دهمین کنگره‌ی ملی

مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

مشهد مقدس
۹ الی ۱۰ شهریور ماه ۱۳۹۵
دانشگاه فردوسی مشهد

10th National Congress on Biosystems Eng. (Ag. Machinery) & Mechanization

نویسندگان محترم: محمدرضا رسول خانی، محمد علی ابراهیمی نیک، محمد حسین عباسپورفرد، عباس روحانی

مقاله شما با عنوان

<< معرفی فناوری میکروکاز دیفیکاسیون و بررسی جایگاه آن برای تامین انرژی پخت و پز خانگی در ایران >>

در دهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران به صورت پوستر پذیرفته و موجب غنای علمی هرچه بیشتر این کنگره گردید. بدین وسیله از فعالیت و تلاش علمی شما تقدیر و تشکر نموده و موفقیت روز افزونتان را در تمامی عرصه ها از درگاه خداوند متعال خواستاریم.

دکتر محمود رضا گلزاریان
دبیر علمی کنگره

دکتر محمد عبسی زاده
دبیر کنگره

دهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

مرکز پژوهشی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

انجمن مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران

ISC

معرفی فناوری میکروگازیفیکاسیون و بررسی جایگاه آن برای تامین انرژی پخت‌وپز خانگی در ایران

محمدرضا رسول‌خانی[۱،*] ، محمدعلی ابراهیمی نیک[۲]، محمدحسین عباس‌پور فرد[۲]. عباس روحانی[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی - بازیافت و مدیریت پسماند دانشگاه فردوسی مشهد

۲- – عضو هیئت علمی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

* ایمیل نویسنده مسئول: m.rasoulkhani@stu.um.ac.ir

چکیده

با وجود فناوری‌های جدید، برای تامین انرژی خانگی از زیست‌توده کماکان از روش‌های سنتی استفاده می‌شودکه سوختن ضعیف، مصرف سوخت بالا، بازده‌حرارتی پایین و آلودگی زیادی دارند. در این مطالعه ضمن بررسی زیست‌توده‌های مناسب برای گازی‌سازی، به برخی جوانب فنی بکارگیری آن برای تامین انرژی پخت‌وپز خانگی پرداخته شده است. همچنین توضیحاتی در روند توسعه، اصول مناسب برای طراحی، مواد قابل استفاده برای ساخت، روش‌های انتقال‌حرارت و برخی از سایر جنبه‌های فنی نوعی از اجاق‌های زیست‌توده سوز توسعه‌یافته به اختصار تشریح می‌گردد. این اجاق‌ها عموماً با اشتعال پاکی که به‌ارمغان می‌آورند جایگزین مناسبی برای روش های سنتی هستند. مزایای این اجاق‌ها را به‌صورت‌کلی می‌توان در نرخ بالای بازدهی در بازه ۳۵ تا ۵۰ رصد، میزان آلایندگی پایین و ... دانست. در طرح میکروگازیفایر سوخت به‌صورت حجم ثابت در اجاق قرار می‌گیرد و از سمت بالا مشتعل شده و در نتیجه آن گازهای قابل‌احتراق CO، H_2، CO_2، بخارآب و هیدروکربن‌ها تولید می‌شود. باوجود غنی بودن کشور ایران در منابع سوخت‌های فسیلی، زیست‌توده در برخی نقاط به خصوص در بین جوامع عشایری از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخودار است. با توجه به این نکات، این امکان وجود دارد تا استفاده از اجاق‌های زیست‌توده سوز میکروگازیفایر که وسیله‌ای مناسب برای بکارگیری فناوری گازی‌سازی در مقیاس خانگی هستند، با توجه به بازدهی بالا و هزینه و آلایندگی پایین که در مقابل روش‌های سنتی دارند، گزینه مناسبی برای جایگزینی با روش‌های سنتی باشند.

واژگان کلیدی: اجاق زیست‌توده سوز، عشایر، گازی‌سازی، میکروگازیفیکاسیون

مقدمه

افزایش نگرانی گرمایش جهانی، تغییرات آب و هوایی و کاهش ذخایر سوخت‌های فسیلی درخواست‌ها برای انرژی‌های تجدیدپذیر را افزایش داده است. باوجوداینکه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در مواقع تغییر ناگهانی قیمت جهانی نفت و یا حاد شدن شرایط زیست‌محیطی به دلیل استفاده از سوخت‌های فسیلی نمایان می‌شود اما استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌تدریج در حال وارد شدن به جایگاه اصلی خود در بین جوامع بشری است. در کنار این مهم، نرخ تولید سالیانه بالا و گستردگی جغرافیایی بر روی کره خاکی، زیست‌توده را نسبت به سایر منابع تجدیدپذیر انرژی برجسته کرده است (Lertsatitthanakorn *et al*., 2014). در کشورهای حوزه خلیج‌فارس به خاطر غنی بودن این مناطق از منابع نفت و گاز، استفاده از انرژی زیست‌توده به‌صورت کمرنگ دنبال می‌شود. بنابراین، برای استفاده از این‌گونه انرژی‌ها، هزینه پایین پروژه یکی از شروط اصلی اجرا و دوام آن خواهد بود (Mallaki *et al*., 2014).

جنگل‌داری، کشاورزی و پسماندهای‌شهری، سه منبع مهم تولیدات زیست‌توده هستند. زیست‌توده‌ها را می‌توان به دودسته چوبی و غیرچوبی تقسیم کرد. زیست‌توده‌های چوبی که حاصل فعالیت‌های جنگل‌داری و کشاورزی صنعتی (کشت و صنعت) هستند و زیست‌توده‌های غیرچوبی بقایای کشاورزی و پسماندهای دامی، پسماندهای جامد شهری و پسماندهای صنعتی را شامل می شوند(Motghare *et al*., 2016). درزمینه کشاورزی، بااینکه زیست‌توده تولید طبیعی همه فعالیت‌های کشاورزی است اما اکثریت‌قریب‌به‌اتفاق زیست‌توده مناسب برای تولید توان و حرارت در وهله اول بقایای ساقه‌های غلات و آن‌هم اساساً به دلیل میزان رطوبت بسیار پایین آن‌ها است. دیگر منبع گسترده زیست‌توده، محصولاتی هستند که منحصراً به‌منظور تولید انرژی تولید و برداشت می‌شوند. سایر بقایای امور کشاورزی پوشال‌ها، پوست‌ها و یا هسته‌های آجیل‌ها و میوه‌های دانه‌دار را شامل می‌شوند اما باوجوداینکه محتوی انرژی بالایی هم دارند محدود بودن تولید این زیست‌توده‌ها از اهمیت آن‌ها کاسته است(Wolf *et al*., 2013) بااین‌وجود در بسیاری از کشورهای درحال‌توسعه، بقایای کشاورزی با اعمال پیش‌تیمارهایی به‌عنوان سوخت مورداستفاده قرار می‌گیرند(Virmond *et al*., 2012). تاریخچه استفاده از زیست‌توده برای گرما و روشنایی تقریباً از ابتدای تولد تمدن بشریت تعریف شده است اما با پیشرفت و توسعه جوامع بشری در دنیای توسعه‌یافته استفاده از زیست‌توده کمی عقب‌نشینی کرد اما با ظهور پدیده‌های گرمایش جهانی و نگرانی‌های امنیت انرژی به بخش مهمی از ترکیب انرژی تبدیل شد(Wolf *et al*., 2013). در دهه‌های اخیر، استحصال انرژی از زیست‌توده به روش‌های فنّاوری گازیفیکاسیون [۱] و پیرولیز [۲] زیست‌توده از توجه بیشتری برخوردار شده‌اند اما کماکان سوزاندن به دلایلی از قبیل هزینه پایین و در دسترس بودن همیشگی، رایج‌ترین روش است(Mallaki *et al*., 2014).

