژی جریان دریایی پیشقدم شد ،

توان خروجی این توربینها در حدود ۱ کیلووات بود . ایسلند نیز درسال ۱۹۹۳ سیستمی شامل یک توربین افقی ملخ دار را ، برای جذب انرژی جریان دریایی با توان خروجی ۱ کیلووات ، مورد بهره برداری قرار داد .

در سال ۱۹۹۴ ، کشور اسکاتلند یک سیستم افقی معلق را در تنگه کران (Corran) مورد بهره برداری قرار داد . قطر روتور بکار رفته دراین سیستم ۳/۵ متر می باشد و توان خروجی آن در سرعت ۲/۲۵ متر بر ثانیه آب بالغ بر ۱۰ کیلو وات می گردد . در ژاپن در دهه ۸۰ میلادی سیستمی برای جذب انرژی جریان دریایی ساخته شد ، که موفق ترین طرح این دهه محسوب می گردید . این سیستم دارای توان خروجی در حدود ۵ کیلووات و توربینی با محور عمودی از نوع داریوس با قطر در حدود ۱/۶ متر می باشد . این سیستم بر روی بستر دریا در تنگه کوراشیما به کار گذاشته شده است .

در سال ۱۹۸۵ نیز یک توربین کوچک دریایی در آبهای فلوریدا با موفقیت مورد آزمایش قرار گرفت، توان خروجی این توربین درحدود ۲ کیلووات برای هرمتر مربع بود و درعمق ۵۰ متری عمل می کرد . در سال ۱۹۸۶ توربینی از نوع داریوس در آمریکا با موفقیت آزمایش شد ، توان خروجی این توربین در حدود ۲ کیلووات بود و بر روی رودخانه شرقی شهر نیویورک به آب انداخته شد . در سال ۱۹۸۹ ، محققان کانادایی نیز برای استخراج انرژی جریان اقیانوس توربینهای بزرگی با محور عمودی از نوع داریوس را مورد استفاده قرار دادند ، خروجی این توربینها در حدود ۵ کیلووات بود . در استرالیا نیز در سال ۱۹۹۰، واحدهایی را برای جذب انرژی امواج مورد استفاده قرار دادند ، این واحدها نیز

دارای توربینهای داریوس بـا محـور عمـودی در انـدازه هـای کوچـک و متوسـط بودنـد ، خروجی مجموعه این واحدها بالغ بر ۶۷۰ کیلووات می شد .

۲_۱۰ بررسی اقتصادی نیروگاههای جریان دریایی

بررسی اقتصادی نیروگاههای جریان دریایی و تخمین قیمت آنها بدلیل فراگیر نشدن آنها چندان دقیق نمی باشد . قیمت تمام شده برای هر محل متفاوت می باشـد و بـستگی بـه عوامل طبیعی ، تکنولوژی مورد استفاده و پارامترهای اقتصادی همانند نرخ بهـره و طـول عمر دارد . به عنوان مثال هزینه ویژه احداث نیروگاه جریـان گلـف در فلوریـدا در حـدود ۱۲۰۰ دلار برای هر کیلووات تخمین زده شده است . با احتساب این هزینه و هزینه های تعمیرات و بهره برداری دستگاهها و دیگر هزینه های جاری ، هزینه تولید در این نیروگـاه حدود ۴ سنت بازای هر کیلـو وات سـاعت بـرآورد شـده اسـت . در حـال حاضـر از نظـر اقتصادی تکنولوژی جریان دریایی چندان به صرفه نیست ، ولی از آنجایی که این طرحهـا نیازی به احداث سد ندارند ، در آینده نزدیک با توجه به این مزیت خود ، نقش بزرگـی را در تامین انرژی بشر تامین نمایند .

۲_۱۱ بررسی زیست محیطی نیروگاههای جریان دریایی

نیروگاههای جریان دریایی تاثیر بسیار کمی بر روی محیط زیست دارنـد . بـا نـصب ایـن نیروگاهها در مسیر جریانهای دریایی تا حـدود کمـی از سـرعت جریـان آب کاسـته مـی گردد، به عنوان مثال در مورد جریان گلف در فلوریدا براسـاس مطالعـات مـشخص شـده است ، که در صورت نصب واحدهای نیروگاهی به ظرفیـت ۱۰ گیگـاوات ، سـرعت آب بـا کاهشی معادل ۱/۲٪ مواجه خواهد گردید . در ضمن بر اثر چرخش توربینهـا ، دمـای آب

افزایش بسیار ناچیزی در حدود کمتر از یک درجه سانتیگراد می یابد ، که این امـر بـرای زندگی آبزیان دریایی خطری محسوب نمی شـود . درهنگـام ایجـاد ایـن نیروگاههـا بایـد موارد زیر را در نظر گرفت :

- مسیر حرکت کشتیها ، تا بر سر راه عبور کشتیها واحدهای نیروگا هی احداث نگردند.
- در هنگام نصب توربین های جریان دریایی بایـد بـا اخـذ تـدابیری از ورود موجـودات بزرگ دریایی هما نند دلفینها و هم آبزیان کوچک دریایی ماهیهـا بـه تـوربین جلـوگیری گردد .
- انجام فعالیتهای تفریحی نظیر شنا ، غواصـی و ... در محـل احـداث بایـد مـورد توجـه قرارگیرند.
- آلودگیهای موجود در آب را باید مد نظر قرار داد ، چرا که این امـر مـی توانـد درمـورد جنس توربین یا سایر اجزای سیستم تاثیر گذار باشد .
- ایمنی تأسیسات در هنگام بالا و پایین رفتن آنها ، که می تواند ناشی از وزش بـاد و یـا امواج باشد را باید مد نظر قرار داد .

فصل سوم : انرژی زمین گرمایی

۱_۳ مقدمه

انرژی زمین گرمایی انرژی تجدید پذیری است ، کـه از حـرارت قابـل اسـتخراج ناشـی از گرمای توده های مذاب و تخریب مواد رادیو اکتیو موجود در اعماق زمین بدست می آید. این منبع انرژی بر خلاف سایر انرژی های تجدید پذیر نظیر خورشیدی ، بادی ، امـواج و غیره ، منشأ یک انرژی پیوسته بشمار می آید و می تـوان بطـور مـداوم و در تمـامی ۲۴ ساعت شبانه روز از آن برق یـا انـرژی حرارتـی تولیـد کـرد ، در صـورتیکه اغلـب منـابع انرژیهای نو ، فصلی و وابسته به زمان و شرایط خاص می باشند . سابقه استفاده از انـرژی زمین گرمایی به زمانهای بسیار دور بر می گـردد. در زمانهـای قـدیم از ایـن انـرژی، کـه عمدتاً به صورت چشمه های طبیعی آب یا بخار داغ به سطح زمین می آیـد ، بـه عنـوان حمام های آب گرم جهت مداوای امراض ، استحمام ، پخت وپز ، گرمایش محیط و تهیـه آب گرم برای کشاورزی استفاده می شد . اولین استفاده مکانیکی از انرژی زمین گرمـایی در سال ۱۸۹۷ در لاردرلو در کشور ایتالیا صورت گرفت . بهـره بـرداری از بخـار طبیعـی

حاصله از انرژی زمین گرمایی جهت تولید برق نیز ، اولین بار در سال ۱۹۰۴ در لاردرلو ایتالیا صورت پذیرفت ، ظرفیت نیروگاه لاردرلو در سال ۱۹۱۴ به ۸/۵ مگاوات و در سال ۱۹۴۴ به ۱۲۷ مگاوات رسید . در اواخر جنگ جهانی دوم ، نیروگاه تخریب شد ، ولی پس از جنگ آن را بازسازی کردند و توسعه دادند ، بطوریکه در سال ۱۹۸۱ تولید آن به ۳۶۰ مگاوات رسید .

تا سالها بعد از ساخت اولین نیروگاه زمین گرمایی درلاردرلو ، بعلت وجود منابع سوخت ارزان قیمت جهت تولید برق ، ارزش زیادی به این انرژی داده نشد و این امر تا سال ۱۹۵۸ که دومین نیروگاه زمین گرمایی با مقیاس بزرگ در وایراکی نیوزیلند بنا شد ، ادامه داشت . در سال ۱۹۶۷ منابع گیزرز کالیفرنیا کشور آمریکا و پس از آن برخی منابع هیدروترمال از نوع تحت مایع در ژاپن و نیوزیلند ، گسترش یافتند ، بطوریکه در سال ۱۹۶۷ میزان برق حاصل از انرژی زمین گرمایی به ۱۳۲۵ مگاوات رسید . بهره برداری از منابع انرژی زمین گرمایی بعنوان یک منبع عمده تولید انرژی، بعد از بحران نفت در سال ۱۹۷۳ میلادی مورد توجه بیشتری قرار گرفت ، بطوریکه افزایش ظرفیت تولید اقتصادی برق و همچنین استفاده مستقیم از این منبع در طی سه دهه گذشته نشان دهنده پیشرفتهای بسیار دراین زمینه می باشد . تا سال ۱۹۹۵ از منابع انرژی زمین گرمایی در سطح جهانی حدود ۹۰۰۰ مگاوات برق و بیش از۱۱۰۰۰ مگاوات انرژی حرارتی برای مصارف مختلف تولید می گردید .

۲_۳ منبع حرارتی و مناطق مهم زمین گرمایی جهان و ایران

نظریات بسیاری درمورد منبع حرارتی انرژی زمین گرمایی وجود دارنـد . مهمتـرین آنهـا یکی نظریه تجزیه مواد رادیواکتیو موجود درپوسته زمـین نظیـر اورانـیم ، گـالیم وتـوریم می باشد ، که هرچند گرمای حاصل از تلاشی آنها به تنهایی ناچیز به نظر می آیـد ولـی پژوهشگران جهانی انباشته شدن حرارت حاصل از این تلاشی را در طی میلیونهـا سـال ، یکی از عوامل اصلی منشاء حرارتی زمین می دانند . نظریه دیگر، وجود توده هـای مـذاب دراعماق زمین و نفوذ آنها به لایه های فوقانی پوسته زمـین را بـه عنـوان منبـع حرارتـی انرژی زمین گرمایی مطرح می نماید . مطابق این نظریـه ، زمـین از تـوده ای متـشکل از گازها و مایعات به وجود آمده ، که ۵ تا ۱۰ درصـد آن را بخـار تـشکیل مـی داده اسـت . سیالات خارجی این توده به مرور حرارت خود را از دسـت داده و پوسـته جامـد زمـین را بوجود آورده اند . بخارها نیز متراکم شـده و درگودیهـای پوسـته زمـین ، اقیـانوس هـا و دریاچه ها را بوجـود آورده انـد . هـم اکنـون پوسـته زمـین دارای ضـخامت متوسـط ۳۲ کیلومتراست . هسته زمین همچنان درحال سرد شدن است و حـرارت آن در اثرخاصـیت رسانایی و ازطریق جریانهای همرفتی به لایه های سنگی درسطوح بالاتر زمین می رسـد . بر اثر این انتقال حـرارت ، برخـی از سـنگهای موجـود در لایـه هـای بـالاتر زمـین ذوب می گردند وتشکیل مواد مذابی ، که موسوم به ماگما می باشند ، می دهند . ماگما بـدلیل سبکی نسبت به سـنگهای دربرگیرنـده آن بـه آرامـی بـه سـمت پوسـته زمـین حرکـت می نماید و بدین ترتیب حرارت را از عمق به سطوح بالاتر زمین منتقل می کند .

