نیروگاه برق با سوخت جامد زیست‌توده و تعیین کیفیت نمونه ساقه پنبه

معصومه امیری[۱]، آرش نجفی[۲]

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۸/۱۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۱/۲۱

چکیده:

باتوجه به مشکلات پایان‌پذیری و اثرات‌زیست‌محیطی استفاده از سوخت‌های‌فسیلی در تولیدبرق، بسیاری از کشورهای‌جهان به دنبال یافتن روش‌های‌جایگزین در این‌صنعت هستند، ازجمله انرژی‌های‌تجدیدپذیر که یکی از منابع‌عمده آن زیست‌توده است. با وجود موفقیت و ترویج استفاده از زیست‌توده در تولید برق در اکثر نقاط جهان، سهم استفاده از آن در صنعت‌برق کشورایران بسیارجزئی است. یکی از منابع‌عمده آن زائدات‌کشاورزی است که محققان با تغییرات‌فیزیکی و شیمیایی آنها توانستند ویژگی‌های احتراقی آن را هم‌تراز سوخت‌های‌فسیلی‌کنند. به عنوان مثال، با پردازش سوخت‌های زیست‌توده به شکل پلت، چگالی‌توده‌ای آن به ۶۵۰-۴۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب و ارزش‌حرارتی آن حدود۱۰۰۸۰-۶۴۸۰ مگاژول بر مترمکعب می‌رسد که تقریباً مشابه زغال‌سنگ است. در این مقاله با بررسی کارمحققان به‌معرفی‌روش‌های‌تعیین‌کیفیت سوخت‌زیست‌توده ازجمله‌آنالیزهای‌دستگاهی توزین حرارتی، عنصری و استفاده از نرم‌افزارفایرکد برای نمونه ساقه پنبه که براساس تحقیق انجام شده در رابطه با پسماندهای‌کشاورزی‌تولیدی استان‌اردبیل سوخت مناسب‌تری گزارش شده است. مقدار گازهای‌احتراقی حاصل از سوختن ساقه پنبه شامل مقدار بسیار جزئی دی‌اکسیدگوگرد و ۱۲/۶۰۲ درصد حجمی دی‌اکسیدکربن است و مقدار بالاترین ارزش‌حرارتی آن ۱۹۴۹۴کیلوژول بر کیلوگرم است که با استفاده از رابطه تجربی روبرتو گارسیا(۲۰۱۴)و داده‌های حاصل از آنالیزهای ذکر شده، به دست آمده است. هدف از این مقاله، احداث نیروگاه‌های با سوخت زیست‌توده به شکل محلی در نقاطی از کشور است (همانند روستاها) که امکان دسترسی سوخت زیست‌توده بالاست و انتقال سوخت‌های‌فسیلی در آن مناطق سخت و یا غیر ممکن است بخصوص در فصل سرما که می‌تواند باعث تنوع بخشی سوخت و سهولت تولید برق باشد.

کلمات کلیدی:

بحران انرژی، اثرات زیست‌محیطی، تولید برق، آنالیزهای زیست‌توده جامد، ساقه پنبه

۱) کارشناس ارشد - گروه مهندسی شیمی-دانشگاه محقق اردبیلی masume_amiri88@ yahoo.com
۲) استادیار- گروه مهندسی شیمی -دانشگاه محقق اردبیلی (نویسنده مسئول) arash_najafi@hotmail.com

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

مقدمه

با افزایش جمعیت جهان و رشد کشورهای در حال توسعه، تقاضای برق همچنان رو بـه‌افـزایش اسـت، بنـابراین، در دنیای مدرن امنیت انرژی و نیاز به منابع انرژی با عرضه ثابت و هزینه پایین یک موضوع مهـم جهـانی اسـت[۲۴]. امـروزه تولید برق از سوخت‌های فسیلی به عنوان یـک فنـاوری بـا آلـودگی بـالا شـناخته شـده اسـت [۳]. عـلاوه بـر آن، ذخـایر سوخت‌های فسیلی محدود می‌باشد، عمر ذخایر زغال‌سنگ جهان ۱۰۹ سال و ذخایر تثبیت شده نفت و گاز با همین آهنـگ سرعت تولید فعلی به ترتیب ۵۲/۹ و ۵۵/۷ سال تخمین زده شده است[۱]. گرچه کشور ایران دارنده اولـین ذخـایر گـازی و چهارمین ذخایر نفتی در جهان است، امـا همـین عامـل باعـث شـده گـازطبیعی عمـده‌تـرین سـهم را درسـوخت مصـرفی نیروگاه‌های کشور به خود اختصاص دهد در حالی که در فصل سرما اساسی‌ترین مساله در تولید برق، تـأمین سـوخت ایـن نیروگاه‌ها می‌باشد. بنابراین، سیاست‌های انرژی کشور، متولیـان بخـش بـرق را بـر آن داشـته تـا در سـال‌هـای اخیـر، بـه بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر توجه ویژه‌ای داشته باشند. سوخت‌های تجدیدپذیر می‌تواند افزایش امنیت انـرژی را بـه همراه داشته باشند. در بین این منابع، زیست‌توده یک ماده آلی است که براحتی در هر محیطی تولید و قابلیت تبدیل به هر سه حالت ماده را دارد و بسرعت احیا می‌شود و تنها سوخت تجدیدپذیر است که به صورت احتراق مستقیم در نیروگـاه‌هـای برق می‌توان از آن استفاده کرد و قابلیت ایجاد نیروگاه‌های محلی آن در مناطقی که دسترسی به آن زیاد است، وجود دارد. در حال حاضر، ۶۲ کشور از سوخت زیست‌توده در تولید برق استفاده می‌کنند که آمریکا با بیشترین سهم ۲۶ درصد و آلمـان ۱۵ درصد و برزیل و ژاپن ۷ درصـد اسـت [۲۹,۱]. در بـین فراینـدهای تبـدیل زیسـت‌تـوده کـه شـامل احتـراق‌مسـتقیم، پیرولیزوگازی‌سازی است، احتراق مستقیم ساده‌تر و سابقه طولانی‌تر دارد [۱۴،۱۷،۳۰]. در این مطالعه بـرای تعیـین کیفیـت سوخت زیست توده جامد با بررسی مقالات بسیاری از محققـان از جملـه Jenkins و همکـارانش (۱۹۹۸) [۲۱]، Khan و همکـــارانش (۲۰۰۹)[۱۴]،Munir و همکـــارانش (۲۰۰۹) [۲۲]، M.V.Gil و همکـــارانش (۲۰۰۶) [۳۱]و کارهـــای Vamvuka و همکارانش طی سال‌های (۲۰۱۱- ۲۰۰۹) [۸، ۲۶]، تحلیل عنصری و کلـی مهـم شـناخته شـدند. در ایـن مقاله، نتایج حاصل از این تحلیل برای نمونه ساقه پنبه به ترتیب با استفاده از دستگاه‌های آنالیزی CHNS، TG به دست آمده است و با استفاده از داده‌های حاصل از آنها و معادلات تجربی و نـرم‌افـزار فایرکـد ارزش‌حرارتـی و گازهـای احتراقـی حاصل از احتراق سوخت زیست‌توده به دست آمده است که از این نتایج مـی‌تـوان جهـت طراحـی سیسـتم‌هـای احتراقـی، پیش‌بینی رفتار احتراقی سوخت در محفظه‌های احتراقی استفاده کرد.