۱ Gasification
۲ pyrolysis

مواد و روش‌ها

گازیفیکاسیون [1]

بر اساس فرایند گازیفیکاسیون مواد اولیه واردشده به داخل راکتور گازیفایر[2]، با قرار گرفتن در معرض دمای بالا و اجزا و قطعات داغِ سوخت پس از خشک شدن دچار تجزیه حرارتی شده و فراورده‌هایی حاصل می‌شود که بخشی از آن‌ها گازهای قابل اشتعال است. در قسمتی از این فرایند تحت دمای ۱۴۰۰–۸۰۰ درجه سلسیوس واکنش‌هایی بین عامل گازساز (که ممکن است بخار، اکسیژن خالص، هوا و یا ترکیبی از این‌ها باشد) و ساختارهای کربنی مواد اولیه خورانده شده به راکتور اتفاق می‌افتد و تولید اکسیدهای کربن و هیدروکربن‌ها می‌کند(Neubauer, 2013). در شکل ۱ به‌صورت شماتیک روند فرایند گازیفیکاسیون زیست‌توده نمایش داده شده است.اصلی‌ترین واکنش‌های این فرایند عبارت‌اند از:

۱. واکنش‌های سوختن (واکنش با اکسیژن مولکولی) (Neubauer, 2013)

$$C + O_2 \rightleftarrows CO_2 \quad \Delta H = -110.62\, KJ/mol \qquad (۱–۳)$$

$$2CO + O_2 \rightleftarrows 2CO_2 \quad \Delta H = -283.15\, KJ/mol \qquad (۲–۳)$$

$$2H_2 + O_2 \rightleftarrows 2HO_2 \quad \Delta H = -242.0\, KJ/mol \qquad (۳–۳)$$

۲. واکنش‌های دی‌اکسید کربن(Neubauer, 2013)

$$C + CO_2 \rightleftarrows 2CO \quad \Delta H = +172.54\, KJ/mol \qquad (۴–۳)$$

$$C_nH_m + nCO_2 \rightleftarrows 2nCO \qquad (۵–۳)$$

۳. واکنش‌های بخار(Neubauer, 2013)

$$C + H_2O \rightleftarrows CO + H_2 \quad \Delta H = +131.38\, KJ/mol \qquad (۶–۳)$$

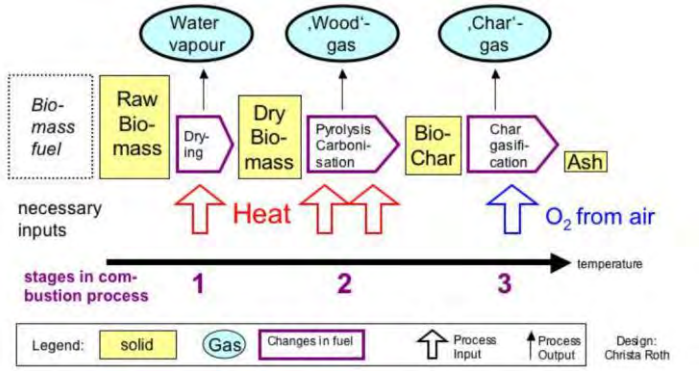
$$C_nH_m + nH_2O \rightleftarrows nCO + (m/2 + n)H_2 \qquad (۷–۳)$$

$$CO + H_2O \rightleftarrows CO_2 + H_2 \quad \Delta = -41.16\, KJ/mol \qquad (۸–۳)$$

۴. واکنش‌های هیدروژن(Neubauer, 2013)

$$C + 2H_2 \rightleftarrows CH_4 \quad \Delta H = -75.0\, KJ/mol \qquad (۹–۳)$$

۱ Gasification
۲ Gasifier



شکل۱ - (تغییرات در سوخت جامد) مواد جامد تحت تغییرات تعیین‌شده توسط حضور گرما و اکسیژن(Roth, 2011)

دسته‌بندی اجاق‌های زیست‌توده سوز

اگرچه راه‌هایی با بازدهی بیشتر نیز وجود دارد اما یکی از جالب‌ترین گزینه‌ها برای جایگزینی با این روش‌های کم بازده بهره گیری از زیست‌توده ، استفاده از اجاق‌های پخت‌وپز زیست‌توده سوز[۱] گازیفایر است. طبق نظر پژوهشگران تمرکز بر پروژه‌های بهبود این اجاق‌ها پاسخی بود در جهت کاهش از بین رفتن جنگل‌ها، افزایش سلامتی و کاهش سرعت تغییرات آب و هوایی (Lertsatitthanakorn *et al*., 2014; MacCarty *et al*., 2010).

یکی از دیدگاه‌هایی که می‌توان اجاق‌های زیست‌توده سوز را بر اساس آن دسته‌بندی کرد نحوه اشتعال سوخت جامد و چگونگی فرایند حاکم بر اشتعال در این اجاق‌ها است. در اشتعال برخی اجاق‌های زیست‌توده سوز، سوخت جامد زیست‌توده در یک محفظه اشتعال در حضور هوای اولیه و ثانویه[۲] می‌سوزد. این هوای تأمین‌شده برای فرایند، بیشتر از نیاز استوکیومتری واکنش‌ها هستند که با به‌کارگیری هوای تأمین‌شده سوخت مشتعل شده و حرارت تولیدشده از این اشتعال به ظرف منتقل‌شده و در هوا آزاد می‌شود.