درتایید نظریه وجود توده مذاب در داخل زمین ، شاهد می باشـیم کـه هرچـه بـه عمـق زمین بیشتر فرو می رویم دما افزایش بیشتری می یابـد . درجـه حـرارت زمـین بـه طـور

متوسط به ازای هر ۱۰۰ متر عمق ۳ درجه سانتیگراد افـزایش مـی یابـد . درجـه حـرارت درلایه های بالایی هسته زمین براساس شناخت امروزی حدود ۱۳۰۰ درجهٔ سـانتیگراد و در مرکز آن بیش از ۵۰۰۰ درجه سانتیگراد می باشد .

مقدار انرژی حرارتی موجود درپوسته زمین بـسیار بـالا اسـت . بـا مقایـسه انـرژی زمـین گرمایی ذخیره شده تا عمق ۳۰۰۰ متری زمین،با انـرژی مـصرفی جهـان درسـال ۱۹۸۷ مشاهده مـی گـردد ، کـه انـرژی ذخیـره شـده در لایـه هـای بـالایی زمـین مـی توانـد نیاز۱۰۰۰۰۰ سال آینده بشر را تأمین کند . البته قابل ذکر است که انرژی گرمایی تمایل به پراکنده شدن دارد ، لذا استخراج فقط بخش محدودی از آن ، امکان پذیر مـی باشـد . در واقع چنانچه تمرکز طبیعی انرژی زمـین گرمـایی درنقـاط معینـی (منـاطقی کـه بـا مرزهایی ازصفحات تکتونیکی پوسته زمین مرتبط است) وجود نداشت ، آنگاه اسـتفاده از انرژی زمین گرمایی به عنوان یک منبع انرژی بـرای تولیـد بـرق و حـرارت بـا توجـه بـه تکنولوژی امروزه غیرممکن بود . ایجاد این مناطق بـر روی زمـین ، در اوایـل دوره زمـین شناسی Cenozoic ، بر اثر لرزش زمین و شکافت پوسته آن به وقوع پیوست . براثر این واقعه ، ماگما به سطح زمین نزدیک گردید ، که این امر موجب جاری شدن توده مذاب به سمت سطح قابل دسترس زمین و ایجاد منابعی با درجه حرارت بالا در مرزهای صـفحات تشکیل دهنده پوسته زمین گردید .

ایران ازجمله کشورهایی است که به علت قرارگرفتن درکمربند آتشفشانی و زلزله ، دارای منابع مهم و پتانسیل زمین گرمایی نسبتا بالایی اسـت . پـس از بررسـیهای انجـام شـده توسط وزارت نیرو از سال ۱۹۷۲ تاکنون ، که با مشاوره شرکتهایی نظیرشـرکت ایتالیـایی

ENEL صورت پذیرفته است ، نواحی زمین گرمایی سبلان ، دماوند ، ماکو ، خوی و سهند درشمال ومناطق تفتان درجنوب ، بعنوان منابع انرژی گرمایی درکشور تشخیص داده شده اند . مطابق بررسیهای انجام یافته ، بیشترین ناهنجاریهای حرارتی زمین گرمایی مشاهده شده در مناطق دماوند ، نونال درشمال و بایجان درشرق ناحیه آتشفشان دماوند تمرکز یافته اند . از پتانسیل حرارتی منطقه دماوند ، برپایه مطالعات انجام شده ، می توان با حفر چاههای عمیق زمین گرمایی به منظور تولید برق و از طریق حفر چاههای کم عمق و استفاده از آب داغ ، برای گرمایش شهرهایی مانند دماوند ، لاریجان ، آب اسک ، بایجان و آبادیهای متعددی که درناحیه قرار دارند ، بهره گرفت . پتانسیل حرارتی مخزن زمین گرمایی منطقه دماوند درحدود $۱۰^{۱۸} \times ۵/۱۱$ ژول تخمین زده می شود . منابع واقع در منطقه سبلان و شمال شرقی آذربایجان ، دارای درجه حرارت قابل استفاده ای بین ۱۴۰ تا ۲۶۰ درجه سانتیگراد می باشند . از جمله منابعی که در این منطقه بسیار مناسب جهت استفاده برای تولید برق تشخیص داده شده اند ، منابعی در نواحی مشکین شهر با متوسط درجه حرارت حدود ۲۴۰ درجه سانتیگراد و پتانسیل ذخیره گرمایی درحدود $۱۰^{۱۸} \times ۱۴/۴۸$ ژول می باشند . هم اکنون یک نیروگاه ۱۰۰ مگاواتی درمنطقه مشکین شهر در دست احداث می باشد . در مناطق ماکو و خوی درشمال غربی آذربایجان ، منابعی با درجه حرارتهای بین ۱۴۰ تا ۲۴۰ درجه سانتیگراد مشاهده گردیده اند مخازن زمین گرمایی خوی از نوع مخازن هیدروترمال می باشند و دارای درجه حرارتی در حدود ۱۸۰ درجه سانتیگراد می باشند . این مخازن در اعماق ۳۰۰ تا ۲۰۰۰ متری از سطح زمین قرار دارند مناطق سهند بین تبریز و مراغه ، دارای

منابعی مناسب ، ازنظر امکان تولید برق می باشند . درمناطق جنوبی مراغه منابعی با درجه حرارتهای بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد وجود دارند ، که قابل استفاده جهت تامین گرمای مورد نیاز مناطق مسکونی و نیز بخش کشاورزی این مناطق می باشند . درمنطقه سرعین پروژه هایی درجهت تامین نیازهای گرمایشی منازل دردست بررسی است.

علاوه بر مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی در شمال و شمال غرب ایران ، براساس مطالعات انجام گرفته توسط مرکز تحقیقات نیرو ، با توجه به موقعیت ایران از نظر صفحات زمین ساختی ، زمین ساخت لرزه ای ، کانونهای لرزه ، آتشفشانهای کواترنر، گسلهای فعال و آبگرمها و تطبیق موقعیت آنها نسبت به هم ، ۹ منطقه دیگر ازکشور نیز برای اکتشافات مقدماتی پیشنهاد گردیده اند .

۳_۳ انواع منابع زمین گرمایی

انرژی زمین گرمایی براساس ویژگیهای زمین شناسی ، هیدرولیکی و انتقال حرارت مخازن زمین گرمایی به چهارگروه اصلی تقسیم میشود ، که عبارت از هیدروترمال ، لایه های تحت فشار، تخته سنگهای خشک و داغ و توده های مذاب می باشند . گرچه مشخصات فیزیکی هریک از آنها متفاوت است اما صرفنظر از اقتصادی بودن ، هریک از آنها توانایی تولید برق را دارا می باشند . بین انواع مختلف انرژی زمین گرمایی ، انرژی هیدروترمال بیش از سایر منابع توسعه پیدا کرده است و تنها نوعی است که تاکنون به علت قیمت قابل رقابت آن با دیگر منابع انرژی، کاربرد تجاری پیدا کرده است . این در شرایطی است که سایر منابع شامل لایه های تحت فشار، توده های مذاب و تخته

سنگهای خشک و داغ هنوز در مرحله آزمایش تجربی بسر می برند ، هرچند تخته سنگهای خشک و داغ به طور موفقیت آمیزی از لحاظ فنی توجیه شده و به طور تجربی ، استخراج انرژی از آن صورت پذیرفته است . از کشورهای پیشقدم در بهره برداری انرژی از سنگهای داغ و خشک می توان انگلستان ، ژاپن ، فرانسه ، آلمان ، شوروی سابق و آمریکا را نام برد . درحال حاضر تنها کشوری که مشغول تحقیق درمورد انرژی لایه های تحت فشار زمین می باشد ، کشور آمریکا می باشد .

۱_۳_۳ منابع هیدروترمال

به آبهای داغ و بخاراتی که در قسمتهای با عمق کم یا متوسط پوسته زمین (۴۵۰۰ـ۱۰۰ متر) درون گسلها یا خلل و فرج سنگهای متخلخل قرار گرفته اند ، منابع هیدروترمال می گویند . این منابع بیش از ۹۰ درصد مخازن زمین گرمایی کشف شده جهان را تشکیل می دهند و درحال حاضر تنها منابعی هستند که از آنها استفاده تجاری می شود . منابع زمین گرمایی واقع در دماوند ، خوی و ماکو نیز از این نوع می باشند . از انرژی سیال داغ این نوع منابع زمین گرمایی می توان بطور مستقیم برای کاربردهای حرارتی و بطور غیر مستقیم درتولید برق بهره گیری کرد .

انرژی درونی ماگما از طریق سنگ آذرین درونی به سطح زمین جریان پیدا می کند ، حال اگر آبهای سطحی و بارشهای جوی از شکاف سنگ آذرین درونی راهی به درون آن پیدا کنند ، در اثر تماس با سنگهای داغ و یا در اثر مخلوط شدن با گازها و بخارهای ناشی از ماگما ، گرم می شوند . آب داغ سپس به سمت سطح زمین حرکت می کند و به قسمت متخلخل و نفوذپذیری که بالای سنگ آذرین درونی قرار دارد و منبع نامیده

می شود ، نفوذ می کند . دربالای منبع ، سنگهای پوششی غیر قابل نفوذی قرار دارند ، که باعث محصورشدن آب داغ در داخل منبع می گردند . سنگهای پوششی بالای منبع دربعضی نقاط دارای شکاف می باشند ، که مانند منافذ یک بویلر عظیم زیرزمینی عمل می نمایند و درسطح زمین به صورت چشمه های آب گرم ظاهر می شوند . این منابع برحسب فاز سیال غالب ، به دو دسته تحت بخار وتحت مایع دسته بندی می شوند . منابع هیدروترمالی که جهت تولید برق بکارگرفته می شوند باید درجه حرارتی بین ۹۰ تا ۳۵۰ درجه سانتیگراد داشته باشند ، که البته تخمین زده می شود تقریباً دوسوم منابع هیدروترمال طبیعت ، درمحدوده دمایی ۱۵۰ تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد واقع باشند . غنی ترین منابع هیدروترمال ، منابعی هستند که دارای بخاری خشک یا بخار با میزان ناچیزی مایع باشند . علت اساسی پیدایش این گونه مخازن آن است که حجم تغذیه آب نسبت به دمای منشاء حرارتی مخزن کم است و به محض اینکه مخزن ، آب دریافت می کند قسمت اعظم آن تبدیل به بخار می شود . تعداد این گونه مخازن با توجه به شرایط خاصی که برای تشکیل این گونه مخازن وجود دارد ، انگشت شمار می باشد که از آن میان شمار محدودی مورد بهره برداری قرار گرفته اند . درحدود ۵ درصد منابع زمین گرمایی آمریکا ، دارای سیستم تحت بخار است و درحال حاضر بزرگترین منبع شناسایی شده تحت بخار جهان ، درمحدوده نیروگاه گیزرز درکشور آمریکا واقع است . منابع حوزه لاردلو درکشور ایتالیا هم از نوع منابع تحت بخار می باشند .

۲_۳_۳ منابع لایه های تحت فشار

منابع لایه های تحت فشار ، سفرهای آب داغ حاوی گاز متان می باشند که درعمق ۳ تا ۶ کیلومتری سطح زمین ، تحت فشار بالا در لایه های رسوبی حبس شده اند .

