

NRI-ER-49-PMEPN14-89-F

تدوین استراتژی توسعه تولید انرژی الکتریکی کشور در افق ۳۰ ساله
با درنظرگرفتن کلیه حامل‌های انرژی

مسعود آسایش

انتشارات پژوهشگاه نیرو

۱۳۸۹

10.30503/nripress.2020.035

به نام خدا

پژوهشگاه نیرو

نام گزارش: گزارش نهایی شناسایی فن آوریهای مختلف تولید انرژی الکتریکی در حوزه تولید

کد گزارش: PMEPN14/T1

عنوان پروژه: تدوین استراتژی توسعه تولید انرژی الکتریکی کشور در افق ۳۰ساله
با در نظر گرفتن کلیه حاملهای انرژی

مدیر پروژه : مسعود آسایش

کارفرما: پژوهشگاه نیرو

تهیه کننده: گروه مکانیک
تاریخ : ۸۹/۱۰/۱۲

پیشگفتار

در این گزارش به بررسی و تحلیل تکنولوژیهای نوین در عرصع تولید انرژی الکتریکی در بخش های بخاری، گازی، سیکل ترکیبی، زغال سوز و هسته ای پرداخته شده است.

در ابتدا به بررسی برنامه های تولیدی کشورهای مختلف نظیر چین، هند، استرالیا، کشورهای اروپایی، کانادا و آمریکا پراخته شده است. در این بررسی بیشتر بر روی فن آوریها و دلایل انتخاب هر یک در این کشورها پرداخته شده و سپس برنامه های این کشورها در آینده تولید انرژی بررسی شده است.

در ادامه به توجه به مزیت های نسبی کشور در هر یک از عرصه های تولید انرژی الکتریکی، تکنولوژیهای مرتبط و کشورهای صاحب آن تکنولوژی بررسی شده اند. سپس وضعیت این تکنولوژیها در دنیا بررسی و دیدگاه آتی مرتبط با آنها ترسیم گردیده است.

فهرست مطالب

فهرست اشکال

فهرست جداول

فصل اول

بررسی برنامه تولید انرژی الکتریکی در کشورهای مختلف

۲-۱-مقدمه

در این فصل به بررسی برنامه های تولید انرژی الکتریکی در کشورهای مختلف پرداخته شده و سپس چند نمونه از آنها در راستای زمینه های مورد مطالعه در کشور مورد ارزیابی دقیق تر قرار گرفته اند.

به دلیل مزایای نسبی کشورهای مختلف در تولید انرژی الکتریکی با توجه به منابع در دسترس آنها، کشورهای مختلفی بررسی شده اند تا بتوان تکنولوژیهای مورد نیاز در هر بخش را برای گسترش در داخل بیشتر مورد ارزیابی قرار داد.

۲-۲-بررسی کشورها

۱- کشور استرالیا

- منابع اصلی در تولید انرژی الکتریکی:

زغال‌سنگ

- منبع اصلی تولیدبرق استرالیا زغال‌سنگ می‌باشد.
- استرالیا چهارمین تولیدکننده زغال‌سنگ، بعد از چین، آمریکا و هند می‌باشد.
- استرالیا منابع نفتی، گاز طبیعی و زغال‌سنگ مهمی دارد.
- استرالیا بزرگترین صادرکننده زغال‌سنگ محسوب می‌شود.
- زغال‌سنگ بزرگترین منبع کسب صادرات هیدروکربن استرالیا در درجه اول محسوب می‌شود و به دنبال آن نفت خام و LNG (گاز مایع) است.

نفت

- استرالیا نفت خام و محصولات نفت خام پالایش شده را صادر می‌کند، و یک شبکه واردکننده نفت نیز می‌باشد.

گاز طبیعی

- استرالیا پنجمین صادرکننده بزرگ گـاز طبیعـی مـایع (LNG) در سـال ۲۰۰۷ است.

انرژی‌های نو

- انرژی بادی حدود یک درصد تولید برق ملی را در برمی‌گیرد.
- انرژی خورشیدی به عنوان سوختی برای گرمایش آب استفاده شـده، بـه عـلاوه نقش آن در تولیدبرق از طریق فوتوولتائیک انجام می‌پذیرد.
- کمتر از یک درصد اسـترالیا در حـال حاضـر از تولیـد انـرژی خورشـیدی تـأمین می‌شود.

• نیروگاه‌های تولیدبرق:

- نیروگاه‌های حرارتی (نیروگاه‌های زغال‌سوز: ۷۷/۲٪ ،نیروگاه‌های گاز طبیعی: ۱۳/۸٪ ، نیروگاه‌های نفتی: ۱٪)
- نیروگاه‌های آبی: ۷٪
- نیروگاه‌های زیست توده‌ای: ۰/۶٪
- نیروگاه‌های بادی و خورشیدی: ۰/۳٪

۲- کشور هند

منابع اصلی در تولید انرژی الکتریکی در کشور هند به شرح زیر می باشد.

زغال‌سنگ/زغال کک: ۴۰/۸٪

- بیش از ۵۰٪ مطالبات انرژی بازرگانی هند از راه ذخایر وسیع زغال‌سنگ تـأمین می‌شود. بنابراین، زغال‌سنگ مهمترین منبع سوختی برای تولیدبرق در هند است.
- هند سومین مصرف‌کننده و تولیدکننده زغال‌سنگ در دنیا است.

نفت: ۲۳/۷٪

- دومین کشور دربردارنده نفت در منطقه آسیا–اقیانوس آرام پس از چین می‌باشد.

- چهارمین مصرف‌کننده نفت در دنیاست.
- ششمین شبکه واردکننده نفت در دنیا می‌باشد.
- نزدیک به ۷۰ درصد واردات نفت خام هند از خاورمیانه، در ابتدا عربستان صعودی و سپس ایران می‌باشد.

گاز طبیعی: ۵/۶٪

- علیرغم وابستگی شدید بخش برق به زغال‌سنگ، اهمیت گاز طبیعی به دلیل ملاحظات محیطی روبه افزایش است.
- این کشور یک شبکه واردکننده گاز طبیعی می‌باشد.

انرژی‌های نو: (انرژی آبی: ۱/۸٪ ، انرژی‌های نو احتراق‌پذیر احتراق‌پذیر و تلفات: ۲۷/۲٪ ، سایر انرژی‌های نو: ۰/۲٪)

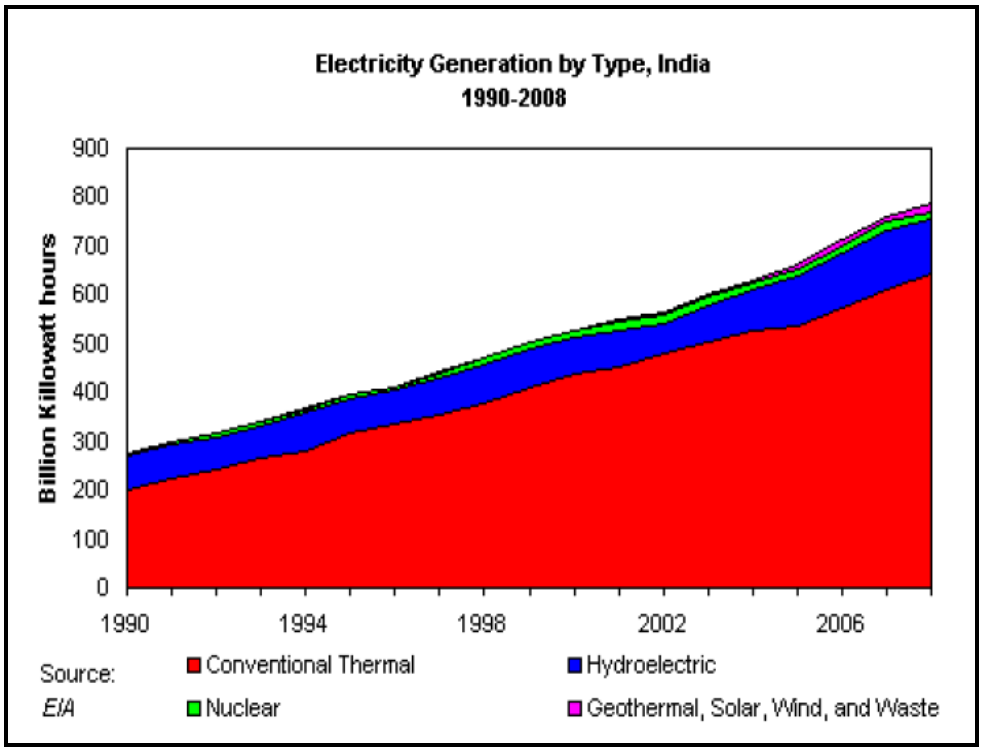
- امروزه، هند یکی از بزرگترین پتانسیل‌ها برای استفاده کارآمد از انرژی نو را دارد. (نیروگاههای آبی کوچک، زیست توده و انرژی خورشیدی)
- این کشور سرمایه‌گذاری زیادی در سال‌های اخیر بر روی منابع نو انرژی مانند انرژی بادی کرده است.
- استفاده روبه افزایش نیروگاه‌های آبی نیز در برنامه‌های دولت شامل می‌شود.
- هند پنجمین تولیدکننده انرژی بادی بعد از دانمارک، آلمان، اسپانیا و آمریکا می‌باشد.

هسته‌ای: ۰/۷٪

- هند ادعا می‌کند که یک برنامه هسته‌ای فعال و در حال پیشرفت سریع را دارد.
- در حال حاضر به عنوان نهمین کشور دارای ظرفیت هسته‌ای قرار دارد.
- هم‌اکنون، دارای ۱۷ راکتور هسته‌ای است.

- نیروگاه‌های تولیدبرق:
  - نیروگاه‌های حرارتی: ۸۰٪ (نیروگاه زغال‌سوز ۷۰٪)

- نیروگاه‌های هسته‌ای: ۲٪
- نیروگاه‌های آبی (البته با وابستگی فصلی منبع نیرو) – ۱۶٪
- انرژی نو: تقریباً ۲۰٪



شکل (۱-۱)- نمودار درصد بخش های مختلف تولید در کشور هند

۳- کشور چین

منابع اصلی در تولید انرژی الکتریکی در کشور چین به شرح زیر می باشد.

زغال‌سنگ: ۷۰٪

- بزرگترین تولیدکننده زغال‌سنگ در دنیا بوده و سومین رتبه را در میزان ذخایر زغال‌سنگ در دنیا دارد.
- تقریباً در زغال‌سنگ خودکفا می‌باشد.
- چین یک صادرکننده اصلی زغال‌سنگ در گذشته بوده اما صادرات آن کاهش یافته است و ممکن است به زودی به یک شبکه واردکننده تبدیل شود.
- دوسوم برق آن از ایستگاه‌های زغال‌سوز می‌باشد.

- بزرگترین گسیل‌کننده گازهای گلخانه‌ای در دنیا محسوب می‌شود.

نفت: ۲۰٪

- تولیدکننده اصلی نفت خام[1] می‌باشد، اما واردکننده نفت نیز است.

گاز طبیعی: ۳٪

- گاز طبیعی یک منبع انرژی در چین محسوب نمی‌شود، اما سهم آن در مصرف کشور به آرامی در حال افزایش است.
- چین یک شبکه واردکننده گاز طبیعی است و گاز طبیعی مایع (LNC) را نیز وارد می‌کند.

انرژی نو: ۷٪

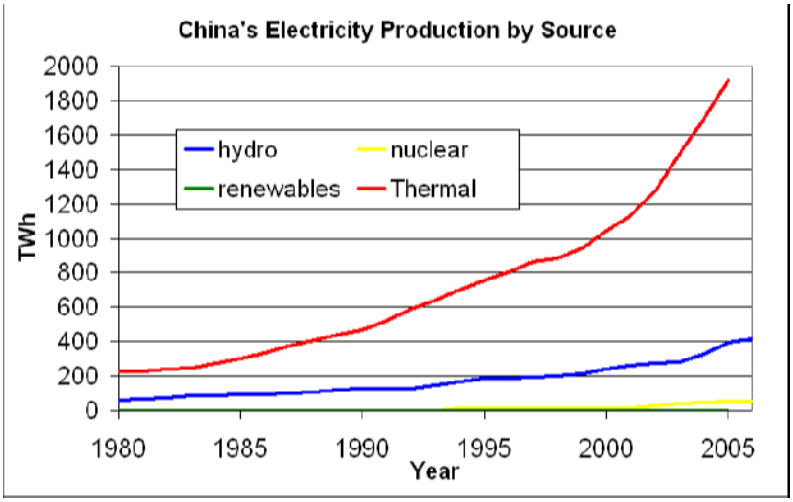
- چین عمده‌ترین تولیدکننده انرژی نو در دنیاست.
- بزرگترین تولیدکننده توربین‌های بادی در دنیاست.
- رتبه چهارم را در دنیا پس از آمریکا، آلمان و اسپانیا در خصوص نیروگاه‌های بادی دارد.
- بزرگترین تولیدکننده پانل‌های خورشیدی و گرم‌کننده‌های آب خورشیدی می‌باشد که ۶۰٪ ظرفیت گرمایش آب گرم خورشیدی دنیا را شامل می‌شود.
- اصلی‌ترین منبع انرژی نو در چین انرژی آبی محسوب می‌شود.
- خروجی هیدروالکتریک در سال ۲۰۰۹، ۱۶/۶٪ کل برق تولیدشده بوده است.
- بالاترین ظرفیت هیدروالکتریک در دنیا را نیز دارد.
- ۱۶ میلیون تن ذرت برای تولید اتانل نیروگاه‌های سوخت زنده[2]، استفاده شده است.
- به دلیل هزینه بالای غذا، چین تصمیم گرفته است که توسعه بیشتر صنعت تولید اتانل از ذرت را ممنوع کند.

[1] Crude oil
[2] biomass

هسته‌ای: ۱/۹٪

- دارای ۹ واحد نیروی هسته‌ای است. برنامه‌هایی برای ارتقاء درصد و ظرفیت توان هسته‌ای وجود دارد.

- تولیدبرق کلی:
  - نیروگاههای حرارتی: ۸۰٪
  - نیروگاههای آبی: ۱۷٪
  - نیروگاههای هسته‌ای: ۳٪



شکل (۱-۲)- نمودار درصد بخش های مختلف تولید در کشور چین

۴- کشورهای اروپایی

۵- کشور آمریکا

• آمریکا

منابع اصلی در تولید انرژی الکتریکی در کشور آمریکا به شرح زیر می باشد.

نفت خام: ۱٪

گاز طبیعی: ۱۷٪

- منابع گاز طبیعی به صورت گاز سنگ خاک رس[1] می‌باشد.
- کانادا اصلی‌ترین منبع واردات گاز طبیعی به آمریکا محسوب می‌شود.

[1] Shale gas

زغال‌سنگ: ۵۱٪

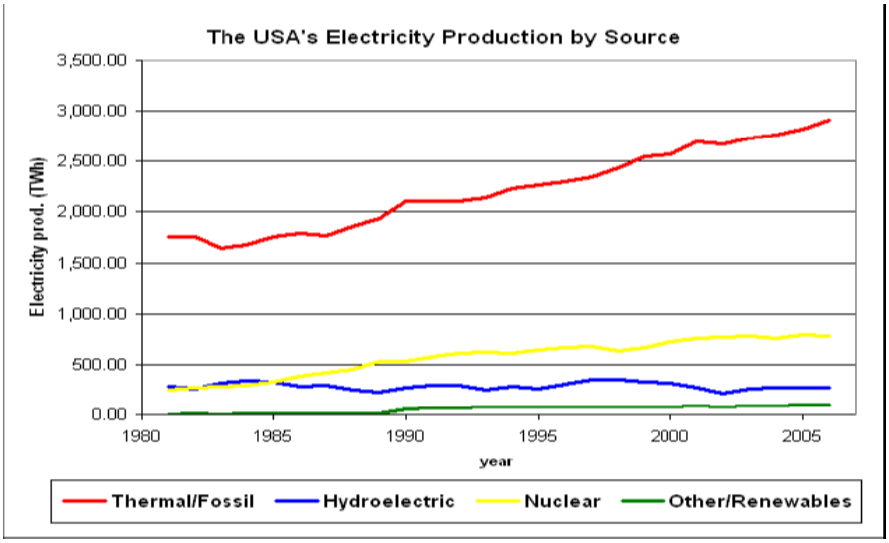
- آمریکا در زغال‌سنگ خودکفا می‌باشد. برای چندصدسال می‌تواند زغال‌سنگ خود را تأمین کند.

انرژی‌ها نو: ۹٪

- نیروگاههای بادی یک صنعت در حال رشد در آمریکا می‌باشد.
- انرژی بادی حدود ۲ درصد برق تولیدشده در آمریکا را شامل می‌شود.
- نیروگاههای آبی آمریکا بزرگترین سهم انرژی‌های نو کشور را می‌سازند.
- : آمریکا در زمینه انرژی حرارتی زمینی[1] به عنوان پیشرو در دنیا می‌باشد.

هسته‌ای: ۲۱٪

- تولیدبرق کلی:
  - نیروگاههای حرارتی سوخت فسیلی: ۸۱٪
  - نیروگاههای هسته‌ای: ۱۰٪
  - نیروگاههای آبی: ۷٪
  - نیروگاههای بادی: ۲٪



شکل (۱-۳)- نمودار درصد بخش های مختلف تولید در کشور آمریکا

[1] Geothermal energy

۶- کشور کانادا

منابع اصلی در تولید انرژی الکتریکی در کشور کانادا به شرح زیر می باشد.

زغال‌سنگ: ۱۰٪

- کانادا یک کشور تولیدکننده مهم زغال‌سنگ است.
- کانادا هم صادرکننده و هم واردکننده زغال‌سنگ و نفت خام است. به دلیل اینکه نواحی اصلی نفت و زغال‌سنگ در کانادای غربی محل‌یابی شده است، که بسیار دورتر از محل‌های اصلی سکنه و مراکز صنعتی می‌باشد، و بسیاری از پالایشگاه-های نفت نمی‌توانند انواع محصولات نفت را در کانادا سازمان‌دهی کند.
- کانادا دهمین کشور دارای ذخایر زغال‌سنگ در دنیاست، با این حال، مقادیر زیادی از این ذخایر صدها یا هزاران کیلومتر دورتر از مراکز صنعتی کشور محل‌یابی شده است. به دلیل هزینه‌های بالای حمل و نقل کانادا از این ذخایر به شدت بی‌بهره مانده است.

نفت: ۳۲٪

- کانادا دارای ۱۷۸ میلیارد بشکه ذخایر نفتی تصفیه شده است که دومین کشور بعد از عربستان صعودی می‌باشد.
- این شبکه ۹۹ درصد از نفت خود را به آمریکا صادر می‌کند و منبع اصلی واردات نفت در آمریکا به طور پایدار محسوب می‌شود.

گاز طبیعی: ۲۴٪

- کانادا یک تولیدکننده مهم گاز طبیعی نیز هست (گاز طبیعی ۳۰٪ کل انرژی تولیدی را دربر می‌گیرد)
- - کانادا همچنین یک منبع مهم گاز طبیعی آمریکا نیز محسوب می‌شود (۱۶ درصد مصرف گاز طبیعی آمریکا و ۹۰ درصد واردات گاز طبیعی کل آمریکا)

- شرکتهای گاز طبیعی کانادایی تحقیق و بررسی برای تولید LNG را شروع کرده‌اند.

انرژی‌های نو: (انرژی آبی: ۲۵٪ و دیگر انرژی‌ها: ۱٪)

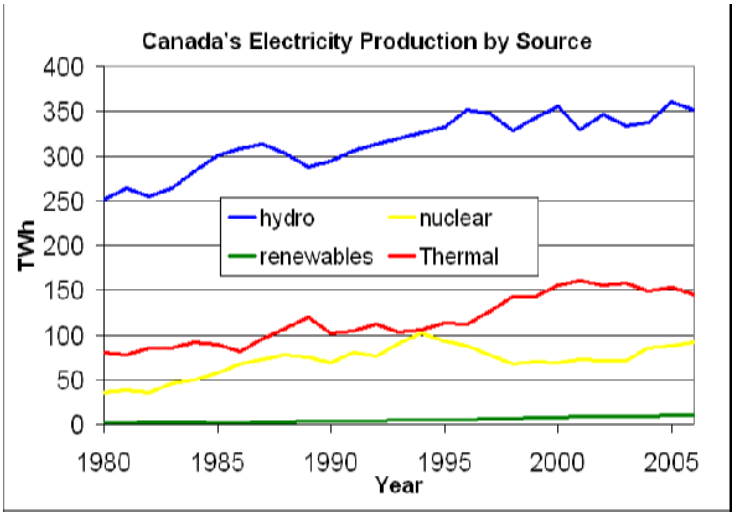
- انرژی‌های نو (آبی، بادی و توده زیستی) ۸ درصد کل انرژی تولیدی می‌باشد.
- کانادا تولیدکننده پیشرو هیدروالکتریک در دنیاست که ۱۳ درصد تولید جهانی را شامل می‌شود.

هسته‌ای: ۷٪

- بزرگترین تولیدکننده اورانیم طبیعی در دنیا است که تولیدیک سوم منبع جهانی را پوشش می‌دهد.

- نیروگاه‌های تولیدبرق:

- نیروگاههای حرارتی: ۲۸٪ (زغال‌سنگ: ۱۹٪ ، گاز طبیعی: ۶٪ ، نفت خام: ۳٪)
- نیروگاه‌های هسته‌ای: ۱۲٪
- نیروگاه‌های آبی: ۵۸٪
- نیروگاه‌های نو: ۲٪



شکل (۱-٤)- نمودار درصد بخش های مختلف تولید در کشور کانادا

۰ آلمان

آلمان بزرگترین مصرف‌کننده برق در اروپاست.

- منابع اصلی در تولید انرژی الکتریکی::

زغال‌سنگ:۵۱٪ (زغال سخت: ۲۳٪ ، زغال قهوه‌ای: ۲۸٪)

- منبع اصلی برق در آلمان همچنان زغال‌سنگ باقی مانده است.
- آلمان هفتمین کشور تولیدکننده برق در دنیاست.
- چهارمین کشور مصرف‌کننده برق در دنیا محسوب می‌شود.
- تقریباً تمام زغال قهوه‌ای آلمان در نیروگاه‌ها مصرف می‌شود.

نفت: ۱٪

- آلمان پنجمین مصرف‌کننده نفت در دنیا می‌باشد.
- همچنین یکی از بزرگترین صادرکننده‌های دنیا است.
- اکثر واردات آن از روسیه (۳۴ درصد)، پس از آن نروژ (۱۶ درصد)، بریتانیا (۱۲ درصد) و لیبی (۱۲ درصد) می‌آید.

گاز طبیعی: ۹٪

- آلمان سومین ذخایر گاز طبیعی تصفیه‌شده اتحادیه اروپا را پس از هلند و بریتانیا داراست.
- آلمان سومین مصرف‌کننده گاز طبیعی پس از آمریکا و روسیه می‌باشد.
- گاز طبیعی ۹/۳ درصد کل برق تولیدشده را شامل می‌شود، هرساله در حال کاهش است.

انرژی‌های نو: (آبی: ۴٪ ، بادی: ۳٪ ، دیگر: ۳٪)

- سیاست دولت بر حفاظت و توسعه منابع انرژی نو مانند خورشیدی، بادی، سوخت زیستی و انرژی حرارت مرکزی زمین تأکید دارد.

- بیشترین روند افزایش در تولید انرژی‌های بادی می‌باشد که نسبت به سال قبل ۶۰٪ پرش داشته اما تنها ۲/۹ درصد کل توان برق تولیدشده برای هر سال را ایجاد می‌کند.

هسته‌ای: ۲۹٪

- انرژی هسته‌ای دومین منبع انرژی مهم در آلمان محسوب می‌شود.
- آلمان چهارمین کشور تولیدکننده انرژی هسته‌ای در دنیاست.

- نیروگاه‌های تولیدبرق:
  - نیروگاه‌های حرارتی: ۶۱٪ (۴۲٪ نیروگاه‌های زغال‌سوز)
  - نیروگاه‌های هسته‌ای: ۲۸٪
  - نیروگاه‌های نو: ۷٪

۰ فرانسه

- منابع اصلی تولید انرژی الکتریکی:

زغال‌سنگ

- فرانسه ذخایر زغال‌سنگ به نسبت کمی دارد. بنابراین نه در تولید و نه در مصرف از زغال‌سنگ استفاده چندانی نمی‌کند.
- تولید زغال‌سنگ از ۹۱٪ و مصرف آن از ۷۵٪ به شدت کاهش یافته است و توسط انرژی هسته‌ای جایگزین شده است.

نفت

- سهم نفت در مصرف اولیه انرژی از ۶۸٪ در سال ۱۹۷۳ به ۳۸٪ در سال ۲۰۰۱ کاهش پیدا کرده است. انرژی هسته‌ای به مقدار زیادی جایگزین نفت به عنوان منبع اولیه برای تولیدبرق شده است.

گاز طبیعی

- کشور فرانسه دارای منابع محدود گاز طبیعی است، بنابراین تقریباً تمام گاز طبیعی مصرفی خود را وارد می‌کند.

انرژی‌های نو

- کشور فرانسه همراه با ایتالیا گرداننده اصلی انرژی خورشیدی در طول سالهای ۲۰۰۹-۲۰۱۰ بوده‌اند.

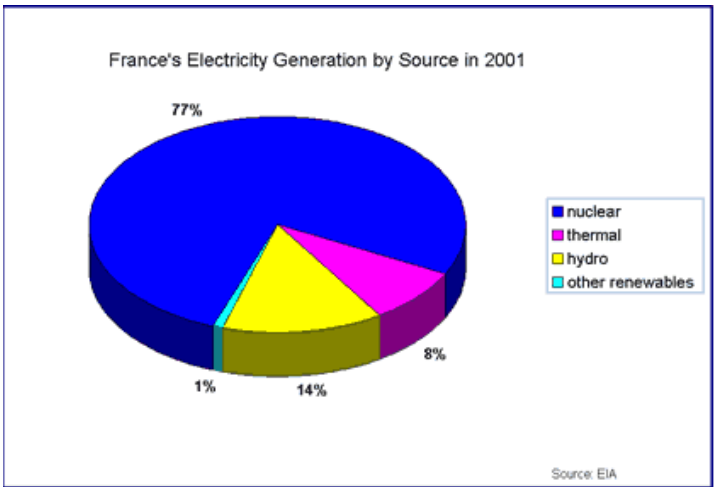
هسته‌ای

- تمرکز بر روی امنیت انرژی، فرانسه را به سمتی پیش برد تا یکی از بزرگترین تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان انرژی هسته‌ای در دنیا شود.
- در حال حاضر، حدود ۷۷٪ برق فرانسه از ۵۸ راکتور هسته‌ای کشور تأمین می‌شود.

- نیروگاه تولیدبرق:

- نیروگاه‌های حرارتی: ۸٪

- نیروگاه‌های هسته‌ای: ۷۷٪
- نیروگاه‌های آبی: ۱۴٪
- نیروگاه‌های دیگر: ۱٪



شکل (۱-۵)- نمودار درصد بخش های مختلف تولید در کشور فرانسه

۰ کره جنوبی

منابع اصلی توایئ انرژی در کره:

زغال‌سنگ: ۲۴٪

- زغال‌سنگ دومین منبع کره جنوبی محسوب می‌شود.
- اغلب زغال‌سنگ از کشورهای چین و استرالیا وارد می‌شود. درحالیکه مقادیر کمی نیز از کشور آمریکا می‌آید.

نفت: ۵۰٪

- کره جنوبی هیچ تولید نفت خام داخلی ندارد و برای رفع نیازهای مصرفی نفتی خود کاملاً به واردات وابسته است.
- کره جنوبی پنجمین شبکه واردکننده نفت در دنیاست.
- کره جنوبی نهمین مصرف‌کننده نفت در دنیاست.

- نفت بیشترین سهم کل مصرف انرژی کره جنوبی را دارد، البته سهم آن در سال‌های اخیر به تدریج در حال کاهش است.
- بازتاب روبه کاهش در سهم نفت در مصرف انرژی کشور، رشد سریع گاز طبیعی می‌باشد.

گاز طبیعی: ۱۲٪

- کره جنوبی یک واردکننده مهم گاز طبیعی مایع (LNG) (دومین واردکننده LNG در دنیا می‌باشد).
- علیرغم منابع گاز طبیعی خانگی محدود، مصرف به سرعت در دهه اخیر افزایش یافته است.

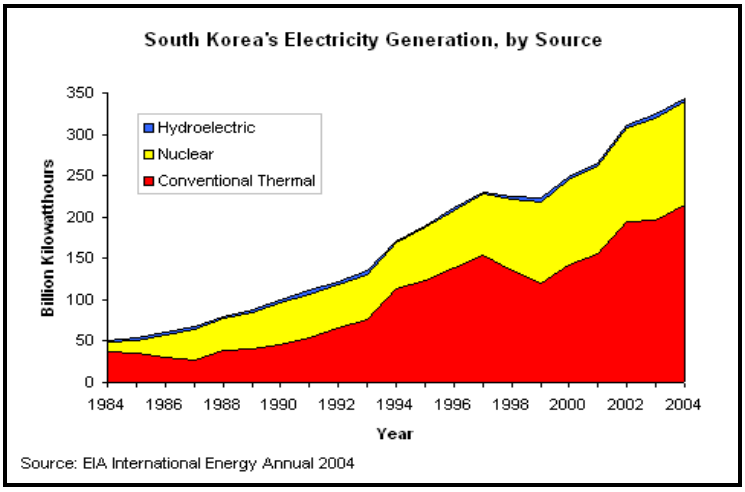
انرژی‌های نو: (آبی: ۱٪ > ، دیگر انرژی‌های نو: ۱٪>)

- تصمیم دولت در سال ۲۰۰۸ افزایش سرمایه‌گذاری در زمینه انرژی‌های نو برای کاهش وابستگی به واردات نفت خارجی می‌باشد که انگیزه‌ای را برای جمع‌آوری برنامه‌های خورشیدی ایجاد می‌کند.
- پتانسیل نیروگاه‌های آبی به دلیل تغییرات فصلی بالا در آب و هوا محدود شده‌اند.

هسته‌ای: ۱۴٪

- کره جنوبی بر روی توسعه تولید انرژی هسته‌ای تمرکز کرده است و تأکید زیادی بر روی آن دارد.

- نیروگاه‌های تولیدبرق:
  - نیروگاه‌های حرارتی: ۶۲/۱٪
  - نیروگاه‌های هسته‌ای: ۳۵/۵٪
  - نیروگاه‌های آبی: ۱/۳٪
  - دیگر: ۱/۲٪



شکل (۱-٦)- نمودار درصد بخش های مختلف تولید در کشور کره

· برزیل

- منابع اصلی تولید انرژی الکتریکی در کشور برزیل:

زغال‌سنگ: ۵٪

نفت: ۴۹٪

- برزیل دومین کشور دارنده نفت در آمریکای جنوبی بعد از ونزوئلا است.

گاز طبیعی: ۷٪

انرژی‌های نو: (انرژی‌های آبی: ۳۶٪ ، دیگر انرژی‌های نو: ۲٪)

- – این کشور بزرگترین ظرفیت ذخایر آبی را در دنیا دارد، بنابراین به شدت برای تولید توان هیدروالکتریک به آن نیازمند بوده که بالاتر از ۸۰ درصد مطالبات برق کشور را تأمین می‌کند.

هسته‌ای: ۲٪

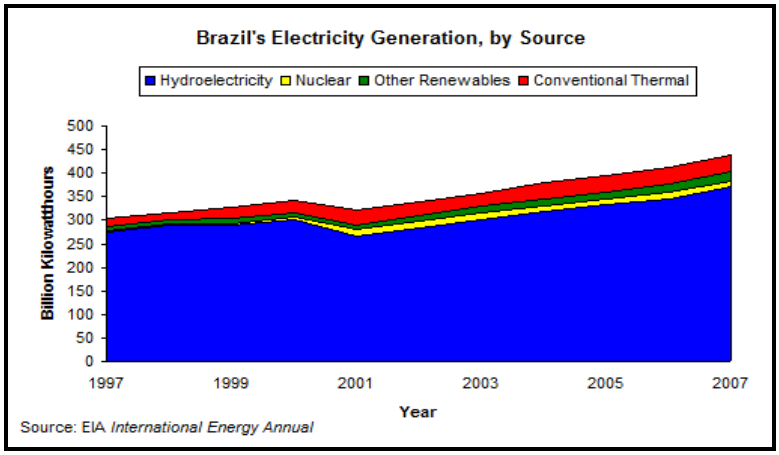
- برزیل دو نیروگاه هسته‌ای دارد.

- نیروگاه‌های تولیدبرق:

- نیروگاه‌های حرارتی: ۸٪ (گاز طبیعی: ۳/۶٪ ، زغال‌سنگ: ۱/۴٪ ،نفت:۲/۷٪ ،دیگر: ۵/۳٪)

- نیروگاه‌های هسته‌ای: ۳٪

- نیروگاه‌های نو: ۵٪
- نیروگاه‌های آبی: ۸۵٪



شکل (۱-۷)- نمودار درصد بخش های مختلف تولید در کشور برزیل

۰ بریتانیا (UK)

- منابع تولید انرژی التریکی::

زغال‌سنگ: ۱۶/۷٪

- تولید زغال‌سنگ در UK به طور یکنواخت و چشمگیری در طول چنددهه گذشته در حال کاهش بوده است.

نفت: ۳۸٪

- UK بزرگترین تولیدکننده نفت و گاز طبیعی در اتحادیه اروپاست.
- اهمیت نفت در اقتصاد UK به آرامی در طول دو دهه گذشته کاهش یافته است.

گاز طبیعی: ۳۷/۷٪

- درصد کل مصرف انرژی ذخیره شده گاز طبیعی در UK از سال ۱۹۸۰ تا سال ۲۰۰۳ از ۲۰ درصد تا ۳۴ درصد افزایش یافته است.
- در سال ۲۰۰۴، UK یک شبکه واردکننده گاز طبیعی برای اولین بار شد.

انرژی‌های نو: ۱/۸٪

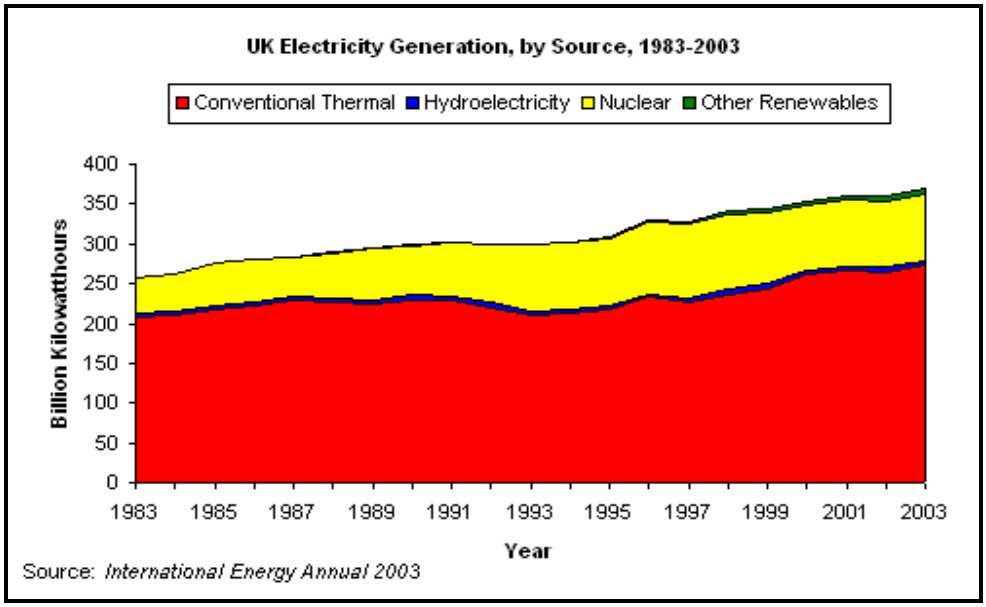
- سرمایه‌گذاری در انرژی بادی به طور اساسی افزایش یافته است.

- در نواحی دیگری توجه به انرژی موج افزایش یافته است.

هسته‌ای: ۵/۸٪

- نیروگاه‌های تولید برق:

- نیروگاههای حرارتی: ۷۴٪ (گاز طبیعی: ۳۹٪ ، زغال‌سنگ: ۴۴٪ ، نفت: ۲۰٪ ،دیگر: ۱٪)
- – نیروگاههای هسته‌ای: ۲۳٪
- – نیروگاههای آبی: ۱٪



شکل (۱-۸)- نمودار درصد بخش های مختلف تولید در کشور بریتانیا

• اسپانیا

منابع تولید انرژی التریکی عبارتند از:

زغال‌سنگ

- اسپانیا در منابع انرژی به جز زغال‌سنگ فقیر می‌باشد.
- زغال‌سنگ به طور طبیعی بیشترین منبع انرژی اسپانیا محسوب می‌شود.

- در حال حاضر، ۹۵ درصد زغال‌سنگ برای تولید برق استفاده می‌شود و ۴۲/۳ درصد برق اسپانیا از زغال‌سنگ حاصل می‌شود.

نفت

- نفت نقش اصلی را در بخش انرژی اسپانیا بازی می‌کند، گرچه سهم آن به عنوان انرژی اولیه کاهش یافته است.
- اسپانیا نزدیک به ۹۹ درصد نفت خام خود را به طور عمده از نیجریه، مکزیک، لیبی و عربستان صعودی وارد می‌کند.

گاز طبیعی

- برای کاهش وابستگی اسپانیا به واردات نفت، برنامه انرژی ملی اسپانیا مصرف گاز طبیعی را به عنوان برنامه کاری خود پیش می‌برد. بنابراین انتظار می‌رود که گاز طبیعی سهم بیشتری را در مصرف کل انرژی اسپانیا در سالهای آتی دربرگیرد.
- البته تقریباً تمامی این مصرف از طریق واردات تأمین می‌شود.

انرژی‌های نو

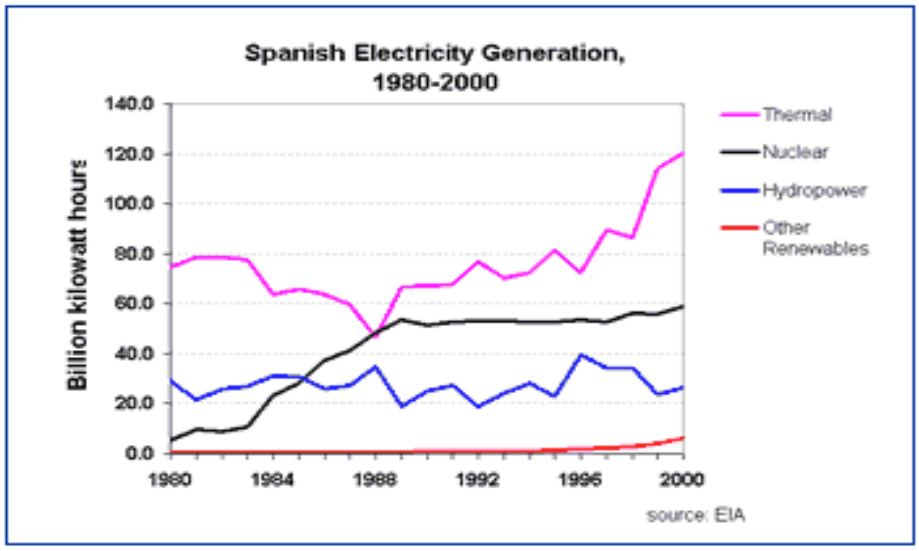
- اگرچه نواحی کوهستانی اسپانیا به نظر می‌رسد که برای تولید نیروی آبی مناسب باشد، اما کمیابی آب چنین پتانسیلی را محدودکرده و این دلیل اصلی وابستگی شدید اسپانیا به انرژی‌های حرارتی می‌باشد.

هسته‌ای

- اسپانیا ۹ راکتور به کارگرفته شده دارد.
- انرژی هسته‌ای به دلیل کمبود ذخایر نفتی، محدود بودن پتانسیل تولید انرژی هیدروالکتریک و وجود ذخایر معدنی اورانیوم قابل توجه، یک فاکتور مهم محسوب می‌شود.

- نیروگاه‌های تولیدبرق:

- نیروگاه‌های حرارتی: ۵۰/۶٪
- نیروگاه‌های هسته‌ای: ۲۲/۲٪
- نیروگاه‌های آبی: ۲۷/۲٪



شکل (۱-۹)- نمودار درصد بخش های مختلف تولید در کشور اسپانیا

۰ ایتالیا

منابع تولید انرژی الکتریکی:

زغال‌سنگ

- در ایتالیا، مصرف زغال‌سنگ کاملاً تحت سلطه بخش تولید نیرو قرار دارد. زغال‌سنگ نقش کوچکی را در بخش انرژی ایتالیا بازی می‌کند و تقریباً هیچ زغال‌سنگی در داخل کشور تولید نمی‌شود.
- بخش انرژی انتظار دارد که مصرف زغال‌سنگ در سال‌های آتی افزایش یابد.

نفت

- ایتالیا بیش از ۹۰ درصد نفت خود را وابسته به واردات است و سومین واردکننده نفت در اروپا محسوب می‌شود.

- لیبی اصلی‌ترین منبع واردات نفت ایتالیا نسبت به واردکننده‌های دیگری شامل ایران، عربستان صعودی و الجزایر محسوب می‌شود.

گاز طبیعی

- ایتالیا درحال حاضر سومین بازار گاز طبیعی را در اروپا، پس از آلمان و بریتانیا دارد.
- استفاده از گاز طبیعی به طور پایدار در سالهای اخیر، به خصوص برای تولیدنیرو افزایش یافته است.
- ترکیب انرژی حرارتی از نفت به گاز طبیعی تغییر جهت داده است، به طوریکه گاز طبیعی منبع سوختی اصلی برای تولید برق در اواخر این دهه برای تولیدنیرو بوده است.

انرژی‌های نو

- تولید برق توسط انرژی‌های نو غیرآبی (اغلب خورشیدی و انرژی حرارت مرکزی زمین) تقریباً در سال ۱۹۹۰ دوبرابرشده است، و بالاتر از ۲ درصد برق ایتالیا در حال حاضر از منابع انرژی نو تولید شده‌اند.

هسته‌ای

- ایتالیا ۴ نیروگاه هسته‌ای دارد.

