فصلنامه علمی تخصصی پژوهش های نوین بین رشته ای علوم پایه و فنی و مهندسی
Specialized Scientific Quarterly of New Interdisciplinary Researches in Basic Science and Technical and Engineering
« E-ISSN:2980-9061 »

Specialized Scientific Quarterly of New Interdisciplinary Researches in Basic Science and Technical and Engineering

بررسی اصول بسترهای سیال و استفاده از آنها در احتراق سوخت های سخت

حامد حسین زاده[۱]، بهزاد زنجانی نژاد[۲]

[۱] دکتری مهندسی انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات و تهران
H.hoseinzade@srbiau.ac.ir

[۲] دکتری مهندسی انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران
zsahand@yahoo.com

چکیده

راکتور بستر سیال یک ابزار نسبتاً جدید در مهندسی شیمی می باشد. در این مقاله تاریخچه و استفاده کنونی، اصول اساسی عملکرد راکتور، انواع، مزایای استفاده، معایب راکتور بستر سیال، مکانیسم احتراق(FBC)، بویلر احتراق بستر سیال اتمسفریک (AFBC)، ویژگیهای بویلر بستر سیال اتمسفریک، بویلر احتراق بستر سیال چرخشی (CFBC)، ویژگیهای عملکرد عمده سیستم گردشی، بویلر احتراق بستر سیال فشاری، مزایای استفاده از بویلر احتراق بستر سیال، محاسبات لازم، چگونگی عملکرد راکتور بستر سیال و گروه بندی ذرات مورد بررسی قرار می گیرد. از مسائل مهم این سیستم که آن را جذاب ساخته است می تواند کاهش هزینه ها در هزینه سوخت، هزینه عملیاتی سیستم و هزینه تعمیر و نگهداری آن باشد.

کلمات کلیدی: بستر سیال، راکتور، بویلر احتراق، سوخت سخت

د.وره: ۲	دریافت مقاله:۱۴۰۲/۰۲/۲۰
شماره: ۱	اصلاحیه مقاله:-
آدرس سایت: nrbste.ir	پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۲۵
ایمیل:kome.e.a.d@gmail.com	انتشار مقاله: ۱۴۰۲/۰۳/۳۰

فصلنامه علمی تخصصی پژوهش های نوین بین رشته ای علوم پایه و فنی و مهندسی
Specialized Scientific Quarterly of New Interdisciplinary Researches in Basic Science and Technical and Engineering
« E-ISSN:2980-9061 »

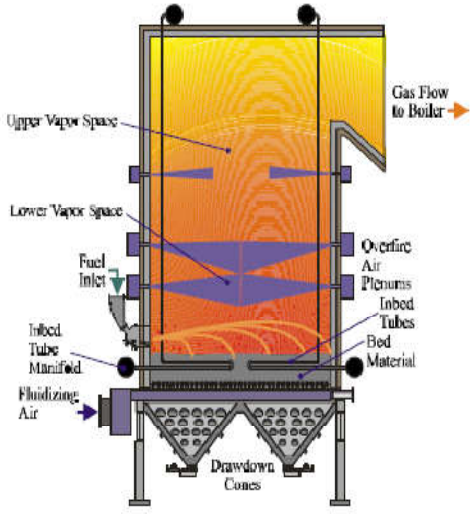
۱- مقدمه

راکتور بستر سیال یک ابزار نسبتاً جدید در مهندسی شیمی می باشد. برای اولین بار در آلمان سال ۱۹۲۰ به عنوان تولید کننده گاز مورد استفاده قرار گرفت. احتراق بستر سیال (FBC) یک تکنولوژی احتراق در نیروگاههای برق مورد استفاده قرار می گیرد. سیستم احتراق بستر سیال به عنوان یک جایگزین مداوم برای رویارویی با چالشهای آینده خواهد بود. هدف از ساخت این سیستم حذف مواد غیرقابل احتراق می باشد که سیستم FBC سوخت های متنوعی تحت عناوین ضایعات کشاورزی، مواد زائد شهری، ضایعات چوبی، صنعتی، لجن شهری، پلاستیک، لاستیک، زغال سنگ می باشد. رنج دمای کارکرد آن پایین و در حدود ۹۵۰-۷۵۰ درجه سانتی گراد می باشد. در جاهایی که بخش عمده معادن زغال سنگ با خاکستر زیاد و ارزش حرارتی پایین وجود دارد می توان از مزایای این سیستم استفاده نمود. این سیستم مزایای متعددی از جمله : طراحی ساده راکتور، انعطاف پذیری سوخت، بهره وری بالای احتراق و کاهش انتشار آلاینده مانند SO_X و NO_X دارا می باشد.

۲- تاریخچه و استفاده کنونی

راکتور بستر سیال یک ابزار نسبتاً جدید در مهندسی شیمی می باشد. برای اولین بار در آلمان سال ۱۹۲۰ به عنوان تولید کننده گاز مورد استفاده قرار گرفت. اولین راکتور در ایالات متحده در صنعت نفت ، واحد کراکینگ کاتالیستی در سال ۱۹۴۲ استفاده شد. در اوایل سال ۱۹۸۰ این تکنولوژی در ایلات امریکا برای سوزاندن کک نفت و پسماند معادن زغال سنگ در جهت تولید برق اقتباس شده بود. در آن زمان، مقررات ایالات متحدهٔ ارائه مشوق های ویژه ای برای استفاده از سوخت های تجدیدپذیر و سوخت زباله بوده است. در اواخر ۱۹۸۰ رابرت لانگر و همکارانش برای علوم زیستی، درک و تجسم دینامیک سیالات از آن استفاده کردند[1,3].

برای این تکنولوژی ثابت شده که سوزاندن سوخت هایی که مشکل سوزاندن دارند مثل کک نفت و زغال آنتراسیت، سوخت با کیفیت پایین مانند خاکستر زغال سنگ و مواد زائد معادن زغال سنگ و سوخت با حرارت بسیار متغییر از جمله زیست توده و سوخت های مخلوط مناسب می باشد. در این فن آوری سوخت در دمای ۱۷۰۰-۱۴۰۰ درجه فارینهایت و یا ۹۳۰- ۷۶۰ درجه سانتی گراد می سوزد و اکسید نیتروژن تشکیل شده کمتر از حالت های دیگر سوزاندن می باشد[2].