روند تشکیل چنین منبعی با ته نشین شدن حجم عظیمی از مواد رسوبی ، اعم از شیمیایی و غیره درطی دوره رسوبگذاری در یک حوزه رسوبی ، آغاز می شود . با افزایش ضخامت رسوبات ، بتدریج بستر حوزه شروع به فرونشینی می کند و با افزایش عمق رسوبات ته نشین شده ، درجه حرارت و فشار آنها افزایش می یابد . بدین ترتیب آبهایی که در ابتدا دارای ترکیب شیمیایی مشابه با آبهای حوزه رسوبی بودند ، با افزایش درجه حرارت از نظر شیمیایی تغییر کرده و به شورابه هایی با درجه حرارت بالا تبدیل می شوند . همزمان با این دگرگونی ها مقادیر زیادی گاز متان و سولفید هیدروژن نیز ایجاد می شوند که خود عامل ازدیاد فشار می گردند . علیرغم آنکه دمای این منابع بین ۹۰ تا ۲۰۰ درجه تخمین زده می شود ، اما درعمل بندرت پیش آمده تا دمای ذخایری که تاکنون کشف شده به ۱۵۰ درجه برسد . یکی از مهمترین مخازن لایه های تحت فشار ، حوزه رسوبی سنوزوییک با وسعتی معادل ۱۶۰۰۰۰ کیلومترمربع درخلیج مکزیک است . روند شیب حرارتی دراین ناحیه در ژرفای پایین تر از ۲ کیلومتر درحدود ۵۷ درجه سانتیگراد به ازای هر ۱۰۰۰ متر و در ژرفای ۴۵۷۲ متر بیش از ۲۶۰ درجه سانتیگراد برآورد شده است . آنچه که امر حفاری منابع تحت فشار را توجیه اقتصادی می کند ، میزان گاز متانی است که از این منابع بدست می آید و می تواند برای تولید برق مورد استفاده قرار گیرد . گستره این ذخایر هنوز شناخته نشده است ، ولی بطور بالقوه بسیار خوش آتیه می باشند ، زیرا درصورت استخراج آنها ، امکان استفاده از سه

نوع انرژی مختلف یعنی انرژی حرارتی ناشی از سیالات گرم شده ، انرژی هیدرولیک ناشی از فشارهای بالای حبس شده و انرژی شیمیایی ناشی از سوخت گاز متان محلول فراهم می باشد . هم اکنون طرحهایی جهت تولید برق با استفاده از احتراق متان و گرمای آب تحت فشار ، دردست بررسی است .

۳_۳_۳ تخته سنگهای خشک و داغ

سنگهای خشک و داغ ، که منابع پتروترمال نیز نامیده می شوند ، بزرگترین منبع انرژی زمین گرمایی محسوب می گردند . این منابع دراعماق پوسته زمین قرار دارند و بیشتر در مناطق خشک و داغ یا مناطقی که حاوی مقدار بسیارکمی آب می باشند ، یافت می شوند و درعمل تمامی نشدنی هستند . سنگهای آذرین که درعمق زیاد زمین قرار دارند ، نسبت به سنگهای سطح زمین که به شدت هوا زده و دارای درز و شکاف هستند ، سنگهای خشک محسوب می شوند . دمای این منابع حدود ۱۵۰ تا ۲۹۰ درجه سانتیگراد می باشند ، به عنوان مثال درعمق ۶ کیلومتری پوسته زمین ، سنگهای دارای تخلخل و نفوذپذیری کم ، دارای درجه حرارتی حدود ۲۰۰ درجه سانتیگراد و فشاری معادل ۱۶۵۰ بار می باشند . باید توجه داشت این درجه حرارت ، مخصوص مناطقی است که شیب حرارتی (افزایش درجه حرارت به ازای افزایش عمق) آنها معمولی می باشد ، در نواحی دارای شیب حرارتی زیاد ، درجه حرارت بسیار بیشتر از ۲۰۰ درجه سانتیگراد است . سنگهای خشک و داغ موجود دراعماق زمین از طریق حفاری قابل دسترسی و استفاده می باشند . ایده کلی برای استفاده از انرژی سنگهای داغ و خشک به منظور تولید برق ، ایجاد یک سفره زمین گرمایی مصنوعی می باشد . برای ایجاد این سفره ،

ابتدا دو چاه با عمق ۴۰۰۰ الی ۵۰۰۰ متر درداخل سنگهای داغ حفاری می گردد و سپس با روشهای انفجاری هسته ای و یا فشار هیدرولیکی ترکهایی درداخل سنگها ایجاد می گردد و بدین ترتیب این دو چاه به یکدیگر مرتبط میشوند و درنتیجه سیستم تبادل حرارتی بزرگی درداخل زمین تزریق می شود ، که پس از جذب حرارت از سنگها به صورت آب داغ یا بخار گرم ، از طریق چاه دیگر به سطح زمین برگشت داده می شود . درسطح زمین با هدایت بخار گرم به سمت توربین ، درنهایت انرژی الکتریکی تولید می گردد . البته ممکن است بخار و یا آب داغ ، سیال دیگری را که دارای نقطه جوش پایینتری است ، را بخار نمایند و در نهایت سیال ثانویه ، توربین را به گردش درآورده و تولید برق کند .

مشکل اصلی این سیستم انجام نشدن چرخه گردش آب در یک محیط بسته است ، زیرا قسمت عمده آب تزریقی ، درمیان خرده سنگها نفوذ کرده و از چرخه گردش آب خارج میشود . در مخازنی که بطور طبیعی دارای درزها و شکافهای عمیق می باشند ، گردش آب بمراتب بهتر از مخازنی که ایجاد شکاف در آنها بطور مصنوعی صورت گرفته است ، انجام میشود . ایجاد شکافهای مصنوعی بزرگ در سنگهای داغ که درعمق چند هزار متری زمین قرار گرفته اند ، کار بسیار مشکلی است . همانطور که ذکر گردید ، برای نفوذ پذیر ساختن سنگ و ایجاد شکستگی در آن از روشهای انفجاری هسته ای ویا آب با فشار زیاد استفاده می گردد . روش انفجار هسته ای دارای معایبی از جمله وارد شدن شوک شدید به زمین و پخش مواد رادیو اکتیو توسط آب گرم و بخار درسطح زمین می شود ، بدین دلیل شکستگی با فشار آب ، در حال حاضر بسیار متداولتر از روش

انفجار هسته ای می باشد . البته باید دقت نمود ، که درحین عملیات شکستگی با فشار آب ، شکستگی از یک مرز خاص تجاوز نکند ، زیرا رشد بیش از حد شکستگی ها ، مقداری از سیال تزریقی از سیستم خارج می شود . از آنجا که هدایت حرارتی سنگها ضعیف است ، برای ایجاد یک سیستم مقرون به صرفه تولید برق از سنگهای داغ و خشک، وجود مخزنی وسیع و حجیم واقع درعمق کم زمین، که دارای توانایی ایجاد بخار با درجه حرارت بالاتر از ۱۵۰ درجه سانتیگراد باشد ، ضرورتی است . همچنین تا حد ممکن باید میزان ذارت تخریبی ، سیالها و گازهای غیر ضروری (به ویژه CO_2) همراه با آب خالص خروجی چاه ناچیز باشد ، زیرا مقادیر زیاد آنها هزینه حفر چاه و احداث نیروگاه را افزایش می دهد . چنین نیروگاهی وقتی از نظر اقتصادی با صرفه است ، که بتواند تولید توانی بین ۵۰ تا ۱۰۰ مگاوات را برای یک دورهٔ ۲۰ ساله تضمین کند . این امر نیاز به یک سطح تبادل گرمایی ۵ تا ۱۰ کیلومتر مربع دارد، که مسلماً چنین سطح پهناوری ، تداعی کننده یک مبدل حرارتی بسیار بزرگ است. به عنوان مثال اگر دریک مخزن ، یک کیلومتر مکعب سنگ داغ خشک با ۲۵۰ درجه سانتیگراد حرارت وجود داشته باشد و پس از تماس آب با سنگها ، درجه حرارت آنها به ۱۵۰ درجه سانتیگراد برسد ، با حرارت جذب شده از مخزن می توان یک نیروگاه ۳۰ مگاواتی برق را به مدت ۳۰ سال مورد بهره برداری قرار داد. استفاده از منبع انرژی سنگهای خشک و داغ هنوز مراحل آزمایشی خود را پشت سر می گذارد ، اما پیش بینی بار ، درسال ۱۹۷۰ طرح تحقیقاتی استفاده از حرارت سنگهای داغ خشک به منظور تولید برق درمرکز تحقیقاتی لوس آلاموس (آمریکا) پیشنهاد شد . سه سال بعد . حفاری نخستین چاه اکتشافی

درنزدیکی شهرفنتون هیل در ایالت نیومکزیکو (آمریکا) آغاز شد. از دهه ۸۰ کشورهای ژاپن ، آلمان ، فرانسه و انگلستان نیز طرحهای مشابهی را دراین زمینه آغاز کردند . به عنوان مثال درمنطقه سولتز در فرانسه نزدیک مرز آلمان ، که در مرکز زمین گرمایی اروپای میانی قرار گرفته ، درسالهای ۱۹۹۴ ـ ۱۹۹۷ آزمایشهای بسیاری توسط تیمی متشکل از دانشمندان فرانسوی ، آلمانی ، انگلیسی ، ایتالیایی ، سوئیسی و سوئدی انجام پذیرفته ، که با نتایج خوبی همراه بوده است . درحوزهٔ آزمایش این منطقه ، درحال حاضر دو چاه به عمق های ۳۵۹۰ و ۳۸۷۰ متر و به فاصلهٔ ۴۵۰ متر از یکدیگرجهت تزریق و برگشت آب و همچنین چهار چاه جهت چاه جهت استراق سمع و دنبال نمودن جریانهای آب در زمین جفاری شده اند . درسالهای ۱۹۹۵ ـ ۱۹۹۴ با شکافت صخره ها بطریق هیدرولیکی ، توانستند دو سیستم با شکا فهای پهن بوجود آورند، که کارایی آنها درسال ۱۹۹۶ با انجام آزمایشهایی مورد تایید قرارگرفت . دمای آب برگشتی به سطح زمین دراین عمق حفاری معادل ۱۳۵ درجهٔ سانتیگراد اندازه گیری شد. برآورد می شود ، که بتوان با حفر گودالهایی به عمق ۵۰۰۰ متر به صخره هایی با دمای ۲۰۰ درجهٔ سانتیگراد رسید ، که مناسب برای نصب یک نیروگاه MW ۳۰ می باشد . با وجود آنکه بیش از ۳۰ سال از آغاز اولین طرح تحقیقاتی تولید برق از سنگهای خشک و داغ می گذرد ، هنوز از این روش به طور اقتصادی تولید برق نشده است، پژوهش در زمینه های ذیل می توانند موجب توسعه این فن آوری در آینده گردند :

• توسعه روشهای حفاری درسنگهای آذرین عمیق و به ویژه حفاری انحرافی با هزینه کمتر

• توسعه دستگا ههای اندازه گیری خصوصیات مختلف سنگها ، به منظور بررسی شکل هندسی شکافها

• توسعه روشهای شناسایی و ردیابی سیستم شکافها

• توسعه روشهایی که میزان آب تزریقی مفقود شده از طریق شکافها را به حداقل برساند.

۴_۳_۳ توده های مذاب

توده های مذاب دارای درجه حرارتی بین ۷۰۰ الی ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد می باشند و محفظه های حاوی آنها بسیار گسترده و دارای انرژی حرارتی زیادی می باشند . بر پایه رخدادهای زمین شناسی ، ماگما به اشکال گوناگون در اعماق مختلف زمین و تا حدودی نزدیک سطح زمین پدیدار شده است . از آنجا که عمق قابل دسترسی به این منابع بین ۳۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متر تخمین زده شده است ، لذا انتظارمی رود که بهره برداری از انرژی آنها بسیار مشکلتر از سایر منابع انرژی زمین گرمایی باشد . درمورد بهره برداری از این منابع تاکنون اقدام موثری بعمل نیامده است . مشکلات و مسائل مهمی که درمورد طرح استخراج انرژی از این نوع منابع مطرح است عبارتند از :

• مشکلات حفاری در سنگهای نیمه مذاب که دمای آنها بیشتر از ۸۰۰ درجه سا نتیگراد است .