انتشار آلاینده‌ها و هزینه‌های اجتماعی ناشی از انتشارات حاصل از سوخت‌های فسیلی

میزان انتشار آلاینده‌ها در نیروگاه‌های وزارت نیرو به تفکیک نوع نیروگاه در سال ۱۳۹۱ با توجه به جـدول (۱) ارایـه شده است.دی‌اکسیدکربن از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای انتشار یافته از سوخت‌های فسیلی اسـت و بـرای نیروگـاه بخـاری

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

بیشترین مقدار و دیزلی کمترین مقدار را داردکه بر اساس آمار شرکت توانیر، سهم تولید برق تولیدی توسط نیروگاه برق دیزلی کمتر است (تعداد این نیروگاه ها کمتر است) [۱].

جدول ۱)میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای بخش نیروگاهی وزارت نیرو

بر اساس نوع نیروگاه در سال ۱۳۹۱(تن) [۱].

نوع نیروگاه	NO_x	SO_2	SO_3	CO	SPM	CO_2	CH_4	N_2O
بخاری	۲۲۰۵۳۵	۷۵۵۰۶۲	۳۴۸۱	۱۴۷۵۲۸	۱۶۵۸۷	۷۶۴۸۳۲۶۱	۲۱۴۷	۳۹۷
گازی	۹۵۱۰۳	۲۵۳۹۶	۶۰۱	۳۴۲۳	۴۶۴۲	۲۹۱۰۴۵۱۱	۶۳۱	۹۲
سیکل ترکیبی	۲۳۱۷۷۳	۲۲۶۲۶	۸۱۲	۵۹۰۵	۶۷۱۵	۳۸۴۹۷۲۸۸	۹۲۳	۱۳۱
دیزلی	۱۲۴	۳۷۵	۶	۰/۱	۲۴	۶۳۱۹۷	۳	۱

به مجموع پولی که بتواند صدمات ناشی از انتشارمواد آلاینده و گازهای گلخانه‌ای را جبران نماید،هزینه تخریب یا هزینه‌های اجتماعی گفته می‌شود. هزینه‌های اجتماعی تخریب محیطزیست در اثر مصرف حامل‌های انرژی فسیلی در کشور براساس مطالعات بانک جهانی و سازمان حفاظت محیطزیست ایران درسال۱۳۹۱حدود۱۰۲/۶هزار میلیارد ریال بر اساس قیمت‌های ثابت سال۱۳۸۱می‌باشد که معادل ۱۹.۶ درصد از تولید ناخالص داخلی کشور در آن سال بوده است، جزئیات در جدول (۲) ارایه شده است [۱].

جدول۲) هزینه های اجتماعی انتشار گازهای آلاینده

و گلخانه‌ای به قیمت سال ۱۳۸۱ (هزار ریال بر تن) [۱].

نوع گاز	مقدار هزینه[۱]	نوع گاز	مقدار هزینه[۱]
NO_x	۴۸۰۰	SPM	۳۴۴۰۰
SO_2	۱۴۶۰۰	CO_2	۸۰
SO_3	*	CH_4	۱۶۸۰
CO	۱۵۰۰	N_2O	*

۱) بر اساس مطالعه بانک جهانی و سازمان حفاظت محیطزیست. *مقادیر در دسترس نمی‌باشد.

منابع زیست‌توده

تعریف اتحادیه اروپا از زیست توده که در راهنمایEC/۲۰۰۱/۷۷به تاریخ ۲۷ سپتامبر ۲۰۰۱ میلادی عنوان شده، عبارت است از: " زیست توده اجزا قابل تجزیه زیستی از محصول‌ها، پسماندها و زائدات کشاورزی (شامل مواد گیاهی و دامی)، جنگل‌ها و صنایع وابسته و همچنین زائدات صنعتی و شهری قابل تجزیه". بر اساس تعریف علمی ارائه شده برای

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

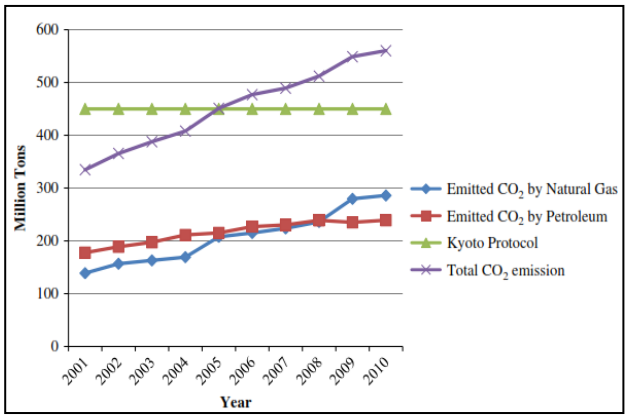
زیست توده در این آیین نامه، زیست توده به سوخت‌هایی اطلاق می‌گردد که از جرم تـوده فیتوپلانکتـون‌هـا و جـرم تـوده زئوپلانکتون‌ها ساخته می‌شوند [۱۴،۱۷،۳۵،۳۰] . اما فقط تعداد اندکی از آنها برای استفاده در نیروگاه‌هـای بـرق و حـرارت مناسب‌اند و زیست‌توده‌هایی که از زائدات جنگلی و کشاورزی حاصل می‌شوند، متداول‌ترند. برخی منابع دیگـر زیسـت‌تـوده مانند جلبک‌دریایی، خزه و فضولات حیوانی در تولید انرژی به کار می‌روند، اما محدودند [۲، ۱۸]. دسته بندی‌های مختلفـی وجود دارد که دسته بندی بر اساس ویژگی و مشخصات زیست‌توده عبارتند از[۶، ۱۱،۱۴]: سوخت‌های چـوبی (چـوب‌هـای تخریب شده ...)، سوخت‌های حاصل از گیاهان علفی (کاه، چمن، ساقه گیاهان)، ضایعات (لجن فاضلاب ها، RDF، ...)، ضایعات حاصل از صنایع همانند صنایع‌کاغذ [۷] و غذایی و... ، گیاهان آبزی (جلبک [۲۷] و...)، منابع اختصاصی زیسـت-توده (فقط به هدف تولید انرژی کشت می‌شوند در واقع، حداکثر بازده و کاربرد انـرژی را دارنـد) بـا دوره عمـر کوتـاه و در مقیاس زیاد و بازده انرژی بالا، گیاهان تجاری‌اند که برای واحدهای بزرگ احتراقی مناسب‌اند [۹، ۱۸].