اجاق‌های پخت‌وپزی که قبل از اشتعال سوخت آن را به گاز تبدیل می‌کنند به اجاق‌های گازیفایر[۳] معروف هستند. این اجاق‌ها عموماً با اشتعال پاکی که به ارمغان می‌آورند جایگزین مناسبی برای اجاق‌های پخت‌وپز اشتعال مستقیم[۴] هستند که در روش‌های سنتی به چشم می‌خورند و سوخت در آن‌ها به‌صورت مستقیم و در فاز جامد می‌سوزد. ازاین‌رو در دوره‌های اخیر طراحی اجاق‌های زیست‌توده سوز بر پایه گازیفیکاسیون از گستردگی بیشتری برخوردار شده است. مزایای این اجاق را به‌صورت کلی می‌توان در نرخ بالای بازدهی در بازه ۳۵ تا ۵۰ رصد، میزان آلایندگی پایین، شعله یکنواخت و پایدار و همچنین راحتی کنترل و کمترین میزان احتیاج

۱ Biomass cook stove
۲ Primary and secondary air
۳ Gasifier cookstove
۴ Combustion cookstove

به رسیدگی پایداری و نگه‌داری شعله در حین استفاده از آن نام برد(Sutar *et al*., 2015). در کنار این امر اجاق‌های گازیفایر را می‌توان بر اساس جهت جریان هوای ورودی به فرایند به چهار دسته‌ی بالاسو، پایین‌سو، جریان جانبی و جریان متقابل دسته‌بندی کرد. در نوع جریان متقابل بارزه‌ی اصلی عکس بودن جریان نسبت به اجاق‌های پایین‌سو است درحالی‌که محل تشکیل شعله و انتقال حرارت در بالا قرار دارد(Mukunda *et al*., 2010; Sutar *et al*., 2015). ایده جدید تغذیه دسته‌ای[1] سوخت در اجاق و تأمین هوای اجباری می‌تواند باعث افزایش بازدهی کلی در اجاق‌های زیست‌توده سوز شود(Bryden *et al*., 2005). اجاق‌های زیست‌توده سوز را می‌توان بر اساس نوع جریان هوای مورداستفاده به دو سیستم جریان طبیعی[2] و جریان اجباری[3] تقسیم کرد. در سامانه‌های جریان اجباری علاوه بر مکش طبیعی ناشی از فعالیت اجاق، از یک دمنده برای هدایت هوا استفاده می‌شود(Kshirsagar *et al*., 2014). در سامانه‌های تأمین هوای جریان طبیعی امکان عدم اختلاط مناسب گازهای قابل‌احتراق وجود دارد اما در سامانه‌های تأمین هوای جریان اجباری اختلاط کامل گازهای قابل‌احتراق و اکسیژن هوا یک اشتعال بهبودیافته و درنتیجه کمترین میزان آلایندگی را به دنبال خواهد داشت(Manoj *et al*., 2013). شکل ۲ روند تکامل اجاق‌های زیست‌توده سوز را در طول تاریخ به تصویر کشیده است.

مدل‌های ابتدایی اجاق‌های پخت‌وپز زیست‌توده سوز

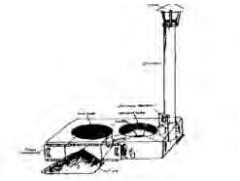
اجاق سنتی سه سنگی

نیمه بسته

Magan Chulha

اجاق‌های توسعه‌یافته در دوره ۱۹۸۰

Anagi-II



Nada Chulha

Astra

اجاق‌های توسعه‌یافته در دوره‌های اخیر

۱ Batch Feeding
۲ Natural Draft
۳ Forced Draft

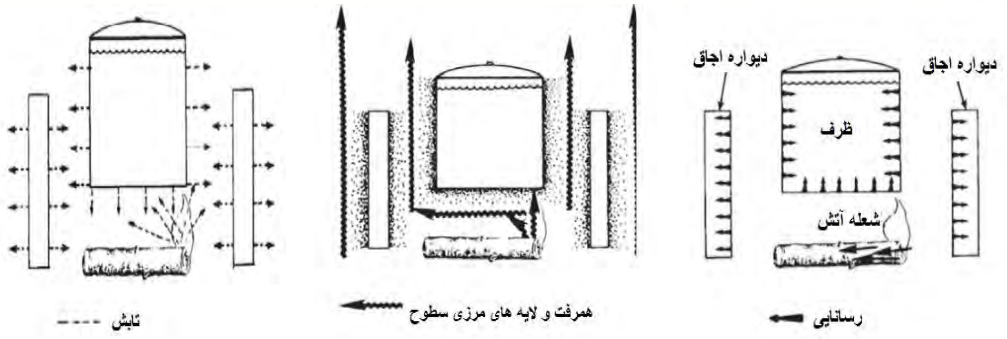
نوعی اجاق توسعه‌یافته چند شعله اجاق Aprovecho اجاق گازیفایر "oorja"

شکل۲ - سیر توسعه مدل‌های مختلف اجاق‌ها در طول زمان (Anhalt *et al.*, 2013; Manoj *et al.*, 2013)

اصول طراحی اجاق‌های زیست‌توده سوز

به دلیل متفاوت بودن روش‌های پخت‌وپز در سرتاسر جهان امکان ارائه یکسری اصول کلی و فراگیر طراحی اجاق‌ها، که مناسب همه مناطق باشد امکان‌پذیر نبود. در اوایل دهه هشتاد با دیدگاهی متفاوت نسبت به اجاق‌ها و در نظر گرفتن آن به‌عنوان یک سیستم مهندسی، ویژگی‌های اصلی طراحی را که در بهبود کارایی اجاق‌ها تأثیرگذار است شناسایی کردند(Sutar *et al.*, 2015). در همین دهه اولین صحبت‌ها در رابطه با طراحی اجاق‌های زیست‌توده سوز با در نظر گرفتن جوانب بیشتری از قبیل: اصول مهندسی، نیازهای استفاده‌کنندگان، تعاریف درست و صریح از مشخصات اجاق‌ها و دستورالعمل لازم برای تولید در کمیت بالا، به چاپ رسید(Verhaart, 1983). پس از چندی چاپلین هم با در نظر گرفتن ویژگی‌هایی چون: استحکام و سختی، مقاومت به ضربه و استقامت به تنش‌های گرمایی و همچنین شکل‌پذیری مواد، ضمن توجه به جنبه‌های اقتصادی، راهنمایی برای انتخاب مواد مناسب طراحی و ساخت اجاق‌های زیست‌توده سوز را فراهم و ارائه کرد(Chaplin, 1983). با توجه به اهمیت و جایگاه استفاده از اجاق‌های زیست‌توده سوز در برخی نقاط که دسترسی کافی به سوخت‌های فسیلی ندارند تحقیق و توسعه این اجاق‌ها نیز از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. در همین راستا محققین زیادی اقدام به ارائه اصول اساسی برای طراحی اجاق‌های زیست‌توده سوز کرده‌اند اما بااین‌وجود بسته به امکانات، اهمیت و محبوبیت استفاده از این روش‌ها و همچنین منطقه جغرافیایی ممکن است در جزئیات طراحی و توسعه این اجاق‌ها تفاوت وجود داشته باشد. در کنار این امر استفاده از تجربیات و کارهای انجام‌شده در به‌روزرسانی و بهینه‌سازی طرح‌های قبلی برای رسیدن به یک طرح مناسب جایگاه ویژه‌ای داشته است. در همین راستا ورهارت[۱] (Verhaart, 1983) فرایندهایی مثل جوشاندن، بریان کردن، کباب کردن و سایر فرایندهای پخت‌وپز خانگی و انرژی‌های موردنیاز آن‌ها را بررسی کرده و طی تحقیق خود توضیحاتی در رابطه با مواد مصرفی مورداستفاده در ساخت اجاق‌ها، مکانیسم‌های انتقال حرارت و روش‌های تأمین انرژی ارائه نمود. طی این تحقیق نقش جریان طبیعی هوا برای بهبود اشتعال و انتقال حرارت در اجاق‌ها و ضمن آن برخی نکات مهم برای بهبود بازدهی اشتعال در اجاق‌ها بیان شد. مهمترین روش‌های انتقال حرارت در اجاق زیست‌توده سوز در شکل ۳ بصورت شماتیک نمایش داده شده است. این پژوهشگر طی تحقیق خود نکاتی را برای اشتعال سوخت‌هایی با ابعاد کوچک نیز پیشنهاد داد.