• نحوه آماده سازی و ساخت لوله جدار ته چاه به منظور استحصال حرارت

• تعیین موقعیت دقیق توده های ماگمایی درحال سرد شدن

۴-۳ موارد کاربرد انرژی زمین گرمایی

با توجه به ویژگیهایی نظیر دمای مخزن ، شرایط انتقال گرما ، فشار و عمق مخزن ، منابع زمین گرمایی برای استفاده مستقیم همچون تامین آب گرم فرآیندهای صنعتی و خانگی و مصارف کشاورزی و یا برای استفاده غیر مستقیم همچون تولید برق بکار برده می شوند.

۵_۳ کاربردهای مستقیم انرژی زمین گرمایی

موارد استفادهٔ مستقیم از انرژی گرمایی بسیار متنوع می باشد . جمع انرژی مصرفی زمین گرمایی در این موارد کاربردی معادل ۱۰۲ تراژول در سال ۱۹۹۴ تخمین زده شده است . یک کشور نمونه دراستفاده از انرژی زمین گرمایی کشور ایسلند می باشد ، ایسلند درحدود ۸۵٪ از انرژی گرمایی مورد نیاز خود را با انرژی منابع زمین گرمائی تامین می نماید . درکنار گرم کردن خانه ها ، انرژی مورد نیاز گلخانه ها نیز در این کشور با استفادهٔ مستقیم از انرژی زمین گرمایی تامین میشود . فرانسه از سال ۱۹۷۱ شروع به استفاده از انرژی زمین گرمائی جهت کاربردهای مستقیم نموده است . دراین کشور درحال حاضر بیش از ۶۶ تأسیسات زمین گرمایی ، آبگرم و گرمای مورد نیاز حدود ۲۰۰۰۰۰ واحد مسکونی را تأمین می کنند . از این نوع تأسیسات درکشور آلمان نیز تا نوامبر ۱۹۹۷ ظرفیتی معادل ۵۰ MW نصب شده است . درکشور ژاپن از منابع انرژی زمین گرمایی بیشتر درمجتمعهای شنا ، استحمام و حمام آبدرمانی استفاه می گردد . درکشور چین از این منبع انرژی، دراستخرهای آب جهت پرورش ماهی بهره می گیرند . درسیستمهای استفادهٔ مستقیم از انرژی زمین گرمایی ، جهت حفظ و نگهداری توازن

هیدرولیکی و نیز جلوگیری از جریان یافتن آب استخراج شده از لایه های داخل زمین برروی سطح زمین ، که اغلب حاوی انواع مختلف مواد شیمیایی مثل بر ، آرسنیک ، دی اکسید کربن ، سولفید هیدروژن و غیره می باشند ، از تأسیساتی با دو چاه موازی و یک مبدل حرارتی استفاده می گردد . آب داغ بوسیلهٔ یک لوله به سطح زمین آورده می شود و با از دست دادن قسمت اعظمی از انرژی گرمایی خود در یک مبدل حرارتی ، سرد میشود و از طریق چاه دوم دوباره با فشار به زیر زمین فرستاده میشود . مشکلاتی مثل رسوبات و زنگ زدگی لوله ها ، که درگذشته بدلیل وجود املاح یا نمک زیاد پدید می آمدند ، امروزه از نظر تکنیکی قابل مهار می باشند .

۶_۳ موارد کاربرد

۱_۶_۳ استفاده های گرمایشی :

استفاده های گرمایشی از منابع آبهای داغ زیر زمینی پس از جاذبه های گرد شگری و آبدرمانی ، قدیمی ترین و رایج ترین نوع استفاده از این منابع محسوب می گردد . از آنهایی که بیشتر مصرف کننده ها نیاز به دمایی کمتر از ۱۵۰ درجه سا نتیگراد دارند ، پیش می گردد در آینده نزدیک بخصوص درمناطق سردسیر بهره گیری بیشتری از منابع انرژی زمین گرمایی صورت پذیرد . با بهره گیری از انرژی حرارتی منابع زمین گرمایی بجای انرژی حرارتی ناشی از احتراق سوختهای فسیلی در مناطق شهری ، تا بسیار زیادی از انتشار مواد آلاینده کاسته می گردد . با حفر یک یا چند چاه درمخزن زمین گرمایی ، آب گرم مورد نیاز جهت تامین حرارت منطقه مورد نظر در دسترس قرار می گیرد . این آب با عبور از درون یک مبدل حرارتی ، حرارت خود را به آب شهری منتقل می کند و

آن را گرم می نماید و خود پس از عبور از داخل مبدل حرارتی مجدداً به درون مخزن زمین گرمایی تزریق می گردد . این عمل موجب می شود که ذخیره آب در مخزن زمین گرمایی پیوسته درحد نسبتاً ثابتی باقی بماند . آب شهری پس از گرم شدن به طرف ساختمانها پمپ می شود و در رادیاتورهای تعبیه شده در داخل ساختما نها ، حرارت خود را جهت تأمین گرمایش ساختمانها از دست می دهد و دوباره جهت کسب مجدد گرما به سمت مبدل حرارتی برگشت داده می شود . درحال حاضر با استفاده ازفن آوریهای جدید، امکان نصب مبدل حرارتی در داخل چاه نیز فراهم می باشد. با این روش ، آب تمیز شهری با پمپ به داخل شبکه لوله های مبدل حرارت درون چاهی تزریق شده و آب گرم فاقد هرگونه آلودگی جهت مصارف گوناگون از داخل چاه استخراج می گردد . بطور کلی دو روش مختلف جهت بهره گیری مستقیم از انرژی زمین گرمایی برای استفاده های گرمایشی وجود دارد ، که یکی فاقد مبدل حرارتی و دیگری مجهز به مبدل حرارتی می باشد .

تاسیسات هر دو سیستم شامل شبکه خط لوله ، پمپ و واحد پست تقویت حرارتی می باشند . با استفاده از پست تقویت حرارتی در طرحهای بهره گیری از انرژی زمین گرمایی ، امکان استفاده از سوختهای فسیلی در مواقع حداکثر بار مصرفی فراهم می آید و بدین ترتیب از حفر چاه های اضافی جهت تامین حداکثر بار حرارتی مورد نیاز مصرف کننده جلوگیری می شود و درنتیجه هزینه حفاری طرح کاهش می یابد . استفاده از مبدل حرارتی ، جهت انتقال حرارت از مدار اول به دوم ، باعث کاهش ضایعات ناشی از خوردگی ، رسوب گذاری و گرفتگی لوله های انتقال سیال ، شیرآلات و سایر تجهیزات

می گردد . تجهیزات بهره برداری از آبهای گرم زمین گرمایی با تجهیزات تاسیسات گرمایش متداول متفاوت می باشند . بهره برداری از انرژی حرارتی آبها زمین گرمایی باعث خوردگی ، فرسایش و رسوب گذاری در تجهیزات ، لوله ها و شبکه انتقال سیال می شود . اکثرسیالات زمین گرمایی حامل گازهای محلول مثل آمونیاک (NH_3) و سولفید هیدروژن (H_2S) هستند که خورندگی شدیدی ایجاد می کنند. جهت کاهش میزان خوردگی و هزینه های مربوطه ، مبدلهای حرارتی و تاسیسات باید در فاصله کوتاهی از چاه های تولید قرار گیرند ، تا از تماس مستقیم سیالهای زمین گرمایی با بقیه اجزای سیستم جلوگیری شود . شبکه لوله ها ، شیرآلات ، مبدلهای حرارتی و سایر تجهیزات که بطور اجباری درمسیر جریان سیال زمین گرمایی قرارمی گیرند ، باید با مواد ویژه ای نظیر پلاستیک عایق بندی شده و یا اینکه در ساخت آنها از فلزات و موادی استفاده شود که تا حد امکان در مقابل خوردگی مقاوم باشند . در سیستم های گرمایشی ناحیه ای به دلیل وسعت شبکه انتقال آب گرم ، به بار حرارتی بالایی نیاز است که این مسئله هزینه اجرایی طرح را به میزان قابل توجهی افزایش می دهد . از آنجا که این روش تامین حرارت ، روشی اقتصادی و بدون آلایندگی از نظر محیط زیست است ، کاربرد آن در بسیاری از کشورها رو به افزایش می باشد ، بطوریکه از سال ۱۹۹۵ تا سال ۲۰۰۰ فن آوری گرمایش محیط در ۲۸ کشور جهان از رشد ۵۶ درصد برخوردار بوده است . این نرخ رشد در بین سایر مصارف انرژی زمین گرمایی در رتبه دوم قرار می گیرد.

۲_۶_۳ کاربردهای کشاورزی :

این کاربرد ها بطور عمده شامل فعالیتهای گلخانه ای ، پرورش آبزیان و دامداری می گردند و به درجه حرارتهای پایین تری از طیف حرارتی منابع زمین گرمایی نیاز دارند. هم اکنون در سطح جهان از انرژی زمین گرمایی جهت پرورش و رشد آبزیانی نظیر میگو ، ماهی قزل آلا ، صدف و همچنین آبزیان آکواریومی شامل انواع ماهیان استفاده می گردد . به کارگیری حرارت زمین گرمایی ، کنترل بهتر درجه حرارت حوضچه ها و بنابراین رشد بهینه آبزیان را میسر می سازد . با ثابت نگه داشتن دمای استخرهای پرورش ماهی در فصل زمستان با استفاده از سیالهای زمین گرمایی می توان در تمام فصول سال به پرورش ماهی قزل آلا پرداخت . با کنترل دمای مناطق کشاورزی توسط سیالهای زمین گرمایی ، می توان در مناطق سردسیر رشد گیاهان را سرعت بخشید و بدین ترتیب ضمن افزایش کیفیت محصول ، زمان برداشت را نیز تسریع نمود . فرآیند خشک کردن و آبگیری محصولات کشاورزی نظیر انواع میوه ها نیز از دیگر کاربردهای حرارت متوسط انرژی زمین گرمایی محسوب می شود . دراین فرآیند که حرارت دستگاههای خشک کن بوسیله آبهای داغ تامین می گردد ، محصولات کشاورزی بوسیله تسمه نقاله از داخل محفظه دستگاه خشک کن عبور داده شده و خشک می شود . در مناطق سردسیر بهره گیری از انرژی زمین گرمایی جهت احداث گلخانه های کشاورزی ، با توجه به عدم امکان پرورش محصولات کشاورزی در فصول زمستان و پاییز ، بسیار اقتصادی می باشد . جهت گرمایش گلخانه های کشاورزی و پرورش محصولات گلخانه ای از طریق سیالهای زمین گرمایی از روشهای زیر استفاده می گردد .

• هوای گرم از داخل لوله های قطور پلاستیکی ، که درطول گلخانه نـصب شـده و دارای منفذهای پخش هوای گرم است ، جریان پیدا کرده و باعث گرمایش محیط می شود .

• آب داغ در داخل لوله ها یا کا نالهایی که در بالا یا پایین کف گلخانـه هـا تعبیـه شـده است، جریان پیدا کرده و باعث گرمایش محیط گلخانه می شود .

• لوله های پره دار ما نند رادیاتور در اطراف دیوار یا زیر سکوهای گلخانه نصب گردیده و فضای گلخانه را گرم می کنند .