بررسی نیروگاه‌ها با سوخت جامد در ایران

یکی از مهمترین و دسترس‌پذیرترین منابع تجدیدپذیر، زیست‌توده است که از انواع متداول سوخت جامد آن، زباله و زائدات کشاورزی هستند. گرچه نیروگاه‌های زباله‌سوز در برخی نقاط کشور احداث شده و مطالعات گسترده‌ای در این زمینه صورت گرفته، اما در زمینه استفاده از زائدات کشاورزی که بخش وسیعی از منابع زیست‌توده را در کشور ایران تشکیل می‌دهند، مطالعات گسترده‌ای انجام نشده است در صورتی که می‌توان از این سوخت برای تولید برق در نیروگاه‌های محلی در روستاها و مناطق دور افتاده که امکان دسترسی به سوخت‌های فسیلی وجود ندارد و یا دشوار است، استفاده کرد.

استفاده از گازطبیعی و نفت در بخش حمل‌ونقل و صنعت به علت قیمت پایین در ایران توسعه یافته است. در نتیجـه، افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای بخصوص دی‌اکسیدکربن تولید شده در طول دهه گذشته در ایران روند رو بـه بـالا داشـته است. شکل (۱) روند تولید دی‌اکسیدکربن در کشور ایران را تا سال ۲۰۱۰ نشان می‌دهد کـه در آن ایـران رتبـه دهـم در تولید دی اکسید کربن را داشته است و در سال ۲۰۱۵، به عنوان هفتمین کشور تولیدکننده دی‌اکسیدکربن در سراسر جهان معرفی شده است. از این رو، کشور ایران به تنوع بخشی به منابع انرژی خود به استفاده از انرژی‌هـای‌تجدیدپـذیر از جملـه زیست‌توده روی آورده است، درصورتی که هم اکنون سهم انرژی‌های‌تجدیدپذیر در ایران کمتر از ۱ درصد اسـت [۲۰، ۲۹، ۳۴].

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]



شکل۱) روند تولید دی‌اکسیدکربن در کشورایران[۳۴].

زائدات یا پسماندهای‌کشاورزی منابع بزرگ انرژی بدون ارزش‌غذایی برای انسان تلقی می‌شود. همه ساله مقدار زیادی از زائدات کشاورزی در مراحل مختلف کشاورزی تولید می‌شوند. با توجه به شرایط خاص اقلیمی وجغرافیایی، وجود جنگل‌ها در بخش‌هایی از شمال، غرب و مرکز ایران، خوشبختانه پتانسیل مناسبی وجود دارد. طبق مطالعات انجام شده، زائدات‌کشاورزی با سهم حدود ۴۰ درصد زائدات زیست‌توده تولیدی درکشور ایران بعد از فضولات حیوانی با سهم ۴۵ درصد این منابع بالاترین درصد منابع زائدات‌زیست‌توده را تشکیل می‌دهد. با توجه به درصد بالای تولید زائدات کشاورزی در کشور ایران که حدود ۱۹/۶ میلیون تن در سال است، مقادیر عمده آن در مزارع سوزانده می‌شود. همچنین با توجه به بالابودن درصد کشاورزی در استان اردبیل، به بررسی محصولات زیر کشت استان اردبیل، میزان زائدات حاصل از خرمن آنها، همچنین خوراک‌دام و استفاده از آنها در ساخت کمپوست و در نتیجه، انتخاب زیست‌توده‌ای مناسب با توجه به مطالب ذکر شده پرداختیم [۲۹، ۳۴].

احتراق توأم

احتراق توأم به روش مخلوط کردن زیست‌توده با یک سوخت‌فسیلی یا یک زیست‌توده دیگر اتلاق می‌شود. زغال‌سنگ سوخت فسیلی جامد است که قابلیت احتراق توأم با زیست‌توده را دارد و در بسیاری از کشورها به عنوان سوخت جایگزین در صنایع و نیروگاه‌ها استفاده می‌شود. مقایسه رشد تولید زغال‌سنگ در سال ۲۰۱۲ با متوسط نرخ رشد سالانه ده ساله اخیر بیانگر روند نزولی در رشد تولید این حامل انرژی می‌باشد که بیانگر کاهش مصرف زغال‌سنگ در بسیاری از کشورهای اروپایی و امریکایی است. بسیاری از کشورهای جهان جهت تأمین سوخت نیروگاه‌ها و واحدهای صنعتی از احتراق توأم زیست‌توده با زغال سنگ استفاده می‌کنند که علاوه بر کاهش انتشار گازهای‌گلخانه‌ای، در مصرف سوخت‌های فسیلی صرفه‌جویی می‌کنند [۱۷]، جدول (۳) نمونه‌ای از کاهش انتشار گازهای‌گلخانه‌ای در نتیجه استفاده از احتراق توأم زغال سنگ با چوب را نشان می‌دهد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

جدول ۳) مقایسه انتشار آلاینده‌های حاصل از نیروگاه برق با سوخت زغال‌سنگ، در همان شرایط احتراق توأم سوخت ۱۰ درصد زیست‌توده با زغال‌سنگ [۹].

نشر آلاینده‌ها	سیستم مرجع(۱۰۰٪ زغال‌سنگ سخت)	سیستم۱ (۹۰٪ زغال‌سنگ؛ ۱۰٪ کاه)	سیستم ۲ (۹۰٪ زغال‌سنگ با۱۰٪ضایعات‌چوب)
دی اکسید کربن	۸۲۷/۹	۲۲/ ۳	۲۰/۵
دی نیتروزن اکسید	۴۴/۵	۴۴/۶	۴۲/۹
متان	۴۲۴۷	۵۹/۷	۴۱/۸
دی اکسید گوگرد	۸۰۶/۸	۱۵۰/۵	۳۷/۲
اکسیدهای نیتروزن	۸۸۶/۶	۴۷۲/۴	۳۰۰/۸
اسید کلریدریک	۶۱/۳	۲۰۱/۷	۵

واحد انتشار آلاینده‌ها برای دی‌اکسیدکربن t/GWh و سایر موارد kg/GWhاست.