۱ Verhaart

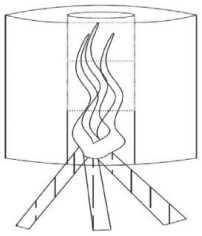


شکل۳ – روش‌های مختلف انتقال حرارت در اجاق‌ها(Bryden *et al*., 2005; Manoj *et al*., 2013)

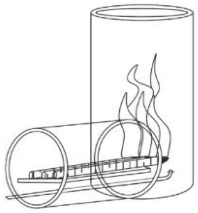
بالدوین[۱] (Baldwin, 1987) به‌منظور بهبود کیفیت اشتعال و نرخ انتقال حرارت صفحه مشبک، کنترل جریان هوا، هوای پیش‌گرم شده، شکل محفظه اشتعال و عایق‌بندی را به‌عنوان برخی از تکنیک‌های مربوط به طراحی مهندسی، توسعه و گسترش اجاق‌های زیست‌توده سوز توسعه‌یافته تشریح کرد. لری وینیارسکی[۲] نیز باهدف بهبود بازدهی انتقال حرارت و بازدهی اشتعال برای طراحی اجاق‌های چوب سوز اصولی را ارائه کرد که بر اساس همین اصول اجاق‌های معروف طرح راکت[۳] ساخته شدند. مهمترین نکات ارائه شده در اصول طراحی وینیارسکی به شرح زیر است که در شکل ۴ نیز نمایش داده شده است.

۱. عایق‌بندی فضای اطراف آتش با مواد دارای مقاومت حرارتی و سبک‌وزن، موجب کاهش حرارت اتلاف شده می‌شود.
۲. استفاده از یک دودکش عایق‌بندی به جریان یافتن هوا در بستر سوخت کمک می‌کند.
۳. با سوختن سوخت در اجاق باید یک جریان مناسب با سرت کافی شکل بگیرد.
۴. کم بودن هوای تأمین‌شده برای سوختن چوب باعث زیادشدن دود و زغال تولیدشده می‌شود.
۵. بهتر است از یک‌پایه یا صفحه مشبک در زیر محفظه اشتعال استفاده شود.
۶. اندازه حفره خروجی شعله اشتعال باید به‌اندازه‌ای باشد که حداکثر گرمای تولیدشده به ظرف منتقل شود.

عایق‌بندی فضای اطراف آتش

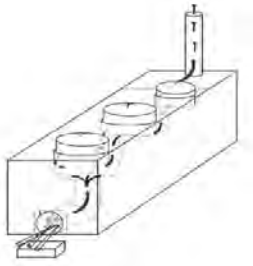


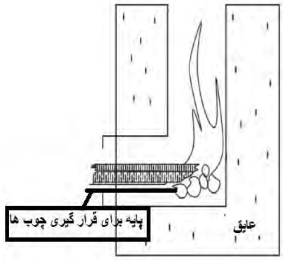
استفاده از یک دودکش عایق‌بندی



جریان مناسب با سرعت کافی

۱ Baldwin
۲ Larry Winiarski
۳ Rocket stove





کم بودن هوا مسبب زیادشدن دود و زغال استفاده از پایه در زیر محفظه اشتعال تناسب اندازه حفره خروجی با اندازه‌ی ظرف

شکل٤ - اصول طراحی "وینیارسکی" (Manoj *et al*., 2013)

برخی از پژوهشگران، توجه به مواد مورد استفاده برای ساخت جاق‌ها را نکته مهم در طراحی می‌دانند. درحالی‌که اکثر اجاق های سنتی عموماً با گِل، آجر و یا سیمان ساخته می‌شدند بسیاری از طراحان اجاق‌های توسعه‌یافته به خاطر مزایایی چون اینرسی حرارتی کم، سهولت حمل و سایر خصوصیات مناسب در جهت توسعه عملکرد، فلز را به‌عنوان مصالح ساخت اجاق‌ها برگزیدند. در همین راستا اکثر اجاق‌های توسعه‌یافته که اخیراً ساخته‌شده‌اند و به خاطر عملکرد خوبشان شناخته می‌شوند از فلز ساخته‌شده‌اند. علاوه بر این در این اجاق‌ها به خاطر افزایش مقاومت در برابر دماهای بالا در لایه‌های داخلی از سرامیک استفاده‌شده است. استفاده از فلز برای ساخت بدنه اجاق‌ها ضمن کاهش وزن باعث کم شدن اتلاف انرژی از طریق کم شدن انرژی ذخیره‌شده در بدنه اجاق می‌شود البته از طرفی بالا بودن ضریب هدایت حرارتی فلزات در مقایسه با مصالح قبلی امکان اتلاف حرارتی از طریق رسانایی را افزایش می‌دهد که می‌توان این مشکل را با عایق‌بندی به‌خوبی حل کرد(De Lepeleire *et al*., 1983). در کنار این موضوع اجاق‌های ثابت گلی یا آجری گرچه به‌طورمعمول تعمیر و نگهداری مکرر احتیاج دارند اما هزینه چندانی نداشته و ازاین‌رو کماکان در میان خانواده‌های فقیر متداول هستند گرچه قابل‌ذکر است که مقاومت به ضربه در این اجاق‌ها نسبت به اجاق‌های فلزی نیز کم است(Sutar *et al*., 2015).بلونیو[1] نیز درزمینه طراحی اجاق‌های زیست‌توده سوز علاوه بر ارائه روش گام به‌گام مورد استفاده خودش برای ساخت اجاق‌های شلتوک برنج، اصول پایه گازیفیکاسیون، انتخاب نوع مواد، نحوه ساخت، توجه به جوانب اقتصادی و مقرون‌به‌صرفه بودن را از نکات مهم در طراحی اجاق‌ها می‌دانست(Belonio, 2005).