شکل (۱) یک نوع از راکتور بستر سیال

فصلنامه علمی تخصصی پژوهش های نوین بین رشته ای علوم پایه و فنی و مهندسی
Specialized Scientific Quarterly of New Interdisciplinary Researches in Basic Science and Technical and Engineering
« E-ISSN:2980-9061 »

از مزایای احتراق بستر سیال کاهش تولید گازهای گلخانه ای با کنترل انتشار گاز خروجی توسط اسکرابر می باشد. گازهای حاصل با تماس یک ماده شیمیایی، گوگرد آن جذب و به سنگ آهگ تبدیل می شود. بیش از ۹۵٪ از آلاینده های گوگرد موجود در سوخت را می توان در داخل دیگ بخار توسط جاذب، جذب کرد.

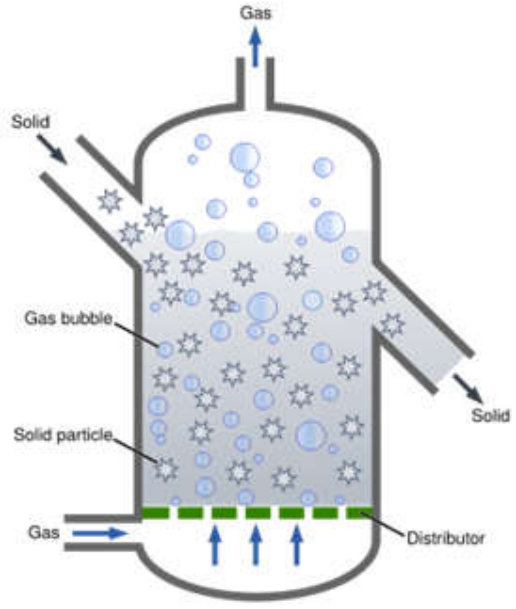
این راکتور برای تولید بنزین و سوخت های دیگر همراه با بسیاری از مواد شیمیایی دیگر مورد استفاده قرار می گیرد.

یکی از کاربردهای آن صنعت تولید پلیمر که با استفاده از این تکنولوژی می توان موادی همچون لاستیک، وینیل کلراید، پلی اتیلن، پلی پروپیلن و غیره را تولید نمود.

برای تاسیسات مختلف از قبیل تبدیل زغال سنگ به گاز، نیروگاههای هسته ای، سوزاندن زباله و غیره استفاده نمود.

۳- اصول اساسی عملکرد راکتور

احتراق بستر سیال (FBC) یک تکنولوژی احتراق در نیروگاههای برق مورد استفاده قرار می گیرد. بسترهای سیال معلق کردن سوخت جامد توسط دمیدن جت هوا در فرآیند احتراق است که نتیجه آن اختلاط سوخت جامد بیشترین اثرات واکنش های شیمیایی و انتقال حرارت شبیه به مایع جوشان عمل نماید. بستر این راکتور به طور معمول یک صفحه متخلخل که به عنوان توزیع کننده شناخته می شود. با کاهش سرعت سیال مواد جامد در جای خود باقی می ماند و سیال از بین مواد جامد عبور می نماید. که به این صورت عنوان یک راکتور بستر سیال شناخته می شود و همانطور که سرعت سیال افزایش می یابد مواد جامد از هم فاصله گرفته و از حالت تعادل خارج می شوند و به محض اینکه سرعت بیشتر شود محتویات بستر راکتور شروع به حرکت و چرخش می نمایند که این حرکت سیال همانند یک مخزن آشفته یا دیگ جوشان است. بسته به شرایط عملیاتی و خواص آز فاز جامد از رژیم های جریان های مختلف را می توان در این راکتور مشاهده کرد[2].



شکل (۲) شماتیک ورود و خروج سیال و سوخت در راکتور

۴- انواع

سیستم FBC معمولاً به دو گروه بزرگ تقسیم می شوند:

سیستم اتمسفریک (FBC) و سیستم تحت فشار (PFBC)

و به دو گروه جزئی :

فصلنامه علمی تخصصی پژوهش های نوین بین رشته ای علوم پایه و فنی و مهندسی
Specialized Scientific Quarterly of New Interdisciplinary Researches in Basic Science and Technical and Engineering
« E-ISSN:2980-9061 »

سیستم متلاطم (BFB) و سیستم بستر سیال گردشی (CFB)

۴-۱- سیستم اتمسفریک (FBC)

بسترهای سیال معلق کردن سوخت جامد توسط دمیدن جت هوا در فرآیند احتراق است که نتیجه آن اختلاط سوخت جامد بیشترین اثرات واکنش های شیمیایی و انتقال حرارت شبیه به مایع جوشان عمل نماید.

راکتور بستر سیال(FBR)

یک راکتور بستر سیال یک نوع از راکتوری که برای انجام واکنش شیمیایی مورد استفاده قرار می کیرد. در این نوع راکتور یک سیال (گاز یا مایع) سوخت جامد داخل راکتور را به حالت شناور در می آورد.

۴-۲- سیستم تحت فشار (PFBC)

در این سیستم مخلوطی از ذرات زغال سنگ و هوا که در فشارهای بالا کار و تولید جریان گاز با فشار و درجه حرارت بالا که می تواند وارد توربین گاز شود و آنرا به چرخش درآورد و یا بخار آب تولید کند و وارد توربین بخار شود و آنرا بچرخاند.

سیستم تحت فشار پیشرفته (APFBC)

در این سیستم مخلوطی از ذرات زغال سنگ و هوا که در فشار و دمای بالا سوزانده می شود سپس گاز حاصله از احتراق وارد توربین گاز شده و از آنجا وارد مبدل حرارتی که باعث تولید بخار آب می گردد و بخار آب توربین وارد توربین بخار شده و سرانجام یک سیکل ترکیبی بوجود خواهد آمد.

۵- مزایای استفاده

استفاده زیاد از راکتور بستر سیال به علت مزایای ذاتی که این فناوری دارد خواهد بود.

۵-۱- یکنواختی ذرات مخلوط

یکنواختی ذرات مخلوط این امکان را می دهد که یک ترکیبی نسبتاً خوبی از سیال و جامد بوجود آید و ظرفیت خوبی برای واکنش شیمیایی و انتقال حرارت ایجاد می شود و در نتیجه بهره وری و کیفیت واکنش افزایش می یابد.