دسترسی

دسترسی منابع در یک کشور بستگی به موقعیت جغرافیایی، آب و هوایی، تراکم جمعیت و درجه صنعتی بودن کشور دارد [۵]. در واقع، زیست‌توده‌هایی که دسترسی بالای فصلی دارند، توصیه می‌شوند زیرا در این صورت، نیاز به ذخیره‌سازی کاهش می‌یابد [۲۶]. از طرف دیگر، استفاده از منابع زیست‌توده نباید به گونه‌ای باشد که رقابتی در زمین قابل‌کشت برای منابع‌اختصاصی‌انرژی و غذا پیش آید و موجب جنگل‌زدایی و از بین رفتن پوشش‌گیاهی و بیابان‌زایی شود[۵].تولید زیست-توده اختصاصی تنها معیار برای سوخت‌های تجدیدپذیر در آینده شناخته شده است. به طور کلی، تولید زیست‌توده اختصاصی گران قیمت‌تر از انرژی تولید شده از زائدات کشاورزی است و ممکن است هزینه‌های نهایی برق با هزینه برق تولیدی از سوخت‌های فسیلی قابل رقابت باشد [۲].

نمونه‌هایی‌ازجایگزینی‌موفق‌زیست‌توده با سوخت‌های فسیلی در جهان

نیروگاه‌های زیست‌توده در بریتانیا

بسیاری از واحدهای‌صنعتی و نیروگاه‌ها سوخت مصرفی خود را تغییر دادند از جمله نیروگاه Tilbury که یک واحد تولید برق با سوخت زغال‌سنگ است که از سال ۱۹۶۷ شروع به کار کرده و در سال ۲۰۱۱ با موفقیت به یکی از بزرگترین نیروگاه‌های زیست‌توده در جهان تبدیل شده و بیشتر از تراشه‌های چوب، پلت‌های کاه، سبوس دانه جو و آفتابگردان استفاده می‌کند. با توجه به محتوای گرمایی پایین و تراکم توده‌ای زیست‌توده در مقایسه با زغال سنگ، ظرفیت تولید Tilbury در حدود ۳۰ درصد کاهش یافته و به ۷۴۲MW رسیده است به طوری که راندمان حرارتی نیروگاه را از ۳۷ درصد به ۳۵/۳ درصد کاهش داده است. بیشترین تغییرات فیزیکی در سیستم احتراق و تغییرات جزئی در سیستم پردازش و

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

آسیاب، سیستم تغذیه سوخت اعمال شده است. براساس نتایج آزمایش زیست‌توده که در سپتامبر ۲۰۱۰ در این واحد به انجام رسید، انتشار اکسیدهای نیتروژن از ۴۸۰ به ۲۲۰، اکسیدهای گوگرد از ۸۰۰ به ۲۰۰ و حجم خاکستر تولید شده از ۴۰.۰۰۰ به ۴۰۰۰ و چرخه انتشار دی‌اکسیدکربن از ۰/۸۱ به ۰/۱۸ – ۰/۱۱ کاهش یافت که یک کاهش ۸۷ – ۷۸ درصدی است [۱۰، ۲۶].

احتراق توأم زیست‌توده چوب در فنلاند

واحدصنعتیCHP,Alholmens Kraft در Pietarsaari در فنلاند نمونه منحصر بفردی از امکان تولید انرژی مبنی بر بیوفیول در سال ۲۰۰۱ احداث شده است. این نیروگاه بخارآب مورد نیاز برای کارخانه کاغذسازی UPMKymmene مجاورش را تأمین می‌کند. برق خروجی آن ۲۴۰ مگاوات و بخار آب خروجی ۱۰۰ مگا هرتز در ساعت و گرمای حاصل ۶۰ مگا هرتز در ساعت است. با استفاده از سیستم‌های خلاقانه جمع‌آوری و دسته‌بندی، پسماندهای باقیمانده در جنگل‌ها سوخت مورد نیاز این نیروگاه را تأمین می‌کنند. در کل، سوخت مصرفی آن شامل چوب‌های صنعتی و پوست آن‌ها ۳۵ درصد پسماندهای جنگلی ۱۰ درصد، زغال‌سنگ نارس ۴۵ درصد، نفت‌سنگین و زغال‌سنگ ۱۰ درصد است و در مواقع اضطراری که نیاز به سوخت جایگزین دارند (کم بودن زائدات جنگلی و ...) از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند [۱۰].

مشخصات سوخت جامد

محققان جهت تعیین کیفیت سوخت، مشخصات فیزیکی، شیمیایی آن را با استفاده از تحلیل‌های ساختاری [۱۹]، کلی، عنصری، خاکستر، پتروگرافی، کانی‌شناسی برای تعیین خصوصیات سوخت‌های‌جامد استفاده می‌کنند [۲۸]. در واقع، خواص سوخت اغلب برای انتخاب فناوری‌های احتراق است که بسته به این خواص، یک سوخت زیست‌توده می‌تواند برای شرایط احتراقی خاص به دلایل فنی و تا حدی به دلایل زیست محیطی مناسب نباشد. تحلیل کلی تعیین‌کننده درصد مواد فرار، رطوبت و خاکستر و تحلیل عنصری مقدار عناصر کربن، اکسیژن، گوگرد، کلر، نیتروژن و هیدروژن در زیست‌توده است [۲]. پس از آن، تحلیل خاکستر جهت تعیین امکان بهره‌برداری از خاکستر و پیش بینی ایجاد مشکلات فنی در سیستم‌های احتراقی همانند خوردگی، رسوب‌خاکستر، انباشتگی و رفع این مشکلات، تحلیل توزین حرارتی برای بررسی رفتاراحتراقی زیست‌توده به کار می‌رود. تعیین ویژگی‌های فیزیکی همانند ارزش حرارتی، چگالی توده‌ای نیز از دیگر تحلیل‌های مهم سوخت زیست‌توده هستند.