دکتر توماس رید برای طراحی و ساخت اجاق‌های گازساز بر پایه فرایند گازیفیکاسیون در ابعاد خرد برای اولین بار در سال ۱۹۸۵ اصول طراحی اجاق‌های TLUD را توصیف کرد. سپس به‌طور مستقل در سال ۱۹۹۰ شخصی نروژی به نام پاآل وندلبو[2] این اجاق را بر اساس همین اصل TLUD در اردوگاه پناه‌جویان در اوگاندا توسعه داد (نمونه پیشرفته‌تر آن را ساخت). دستگاه‌های TLUD همواره به‌عنوان اجاق‌های زیست‌توده سوز در نظر گرفته می‌شدند و بعضی از آن‌ها را به‌راحتی می‌توانست با کوله‌پشتی حمل کرد؛ اما این موضوع فقط تا سال ۲۰۰۳ ادامه داشت و در همین سال اولین میکروگازیفایر تجاری توسط دکتر توماس رید ساخته شد و به‌عنوان

۱ Belonio, Alexis T
۲ Paal Wendelbo

اجاقِ‌زیست‌توده سوز پیک‌نیکی برای مصرف در فضای باز و پیک‌نیک‌ها به سیستم بازاریابی آمریکا ارائه شد. به گازیفایرهایی که هم ازنظر ارتفاع و هم ازنظر سایز به‌اندازه کافی کوچک هستند تا یک ظرف معمول پخت پز را بر روی خود جای دهند میکروگازیفایر گفته می‌شود.(Roth, 2011).

اجاق های میکروگازیفایر

این اجاق‌ها که به اجاق‌های گازساز یا شبه گازساز نیز معروف هستند این توانایی را دارند که با استفاده از سوخت‌های زیست توده یک اشتعال بدون آلایندگی را به ارمغان بیاورند. در طرح ساده TLUD حفره‌هایی برای تأمین هوای اولیه و ثانویه وجود دارد که اختلاط مناسب سوخت گازی با اکسیژن تأمین‌شده با هوای ثانویه اشتعال کامل و مناسب را تضمین می‌کند. در اجاق‌های طراحی‌شده با استفاده از اصول TLUD دودکشی در نظر گرفته شده که در بالای محفظه/ منطقه اشتعال با کمک به ایجاد جریان هوا باعث اختلاط بهتر اکسیژن هوا و گازهای قابل اشتعال تولیدشده می‌شود؛ البته گزینه‌های مناسب برای تأمین هوای اولیه به اندازه سوخت‌های مورداستفاده نیز بستگی دارد. به‌عنوان‌مثال برای سوخت‌های نازک تأمین هوای اولیه به‌وسیله جریان طبیعی مناسب است درحالی‌که برای سوخت‌های ضخیم که جریان هوای اجباری لازم است، هوای بیشتر باید به‌وسیله یک منبع توان خارجی و اضافی مثل یک دمنده به بستر سوخت دمیده شود(Manoj *et al.*, 2013).

راه فهم تفاوت بین آتش باز و «کنترل شدن فرآیند احتراق در یک گازیفایر»[1] ترکیب کردن زیست‌توده و آتش در یک وسیله خوراک‌پزی است(Roth, 2011). برای مثال همه ما سوختن یک شمع را دیده‌ایم. شمع یک‌بار روشن می‌شود و در ادامه با ذوب شدن آهسته شمع، شعله به‌صورت پایدار برای مدت طولانی می‌سوزد. سوختن موم طی یک فرآیند چندمرحله‌ای اتفاق می‌افتد. به‌طوری‌که اول شمع توسط حرارت شعله ذوب‌شده و به مایع تبدیل می‌شود سپس طبق قانون چسبندگی مایعات از فتیله بالا می‌آید و توسط گرمای اضافی شعله تبخیر می‌شود و درنهایت با اکسیژن هوا مخلوط شده و به علت مجاورت با گرمای تابشی و انتقالی شعله، می‌سوزد. سوختن چوب در این اجاق‌ها هم شبیه سوختن شمع است که در بالا ذکر شد اما با چند تفاوت خاص؛ مهم‌تر از همه اینکه شمع سوخت بسیار خالص‌تری از چوب است اما در عوض چوب بسیار در دسترس‌تر و مقرون‌به‌صرفه تر از شمع است.

ویژگی‌های مشترک میکروگازیفایرهای مناسب برای پخت‌وپز خانگی

- استفاده از زیست‌توده خشک و جامد به‌عنوان سوخت و احتراق گازهای تولیدی به‌محض آزاد شدن آن‌ها از مولد؛ به‌طوری‌که مستقیم در بالای منطقه مولد گاز و بستر سوخت که هنوز داغ است، می‌سوزند.
- صورت گرفتن عمل احتراق در بالای گازیفایرها؛ ازآنجاکه بیشتر میکروگازیفایرها برای اهداف پخت‌وپز هستند عمل احتراق در

[1] controlling a combustion process in a gasifier

بالای بستر سوخت‌می شود که این خود راهی آسان برای حداکثر نزدیکی حرارت به ظرف معمول خوراک‌پزی است.

- مکش بالا؛ یکی از تفاوت‌های اصلی در گازیفایرها جریان گازها در ارتباط با پیشرفت جبهه پیرولیزی است. هوا و گازهای احتراقی، جریانی به سمت بالا دارند درحالی‌که جبهه پیرولیزی به سمت پایین حرکت می‌کند. حال‌آنکه مکش به سمت بالا گزینه آسانی برای اهداف پخت‌وپز است؛ زیرا اگر گازهای داغ از هوای سرد محیط سبک‌تر باشند به‌طور طبیعی به سمت بالا حرکت می‌کنند. در کل این روش سبب ایجاد یک مکش و جریان طبیعی از طریق بستر سوخت و همچنین تسهیل در فراهم آمدن اکسیژن برای منطقه پیرولیز می‌شود. بسته به نوع سوخت مصرفی و چگالی بستر سوخت می‌توان دمنده‌های کوچکی برای نیرو دادن به جریان هوا در بستر سوخت تعبیه کرد تا جریان مناسبی از اکسیژن را به داخل آن وارد کند. درواقع استفاده از دمنده‌های کوچک موجب افزایش طبیعی جریان و مکش در بستر سوخت می‌شوند که به آن همرفت اجباری[1] می‌گویند.
- اکثر میکروگازیفایرها اتوترمال هستند به این معنی که سوخت به‌طور مستقیم در اثر مجاورت با پیرولیز شعله‌ور، تجزیه می‌شود.

در اجاق‌های گازیفابر TLUD، سوخت به‌جز در حالت انقباض ظرفیت آن (وقتی پیرولیز می‌شود) حرکت نمی‌کند. این حرکت به دو صورت است(Roth, 2011):

۱. یک جبهه داغ پیرولیزی (بلافاصله بعد از شعله‌ور شدنش) به سمت پایین حرکت کرده و از میان زیست‌توده جامد اولیه عبور می‌کند و آن را به زغال تبدیل می‌کند.
۲. گازهای ایجادشده به سمت منطقه احتراق در بالا حرکت می‌کنند، درحالی‌که زغال زیر جبهه داغ پیرولیزی باقی می‌ماند.