۵-۲- حرارت یکنواخت

اختلاف دما در نقاطی از بستر واکنش مشکلی است که در راکتورها موجود می باشد لذا به علت گرمازا بودن واکنش در راکتور و یکنواخت بودن دما، سطح ضریب انتقال حرارت در راکتور بالا خواهد رفت.

۵-۳- پیوسته بودن کار راکتور

یکی از مزایای راکتور بستر سیال توانایی پیوسته بودن تولید محصول و ایجاد ظرفیت جدید برای واکنش مواد ورودی به راکتور می باشد.

۵-۴- تنوع سوخت

هدف از ساخت این سیستم حذف مواد غیرقابل احتراق می باشد که سیستم FBC سوخت های متنوعی تحت عناوین ضایعات کشاورزی، مواد زائد شهری، ضایعات چوبی، صنعتی، لجن شهری، پلاستیک، لاستیک، زغال سنگ می باشد. آنالیز دو نوع از سوخت مصرفی در جدول زیر آورده شد[5].

جدول (۱) آنالیز سوخت (چوپ و زغال سنگ)

	coal	wood
Carbon, dry wt. %	74.0	49.7
Hydrogen, dry wt. %	5.1	5.4
Nitrogen, dry wt. %	1.6	0.2
Sulfur, dry wt. %	2.3	0.1
Ash, dry wt. %	9.1	5.3

فصلنامه علمی تخصصی پژوهش های نوین بین رشته ای علوم پایه و فنی و مهندسی
Specialized Scientific Quarterly of New Interdisciplinary Researches in Basic Science and Technical and Engineering
« E-ISSN:2980-9061 »

Chlorine, dry wt. %	**0.0**	**0.0**
Oxygen, dry wt. %	**7.9**	**39.3**
Moisture, %	**5.2**	**50**
Dry HHV, Btu/lb	**13250**	**8800**
LHV, Btu/lb as fired	**12050**	**3315**

۵-۵- انتشار کم آلودگی

تولید پایین گازهای گلخانه ای در این سیستم از مزایای آن می باشد که به دلایل زیر:

درجه حرارت احتراق کم و هوای اضافی در بستر احتراق باعث کاهش NO_X می شود.

با استفاده از تزریق سنگ آهک از تولید گازهای آلاینده مانند SO_X جلوگیری می شود.

۵-۶- خاکستر مناسب

راندمان احتراق بالا از نتایج بستر سیال در کاهش مقدار خاکستر و مواد معدنی خواهد بود مواد بزرگتر باقی مانده عمدتاً شامل مواد غیرقابل احتراق که به حالت ذرات خنثی هستند. به حداقل رساندن تشکیل مواد سمی که ممکن است در خاکستر وجود داشته باشد و اغلب خاکستر به عنوان مواد اولیه برای تولید مواد دیگر به کار می رود.

۵-۷- عامل انعطاف پذیری

این سیستم ها نشان داده اند که توانایی کار تحت طیف گسترده ای از شرایط بار را دارند. اثر فلایویل حرارتی بستر مواد این اجازه را می دهد تا نوسانات در رطوبت و حرارت سوخت را توسط سیستم بدون تاثیر منفی جذب شود. در مقابل در حال حاضر موجودی سوخت کم در واحد باعث می شود آن به بارهای مختلف پاسخگو باشد. انعطاف پذیری عامل نشان داده که می تواند ابزاری برای برنامه های تشویقی به دنبال تولید و تقاضای برق باشد.

۵-۸- هزینه های عملیاتی پایین

عدم وجود قطعات متحرک در داخل راکتور زمان و هزینه های عملیاتی و تعمیر و نگهداری را کاهش می دهد.

۵-۹- سازگار با محیط زیست تولید انرژی از زباله

احتراق بستر سیال، فناوری سازگار با محیط زیست مطلوب و برای دفع زباله و تولید انرژی به اثبات رسیده است.

۶- معایب راکتور بستر سیال

۶-۱- افزایش حجم راکتور

یکی از معایب راکتور افزایش حجم آن است که می تواند در هزینه های سرمایه اولیه تاثیر بگذارد.

۶-۲- پمپاژ مورد نیاز و افت فشار

نیاز راکتور برای متلاطم کردن ذرات سوخت مستلزم یک سیال با سرعت بالاست. به منظور رسیدن به این سرعت، قدرت پمپاژ بیشتر و در نتیجه هزینه های انرژی بالاتر مورد نیاز است.

۶-۳- عدم درک از واکنش

درک فعلی از رفتار واقعی از مواد واکنش دهنده در داخل راکتور یک محدودیت است. پیش بینی و محاسبه پیچیده رفتار جرم و جریان های حرارتی در داخل راکتور خیلی سخت است و درک این مسئله بسیار دشوار و اغلب ممکن است به صورت تجربی باشد.

۶-۴- فرسایش قطعات داخلی

فصلنامه علمی تخصصی پژوهش های نوین بین رشته ای علوم پایه و فنی و مهندسی
Specialized Scientific Quarterly of New Interdisciplinary Researches in Basic Science and Technical and Engineering
« E-ISSN:2980-9061 »

رفتار ذرات در داخل سیال متلاطم و آشفته بوده و برخورد ذرات با قطعات داخلی راکتور باعث سایش و فرسودگی آن می شود که هزینه تعمیر و نگهداری آن زیاد خواهد بود.

۶-۷- از دست دادن فشار

اگر فشار داخل راکتور به طور ناگهانی کاهش یابد ممکن است پیامدهای جدی تری مانند واکنش های فرار (واکنش های گرمازا که انتقال حرارت به طور ناگهانی و کنترل نشده باشد.

۷- مکانیسم احتراق FBC

ابتدا سوخت روی بستر که در پایین راکتور قرار دارد و مش بندی شده است قرار می گیرد و سیال توسط جت هایی که در زیر بستر قرار دارند باسرعت به سمت بالا هدایت می شوند. سیال ذرات جامد را به سمت بالا می برد و ذرات جامد به حالت معلق در می آیند. هرچه سرعت سیال بیشتر شود مخلوط ذرات سوخت با سیال متلاطم تر می شود.