مشخصات فیزیکی

چگالی‌توده‌ای از مهمترین ویژگی فیزیکی سوخت‌های زیست‌توده است. معمولاً سوخت‌های زیست‌توده جامد چگالی توده‌ای پایینی دارند. چگالی‌توده‌ای سوخت به دلایل فنی و اقتصادی نسبت به ارزش‌حرارتی از اهمیت زیادی برخوردار است. برخی از معایب مربوط به پایین بودن چگالی‌توده‌ای شامل ارزش‌حرارتی نسبتاً پایین به ازای واحد حجم، مشکلات

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

کنترل فرایند و خوراک‌دهی، نیاز به فضای انبار بزرگتر، حمل و نقل گران و محدودیت‌های کاربرد فناوری (همانندانسداد و گرفتگی در بسترهای‌سیالی‌شده) است. متراکم‌سازی(Densification) فرایندی جهت غلبه بر معایب ذکر شده است که فضاهای خالی بین و درون ذرات را حذف می‌کند [۱۷، ۳۰]. سه روش متداول جهت متراکم‌سازی شامل متعادل‌سازی (Bituminous) ، بریکت سازی و پلت کردن است که باعث افزایش هزینه، انرژی مصرفی و پیچیدگی تجهیزات می‌شوند. جدول (۴) تفاوت چگالی‌توده‌ای و ارزش‌حرارتی کاه را به دو روش متعادل‌سازی و پلت‌شدن نشان می‌دهد و در حالت پلت کاه نتایج حاصل تقریباً مشابه زغال‌سنگ (چگالی توده‌ای زغال‌سنگ معمولی ۹۰۰ – ۸۰۰ کیلو گرم بر متر مکعب) است. از مهمترین مزایای پلت‌کردن، قابلیت استفاده برای طیف وسیعی از مواد با درصد رطوبت مختلف است[۲].

جدول ۴) مقایسه ارزش حرارتی و دانسیته توده‌ای در روش‌های مختلف متراکم سازی کاه [۲].

روش	چگالی‌توده‌ای(Kg/m^3)	ارزش حرارتی(Mj/m^3)
متعادل‌سازی	۷۰ – ۹۰	۹۷۰ – ۱۳۰۰
بریکت و پلت	۴۵۰ – ۶۵۰	۶۴۸۰ – ۱۰۰۸۰

تخمین بالاترین ارزش حرارتی

برای تخمین بالاترین ارزش حرارتی سوخت‌های زیست‌توده براساس داده‌های حاصل از تحلیل‌های عنصری، کلی، شیمیایی معادلات تجربی زیادی ارائه شده است [۱۵، ۳۳]. در بین روابط ارائه شده روابطی که در آنها از داده‌های تحلیل عنصری و کلی به طور همزمان استفاده می‌شود، اعتبار بیشتر و درصد خطا کمتری دارند. در این مقاله از رابطه (۱) استفاده شده که توسط Roberto García و همکارانش در سال ۲۰۱۴ ارائه شده است [۲۵]:

$$HHV = ۱/۰۸\times۱۰^{۴} - ۹۸/۴۴\ A + ۱۱۳/۲۸\ FC - ۱۶۵/۲۸\ M + ۱۲۷/۷۲\ C\ ۱۹/۵۶ + O \qquad (۱)$$

که در اینجا، A, FC, M, C, O به ترتیب درصد جرمی خاکستر، کربن تثبیت شده، رطوبت، کربن، اکسیژن بر مبنای خشک است و HHV بالاترین ارزش حرارتی براساس kj/kg است.

تجهیزات مورد استفاده درنیروگاه‌های زیست توده

بازدهی احتراق و قابلیت بکار گیری انرژی وابسته به نوع زیست توده، روش‌های احتراقی و مقیاس کاربرد است. سه روش احتراقی زیست‌توده در واحدهای حرارتی و تولید برق به کار می‌رود که در واقع، همان روش‌های احتراق زغال سنگ هستند [۳۰،۲]:

***۱ .دیگ بخار استوکر* (Grate Firing)**

در این روش، زیست‌توده بر روی یک صفحه مشبک (Grate)قرار داده می‌شود، هوا از قسمت زیرین صفحه مشبک

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

(Grate) وارد محفظه احتراق می‌شود و سوخت با توجه به نوع صفحه مشبک (از نوع گردشی ، ویبره و ...) وارد محفظه احتراق می‌شود و در این سیستم ها از هوای ثانویه جهت احتراق بهتر استفاده می‌کنند. این روش مناسب سوخت‌هایی با اندازه ناهمگون و زمخت است.دیگ‌های بخار استوکر متداولترین فناوری هستند که برای احتراق زیست‌توده استفاده می-شوند و انعطاف پذیری بالایی در انتخاب سوخت و پیکربندی نسبتاً ساده ای دارد [۳۰،۲].

۲ .*دیگ بخار بابستر سیالی شده*(Fluidized Bed)

سیستم های احتراقی بسترسیالی‌شده از سال ۱۹۶۰ برای احتراق ضایعات صنعتی و شهری به کار برده شدند. از آن پس، بیش از سیصد واحد تجاری در سراسر جهان ساخته شد. در خصوص کاربردهای صنعتی، دیگ‌های بخار با بسترهای سیالی شده حبابی و بسترهای سیالی شده سیار (Criculating Fluidized Bed) از رایج ترین و مهم‌ترین انواع بسترهای سیالی شده‌اند. یک دیگ بخار با بستر سیالی‌شده شامل یک ظرف استوانه‌ای با بستر سوراخ شده با یک صفحه پر شده با مواد گرانولی، خنثی و داغ (همانند سلیس، شن، ماسه و...) که به شکل سوسپانسیون است. هوای اولیه احتراق از طریق صفحه توزیع هوا و از قسمت پایینی وارد محفظه احتراق می‌شود و زیست‌توده با ماده واسط مخلوط شده و به صورت سوسپانسیون با هوای وارد شده مخلوط می‌شود. انتقال حرارت زیاد و اختلاط خوب هوا و سوخت، شرایط خوبی برای احتراق کامل با نیاز به هوای اضافی کم را فراهم می‌کند. دیگ‌های بخار بابستر سیالی‌شده یک روش احتراقی جدیدتر است که نسبت به دیگ‌های بخار استوکر کارایی بالاتر، پیکربندی نسبتاً پیچیده و آلاینده تولیدی کمتری دارد و کار کردن با آن سخت است که این عوامل موجب شده این روش کمتر متداول شود [۳۰،۲].