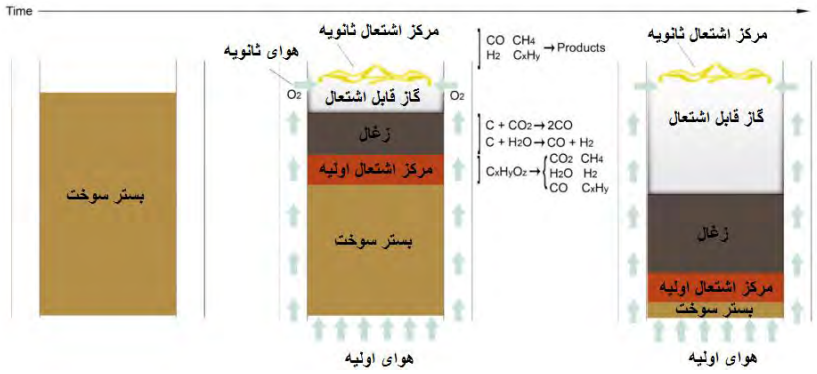
در یک اجاق TLUD معمولی، جبهه پیرولیز ۵ تا ۲۰ میلی‌متر در هر دقیقه، بسته به ماهیت سوخت و مقدار هوای اولیه به سمت پایین حرکت می‌کند. در بالای جبهه پیرولیز، زغال ایجادشده انباشته می‌شود و مانع از احتراق به دلیل کمبود اکسیژن می‌گردد. گازهای داغ بی‌اثر باقی‌مانده (به‌طور عمده نیتروژن)، گازهای پیرولیتی ایجادشده و بخارآب را در محفظه احتراق ثانویه جارو کرده و می‌زدایند. گازهای پیرولیتی ماهیتی قیر مانند دارند و هیدروکربن‌هایی بلند زنجیر هستند که اگر نسوزند دود غلیظی ایجاد می‌کنند.

فرایند اشتعال در اجاق‌های TLUD

در طرح TLUD سوخت جامد به‌صورت یک حجم ثابت در محفظه احتراق اجاق قرار می‌گیرد و از سمت بالا مشتعل می‌شود و با حرکت جریان اشتعال سوخت به سمت پایین مصرف سوخت ادامه میابد. تأمین هوا از طریق منبع هوای اولیه در پایین بستر سوخت باعث انجام اکسایش جزئی و تولید گازهای CO، CO_2 H_2، بخارآب و هیدروکربن‌ها در مرکز احتراق اولیه می‌شود. بستر زغال داغ در پایین مرکز احتراق اولیه باعث کاهش CO_2و H_2O تولیدشده در مرحله اکسایش و تولید COو H_2 می

۱ forced convection

شود. هوای ثانویه که از طریق دیواره محفظه احتراق گرم شده است بامرکز زغال داغ ترکیب‌شده و مرکز احتراق ثانویه را تشکیل می‌دهند. اشتعال گازهای قابل‌احتراق در محلی جدا از بستر سوخت جامد، ترکیب بهتر گازها با هوا همچنین احتراق کامل را میسر می‌کند شکل ۵ نشان دهنده شماتیک اشتعال در یک اجاقTLUD را نشان می‌دهد.



شکل۵ - شماتیک فعالیت اجاق شبه گازسازTLUD.(Tryner *et al.*, 2014)

مولدهای ترموالکتریک[۱]

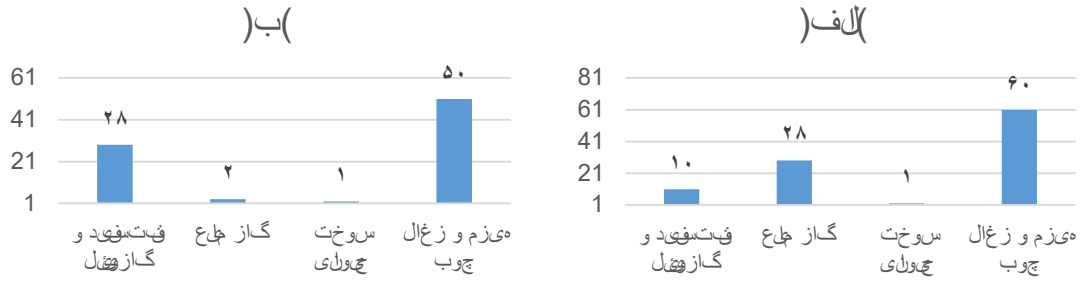
اجاق‌های جریان اجباری برای به کار افتادن دمنده تأمین‌کننده هوای اجباری به توان الکتریکی احتیاج دارند. به همین دلیل در بسیاری از طرح‌ها در کنار استفاده از باطری برای تأمین توان الکتریکی برخی از اجاق‌های توسعه‌یافته با استفاده از تفاوت دمایی بین محفظه اشتعال (منبع گرما) و هوای محیط (منبع سرما) توان الکتریکی تولید می‌کنند که این توان تولیدشده را می‌توان برای شارژ باطری استفاده کرد(Hegarty, 2009). در همین راستا اخیراً چندین پژوهش طرح‌هایی در جهت استفاده از TEGها و پنل‌های فتوولتاییک در جهت بهره‌برداری از گرمای اتلاف شده اجاق‌ها برای تولید توان الکتریکی به‌منظور روشنایی و تأمین توان موردنیاز دمنده برای فراهم کردن هوای اجباری انجام‌شده است(Champier *et al.*, 2010; Lertsatitthanakorn, 2007; .(Lertsatitthanakorn *et al.*, 2014; O' Shaughnessy *et al.*, 2013

نتیجه گیری

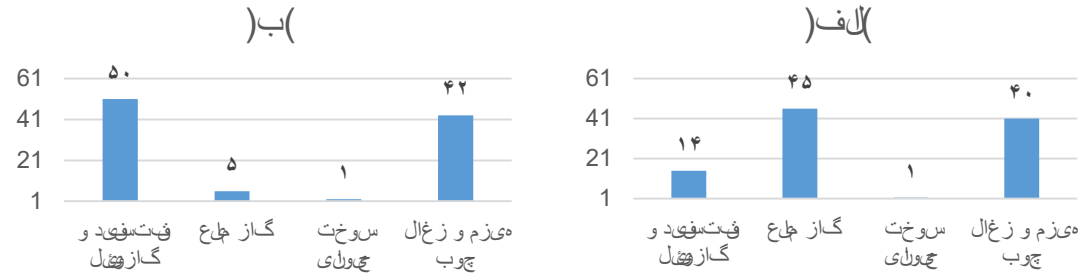
در دهه‌های اخیر صحبت‌های زیادی در رابطه با انقلاب انرژی سبز و جایگزینی منابع سوخت‌های فسیلی با منابع انرژی تجدیدپذیر به میان آمده است که زیست‌توده نقش بسزایی در این انقلاب سبز ایفا خواهد کرد به‌طوری‌که تنها منبع انرژی‌های تجدیدپذیر است که می‌تواند این نیاز به انرژی را تطمیع کند(Wolf *et al.*, 2013).در کشورهای حوزه خلیج‌فارس مثل ایران به خاطر غنی بودن این مناطق از منابع نفت و گاز، استفاده از انرژی زیست‌توده به‌صورت کمرنگ دنبال می‌شود. بنابراین، برای استفاده