- نیروگاه‌های تولیدبرق:
  - نیروگاه‌های حرارتی: ۷۸٪
  - نیروگاه‌های هسته‌ای: ۱۰٪
  - نیروگاه‌های نو غیرآبی: ۲٪

۰ آفریقای جنوبی

- منابع تولید انرژی الکتریکی:

زغال‌سنگ/زغال کک: ۷۲/۱٪

- اقتصاد آفریقای جنوبی به شدت وابسته به زغال‌سنگ است.
- آفریقای جنوبی برای تأمین منابع زغال‌سنگ، ۹۵ درصد از ذخایر زغال‌سنگ خود و ۴ درصد از ذخایر دنیا استفاده می‌کند.

نفت: ۱۲/۶٪
- بیشتر واردات نفت آفریقای جنوبی از عربستان صعودی و ایران و به دنبال آن نیجریه و آنگولا می‌باشد.

گاز طبیعی: ۲/۸٪
- گاز طبیعی در حال حاضر نقش محدودی در بخش برق آفریقای جنوبی بازی می‌کند اما دولت برنامه دارد تا واردات را افزایش و تولیدات داخلی را توسعه دهد.

انرژی‌های نو: (آبی: ۰/۱٪ ، انرژی‌های نو احتراق‌پذیر و تلفات: ۱۰/۲٪)
هسته‌ای: ۲/۲٪

- نیروگاه‌های تولیدبرق:
  - نیروگاه‌های حرارتی (نیروگاه‌های زغال‌سوز: ۸۵٪)

۷- ژاپن
منابع انرژی:

زغال‌سنگ: ۲۰٪
- ژاپن دچار کمبود منابع انرژی سوختی داخلی به جز زغال‌سنگ است.
- زغال‌سنگ یک منبع سوختی مهم برای ژاپن محسوب می‌شود و در تعداد زیادی از تأسیسات تولید نیرو به کار می‌رود.
- نیروگاه‌های زغال‌سوز تقریباً ۲۵ درصد برق کشور را شامل می‌شوند.
- استرالیا نزدیک به ۶۰ درصد زغال‌سنگ را به ژاپن وارد می‌کند.

نفت: ۴۹٪
- ژاپن منابع نفتی داخلی بسیار محدودی دارد و تقریباً برای رفع نیازهای مصرفی خود به طور کامل به واردات تکیه می‌کند.

- دومین شبکه واردکننده بزرگ نفت در دنیا محسوب می‌شود.
- این کشور دارای تعداد زیادی نیروگاه‌های نفت‌سوز است.
- ۱۱ درصد برق تولیدشده در سال ۲۰۰۵ از نفت به دست آمده است.

گاز طبیعی: ۱۴٪

- علی‌رغم منابع محدود گاز طبیعی، ژاپن یک مصرف‌کننده بزرگ گاز طبیعی است و باید بر واردات تکیه کند.
- به دلیل کمبود اتصالات خط لوله بین‌المللی، امروزه ژاپن بزرگترین واردکننده گاز طبیعی مایع (LNG) در دنیا است و در حال‌حاضر حدود ۴۰ درصد واردات جهانی LNG را دربرمی‌گیرد.
- درحالیکه استفاده از نفت در بخش نیرو روبه کاهش است، استفاده از گاز طبیعی در بخش الکتریسیته یا برق به‌طور اساسی در حال افزایش می‌باشد.

انرژی‌های نو: ۱٪

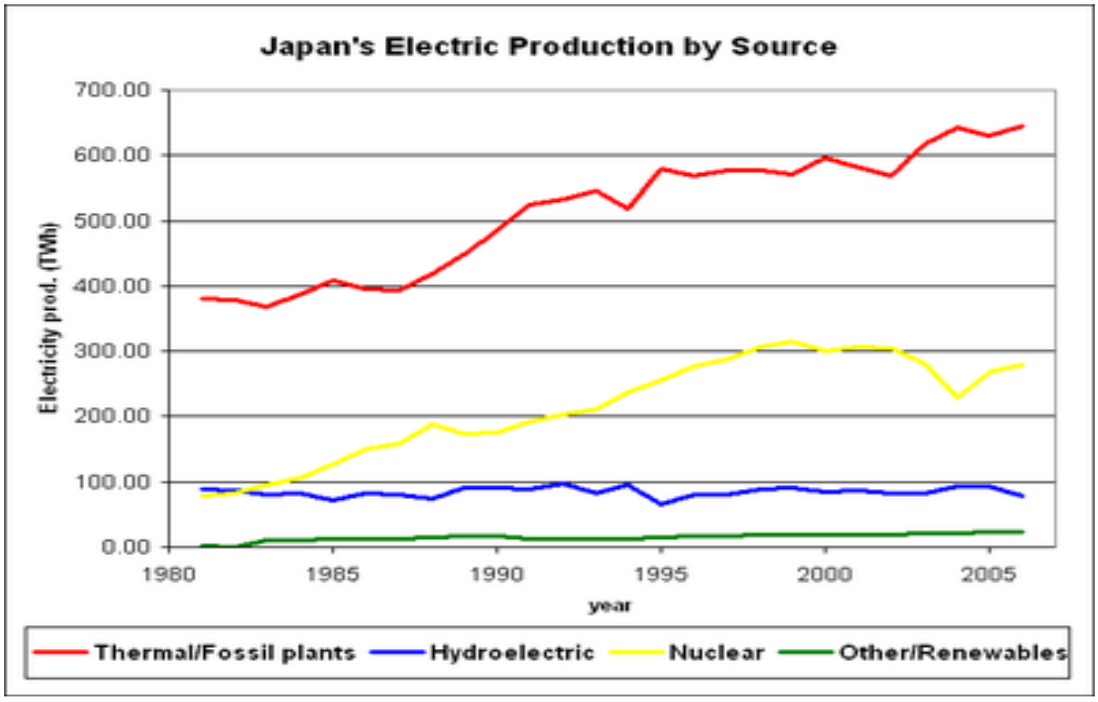
- ژاپن دومین تولیدکننده بزرگ برق فوتوولتائیک پس از آلمان در دنیاست.
- ظرفیت تولید هیدروالکتریک در سال ۲۰۰۵ حدود ۹ درصد کل ظرفیت تولید برق بوده است. انتظار نمی‌رود که ظرفیت توان اضافی بیشتر در سال‌های آینده را داشته باشد.
- ژاپن به مقدار بسیار زیادی انرژی حرارتی زمینی بهره‌برداری می‌کند. دارای ۶ ایستگاه نیروی حرارتی زمینی است.

هسته‌ای: ۱۳٪

- اگرچه ژاپن یکی از آخرین شروع‌کننده‌ها در این زمینه بوده است، اما این تکنولوژی را از آمریکا در نهایت وارد کرد.
- اورانیوم را نیز از کانادا، فرانسه، آفریقای جنوبی و استرالیا به دست می‌آورد.
- ۵۳ نیروگاه هسته‌ای فعال دارد.

- سومین رتبه را در دنیا، پس از آمریکا (با ۱۰۴ راکتور) و فرانسه با ۵۹ راکتور، دارد.
- ۱/۴ برق تولیدی ژاپن از نیروگاه‌های هسته‌ای می‌باشد.
- درحالیکه استفاده از نفت در کشور در حال کاهش است، استفاده از نیروگاه هسته‌ای به طور اساسی افزایش یافته است.

- نیروگاههای تولیدبرق:
  - نیروگاه‌های حرارتی: ۶۰٪
  - نیروگاه‌های هسته‌ای: ۲۹٪
  - نیروگاه‌های آبی: ۹٪
  - سایر نیروگاه‌های انرژی نو: ۲٪



شکل (۱-۱۰)- نمودار درصد بخش های مختلف تولید در کشور ژاپن

۸-روسیه

- منابع اصلی در تولید انرژی الکتریکی در کشور روسیه عبارتند از:
- زغال‌سنگ: ۱۶٪

- دومین ذخایر زغال‌سنگ را دارد که تنها ۱۰ درصد آن استخراج می‌شود.

نفت: ۱۹٪

- روسیه بزرگترین تولیدکننده نفت در کشورهای غیر OPEC و دومین در دنیا پس از عربستان صعودی است.
- هشتمین کشور دارنده ذخایر نفتی است که ۱۲٪ آن پالایش می‌شود.
- ۷۰٪ از نفت تولیدشده صادرشده، بنابراین اصلی‌ترین شبکه صادرکننده انرژی در دنیا و تأمین‌کننده اصلی اتحادیه اروپا محسوب می‌شود.

گاز طبیعی: ۵۵٪

- بزرگترین ذخایر گاز طبیعی شناخته شده را نسبت به هر ناحیه دیگری در زمین داراست که ۳۲٪ ذخایر گاز طبیعی تصفیه دنیا می‌باشد.
- بخش گاز روسیه از اهمیت استراتژیک کلیدی برخوردار است.
- از اصلی‌ترین بازارهای صادرات روسیه، اتحادیه اروپا می‌باشد. که اصلی‌ترین واردکننده آلمان است. آلمان ۳۶٪، فرانسه ۱۴٪ ، ایتالیا ۲۷٪ ، لهستان ۴۸/۵٪ کشورهای غیراروپایی، ترکیه ۶۴٪ گاز خود را از روسیه وارد می‌کند.

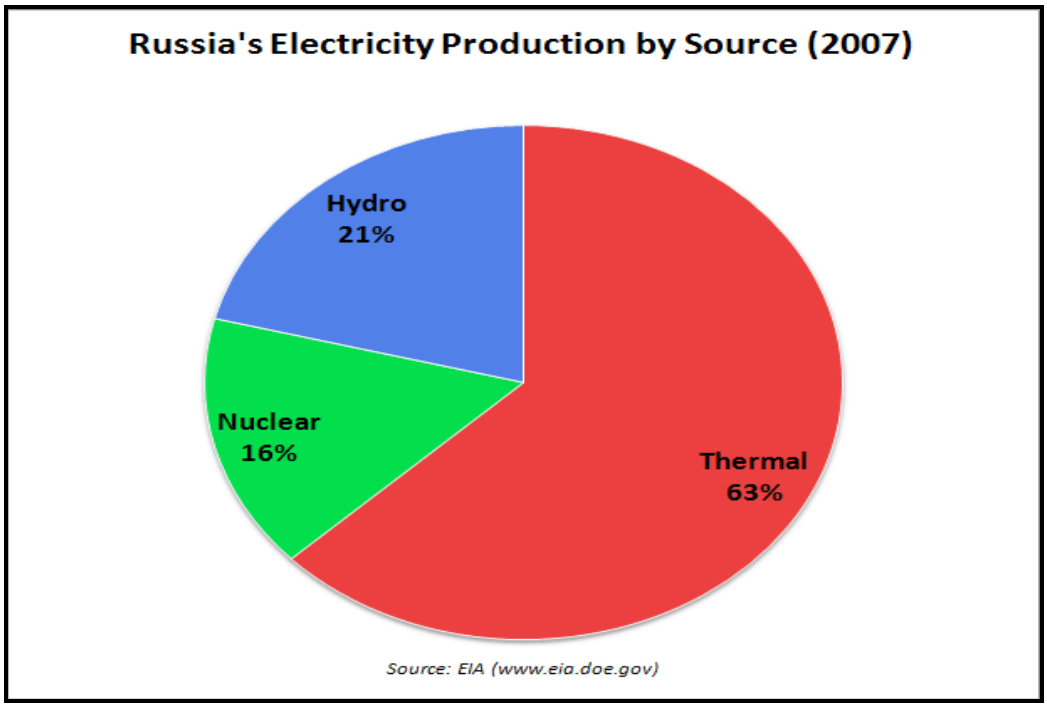
انرژی‌های نو: ۶٪ (که تنها شامل نیروگاههای آبی است).

- انرژی‌های نو در روسیه به طور گسترده‌ای توسعه‌نیافته هستند اگرچه پتانسیل قابل توجهی برای استفاده از انرژی‌های نو در آن وجود دارد.
- روسیه از ذخایر بادی با کیفیت بالا در سواحل شمال و اقیانوس آرام و در جلگه پهناور و نواحی کوهستانی برخوردار است.

- مناطقی با بهترین پتانسیل خورشیدی اما بلااستفاده را دارد.
- روسیه رتبه پنجم را در تولید توان آبی در دنیا دارد.
- انرژی حرارتی زمینی بیشترین منبع انرژی نو توسعه یافته در روسیه است.

هسته‌ای: ۵٪

- نیروگاه تولیدبرق:
  - نیروگاههای حرارتی ۶۳٪ (تقریباً ۷۷ نیروگاه زغال‌سوز دارد).
  - نیروگاه هسته‌ای: ۱۶٪ (۳۱ راکتور هسته‌ای)
  - نیروگاه آبی: ۲۱٪



شکل (۱-۱۱)- نمودار درصد بخش های مختلف تولید در کشور روسیه

- **ترکیه**

منابع اصلی تولید انرژی الکتریکی در کشور ترکیه عبارتند از:

زغال‌سنگ

- ترکیه دارای منابع زغال‌سنگ سخت است.

نفت

- درکل، مصرف نفت ترکیه در سال‌های اخیر افزایش یافته است.

- نفت بیشتر از ۴۰ درصد کل نیاز انرژی ترکیه را تأمین می‌کند، اما سهم آن در حال کاهش است.
- حدود ۹۰ درصد منابع نفتی ترکیه، به طور عمده از خاورمیانه (عربستان صعودی، ایران، عراق، سوریه) و روسیه تأمین می‌کند.

گاز طبیعی

- در سال ۲۰۰۳، ۶۵ درصد تقاضا برای گاز ترکیه توسط بخش تولید برق صورت گرفت.
- در سال ۲۰۱۰، بیش از ۳۱ درصد واردات گاز از روسیه از طریق دریای سیاه، حدود ۱۹ درصد از ایران، حدود ۱۳ درصد از آذربایجان، و باقی آن از الجزایر و نیجریه تأمین شد.
- گاز طبیعی، سوخت ترجیحی در نیروگاه‌های جدید ترکیه محسوب می‌شود.

انرژی‌های نو

- ترکیه دارای مقادیر زیادی پتانسیل انرژی خورشیدی، بادی و حرارت مرکزی زمینی می‌باشد.
- در سال ۲۰۰۱، ترکیه تأیید خود را برای ۱۷ نیروگاه بادی و یک نیروگاه حرارت مرکزی زمین اعلام کرده است.
- ترکیه منابع انرژی آبی قابل توجهی (بیش از ۱۰۴ نیروگاه) دارد.

۲-۳-معرفی مراجع و سازمان‌های مسئول شناسایی فناوریهای کلیدی در کشورهای مختلف

برای بررسی مسئول شناسایی و برنامه ریزی در کشورهای مختلف به بررسی مراجع و سازمانهای مختلف در آن کشورها پرداخته شد. بسیاری از برنامه ریزیها توسط بخش های انرژی دولتی و یا سازمانها خصوص که فعالیتهایی در قالب مطالعات برای بخش های دولتی انجام می دادند انجام می گرفت. در این بخش نتایج چند نمونه از بررسی ها ارائه گردیده است.

مراجع مدنظر برای شناسایی فناوریهای کلیدی در هر کشور، شامل سازمان‌ها و شرکت‌های دولتی و خصوصی تولیدنیرو، مؤسسات تحقیقاتی در راستای فناوری‌های تولید نیرو، منابع انرژی و محیط زیست و ... بوده است، که به شرح ذیل است:

آمریکا

مراکز تولیدنیرو:

۸۰٪ برق تولیدشده در آمریکا توسط نهادهای خصوصی (سرمایه‌گذاری شخصی) ایجاد می‌شود. بقیه آن توسط نمایندگی‌های فدرال تولید می‌شوند مانند:

- مرجع دره تنسی[۱] (تولیدکننده اصلی نیروگاه آبی و هسته‌ای)
- اداره امور بازاریابی نیرو در وزارت انرژی[۲] (نیروگاه آبی)
- تأسیسات آب و برق شهری[۳]
- شرکت‌های تعاونی آب و برق[۴]

بزرگترین تولیدکننده برق خصوصی در آمریکا شامل:

- شرکت AES[۵]
- شرکت ساترن[۶]
- توان برق آمریکایی[۷]
- انرژی دوک[۱]

[1] Tennessee Valley Authority
[2] Power Marketing Administration of the Department of Energy
[3] Municipal Utilities
[4] Utility Cooperatives
[5] AES Corporation
[6] Southern Company
[7] American Electric Power

• لومیمننت[۲]

• ریلاینت انرژی [۳]

• شرکت گاز و برق اقیانوس آرام[۴]

• انرژی رودخانه اَلگینی[۵]

مراکز تحقیقاتی:

(در این قسمت به برخی از این مراکز که در پروژه مزبور بیشتر مورد استفاده واقع شده‌اند آورده شده است).

انجمن‌های ملی دولتی:

• وزارت انرژی[۶] – DOE

• مؤسسه تحقیق نیروی برق[۷] – EPRI

• مؤسسه برق ادیسون[۸] – EEI

• آزمایشگاه تکنولوژی انرژی ملی[۹] – NETL

• انجمن خاکستر ذغال‌سنگ آمریکایی[۱۰] – ACAA

• انجمن تولیدکنندگان برق مستقل آنتراسیت[۱۱] (ARIPPA)

• شورای مالکین بویلرهای صنعتی[۱۲] – CIBO

مجلات و نشریات مربوط به برق:

• مجله نیرو[۱۳]

• پاور آنلاین[۱۴]

• نشریه پن‌ول[۱]

---

[1] Duke Energy
[2] Luminant
[3] Reliant Energy
[4] Pacific Gas and Energy Company
[5] Allegheny Energy
[6] Department of Energy
[7] Electric Power Research Institute
[8] Edison Electric Institute
[9] National Energy Technology Laboratory
[10] American Coal Ash Association
[11] Anthracite Region Independent Power Producers Association
[12] Council of Industrial Boiler Owners
[13] Power Magazine
[14] Power Online

• پاورجن–تولید برق در سایت و تولید همزمان کار و حرارت[۲]

• نیرو و روشنایی الکتریکی[۳]

• انجمن مهندسی نیرو[۴]

و ...

ژاپن

مراکز تولید نیرو:

صنعت برق ژاپن تحت کنترل ۱۰ مرکز با مالکیت خصوصی می‌باشد، شرکت‌های برق متحد که همانند، انحصار ناحیه‌ای رفتار می‌کنند. تقریباً ۷۵٪ توان در دسترس توسط این ۱۰ موسسه نیروی ناحیه‌ای اصلی اداره می‌شود:

• شرکت نیروی برق چوگوکو[۵] (CEPCO)

• نیروی برق چوبو[۶] (Chuden)

• شرکت نیروی برق هکوریکو[۷] (HEPCO)

• شرکت نیروی برق هکایدو[۸] (Hokuden)

• نیروی برق کیوشو[۹] (Kyuden)

• شرکت نیروی برق کانسای[۱۰] (KEPCO)

• شرکت نیروی برق اکیناوا[۱۱] (Okiden)

• شرکت نیروی برق توکیو[۱۲] (TEPCO) : این شرکت بزرگترین شرکت در دنیاست و ۳۲ درصد کل توان تولیدی کشور را تأمین می‌کند.

• نیروی برق توهوکو[۱] (Tohokuden)

---

[1] Pennwell
[2] Powergen-cogeneration & On-site Power Production
[3] Electric Light & Power
[4] Power Engineering Association
[5] Chugoku Electric Power Company
[6] Chubu Electric Power
[7] Hokuriku Electric Power Company
[8] Hokkaido Electric Power Company
[9] Kyushu Electric Power
[10] Kansai Electric Power Company
[11] Okinawa Electric Power Company
[12] The Tokyo Electric Power Company

• شرکت نیروی برق شی‌ککو[۲] (Yonden)

متصدی‌های مهم دیگر در بازار برق ژاپن عبارتند از:

• شرکت نیروی اتمی[۳] (JAPC) –که چهار نیروگاه هسته‌ای را می‌گرداند و برق را به شرکت نیروی محلی می‌فروشد.

• شرکت توسعه نیروی برق[۴] (J-Power) –نیروگاههای گرمایی و آبی را می‌گرداند.

مراکز تحقیقاتی:

• مؤسسه تحقیقاتی مرکزی صنعت نیروی برق[۵] – (CRIEPI)

آلمان

مراکز تولیدنیرو:

مراکز تولید انرژی در آلمان یکی از بزرگترین مراکز در دنیا می‌باشند، بر این اساس کـه صـنعت آلمـان دارای انرژی تمیز نیز هست (آلمان بزرگترین بازار برق را در اروپا دارد).

آلمان یک تجارت برق فعال با کشورهای همسایه خود دارد، اگرچه معمولاً یک شبکه صادرکننده است.

چهار شرکت، بخش عمده‌ای از تولید برق آلمان را تحت کنترل خود دارند:

• RWE/VEW

• E.ON

• انرژی بادن–وورتمبرگ[۶]

• واتنفال سوئدی[۷]

بریتانیا UK [۸]

مراکز تولیدنیرو:

UK یک بخش الکتریسیته خصوصی‌شده دارد.

• انرژی بریتانیایی[۱] – BE : بزرگترین تولیدکننده برق در کشور می‌باشد کـه اغلـب ظرفیـت نیـروی هسته‌ای را کنترل و حدود ۲۰٪ کل منبع انرژی را تولید می‌کند.

---

[1] Tohoku Electric Power
[2] Shikoku Electric Power Company
[3] Atomic Power Company
[4] Electric Power Development Company
[5] Central Research Institute of Electric Power Industry
[6] Energie Baden-Wuerttemburg (En BW)
[7] Sweden-based Vattenfall
[8] United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland (Country in northern Europe consisting of England, Scotland, Wales and Northern Ireland).

شرکت‌های تولیدکننده مهم دیگر شامل:

- E.ON UK
- RWE npower
- اسکاتیش[۲]
- ساترن[۳]
- انرژی (SSE)
- نیروگاه اسکاتلندی[۴] (SP)

مراکز تحقیقاتی:

- اجتماع تکنولوژی تولید نیروی پیشرفته[۵] – APGTF
- انجمن تحقیقات به کارگیری زغال‌سنگ بریتانیایی[۶] – BCURA
- مرکز زغال‌سنگ تمیز IEA[۷]
- برنامه R&D گازهای گلخانه‌ای IEA[۸]

مشارکت تحقیقات انرژی بریتانیا[۹]

[1] British Energy
[2] Scottish
[3] Sothern
[4] Scottish Power
[5] Advanced Power Generation Technology Forum
[6] British Coal Utilization Research Association
[7] IEA Clean Coal Center
[8] IEA Greenhouse Gas R&D Program
[9] UK Energy Research Partnership

۲-۴-معرفی فناوریهای کلیدی در کشورهای مختلف

آمریکا

در آمریکا و اغلب کشورهای دنیا، نیاز به برق روز به روز افزایش پیدا می‌کند. امروزه، بیش از نصف برق تولیدشده در آمریکا از زغال‌سنگ می‌آید. در یک آینده پیش‌بینی‌شده، استفاده از زغال‌سنگ به عنوان سوخت غالب در تولید برق ادامه خواهد داشت. هزینه پائین و فراوانی زغال‌سنگ یکی از دلایل اولیه بکارگیری آن تولید برق است.

در این راستا رقابت اصلی در صنعت برق آمریکا و بیشتر کشورهایی که از زغال سنگ به عنوان سوخت اصلی لستفاده می کنند، از بین بردن موانع محیطی برای استفاده از زغال‌سنگ در نیروگاههای آینده می‌باشد، تکنولوژی‌های جدیدی که در برنامه انرژی فسیلی توسعه یافته‌اند توانسته‌اند به طور مجازی سولفور، نیتروژن و آلودگی‌های دیگر ایجاد شده در هنگام سوختن زغال‌سنگ را حذف کنند. همچنین جذب گازهای گلخانه‌ای گسیل‌شده از نیروگاه‌های زغال‌سوز ممکن است امکان‌پذیر شود و مانع از شرکت این گازها در گرم کردن زمین شوند.

تحقیقات، همچنان برای افزایش راندمان سوخت نیروگاههای با سوخت زغالی ادامه دارد. امروزه نیروگاهها تنها یک‌سوم انرژی پتانسیل زغال‌سنگ را به الکتریسیته تبدیل می‌کنند. تکنولوژی‌های جدید در برنامه انرژی، انرژی‌های فسیلی توانسته‌اند تقریباً سطح راندمان را در ۱۰–۱۵ سال آینده، دو برابر کنند. راندمان‌های بالاتر به معنی برق با هزینه کمتر و گازهای گلخانه‌ای کمتر می‌باشد.

در حالیکه زغال‌سنگ سوخت اصلی ملی آمریکا برای نیروی برق می‌باشد، گاز طبیعی سوختی با سریعترین نرخ رشد است. بیش از ۹۰ درصد نیروگاههای ساخته‌شده در ۲۰ سال آینده احتمالاً با گاز طبیعی سوخت‌گیری می‌شوند. گاز طبیعی نیز احتمالاً یک سوخت اولیه برای نیروگاههای کوچک می‌باشند که نزدیک مکان‌هایی که برق نیاز می‌شود قرار می‌گیرند.

➢ پروژه نقطه‌نظر ۲۱

- هدف:

در سال ۲۰۱۵، هسته طرح‌های یک پایگاه سوخت انعطاف‌پذیر، نیروگاههایی با تولید چند نوع انرژی که راندمان‌های نیروگاه را به بالاتر از ۶۰ درصد سوق می‌دهد و به طور مجازی هیچ آلودگی را ساتع نمی‌کند، و با کربن تفکیک شده[1] که بسیار کم یا هیچ گسیلی را آزاد نمی‌کند.

- پروژه:

[1] Carbon Sequestration

نقطه‌نظر ۲۱، یک تصور کلی از انرژی در آینده می‌باشد که شبیه به آن هیچ نیروگاهی تا به الان وجود نداشته است. راهکاری که در این طرح به کار رفته به طور مجازی نیروگاهی را بدون آلودگی تصور می‌کند. برخلاف نیروگاههای تک منظوره امروزه که تنها الکتریسیته تولید می‌کنند، یک نیروگاه دیدگاه ۲۱ چندین محصول را تولید خواهدکرد–شاید برق در ترکیب با سوختها و مواد شیمیایی مایع یا هیدروژن یا گرمایش تولیدصنعتی تولیدشود. همچنین محدود به یک نوع سوخت نخواهدشد؛ درعوض، می‌تواند انواع سوختها مانند زغال‌سنگ، گاز طبیعی، سوخت زیستی، کک نفت (از پالایش نفت) و انواع مواد زائد شهری را مصرف کند.

برق را در راندمان‌های بی‌سابقه تولید خواهدکرد، و با تکنولوژی‌های تفکیک کربن کوپل خواهد شد، بنابراین گسیل گازهای گلخانه‌ای، در صورت وجود، بسیار کاهش خواهد یافت.

دیدگاه ۲۱، در صورت موفقیت، می‌تواند انقلابی را در تولید نیرو و صنعت سوخت در ۱۵ سال آینده، ایجاد کند.

راندمان‌ها:

زغال‌سوز < ٪۶۰ HHV

گازسوز < ٪۷۵

گرما و توان ترکیبی ۷۵–۸۰٪ حرارتی

گسیل‌ها:

اتلافات هوا: ۰

Co_2 : صفر (باتجزیه)

هزینه‌ها: برق در قیمت‌های بازار

دیدگاه ۲۱ براساس تکنولوژی‌هایی ساخته می‌شود که پیش از این توسعه یافته‌اند، شامل احتراق با آلودگی کم، گازی کردن[1]، کوره‌ها و مبدل‌های حرارتی با راندمان بالا، توربین‌های گاز پیشرفته، پیل‌های سوختی، ترکیب سوختها، و تکنولوژی‌های شاخص دیگر و تکنیکهای یکپارچه‌سازی سیستم اضافه می‌شود.

وقتی که تکنولوژی‌های مرتبط با جذب دی‌اکسیدکربن و بازیافت یا تفکیک متصل می‌شود، سیستم‌های دیدگاه ۲۱ هیچ گسیلی از دی‌اکسیدکربن و اثرات ناسازگار محیطی را نخواهند داشت.

بسیاری از فعالیت‌های دیدگاه ۲۱، فعالیت‌های متمرکزشده برای رسیدن به سیکل ترکیبی گازی شده یکپارچه[2] و دیگر تکنولوژی‌های راندمان بالای پیشرفته را تکمیل کرده و گسترش می‌دهد.

[1] Gasification
[2] Integrated gasification combined cycle

➢ زمینه جذب و ذخیره دی‌اکسیدکربن[1]

همان‌طور که قبلاً گفته شد نیروگاههای تولیدبرق زغال‌سوز اساس سیستم نیروی مرکزی آمریکا محسوب می‌شوند. در حال حاضر، پایگاههای زغال‌سنگ موجود در آمریکا برای حدود نیمی از کل برق تولیدشده داخلی مورداستفاده قرار می‌گیرند. انتظار می‌رود که درخواست برای تولیدبرق در طول ۳۰ سال بعد به طور چشمگیری افزایش یابد، و اضافه کردن ظرفیت تولید جدید نیازمند زمان طولانی برای انجام کار است.
نیروگاههای زغال‌سوز تحت موشکافی دقیق و سنگینی قرار دارند و فشار سیاسی شدیدی برای محدود کردن گسیل‌های آلوده و کنترل کردن گازهای گلخانه‌ای در آینده بر روی آنها وجود دارد. در حال حاضر، ۳۰ درصد گسیل‌های Co_2 جهانی ناشی از نیروگاههاست. اغلب نیروگاههای آمریکا به طور میانگین بیشتر از ۳۰ سال عمر دارند. پیش‌بینی شده است که اگر تمامی نیروگاههای موجود در دنیا توسط نیروگاههای اخیر و کارآمدتر جایگزین شوند، دو گیگاتن از گسیل Co_2 در هر سال جلوگیری می‌شود.
پتانسیل وسیعی برای بهبود و به روزرسانی تکنولوژی‌های مرتبط با جذب کربن در پایگاههای زغال‌سنگ موجود و ساخت و ایجاد نیروگاههای مدرن وجود دارد. در سال ۲۰۰۶، نیروگاههای زغال‌سوز تقریباً ۳۶ درصد کل دی‌اکسیدکربن ساتع‌شده در آمریکا را تولیدکردند. بنابراین، پتانسیل عمده‌ای برای کاهش هزینه و مطالبه انرژی در فرآیندهای جذب دی‌اکسیدکربن از طریق پیشرفت‌های تکنولوژیکی وجود دارد.
فرآیند جذب کربن از سه راه امکان‌پذیر است:

- جذب دی‌اکسیدکربن در قبل از احتراق[2]
- جذب دی‌اکسیدکربن پس از احتراق[3]
- احتراق اکسیژنی[4]

تکنولوژی‌های کنترل گسیل Co_2 در قبل از احتراق قابل کاربرد در نیروگاههای با سوخت زغال‌سنگ گازی شده (مانند سیکل‌های ترکیبی گازی‌شده یکپارچه[5] (IGCC) می‌باشد.
در این قسمت ابتدا به شرح دو تکنولوژی انتهایی می‌پردازیم، سپس در ادامه پس از توضیح نیروگاههای نوین، تکنولوژی‌های پیش از احتراق را شرح می‌دهیم.

---

[1] Co_2 Capture and Storage
[2] Pre-combustion Co_2 Capture
[3] Post-combustion Co_2 Capture
[4] Oxygen Combustion (Oxy-combustion)
[5] Integrated Gasification Combined Cycle

- جذب دی‌اکسیدکربن پس از احتراق:

نیروگاههای زغال نرم‌شده که ۹۹ درصد کل نیروگاههای زغال‌سوز در آمریکا را شامل می‌شوند، زغال‌سنگ را در هوا می‌سوزانند سپس بخار Co_2 بالا رفته و به صورت دود در فشار اتمسفر و غلظت ۱۰ تا ۱۵ درصد حجمی خارج می‌شوند. جذب پس از احتراق دی‌اکسیدکربن یک کاربرد چالش‌برانگیز می‌باشد زیرا:

- فشار پائین، غلظت کم حجمی واقعی بالایی از گاز را تحمیل می‌کند.
- دنبال کردن ناخالصی‌ها در دود منجر به کاهش تأثیرگذاری فرآیندهای تفکیک Co_2 می‌شود.
- متراکم کردن Co_2 جذب‌شده از فشار اتمسفر به فشار خط لوله (۱۲۰۰ تا ۲۰۰۰ پوند بر اینچ مربع) نمایانگر یک فشار پارازیتی بزرگ می‌باشد.

R&D تکنولوژی کنترل Co_2 پس از احتراق شامل پروژه‌هایی هستند که هدفشان استفاده از حلال‌ها، جاذب‌های جامد و غشاءها می‌باشند. سیستم حلال‌های پایه آمینی در کاربردهای بازرگانی برای پاک‌سازی Co_2 از گاز خروجی صنعتی و پردازش گازها می‌باشند. با این حال حلال‌ها تا به حال برای زدایش حجم زیادی از Co_2 به کار نرفته‌اند، به طوریکه در گاز خروجی بویلر یک تأسیسات با سوخت زغال‌سنگ نرم‌شده رویارو شده باشند.

جاذب‌های جامد می‌توانند برای جذب دی‌اکسیدکربن از گاز خروجی از طریق جذب سطحی شیمیایی، جذب سطحی فیزیکی یا ترکیبی از دو اثر مورد استفاده قرار گیرند. موقعیت‌های ممکن برای تماس گاز خروجی با جاذب‌های جامد شامل بسترهای ثابت، در حرکت و مایع‌شده می‌باشند. جذب غشائی از مواد نفوذپذیر و نیمه نفوذپذیر که جدایش/جابجایی انتخاب‌پذیر Co_2 را از گاز خروجی اجازه می‌دهند، استفاده می‌شود.

در زیر به برخی از پروژه‌هایی که در این زمینه تعریف شده‌اند اشاره می‌شود:

- مایعات یونی برگشت‌پذیر به عنوان حلال‌های دوکاره برای جذب Co_2 کارآمد
- جذب Co_2 از گازهای خروجی از طریق جذب انتقالی فاز
- توسعه جاذب‌های کربن جدید برای جذب دی‌اکسیدکربن
- جداسازی Co_2 از گاز خروجی با استفاده از چارچوب‌های آلی فلزی میکرومتخلخل[1]
- توسعه یک تکنولوژی جذب Co_2 پس از احتراق از طریق جاذب خشک برای به روزرسانی در نیروگاههای موجود
- فرآیند غشائی برای جذب دی‌اکسیدکربن از گاز خروجی نیروگاه

[1] Micro Porous Metal Organic Frameworks

- ترکیب تولیدنیرو و تفکیک کربن با استفاده از سلولهای سوختی

• کنترل دی‌اکسیدکربن از طریق احتراق اکسیژنی:

احتراق اکسیژنی شامل اکسیژن، با خلوص ۹۵ تا ۹۹٪ اکسیژن، که در اغلب طراحی‌های جاری فرض می‌شود، برای سوزاندن زغال‌سنگ و تولید یک جریان Co_2 با غلظت بالا می‌باشد. Co_2 از بخار آب با چگالش آب از طریق خنک‌کاری و متراکم‌سازی جدا می‌شود. رفتار بعدی گاز خروجی ممکن است نیازمند جدایی آلودگی‌ها و گازهای غیرچگالش‌یافته (مانند نیتروژن) از گاز باشد، قبل از اینکه Co_2 برای ذخیره‌سازی فرستاده شود. احتراق اکسیژنی به سادگی نمی‌تواند جایگزین احتراق هوایی در نیروگاههای سوخت فسیلی موجود، بنابر تفاوت‌هایی در خصوصیات احتراق، شود. برای اینکه احتراق اکسیژنی در نیروگاههای موجود به کار برده شود، یک رقیق‌کننده گرمایی نیاز است تا جایگزین نیتروژن در هوا شود. اکسیژن به دست آمده از جدایش هوا با گاز خروجی بازیافت‌شده مخلوط می‌شود تا تقریباً خصوصیات احتراق هوایی به دست آید.

برای اینکه احتراق اکسیژنی یک تکنولوژی تولیدنیرو به صرفه محسوب شود، منابع اکسیژن خالص با هزینه کم موردنیاز است. در اغلب موارد که در بسیاری اوقات پیشنهاد می‌شود، یک واحد جدایش تبرید هوایی برای ذخیره‌سازی اکسیژن با خلوص بالا در بویلر به کار رود. این تکنولوژی در دسترس از لحاظ تجاری، نیازمند سرمایه و انرژی بالایی می‌باشد و می‌تواند هزینه برق نیروگاههای زغال‌سوز را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش دهد و به علاوه باعث افت راندمان کلی نیروگاه شود. با این حال، تکنولوژی‌های جدید تحت توسعه در حال حاضر، مانند غشاءهای انتقال یونی و اکسیژنی، پتانسیل کاهش هزینه تولید اکسیژن را دارند.

مانع قابل برداشت دیگری در مفهوم احتراق اکسیژنی تحت توسعه، فرآیند احتراق حلقه شیمیایی است. حلقه شیمیایی احتراق را به عکس‌العمل‌های کاهش و اکسایش جداگانه تقسیم می‌کند. یک اکسید فلزی (برای مثال: آهن، نیکل، مس یا منگنز) به عنوان اکسیژن‌بری که اکسیژن را در یک فرآیند کاهش اتمسفر رها می‌کند و اکسیژن با سوخت واکنش انجام می‌دهد. سپس فلز بازیافت‌شده و به محفظه اکسیداسیون، جائیکه اکسید فلزی دوباره از طریق برقراری تماس با هوا تولید می‌شود، برمی‌گردد.

مزیت استفاده از دو محفظه برای فرآیند احتراق این است که Co_2 غلیظ می‌شود، بنابراین آب جدا می‌شود، و با گاز نیتروژن رقیق نخواهدشد. منفعت این فرآیند این است که هیچ نیروگاه جدایش هوا یا ابزار جدایش Co_2 خروجی موردنیاز نخواهدبود. مرکز تحقیقاتی انرژی آمریکا در حال حاضر بر روی پروژه‌های کنترل گسیل Co_2 احتراق اکسیژنی درباره هریک از روش‌های ذکرشده در بالا سرمایه‌گذاری کرده است. این R&D همچنین در مراکز دیگری مانند سازمان‌های تحقیقاتی و نهادهای دانشگاهی به اجرا درآورده می‌شود.

در زیر به برخی از پروژه‌های تعریف‌شده، اشاره می‌شود:

- خالص‌سازی گاز خروجی با بکارگیری واکنش‌های SO_x/NO_x در طول متراکم‌سازی Co_2 به دست آمده از احتراق سوخت اکسیژنی
- خالص‌سازی گاز خروجی احتراق–اکسیژنی با گسیل‌های نزدیک به صفر

- توسعه بویلرهای احتراق اکسیژنی برای اشتعال مماسی
- توسعه مواد بویلر احتراق اکسیژنی
- توسعه تکنولوژی احتراق اکسیژنی با هزینه مناسب برای به روز رسانی بویلرهای زغال‌سوز

- متراکم‌سازی دی‌اکسیدکربن:

Co_2 جذب‌شده از یک نیروگاه نیاز است تا از فشار نزدیک به اتمسفر به فشار بین ۱۵۰۰ psi و ۲۲۰۰ psi متراکم شود، برای اینکه به خط لوله انتقال یابد، سپس به یک محل تفکیک زیرزمینی انتقال یابد. متراکم‌سازی Co_2 به معنی بارتوانی کمکی بزرگ بالقوه بر روی سیستم کلی نیروگاه می‌باشد. متراکم‌سازی Co_2 با استفاده از یک کمپرسور سانتریفیوژ شش مرحله‌ای با یک خنک‌کاری بین مرحله‌ای که نیازمند یک بار کمکی تقریباً ۷/۵ درصد خروجی توان کلی از یک فشار زیر بحرانی، در نیروگاه زغال‌سوز می‌باشد، مراکز تحقیقاتی انرژی آمریکا بودجه R&D را برای توسعه روشهای مدرن که می‌توانند به شدت نیاز به متراکم‌سازی Co_2 را کاهش دهند، تخصیص می‌دهد.

- راههای ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن:

- *ذخیره‌سازی ارضی[1]:*

تفکیک کربن ارضی به صورت مقری برای ذخیره Co_2 در آرایشات زیرسطحی تعریف می‌شود، به طوریکه از طریقی به طور دائم ذخیره باقی بماند. به طور اساسی، آرایش‌ها یا ساخت‌های صخره‌ای زیرزمینی با ویژگی‌های معلوم می‌توانند برای ذخیره دی‌اکسیدکربن مورداستفاده باشند، بسیاری از این ساخت‌ها پیش از این دی‌اکسیدکربن را برای میلیون‌ها سال ذخیره کرده‌اند. وزارت انرژی آمریکا، ۵ نوع از آرایشات زیرزمینی را برای تفکیک کربن ارضی سرمایه‌گذاری کرده است، که هرکدام چالش‌ها و فرصت‌های متفاوت مربوط به خود را دارند:

۱- ذخایر گاز طبیعی و نفت

۲- لایه‌های نازک زغال‌سنگ[2] غیرقابل استخراج‌شدنی عمیق

۳- آرایش‌های نمکین[3] عمیق (لایه‌هایی از صخره‌هایی متخلخل که با شوراب (آبی که پر از نمک است) اشباع شده‌اند).

[1] Geologic Storage
[2] Coalseam
[3] Salin

۴- سنگ‌های آلی غنی از نفت و گاز

۵- پوسته‌ها و آرایش‌های بازالت[1] (سنگ سیاه)

به طور کلی، صخره‌های متخلخلی که از اطراف توسط سنگهای غیرقابل نفوذ احاطه شده‌اند، مکان‌هایی ایده‌آل برای ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن هستند. اغلب ذخایر صخره‌ها شامل سنگ‌آهک، دالومیت[2]، یا سنگ ماسه هستند.
تحقیقات در این زمینه به دنبال درک رفتار Co_2 وقتی که در آرایشات ارضی ذخیره می‌شود، می‌باشد. تا از ذخیره‌سازی محیطی قابل قبول و امن اطمینان حاصل کند.
برای سالیان متمادی، Co_2 داخل ذخایر نفت و گاز زیرزمینی تزریق شده‌اند. زیرا Co_2 می‌تواند نفت و گاز را به طرف سطح فشار دهد. صنایع نفت و گاز از Co_2 برای بیرون کشیدن نفت و گاز به عنوان یک تکنیک تجاری استاندارد استفاده می‌کند.