۳_۶_۳ کاربردهای صنعتی :

این کاربردها هنوز مانند سایر مصارف انرژی زمین گرمایی متداول نشده است . بـا وجـود این ، چنین کاربردهایی درمقطع زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰ از رشد سالیانه ای نزدیک به ۴/۱ درصد برخوردار بوده اند . مثالهای از قبیل تولید اسید بوریک از سیالات زمین گرمایی در ایتالیا ، استحصال نفت در روسیه ، پاستوریزه کـردن شـیر در رومـانی ، صـنعت چـرم در اسلوونی و صربستان ، تولید گاز دی اکـسید کـربن در ایـسلند و ترکیـه ، تولیـد کاغـذ و قطعات خودرو در مقدونیه ، پر کردن بطری از آب و نوشابه هـای گـازدار در بلغارسـتان ، روسیه و لهستان ، کشت قارچ و شستشوی لباس و پـشم در آمریکـا ، اسـتخراج نمـک و خشک کردن دیاتومیت جهت استحصال سیلیس و تولید خمیر کاغذ ، کاغـذ و چـوب در نیوزیلند را می توان بعنوان بخشی از چنین کاربردهایی برشمرد . از آبهای زمین گرمـایی

برای کمک به استخراج طلا و نقره از کان سنگ و حتی برای ایجاد برودت و تولید یخ نیز استفاده می شود .

۷_۳ پمپ حرارتی زمین گرمایی :

پمپ حرارتی زمین گرمایی ، عبارت از دستگاهی است که انرژی حرارتی را از زمین دریافت کرده و آنرا به محل مصرف انتقال می دهد . مهمترین مزیت پمپ حرارتی آن است که با این روش می توان حرارت منابع کم دما را برای مصرف به کار گرفت . برای این منظور اغلب با استفاده از مدار دومی که حامل سیالی با نقطه جوش خیلی پایین است ، جهت انتقال انرژی حرارتی استفاده می شود . پمپ های حرارتی می توانند بدون استفاده از سیال مخازن زمین گرمایی ، از حرارت خاک در چند متری زیر سطح زمین استفاده کنند ، این پمپها ، آب یا مایعات دیگری را در داخل لوله های مدفون که غالباً افقی یا عمودی هستند ، در زیر زمین و در مجاورت یک ساختمان به گردش در آورده و حرارت را از زمین به داخل سا ختمان منتقل کرده و یا از ساختمان به زمین انتقال می دهند . با توجه به درجه حرارت محیط زندگی ، از این سیستم می توان برای گرم یا سرد کردن ساختمانها استفاده کرد . به منظور گرم کردن ساختمان ، با توجه به اختلاف میان درجه حرارت زمین و هوای محیط ، حرارت از زمین به سیال موجود در داخل لوله های مدفون شده منتقل گردیده و آنرا گرم می کند . سیال گرم شده نیز به نوبه خود با رانش پمپ ، حرارت را به درون ساختمان هدایت می کند .

پمپ حرارتی زمین گرمایی در مقایسه با سیستمهای حرارتی و برودتی رایج ، مصرف برق را ۳۰ تا ۶۰ درصد کاهش می دهد ، زیرا انرژی الکتریکی فقط برای انتقال حرارت مورد استفاده قرار می گیرد و برای تولید حرارت نیازی به آن نمی باشد . از این سیستمها می توان بجای استفاده مستقل ، فقط جهت تامین بار حرارتی پایه استفاده نمود و بار حرارتی حداکثر را بوسیله سوختهای فسیلی فراهم کرد . به این ترتیب در مصرف انرژی و سوخت صرفه جویی قابل ملاحظه ای صورت می گیرد .

۸_۳ بررسی اقتصادی کاربرد مستقیم انرژی زمین گرمایی

تصمیم گیری نهایی جهت سرمایه گذاری در استفاده مستقیم از انرژی زمین گرمایی نیازمند بررسیهای کافی در موارد زیر می باشد :

- مشخص نمودن میزان بازدهی و مقدار انرژی قابل استحصال از سیال زمین گرمایی
- برآورد طول عمر اقتصادی پروژه و استهلاک سرمایه با در نظر گرفتن نرخ تورم و نرخ بهره
- هزینه تعمیرات و نگهداری تا سیسات
- برآورد نسبت بار متوسط به حداکثر بار مصرفی (بیشتر از ۲۵ درصد اقتصادی می باشد)
- تعیین محل استقرار و هزینه های مربوط به چا ههای زمین گرمایی و شبکه خطوط لوله انتقال سیال
- مقایسه ارزش و قیمت سوخت متداول در ناحیه با قیمت تمام شده انرژی زمین گرمایی

به طور معمول هزینه سرمایه گذاری اولیه این پروژه ها بسیار بالاتر از هزینه های بهره برداری آنها می باشد . به عنوان مثال هزینه های اولیه یک سیستم گرمایش مرکزی زمین گرمایی ، شامل هزینه حفر و نصب تجهیزات چاه های تولید و تزریقی ، راه اندازی خطوط لوله انتقالی سیال ، نصب مبدلهای حرارتی و غیره است ، که مبالغ قابل توجهی را به خود اختصاص می دهند ، درحالیکه هزینه اولیه یک سیستم مشابه حرارت مرکزی با سوخت فسیلی تنها مربوط به دیگ حرارتی شبکه و خط لوله توزیع حرارت می باشد . هزینه تعمیرات و نگهداری هر دو سیستم تقریباً یکسان است . درسیستمهای گرمایش با سوخت فسیلی ، مصرف سوخت ، هزینه ای مستمر و رو به افزایش را تحمیل می کند ، در صورتیکه درسیستمهای زمین گرمایی هزینه سوخت وجود ندارد . لذا برای بررسی های اقتصادی در دراز مدت باید کل هزینه های هر دو سیستم شامل هزینه های سرمایه گذاری و هزینه های جاری(سوخت ، تعمیرات و ...) به دقت مورد بررسی قرار گیرند .

۹_۳ استفاده مستقیم از انرژی زمین گرمایی در ایران

در کشور ایران با وجود ذخایر مناسب ، کاربردهای مستقیم از این انرژی فقط به استفاده هایی نظیر استخرهای شنا و حمام ، منحصر گردیده است . نمونه هایی از این منابع را می توان در مناطقی نظیر سرعین ، رامسر ، دماوند و محلات یافت . تاکنون بیش از ۳۶۰ چشمه آبگرم و معدنی در کشور شناسایی گردیده اند ، که دارای طیف مناسبی از ترکیبات و خواص درمانی متفاوت می باشند ، لیکن باستثنای تعداد محدودی از آنها ، بقیه به صورت غیر بهداشتی مورد بهره برداری قرار میگیرند و یا بدون استفاده به دشتها

یا رودخانه ها سرازیر می شوند . پیشنهادات ذیل را درجهت بهره گیری بیشتر از انرژی زمین گرمایی کشور ، می توان ارائه نمود .

• مطالعه و مکان یابی دقیق چشمه های معدنی و آبگرم کشور و تهیه شناسنامه برای آنها

• بررسی و اندازه گیری شاخصهای فیزیکی و شیمیایی چشمه ها و تهیه اطلاعات در قالب جداول ، نمودارها و نقشه های رایانه ای

• رسیدگی به وضعیت نامساعد چشمه های مورد استفاده جهت مصارف طبی و تفریحی، ارایه طرحهای مدرن جذب گردشگر و مراکز تفریحی جانبی ، تهیه تابلوها و بروشورهای اطلاع رسانی از ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی و طبی چشمه های هر منطقه جهت ارایه به گردشگران ، ایجاد راهها و اقامتگاهای مناسب جهت دسترسی و اسکان مسافران

• ایجاد واحدهای نمونه نظیر گلخانه زمین گرمایی و بررسی اقتصادی و فنی آنها با درنظر گرفتن شرایط جغرافیایی منطقه (به عنوان مثال در مناطقی نظیر محلات در استان مرکزی یا دماوند در استان تهران که هم دارای استعدادهای مناسب زمین گرمایی و هم از مراکز عمده کشت گل و گیاه تزئینی در سطح کشور محسوب می گردند)

• ایجاد حوضچه های پرورش ماهی در مناطق دارای پتانسیل زمین گرمایی نظیر دماوند و برخی مناطق در استان های مرکزی و شمال غربی کشور

• تامین انرژی حرارتی (با وجود نرخ پایین سوختهای فسیلی در سطح کشور ، انرژی زمین گرمایی می تواند هم اکنون نیز در برخی مناطق به عنوان یکی از منابع ارزان انرژی محسوب گردد)

• پمپ حرارتی زمین گرمایی نیز از طرحهایی است که مـی توانـد پـس از بررسـی هـای جامع اقتصادی و فنی در بسیاری از نقاط سردسـیر کـشور جهـت فرآینـد گرمـایش و در استانهای جنوبی و گرم به منظور تامین سرمای مورد نیاز مورد استفاده قرار گیرد .

• تامین حرارت مورد نیاز کارخانه های چای خشک کنی در برخی مناطق استان گـیلان و یا مراکز تهیه خشکبار از میوه های مختلف در شمال غرب کشور و اطراف دماوند .

• تامین حرارت جاده ها در نقاط برفگیر و سـرد کـشور جهـت ذوب یـخ و بـرف (نظیـر بخشهایی از جاده هراز در استان تهران ، گردنـه قوشـچی در آذربایجـان غربـی و گردنـه شیبلی در آذربایجان شرقی ، با توجه به نزدیکی این گردنه هـای برفگیـر و خطرنـاک بـه مناطق زمین گرمایی دماوند ، خوی و سهند)

۱۰_۳ استفاده از انرژی زمین گرمایی برای تولید نیروی برق

در بین انرژیهای تجدید پذیر ، انرژی زمین گرمایی در سطح جهانی مرتبهٔ بالایی را بخـود برای تولید انرژی الکتریکی اختصاص داده است . منابع زمین گرمایی معمولاً بـرای تولیـد بار پایه استفاده می شوند و تنها درشرایط خاصی به منظور تولید بار پیک مـورد اسـتفاده قرار می گیرند .

با توجه به میزان بالای در دسترس بودن انرژی زمین گرمـایی ، تولیـد انـرژی از ظرفیـت نصب شده نیروگا ههای زمین گرمایی درمقایسه با انرژیهایی نظیر باد ، خورشید و جـزر و مد بسیار بالاتر می باشد . تولید کنندگان اصـلی بـرق از انـرژی زمـین گرمـایی در حـال حاضر کشورهای آمریکا ، فیلیپین ، مکزیک ، ایتالیا و ژاپن می باشند .