فرآیند احتراق نیاز به سه عامل دارد: زمان، دما، تلاطم

سه نوع بویلر احتراق بستر سیال وجود دارد:

۱-بویلر احتراق بستر سیال اتمسفریک (AFBC)

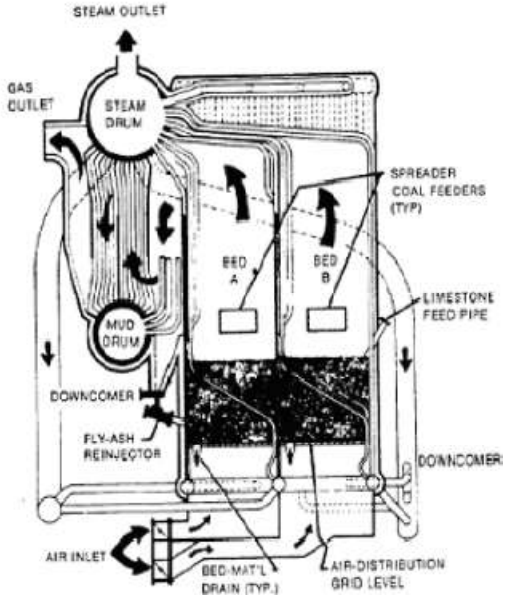
۲-بویلر احتراق بستر سیال چرخشی (CFBC)

۳-بویلر احتراق بستر سیال فشاری (PFBC)

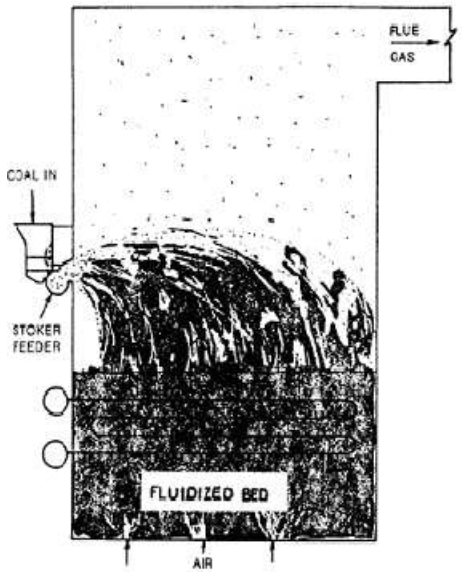
۸- بویلر احتراق بستر سیال اتمسفریک (AFBC)

اندازه سوخت تغذیه (زغال سنگ) mm ۱۰-۱ با توجه به رتبه زغال سنگ متفاوت خواهد بود[8].

هوا از زیر بستر راکتور وارد می شود و سرعت آن بین m/s ۳/۷ – ۱/۲ می باشد. عمق بستر معمولاً بین m ۱/۵-۰/۹ است.



شکل(۳) بویلر احتراق بستر سیال اتمسفریک



شکل (۴) راکتور بستر سیال اتمسفریک

۸-۱- ویژگیهای بویلر بستر سیال اتمسفریک

می تواند در فشار اتمسفریک یا نزدیک به آن کار کند.

صفحه مشبک توزیع هوا که در بستر راکتور قرار دارد.

تولید بخار آب به طور مستقیم از طریق لوله های گرمایش

گازهای حاصله از احتراق قبل از اینکه از راکتور خارج شوند با لوله های گرمایش برخورد می کنند.

بویلر احتراق بستر سیال از اجزاء زیر تشکیل شده است:

۱-سیستم تغذیه سوخت

۲-سیستم توزیع هوا

۳-سطح انتقال حرارت

۴-سیستم انتقال خاکستر

۹- بویلر احتراق بستر سیال چرخشی (CFBC)

این سیستم فناوری از احتراق بستر متلاطم که به عنوان وسیله ای برای غلبه بر برخی از اشکالات در ارتباط با احتراق بستر متلاطم معمول می باشد[8].

سایز سوخت ورودی برای این تکنولوژی mm ۱۲-۶ و با جریان هوا رو به بالا که ۷۰-۶۰ ٪ از کل هوا که از پایین توس نازل هوا دمیده می شود.

سرعت گردش بستر در حدود m/s ۹-۳/۷ می باشد.

بستر گردشی برای حرکت مواد جامد در خارج از منطقه احتراق و برای رسیدن به انتقال حرارت لازم طراحی شده است.

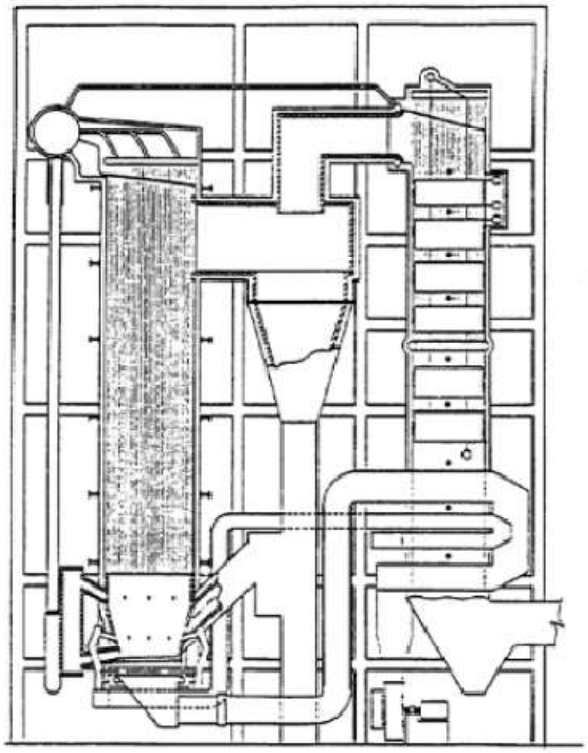
شرایط زیر مربوط به سیستم بستر سیال گردشی می باشد:

۱-برای بویلر با ظرفیت متوسط تا بزرگ

۲-کنترل انتشار آلودگی (SO_X و Nox)

۳-سوزاندن سوخت با درجه حرارت پایین

فصلنامه علمی تخصصی پژوهش های نوین بین رشته ای علوم پایه و فنی و مهندسی
Specialized Scientific Quarterly of New Interdisciplinary Researches in Basic Science and Technical and Engineering
« E-ISSN:2980-9061 »



شکل (۵) بویلر احتراق بستر سیال چرخشی

۹-۱- ویژگیهای عملکرد عمده سیستم گردشی

۱-دارای ظرفیت بالا به دلیل سرعت بالا

۲-درجه حرارت قابل قبول در حدود ۸۷۰ درجه سانتی گراد

۳-تولید SO_X و Nox کمتر

۴-دارای راندمان احتراق بالا

۵-به نسبت بهتر از سیستم های بستر سیال متلاطم

۶-کاهش فرسایش محفظه احتراق چرا که سطح آن به موازات جریان می باشد.