- *ذخیره‌سازی خاکی*[3] :

تفکیک کربن خاکی شامل شبکه‌های جدایش Co_2 از اتمسفر توسط گیاهان با عمل فتوسنتز و تثبیت آن در توده‌های نباتی و خاک‌ها می‌باشند.
درخت‌ها، بوته‌ها، گیاهان، علف و حتی گلها می‌توانند مکان‌های ذخیره‌سازی کربن باشند. به عنوان بخشی از سیکل طبیعی، کربن در بافت‌های گیاهی بر روی زمین و در ریشه‌ها در زیرزمین ذخیره می‌شود.
کشور آمریکا اراضی زیادی از مزارع و جنگل دارد که به طور طبیعی کربن را ذخیره می‌کنند. تلاش‌های اخیر مربوط به تفکیک خاکی شامل کاشت درختان، کشاورزی کمتر و حفاظت از جنگل‌ها بوده است. تحقیقات پیشرفته‌تر شامل توسعه درختان و علف‌ها با رشد سریع، کشف ژنوم[4] میکروب‌های خاکی ذخیره‌سازی کربن، ترسیم زمین‌های معدنی و دیگر خاکهای تخریب‌شده، تحلیل تکنیکهای مدیریتی سرزمینهای مختلف، احیای جنگلها، اصلاح چراگاهها، بازیافت نواحی که خاک مرطوب دارند، و احیای سواحل رودخانه‌ای می‌باشند.

➢ تکنولوژیهای نیروگاههای جدید زغال‌سنگ

- فرآیند گازی کردن[5] :

گازی کردن یک فرآیند برای تبدیل مواد پایه کربنی (مواد خامی که در تولید یک محصول استفاده می‌شوند) مانند زغال‌سنگ به گاز سنتزی[6] (مخلوطی از مونوکسیدکربن و هیدروژن مخصوص به کاررفته در ترکیب

[1] basalt
[2] Dolomite صخره‌ای که به طورعمده از نوعی موادمعدنی تشکیل شده است.
[3] Terrestrial Storage
[4] Genome تعداد کل ژن‌های داخل یک سلول قابل تولید
[5] Gasification
[6] Synthesis Gas

شیمیایی می‌باشد) که می‌تواند به جریان‌های گاز هیدروژن و دی‌اکسیدکربن تبدیل شود و به عنوان راهی برای تولید برق تمیز و جلوگیری از آزادشدن دی‌اکسیدکربن تلقی می‌شود. هدف از این پروژه تفکیک ۹۰٪ کربن از زغال‌سنگ با حداقل تأثیر بر روی هزینه برق می‌تواند باشد. گاز سنتزی همچنین می‌تواند برای تولید سوخت‌های حمل و نقل و مواد شیمیایی به کار رود. برنامه گازی کردن هزینه‌های لوازم ر اکاهش خواهدداد، عملکرد محیطی فرآیند را اصلاح و قابلیت اطمینان فرآیند و انعطاف‌پذیری را افزایش خواهدداد.

- گازی کردن در برابر احتراق:

پیکربندی تبدیل سوخت و تولیدنیرو برای سیستم‌های گازی کردن اساساً با دیگر تکنولوژی‌ها، مانند احتراق زغال‌سنگ نرم‌شده (PC) [1]، متفاوت است. در نیروگاههای PC ، سوختهای کربن‌دار در یک مرحله در یک بویلر سوزانده می‌شوند. انرژی گرمایی بخار را تولید می‌کند، که به یک بلوک نیرو از طریق توربین بخار برای تولیدبرق، انتقال می‌یابد. گاز سنتزی برای تولیدنیرو در یک توربین گاز سوزانده می‌شود. گاز داغ خروجی از توربین گاز به یک تولیدکننده بخار، تغذیه می‌شود تا نیروی اضافی به وسیله یک توربین بخار تولیدشود، بنابراین یک نیروگاه سیکل ترکیبی خواهیم داشت. تولیدنیرو سیکل ترکیبی به طور ذاتی کاراتر از یک پیکربندی سیکل تک است، که نتیجه آن گسیل کمتر در واحد تولید برق است.

اگرچه سیستم‌های گازی کردن یک تکنولوژی جدید محسوب نمی‌شود، اغلب کاربردها بر روی محصولات منفرد، به طور کلی تولید برق یا مواد شیمیایی، تمرکز کرده‌اند. برای تولید جدیدی از سیستم‌های گازی‌شده، استراتژی IGCC پیشرفته بر روی ارتقاء انعطاف‌پذیری تکنولوژی گازی کردن در رویارویی با چالش‌های محیطی و اقتصادی بازارهای در حال رشد جدید متمرکزشده است.

برنامه IGCC پیشرفته برای توسعه تکنولوژی‌های نوین و جدید طراحی شده است که می‌تواند برق را از زغال‌سنگ با گسیل‌های نزدیک به صفر و یک افزایش کمینه در هزینه‌های مشتریان تولیدکند. تکنولوژی‌های پیشرفته بر پایه گازی شدن، برای کاهش هزینه‌های سرمایه و عملکرد و نگهداری (O&M) در نیروگاههای IGCC پایه زغال‌سنگ توسعه یافته‌اند، تا راندمان حرارتی‌شان اصلاح شده و به یک گسیل اتمسفری نزدیک به صفر برای تمامی آلودگی‌ها، شامل دی‌اکسیدسولفور (So_2) ، Nox ، جیوه (Hg) و Co_2 برسند.

مؤلفه‌های برنامه کلیدی که در این راستا تعریف شده‌اند:

☑ مفاهیم گازی کردن پیشرفته که بر روی توسعه مبدل‌های گازی[2] پیشرفته، مواد پیشرفته (مانند مواد نسوز)، پمپ‌های تغذیه زغال‌سنگ فشار بالا، گازی کردن زغال‌سنگ با سوخت زیستی، و تجهیزات فرآیند نوین تمرکز می‌کند.

[1] Pulverited Coal
[2] gasifier

☑ پالایش و تصفیه گاز که بر روی توسعه فرآیندهایی که در دماهای معتدل تا بالا عمل می‌کند، تمرکز یافته‌اند. حلال‌ها، واکنشگرها و مفاهیم فیلترهای هیبرید سیلکونی[1] پیشرفته سرمایه‌گذاری شده‌اند.

☑ جدایش گاز پیشرفته بر روی توسعه تکنولوژی‌های جدایش H_2/Co_2 و هوا تمرکز یافته‌اند که به طور بالقوه ارزان‌تر و کارآمدتر از تکنولوژی‌های مرسوم می‌باشند. زمینه‌های سرمایه‌گذاری شامل غشاء حامل یونی (ITM) برای تولید اکسیژن، و روش‌های حلقه شیمیایی و غشاها برای تولید جریان‌های خالص H_2 و Co_2 می‌باشد.

- جذب دی‌اکسیدکربن قبل از احتراق:

این تکنولوژی مرتبط با نیروگاههایی با فرآیند گازی‌شدن است. جائیکه سوخت با به کارگیری حرارت تحت فشار در حضور بخار تبدیل به مؤلفه‌های گازی می‌شود. Co_2 می‌تواند از گاز ترکیبی که از راکتورهایی که زغال‌سنگ را به گاز تبدیل می‌کنند ساتع می‌شود، و قبل از اینکه با هوا در یک توربین احتراق مخلوط شود، جذب شود. در اینجا دی‌اکسیدکربن به نسبت غلیظشده و در یک فشار بالا می‌باشد.
کاربردهای کوتاه‌مدت جذب دی‌اکسیدکربن از سیستم‌های قبل از احتراق احتمالاً شامل فرآیندهای جذب شیمیایی یا فیزیکی، با جدیدترین تکنولوژی که یک حلال پایه الکلی که سلکسل[2] نامیده می‌شود، خواهدبود. تحلیل‌ها نشان می‌دهند که جذب Co_2 و متراکم‌سازی آن با استفاده از سلکسل هزینه برق را در نیروگاههای IGCC که جدیداً ساخته شده‌اند حدود ۳۰ درصد افزایش می‌دهد.
فرصتهای میان‌مدت تا بلندمدت هزینه‌های جذب را کاهش می‌دهند، به طریقی که عملکرد اصلاح‌شده می‌تواند از غشاها و مواد جاذب که در حال حاضر در آزمایشگاهها در مرحله توسعه می‌باشند، استفاده شود.
بر اساس تحقیقات انجام‌شده، غشاها و جاذب‌های مایع یونی برای جذب دی‌اکسیدکربن در نیروگاهها توسعه یافته‌اند. غشاهای مایع یونی از پلیمرهایی که قابلیت انتخاب و تراوایی Co_2 را در دماهای بالا، برای کاربردهای قبل از احتراق را دارند، پیشی گرفته‌اند. واحدهای جدایی غشائی که می‌توانند به طور گزینشی منجر به نفوذ H_2 شوند و Co و Co_2 را نگهدارند، نیز برای کاربرد در نیروگاههای IGCC وعده داده شده‌اند.
در یک مبدل گازی، مقدار جریان اکسیژن O_2 در دسترس در داخل مبدل گازی باید با دقت کنترل شوند تا تنها بخشی از سوخت به طور کامل بسوزد. این فرآیند "اکسیداسیون جزئی" حرارت لازم را برای تجزیه شیمیایی سوخت فراهم می‌کنند و گاز ترکیبی (syngas) را که مرکب از هیدروژن (H_2) ، مونوکسیدکربن (Co) و مقادیر جزئی از انتخاب‌گرهای گازی می‌باشند، تولید می‌کند. سپس گاز ترکیبی در یک رآکتور

[1] Hybrid cyclone filter
[2] Selexol

تناوبی گاز–آب پردازش می‌شود، به طوریکه Co به Co_2 تبدیل شده و غلظت مولکولی H_2 و Co_2 تا ۴۰ و ۵۵ درصد، به ترتیب در جریان گاز ترکیبی (syngas) افزایش می‌یابد.
به علت اینکه Co_2 حاضر در غلظت‌های بسیار بالاتری در گاز ترکیبی نسبت به گازهای خروجی پس از احتراق می‌باشند، جذب دی‌اکسیدکربن باید هزینه کمتری در فرآیند جذب قبل از احتراق نسبت به فرآیند پس از احتراق داشته باشند. در زیر به برخی از پروژه‌هایی که در این زمینه تعریف شده‌اند، اشاره می‌شود:

- ساخت و افزایش سیستم غشائی مبنی بر پلی‌بنزیمیدازل[1] برای جذب دی‌اکسیدکربن قبل از احتراق

هدف از این پروژه ایجاد یک لایه غشائی است که از لحاظ گرمایی، شیمیایی و مکانیکی در دماها و فشارهای بالا پایدار باشد.

- جذب دی‌اکسیدکربن در بویلرهای زغال‌سنگ نرم‌شده (PC) با استفاده از بازگردش گازهای خروجی:

به دلیل اینکه نیروگاههای زغال‌سنگ نرم‌شده معمولترین نوع نیروگاهها می‌باشند، یک سیستم بازیافت Co_2 که می‌تواند بویلر این نیروگاهها را بهبود بخشد، قابلیت‌های کارایی وسیعی دارد.

- کنترل گازهای گلخانه‌ای توسط اشتعال اکسیژن در بویلرهای بستر سیالی گردشی[2] (لایه‌ای از یک جامد مایع شده، که در فرآیندهای شیمیایی و احتراق کارآمد زغال‌سنگ در تولیدنیرو استفاده می‌شود).
- جذب دی‌اکسیدکربن توسط جذب با کربنات پتاسیم

- <u>تکنولوژی فرافوق بحرانی (USF)</u>[3]:

گسیل‌های کربن تولیدشده توسط احتراق زغال‌سنگ ممکن است در آینده تا درصد بالایی جمع‌آوری‌شده و ذخیره شود. اما یک روند بهتر (برای حداقل میان‌مدت) کاهش دی‌اکسیدکربن تولیدشده از طریق تکنولوژی‌های احتراق کارآمد می‌باشد. افزایش راندمان نیروگاههای جدید با استفاده از تکنولوژی فرافوق بحرانی (ultra super critical) به طور کلی کربن کمتری در هر مگاوات–ساعت با استفاده از معادن زغال‌سنگ فراوان جهانی تولید می‌کند، در حالیکه برق تولیدشده در پائین‌ترین قیمت ممکن خود می‌باشد.
جهت دادن تکنولوژی‌ها به سمت حداقل‌سازی آلودگی‌ها به طور همزمان و احتراق سوخت از طریق راندمان نیروگاه اصلاح‌شده، هدف هر صنعت با یک وجدان محیطی می‌باشد. یک روش برای رسیدن به این هدف انتخاب لوازم تولید بخار زغال‌سوز با قابلیت کارکردن در شرایط بخار فرافوق بحرانی (USC) می‌باشد. در این دماها و فشارهای بی‌نهایت بالا یک نیروگاه زغال‌سوز می‌تواند با یک راندمان حرارتی کلی نیروگاه بالاتر

[1] Poly benzimidazol
[2] Circulating Fluidized-Bed
[3] Ultra Super Critical

از ۴۴ درصد به واسطه ارزش حرارتی بالاتر زغال‌سنگ کارکند. روند توسعه‌های آتی در تلاش‌اند تا راندمان‌های نیروگاه کلی هدف، ۴۸ درصد یا بالاتر در دهه آینده باشند.
اگر تمامی واحدهای زغال‌سوز در آمریکا توسط تکنولوژی‌های جدید احتراق زغال‌سنگ جایگزین شوند، گسیل Co_2 در بخش‌های نیروی زغال‌سنگ می‌تواند به ۲۵ درصد یا تقریباً ۵۰۰ میلیون تن متریک هر ساله افت پیداکند.
یکی از ویژگیهای کلیدی این تکنولوژی نسبت به تکنولوژی IGCC راندمان آن می‌باشد. یک نیروگاه USC با شرایط بخار بالاتر از ۳۵۰۰ psi و ($^{\circ}C$ ۵۹۳) ۱۱۰۰ F کار می‌کند. برای مقایسه، اگر یک واحد فوق بحرانی مرسوم که در دماهای بخار ۱۰۰۰ تا ۱۰۵۰ F و تراز فشار نمونه تا ۳۵۰۰ psi را درنظر بگیریم، نیازمند تصمیم‌گیری با دقت برای پیکربندی لوازم است.
برای این تکنولوژی باید از بهترین مواد پیشرفته برای کارکردن به طور قابل اعتماد تحت این فشارها و دماها استفاده کرد. همچنان طراحی یک روتور جوش داده شده برای تطبیق مواد با محیط عامل بی‌نهایت موردنیاز است که شامل طراحی توربین‌های فشاربالا (HP) و فشارمیانی (IP) می‌باشد. (طراحی توربین بخار به طور کارآمد سیکل بخار و پارامترهای عامل را بهینه می‌کند).

➢ زمینه گسیل NO_x

از لحاظ تجاری تکنولوژی‌های در دسترس برای کاهش اکسیدهای نیتروژن (NO_x) در بویلرهای زغال‌سوز می‌توانند نیازهای تنظیم‌شده امروز مرتبط با صنعت را پاسخ دهند. مشعل‌های NO_x پائین[1] (LNB) و تکنولوژی کاهش تحریک‌کننده انتخابی[2] (SCR) توانسته‌اند گسیل صدها نیروگاه را به سطوح تحت اختیار، برسانند. برای تعدادی از نیروگاهها، با این حال، این تکنولوژیها نتوانستند حدود سخت‌گیرانه‌تری را با قیمت قابل قبول لحاظ کنند. نیازهای قانونی و تنظیمی معمولاً به سمت توسعه تکنولوژیهای NO_x برای نیروگاههای زغال‌سوز موجود رانده می‌شوند.
در آمریکا، هدف کوتاه‌مدت تحقیقات جاری، توسعه تکنولوژی‌های پیشرفته درون کوره برای نیروگاههای زغال‌سوز می‌باشد، به طوریکه به یک حفظ هزینه ترازبندی‌شده حداقل ۲۵ درصد در مقایسه با تکنولوژی SCR مدرن برسد. هدف برنامه‌های بلندمدت توسعه ترکیبی از تکنولوژیهای کنترل SCR و درون کوره پیشرفته می‌باشد.

- تعریف NO_x :

[1] Low-NOX Burner
[2] Selective Catalytic Reduction

اکسید نیتروژن (NO_x) یک عبارت عمومی به کاررفته برای توصیف گروهی از گازهایی است که شامل مقادیر مختلفی از نیتروژن و اکسیژن می‌باشند. NO_x در دماهای بالا در طول احتراق سوخت فسیلی تشکیل می‌شود. گسیل‌های مستقیم NO_x از نیروگاهها شامل دی‌اکسید نیتروژن(No_2) ، نیتروژن منواکسید (N_2o) و اکسید نیتریک (No) می‌باشد. گسیل‌های NO_x همچنین می‌توانند با مؤلفه‌های دیگر در اتمسفر واکنش دهند تا محصولات ثانویه که شامل ازن (O_3) ، اسید نیتریک (HNo_3) و ذرات نیترات می‌باشند، تشکیل شوند.

تعدادی تکنولوژیهای کنترل NO_x وجود دارند که برای نیروگاههای زغال‌سوز توسعه یافته‌اند. این تکنولوژیهای کنترل NO_x می‌توانند در دو مقوله وسیع گروه‌بندی شوند:

- اصلاحات احتراق
- فرآیندهای پس از احتراق

اصلاحات و تعدیل‌سازی احتراق، مخلوط هوا و سوخت را راهبری می‌کنند، تا به موجب آن دما و توربولانس اولیه کاهش یافته، که باعث می‌شود تشکیل NO_x در داخل بویلر به حداقل برسد.

کنترل پس از احتراق بر پایه فرآیندهای شیمیایی مختلف می‌باشد تا NO_x تشکیل‌شده در داخل بویلر به نیتروژن خالص تبدیل شوند.

علاوه بر فرآیندهای کنترل NO_x ، سیستم‌های کنترل احتراق پیچیده‌تر با استفاده از شبکه‌های عصبی در حال توسعه می‌باشد تا گسیل‌های NO_x از طریق بهینه‌سازی عملکرد کلی بویلر را بیشتر کاهش دهند.

هزینه‌های کنترل گسیل NO_x مهم می‌باشند و می‌توانند از ۲۰ درصد کل هزینه برای کنترل‌های محیطی در نیروگاههای زغال‌سوز امروزی تجاوز کنند. هزینه‌های سرمایه و علمیاتی کنترل‌های SCR به نسبت بالا می‌باشند و نمی‌توانند هزینه مناسبی برای نیروگاههای کوچکتر، قدیمی‌تر یا حتی نیروگاه بار پایه[1]ای بزرگتر داشته باشند. علی‌الخصوص، هزینه‌های سرمایه بالا برای SCR می‌تواند هزینه کنترل بسیار بیشتری را نسبت به قیمت‌های مجاز NO_x جاری و برنامه‌ریزی‌شده برای واحدهایی با ضرایب ظرفیت به نسبت پائین نتیجه دهد.

برنامه R&D ، NO_x وزارت انرژی بر روی توسعه کنترل‌های NO_x درون کوره پیشرفته تمرکز دارد تا بتواند به عملکرد SCR ، اما با هزینه به شدت پائین‌تر نزدیک شود. به علاوه، تکنولوژی‌های تحت توسعه عبارتند از:

۱- درنظرگرفتن اثرات صرف‌نظرشده در موضوعات کلی نیروگاه

۲- به کار بردن در یک محدوده وسیعی از انواع و اقسام بویلرها

۳- توانایی نگهداری اجرا بر روی محدوده وسیعی از پایگاه‌های زغال‌سنگ و شرایط عملیاتی

همان‌طور که قبلاً هم گفته شد، تکنولوژیهای کاهش NO_x می‌توانند به دو گروه طبقه‌بندی شوند:

[1] Base load

اصلاحات و تعدیل‌سازی احتراق و فرآیند پس از احتراق.
در زیر برخی از تکنولوژیهای کنترل مهمتر به طور مختصر توضیح داده شده است:

- اصلاحات احتراق:

○ مشعل‌های NO_x پائین:

LNB ها برای کنترل مخلوط سوخت و هوا طراحی شده‌اند تا مقادیر احتراق مرحله‌ای[1] را به دست آورند. این احتراق مرحله‌ای هم درجه حرارت شعله و هم غلظت اکسیژن را در طول برخی از فازهای احتراق کاهش می‌دهند، در عوض، NO_x حرارتی[2] پائین‌تر و تولید NO_x سوختی[3] را کاهش می‌دهند.

○ هوای فوق آتش[4] (OFA) :

OFA هوایی است که به درون محفظه در بالای ناحیه احتراق معمول تزریق می‌شود. به طور کلی هرگاه OFA به کارگرفته شود، مشعل‌ها در یک نسبت هوا به سوخت نرمال پائین‌تری کار می‌کنند، که تشکیل NO_x را کاهش می‌دهد. OFA ، که اغلب در تماس با LNB ها استفاده می‌شود، فرآیند احتراق را در یک درجه حرارت پائین‌تر تکمیل می‌کند.

○ دوباره مشتعل کردن[5]:

در فرآیند دوباره مشتعل‌سازی، بخشی از سوخت ورودی به بویلر (به طور نمونه ۱۰ تا ۲۵ درصد) در یک ناحیه دوباره مشتعل شده مجزا اضافه می‌شود. شرایط کاهش سوخت غنی‌شده در این ناحیه منجر به کاهش NO_x تشکیل‌شده در ناحیه احتراق نرمال می‌شود. OFA در بالای ناحیه دوباره مشتعل شده برای کامل‌سازی احتراق تزریق می‌شود. بنابراین، با اشتعال دوباره سه ناحیه در کوره به وجود خواهدآمد: ۱- یک ناحیه احتراق با نسبت هوا به سوخت تقریباً نرمال. ۲- یک ناحیه دوباره مشتعل شده، که سوخت اضافه‌شده شرایط سوخت غنی‌شده[6] را نتیجه می‌دهد.۳- یک ناحیه خستگی، که OFA احتراق را کامل می‌کند.
زغال‌سنگ، نفت یا گاز می‌توانند به عنوان سوخت دوباره مشتعل شده به کار روند.

---

[1] Staged Combustion
یکی از تکنولوژیهای مرتبط با کاهش NO_x است که منجر به کاهش NO_x گرمایی در فرآیندهای صنعتی می‌شود.
[2] Thermal NO_x:
NO_x حرارتی به NO_x تشکیل‌شده از طریق اکسیداسیون دما بالا از نیتروژن دواتمی یافت‌شده در هوای احتراق اشاره می‌کند.
[3] Fuel NO_x:
منبع اصلی تولید NO_x از سوختهایی حامل نیتروژن مانند زغال‌سنگ و نفت، تبدیل نیتروژن داخل سوخت به NO_x در طول احتراق است.
[4] Over Fire Air
[5] reburning
[6] High Fuel

- باز چرخش گازهای دودکش[1] (FGR) :

در بخشی که گاز خروجی به طرف کوره دوباره به گردش درآورده می‌شود، می‌تواند با اصلاح شرایط در ناحیه احتراق (کاهش درجه حرارت و کاهش غلظت اکسیژن) تشکیل NO_x را کاهش دهد. FGR همچنین به عنوان یک حامل به کار می‌رود تا سوخت را به ناحیه دوباره مشتعل شده تزریق کند تا نفوذپذیری و آمیختگی افزایش یابد.

- اصلاحات کاربردی:

عوض کردن پارامترهای مؤثر بویلر به طور معین می‌تواند شرایطی را در کوره ایجاد کند که تولید NO_x کاهش یابد. نمونه‌هایی شامل مشعل‌های خارج از سرویس[2] (Boos) ، کاهش هوای اضافی[3] (LEA) ، اشتعال بایاس‌شده[4] (BF) ، می‌شود. در Boos ، مشعل‌های انتخاب‌شده با متوقف کردن جریان سوخت از سرویس جدا می‌شوند، اما جریان هوا برای ایجاد احتراق مرحله‌ای در کوره نگه داشته می‌شود. LEA شامل عملیات در پائین‌ترین سطح هوای اضافی ممکن بدون جلوگیری از احتراق خوب می‌باشد، و BF شامل تزریق سوخت بیشتر به برخی از مشعل‌ها (به طور نمونه مشعل‌های پائین‌تر) می‌باشد، در شرایطی‌که سوخت در دیگر مشعل‌ها (به طور نمونه مشعل‌های بالایی) کاهش یافته تا شرایط احتراق مرحله‌ای در کوره ایجاد شود.

- <u>رفتار پس از احتراق:</u>

- کاهش تحریک‌کننده انتخابی[5] (SCR) :

در SCR ، یک مخزن کاتالیزور در جریان پائینی کوره نصب می‌شود. آمونیاک (NH_3) به درون گاز دودکش قبل از اینکه از بین کاتالیزور با بستر ثابت عبور کند تزریق می‌شود. کاتالیزور یک واکنش را بین NO_x و NH_3 برای تشکیل نیتروژن و بخار آب راه‌اندازی می‌کند.کاهش NO_x به اندازه ۹۰ درصد قابل وصول خواهد بود، اما طراحی و عملکرد دقیق، مانند کنترل میزان واکنشگر و اطمینان از آمیختگی مطلوب، برای اداره گسیل‌های NH_3 ضروری می‌باشد.

- کاهش غیرتحریک‌کننده انتخابی[6] (SNCR) :

در SNCR ، یک عامل کاهنده (به طور نمونه NH_3 یا اوره) به درون کوره در بالای ناحیه احتراق، جائیکه با NO_x همانند مورد SCR واکنش می‌دهند، تزریق می‌شود. ضرائب بحرانی در به

[1] Flue Gas Recirculation
[2] Burners-out-of -service
[3] Low excess air
[4] Biased firing
[5] Selective Catalytic Reduction
[6] Selective Noncatalytic Reduction

کار بردن SNCR ، مدت زمان کافی برای اقامت سوخت در محفظه احتراق در محدوده دمایی مناسب و توزیع یکنواخت و آمیختگی عامل کاهنده در میان مقطع عرضی کل کوره می‌باشد.

- فرآیندهای هیبرید:

SNCR و SCR می‌توانند با یکدیگر با برخی مزایای کمک‌کننده استفاده شوند. همچنین دو فرآیند می‌توانند در اتصال با LNB ها استفاده شوند.

➢ تکنولوژی‌های در راستای مواد مدرن پیشرفته برای انرژی‌های فسیلی

وزارت انرژی آمریکا پروژه‌هایی را در راستای توسعه قابلیت‌های محاسباتی، برای طراحی موادی با خصوصیات گرمایی، شیمیایی و مکانیکی منحصر به فرد لازم برای تحمل دماهای بالا و محیط‌های بحرانی سیستم‌های انرژی پیشرفته، تعریف کرده است. این سیستم‌های ابتکاری هم برای افزایش کارایی سوخت و هم برای تولید مقادیر گسیل پائین مانند دی‌اکسیدکربن می‌باشند.
یک راه مؤثر برای شتاب دادن به تحقیقات استفاده از پیشروی‌ها در مدل‌سازی مواد و محاسبات و ارتباطات با عملکرد بالا برای راه‌بری آزمایشات است. همزمان با ادامه تلاش برای کاهش هزینه‌ها و زمان چرخه طراحی در ساخت تجهیزات نیروگاهی، نیاز بیشتری برای نمایش داده‌های خصوصیات مواد با عملکرد کارآمد، وجود خواهد داشت.
در زیر به پروژه‌هایی که در این زمینه تعریف شده‌اند، به طور مختصر اشاره می‌کنیم:
۱- تقابل محیطی-خستگی-خزش را در مواد روتور توربین بخار برای نیروگاههای سوخت زغالی فرافوق بحرانی پیشرفته (A-USC)[1] مدل خواهندکرد. این کار، الگوریتم‌های محاسباتی را برای پیش‌بینی‌های خصوصیات آلیاژی نشان داده و مکانیزم‌های ترکیبی کلیدی را برای تخریب‌های تقابل محیط-خستگی-خزش تعیین و مدل می‌کند.
این تکنولوژی توسعه‌یافته، اجرا و طراحی سریعتر مواد، تولید بهتری از اجزاء مقیاس بزرگتر، و پیش‌بینی‌هایی با دقت بیشتر با طول عمر بالاتر را برای سیستم‌های تولید انرژی فسیلی ممکن می‌سازد.
۲- پروژه‌ای در راستای محاسبات ایجاد و توسعه یک کلاس جدیدی از موادی به نام MAX phases تعریف شده است، که گذار لایه‌ای[2] از کاربیدهای فلزی[3] یا نیتریدها[4] با ترکیب رقیقی از خصوصیات فلزی و سرامیکی می‌باشد. خصوصیات مطلوب این آلیاژ پایدار با ویژگی‌های ترمودینامیکی، در تحقیق بر روی کامپوزیت‌ها و فازهای جدید جستجو خواهدشد که می‌تواند در تولید آینده در سیستم‌های توان انرژی فسیلی به کار رود.

[1] Advanced ultra super critical
[2] Layered transition
[3] Metal carbid
[4] Nitrid

۳- پروژه دیگری که تعریف شده است، ابزار و الگوریتم‌های محاسباتی مدرن موردنیاز در کمک به بهینه‌سازی خصوصیات خزشی آلیاژهای با دمای بالا برای کاربردهای انرژی فسیلی را توسعه داده و یکپارچه خواهدکرد. این پروژه، در انتها، به یک ادراک بنیادی از حلقه عملکرد-خصوصیت-ساختار میکروسکوپی-پردازش، برای رفتار خزشی سوپر آلیاژهای آهن‌دار جدید که توسط ترکیبات فلزی B_2 و یا L_{21} تقویت شده‌اند، خواهد رسید.
۴- پروژه بعدی، در زمینه ارتقاء، تثبیت و اعتبار بخشیدن به قابلیت‌های محاسباتی برای تحلیل پیشگویانه از تقابل‌هایی که منجر به تفکیک در مرز بلور آلیاژهای نسوز می‌شود، تعریف شده است. در واقع، این تفکیک می‌تواند پیوستگی مرز بلور را تضعیف کرده و به طور مستقیم منجر به شکست داخل دانه‌ای ترد شود. توانایی محاسباتی شامل مکانیک کوانتوم[1] (QM) برپایه پتانسیل‌های ReaxFF ترکیب‌شده با یک کد دینامیک مولکولی (MD) منبع باز[2]، به انضمام مدل‌کننده LAMMPS-MD ، می‌باشند.

➢ تکنولوژی‌های مرتبط با بویلرها و مولدهای بخار بازیافت حرارتی (HRSG) [3]

- تکنولوژی‌های نوین درخصوص تمیزکاری و پاک‌سازی دوده از بویلرها:

دو نوع بویلر وجود دارد: بویلرهای لوله آبی[4]- بویلرهای لوله آتشی[5]
در بویلرهای لوله آبی، آب در لوله‌ها جریان دارد و برای رسیدن به بخار فشار بالا، حرارت می‌بینند. در اغلب مناطق، در نیروگاههای با بویلر لوله آبی مهندسین ناظر باید تمام‌وقت در دسترس باشند و نگهداری آنها معمولاً توسط پرسنل داخلی انجام می‌پذیرد.
در بویلرهای لوله آتشی آب لوله‌ها را احاطه کرده و گازهای داغ در داخل لوله‌ها در حرکت است. این پدیده منجر به جمع شدن ته‌نشین‌ها و دوده درون لوله‌ها می‌شود. اهمیتی ندارد که چه نوع سوختی (گاز، نفت، زغال‌سنگ یا چوب) استفاده می‌شود. در هر صورت لوله‌ها نیاز است تا تمیز شوند. این نوع از بویلر معمولاً در مدارس، بیمارستان‌ها، آپارتمان‌ها، ساختمان‌های اداری، مراکز خرید، هتل‌ها، کارخانجات، یگان‌های نظامی و برخی از کشتی‌ها یافت می‌شوند.

اغلب بویلرهای لوله آبی کمابیش دارای لوله‌هایی با موقعیت عمودی می‌باشند. لوله‌های بویلرهای لوله آبی اغلب دارای خمیدگی هستند که تمیزکاری آنها سخت می‌کند. این بویلرها عموماً دارای رسوباتی می‌باشند که به سختی به لوله‌ها می‌چسبد. میزان و طبیعت این رسوبات را کیفیت آب و اثربخشی پاک‌سازی و گندزدایی آب، تعیین می‌کند. ته‌نشست‌ها زمانیکه آب حرارت می‌بیند و جامدات معلق در آب به طرف سطوح گرم رسوب می‌کنند، شکل می‌گیرند.

- **سیستم تمیزکاری دوده‌ی صوتی[1]:**

[1] Quantum Mechanics
[2] Open-source Molecular Dynamic (MD)
[3] Heat recovery steam generator
[4] Water tube boiler
[5] Fire tube boiler

این سیستم برای دمش دوده[2] با استفاده از امواج شوک کنترل شده نصب می‌شود، که براساس هوای فشرده می‌باشد و تمیزکاری بویلرهای نصب‌شده را به طور مداوم تضمین می‌کند. استفاده از این سیستم راندمان و خروجی بویلر را بالا می‌برد. تعطیل کردن‌های متعدد نیروگاهی برای تمیزکاری و پاک‌سازی بویلرها می‌تواند به این وسیله اجتناب شود و مصرف روغن در حین وقفه‌های تمیزکاری کاهش می‌یابد. علاوه براین سیستم دارای مزایای زیر نیز می‌باشد:

- عدم نیاز به تمیزکاری دستی بویلرها، که یک کار خطرناک و دشوار محسوب می‌شود.
- کاهش استفاده از بویلرهای پشتیبانی برای بار حداکثر[3]
- مصرف سوخت کمتر در هر مگاوات، که نتیجه آن گسیل Co_2 پائین‌تر است.
- هزینه‌های عملیاتی بسیار پائین (تنها مصرف هوای فشرده)
- بازگردانده شدن سرمایه‌گذاری انجام‌شده در ۴ تا ۲۴ ماه

○ تمیزکننده‌های دوده صوتی فرکانس پائین:

سیستم تمیزکاری دوده صوتی با فرکانس پائین، در تمامی جهات، در محدوده فرکانسی بین ۱۵ تا ۳۰ هرتز کار می‌کنند، که فرکانس آنها زیر یا اندکی بالاتر از محدوده شنوایی گوش انسان قرار دارد. با اضافه شدن صوت به جریان گاز، ذرات درون گاز شروع به نوسان می‌کنند و اغتشاش افزایش می‌یابد، بنابراین از نشست و تشکیل دوده جلوگیری می‌کند.

این سیستم تمیزکاری برای تمیزکردن HRSGها، بویلرهای نفت‌سوز، گرم‌کن‌های نفتی حرارتی، کاتالیزورها، دودکش‌های گاز خروجی و کوره‌های آشغال‌سوز که دارای کاربردهای دریایی هستند، و اکونومایزرها[4]، پیش‌گرم‌کن‌های هوا، ته‌نشین‌کنندگان الکترواستاتیک، مجراهای گازی که دارای کاربردهای صنعتی و نیروگاهی می‌باشند، به کار می‌روند.

صوت فرکانس پائین چندین مزیت در هنگامیکه برای رفع دوده استفاده می‌شود، دارد که شامل موارد زیر است:

- ایجاد دامنه جابجایی نوسان ذرات گازی بزرگتر نسبت به صوت فرکانس بالا
- جذب پائین‌تر
- طول موج بلندتر–ناحیه کاملتری را برای تمیزشدن پوشش می‌دهد

---

[1] Sonic soot cleaning
[2] Soot blowing
[3] Peak load
[4] Economiter

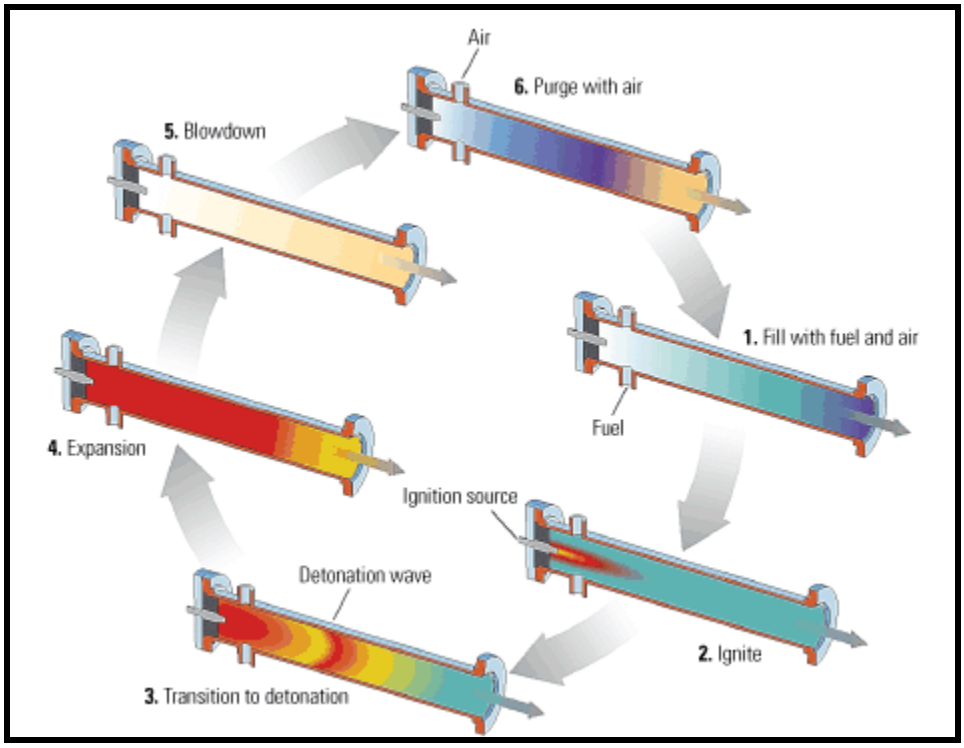
- پخش شدن در کلیه جهات و دسترسی به نواحی که ممکن نیست توسط دمندگان دوده بخار قدیمی قابل دستیابی باشد.

تمیزکنندگان صوتی با هوای فشرده ۵ تا ۸ بار کار می‌کنند. آنها به طور معمول به مدت ۲ تا ۵ ثانیه با یک چرخه زمانی ۱ تا ۵ دقیقه عمل می‌کنند.
مصرف هوای سیستم تمیزکاری صوتی با اندازه آن و چگونگی تکرار شدن واحد در عملیات تغییر می‌کند. واحدهای کوچکتر تقریباً Nm^3/h ۲۰ تا Nm^3/h ۵۰، درحالیکه واحدهای بزرگتر تقریباً Nm^3/h ۴۰ تا Nm^3/h ۱۰۰ مصرف می‌کنند.
از طریق مدل‌سازی آکوستیک، اندازه تمیزکننده صوتی بهینه، محل و فرکانس صوتی برای متمرکزکردن صوت در ناحیه‌ای که بیشترین اثرات تمیزکاری مطلوب است، تعیین می‌شود. یک مدل آکوستیکی می‌تواند با استفاده از اندازه‌گیری‌های صوتی بازبینی شود.
مکان نصب سیستم تمیزکاری صوتی با درنظرگرفتن نتایج مدلسازی آکوستیک و امکانات فضایی تعیین می‌شود. یک حفره در دیواره بویلر بریده می‌شود و مفصل ضمیمه[1] به آن جوش می‌شود، این فرآیند تنها کمتر از ۴ ساعت طول می‌کشد. مفصل ضمیمه در صورتی که اجزاء باقیمانده پس از آن نصب شوند، کور می‌شود.
مصرف قطعات یدکی سیستم تمیزکاری دوده صوتی به دلیل کم بودن اجزاء و طراحی ساده آن پائین است– فنر و پیستون تنها قسمتهای محرک آن می‌باشند. طریقه نگهداری، که هر سه ماه یکبار توصیه می‌شود، آسان می‌باشد و تنها یک ساعت زمان می‌برد.

○ تحت کنترل درآوردن امواج انفجاری[2] برای تمیزکردن لوله‌های بویلر:

نحوه کار آن به این صورت می‌باشد که موج انفجاری با سرعت مافوق صوت[3] درون محفظه احتراق حرکت می‌کند و به سرعت، یک مرتبه به یک موج ضربه انفجاری[4] تبدیل می‌شود، محفظه را ترک می‌کند و در فضای باز (یا درون یک سازه بزرگی مانند بویلر) تکثیر می‌یابد. موج ضربه انفجاری–که همچنین به صورت موج فشار، یک ضربه فشار، یا یک ضربه ساده شناخته می‌شود–انرژی موردنیاز را برای جداکردن رسوبات و خاکستر ته‌نشین‌نشده در گذرگاه پشتی بویلرها دارد.
بنابراین فرآیند ایجاد یک انفجار شامل تزریق مخلوطی از سوخت و اکسیدکننده به درون یک محفظه، آتش زدن این مخلوط، تبدیل موج احتراق به دست آمده به یک موج انفجاری، و سپس پاک‌سازی با هوا تا برای سیکل بعدی آماده شود.

[1] Attachment socket
[2] Detonation waves
[3] Supersonic
[4] Blast wave



شکل (۱-۱۲)- سیکل عملکرد سیستم شوک

این موج فشاری هیچ اثر منفی یا اثرات منفی کمی بر روی فرسایش لوله دارد، و فرکانس عملیاتی موردنیاز آن بسیار کم‌تر از شیپوره‌های آکوستیک[1] می‌باشد.

تا به امروز، تمامی کاربردها خارج از دیواره بویلر نصب می‌شوند و موج انفجاری ضربه‌ای از طریق یک منفذ[2]، هدایت می‌شود. مزیت این نوع از نصب این است که محفظه احتراق می‌تواند در طول دیواره بویلر نصب یا اطراف سازه‌های خارجی مسیریابی شود بدون اینکه ریسک آسیب رسیدن به لوله بر اثر خمیدگی، سوراخ شدن یا شکستن درحین عملیات را داشته باشد. مزیت مهم دیگر این است که امواج فشاری کنترل می‌شوند و بهنگام به کار می‌روند، بنابراین قطعی برق غیرضروری برطرف می‌شود. اثرات بلندمدت آن بر روی فرسایش لوله حداقل می‌باشد، گسیل‌های نیروگاه پائین می‌آید، دمای گاز خروجی کاهش می‌یابد و راندمان کلی بویلر افزایش می‌یابد.