۳ . *دیگ بخار با سوخت نرم شده*(Pulrerise Fuel)

در سیستم های احتراقی سوخت نرم شده، سوخت‌هایی همانند خاک اره و تراشه‌های ریز شده داخل کوره تزریق می‌شود و هوای انتقال یافته توسط سوخت به عنوان هوای اولیه است. راه اندازی کوره به کمک یک مشعل کمکی صورت می‌گیرد. زمانی که دمای احتراق به مقدار معینی می‌رسد، تزریق زیست‌توده شروع می‌شود و مشعل کمکی خاموش می‌شود. در این سیستم، ابتدا ذرات کوچک سوخت همراه هوا وارد یک محفظه پیچشی می‌شوند و به صورت چرخشی وارد کوره شده و جریان گردشی داخل کوره ایجاد می‌کنند. به دلیل کوچک بودن اندازه ذرات زیست‌توده، تبدیل به گاز شدن و احتراق زغال به طور هم زمان صورت می‌گیرد و در این سیستم‌ها هوای ثانویه جهت احتراق کامل به سیستم تزریق می‌شود. در نتیجه می‌توان به بالاترین کارایی در احتراق دست یافت که می‌تواند در مقیاس‌های بزرگ مورد استفاده واقع شود (بالای ۶۰۰۰ مگاوات) اما پردازش سوخت نیاز به مصرف انرژی بالایی دارد [۳۰].

هریک از روش‌های نامبرده شده خود شامل انواع مختلفی می‌باشند که با توجه به نوع سوخت و مقدار مطالبه بخار مورد نظر عملکرد متفاوتی خواهند داشت. برای پردازش مناسب سوخت‌های زیست‌توده (به صورت پلت، بریکت و...) با توجه به نوع منابع زیست‌توده و دیگ بخار مورد نظر و همچنین انتقال و نگهداری آنها از تجهیزات مختلفی استفاده می‌کنند (جزئیات بیشتر در کتاب biomass Combustion & Co_ Firingموجود است).با توجه به اینکه در کشور ایران شرکت‌های موفق در زمینه ساخت انواع دیگ‌های بخار و تجهیزات مکانیکی وجود دارد، امکان ساخت نمونه‌های تجهیزات

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

لازم وجود دارد. در این صورت، احداث نیروگاه‌هایی کوچک با سوخت زیست‌توده در مناطقی از کشور (همانند روستاها) که دسترسی بالایی به منابع زیست‌توده دارند و انتقال سوخت‌های فسیلی بخصوص در فصل سرما دشوار و یا غیرممکن است، می‌تواند باعث سهولت تولید برق و تنوع بخشی سوخت شود.

مواد و روش‌ها

طی تحقیقی در دانشگاه محقق اردبیلی در رابطه با پسماندهای کشاورزی، در بین نمونه‌های انتخابی، ساقه پنبه از لحاظ ایجاد مشکلات فنی در محفظه احتراقی و تولید آلاینده‌ها سوخت مناسب‌تری بوده است که در این مقاله به بررسی ویژگی های احتراقی آن خواهیم پرداخت. ذرات درشت خاک و سنگ از نمونه‌ها جدا شده و با استفاده از آسیاب ساخت شرکت ایران خودساز، آسیاب و سپس از الک آزمایشگاهی ساخت شرکت دماوند با استاندارد ASTM E:11 و مش شصت عبور داده شدند و در محیطی کاملاً خشک و بدون رطوبت نگهداری شدند. برای تحلیل عنصری نمونه‌ها از سیستم احتراق عنصری Costech 4010 ساخت کشور ایتالیا و برای تحلیل حرارتی از دستگاه TG ساخت کشور آلمان مدل IRIS 209 FI NETZSCH استفاده شده نمونه‌ها از دمای ۲۰ درجه سانتیگراد تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد با گام حرارتی ۱۰ درجه کلوین بر دقیقه در جو هوا قرار داده شدند. داده‌های بدست آمده از تحلیل‌های دستگاهی ذکر شده هم دارای خطای انسانی و هم دستگاهی می‌باشند.

تحقیقات کیفیت سوخت بر اساس آنالیزهای دستگاهی

مشخصات شیمیایی زیست‌توده ساقه پنبه شامل نتایج حاصل از تحلیل عنصری، کلی و توزین حرارتی و همچنین بالاترین ارزش حرارتی (ارزش حرارتی ناخالص) در جدول (۵) آورده شده است.

جدول ۵) تحلیل عنصری و کلی و ارزش‌حرارتی ساقه‌پنبه

	تحلیل عنصری (درصدوزنی)					تحلیل کلی (درصد وزنی)			
زیست توده	C	H	N	S	O_2**	کربن تثبیت شده	خاکستر	مواد فرار	رطوبت	بالاترین ارزش حرارتی (Kj/Kg)
ساقه پنبه	۴۲/۴۳	۵/۶۹	۰/۳۱	*	۵۱/۵۷	۳۰/۵۰۱	۳/۸۵۲	۶۰/۷۵۷	۴/۸۸۹	۱۹۴۹۴

*مقدار آن گزارش نشده است. ** به کمک روش انفصال به دست آمده است[۵].

شبیه‌سازی نرم‌افزاری فرایند احتراق

شبیه‌سازی محفظه احتراقی بویلر با استفاده از نرم‌افزار آنلاین شرکت فایرکد انجام شده است که در آن شبیه‌سازی بویلرها با استفاده از مشخصات سوخت ورودی و بویلر مورد نظر صورت می‌گیرد. نرم‌افزار فایرکد توسط تولیدکنندگان بویلرهای بخارآب و مهندسان مشاور در بیش از ۳۰ کشور جهان از جمله شرکت SRS در آمریکا استفاده می‌شود. برخی

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

محققان نیز در شبیه‌سازی‌های خود از این نرم افزار استفاده کردند[۴].

با توجه به مطالعات انجام شده، دو بویلر استوکر و سیالی شده انتخاب شدند که از متداولترین بویلرهای احتراق سوخت زیست‌توده جامد هستندو با استفاده از نرم‌افزار فایرکد و داده‌های جدول (۶)که شامل مشخصات احتراقی بویلر سیالی شده و استوکر است [۱۶]محاسبات انجام گرفت. ملاحظه می‌شود که تنها تفاوت حاصل از محاسبات برای هر دو بویلر استوکر و سیالی‌شده با توجه به محدودیت داده‌های ورودی فقط در اتلافات ناشی از نسوختن سوخت است که در محاسبات فقط در بازده و اتلاف حرارتی بویلر تأثیر دارد. در جدول (۷) نتایج محاسبات نرم افزار فایر کد (اتلاف حرارتی کلی، بازده) برای دو بویلر استوکر و سیالی‌شده برای ساقه پنبه آورده شده است.

جدول۶) مشخصات‌احتراقی دو بویلراستوکروسیالی‌شده[۱۶].