۱ Thermo electric generator(TEG)

از این‌گونه انرژی‌ها، هزینه پایین پروژه یکی از شروط اصلی اجرا و دوام آن خواهد بود. استحصال انرژی از زیست‌توده به روش سوزاندن به دلایلی از قبیل هزینه پایین و در دسترس بودن همیشگی، رایج‌ترین روش است(Mallaki *et al.*, 2014). تحقیقات نشان می‌دهد که کشور ایران پتانسیل بالایی در منابع زیست‌توده دارد که بخش اعظم، یعنی ۴۵٪ آن را زیست‌توده‌های کشاورزی و قابل‌احتراق تشکیل می‌دهد(Hosseini *et al.*, 2013). در همین راستا هادی جعفری و همکاران طی تحقیقی درزمینه پتانسیل سنجی فناوری گازیفیکاسیون کشور، میزان کل زائدات چوبی باغی و جنگلی کشور را ۴/۵۲ میلیون تن در سال و میزان زائدات عمده کشاورزی را ۲۸/۳۴ میلیون تن در سال گزارش کردند که نشان‌دهنده پتانسیل مناسب منابع زیست‌توده قابل‌احتراق کشور است (هادی جعفری و همکاران،1390). علاوه بر این طبق آخرین آمارهای سرشماری عشایر کوچنشین که توسط سازمان ملی آمار ایران در سال ۱۳۸۷ انجام‌شده ۶۰ درصد از خانوارهای عشایر در دوره ییلاق برای انجام فعالیت‌های پخت‌وپز خود از زیست‌توده استفاده می‌کنند(Statistical Center of Iran, 2008). شکل ۶ و ۷ نشان‌دهنده درصد خانوارهای عشایر کوچنده استفاده‌کننده از سوخت های دردسترس براساس آمارهای ارائه‌شده در آخرین سرشماری عشایر کوچنشین ایران در سال ۱۳۸۷ که توسط سازمان ملی آمار ایران انجام‌شده، است.



شکل ٦ – درصد خانوارهای عشایر کوچنده به تفکیک نوع سوخت مورد استفاده برای پخت‌وپز (الف) و گرمایش (ب) در دوره ییلاق



شکل ۷ – درصد خانوارهای عشایر کوچنده به تفکیک نوع سوخت مورداستفاده برای پخت‌وپز (الف) و گرمایش (ب) در دوره قشلاق

از سوی دیگر آمارها نشان‌می دهد که اگرچه زیست توده بخش اعظمی از منبع تامین انرژی خانگی عشایر را تشکیل می دهد اما در بین وسایلی که برای پخت و پز خانگی و یا گرمایش مورد استفاده عشایر قرار دارد وسیله با بازدهی مناسب برای استفاده از زیست‌توده وجود ندارد. جدول ۱ نشان دهنده وسایل مورد استفاده برای پخت و پز خانگی در بین عشایر است(Statistical Center

of Iran, 2008) و اکثرا از روش‌های سنتی آتش باز استفاده می‌شود که به خاطر سوختن ضعیف، بازده حرارتی پایین و آلودگی زیادی دارند و به‌طورکلی استفاده غیر کارآمد از منابع زیست‌توده قابل اشتعال را سبب شده‌اند که مسبب تأثیرات منفیِ غیرقابل‌چشم‌پوشی زیادی نظیر صدمات و مرگ‌ومیر انسان‌ها، آلودگی‌های زیست‌محیطی، تغییرات آب و هوایی و از بین رفتن جنگل ها شده است. یکی از جالب‌ترین گزینه‌ها برای جایگزینی با این روش‌های کم بازده، استفاده از اجاق‌های پخت‌وپز زیست‌توده سوز است(Champier *et al*., 2010;Lertsatitthanakorn *et al*., 2014; MacCarty *et al*., 2010).

جدول۱ - تعداد خانوارهای عشایر استفاده‌کننده از وسایل پخت‌وپز خانگی

وسایل پخت‌وپز	تنور پخت نان (گازی)	چراغ خوراک‌پز نفتی[1]	اجاق‌گازسوز خانگی
تعداد خانوار	۳۳۸۴۳	۱۲۳۸۲۱	۱۳۷۴۶۳

باوجود غنای ایران در منابع سوخت‌های فسیلی همواره مشکل دسترسی همگانی به سوخت و تأمین دائمی آن یکی از چالش های مهم پیش‌رو به‌خصوص در روستاها و مناطق دورافتاده و یا برای عشایر کوچ‌نشین بوده. در کنار این موضوع، بارها دیده‌شده که به دلایلی ازجمله بارش برف و باران و یا سیل و یا زلزله، با قطع شدن محورهای مواصلاتی، دسترسی به برخی مناطق دورافتاده کاملاً از بین رفته است. با توجه به اهمیت و جایگاه سوخت، عدم تأمین آن در چنین شرایطی مشکلات زیادی را به دنبال خواهد داشت. علاوه بر این، در کنار مصارف خانگی در فعالیت‌های کشاورزی نیز برای تأمین گرمای یک فضا مثل گلخانه یا انبار و یا استفاده از گرما برای خشک‌کردن نسبی یک محصول به دلیل هزینه سنگین استفاده از سوخت‌های دیگر، هزینه پایین استفاده از زیست‌توده، پتانسیل استفاده از این سوخت پاک و تجدیدپذیر را بالا می‌برد. بر اساس بررسی‌های انجام‌شده در کشور ایران نیز با توجه به تأمین زیست‌توده در برخی نقاط، این امکان وجود دارد تا استفاده از اجاق‌های زیست‌توده سوز میکروگازیفایر که وسیله‌ای مناسب برای بکارگیری فناوری گازیفیکاسیون در مقیاس خانگی هستند با توجه به بازدهی بالا و هزینه و آلایندگی پایین در مقابل روش‌های سنتی، گزینه مناسبی برای جایگزینی با روش‌های متداول و یا استفاده به‌عنوان مکمل در کنار آن‌ها باشند. توجه به این موضوع، در کنار تأثیرات مثبت زیست‌محیطی، به دلیل استفاده از سوخت پاک و تجدیدپذیر زیست‌توده و کاهش آلایندگی نسبت به استفاده‌های سنتی، گامی در جهت افزایش عمران روستایی خواهد بود.