مقایسه ضربه انفجاری با دمندگان دوده هوایی یا بخاری قدیمی:

- زمان‌بندی استانداردی که برای تمیزکاری انفجاری درنظرگرفته می‌شود ۱۰ ضربه در هر ۱۲ ساعت یک‌بار می‌باشد که هر ضربه تنها چند میلی‌ثانیه طول می‌کشد، در حالیکه دمندگان دوده به طور نمونه نیازمند یک سیکل ۶ دقیقه‌ای در هر ۴ ساعت به ازای هر دمنده دوده می‌باشند. تمیزکاری انفجاری، در نگهداری مداوم، پاک‌سازی مفید و رفع ته‌نشین‌های مستقر در حین نصب اولیه، موفقیت‌آمیز عمل کرده است. در صورتی

[1] Acoustic horn
[2] Penetration

دمندگان دوده بیشتر برای نگهداری مداوم استفاده می‌شود ولی در رفع خاکستری که جمع و تبدیل به رسوب گشته غیرمؤثر عمل می‌کنند.
– محترق‌کنندگان تمیزکاری انفجاری[1] در خارج از بویلر مستقر می‌باشند، درحالیکه دمندگان دوده باید درون بویلر به حرکت درآیند. سیستم شوک نیازمند به دو روال نگهداری هستند: جایگزینی فیلترهای سوخت/اکسیدکننده و جایگزینی شمع‌های آتش‌زنه محترق‌کننده[2]– که مشابه سرویس روزمره اتومبیل شما می‌باشد. در مقایسه با نگهداری استاندارد موردنیاز برای دمندگان دوده که منجر به خرابی یا فرسایش نازل‌ها، آب‌بندی کردن جعبه دنده، پیچ و تاب خوردن، ذوب شدن یا پوسیدگی لوله‌ها و تخریب لوله‌های تغذیه می‌شوند و نیازمند توجه دائم هستند.

- تکنیک‌های شناسایی نشتی داخلی هوای بویلر:

نشت داخلی هوای بویلر یک دزد مخفی عملکرد نیروگاه است و همچنین می‌تواند تاوان‌هایی را در ظرفیت، قابلیت اطمینان و نرخ حرارت به دنبال داشته باشد. منابع نشت هوای داخلی بویلر به سختی قابل شناسایی هستند و دقت تشخیص اغلب موقتی است. اما در صورت تشخیص مزایای بسیاری دارد. ازجمله:

- کاهش هزینه‌های سوخت در تمام نیروگاه بخار
- افزایش توانایی تولید
- افزایش نرخ گرمایش هوا
- کاهش گسیل So_2, Co_2 و جیوه در هر مگاوات
- افزایش قابلیت اطمینان به طور بالقوه
- کاهش کربن سوخته‌نشده در خاکستر

شناسایی مکان دقیق محل نشت داخلی برای تعمیرات موفق، ضروری می‌باشد. اما تشخیص آن از بین درزهای انبساطی و کانالهایی که توسط لایه‌هایی از مواد نسوز، عایق و مواد پوششی پوشانیده شده‌اند و دسترسی‌شان آسان نیست، بسیار مشکل می‌باشد و حتی در شرایطی که پیداشده و تعمیر شود، بسیاری از منابع نشتی هوا، مکان‌هایی که از لحاظ ساختاری تضعیف شده، مکانی که به سختی آب‌بندی شده‌اند یا به دلیل انبساط گرمایی مستعد برای تخریب می‌باشند، دوباره عود می‌کند.

- نشتی در قبل و بعد از احتراق:

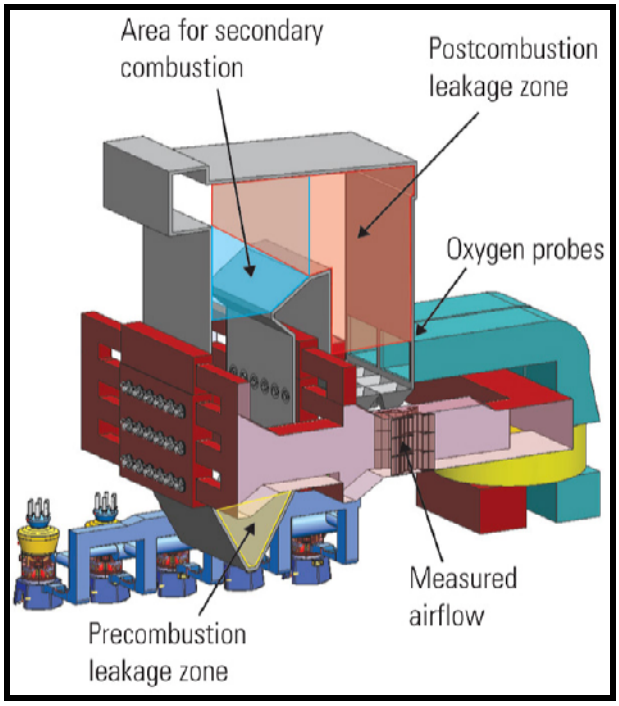
به دلیل اینکه واحدهای متوازن کوره تحت فشار منفی قرار دارند، کوره نسبت به هوای محیط واردشده به درون محفظه کوره حساسیت نشان می‌دهد.

[1] Detonation cleaning combustor
[2] Combustor spark plug

نشتی قبل از احتراق شامل هوای محیطی می‌شود که وارد کوره شده و به طور نظری در فرآیند احتراق شرکت می‌کند. منابع این نوع از نشتی قیف[1] خاکستر تحتانی، منافذ دمنده دیواری، شکاف پوسته لوله‌ها و دریچه‌های دسترسی خواهدبود. اگرچه به طور مستقیم به فرآیند احتراق آسیب نمی‌رساند، اما می‌تواند جای هوای ثانویه را بگیرد زیرا هوای اولیه معمولاً از طریق جریان جرم کنترل می‌شود.

میزان‌سازی یک احتراق خوب، کاهش NO_x ، خوردگی نواحی در معرض آتش و تولید سرباره به شدت بستگی به این دارد که هوا کجا و چگونه به سوخت معرفی می‌شود. نشتی هوا در یک حالت اتفاقی به سوخت معرفی می‌شود. معمولاً به درون نشت می‌کند و به طور ثابت دیواره را دنبال می‌کند تا سرعت نفوذی خود را از دست دهد. بنابراین، ثابت خواهدشد که هوای نشتی یک مانع برای میزان‌سازی و احتراق خوب است.

نوع دیگری از نشتی، نشتی پس از احتراق است. همان‌طور که به نظر می‌رسد این نوع نشتی مربوط به هر هوایی است که به درون محفظه کوره واردشده و در فرآیند احتراق شرکت نکند. منابع این نوع نشتی شامل منافذ دمنده دوده، دریچه‌های دسترسی، منافذ لوله‌ها، شکاف‌هایی که در پوسته لوله‌ها وجود دارند، ترک‌های اطاقک بالایی[2] و نشتی قیف اکونامایزر می‌شوند. این نشتی به طور مخصوصی خطرناک است، زیرا می‌تواند به طور مصنوعی نشانگر اکسیژن اضافی در خروجی اکونامایزر را بالا ببرد. زیرا اغلب واحدها یک کنترلر وضعیت اکسیژن اتوماتیک درحال اجرا می‌باشد، این سیستم کنترل افزایشی را در اکسیژن خواهد دید و هوای ورودی به کوره را برای حفظ نقطه تنظیم اکسیژن کاهش می‌دهد. جز در شرایطی که یک دریچه دسترسی بزرگ یا منبع دیگری از نشتی‌های بزرگتر هوا در آن مکان باز شود، این فرآیند قابل توجه برای حتی اغلب اپراتورهای بادقت نخواهدبود. نشتی داخلی هوا مشکلی است که معمولاً به آهستگی در طول زمان افزایش می‌یابد.



شکل(۱-۱۳)- نواحی بارز برای نشتی

[1] Hopper
[2] Penthouse

○ دو روش پایش نشتی:

اندازه‌گیری اکسیژن تنها از طریق اندازه‌گیری غیرمستقیم[1] مقدار نسبی هوای حاشیه انجام می‌پذیرد. دو روش برای تعیین مقدار نشتی داخلی هوا وجود دارد:

- نمایش جریان جرم به تنهایی:

این روش اندازه‌گیری، برای نسبت‌های سوخت/هوای مناسب به درستی مقیاس می‌کند، اما نشتی هوا را اندازه نمی‌گیرد و مقدار مخلوط هوا/سوخت را نمایش نمی‌دهد.

- نمایش اکسیژن به تنهایی:

این روش اندازه‌گیری نشتی هوا را در بر می‌گیرد و یک نمایش نسبی از مخلوط هوا/سوخت ایجاد می‌کند، شرایط احتراق را به طور مناسب فرض می‌کند، اما نمی‌تواند بین هوای نشتی و حاشیه واقعی تفاوتی قائل شود.

○ روش جدید اندازه‌گیری نشتی داخلی هوا با سیستم پایش وضعیت زمان واقعی[2]:

با استفاده از مشاهدات دو روش مطرح‌شده قبلی یک روش جدید برای پایش نشتی داخلی هوای بویلرها پیشنهاد شده است:

پیش‌نیازهایی برای استفاده از سیستم پایش نشتی بهنگام:

سیستم پایش نشتی بهنگام، نمایش نشتی زمان واقعی را بر اساس جریان جرمی هوا و سوخت و اکسیژن اضافی نمایش داده شده، ایجاد می‌کند. یک سیستم اندازه‌گیری قوی که بتواند به اجرا درآید باید براساس معیارهای زیر رفتار کند:

۱- جریان هوای احتراق کلی با دقت براساس جریان جرم اندازه‌گیری شود.

۲- اندازه‌گیری اکسیژن خروجی کوره به طور دقیق و نمایانگر باشد.

۳- مصرف سوخت کلی به طور دقیق با خطای حدود ۵ تا ۱۰ درصد اندازه‌گیری شود.

۴- کیفیت سوخت و ترکیب آن به نسبت در بلندمدت ثابت باقی بماند.

۵- حجم خاکستر بادی کربنی به طور منطقی پائین یا پایدار نگه داشته شود.

اگر پیش‌نیازهای بالا رعایت شود، این سیستم اندازه‌گیری نشتی هوا به سادگی به اجرا درمی‌آید. در این روش فرض شده است که در معادلات شیمیایی تمامی کربن داخلی سوخت به گاز-دی‌اکسیدکربن Co_2 ، مونوکسیدکربن Co -تبدیل می‌شود. اگر Co اندازه‌گیری نشود یا با فاصله زیادی از ردیاب‌های اکسیژن اندازه‌گیری شود، 0.0 ppm می‌تواند فرض شود، اما دقت آن کاهش می‌یابد. هر ۳۵۰ ppm

[1] Indirect measurement
[2] Real time monitoring system measured in-leakage air

مونوکسیدکربن، نماینده تقریباً ۰/۱٪ نشتی کمتر است. علاوه بر این فرض می‌شود که تمامی سوخت و نیتروژن جوی گاز خروجی را ترک می‌کنند. در حقیقت مقادیر کمی از No و No_2 درحین فرآیند احتراق ایجاد می‌شود. اما در نهایت NO_x در جریان جرمی یا حجمی نادیده گرفته شده‌اند.

○ تکنولوژی‌های مرتبط با تخریب‌های فرسایشی و خوردگی در HRSG ها:

مکانیزم‌های تخریب فرسایشی و خوردگی ناشی از جریان شتاب‌دار[1] (FAC) در بخش‌های فشاری مولد بخار بازیافت حرارتی (HRSG) جزء مهمترین عوامل ایجاد قطعی‌های برق اجباری، تعمیرات بخش‌های فشاری، و جایگزینی اجزاء اصلی می‌باشد. ریسک پذیرفتن اجزاء، با کمی استثناء در محفظه بویلر در HRSG های جدید قرار گرفته‌اند که اغلب غیرقابل دسترس می‌باشند.

تخریب FAC می‌تواند به سرعت، در شرایطی که وضعیت شیمیایی آب پایین‌تر از حد مطلوب، در ارتباط با عملیات گردشی دو جهتی وجود داشته باشد، پیشرفت کند. تخریب به دلیل برخی طراحی‌های مکانیکی پیکربندی و انتخاب مواد، تشدید می‌شود.

مشکلات FAC در نیروگاههای قدیمی:

در مدلهای قدیمی‌تر HRSG ها، اولین مناطق تخریب FAC یا داخلی (لوله‌ها و کلگی‌ها) و یا در لوله‌کشی متصل به بویلر (لوله‌های بالابرنده اواپراتور[2] و قطعات لوله‌کشی آب تغذیه کوتاه[3]) می‌باشند. تخریب FAC اغلب شدید بوده، نیازمند جایگزینی‌های عمده و تعمیرات قسمتهای فشاری می‌باشد. بسیاری از نیروگاههایی که در اوایل سالهای ۱۹۹۰ ساخته شدند، FAC شدیدی در اواپراتورهای فشارپائین (LP) و اکونومایزر داشتند. تخریب لوله‌ها، کلگی‌ها و لوله‌ها در پانل‌های اواپراتور HRSG اغلب نیازمند جایگزینی کامل پانل‌های خراب‌شده یا جایگزینی کامل واحدهای نمونه می‌باشند. این شکست‌ها بین ۳۰۰۰۰ تا ۶۰۰۰۰ ساعت کاری (۴ تا ۸ سال سرویس) اتفاق می‌افتد.

خرابی‌های بعدی که در نواحی جریان بالا، مانند لوله‌های اواپراتور که تحت تأثیر انشعاب‌های گاز داغ یا در مناطقی با اغتشاشات هندسی موضعی قرار دارند، به وجود می‌آیند. در برخی موارد، کاهش در فشار عامل اواپراتور LP ، نرخ‌های جریان دوفازی افزایش یافته و فرسایش FAC را ایجاد می‌کنند. با انجام اصلاحاتی در شیمی آب با کنترل جدی می‌تواند برای این موقعیت‌ها کمک‌کننده باشد، به طوریکه می‌تواند شرایط حرارتی نیروگاه را کنترل کند.

---

[1] Flow accelerated corrosion
[2] Evaporator riser
[3] Short feed water piping segment

مشکلات FAC در نیروگاه‌های آینده:

HRSG های بزرگتری که از سال ۲۰۰۰ به بعد ساخته شده‌اند، به طور کلی ارزان‌تر و دارای تخریب FAC کندتر نسبت به نیروگاههای قدیمی‌تر می‌باشند. این HRSG ها برنامه‌ها و کنترل‌های بهتری را برای فرمول‌های شیمیایی آبی را منعکس می‌کنند. اغلب این نیروگاهها دارای زمان اجرایی پایین‌تری در مقایسه با نیروگاههای قدیمی‌تر با بار پایه می‌باشند، همچنین به تخریب FAC کمتری گرایش دارند. اما این موضوع برای تمامی نیروگاهها صادق نمی‌باشد.

تخریب‌های ابتدایی FAC در نیروگاههای آینده بر اثر سرعتهای جریان محلی بالا، مانند عدم توزیع یکنواخت جریان محلی به دلیل وجود موانع، ورودی حرارت موضعی بالا یا شرایط گذرا می‌باشند و سرعت جریان‌های حجمی بالا منتج از نواحی موضعی تخریب جریان FAC ثانویه را به وجود می‌آورند. جریان‌های حجمی بالا می‌تواند بر اثر کانالهای مشعلی بالا منجر به نرخ‌های تولید بخار بالا یا مسیرهای جریانی بهینه نشده شود.

تخریب فراگیرتر FAC در نواحی مانند مجراهای خروجی لوله‌های اواپراتور LP زمانیکه بار جزئی یا شرایط متجاوز از طراحی جریان غیربهینه FAC یا شرایط شیمیایی آبی را نتیجه می‌دهد، اتفاق می‌افتد. تخریب FAC در نیروگاههای جدیدتر نوعاً تعمیرات کم‌هزینه‌تری را نسبت به واحدهای قدیمی‌تر نتیجه می‌دهند (اما هنوز تخریب‌های مؤثر و مهمی محسوب می‌شوند).

در دوره رشد سریع های بزرگ، پروژه‌های زیادی در راستای کانالهای مشعلی اساسی، برای تولید بار حداکثر مجاز یا صادر کردن مقادیر قابل توجهی بخار از لحاظ تجاری به پالایشگاهها یا مشتریان دیگر اضافه شدند. در برخی موارد، صادرات بالای بخار دستیابی به کنترل شیمیایی آب قابل اطمینان را مشکل می‌سازد، بنابراین فرسایش FAC افزایش می‌یابد. شرایط محلی جریان افزایش زیادی در فرسایش مستقل از ساختار شیمیایی آب کلی و درجه حرارت تولید می‌کند. مدیریت این نوع فرسایش FAC تا حد زیادی موضوع اصلاح مسیرهای جریان محلی و مواد می‌باشد.

○ تکنولوژی‌های موردنیاز برای آینده:

FAC از یک پدیده فرسایش سریع بر روی نواحی بزرگی از اجزاء HRSG تحت تأثیر واقع شده به یک فرآیند فرسایش آهسته‌تر با ریسک نرخ‌های بالاتر محلی تغییر جهت داده است. در بسیاری موارد، نرخ‌های فرسایش بالاتر توسط اندازه‌گیری‌های فرسایش در محل‌های قابل دسترس از طریق ارتباط با مدل‌های جریان کلی، قابل کشف نیستند. درصد بالایی از مشکلات در نواحی دوفاز LP ، درصد کمتر در سیستم‌های اواپراتور فشار میانی (IP) ، نیاز برای مدل‌سازی جریان مناسب این نواحی و مدل‌های پیش‌بینی‌کننده FAC برای شرایط دوفاز را برجسته می‌کند.

طرح مدل‌سازی سیال به طور جزئی، بازرسی، و ابزار تعمیر برای شناسایی مکان‌های پرخطر محلی و همچنین اثر تغییرات عملکردی بر روی فرسایش FAC ، موردنیاز می‌باشند.

- تکنولوژی طراحی:

نیاز کلیدی دیگر نقشه‌برداری از حلقه آزمایش و مطالعات مدل‌سازی جریان پیشرفته برای شناسایی روشهای سهل‌الاستفاده برای پیش‌بینی‌های بهتری از خطر FAC در نواحی به شدت متمرکز در یک نقطه درون HRSG ، می‌باشد.
استفاده از مزایای روش‌های پیش‌بینی‌کننده موجود، ممکن است برای مثال، شامل یک سری از فاکتورهای هندسی مبسوط و به روزشده باشد. این‌ها ساختارهای متعارفی مانند فضاهای میانی لوله تا کلگی را در مسیر جریان HRSG مشخص می‌سازد. این روش اصلاح شده باید پیش‌بینی‌های مناسبی را از لحاظ منطقی از فرسایش هر دو FAC محلی و سراسری با استفاده از تنها داده فرآیند و طراحی که به آسانی قابل دستیابی برای اپراتورهای نیروگاه می‌باشند، بدهد.
مدل‌های پیش‌بینی‌کننده برای FAC در HRSG ها در حال اصلاح می‌باشند. اما توسعه فراتر در زمینه‌های زیر نیز موردنیاز می‌باشد:

- شرایط دو فاز: درک بهتری از نرخ‌های فرسایش FAC در جریان بخش تهی[1] بالا در اواپراتورهایLP و IP موردنیاز هستند، که شامل اثر حمل و انتقال مواد می‌باشد.
- اغتشاشات جریان محلی: شرایط فرسایش FAC محلی در حد فاصل بین لوله/کلگی که هم اکنون منجر به نرخ‌های فرسایش بالا در این نواحی می‌شوند، حائز اهمیت می‌باشند.
- شرایط جریان خارج از طراحی[2] و محلی: یکپارچگی بهتری از مدل‌های FAC با مدل‌های شبیه‌سازی نیروگاه برای شناسایی حالات عملیاتی که خطر FAC را افزایش می‌دهند، موردنیاز می‌باشد.

- تکنولوژی بازرسی:

تلاش‌های گذشته در جهت اصلاح تکنولوژی برای تست‌های غیرمخرب (HRSG(NDE ها، بر روی بازرسی در نواحی لوله‌های پره‌ای که در حال حاضر قابل دستیابی از طریق بسیاری از تکنیک‌های NDE نمی‌باشند، تمرکز کرده است. مشکل بزرگتر برای FAC امکان دسترسی ناچیز بخش‌های بدون روکش لوله در کلگی‌های مسیر گاز افقی HRSG ها می‌باشد. تنها دورترین ردیف‌های لوله نوعاً قابل دسترسی می‌باشند، و اغلب تنها قسمتی از محیط پیرامون لوله برای اینها است.
بورسکوپی[1] می‌تواند ابزار مفیدی باشد، اما دسترسی معمولاً محدود می‌باشد یا نیازمند برش درون کلگی یا اتصالات است. پیشرفتهایی در رادیوگرافی دیجیتال و تکنیکهای دیگر چشم‌اندازهایی برای ارزشیابی بهتری از

[1] Void fraction flow
[2] Off-design

تخریب FAC را پیشنهاد می‌کند. تکنولوژی‌های جدید برای اندازه‌گیری ضخامت پره، رادیوگرافی دیجیتال و بورسکوپی پیشرفته تماماً برای مشخص کردن FAC در HRSGها کمک خواهندکرد.

- تکنولوژی پایش آکوستیکی تخریب خزشی در سیستم لوله‌های انرژی بالا:

هرچه قدر که از عمر نیروگاهها می‌گذرد، تخریب خزشی در لوله‌های با انرژی و دمای بالا یک موضوع اصلی می‌باشد. مهندسین نیروگاه با چالش اجرای یک روش با قیمت مناسب برای شناسایی تخریب خزشی در سیستم لوله‌های در حال عملکرد، مواجه هستند.

تکنولوژی گسیل آکوستیک به طور مؤثر برای کشف تخریب خستگی کار می‌کند و نشان داده شد است که در یافتن درزهای باز در سطح اجزائ مفید می‌باشد. درنتیجه، تأسیسات بسیاری در حال حاضر به استفاده از گسیل آکوستیک برای کشف تخریب خزشی در درز جوشهای طولی[۲] و همچنین لوله‌های بدون درز[۳] تمایل دارند. اما درجه تخریبی که در ابتدا ردیابی آن امکان‌پذیر می‌شود، ناشناخته باقی مانده است.

تأسیسات همچنین اغلب لوله‌ها را تنها در طول خاموشی یا راه‌اندازی برای قطعی برق پایش می‌کنند. یک تکنیک بازرسی قابل پذیرش باید بتواند تخریب را در زودترین زمان ممکن در توسعه آن، شناسایی کرده تا ضمانت کند که هنوز به اندازه کافی بزرگ بزرگ نشده است که منجر به شکست قبل از بازرسی بعدی شود. اگر چنین چیزی انجام نگیرد، پایش دائمی ممکن است نیاز باشد. یک رابطه بهتر برای درک عمر باقیمانده اگر تخریب شناسایی شود، موردنیاز است.

درحقیقت اهدافی که این پروژه دنبال می‌کند به ترتیب زیر خواهدبود:

- یافتن تخریب خزشی در سیستم لوله‌های انرژی بالا
- مرتبط کردن انباشتگی تخریب با عمر باقیمانده

[1] Borescopy
[2] Longitudinal seam welded piping
[3] Seamless piping

- تخمین عمر لوله‌های درز جوش‌شده
- تست گسیل آکوستیک برای خزش

❖ ژاپن

کشور ژاپن در منابع انرژی فسیلی داخلی به جز زغال‌سنگ به شدت کمبود دارد و باید مقادیر اساسی نفت خام، گاز طبیعی و سایر منابع انرژی، مانند اورانیوم را وارد کند. امنیت منابع نفتی از توجه زیادی برخوردار است. به علاوه برای حفظ انبارهای حیاتی، ژاپن تلاش دارد تا وابستگی به نفت را کاهش داده و منابع خود را متنوع سازد، روابط را با کشورهای تولیدکننده نفت بهبود دهد و از اکتشافات گازی و نفتی حمایت کند. زغال‌سنگ به متنوع‌سازی ترکیب انرژی کشور کمک می‌کند و همچنین یکی از معدود منابع انرژی داخلی می‌باشد. با این حال به دلیل هزینه‌های بالای حفاری، تولید داخلی تقریباً متوقف شده است. بیش از نیمی از زغال کوره[1] و بخار[2] از استرالیا وارد می‌شود. ژاپن تقریباً به طور کامل به واردات LNG وابسته است و ۷۰ درصد آن برای تولید برق مصرف می‌شود.

ترکیب سوختی برای تولیدبرق به طور چشمگیری از سال ۱۹۷۳ زمانیکه نفت ۷۳/۲ درصد تولید را شامل می‌شد تغییرکرده است. در سال ۲۰۰۱، سهم آن به ۱۱/۳ درصد سقوط کرد و استفاده از انرژی هسته‌ای، زغال‌سنگ و اخیراً گاز طبیعی به طور یکنواخت افزایش یافت. مهمترین منبع انرژی داخلی کشور ژاپن، انرژی هسته‌ای است که ۸۰ درصد تولیدات داخلی را تشکیل می‌دهد.

برای نظارت تغییرات آب و هوا، دولت به طور فعال در حال ارتقاء انرژی‌های هسته‌ای و نو می‌باشد. کل گسیل‌های GHG کشور ژاپن (N_2O, CH_4, Co_2 و گازهای به اصطلاح F) ۶/۸ درصد بالاتر از تراز پایه سالیانه عهدنامه کیوتو[3] در دهه اخیر بوده است.

برنامه‌های R&D اصلی کشور ژاپن:

۱- راندمان انرژی

۲- سوختهای فسیلی

۳- انرژی‌های نو

۴- تکنولوژی‌های تولیدبرق و ذخیره‌سازی

[1] Coking Coal
[2] Steam Coal
[3] Kyoto Protocol

۵- سلولهای سوختی

۶- هسته‌ای

پروژه‌های R&D که در راستای راندمان انرژی تخصیص داده می‌شود، برای کاهش گسیل‌های Co_2 همراه با مصرف شدید انرژی است.
تکنولوژیهایی که در راستای تولیدنیرو و ذخیره‌سازی آن تعریف شده‌اند، در حال حاضر تکنولوژیهای سیکل ترکیبی گازی یکپارچه شده (IGCC) و سلولهای سوختی گازی یکپارچه‌شده[1] (IGFC) می‌باشد. انتظار می‌رود که راندمان نیروگاههای IGCC ۴۶ تا ۴۸ درصد باشد.
زمینه‌های دیگر R&D، احتراق بستر سیالی تحت فشار پیشرفته[2] (A-PFBC) ، تکنولوژیهای افزایش راندمان فرافوق بحرانی[3] (USC) ، تبدیل زغال‌سنگ به کک پیشرفته، زغال‌سنگ خاکستر آزاد برای سوزاندن مستقیم (زغال‌سنگ هایپر)، تولید هیدروژن از زغال‌سنگ با بازیافت Co_2 (حلقه هایپر)، رفتار گاز خروجی و استفاده از خاکستر زغال‌سنگ می‌باشد. ژاپن بزرگترین و طولانی‌ترین برنامه تحقیقاتی تکنولوژیهای جذب و تفکیک کربن را دارد.

تکنولوژیهای زغال‌سنگ تمیز

ژاپن به چند دلیل در حال ارتقاء تکنولوژیهای زغال‌سنگ تمیز است. در حالیکه ژاپن به ادامه استفاده از زغال‌سنگ برای اطمینان از یک ترکیب تولید متعادل نیاز دارد، هدف کاهش گسیل تحت عهدنامه کیوتو را نیز دنبال کرده و با ارتقاء راندمان در استفاده از زغال‌سنگ، گسیل‌ها را نیز کاهش می‌دهد. در صنعت آن نیز، نیاز به اصلاح عملکرد محیطی زغال‌سنگ برای رقابت با انرژی هسته‌ای و گازی پذیرفته شده است.

- **تکنولوژیهای تولیدنیرو و زغال‌سوز:**
  - تکنولوژیهای احتراق:

[1] Integrated Gasification Fuel Cell
[2] Advanced Pressurized Fluidized Bed Combustion
[3] Ultra Super Critical

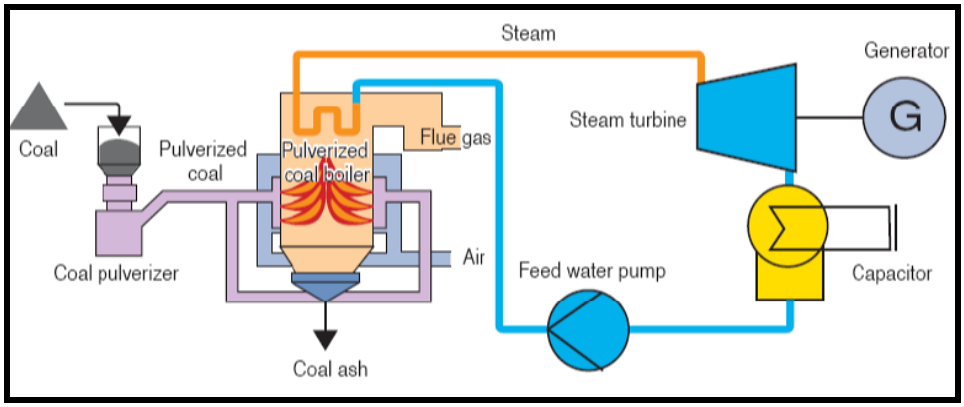
۱- سیستم تولیدنیرو با سوزاندن زغال نرم‌شده

سیستم تولیدنیرو با سوزاندن زغال نرم‌شده به طور گسترده به عنوان یک تکنولوژی ثابت با قابلیت اطمینان بالا استفاده می‌شود. تکنیکهای احتراق مختلفی در این زمینه توسعه یافته و کاربرد عملی داشته‌اند و پاسخ مناسبی در راستای ارضاء قوانین و محدودیت‌های محیطی داده‌اند و راندمان بالایی در احتراق به دست آمده است. در ژاپن، تراز گسیل NO_x و گرد و غبار جمع‌شده در طول احتراق زغال‌سنگ و حتی در خروجی بویلر پائین‌ترین رده را در دنیا دارد.

تکنولوژیهای احتراق NO_x پائین تقریباً بنابر متوقف‌سازی تولید NO_x در مشعل و نیتروژن‌دهی درون کوره، با استفاده از تمامی نواحی کوره دسته‌بندی شده‌اند.

❶کوره زغال‌نرم‌شده NOX پائین:

آخرین کوره‌ها هم قابلیت احتراق و هم نیتروژن‌دهی درون شعله پیشرفته را دارند، اگرچه ساختمان آنها توسط سازندگان بویلر تغییر داده شده است. این کوره‌ها به طور اساسی از جدایش جریان‌های رقیق و غلیظ زغال‌سنگ نرم‌شده و بارگذاری چندلایه‌ای[1] هوای احتراق استفاده می‌کنند. شکل ۳ ساختار کوره را نشان می‌دهند.



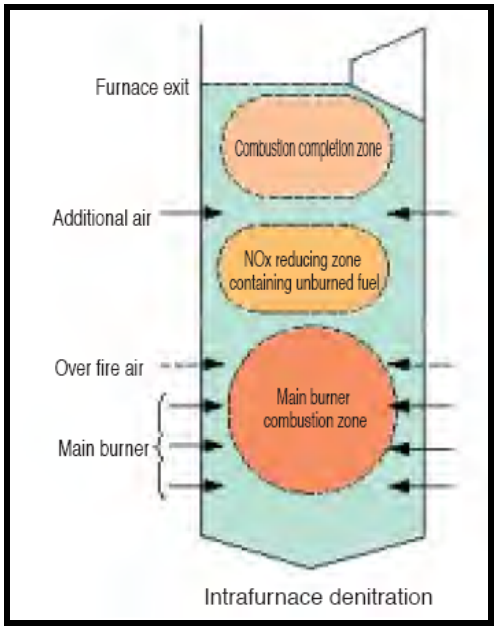
شکل (۱-۱۴)- سیستم تولید نیرو از طریق سوزاندن زغال نرم شده

❷نیتروژن‌دهی درون کوره‌ای:

نیتروژن‌دهی درون کوره‌ای به وسیله کاهش تولیدشده در ناحیه اصلی کوره، و با استفاده از هیدروکربن‌های باقیمانده یا هیدروکربن‌های تولیدشده از سوخت نفتی تغذیه شده با مقدار کم، از بالای کوره هدایت می‌شود. نیتروژن‌دهی کوره‌ای در دو مرحله انجام می‌شود:

در مرحله اول، هیدروکربن‌ها سطوح NO_x را کاهش می‌دهند. در مرحله دوم، مواد سوخته‌نشده به طور کامل توسط هوای تزریق‌شده اضافی سوزانده می‌شوند.

[1] Multi layer charge



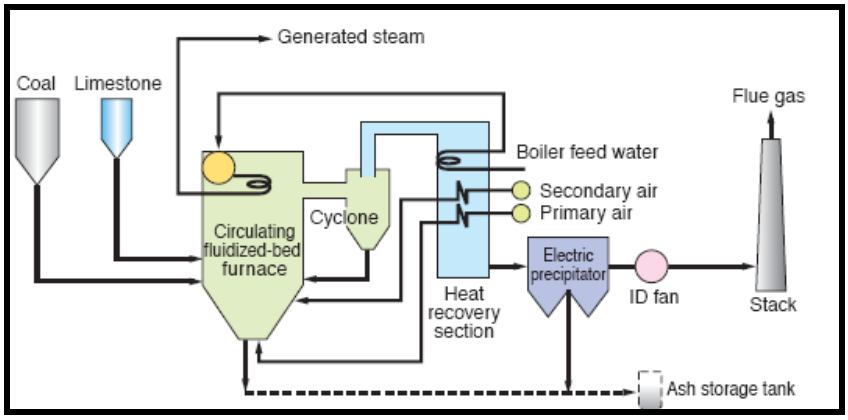
شکل (۱–۱۵)– تصویر مفهومی از نیتروژن دهی درون کوره

۲- تکنولوژیهای احتراق بستر سیالی گردش[1] (CFBC)

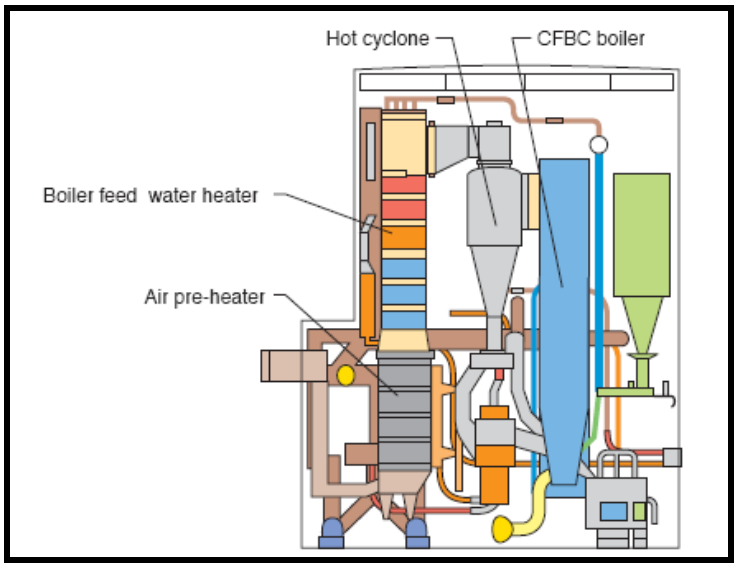
- خلاصه‌ای از تکنولوژی:

به طورکلی CFBC شامل یک بویلر و یک سیلکون دما بالا می‌باشد. سرعت گاز درون کوره‌ای به بزرگی ۴ تا ۸ متر بر ثانیه است. یک محیط سیال‌ساز ناهنجار و زغال‌سنگ در گاز خروجی توسط سیلکون دما بالا جمع‌آوری می‌شوند و دوباره به بویلر بازگردانیده می‌شوند. به گردش درآوردن دوباره، ارتفاع بستر را حفظ کرده و راندمان نیتروژن‌دهی را افزایش می‌دهد. برای افزایش راندمان حرارتی، یک پیش‌گرم‌کن برای روان ساختن هوا و احتراق آن، و یک گرمکن آب تغذیه بویلر، نصب می‌شوند.

[1] Circulating fluidized-bed combustion



شکل (۱-۱۶)- فرآیند جریان در بویلر بستر سیالی گردشی



شکل (۱-۱۷)- تصویر شماتیک از CFBC

ویژگیهای بویلرهای با بستر سیالی گردشی در زیر توضیح داده شده است:

① سازگاری با طیف گسترده‌ای از سوخت‌ها:

بویلرهای به کارگرفته شده در تولیدنیرو می‌توانند تنها سوختهای فسیلی مانند زغال‌سنگ درجه بالا، نفت و گاز را استفاده کنند. اما CFBC قابلیت استفاده از زغال‌سنگ درجه پائین، سوخت زیستی، پلاستیک‌های بدون استفاده، و لاستیک‌های زائد را نیز به عنوان سوخت استفاده کند.

② آلودگی پائین:

گسیل‌های SO_x و NO_x به طورعمده بدون ایجاد تغییری در محیط زیست کاهش می‌یابند. در مورد بویلرهای بستر سیالی، فرآیند گوگردزدایی، با استفاده از سنگ آهک بیشتر به عنوان ماده روان‌ساز، درون کوره

انجام می‌شود. برای نیتروژن‌دهی، بویلرهای PC در دماهای احتراق از $1400\ ^{\circ}C$ تا $1500\ ^{\circ}C$ عمل می‌کنند، درحالیکه بویلرهای بستر-سیالی گردشی در دماهای پائین‌تری، در محدوده $850\ ^{\circ}C$ تا $900\ ^{\circ}C$ کار می‌کنند. براین اساس، متوقف کردن گسیل‌های NO_X حرارتی، وابسته به درجه حرارت احتراق است. به علاوه، عملکرد بویلرهای بستر سیالی گردشی شامل دو مرحله فرآیند احتراق می‌باشند: کاهش احتراق در بخش بستر سیالی و اکسیژن‌دهی احتراق در بخش فوقانی.
سپس کربن سوخته‌نشده توسط یک سیکلون[1] دما بالا که در خارج بویلر قرار دارد جمع‌آوری می‌شود تا دوباره به درون بویلر بازگردد، بنابراین راندمان نیتروژن‌دهی، افزایش می‌یابد.

③ راندمان بالای احتراق:

راندمان بالای احتراق با استفاده از یک مکانیزم احتراق حالت سیالی گردشی بهبود می‌یابد.

④ حفظ فضا، نگهداری و تعمیرات آسان:

فضا حفظ می‌شود زیرا دیگر نیازی به جدایی واحدهای گوگردزدا، نیتروژن‌دهنده و خردکننده زغال‌سنگ نمی‌باشد. براین اساس، مکان‌های آسیب‌دیده به حداقل می‌رسند، و نگهداری و تعمیرات ساده می‌شود.

۳- تکنولوژی احتراق بستر سیالی گردشی داخلی[2] (ICFBC)

○ تصویر کلی از تکنولوژی:

این تکنولوژی از ماسه سیلیسیومی به عنوان ماده روان‌ساز استفاده می‌کند. بستر سیالی به یک محفظه اصلی احتراق و محفظه بازیافت حرارتی توسط یک ناحیه شیب‌دار تقسیم می‌شود تا یک جریان چرخشی درون محفظه اصلی احتراق و یک جریان گردشی بین محفظه اصلی احتراق و محفظه بازیافت حرارتی ایجاد کند. یک جریان گردشی ایجاد می‌شود تا زغال‌سنگ سوخته‌شده و سنگ آهک واکنش نیافته را از سیکلون در خروجی بویلر به بویلر برگرداند.

① جریان چرخشی در محفظه اصلی احتراق توسط تقسیم قاب در محفظه اصلی احتراق به سه قسمت، با تشکیل یک بستر سیالی ضعیف (بستر در حال حرکت) در بخش مرکزی، وارد کردن مقدار هوای کم در حالیکه بسترهای سیالی قویی در هر دو بخش انتهایی تشکیل می‌شود و واردکردن دبی‌های حجیم هوا، ایجاد می‌شود. درنتیجه، بخش مرکزی محفظه اصلی احتراق یک بستر در حال حرکت

[1] Cycle
[2] International Circulating Fluidized-bed Combustion

روبه پائین آرام و مواد سیالی که به شدت از هر دو انتها وزیده می‌شوند و در بخش مرکزی استقرار دارند، و در هر دو انتها بالا می‌روند را تشکیل می‌دهد تا بدین وسیله جریان چرخشی ایجاد شود.

② جریان چرخشی بین محفظه اصلی احتراق و محفظه بازیافت حرارتی از طریق حرکت که بعد از این توضیح داده می‌شود، ایجاد می‌شود: یک قسمت مواد روان‌ساز، که به شدت از هر دو بخش انتهایی به محفظه اصلی احتراق وزیده می‌شوند، جهت جریان را به سمت محفظه بازیافت حرارتی در موقعیتی بالای ناحیه شیب‌دار تغییر می‌دهد. محفظه بازیافت حرارتی یک بستر سیالی ضعیف (به سمت پائین بستر در حال حرکت) تشکیل می‌دهد که از طریق بستر گردشی، هوا از زیر محفظه به درون محفظه تزریق می‌شود. براین اساس، مواد روان‌ساز از محفظه اصلی احتراق به محفظه بازیافت حرارتی بازگردانیده می‌شود، و دوباره به محفظه اصلی احتراق از بخش پائینی محفظه بازیافت حرارتی برگردانده می‌شوند. از آنجائیکه محفظه بازیافت حرارتی با لوله‌های انتقال حرارت تجهیز شده‌اند، جریان گردشی انرژی گرمایی را در محفظه اصلی احتراق بازیافت می‌کند.

③ جریان گردشی از سیکلون در خروجی بویلر از بین سیکلون یا راههای دیگر عبور می‌کند تا زغال‌سنگ سوخته‌نشده، مواد سیال‌ساز گسیل شده و سنگ آهک در واکنش شرکت نکرده جمع شوند و به محفظه اصلی احتراق یا محفظه بازیافت حرارتی با استفاده از یک حامل پیچدار[1]، حامل با فشار هوا[2] یا وسایل دیگر بازگردانیده شوند. جریان گردشی در افزایش راندمان احتراق، کاهش تولید NO_X و اصلاح راندمان گوگردزدایی بی‌نهایت مؤثر است.

خصوصیات اساسی ICFBC در زیر توصیف شده‌اند:

I . درجه حرارت یکنواخت در بستر سیالی، به دلیل به چرخش درآوردن جریان ماسه‌ای

II . تخلیه آسان مواد غیرقابل احتراق، نیز به دلیل حرکت شدید ماسه‌ای

III . قابلیت کنترل درجه حرارت بستر سیالی توسط تنظیم بازیافت حرارتی از بستر سیالی

براین اساس، ICFBC ویژگیهای زیر را دارد:

① پذیرش سوختهای مختلف:

[1] Screw Conveyer
[2] Pneumatic Conveyer

همانند ICFBC, CFBC می‌تواند نه تنها سوختهای فسیلی را، مانند زغال‌سنگ درجه بالا، نفت و گاز، بلکه زغال‌سنگ درجه پائین، سوخت زیستی، رسوب گل و لای، پلاستیک‌های بدون استفاده و مواد لاستیکی زائد را نیز استفاده کند.