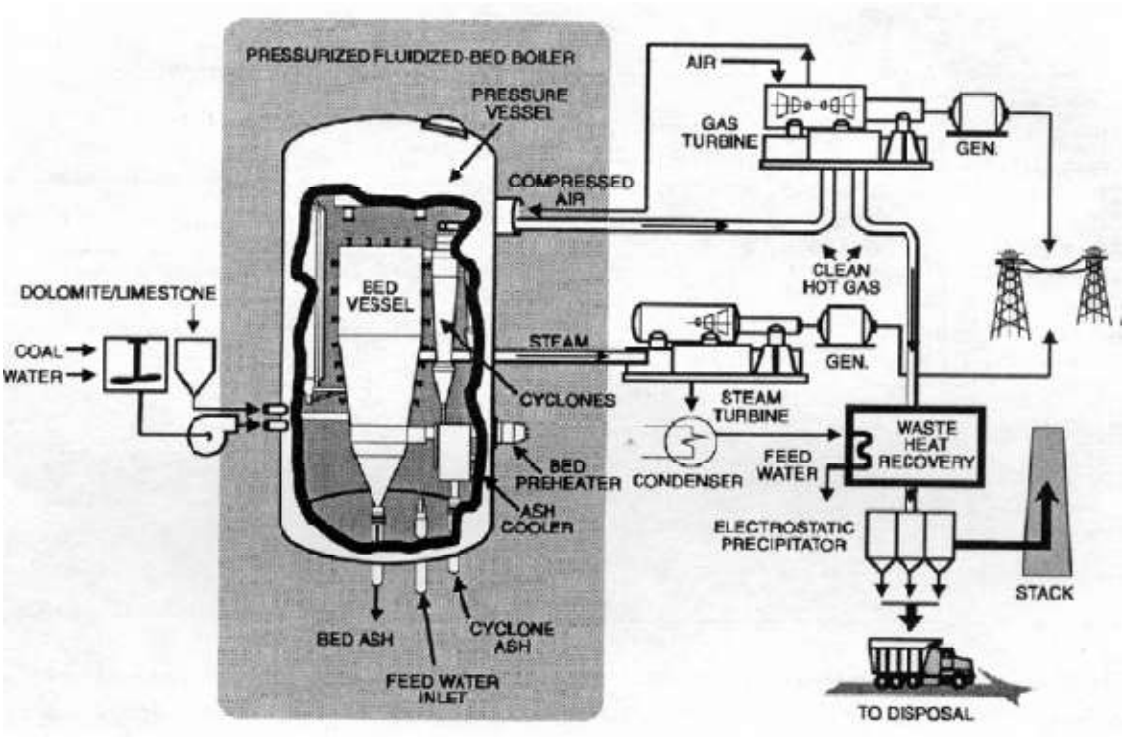
۱۰- بویلر احتراق بستر سیال فشاری(PFBC)

این سیستم برای سوزاندن زغال سنگ در مقیاس بزرگ کاربرد دارد[8].

فشار مورد استفاده در این سیستم kg/cm3 ۱۶ می باشد. گاز خروجی برای راندن توربین گاز استفاده می شود. از گازهای خروجی توربین گاز برای تولید بخار آب و به کارگیری آن در توربین بخار مورد استفاده قرار می گیرد.

معمولاً این سیستم به صورت سیکل ترکیبی کار می کند.

فصلنامه علمی تخصصی پژوهش های نوین بین رشته ای علوم پایه و فنی و مهندسی
Specialized Scientific Quarterly of New Interdisciplinary Researches in Basic Science and Technical and Engineering
« E-ISSN:2980-9061 »



شکل (۶) بویلر احتراق بستر سیال فشاری

۱۱- مزایای استفاده از بویلر احتراق بستر سیال[4]

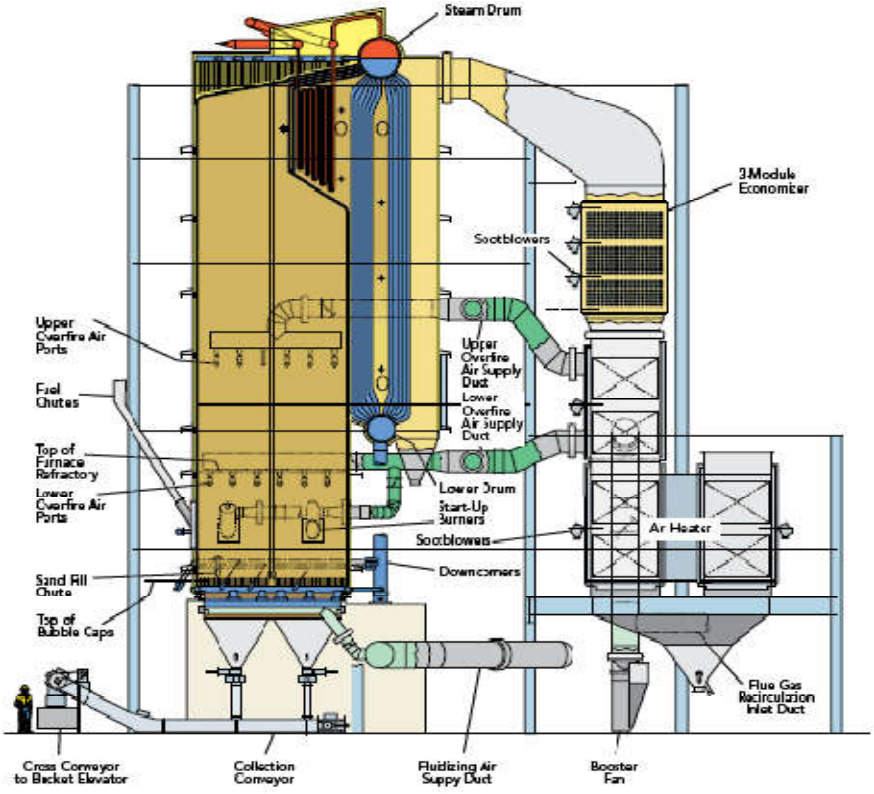
* راندمان بالا (در حدود ۹۵٪ بدون در نظر گرفتن خاکستر و یا راندمان کلی در حدود ۸۴٪)
* کاهش اندازه بویلر
* انعطاف پذیری سوخت
* امکان استفاده از سوخت با ارزش حرارتی پایین
* کنترل آلودگی
* خوردگی و فرسایش کم
* حذف آسان خاکستر
* تولید کم CO_2
* ساده بودن علمیات و شروع سریع
* سیستم انتقال خاکستر
* کاهش زمان تعمیر و نگهداری
* بهره وری بالا از تولید برق