مشخصات	بویلرسیالی شده	بویلراستوکر
هوای اضافی (٪)	۵۰	۵۰
دمای گاز خروجی (درجه سانتیگراد)	۱۷۶/۷	۱۷۶/۷
اتلاف نسوختن سوخت(٪)	۰/۲۵	۳/۵
اتلاف ناشی از تابش حرارتی(٪)	۲/۰۳	۲/۳۰

جدول ۷) مقایسه نتایج نرم افزار فایر کد برای دو بویلر سیالی شده و استوکر با سوخت ساقه پنبه

نتایج حاصل از نرم افزار فایر کد	بویلرسیالی شده		بویلر استوکر	
	بازده(٪)	اتلاف حرارتی کلی(٪)	بازده(٪)	اتلاف حرارتی کلی(٪)
ساقه پنبه	۸۸/۴۲۹	۱۹/۰۳۸	۸۴/۸۷۹	۲۲/۲۸۸

در بویلر سیالی‌شده، به علت پایین بودن درصد نسوختن سوخت که دلیل اصلی آن تماس مستقیم ذرات سوخت زیست‌توده با اکسیژن و طراحی خاص سیستم تغذیه هواست، بازده کلی این بویلر برای سوخت ساقه‌پنبه بالاتر و اتلاف حرارتی کلی آن که شامل اتلافات حرارتی مربوط به نسوختن سوخت، رطوبت سوخت، رطوبت هوا، خشک کردن گاز احتراقی و تابش حرارتی است که میزان تابش حرارتی در هر دو بویلر یک میزان ثابتی است. با توجه به نتایج حاصل، تفاوت بازده و اتلاف حرارتی کلی برای دو بویلر زیاد نیست و ممکن است در دراز مدت تأثیر خود را نشان دهد [۱۲، ۱۳، ۱۷، ۳۰].

نتایج حاصل از انتشار گازهای احتراقی

گازهای‌احتراقی حاصل از احتراق‌ساقه‌پنبه با استفاده از نرم‌افزار فایرکد محاسبه و در جدول (۸) آورده شده‌است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

جدول ۸) گازهای احتراقی حاصل از سوختن ساقه پنبه بر اساس درصد حجمی با استفاده از نرم‌افزار فایرکد

نوع زیست‌توده	دی اکسیدگوگرد	اکسیژن	نیتروژن	دی اکسید کربن	آب
ساقه پنبه	۰	۵/۹۶۴	۶۸/۴۹۹	۱۲/۶۰۲	۱۲/۹۳۴

مقایسه ساقه پنبه

Zhi-AoSun و همکارانش (۲۰۰۸) در کشور سوئد به مطالعه آزمایشگاهی احتراق ساقه‌پنبه در بستر بویلر سیالی شده پرداختند و بدین منظور تحلیل کلی، عنصری و خاکستر را برای نمونه مورد مطالعه خود انجام دادند[۳۵] که نتایج آن با نتایج حاصل برای نمونه زیست‌توده ساقه پنبه مقایسه و مشاهده شد که نتایج حاصل از این پژوهش برای ساقه پنبه متفاوت از نمونه ساقه پنبه در کشور سوئد است. در واقع، مشخصات نمونه سوخت زیست‌توده جامد با دیگر نمونه‌های مشابه در شهرها یا مناطق دیگر متفاوت است، زیرا عوامل محیطی و شرایط جغرافیایی و بسیاری عوامل دیگر در مشخصات فیزیکی و شیمیایی و درنتیجه بر رفتار احتراقی سوخت زیست‌توده تأثیر دارد. بنابراین، مطالعه مشخصات سوخت‌های زیست‌توده مشابه در منطقه دیگر الزامی است.

نتیجه گیری

امروزه با توجه به بحث پایان‌پذیری سوخت‌های فسیلی و آلودگی محیط زیست در کشور ایران نباید از سوخت جامد به علت ارزانی گاز طبیعی صرف نظر کرد و بهتر است به ضایعات قابل تبدیل به نیرو با دلایل ذکر شده توجه شود.از نتایج حاصل از تحلیل‌های ساقه پنبه می‌توان در طراحی فرایند احتراق استفاده کرد، همچنین رفتار احتراقی و مشکلات فنی حاصل از احتراق آن با استفاده از داده‌های حاصل از تحلیل‌ها امکان‌پذیر است. پردازش مناسب سوخت به شکل پلت یکی از راه‌های مناسب استفاده از سوخت‌های زیست‌توده با ارزش حرارتی بالاست، اما به دلیل گران قیمت بودن شاید از لحاظ اقتصادی امکان‌پذیر نباشد.کوفایرینگ زیست‌توده با زغال‌سنگ یکی از عوامل مؤثر بر هزینه و اجرای آسان فناوری انرژی زیست‌توده است.در کشور ایران به دلیل وجود ذخایر زغال‌سنگ حرارتی در منطقه طبس، استفاده از این حامل انرژی در بخش نیروگاهی امکان‌پذیر می‌باشد. طرح احداث نیروگاه زغال‌سوز طبس در دستور کار وزارت نیرو قرار گرفته که سوخت مورد نیاز آن از معدن مزبور تأمین می‌گردد که می‌توان از احتراق توأم در آن استفاده کرد.ایران یک کشور خشک و نیمه خشک است که بخش قابل توجهی از آن را بیابان تشکیل داده است، بنابراین کشت گیاهانی با بافت‌چوبی و دوره عمر کوتاه که نیاز به آبیاری و رسیدگی کمی دارند می‌تواند گزینه خوبی برای جلوگیری از بیابان‌زایی و ایجاد پوشش‌گیاهی و تولید سوخت مناسب باشد.احداث نیروگاه‌های بخاری با احتراق مستقیم زیست‌توده به شکل محلی در نقاطی از کشور (همانند روستاها) که امکان دسترسی سوخت زیست‌توده بالاست و انتقال سوخت‌های فسیلی در آن مناطق سخت و یا غیر ممکن است بخصوص در فصل سرما می‌تواند باعث تنوع بخشی سوخت و سهولت تولید برق باشد. بنابراین لازم است امکان احداث نیروگاه‌های زیست‌توده از لحاظ اقتصادی و فنی در کشور ایران مورد بررسی قرار گیرد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

منابع

[۱] معاونت امور برق وانرژی ، دفتر برنامه‌ریزی‌های کلان برق و انرژی. (۱۳۹۴)،ترازنامه انرژی ایـران سـال ۱۳۹۱، تهـران، وزارت نیرو معاونت امور برق وانرژی.

[2] A.A. Khana. W.d.J. P.J. Jansens. 2009. "Spliethoff Biomass combustion in fluidized bed boilers: Potential problems and remedies". Fule Processing Technology, 90: p. 21-50.

[3] Annette Evans, V.S. Tim J. Evans. 2010."Sustainability considerations for electricity generation from biomass", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14: p. 1419 - 1427.