② کنترل درجه حرارت بستری:

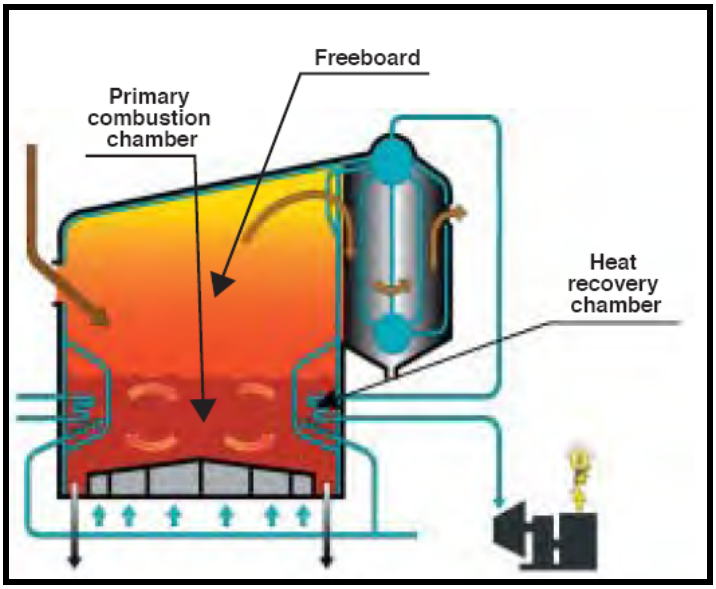
از آنجائیکه ضرائب انتقال حرارت کلی تقریباً به طور خطی با تغییرات نرخ جریان هوا در محفظه بازیافت حرارتی تغییر می‌کند، مقدار حرارت بازیافت‌شده به سادگی از طریق کنترل نرخ جریان هوا تنظیم می‌شود. به علاوه، کنترل مقدار حرارت بازیافت‌شده درجه حرارت بستر سیالی را تنظیم می‌کند. از آنجائیکه کنترل حرارت بازیافت‌شده به تنهایی به وسیله تغییر نرخ جریان هوا انجام می‌شود، تنظیم بار نیرو بسیار ساده است، که نقطه قوت ICFBC محسوب می‌شود.

③ آلودگی پائین:

گسیل‌های SO_X و NO_X به طور عمده بدون اثرگذاری بر روی محیط کاهش می‌یابد. برای بویلر بستر سیالی، گوگردزدایی به طور عمده در کوره اتفاق می‌افتد. اما، ICFBC هیچ لوله انتقال حرارت در بخش ایجاد سیال ندارد، بنابراین در این بویلر هیچ فرسایشی در لوله انتقال حرارت در بستر را سبب نمی‌شود. به این دلیل، ماسه سیلسیوم می‌تواند به عنوان ماده سیال‌ساز برای ICFBC به جای سنگ آهک نرم استفاده شود. درنتیجه، ICFBC حداقل مقدار سنگ آهک را به عنوان عنصر گوگردزدایی درون کوره نیاز دارد. راندمان گوگردزدایی ICFBC نزدیک به ۹۰ درصد در یک نرخ Ca/s مولار اطراف ۲ می‌باشد، اگرچه راندمان به درجه زغال‌سنگ، مقدار سنگ آهک به کاررفته، و درجه حرارت بستر سیالی بستگی دارد. نیتروژن‌دهی از طریق دو مرحله فرآیند احتراق هدایت می‌شود. کاهش احتراق در بخش سیالی، اکسیژن‌دهی احتراق در بخش فوقانی. کربن سوخته‌نشده از بویلر توسط سیکلون دما بالا نصب شده در خارج بویلر جمع‌آوری می‌شود. کربن سوخته‌نشده، جمع‌آوری شده دوباره به بویلر بازگردانیده می‌شود تا راندمان نیتروژن‌دهی افزایش یابد.

④ حفظ فضا، نگهداری آسان:

مشابه CFBC ، ساختار ICFBC نیاز به واحدهای جدایی برای گوگردزدایی، نیتروژن‌دهی و خردکردن سوخت ندارد. بنابراین تأسیسات ICFBC فضا را حفظ کرده و ساده‌تر نگهداری می‌شود، زیرا نقاط مشکل‌زا به حداقل رسیده است.



شکل (۱-۱۸)- تصویر کلی از ICFBC

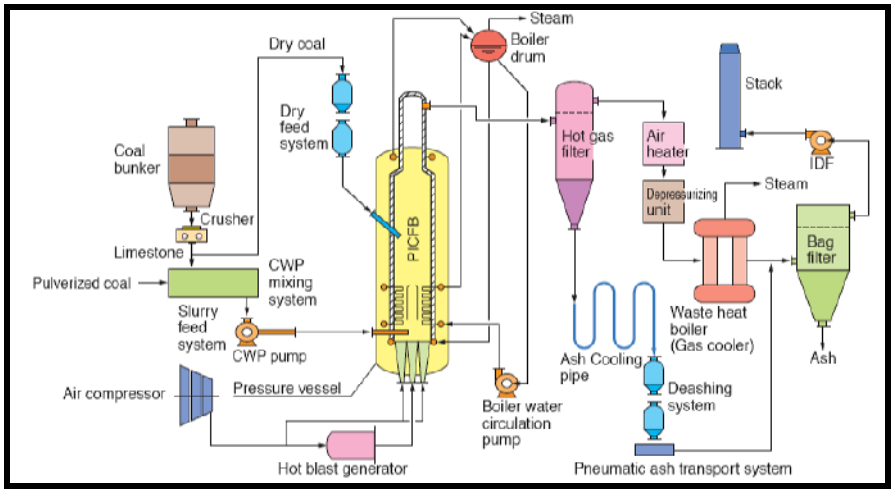
۴- تکنولوژی احتراق بستر سیالی گردشی داخلی تحت فشار[1] (PICFBC)

بویلر بستر سیالی گردشی داخلی تحت فشار PICFBC تکنولوژی جریان گردشی ICFBC که قبلاً توصیف شده را به کار می‌برد. براین اساس، این فشار خارجی بدون تغییر ارتفاع بستر سیال قابل کنترل است. به علاوه، خنک‌کاری گاز احتراق اجتناب می‌شود، زیرا لوله‌های انتقال حرارت درون بستری بر روی بستر در طول عمل کنترل بارگذاری قرار ندارند، که تولید Co_2 را به حداقل رسانیده و نگهداری درجه حرارت در ورود به توربین گاز را آسان می‌کند. از آنجائیکه مشکلات فرسایشی لوله‌ها انتقال حرارت در بستر کاهش می‌یابند، ماسه سیلیسیومی می‌تواند به عنوان ماده روان‌ساز، استفاده شود و مقدار سنگ آهک در یک تراز لازم برای گوگردزدایی درون کوره‌ای به حداقل برسد، بنابراین خاکستر متوقف می‌شود، به علاوه، محفظه اصلی احتراق هیچ لوله انتقال حرارت درون بستری ندارد، بنابراین مشکلات تداخل لوله انتقال حرارت درون بستری در مقابل حرکت ذرات اتفاق نمی‌افتد، که از تولید انباشتگی و انجماد محیط ذوب شده جلوگیری می‌کند.

- تصویرکلی از تکنولوژی:

مخزن تحت فشار استوانه شامل یک ICFBC استوانه‌ای است. مشابه ICFBC ، ماسه سیلیسیومی به عنوان ماده روان‌ساز استفاده می‌شود. بستر سیال‌ساز به دو محفظه اصلی احتراق و محفظه بازیافت حرارتی توسط ناحیه شیب‌دار تقسیم می‌شود. جریان چرخشی در محفظه اصلی احتراق ایجاد می‌شود، و جریان گردشی بین محفظه اصلی احتراق و محفظه بازیافت حرارتی ایجاد می‌شود.

[1] Pressurized Internal Circulating Fluidized-bed Combustion



شکل (۱-۱۹)- فلوچارت نیروگاه آزمایشی مدل PICFBC

۵- تکنولوژی احتراق بستر سیالی تحت فشار[1] (PFBC)

- اهداف توسعه تکنولوژی PFBC :

① افزایش راندمان از طریق تولیدنیرو ترکیبی با به کاربردن احتراق بستر سیالی تحت فشار با یک راندمان کلی ۴۳ درصد.

② ایجاد ویژگیهای محیطی پیشرفته، شامل:

کاهش SO_X از طریق گوگردزدایی درون بستری؛ کاهش NO_X از طریق احتراق دما پائین (تقریباً $۸۶۰^{\circ}C$)؛ کاهش گرد و غبار توسط CTF و کاهش Co_2 از طریق راندمان افزایش‌یافته.

③ حفظ فضا از طریق بویلر تحت فشار فشرده و حذف واحد گوگردزدا

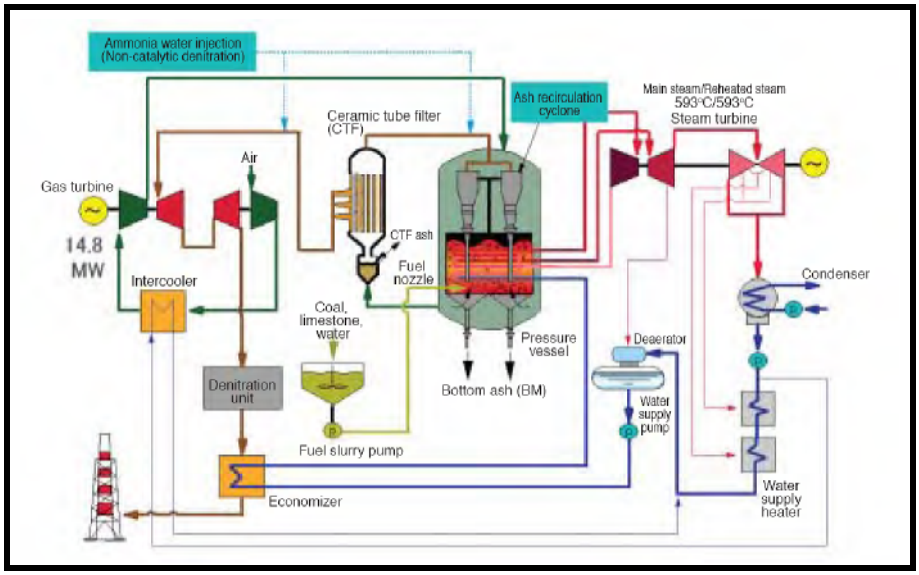
- نتایج توسعه تکنولوژی PFBC :

① راندمان کلی ۴۳ درصد که توسط افزایش راندمان از طریق تولید نیروی ترکیبی با به کارگیری احتراق بستر سیالی تحت فشار بدست می‌آید.

② تراز SO_X تقریباً ۵ ppm از طریق گوگردزدایی درون بستری ؛ تراز NO_X تقریباً ۱۰۰ ppm از طریق احتراق دما پائین (تقریباً $۸۶۰^{\circ}C$) و گردوغبار کمتر از $^{mg}/_{Nm^3}$ ۱ توسط CTF .

شماتیک کلی از فرآیند در شکل زیر نشان داده شده است.

[1] Pressurized Fluidized-bed Combustion



شکل(۱-۲۰) – فلوچارت فرآیند PFBC

۶- تکنولوژی احتراق بستر سیالی تحت فشار پیشرفته[1] (A-PFBC)

- خلاصه‌ای از تکنولوژی:

توسعه تکنولوژی تولیدنیرو راندمان بالا با به کارگیری زغال‌سنگ، یک بحث ضروری از دیدگاه کاهش گازهای گلخانه‌ای و حفظ منابع می‌باشد. تکنولوژی احتراق بستر سیالی تحت فشار پیشرفته (A-PFBC) پیشرفته‌تر از تکنولوژی (PFBC) احتراق بستر سیالی تحت فشار می‌باشد. هدف توسعه افزایش درجه حرارت در ورودی توربین گاز تقریباً از $^{\circ}C$ ۸۵۰ تا $^{\circ}C$ ۱۳۵۰ و بازیافت بخار دما بالا می‌باشد، بنابراین راندمان بالاتری در تولیدنیرو (تقریباً راندمان کلی ۴۶٪ و تقریباً ۴۰٪ برای نیروگاههای زغال‌سوز موجود) از راه ترکیب تکنولوژی PFBC با تکنولوژی گازی کردن بستر سیالی[2] به دست می‌آید.

- اهداف توسعه تکنولوژی A-PFBC :

① تولیدنیرو با راندمان بالا:

- راندمان کلی: تقریباً ۴۶٪
- افزایش درجه حرارت ورودی توربین گاز (از تقریباً $^{\circ}C$ ۸۵۰ تا تقریباً $^{\circ}C$ ۱۳۵۰)

[1] Advanced Pressurized Fluidized-bed Combustion Technology
[2] Fluidized-bed Gasification Technology

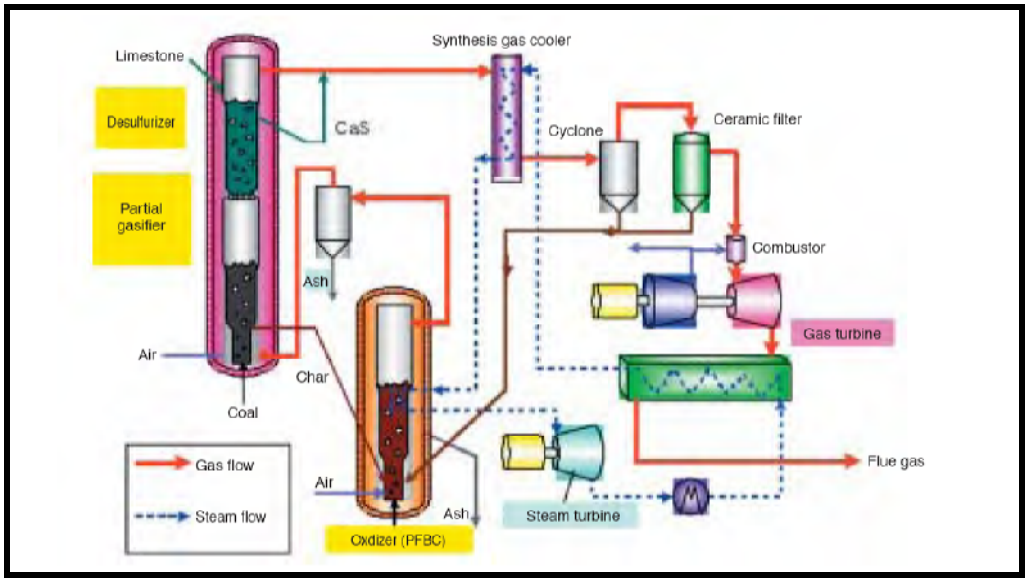
- بازیافت بخار دما بالا (بازیافت بخار دما بالا در خنک‌کننده گاز سنتزی با به کار بردن گوگردزدای دمابالا)

② اعتدال شرایط گازی شدن:

- تبدیل کربن: تقریباً ۸۵٪
- گازی کردن در مبدل‌های گازی جزئی در ترکیب با اکسیدکننده (اتمسفر اکسیدکننده کامل)

③ به کارگیری نتایج تکنولوژی‌های مرتبط

- تکنولوژی PFBC
- تکنولوژی‌های گازی کردن زغال‌سنگ مختلف



شکل (۱-۲۱)- فلوچارت سیستم تولید نیرو ترکیب A-PFBC

○ تکنولوژی‌های گازی کردن:

در این قسمت تکنولوژیهای انجام‌شده مشابه تکنولوژیهای گازی کردن کشور آمریکا می‌باشد. بنابراین تنها به ذکر نام آنها بسنده شده است:

۱- فرآیند تولید هیدروژن از زغال‌سنگ (HYCOL)

۲- سیکل ترکیبی گازی کردن زغال‌سنگ یکپارچه‌شده (IGCC)

۳- توسعه تکنولوژی گازی کردن زغال‌سنگ چندمنظوره (EAGLE)

۴- تکنولوژی تولید نیروی برق سیکل ترکیبی پیل‌های سوختی گازی کردن زغال‌سنگ یکپارچه‌شده (IGFC)

۵- فرآیند تولید نیروی برق گازی کردن زغال‌سنگ یکپارچه‌شده راندمان بالا (A-IGCC/A-IGFC)

- **تکنولوژیهای حفاظت محیط زیستی**

  - تکنولوژیهای بازیافت Co_2

۱- تولید هیدروژن توسط واکنش فرآیند گازی کردن مدرن یکپارچه‌شده (Hyper-RING)

  - تئوری فرآیند Hyper-RING :

Hyper-RING فرآیندی است که در آن یک جاذب CaO, Co_2 ، به طور مستقیم به یک مبدل گازی زغال‌سنگ اضافه شده و Co_2 تولیدشده توسط مبدل گازی زغال‌سنگ به صورت $CaCo_3$ ثابت می‌شود و همراه با هیدروژن تولید می‌شود. واکنش بین CaO و H_2O حرارت لازم برای گازی کردن زغال‌سنگ در مرحله بعد در مبدل گازی را تولید می‌کند. داخل مبدل گازی، یک سری واکنش‌ها از معادله ۱ تا معادله ۴ و معادله واکنش کلی ۵ اتفاق می‌افتد:

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 \; ; \Delta H^\circ_{298} = -109 \, {kJ}/{mol} \quad (۱)$$

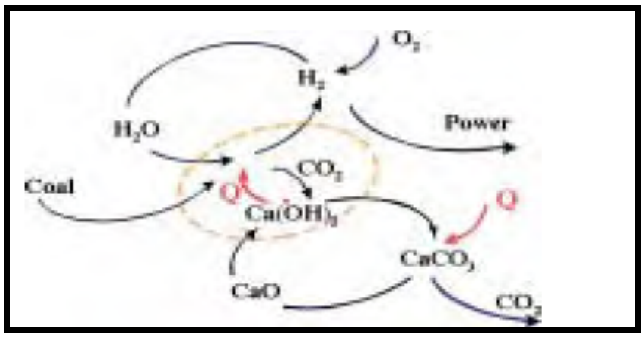
$$C + H_2O \rightarrow Co + H_2 \; ; \Delta H^\circ_{298} = 132 \, {kJ}/{mol} \quad (۲)$$

$$CO + H_2O \rightarrow Co_2 + H_2 \; ; \Delta H^\circ_{298} = -41.5 \, {kJ}/{mol} \quad (۳)$$

$$Ca + (OH)_2 + Co_2 \rightarrow CaCo_3 + H_2 o ; \Delta H^\circ_{298} = -69 \, {kJ}/{mol} \quad (۴)$$

$$C + 2H_2O + Cao \rightarrow CaCo_3 + 2H_2 \; ; \Delta H^\circ_{298} = -88 \, {kJ}/{mol} \quad (۵)$$

این واکنش کلی یک واکنش گرماده با $H_2o,\ C$ و CaO به عنوان واکنش‌دهنده‌های اولیه می‌باشد. این در تئوری به این معنی است که هیچ نیازی به گرمای اضافی نیست. همچنین پی برده شده است که تثبیت Co_2 واکنش‌های ۲ و ۳ را برای تولید H_2 تسهیل می‌کند. شکل ۱۱ مفهوم فرآیند Hyper-RING را نشان می‌دهد.



شکل (۱-۲۲)- مفهوم فرآیند HyPr-RING

$CaCo_3$ توسط یک آهک‌سازی دوباره به CaO تبدیل می‌شود تا به عنوان یک جاذب دوباره به گردش درآید. بیشتر انرژی حرارتی موردنیاز برای آهک‌سازی به صورت انرژی شیمیایی CaO حمل می‌شود و در گازی کردن زغال‌سنگ برای تولید H_2 در یک مبدل گازی در دسترس قرار می‌گیرد.
گازی کردن معمولی، حرارت موردنیاز برای گازی کردن را از طریق احتراق جزئی زغال‌سنگ تأمین می‌کند که توسط واکنشی در مبدل گازی اتفاق می‌افتد و با معادله زیر بیان می‌شود:

$$C + 0.5O_2 + 0.5H_2o \rightarrow 0.5Co_2 + 0.5CO + 0.5H_2 \quad (۶)$$

گاز تبدیل‌شده باید از طریق یک تعویض‌دهنده دما پائین فرستاده می‌شود و سپس در معرض یک جاذب دما پائین مانند آمین برای جدایش Co_2 قرار گیرد. در آن لحظه مقدار گاز Co_2 جداشده، یک مول در هر مول هیدروژن می‌باشد.
از طرف دیگر، فرآیند Hyper-RING از CaO خشک برای جذب Co_2 در کوره ($۶۵۰\ ^\circ C$ ، ۳۰ atm) استفاده می‌کند. در این مورد، حرارت در طول جذب Co_2 برای حفظ یک درجه حرارت بالا در مبدل گازی آزاد می‌شود. در اینجا، پس از جذب Co_2, $CaCo_3$ به CaO توسط فرآیند آهک‌سازی (بازتولید) تبدیل می‌شود و در آن زمان، ۵۰ تا ۸۰ درصد انرژی حرارتی موردنیاز برای استفاده دوباره در مبدل گازی به CaO انتقال داده می‌شود.

۲- تکنولوژی تفکیک و بازیافت Co_2

① تکنولوژی بازیافت Co_2 :

I . تکنولوژی بازیافت Co_2 (برای گاز طبیعی، گاز سنتزی و گاز دودکشی)

بازیافت/جدایش Co_2 در زمینه‌های گاز طبیعی و گاز سنتزی برای چند دهه کاملاً متداول بوده است. Co_2 در گاز طبیعی نه تنها به دلیل اینکه ارزش گرمایی گاز طبیعی را کاهش می‌دهد، بدون استفاده است بلکه نکاتی را در نیروگاههای بازیافت اتان/ LNG از طریق تبدیل شدن به یخ خشک ایجاد می‌کند. بنابراین Co_2 برای جلوگیری از بروز چنین مشکلاتی باید جداشود.
در یک نیروگاهی که گاز طبیعی یا بنزین سنگین برای تولید پالایش می‌شوند، H_2 و Co_2 بعد از اینکه از Co تولیدشده با هیدروژن به صورت گاز سنتزی تبدیل شدند، جدا می‌شوند. در یک نیروگاه آمونیاک/اوره، Co_2 از مخلوط گازی N_2, H_2 و Co_2 برای تولید اوره جدا می‌شود، و از آمونیاک ترکیبی مشتق‌شده از H_2/N_2 استفاده می‌کند و Co_2 جدا می‌شود. در مقابل، بازیافت/جدایش Co_2 از گازهای دودکش از لحاظ جنبه‌های تکنولوژیک به دلیل فشار پائین گاز خروجی و همچنین حضور اکسیژن، SO_X, NO_X و دوده و گرد و غبار در گازهای دودکش مشکل می‌باشد.

II . لزوم بازیافت Co_2 از منابع تثبیت‌شده

اغلب سوختهای فسیلی (نفت، گاز طبیعی و زغال‌سنگ) در دنیا به صورت سوخت برای بویلرها، توربین‌های گاز و موتورهای احتراق داخلی استفاده می‌شوند که Co_2 را به اتمسفر به صورت گاز خروجی آزاد می‌کنند. درنتیجه، غلظت اتمسفریک Co_2 افزایش یافته، گرمایش جهانی را نتیجه داده، که می‌تواند تنها از طریق کاهش گسیل Co_2 جلوگیری شود. اما، مشکلات زیادی در بازیافت و تفکیک Co_2 از وسایل متحرکی مانند اتومبیل‌ها و شناورها وجود دارد، درنتیجه به طور طبیعی بازیافت Co_2 از منابع ساکن مانند بویلرها، توربین‌های گازی و ... آسان‌تر است.

② تکنولوژی جداسازی Co_2 :

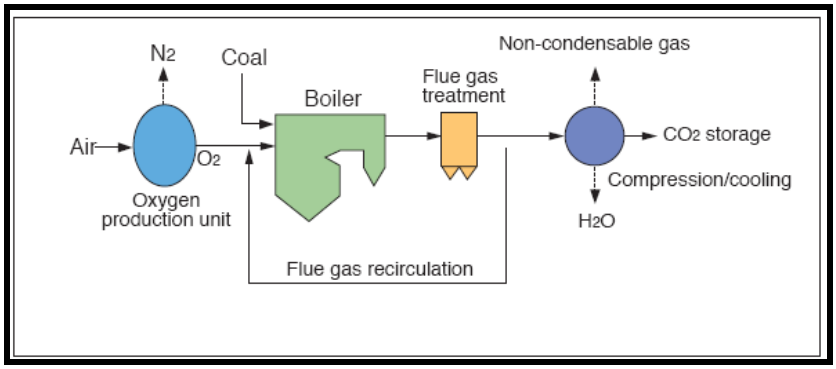
جداسازی زمینی و اقیانوسی به طور گسترده موردمطالعه قرار گرفته‌اند. جداسازی Co_2 زمینی در حال انجام می‌باشد و از روش بازیافت نفت بهبودیافته[1] (EOR) یا جداسازی لایه‌های نازک زغال‌سنگ[2] استفاده می‌شود که همراه با روش بازیافت متان بستر زغال‌سنگ می‌باشد. جداسازی لایه‌های آبی زیرزمینی و جداسازی از طریق مناطق گازی/نفتی بسته گزینه‌های دیگری نیز هستند، اگر هدف تنها جداسازی Co_2 باشد.
پروژه‌های Co_2-EOR در سال ۱۹۷۰ به طور عمده در آمریکا شروع شد، در خارج از آمریکا، کانادا، ترکیه و مجارستان نیز ترکیب EOR و بازیافت Co_2 را به کار می‌بردند.

[1] Enhanced Oil Recovery
[2] Coal Seam

آب‌های زیرزمینی به طور وسیعی بر روی زمین در هر جایی که لایه‌های رسوبی قرار گرفته‌اند، توزیع شده‌اند. حتی در ژاپن، که آب‌های زیرزمینی به دلیل تاریخچه زمین‌لرزه و آتشفشانی ژاپن نایاب و کم می‌باشند، بررسی‌های در دست اقدام حاکی از امکان ساخت مکان‌های جداسازی Co_2 می‌باشند.
اگر یک لایه زیر زمینی گودال‌هایی داشته باشد، Co_2 می‌تواند در این گودال‌ها، که به طور ذاتی حاوی آب (اصولاً آب‌نمک) می‌باشند، از طریق مکش Co_2 جداشود، به این وسیله جایگزین آب می‌شوند.

۳- احتراق سوخت اکسیژنی (احتراق اکسیژن در سیستم PCF معمول)

در فرآیند بازیافت Co_2 از طریق احتراق سوخت اکسیژنی که در شکل ۱۲ نشان داده شده است، O_2 از هوای احتراق جداشده و برای سوزاندن زغال‌سنگ استفاده می‌شود. در این فرآیند، از لحاظ نظری این امکان وجود دارد که غلظت Co_2 در گسیل‌ها تا ۹۰ درصد یا بیشتر افزایش یابد و به سادگی Co_2 بازیافت شود. وقتیکه این تکنولوژی در نیروگاهها به هدف کنترل دمای شعله به کار می‌رود، گاز خروجی (اغلب Co_2) دوباره به گردش درآمده و با O_2 مخلوط می‌شود. با این تکنولوژی، ثابت شده است که ویژگیهای فرآیند به کاهش گسیل‌های NO_X نیز کمک می‌کند. انتظارات از این سیستم بالاست زیرا فرآیند یک روش بازیافت مستقیم Co_2 می‌باشد که از دیگر سیستم‌های بازیافت Co_2 دارای راندمان اقتصادی و امکان تکنولوژیک بهتری است.



شکل (۱-۲۳)- مفهوم احتراق سوخت اکسیژنی با CCS

- تکنولوژیهای پاک‌سازی گاز و رفتار گاز خروجی

۱- تکنولوژی کاهش SO_X

اکسیدهای سولفور (SO_X ، به طوراصلی So_2) توسط یک کنترل "K-valve" تنظیم می‌شود، که از ارتفاعات خروجی و ضرائب محیطی برای محدود کردن گسیل‌های SO_X محدود استفاده می‌کند.

① فرآیند سنگ گچ‌آهک مرطوب:

دو فرآیند سنگ گچ و آهک وجود دارد؛ یک فرآیند جدایش دوده[1]، که در یک برج (خنک‌کن) گرد و غبار در جریان بالادست برای جمع‌آوری گرد و غبار و جداسازی HCI/HF و خنک‌کاری نصب می‌شود، و یک فرآیند دوده مخلوط‌شده[2] بدون چنین برج (خنک‌کن) گرد و غبار.

فرآیند جدایش دوده وقتیکه سنگ گچ با خلوص بالا شامل هیچ دوده یا گرد و غباری مدنظر باشد، به کار می‌رود. با این وجود، در حال حاضر بیشتر سیستم‌هایی فرآیند دود مخلوط‌شده را به کار می‌برند که هزینه نصب کمتری دارد و به دلیل عملکرد بالای وسایل جمع‌آوری گرد و غبار، مانند یک شتاب‌دهنده الکترواستاتیک[3]، توسعه یافته‌اند.

در برج جذب، آب آهک با So_2 داخل گاز خروجی برای بازیافت حجم سولفور به صورت سنگ گچ $(CaSo_4\text{-}2H_2o)$ واکنش می‌دهد.

واکنش‌های کلی به صورت زیر می‌باشند:

$$CaCo_3 + So_2 + 0.5H_2o \rightarrow CaSo_3 + 0.5H_2o + Co_2$$
$$CaCo_3 - 0.5H_2o + 0.5O_2 + 1.5H_2o \rightarrow CaSo_4 - 2H_2o$$

② فرآیند گوگردزدایی خشک برپایه خاکستر زغال‌سنگ:

فرآیند گوگردزدایی خشک برپایه خاکستر زغال‌سنگ یکی از تکنولوژیهایی است که برای استفاده کارآمد از خاکستر زغال‌سنگ توسعه یافته است. این یک فرآیند برای تولید یک جاذب جدید از سنگ‌آهک، هیدروکسیدکلسیم $(Ca(OH)_2)$ می‌باشد. با استفاده از جاذب تولیدشده جدید، So_x از گاز خروجی جدا می‌شود. واکنش گوگردزدایی به $Ca(OH)_2$ اجازه می‌دهد تا So_2 را جداکند. درجات حرارت بین $^\circ C$ ۱۰۰-۲۰۰ نگه داشته می‌شوند، به طوریکه راندمان جدایش So_x ۹۰ درصد یا بیشتر می‌تواندکسب شود. این فرآیند می‌تواند همچنین گرد و غبار NO_X را جداکند، با راندمان جدایش NO_X تقریباً ۲۰ درصد و یک راندمان جمع‌آوری گرد و غبار ۹۶ درصد یا بیشتر.

③ فرآیند خشک‌کننده پاششی[4]:

فرآیند خشک‌کننده پاششی یک فرآیند به اصطلاح نیمه خشک‌کن می‌باشد. آب به آهک سوزانیده شده (Cao) برای ایجاد یک آب آهک شل $(Ca(OH)_2)$ اضافه می‌شود، به طوریکه به طرف یک خشک‌کننده پاششی، پاشیده می‌شود، که سبب می‌شود So_2 در گاز دودکشی با $Ca(OH)_2$ واکنش داده و جداشود. داخل خشک‌کننده، واکنش گوگردزدایی و خشک کردن سنگ آهک به طور همزمان اتفاق می‌افتد، و یک مخلوط ذره‌ای از سنگ‌گچ $(CaSo_4\text{-}H_2o)$ و سولفیت کلسیم $(CaSo_3\text{-}0.5H_2o)$ را نتیجه می‌دهد. این ذرات در یک شتاب‌دهنده جریان پائین بازیافت می‌شود. از آنجائیکه این فرآیند برای سنگ آهک با کیفیت خوب کافی نیست و به علاوه خاکستر مخلوط باقی می‌ماند، ذرات گوگردزدایی شده هدر می‌روند.

---

[1] Soot-separation Process
[2] Soot-mixed Process
[3] Electrostatic Precipitator
[4] Spray dryer process

④ فرآیند گوگردزدایی کوره:

فرآیند گوگردزدایی کوره برای بویلرهای با بستر سیال‌ساز به کار می‌روند. سنگ آهک به کاررفته برای گوگردزدایی، مخلوط‌شده و با زغال‌سنگ سوزانیده می‌شود، که واکنش زیر را برای جدایش So_2 در یک درجه حرارت کوره $^\circ C$ ۷۶۰-۸۶۰ ایجاد می‌کند:

$$CaCo_3 \rightarrow CaO + Co_2 , CaO + So_2 \rightarrow CaSo_3$$

در بویلرهای بستر سیالی تحت فشار، سنگ آهک به CaO بنابر فشار جزئی بالای Co_2 تجزیه نمی‌شود، اما So_2 براساس واکنش زیر جدا می‌شود:

$$CaCo_3 + So_2 \rightarrow CaSo_3 + Co_2$$

۲- تکنولوژی کاهش NO_X

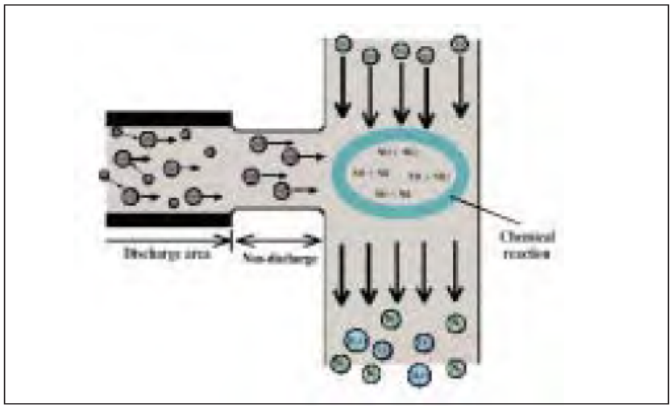
① فرآیند کاهش تحریک‌کننده انتخابی (SCR)

② فرآیند کاهش غیرتحریک‌کننده انتخابی (SNCR)

این دو فرآیند در بخش تکنولوژی‌های مرتبط با کشور ایالات متحده بحث شد.

۳- روش تزریق رادیکال[1]

در روش تزریق رادیکال، همان‌طور که در شکل ۱۳ نشان داده شده است، پلاسمای آرگون به NH_3 تزریق می‌شود، پلاسمای NH_2 و پلاسماهای دیگر ایجادشده، که به سمت بویلر برای تجزیه No_2 به N_2 و H_2o وزیده می‌شود. هدف از این تکنولوژی به دست آوردن غلظت NO_X ppm ها یا کمتر می‌باشد. در حال حاضر تحقیقات مقدماتی در مرکز انرژی زغال‌سنگ ژاپن و در دست اقدام است.



شکل (۱-۲۴)- خلاصه ای از روش تزریق رادیکال

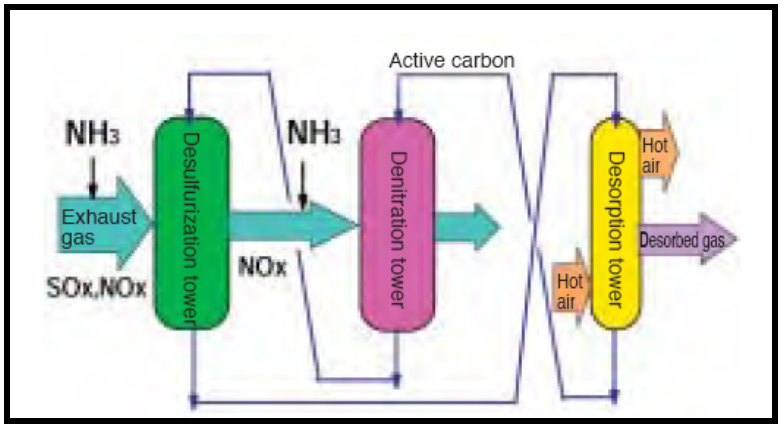
[1] Radical injection method

۴- تکنولوژی NO_X زدایی و SO_X زدایی به طور همزمان

تکنولوژی فرآیند گوگردزدایی مرطوب نیازمند مقدار قابل توجهی آب کمکی و همچنین سیستم‌های اندازه‌گیری پیشرفته فاضلاب می‌باشد. درضمن، یک فرآیند کاهش تحریک‌کننده انتخابی (SCR) آمونیاکی تجاری نه تنها نیازمند کاتالیزورهای گران‌قیمت DeNox می‌باشد بلکه برای جلوگیری از نشت آمونیاک به اندازه‌گیری نیز نیاز دارد. تلاش‌های توسعه، برای یک روش DeNox گوگردزدای ترکیبی خشک در دست اقدام بوده تا NO_X و SO_X به طور همزمان بدون نیاز به هیچگونه آب کمکی، عملیات فاضلابی یا یک کاتالیزور DeNox جداشوند.

① روش جذب سطحی کربن فعال[1] :

روش جذب سطحی کربن فعال واکنشی را بین So_2 در گاز خروجی و NH_3 تزریق‌شده به کربن فعال در دمای $120-150\ ^\circ C$ سبب می‌شود، تا براین اساس So_2 به سولفات هیدروژن آمونیاک (NH_4HSo_4) و سولفات آمونیاک $((NH_4)_2So_4)$ برای جدایش/جذب سطحی تبدیل شود تا NO_X به نیتروژن و آب، همانند آنچه که در فرآیند SCR انجام می‌شود، تجزیه شود. شکل ۱۴ این فرآیند را نشان می‌دهد. برج جذب سطحی با بستر متحرک (برج گوگردزدایی[2])، So_2 را در مرحله اولیه جدا می‌کند و در مرحله دوم (برج نیتروژن‌دهی[3]) NO_X تجزیه می‌شود. در این روش ابتدا SO_X و سپس NO_X جدا می‌شود اما همان‌طور که در شکل نشان داده شده است به دلیل وجود غلظت بالای So_2 ، کارایی جداکردن NO_X روبه کاهش است.



شکل (۱-۲۵)- فرآیند گوگردزدایی روش کربن فعال

[1] Active carbon adsorption
[2] Desulfurization tower
[3] Denitratio tower

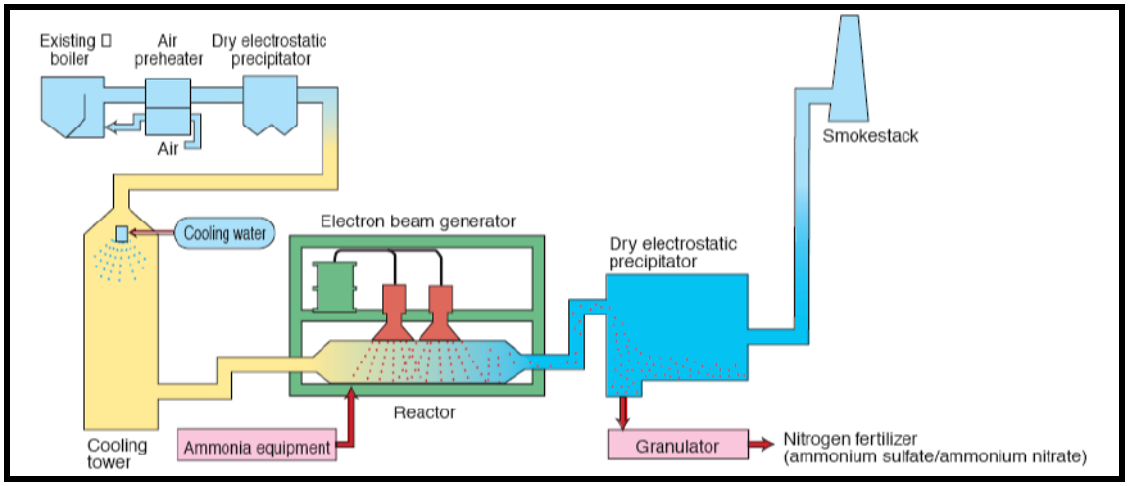
کربن فعالی که NH_4HSo_4 را جذب کرده است در برج واجذبی[1] تا $^{\circ}C$ ۳۵۰ یا بالاتر حرارت می‌بینـد تـا NH_4HSo_4 بعد از تجزیه شدن به NH_3 و So_2 جداشود، در حالیکه کربن فعال دوباره تولید می‌شود. So_2 می‌تواند جذب شده و به شکل اسید سولفوریک (H_2So_4) در صورتی که NH_3 به برج گوگردزدایی تزریـق نشده باشد، جدا شود. اما به دلیل اینکه واکنش زیر با کربن در طـول واجـذبی اتفـاق مـی‌افتـد، کـربن فعـال مصرف‌شده، NH_3 در زمان گوگردزدایی برای جلوگیری از مصرف کربن فعال اضافه می‌شود.

$$H_2So_4 \rightarrow So_3 + H_2o$$
$$So_3 + 0.5C \rightarrow So_2 + Co_2$$

زغال‌سنگ برای کاهش So_2 جذب‌شده به گوگرد عنصری در $^{\circ}C$ ۹۰۰ برای بازیافت استفاده می‌شود. روش دیگری وجود دارد که So_2 را به So_3 اکسید می‌کند تا آن را به صورت اسید سولفوریک بازیافت کند.

② فرآیند پرتو الکترونی:

فرآیند پرتو الکترونی، همان‌طور که در شکل ۱۵ نشان داده شده، شامل استفاده یک پرتو الکترونی برای تابش دادن به SO_X/NO_X در گاز خروجی و تزریق NH_3 برای ایجاد یک واکنش برای بازیافت آنها به صـورت سولفات آمونیاک $((NH_4)_2So_4)$ یا نیترات آمونیاک (NH_4No_3) در شتاب‌دهنده[2] جریان پائین می‌باشـد. محصولات، سولفات آمونیاک و نیترات آمونیاک که به صورت کـود شـیمیایی قابـل اسـتفاده اسـت. رانـدمان جدایش ۹۸ درصد یا بیشتر برای SO_X و ۸۰ درصد برای NO_X ، در یک نسبت مولار NH_3/NO ، یـک که در $^{\circ}C$ ۱۲۰-۷۰ به دست می‌آید. راندمان جدایش NO_X ، به طـور ویـژه بـا غلظـت‌هـای بـالاتر So_2 افزایش می‌یابد، در صورتی که راندمان جدایش SO_X متأثر از غلظت So_2 در ورودی نیست.