چرا بویلر فلویدایز ذغال سنگ را پاک تر می سوزاند؟

فصلنامه علمی تخصصی پژوهش های نوین بین رشته ای علوم پایه و فنی و مهندسی
Specialized Scientific Quarterly of New Interdisciplinary Researches in Basic Science and Technical and Engineering
« E-ISSN:2980-9061 »

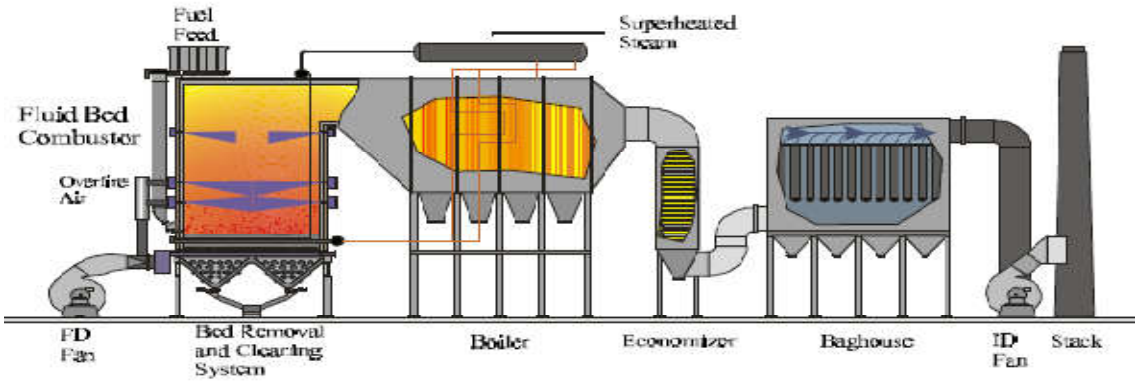
دو دلیل اساسی وجود دارد، نخست اینکه عمل شناور بودن باعث می گردد که پودر آهک به خوبی با ذغال سنگ مخلوط شود و مانند یک اسفنج سولفور را با واکنش شیمیایی جذب و نماید و آن را تبدیل به پودر خشکی کند که بتوان از بویلر خارج کرد. این پودر سفید همان سولفات کلسیم است که می توان آن را به صورت بلوک و آجر در آورده و در ساختمان از آن استفاده نمود.

دلیل دوم پاک تر سوختن بویلر های فلویدایز این است که خنک تر می سوزند. البته منظور از خنک تر در اینجا هنوز خیلی داغ و در حدود ۷۶۰ درجه سانتیگراد می باشد در حالیکه بویلر های ذغال سنگ قدیمی تقریبا با دو برابر این دما یعنی ۱۶۰۰ درجه سانتیگراد می سوزند. از طرفی همانطور که گفته شد NOx وقتی تشکیل می گردد که دما به قدر کافی زیاد بوده و باعث تجزیه مولکول های ازت (N2) در هوا و ترکیب آنها با اتم های اکسیژن گردد. اما ۷۶۰ درجه سانتیگراد آنقدر بالا نیست که مولکول های ازت تجزیه گردند، بنابراین مقدار بسیار ناچیزی NOx ممکن است در بویلر فلویدایز ایجاد گردد . در نتیجه بویلر فلویدایز قادر است ذغال سنگ های خیلی کثیف را سوزانده و بیش از ٪۹۰ سولفور و ازت آن را در حین سوختن جدا و یا اصلا از ایجاد آن جلوگیری نماید[9].



شکل (۷) شماتیک بویلر بستر سیال متلاطم

فصلنامه علمی تخصصی پژوهش های نوین بین رشته ای علوم پایه و فنی و مهندسی
Specialized Scientific Quarterly of New Interdisciplinary Researches in Basic Science and Technical and Engineering
« E-ISSN:2980-9061 »



شکل (۸) شماتیک بویلر سیستم قدرت

۱۲- محاسبات لازم

برای محاسبه افت فشار از فرمول Ergun استفاده می شود[7]:

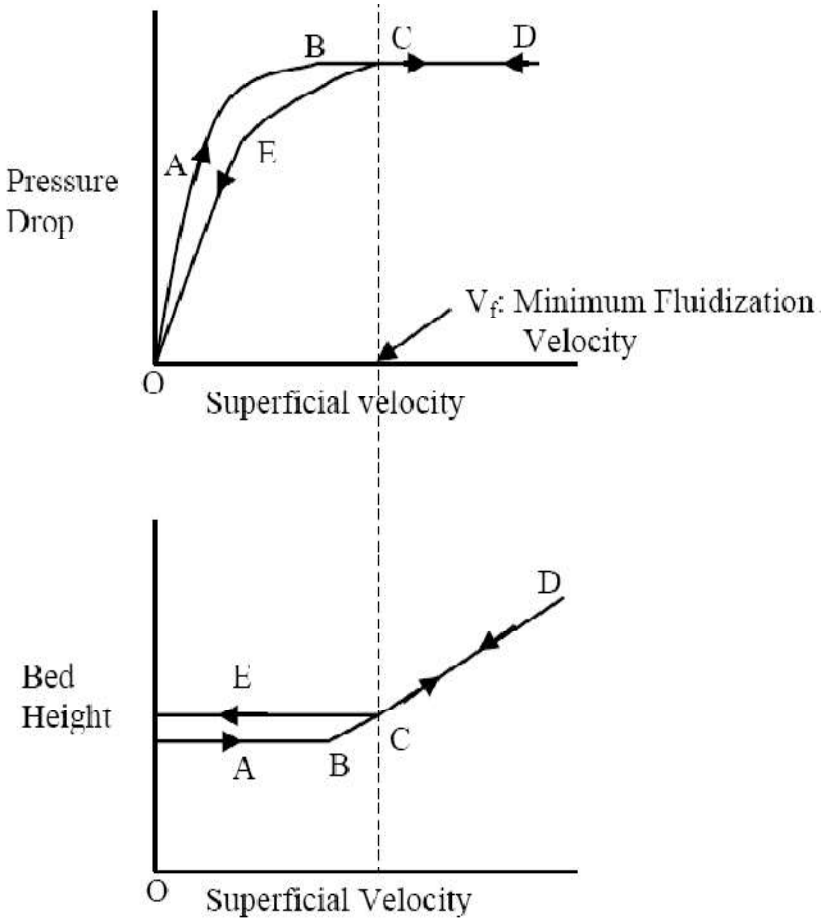
$$\frac{\Delta P g_c}{L}\frac{\varphi_s D_p}{\rho \overline{V}_0^{\,2}}\frac{\varepsilon^3}{1-\varepsilon}=\frac{150(1-\varepsilon)}{\varphi_s D_p \overline{V}_0 \rho/\mu}+1.75$$