در پایان به عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان عنوان کرد: روش‌های سنتی سه سنگی که یکی از بدوی‌ترین روش‌های استفاده از زیست‌توده است به خاطر سوختن ضعیف آلایندگی بالا و بازدهی پایینی را به دنبال دارد. از جالب‌ترین روش‌ها برای جایگزینی با این روش‌های قدیمی اجاق‌های زیست‌توده سوز هستند که میکروگازیفایرها یکی از طرح‌های مورداستفاده برای ساخت اجاق‌های زیست‌توده سوز بوده و با به‌کارگیری اصول گازیفیکاسیون، نسبت به روش‌های سنتی بازدهی بالا و آلایندگی پایینی را به دنبال دارند. در کشور ایران که یکی کشورهای غنی در منابع سوخت‌های فسیلی است، بخش اعظمی از پسماندها را مواد قابل احتراق با ظرفیت

[1] این اجاق ها علاوه بر پخت‌وپز به عنوان یک وسیله گرمایشی محیط نیز همزمان استفاده می شوند و کاربرد دو منظوره دارند.

بیش از ۳۰ میلیون تن درسال و با قابلیت بهره‌گیری برای تامین انرژی گرمایشی تشکیل می‌دهد که نشان‌دهنده جایگاه مناسب، حداقل برای تامین نیاز در مقیاس خانگی است. با توجه به اهمیت و جایگاه استفاده از زیست‌توده در بین عشایر و روستاییان برای تامین انرژی خانگی، و همچنین نیاز مبرم در داشتن گزینه جایگزین برای روش های سنتی بهره‌گیری از زیست‌توده چه در مواقع معمولی برای تامین انرژی خانگی و یا کشاورزی و چه در مواقع بحرانی، اجاق‌های زیست‌توده‌سوز میکروگازیفایر گزینه‌ی مناسبی برای جایگزینی با روش‌های منسوخ و تامین اهداف ذکر شده به نظر می‌رسند.

منابع

هادی جعفری, پ. آ. و سرودی, م. (۱۳۹۰). امکانسنجی توسعه فناوری گازیسازی زیستتوده در ایران. دومین همایش بیوانرژی ایران (بیوماس و بیوگاز), تهران.

Anhalt, J., & Holanda, S. (2013). Policy for subsidizing efficient stoves: Project.

Baldwin, S. F. (1987). Biomass stoves: engineering design, development, and dissemination: Volunteers in Technical Assistance.

Belonio, A. T. (2005). Rice husk gas stove handbook. *Central Philippine University, Philippines* .

Bryden, M., Still, D., Scott, P., Hoffa, G., Ogle, D., Bailis, R., & Goyer, K. (2005). *Design Principals for Wood Burning Cook Stoves*: Aprovecho Research Center.

Champier, D., Bedecarrats, J. P., Rivaletto, M., & Strub, F. (2010). Thermoelectric power generation from biomass cook stoves. *Energy, 35*(2), 935-942. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2009.07.015

Chaplin, C. R. (1983). Wood burning stoves: Material selection and thermal shock testing of fired ceramic bodies. *Proceedings of the Indian Academy of Sciences Section C: Engineering Sciences, 6*(1), 47-58. doi: 10.1007/BF02843290

De Lepeleire, G., & Christiaens, M. (1983). Heat transfer and cooking woodstove modelling. *Proceedings of the Indian Academy of Sciences Section C: Engineering Sciences, 6*(1), 35-46 .

Hegarty, D. (2009). The woodstove-Satisfying a burning need. *Philips Research Password, 28*, 29 .

Hosseini, S. E., Andwari, A. M., Wahid, M. A., & Bagheri, G. (2013). A review on green energy potentials in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 27*, 533-545 .

Kshirsagar, M. P., & Kalamkar, V. R. (2014). A comprehensive review on biomass cookstoves and a systematic approach for modern cookstove design. *Renewable and*

Sustainable Energy Reviews, 30(0), 580-603. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.10.039

Lertsatitthanakorn, C. (2007). Electrical performance analysis and economic evaluation of combined biomass cook stove thermoelectric (BITE) generator. *Bioresour Technol, 98*(8 .0761-0761 ,)doi: 10.1016/j.biortech.2006.05.048

Lertsatitthanakorn, C., Jamradloedluk, J., & Rungsiyopas, M. (2014). Study of Combined Rice Husk Gasifier Thermoelectric Generator. *Energy Procedia, 52*(0), 159-166. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.20010160177

MacCarty, N., Still, D., & Ogle, D. (2010). Fuel use and emissions performance of fifty cooking stoves in the laboratory and related benchmarks of performance. *Energy for Sustainable Development, 14*(3), 161-171. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2010.06.002

Mallaki, M., & Fatehi, R. (2014). Design of a biomass power plant for burning date palm waste to cogenerate electricity and distilled water. *Renewable Energy, 63*, 286-291. doi: 10.1016/j.renene.2013.09.036

Manoj, K., Sachin, K., & Tyagi, S .K. (2013). Design, development and technological advancement in the biomass cookstoves: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 26*, 265-285. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.010

Motghare, K. A., Rathod, A. P., Wasewar, K. L & ,.Labhsetwar, N. K. (2016). Comparative study of different waste biomass for energy application. *Waste Manag, 47*(Pt A), 40-45. doi: 10.1016/j.wasman.2015.07.032

Mukunda, H ,.Dasappa, S., Paul, P., Rajan, N., Yagnaraman, M., Ravi Kumar, D., & Deogaonkar, M. (2010). Gasifier stoves–science, technology and field outreach. *Current Science, 98*(5), 627-638 .

Neubauer, Y. (2013). Biomass gasification. 106-129. doi: 10.1533/97808570261. 2090017

O'Shaughnessy, S. M., Deasy, M. J., Kinsella, C. E., Doyle, J. V., & Robinson, A. J. (2013). Small scale electricity generation from a portable biomass cookstove: Prototype design and preliminary results. *Applied Energy, 102*(0), 374-385. doi : http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.07.032

Roth, C. (2011). Micro-gasification: cooking with gas from biomass. *Berlin: GIZ* .

Statistical Center of Iran, S. C. I. (2008). Periodic nomads Socio-economic census in the country. *Management and Planning Organization*. doi: http://amar.org.ir/Portals/2/pdf/dehestanha.pdf?ver=1391-08-22-102038-053

Sutar, K. B., Kohli, S., Ravi, M. R., & Ray, A. (2015). Biomass cookstoves: A review of technical aspects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41*(0), 1128-1166. doi: *http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.09.03*

Tryner, J., Willson, B. D., & Marchese, A. J. (2014). The effects of fuel type and stove design on emissions and efficiency of natural-draft semi-gasifier biomass cookstoves. *Energy for Sustainable Development, 23*, 99-109. doi: 10.1016/j.esd.2014.07.009

Verhaart, P. (1983). On designing woodstoves. *Wood heat for cooking/Ed. KK Prasad, 6*, 33. doi: alexandria.tue.nl/repository/freearticles/604389.pdf 09107/10/9

Virmond, E., De Sena, R. F., Albrecht, W., Althoff, C. A., Moreira, R. F. P. M., & José, H. J. (2012). Characterisation of agroindustrial solid residues as biofuels and potential application in thermochemical processes. *Waste Manag, 32*(10), 1952 .0270-doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2012.05.014

Wolf, J. P., & Dong. (2013). Biomass combustion for power generation: an introduction. 3-8. doi: 10.1533/9780857097439.1.3