شکل (۱-۲۶)- روند جریان فرآیند گوگرد زدایی پرتو الکترونی

[1] Desorption tower
[2] Precipitator

➢ سیستمهای تولید همزمان[1]

○ سیستم‌های تولید همزمان حرارت و کار[2]

یک سیستم تولید همزمان سیستمی است که از یک منبع انرژی مشترک برای تولیدبرق و انرژی حرارتی برای مصارف دیگر استفاده می‌کند که نتیجه آن افزایش راندمان سوخت است.
سیستم‌های تولید همزمان تقریباً به طورکلی به دو نوع تقسیم می‌شوند. یک نوع آن تولیدبرق از موتور دیزل، موتور گازی، توربین گاز یا موتورهای دیگر است. هنگامیکه حرارت تلف‌شده از موتور به صورت آب‌گرم یا بخار از طریق مبادله حرارت در یک بویلر بازیافت می‌شود. نوع دیگر شامل تولیدبرق توسط محور یک توربین بخار با بخار تولیدشده توسط بویلرها می‌باشد و بخار با یک فشار مطلوب به صورت بخار فرآیند جدا می‌شود.
مورد اول به طورکلی از سوختهای گازی یا مایع استفاده می‌کند و اغلب در مقیاس‌های کوچک برای هتل‌ها، سوپرمارکتها و بیمارستان‌ها می‌باشد.
در خصوص مورد دوم، هر نوع سوختی، شامل زغال‌سنگ، به عنوان سوخت برای بویلرها استفاده می‌شود و بسیاری از آنها در مقیاس‌های به نسبت بزرگ در نیروگاههای حرارتی با کاربرد صنعتی یافت می‌شوند. به علاوه این سیستم‌ها به دو دسته گروه‌بندی می‌شوند، آنهایی که به طور عمده برق تولیدکرده (توربین‌های متراکم‌کننده) در مقابل آنهایی که اصولاً بخار تولید می‌کنند (توربین بخاری که تمام بخار خروجی آن با فشار به داخل شبکه گرم‌کننده جذب می‌شود)[3].
درکل، راندمان تولیدنیرو یک نیروگاه تولید حرارتی زغال‌سنگ که تنها برق تولید می‌کند حدود ۴۰٪ است. از طرف دیگر، راندمان حرارتی کلی یک سیستم تولید همزمان کار و حرارت، که ترکیبی از راندمان تولیدنیرو و راندمان بازیافت حرارت است، بستگی به این دارد که هدف اصلی تأمین برق است یا تأمین حرارت. سیستم‌های تولید کار و حرارت همزمان که در ابتدا حرارت تولید می‌کنند می‌توانند راندمان را به ۸۰ درصد برسانند.

○ سیستم‌های تولید همزمان محصولات

تلاش‌های معمول برای توسعه فرآیندهای نوین درون صنعت با محدودیت‌هایی مواجه می‌شود برای دنبال کردن کاهش گسیل‌های Co_2 ، لازم است تا به طور جامع انرژی‌های موجود و سیستم‌های تولید مواد را بازبینی کرده و تکنولوژیهایی که فرآیندهای اختصاصی و روابط بین فرآیندها را بهینه می‌کند، توسعه داده

[1] Co-production
[2] Co generation
[3] Back-pressure turbine

شود. نه تنها راندمان تبدیل بهبود داده خواهدشد و انرژی حفظ می‌شود، بلکه اساساً و مرتباً تولید مواد و انرژی تغییر خواهندکرد.
سیستم تولیدنیرو با تولید همزمان سوخت[1] ، که برق، سوخت و مواد شیمیایی از زغال‌سنگ را تولید می‌کنند، راندمان کلی بهره‌برداری را از طریق یگانه‌سازی صنایع با ساخت یک مجموعه مرکب از زغال‌سنگ صنعتی، بهبود می‌دهند.
در صنایع برق، آهن و فولاد، و مواد شیمیایی که مقادیر زیادی از زغال‌سنگ برای تولید انرژی مصرف می‌شوند، ساختن یک هسته نیروگاهی که انرژی و مواد شیمیایی را همزمان تولیدکند، و گردآوردن نیروگاههای پیرامون برای تولید محصولات مختلف، یگانه‌سازی صنایعی که در هسته نیروگاه مرکزیت گرفته‌اند را افزایش می‌دهد، این یگانه‌سازی صنایع، سیستم‌های صنعتی موجود را برای تولید آینده و سیستم صنعتی هیبرید ارتقاء می‌دهد.
تکنولوژی اصلی برای این نوع از سیستم تولیدنیرو با تولید همزمان سوخت، تکنولوژی گازی کردن زغال‌سنگ است. با ترکیب یک سیستم تولیدنیرو با راندمان بالا، مانند IGFC ، با فرآیندی که به طور همزمان سوخت قابل ذخیره را تولید می‌کنند، نرمال‌سازی بار وارد بر راکتور گازی و کاهش چشمگیری از گسیل‌های Co_2 را نتیجه می‌دهد.
به علاوه، حرارت تلف‌شده در مجموعه مرکب زغال‌سنگ صنعتی برای بازیافت مواد شیمیایی از زغال‌سنگ از طریق واکنش‌های گرماگیر به کار می‌رود، بنابراین راندمان انرژی بیشتر بهبود یافته و ترکیبات زغال‌سنگ صنعتی ارتقاء می‌یابد.

➢ تکنولوژیهای مرتبط با توربین گاز

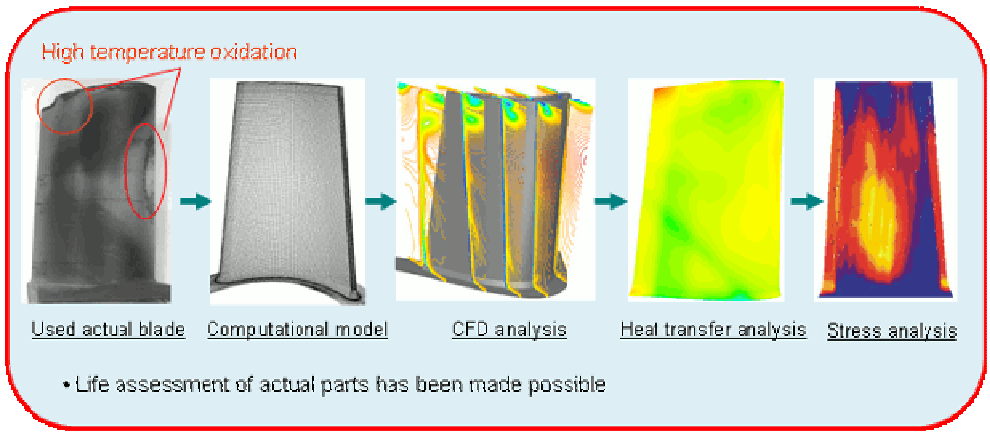
○ تکنولوژی نگهداری پیشرفته از قسمتهای مسیر گاز داغ در توربین گاز

تولید نیروی سیکل ترکیبی توربین گاز، هم‌اکنون، مهمترین موقعیت را در نیروگاههای حرارتی، به دلیل راندمان حرارتی بالا و اثرات محیطی پائین دارد. قسمتهای مسیر گاز گرم در توربین‌های گاز مورد استفاده، تحت محیط گاز احتراق با دمای به شدت بالا میانگین طول عمر نسبتاً کوتاهی دارند، و به طور مکرر باید تعمیرشده و با یک نمونه جدید جایگزین شود. این قسمت‌ها از سوپرآلیاژهای پیشرفته گران‌قیمت که دارای مسیرهای خنک‌کاری داخلی پیچیده‌ای هستند، ساخته شده‌اند که یکی از سهیم‌ترین فاکتورها برای هزینه‌های گزاف نگهداری توربین‌ها می‌باشند.

[1] Fuel co-production power generation system

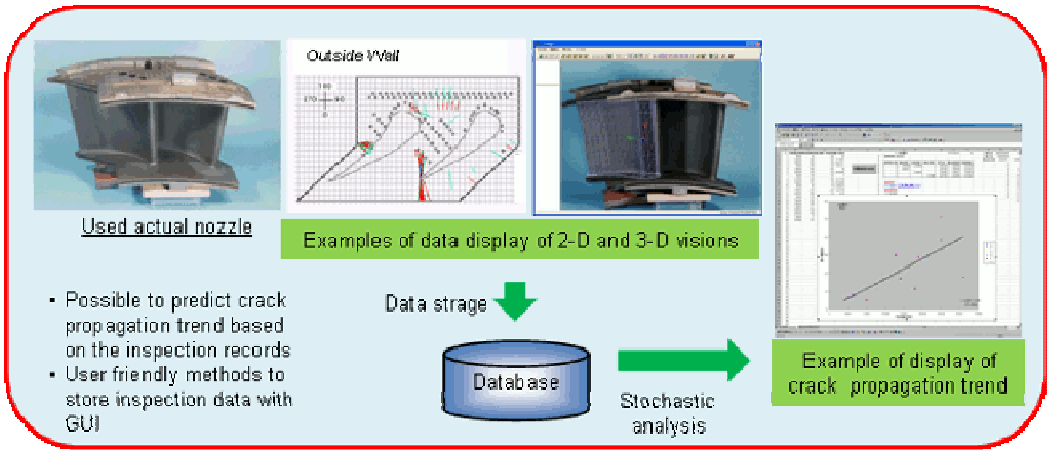
کشور ژاپن در حال تحقیق و توسعه تکنولوژیهای نگهداری و تعمیر برای کاهش هزینه نگهداری توربین‌های گاز می‌باشد:

۱- روش ارزیابی عمر برپایه دینامیک سیالات محاسباتی و تحلیل تنشی المان محدود توسعه یافته‌اند تا عمر پره‌های توربین مرحله ۱ با درجه حرارت $^{\circ}C$ ۱۱۰۰ تا ۱۳۰۰ را تخمین بزنند.



شکل (۱-۲۷)-روش‌های ارزیابی عمر تحلیلی

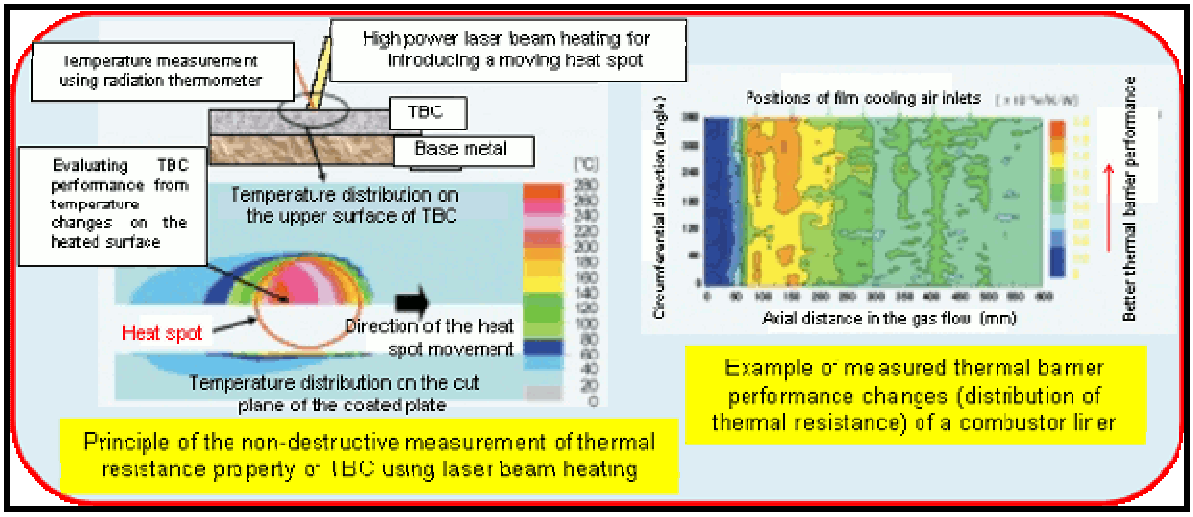
۲- سیستم پیش‌بینی انتشار ترک که برای ذخیره داده‌های بازرسی و پیش‌بینی عمر پخش ترک توسعه یافته‌اند، به حدود معین و قابل پذیرش براساس تحلیل داده‌های طول ترک برای نازل‌های مرحله اول رسیده‌اند.



شکل (۱-۲۸)- نمونه‌هایی از سیستم پیش‌بینی انتشار ترک برای نازل‌ها

۳- ابزاری برای ارزیابی، در حالت غیرمخرب، کاهش مقاومت حرارتی[1] (TBC) در پوشش‌های مانع حرارتی توسعه یافته‌اند. این ابزار می‌تواند برای عملکرد مانع حرارتی محفظه‌های احتراق واقعی به کار برده شوند.

[1] Thermal barrier Coating



شکل (۱-۲۹)- شماتیکی از ابزار اندازه‌گیری غیرمخرب برای پایین آوردن عملکرد TBC

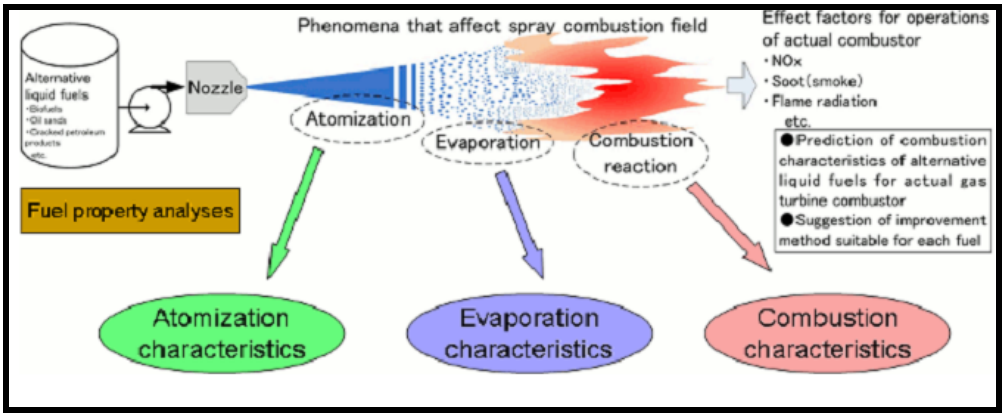
○ توسعه تکنولوژی ارزیابی سوختهای مایع به عنوان سوخت جانبی توربین‌های گاز

سیکل ترکیبی توربین گاز[1] (GTCC) اصلی‌ترین سیستم در یک نیروگاه حرارتی، بدلیل راندمان حرارتی بالای آن می‌باشد. گاز طبیعی مایع[2] (LNG) تقریباً برای تمامی نیروگاههای GTCC به کار برده می‌شود.

اما، بسط دادن قابلیت استفاده از سوختهای مایع مانند سوختهای زیستی، ماسه نفتی[3] و محصولات نفتی ترک‌دار[4] برای افزایش امنیت انرژی مطلوب می‌باشد.

در هنگام استفاده از سوختهای مایع، سیستم احتراق افشانه‌ای[5] برای توربین‌های گاز به کار می‌رود. پدیده اصلی این فرآیند تحت تأثیر سه پدیده اصلی است، که اتمی‌سازی[6]، تبخیر و واکنش احتراق می‌باشند. در این قسمت اثرات خصوصیات سوخت بر روی سه پدیده مزبور توضیح داده شده است، و استراتژی‌های بهبود مرتبط با خصوصیات سوخت پیشنهاد می‌شود.

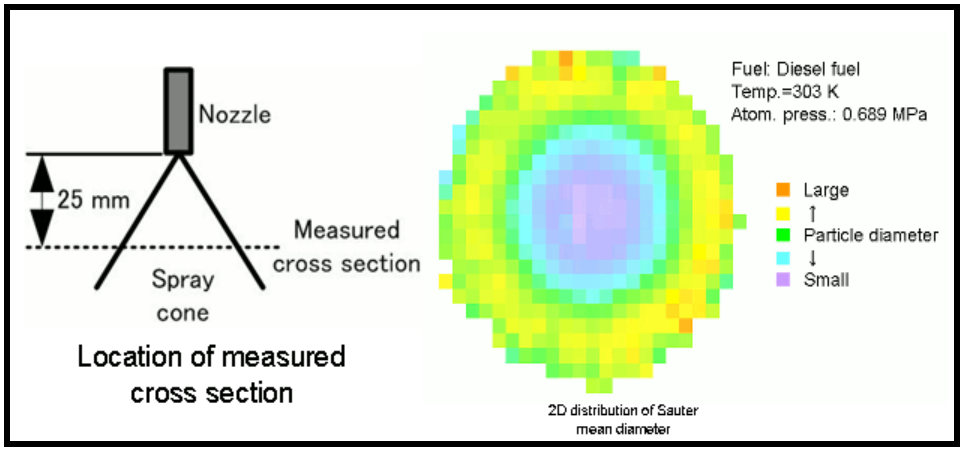
[1] Gas turbine combined cycle
[2] Liqufied natural gas
[3] Oil sand رسوبی از ماسه خشک و نچسبیده یا سنگ ماسه بطور جزئی محکم‌شده که شامل قیر می‌باشد.
[4] Cracked petroleum products
[5] Spray combustion
[6] Atomitation



شکل (۱-۳۰)- تحلیل خصوصیات سوخت

۱- تحقیق بر روی ویژگیهای اتمی‌سازی:

اثرات خصوصیات سوخت بر روی اندازه قطره اتمی‌شده از طریق تحلیل‌گر افشانه انکسار لیزر[1] (LDSA) بررسی می‌شود.

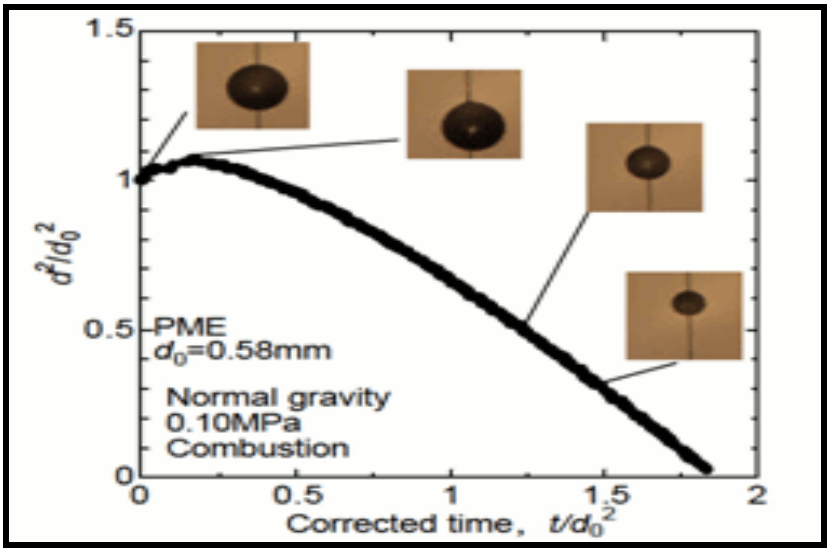


شکل (۱-۳۱)- محل مقطع عرضی اندازه‌گیری شده

۲- بررسی خصوصیات تبخیر:

نرخ ارزیابی قطره سوخت با استفاده از لوازم آزمایشگاهی اندازه‌گیری می‌شود به طوریکه تاریخچه تصویری یک قطره منفرد می‌تواند مشاهده شود. شرایط فشار محیطی (تا ۴۰۵ Mpa) و درجه حرارت (تا ۱۰۷۳ K) می‌تواند در محفظه ایجاد شود.

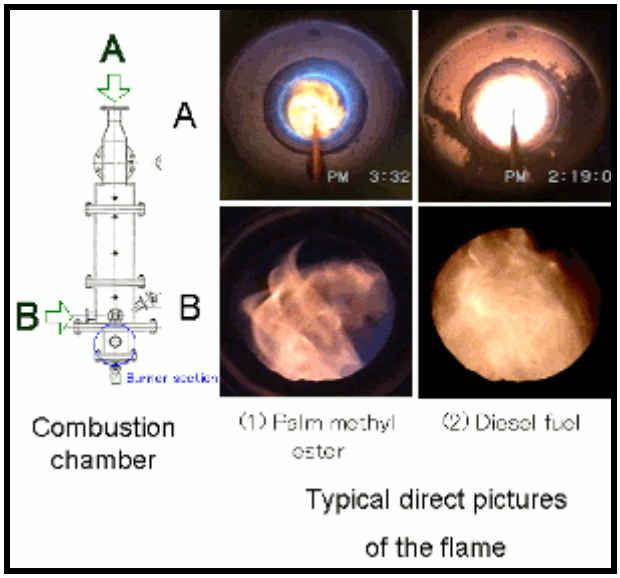
[1] Laser diffraction spray analyzer



شکل(۱-۳۲)- تاریخچه قطره توسط دوربین با سرعت بالا مشاهده شده است

۳- بررسی خصوصیات احتراق:

خصوصیات گسیل گرد و غبار[1] و NO_X از طریق تستهای احتراق افشانه‌ای بررسی می‌شود. اثرات خصوصیات اتمی‌سازی و تبخیر، که از طریق لوازم دیگر بررسی شده‌اند، بر روی گاز خروجی نیز بررسی می‌شوند.



شکل (۱-۳۳)- **بررسی خصوصیات احتراق**

[1] Soot

➢ تکنولوژی مدل‌سازی عددی مدرن

تکنولوژی مدل‌سازی عددی محیطی را برای آزمایش‌های مجازی بر روی کامپیوتر فراهم می‌کند. این تکنولوژی به شدت به عنوان یک ابزار قدرتمند مورد انتظار است تا بتواند به طور قابل توجهی تعداد ساعات کاری کارگران و هزینه عملیات آزمایشات مقیاس بزرگ را کاهش دهد و پیشرفتی چشمگیر را در عملکرد وسایل ایجاد کند.

در این راستا بر روی سه زمینه تمرکز شده است:

۱- پدیده ادراک و فهم عمیقانه (تحلیل و مدل‌سازی)

۲- پیش‌بینی عملکرد (تشخیص و بهینه‌سازی طرح و شرایط عملیات)

۳- توسعه کدهای شبیه‌سازی

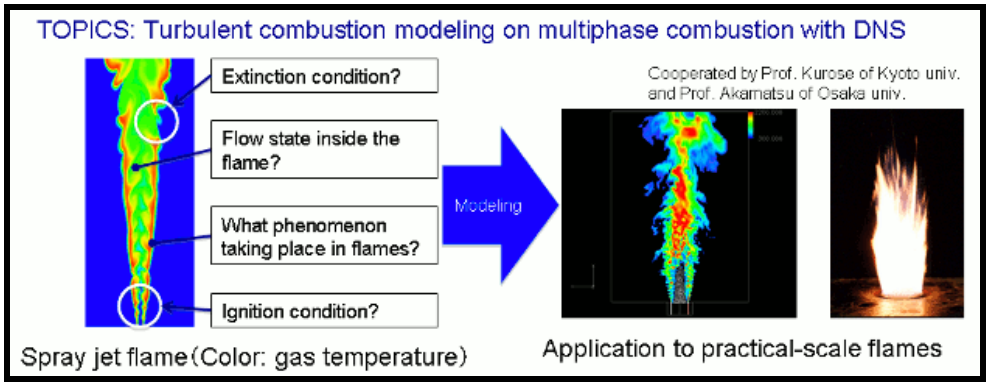
① پدیده ادراک و فهم عمیقانه (تحلیل و مدل‌سازی)

یک آزمایش مجازی که توسط یک روش عددی انجام شده است، دقیق‌تر از آزمایشی است که پدیده اتفاق‌افتاده را به طور جزئی بر روی کامپیوتر مشاهده می‌کند. یافته‌های جدید مدل می‌شوند و برای یک زمینه پیچیده‌تر به کار می‌روند. تعدادی از پدیده‌هایی که به خوبی مدل نمی‌شوند در زمینه جریان واقعی بر روی لوازم نیروگاه حرارتی باقی می‌مانند.

- موضوع تحقیقات:
  - جریان‌های متلاطم[1]
  - احتراق/گازی کردن زغال‌سنگ
  - احتراق افشانه‌ای
  - تجزیه و تفکیک قیر[2]
  - تشکیل گرد و غبار
  - تشکیل NO_X

و ...

[1] Turbulent flows
[2] Tar decomposition



شکل (۱-۳۴)-**تحلیل و مدلسازی**

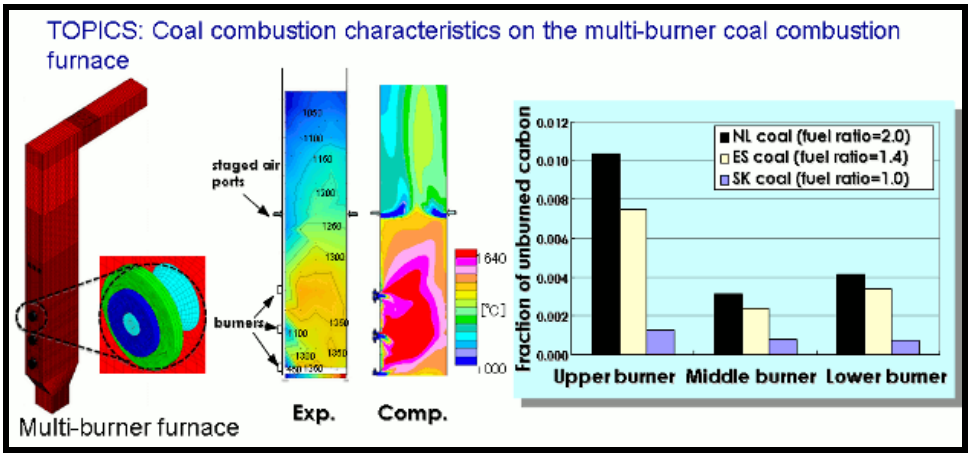
② پیش‌بینی عملکرد (تشخیص و بهینه‌سازی طرح و شرایط عملکرد)

عملکرد دستگاههایی که تحت طراحی و ساخت می‌باشند، اثرات اشکال و شرایط عملیاتی را برای بهینه‌سازی طراحی و شرایط عملکرد، را بررسی می‌کنند.

- موضوع تحقیقات:

- بویلرهای زغال‌سوز
- مبدل‌های گازی زغال‌سنگ
- پره‌های توربین گاز (GT)

و ...



شکل(۱-۳۵)- **خصوصیات احتراق زغال‌سنگ بر روی کوره احتراق زغال‌سنگ چند مشعله**

③ توسعه کدهای مدل‌شده

یک برنامه مدل‌سازی که می‌تواند میدان‌های جریان تجهیزات پیچیده شکل با مقیاس بزرگ را در یک نیروگاه حرارتی محاسبه کند، توسعه داده می‌شود.

➢ تکنولوژی نرم‌افزار Energy Win

مرکز تحقیقات تولید برق ژاپن نرم‌افزار کامپیوتری را برای تحلیل راندمان حرارتی سیستم‌های تولید نیروی مختلف توسعه داده است. این نرم‌افزار نه تنها برای سیستم‌های نیروگاه حرارتی موجود مناسب است، بلکه برای سیستم‌های نیروگاههای جدید مانند IGCC سلول سوختی و غیره نیز کاربرد دارد. مطالعات بسیاری با استفاده از این نرم‌افزار انجام شده است، از جمله طراحی مفهومی نیروگاههای جدید و طراحی تشخیصی نیروگاههای موجود.

- خصوصیات نرم‌افزار:

- نرم‌افزار اختصاصی CRIEPI
- برای کاربردهای Windows (با حجم کمتر از 10MB)
- سیستم عامل: Windows (95/98/Me/NT/2000/XP/Vista)
- زبان نرم‌افزار: ژاپنی
- انعطاف‌پذیری برای وضع شرایط محاسباتی
- انعطاف‌پذیری برای اضافه کردن مدل‌های اجزاء جدید
- کتابخانه جدول بخار براساس IAPWS IF-97

این نرم‌افزار می‌تواند راندمان حرارتی کل سیستم نیروگاههای مختلف را به سرعت تحلیل کند.
مقادیری مانند دبی جریان بخار استخراج‌شده و عملکرد موازنه حرارتی محاسبه می‌شوند.
مربوط به نیروگاه حرارتی: با استفاده از داده‌های عملکرد نیروگاه، می‌توان عملکرد هر یک از اجزاء و تغییرات مداوم آنها را محاسبه کرد. می‌توان فاکتورهای کاهش اصلی در راندمان حرارتی را تعیین کرد و ارزیابی کرد که چگونه هر فاکتور بر روی راندمان حرارتی اثر می‌گذارد.
مربوط به سیستم‌های تولید نیروی جدید: برای سیستم‌های تولید نیروی جدید که راندمان تولید آنها بالاتر و خصوصیات عملیاتی آنها بهتر است، موردنیاز می‌باشد. بسیاری از سیستم‌های توربین گاز که توان را افزایش، راندمان تولید را بهبود و گسیل‌های NO_X از طریق هوای مرطوب بالا کاهش می‌دهند، پیشنهاد می‌شود.

کشورهای اروپایی (آلمان و بریتانیا)

❖ آلمان

کشور آلمان بزرگترین کشور اروپایی از نظر وسعت محسوب می‌شود. جمعیت آن بالغ بر ۸۲ میلیون نفر است. همچنین بزرگترین اقتصاد را در اروپا و پنجمین را در دنیا شامل می‌شود.

این کشور دارای ترکیب سوختی نسبتاً متعادل در منابع انرژی اولیه کلی[1] (TPES) خود می‌باشد. نفت بیشترین سهم از TPES ، بیش از یک سوم و به دنبال آن زغال‌سنگ (۲۴/۱٪)، گاز طبیعی (۲۳٪) و انرژی هسته‌ای ۱۲ درصد را تشکیل می‌دهند. آلمان در مقایسه با کشورهای دیگر سهم بالایی از انرژی‌های تجدیدپذیر را در TPES خود داراست.

آلمان برای تأمین ۶۰ درصد نیازمندی‌های انرژی خود به واردات تکیه دارد. علاوه بر انرژی هسته‌ای، آلمان بخش اعظمی از زغال‌سنگ خود را تولید می‌کند.

بیشترین سهم مصرف انرژی متعلق به بخش صنعتی می‌باشد. بیشترین سهم تولید برق نزدیک به ۵۰ درصد از زغال‌سنگ ایجاد می‌شود، که نسبت به سال ۱۹۸۵ هنگامیکه تقریباً ۶۲ درصد برق از زغال‌سنگ تولید می‌شد، افت شدیدی داشته است. در همان زمان، مقدار برق تولیدشده از گاز طبیعی از ۵/۴ درصد در سال ۱۹۸۵ تا ۱۱/۳ درصد در سال ۲۰۰۵، به بیش از دو برابر افزایش یافته است. بیشترین رشد را برق تولیدشده از انرژی‌های نو (شامل سوخت‌زیستی، خورشیدی، آبی و بادی به استثنای زائدات غیرتجدیدپذیر) داشته است.

سهم آن دارای یک نرخ میانگین سالانه ۹ درصدی، که با افزایش ۳/۹ درصد در سال ۱۹۸۵ به ۴/۹ درصد در سال ۱۹۹۵ و ۱۰/۱ درصدی در سال ۲۰۰۵ می‌باشد.

برنامه جدیدی که برای سیاست انرژی آلمان درنظرگرفته شده است، شامل به مرور خارج کردن نیروگاههای هسته‌ای براساس قانون سال ۱۹۹۹ می‌باشد. همچنین تصور می‌شود که حمایت دولت از انرژی‌های تجدیدپذیر و نو ادامه خواهدداشت و گسیل گازهای گلخانه‌ای (GHG) توسعه خواهد یافت.

براساس این برنامه جدید انتظار می‌رود تا چشمگیرترین تغییرات مربوط به انرژی‌های نو و هسته‌ای باشد.

بخشی از این کمبود ناشی از انرژی هسته‌ای توسط رشد منابع انرژی‌های تجدیدپذیر که در سال ۲۰۳۰ ایجاد می‌شوند، حیران خواهدشد. قرار است تا سهم انرژی هسته‌ای در TPES از ۱۳ درصد در سال ۲۰۰۰ به صفر در سال ۲۰۳۰ تغییرکند، در حالیکه سهم انرژی‌های تجدیدپذیر از ۳ درصد به بالاتر از ۱۵ درصد در همان دوره، تغییر خواهدکرد.

منابع زغال قهوه‌ای (زغال‌سنگ تولیدشده داخلی با شدت انرژی پائین) نیز انتظار می‌رود که بخشی از کاستی ناشی از انرژی هسته‌ای را پوشش داده و از کمتر از ۱۱ درصد در سال ۲۰۰۰ به بیشتر از ۱۲ درصد در سال ۲۰۳۰ افزایش پیداکند.

برنامه‌ریزی شده است تا منابع زغال‌سنگ سخت اندکی از ۱۴ درصد TPES در سال ۲۰۰۵ تقریباً به ۱۷ درصد در سال ۲۰۳۰ صعود یابد. سهم گاز در TPES آلمان نیز کمی بین سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۳۰ از ۲۱/۱

[1] Total primary energy supply

درصد تا ۲۳/۵ درصد برای جبران کاستی ناشی از انرژی هسته‌ای افزایش یابد. همچنین مطرح است تا سهم نفت از ۳۸ درصد در سال ۲۰۰۰ به کمی بالاتر از یک سوم در سال ۲۰۳۰ کاهش یابد.
کشور آلمان انتظار دارد تا گسیل‌های Co_2 تا بیشتر از ۱۸ درصد بین سالهای ۲۰۰۴ و ۲۰۳۰ کاهش داده و تصور می‌شود که بخش عمده‌ای از افت مربوط به گسیل‌های زغال‌سنگ، بخش متوسط کاهش مربوط به گسیل‌های نفتی، و افزایش کمی در گسیل‌های ناشی از گاز طبیعی می‌باشد.
بر این اساس راندمان نیروگاههای زغال‌سوز و زغال قهوه‌ای[1] آلمان به طور پیوسته در حال افزایش است. نیروگاههای جدید زغال قهوه‌ای در حال حاضر به نرخ ۴۳ تا ۴۵ درصدی (در مقایسه با نیروگاههای قدیمی با راندمان ۵۰ درصد که هنوز در حال کار کردن می‌باشند) رسیده‌اند. نیروگاههایی با سوخت زغال‌سنگ سخت[2] جدید به نرخ راندمانی ۴۶ تا ۴۸ درصد رسیده‌اند و تعدادی پیشنهادات پروژه‌ای جدید نیز از سال ۲۰۱۰ به بعد طراحی شده‌اند. به علاوه برای کاهش نیاز به زغال‌سنگ، دستاوردهای راندمان منجر به کاهش گسیل‌های دی‌اکسیدسولفور (So_2) ، اکسیدهای نیتروژن‌دار (NO_X) و ذرات، افزایش کیفیت هوای ناحیه‌ای و همچنین پائین‌تر آمدن گسیل‌های دی‌اکسیدکربن (Co_2) شده است.
برای ارتقاء و بهبود راندمان نیروگاهها و پائین آمدن گسیل‌ها، استراتژی زغال‌سنگ تمیز دولت هدف دارد تا توسعه تکنولوژی‌ها را به سمت نیروگاههای با راندمان بالاتر، همراه با توسعه تکنولوژی‌های جدید برای احتراق با کربن کمتر سوق دهد.

❖ بریتانیا

پادشاهی متحده بریتانیای کبیر و ایرلند شمالی (UK) یک کشور جزیره‌ای در اروپای غربی است. UK ، انگلستان، ولز، اسکاتلند و ایرلند شمالی را تحت پوشش دارد.
از سال ۱۹۹۰، بخش برق UK یک فرآیند قابل توجه خصوصی‌سازی گسترده و رقابتی را طی می‌کند. اصلاحات، این بخش را به سرعت برای دگرگونی تکنولوژی‌های تولید راهبری می‌کند تا از گاز طبیعی واردشده و داخلی به نسبت ارزان قیمت بهره‌برداری کرده و نیروگاههای زغال‌سوز غیرکارآمد و نسبتاً قدیمی را جایگزین کند.
از سال ۱۹۷۳، مخلوط تولید دستخوش دو تغییر جهت اصلی شده است. در فاز اول تا سال ۱۹۹۰، سهم تأمین‌شده از انرژی هسته‌ای از ۱۰ درصد تا ۲۱ درصد افزایش یافت و جایگزین تولید نفت‌سوز شد که از ۲۶ درصد تا ۱۱ درصد کاهش یافت. فاز دوم (از سال ۱۹۹۰ تا حال حاضر) به دلیل جایگزینی تولید زغال‌سوز با تولید گازسوز موردتوجه بوده است. سهم تولید زغال‌سوز نسبتاً از سال ۱۹۷۳ تا ۱۹۹۰ ثابت باقی‌مانده، اما از سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۳ از ۶۵ درصد به ۳۵ درصد کاهش یافت. در همین دوره، تولید گازسوز از ۲ درصد به ۳۸ درصد افزایش یافت. همچنین، در ده سال اخیر سهم گاز طبیعی و زغال‌سنگ از پایداری کمتری برخوردار بودند و اغلب تغییرات اساسی سال به سال داشته‌اند. این موضوع، در پی این موفقیت است که زغال‌سنگ و گاز برای پاسخ‌های تولیدنیرو به طور دینامیک برحسب قیمتشان استفاده می‌شوند. مخلوط سوخت در تولیدبرق

[1] Lignite
[2] Hard coal

در طول دهه اخیر در مقایسه وابستگی شدید در گذشته بر روی زغال‌سنگ، متغیرتر بوده است. پروژه‌های تجاری نشان می‌دهند که در مخلوط سوختی سهم گاز طبیعی تا ۶۱ درصد در سال ۲۰۲۰ افزایش بیشتری نسبت به بقیه دارد. انرژی‌های تجدیدپذیر احتراق‌پذیر و زباله‌ها، و منابع انرژی‌های نو دیگر برای جبران افت نیروگاه هسته‌ای قدیمی برنامه‌ریزی شده‌اند، و سهم آن تا ۱۳ درصد در سال ۲۰۲۰ افزایش می‌یابد.

- موضوعات سیاست R&D انرژی در بریتانیا

سرمایه‌گذاری‌های بخش عمومی UK در تحقیقات انرژی به ۴ هدف سیاسی کلیدی متصل می‌شوند:

- قرار دادن کشور در مسیر قطع گسیل‌های دی‌اکسیدکربن در UK تا ۶۰ درصد در سال ۲۰۵۰، همراه با یک پیشرفت واقعی نسبت به سال ۲۰۲۰
- حفظ قابلیت اطمینان منابع انرژی
- ترویج بازارهای رقابتی در UK و دورتر، برای کمک به بالا بردن نرخ رشد اقتصادی قابل تحمل و اصلاح تولید UK
- اطمینان حاصل کردن از اینکه هر خانه‌ای به اندازه کافی و با هزینه منطقی گرم شود

➢ تکنولوژی‌های مرتبط با جذب و تفکیک کربن

- نیروگاههای زغال‌سوز

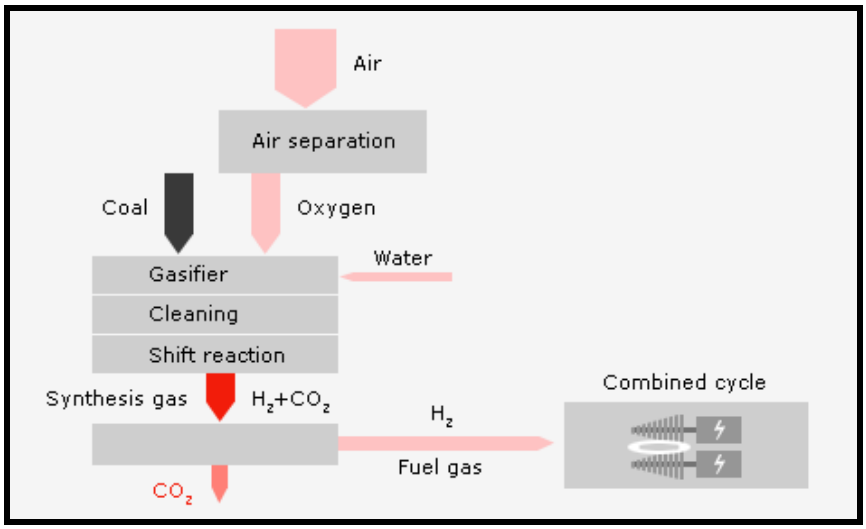
در یک مقیاس جهانی، تخمین زده می‌شود که استخراج و تولید نفت و گاز از لحاظ اقتصادی برای ۶۰ تا ۷۰ سال دیگر دارای ارزش باشند. در حالیکه زغال‌سنگ برای دو قرن آینده باقی می‌ماند. علاوه بر این، ذخایر این منابع سوختی که با استفاده از تکنولوژی‌های آینده خواهیم توانست از آنها بهره‌برداری کنیم باید زمان طولانی‌تری دوام بیاورند. بنابراین یافتن راههایی برای استفاده کارآمدتر از زغال‌سنگ یکی از چالش‌های تکنیکی اصلی رویه صنعت می‌باشد.

نیروگاههای زغال‌سوز نسل بعد، دارای راندمان حراری بالاتری خواهندبود که به کاهش گسیل‌های کربن و بقای منابع کمک خواهندکرد. علاوه براین، نیروگاههای زغالی راندمان بالا پایگاه تکنولوژیکی ایده‌آلی برای به کارگیری تکنولوژیهای جذب کربنی می‌باشند، به طوریکه می‌توانند سهم حائز اهمیتی را برای حفظ آب و هوا در آینده بسازند.

کشور آلمان نیز در این زمینه همان‌طور که برای کشورهای آمریکا و ژاپن مطرح شد، سرمایه‌گذاری قابل توجهی را کرده است، که در ادامه به طور خلاصه توضیح داده خواهدشد.

○ جذب قبل از احتراق

جذب قبل از احتراق شامل جذب Co_2 قبل از سوزاندن سوخت می‌باشد. در مرحله اول این فرآیند، هوا به اکسیژن و نیتروژن تجزیه می‌شود. مرحله دوم، زغال‌سنگ در درجه حرارت‌های بالا به همراه اکسیژن ناکافی و بخار می‌باشد. این مرحله گازی کردن زغال‌سنگ نام دارد، گاز سنتزی ایجاد می‌شود که به طور عمده از Co, Co_2 (مونوکسیدکربن) و هیدروژن H_2 تشکیل می‌شود. در مر حله بعد، مبدل تحریک‌کننده از بخار برای تبدیل Co به مخلوطی از Co_2 و H_2 استفاده می‌کند. سپس Co_2 از این مخلوط گازی بیرون کشیده می‌شود و برای انتقال به یک وسیله ذخیره تحت فشار قرار می‌گیرد.
هیدروژن باقی‌مانده می‌تواند برای تولید برق در یک سیکل ترکیبی توربین گاز (CCGT) که در راندمان حرارتی سطح بالایی عمل می‌کند استفاده شود.
گازی کردن سوخت‌های جامد از قبل برای تولید ترکیبات شیمیایی گوناگون و سوختهای ترکیبی استفاده می‌شده‌اند. قبل از اینکه فرآیند جذب قبل از احتراق بتواند در یک مقیاس عمومی قابل استفاده به کار رود، باید در ابتدا در نیروگاههای تجربی آزمایش شوند. تمرکز R&D در حال حاضر بر روی CCGT های هیدروژن‌سوز و بهینه‌سازی یکپارچگی تجهیزات گازی کردن، تجهیزات خالص‌سازی گاز و CCGT به تنهایی می‌باشد.