[4] Ari Darmawan Pasek, K.W.G.A.S.. 2013. "Feasibility of Recovering Energy from Municipal Solid Waste to Generate Electricity", J. Eng. Technol.Sci, 45: p. 241-256.

[5] A. Williams, J.M.J., L. Ma, M. Pourkashanian. 2012. "Pollutants from the combustion of solid biomass fuels", Progress in Energy and Combustion Science, 38: p. 113-137.

[6] Christersson, L. 2008."Poplar plantations for paper and energy in thesouth of Sweden". Biomass and Bioenergy, 32: p. 997 – 1000.

[7] Demirbas. A. 2010. "Use of algae as biofuel sources". Energy Conversion and Management. 51: p. 2738–2749.

[8] Despina Vamvuka. S.S. 2011."Combustion behaviour of biomass fuels and their blends with lignite", Thermochimica Acta, 526: p. 192- 199.

[9] D. Hartmann, M.K. 1999. "Electricity generation from solid biomass via co-combustion with coal Energy and emission balances from a German case study", Biomass and Bioenergy, 16: p. 397-406.

[10] EUBIONET ,T.E.B.N.2012. "BIOMASS Co-FIRING– AN EFFICIENT WAY TO REDUCE GREENHOUSE GAS EMISSIONS".

[11] Helena H.L. Chum. R.P.Overend. 2001." Biomass and renewable fuels", Fuel Processing Technology, 71: p. 187–195.

[12] E.J.Anthony. 1995."FLUIDIZED BED COMBUSTION OF ALTERNATIVE SOLID FUELS; STATUS, SUCCESSES AND PROBLEMS OF THE TECHNOLOGY", Prog.Energy Combust,21: p. 239-268.

[13] Jaani Silvennoinen. 2013."Co-firingof agricultural fuels in a full-scale fluidized bed boiler. Fuel Processing Technology", 105: p. 11-19.

[14] Jenkins B.M. T.R. Miles Jr.T.R. Miles. 1998. "Combustion properties of biomass", Fuel Processing Technology, 54 :p. 17–46.

[15] igisha Parikh. S.A.C. G.K. Ghosal.2005. "A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels", fuel, 84: p. 487–494.

[16] Ken Darrow. James Wang. Anne Hampson. 2014. "Catalog of CHP Technologies", U.S. Environmental Protection Agency: ICF International.

[17]] Khana. P.J. Jansens. H.Spliethoff. 2009. "Biomass combustion in fluidized bed boilers: Potential problems and remedies". Fuel Processing Technology, 90: p. 21-50

[18] Klass. D.L. 1998."Biomass for Renewable Energy Fuels and Chemicals", 1 ed, San Diego London Boston New York Sydney Tokyo Toronto: Academic Press. 669.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]

[19] Linghong Zhang. Pascale Champagne. 2010."Overview of recent advances in thermo-chemical conversion of biomass", Energy Conversion and Management, 51: p. 969-982.

[20] Mehdi Ahmadi. Maedeh Roz Khosh. Nemat Jaafarzadeh. 2016. "EMISSIONS OF CO2 AND CH4 IN ASMARI GAS COMPRESSOR STATION IN NATIONAL IRANIAN SOUTH OIL COMPANY USING EMISSION FACTOR", Journal of Air pollution and Health , 35-42.

[21] Munir , S.S.D., W. Nimmo, A.M. Cunliffe, B.M. Gibbs, *Thermal analysis and devolatilization kinetics of cotton stalk, sugar cane bagasse and shea meal under nitrogen and air atmospheres.* Bioresource Technology 2009. **100**: p. 1413-1418.

[22] M.V .Gil, D.C., C. Pevida, J.J. Pis, F. Rubiera, *Thermal behaviour and kinetics of coal/biomass blends during co-combustion.* Bioresource Technology, 2010. **101**: p. 5601–5608.

[23] Paolo Ghetti, L.R., Luciana Angelini, Thermal analysis of biomass and corresponding pyrolysis products. Fuel, 1996. 75: p. 565-573.

[24] Prabir Basu. J.BMathias. A.Leon. 2011. "Biomass co-firing options on the emission reduction and electricity generation costs in coal-fired power plants". Renewable Energy, 36:p.282- 288.

[25] Roberto García. C.P. Antonio. G. Lavín. Julio L. Bueno. 2014."Spanish biofuels heating value estimation. Part II: Proximate analysis data", Fuel, 117: p. 1139–1147.

[26] Rosendahl, L. Biomass combustion science, technology and engineering, ed. W.P.S.i. Energy. Vol.1. 2013, 80 High Street, Sawston, Cambridge CB22 3HJ, UK: Woodhead Publishing 315.

[27] Sarah Hughes, biomass combustion science, technology and engineering 2013, WoodheadPublishing Limited,Sawston, Cambridge CB22 3HJ, UK: oxford,cambridge,Philadelphia,New Delhi. 315.

[28] aidura, E.A.A., A. Demirbasb, M.S. Hossaina, S. Mekhilefc, A review on biomass as a fuel for boilers. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011. 15(13): p. 2262۲۲۸۹–.

[29] SeyedEhsan Hosseini. Mazlan Abdul Wahid. 2013."Ghobad Bagheri A review on green energy potentials in Iran", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 27: p. 533-545.

[30] Sjaak van Loo. 2008."The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing", 1 ed, london: FiSH Books, Enfield.

[31] Vamvuka.D. Alevizos. E. Repouskou. D. Pentari. 2009. "Ash effects during combustion of lignite/biomass blends in fluidized bed", Renewable Energy, 34: p. 2662–2671.

[32] Vamvuka.D. E.K. 2011."Ash properties and environmental impact of various biomass and coal fuels and their blends", Fuel Processing Technology, 92 p. 570-581.

[33] Williams, M.P. J.M.Jones. 2001."Combustion of pulverised coal and biomass", Progress in Energy and Combustion Science, 27: p. 587-610.

[34] Yahya Hamzeh.Babak Mirzaei. Ali Abdulkhani. Masoumeh Molaei. 2011."Current and potential capabilities of biomass for green energy in Iran", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15: p. 4934-4938.

[35] Zhi-Ao Sun .rB.-S.J. Ming-Yao Zhang. Ren-Ping Liu. Yong Zhang. 2008."Experimental study on cotton stalk combustion in a circulating fluidized bed",Applied Energy, 85: p. 1027–1040.

[36] Zhao Xin-Gang, F.T.-T. Ma Yu, Yang Yi-Sheng. Pan Xue-Fu. 2015."Analysis on investment strategies in China: the case of biomass direct combustion power generation sector". Renewable and Sustainable Energy Reviews, 42: p. 760 - 772.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-22]