روشهای مختلفی جهت تبدیل انرژی زمین گرمایی به انرژی الکتریکی وجود دارنـد ، کـه می توان به عنوان مثال از سیستم های بخارخشک و بخار انبساط آنی که جـزء روشـهای قدیمی می باشند ، و نیز سیـستم هـای سـیکل دو مـداره و جریـان کلـی کـه روشـهای جدیدتری هستند و از امتیازات قابل توجهی برخـوردار مـی باشـند ، نـام بـرد . عوامـل و پارامترهـای مختلفـی در انتخـاب نـوع و ظریـف نیروگـاه زمـین گرمـایی تعیـین کننـده می باشند، که در ذیل تشریح می گردند :

- نوع منبع زمین گرمایی
- میزان املاح و مواد شیمیایی محلول درسیال مخزن زمین گرمایی
- دمای مخزن در زمان طراحی و در طول سالهای بهره برداری مخزن (زیرا دمای مخزن در طول زمان بهره برداری پیوسته در حال کاهش است)
- وسعت و مقدار ذخیره قابل استحصال مخزن (در تعیین ظرفیت نیروگاه زمین گرمایی بسیار حائز اهمیت است)

توسعه دهندگان میادین انـرژی زمـین گرمـایی تـرجیح مـی دهنـد بـرای تولیـد بـرق از واحدهای پیش ساخته کوچک استفاده نمایند . مزیت این روش آن است که اگر در حین بهره برداری مخزن ، افت تولید یا تغییر در سایر مشخصات مخزن نظیـر درجـه حـرارت ، فشار ، غلظت و نوع املاح سیال و ... رخ دهد و منبع مذکور قابل بهـره بـرداری اقتـصادی نباشد ، به آسانی می توان واحد پیش ساخته را به محل دیگری منتقل کرد . همچنین از این واحد های کوچک پیش ساخته می توان برای آزمایشهای اولیـه و تعیـین مشخـصات بهره برداری در میدانهای زمین گرمایی بزرگ در حال توسعه یا تازه کشف شده اسـتفاده

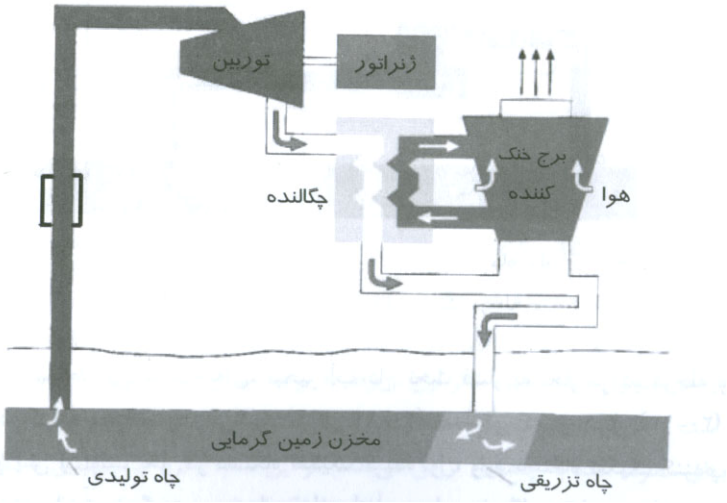
نمود ، بدین نحو قبل از انجام عملیات پر هزینه توسعه ، برآورد فنی و اقتصادی و برگشت سرمایه درمیدان را می توان با این واحدهای کوچک انجـام داده و اقـدامات لازم را پـیش بینی نمود .

۳_۱۱ انواع نیروگاههای زمین گرمایی

۳_۱۱_۱ نیروگاههای بخار خشک :

در نیروگاههای بخار خشک ، به منظـور تولیـد بـرق از مخـازن هیـدروترمال تحـت بخـار استفاده می شوند ، لذا این نیروگا ها درمیدانهایی قابل نـصب مـی باشـند ، کـه قابلیـت تولید بخار خشک در آنها وجود داشته باشد . بخار خشک با استفاده از فشار طبیعی خـود از چاه تولیدی خارج می گردد و پس از گذشت از صافی های گیرنده ذرات جامد ، تصفیه شده و مستقیماً توسط لوله بـه داخـل تـوربین هـدایت مـی شـود . درطـرح اولیـه ایـن نیروگاهها، که نمونه آن درسال ۱۹۰۴ درلاردرلـو توسـط ایتالیاییهـا سـاخته شـد ، بخـار خروجی از توربین بطور مستقیم در فضا پخش می شد و بازدهی آن بسیار پایین بود . در حال حاضر طبق طرحهای جدید از چگالنـده هـا نیـز در سـاختار چنـین نیروگـا ههـایی بهره گیری می شود . درنیروگا ههای طرح جدیـد ، بخـار پـس از خـروج از تـوربین وارد چگالنده می شود و در آن حرارت خود را از دست می دهد و تقطیر بخار در چگالنده ، ما بین توربین و چگالنده خلاء ایجاد می شود و درنتیجه توانایی نیروی گردشی توربین بـالا رفته و بازدهی توربین افزایش پیدا می کند . بطور معمول دراین سیـستمها بـرای خنـک کردن آب مورد نیاز سیستم چگالش، برجهای خنک کننده استفاده می شود . قابـل ذکـر است ، که تنها تعداد معدودی از میدانهای زمین گرمایی جهان توانایی تولید بخار خـشک

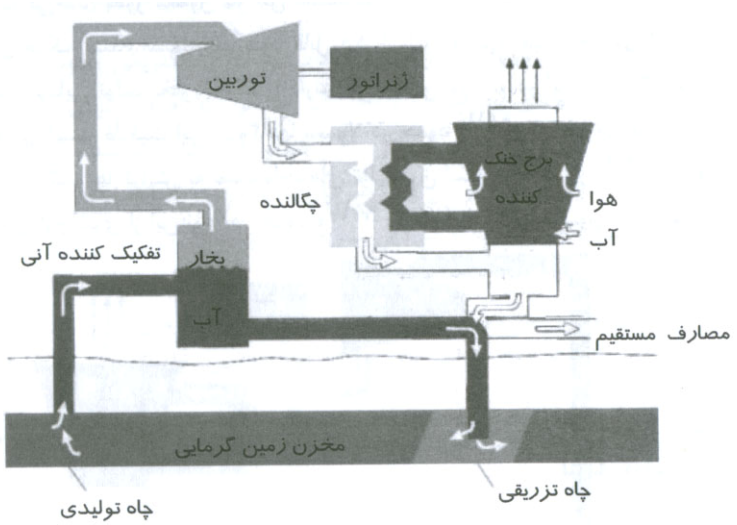
را دارند که میادین لاردرلو در ایتالیا و بیگ گیـزرز در آمریکـا از آن جملـه مـی باشـند . ظرفیت این نیروگاهها معمولا در حدود MW ۲۰ – ۱۵ در نظر گرفته مـی شـود . اخیـراً در بعضی از کشورها گرایش به نصب واحدهای تولیـد بـرق اسـتاندارد مـدولار MW ۲۰ افزایش یافته است . واحد هـای کـوچکتری از ایـن نـوع (در حـدود MW_e ۲۰ – ۱۵) درایتالیا مرسوم شده است .



۲_۱۱_۳ نیروگاههای بخار انبساط آنی :

این نیروگاه ها برای بهره گیری از مخازن تحت مـایع بـه انـدازه کـافی داغ (بـالای ۱۶۰ سانتیگراد) مورد استفاده قرار می گیرند و بطور کلی به دو نوع سیستم های انبساط آنـی تک مرحله ای و سیستمهای انبساط آنی دو مرحله ای تقسیم می گردند. درسیستم های تک مرحله ای ، آبهای داغ زمین گرمایی که تحت فشار زیـاد قـرار دارنـد ، در اثـر دمـا و فشار فوق العاده زیاد طبیعی خود به بالای چـاه تولیـدی جریـان مـی یابنـد و بـه سـمت دستگاه تفکیک کننده آنی هدایت می شوند . دراین دستگاه درنتیجه افت فـشار ، مقـدار زیادی از آب داغ تبدیل به بخار مـی شـود . بخـار حاصـله پـس از گذشـتن از صـافیهای

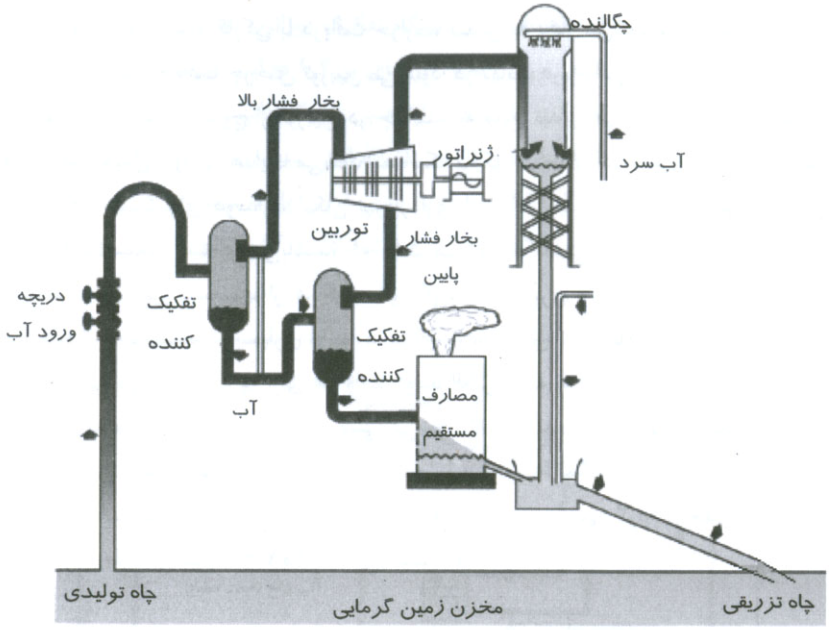
مخصوص به درون توربین بخار هدایت می گردد و در توربین کار مکانیکی انجام می دهد و بدین ترتیب در ژنراتور کوپل شده به توربین ، برق تولید می گردد .



باقیمانده آبهای داغ خروجی از دستگاه تفکیک بوسیله خط لوله دیگری در کاربردهای مستقیم مورد استفاده قرار گیرد و پس از آن به داخل چاه های مخصوص ، تزریق می گردد . سیستم چگالش و برج خنک کننده در این سیستم مشابه نیروگاههای بخار خشک می باشد .

در نیروگاههای انبساط آنی دو مرحله ای ، تبخیر آب داغ تحت فشار به بخار در دو مرحله و در دو دستگاه تفکیک کننده مجزا صورت می گیرد . آب داغ پس از تولید بخار در دستگاه تفکیک کننده اول ، وارد دستگاه تفکیک کننده دوم که دارای فشار کمتری است، می گردد و مجددا مقداری از آن در این دستگاه تبدیل به بخار می شود . بخار حاصل در دستگاه تفکیک کننده اول به سمت قسمت فشار بالای توربین و بخار حاصل در دستگاه تفکیک کننده دوم وارد قسمت فشار ضعیف توربین که دارای قطر بیشتری است ، می گردد . این سیستم برای حداکثر بهره گیری از انرژی سیال زمین گرمایی طراحی گردیده است . دراین سیستمها در برخی موارد که حجم سیال و بخار زیاد است ،

از دو توربین فشار قوی و فشار ضعیف جدا از هم که بایک محور به ژنراتورمتصل هستند ، استفاده می شود . این سیستم در بسیاری از نقـاط جهـان ، بـا ظرفیـت بـین ۱۰ تـا ۵۵ مگاوات مورد استفاده قرارگرفته است .

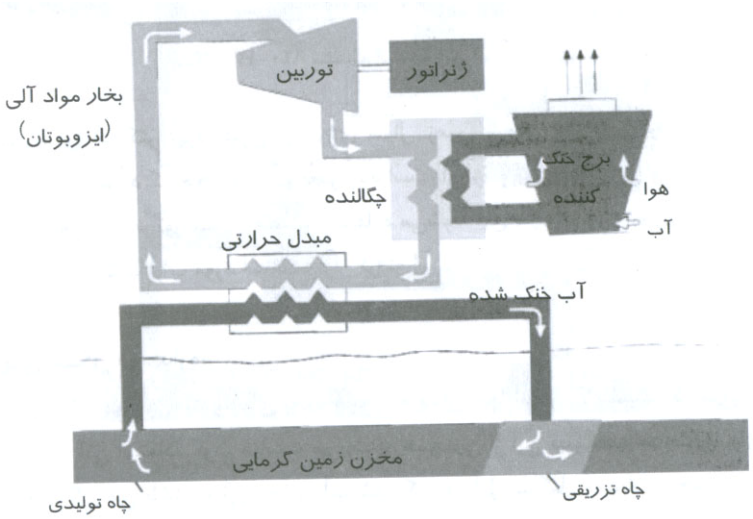


۳_۱۱_۳ نیروگاههای سیکل دو مداره :

این نیروگاهها برای مخازن هیدروترمال تحت مایع ، که دمای آنها آنقدر بالا نیـست ، کـه بتوان از آنها در سیکلهای تبخیر آنی استفاده کرد ، مناسب می باشند . همچنـین از ایـن نیروگاهها می توان برای مخازنی که دارای آلایندگی می باشند و نیز مخازن آب شور کـه به دلیل تشکیل رسوبات سخت نمی توانند در روشهای تبخیـر آنـی مـورد اسـتفاده قـرار می گیرند ، استفاده نمود . این نوع سیستمهای تولید انـرژی، از دو مـدار مـستقل از هـم تشکیل شده است . مدار اول مربوط به تولید سیال زمین گرمایی و انتقـال آن بـه مبـدل حرارتی است و شامل تجهیزات سرچاه ها ، پمپ جهت استخراج آب از چاههـای تولیـدی