شکل (۱-۳۶)-**جذب دی‌اکسیدکربن قبل از احتراق**

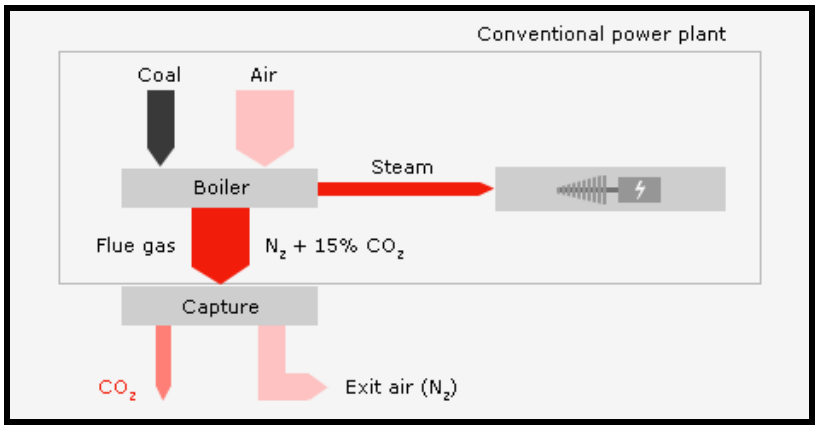
○ تمیزکاری[1] Co_2 پس از احتراق

Co_2 حدود ۱۵ درصد حجم گاز خروجی یک نیروگاه زغال‌سوز را شامل می‌شود. برای تسخیر آن، تجهیزات خالص‌سازی گاز خروجی مرسوم، که برای چنددهه استفاده می‌شوند، با استفاده از یک فرآیند اضافی برج گازی را در معرض یک حلال که Co_2 را جذب می‌کند، قرار می‌دهند.

[1] Scrubbing Co_2

حلال اشباع‌شده Co_2 به طرف یک برج تقطیر لوله‌کشی شده و با بخار گرم می‌شود تا Co_2 جداشده و تمیز شود. حلال دوباره تولیدشده به سمت فرآیند جذب کربن دوباره به گردش درمی‌آید، و یک چرخه تمیزکاری بسته را نتیجه می‌دهد.

صنعت شیمی از قبل از فرآیندهای تمیزکاری Co_2 استفاده می‌کنند اما از لحاظ کاربردی تفاوت عمده‌ای نسبت به شرایط عملکردی در یک نیروگاه زغال‌سوز بزرگ دارد. به علاوه، گرمایش حلال برای جذب Co_2 انرژی مصرف می‌کند. هدف کلیدی R&D ، به حداقل رساندن این تخلیه انرژی و در نهایت کاهش هزینه‌های عملکردی است. مزیت اصلی تکنولوژی‌های پس از احتراق نسبت به روشهای جذب دیگر این است که می‌توان به سادگی نیروگاههای موجود را به روز کرد. البته یک شرط آن این است که نیروگاه فضای کافی در سایت برای نصب تجهیزات جذب داشته باشد.



شکل(۱-۳۷)- **جذب دی‌اکسیدکربن پس از احتراق**

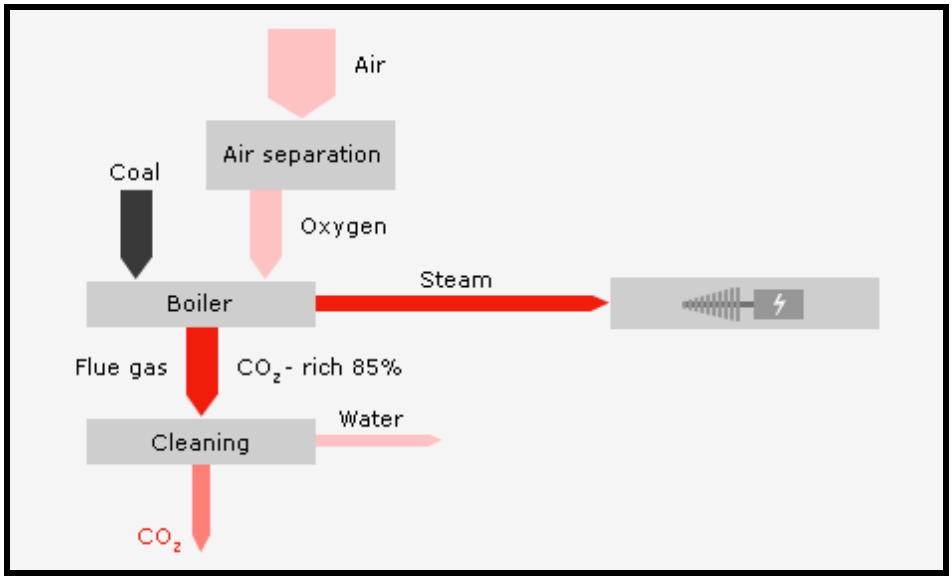
○ سوخت اکسیژنی

در فرآیند سوخت اکسیژنی، سوختی مانند زغال‌سنگ با اکسیژن خالص به جای هوا سوزانیده می‌شود. گاز خروجی به دست آمده تقریباً شامل Co_2 خالص همراه با مقداری بخار است.

خنک‌کاری گاز خروجی می‌تواند Co_2 را از بخاری که به آب در دماهای پائین چگالیده می‌شود، جداکند. گاز خروجی با Co_2 غلیظ با استفاده از تجهیزات مرسوم تمیز می‌شود، به طوریکه مقادیر کمی گرد و غبار، دی اکسید سولفور، و اکسیدهای نیتروژن که آن را شامل می‌شوند، از آن جدا می‌شوند.

موفقیت روش سوخت اکسیژنی اساساً تا حد قابل توجهی به تعیین چگونگی تمیزکردن این گازها از Co_2 قبل از اینکه بتوان آن را انتقال داد و ذخیره کرد، بستگی دارد.

انرژی زیادی صرف تولید اکسیژن خالص که همراه با سوخت سوزانیده شده، می‌شود؛ اما در مقایسه با تمیزکاری Co_2 پس از احتراق بسیار کم می‌باشد. روش دیگر بهبود کنترل فرآیند احتراق در بویلر می‌باشد.



شکل (۱-۳۸) -**سوخت اکسیژنی**

○ گزینه‌های ذخیره دی‌اکسیدکربن

سفره‌های آب شور برای ذخیره کربن زیرزمینی دائمی مناسب هستند. به طور نمونه بیشتر از ۸۰۰ متر زیر سطح زمین، آرایشات صخره‌ای شامل حفره‌های میکروسکوپی پر شده از آب نمک هستند.
Co_2 به داخل یک سفره آبی تحت فشار بالا تزریق خواهدشد به طوریکه جابجا شده و به طور جزئی در آب نمک در یک فرآیند مشابه کربنات درآوردن آب معدنی، حل خواهدشد. این یک راه حل جالب محسوب می‌شود زیرا سفره‌های آبی ظرفیت ذخیره مقدار زیادی از Co_2 که در نیروگاهها جذب می‌شود را دارند.
ذخایر گاز طبیعی خالی‌شده نماینده گزینه دیگری برای ذخیره کربن دائمی می‌باشند. گاز جمع‌آوری‌شده درچنین آرایشاتی برای میلیون‌ها سال ذخیره می‌شوند، و یک وسیله ذخیره ایجادشده به طور طبیعی را برای Co_2 فراهم می‌کند.
پیش از این، در سراسر دنیا، Co_2 تحت فشار به داخل ذخایر نفتی تزریق می‌شده است تا محصولات آن را بالا بیاورد. هم‌اکنون، می‌توان از این تجربه برای ذخیره کربن استفاده کرد.
ذخایر نفتی و گازی خالی‌شده در آلمان می‌توانند مقادیر زیادی کربن را ذخیره کنند اگرچه برای ذخیره تمامی مقدار کربن که از نیروگاهها جذب می‌شوند کافی نیست.

○ جذب دی‌اکسیدکربن در نیروگاههای سیکل ترکیبی

شاید تصور شود که تکنولوژی جذب و تفکیک کربن تنها برای نیروگاههای زغال‌سنگ کاربرد داشته باشد، اما کشور آلمان به دنبال توسعه این تکنولوژی برای نیروگاههای با سوخت گاز طبیعی است.
ساده‌ترین راه برای کاهش گسیل‌های کربن به اتمسفر افزایش راندمان گرمایی است، که یا از طریق بهبود احتراق سوخت یا توسط افزایش راندمان توربوماشین‌ها امکان‌پذیر خواهدبود. در هر دو این موارد، سوخت

کمتری برای تولید خروجی مساوی مصرف می‌شود، بنابراین کربن کمتری آزاد خواهدشد. متأسفانه این انواع اصلاح عملکرد می‌توانست نتایج بسیار خوبی در حل مشکلات داشته باشد، اما واضح است که به روزرسانی آلات و ابزار در پایگاه نیروگاههای سیکل ترکیبی موجود شدنی نخواهدبود.
از بین روشهای جذب، روش جذب پس از احتراق برای استفاده در نیروگاههای سیکل ترکیبی و طراحی نیروگاههای مجهز به تکنولوژی جذب آینده محتمل‌ترند. این روش نیازمند سرمایه‌گذاری قبلی حداقل برای توربین‌های بخار و تنها تعداد کمی اصلاحات برای مؤلفه‌های سیکل ترکیبی می‌باشد. استفاده از آمونیاک به جای آمین‌های مرسوم ممکن است سرانجام منجر به کاهش بارهای گرمایشی و الکتریکی پارازیتی شود.
استفاده از حلال‌های شیمیایی در جذب دی‌اکسیدکربن پس از احتراق یک تکنولوژی ثابت شده است و به زودی در نیروگاههای زغال‌سوز آزمایشی با مقیاس بزرگ نیز تثبیت خواهندشد.
دو فاکتور کلیدی باید در هنگام انتخاب یک حلال شیمیایی فرآیند جدایش Co_2 برای نیروگاه سیکل ترکیبی درنظرگرفته شود:

① دوباره به گردش درآوردن گاز خروجی برای ورودی توربین گاز:

ممکن است شگفت‌آور باشد که فرآیند جذب دی‌اکسیدکربن پس از احتراق برای سیکل‌های ترکیبی با سوخت گاز طبیعی چالش‌برانگیزتر از نیروگاههای زغال‌سوز است، زیرا باید غلظت پائین دی‌اکسیدکربن Co_2 در گازهای خروجی (حدود ۱۳ درصد) اصلاح شود. برنامه‌های آزمایشی و توسعه جاری بر روی بالابردن مراتب غلظت Co_2 (تاحدود ۱۲ درصد) تمرکز کرده‌اند، که هم‌اندازه با نیروگاههای زغال‌سوز است.
یک روش برای افزایش غلظت Co_2 در گازهای خروجی از ۳ تا ۴ درصد تا حدود ۷ تا ۸ درصد، دوباره به گردش درآوردن درصدی از گازهای خروجی و برگرداندن به ورودی توربین گاز است.
برای اینکه این فرآیند مؤثر واقع شود، تا ۵۰ درصد گازهای خروجی باید دوباره به گردش درآیند.
یک مانع بزرگ در ارتباط با این روند، نیاز به خنک‌کاری گاز بازگردانده شده به درجه حرارت محیط است، عملی که افت‌های پارازیتی سیستم قدرت را افزایش می‌دهد. براین اساس، این فرآیند بر رفتار اجزای اصلی توربین گاز (بیشتر کمپرسور) اثر می‌گذارد و به دلیل بارهای کمکی موردنیاز برای خنک‌کاری گاز، قبل از تزریق دوباره به ورودی توربین گاز، اثر منفی بر روی عملکرد می‌گذارد.

② منبع بخار موردنیاز برای جداکننده آمین:

گزینه‌ای که برای بخار فشار پائین (LP) به کار می‌رود، منبع گرم فرآیند جذب است. این انتخاب یک مدار مجزا را در مولد حرارتی بازیافت‌شده بخار[1] (HRSG) ایجاد می‌کند، که برای یک پروژه به روزشده عملی نمی‌باشد. آنچه که باید دوباره تکرارشود این است که یک بخار فشار پائین مجزا یا منبع خروجی دیگری (که ۲۵ درصد بخار موردنیاز را حمایت می‌کنند) برای مقاصد فرآیند موردنیاز خواهدشد.
درنظر باید داشت که هر دو گزینه توربین بخار و HRSG نیاز است تا دوباره طراحی شوند تا قابلیت کارکردن در شرایط طراحی با جریان استخراج بخار بیشتر را داشته باشند.

[1] Heat recovery steam generator

موضوع مطرح دیگر برای طراحی نیروگاه، شناسایی یک تکنولوژی کارآمد برای کاهش بخار مصرف‌شده در دوباره تولید کردن حلال و به حداقل رسانیدن مصرف برق برای متراکم‌سازی Co_2 است.
توربین احتراق نیز باید مجدداً طراحی شود. همان‌طور که گفته شد، برای افزایش غلظت Co_2 نیاز به بازگردش گازهای خروجی است. که این موضوع حجم اکسیژن در هوای ورودی به کمپرسور را کاهش می‌دهد.

➢ اصلاح و ارتقاء نیروگاهها

نوآوری برای نیروگاههای مرسوم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، براین اساس که نیروگاههای بسیاری در آلمان باید جایگزین شوند. تعطیل کردن نیروگاههای متروکه و از کار افتاده کردن نیروگاههای هسته‌ای منجر به افزایش درخواست برق تاحدود ۴۰۰۰۰ مگاوات در کشور آلمان در چندسال آینده خواهدشد. درخواست تخمین‌زده شده برای کل اروپا ۲۰۰۰۰۰ مگاوات می‌باشد. منابع انرژی فسیلی-زغال‌سنگ و گاز- تاحدود ۶۰ درصد تولید نیروی آلمان را به عهده دارند. در آینده نزدیک، هیچ راهی برای اجتناب از سوختهای فسیلی وجود ندارد. به همین دلیل، نوآوری در زمینه نیروگاههای مرسوم اغلب بر افزایش راندمان نیروگاههای موجود و کاهش گسیل‌های دی‌اکسیدکربن تمرکز دارند. علاوه براین، بازار آزاد ملی و بین‌المللی تولید نیروی مؤثر با هزینه پائین و درنهایت ایجاد نیروگاههای جدید با قیمت مؤثر را می‌طلبد.
به دلیل رشد درخواست، شرایط برای برآوردن عهدنامه کیوتو کافی نیست. حفظ منابع به معنی افزایش راندمان و کاهش گسیل می‌باشد. موارد زیر قدم اولیه برای نوآوری می‌باشند:
جدایش و ذخیره Co_2 دو زمینه تحقیقاتی مستقل هستند. به دلیل افزایش راندمان نیروگاه، پارامترهای دما و فشار بخار باید افزایش یابند. این موضوع منجر به تقاضاهای زیادی برای مواد به کاربرده خواهدشد.
موادی که می‌توانند برای این منظور استفاده شوند انواع جدیدی از فولاد با مواد افزایشی مانند کروم، مولیبدینیوم، تیتانیوم، نیکل و کبالت برای ایجاد میل‌های با مقاومت حرارتی بالا می‌باشند. حتی توربین‌های فشار پائین تحت تنش بالایی قرار دارند، پره‌ها در دو مرحله با سرعت صوت می‌چرخند و تحت نیروهای گریز از مرکز بسیار بالایی قرار می‌گیرند. تحقیقات در نهایت بر روی آلیاژهای تیتانیوم مخصوص تمرکز کرده است.
در حال حاضر، راندمان متوسط نیروگاههای میعان در آلمان حدود ۳۸ درصد می‌باشد. با افزایش یک درصدی راندمان تقریباً ۱۶۰۰۰ تن زغال‌سنگ هرساله برای یک نیروگاه با سوخت زغال سخت استاندارد حفظ خواهدشد و گسیل‌های Co_2 حدود ۴۳۰۰۰ تن کاهش می‌یابد.
با افزایش پارامترهای بخار تا ۷۰۰ درجه سیلسیوس در ۳۵۰ بار راندمان ۵۰ درصدی را نتیجه خواهدداد. اما، متخصصین، برای بهینه‌سازی بسیار بالا کاملاً محتاط هستند زیرا موادی که بتوانند این شرایط را با هزینه‌ای منطقی تحمل کنند هنوز به وجود نیامده‌اند.

- زغال‌سنگ

اغلب نیروگاههای بخار از زغال سخت یا زغال قهوه‌ای استفاده می‌کنند و می‌توانند در حال حاضر تراز راندمان تا ۴۶ درصدی برای زغال سخت و بالاتر از ۴۳ درصد برای زغال قهوه‌ای را به دست آورند.
بخار از آب خالص و نمک‌زدایی‌شده تولید خواهدشد. در طول این فرآیند درجه حرارت بخار به طور حائز اهمیتی افزایش می‌یابد و حجم مخصوص آن تا حد زیادی کاهش خواهدیافت. اگر پارامترهای دما و فشار فرآیند فراتر از حد معمول خود افزایش یابند، مواد جدیدی که بتوانند تنش‌های بیشتری را تحمل کنند برای تجهیزات نیاز خواهدبود. علاوه براین، تکنولوژی‌های خشک کردن بهتر زغال‌سنگ نیز برای زغال قهوه‌ای در حال توسعه می‌باشد.
انتظار می‌رود که این مزیت در احتراق زغال‌سنگ راندمان نیروگاههای بزرگ راتا بیش از ۵۰ درصد در ۱۵ سال آینده افزایش خواهد داد.

- گاز طبیعی

تکنولوژی توربین بخار و گاز این روزها می‌تواند به راندمان بالاتر از ۶۰ درصد برسد. ساختن این نیروگاهها، ساده‌تر از نیروگاههای زغال‌سوز است زیرا نیازی برای آماده‌سازی زغال یا پاک‌سازی گاز خروجی ندارند. گاز طبیعی به اندازه زغال سخت یا قهوه‌ای برای محیط مضر نمی‌باشد زیرا گاز طبیعی کربن کمتری را شامل می‌شود درنتیجه Co_2 کمتری در حین احتراق آزاد می‌سازد. یک نیروگاه گازی به طور نمونه، کمتر از نصف نیروگاههای زغال‌سوز، Co_2 مضر برای محیط تولید می‌کند.
باتوجه به تمامی نیروگاههای با سوخت فسیلی، دانشمندان و متخصصین فنی بر روی افزایش بیشتر فشار و دمای به کاررفته در نیروگاه گازسوز کار می‌کنند. که به معنی این است که مواد و محفظه‌های کوره باید برای بارگذاری‌های بالاتر طراحی شوند.

- ترکیب گاز طبیعی و زغال

استفاده همزمان گاز و زغال یکی از راههای پاک‌سازی احتراق زغال‌سنگ است. نیروگاههای زغال‌سوز با یک توربین گاز جفت می‌شوند. گاز خروجی داغ توربین گاز بخار اضافی را برای توربین بخار نیروگاه زغال‌سوز تولید می‌کند. این فرآیندهای ترکیبی مبنی بر این است که زغال‌سنگ بیش از هر چیز نیازمند سوخت گازی می‌باشد و گاز خروجی برای استفاده در توربین‌های گاز مناسب است. نیروگاههای زغال‌سوز که در ارتباط با یک توربین گاز و درجه حرارت ۷۰۰ درجه سیلیوس و فشار بخار ۳۵۰ بار کار می‌کنند، در آینده به تراز راندمان بالاتر از ۵۰ درصد خواهند رسید. کار بر روی ارتقاء مواد و جریان توربین و خط لوله در حال پیشرفت است تا بتوان درجه حرارت بالاتر را به دست آورد.
برای محدوده عملیاتی پائین و متوسط، نیروگاههای زغال‌سوز با سیستم احتراق بستر سیالی، تحت فشار می‌تواند به عنوان یک راه حل دیگر به کار برده شود.

- فرآیندهای ترکیب جدید برای گازی کردن زغال‌سنگ

مفاهیم زیر در حال توسعه می‌باشند. برخی از آنها می‌توانند برای نیروگاههایی که نیاز به جایگزینی میان مدت دارند استفاده شوند. البته یافته‌های تحقیقاتی باید قابل کاربرد در ترکیبات مختلف باشد.

○ سیکل ترکیبی گازی یکپارچه‌شده (IGCC)

این فرآیند به گازی کردن زغال‌سنگ با احتراق یکپارچه‌شده پس‌آیند آن اشاره می‌کند. در طول گازی کردن زغال‌سنگ، زغال خردشده همراه با هیدروژن و اکسیژن در درجه حرارت‌های ۶۵۰ تا ۲۰۰۰ سیلسیوس و فشار تا ۱۰۰ بار، به گاز تبدیل می‌شود. علاوه بر زغال‌سنگ، نیروگاههای IGCC سوخت زیستی، کک نفتی[1] و قیر خیابانی مایع‌شده را نیز به گاز سنتزی غنی‌شده از هیدورژن تبدیل می‌کنند. آلودگی‌هایی چون سولفور یا فلزهای سنگین از لحاظ شیمیایی به هم متصل‌اند و قبل از احتراق خارج می‌شوند. اینها می‌توانند به عنوان ماده خام برای فرآیندهای دیگر، در صورت نیاز، استفاده شوند. حتی دی‌اکسیدکربن می‌تواند نسبتاً به سادگی تحت فشار قبل از احتراق جدا شود. در حال حاضر، راندمان نیروگاههای آزمایشی بر روی ۵۱ درصد قرار دارد. نیروگاههای ترکیبی گاز و بخار راندمان ۵۸ درصد را می‌دهند. این تکنولوژی در نیروگاههای بزرگ در سال ۲۰۱۵ استفاد خواهدشد.

○ فرآیند بخار و گاز با احتراق زغال‌سنگ تحت فشار نرم‌شده

پنداشته می‌شود که به راندمان تراز تا ۵۳٪ می‌رسد. ، با این حال، گاز خروجی احتراق زغال‌سنگ نرم‌شده تحت فشارشامل مواد بسیاری است که به سرعت پره‌های توربین را بر اثر فرسایش و خوردگی تخریب می‌کند. تولیدکنندگان باید احتراق زغال‌سنگ نرم‌شده تحت فشار را اصلاح کنند به طوریکه به طور کامل خاکستر و ترکیبات قلیائی را از گاز خروجی در درجه حرارت‌های بالا تا حدود $^{\circ}C$ ۱۶۰۰ خارج کنند.

○ فرآیند بخار و گاز که از احتراق بستر سیالی تحت فشار استفاده می‌کنند

زغال‌سنگ چوب نما[2] را قبل از احتراق خشک می‌کنند. این زغال‌سنگ به طور مستقیم بدون نیاز به یک فرآیند میانی استفاده می‌شود. که توسط ترکیب هر دو مرحله تبدیل زغال‌سنگ، یعنی گازی کردن جزئی با اکسیژن و احتراق کک تولیدشده در یک نیروگاه واحد به دست می‌آید. پالایش فرآورده گازی باید برای محدوده دمایی بالاتر (تقریباً ۴۰۰ تا ۹۰۰ درجه سیلیوس) توسعه یابند. این نیروگاهها پتانسیل راندمان کلی ۵۳ تا ۵۵ درصد را خواهند داشت.

○ فرآیند گاز و بخار با احتراق خارجی

نیازمند مبدل‌های حرارتی درجه حرارت بالا می‌باشند که توسط گازهای خروجی تصفیه‌نشده در درجه حرارت‌های تا ۱۶۰۰ درجه سیلیوس خراب نشوند. تحقیقات بنیادی باید راه‌حل‌هایی را برای تعدادی سؤالات بی‌پاسخ پیدا کنند. قبل از اینکه مواد سرامیکی مناسب بتوانند برای این منظور توسعه یابند.

---

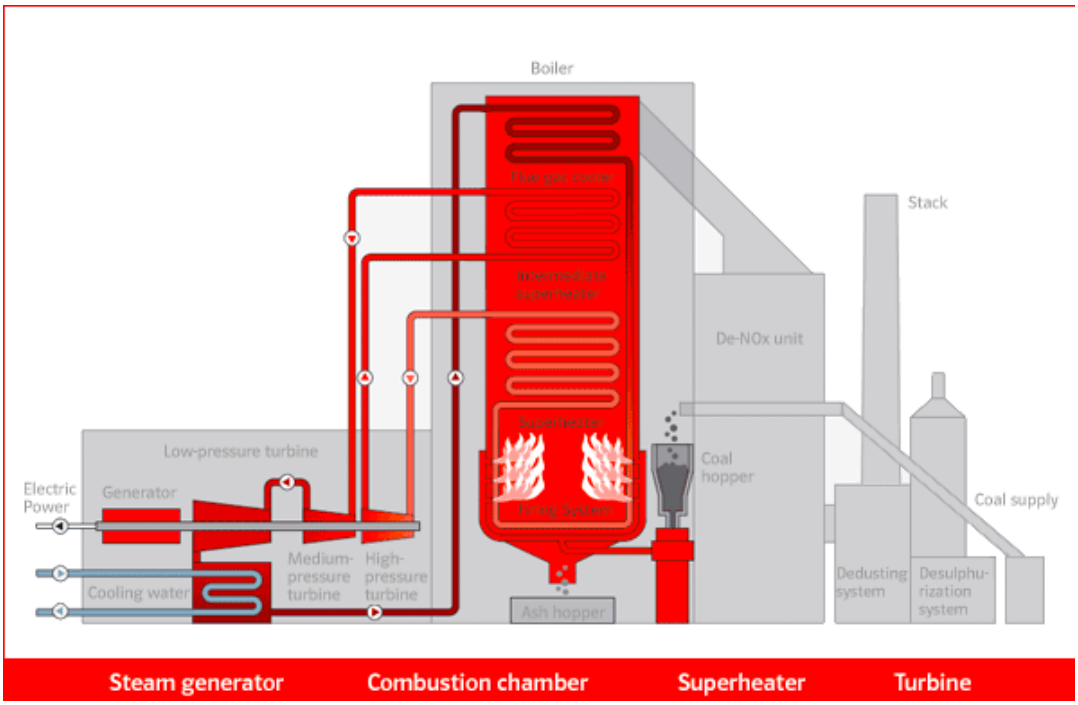
[1] Petrofum coke
[2] Lignite

از بین مفاهیم توضیح داده شده، فرآیند ترکیب زغال‌سنگ IGCC در حال حاضر بهترین فرصت‌های در مرحله اجرا درآمده می‌باشد. بینشی که از نیروگاههای آزمایشی کسب شده است، نشان می‌دهد که این تکنیکها می‌توانند برای نیروگاههای بزرگ در ۱۰ تا ۱۵ سال آینده به کار برده شوند. پیش‌نیاز آن این است که فرآیند IGCC بتواند به عملکرد قابل اطمینان برسد.
روش‌های دیگری که در بالا ذکرشد، یعنی احتراق زغال‌سنگ نرم‌شده تحت فشار، سیستم‌های احتراق بستر سیالی تحت فشار و احتراق خارجی هنوز از مطلوبیت تجاری لازم دور می‌باشند. فرصت‌های موفقیت این روشها در این مرحله به دست نخواهدآمد.

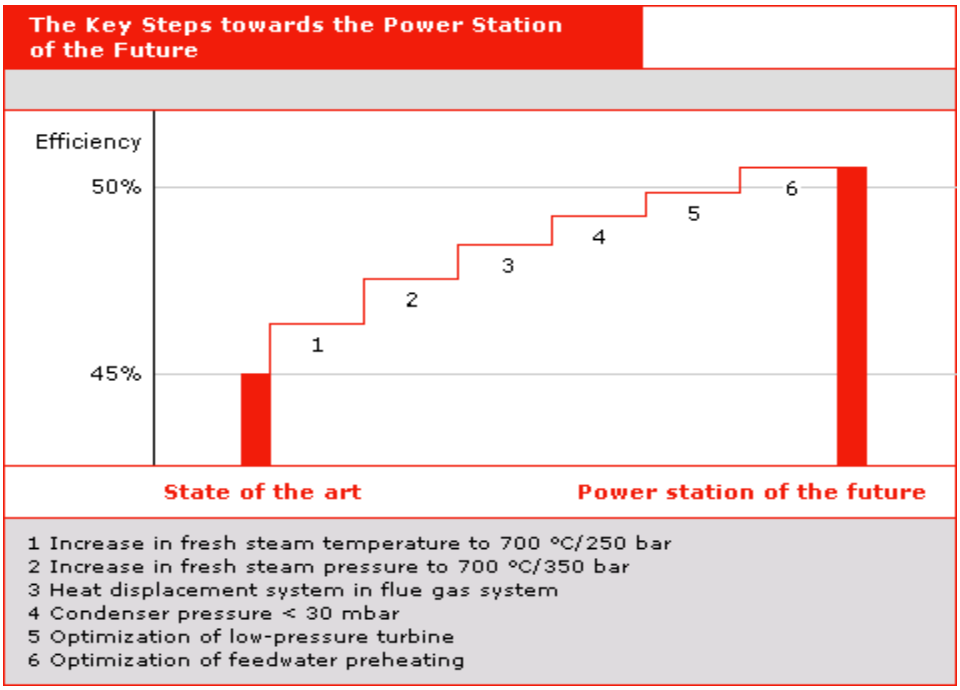
➢ تکنولوژی درجه حرارت $^{\circ}C$ ۷۰۰ (مافوق بالا)[1]

نیروگاههای زغال‌سوز امروزی در درجه حرارت‌های بخار بین ۵۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتیگراد (۹۳۰ تا ۱۱۰۰ درجه فارنهایت) و فشار بخار ۲۴۰ بار (۳۵۰۰ پوند بر هر اینچ مربع) عمل می‌کنند. نیروگاههای جایگزین برای تولید آینده به دمای حدود ۷۰۰ درجه سانتیگراد (۱۳۰۰ درجه فارنهایت) و فشار حدود ۳۵۰ بار (۵۰۸۰ پوند در هر اینچ مربع) خواهندرسید. راندمان حرارتی بسیار بالایی، که به حفظ آب و هوای زمین و بقای منابع زمین کمک خواهد کرد را نتیجه می‌دهد.
آزمایشات بر روی توسعه مواد نوین و اجزاء آن تمرکز کرده‌اند. فولاد کربنی در بویلرهای امروزی استفاده می‌شوند و لوله‌ها تنها دماهای تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد (۱۱۰۰ درجه فارنهایت) را تحمل می‌کنند. اجزاء تولیدشده در آینده (مانند اواپراتور، لوله‌گذاری، لوله‌کشی و شیرها) اصولاً از سوپر آلیاژهای بر پایه نیکل ساخته خواهندشد، که توانایی تحمل دما و فشار بخار بالا را دارند. این سوپرآلیاژها جایگزین مواد قبلی در نواحی مولد بخار دما بالا، توربین و سیستم لوله بخارشده و راندمان بالاتر از ۵۰ درصد را ایجاد می‌کنند.

[1] Ultra-high temperature



شکل (۱–۳۹)–نگاه جزئی به نیروگاه‌های زغال سوز با تکنولوژی ۷۰۰ درجه



شکل (۱–۴۰)– مراحل کلیدی برای نیروگاه‌های آینده

➢ استفاده از تکنولوژی‌های نوین توزیع‌یافته

تولید همزمان کار و حرارت در مقیاس کوچک به طور فزاینده‌ای برای نیروگاه توزیع یافته و تولید حرارت برای واحدهای تجاری و مسکونی استفاده می‌شوند. خروجی واحدهای تولید همزمان کار و حرارت در مقیاس کوچک به طور نمونه در محدوده کیلووات می‌باشد. این موضوع، آنها را برای استفاده در واحدهای مسکونی چندخانوار، تجارت‌های کوچک، مدارس، هتل‌ها و بیمارستان‌ها مناسب می‌سازد. خروجی پائین آنها اجازه می‌دهد تا با شبکه‌های ولتاژ پائین یکپارچه شوند.
واحدهای تولید کار و حرارت همزمان کوچک فشرده و آماده برای اتصال به واحدهای تولید همزمانی هستند که موتور، ژنراتور و مبدل حرارتی آنها در یک بلوک سوار شده‌اند. اصل مهم و پیش‌نیاز برای بهره‌برداری اقتصادی آنها استفاده همزمان از حرارت و برق توزیع‌یافته می‌باشد. ژنراتور برق را تولید می‌کند و مبدل حرارتی گرمای مفید را بیرون می‌دهد. تکنولوژی مرسوم برای تولید همزمان کار و حرارت اصولاً مرتبط با موتور احتراق و توربین گاز است. نوآوری‌های امیدبخش بسیاری درباره دستگاههای کوچکتر بیشتری وجود دارند.

- موتورهای استرلینگ[1]:

ویژگی مشخص موتور استرلینگ انعطاف‌پذیری آن می‌باشد. آنها به سوخت خاص نیاز ندارند زیرا توسط یک منبع حرارتی خارجی کار می‌کنند. این استقلال، پتانسیل تکنولوژیکی جالب توجهی را در پی خواهدداشت.
به طور مثال، واحدهای آزمایشی صنعتی برای موتورهای استرلینگ که از قبل وجود دارند ، از سوخت زیستی برای محدوده عملکردی پائین استفاده می‌کنند.
از آنجائیکه موتورهای استرلینگ می‌توانند برای محدوده‌های عملکردی مختلف مقیاس شوند، می‌توانند برای ساختمان‌های مسکونی با اندازه‌های متفاوت به کار برده شوند. اما، این دستگاهها تنها زمانی به طور کارآمد عمل می‌کنند که به طور پیوسته برای انرژی حرارتی نیز، همانند تمامی سیستم‌های تولید کار و حرارت همزمان، استفاده شوند. به همین دلیل، اغلب برای نیروگاهها یا ساختمان‌هایی که نیازمند آب گرم فراوان مانند هتل‌ها یا مؤسسات تجاری کوچک با درخواست حرارت بالا می‌باشند، مناسب هستند.
موتورهای استرلینگ، برای نیروگاههای زیر دریایی در محدوده عملکردی ۷۵ تا ۱۰۰ کیلووات پیش از این به کار برده می‌شدند. در میان‌مدت، تولید همزمان کار و حرارت چشم‌انداز خوبی دارند. برخی از سازندگان، در حال توسعه و آزمایش بر روی موتورهای استرلینگ با گاز طبیعی، برای ایجاد برق و حرارت برای خانه‌های تک خانوار می‌باشند. این محصولات به زودی به بازار عرضه می‌شوند. علاوه بر این، آزمایشات جامعی درخصوص آوردن موتورهای استرلینگ با سوخت چوب به بازار، در دست اقدام هستند. بعیداست که بهره‌برداری تجاری برای وسایل نقلیه موتوری موفقیت‌آمیز باشند.

- توربین گازی میکرو[2]:

[1] Stirling engines
[2] Mirco-gas turbine

توربین‌های گازی میکرو حدود هزار بار کوچکتر از توربین‌های گازی در مرکز یک نیروگاه تولید همزمان کار و حرارت می‌باشند. آنها عمدتاً در صنعت استفاده می‌شوند، اما هم‌اکنون برای گرمایش منازل نیز استفاده می‌شوند. آنها می‌توانند با سوختهای متفاوتی مانند گاز طبیعی، گاز زیستی[1]، گاز مایع، گاز شعله[2] و نفت سیاه[3] کار می‌کنند. شرکتهای بزرگی برق و حرارت خودشان را با استفاده از واحدهای تولید کار و حرارت به طور همزمان برای مدت طولانی تولید می‌کنند. برای شرکتهای کوچک یا متوسط، این تکنولوژی تا به الان از لحاظ تجاری قابل پذیرش نبوده است. اما توربین‌های گازی میکرو توانسته‌اند که این موضوع را تغییر دهد. توربین‌های گازی میکرو همچنین می‌توانند فرآیند حرارت را تولید کرده و به صورت منابع حرارت برای واحدهای خنک‌کاری جذب در خروجی برق تنها ۳۰ تا ۲۰۰ کیلووات به کار روند.

[1] Bio gas
[2] Flare gas
[3] Fuel oil

➢ تکنولوژیهای مرتبط با توربین گاز

- پایش وضعیت بهنگام[1] بخش‌های متفاوتی از توربین گاز

○ کنترل پایداری شعله توربین گاز

در توربین‌های گازی جدید، گسیل NO_X با استفاده از مشعل‌های NO_X پائین خشک[2] (DNL) کاهش می‌یابد. این فرآیند از طریق پیش‌آمیزش سوخت با هوای اضافی زیادی به دست می‌آید. براین اساس شعله مشعل‌های پیش‌آمیزش رقیق[3] به سادگی ناپایدار می‌شود. اگر چنین اختلالاتی در یک توربین گاز اتفاق بیفتد، سیستم کنترلی توربین گاز دچار لغزش شده و اغلب خسارات هزینه‌ای سنگینی را به بار خواهد آورد. در واقع این پدیده منجر به افزایش نوسانات آکوستیک می‌شود که ممکن است در ساختار مکانیکی محفظه احتراق تداخل ایجاد کند. ارتعاشات بزرگ، یکپارچگی توربین گاز را به خطر انداخته و سیستم ایمنی ماشین را دچار لغزش خواهدکرد.

برای حل این مشکل سیستمی به نام فلیم‌بیت[4] طراحی شده است. سیستم پایش دینامیکی احتراق به طور مستقیم[5] (CDMS) فلیم‌بیت که براساس کاوشگر فشار دینامیکی دما بالا[6] می‌باشد، مستقیماً در محفظه احتراق برای کسب اطمینان از پایداری امواج در زمان موردنیاز، نصب می‌شود. این سیستم پایش مستقیم برای جلوگیری از لغزشهایی که به دلیل جهش شعله و تشخیص بهنگام خرابی اجزاء مسیر گاز داغ طراحی شده است.

امواج ارتعاشاتی آکوستیک که در حین استفاده معمول اتفاق می‌افتند در یک پایگاه داده‌ای به عنوان "اثر انگشت"[7] محفظه احتراق، ذخیره می‌شوند. یعنی در ابتدا پس از راه‌اندازی، یک "اثر انگشت" از امواج ارتعاشاتی محفظه احتراق گرفته می‌شود.

از طریق مقایسه امواج واقعی با "اثر انگشت" فلیم‌بیت، وقوع عیب یا تخریب اجزاء در مراحل اولیه تخریب سیگنال می‌شود. از این طریق، اطلاعات ترک‌ها در محفظه‌های احتراق، نشتی واشرها، خرابی مشعل یا تغییرات در کیفیت سوخت، فراهم می‌شوند. همچنین کمک می‌کند تا پیش‌بینی‌های لازم برای جلوگیری از لغزش‌های توربین با دامنه ارتعاشاتی بالا انجام پذیرد.

پس از یافتن عیب، تعمیر موقت انجام شده و واحد دوباره راه‌اندازی می‌شود، تا محفظه احتراق در طول بازدید برنامه‌ریزی شده بعدی جایگزین شود. کاربران سیستم پایش فلیم‌بیت می‌توانند با پایش وضعیت احتراق در

---

[1] On-line condition monitoring
[2] Dry low NOX burners
[3] Lean premix burner
[4] Flame Beat
[5] Combustion Dynamics Monitoring System
[6] High temperature dynamic pressure probe
[7] Finger printer

توربین‌های گازی، از قطع برق نابهنگام جلوگیری کنند. به این طریق نرم‌افزار فلیم‌بیت تمام قابلیت‌های پایش موقعیت لازم را ارائه می‌کند.

○ اندازه‌گیری درجه حرارت پره با نرم‌افزار توربوترم[1]

در توربین‌های گازی جدید، اختلاف زیادی بین درجه حرارت ورودی توربین و درجه حرارت مجاز پره‌های فلزی وجود دارد، به همین دلیل پره‌ها خنک‌کاری می‌شوند. قطع خنک‌کاری، درجه حرارت پره را بالا خواهدبرد و در نهایت منجر به شکست نابهنگام پره‌ها می‌شود. این نوع تخریب به شدت پرهزینه است.
یک سیستم اندازه‌گیری درجه حرارت تماسی بی‌اثر[2] طراحی شده است. این سیستم یک روش عملیاتی برای ردیابی مشکلات خنک‌کاری را نتیجه می‌دهد. علاوه براین، درجه حرارت پره بر روی اکسیداسیون روکش، خستگی و خزش پره‌های توربین گاز اثر گذاشته و در نهایت منجر به کاهش عمر پره می‌شود. از "اثر انگشت" دمای پره در یک مرحله، پره‌هایی که دمایشان نسبت به مقدار میانگین منحرف شود، فوراً شناسایی می‌شوند. جایگزینی بیش از اندازه پره‌های داغ، ریسک تخریب جدی را کاهش می‌دهد.
در توربین‌هایی بدون خنک‌کاری پره‌های روتور، گرماسنجی، تعدیل درجه حرارت ورودی را برای یک تعادل بهینه بین راندمان توربین و عمر پره ، نتیجه می‌دهد. ویژگی مهم این روش این است که می‌توان درجه حرارت توربین را در حین شرایط عملیاتی نرمال اندازه‌گیری کرد، که به معنی این است که فرآیند عملیاتی تحت تأثیر قرار نخواهدگرفت.

• پایش عمر باقی‌مانده با نرم‌افزار بلیدلایف[3]

اجزائی که در مسیر گاز داغ توربین‌های گازی می‌باشند، عمر محدودی دارند. جایگزینی برحسب راهبردهایی که توسط سازندگان توربین ارائه شده‌اند، انجام می‌پذیرد. این راهبردها اغلب محافظه‌کارانه بوده و شرایط عملیاتی اختصاصی را درنظر نمی‌گیرد. هزینه‌های جایگزینی ممکن است تا یک سوم مبلغ سرمایه‌گذاری اولیه بالا باشد.
بلیدلایف نرم‌افزاری است که دارای سیستم‌های اندازه‌گیری چرخه عمر برای انواع مختلف توربین‌های گازی می‌باشد. این سیستم‌ها فاکتورهایی مانند خزش، خستگی و فروسایی پوشش را شامل می‌شود. عمر باقیمانده براساس داده‌های عملیاتی قبلی تعیین می‌شود. شبیه‌سازی‌ها، یک ارزیابی از اثر پارامترهای عملیاتی انجام می‌دهند. علاوه براین، از دانسته‌های جمع‌آوری‌شده مدل‌ها، معیارهای پذیرش مانند ضخامت دیواره و پوشش می‌تواند نتیجه گرفته شود.
بلیدلایف مدیریت چرخه عمر بهینه را امکان‌پذیر کرده و چشم‌انداز شفافی از اثر پارامترهای عملیاتی را می‌دهد، تا بتواند از شرایط مضر جلوگیری کند. عمر باقیمانده ممکن است به میزان قابل توجهی بیشتر از مقداری باشد که سازندگان نشان داده‌اند.