g_c : فاکتور تناسب قانون نیوتن L : ارتفاع بستر سیال φ_s : ضریب کرویت v_p : حجم یک ذره s_p : سطح یک ذره
D_p : قطر یک ذره $\overline{v_0}$: سرعت ورودی ΔP : افت فشار ρ : چگالی سیال μ : ضریب ویسکزیته دینامیکی از سیال
ε: ضریب تخلخل (نسبت حجم خالی به مجموع حجم ذره)

۱۳- چگونگی عملکرد راکتور بستر سیال

اصول چگونگی کارکرد راکتور بستر سیال (محفظه ای که در آن واکنش انجام می شود) به صورت زیر است[6,7]:

فصلنامه علمی تخصصی پژوهش های نوین بین رشته ای علوم پایه و فنی و مهندسی
Specialized Scientific Quarterly of New Interdisciplinary Researches in Basic Science and Technical and Engineering
« E-ISSN:2980-9061 »



نمودار (۱و۲) رابطه بین سرعت سیال و افت فشار و رابطه بین سرعت سیال و ارتفاع بستر

الف) رابطه سرعت با افت فشار

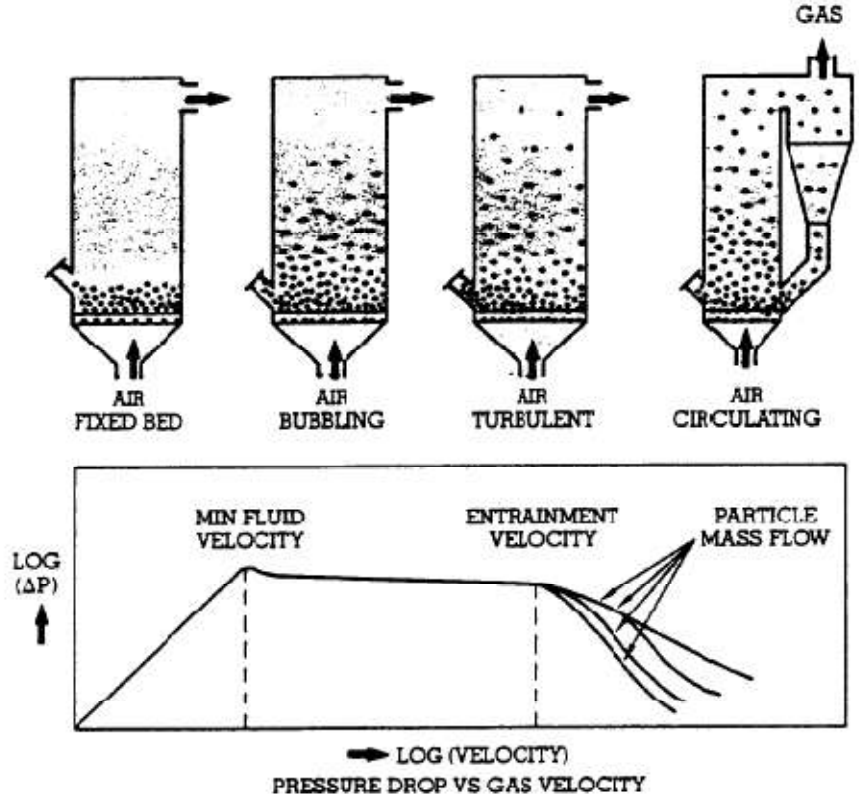
ابتدا دستگاه خاموش است و پس از روشن کردن آن فشار از طرف جت سیالی که در زیر صفحه قرار دارد به ذرات روی صفحه وارد می کند.

این فشار همراه با سرعت است و در واقع با افزایش فشار به ذرات، ذرات از هم فاصله گرفته و دور می شوند. سپس با افزایش سرعت سیال بین ذرات، فشار افزایش می یابد به طوریکه این افت فشار تا حدودی ادامه می یابد و سپس ثابت می شود.

خط A→B خطی که با افزایش سرعت، افت فشار نیز افزایش می یابد.

افت فشار در نقطه B ثابت شده و از آنجا به بعد با افزایش سرعت افت فشار ثابت خواهد بود.(خط B→C→D)

فصلنامه علمی تخصصی پژوهش های نوین بین رشته ای علوم پایه و فنی و مهندسی
Specialized Scientific Quarterly of New Interdisciplinary Researches in Basic Science and Technical and Engineering
« E-ISSN:2980-9061 »



شکل (۹) تغییرات افت فشار با تغییرات سرعت همراه با نمودار

ب) رابطه سرعت با ارتفاع بستر

ابتدا به علت تجمع ذرات در بستر یک ارتفاعی را ایجاد کرده است. این ارتفاع تا بلند شدن کامل ذرات از بستر ثابت خواهد بود به عبارتی با شروع افزایش سرعت و فاصله گرفتن ذرات از هم قبل از سیلان شدن ذرات در بستر (خط A→B) این مقدار ثابت خواهد بود.

بعد از اینکه ذرات به قدر کافی از هم فاصله گرفتن با افزایش سرعت ارتفاع بستر افزایش خواهد یافت و هرچه این سرعت بیشتر شود ارتفاع بستر بیشتر خواهد شد. (خط B→C→D)

با خاموش شدن دستگاه ارتفاع بستر کاهش می یابد و در پایان مقداری بیشتر از ارتفاع قبلی خواهد بود که آن به علت وجود سیال در بین ذرات جامد می باشد.