و پمپ جهت تزریق آبهای مصرف شده به چاههای تزریق می باشد . دراین مدار ، آبگرم چاه تولیدی با دمایی در حدود ۶۵ الی ۲۰۰ درجه سانتیگراد بوسیله پمپ ته چاه و یا با فشار طبیعی به مبدل حرارتی انتقال یافته و در آنجا حرارت خود را به مدار دوم ، که در آن گازهایی با نقطه جوش پایین مانند ایزو بوتان یا فریون جریان دارند و نقش شاره کارکن نیروگاه را ایفا می نمایند ، منتقل می کند و خود سرد می شود . آب سرد سپس بوسیله پمپ به چاه هایی که برای این منظور در پیرامون مخزن زمین گرمایی حفر گردیده است ، تزریق می شود . درمدار دوم ، شاره کارکن با دریافت حرارت ، تبدیل به بخار می شود و با فشار زیاد به سمت توربین جریان می یابد و باعث چرخش توربین می شود . درنهایت در ژنراتور کوپل شده به توربین تولید برق می شود . بخار پس از خروج از توربین در چگالنده به مایع تبدیل می شود و دوباره بوسیله پمپ تغذیه به سمت مبدل حرارتی هدایت می شود . یکی از مزایای سیسمهای دو مداره ، امکان بهره برداری از منابعی با دمای متوسط می باشد . این نوع سیستمها دارای سیکل بسته ای می باشند، که باعث می شود تا تمامی سیال زمین گرمایی مجددا به زمین باز گردد ، لذا این سیستمها از هرگونه خوردگی ، رسوب گیری و مسایل زیست محیطی مبرا می باشند . بعلاوه این سیستمها در بسیاری از موارد ، دارای بازده تبدیل انرژی بالاتری نسبت به نیروگاههای بخار انبساط آنی می باشند ، لذا به ازای هر واحد تولید الکتریسیته به سیال زمین گرمایی کمتری نیاز دارند . با توجه به مزایای این سیستم پیش بینی می شود که در آینده نزدیک روند تولید برق از این نوع نیروگاه های زمین گرمایی توسعه بیشتری پیدا کند . تولید برق به کمک سیکلهای دو مداره ، همچنین مناسبترین انتخاب جهت

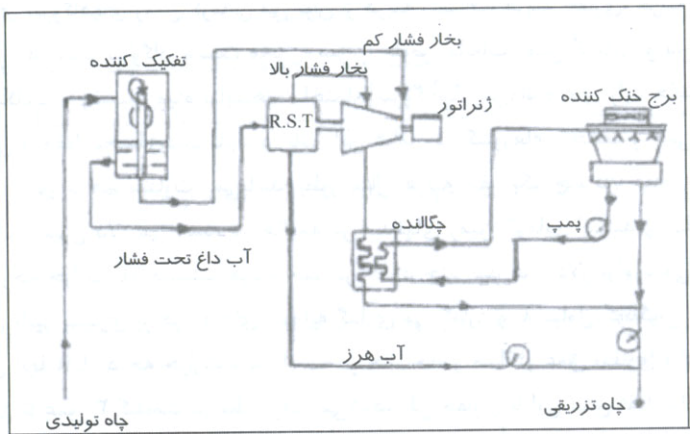
استفاده از منابع سنگهای محسوب می گردد . واحد های شاخص این نیروگاهها دارای ظرفیتی بین ۱ تا ۳ مگاوات می باشند .



۴_۱۱_۳ نیروگاههای با توربین تفکیک دورانی :

دراین سیستم ، آب داغ زمین گرمایی تحت فشار در ابتدا وارد دستگاه تفکیک کننده می گردد و مقداری از آن با تبدیل به بخار فشار قوی به سمت طبقه فشار قوی توربین بخار (قطر کوچک توربین) هدایت می شود . باقیمانده سیال در دستگاه تفکیک (آب داغ تحت فشار) ، به سمت دستگاه تفکیک دورانی (R.S.T) ، که هم محور با توربین بخار می باشد ، هدایت می شود . دراین مرحله ، دو عمل انجام می شود ، از یک طرف نیروی حاصل از انرژی جنبشی دستگاه تفکیک دورانی ، به سرعت و توان گردشی بوربین بخار کمک می نماید و از طرف دیگر دردستگاه تفکیک دورانی ، مقداری بخار کم فشار تولید می گردد ، که به سمت طبقه کم فشار توربین بخار (پره های بزرگ) هدایت می شود . این فرآیند نیز توان گردشی توربین بخار را بیشتر می کند . با استفاده از چنین نیروگاههایی ، از انرژی آب داغ بهره گیری بیشتری به عمل می آید و در نتیجه بازدهی کل سیستم افزایش پیدا می کند . اولین واحد اقتصادی از این نوع سیستم در

سال ۱۹۸۵ میلادی به ظرفیت نامی ۹ مگاوات درایالت نوادا در کشور آمریکا مـورد بهـره برداری قرارگرفته است .



۵_۱۱_۳ نیروگاههای سیکل ترکیبی :

دراین نیروگاهها ، درکنار استفاده از انرژی حرارتـی حاصـل از منـابع زمـین گرمـایی ، از انرژی حرارتی دیگر منابع انرژی نظیـر سـوختهای فـسیلی جهـت تـامین کمبـود انـرژی حرارتی نیروگاه استفاده می شود . پروسه کاری درچنین نیروگاهی بدین صـورت اسـت ، که سـیال زمـین گرمـایی دریـک مبـدل حرارتـی ، حـرارت خـود را بـه شـماره کـارکن (آب مقطر) انتقال می دهد و منجر به پیش گرم کردن آن مـی شـود . سـپس آب گـرم مذکور با استفاده از انرژی حرارتی حاصل از احتراق سـوختهای متـداول ، درداخـل مولـد بخار تبدیل به بخار می گردد . بخار تولید شده ، با عبور از توربین باعـث چـرخش محـور آن می گردد و بدین ترتیـب در ژنراتورکوپـل شـده بـه تـوربین تولیـد انـرژی الکتریکـی می گردد . بزرگترین مزیت بهره گیری از سیستم ترکیبی آن اسـت ، کـه بـا پـیش گـرم کردن آب توسط انرژی حرارتی منبع زمین گرمایی ، در میـزان مـصرف سـوخت نیروگـاه صرفه جویی می گردد .

۳_۱۲ بررسی اقتصادی انرژی زمین گرمایی برای تولید برق

پروژه های زمین گرمایی تنها درمناطقی که دارای شرایط زمین شناسی مناسبی هستند ، قابل اجرا می باشد. البته فراهم بود این شرایط به تنهایی کافی نیست و بررسی های دقیق اقتصادی در ارتباط با طرح مورد نظر و مقایسه آن با سایر منابع انرژی ضروری می باشد . هزینه تولید برق به طور کلی شامل هزینه سرمایه گذاری ، هزینه تعمیرات و نگهداری و هزینه بهره برداری می گردد .

۳_۱۲_۱ هزینه سرمایه گذاری :

استفاده از منابع زمین گرمایی نظیر سایر منابع انرژی، مستلزم سرمایه گذاری سنگینی است که به منظور اکتشاف ، حفاری و توسعه میدان باید صرف شود . عدم تجربه کافی و نیز تاثیر عوامل متعدد امکان تعیین یک قیمت ثابت به عنوان هزینه سرمایه گذاری را مشکل می سازد . از عوامل موثر درمیزان هزینه سرمایه گذاری نیروگاههای زمین گرمایی می توان از هزینه اکتشاف ، هزینه حفاری ، هزینه انتقال سیال زمین گرمایی به سمت نیروگاه ، وسعت مخزن ، میزان خلوص مایعات زمین گرمایی و درجه حرارت و فشار آنها ، امکانات و وضعیت ویژه سایت ها ، ساختمان نیروگاهها ، پس مانده های زاید حاصل از مایعات زمین گرمایی و حفظ محیط زیست نام برد . تاثیر این عوامل درکشورهای مختلف و حتی در محلهای مختلف یک کشور با هم متفاوت می باشد . بطور مثال هزینه حفر یک چاه در حوزه زمین گرمایی پاریس تا یک میلیون دلار می رسد ، درحالیکه در میدانهای زمین گرمایی ایسلند و ایتالیا که دارای مخازنی با درجه حرارت

بالا هستند ، هزینه حفر در حدود چند صد هزار دلار برآورد می شود . میزان عمق حفاری تاثیر بسیاری بر هزینه های سرمایه گذاری و به عوامل گوناگونی بستگی دارد ، که مهمترین آنها عامل درجه حرارت منبع است . درحال حاضر حداکثر عمق حفاری برای انواع منابع زمین گرمایی تا عمق ۳ کیلومتر در نظر گرفته می شود ، ولی حفاری تا این عمق فقط برای منابعی که درجه حرارتشان بالاتر از ۱۵۰ درجه سانتیگراد است ، اقتصادی می باشد .

۲_۱۲_۳ هزینه تعمیرات و نگهداری و بهره برداری :

این هزینه شامل مخارج مربوط به کارکنان ، مواد ، انبار ، تدارکات ، تعمیرو نگهداری سیستم و غیره می باشد . درمحاسبات معمولاً این هزینه را ۱۰ درصد کل هزینه سرمایه گذاری اولیه در نظر می گیرند .

درتولید برق از انرژی زمین گرمایی معمولاً میزان سرمایه گذاری اولیه برای انجام اکتشافات مربوطه و نصب نیروگاه نسبت به نیروگاههای دیگر بالاتر است ، اما به دلیل عدم نیاز به سوخت درحین بهره برداری ، قیمت تمام شده برق درنیروگاههای زمین گرمایی با نیروگاههای متعارف سوخت فسیلی قابل مقایسه و از انواع دیگر انرژیهای نو به مراتب ارزانتر است .

۱۳_۳ بررسی نیروگاه ۱۰۰ مگاواتی زمین گرمایی مشکین شهر

فعالیت پروژه نیروگاه زمین گرمایی مشکین شهر از بهار سال ۱۳۷۷ آغاز و پس از انجام تحقیقات و مطالعات ژئوفیزیکی ، ژئوشیمیایی و زمین شناسی درمساحت تقریبی ۶۰۰ کیلومتر مربع از دامنه های شمالی کوه آتشفشانی سبلان مشرف به جنوب شهرستان

مشکین شهر واقع دراستان اردبیل سرانجام درپاییز ۷۷ ناحیه ای بـه وسـعت ۵ کیلـومتر مربع در مجاورت روستای موییل حائز پتانسیل شناخته شد . طبق برنامه تنظیمی با حفر ۶ حلقه چاه عمیق اکتشافی به عمق ۳۰۰۰ متر ، پتانسیل حرارتی مخـزن مـورد ارزیـابی قرار خواهد گرفت . با اتمام عملیات ساختمانی مربـوط بـه احـداث سـکوهای حفـاری در زمستان ۸۰ ، حفاری چاههای اکتشافی آغـاز و پـس از شناسـایی خـصوصیات فیزیکـی و شیمیایی مخزن ، امید می رود طرح توسعه میدان از اوایل سال ۱۳۸۲ بـه اجـرا درآیـد . طبق برنامه قرار است این نیروگاه ۱۰۰ مگاواتی درسال ۸۴ مورد بهره برداری قرار گیرد .