---

[1] Turbo Therm
[2] Blank contact temperature measurement
[3] Blade life

- عملکرد توربین گاز

○ تصفیه هوا و تمیزکاری کمپرسور

جرم‌گرفتگی پره کمپرسور منجر به افت تولید و افت راندمان می‌شود، بنابراین هزینه زیادی صرف نیروی انسانی توربین گاز می‌شود. براساس تجربیات و فعالیت‌های مشاوره‌ای، متوجه شده‌اند ه میزان چند ده میلیون دلار/یورو بر این اساس از دست خواهدرفت.
برای به حداقل رسانیدن این مشکل دو روش بنیادی، یا در اغلب موارد، ترکیبی از هر دو آنها ممکن می‌باشد:
– تصفیه هوا به عنوان اقدامات حفاظتی[۱]
– تمیزکاری کمپرسور به عنوان اقدامات اصلاحی[۲]
چیزی مانند نصب فیلتر بهینه‌شده به صورت کلی وجود دارد، با استفاده از تحلیل‌های مالی واضح است که با ترکیب اقدامات حفاظتی (تصفیه هوا) و اقدامات اصلاحی (تمیزکاری کمپرسور) در بخش اعظمی از هزینه صرفه‌جویی می‌شود. در واقع برای رسیدن به سودبخش‌ترین راه‌حل‌های مالی، باید باتوجه به ناحیه، بار گرد و غبار، نوع آب و هوا و نوع عملکرد برنامه‌ریزی شود تا تعادلی بین اصلاح عملکرد و هزینه‌های مالی بدون نیاز به ارزیابی هر روزه عملکرد، برقرار شود.

○ روغن‌کاری توربین گاز

درخصوص روغن‌کاری توربین‌های گازی چندین مشکل وجود دارد. این مشکلات شامل ازهم‌پاشیدگی سریع روغن، لخته شدن محصول از هم پاشیده‌شده می‌باشد. برای رفع این مشکل، پروژه اختصاصی طراحی شده است که ۱۶ توربین گازی که توسط شرکتهای ژنرال الکتریک، آلستوم[۳]، رولزرویس[۴]، زیمنس، درسر رند[۵] و سولار[۶] ساخته شده بودند، مورد بحث قرار گرفتند. این توربین‌های گازی برحسب معیارهایی چون سن، فراوانی و کاربردهای آینده انتخاب شدند. همچنین طریقه عملکرد و جنس روغن به کاررفته برای روغن‌کاری درنظرگرفته شدند. ۱۲ نوع متفاوت روغن از چهار تهیه‌کننده مختلف ارزیابی شدند.

[1] Preventive measure
[2] Corrective measure
[3] Alstom
[4] Rolls Royce
[5] Dresser Rand
[6] Solar

فصل دوم

تکنولوژیهای مناسب و مرتبط با شرایط کشور

۲-۵-مقدمه

همانطور که در فصل اول بررسی شد در تمام دنیا کشورها برای تولید انرژی الکتریکی در اولویت اول به دنبال منابع و ذخایر موجود در کشور و یا حداکثر قابل وصول برای آینده کشور برنامه ریزی نموده اند. در یک روند کلی اکثر سیستم های متداول سیکل های حرارتی امروزی در قالب های مختلف در آینده تولید برق کشورهای مختلف با توجه به منابع آنها در دست بررسی و امکان سنجی بهبود و ارتقا می باشند. لذا لازم است برای تولید انرژی در آینده کشور نیز این روال بررسی و متناسب با آن برنامه ریزی به عمل آید.

منابع تولید انرژی الکتریکی کشور

در کشور ایران، منابع مختلفی برای تولید انرژی الکتریکی وجود دارد. این منابع با توجه به پتانسیل شناخته شده و یا تخمین زیده شده به شرح زیر می باشند:

۱- گاز طبیعی
۲- نفت
۳- آب
۴- ذغال سنگ
۵- باد
۶- هسته ای

عمده منابع قابل استحصال برای تولید انرژی الکتریکی در کشور گاز می باشد. نفت و مشتقات مایع حاصل از آن نظیر گازوئیل در اولویوت دوم است. سایر موارد در اولویت های بعدی قرار میگیرند. لذا در برنامه ریزی برای تولید برق باید توجه خاصی به تولید انرژی الکتریکی از گاز نمود.
گاز به دلیل سطح آلاینده های پایین آن، سوخت مناسبی برای تولید انرژی الکتریکی در نیروگاهها نیز مورد توجه قرار گرفته است.
به دلیل محدودیت تولید گاز و همچنین وجود به میزان مناسب سایر منابع فسیلی، در کشور، باید تکنولوژیهای متناظر با آنها نیز در نظر گرفته شوند.
در بخش آب حدود ۶۰۰۰ مگاوات برآورد اولیه در تولید پراکنده و در ابعاد میکرو، مینی و کوچک در کشور وجود داشته که تاکنون مقدار ۲۰۰۰ مگاوات آن مطالعه و حدود ۵۰۰ مگاوات در دست بررسی برای اجرا، اجرا و یا خاتمه یافته می باشند.
در ادامه به بررسی تولید انرژی الکتریکی با هر یک از این منابع و وضعیت تکنولوژی مرتبط با آنها در دنیا پرداخته خواهد شد.

تکنولوژیهای متناسب برای منابع کشور

در این بخش به تکنولوژیهای متناسب برای سوخت های گـاز، مـایع و ذغـال سـنگ و همچنـین هسـته ای پرداخته خواهد شد. بخش مربوط به باد در بخش انرژیهای نو و بخش آب در اندازه کوچک به دلیـل اهمیـت آن بررسی خواهند شد.

۱- تکنولوژیهای تولید برق با مولدهای گازی

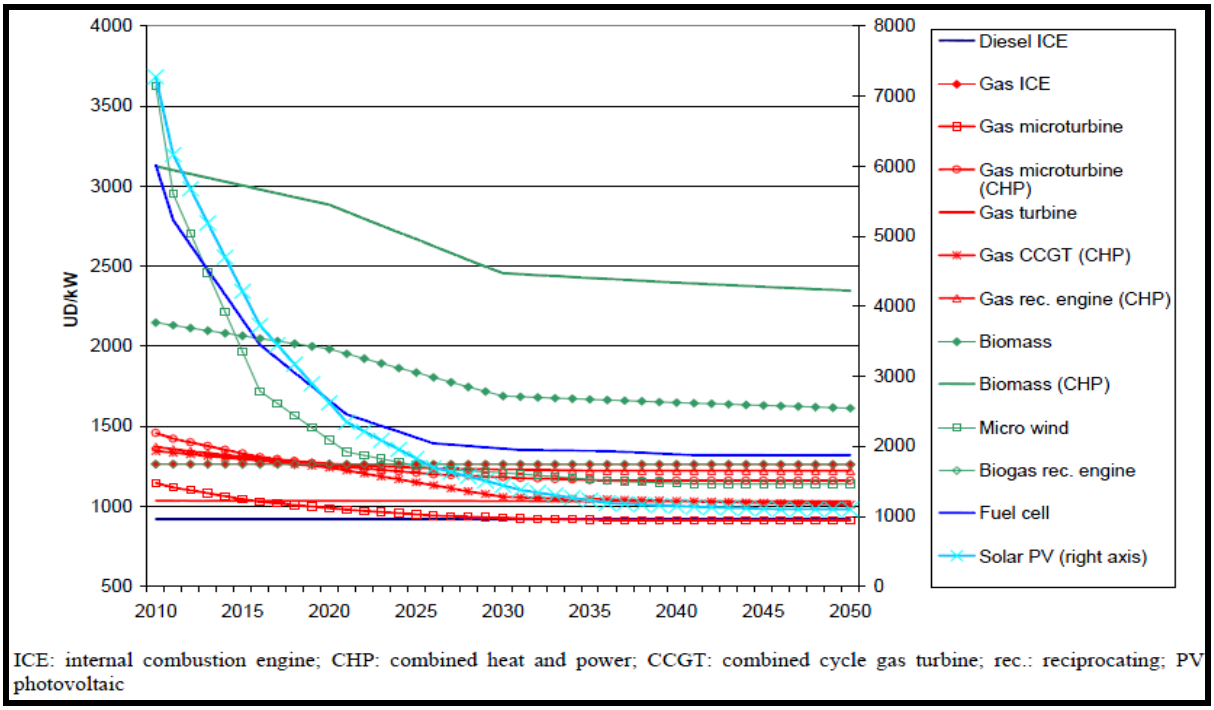
گاز به عنوان سوخت اصلی در اکثر واحدهای حرارتی قابل استفاده می باشند. مولدهای گازی این سوخت را به عنوان سوخت اصلی بکار می گیرند. همچنین در سیکلهای ترکیبی، می توان این سوخت را مستقیما بکار گرفت. در حال حاضر توربین های گازی با سوخت گاز، در ابعاد میکرو، کوچک و صـنعتی و بـزرگ ساخته شده و بکار گرفته می شوند. راندمان حداکثر در این توربین ها و مولدهای گازی در حال حاضر با تکنولوژی روز به شرح زیر می باشند.

جدول (۲-۱)- مقایسه ظرفیت و راندمان انواع مولدهای گازی

ردیف	نوع مولد	ظرفیت	راندمان
۱	میکرو	(۳۵-۲۰۰) KW	حداکثر ۲۵٪
۲	کوچک و صنعتی	(۱-۵۰) MW	حداکثر ۲۸٪
۳	بزرگ	۱۰۰ MW و بالاتر	حدود ۳۸٪
۴	مولدهای گازی (موتورهای گازی)	تا ۱ MW	حدودا ۴۲٪

جدول(۲-۲)-مقایسه فنی و اقتصادی انواع مولدهای متداول گازی

Technology	cost ($/kW) (2010)	Capacity factor (	O&M cost $/MWh) (	Fuel cost $/MWh) (	Energy Efficiency	Plant life (years)
Internal combustion diesel	920	0.30	45	120	0.45	15
Internal combustion natural gas	1260	0.30	50	57	0.28	15
Gas turbine	800	0.30	45	57	0.28	20
Gas micro turbine	1175	0.30	45	57	0.28	15
Gas CCGT (CHP)	1350	0.30	10	19	0.85	20
Gas micro turbine CHP	1495	0.30	50	24	0.68	15
Gas reciprocating engine CHP	1375	0.30	55	22	0.75	15



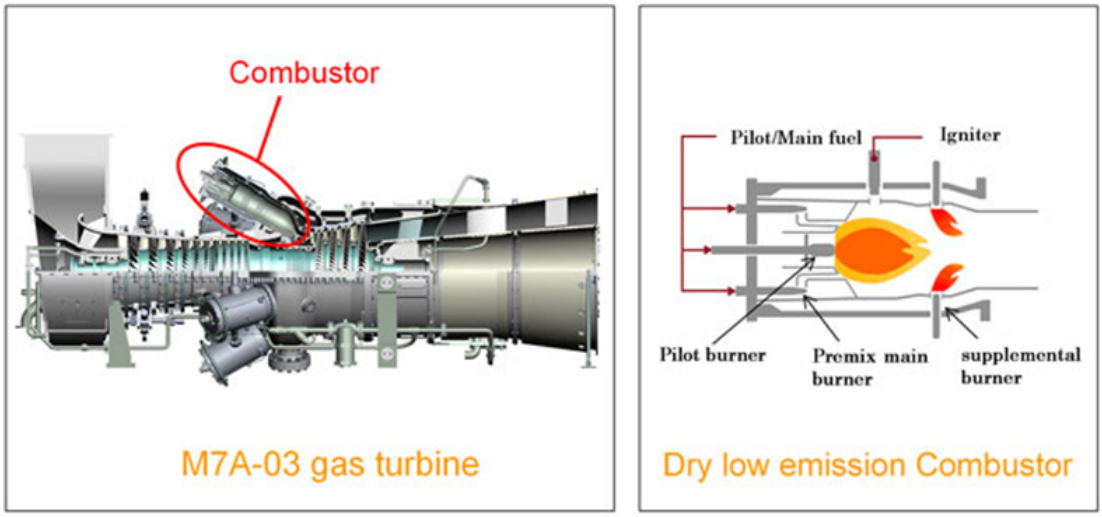
ICE: internal combustion engine; CHP: combined heat and power; CCGT: combined cycle gas turbine; rec.: reciprocating; PV photovoltaic

شکل (۲-۱)-مقایسه استفاده از انواع مولدها و هزینه های آنها در آینده

جدول (۲-۳)-روند تغییرات تکنولوژی در توربین های گازی بزرگ

Number	Measure	Now	Future
1	Fuel gas preheat	30°C	210°C
2	Specific system pressure loss	6.5%	5%
3	(Polytropic) compressor efficiency	90%	93%
4	(Polytropic) turbine efficiency	86%	88%
5	Specific cooling air requirement	20%	15%
6	Hot gas temperature (at turbine entry)	1,280°C	1,380°C
7	Operating pressure	20 bar	28 bar
8	(Exergetic) efficiency of steam cycle	68%	71%
9	Alternator efficiency	98%	99%

شرکت کاوازاکی در سال ۲۰۰۹ اولین نمونه از مشعلهای با تکنولوژی جدید NOx پـایین را تجـاری سـازی نموده است. این نوع مشعلها میزان آلایندگی NOx را به کمتر از ۲۵ PPM رسانده و در حال حاضر طرح آنها برای کمتر از ۱۵ PPM می باشد.

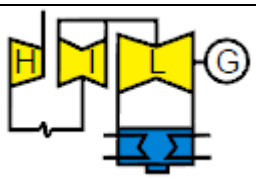
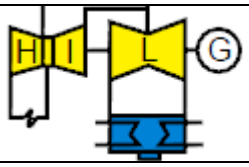
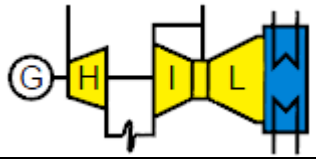


شکل (۲-۲)-مشعل های جدید در توربین های گازی نسل آینده

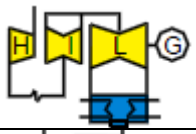
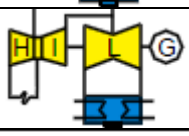
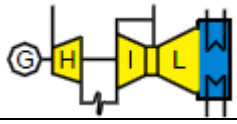
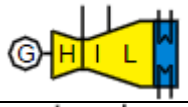
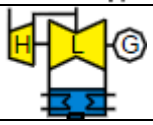
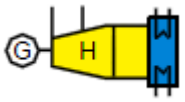
۲- توربین های بخار

توربین های بخار به دو دسته کلی با فشار مثبت و کندانسور تقسیم بندی می گردند. در تولید برق غالبا نوع دوم استفاده می گردد. تکنولوژیهای بکار رفته در این توربین ها که از ابعاد کوچک تا ابعاد بسیار بزرگ موجود می باشند تفاوت چندانی نکرده است. این توربین ها برای افزایش راندمان و رقابت با توربین های گازی و از طرفی با کاربرد در سیکل ترکیبی به همراه توربین های گازی دچار تغییرات در فشار و دمای کارکرد شده اند.

جدول(۲-۴)-توربین های بخار متداول

STEAM TURBINE CONFIGURATION			
مشخصات بخار		محدودیه تولیدMW	چیدمان متداول
دما 0C	فشار Bar		
580/600	300	200-1200	
565/565	170	250-350	
565/565	170	100-250	

جدول(۲-۵)-توربین های بخار متداول در سیکل های ترکیبی

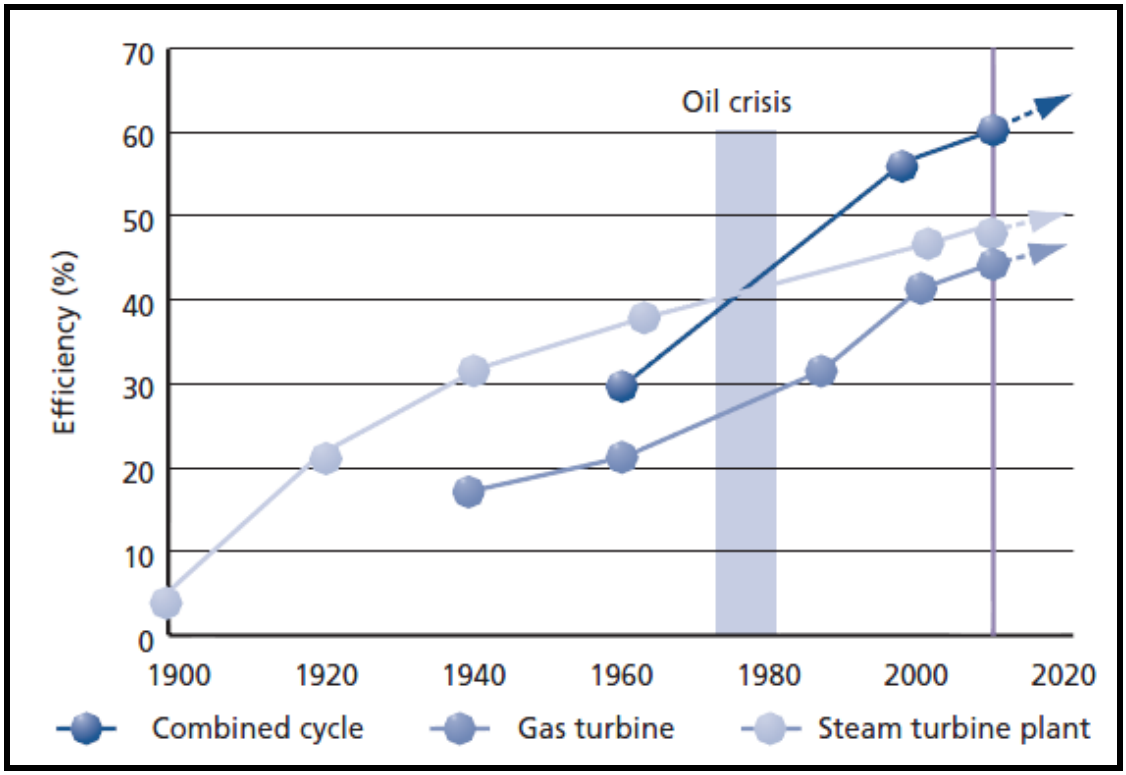
STEAM TURBINE CONFIGURATION			
چیدمان متداول	محـــــــــدوده تولیدMW	مشخصات بخار	
		فشار Bar	دما 0C
	**180-260**	**170**	**565**
	**120-180**	**125**	**565**
	**100-180**	**170**	**565**
	**40-100**	**125**	**540**
	**100-250**	**125**	**540**
	**40-150**	**125**	**540**

در توربین های نسل جدید بخار، دما و فشار کاری افزایش یافته و در نتیجه راندمان آن نیز بالا رفته است. نمونه ای از این توربین ها با مشخصات زیر می باشند.

جدول (۲-۶)- توربین های نسل جدید به همراه فشار و درجه حرارت کارکرد و سالهای تجاری سازی آنها

Main steam	Reheat steam	Commercial operation
251 bar / 600°C	610°C	2001
262 bar / 600°C	600°C	2007
270 bar / 600°C	600°C	2009
275 bar / 600°C	610°C	2011
275 bar / 600°C	610°C	2012
270 bar / 600°C	610°C	2012
273 bar / 600°C	610°C	2013

- فوق بحرانی
- بالای فوق بحرانی



شکل (۲-۳)-روند تغییرات راندمان مولدهای حرارتی از سال ۱۹۵۰ تاکنون و پیش بینی آن در آینده

جدول (۲-۷)-موارد مورد نیاز در تکنولوژیهای مختلف نیروگاههای بخاری

اجزای اصلی نبروگاه	1,050 °F	1,150 °F	1,300 °F	1,400 °F
پوسته(پوسته، شیرها،مسیر بخار، نازلها)	CrMoV (cast) 10CrMoVMb	9–10% Cr (W) 12CrW (Co) CrMoWVNbN	CF8C-Plus CCA617 Inconel 625 In 718 Nimonic 263	CCA617 Inconel 740 CF8C-Plus
اتصالات (پیچها)	422 9–12% CrMoV Nimonic 80A In 718	9–12% CrMoV 12 CrMoWVNbN	Nimonic 105 Nimonic 115 In 718 Waspaloy Allvac 718Plus	Nimonic 105 Nimonic 115 U700 U710 U720
روتور و دیسک	1CrMoV 12CrMoVNbN 26NiCrMoV11 5	9–12 % CrWCo 12CrMoWVNbN	CCA617 Inconel 625 Inconel 740 Hynes 230	CCA617 Inconel 740
نازلها و پره ها	422 10CrMoVNbN	9–12% CrWCo 10CrMoVCbN	Wrought Ni-based	Wrought Ni-based
لوله ها	P22	P92	CCA617	Inconel 740

سازندگان اصلی و پیشرو توربین های بخار

- شرکت های چند ملیتی اروپا شامل ALSTOM و SIEMENS AG
- شرکت GE آمریکا
- شرکتهای صنایع سنگین میتسوبیشی MHI و شرکت های مشترک هیتاچی و توشیبا در ژاپن
- شرکت LMZ در روسیه
- شرکت TURBOATOM در اکراین
- شرکت SKIDA در جمهوری چک

First 20 MW Gas Turbine with 35% Efficiency

شرکت کاوازاکی اولین نمونه توربین های صنعتی برای تولید پراکنده وسیستم CHP و همچنین به عنوان سیستم رانش با ظرفیت ۲۰ مگاوات را در سال ۲۰۰۱ طراحی و در حال حاضر آن را به تولید انبوه رسانده و تجاری کرده است.

۳- مولدهای برق از سوخت ذغال سنگ

مشخصات انواع مولدهای برق از ذغال سنگ و تکنولوژیهای پیشرفته در این به شرح زیر می باشـند. در جدول (۲-۸) مقایسه کلی از این تکنولوژیها ارائه شده است.

جدول (۲-۸)- مقایسه تکنولوژیهای مختلف و توان تولیدی آنها در استفاده از سوخت ذغال سنگ

	PF Subcritical	PF Super critical	IGCC Conventional	IGCC 2nd generation	IGCC 3rd generation	IGCC 3rd generation	CPFBC
توان خروجی	۴۰۲	۴۰۳	۵۴۳	۳۵۰	۳۹۸	۴۲۸	۳۷۹
Gasifier				O2 Blown	Air Blown	O2 Blown	
Gas Turbine Firing temp. Comp. ratio			GE 1288 15.2:1	Westinghouse 1400 19.2:1	GE 1430 23:1	GE 1430 23:1	Westinghouse 1400 19.2:1
Gas Cleanup	ESP	Fabric filter	Ceramic filter	Ceramic candle	Ceramic candle	Ceramic candle	Ceramic candle
Gas Desulphuriation			COS Hydrolysis	Zn Sorbent	Zn Sorbent	Zn Sorbent	Limestone injection
NOx Cleanup		Selective non catalysit reduction	Combustion tempretaure control	Combustion tempretaure control	Combustion tempretaure control	Combustion tempretaure control	Combustion tempretaure control
Steam Cycle		160atm/5380c	300atm/593	120atm/538	120atm/538	120atm/538	160atm/566

تکنولوژی فوق بحرانی تولید با تکنولوژی PF در حال حاضر به دلیل راندمان حـدود ۱٪ بیشـتر از مولـدهای IGCC و تولید CO2 کمتر در اولویت قرار دارند.

میزان نشر دی اکسید کربن CO2 در نسل دوم IGCC با راندمان حـدود ۴۵/۵٪ بـه میـزان ۱۰٪ کمتـر از تکنولوژی فوق بحرانی می باشد.

در مقایسه با تکنولوژی زیر بحرانیPF، تکنولوژی نسل دوم IGCC کاهش حدود ۲۰٪ در تولید CO2 داشـته و از سال ۲۰۰۵ تجاری گردیده است.

در نسل سوم IGCC، راندمان به حدود ۵۰٪ رسیده و از سال ۲۰۱۰ به بعد تجاری خواهد گردید. میزان انتشار گازهای آلاینده این تکنولوژی ۲۵٪ کمتر و از نظر هزینه نصب با تکنولوژی متداول فعلی یکسان خواهد بود.

جدول (۲-۹) -مقایسه راندمان نیروگاههای بخاری با تکنولوژیهای مختلف

	Thermal Cycle Efficiency Range (HHV), %	CO_2 Emissions Reduction, %	Remarks
Subcritical	33–35	Basis	
SC Plant	36–40	12	1 Reheat
USC Plant	42–45	28	1 Reheat
Advanced USC Plant	46–50	41	2 Reheat

جدول (۲-۱۰)-مقایسه انتشار آلاینده ها در انواع تکنولوژیها

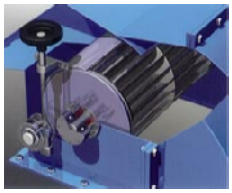
Emission	Ultra SC 3800psi/1100F/1100F	Supercritical 3500psi/1000F/1000F	IGCC 2X1 7FB GT – Dry Feed	Subcritical 2400psi/1000F/1000F
SO_2	0.91 lb/MWh	0.97 lb/MWh	0.55 lb/MWh	0.99 lb/MWh
NOx	0.64 lb/MWh	0.68 lb/MWh	0.65 lb/MWh	0.70 lb/MWh
PM-10	0.14 lb/MWh	0.15 lb/MWh	0.09 lb/MWh	0.15 lb/MWh
CO_2	0.97 T/MWh	1.03 T/MWh	0.99 T/MWh	1.06 T/MWh

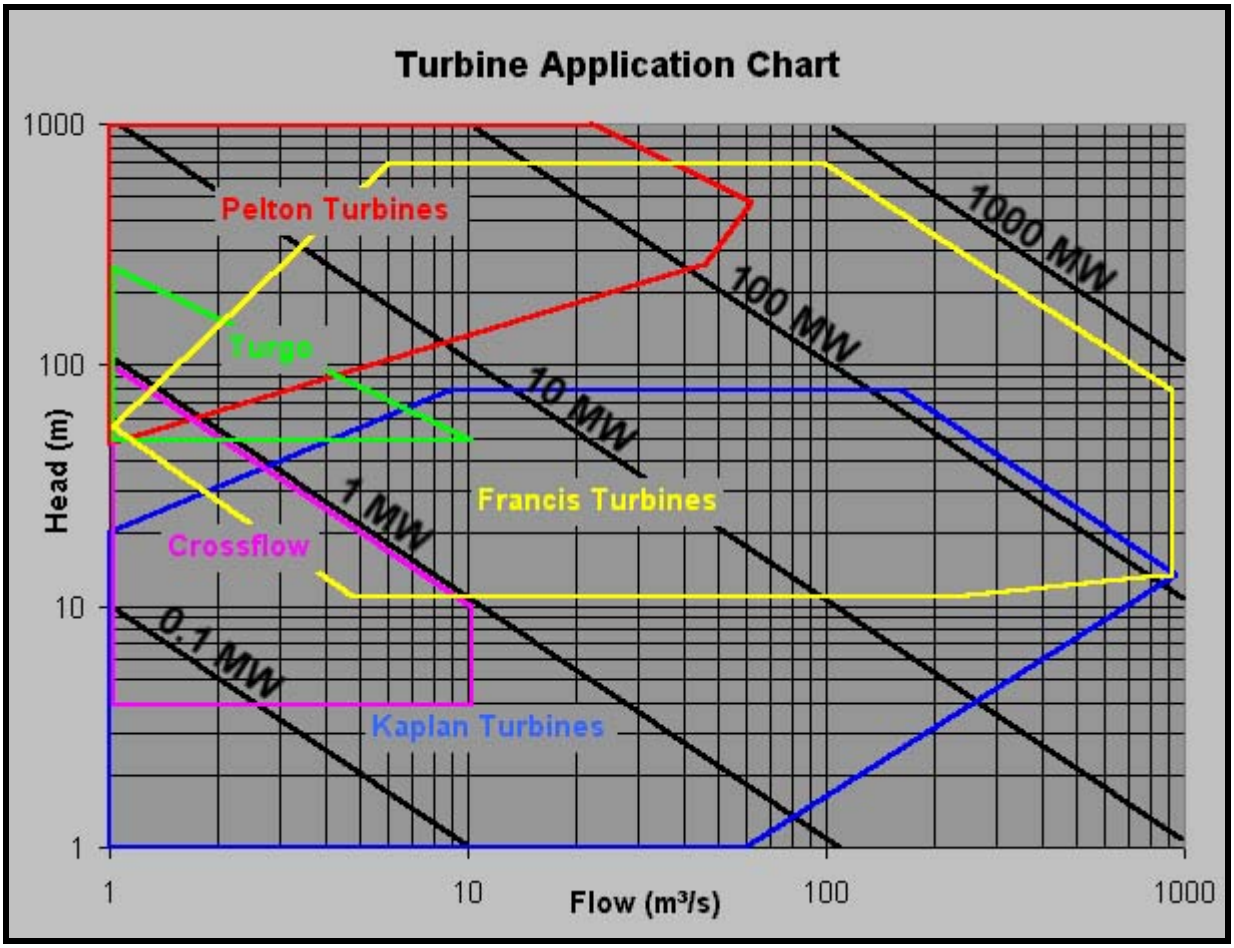
۴- نیروگاههای برق آبی

نیروگاههای برق آبی بسته به میزان جریان آب (دبی) و فشار آب (هد)، بسیار متنوع می باشند. توربین های برق آبی به دو دسته کلی ضربه ای یا Impulse و عکس العملی یا Reaction تقسیم بندی می گردند. توربین های نوع ضربه ای شامل پلتون، تورگو و جریان متقاطع می باشند. توربین های عکس العملی نیز شامل فرانسیس، کاپلان و یا پروانه ای و درافت تیوب یا دیفیوزری می باشند. در جدول (۲-۱۱) معیارهای کلی و در شکل (۲-۴) نمودار نحوه انتخاب و بکارگیری این نوع توربین ها ارائه گردیده است.

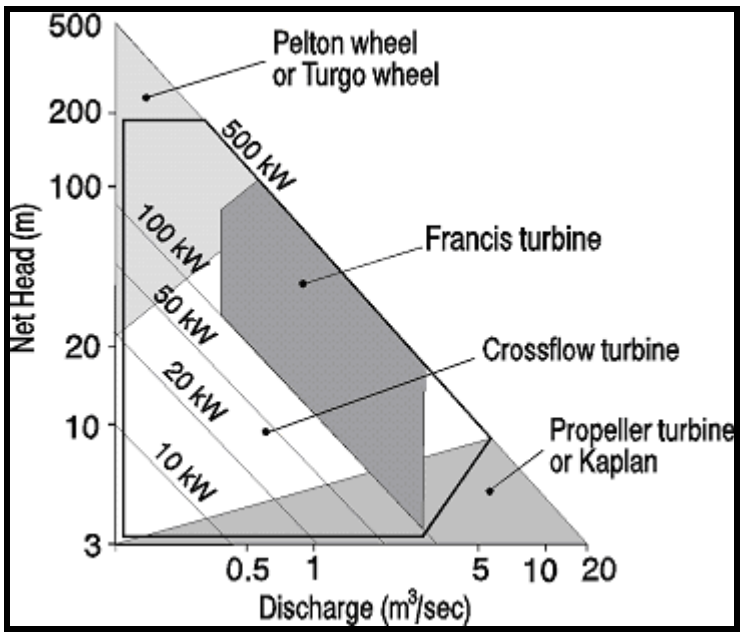
جدول (۲-۱۰)- مشخصات کارکردی انواع توربین ها

نوع توربین	محدود هد (متر)	شکل رانر
کاپلان و پروانه ای	2 < H < 40	
فرانسیس	10 < H <350	

پلتون	**50 < H < 1300**	
بانکی و میشل (جریان متقاطع)	**3 < H < 250**	
تورگو	**50 < H < 250**	



شکل (۲-۴)- نمودار انتخاب انواع توربین ها



شکل (۲-۵)- نمودار انتخاب انواع توربینهای برق آبی کوچک

راندمان انواع توربین های آبی کوچک در محدوده ۷۰ تا ۹۰ درصد می باشند. که تابع نوع توربین ها و سازندگان آن می باشد. بهترین نوع این توربین ها توسط سازندگان آلمانی بوده که راندمان نصب شده آنها در حاضر تا ۹۲٪ نیز می باشد.

جمع بندی

در این گزارش در ابتدا به بررسی اجمالی برنامه تولید انرژی الکتریکی در کشورهای مختلف پرداخته شد. تا بتوان با مرور آنها چشم اندازی از وضعیت منابع انرژی در دنیا و برنامه ریزی برای استفاده از آنها در آینده ترسیم نمود. بطور کلی کشورهای مختلف در تولید انرژی در درجه اول به قابلیت ها و منابع داخلی خود در تولید انرژی الکتریکی متکی بوده و همه برنامه ریزیها در جهت استفاده بهینه از این منابع می باشد. در ادامه در استفاده از این منابع به مسئله محدود کننده نظیر انواع تکنولوژیهای تولید در ایجاد آلایندگی، افزایش راندمان، مشکلات موارد و ساخت و همچنین استانداردهای مختلف پرداخته شده است. سپس در مرحله بعد به منابع ارزان خارجی توجه شده و سناریوهای مختلف تامین منابع بررسی شده اند که از جمله آینده گاز و تولید آن در جهان، پتانسیل نیورگاههای برق آبی، خورشیدی و ذغال سنگ و غیره می باشند. با توجه به این منافع و منابع پروژه های مشترک بلند مدت انرژی بین کشورهای مختلف برای تولید فن آوریهای مختل، کاهش آلایندگی و همچنین افزایش راندمان تجهیزات مولد انرژی تعریف شده است که نمونه آن همکاریهای آتی ترکیه با روسیه، آلمان و آمریکا با چین، آمریکا با هند و سایر موارد را می توان نام برد.

در مرحله بعد منابع تولید انرژی ایران در نظر گرفته شده و با توجه به سطح تکنولوژیهای مختلف در دنیا به بررسی اجمالی وضعیت حال و آینده تکنولوژیهای لازم برای کشور پرداخته شده است. خلاصه وضعیت این تکنولوژیهای برای این که منابع اصلی آن شامل گاز، نفت، نیروگاههای آبی کوچک، ذغال سنگ و اورانیوم می باشند به شرح زیر می باشد.

۱- سوخت گاز:

در حال حاضر نیروگاههای سیکل ترکیبی اولویت اول در این زمینه را دارا می باشند راندمان فعلی قابل دست یابی برای این نوع نیروگاهها در حدود ۶۰ ٪ می باشد.

در ادامه برای نیروگاههای بخاری در حال حاضر تکنولوژی پیشرفته موجود توربین های بخاری سوپرکریتیکال Super Critical می باشند که راندمان آنها در حدود ۴۷٪ بوده و در آینده نوع فوق بحرانی آن با راندمان حدود ۵۰ ٪ خواهد بود که فعلا تجاری نشده است.

۲- سوخت مازوت:

مشکل اصلی در این نوع نیروگاهها آلایندگی می باشد و همچنین با توجه به محدودیت نیروگاههای گاز ی در استفاده مستقیم از این نوع سوخت، تنها در نیروگاههای بخاری می توان از آنها استفاده نمود. راندمان قابل حصول در نیروگاههای بخاری با سوخت مازوت در آینده حدود ۵۰٪ خواهد بود که در آنها باید از سیستم حذف آلاینده ها استفاده نمود.

۳- گازوئیل:

سوخت گازوئیل گران قیمت بوده و استفاده از آن جز در موارد ضروری توصیه نمی گـردد. بـا اسـتفاده از تکنولوژی پیشرفته تئربین های بخار، در سیکل ترکیبی با استفاده از گازوئیل راندمان ۶۰٪ قابـل دسـت یابی خواهد بود.

۴- نیروگاههای با سوخت ذغال سنگ:

ذغال سنگ در دنیا جزو منابع اصلی در تولید انرژی الکتریکی محسوب می گـردد. در کشـورهایی نظیـر هند، چین، استرالیا و آمریکا این سوخت دارای منابع فراوانی بوده و تـلاش هـای زیـادی در دنیـا بـرای استفاده از آنها صورت می گیرد. در حال حاضر دو مسئله راندمان پایین نیوگاههای ذغال سوز و آلایندگی آنها استفاده از آنها را محدود ساخته است. با تبدیل ذغال به گاز و یا استفاده از بستر سـیالی و همچنـین استفاده از فشار اولیه در بخش سوخت نیروگاههای ذغال سوز، بهبودهایی در راندمان و کاهش آلایندگی آنها صورت گرفته است. در حال حاضر در سیکل ترکیبی با بستر سیالی راندمان ۵۰٪ در دنیا تجاری و با استفاده از تبدیلات سوخت ذغال به گاز و استفاده از آنها در نیروگاههای بخاری فـوق بحرانـی بصـورت سیکل ترکیبی راندمان به حدود ۶۰٪ نیز ارتقا خواهد یافت که هنوز این بخش تجاری نشده است.

۵- نیروگاههای آبی

نیروگاههای آبی در طی سالیان متمادی توسعه زیادی یافته اند. انواع توربین ها و سیستم رانش با توجـه به مشخصات سیال کاری نظیر میزان تمیزی، هد، دبی و سایر موارد توسعه یافته اند. در کشور نیز انـواع این توربین ها در حال استفاده می باشند. مشکل اصلی در بهره برداری امروزی این نـوع تـوربین هـا در حال حاضر راندمان آنها که در محدوده ۷۰ الی ۹۰ درصد گزارش گردیده است. همچنین ارتقای جـنس، نحوه تولید و نصب و سیستم های مختلف در مدلسازی و بهبود اجزای آن نظیر آب بندها جهت افـزایش توان تولیدی و همچنین راندمان آنها می باشد. در زمینه نگهداری و تعمیرات آنها و پایش وضـعیت آنهـا نیز فعالیتهای زیادی صورت گرفته است که این بخش در داخل کشور بخوبی توسعه نیافته است.

۶- سوخت هسته ای

در بخش نیروگاههای هسته ای نیز تکنولوژی مختلفی در ظرفیت های مختلف وجود دارد. برای ظرفیت های بالا تکنولوژی PWR و برای ظرفیت های پایین تکنولوژی Candu مناسب می باشند.

مراجع و منابع

1. **Justin Zachary** , **Paul Kochis,Ram Narula** S,"TEAM TURBINE DESIGN CONSIDERATIONS FOR SUPERCRITICAL CYCLES", **Presented at Coal Gen 2007, August 1-3 2007.**

2. http://w3.tm.tue.nl/fileadmin/tm/TDO/Indonesie/Hydro_Power.pdf

آمریکا

http://www.wikipedia.com
http://www.eia.doe.gov/cabs/Japan/Electricity.html-U.S.Energy Information Administration Independent Statistics and Analysis
http://www.utilityconnection.com/page3b.asp
http://www.acaa-usa.org/ Advancing the Management & Use of Coal Combustion Products
http://www.carbontrust.com/
http://www.cibo.org/ Council of Industrial Boiler Owners
http://www.worldcoal.org/
http://www.cti.org/ cooling Technology Institute
http://www.eei.org/ Edison Electric Institute
http://my.epri.com/ Electric Power Research Institute
http://www.localpower.org/ WADE : World Alliance for Decentralized Energy
http://www.energy.ca.gov/ The California Energy Commission

magazine

http://www.pennwell.com/
power publications
-cogeneration & on-site power production http://www.powergenworldwide.com/
-Electric Ligth & Power http://www.elp.com/index.html
-Power Engineering http://www.powergenworldwide.com/index/pehome.html
-Power Engineering International http://www.powergenworldwide.com/index/pei-homepage.html
-Electric Power Newslinks(POWER MAGAZINE) http://www.powermag.com/gas/important
- http://www.platts.com/
-Energy Insight : http://ftenergy.com/
http://www.dw-1.com/~dw1new/shop/shop-infopage.php?longref=491~0&gclid=CPO9-7qCm6QCFUOU3wodwxuaGA
http://www.envirotechinvestor.com/?gclid=CPvC-LyCm6QCFceR3wodURfSEA
http://www.fcc.gov/cgb/consumerfacts/lptv.html

Research

Electric Power Research Institute (EPRI) http://my.epri.com/portal/server.pt
National Energy Technology Laboratory (NETL) http://www.netl.doe.gov

governmental

US Department of Energy http://www.eia.doe.gov
Edison Electric Institute http://www.eei.org

National Mining Association http://www.nma.org
National Rural Electric Cooperative Association (NRECA) http://www.nreca.org
West Virginia Coal Association http://www.wvcoal.com

ژاپن

http://criepi.denken.or.jp/en/ : Central Research Institute of Electric Power Industry
Ministry of Economy Trade and Industry (MET1 Japan)
http://www.meti.go.jp/english
Japan Coal Energy Centre http://www.jcoal.or.jp/index-en.html

آلمان

Research
COORETEC http://www.cooretec.de
Industry Associations
Bundesverband des Deutschen Industrie (BDI) http://www.bdi-online.de/en/index_en.htm
German Brown Coal Association http://www.braunkohle.de
German Coal Importers Association (VDKi) http://www.verein-kohlenimporteure.de/english/start_e.htm
German Electricity Association. (VDEW) http://www.strom.de
German Hard Coal Association (website in German) http://www.gvst.de/index.htm
German Mining Association (website in German)
North Rhine – Westphalia Technical Advisory Group http://www.energieland.nrw.de
http://www.siemens.com/sustainability/en/environment/portfolio/fossil_power_generation.htm
http://www.energy.siemens.com/entry/energy/hq/en/#
http://www.siemens.com/innovation/en/highlights/energy/energy.php
http://www.siemens.com/innovation/en/news_press.php?tab=2

بریتانیا

Research
Advanced Power Generation Technology Forum http://www.apgtf-uk.com
British Coal Utilisation Research Association http://www.bcura.org
IEA Clean Coal Centre http://www.iea-coal.org.uk
IEA Greenhouse Gas R&D Programme http://www.ieagreen.org.uk
UK Energy Research Partnership http://www.energyresearchpartnership.org
governmental
UK Department of Trade and Industry http://www.dti.gov.uk
Industry Associations
Association of Electricity Producers http://www.aepuk.com
Carbon Capture & Storage Association http://www.ccsassociation.org.uk
Coal Research Forum (UK) http://www.coalresearchforum.org
Confederation of UK Coal Producers http://www.coalpro.co.uk

نیروگاههای برق آبی

http://www.microhydropower.net/literature/