۱۴- گروه بندی ذرات

در سال ۱۹۷۳ D. Geldart ذرات سوخت مورد استفاده در راکتور بستر سیال را به چهار گروه تقسیم نمود. این طبقه بندی بر اساس چگالی و سایز ذرات با ارائه نموداری در این مبحث انجام گرفت. این گروه بندی شامل:

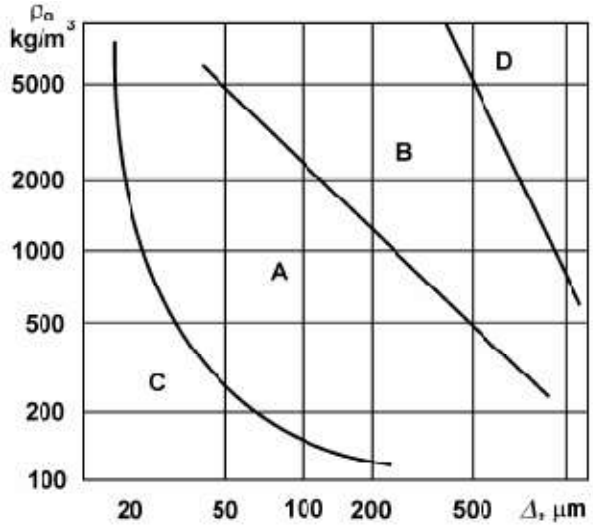
گروه A : برای این گروه سایز ذرات بین ۲۰ تا ۱۰۰ میکرو متر و ذرات با چگالی کمتر از g/cm^3 ۱/۴ می باشند. معمولاً در شروع کار راکتور به علت اینکه این ذرات سبکتر از سایر ذرات می باشند زودتر به حالت سیلان در راکتور در می آیند. که بیشتر این ذرات پودر های کاتالیستی هستند.

گروه B : سایز این ذرات بین ۴۰ تا ۵۰۰ میکرو متر و با چگالی g/cm^3 ۱/۴۴ می باشد. این ذرات معمولاً در ابتدا کار با افزایش سرعت سیال زودتر از سایر ذرات به حالت سیلان در می آیند.

فصلنامه علمی تخصصی پژوهش های نوین بین رشته ای علوم پایه و فنی و مهندسی
Specialized Scientific Quarterly of New Interdisciplinary Researches in Basic Science and Technical and Engineering
« E-ISSN:2980-9061 »

گروه C : این گروه از ذرات شامل ذرات خیلی نرم و بسیار منسجم می باشد. معمولاً سایز این ذرات بین ۲۰ تا ۳۰ میکرومتر برای رساندن آنها به شرایط لازم بسیار دشوار است و نیاز است از یک نیروی خارجی از جمله تحریک کننده مکانیکی استفاده شود.

گروه D : سایز ذرات این گروه بالاتر از ۶۰۰ میکرومتر و معمولا دارای تراکم بسیار زیاد می باشند. برای رساندن این ذرات به شرایط لازم به مصرف انرژی زیادی نیاز خواهد بود. مانند گازی سازی زغال سنگ ، روستین کردن سنگ فلزات و غیره.



شکل (۱۰) دیاگرام Geldart

بررسی ذرات تابعی از اندازه و چگالی می باشد. همانطور که در دیاگرام دیده می شود به چهار گروه تقسیم شده است (گروه A,B,C,D). محور افقی نشان اندازه ذرات و محور عمودی چگالی ذرات می باشد.

ذرات بخش C که در دیاگرام نشان داد شده با ذرات بسایز کوچکتر نسبت به بقیه ذرات اما منسجمتر می باشند. بزرگترین ، با چگالی ترین و سنگین ترین ذرات متعلق به بخش D است.

۱۵- نتیجه گیری

استفاده از تکنولوژی بستر سیال برای تولید انرژی و سازگار با محیط زیست خواهد بود. با طراحی صحیح و کنترل مناسب این سیستم می توان از آن به عنوان یک گزینه مناسب برای سوخت هایی که با شرایط سخت سوزانده می شوند استفاده نمود. تولید گاز با دما و فشار بالا در این تکنولوژی برای تولید برق این سیستم را جایگزینی خوبی برای سایر سیستم های معمولی نموده است. انواع این سیستم به سه مورد تقسیم می شود: ۱- بویلر احتراق بستر سیال اتمسفریک (AFBC)۲- بویلر احتراق بستر سیال چرخشی (CFBC) ۳-بویلر احتراق بستر سیال فشاری (PFBC).

مزایای استفاده از بویلر احتراق بستر سیال می توان به راندمان بالا، کاهش اندازه بویلر، انعطاف پذیری سوخت، امکان استفاده از سوخت با ارزش حرارتی پایین، کنترل آلودگی، خوردگی و فرسایش کم، حذف آسان خاکستر، تولید کم co2، ساده بودن علمیات و شروع سریع، سیستم انتقال خاکستر، کاهش زمان تعمیر و نگهداری، بهره وری بالا از تولید برق. از مسائل مهم این سیستم که آن را جذاب ساخته است می تواند کاهش هزینه ها در هزینه سوخت، هزینه عملیاتی سیستم و هزینه تعمیر و نگهداری آن باشد.

مراجع

۱. دانشنامه آزاد ویکیپدیا، بستر سیال
http://en.wikipedia.org/wiki/Fluidized_bed

۲. دانشنامه آزاد ویکیپدیا، راکتور بستر سیال
http://en.wikipedia.org/wiki/Fluidized_bed_reactor

۳. دانشنامه آزاد ویکیپدیا، احتراق بستر سیال
http://en.wikipedia.org/wiki/Fluidized_bed_combustion

4. Babcock & Wilcox Power Generation Group, (2008), www.babcock.com/library/pdf/e1013161.pdf
5. Michael L. Murphy, (2000), Fluidized Bed Technology Solution to Animal Waste Disposal, Seventeenth Annual International Pittsburgh Coal Conference
6. Robert P. Hesketh, Fluidization, http://users.rowan.edu/~hesketh/0906309/Laboratories/Fluidized%20Bed%20flow%20regimes%20rev1.pdf
7. R. Shankar Subramanian, (2002), Flow through Packed Beds and Fluidized Beds, *web2.clarkson.edu/projects/subramanian/ch301/.../packfluidbed.pdf*
8. FBC BOILERS, http://www.em-ea.org/Guide%20Books/book-2/2.6%20FBC.pdf

۹. موسسه پژوهش در مدیریت و برنامه ریزی انرژی، فناوری و نیروگاه های ذغالسنگ پاک،
http://riemp.ut.ac.ir/technology-coal.htm

10. Arvo Ots, (2007), Solid Fuel Combustion in Fluidized Bed, Doctoral school of energy- and geo-technology, Estonia