۱_۱۳_۳ بررسی اقتصادی نیروگاه زمین گرمایی مشکین شهر

جهت بررسی اقتصادی نیروگاه زمین گرمایی مشکین شهر ، هزینـه محاسـبه شـده بـرق تولیدی توسط این نیروگاه در سناریوهای مختلف با هزینه برق تولیدی یک نیروگـاه ۱۰۰ مگاواتی بخار مورد مقایسه قرار گرفته است . این سناریوها ، براساس دو نـرخ بهـره ۶ و ۸ درصد وقیمتهای متفاوت برای سوخت صادراتی و وارداتی و بـا احتـساب هـردلار معـادل ۶۰۰۰ ریال انجام شده است .

	واحد	نیروگاه بخاری	نیروگاه زمین گرمایی
عمر نیروگاه	سال	۳۰	۲۵
عمر چاه	سال	---	۱۰
قابلیت دسترسی	درصد	۷۰	۸۵
بازدهی	درصد	۳۸	---
مصرف داخلی	درصد	۵	۵
هزینه سرمایه گذاری نیروگاه	$ / kw	۳۴۳	۱۳۶۲
هزینه سرمایه گذاری چاه	$ / kw	---	۴۶۱
هزینه ثابت تعمیرات و نگهداری سالیانه	Rial / kw	۱۱۴۰۰	۱۱۴۰۰
بخش ارزی هزینه متغیر تعمیرات و نگهداری سالیانه	C / kwh	۰/۰۴	۰/۰۴
بخش ریالی هزینه متغیر تعمیرات و نگهداری سالیانه	Rial / kwh	۰/۸	۰/۸
نوع سوخت	----	گاز طبیعی (۸ ماه) و مازوت (۴ ماه)	---
قیمت صادراتی گاز طبیعی	C / M^3	۹	---
قیمت وارداتی گاز طبیعی بانضمام هزینه انتقال	C / M^3	۵/۷۷۳	---
قیمت صادراتی نفت کوره	C / liter	۹/۷۸۵	---
نرخ بهره	درصد	۸ و ۶	۸ و ۶
ارزش حرارتی سوخت نفت کوره	Kcal / liter	۹۹۲۵	---
ارزش حرارتی سوخت گاز طبیعی	Kcal / liter	۹۵۵۶	---

سال	نیروگاه بخاری	نیروگاه زمین گرمایی	چاه
۱	۲/۵	۰/۸	۰
۲	۵	۶/۵	۰
۳	۱۸/۵	۳	۱۸/۱
۴	۳۲	۳۳	۴۰
۵	۳۵	۴۲/۵	۴۱/۹
۶	۷	۱۴/۲	۰

زمان شروع احداث این دو نیروگاه سال ۱۳۷۸ و سال شروع بهره برداری ، سال ۱۳۸۴ فرض شده است . مطابق محاسبات انجام شده ، در سناریوی عدم افزایش قیمت جهانی سوخت در طی سالهای آینده ، در صورتیکه قیمت سوخت برابر قیمت صادراتی آن در نظر گرفته شود (گاز طبیعی ۹ سنت بازای هرمتر مکعب و نفت کوره ۹/۸ سنت بازای هرلیتر ، نصب نیروگاه زمین گرمایی با درنظر گرفتن نرخ بهره ۶ درصد مقرون بصرفه می باشد و درصورتیکه نرخ بهره ۸ درصد درنظرگرفته شود ، نصب این نیروگاه مقرون بصرفه نخواهد بود . درسناریوی افزایش قیمتها جهانی سوخت در طی سالهای آینده ، انتظار می رود که

نصب نیروگاههای زمین گرمایی درمقایسه با نیروگاههای بخار توجیه اقتصادی بیشتر پیدا نماید .

با درنظر گرفتن یک درصد افزایش سالانه قیمت های جهانی سوخت ، هزینه تمام شده برق نیروگاه زمین گرمایی در دو نرخ تنزیل ۶ و ۸ درصد کمتر از نیروگاه بخاری است و نصب نیروگاه زمین گرمایی در این حالت مقرون بصرفه می باشد .

			سرمایه گذاری	تعمیر و نگهداری	سوخت	مجموع
نرخ بهره ۶ در صد	زمین گرمایی		۲/۴۹۵	۰/۰۷۸۹	۰	۲/۷۰۹
	بخاری	سوخت به قیمتهای صادراتی	۰/۴۵۴	۰/۰۸۴۳	۲/۱۶۵	۲/۸۴۵
		سوخت به قیمتهای وارداتی	۰/۴۵۴	۰/۰۸۴۳	۱/۶۵۵	۲/۳۰۹
نرخ بهره ۸ در صد	زمین گرمایی		۲/۹۸۳	۰/۰۷۸۹	۰	۳/۲۲۴
	بخاری	سوخت به قیمتهای صادراتی	۰/۵۷۶	۰/۰۸۴۳	۲/۱۶۵	۲/۹۷۴
		سوخت به قیمتهای وارداتی	۰/۵۷۶	۰/۰۸۴۳	۱/۶۶۵	۲/۴۳۷

			سرمایه گذاری	تعمیر و نگهداری	سوخت	مجموع
نرخ بهره ۶ در صد	زمین گرمایی		۲/۴۹۵	۰/۰۷۸۹	۰	۲/۷۰۹
	بخاری	سوخت به قیمتهای صادراتی	۰/۴۵۴	۰/۰۸۴۳	۲/۵۹	۳/۲۹۳
		سوخت به قیمتهای وارداتی	۰/۴۵۴	۰/۰۸۴۳	۱/۹۸۱	۲/۶۵۱
نرخ بهره ۸ در صد	زمین گرمایی		۲/۹۸۳	۰/۰۷۸۹	۰	۳/۲۲۴
	بخاری	سوخت به قیمتهای صادراتی	۰/۵۷۶	۰/۰۸۴۳	۲/۵۹	۳/۴۲۱
		سوخت به قیمتهای وارداتی	۰/۵۷۶	۰/۰۸۴۳	۱/۹۸۱	۲/۷۸

۱۴_۳ بررسی اثرات زیست محیطی استفاده از انرژی زمین گرمایی

انرژی زمین گرمایی یکی از تمیزترین انرژیهای مورد استفاده در جهان محسوب می گردد و حتی می توان آن را در مقایسه با سایر منابع انرژی کم آلاینده تر دانست . میزان اثرات مخرب زیست محیطی تولید انرژی از منابع زمین گرمایی وابسته به حجم و مقدار بهره برداری از سیال موجود در مخزن است . در هر پروژه زمین گرمایی حفاریهای

اکتشافی و توسعه ای از قبیل حفر چاههای کم عمق برای اندازه گیری شیب حرارتی ، اندکی آلودگی در محیط را موجب می گردد . در طول زمان حفاری و زمان آزمایش چاه ، ممکن است گازهای ناخوشایند و بد بو هوا پخش گردد که لازم است اقدامات لازم درخصوص کاهش آنها صورت گیرد . احداث خط لوله انتقال سیال زمین گرمایی ، ساخت نیروگاهها و شبکه مصر ف انرژی زمین گرمایی نیز از موارد دیگر است ، که باید نسبت به عدم آلودگی محیط زیست درمحلهای آنها اقدام شود . نیروگاهها و تاسیسات زمین گرمایی باعث تغییر منظره محیط زیست می شوند ، چنانکه در لاردرلو ایتالیا شبکه های لوله کشی از چاهها به نیروگاه ها در نمای محل اثر کرده و ساختمان نیروگاه و برج خنک کننده آن منظره ویژه ای بوجود آورده است که جهانگردان را به خود جلب می کند . با آغاز کار نیروگاه مسایل زیست محیطی دیگری نیز ظاهر می شوند . سیالهای زمین گرمایی بطور معمول حاوی گازهایی از قبیل دی اکسید کربن (CO_2) ، سولفید هیدروژن (H_2S) ، متان (CH_4) و برخی مواد محلول هستند ، که معمولاً در دمای بالا غلظت آنها بیشتر می شود. کلرورسدیم (Nacl) ، بور (B) ، آرسنیک (AS) و جیوه (Hg) از مواد آلاینده ای هستند که به همراه سیال های زمین گرمایی به محیط زیست وارد می شوند . تخلیه آبهای زیر زمینی حوضه های زمین گرمایی به محیط نیز یکی از مسائل مهم آلودگی محیط زیست است . سیالهای زمین گرمایی حامل مواد شیمیایی باید تصفیه شده و دوباره به مخزن تزریق شوند . برخی سیالهای کم دما که برای مصارف مستقیم استفاده می شوند ، را می توان پس از سرد شدن در آبهای سطحی تخلیه کرد . عوامل دیگری نیز در میزان آلودگیهای زیست محیطی منابع زمین گرمایی

دارای تاثیر می باشند ، که از آن جمله مـی تـوان بـه ویژگیهـای مخـزن و سـیال زمـین گرمایی ، نوع بهره برداری از منابع ، وسعت تاسیسات نـصب شـده و ویژگیهـای محیطـی محل اجرای پروژه اشاره کرد . به طور کلی برای کاهش آثار و عواقب زیست محیطی ایـن گونه پروژه ها ، لازم است اقدامات زیر صورت گیرد .

- سیستم تاسیسات و نحوه بهره برداری از انرژی زمـین گرمـایی بایـد طـوری طراحـی شود، که حداکثر بازدهی را دارا باشد . زیرا بالا بـودن بـازدهی سیـستم ، میـزان مـصرف سیال را کاهش داده و در نتیجه میزان آلودگیهای زیست محیطی نیز به حـداقل خواهـد رسید .

- برای کاهش آلودگیهای شیمیایی و حرارتی منابع آبهای سطحی لازم است ، سـیالهای زاید خروجی از سیستم نیروگاه و تاسیسات حرارتی بوسـیله چاههـای مخـصوص مجـدداً درمخزن تزریق گردد . تزریق باید در عمق و محلی باشد ، که باعث تغذیه مخـزن شـده و عمر مخزن زمین گرمایی را افزایش دهد و علاوه بر آن از فرونشـست زمـین در محـدوده میدان مورد بهره برداری نیز جلوگیری کند .

- درصورت وجود گازهای آلوده کننده محیط زیست در سیال ، می بایست با استفاده از روشهای شیمیایی مناسب نسبت به خارج کردن آنها از سیستم اقدام نمود.

- انجام فعالیتهای مختلف عمرانی مانند ساخت سکوهای حفاری ، جاده های دسترسـی ، مسیر لوله های انتقال سیال و تاسیسات نیروگاه باعث تحریک خاک سطحی می شـود ، که لازم است نسبت به ترمیم خاک و گیاهان از بین رفته اقدام شود .

میزان انتشارگاز SO_2 در نیروگاههای زمـین گرمـایی درحـد صـفر اسـت ، در صـورتیکه میزان انتشار این گاز در نیروگاههای با سوخت نفت و زغال سنگ در حدود ۱ تا ۱۰ کیلو گرم بازای هرمگاوات ساعت برق تولیدی می باشد . در نیروگاه های زمـین گرمـایی No_x مشاهده نمی شود ، زیرا درسیالهای زمین گرمایی به میزان کمی آمونیاک وجود دارد کـه آن نیز اکسید شده و تبدیل بـه نیتـروژن و آب مـی شـود . میـزان انتـشار گـاز Co_2 در نیروگاههای زمین گرمایی در حد صفر برای نیروگاههـای بـا سیـستم دو مـداره تـا ۰/۴۸ کیلوگرم بر مگاوات ساعت در نیروگاههای از نوع تبخیر آنی، متغیر است .

منابع

_منابع تولید انرژی الکتریکی قرن ۲۱ ,تالیف دکتر سید مسعود مقدس تفرشی

_گزارشهای سازمان سانا

_سایت www.iranenergy.ir